



UPPSALA
UNIVERSITET

UPTEC W16001

Examensarbete 30 hp
Januari 2016

Utveckling av metod för översvämningskartering

Amanda Olsson

REFERAT

Utveckling av metod för översvämningskartering

Amanda Olsson

Efterfrågan av pålitliga översvämningskartor ökar med den ökade frekvensen av översvämningskatastrofer med betydande negativ påverkan. Genom att minska osäkerheter i översvämningsmodellering och effektivisera genereringen av vattenutbredningskartor tillåts en mer iterativ process som medför mer pålitliga kartor.

Syftet med denna rapport har varit att beskriva hur vattennivåer simulerade med hydrauliska modeller effektivt kan bearbetas i ArcGIS för att åstadkomma kartor över översvämningsvattenutbredning. Förbättrad hantering av översvämningsöar och anslutande biflöden har varit fokusområden. Genom att utvärdera och analysera vattenutbredningar genererade med olika verktyg har en modell, SÖK-modellen, utvecklats i ArcGIS:s ModelBuilder. Genom att hantera hela vattendraget som en sammanhängande enhet hanteras anslutande biflöden på ett sätt som leder till mer korrekt beskrivning av vattenutbredning i biflöden. Den framtagna modellen minskar drastiskt behovet av manuella justeringar och skapande av polygoner med syfte att begränsa interpolationsområden samtidigt som beräkningstiden minskas. Användning av modellen på områden karterade med ett av WSP utvecklat verktyg samt med MIKE 11s inbyggda modul för översvämningskartering visar på god överensstämmelse av interpolerade vattennivåer mellan de olika verktygen, de flesta skillnader är i storleksordningen 0-1 millimeter. Detta kombinerat med stora likheter i vattenutbredning mellan de utvärderade verktygen medför att den framtagna modellen anses lika pålitlig som övriga utvärderade verktyg. Vid utvärdering av modellen på en faktisk översvämningskatastrof påvisades god överensstämmelse med observerad vattenutbredning, speciellt med hänsyn till den begränsade datamängd som funnits tillgänglig samt att den framtagna modellen inte tar hänsyn till interaktioner med urban infrastruktur eller eventuella blockader i vattendraget.

Nyckelord: Översvämningskatastrof, översvämningskartering, översvämningsmodellering, beredskapsplanering, ModelBuilder, interpolationsmetod, ArcGIS, MIKE 11, MIKE 21

Institutionen för geovetenskaper, Luft-, vatten- och landskapslära, Uppsala Universitet

Geocentrum, Villavägen 16, SE-752 36 Uppsala

ISSN 1401-5765

ABSTRACT

Development of a flood extent mapping model

Amanda Olsson

The creation of reliable flood extent maps is becoming an increasingly important question as the damage caused by natural disasters is becoming more severe and the frequency of these events is increasing. By limiting the uncertainty in flood modelling and simplifying the creation of flood extent maps, a more iterative process is made possible. This iterative process could potentially facilitate the development of more reliable emergency plans.

The purpose of this report is to describe how water levels, simulated with a hydraulic model in an efficient way, can be processed in ArcGIS to produce flood extent maps. Focus has been placed on the inclusion of flooded areas occurring on the side of the river and the improvement of handling of tributaries. Inundated areas close to a flooded river can occur due to ground water interactions and increased surface runoff being trapped in low-lying points in the terrain. By analysing flood extent maps derived by various methods, a new model was developed in ArcGIS's ModelBuilder. By viewing the entire river as a coherent unit the model produces flood extent maps with more reliable descriptions regarding connecting tributaries. This new model drastically decreases the need for manual adjustments and the creation of extra polygon shapefiles to constrain the interpolation area. At the same time, it decreases the computation time due to the fact that it is a "cleaner" model. When applying the model on areas previously mapped using a tool developed at WSP (the KOG-tool) and MIKE 11's built in tool for mapping of flood extent, it showed a high degree of accuracy. Concerning differences in water levels, the majority of raster values lay within a 0-1-millimetre range. These results imply a high credibility for the developed model. When evaluating the model against empirical flooding data, it showed satisfactory agreement, especially considering the limited water level data available and the fact that the developed model does not take into consideration interaction with urban infrastructure or potential river blockages.

Keywords: Flood modeling, flood mapping, inundation, flooding, geoprocessing, ModelBuilder, ArcGIS, MIKE 11, MIKE 21

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

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

ISSN 1401-5765

FÖRORD

Detta examensarbete har genomförts som den avslutande delen av Civilingenjörsprogrammet i Miljö- och vattenteknik vid Uppsala universitet och motsvarar 30 hp. Examensarbetet har utförts under 2015/2016 med handledning av Hanna Portin och Duncan McConnachie på WSP Sverige AB, avdelningarna Vattenbyggnad respektive Samhällsbyggnad. Ämnesgranskare har varit professor Giuliano Di Baldassarre och examinator har varit universitetslektor Fritjof Fagerlund, båda vid institutionen för geovetenskaper, Luft-, vatten- och landskapslära vid Uppsala Universitet

Jag vill tacka Giuliano Di Baldassarre och Thomas Grabs vid Uppsala Universitet för hjälp vid utformning av projektplan samt vägledning gällande litteraturstudiens innehåll och lämpliga GIS-funktioner. Giuliano Di Baldassarre tackas även för tillstånd att använda Figur 2. Ett stort tack riktas även till WSP Stockholms vattenbyggnadsavdelning, framförallt till handledare Hanna Portin som agerat bollplank under projektet, bidragit med mycket kunskap, motivation och hjälpt till med att förmedla vad som är viktigt från ett konsultperspektiv. Även Duncan McConnachie tackas för handledning under arbetet, för att ha tagit sig tid att ingående beskriva WSP:s nuvarande metod för översvämningskartering samt bidragit med hjälp vid arbete i ArcGIS.

Utöver detta riktas ett stort tack till Erik Bern och Cecilia Alfredsson på MSB som bidragit med data för utvärdering av den framtagna metoden mot faktisk översvämningsdata, samt till Vattenregleringsföretagen vilka bidragit med data för Ångermanälven.

Copyright © Amanda Olsson och Institutionen för geovetenskaper, Uppsala
Universitet

UPTEC W 16 001, ISSN 1401-5765

Publicerad digitalt vid Institutionen för geovetenskaper, Geotryckeriet, Uppsala
universitet, Uppsala, 2016.

POPULÄRVETENSKAPLIG SAMMANFATTNING

Utveckling av metod för översvämningskartering

Amanda Olsson

Cirka 40 % av alla världens naturkatastrofer orsakas av översvämningar. Översvämningarna medför skador på ekonomisk verksamhet, natur, infrastruktur, bostäder samt orsakar ungefär hälften av alla naturkatastrofrelaterade dödsfall. Att öka förståelsen för översvämningars hydrologiska egenskaper samt att på ett effektivt och korrekt sätt kartlägga förutspådda översvämningar är därför ett högaktuellt forskningsområde. De förutspådda klimatförändringarna tros öka både frekvens och magnitud av framtida översvämningar.

Framtida översvämningar förutspås genom att statistik över flödesnivåer används för beräkning av vattennivåer längs vattendrag. Dessa nivåer interpoleras sedan för att täcka hela området av intresse. I dessa modeller tas viss hänsyn till processer som pågår i vattendraget men många förenklingar görs. Vissa förenklingar, som till exempel hantering av interaktioner mellan yt- och grundvatten, görs på grund av bristande kunskapsnivå. Interaktioner mellan vattnet i vattendraget och markens grundvatten kan medföra att översvämningen inte helt begränsas till vattendragets direkta omgivning. Översvämmade områden utan synbar kontakt med vattendraget benämns översvämningsöar. Förståelsen för dessa interaktioner är bristfällig, studier på området pågår men i nuläget finns ingen allmänt applicerbar metod för hanteringen. Andra förenklingar görs för att minska beräkningstiden, en sådan är att urban infrastruktur i mer storskaliga kartläggningar ofta inte hanteras.

Kartor används ofta för att förmedla översvämningars utbredning längs vattendrag vid olika scenarion. För att skapa dessa kartor krävs analys av vattennivåer och terrängnivåer i GIS-program (Geografiska informationssystem). Tidigare studier av historiska översvämningar har visat att denna kartläggning kan återskapa vattenutbredningen tillräckligt bra för att arbetssättet ska vara lämpligt att använda för att uppfylla de krav som ställs i EU-direktivet 2007/60/EG.

Sannolikhetsbaserade kartor, kallade probabilistiska kartor, upplevs bättre lämpade för förmedling av risker associerade med översvämningar. Detta eftersom de skarpa kanterna på de klassiska översvämningskartorna annars ofta upplevs som definitiva och att boende och infrastruktur precis på "rätt" sida gränsen för översvämningen kan upplevas vara utom fara.

Denna studie har syftat till att utveckla ett effektivare arbetssätt för generering av översvämningskartor. Arbetet har genomförts på WSP:s Vattenbyggnadsavdelning vars nuvarande metod samt en omvärldsanalys har legat till grund för den modell som utvecklats. Genom att utveckla ett mindre tidskrävande arbetssätt kan noggrannare kalibrering av de modeller som används för beräkningar och fler simuleringar göras. Detta bedöms ha potential för att minska osäkerheterna i översvämningskartorna och eventuellt möjliggöra översvämningskartor som visar sannolikheten att olika områden översvämmas.

Det arbetssätt för översvämningskartering som presenteras i rapporten kopplar ihop resultat av hydrauliska modeller med geografisk data för att undersöka vilka områden som vattentäcks vid olika flödesscenarion. Största delen av den framtagna metoden består av en modell framtagen med ArcGIS:s ModelBuilder. En utvärdering av WSP:s tidigare karteringsverktyg gjordes för att undersöka vilka steg och förberedelser som var nödvändiga. En av delarna som undersöktes mer noggrant var interpolationsmetod av vattennivåer. Utvärderingen fann att beräkningstiden var en begränsande faktor för interpolering vilket motiverar användandet av en enklare linjär interpolering.

Ett av huvudsyftena med modellutvecklingen var att åstadkomma en användarvänlig metod utan krav på manuella justeringar. En användarmanual som även innehåller enklare instruktioner för felsökning har därför tagits fram. I användarmanualen beskrivs de steg som krävs för att använda modellen, främst säkerställande att beräknade vattennivåer är i ett format som ArcGIS kan läsa, samt vilka inställningar som behöver göras. Det har även i programmet lagts in förklarande texter för alla parametrar som behöver anges av användaren.

Modellen använder beräknade vattennivåer, höjddata för området runt vattendraget samt sektioner vinkelräta mot vattenflödet för att generera ett raster med vattennivåer samt ett skikt som visar vattenutredning för det valda scenariot. Dessa filer används som underlag för konsekvensklassning. Konsekvensklassningen undersöker vattendjup vid byggnader och infrastruktur för översvämnings av olika storlek. Bland annat kan resultat från modellen användas för analys av vilka områden som drabbas värst vid dammhaveri.

En utvärdering av modellen mot karteringar genomförda med MIKE 11s inbyggda skiktgenerering samt mot resultat av det verktyg som tidigare använts av WSP gjordes. Områden av komplicerad karaktär som upplevdes problematiska vid tidigare karteringar valdes för utvärderingen. Utvärderingen visade på små skillnader i vattennivåer och utbredning. På grund av brist på data över historiska översvämnings kan inget uttalande rörande vilken metod som är mest korrekt göras. För det område vattennivåer och vattenutbredning för en faktisk översvämning funnits tillgängliga presterar den framtagna modellen bra. Överensstämmelsen är, som väntat, inte lika hög som vid ovan nämnda utvärdering men tillräckligt hög för att modellen inte bör förkastas.

Att det är mycket små skillnader mellan den framtagna modellen och övriga metoder samt den minskade tidsåtgången för den framtagna modellen gör att den, utan behov av ytterligare utvärderingar, rekommenderas.

ORDLISTA OCH FÖRKORTNINGAR

100-årsflöde	Flöde som i genomsnitt förekommer vart 100:e år.
1D	Endimensionell, används för att beskriva antalet dimensioner som tas hänsyn till i hydrauliska modeller.
2D	Tvådimensionell, används för att beskriva antalet dimensioner som tas hänsyn till i hydrauliska modeller.
Aleatorisk osäkerhet	Osäkerhet orsakad av slumpen.
Alluviala jordarter	Jordarter som bildats vid avlagring av sand, lera och grus på platser som tillfälligt översvämmats.
ArcGIS	GIS-programvara utvecklat av Esri. Innehåller bland annat programmen ArcMap och ArcCatalog.
ArcMap	Den del av ArcGIS:s programpaket som används för att visualisera, editera och analysera geografisk data samt skapa kartor.
Avbördningskurva	Diagram som används för att beskriva förhållandet mellan vattenstånd och vattenföring vid en sektion av ett vattendrag
Attribute Table	Tabell som visar information lagrad i ArcGIS:s shapefiler
DEM	Digital Elevation Model (digital höjdmodell).
Deterministisk översvämningskarta	Karta över en översvämnings utbredning baserat på ett enda simuleringsresultat.
Epistemisk osäkerhet	Osäkerhet orsakad av kunskapsbrist.
GIS	Geografiska informationssystem.
HBV-modellen	Hydrologisk transportmodell för analys av bland annat vattenflöden.
Hydraulisk enhet	Används i KOG-verktyget för att dela in ett vattendrag i områden av liknande hydraulisk karaktär.
Klass I-flöde	Beräknat flöde med över 10 000 års återkomst tid.
KOG	Kartering av Översvämnings i GIS, WSP:s nuvarande metod för generering av översvämningskikt i ArcGIS.
Maskeringspolygon	Används i KOG-verktyget för att ringa in det område som innefattas av beräkningssektioner och syftar till att avgränsa interpolationsområdet.
MIKE	En serie program för hydrologisk modellering utvecklade av Danish Hydraulic Institute (DHI), finns bland annat i versionerna 11, 21, Hydro, Urban och Flood.
ModelBuilder	Verktyg i ArcGIS för att bygga modeller som sammankopplar och förenklar iterativt användande av ArcGIS-verktyg.
Natural Neighbour	Rumslig interpolering där det interpolerade värdet är beroende av omkringliggande värden samt avståndet till

Interpolering	dem. Genererar en slätare approximation av ytor än interpolering baserat på närmaste granne.
Permeabilitet	Ett mått på jordens genomsläpplighet.
Probabilistisk översvämningskarta	Karta som illustrerar sannolikheten att olika områden översvämmas. Baseras på flera simuleringar med förenklade modeller.
Raster	Ett sätt att representera data i bland annat ArcGIS som består av en matris där varje cell av förbestämmd storlek tilldelas ett värde. Raster kan användas för att illustrera rumslig utbredning och är bland annat det dataformat som används för DEM (Esri, 2008).
Rumslig interpolation	Interpolation som förutspår värden för celler i ett raster från ett fåtal punkter.
Shapefil	Datalagringsformat som används i ArcGIS för att lagra information om placering, form och egenskaper hos geografiska objekt. En shapefil kan bestå av punkter, linjer eller polygoner (Esri, 2015).
SÖK	Sammanhängande översvämningskartering, modell för översvämningskartering som hanterar hela vattendraget som en enhet utvecklad som en del av detta examensarbete.
TIN	Triangulated Irregular Network, ett dataformat bestående av icke överlappande trianglar som vanligen används för att lagra och visa ytmodeller (Esri, n.d.).
Öpolygon	En polygon som representerar en översvämningsö i ArcGIS.
Översvämningsö	Vattenmassa utan direkt anslutning till vattendraget som uppstår vid karteringen.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1	Inledning	1
1.1	Syfte	2
1.2	Frågeställningar	2
1.3	Avgränsningar	2
2	Bakgrund	4
2.1	EU:s översvänningsdirektiv	5
2.2	Interaktioner mellan yt- och grundvatten	6
2.3	Översvämningars strukturella påverkan på vattendrag och dess omgivning ...	7
2.4	Utformning av översvänningskartor	7
2.5	Översvänningsmodellering	8
2.5.1	Krav på indata	11
2.5.2	Kalibrering och validering	12
2.5.3	Begränsningar	13
2.5.4	Uppskattning av modellosäkerhet	13
2.6	Omvärldsanalys: Metoder för översvänningskartering	14
2.7	Översvänningskartering i Sverige	15
2.7.1	WSP:s metod för översvänningskartering	16
2.8	Verktyg i ArcGIS av intresse för översvänningskartering	18
2.8.1	Sammankoppling av vattennivådata med beräkningssektioner	18
2.8.2	Interpolering av vattennivåer	18
2.8.3	Sammanfogande av raster	19
2.8.4	Jämförelse med terrängmodell	19
3	Metod	20
3.1	Utvärdering av KOG-Verktyget	20
3.2	Framtagande av GIS-metod	20
3.3	Utvärdering av framtagen GIS-metod	21
3.4	Undersökning av rimlighet för volymantagande	23
4	Resultat	25
4.1	Utvärdering av KOG-verktyget	25
4.2	Framtagen GIS-metod	25
4.3	Utvärdering av framtagen metod	28
4.3.1	Utvärdering mot KOG-metodens vattenutbredning	28
4.3.2	Utvärdering mot KOG-metodens vattennivå raster	30
4.3.3	Utvärdering mot MIKE 11-genererade skikt för Suseån	32

4.3.4	Utvärdering mot MIKE 11s vattennivåer för Suseån	34
4.3.5	Utvärdering mot MSB:s skikt för 2014 års översvämning i Suseån	36
4.4	Antagande om volym	37
5	Diskussion	38
5.1	Tilltro till översvänningskartor	38
5.1.1	Översvämningars påverkan på omgivningen	39
5.1.2	Översvänningsöar	40
5.2	2D-modellering och volymsantagande	41
5.3	Utvecklingspotential för WSP:s nuvarande metod	41
5.3.1	Hydrauliska enheter och maskeringspolygoner	42
5.4	Framtagen modell	43
5.4.1	Automatisering vs. kontroll av processen	43
5.4.2	Interpolationsmetod	43
5.4.3	Hantering av översvänningsöar	44
5.5	Utvärdering av framtagen modell	45
5.5.1	Utvärdering mot KOG-verktyget	45
5.5.2	Utvärdering mot MIKE 11	46
5.5.3	Utvärdering mot verklig översvämning i Suseån	46
5.6	Vidare studier	47
5.6.1	Modellutveckling	48
6	Slutsatser	49
	Referenser	50
	Litteratur	50
	Personlig kommunikation	54
	Bilagor	55
	Bilaga 1: Utvärdering av interpolationsmetod samt behov av maskeringspolygoner och hydrauliska enheter	55
	Bilaga 2: Kartor	73
	Ångermanälven	73
	Suseån	81
	Bilaga 3: Användarmanual	92
	Bilaga 4. Modellering i MIKE 21	96

1 INLEDNING

Globalt sett utgörs cirka 40 % av alla naturkatastrofer av översvämningar. De är även orsaken till ungefär hälften av alla naturkatastrofrelaterade dödsfall i världen (Di Baldassarre m.fl., 2010). I Sverige har översvämningar hittills främst orsakat skador på ekonomisk verksamhet, få dödsfall har rapporterats (Alfredsson, 2012). Huruvida detta kommer gälla även i framtiden är osäkert då risker associerade med översvämningar förutspås öka till följd av fler och kraftfullare regn, ändrad markanvändning samt expansion av urbana miljöer (Di Baldassarre och Uhlenbrook, 2012). Det förutspås att förluster till följd av översvämningar i Sverige kommer uppgå till 110 miljoner USD per år i framtiden (UN-ISDR, 2016). Enligt EU-direktivet (2007/60/EC) om översvämningsrisk ska alla vattendrag som riskerar att drabbas av översvämningar kartläggas och riskplaner utarbetas för att minimera översvämnings negativa påverkan på människor och miljö. Översvämningsrisken förväntas inte vara konstant över tid, därför kräver direktivet att översvämningskarteringen ses över var sjätte år. Kartornas syfte är att öka medvetenheten om översvämningsrisk samt underlätta för beslutsfattare, det är därför viktigt med korrekta och lättolkade kartor (de Moel m.fl., 2009).

I Sverige har samtliga större vattendrags översvämningsrisk karterats enligt liknande metoder av olika konsultbolag. Vattennivåer beräknas med en hydraulisk modell, vanligen MIKE 11 eller HEC-RAS, varefter de relateras till en högupplöst terrängmodell för att avgöra vilka områden som ligger under vatten och löper risk att översvämmas vid olika scenarion (Jewert m.fl., 2015). Eftersom inbyggda metoder för generering av översvämningsrisk i hydrauliska modelleringsprogram upplevs beräkningstunga och tidskrävande har alternativa metoder utvecklats för att generera översvämningsrisk från beräknade vattennivåer i GIS-miljö (Geografiska informationssystem). WSP använder sig av en samling modeller i ArcGIS för skiktgenereringen, kallat KOG-verktyget. Metoden är tidskrävande och i behov av utveckling och effektivisering. Manuella justeringar krävs för att modellen ska generera rättvisande vattenutbredning, framförallt i områden med anslutande biflöden (McConnachie, 2013). Om genereringen av dessa skikt kan effektiviseras och behovet av att manuellt korrigera detaljer i ArcGIS minimeras kan mer resurser läggas på en iterativ process för den hydrauliska modelleringen av vattendragen och minimering av modellosäkerheter. Något som det idag finns begränsat med tid för i den konkurrenspressade konsultbranschen.

1.1 SYFTE

Syftet med examensarbetet var att utveckla en metod för översvämningskartering som både beskriver de naturliga översvämningsprocesserna korrekt och effektiviserar karteringen genom att minska behovet av manuella justeringar. Metodutvecklingen fokuserar på delen av översvämningskartering som från beräknade vattennivåer genererar vattenutbredningskartor. I den metod som tidigare använts krävs en stor grad handpåläggning för att säkerställa bland annat att hopkoppling av vattennivåer och beräkningssektioner sker för rätt sektioner, att korrekta vattenutbredningsskikt uppstår vid anslutande biflöden, samt att översvämningsöar, vattenmassor utan direkt anslutning till vattendragen, inte uppstår i terrängens lågpunkter. I examensarbetet togs en ny metod fram som hanterar dessa problem. Den framtagna metoden jämfördes med redan genomförda översvämningskarteringar för att utvärdera dess lämplighet.

1.2 FRÅGESTÄLLNINGAR

- Hur kan översvämningskartering som kombinerar vattennivådata från hydrauliska modeller med terrängdata effektiviseras på ett sådant sätt att översvämnings natur och utbredning beskrivs korrekt?
 - Hur kan hanteringen av biflöden vid interpolering av vattennivåer förbättras?
 - Är det i översvämningskartering rimligt att ta bort allt vatten som inte är kopplat till huvudvattendraget?
- Skiljer sig resultat från den framtagna metoden mot resultat från befintliga metoder?
- Hur bra beskriver den framtagna metoden verkliga översvämnningar?

1.3 AVGRÄNSNINGAR

- Effekter av översvämnningar på vattenkvalitet behandlas inte i rapporten. Fokus har varit översvämnings strukturella påverkan på sin omgivning; påverkan på flodfårans geometri och alternativa flödesvägar under översvämnningar.
- Den påverkan som urban infrastruktur utgör på översvämnings utbredning har inte ingått i examensarbetet.
- Påverkan av fördämningar längs vattendrag orsakade av bland annat drivgods på översvämnings utbredning har exkluderats.
- Utveckling av metoden för översvämningskartering har enbart syftat till att förbättra den del av karteringen som omvandlar beräknade vattennivåer i MIKE 11 till översvämningskikt i ArcGIS. Dock beskrivs och diskuteras beräkningen av vattennivåer i rapporten samt översvämningskartors användningsområde med syfte att ge läsaren en helhetsbild av översvämningskarteringar.
- Det antas att volymen vatten inte är en begränsande faktor vid illustrering av översvämnings utbredning.
- Omvärldsanalysen, med syfte att undersöka hur översvämningskartering genomförs i olika länder, har begränsats kraftigt av att de flesta dokument inte funnits tillgängliga på andra språk än landets egna och automatisk översättning bedömts otillräcklig.

- Eftersom MIKE 11 endast kan hantera raka beräkningssektioner har korsande sektioner vid meandrande vattendrag tidigare medfört problem vid interpolering av vattennivåer i ArcGIS. Detta problem hanteras inte i examensarbetet eftersom MIKE 11 kommer ersättas av det nya programmet MIKE HYDRO i 2016 års utgåva. MIKE HYDRO möjliggör användande av vinklade beräkningssektioner i den hydrauliska modelleringen. Vilket löser tidigare problem.

2 BAKGRUND

En översvämning uppstår när ett område, som vanligtvis inte står under vatten, tillfälligt vattentäcks. I Sverige delas översvämningar in i tre kategorier: översvämningar utmed vattendrag och sjöar, kustöversvämningar orsakade av stigande havsnivåer samt översvämningar som sker i områden utan synlig anslutning till vattendrag vid kraftig nederbörd. Till den tredje kategorin räknas grundvattenöversvämningar orsakade av att grundvattennivån når markytan. Översvämningar längs vattendrag är den vanligaste sortens översvämning och orsakas vanligen av långvarigt regn eller snöfall, även översvämningar orsakade av dammbrott och andra konstruktionshaverier har förekommit (Alfredsson, 2012). Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB) genomförde år 2010 en inventering av översvämningar i Sverige vilken fann att det mellan åren 1901 och 2010 skett 190 stycken översvämningar med betydande, ogynnsam påverkan på människors hälsa, miljö, kulturarv eller ekonomisk verksamhet. MSB:s inventering visade även att en stor del av de betydande översvämningarna skett under de senare åren, men belyser att detta kan bero på tillgängligheten av dokumenterade fall samt att samhällsutvecklingen ökat sårbarheten för översvämningar. Alfredsson (2012) påpekar att antalet översvämningar kan vara högre än angivet i inventeringsrapporten eftersom inventeringen inte genomförts centralt. Lokala aktörer har själva avgjort huruvida en översvämning bedömts betydande eller ej.

Översvämningar orsakade av skyfall är vanligt förekommande och orsakar stora skador, dock är varje sådan översvämning vanligen geografiskt begränsad till ett mindre område (Alfredsson, 2012). Frekvensen av översvämningar orsakad av kraftig nederbörd förväntas öka i framtiden då såväl nederbördsintensitet som antal nederbördstillfällen förutspås öka (Rautio m.fl., 2015). De flesta översvämningar har negativ påverkan på ekonomisk verksamhet, oftast skador på bostäder och transportsystem. Dokumentation rörande de skador svenska översvämningar utgjort på miljön är bristfällig. I de fall dokumentation finns berörs främst förorenad mark, läckage av orenat avloppsvatten eller förorenade dricksvattentäkter (Alfredsson, 2012). Översvämningars påverkan på vattendrags geometri och beteende diskuteras inte i MSB:s inventering av översvämningar, men kan ha stor påverkan då översvämningar utsätter flodbanken för starkt eroderande krafter (Environment, Heritage & Local Government och The Office of Public Works, 2009; Wett m.fl., 2002). Översvämningar interagerar med sin omgivning, vattnet kan dämmas då drivgods i översvämningens omgivning (till exempel bilar, kollapsade byggnader och trädstammar) förs med till en bro eller kulvert där det hindrar vattenflödet och påverkar vattnets flödesdynamik (de Moel m.fl., 2009; Dottori m.fl., 2013). Detta såväl som flödes hastigheten och hur snabbt vattnet förväntas stiga är viktiga aspekter för bedömning av skador till följd av en översvämning (de Moel m.fl., 2009).

Översvämningar i urbana miljöer påverkas av komplexa interaktioner med urban infrastruktur, till exempel med dag- och dricksvattennät. Dessa interaktioner medför att urbana översvämningar potentiellt är mindre resilianta än översvämningar som sker på landsbygden (Di Baldassarre, 2012).

Översvämningsrisken tros öka i framtiden till följd av demografiska förändringar, ändrad markanvändning, klimatvariationer, förändring av teknologiska och socioekonomiska förhållanden, industriell utveckling, expansion av urbana miljöer samt utveckling av viktig infrastruktur i översvämningsbenägna områden. Dagens managementstrategi är riktad mot att leva i samvaro med och anpassa sig efter översvämningar (Di Baldassarre och Uhlenbrook, 2012). Rumslig utbredning av översvämningar är därför viktig att förutspå för att reducera den risk som är associerad med bosättningar i anslutning till vattendrag samt för att möjliggöra beredskapsplanering. Detta gör kartläggning av översvämningsrisken till en aktuell forskningsfråga (Solomatine m.fl., 2014).

2.1 EU:S ÖVERSVÄMNINGSDIREKTIV

Europiska Unionen (EU) införde 2007, efter problem med omfattande översvämningar i flera medlemsländer, direktivet 2007/60/EG. Genom att systematiskt kartlägga översvämningsrisker och utveckla riskhanteringsplaner för hotade områden ska medlemsländerna aktivt arbeta för att minska negativa konsekvenser av översvämningar (de Moel m.fl., 2009). Historiska översvämningar för vilka det bedöms troligt att de i dagsläget hade medfört ogynnsam påverkan på människors hälsa, miljö, kulturarv eller ekonomisk verksamhet identifieras som första steg i implementeringen av direktivet. Beroende på medlemsstaternas behov ska även en bedömning av framtida översvämningar göras (Europaparlamentet och Europeiska Unionens råd, 2007). I Sverige sker implementeringen av direktivet i tre steg där det inledande var en riskbedömning för att bestämma vilka områden som bedöms vara av betydande risk. MSB:s inventering, vars resultat redogörs för i avsnitt 2, utgjorde en viktig del av detta steg. Därefter ska kartor som illustrerar översvämningsrisken tas fram och riskhanteringsplaner utvecklas (Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, 2012). Eftersom översvämningsrisk inte anses konstant över tid kräver direktivet att översvämningskartor och riskhanteringsplaner revideras var sjätte år (de Moel m.fl., 2009).

Modellering av översvämningar har visats reproducera historiska översvämningar tillräckligt bra för att användas som ett verktyg för att uppfylla kraven på bedömning av översvämningsrisk enligt kraven i EU-direktivet 2007/60/EG (Masoero m.fl., 2013). Arbetet med kartläggning av översvämningsrisk ska enligt EU:s direktiv ske baserat på avrinningsområden (Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, 2012), vilket försvårar arbetet då processer verksamma inom ett avrinningsområde varierar över tid och rum. Svårigheter associerade med regionalisering av småskaliga mätningar till hela avrinningsområdet samt korrekta observationer av dominerande hydrologiska processer gör uppskalning av bedömningen av översvämningsrisk till hela avrinningsområdet komplicerad (Uhlenbrook, 2006).

2.2 INTERAKTIONER MELLAN YT- OCH GRUNDVATTEN

De områden där yt- och grundvatten interagerar bör beaktas som potentiella riskområden vid översvämningar (Rautio m.fl., 2015). I en studie över översvämningar i Europa bedömdes grundvattenöversvämningar orsakade av höga vattennivåer i omkringliggande vattendrag vanligt förekommande, med signifikanta negativa effekter som möjliga påföljder (MacDonald, 2010). Wett m.fl. (2002) undersökte läckage från floder under översvämningar och fann att översvämningar ökade flödet från vattendrag till grundvatten. I översvämningsmodellering antas det ofta att vatten sprids över hela flodbädden, detta tar inte hänsyn till den rumsliga fördelning av vatten från olika källor som sker under översvämningar (Chormanski m.fl., 2011).

Vattennivån i ett vattendrag påverkar grundvattennivån i omkringliggande jordar (Korkka-Niemi m.fl., 2012; MacDonald m.fl., 2014; Pirastru och Niedda, 2013; Vekerdy och Meijerink, 1998; Ward m.fl., 1999; Wett m.fl., 2002), många vattendrag varierar rumsligt mellan en nettoförlust och en nettovinst av grundvatten (MacDonald m.fl., 2014). Dessa grundvattenflöden samt in-/exfiltration i grundvattenakvifärer är oregelbundna i tid och rum (Uhlenbrook, 2006). Försök att identifiera och kvantifiera flödet har gjorts främst med spårämnesförsök (Capo m.fl., 1998; Chormanski m.fl., 2011; Wett m.fl., 2002) och analys av temperaturförändringar längs ett vattendrag (Chormanski m.fl., 2011; Korkka-Niemi m.fl., 2012; Rautio m.fl., 2015). Korkka-Niemi m.fl. (2012) fann att flödet i zoner där grundvatten och ytvatten interagerar har signifikant påverkan på vattenvolymen i det undersökta vattendraget. Undersökningar har resulterat i användbara, platsspecifika resultat. De har dock inte resulterat i allmängiltiga slutsatser applicerbara på grund- och ytvatteninteraktioner i svenska vattendrag. Att interaktioner mellan grund- och ytvattentäkter är vanligt förekommande längs vattendrag tyder på att hantering av vattenresurser lämpligast görs på ett interagerat sätt, vilket belyses i EU:s ramvattendirektiv.

När den ökande grundvattenbildningen överskrider akvifärens lagringskapacitet sker grundvattenöversvämning. Vid långa, intensiva nederbördsfall kan den omättade zonen vattenmättas, vilket hindrar infiltration och ökar ytavrinningen. Den ökade ytavrinningen ansamlas i terrängens lågpunkter där den tillsammans med den höga grundvattennivån leder till översvämning. Hur sannolikt det är att grundvattenöversvämning sker i ett område beror på akvifärens egenskaper, främst dess lagringskapacitet (Capo m.fl., 1998). Grundvattennivåer i området runt ett vattendrag reagerar olika snabbt på förändring av vattennivå i vattendraget. I områden nära vattendraget sker en snabb ökning av grundvattennivåer vid en översvämning medan det i områden på längre avstånd från vattendraget sker en långsammare ökning. Vid återgång till normala grundvattennivåer är sambandet omvänt, förhöjda grundvattennivåer i områden på större avstånd från vattendraget består under en längre tid (MacDonald m.fl., 2014). Den lokala geologin i området är en avgörande faktor för hur länge grundvattenöversvämningar består (Capo m.fl., 1998).

Att kombinera en statistisk beskrivning av hur grundvatten reagerar på nivåökning i ett vattendrag med hydrauliska analyser är ett angreppssätt för att genom modellering förstå interaktionerna mellan yt- och grundvatten. Vekerdy och Meijerink (1998) föreslog en metod beskriven av Swain (1994) som kombinerar mjukvarorna BRANCH och MODFLOW för att beräkna interaktioner mellan yt- och grundvatten.

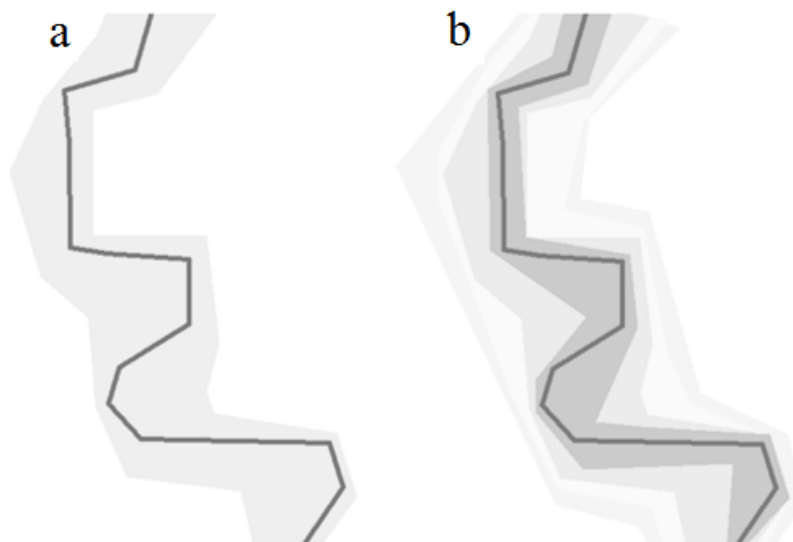
2.3 ÖVERSVÄMNINGARS STRUKTURELLA PÅVERKAN PÅ VATTENDRAG OCH DESS OMGIVNING

När vattennivån i ett vattendrag överskrider flodfårans kant och översvämmar flodbädden sker interaktioner mellan det meandrande flödet i huvudkanalen och flödet på flodbädden. Det vattenskikt som täcker flodbädden är grunt i förhållande till sin utbredning, karakteriseras av snabb utbredning och reträtt samt kan antingen öka vattnets transportmöjligheter eller agera som ansamlingspunkt. Mer forskning behövs för att förstå och kvantifiera de energiförluster som sker vid vattnets interaktioner med bland annat växtlighet. En viktig aspekt för översvämnings påverkan på omgivningen är storlek och hastighet för flodvågen vilka båda minskar nedströms på grund av friktionsförluster (Di Baldassarre, 2012).

I hydraulisk modellering antas ofta flodfårans geometri vara opåverkad av det ökade flödet vid en översvämning, ett antagande som inte alltid är lämpligt för översvämnings av större magnitud (Di Baldassarre, 2012). Extrema översvämnings kan ha en abrupt och långvarig påverkan på landskapet (Baynes m.fl., 2015; Lamb och Fonstad, 2010; Pappenberger m.fl., 2006). För stora översvämnings i områden med alluviala jordarter och vattenutbredning över flodbädden har förändringar i geometri liten påverkan på översvämnings utbredning. Detta eftersom en betydande del av flödet sker på den relativt stabila flodbädden, utanför den normala huvudfåran där förändringar av geometrin sker (Di Baldassarre, 2012).

2.4 UTFORMNING AV ÖVERSVÄMNINGSKARTOR

Översvämningsrisk illustreras vanligtvis med kartor som markerar områden med risk för översvämning (Di Baldassarre m.fl., 2010). Kartornas syfte är att verka som informationsverktyg för beslutsfattare samt höja medvetenheten om översvämningsrisker i samhället (de Moel m.fl., 2009). Alltför detaljerade kartor är ofta inte nödvändigt då det kan inviga läsaren i en falsk trygghet (Dottori m.fl., 2013). Det är därför viktigt att kommunicera resultaten på ett tydligt sätt. Beven m.fl. (2015) föreslår användande av kartor som istället visar sannolikheten för att olika områden översvämmas för att förmedla osäkerheten i resultaten och ge stöd åt beslutsfattare. Det traditionella sättet att illustrera översvämningsrisk, det deterministiska, skiljer sig från det probabilistiska med illustrering av sannolikheter främst genom hur resultat genereras och illustreras (Figur 1). I probabilistisk kartering används förenklade modeller för att beskriva vattendrags hydrauliska beteende då det möjliggör ett stort antal simuleringar med en rad olika parameteruppsättningar. Detta medför att probabilistiska resultat är mindre känsliga för fel i enskilda parametervärden. Att probabilistiska metoder uppmuntras av vissa framför deterministiska beror delvis på att de i större utsträckning upplevs ta hänsyn till modellosäkerhet och inte resulterar i felaktigt precisa resultat (Di Baldassarre m.fl., 2010). Trots att probabilistiska metoder anses bättre beskriva osäkerhet i översvämningsmodellering och att intresset för att bedöma denna osäkerhet är stort är det få myndigheter, konsulter och miljöbyråer som använder sig av osäkerhetsanalyser och probabilistisk kartläggning av översvämnings (Di Baldassarre och Uhlenbrook, 2012).



Figur 1. Illustration av skillnaden mellan en (a) deterministisk och en (b) probabilistisk översvämningskarta. I den probabilistiska kartan symboliserar de olika färgerna olika sannolikhet för att det området översvämmas, mörkare färger motsvarar högre sannolikhet för översvämning. Den deterministiska kartan visar endast resultat från en simulering.

Kartor som visar översvämningsdjup kan komplettera de mer frekvent förekommande utbredningskartorna och kan särskilt i urbana områden eller i områden med brant topografi vara speciellt viktiga då vattennivåer i kanten av utbredningsskiktet kan vara höga. Även dessa kartor kan utformas för att illustrera ett värde på vattennivån eller sannolikheten att vattennivån når över ett visst värde (Beven m.fl., 2015).

2.5 ÖVERSVÄMNINGSMODELLERING

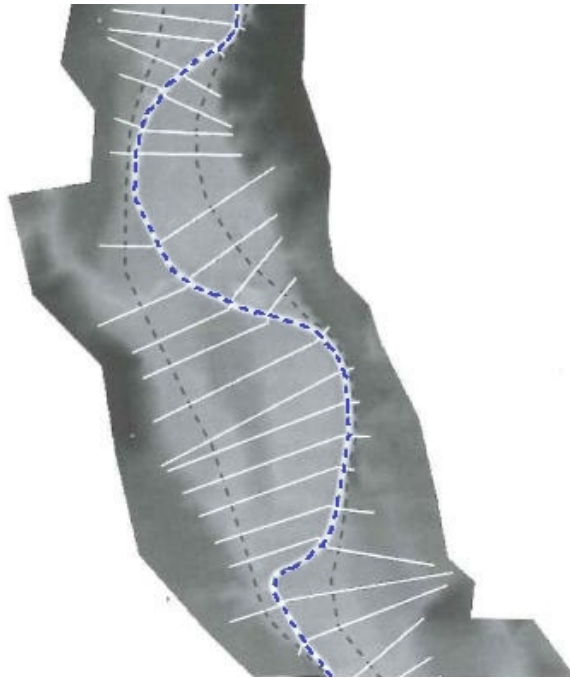
Vattennivåer vid översvämningsmodelleras vanligen med endimensionella (1D) eller tvådimensionella (2D) hydrauliska modeller vilka jämförs med topografisk information för att generera vattenutbredningsskikt (Md Ali m.fl., 2015). En skillnad mellan en- och tvådimensionella hydrauliska modeller är att i en 1D-modell förutsätts vattnet strömma i en, vid modellstart, definierad riktning. I 2D-modeller tillåts vattnet flöda fritt utanför den normala älvfåran (Nordblom och Petzén, 2014). 2D-modeller ställer högre krav på beräkningskapacitet och anses vara den högsta modellgrad som är praktiskt tillämpbar. Om det för en 1D-modell krävs en beräkningstid i storleksordningen minuter motsvaras det för en 2D-modell av timmar eller dagar. Kombinationer av en och tvådimensionella modeller har blivit vanligare, då används en 1D-modell för att beskriva flödet i kanalen och en 2D-modell för att beskriva flödet över flodbädden (Di Baldassarre, 2012).

Exempel på endimensionella hydrauliska modeller är HEC-RAS utvecklad av US Army Corps of Engineers (USACE) och MIKE 11 utvecklat av Danish Hydraulic Institute (DHI) (DHI, n.d.). År 2014 presenterade DHI den nya programvaran MIKE HYDRO, ett verktygspaket där samtliga av MIKE:s vattenresursprodukter succesivt kommer att integreras (DHI, 2014a). 2014 års version av MIKE HYDRO var fokuserat mot vattenbalansdistribution. Möjlighet att genomföra hydrodynamiska beräkningar i MIKE HYDRO introducerades först i 2016 års utgåva vilken lanserades i december 2015 (Eduardo, 2015). I 2016 års utgåva ersätts MIKE 11 därmed helt av MIKE HYDRO River (DHI, 2015a). Då MIKE HYDRO är ett nytt verktyg är få vetenskapliga artiklar som utvärderar dess lämplighet för översvämningskartering publicerade.

För 2D-modellering kan exempelvis MIKE 21 av DHI eller TELEMAC-MASCARET användas. Specifikt för översvämningsmodellering rekommenderas programmet MIKE FLOOD av DHI som sammankopplar MIKE 11 och 21 för att generera rättvisande vattenutbredning över flodbäddar vid översvämnings (Eduardo, 2015).

Trots att 1D-modeller inte anses tillräckliga för att beskriva vattendragets hydrauliska egenskaper och flöde över flodbädden har studier visat att en 1D-modell vid jämförelse med historiska översvämningspresterar resultat på en nivå väldigt nära de från 2D-modeller. En anledning till detta är de omfattande osäkerheterna som påverkar resultaten (se avsnitt 2.5.4). 1D-hydrauliska modeller har visats prestera godtagbara resultat för översvämningsutbredning i komplexa nätverk av vattendrag (Md Ali m.fl., 2015). Detta gäller i fall då 1D-modeller baserats på högupplöst topografisk data samt att de hydrauliska förhållandena inte är av sådan karaktär att endast 2D-modeller kan beskriva dem. För översvämningskrävs ofta 2D-modellering för att beskriva följder av dammbrott eller fallerade vallar (Castellarin m.fl., 2009). Eftersom implementeringskostnader associerade med 2D-modeller är höga har varianter av dem med minskad komplexitet och lägre krav på beräkningskapacitet ökat i popularitet. Dessa beskriver det hydrauliska beteendet hos naturliga vattendrag bra (Castellarin m.fl., 2009; Solomatine m.fl., 2014).

Vid modellering med 1D-hydrauliska modeller, vilka är vanligast, representeras flodbäddens geometri av tvärsektioner (Di Baldassarre, 2012). Vattennivå och flödes hastighet antas vara konstanta i sektionerna som vanligen sätts till att vara vinkelräta mot vattenflödet i huvudfåran (Jewert m.fl., 2015). Tvärsektionerna bör vara utspridda längs vattendraget för att ge en korrekt beskrivning av vattendragets utseende. Att använda tvärsektioner vinkelräta mot flödet i huvudvattenfåran medför ofta en underskattning av vattennivåer eftersom tvärsektionens area överskattas. Alternativet att använda sektioner som är vinkelräta mot medelflödet över hela det översvämmade området kan inte reproducera vattenutbredning under låga flöden. En kombination av dessa, tvärsektioner som är styckvis vinkelräta mot såväl flödet i huvudvattenfåran som flodbäddens flöde (Figur 2), genererar acceptabla vattenutbredningsskikt under flera flödesscenarion. Det är främst vid meandrande delar av ett vattendrag som de olika dragningarna av sektioner påverkar resultatet (Di Baldassarre, 2012).



Figur 2. Illustration av dragning av tvärsektioner (vita linjer) vinkelräta mot flöde i både huvudfåran (streckad blå linje) och på flodbädden (streckad grå linje) (Di Baldassarre, 2012).

Riktlinjer för placeringen av sektionerna är få och godtyckliga. De riktlinjer som finns rekommenderar placering vid start och slutpunkter för vattendraget, upp- och nedströms broar och andra fördämningar, vid samtliga vattennivåstationer, utsläppspunkter och sammankopplingar med andra vattendrag, samt vid platser som av modelleraren anses särskilt intressanta (Ali m.fl., 2015; Castellarin m.fl., 2009). Dessa vaga riktlinjer medför att det anses osannolikt att två experter skulle välja samma placering av tvärsektioner. Eftersom vattenutbredningen beror på beräkningssektionernas placering påverkar valet av modellerare resultatet. En avvägning behöver göras när antalet tvärsektioner fastslås eftersom för många sektioner kan leda till minskad modellnoggrannhet orsakad av additiva avrundningsfel (Castellarin m.fl., 2009). Längden för sektionerna bör motsvara största modellerade utbredning, vilken ofta överskrider uppmätta högsta nivåer (DHI, 2014b).

Ett sammanhängande raster med vattennivåer beräknas genom interpolation av de i sektionerna beräknade vattennivåerna. För de båda vanligaste modellerna, MIKE 11 och HEC-RAS, används linjär interpolation för att beräkna vattennivåer mellan beräkningssektionerna (DHI, 2009; USACE, 2010a). Vattennivårastret jämförs med en terrängmodell, i de fall vattennivån är högre än markytan anses området översvämmat (Di Baldassarre, 2012).

För en 2D-modell används istället ett rutnät för att beskriva vattendraget och omkringliggande terräng. Genom att hantera vattentransport automatiskt kan en 2D-modell beräkna vattnets utbredning för olika tidpunkter (Nordblom och Petzén, 2014).

Huruvida hänsyn till förväntade framtida förändringar av översvämningars magnitud och frekvens tagits hänsyn till i simuleringsscenarion eller inte är av vikt för den tilltro som bör sättas till översvänningskartor. Wilby m.fl. (2008) föreslår att flödesökningen höjs succesivt för att korrigera för de framtida högre flödena vid kraftiga regn. Hur stor korrigeringsfaktor som bör användas för flödet kan komma att ändras vid nya resultat gällande klimatförändringars förväntade påverkan på hydrologiska processer. SMHI har tagit fram förväntad förändring av flöden i de svenska vattendragen som kan användas i översvänningsmodellering (Portin, personlig kommunikation 2015).

2.5.1 Krav på indata

För att genomföra beräkningar med de hydrauliska modelleringar som ligger till grund för översvänningskartering krävs data som beskriver terrängens utseende, kanalens råhet samt förhållande mellan vattennivå och flöde (Pappenberger m.fl., 2006; Solomatine m.fl., 2014). 1D-modeller baserade på St. Venants ekvationer (exempelvis MIKE 11 och HEC-RAS) kräver villkor för upp- och nedströmsränder för att beräkna vattennivåer (Pappenberger m.fl., 2006). Ofta uppskattas en hydrograf från uppmätta vattennivåer med hjälp av en avbördningskurva för randvillkor (Solomatine m.fl., 2014). Råheten beskriver hur mycket vattnet bromsas. Denna parameter tillsammans med fårans geometri anses vara av störst betydelse vid modellering av översvänningsutbredning och flödesbeteende (Pappenberger m.fl., 2005). Om vetskap gällande bestämmande sektioner finns används dessa lämpligen som rand i modelleringen. För att beräkna vattennivåer med hydrauliska modeller krävs även information om flodfårans geometri. Tillgång till bottendata är ofta bristfällig och fås främst genom ekolodning eller inmätning av bestämmande sektioner (Portin, personlig kommunikation 2015).

Den ökade tillgången på högupplöst terrängdata från laserscanningar har medfört en övergång från datafattig till datarik översvänningsmodellering. Beskrivningen av vattendrags och flodbäddars geometri är avgörande för att uppskatta översvämningars utbredning (Di Baldassarre och Uhlenbrook, 2012). Noggrannheten för den terrängmodell (DEM) som används som indata är därför av stor vikt för en simulerad översvännings utbredning. Md Ali m.fl., (2015) visade att modellering av översvämningars utbredning påverkas mer av noggrannhet än av upplösning på terrängmodellen. Detta stämmer överens med slutsatser dragna av Dottori m.fl. (2013) som gör gällande att högre upplösning inte alltid kan likställas med bättre resultat eftersom andra begränsningar och osäkerheter spelar roll. Samtliga osäkerhetskällor bör identifieras och utvärderas för att basera modellen på bästa möjliga indata.

Övergången från datafattig till datarik modellering gäller inte i lika stor grad tillgång till bottendata. Om avståndet mellan beräkningssektionerna är stort sker interpolering av bottendata i den hydrauliska modellen (DHI, 2014b). Merwade m.fl. (2008) utvärderade och kritiserade noggrannheten hos den interpolering som används. De belyser vikten av ett GIS-verktyg för interpolering av flodbäddar som tar hänsyn till flödesriktning. Merwade (2014) har publicerat ett verktyg för detta som uppdateras löpande.

2.5.2 Kalibrering och validering

Kalibrering av en översvämningsmodell syftar till att anpassa modellparametrar för att minimera skillnader mellan modellresultat och observationer. Förhoppningen är att åstadkomma en rättvisande bild av vattennivåer och vattenutbredning. Parametrar som beskriver fysikaliska processer justeras för att åstadkomma bästa möjliga resultat, vilket inte alltid fås av de i verkligheten korrekta parametervärdena (Di Baldassarre, 2012). Önskvärt är att kalibrera och validera alla modeller mot historiska översvämningar i området av liknande storlek som de modellen ska används för. Jämförelse med historiska översvämningar försvåras av att vattendragets geometri och rumsliga utbredning kan ha förändrats över tid vilket påverkar översvämnings utbredning (de Moel m.fl., 2009). Kalibrering av modellerna mot uppmätta vattennivåer är att föredra för att undvika osäkerheter associerade med avbördningskurvor. Utbredningskartor över översvämningar baserade på satellitbilder kan användas för att utvärdera och jämföra olika modeller. Dessa är främst lämpliga för vattendrag vars utbredning inte begränsas av exempelvis vallar (Di Baldassarre, 2012).

Det har visats att välkalibrerade 1D översvämningsmodeller ibland presterar dåligt när de används för att förutspå event av större eller mindre magnitud än de som ingick i kalibreringsintervallet. Att råhetparametrarnas storlek varierar starkt vid olika storlekar på översvämningar är en av anledningarna till att modeller presterar otillräckligt utanför sitt kalibreringsintervall. Problem med osäkra simuleringar utanför kalibreringsområdet kan inte helt avhjälpas med användning av mer avancerade 2D-modeller. Prestationen för 2D-modeller avtar dock inte lika snabbt vid simulering utanför optimala parameterstorlekar. Användning av olika sorters data i kalibreringsprocessen kan påverka simuleringsresultatet då olika dataset innehåller olika sorters felkällor (Di Baldassarre m.fl., 2010).

Möjligheten att kalibrera och validera modeller begränsas starkt av datatillgänglighet gällande både modellens indata samt tillgänglighet till historisk översvämningsdata. Ofta kalibreras modeller för att de ska prestera bra med hänsyn till hela modelldomänen, detta kan leda till att prestationer på lokalt intressanta områden inte är av samma höga överensstämmelsegrad. En kompromiss mellan att anpassa modellen till lokala detaljer och överanpassning är ofta nödvändig. Viktigt att ha i åtanke är att flera olika parameteruppsättningar kan ge samma anpassningsgrad vid kalibrering (Pappenberger m.fl., 2007). Dessutom visar kalibrering av vattenutbredning mot utbredning enligt satellitdata att satellitdatats upplösning påverkar vilken parameteruppsättning som anses optimal (Di Baldassarre, 2012).

2.5.3 Begränsningar

Trots att tidigare hinder för översvämningsmodellering gällande brist på detaljerad topografisk data och beräkningar över datorers kapacitet har överkommits bör inte för stor tilltro sättas till modelleringsresultaten. Det är möjligt att tillgänglig högupplöst data leder till att mindre fel förstoras genom att fysikaliska processer med avgörande roll för delar av vattendraget som anses obetydande på större skala förstoras istället för negligeras (Dottori m.fl., 2013). Liknande gäller för topografisk data där viadukter och liknande ibland felaktigt tolkas som barriär trots att de inte hindrar vattenflöde vid en översvämning (de Moel m.fl., 2009). För ytterligare framsteg inom översvämningsmodellering krävs bättre teknik för att förstå och kvantifiera vilken roll flödesvägar som binder ihop olika vattendrag spelar samt hur vattendragets strömningshastighet är relaterat till vågutbredning i mark och grundvatten (Di Baldassarre och Uhlenbrook, 2012).

2.5.4 Uppskattning av modellosäkerhet

Att bedöma osäkerhet i modellresultat är viktigt då mängden osäkerhet associerad med resultatet kan påverka vilka beslut som fattas. Inkluderande av osäkerhet i resultatet kan gynna beslutsfattande (Beven m.fl., 2015). Kvantifiering av osäkerhetskällor är svårt eftersom osäkerhet i översvämningsmodellering härstammar från olika källor och riskerar att förstoras genom simuleringar och därmed kraftigt påverka resultat (Di Baldassarre och Uhlenbrook, 2012; Solomatine m.fl., 2014). Att behandla osäkerheter härstammande från olika källor separat ger inte en rättvisande bild, en helhetsbedömning är att föredra (Di Baldassarre, 2012). En viktig aspekt av osäkerhet i översvämningskartering är hur resultaten kommuniceras eftersom graden av osäkerhet kan påverka hur modellresultat används. Att kvantifiera alla osäkerhetskällor är svårt och anses ofta orimligt dyrt. Inte enbart den osäkerhet som är associerad med modelleringen är av intresse, osäkerhet bör även inkludera sannolikhet för framtida förändringar orsakade av klimatförändringar och ändrade markanvändningsmönster. Ofta har dessa osäkerheter ansetts för stora för att förmedla från modellerare till beslutsfattare och vidare till allmänheten (Beven m.fl., 2015).

Modellosäkerhet utvärderas lämpligen mot data över vattenutbredning och vattennivåer för en faktisk översvämning för en modell med varierande parameteruppsättning. En jämförelse mellan simulerade och observerade vattennivåer kan då användas för att utvärdera olika parameteruppsättningar för en modell (Di Baldassarre, 2012).

Traditionellt har osäkerhet behandlats som att den uppstår från slumpen, aleatorisk osäkerhet, dock utgörs en stor del av osäkerheten i miljömodellering av bristande kunskap om randvillkor, processer, lämplig modellstruktur, parametervärden och observerad data använd för kalibrering. Hanteringen av dessa, epistemiska osäkerheter, försvåras då det inte går att säkerställa att samtliga möjliga fall har beaktats. Osäkerhet gällande översvämningsfrekvens i framtiden till följd av klimatförändring eller förändring av avrinningsområdets karaktär genom till exempel ändrad markanvändning är aktuella epistemiska osäkerheter som bör beaktas såväl enskilt som i kombination med varandra. De epistemiska osäkerheterna är svårare att hantera. För att beskriva dem måste antaganden göras, vilket ofta leder till att de behandlas som aleatoriska osäkerheter. Det finns inget ramverk för hur epistemiska osäkerheter bör behandlas i praktiken, osäkerheterna behandlas olika beroende på vem som analyserar dem vilket ytterligare försvårar kommunikationen med beslutsfattare (Beven m.fl., 2015).

2.6 OMVÄRLDSANALYS: METODER FÖR ÖVERSVÄMNINGSKARTERING

Enklare, mindre avancerade modeller är vanligast bland myndigheter, konsulter och ingenjörer som arbetar med översvämningskartering. Vanligen används ett deterministiskt angreppssätt. Användande av probabilistiska metoder är ovanligt. De modeller som krävs för att skapa kartor i linje med vetenskapens framkant kräver hög grad av expertis och tid på grund av de komplicerade modelluppställningarna, vilket komplicerar och begränsar användandet av dem i kommersiellt syfte (Di Baldassarre m.fl., 2010).

Environment Agency i Storbritannien har utvecklat en strategi för översvämningskartering som syftar till att förbättra modellering, riskbedömning och kommunikation. Ingen generell regel för hur modelleringen ska genomföras ges utan ansvarig modellerare uppmanas att utifrån rådande omständigheter välja lämplig metod. Strategin fokuserar på att vikten av osäkerhet i modellering ska belysas, förståelsen för översvämningsrisk från olika källor ökas, samt att lämplig, aktuell modelleringsmjukvara och de data som behövs ska finnas tillgänglig (Environment Agency, 2010). I Irland (Office of Public Works, 2015), Tyskland (Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2015) och Spanien (Gobierno de España, n.d.) används hydrauliska 1D- och 2D-modeller som grund för översvämningskartering. I Spanien har en metodhandbok för utveckling av översvämningskartor innehållande tekniska rekommendationer tagits fram (Gobierno de España, 2011). Handboken är endast tillgänglig på spanska.

Zhang m.fl. (2014) föreslår användandet av en metod som bygger på att översvämning förekommer i områden där vattennivån är högre än marknivån och sammankopplad med vattendraget. Metoden kallas Flood-Connected Domain Calculation (FCDC), och syftar till att motverka de långa simuleringstiderna som hydrodynamiska samband generellt medför. Eftersom FCDC beskriver den slutgiltiga vattenutbredningen och inte variation över tid är metoden bäst lämpad för scenarion där vattenutbredning snabbt önskas tas fram och komplexiteten hos topografisk data försvårar konstruerande av en fysikalisk modell. Sane och Huokuna (2008) presenterar ett alternativt tillvägagångssätt för en preliminär bedömning av översvämningsbenägna områden. Metoden är GIS-baserad och bygger på att flödesriktningar och ackumuleringsområden undersöks för att identifiera områden som riskerar översvämmas. Som indata används en DEM samt vattennivåer beräknade med flertalet förenklande antaganden om vattendragets geometriska utformning. En liknande metod används ibland i Sverige för att skapa sig en första överblick över översvämningsbenägna områden, den ger dock ingen fullständig bild eftersom det inte tas hänsyn till hydrauliska egenskaper (Portin, personlig kommunikation 2015).

2.7 ÖVERSVÄMNINGSKARTERING I SVERIGE

De översvämningskarteringar som görs i Sverige och som syftar till att uppfylla krav i EU:s översvämningsdirektiv (avsnitt 2.1) inleds med en hydrologisk modellering. Modeller kalibreras genom anpassning till uppmätta vattennivåer med känt flöde. Önskvärt är att kalibrera mot höga flöden som resulterat i översvämningsar. Den kalibrerade hydrauliska modellen använder beräknade flöden som indata. Resultaten från den hydrauliska modellen jämförs med en terrängmodell vilket resulterar i ett vattenutbredningsskikt. Endimensionella hydrauliska modeller är vanligast. I fall de inte anses tillräckliga för beskrivning av vattendraget kan området istället analyseras med en 2D-modell. Tvådimensionella analyser är av särskilt intresse för översvämningsscenarion orsakade av dammbrott (Jewert m.fl., 2015).

Sveriges hydrologiska och meteorologiska institut (SMHI) använder en metod för översvämningskartering baserad på beräknad vattenföring för flöden med olika återkomsttid som indata i en hydraulisk modell (SMHI, 2013). För beräkning av högre flöden används bland annat den hydrologiska HBV-modellen (Berglöv, 2010). I den hydrauliska modellen, ofta MIKE 11 eller HEC-RAS (SMHI, n.d.), beräknas vattennivåer i tvärsektioner längs vattendraget efter att modellen kalibrerats mot tidigare mätningar av vattennivå och flöde. Vattennivån interpoleras mellan tvärsnitten med hjälp av GIS-verktyg vilket genererar ett utbredningsskikt som sedan jämförs mot terrängdata. I detta utbredningsskikt tillåts vattnet att översvämma sidofåror till huvudfåran för vilken alla beräkningar gjorts. Isolerade översvämningsytor som uppstår utan hydraulisk kontakt med den huvudsakliga översvämningsytan behålls i kartor över översvämningsrisk. Att de behålls beror på att det baserat på terrängmodellen inte anses korrekt att utesluta förekomst av hydraulisk kontakt mellan dessa områden och vattendraget (SMHI, 2013).

Vid den översvämningskartering som görs för alla Sveriges större reglerade vattendrag med syfte att ta fram beredskapsplanering för höga flöden och dammbrott har användande av den hydrauliska 1D-modellen MIKE 11 för scenarion beskrivna i Tabell 1 krävts (Elforsk, 2006; McConnachie, 2013). Då MIKE 11s inbyggda metod för generering av översvämningsskikt från beräknade vattennivåer är beräkningsmässigt krävande samt att MIKE-genererade skikt bedömdes felaktiga har de konsultbolag som arbetat med karteringsuppdrag utvecklat kompletterande program (McConnachie, 2013).

Tabell 1. Flödesscenarion som legat till grund för översvämningskartering i beredskapsplaneringssyfte

Scenario	Beskrivning
Q_{normal}	Flöde vid vattendragets normalvattenstånd
Q_{100}	Flöden motsvarande ett beräknat flöde med 100 år återkomsttid. Flödet antas vara konstant under en tillräckligt lång tid för att stationära förhållanden ska etableras.
Q_{klassI}	Flöden motsvarande ett beräknat flöde med över 10 000 år återkomsttid (klassI flöde) *.
Dammbrott** Q_{normal}	Dammbrott vid normal vattenföring.
Dammbrott** Q_{100}	Dammbrott vid flöde med 100 års återkomsttid.
Dammbrott** Q_{klassI}	Dammbrott vid klassI-flöde.
* 10 000 års återkomsttid motsvarar extrem översvämning enligt högsta europeiska standarden och används genomgående i Sverige (de Moel m.fl., 2009). Eventuella anläggningar i vattendraget med avbördningskapacitet under klassI-flöde antas gå till brott.	
** För dammbrott avses värsta tänkbara scenario (Jewert m.fl., 2015).	

2.7.1 WSP:s metod för översvämningskartering

WSP:s metod för översvämningskartering av vattendrag bygger i de flesta fall på beräknade vattennivåer för tvärsektioner längs vattendraget (Portin, 2015a). Beräknade vattennivåer avser översvämningens maximala utbredning vid varje sektion. Kartor baserade på dem ska därför inte ses som en representation av översvämningen vid en viss tid (Portin, personlig kommunikation 2015). Vilken programvara för hydraulisk modellering som används för beräkning av vattennivåer varierar mellan olika projekt, även kravet på kalibrering och tillgång till kalibreringsdata varierar mellan projekten. För den översvämningskartering som gjorts för att uppfylla krav i EU:s översvämningsdirektiv 2007/60/EG har MIKE 11 använts, detta då enhetlighet och kompatibilitet med SMHI:s framtidsprognoser efterfrågats. MIKE 21 används i de fall vattendragets karaktär kräver 2D-modellering, även den endimensionella modellen HECRAS används ibland (Portin, personlig kommunikation 2015).

I de fall översvämningskartering utförts med syfte att ligga till grund för beredskapsplaneringen har flöden baserade på scenarion i Tabell 1 använts. För klass I-flöde sker i princip alltid simuleringar utanför kalibreringsintervallet eftersom flöden av den magnituden inte uppmätts i de vattendrag metoden använts för (Portin, 2015a). För scenarion med dammbrott saknas helt kalibreringsdata (Portin, personlig kommunikation 2015). Metoden bygger på antagandet att vattenfåran har konstant geometri som inte påverkas av erosion eller fördämningar (Portin, 2015a). MIKE används för att digitalisera vattendragens sträckning, avstånden mellan de tvärsektioner som bygger upp vattendraget varieras för att ge en representativ bild av förändringar i geometri (Portin, 2015b). Eftersom den metod som finns inbyggd i MIKE 11 för att generera översvämningsskikt bedömdes otillräcklig har WSP utvecklat ett verktyg för att istället generera översvämningsskikten i ArcGIS 10 (McConnachie, 2013).

Genereringen av översvämningsskikt i ArcGIS 10 görs med KOG-verktyget (Kartering av översvämningar i GIS) vilket agerar som en sammankopplande länk mellan MIKE 11 och ArcGIS 10. I metoden interpoleras vattennivåer mellan modellerade vattennivåer i tvärsnitten med linjär interpolation. Verktøyen "*Edit TIN*" samt "*TIN to Raster*" i ArcGIS används. Utbredningsskiktet jämförs slutligen med en högupplöst DEM för att avgöra i vilka områden vattennivån överstiger markytan. Jämförelser har visat att KOG-verktyget presterar översvämningsskikt med god överensstämmelse med skikt genererade i MIKE 11 (McConnachie, 2013).

För att hantera komplexa delar av ett vattendrag med KOG-verktyget krävs manuella justeringar i ArcGIS. Dessa justeringar inkluderar bland annat skapande av polygoner som begränsar interpolationsområden samt analys av lämplig hantering av konflikterande vattennivåer vid anslutande biflöden. Separata bedömningar görs för varje överlappande område rörande hur konflikterande vattennivåer bör hanteras (McConnachie, 2013; McConnachie, personlig kommunikation 2015). Den justering av beräkningssektionernas geometri som i dagsläget görs manuellt i ArcMap för att undvika korsande sektioner kommer inte vara aktuell framöver då det i DHI:s nya program MIKE HYDRO, som kommer ersätta MIKE 11, är möjligt att använda vinklade beräkningssektioner som kan exporteras till ArcGIS (Portin, personlig kommunikation 2015).

I KOG-verktyget tas samtliga vattenmassor som vid jämförelse med terrängdata uppkommer vid sidan av huvudvattendraget bort om de inte på förhand bedömts ha hydraulisk kontakt med vattendraget. Huruvida ett område i terrängens lågpunkt har hydraulisk kontakt med vattendraget eller ej bedöms genom analys av terrängdata där broar och andra strukturer som kan orsaka upphöjningar i terrängen men som inte hindrar vattenflödet identifierats (McConnachie, personlig kommunikation 2015).

2.8 VERKTYG I ARCGIS AV INTRESSE FÖR ÖVERSVÄMNINGSKARTERING

Verktyg av relevans för översvämningskartering beskrivs i detta avsnitt. Utöver verktygen som presenteras i avsnitt 2.8.1 - 2.8.4 är mer generella verktyg som behandlar omvandling mellan olika filformat (bland annat *"Copy Features"* och *"Make Feature Layer"*), väljer ut polygoner och punkter med rumslig (*"Select Layer By Location"*) eller egenskapsmässig (*"Select Layer By Attribute"*) korrelation samt sammanfogar shapefiler (*"Merge"*) användbara. Hur dessa verktyg används beskrivs i ArcMaps hjälpsektion (Esri, n.d.).

2.8.1 Sammankoppling av vattennivådata med beräkningssektioner

Vattennivådata från en tabell kan kopplas samman med den shapefil som i ArcGIS representerar beräkningssektionerna på två sätt. I det ena används geografisk information, vilket sammankopplar beräkningssektioner med tabelldata baserat på koordinater för sektionernas mittpunkter (McConnachie, personlig kommunikation 2015). Det andra alternativet bygger på att beräkningssektionsfilens attributtabell innehåller en kolumn med unika namn tilldelade till varje sektion. Om tabellen med vattennivådata innehåller en kolumn med samma unika namn kan verktyget *"Join by Attribute"* användas (McConnachie, personlig kommunikation 2015, Esri, n.d.). I båda fall behöver filen sparas om med verktyget *"Copy Feature"* för att säkerställa att den tillagda tabellen sparas till shapefilen (Esri, n.d.).

2.8.2 Interpolering av vattennivåer

Val av interpolationsmetod bör grundas på egenskaper hos det data som ska interpoleras. Enligt Eberly m.fl. (2004) kan interpolationsmetoder delas in enligt följande egenskaper:

- Punktbaserad vs. arealbaserad:
För interpolering av vattennivåer är punktbaserad interpolering att föredra framför arealbaserad interpolering vilken uppskattar värden för zoner istället för som i punktbaserad interpolering för enskilda punkter.
- Global vs. lokal:
Valet mellan global och lokal interpolering bör grundas på förekomst av lokala avvikelser i det dataset som ska interpoleras.
- Exakt vs. approximativ:
Approximativ interpolering innebär att interpoleringen inte begränsas till att behålla värden i den data som bygger upp interpoleringen. Approximativ interpolering rekommenderas för fall med osäkerhet gällande datas noggrannhet.
- Stokastisk vs. deterministisk:
Styrkan hos stokastiska metoder ligger i möjligheten att uppskatta osäkerheten i interpolationen.
- Gradvis vs. abrupt:
Abrupt interpolering anses inte lämpligt för interpolering av vattennivåer då gradvisa förändringar i vattennivåer dominerar för vattendrag. Dock kan abrupt interpolering vara ett alternativ för delar av ett vattendrag som innehåller dammar och andra fördämningar.

Val av interpolationsteknik är viktigt då olika interpolationsmetoder sällan producerar samma resultat (Childs, n.d.).

I ArcGIS 10.1 finns, baserat på klassificering av interpolationsmetoderna av Eberly m.fl. (2004) samt information om verktygen i ArcMap (Esri, n.d.), fyra verktyg av intresse för interpolation av vattennivåer. Två av dem, Inverse Distance Weighted (IDW) interpolation samt Polynomial interpolation, bedöms olämpliga på grund av osäkerheter i interpolationsresultat orsakade av att värden på för stora avstånd tas hänsyn till (Merwade m.fl., 2008). Att kombinera verktygen *Edit TIN* och *TIN to Raster* för att generera ett raster med vattenutbredning är ett tredje alternativ. Med denna metod skapas en TIN-fil (Triangulated Irregular Network), interpoleringen av vattennivåerna till TIN-filen sker med verktyget *TIN to Raster*. I *TIN to Raster* kan brytningslinjer anges som hårda, vilket medför linjär interpolation mellan vattennivåerna, eller som mjuka, vilket genererar ett jämnare vattenskikt baserat på Natural Neighbors interpolering (Esri, 2012a). I konverteringen från TIN till raster går en viss grad av information förlorad (Esri, 2012b). Den fjärde möjliga interpolationsmetoden utgörs av verktyget *Topo to Raster*, ett verktyg som kan interpolera en hydrologiskt korrekt yta i form av en DEM. Detta är det enda verktyget i ArcGIS 10 specifikt framtaget för interpolation av konturer, vilket är det dataformat av intresse för vattennivåinterpolation. *Topo to Raster*-interpolation är optimerad för att ha liknande beräkningseffektivitet som lokala interpolationsmetoder (till exempel IDW) utan att förlora ytkontinuiteten hos globala interpolationsmetoder. *Topo to Raster* är beräkningsmässigt tung vilket gör den olämplig att använda på stora dataset (Esri, 2012c). Om det bedöms beräkningsmässigt lämpligt är *Topo to Raster* att föredra för interpolering av vattennivåer då det bedöms vara likt interpolering av topografisk data, som andrahandsval bör TIN-metoden användas (Grabs, 2015). Även Merwade m.fl. (2008) rekommenderar användande av en enkel linjär interpolationsmetod för interpolering av vattennivåer.

2.8.3 Sammanfogande av raster

Den sammanfogning av interpolerade vattennivåer, för olika delar av ett vattendrag, som görs i KOG-verktyget görs med verktyget *Mosaic to New Raster*. Verktöget möjliggör olika villkor för hantering av celler med överlappande värden:

- **"FIRST"**: Cellen ges värdet av det första rastret med ett värde för cellen i listan över raster att sammanfoga.
- **"LAST"**: Cellen ges värdet av det sista rastret med ett värde för cellen i listan över raster att sammanfoga.
- **"MINIMUM"**: Cellen anges till det minsta av överlappande värdet.
- **"MAXIMUM"**: Cellen anges till det största av överlappande värden.
- **"MEAN"**: Cellen ges medelvärde av värden för överlappande raster.
- **"BLEND"**: Cellvärdet bygger på en horisontell vägning av cellvärden i överlappande celler (Esri, 2014).

2.8.4 Jämförelse med terrängmodell

Vid jämförelse av den interpolerade vattenytan med terrängmodellen kan verktyget *Greater Than* användas (McConnachie, 2013). Detta verktyg jämför två raster och genererar ett resultatraster med värde 1 för de områden där vattennivån överskrider marknivån, och 0 för områden där vattenutbredning inte förekommer (Esri, n.d.). Det är för jämförelse av vattennivåer och terrängmodell lämpligt att använda ett villkor för strikt större än snarare än större än eller lika med för att motverka påverkan av brus i terrängmodellen. Något som enligt Di Baldassarre (2012) är praxis i översvämningsmodellering.

3 METOD

I detta avsnitt beskrivs den metod som använts för att besvara de två första frågeställningarna i avsnitt 1.2, den tredje frågeställningen anses hanterad i rapportens bakgrunds- och diskussionsavsnitt.

3.1 UTVÄRDERING AV KOG-VERKTYGET

KOG-verktyget analyserades för att identifiera styrkor och svagheter. Kommunikation fördes med utvecklare och användare av verktyget för att identifiera tidskrävande delar av verktyget samt de steg som av specialister inom hydraulisk modellering ansågs prestera bristfälligt.

Som en del av utvärderingen analyserades KOG-verktygets interpolationsmetod då den ansågs ha stor påverkan på metodens förmåga att generera verklighetstroga vattenutbredningar. Även behovet av de hydrauliska enheter och maskeringspolygoner som används i KOG-verktyget studerades mer i detalj, då alternativt användande av dessa ansågs underlätta en automatisering av skiktgenereringen. Denna utvärdering presenteras i Bilaga 1.

3.2 FRAMTAGANDE AV GIS-METOD

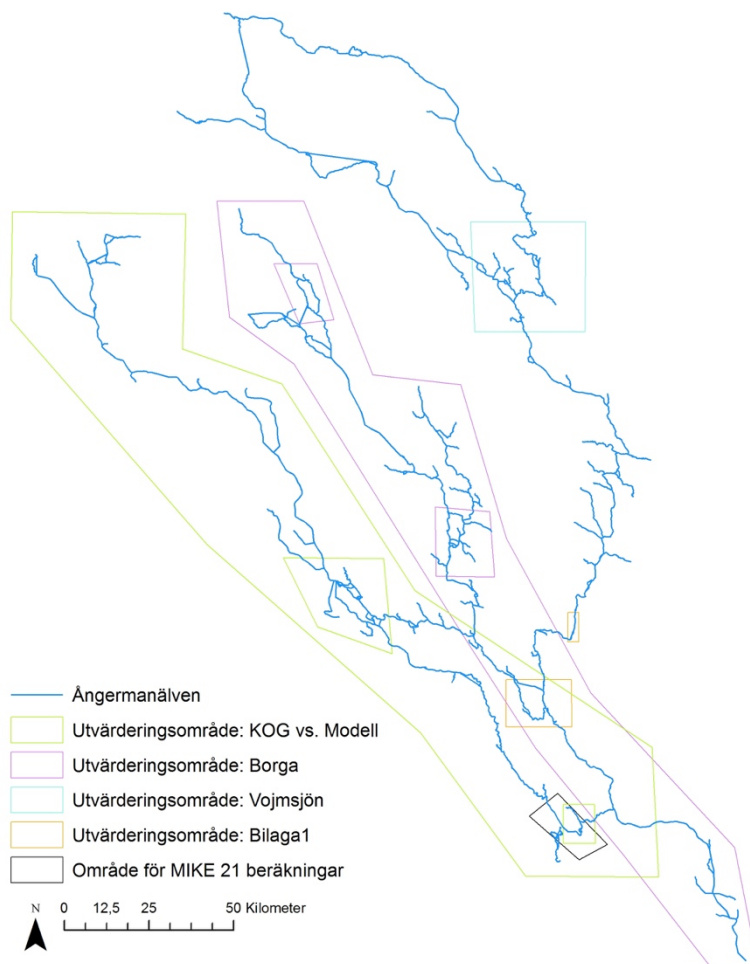
För att säkerställa att översvämningsars natur beskrivs korrekt har avsnitt 2 legat till grund för metodens utformning. Resultat från utvärderingen i bilaga 1 har använts vid val av verktyg i den metod för generering av vattenutbredningsskikt som utvecklats. Att åstadkomma en användarvänlig metod vars initiering inte upplevs tidskrävande bedömdes viktigt för att möjliggöra en mer iterativ modelleringsprocess.

De interpolationsmetoder som baserat på avsnitt 2.8.2 bedömdes lämpliga för interpolering av vattennivåer jämfördes (bilaga 1). Fokus lades på jämförelse av TIN-metoden samt ”*Topo to Raster*”, hänsyn togs bland annat till beräkningstid och genererade vattennivåer vid anslutande biflöden. Vid utvärderingen antogs att sektioner dragits på ett sätt som korrekt beskriver eventuell påverkan av landskapets topografi på vattennivåer.

ModelBuilder i ArcGIS version 10.1 användes för att konstruera en modell som genererar vattenutbredningsskikt. En beskrivning av för modellen nödvändiga inparametrar har gjorts för att underlätta användandet av modellen. Det har även tagits fram en användarmanual (bilaga 3) som beskriver hur modellen fungerar och syftar till att förenkla en vidareutveckling av metoden. Modellen har utformats för att hantera tre huvuddelar: interpolering av vattennivåer, jämförelse med terrängmodell samt hantering av översvämningsöar. Utöver detta beskriver manualen även hur ihopkopplande av vattennivåer i exceltabell med sektioner i form av polyline-shapefiler görs.

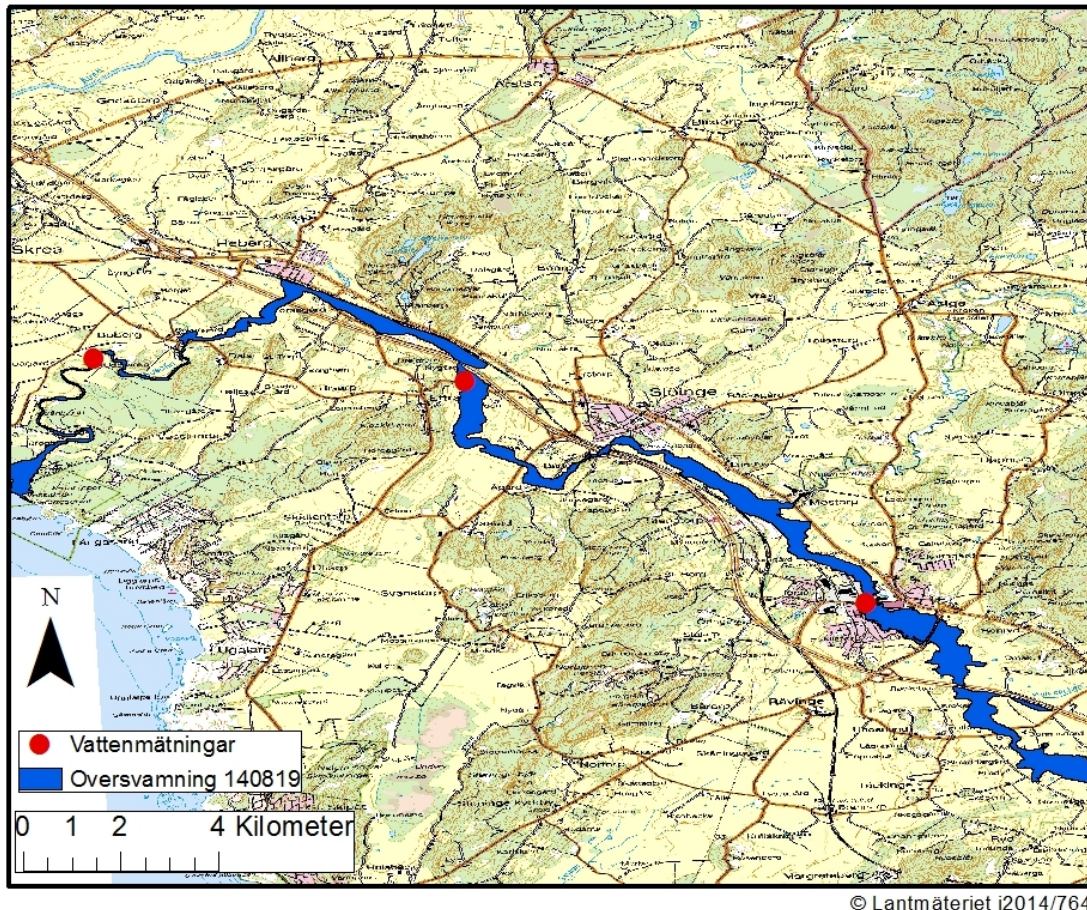
3.3 UTVÄRDERING AV FRAMTAGEN GIS-METOD

Den framtagna modellen utvärderades mot beräknade vattennivåer för normalvattenflöde samt 100-årsflöde för en gren av Ångermanälven i norra Sverige för vilken WSP genomförde en översvämningskartering med KOG-verktyget år 2012-2015 (Utvärderingsområde: KOG vs. Modell i Figur 3). Grenen valdes då den upplevdes innehålla ett flertal områden av komplex karaktär (Portin, personlig kommunikation 2015). Modellens resultat jämfördes även mot KOG-verktygets för dammbrottsscenarioet vid klassI-flöde för dammarna Borga och Vojmsjön i Ångermanälven (Figur 3) för att utvärdera modellens prestation vid extremflöden. För dammbrott i Borga gjordes utöver en jämförelse av vattenutbredningsskikt även en jämförelse av interpolerade vattennivåer. Jämförelsen gjordes med ArcGIS:s verktyg för rasterberäkningar; ”*Raster Calculator*”. Dammbrottsscenarioet avser dammbrott i damm längst uppströms i respektive område markerat i Figur 3 där nedströms dammbrott har antagits ske om dammens avbördningskapacitet överskrids i enlighet med scenarion beskrivna i Tabell 1.



Figur 3. Områden av Ångermanälven för vilka utvärdering av framtagen modell genomförts. KOG vs. Modell avser den gren för vilken normalvattenflöde och 100 årsflöden undersöktes. De mindre rutorna för Borga samt KOG vs. Modell representerar de områden för vilka mer detaljerade kartor över vattenutbredning redovisas. Även det område för vilket MIKE 21 beräkningar utförts visas i figuren.

Modellen utvärderades även mot vattendraget Suseån, vilken mynnar ut i Kattegatt söder om Falkenberg. För Suseån erhöles mätningar av vattennivåer enligt Figur 4 gjorda 20-21 augusti 2014 under en pågående översvämning från MSB. Ett utbredningsskikt genererades med den framtagna modellen baserat på dessa tre mätpunkter. Skiktet har främst utvärderats i områden i nära anslutning till dessa punkter. MSB har, baserat på flygfoton och observationer gjorda 19 augusti 2014, skapat översvämningsutbredningsskikt (Figur 4) för detta område vilket möjliggör en utvärdering.



Figur 4. Vattenutbredningsskikt som tillhandahållits av MSB baserat på flygfoton från 19 augusti 2014 samt punkter för vattennivåmätningar genomförda 20 – 21 augusti 2014. Bakgrundskartan har hämtats från Lantmäteriets digitala kartdatabas.

Suseån användes även för utvärdering av framtagna modell mot MIKE 11-genererade skikt. För denna utvärdering applicerades den framtagna modellen på MIKE 11s beräkningssektioner, inte de tre punkterna för vattennivåmätningar. Skikt från MIKE 11-modellen för Suseån, vilken kalibrerades med de ovan nämnda vattennivåerna för 2014 års översvämning, erhöles av WSP:s vattenbyggnadsavdelning. Skikt genererade med MIKE 11 för 100 års- och 200 årsflöden samt beräknat högsta flöde (QBHF) utvärderades mot skikt skapade av den i projektet framtagna modellen. För 200 årsflödet genomfördes även en jämförelse av vattennivåeraster med interpolerade vattennivåer med ArcGIS:s rasterberäkningsverktyg.

Terrängmodeller med upplösning på 5x5 meter för Ångermanälven och 2x2 meter för Suseån tillhandahölls av vattenregleringsföretagen respektive MSB via WSP. Terrängmodell med samma upplösning som använts vid kartering med KOG-verktyget och i MIKE användes för att möjliggöra en rättvis jämförelse.

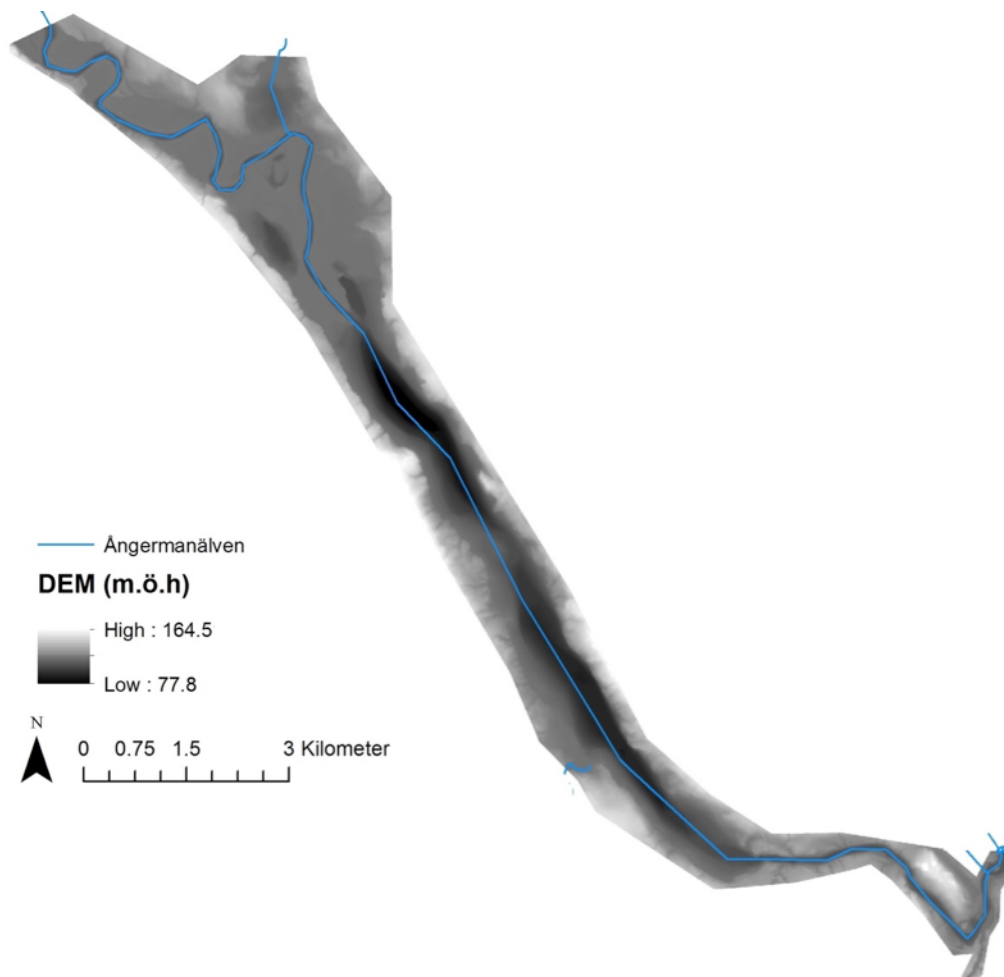
För de skikt som för Ångermanälven genererats med KOG-verktyget har ArcGIS-verktyget ”*Snap*” använts, detta säkerställer att vattenutbredningsskiktet exakt följer terrängmodellens konturer och cellindelning. Detta verktyg kunde på grund av för låg licensnivå för ArcGIS inte användas i utvärderingen varför en viss förskjutning förväntas mellan modellgenererade skikt och KOG-genererade skikt.

3.4 UNDERSÖKNING AV RIMLIGHET FÖR VOLYMANTAGANDE

Rimligheten för antagandet gällande obegränsad mängd vatten för utfyllnad av översvämmade områden i skiktgenereringen undersöktes med modellering i det tvådimensionella hydrauliska modelleringsprogrammet MIKE 21. För analysen valdes ett område i Ångermanälven av meandrande karaktär (Figur 3, Figur 5). Områdets storlek begränsades för att åstadkomma hanterbara beräkningstider i MIKE 21. Det valda området är inte av en karaktär som typiskt motiverar tvådimensionell modellering. Analys av skillnad i vattenutbredning gjordes därför även med hänsyn till vikten av tvådimensionell modellering i meandrande delar av vattendrag. Flödesscenario för normalflöde och klassI-flöde analyserades.

Ett triangulärt mesh med högre upplösning i meandrande delen av vattendraget i Figur 5 skapades i MIKE ZERO:s Mesh generator (Figur 54, bilaga 2). Datapunkter från varje rastercell i terrängmodellen exporterades från ArcGIS och användes för att interpolera meshet enligt höjddata i en terrängmodell med upplösning 5x5 meter (Figur 55, bilaga 2). För randvillkor angavs i den övre (norra) randen en hydrograf för klassI-flödet och ett konstant flöde för normalflödet. Den nedre randen utgjordes av en damm för vilken en avbördningskurva baserad på dammens kapacitet användes i modellen. Randvillkoren valdes för att möjliggöra en rättvis jämförelse mellan 1D och 2D resultat för området. Ytterligare beskrivning av modellinställningar ges i bilaga 4.

En sammanslagning av MIKE 21-resultat för samtliga tidssteg gjordes för att möjliggöra jämförelse med MIKE 11-resultat som visar största utbredningen (ej vid ett specifikt tidssteg).



Figur 5. Området som analyserades med fokus på volym skillnader mellan 2D- och 1D-modellering samt vattenutbredning. Fokusområde var den meandrande, norra delen av området.

4 RESULTAT

4.1 UTVÄRDERING AV KOG-VERKTYGET

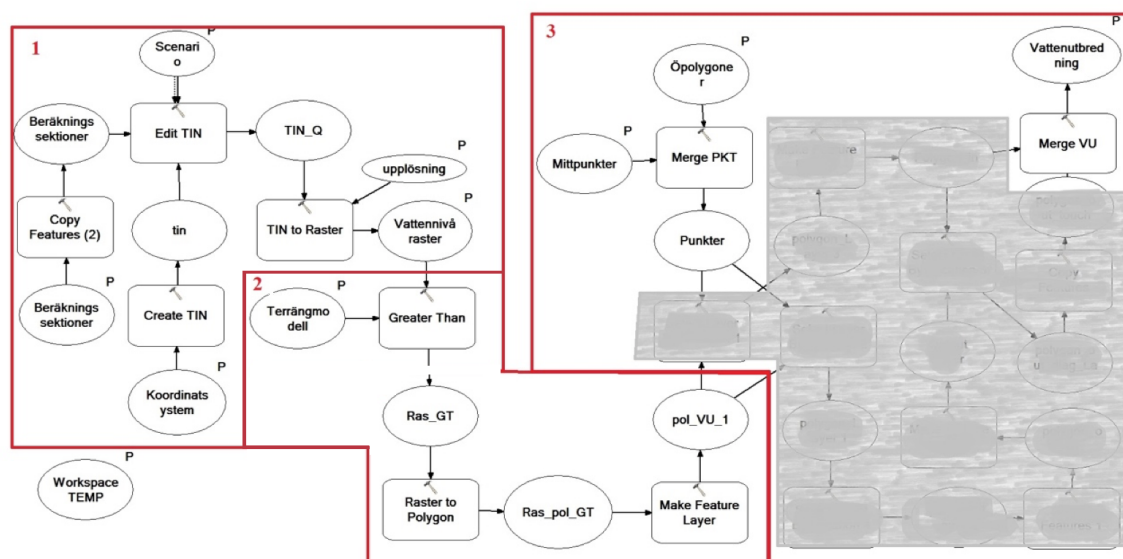
Utvärderingen av KOG-verktyget identifierade två prioriterade områden för metodutvecklingen:

- Automatisering av generering av vattenutbredningsskikt bör göras på ett transparent sätt som möjliggör granskning och felsökning i processens nyckelsteg.
- Interpoleringen av vattennivåerna är en nyckelfråga. Hur den ska genomföras för att generera rättvisande vattennivåer vid anslutande vattendrag är av stor vikt.

Dessa låg till grund för detaljstudien som presenteras i bilaga 1.

4.2 FRAMTAGEN GIS-METOD

Den modell som tagits fram i ArcGIS och implementerats i ModelBuilder visas i Figur 6. Baserat på att modellen hanterar vattendraget som en enda sammanhängande enhet döptes modellen till SÖK-modellen (sammanhängande översvämningskarteringsmodellen). Metoden valdes att implementeras i ModelBuilder istället för i Pythonscript, vilket kan användas för automatisering av arbete i ArcGIS, då ModelBuilder bedömdes mer användarvänligt. ModelBuilder bedömdes även i större utsträckning möjliggöra justeringar i modellen av användare utan programmeringskunskap. SÖK-modellen hanterar en typisk översvämningskartering, modifiering av modellen kan vara lämplig för vissa områden. En användarmanual med enklare felsökning av modellen presenteras i Bilaga 3.



Figur 6. Schematisk bild över den i projektet framtagna modellen, SÖK-modellen, uppdelad i tre delar där del 1 hanterar interpolering, del 2 jämför interpolerade vattennivåer med en terrängmodell och del 3 hanterar översvämningsöar och genererar det slutgiltiga vattenutbredningsskiktet. Del tre är till stor del censurerad då den bygger på delar av KOG-verktygen som inte får publiceras. Rutor representerar ArcGIS-verktyg och ovaler representerar variabler som skapas under modellkörning samt inparametrar till modellen. Ovaler markerade med P måste vid initiering av modellen definieras.

Inspiration till modellstrukturen för del tre i Figur 6 har hämtats från en av KOG-verktygets modeller, för att inte strida mot restriktioner gällande publicering av KOG-verktyget har dessa verktyg dolts.

Interpolationsdelen av modellen, del ett, utgörs av skapande av en tom TIN-fil till vilka vattennivåer appliceras med "Edit TIN"-verktyget som har beräkningssektioner med information om vattennivåer tillagd. I interpoleringen används ett villkor som, genom att behandla vattennivåerna som hårda brytlinjer, ger en exakt interpolering enligt definitioner i avsnitt 2.8.2. Användaren anger namnet på den kolumn innehållande vattennivåer som ska interpoleras. Det krävs även att användaren anger terrängmodellens upplösning. Jämförelse av vattennivåer och terrängmodell samt omvandlande till format lämpligt för vidare analys utgörs av del två i modellen. Här används villkoret att vattennivåer måste vara strikt större än terrängmodellens nivå. Sista delen av modellen hanterar översvämningsöar och genererar vattenutbredningsskikt. Översvämningsöar hanteras i SÖK-modellen genom att vattenutbredning endast tillåts om det översvämmade området antingen innehåller mittpunkt från en beräkningssektion eller om det innehåller en punkt som bedömts möjlig att översvämma av den hydrauliska modelleraren.

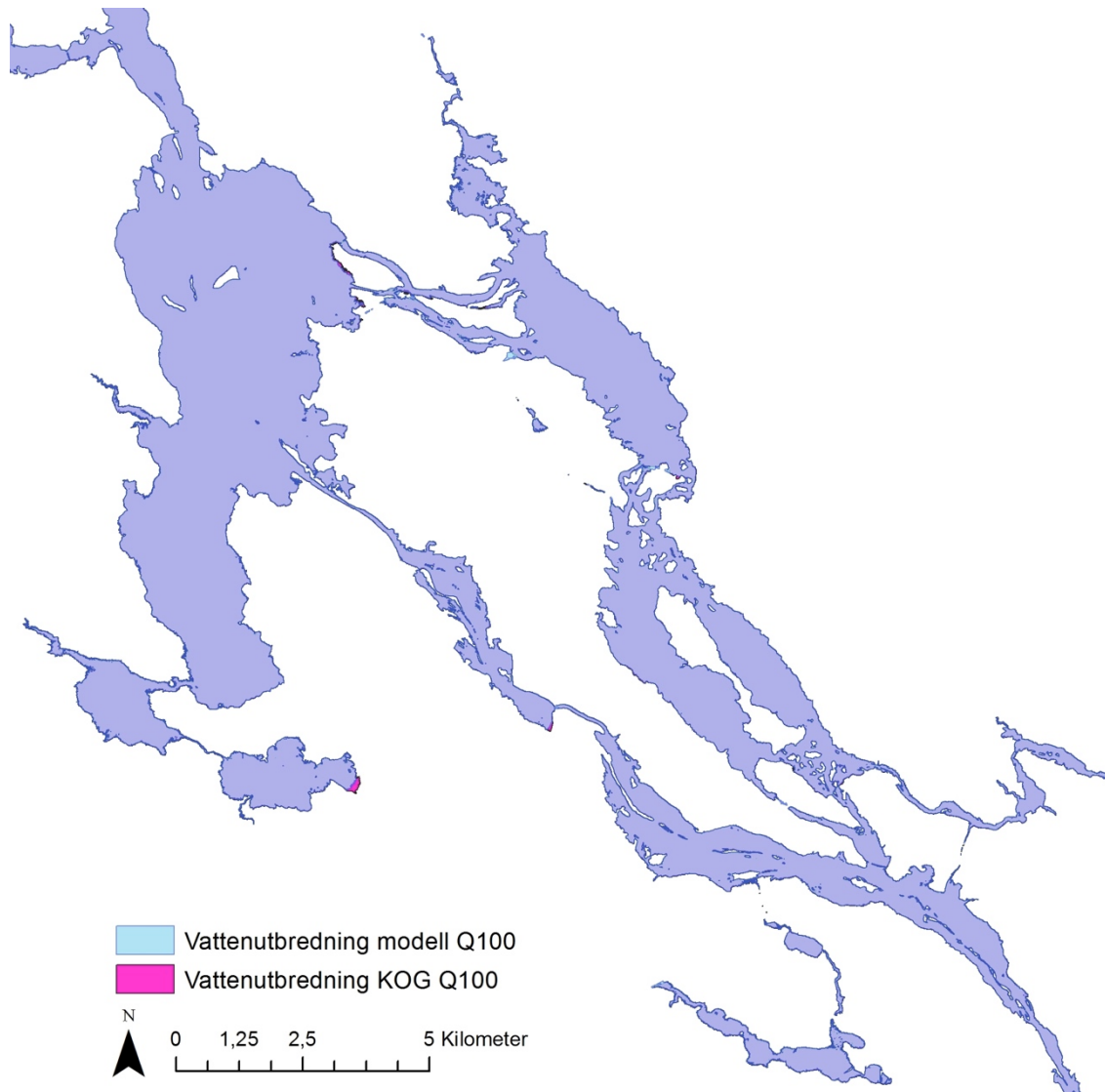
Verktyg som bygger upp SÖK-modellen valdes utifrån resultat från den utvärdering som presenteras i bilaga 1. Att eliminera maskeringspolygoner och hydrauliska enheter bedöms lösa de problem som i KOG-verktyget upplevs problematiska vid hantering av anslutande biflöden. Variabler genererade under modellkörning utan intresse för vidare analys sparas temporärt i en mapp lokalt på datorn för att minimera beräkningstiden, denna mapp definieras av användaren under "Workspace TEMP" i modellen. Resultatfiler från modellen är interpolerat raster med vattennivåer samt vattenutbredningsskikt. Vattennivårastret sparas för att används vid bland annat konsekvensutredning av vattendrag (Portin, personlig kommunikation 2015).

SÖK-modellen hanterar inte automatisk sammankoppling av beräknade vattennivåer från MIKE 11 med beräkningssektioner då denna modul upplevdes instabil. Istället har en separat modell tagits fram. Denna lägger till nödvändiga kolumner till beräkningssektionsfilen varefter en manuell sammankoppling görs med verktyget "Join by Attribute". Hur detta görs förklaras i användarmanualen i bilaga 3.

4.3 UTVÄRDERING AV FRAMTAGEN METOD

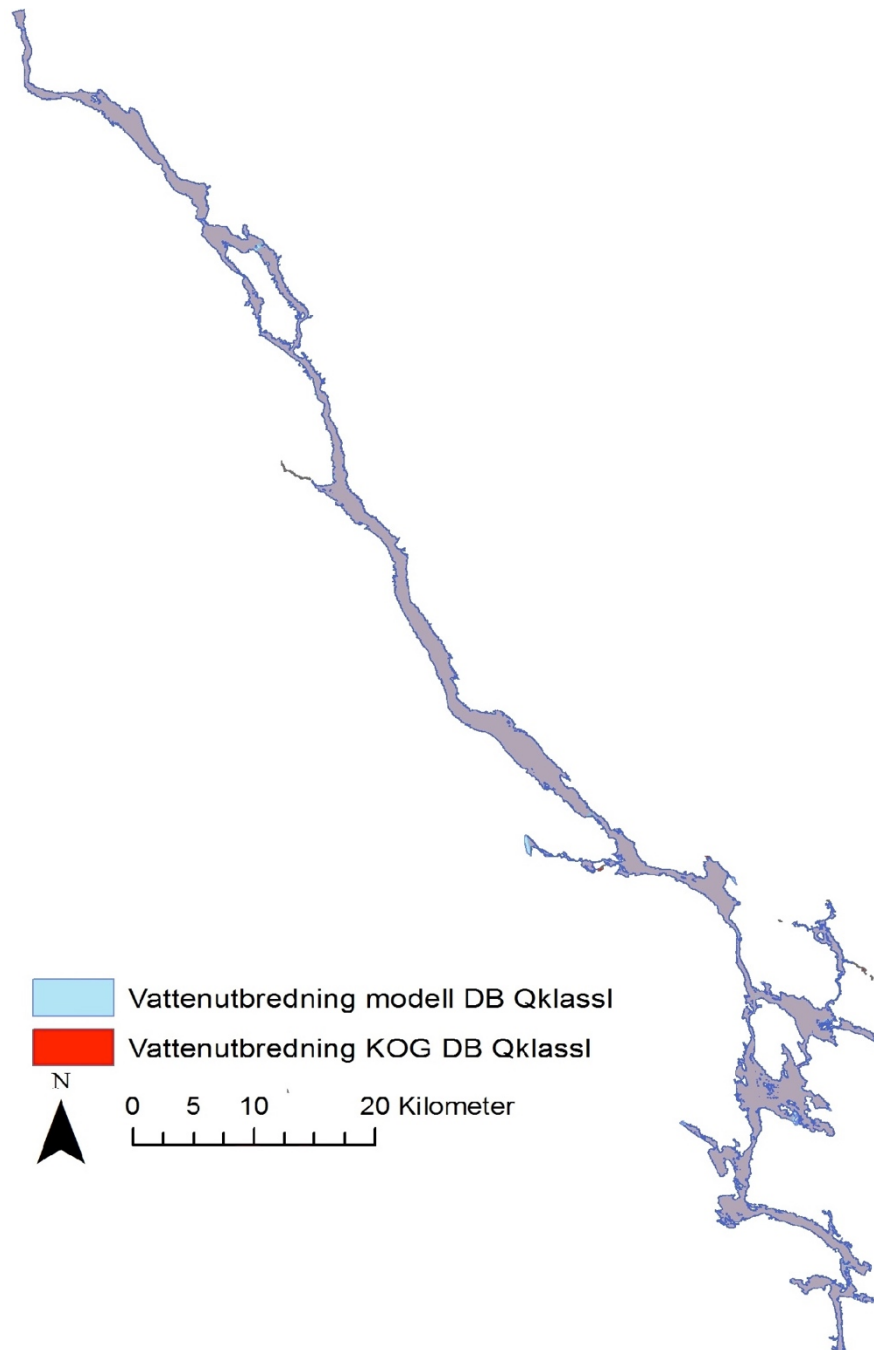
4.3.1 Utvärdering mot KOG-metodens vattenutbredning

Jämförelsen av SÖK-genererade vattenutbredningsskikt med KOG-verktygets skikt för en gren av Ångermanälven vid normalvattenflöde och 100-årsflöde visar god överensstämmelse (Figur 32, Figur 33, bilaga 2). Endast ett fåtal pixlar varierar mellan resultat av KOG-verktyget och den framtagna modellen. Även för områden av komplex karaktär visar jämförelsen endast mindre skillnader (Figur 7 samt Figur 34, Figur 35, Figur 36, bilaga 2).

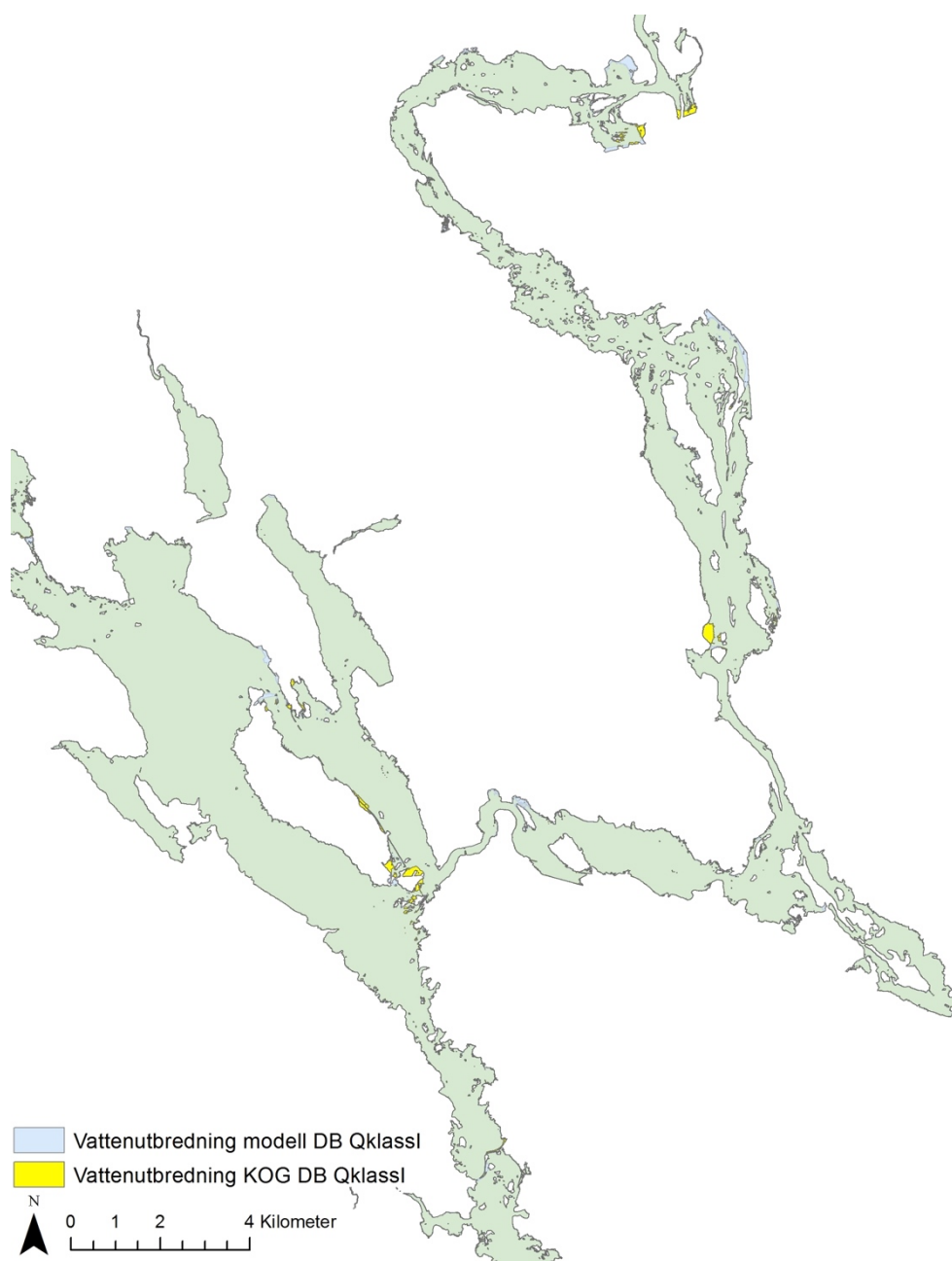


Figur 7. Detaljbild av vattenutbredningsskikt för ett område av komplex karaktär i Ångermanälven vid 100-årsflöde (Q100). Jämförelse av skikt genererade med SÖK-modellen (benämns modell i legenden) samt KOG-verktyget. Vattenutbredningsskikt genererade med SÖK-modellen har gjorts transparenta för att underlätta illustrering av skillnader.

Även jämförelse av högre flöden, dammbrott vid klass I-flöde, visade på god överensstämmelse mellan de båda metoderna (Figur 8, Figur 9). Skikten för dammbrott vid Barga varierade främst i nära anslutning till dammar (Figur 37, Figur 38, bilaga 2) vilket beror på att KOG-verktygets hydrauliska enheter och maskeringspolygon klipper bort vattenutbredningen direkt nedströms dammar.



Figur 8. Jämförelse av vattenutbredningsskikt för dammbrott vid klassI-flöde för Barga i genererade med SÖK-modellen (benämns modell i legenden) samt KOG-verktyget. Vattenutbredningsskikt genererade med SÖK-modellen har gjorts transparenta för att underlätta illustrering av skillnader.

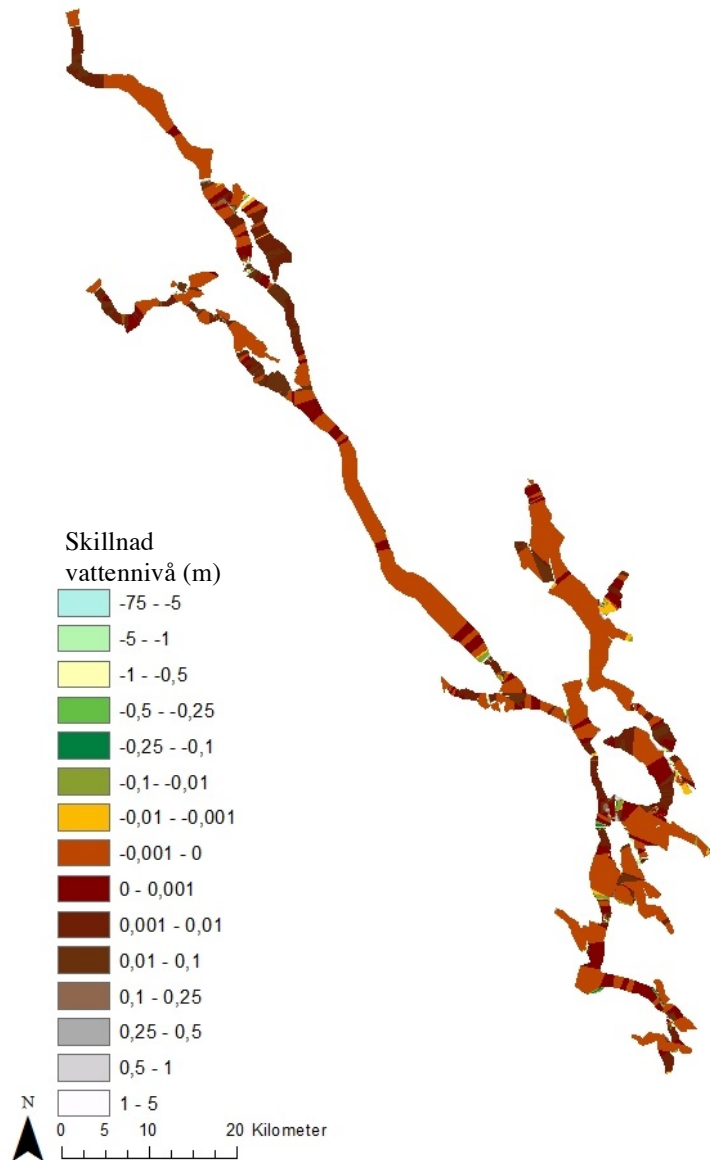


Figur 9. Jämförelse av vattenutbredningsskikt för dammbrott vid klassI-flöde för Vojmsjön i Ångermanälven genererade med SÖK-modellen (benämns modell i legenden) samt KOG-verktyget. Vattenutbredningsskikt genererade med SÖK-modellen har gjorts transparenta för att underlätta illustration av skillnader.

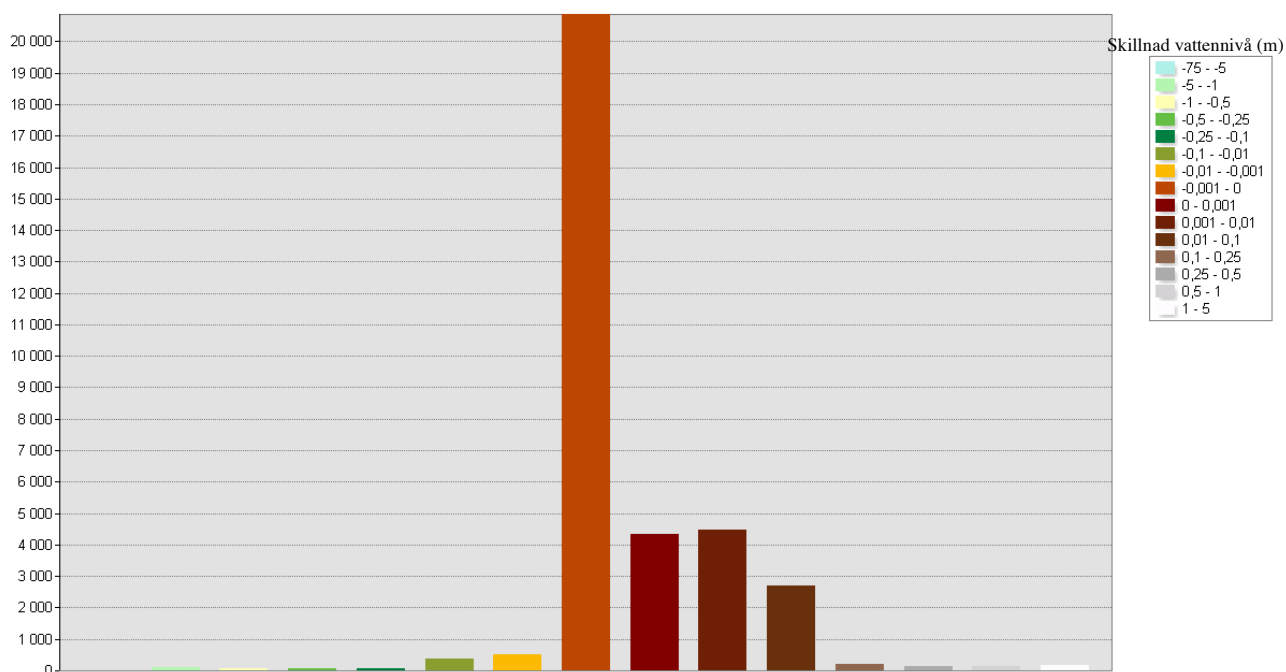
4.3.2 Utvärdering mot KOG-metodens vattennivå raster

Analys av skillnader i genererade vattennivåer visade på små skillnader mellan KOG-verktyget och SÖK-modellen (Figur 10, Figur 11), vilket ytterligare styrker påståendet att hydrauliska enheter inte är nödvändiga. De flesta större skillnaderna förekommer i områden av för KOG-rastret överlappande hydrauliska enheter. Flertalet utgörs av anslutande biflöden, vilket identifierats som problemområde i utvärderingen av KOG-verktyget.

De skillnader som förekommer har god rumslig överensstämmelse med skillnader i vattenutbredning. Främst förekommer avvikelser i anslutning till dammar. Subtraktionen av KOG-genererade raster från modellgenererade visar att de flesta celler för den framtagna modellen har ett värde mellan noll och en millimeter mindre än KOG-verktygets raster (Figur 11).



Figur 10. Resultat från subtraktion av KOG-raster för interpolerade vattennivåer från raster med interpolerade vattennivåer genererat SÖK-modellen. De största skillnaderna förekommer i anslutning till dammar där KOG-verktygets raster klippts av och därmed är tomma. Figuren avser scenariot för dammbrott i Borga. Skillnader är angivna i meter.

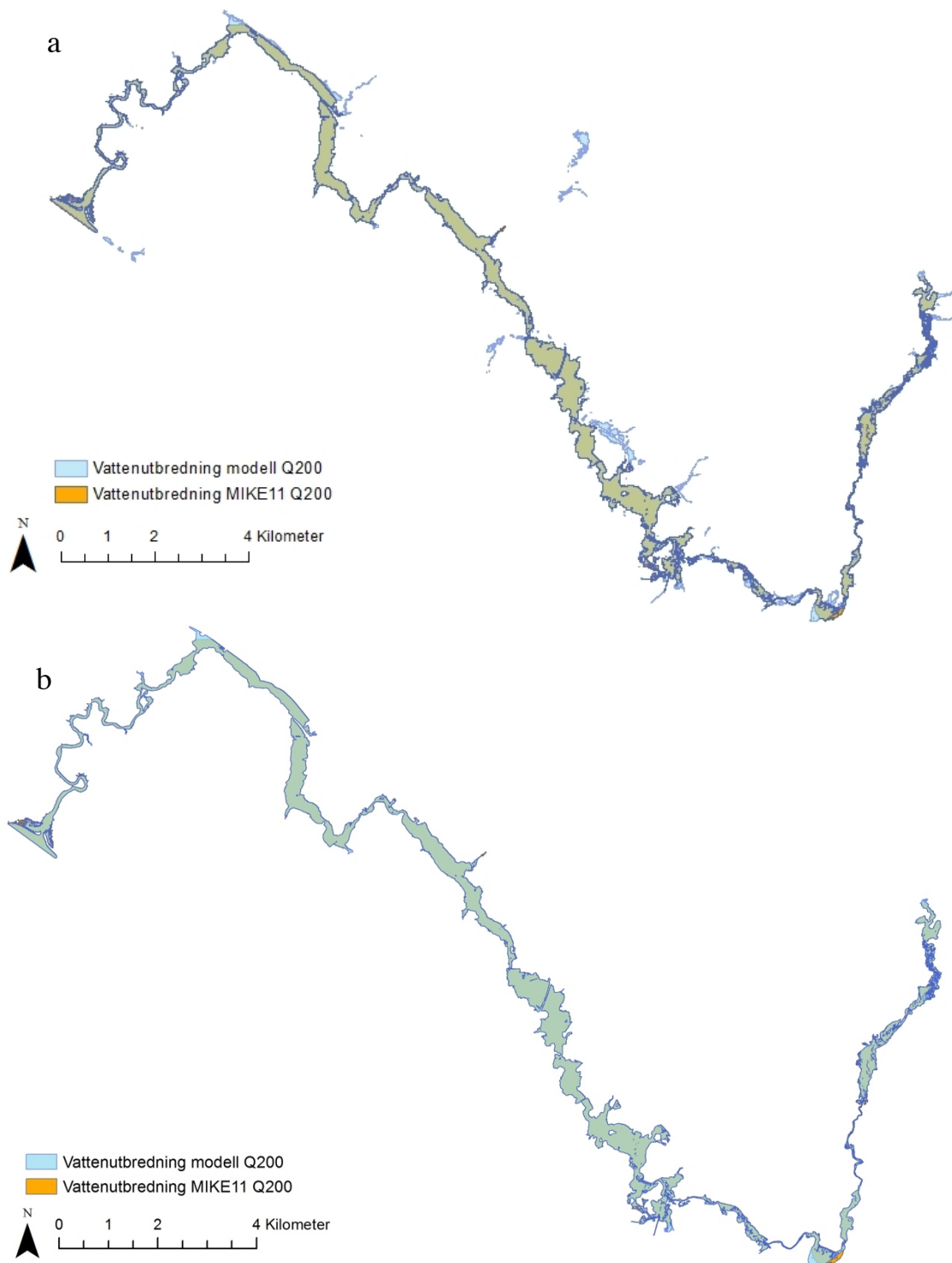


Figur 11. Histogram som visar fördelningen av skillnader mellan vattennivåer interpolerade med KOG-verktyget och SÖK-modellen, KOG-beräknade vattennivåer har subtraherats från modellberäknade. Y-axeln representerar antal celler. Avser scenariot för dammbrott i Borga. Skillnader angivna i meter.

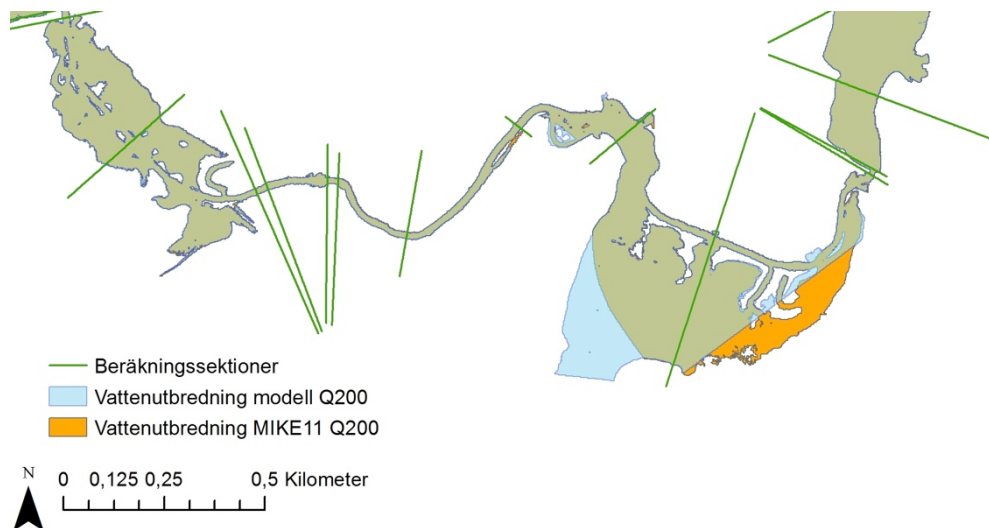
4.3.3 Utvärdering mot MIKE 11-genererade skikt för Suseån

Vattenutbredningsskikt genererade med SÖK-modellen och med MIKE 11s inbyggda skiktgenerering påvisade större skillnader än jämförelse med KOG-verktygets skikt vid utvärdering i Ångermanälven (avsnitt 4.3.1, Figur 12, Figur 40, Figur 41). Några av skillnaderna mellan skikt som genererades i MIKE 11 och i ArcGIS med den framtagna modellen kan förklaras av korta beräkningssektioner (Figur 13). Även för områden av komplex karaktär påvisas endast mindre skillnader (Figur 45, Figur 46, Figur 47 Bilaga 2).

För Suseån fanns ingen information om låglänta områden för vilka översvämningsöar bedömdes trovärdiga, därför har två versioner av modellgenererade skikt skapats. Ett med samtliga översvämningsöar bortsorterade och ett med samtliga kvar. Troligt är att modelleraren bedömde att inga sådana områden av betydelse fanns i området (Portin, personlig kommunikation 2015). Större överensstämmelse mellan skikten ses vid jämförelse med det SÖK-genererade skiktet med bortsorterade öpolygoner. Inga översvämningsöar fanns i det skikt som genererats i MIKE 11. En jämförelse av resultatraster från interpolering av vattennivåer i MIKE 11 och SÖK-modellen visar god rumslig överensstämmelse för översvämningsöar. Det går utifrån de genererade skikten för Suseån inte dra någon slutsats gällande vilken metod som genererar störst översvämningskikt. Detaljbilder (Figur 43, Figur 44) i bilaga 2 visar att MIKE 11-skikten relativt den i projektet framtagna modellen överskattar vattenutbredning i vissa delar och underskattar i andra. En mer detaljerad analys av möjliga över- eller underskattningar ges i avsnitt 4.3.4. Generellt bedöms skillnaderna i vattenutbredning inte motivera den ökade tidsåtgången associerad med MIKE 11:s skiktgenerering. Figur 42 visar de områden för vilka detaljbilder för översvämningskikt presenteras.



Figur 12. Vattenutbredningsskikt för 200-årsflöde i Suseån genererade med SÖK-modellen (benämns modell i legenden) respektive i MIKE 11. I del a har samtliga öpolygoner behållits och i b har samtliga sorterats bort. Vattenutbredningsskikt genererade med SÖK-modellen har gjorts transparenta för att underlätta illustrering av skillnader.

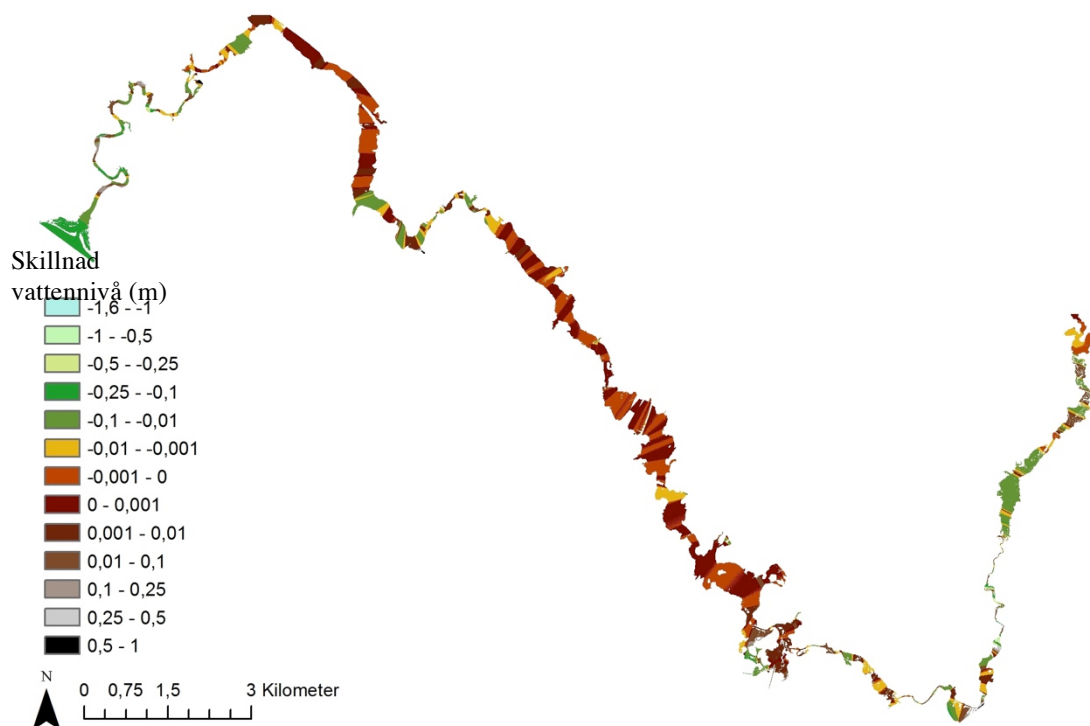


Figur 13. Detaljbild för ett område i nordöstra delen av Suseån, detaljområde 3 i Figur 42, vilket visar hur vattenutbredningsskikten påverkas av längden på beräkningssektionerna. Det skikt som genererats med SÖK-modellen kräver längre sektioner än MIKE 11s skiktgenerering. Korta beräkningssektioner orsakade skillnader mellan vattenutbredningsskikten i samtliga undersökta scenarion.

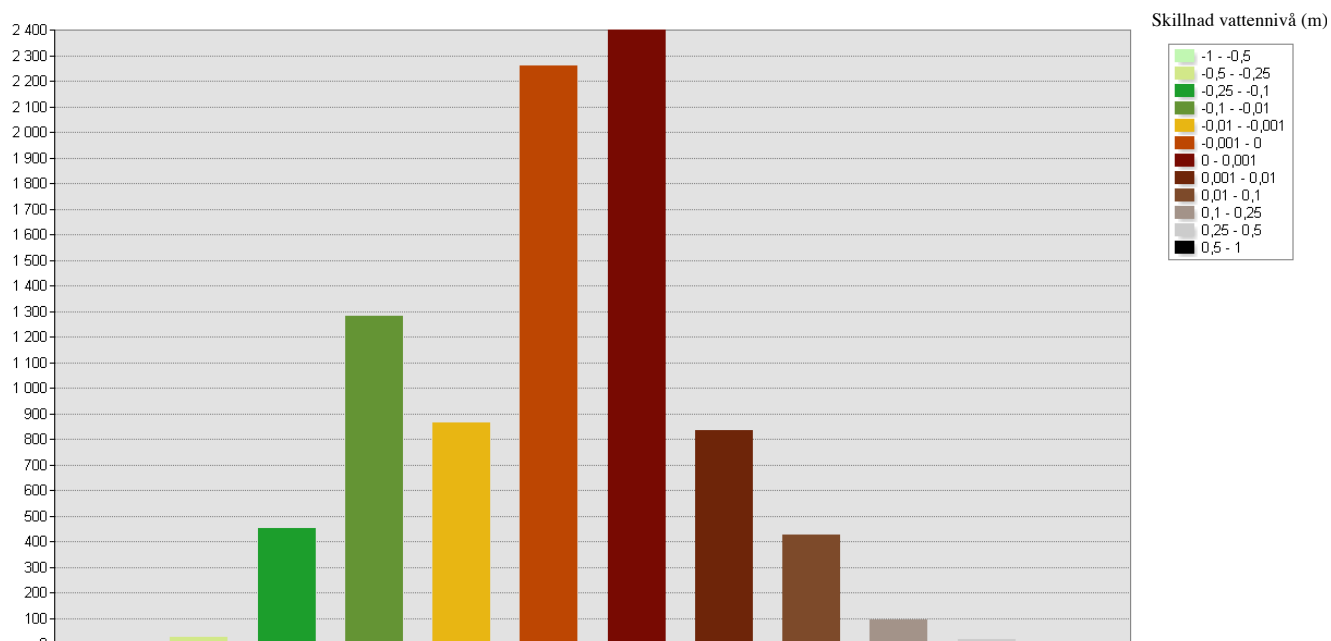
4.3.4 Utvärdering mot MIKE 11s vattennivå raster för Suseån

Analys av skillnader i vattennivåer visar inte tydliga rumsliga samband med skillnader i vattenutbredning (Figur 12, Figur 14). I vissa delar av Suseån visar rasterjämförelsen på, relativt sett, stora skillnader, exempelvis östra delen av Figur 14 som uppvisar skillnader i vattennivå på mellan 0,1 och 0,25 meter. Figur 12 visar nästan identiska vattenutbredningsskikt för samma område. I vissa delar, till exempel precis söder om områden ovan (Figur 43) ses större skillnader i vattenutbredning än i vattennivåer. Andra områden, till exempel det i Figur 47, visar god överensstämmelse mellan skillnader i vattennivåer och vattenutbredning.

Analys av distribution av skillnader i interpolerade vattennivåer för MIKE 11-raster och SÖK-genererade raster visar att de flesta skillnader ligger inom spannet 0-1 millimeter (Figur 15). Det går inte från denna analys dra några slutsatser gällande vilken metod som relativt sett överskattar vattennivåerna. Antalet negativa och positiva resultat av subtraktion av MIKE 11-genererade raster från SÖK-genererade är i samma storleksordning.



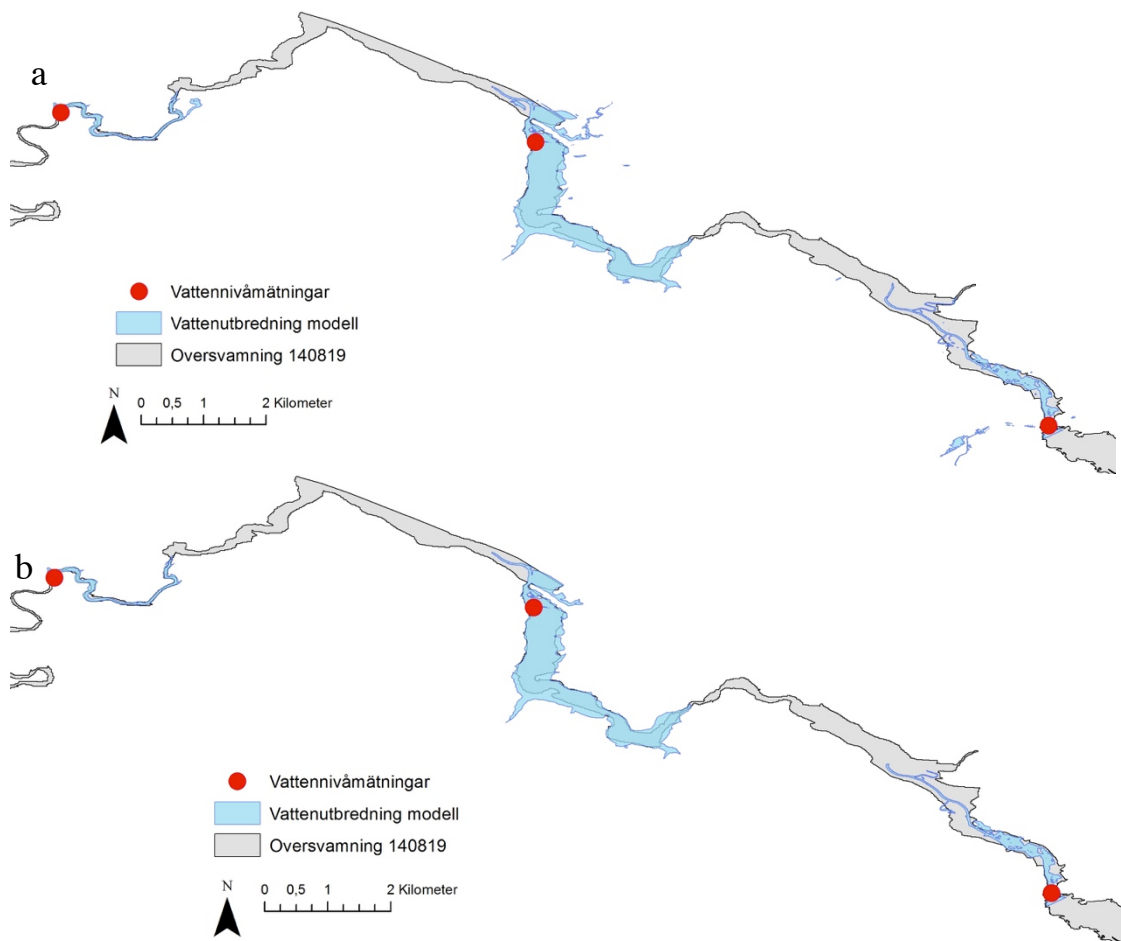
Figur 14. Resultat från subtraktion av MIKE 11-raster för interpolerade vattennivåer från raster med interpolerade vattennivåer genererat med SÖK-modellen. Avser scenariot för 200-årsflöde med skillnader angivna i meter.



Figur 15. Histogram som visar fördelningen av skillnader mellan vattennivåer interpolerade med MIKE 11 och den SÖK-modellen, MIKE11-beräknade vattennivåer har subtraherats från modellberäknade. Y-axeln representerar antal celler. Avser scenariot för 200-årsflöde med skillnader angivna i meter.

4.3.5 Utvärdering mot MSB:s skikt för 2014 års översvämning i Suseån

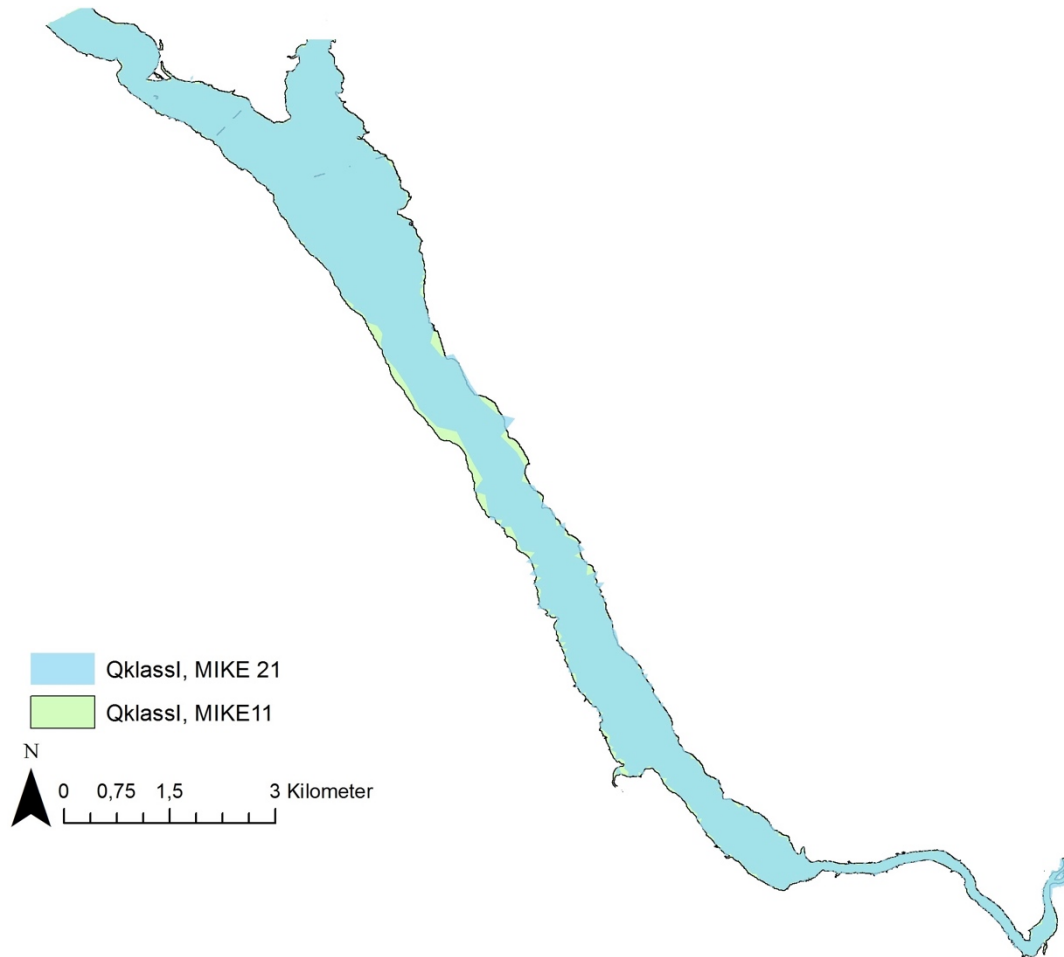
Vattenutbredningsskikt genererade med SÖK-modellen återskapar delvis den verkliga översvämningen i Suseån i augusti 2014 (Figur 16). En viss skillnad är att vänta då mätningar och observationer genomfördes under olika dagar och ingen information gällande vattenutbredningens reträtt eller avancemang under den aktuella tidsperioden finns att tillgå. Skillnader förväntades även till följd av förenklingar i den framtagna modellen. Ingen information gällande huruvida MSB i sin generering av översvämningsutbredningsskiktet har inkluderat eventuella översvämningsöar finns att tillgå, varför två versioner av SÖK-skapade skikt skapats; ett med och ett utan bortsortering av öpolygoner. Detaljbilder kring de tre mätpunkterna presenteras i bilaga 2 (Figur 48, Figur 49, Figur 50). Det anses positivt att modellen snarare överskattar än underskattar vattenutbredningen i majoriteten av områdena kring mätpunkterna.



Figur 16. Jämförelse av vattenutbredningsskikt framtagna med SÖK-modellen (benämns modell i legenden) mot översvämningsskikt för 2014 års översvämning i Suseån skapat av MSB baserat på flygfoton och observationer. I del a har samtliga öpolygoner behållits och i b har samtliga sorterats bort. Vattenutbredningsskikt genererade med modellen har gjorts transparenta för att underlätta illustrering av skillnader.

4.4 ANTAGANDE OM VOLYM

Jämförelse av resultat baserade på beräkningar i MIKE 21 och MIKE 11 visar på god överensstämmelse för normalvattenflöde och Q-klassI (Figur 17, Figur 39). Att MIKE 11-simuleringar resulterade i något större vattenutbredningsskikt tyder på att antagandet om att tillräckligt med vatten för att fylla upp hela området bidrar med viss osäkerhet till modellen. Sambandet är dock inte entydigt då de flesta skillnader för klassI-flödet kan förklaras av lägre meshupplösning i dessa delar.



Figur 17. Jämförelse av vattenutbredning för klassI-flöde genererade med MIKE 11 och MIKE 21 för området i Figur 5.

5 DISKUSSION

Diskussionsavsnittet inleds med en generell diskussion om översvämningskartering varefter fokus skiftar mot lämpligheten i WSP:s nuvarande metod och dess utvecklingspotential. Därefter diskuteras den framtagna modellen, hur den anses adressera problem i KOG-metoden samt dess prestation vid applicering på vattendrag av olika komplexitet samt dess förmåga att simulera faktiska översvämningar. Även metodutveckling och förslag till framtida studier diskuteras.

5.1 TILLTRO TILL ÖVERSVÄMNINGSKARTOR

Baserat på litteratur inom översvämningsområdet (avsnitt 2) bedöms den optimala översvämningskarteringen göras med en tvådimensionell hydraulisk modell kalibrerad mot flöden och vattennivåer av samma storleksordning som det scenario karteringen gäller. Denna modell skulle användas för att simulera vattenutbredning för samtliga parameteruppsättningar som i kalibreringen ger lika resultat samt med inkluderande av osäkerheter för att generera probabilistiska kartor. Detta anses dock inte rimligt, dels på grund av databrist och dels på grund av tidsåtgång. En kartering baserad på enklare metoder där osäkerheter kommuniceras till beslutsfattare är ett mer realistiskt tillvägagångssätt.

Graden av noggrannhet vid illustrering av resultat från översvämningsmodellering diskuteras i flera studier som samtliga belyser vikten av att osäkerheter kommuniceras. Att inkludera mycket detaljer i en översvämningskarta kan ge upphov till att stor tilltro sätts till kartorna. Det bedöms därför mer lämpligt att skapa mindre detaljrika kartor och förmedla osäkerheter förknippade med den. Ett lämpligt sätt att illustrera osäkerhet i översvämningskartering anses vara probabilistiska kartor. Det råder dock tveksamheter kring hur applicerbart detta är på översvämningskartering utanför forskningsvärden. Pris- och tidspress leder ofta till att en eller ett fåtal beräkningar med den enklaste modellen som uppfyller beställarens krav används. Kanske skulle separata modelleringar som möjliggör probabilistisk modellering för områden av särskilt intresse vara ett alternativ för att ge en mer rättvisande bild. Detta särskilt i områden som tros översvämmas kraftigt av stora nederbördsmängder eftersom översvämningar av den typen ofta är geografiskt begränsade till mindre områden (Alfredsson, 2012) och modeller kalibreras med fokus på vattendragets generella beteende. Detta leder till att modellen på lokal skala inte producerar tillräckligt bra (Pappenberger m.fl., 2007).

Diskussion rörande val av lämplig hydraulisk modell för beräkning av vattennivåer vid översvämningar i beredskapsplaneringssyfte kan på grund av de krav som ställs argumenteras för att vara omotiverad. Modellering i MIKE 11 har hittills varit ett krav (McConnachie, 2013). Dock anses en sådan diskussion i detta fall extra motiverat för att säkerställa att bästa tillgänglig teknik används i dessa omfattande projekt. Att standardisera vilken programvara som används kan anses fördelaktigt då det underlättar jämförelse mellan olika vattendrag karterade av olika personer. En nackdel är dock att det är svårare att säkerställa att bästa tillgängliga teknik används, därför rekommenderas det att rekommendationen regelbundet utvärderas, något som även belyses av Elforsk (2006). Det kan argumenteras för att MIKE 11 inte är lämplig på grund av en 1D-hydraulisk modells begränsade förmåga att korrekt beskriva vattenutbredning. Pappenberger m.fl. (2005) belyste detta men får opposition av Md Ali m.fl. (2015) som anser att 1D hydrauliska modeller inte presterat mycket sämre än 2D-modeller vid applicering på verkliga fall. En orsak till att åsikterna om lämplighet hos enklare modeller varierar kan vara om kalibrering av den hydrauliska modellen gjorts mot data som beskriver händelser av samma magnitud som modellen sedan simulerat eller ej. Enligt Di Baldassarre m.fl. (2010) har kalibreringsdata en kraftig påverkan på modellens förmåga att korrekt beskriva verkligheten. En annan orsak kan vara att 1-modeller tros prestera bättre då de används för att simulera översvämningar längs floder med brant omkringliggande terräng där lite flöde sker på flodbädden (Di Baldassarre, 2012). Sammanfattningsvis bedöms det generellt sett inte vara en nackdel att MIKE 11 är en endimensionell hydraulisk modell då den beräkningstid som sparas jämfört med användande av en tvådimensionell modell istället skulle kunna användas för att kalibrera modellen noggrant, analysera osäkerheter samt genomföra flera simuleringar för att möjliggöra probabilistiska kartor.

5.1.1 Översvämnings påverkan på omgivningen

Eftersom översvämningar utsätter vattendraget för starka krafter som modifierar flodfårans geometri (Pappenberger m.fl., 2006) bedöms de sektioner för vilka beräkningar gjorts förändras. Vid revidering av riskerna, som enligt EU-direktivet krävs var sjätte år, anses det därför särskilt lämpligt att genomföra nya hydrauliska modelleringar för vattendrag som utsatts för kraftiga översvämningar med påverkan på flodfårans geometri. Då översvämningsmodellering har potential för förbättring inom många områden anses det i nuläget inte prioriterat att utveckla en hydraulisk modell som simulerar och tar hänsyn till förändringar av en vattenfåras geometri under översvämningsförloppet.

Den betydande del av flödet som sker utanför flodfåran under kraftiga översvämningar tros inte helt följa flodens naturliga meandring utan istället flöda rakast möjliga väg. Detta motiverar behovet av 2D-modeller i kraftigt meandrande vattendrag, alternativt användande av sektioner i en 1D-modell vinkelräta mot såväl kanal som flodbäddflödet (Figur 2). För ytterligare diskussion kring 2D-modellering i meandrande vattendrag se avsnitt 5.2.

5.1.2 Översvänningsöar

Då enighet råder rörande betydande interaktioner mellan yt- och grundvatten (Chormanski m.fl., 2011; Korkka-Niemi m.fl., 2012; MacDonald m.fl., 2014; Pirastru och Niedda, 2013; Rautio m.fl., 2015 med flera) är det av intresse att inkludera dessa flöden i översvänningsmodellering i större utsträckning än vad som görs idag. Dock bedöms det dröja innan detta är möjligt eftersom de resultat som presenterats är starkt kopplade till specifika akvifärer och det därför är nödvändigt med grundläggande, platsspecifik kartläggning av akvifärernas egenskaper. Att ingen mer aktuell litteratur gällande det förslag som beskrevs av Vekerdy och Meijerink (1998) gällande en kombination av mjukvarorna BRANCH och MODFLOW för att förstå interaktionerna mellan yt- och grundvatten hittas tros inte detta vara det bäst lämpade angreppssättet för problemet.

Hur hanteringen av vattenmassor som vid karteringen inte bedöms vara sammankopplade till huvudfåran bör ske är komplicerad. Det kan argumenteras för att den metod som SMHI (2013) beskriver är lämpligast eftersom ingen hänsyn tagits till markens permeabilitet eller karaktär på grundvattenakvifärer i modelleringen kan det inte uteslutas att dessa översvänningsöar står i hydraulisk kontakt med vattendraget. Dock anses det av samma orsak väldigt osäkert att precis dessa platser kommer översvämmas. Att bedöma för varje enskild öpolygon separat om den bör vara med i översvänningskartorna eller ej är tidskrävande. Om detta ska göras rekommenderas utveckling av ett verktyg som först tar bort öpolygoner på stort avstånd från vattendraget. Detta eftersom effekter av höga vattennivåer i floder avtar med ökat avstånd från vattendraget (MacDonald m.fl., 2014). Denna diskussion kan sägas mynna ut i en diskussion om en karta som inkluderar mycket detaljer eller en mindre detaljerad karta är bäst lämpad för att förmedla risken vid översvämningar. En tänkbar kompromiss skulle vara att generera två kartor, en med och en utan översvänningsöar, där den som inkluderar översvänningsöarna kan anses bäst lämpad att använda vid beslutsfattning och den utan vid illustrering av risk på ett sätt som inte ger för stor tilltro till kartorna.

Om data över läckage mellan yt- och grundvatten finns tillgänglig bedöms det lämpligt att vid MIKE 11-simuleringar använda det verktyg som hanterar detta (DHI, 2014b). Verktöget anses dock inte helt lösa problemet med hantering av översvänningsöar eftersom ingen information rörande hantering av vatten som läckt ut till grundvattnet ges.

Även områden i anslutning till vattendraget med förhöjda grundvattennivåer som inte når markytan kan vara av intresse vid översvänningskartering. De förhöjda nivåerna kan potentiellt medföra instabilitet i marken med påverkan på byggnader och infrastruktur. Med dagens kunskapsnivå anses det inte möjligt att kvantifiera denna risk, men det vore önskvärt att i framtiden utveckla ett arbetssätt för att förmedla även dessa risker. Ett probabilistiskt arbetssätt rekommenderas då stora osäkerheter är att förvänta.

5.2 2D-MODELLERING OCH VOLYMSANTAGANDE

Att anta att tillräcklig volym vatten för att fylla upp hela det område som vid jämförelse med terrängmodell bedöms vara under vatten har visats felaktig främst vid lägre flöden. Resultat av MIKE 21-simuleringar där hänsyn till volym vatten tagits visar en mindre vattenutbredning än MIKE 11-simuleringar för samma område och flöde. För få scenarion och områden har undersökts för att ett uttalande om resultatets allmängiltighet ska kunna göras. Om det för diskussionens syfte antas att resultaten kan extrapoleras till andra områden och scenarion kan detta fungera som ett argument för användande av endimensionella modeller. Mycket osäkerheter karakteriserar användandet av båda modellerna och utan tillgång på verkliga översvämningar att jämföra mot kan det inte avgöras om någon modellgrad underskattar utbredningen. I enlighet med försiktighetsprincipen anses det bättre att använda en modell som genererar något större vattenutbredning.

Att Figur 17 och Figur 39 visar på skillnader mellan 1D- och 2D-modellering kan användas som argument för 2D-modellering. Dock bedöms skillnaderna, framförallt för det högre klass I-flödet, kunna ha resulterat från den generalisering som gjordes av terrängen med meshet i Figur 54. Skillnaderna bedöms i det undersökta området inte tillräckligt stora för att motivera den ökade tidsåtgången associerad med 2D-modellering. Det är möjligt att undersökning av meandrande delar av vattendrag som inte i lika stor utsträckning påverkas av ett större nedströms magasin skulle påvisa andra resultat. Det anses därför inte lämpligt att dra någon slutsats kring behovet för tvådimensionell modellering för meandrande vattendrag baserat på dessa resultat.

5.3 UTVECKLINGSPOTENTIAL FÖR WSP:S NUVARANDE METOD

Avsnittet fokuserar på den del av WSP:s metod som utgörs av KOG-verktyget, beräkningar av de vattennivåer som ligger till grund för kartorna diskuteras övergripande i avsnitt 5.1. Det bör dock nämnas att en förbättringspotential som gäller beräkningen av vattennivåer och skapandet av beräkningssektioner är dragning av sektioner enligt Figur 2.

Det finns flera områden med utvecklingspotential i WSP:s metod för översvämningsskartering. En av dem är att göra arbetet i GIS mer användarvänligt och mindre tidskrävande. Undvikande av korsande sektioner har varit en av de mer tidskrävande delarna vid användande av KOG-verktyget. Att kravet på raka beräkningssektioner avskaffas i 2016 års utgåva av MIKE HYDRO medför att KOG-verktygets begränsningar gällande korsande sektioner och modifiering av dammnära sektioner inte behöver diskuteras ytterligare.

Att de modeller som bygger upp KOG-verktyget utvecklades i en version av ArcGIS utan stöd för iterativa processer i ModelBuilder talar mot användande av KOG-modellerna i den metod som utvecklas i projektet. Dock ansågs detta inte begränsande. Modellerna som hanterar interpolering samt omvandling av filformat för skiktgenereringen bedömdes vid diskussion med KOG-verktygets utvecklare lämpliga inspirationskällor för den metod som utvecklades i projektet.

5.3.1 Hydrauliska enheter och maskeringspolygoner

Att utvärderingen av hydrauliska enheter och maskeringspolygoner genomfördes för normalvattenflöde bedöms inte ha en signifikant påverkan på resultatet. Detta påstående styrks bland annat av analys rörande skillnader i vattennivå för dammbrottsscenarioet i Borga (Figur 10) där få skillnader mellan metod som använt dessa funktioner och inte påvisas för höga flöden.

Förutsatt att de hydrauliska enheterna behålls har KOG-verktyget potential att förbättras med ett mer intuitivt och iterativt loopande över de hydrauliska enheterna för olika scenarion. Det kan även tänkas möjligt att automatisera skapandet av de hydrauliska enheterna baserat på villkor gällande sektioners vinkling relativt varandra samt stora skillnader i vattennivåer för att dela in vid meandrande delar respektive dammar. Då bilaga 1 visade att hydrauliska enheter kräver maskeringspolygoner, men att maskeringspolygonerna och de hydrauliska enheterna bör utgöras av samma polygon behöver inte två separata polygoner skapas. En eventuell automatisering berör därmed endast skapande av en sorts polygoner. Det bedöms nödvändigt med omfattande Pythonprogrammering för att automatisera skapandet. Detta har inte prioriterats i projektet utan rekommenderas som en fortsättning på detta examensarbete om det, trots rekommendationen gällande avskaffande av hydrauliska enheter, bedöms önskvärt att fortsätta använda dem.

Det största problemet med hydrauliska enheter, bortsett från tidsåtgången, anses vara sammanfogning av vattennivåer i olika delar. Figur 25 i bilaga 1 visade att sammanfogningen kan medföra att vattenutbredning i biflöden ignoreras vilket bedöms ha potentiellt förödande konsekvenser i den riskanalys som modellgenererade vattennivåer används för. Skillnaden som observerades i Figur 10 visar större skillnader i dessa områden, men även dessa skillnader är små. Största fördelen med borttagande av hydrauliska enheter anses därför vara en skiktgenerering som upplevs mer korrekt och mindre tidskrävande. Att jämföra vattennivåer med terrängmodellen innan sammanfogningen av hydrauliska enheter genererade för det undersökta området mer trovärdig vattenutbredning men löste inte helt problemet. Då ingen metod för sammanfogningen av vattennivåer som presterade mer trovärdiga resultat än att behandla hela området som en enhet åstadkoms anses inte behovet av hydrauliska enheter behöva undersökas mer.

En möjlig anledning till varför slutsatsen kring behovet av indelning i hydrauliska enheter skiljer sig stort mellan den i projektet genomförda utvärderingen och utvecklingen av KOG-verktyget kan vara att KOG-verktyget utvecklades i version 9.3 av ArcGIS. Vid lanseringen av ArcGIS 10 genomfördes omfattande förändringar i flera av programmets verktyg, bland annat de kopplade till rumsliga analyser (McConnachie, Personlig kommunikation 2015).

5.4 FRAMTAGEN MODELL

Omvärldsanalysen bidrog till en ökad förståelse för översvämningskartering och olika länders hantering av krav ställda i EU:s översvämningsdirektiv. Användande av enklare metoder presenterade av Zhang m.fl. (2014) samt Sane och Huokuna (2008) ansågs inte beskriva hydrauliska samband tillräckligt korrekt för användning i den översvämningskartering som krävs enligt EU-direktivet. Även bristen på hantering av översvämningsöar för de båda metoderna bidrog till att den framtagna modellen inte baserats på dessa metoder. Den insamling av information om hur skiktgenerering vid översvämningskartering görs i olika länder som omvärldsanalysen syftade till begränsades av tillgänglighet till svenska eller engelska dokument. Möjligen hade den spanska metodhandboken (Gobierno de España, 2011) varit till hjälp. Men då spanskakunskaper varit på för låg nivå samt användande av automatisk översättning bedömts bristfälliga har metodhandboken inte kunnat studeras i detalj.

Användandet av ArcGIS:s ModelBuilder framför script av programmeringsspråket Python motiveras av ModelBuilders användarvänlighet och intuitiva gränssnitt. En övervägning rörande modellutveckling direkt i ArcGIS Pro övervägdes, men då programmet under projektgenomförandet var i utvärderingsfasen bedömdes det bättre att utveckla en modell som är direkt användbar i ArcGIS 10 och istället vid behov genomföra vissa justeringar vid en övergång till användande av ArcGIS Pro.

5.4.1 Automatisering vs. kontroll av processen

En viktig aspekt av metodutvecklingen har varit att väga de fördelar en automatiserad metod medför mot de nackdelar gällande minskad möjlighet till kontroll av processen som följer av automatiseringen. För- och nackdelar diskuterades löpande med handledare under modellutvecklingen. En viktig bidragande faktor till beslutet att automatisera merparten av karteringen var möjligheten att lägga resurser på andra delar av översvämningskarteringen. Det har bedömts prioriterat att möjliggöra för kalibrering och validering av den hydrauliska modelleringen än att möjliggöra kontroll av varje steg av skiktgenereringen. För användning inom mer vetenskapliga sammanhang bör dock inte automatisering ske på bekostnad av kontroll. Men eftersom denna metod är framtagen för att användas inom den kommersiella sektorn bedöms det dock mer lämpligt att automatisera en stor del av metoden.

5.4.2 Interpolationsmetod

Utvärdering av lämplig interpolationsmetod baserades på beräknad vattennivådata. Önskvärt vore att jämföra olika interpolationsmetoder och de vattenutbredningsskikt de genererar med hänsyn till hur väl de återskapar verkliga översvämningsområden i områden av varierande karaktär. Även valet att utvärdera mot normalvattenflöde och inte högre flöden kan ha påverkat val av interpolationsmetod. Dock bedöms det inte troligt att ”*Topo to Raster*” på en godtagbar tid skulle kunna åstadkomma högupplösta vattenutbredningar för högre flöden vilket talar för att samma beslut gällande interpolationsmetod skulle ha tagits även vid utvärdering med högre flöden. En mer djupgående undersökning om mängden information som går förlorad i interpolationen med TIN-filer vore intressant. Om den bedöms betydande kan det, trots långa beräkningstider motivera användande av ”*Topo to Raster*” eller andra mer tidskrävande interpolationsmetoder.

I den utvärdering av interpolationsverktyg som presenteras i Bilaga 1 nämns att beräkningstid inte var huvudanledningen till varför den använda interpolationsmetoden valdes. En av anledningarna till detta är att dessa tros variera mellan det använda ArcGIS 10.1 och ArcGIS Pro. Den beräkningstid som observerades för verktyget *"Topo to Raster"* bedöms dock vara tillräckligt hög för ett relativt litet område att verktyget inte tros utgöra en lämplig interpolationsmetod i ArcGIS Pro.

Att det i utvärderingen inte genomfördes en kvantitativ utvärdering gällande approximativ eller exakt interpolering beror på att det ansågs lämpligare att tvinga vattennivåerna att vara oförändrade i beräkningssektionerna. Trots osäkerheter i modellresultat upplevdes det mer korrekt att lita på tillgänglig data. Det är dock enkelt att ändra denna inställning i den framtagna modellen om starka argument för approximativ interpolering lyfts fram.

5.4.3 Hantering av översvämningsöar

Beslutet att ta bort samtliga översvämningsöar som uppstår i områden separerade från områden angivna av hydrologiskt kunnig modellerare baseras till stor del på att de beräknade vattennivåerna gäller för vattendraget. Att extrapolera dem till ett för stort avstånd från vattendraget anses inte korrekt, inte heller att ta bort potentiellt översvämmade områden som kan ha kontakt med vattendraget genom exempelvis diken för små för att synas i terrängmodellen.

Den hantering av översvämningsöar som implementerats i SÖK-modellen medför att fler områden än de vid sidan av vattendraget kan komma att behöva definieras som möjliga områden för öpolygoner. Detta eftersom vattenutbredning som förekommer i vattendraget men som i analysen inte breder ut sig över mittpunkten på en beräkningssektion kommer sorteras bort om de inte definieras som tillåtna områden för öpolygoner. För att underlätta i områden med stort avstånd mellan beräkningssektioner övervägdes skapande av punkter på ett visst avstånd längs den linje som genereras i MIKE 11 och representerar vattendraget. Dock anses det svårt att ange ett standardvärde som gäller för hela vattendraget (skapad med ArcGIS:s Buffer-verktyg) varför en polygon baserat på normalvattenflödets utbredning istället föreslås för att ringa in områden där översvämningsöar är tillåtna. Detta medför dock i sin tur problem då denna polygon bör skapas baserat på satellitbilder eller flygfoton för att säkerställa att felaktig bortsortering av öar inte skett även i dess skiktgenerering. Då tillgången på data tros begränsa detta har detta inte implementerats i modellen, dock kan det enkelt läggas till om datatillgången bedöms tillräcklig med en kombination av verktygen *"Select Layer by Location"* och *"Merge"* i ArcGIS.

Då det bedöms orimligt att med dagens kunskapsnivå genomföra kompletta analyser av interaktioner mellan grund- och ytvatten längs det vattendrag som ska karteras för översvämningsscenarion anses den metod som används i den framtagna metoden bäst lämpad. Denna metod möjliggör för en modellerare med god kunskap om hydrologi att ange områden dit det är troligt att översvämmade vattendrag når. Metoden innehåller dock en stor osäkerhetskälla som bör läggas till vid analys av metodens säkerhet, nämligen att det på samma sätt som för beräkningssektioner (Castellarin m.fl., 2009) anses osannolikt av två experter skulle välja exakt samma lågtliggande områden som kan översvämmas.

5.5 UTVÄRDERING AV FRAMTAGEN MODELL

För de utvärderingar för Ångermanälven och Suseån som gjorts mot KOG-och MIKE 11-genererade skikt är endast en kvalitativ jämförelse möjlig. Trovärdigheten hos KOG-verktygets och MIKE 11s skikt bedöms hög men de anses inte exakta (McConnachie och Portin, personlig kommunikation 2015). Små variationer mellan dessa och skikt genererade med den framtagna modellen anses därför inte vara tillräckliga för att förkasta den framtagna modellens lämplighet.

Att samma terrängmodell använts vid jämförelse av olika metoder anses stärka utvärderingens trovärdighet. Särskilt i flacka områden kan små skillnader mellan olika terrängmodeller leda till stora skillnader. Det rekommenderas därför att de riktlinjer som rekommenderar användande av MIKE 11 för standardisering i framtiden även anger användande av data från Lantmäteriets nationella höjdmodell.

Vikten av utvärdering genomförd för översvämningsskikt för dammbrottsscenario är tvetydig. Dels för att kalibreringsdata för dessa scenarion saknas (Portin, personlig kommunikation 2015) och simuleringar utanför kalibreringsintervallet ger osäkra resultat för 1D-modeller (Di Baldassarre m.fl., 2010). Samt dels för att lämpligheten för en 1D hydraulisk modell för simulering av dammbrott är osäker. Castellarin m.fl. (2009) argumenterar för behovet av mer avancerade 2D-modeller vid beskrivning av dammbrottsscenario. Utvecklarna av MIKE 11 anger dock analys av dammbrott som ett av programvarans användningsområden (DHI, n.d.), en möjlig förklaring till detta kan vara att MIKE 11 kan integreras med andra modeller för att inkludera 2D beskrivning av en delsträcka och genomföra dammbrottsberäkningar (Nordblom och Petzén, 2014). Det är därför extra viktigt att för utvärdering mot dammbrottsscenario påpeka vikten att utvärderingen syftar till en relativ jämförelse och inte till att avgöra vilken metod som är mest korrekt.

Det bör belysas att källan som styrker användande av endimensionella modeller för dammbrottsscenario är DHI, utvecklare av ett endimensionellt modelleringsprogram, varför den inte anses lika pålitlig som Castellarin m.fl. (2009). Dock ökar DHI:s trovärdighet något då hänsyn tas till att de även utvecklar ett 2D-hydrauliskt modelleringsprogram, MIKE 21, som de istället skulle kunna rekommendera för dammbrottsscenario.

5.5.1 Utvärdering mot KOG-verktyget

Det förväntades generellt hög överensstämmelse för såväl vattennivårastrer som vattenutbredningsskikt vid jämförelse mellan SÖK- och KOG-genererade skikt. Dock förväntades större skillnader i anslutning till överlappande hydrauliska enheter än vad som observerades. Detta kan sägas vara ett argument för att hydrauliska enheterna inte måste tas bort. Dock bedömdes resultaten från SÖK-modellens skikt prestera något bättre i dessa områden.

Att vattenutbredning och vattennivåer varierar mellan de två metoderna i anslutning till dammar bedöms inte vara ett problem. Detta speciellt då det varierar från fall till fall om beställaren önskar en interpolering i detta område och att inkludera det från början och vid behov klippa av med vattenutbredningspolygonen eller vattennivårastret bedöms enklare än att i efterhand interpolera vattennivåer enskilt för dessa delar.

SÖK-modellen anses hantera de största problemen som upplevts vid användande av KOG-verktyget, framförallt har användarvänligheten förbättrats. SÖK-modellen har gentemot KOG-verktyget kritiserats för att vara för enkel. Dock anses resultat av jämförelse mellan KOG- och SÖK-genererade skikt samt observationer rörande den framtagna modellens förmåga att generera hydrologiskt mer korrekta vattenutbredningar vara argument för att modellen är tillräckligt avancerad.

5.5.2 Utvärdering mot MIKE 11

Det östra området av Suseån visade vid jämförelsen, trots liknande vattenutbredningar, relativt sett stora skillnader i vattennivåer. Ingen förklaring till detta har hittats. Då samma uppsättning beräkningssektioner har använts är det troligt att metoden för interpoleringen i MIKE 11 skiljer sig från den i SÖK-modellen.

Utvärderingen mot MIKE 11 skikt gjordes för att undersöka om någon viktig detalj i skiktgenereringen saknades i modellen. Trots att skillnaderna är kvalitativt högre än vid jämförelse med KOG-verktyget bedöms de två metoderna likvärdiga. Även här bedöms den minskade tidsåtgången agera som ett starkt argument för att använda den framtagna modellen.

En fördel med MIKE 11-genererade skikt kan tänkas vara att användande av en externt utvecklad modell medför en känsla av mindre ansvar för resultaten. Detta ansågs dock vägas upp av att SÖK-modellen är transparent och att användaren enkelt kan se modellens uppbyggnad och skapa sig en överblick av vilka processer som sker. Viktigt att belysas är dock att transparensen främst gäller personal på WSP eftersom modellen i helhet inte publiceras.

5.5.3 Utvärdering mot verklig översvämning i Suseån

Vikten av utvärdering av vattenutbredning i Suseån mot verklig översvämning är tvetydig. Det är det bäst lämpade sättet att utvärdera metoden på, men tillgängligheten till nödvändig data för en bra utvärdering är begränsad. Framförallt på grund av att datatillgången är låg och mätpunkter glest placerade. Det skulle behövas fler mätpunkter för att dra en belagd slutsats rörande modellens lämplighet. Dock kan de små skillnaderna som observerades mellan SÖK-genererade skikt och MIKE 11 skikt användas som argument för att MIKE 11 troligtvis inte skulle prestera en bättre skiktgenerering än den framtagna modellen för Suseån.

Bedömningen att modellen återskapar översvämningsutbredningen tillräckligt bra grundas på att exakt överensstämmelse inte bedöms troligt. Detta även om tätare mätningar hade gått att tillgå eftersom modellen representerar en förenklad version av verkligheten. SÖK-modellen tar inte hänsyn till interaktioner med objekt som kan interagera med vattnet mellan beräkningssektionerna. Interaktioner med urban infrastruktur samt eventuella blockeringar orsakade av drivgods kan ha stort utslag på vattenutbredningen men tas inte hänsyn till i den framtagna modellen. Problemet som belyses av de Moel m.fl. (2009) rörande förändringar i flodfårans geometri över tid anses inte påverka utvärderingen av Suseån.

5.6 VIDARE STUDIER

Då en uppgradering av både ArcGIS-programvara och den programvara som används för hydraulisk modellering är på väg att ske är det oklart hur relevant framtagandet av den metod som är resultatet av detta examensarbete är. 2016 års utgåva av MIKE-paketet kommer innehålla en "Flood Modelling Toolbox" (DHI, 2015b). Dock bör det påpekas att det inte är säkert att MIKE HYDRO:s funktion för generering av översvämningsskikt kommer vara beräkningsmässigt snabbare än MIKE 11s skiktgenerering. Utvärdering av MIKE HYDRO:s funktion för generering av översvämningsskikt rekommenderas. Det bör dock avvaktas något med denna utvärdering för att tillåta DHI att åtgärda de buggar i programmet som karakteriserar nyutgivna program. Övergången från ArcGIS till ArcGIS Pro tros inte begränsa metodens lämplighet på annat sätt än att det kan tänkas möjliggöra för inkludering av nya funktioner.

En intressant vidare studie som inte direkt berör fokusområdet för detta examensarbete är att utvärdera dragning av beräkningssektioner i MIKE HYDRO som är stegvis vinkelräta mot flöde i huvudfåran och flodbädden. Det rekommenderas att en sådan utvärdering görs efter MIKE HYDRO:s funktion för icke-raka sektioner lanserats för att säkerställa att tillgänglig programvara utnyttjas på bästa möjliga sätt, något som belysts i strategier för förbättring av översvänningskarteringar (Environment Agency, 2010).

Om det vid användande av SÖK-modellen bedöms sparas tillräckligt mycket tid att ett probabilistiskt angreppssätt är möjligt är vidareutveckling av karteringsmetoden, med start från beräkning av vattennivåer i ett hydrauliskt modelleringsprogram, lämplig.

Det pågår studier om hur hantering av drivgods kan inkorporeras i hydraulisk modellering. Om resultat av intresse för översvänningskartering nås är det av intresse att inkludera detta antingen i beräkningen av vattennivåer eller möjligtvis en modifiering av modellen som tar hänsyn till blockeringar på utvalda platser längs vattendraget.

Studier om inkorporering av yt- och grundvatteninteraktioner i översvänningsmodellering är av intresse för att öka trovärdigheten rörande hantering av översvänningsöar. Det bedöms även troligt att en ökad grundvattennivå till följd av interaktioner mellan yt- och grundvatten vid en långvarig översvämning kan ha effekter på infrastruktur även om grundvattennivån inte överskrider markytan. Förmedling av områden av sådan risk är önskvärt att inkludera i framtida översvänningskarteringar.

Förekomsten av översvänningsöar bedöms talrikare vid översvämningar orsakade av kraftigt nederbörd. Att kombinera översvänningskartering med analys av ansamlingspunkter vid kraftiga nederbördstillfällen vore därför av intresse i känsliga områden.

5.6.1 Modellutveckling

Att vidareutveckla SÖK-modellens hantering av resultattabell till att direkt hantera MIKE 11s resultatfil och ta bort behovet av omvandling till Excel-format har förekommit som förslag under modellutvecklingen. Detta kan vara lämpligt i framtiden men bedömdes i nuläget inte prioriterat. Genereringen av Excel-tabellen som används för att tilldela vattennivåer till beräkningssektionsfilens attributtabell bedöms även bra för kontrollering av simuleringsresultat, speciellt när stor del av övriga steg automatiserats i modellen.

Script skrivna i programmeringsspråket Python kan inkluderas i ArcGIS:s ModelBuilder modeller. Dessa script medför ytterligare möjligheter till utveckling av den framtagna modellen. Funktioner som automatiserar modellkörningar till en viss tid på dygnet eller ställer in hur stor del av datorns kapacitet som ska användas för ArcGIS skulle medföra stabilitet till den framtagna modellen.

I utveckling av SÖK-modellen togs initialt en version som automatiskt hanterade sammankopplingen av vattennivådata med beräkningssektioner fram. Vid test av modellen upplevdes denna modul tillföra instabilitet och minska användarvänligheten. Felsökning gjordes men då inget användarvänligt sätt kunde identifieras exkluderades detta från modellen och det manuella förarbete som behövs beskrivs istället i detalj i användarmanualen (bilaga 3). Om en intuitiv, stabil metod för detta utvecklas inkluderas det lämpligen i modellen.

För att underlätta WSP:s översvämningskartering ytterligare kan den punktmodell som i dagsläget används för att tilldela punkter information om vattennivåer i översvämningskiktet läggas ihop med den framtagna modellen. Detta gjordes inte i projektet då punktmodellen upplevdes instabil och tid inte fanns för en utveckling av en alternativ utformning av modellen. Punktmodellen är en modell byggd i ModelBuilder som lägger till information om vattennivåer i punkter längs vattendraget och främst används med syfte att leverera användarvänliga GIS-kartor till beställare.

SÖK-modellen hanterar i nuläget endast ett scenario i taget, att i framtiden utveckla modellen till att kunna hantera flertalet scenarion är önskvärt. Försök till detta gjordes med de i ModelBuilder inbyggda funktionerna för iterativt loopande, dock upplevdes dessa i dagsläget bidra med instabilitet till modellen. För körning av flera scenarion parallellt rekommenderas istället batch-körning via ArcCatalog.

6 SLUTSATSER

Baserat på litteratur gällande hantering av översvänningsöar i kartering bedöms det inte rimligt att exkludera all vattenmassa som vid jämförelse med terrängmodellen uppstår utan anslutning till huvudvattendraget. En identifiering av låglänta områden i närheten av vattendraget där hydraulisk kontakt med huvudvattendraget tros möjlig är nödvändig. Den i projektet framtagna modellen utnyttjar tillgänglig kunskap om yt- och grundvatteninteraktioner i hanteringen av översvänningsöar.

För att förbättra hantering av biflöden i generering av översvämningsskikt bör dessa inte hanteras som separata enheter i interpoleringen. Indelningen i hydrauliska enheter bedöms onödig, därmed minskas behovet av handpåläggning i skiktgenereringen kraftigt. För att säkerställa korrekt beskrivning bör tid läggas på dragning av beräkningssektioner som bedöms representera vattendragen utan att vid interpolering av separata grenar skapa konflikterande vattennivåytor.

Den modell som utvecklats antar att volym vatten som kan översvämma karterat område inte är begränsad, detta har dock visats felaktigt. Hydraulisk modellering av högre grad med volymshänsyn löser detta, men den förlängda beräkningstiden associerad med högre modellgrad medför att de inte är praktiskt tillämpbara på stor skala.

Genom att kraftigt minska tidsåtgången för generering av vattenutbredning tillåts en mer iterativ process för hydraulisk modellering vilket tros öka möjligheten att beskriva översvämningar korrekt. Den sparade tiden rekommenderas användas för generering av probabilistiska översvänningskartor. Vid generering av probabilistiska kartor krävs en iterativ process för såväl den hydrauliska modelleringen i exempelvis MIKE HYDRO samt en mer iterativ hantering av skiktgenereringen i ArcGIS.

Önskvärt vore att utvärdera den framtagna modellen mot en stor databas av verkliga översvämningar. Den begränsade datatillgången var för låg för att möjliggöra en slutsats gällande den framtagna modellens förmåga att beskriva faktiska översvämningar. Överensstämmelsen som observerades var dock tillräckligt hög för att modellen inte bör förkastas.

Den bristande datatillgången har även bidragit till att det inte varit möjligt att avgöra vilken metod som genererar mest korrekt vattenutbredningsskikt. Den framtagna metoden anses dock, jämfört med både KOG-verktygets och MIKE 11s skiktgenerering, vara mindre tidskrävande. Detta tillsammans med små observerade skillnader mellan verktygen är argument för att den framtagna modellen är bättre lämpad eftersom den tillåter att mer tid läggs på iterativa beräkningar av vattennivåer och eventuellt framtagande av probabilistiska kartor. Den låga skillnaden som observerades mellan såväl vattennivåer och utbredning anses tillräcklig för att rekommendera användning av den framtagna modellen med lika hög tilltro till dess resultat som till resultat genererade med KOG-verktygen eller MIKE 11.

REFERENSER

LITTERATUR

- Alfredsson, C., 2012. Översvämningar i Sverige 1901-2010. Myndigheten för samhällsskydd och beredskap.
- Ali, A.M., Di Baldassarre, G.D., Solomatine, D.P., 2015. Testing different cross-section spacing in 1D hydraulic modelling: a case study on Johor River, Malaysia. *Hydrol. Sci. J.* 60, 351–360. doi:10.1080/02626667.2014.889297
- Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2015. Amtliche Festsetzung von Überschwemmungsgebieten [WWW Document]. Leb. Bayern. URL http://www.lfu.bayern.de/wasser/hw_ue_gebiete/amtliche_festsetzung/index.htm (läst 2015-09-17).
- Baynes, E.R.C., Attal, M., Niedermann, S., Kirstein, L.A., Dugmore, A.J., Naylor, M., 2015. Erosion during extreme flood events dominates Holocene canyon evolution in northeast Iceland. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 112, 2355–2360. doi:10.1073/pnas.1415443112
- Berglöv, G., 2010. Hydraulisk modellering av Selånersån genom Sundsvall (No. 2009-79). SMHI.
- Beven, K., Lamb, R., Leedal, D., Hunter, N., 2015. Communicating uncertainty in flood inundation mapping: a case study. *Int. J. River Basin Manag.* 13, 285–295. doi:10.1080/15715124.2014.917318
- Capo, R.C., Stewart, B.W., Chadwick, O.A., 1998. Strontium isotopes as tracers of ecosystem processes: theory and methods. *Geoderma* 82, 197–225.
- Castellarin, A., Di Baldassarre, G., Bates, P., Brath, A., 2009. Optimal Cross-Sectional Spacing in Preissmann Scheme 1D Hydrodynamic Models. *J. Hydraul. Eng.* 135, 96–105. doi:10.1061/(ASCE)0733-9429(2009)135:2(96)
- Childs, C., n.d. Interpolating Surfaces in ArcGIS Spatial Analyst.
- Chormanski, J., Okruszko, T., Ignar, S., Batelaan, O., Rebel, K.T., Wassen, M.J., 2011. Flood mapping with remote sensing and hydrochemistry: A new method to distinguish the origin of flood water during floods. *Ecol. Eng.* 37, 1334–1349. doi:10.1016/j.ecoleng.2011.03.016
- De Moel, H., van Alphen, J., Aerts, J.C.J., 2009. Flood maps in Europe - methods, availability and use. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 9, 289–301.
- DHI, 2015a. MIKE 2016 release preview.
- DHI, 2015b. MIKE 2016 - NEW FEATURES AND IMPROVEMENTS [WWW Document]. MIKE Powered DHI. URL <http://www.mikepoweredbydhi.com/mike-2016/new-features> (läst 2015-09-30).
- DHI, 2014a. Release Note 2014. MIKE HYDRO [WWW Document]. MIKE DHI. URL <http://releasenotes.dhigroup.com/2014/MIKEHydrorelinf.htm> (läst 2015-09-30).
- DHI, 2014b. MIKE 11, A modelling system for Rivers and Channels. User Guide.
- DHI, 2014c. MIKE 11, A modelling system for Rivers and Channels. Reference Manual.
- DHI, 2009. MIKE 11. A modelling System for Rivers and Channels, Reference Manual.
- DHI, n.d. MIKE 11 [WWW Document]. URL <http://www.mikepoweredbydhi.com/products/mike-11> (läst 2015-09-14).

- Di Baldassarre, G., 2012. Floods in a changing climate. Inundation modelling, International hydrology series. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Di Baldassarre, G., Uhlenbrook, S., 2012. Is the current flood of data enough? A treatise on research needs for the improvement of flood modelling. *Hydrol. Process.* 26, 153–158. doi:10.1002/hyp.8226
- Di Baldassarre, G.D., Schumann, G., Bates, P.D., Freer, J.E., Beven, K.J., 2010. Flood-plain mapping: a critical discussion of deterministic and probabilistic approaches. *Hydrol. Sci. J.* 55, 364–376. doi:10.1080/02626661003683389
- Dottori, F., Di Baldassarre, G., Todini, E., 2013. Detailed data is welcome, but with a pinch of salt: Accuracy, precision, and uncertainty in flood inundation modeling. *Water Resour. Res.* 49, 6079–6085. doi:10.1002/wrcr.20406
- Eberly, S., Swall, J., Holland, D., Cox, B., Baldrige, E., 2004. Developing Spatially Interpolated Surfaces and Estimating Uncertainty (Teknisk Rapport No. EPA-454/R-04-004). United States Environmental Protection Agency.
- Elforsk, 2006. Dammsäkerhet, Beredningsplanering för dammbrott - Ett pilotprojekt i Ljusnan (No. 05:38). Elforsk.
- Environment Agency, 2010. Flood and Coastal Risk Management, Modelling Strategy 2010–2015.
- Environment, Heritage & Local Government, The Office of Public Works, 2009. The Planning System and Flood Risk Management - Guidelines for Planning Authorities.
- Esri, 2015. Shapefiles [WWW Document]. ArcGIS Online Help. URL <https://doc.arcgis.com/en/arcgis-online/reference/shapefiles.htm> (2015. 10.12).
- Esri, 2014. ArcGIS Help 10.1, Mosaic operators [WWW Document]. ArcGIS Resour. URL <http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#//009t000000n8000000t0000000n8000000> (läst 2015-10-20).
- Esri, 2012a. ArcGIS Help 10.1, How Edit TIN works [WWW Document]. ArcGIS Resour. URL <http://resources.arcgis.com/EN/HELP/MAIN/10.1/index.html#//00q90000007w000000> (läst 2015-10-06).
- Esri, 2012b. ArcGIS Help 10.1, TIN to Raster (3D Analyst) [WWW Document]. ArcGIS Resour. URL <http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#//00q900000077000000> (läst 2015-10-13).
- Esri, 2012c. ArcGIS Help 10.1, How Topo to Raster works [WWW Document]. ArcGIS Resour. URL http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#/How_Topo_to_Raster_works/009z0000007m000000/ (läst 2015-10-12).
- Esri, 2008. What is raster data [WWW Document]. ArcGIS 9.2 Deskt. Help. URL http://webhelp.Esri.com/arcgisdesktop/9.2/index.cfm?TopicName=What_is_raster_data%3F (läst 2015-10-20).
- Esri, n.d. GIS Dictionary: TIN [WWW Document]. Esri Support. URL <http://support.Esri.com/en/knowledgebase/GISDictionary/term/TIN> (läst 2015-09-30).
- Esri, n.d. ArcMap. Esri.
- Europaparlamentet och Europeiska Unionens råd, 2007. Europaparlamentets och rådets direktiv 2007/60/EG av den 23 oktober 2007 om bedömning och hantering av översvämningsrisker.

- Gobierno de España, 2011. Guía Metodológica para el desarrollo del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables [WWW Document]. Minist. Agric. Aliment. Medio Ambiente. URL http://www.magrama.gob.es/es/agua/publicaciones/guia_metodologica_ZI.aspx# (läst 2015-09-17).
- Gobierno de España, n.d. Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables (SNCZI) en la Cuenca del Ebro [WWW Document]. URL http://www.euroestudios.es/docs/eventos/inundaciones_ebro_v05.pdf (läst 2015-09-17).
- Jewert, M., Midbøe, F., Söderström, A., Åstrand, S., 2015. Dammbrottsberäkning och översvämningskartering - Metodik och erfarenheter.
- Korkka-Niemi, K., Kivimäki, A.-L., Lahti, K., Nygård, M., Salonen, V.-P., Pellikka, P., 2012. Observations on groundwater-surface water interactions at River Vantaa, Finland 23, 222–231.
- Lamb, M.P., Fongstad, M.A., 2010. Rapid formation of a modern bedrock canyon by a single flood event. *Nat. Geosci.* 3, 477–481. doi:10.1038/ngeo894
- MacDonald, A.M., Lapworth, D.J., Hughes, A.G., Auton, C.A., Maurice, L., Finlayson, A., Gooddy, D.C., 2014. Groundwater, flooding and hydrological functioning in the Findhorn floodplain, Scotland. *Hydrol. Res.* 45, 755. doi:10.2166/nh.2014.185
- MacDonald, M., 2010. Preliminary Flood Risk Assessments - Groundwater Flooding.
- Masoero, A., Claps, P., Asselman, N.E.M., Mosselman, E., Di Baldassarre, G., 2013. Reconstruction and analysis of the Po River inundation of 1951. *Hydrol. Process.* 27, 1341–1348. doi:10.1002/hyp.9558
- McConnachie, D., 2013. Generering av översvämningskikt i GIS - Metodutveckling (Teknikutvecklingsprojekt No. K5092663). WSP Sverige AB.
- Md Ali, A., Solomatine, D.P., Di Baldassarre, G., 2015. Assessing the impact of different sources of topographic data on 1-D hydraulic modelling of floods. *Hydrol Earth Syst Sci* 19, 631–643. doi:10.5194/hess-19-631-2015
- Merwade, V., 2014. Creating river bathymetry mesh from cross-sections.
- Merwade, V., Cook, A., Coonrod, J., 2008. GIS techniques for creating river terrain models for hydrodynamic modeling and flood inundation mapping. *Environ. Model. Softw.* 23, 1300–1311. doi:10.1016/j.envsoft.2008.03.005
- Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, 2012. Förordningen om översvämningsrisker - Sveriges genomförande av EU:s översvämningsdirektiv.
- Nordblom, O., Petzén, M., 2014. Vägledning för översvämningskartering av vattendrag Fakta, inspirerande exempel och tips för en bra beställning.
- Office of Public Works, 2015. CFRAM Programme [WWW Document]. Natl. CFRAM Program. URL <http://www.cfram.ie/> (läst 2015-09-17).
- Pappenberger, F., Beven, K., Frodsham, K., Romanowicz, R., Matgen, P., 2007. Grasping the unavoidable subjectivity in calibration of flood inundation models: A vulnerability weighted approach. *J. Hydrol.* 333, 275–287. doi:10.1016/j.jhydrol.2006.08.017
- Pappenberger, F., Beven, K., Horritt, M., Blazkova, S., 2005. Uncertainty in the calibration of effective roughness parameters in HEC-RAS using inundation and downstream level observations. *J. Hydrol.* 302, 46–69. doi:10.1016/j.jhydrol.2004.06.036

- Pappenberger, F., Matgen, P., Beven, K.J., Henry, J.-B., Pfister, L., Fraipont de, P., 2006. Influence of uncertain boundary conditions and model structure on flood inundation predictions. *Adv. Water Resour.* 29, 1430–1449. doi:10.1016/j.advwatres.2005.11.012
- Pirastu, M., Niedda, M., 2013. Evaluation of the soil water balance in an alluvial flood plain with a shallow groundwater table. *Hydrol. Sci. J.* 58, 898–911. doi:10.1080/02626667.2013.783216
- Portin, H., 2015a. Dammbrottsberäkningar och generering av vattenutbredningsskikt - Underlag för samordnad beredskapsplanering för höga flöden och dammbrott i Ångermanälven (Teknisk Rapport No. 10170017). WSP.
- Portin, H., 2015b. Hydraulisk modell - Underlag för samordnad beredskapsplanering för höga flöden och dammbrott i Ångermanälven (Teknisk Rapport No. 10170017). WSP.
- Rautio, A., Kivimäki, A.-L., Korkka-Niemi, K., Nygård, M., Salonen, V.-P., Lahti, K., Vahtera, H., 2015. Vulnerability of groundwater resources to interaction with river water in a boreal catchment. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 19, 3015–3032. doi:10.5194/hess-19-2015-2015
- Sane, M., Huokuna, M., 2008. Procedure for identifying automatically possible flood risk areas.
- SMHI, 2013. Översvämningskartering längs Gådeån.
- SMHI, n.d. Referensuppdrag - översvämningskartering.
- Solomatine, D.P., Werner, M., Di Baldassarre, G.D., Mukolwe, M.M., 2014. Flood modelling: parameterisation and inflow uncertainty. *Proc. ICE - Water Manag.* 167, 51–60. doi:10.1680/wama.12.00087
- Swain, E.D., 1994. Implementation and Use of Direct-Flow Connections in a Coupled Ground-Water and Surface-Water Model. *Ground Water* 32, 139–144. doi:10.1111/j.1745-6584.1994.tb00621.x
- Uhlenbrook, S., 2006. Catchment hydrology—a science in which all processes are preferential. *Hydrol. Process.* 20, 3581–3585. doi:10.1002/hyp.6564
- USACE, 2010a. HEC-RAS River Analysis System. User's Manual Version 4.1.
- USACE, 2010b. HEC-RAS River Analysis System. Applications Guide Version 4.1.
- UN-ISDR, 2016. Flood and drought disaster statistics collected by the United Nations Office for Disaster Risk Reduction [WWW Document]. available on URL www.preventionweb.net (läst 2016-01-20).
- Vekerdy, Z., Meijerink, A.M.J., 1998. Statistical and analytical study of the propagation of flood-induced groundwater rise in an alluvial aquifer. *J. Hydrol.* 205, 112–125. doi:10.1016/S0022-1694(97)00148-0
- Ward, J.V., Malard, F., Tockner, K., Uehlinger, U., 1999. Influence of ground water on surface water conditions in a glacial flood plain of the Swiss Alps. *Hydrol. Process.* 13, 277–293. doi:10.1002/(SICI)1099-1085(19990228)13:3<277::AID-HYP738>3.0.CO;2-N
- Wett, B., Jarosch, H., Ingerle, K., 2002. Flood induced infiltration affecting a bank filtrate well at the River Enns, Austria. *J. Hydrol., Attenuation of Groundwater Pollution by Bank Filtration* 266, 222–234. doi:10.1016/S0022-1694(02)00167-1
- Wilby, R.L., Beven, K.J., Reynard, N.S., 2008. Climate change and fluvial flood risk in the UK: more of the same? *Hydrol. Process.* 22, 2511–2523.
- WSP, 2015. Överlämningsmöte Suseån och Ätran.

Zhang, S., Wang, T., Zhao, B., 2014. Calculation and visualization of flood inundation based on a topographic triangle network. J. Hydrol. 509, 406–415. doi:10.1016/j.jhydrol.2013.11.060

PERSONLIG KOMMUNIKATION

Eduardo, MIKE powered by DHI, 2015. Mailkontakt gällande MIKE HYDRO.

Grabs, Thomas, 2015. Mailkontakt gällande interpolering av vattennivåer i GIS.

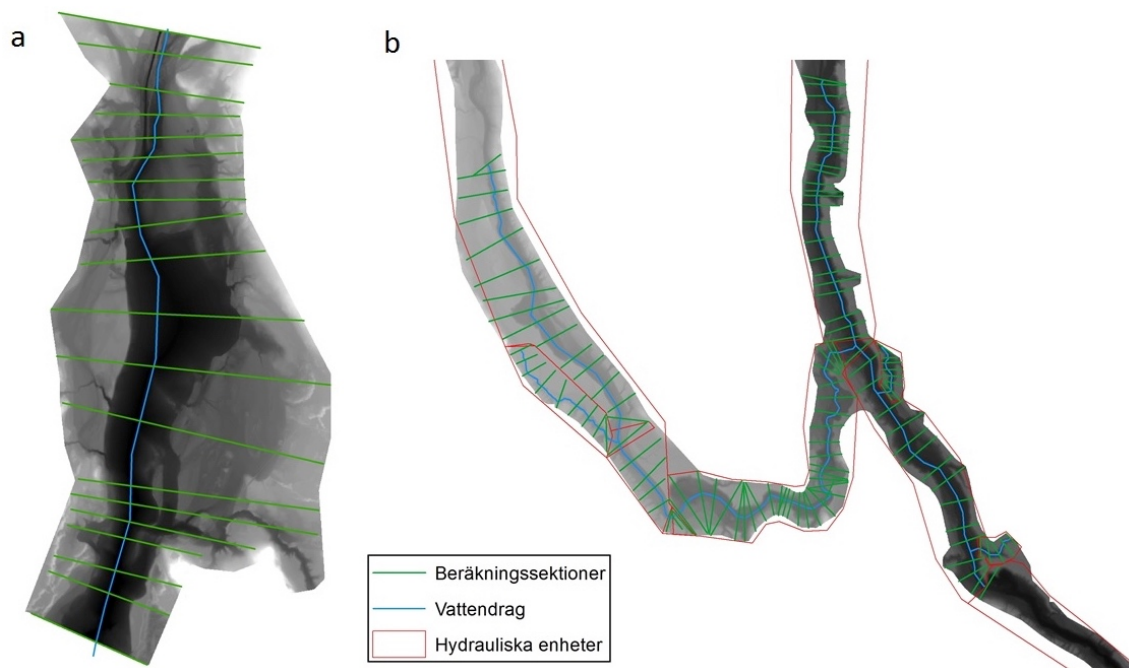
McConnachie, Duncan, 2015. Handledare på WSP Sverige AB. [Personlig kommunikation 2015] (Personlig kontakt under oktober – december)

Portin, Hanna, 2015. Handledare på WSP Sverige AB. [Personlig kommunikation 2015] (Personlig kontakt under september – december)

BILAGOR

BILAGA 1: UTVÄRDERING AV INTERPOLATIONSMETOD SAMT BEHOV AV MASKERINGSPOLYGONER OCH HYDRAULISKA ENHETER

Som underlag till utvärderingen av interpolationsmetod, maskeringspolygoner och hydrauliska enheter har två områden i Ångermanälven (Figur 3) för vilka WSP genomförde en översvämningskartering med KOG-verktyget år 2012-2015. En delsträcka som är relativt rak (Figur 18a) valdes för en initial utvärdering, härfter refererad till som område 1. Område 2 (Figur 18b) valdes med motiveringen att det under WSP:s kartering upplevdes vara ett problematiskt område. Område 2 inkluderar meandrande delar samt anslutande biflöden och sammankoppling av två huvudvattendrag. Området upplevdes problematiskt vid användande av KOG-verktyget (Portin, personlig kommunikation 2015). Område 1 utgörs av en hydraulisk enhet som täcker in en älvsträcka på cirka 6,5 kilometer, område 2 utgörs av totalt 8 hydrauliska enheter med en sammanlagd längd av vattendrag på knappt 30 kilometer (se avsnitt B1.2 för beskrivning av hydrauliska enheter).



Figur 18. a: Område 1, delsträcka av mindre komplex karaktär använd i utvärdering av interpolationsmetod samt behov av maskeringspolygoner och hydrauliska enheter. b: Område 2, det mer komplexa området som användes för utvärdering. Figuren är inte skalenlig.

Samtliga figurer i denna bilaga, med undantag från Figur 25, presenterar vattenutbredningsskikt med bakomliggande terrängmodell.

Utvärderingen diskuteras i avsnitt 5.

B1.1 INTERPOLATIONSMETOD

Den interpolationsmetod som idag används i KOG-verktyget, och som även förekommer i hydrauliska programvarors rutiner, är linjär interpolering. Beslut gällande användande av linjär interpolering i KOG-verktyget fattades tidigt i utvecklingsfasen av KOG-verktyget. Att interpolera på annat sätt ansågs leda till potentiella fel orsakade av över- eller underskattningar vid plötsliga förändringar i landskapets karaktär (McConnachie, personlig kommunikation 2015). Dessa fel bedöms dock inte bli betydande om beräkningssektioner placeras med hänsyn till abrupta förändringar i landskapets utseende. Det bör även has i åtanke att alla typer av interpoleringar är approximativa och en under- eller överskattning görs i samtliga interpolationer. Därför kan det vara lämpligt att välja en exakt interpolationsmetod (avsnitt 2.8.2) trots osäkerheter i beräkningen av vattennivåer eftersom vattennivåerna i beräkningssektionerna är den enda indata som finns tillgänglig.

Målet med utvärderingen av interpolationsmetod har varit att finna en lämplig metod som är enkel att initiera och genererar korrekta vattenutbredningsskikt. Beräkningstiden har beaktats i utvärderingen men huvudsyftet har inte varit att identifiera den interpolationsmetod med kortast beräkningstid.

B1.1.1 Metod

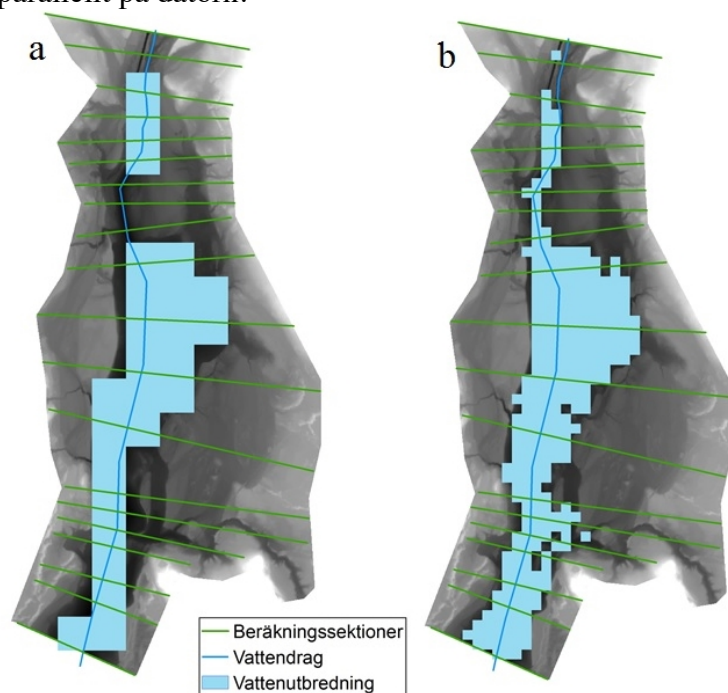
Avsnitt 2.8.2 har legat till grund för val av interpolationsmetoder att utvärdera. Initialt undersöktes verktyget *"Topo to Raster"* med syfte att undersöka om begränsningen gällande storlek på interpolationsområde medför problem för interpolationen av området. *"Topo to Raster"* användes för område 1 med varierande cellstorlek; ArcMaps defaultvärde (344x344 meter), en cellstorlek motsvarande terrängmodellens upplösning (5x5 meter) samt upplösningen 100x100 meter. Vid denna utvärdering användes ingen maskeringspolygon.

För jämförelse gjordes en TIN-interpolation, i vilken verktygen *"Create TIN"*, *"Edit TIN"* och *"TIN to Raster"* användes innan jämförelsen med terrängmodellen. De cellstorlekar som utvärderades var 250 (ArcMaps defaultvärde), 100 samt 5 meter. Resultat från *"Topo to Raster"* och TIN-metoden med samma cellstorlek jämfördes.

Jämförelse med terrängmodellen via verktyget *"Greater Than"* gjordes innan resultaten utvärderats. Utvärdering av interpolationsmetod har fokuserat på beräknade vattennivåer för normalvattenflöde, inga översvänningsöar har sorterats bort.

B1.1.2 Resultat

Användande av ”*Topo to Raster*” på område 1 med ArcMaps defaultvärde resulterade i ett vattenutbredningsskikt med en upplösning som bedömdes otillräcklig (Figur 19a). Inte heller en cellstorlek på 100x100 meter bedömdes uppfylla detaljkraven på det genererade vattenutbredningsskiktet (Figur 19b). Interpolationer med högre detaljnivå avbröts då interpolationstiden bedömdes orimligt lång. För cellstorleken 5x5 meter genomfördes tre interpoleringsförsök för att kontrollera att den långa beräkningstiden inte orsakats av datorrelaterade problem, verktyget avbröts efter 22,5 respektive 3 timmar. Ett samband mellan minskad cellstorlek och ökad tidsåtgång för beräkningar observerades för verktyget (Tabell 2), relationen mellan beräkningstid för olika cellstorlekar är av större vikt än de faktiska tiderna då de kan variera mellan olika datorer. Vid samtliga interpoleringar kördes mindre minnesintensiva program parallellt på datorn.



Figur 19. Vattenutbredning genererade med verktyget 'Topo to Raster' med cellstorlekar: a: 344x344 meter, b: 100x100 meter.

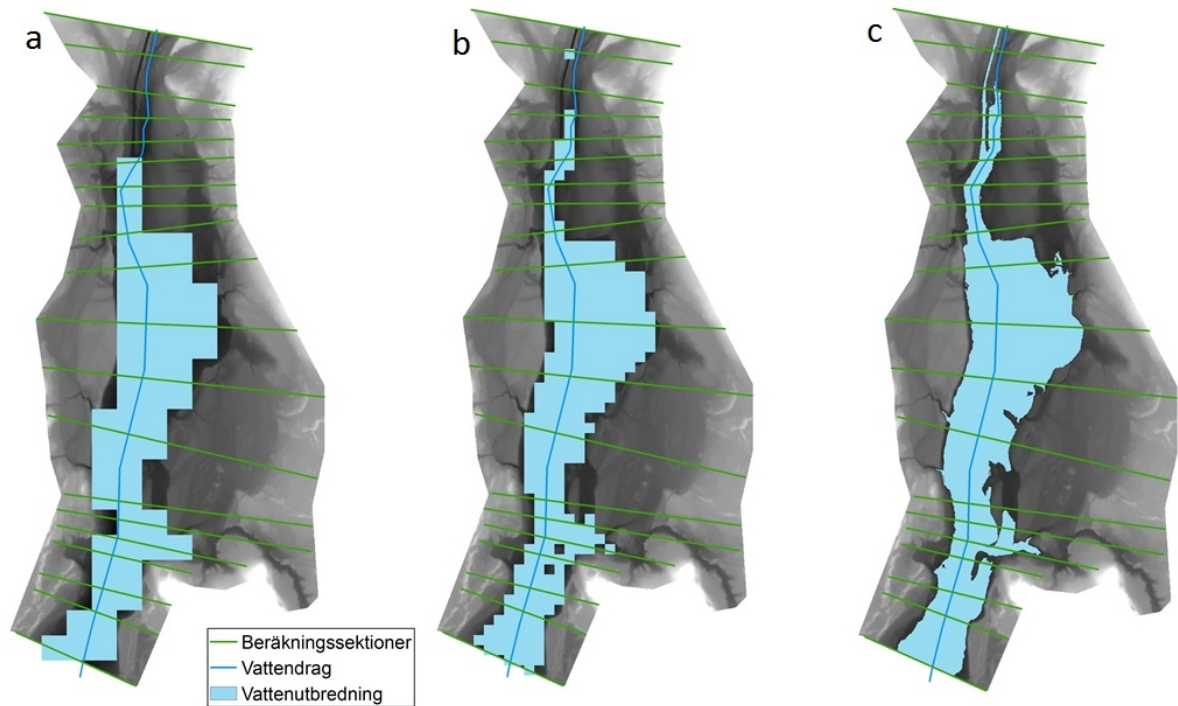
Tabell 2. Beräkningstid för interpolation med varierande cellstorlek för verktyget ”*Topo to Raster*” applicerat på område 1. En dator med processor av typen Intel ® Core i7, 2.80 GHz användes.

Cellstorlek (meter)	Beräkningstid
344x344*	5 sekunder
100x100	45 sekunder
5x5	> 22 timmar**

* ArcMaps defaultvärde

**Längsta tid innan avbruten körning

För TIN-metoden observerades inte motsvarande samband mellan cellstorlek och beräkningstid (Tabell 3). En anledning till detta tros vara de korta beräkningstiderna som för vissa delsteg angavs till noll sekunder, vilket tyder på att avrundning har en betydande påverkan på den angivna beräkningstiden. Med TIN-metoden genererades vattenutbredningsskikt med hög noggrannhet och godtagbar beräkningstid för område 1 (Figur 20, Tabell 3).

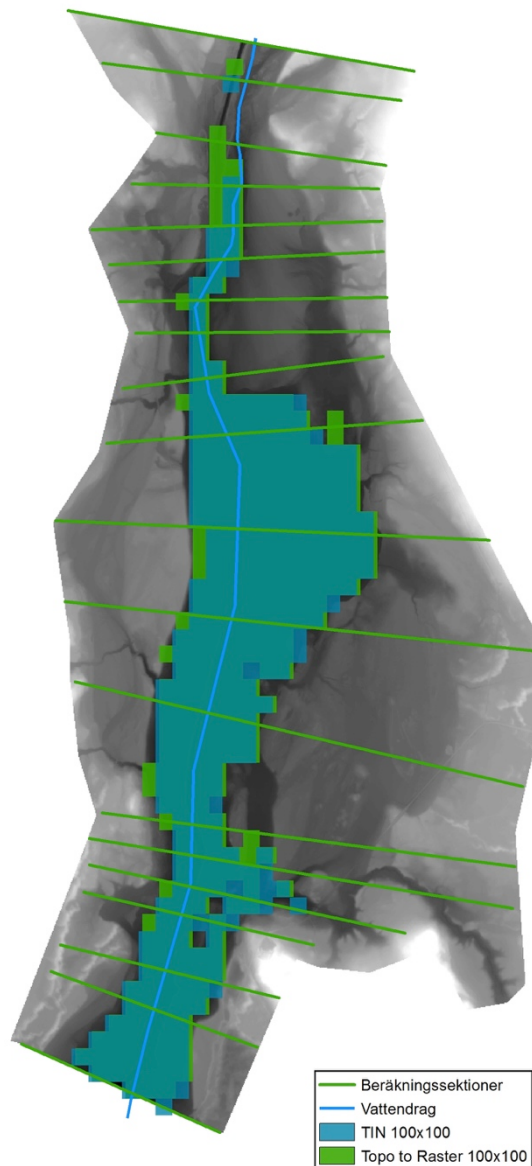


Figur 20. Vattenutbredning genererade med olika cellstorlekar med TIN-metoden: a: 250x250 meter, b: 100x100 meter, c: 5x5 meter.

Tabell 3. Sammanlagd beräkningstid för interpolation av vattennivåer med verktygen "Create TIN", "Edit TIN" och "TIN to Raster" för olika cellstorlekar

Cellstorlek (meter)	Beräkningstid [sekunder]
250x250	3
100x100	2
5x5	3

En jämförelse av genererad vattenutbredning för de båda metoderna med cellstorlek 100x100 meter visar att *"Topo to Raster"* genererar något större vattenutbredning (Figur 21). Dock observerades vissa likheter i vattenutbredningsskiktens generella mönster vilket kan ses som en indikator på att skillnader potentiellt minskar med högre upplösning. På grund av de långa beräkningstiderna för interpolation med *"Topo to Raster"* med mindre cellstorlekar kunde inte analys gällande minskade skillnader i utbredningsskikt vid högre upplösning göras. För att avgöra vilken metod som överskattar och vilken som underskattar vattenutbredningen behöver utvärderingar gentemot faktisk översvämningsdata genomföras. Dock saknades tillräcklig data för detta.



Figur 21. Vattenutbredningsskikt genererade med TIN-metoden och *"Topo to Raster"* för område 1 med upplösningen 100x100 meter.

Resultat från utvärdering av interpolationsmetod för område 1 motiverar varför motsvarande utvärdering inte genomfördes på område 2. *"Topo to Raster"* bedömdes vara för tidskrävande.

B1.1.3 Slutsatser

Den långa beräkningstid som observerades för verktyget ”*Topo to Raster*” bedömdes, trots att huvudsyftet inte var att identifiera snabbaste interpolationsmetoden, medföra att metoden inte anses lämplig för interpolering av vattennivåer i översvämningskartering. Resultaten av denna utvärdering kombinerat med information i avsnitt 2.8.2 tyder på att linjär interpolation med TIN-metoden är den bäst lämpade metoden för generering av översvämningsskikt. Detta bör dock utvärderas vidare med användande av ArcGIS Pro då det är beräkningsmässigt effektivare som bör förkorta beräkningstiden för ”*Topo to Raster*” (McConnachie, personlig kommunikation 2015).

B1.1.4 Beslut

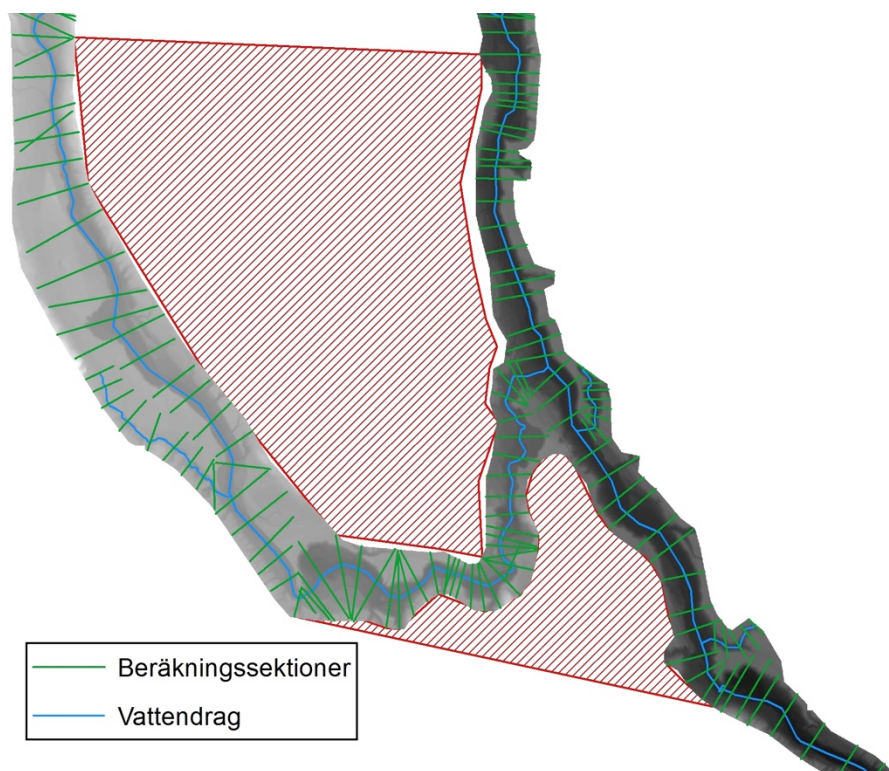
För den metod som tas fram i projektet bedöms interpolering med TIN-metoden vara bäst lämpad.

B1.2 MASKERINGSPOLYGONER OCH HYDRAULISKA ENHETER

Behov av maskeringspolygoner och hydrauliska enheter utvärderades parallellt då deras påverkan på vattenutbredningsskikten bedömdes bero av varandra.

Användandet av maskeringspolygoner i KOG-verktyget för att avgränsa det område som kan översvämmats beslutades tidigt i utvecklingsprocessen och dess behov har inte utvärderats sedan dess (McConnachie, personlig kommunikation 2015). Att vattenutbredningsskiktet begränsas av terrängmodellen samt att öpolygoner som uppstår vid sidan av huvudvattenfåran sorteras bort om de inte tillhör de fördefinierade områdena för vilka polygoner ska behållas antyder att maskeringspolygonen inte är nödvändig. Skapande av maskeringspolygonerna upplevs tidskrävande då de skapas genom att manuellt välja varje ändpunkt på beräkningssektionerna i den ordning som genererar en polygon innehållande samtliga beräkningssektioner. Om det bedöms nödvändigt att behålla maskeringsfunktionen är det därför önskvärt att åstadkomma en funktion i Python som automatiskt skapar denna polygon. Användande av maskeringspolygon förekommer även i andra programvaror. I HEC-RAS skapas en polygon som ringar in områden av intresse för karteringen (USACE, 2010b), huruvida denna polygon utgörs av beräkningssektionernas ändpunkter eller ej framgår dock inte.

Hydrauliska enheter syftar i KOG-verktyget till att förenkla hanteringen av delsträckor av komplex karaktär, till exempel meandrande delar av ett vattendrag med anslutande biflöden, genom att dela in dem i områden av styckvis enkel karaktär. Huruvida denna indelning är nödvändig eller ej bör utvärderas delvis på grund av att skapandet av polygonerna som utgör de hydrauliska enheterna upplevs tidskrävande och delvis för att de kräver en avvägning av vattennivåer vid sammanfogande av vattennivåeraster för två enheter. Ett argument för att behålla indelningen i hydrauliska enheter är att det inte önskas interpoleras över dammar (McConnachie och Portin, personlig kommunikation 2015). Dock kan detta lösas genom att det i efterhand manuellt skapas polygoner mellan dammar och sektionen nedströms vilka används för att klippa av vattenutbredningsskiktet samt markera dammars förekomst. Detta arbetssätt bedöms mindre tidskrävande och är därför att föredra om inte behovet av hydrauliska enheter i denna utvärdering anses betydande. Behovet av hydrauliska enheter kan tänkas mer nödvändigt för att dela upp olika grenar av en flod. Detta eftersom det annars kan ske interpolation i stora området mellan två grenar som inte används vilket bedöms medföra en risk för ökad beräkningstid (Figur 22). Beräkningstiden tros även öka något på grund av att fler öpolygoner behöver sorteras bort.



Figur 22. Illustrering över hur interpolering tros ske mellan olika grenar av ett vattendrag om hydrauliska enheter inte används. Det röda området markerar områden för vilka resultat av interpolation inte används, dessa tros öka beräkningstiden.

I utvärderingen bedömdes dels den påverkan användandet av maskeringspolygon och hydrauliska enheter har på beräkningstiden för interpolation. Även kravet på manuellt förarbete som krävs för att använda dem har legat till grund för analysen.

B1.2.1 Metod

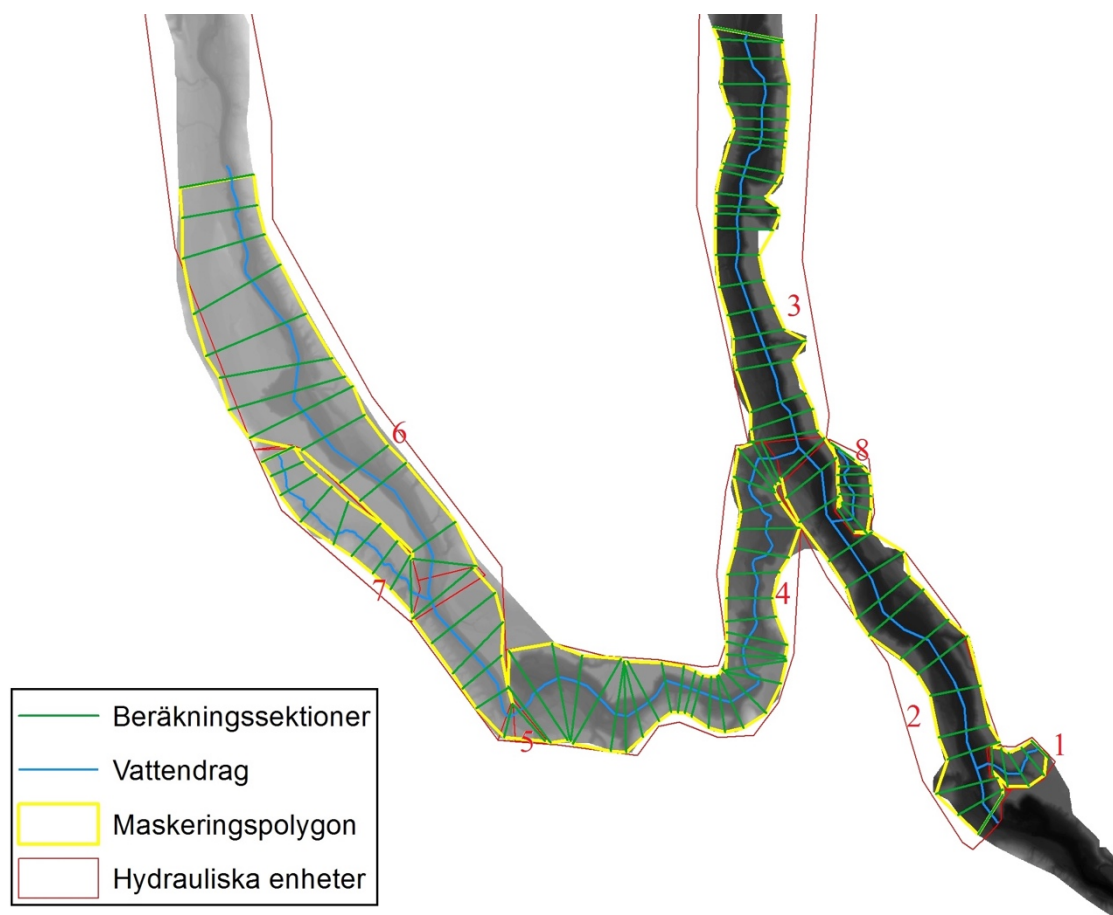
Utvärderingen bestod av analys av sex scenarion för normalvattenflöde (Tabell 4), vattenutbredningsskikt genererades med TIN-metoden för cellstorlek 5x5meter. I utvärderingen har inga översvämningssöar sorterats bort. Vattenutbredning för samtliga scenarion jämfördes med resultat från KOG-verktyget för normalvattenflöde.

Tabell 4. Beskrivning av de sex scenarion som användes för utvärdering av behovet av maskeringspolygon och indelning i hydrauliska enheter

Scenario	Beskrivning
O1.S1	Område 1 med maskeringspolygon*
O1.S2	Område 1 utan maskeringspolygon
O2.S1	Område 2 med maskeringspolygon och hydrauliska enheter
O2.S2	Område 2 med hydrauliska enheter utan maskeringspolygon
O2.S3	Område 2 med maskeringspolygon utan hydrauliska enheter
O2.S4	Område 2 utan maskeringspolygon och hydrauliska enheter

* Område 1 är begränsat till en hydraulisk enhet, därför undersöks endast behovet av maskeringspolygon för område 1.

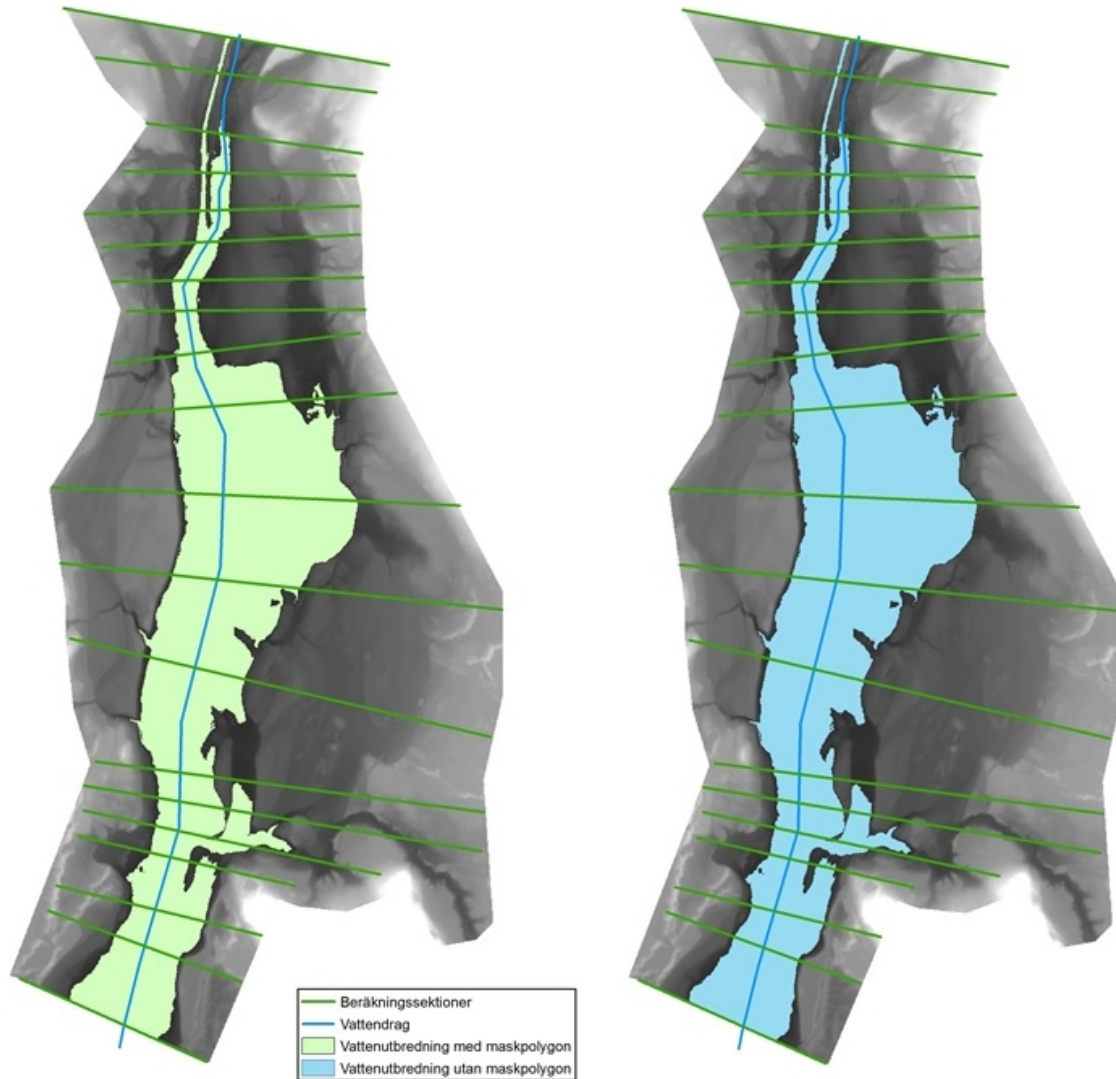
I KOG-verktyget sammanfogas interpoleringsresultat från olika hydrauliska enheter med verktyget *"Mosaic to New Raster"*. Sammanfogningen sker efter klippning med maskeringspolygon men innan jämförelse med terrängmodellen. Olika alternativ för sammanfogandet av de hydrauliska enheterna (avsnitt 2.8.3) samt lämplig ordning för sammanfogande och jämförelse med DEM för scenario O2.S1 och O2.S2 har utvärderats. Detta för att identifiera förbättringspotential gällande KOG-verktygets hantering av anslutande biflöden. Utvärderingen genomfördes med maskeringspolygon och hydrauliska enheter enligt Figur 23 där uppdelning i hydrauliska enheterna följer uppdelningen i WSP:s kartering för området.



Figur 23. Illustrering över uppdelningen i hydrauliska enheter och maskeringspolygonen som använts i utvärderingen. Siffrorna representerar numrering av hydrauliska enheter.

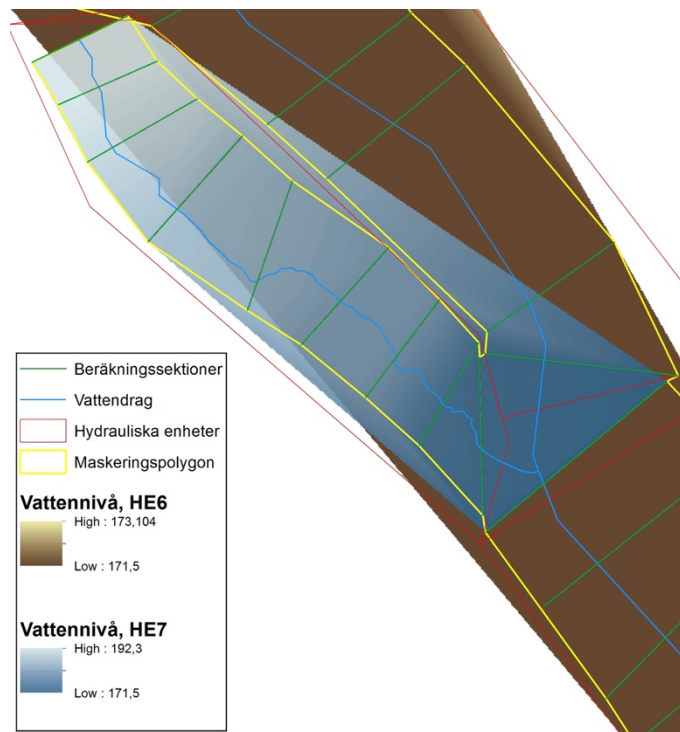
B1.2.2 Resultat

Ingen skillnad kunde påvisas mellan vattenutbredningsskikt genererade för scenario O1.S1 och O2.S2 (Figur 24). Detta indikerar att behovet av maskeringspolygoner inte är påtagligt för områden av enklare karaktär.

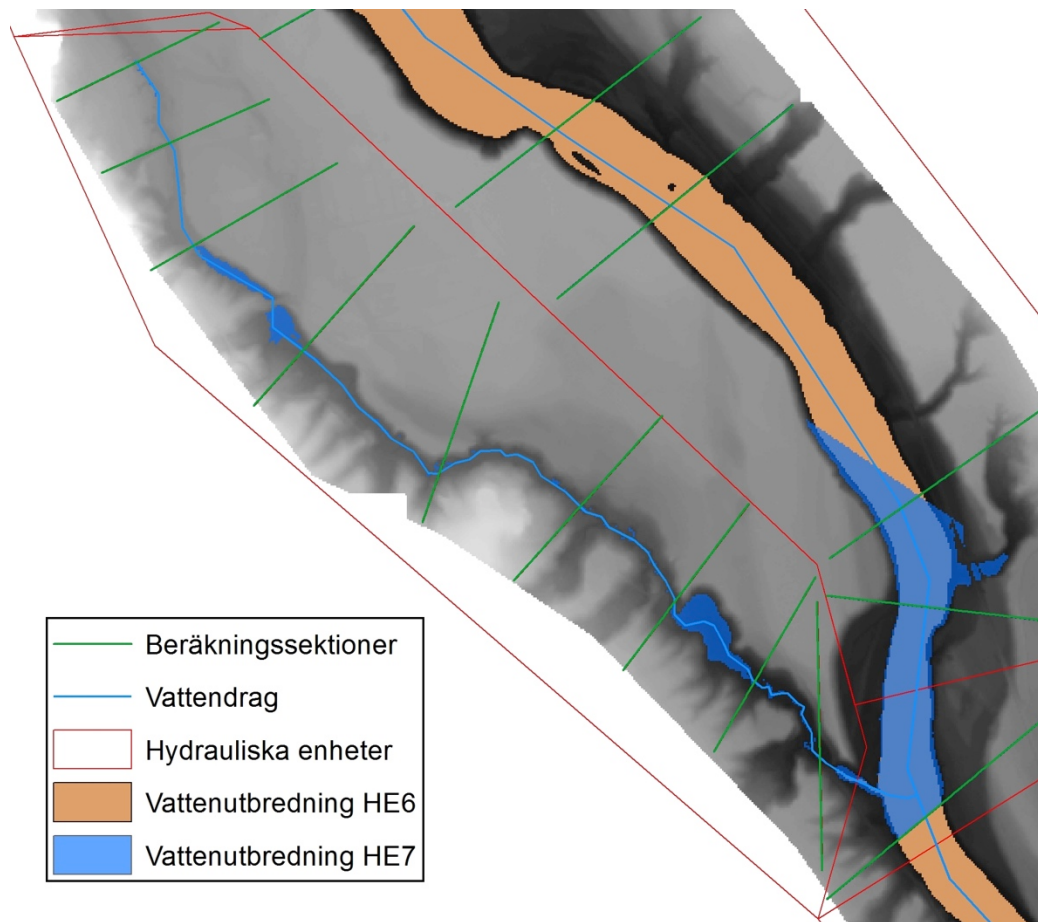


Figur 24. Vattenutbredningsskikt för område 1 genererade med respektive utan användandet av maskeringspolygon. Då de genererade skikten är identiska tyder det på att maskeringspolygoner inte krävs för mindre komplexa delsträckor av ett vattendrag.

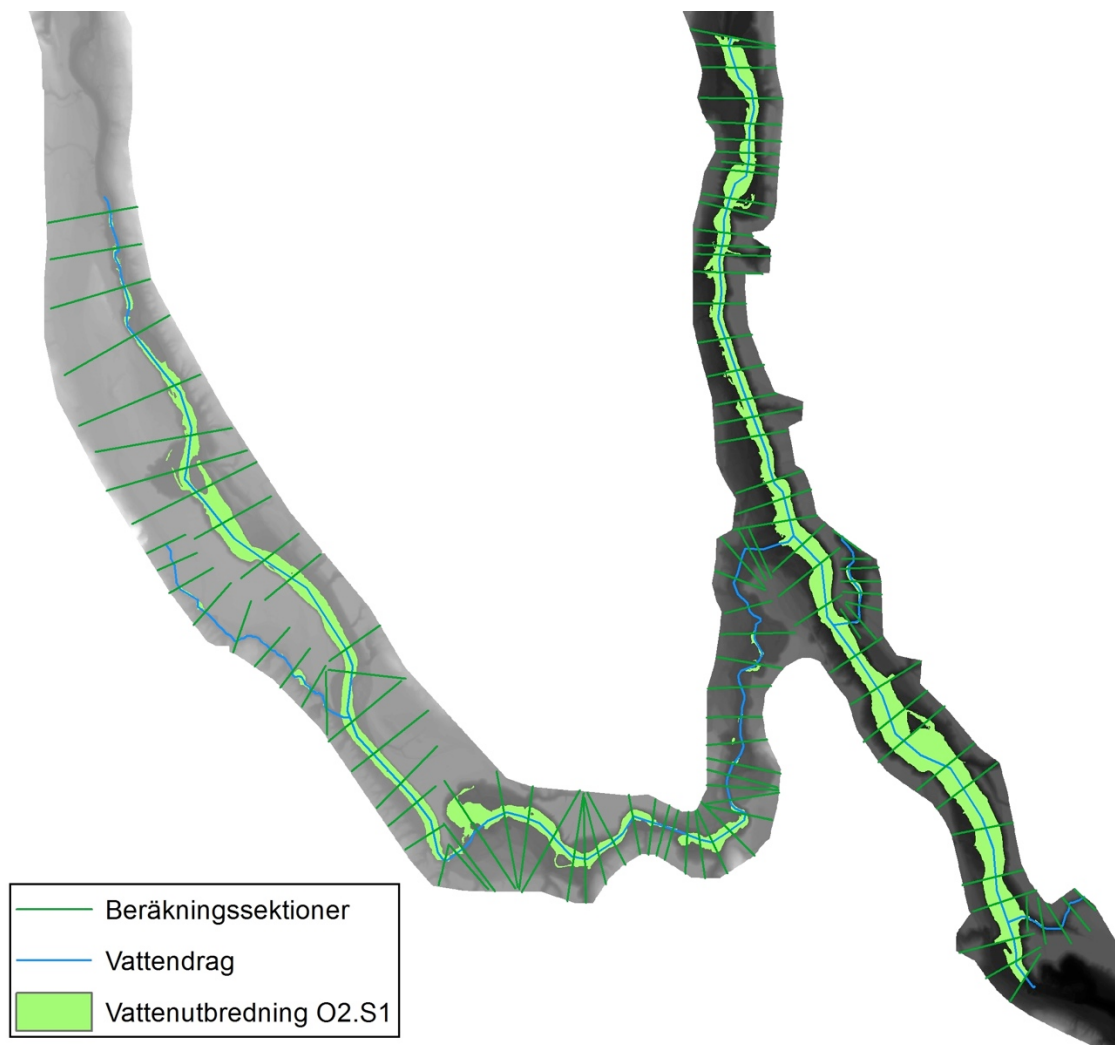
Vid utvärdering av scenario O2.S1 och O2.S2 bedömdes området i Figur 25 (vilket utgörs av korsningen av de hydrauliska enheterna 6 och 7 i Figur 23) vara ett problemområde vid sammanfogande av interpolerade raster. Samtliga möjligheter för sammanfogande av interpolerade raster med *"Mosaic to Raster"* bedömdes olämpliga för området vid användande av maskeringspolygonen i Figur 23. Då den framtagna maskeringspolygonen inte bedömdes tillräcklig utvärderades två alternativa tillvägagångssätt. Det första, vilket innebar att jämförelsen mot terrängmodell genomfördes innan sammanfogningen, resulterade även den i problem med konflikterande vattennivåer (Figur 26). Då denna metod inte bedömdes lämplig genererades inga resultat för scenario O2.S2, hydrauliska enheter utan maskeringspolygon. Det andra alternativet, vilket var den metod som bäst bedömdes lösa problemet med överlappande hydrauliska enheter, användes för vattenutbredning för O2.S1 (Figur 27). Detta tillvägagångssätt utgjordes av skapande av flertalet maskeringspolygoner där varje hydraulisk enhet maskerades av en egen polygonshapefil skapad med ändpunkter av beräkningssektioner i den specifika hydrauliska enheten. Denna metod för maskeringspolygon skiljer sig från den i KOG-verktyget som skapar maskeringspolygoner för hela området i samma shapefil. Maskering helt inom en hydraulisk enhet möjliggjordes med detta alternativa tillvägagångssätt, men är en tidskrävande metod då en shapefil måste skapas för varje hydraulisk enhet och korrekt kopplas ihop i analysen. Metoden lyckas inte helt undvika överlappningsproblematiken som uppstår då en beräkningssektion ingår i flera hydrauliska enheter, dock minimeras det överlappande området.



Figur 25. Detaljbild över område med överlappande vattennivåer av intresse vid sammanfogande av interpolerade raster. HE6 syftar till hydraulisk enhet 6 i och HE7 till enhet 7 i Figur 23.

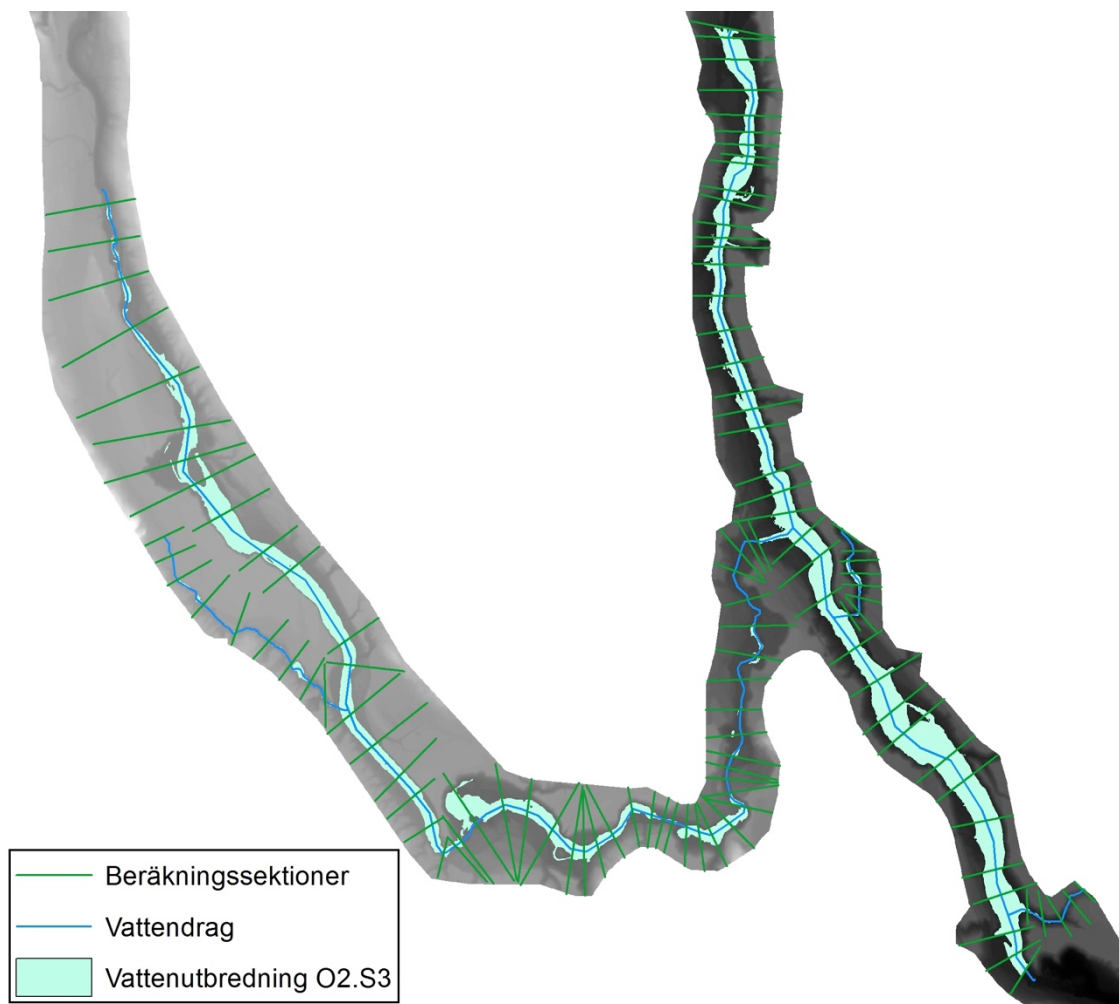


Figur 26. Detaljbild av ett område som med hydrauliska enheter resulterar i konflikterande vattennivåer, bilden visar vattenutbredning vid styckvis jämförelse med terrängmodellen för samma område som i Figur 25. Vattenutbredning från hydraulisk enhet nummer sju (HE7 i Figur 23) påverkar den sammanfogade vattenutbredningen genom en överskattning av vattenutbredningen i huvudfåran (hydraulisk enhet 6 (HE6 i Figur 23)) uppströms vattendragets anslutning.

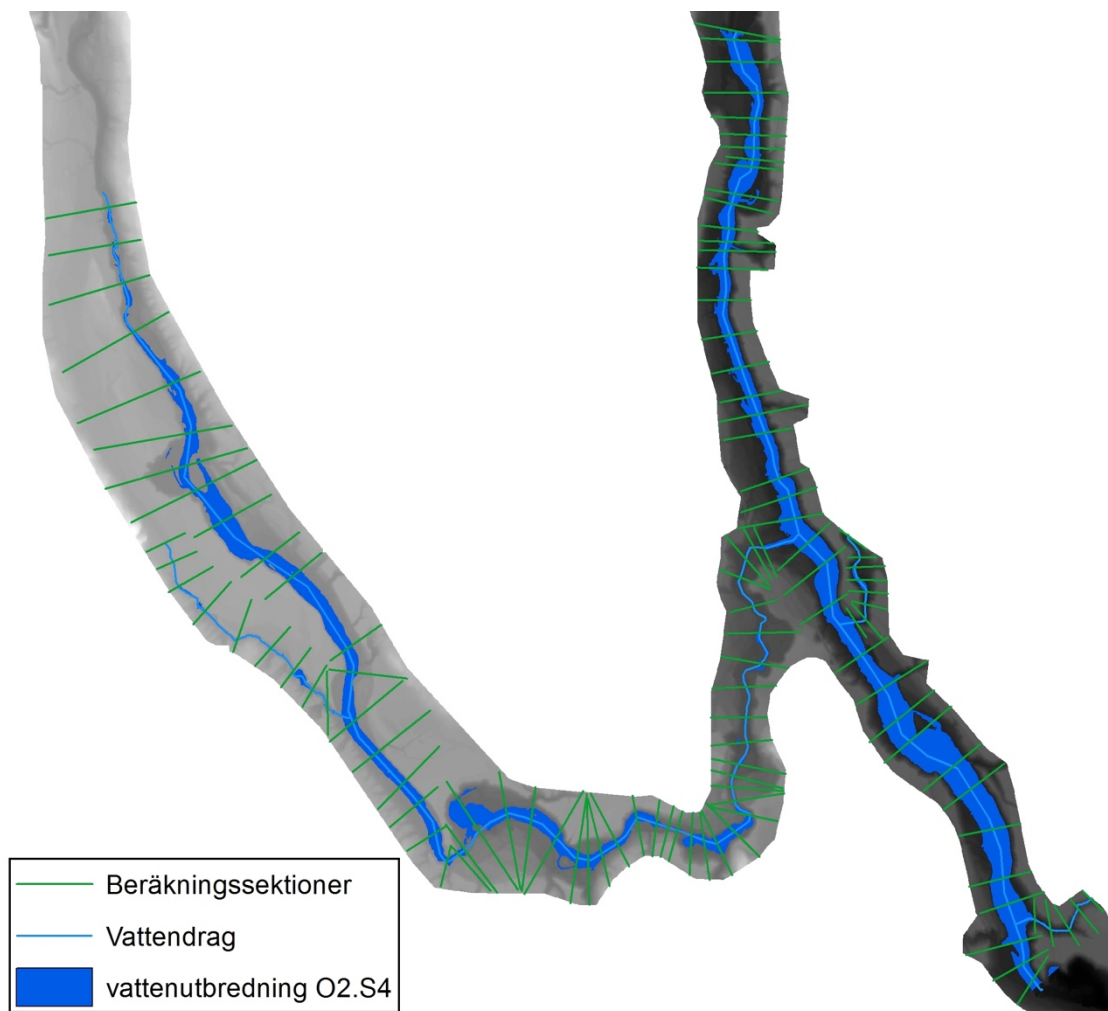


Figur 27. Vattenutbredning för scenario med maskeringspolygon och hydrauliska enheter. Vid generering av vattenutbredning har maskeringspolygoner skapats separat för varje enskild hydraulisk enhet.

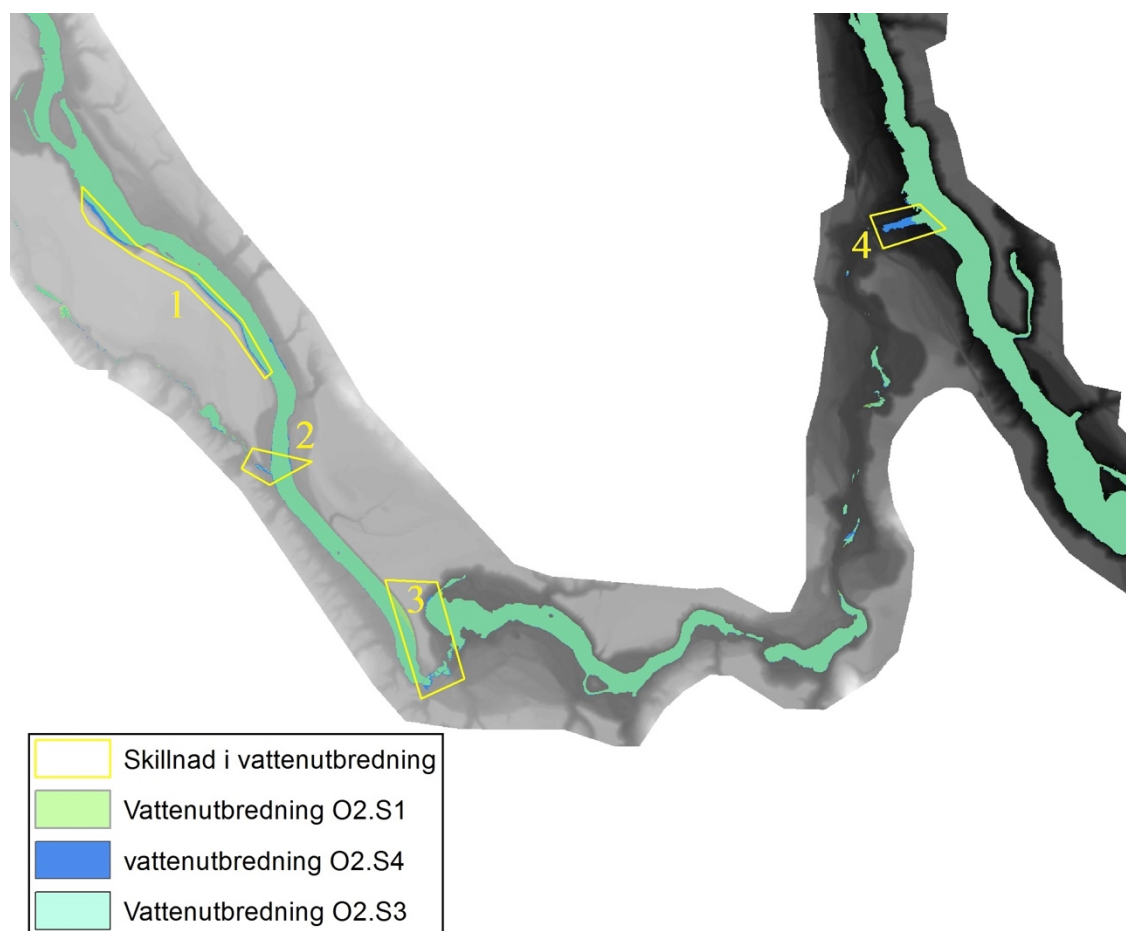
Scenario O2.S3 (Figur 28) och O2.S4 (Figur 29) bedömdes vid granskning i ArcGIS generera identiska vattenutbredningsskikt. Användande av enbart maskeringspolygon bedöms därför inte nödvändigt för generering av vattenutbredningsskikt. Jämfört med scenario O2.S1 observerades för O2.S3 och O2.S4 en något mindre vattenutbredning. De främsta skillnaderna illustreras i Figur 30, utöver detta observerades enstaka avvikande pixelvärden i hydraulisk enhet 4. Störst skillnad fås vid sammankoppling av hydraulisk enhet 3 och 4 där två större biflöden rinner ihop (område 4 i Figur 30).



Figur 28. Vattenutbredning för scenario med maskeringspolygon utan hydrauliska enheter.

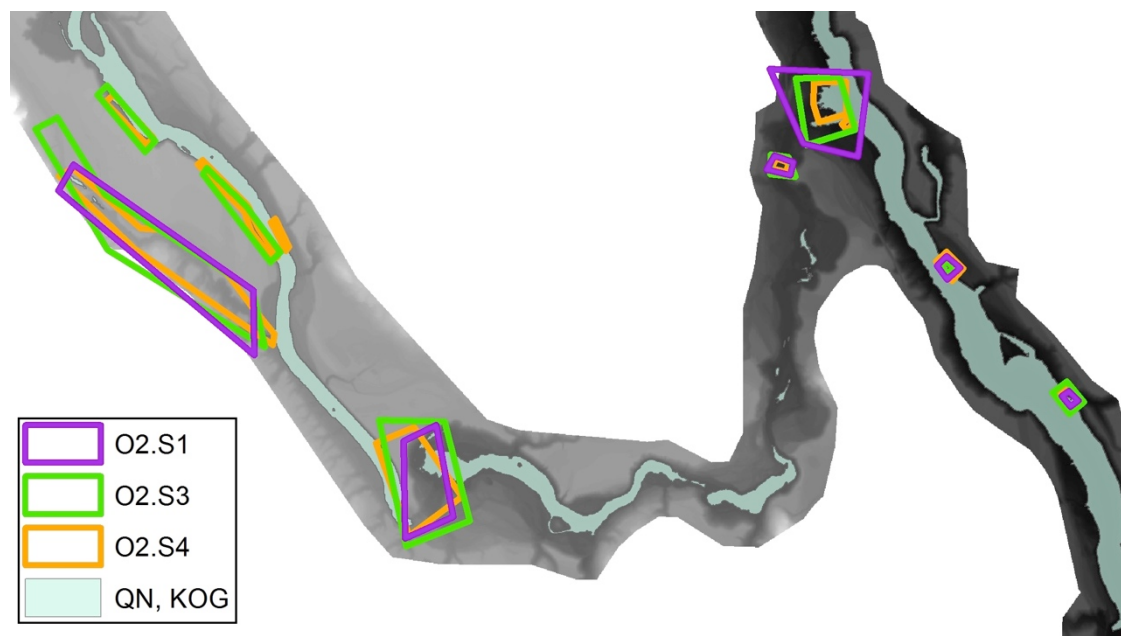


Figur 29. Vattenutbredning för scenario utan maskeringspolygon och hydrauliska enheter.



Figur 30. Områden där generering av vattenutbredningsskikt för scenarion för område 2 resulterat i avvikande vattenutbredning för scenariot med både hydrauliska enheter och maskeringspolygoner. Den största skillnaden observerades för område 4. Markeringarna i figuren har överdrivits för att tydliggöra illustreringen.

Utvärdering av genererade vattenutbredningsskikt mot de framtagna med KOG-verktyget visade ingen skillnad för område 1. För område 2 observerades dock skillnader mellan de olika scenarierna och resultat från KOG-verktyget (Figur 31). Avvikande områden är, med två undantag, samma för samtliga scenarion. Vattennivåer i det anslutande vattendrag som utgör hydraulisk enhet 7 i analysen (Figur 23) helt utesluts i KOG-verktygets vattenutbredning (Figur 31), troligen orsakas detta av användande av minimumvillkoret för sammanfogningen av raster med "*Mosaic to New Raster*". Den skillnad som uppstår vid sammankopplingen av vattendrag vid område 4 i Figur 30, är större vid jämförelse mot KOG-verktyget än den är vid jämförelse mellan scenarion.



Figur 31. Områden där genererad vattenutbredning för scenario O2S1 (hydrauliska enheter och maskeringspolygon), O2.S3 (endast maskeringspolygon) samt O2.S4 (varken maskeringspolygon eller hydrauliska enheter) skiljer sig från vattenutbredning framtagen av WSP med KOG-verktyget. Skillnader i utbredning har i figuren överdrivits för att möjliggöra illustrering.

Beräkningstider för analyserade scenarion visar på ökad beräkningstid vid användande av hydrauliska enheter (Tabell 5), dock bedöms samtliga beräkningstider korta nog för att inte kunna användas som argument emot användande av hydrauliska enheter. De beräkningstider som presenteras inkluderar inte tid för skapande av hydrauliska enheter och maskeringspolygoner. Båda dessa steg bedöms tidskrävande och tidsåtgången anses starkt beroende på områdets karaktär. Med den alternativa indelningen i maskeringspolygoner bedöms det dock möjligt att minska tidsåtgången genom att använda samma fil för maskeringspolygoner och indelning i hydrauliska enheter.

Tabell 5. Beräkningstider för interpolering och jämförelse med terrängmodellen för de scenarion som beskrivs i Tabell 4 och syftar till utvärdering av maskeringspolygoner och hydrauliska enheter. Skapande av maskeringspolygon och hydrauliska enheter har inte inkluderats. Dock har uppdelningen av sektioner i hydrauliska enheter, sammanfogande av de resulterande rastren samt klippning enligt maskeringspolygon inkluderats i beräkningstiden.

Scenario	Beräkningstid [sekunder]
O1.S1	6
O1.S2	5
O2.S1	24
O2.S2	-
O2.S3	5
O2.S4	6

B1.2.3 Slutsatser

Utvärderingen visar entydigt att maskeringspolygoner inte har någon effekt på resultatet i de fall hydrauliska enheter inte används. Det visar även att hydrauliska enheter kräver maskeringspolygoner, dock med en utformning som skiljer sig från de maskeringspolygoner som används i KOG-verktyget.

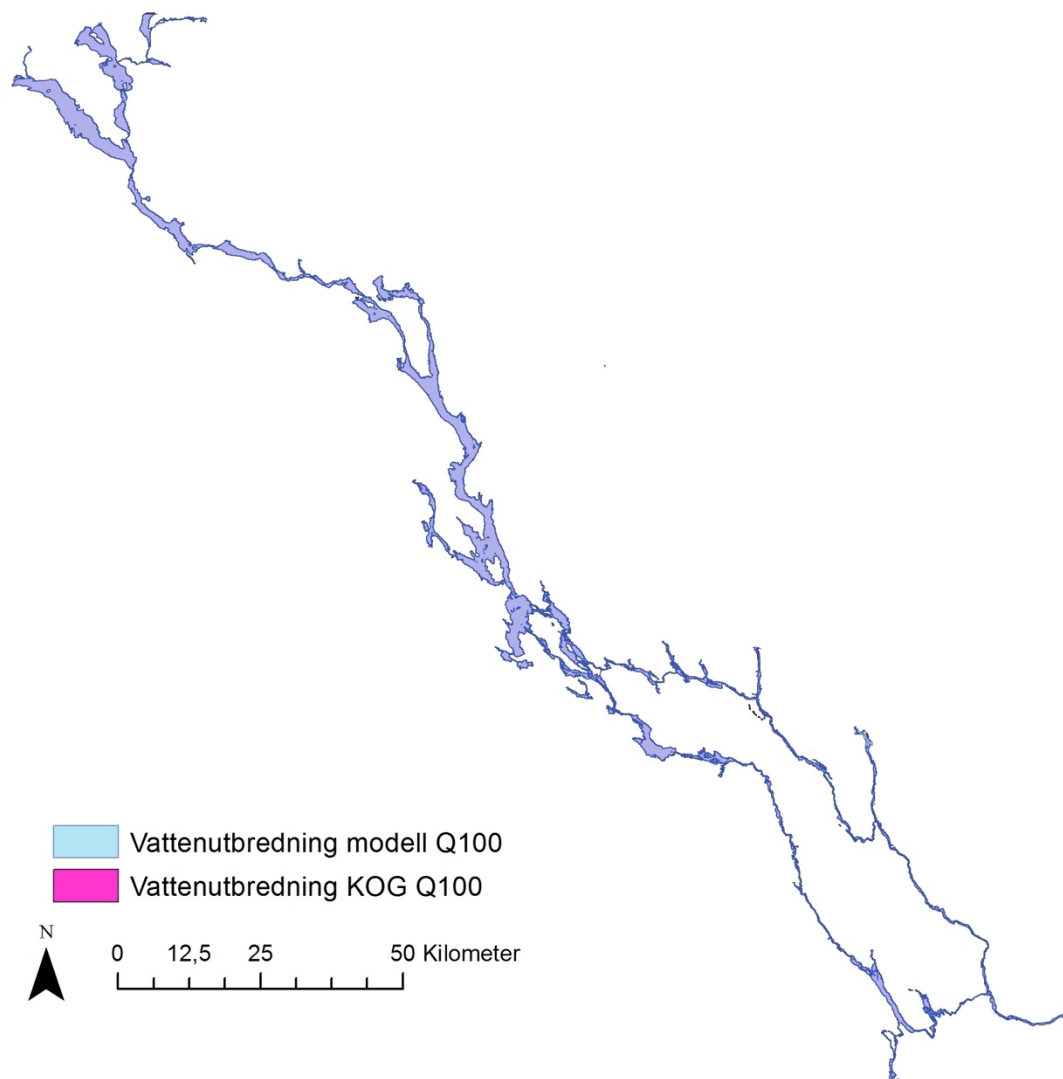
Utan tillgång till data från faktiska översvämningar kan inte en bedömning huruvida hydrauliska enheter i form av de maskeringspolygoner som presenteras ovan genererar mer rättvisande resultat göras. Den tidskrävande process skapandet innebär bedöms agera som argument för användande av det mindre tidskrävande alternativet utan hydrauliska enheter och maskeringspolygoner. Det bedöms istället bättre att tillåta mer tid för en iterativ process för den hydrauliska modelleringen, alternativt skapande av probabilistiska kartor.

B1.2.4 Beslut

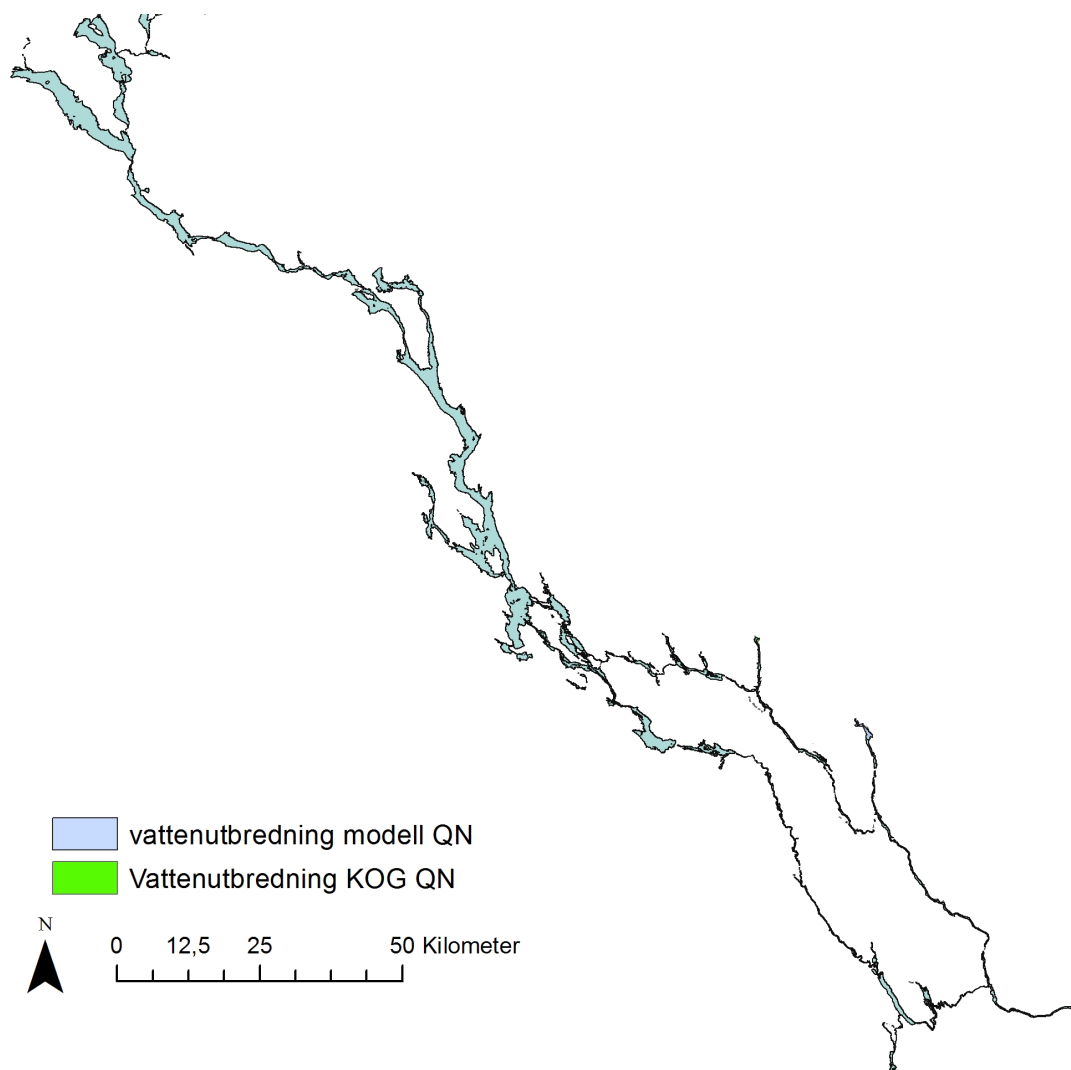
Det bedöms för modellen framtiden i projektet bäst lämpat att använda en metod utan maskeringspolygoner och hydrauliska enheter

BILAGA 2: KARTOR

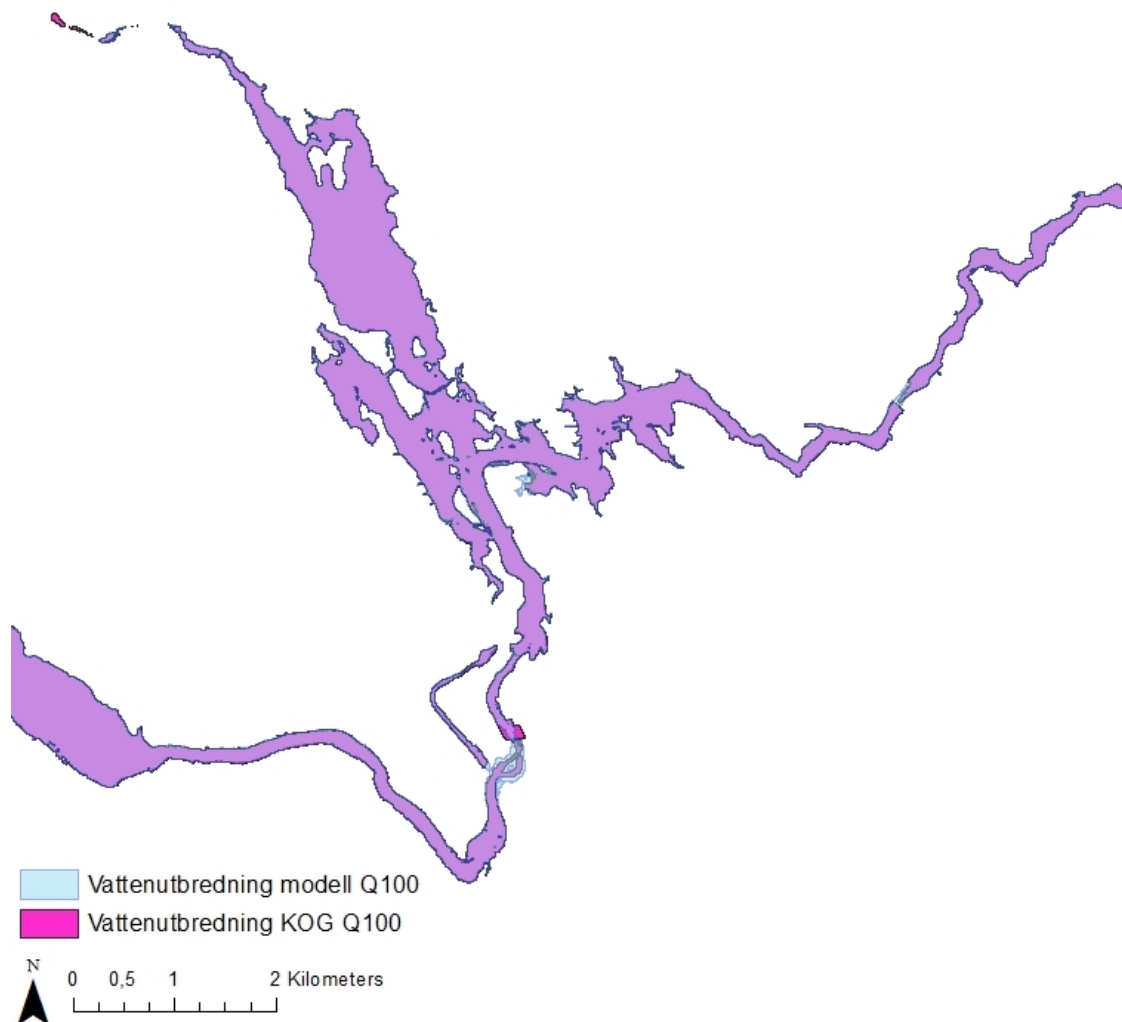
Ångermanälven



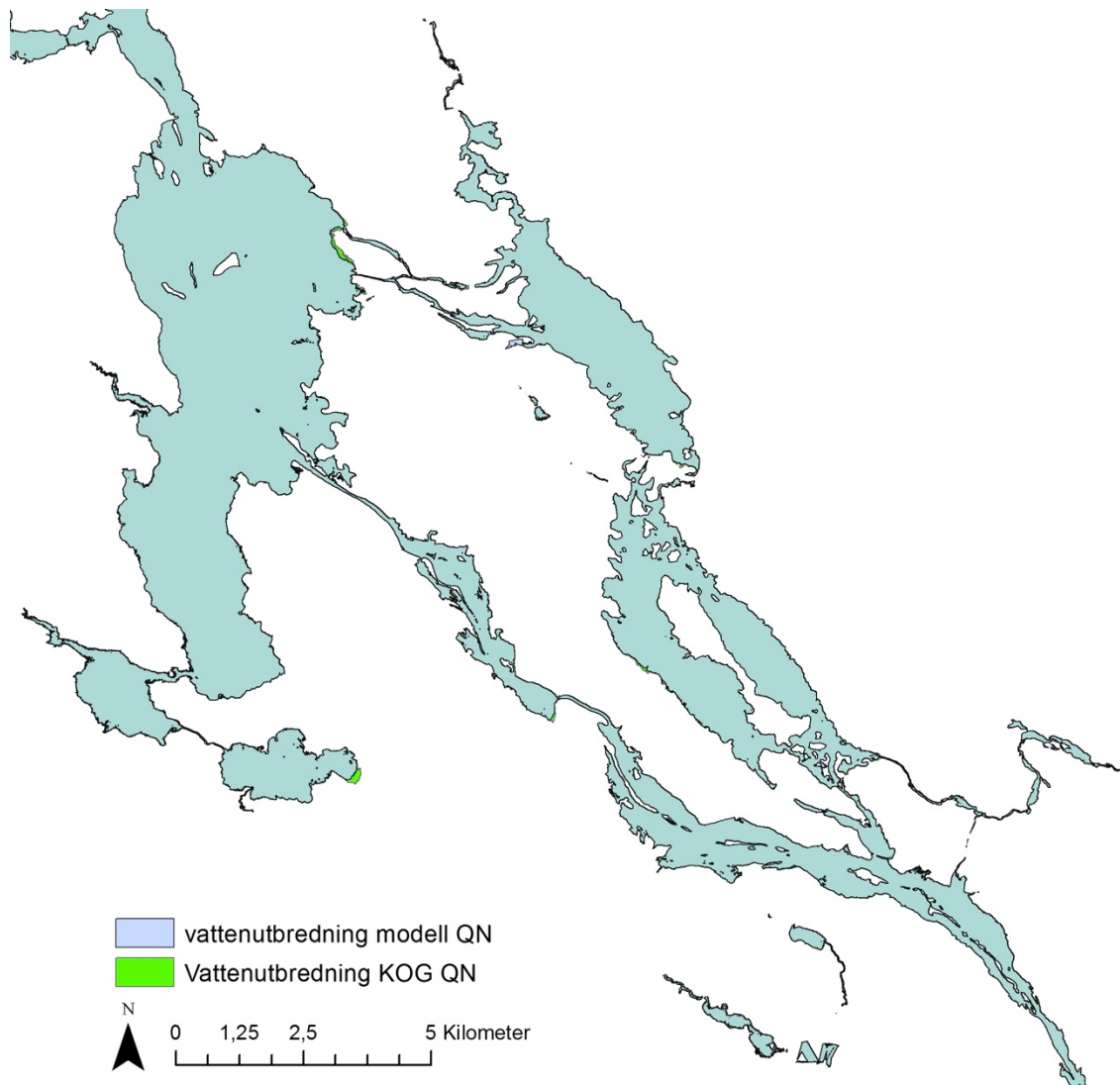
Figur 32. Vattenutbredningsskikt för den utvärderade grenen av Ångermanälven vid 100-årsflöde (Q100). Vattenutbredningsskikt genererade med SÖK-modellen (benämns modell i legenden) har gjorts transparenta för att underlätta illustrering av skillnader.



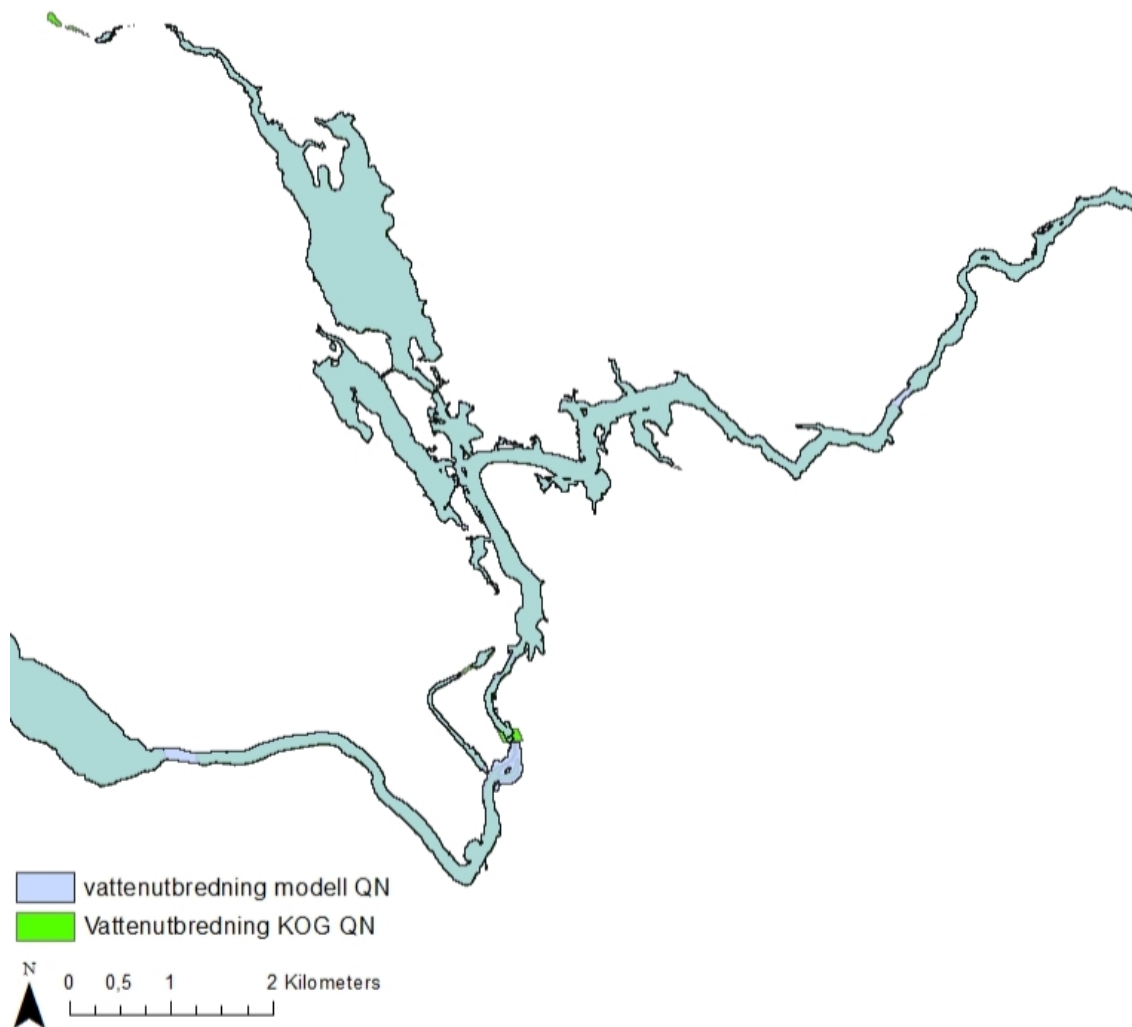
Figur 33. Vattenutbredningsskikt för den utvärderade grenen av Ångermanälven vid normalvattenflöde (QN). Vattenutbredningsskikt genererade med SÖK-modellen (benämns modell i legenden) har gjorts transparenta för att underlätta illustrering av skillnader.



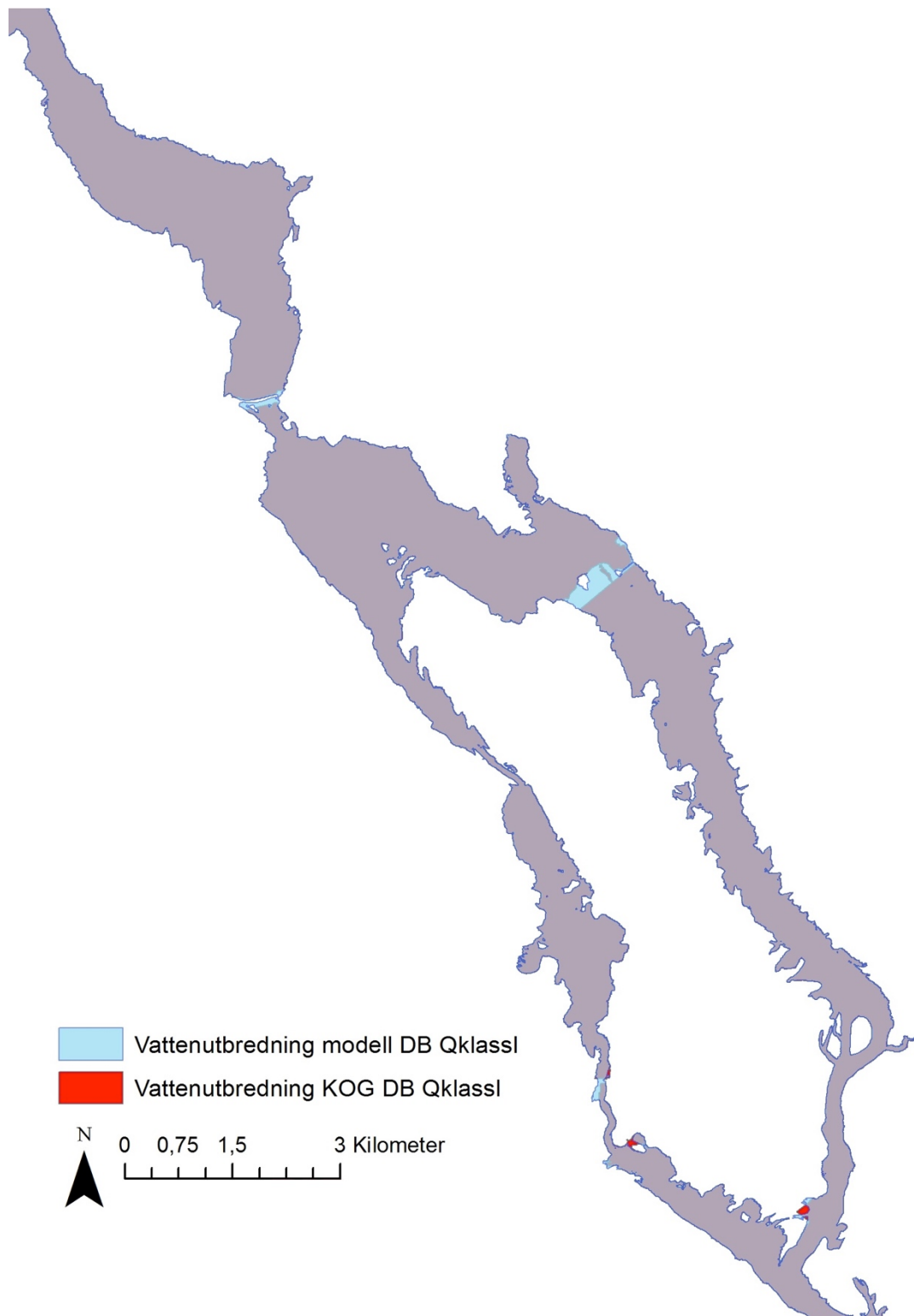
Figur 34. Detaljbild av vattenutbredningsskikt för ett område av komplex karaktär i Ångermanälven vid 100-årsflöde (Q100). Vattenutbredningsskikt genererade med SÖK-modellen (benämns modell i legenden) har gjorts transparenta för att underlätta illustrering av skillnader.



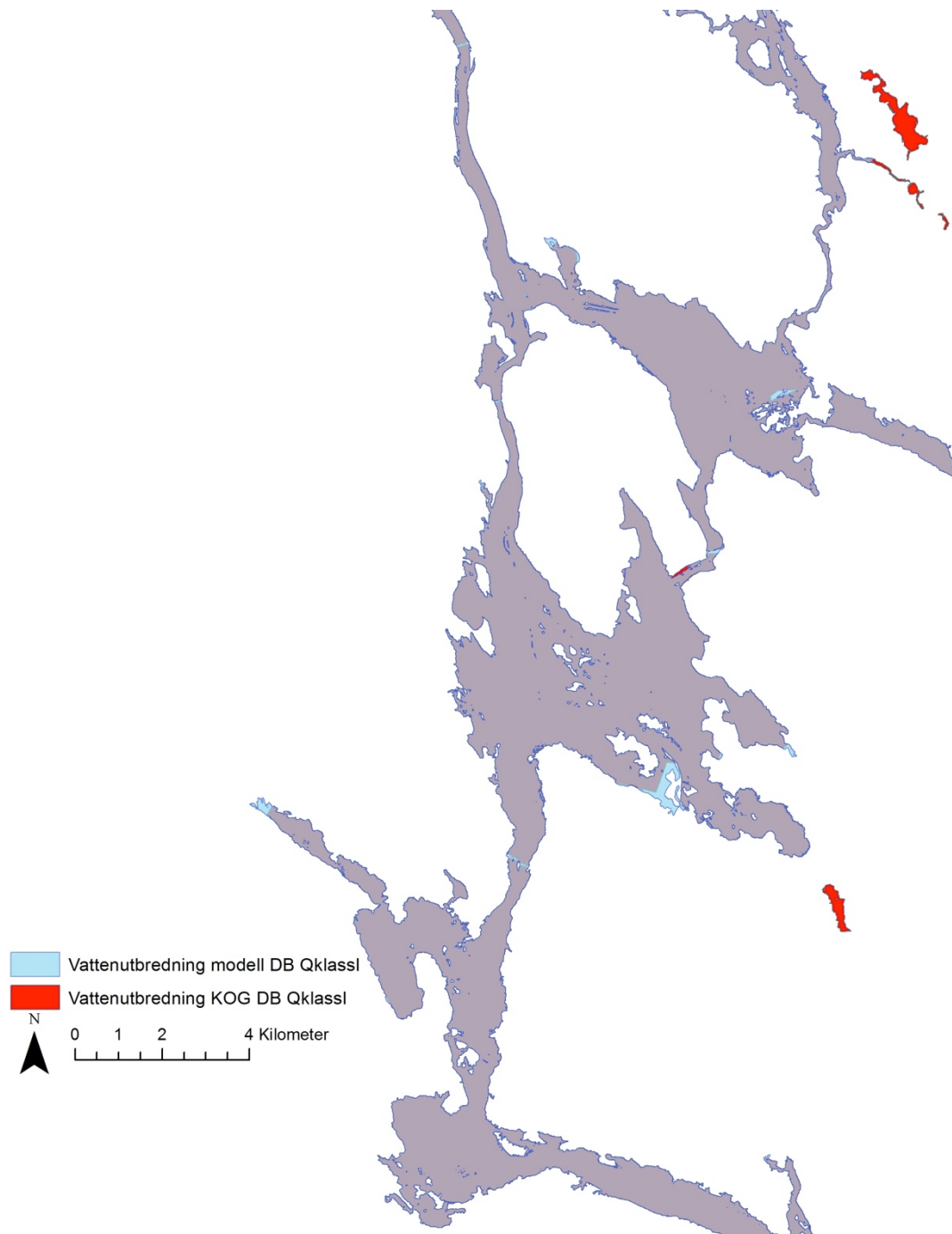
Figur 35. Detaljbild av vattenutbredningsskikt för ett område av komplex karaktär i Ångermanälven vid normalvattenflöde (QN). Vattenutbredningsskikt genererade med SÖK-modellen (benämns modell i legenden) har gjorts transparenta för att underlätta illustrering av skillnader.



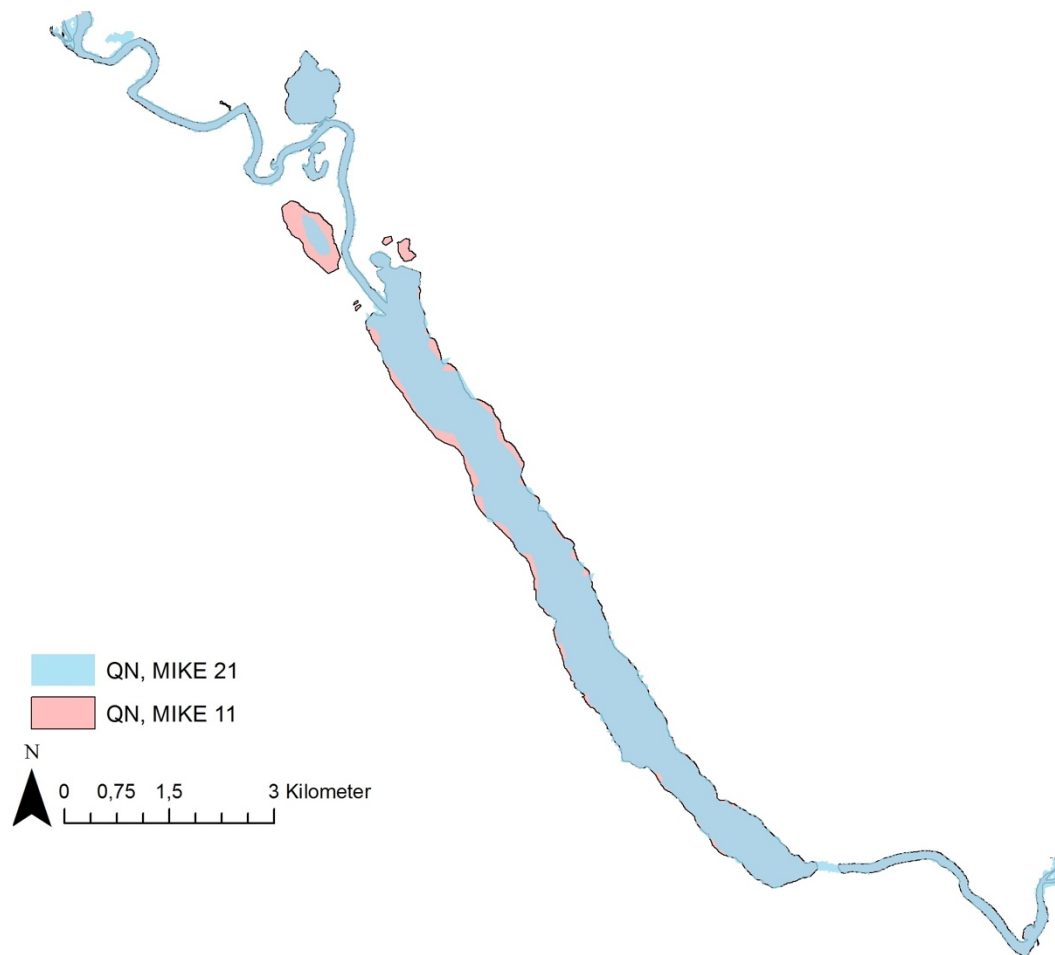
Figur 36. Detaljbild av vattenutbredningsskikt för ett område av komplex karaktär i Ångermanälven vid normalvattenflöde (QN). Vattenutbredningsskikt genererade med SÖK-modellen (benämns modell i legenden) har gjorts transparenta för att underlätta illustrering av skillnader.



Figur 37. Detaljbild av vattenutbredningsskikt för dammbrott vid klassI-flöde för Borga i Ångermanälven. Vattenutbredningsskikt genererade med SÖK-modellen (benämns modell i legenden) har gjorts transparenta för att underlätta illustrering av skillnader.

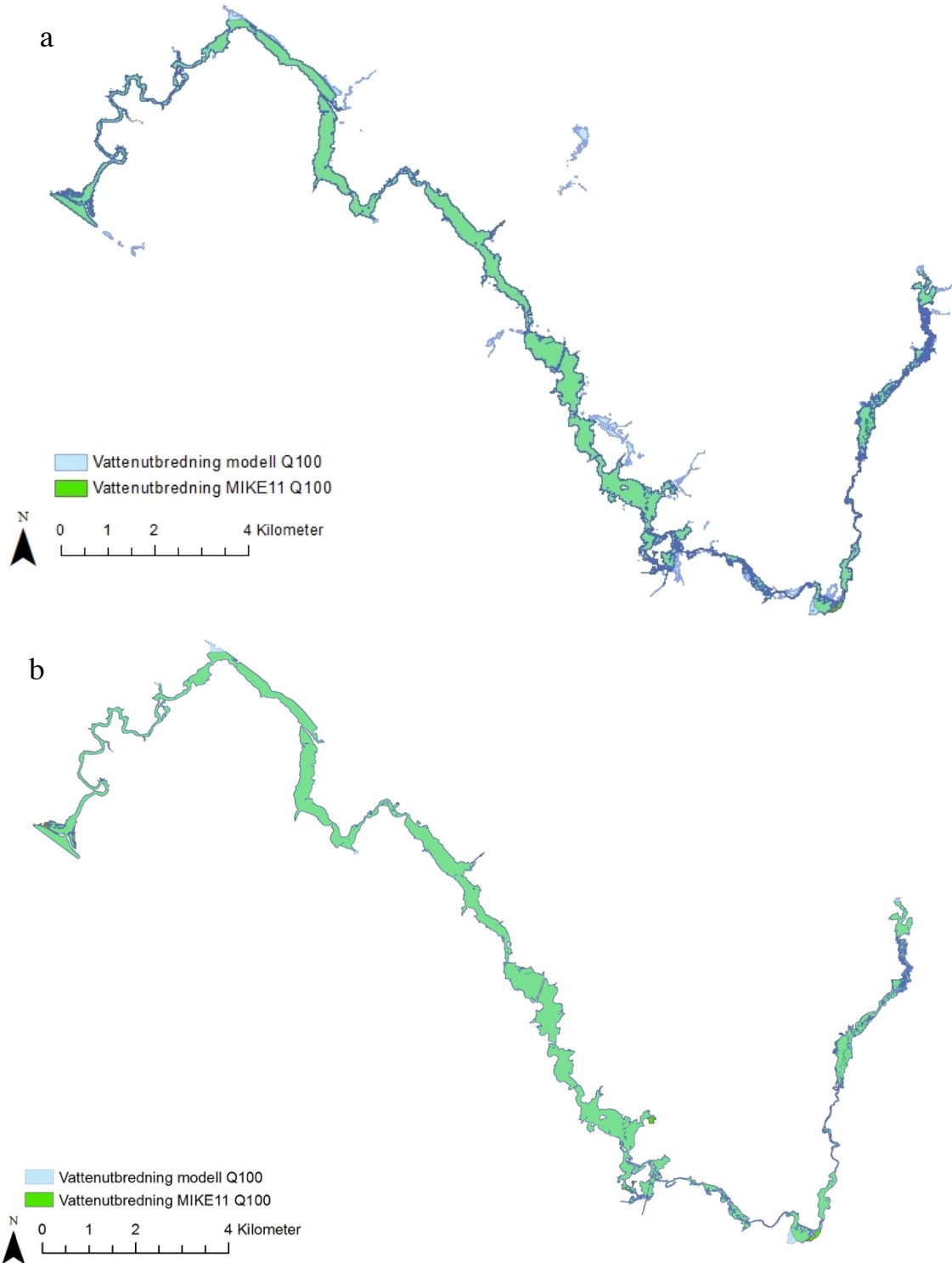


Figur 38. Detaljbild av vattenutbredningsskikt för dammbrott vid klassI-flöde för Borga i Ångermanälven. Vattenutbredningsskikt genererade med SÖK-modellen (benämns modell i legenden) har gjorts transparenta för att underlätta illustrering av skillnader

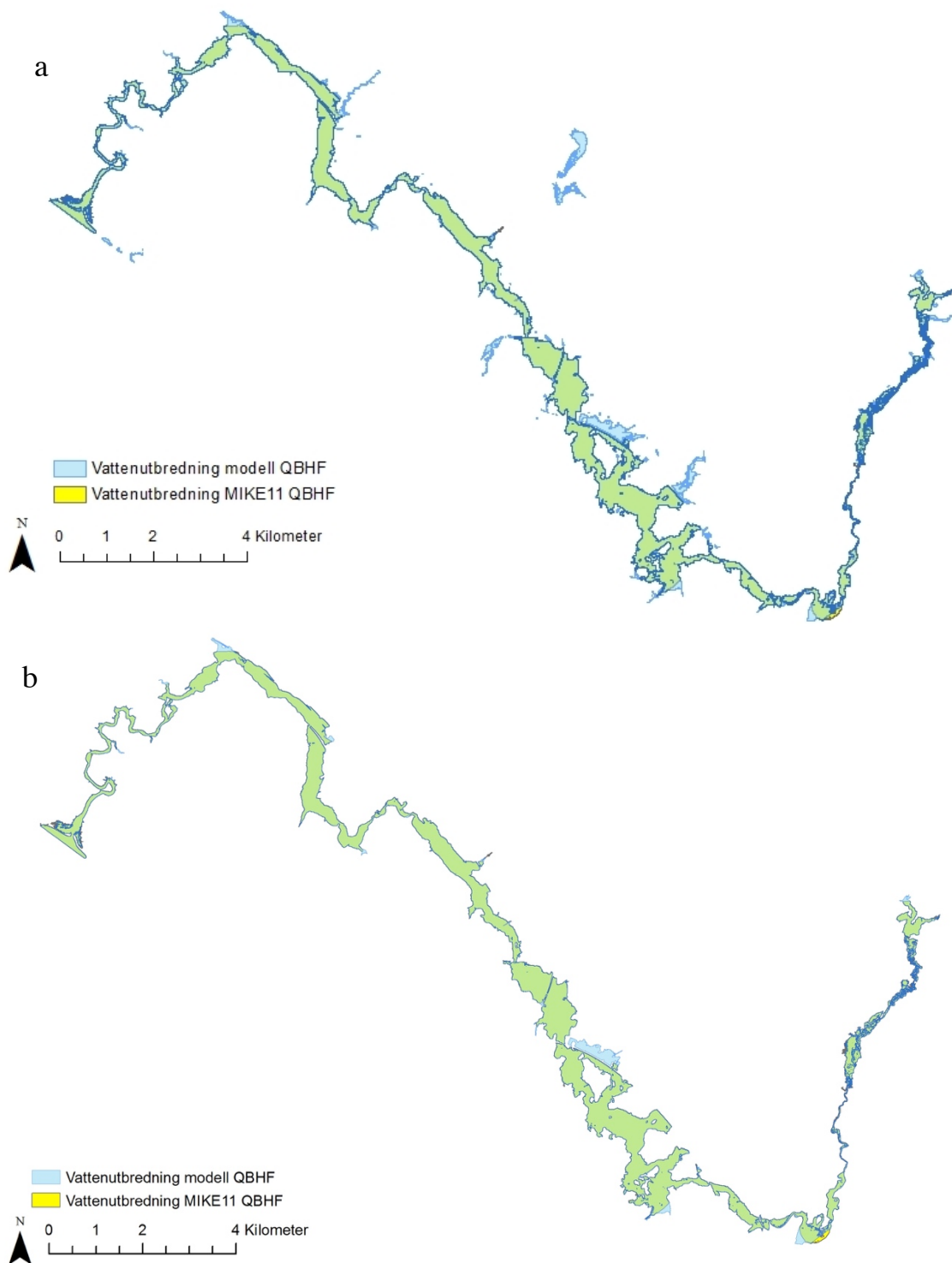


Figur 39. Jämförelse av vattenutbredning för normalflöde (QN) genererade med MIKE 11 och MIKE 21 för området i Figur 5.

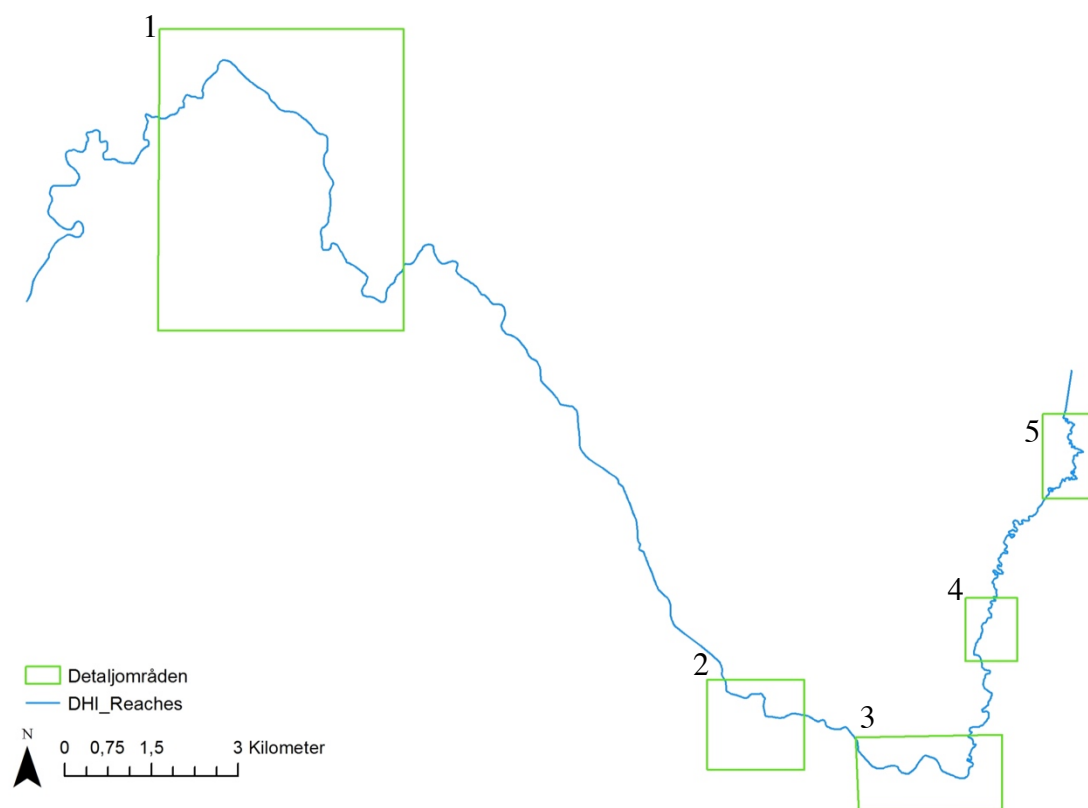
Suseån



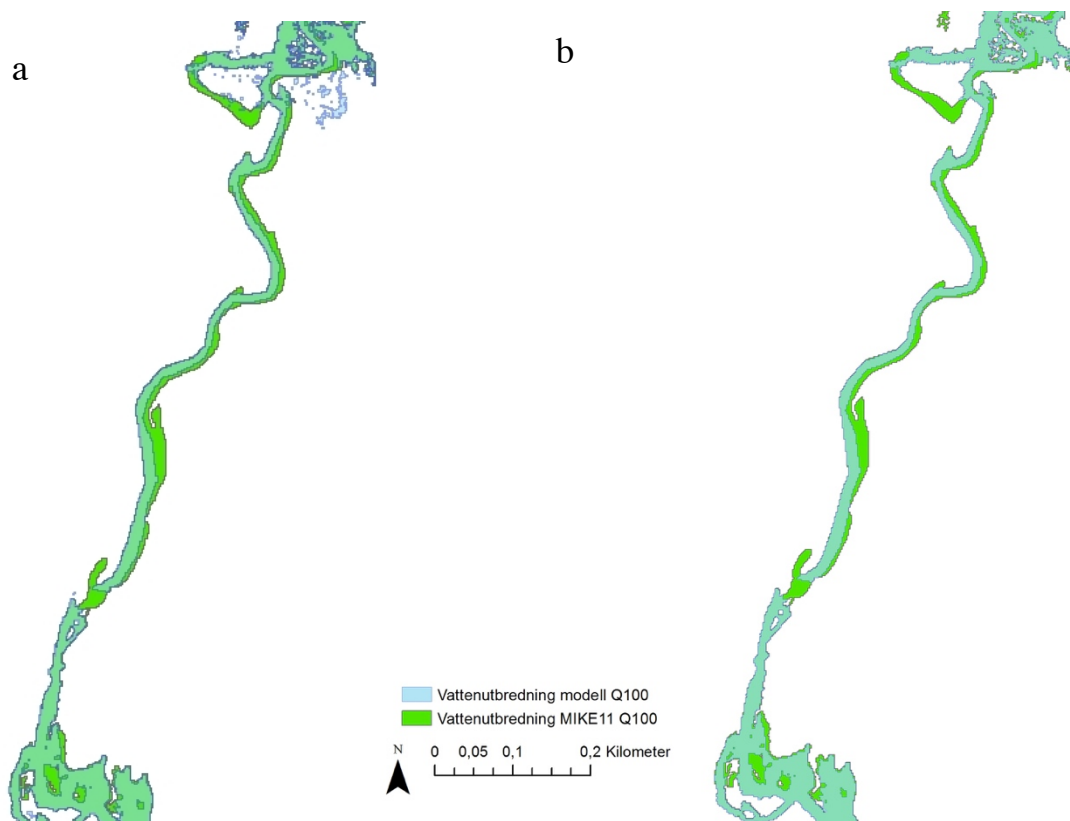
Figur 40. Vattenutbredningsskikt för 100-årsflöde i Suseån genererade med SÖK-modellen (benämns modell i legenden) respektive i MIKE 11. I del a har samtliga öpolygoner behållits och i b har samtliga sorterats bort. Vattenutbredningsskikt genererade med modellen har gjorts transparenta för att underlätta illustration av skillnader.



Figur 41. Vattenutbredningsskikt för beräknat högsta flöde (QBHF) i Suseån genererade med SÖK-modellen (benämns modell i legenden) respektive i MIKE 11. I del a har samtliga öpolygoner behållits och i b har samtliga sorterats bort. Vattenutbredningsskikt genererade med modellen har gjorts transparenta för att underlätta illustrering av skillnader.



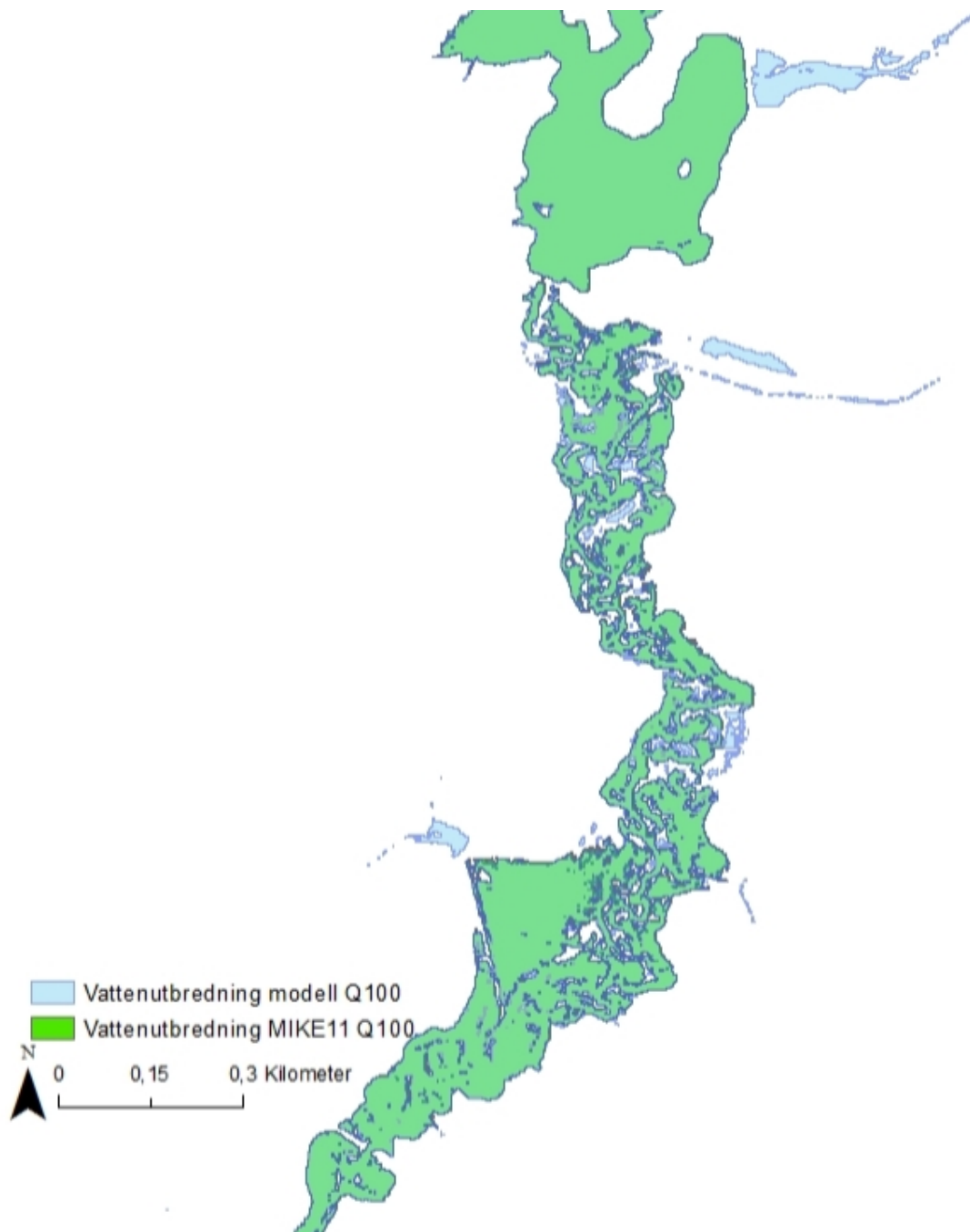
Figur 42. Områden för vilka detaljbilder över genererade vattenutbredningsskikt för Suseån presenteras.



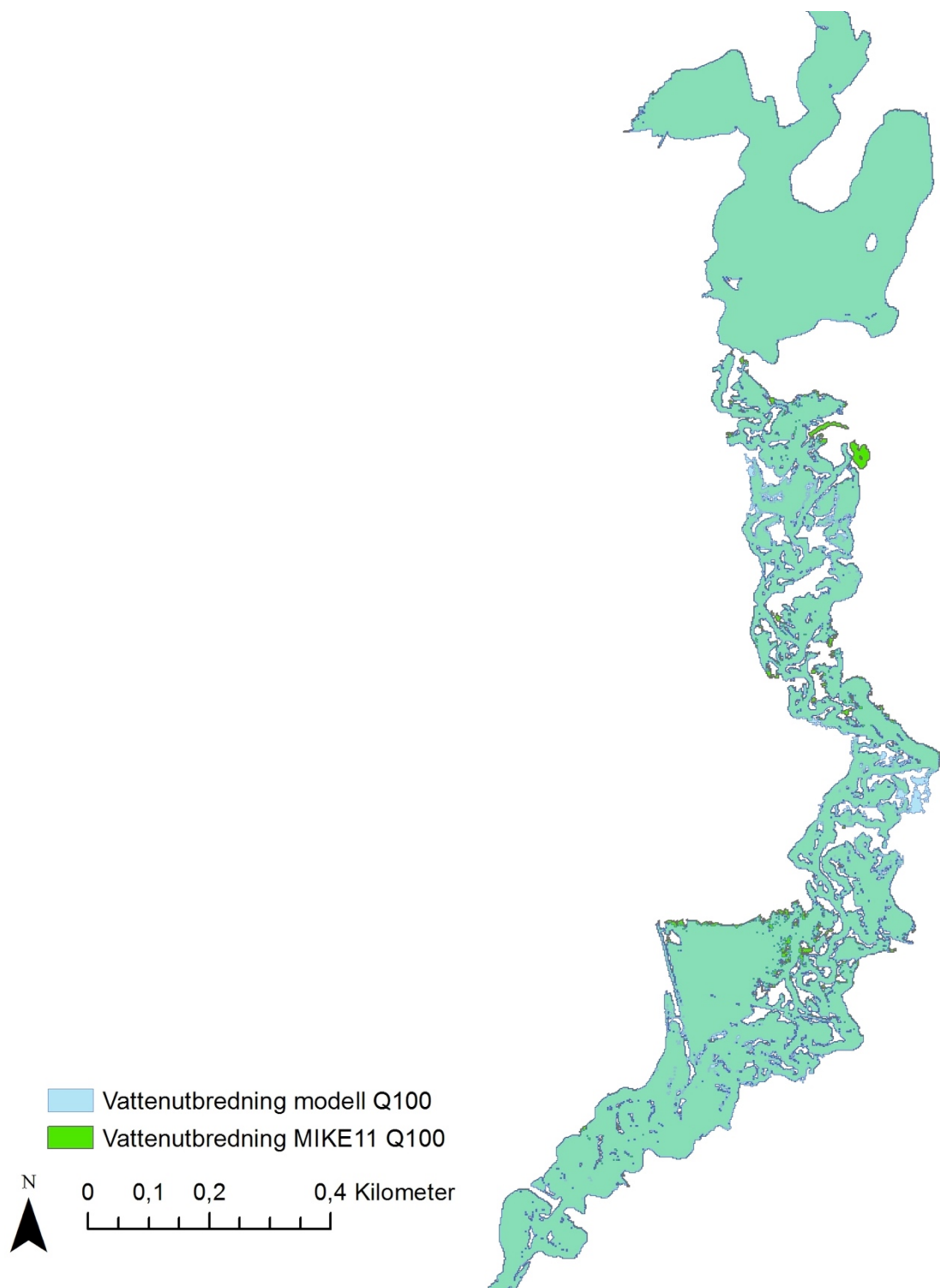
Figur 43. Vattenutbredningsskikt för 100-årsflöde i Suseån genererade med SÖK-modellen (benämns modell i legenden) respektive i MIKE 11. Detaljbild över detaljområde 4 i Figur 42. I del a har samtliga öpolygoner behållits och i b har samtliga sorterats bort. Vattenutbredningsskikt genererade med modellen har gjorts transparenta för att underlätta illustrering av skillnader. Vattennivåer i detta område bedöms osäkra, utbredningen för MIKE 11-genererade skikt bedöms högre än förväntat (WSP, 2015). Att skillnaderna i vattenutbredning är, relativt sett, stora i detta område bedöms bero på områdets låglänta karaktär med väldigt små skillnader i höjddata i angränsning till vattendraget.



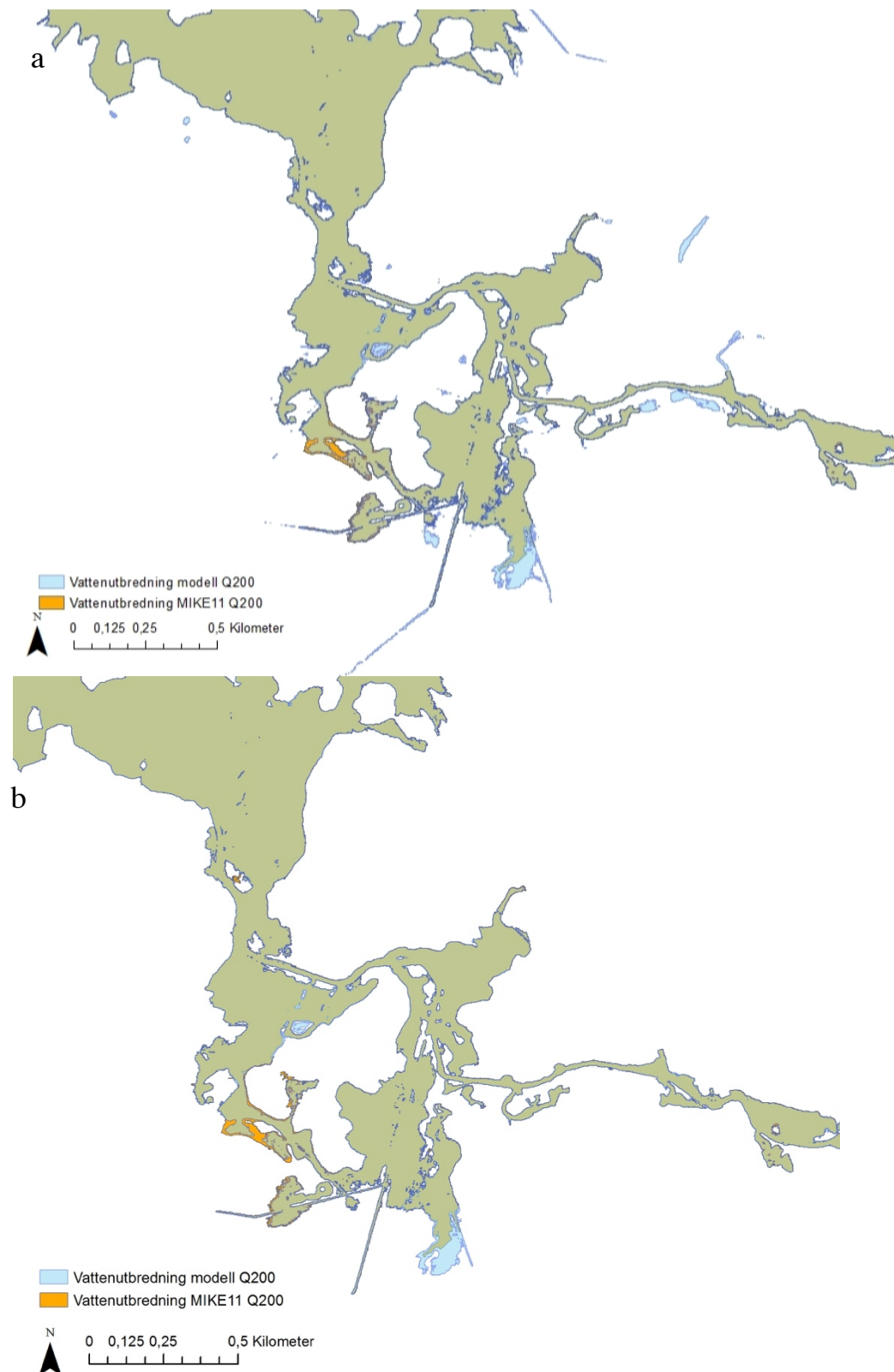
Figur 44. Vattenutbredningsskikt för 200-årsflöde i Suseån genererade med SÖK-modellen (benämns modell i legenden) respektive i MIKE 11. Detaljbild över detaljområde 1 i Figur 42. I del a har samtliga öpolygoner behållits och i b har samtliga sorterats bort. Vattenutbredningsskikt genererade med modellen har gjorts transparenta för att underlätta illustrering av skillnader.



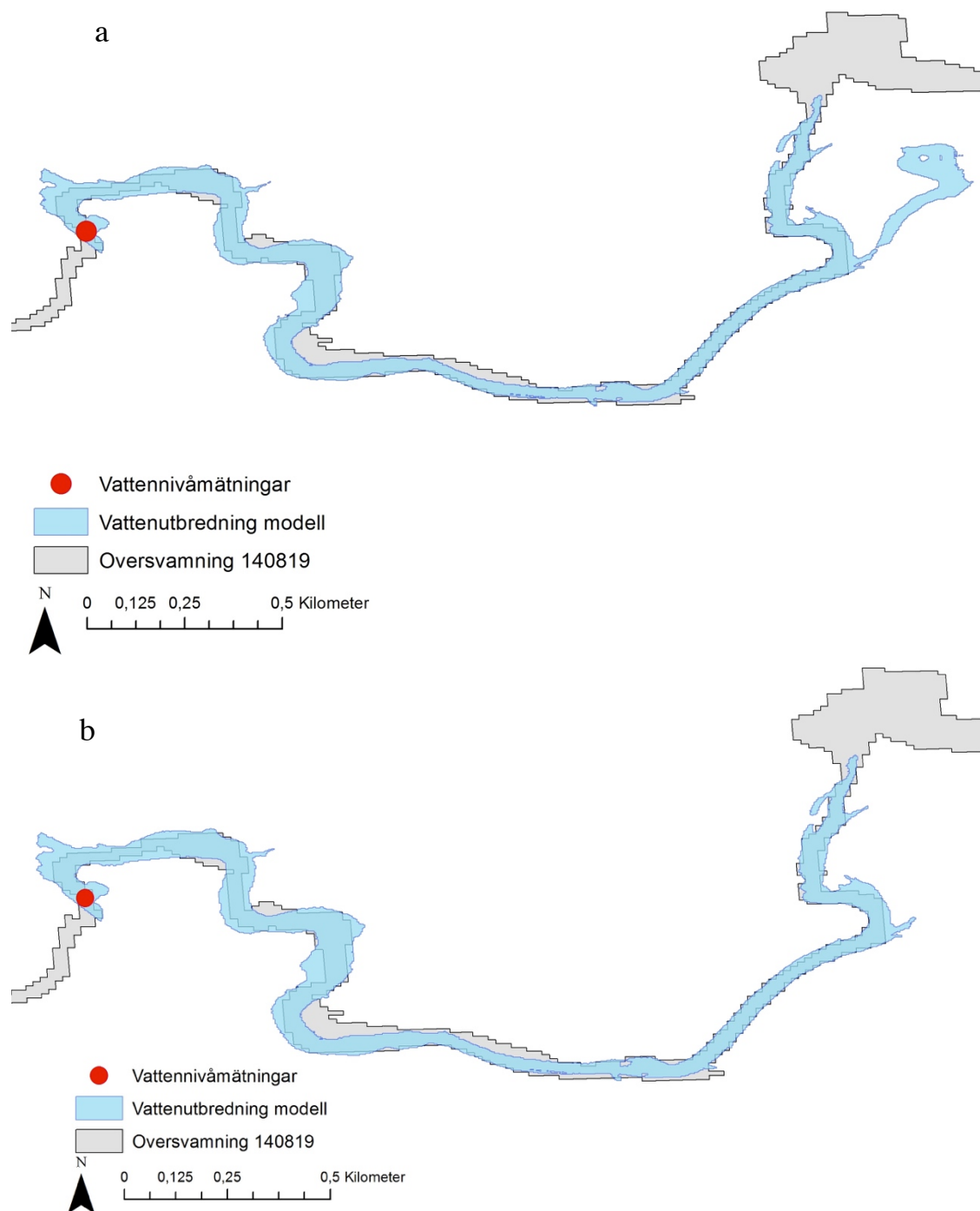
Figur 45. Vattenutbredningsskikt för 100-årsflöde i Suseån genererade med SÖK-modellen (benämns modell i legenden) respektive i MIKE 11. Detaljbild över detaljområde 5 i Figur 42. För skikt genererade med modellen har samtliga öpolygoner behållits. Vattenutbredningsskikt genererade med modellen har gjorts transparenta för att underlätta illustrering av skillnader.



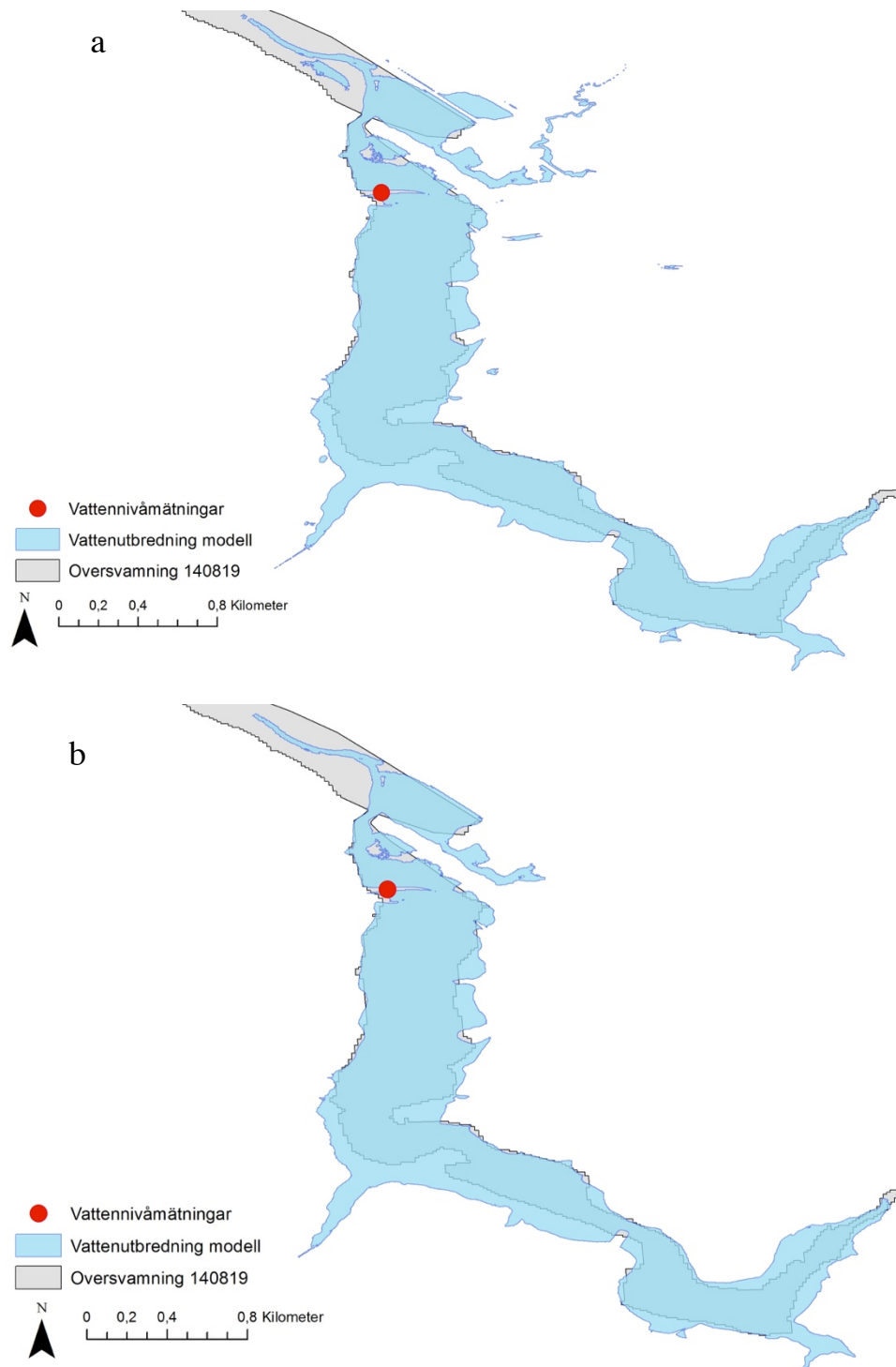
Figur 46. Vattenutbredningsskikt för 100-årsflöde i Suseån genererade med SÖK-modellen (benämns modell i legenden) respektive i MIKE 11. Detaljbild över detaljområde 5 i Figur 42. För skikt genererade med modellen har samtliga öpolygoner sorterats bort. Vattenutbredningsskikt genererade med modellen har gjorts transparenta för att underlätta illustration av skillnader.



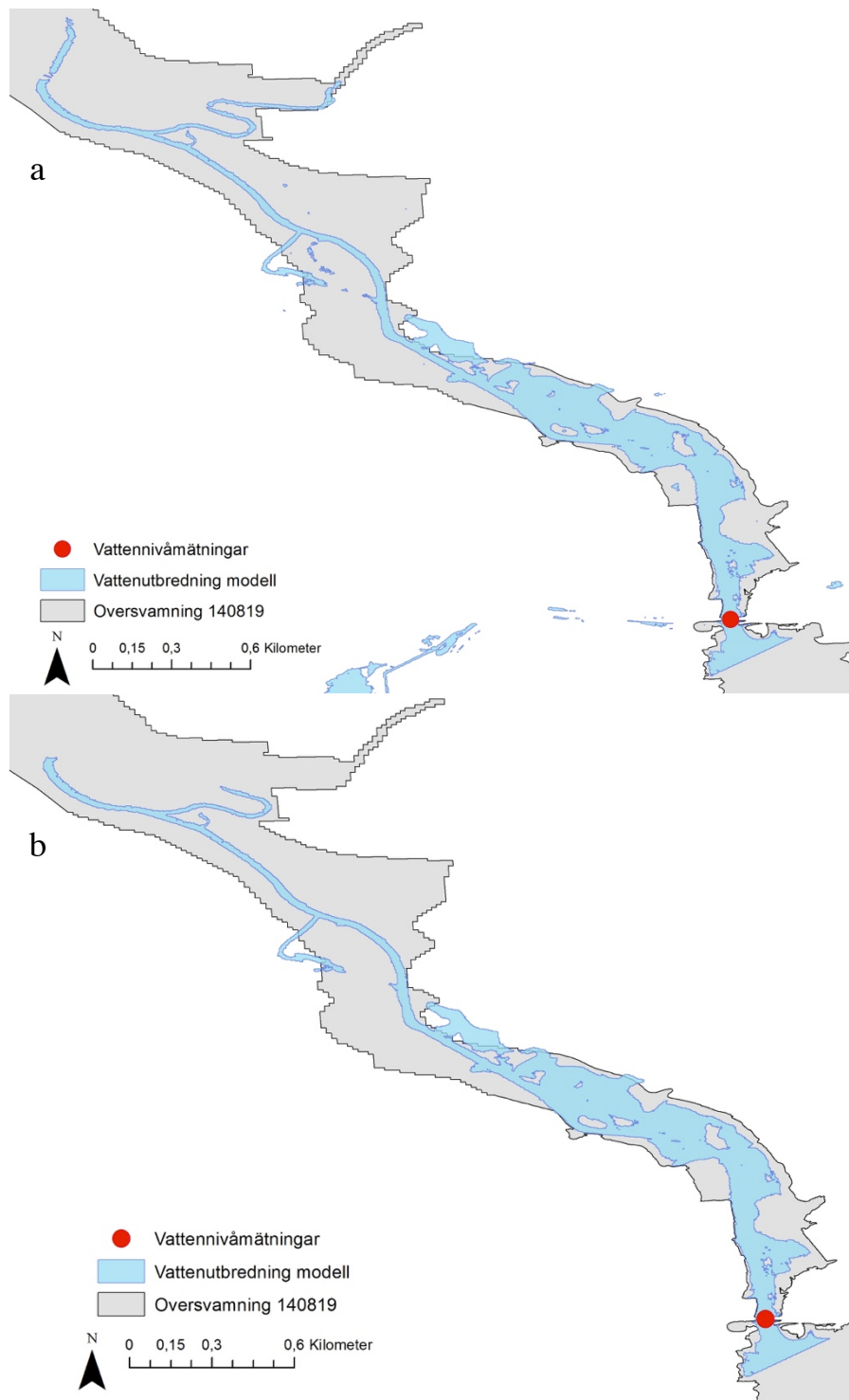
Figur 47. Vattenutbredningsskikt för 200-årsflöde i Suseån genererade med SÖK-modellen (benämns modell i legenden) respektive i MIKE 11. Detaljbild över detaljområde 2 i Figur 42. I del a har samtliga öpolygoner behållits och i b har samtliga sorterats bort. Vattenutbredningsskikt genererade med modellen har gjorts transparenta för att underlätta illustration av skillnader.



Figur 48. Detaljbild över västra delen av Suseån för jämförelse av vattenutbredningsskikt framtagna med SÖK-modellen (benämns modell i legenden) mot översvämningsskikt för 2014 års översvämning i Suseån skapat av MSB baserat på flygfoton och observationer. I del a har samtliga öpolygoner behållits och i b har samtliga sorterats bort. Vattenutbredningsskikt genererade med modellen har gjorts transparenta för att underlätta illustrering av skillnader.



Figur 49. Detaljbild över mellersta delen av Suseån för jämförelse av vattenutbredningsskikt framtagna SÖK-modellen (benämns modell i legenden) mot översvämningsskikt för 2014 års översvämning i Suseån skapat av MSB baserat på flygfoton och observationer. I del a har samtliga öpolygoner behållits och i b har samtliga sorterats bort. Vattenutbredningsskikt genererade med modellen har gjorts transparenta för att underlätta illustrering av skillnader.



Figur 50. Detaljbild över östra delen av Suseån för jämförelse av vattenutbredningsskikt framtagna med SÖK- modellen (benämns modell i legenden) mot översvämningsskikt för 2014 års översvämning i Suseån skapat av MSB baserat på flygfoton och observationer. I del a har samtliga öpolygoner behållits och i b har samtliga sorterats bort. Vattenutbredningsskikt genererade med modellen har gjorts transparenta för att underlätta illustrering av skillnader.

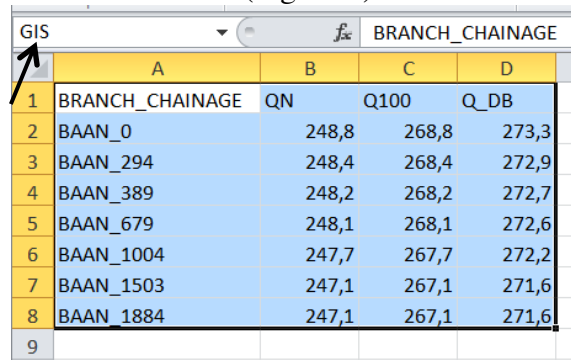
BILAGA 3: ANVÄNDARMANUAL

Skiktgenereringen görs genom en modell i ArcGIS och finns i verktygsboxen "Skiktgenerering_Oversvamningskartering". Användarmanualen beskriver hur modellen används samt hur enklare felsökning kan göras. Modellen är uppbyggd enligt Figur 6 och kräver indata enligt Tabell 6, hur modellen används beskrivs nedan:

1. Förbereda data

a. Tabell med vattennivåer:

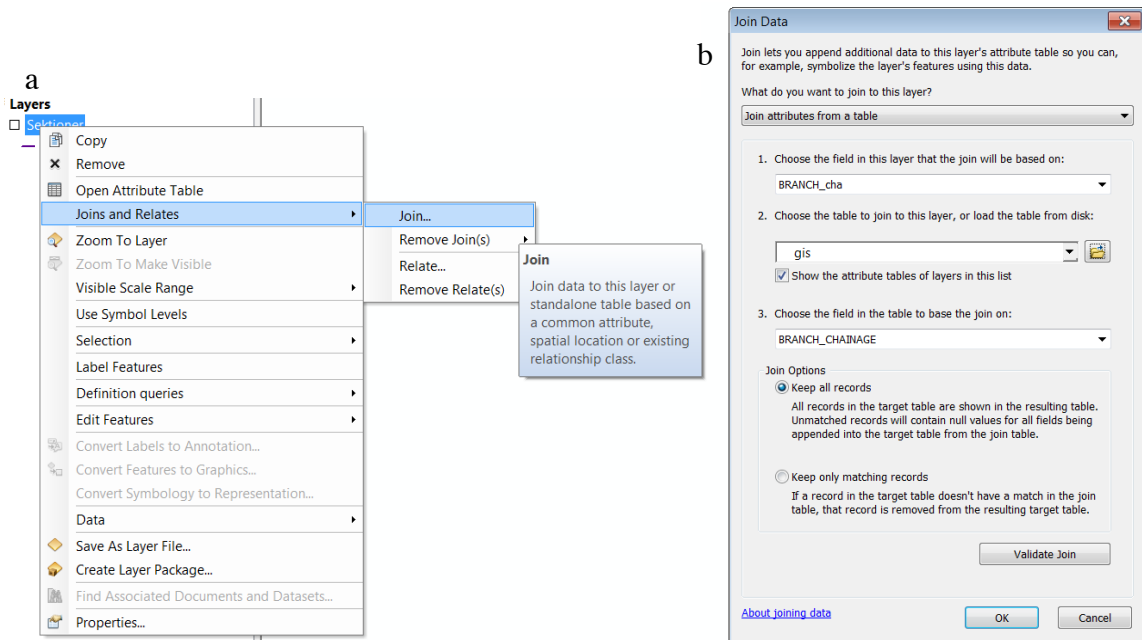
- Alla rubriker måste ha bokstav som första symbol
- Rubriker får endast innehålla bokstäver, siffror och _
- En kolumn ska innehålla "BRANCH_CHAINAGE" (obs. _ mellan BRANCH och CHAINAGE i hela tabellen)
- Markera området som innehåller informationen som ska importeras till ArcGIS (vattennivåer och BRANCH_ CHAINAGE krävs) och ge området ett namn (Figur 51)



GIS	A	B	C	D
1	BRANCH_CHAINAGE	QN	Q100	Q_DB
2	BAAN_0	248,8	268,8	273,3
3	BAAN_294	248,4	268,4	272,9
4	BAAN_389	248,2	268,2	272,7
5	BAAN_679	248,1	268,1	272,6
6	BAAN_1004	247,7	267,7	272,2
7	BAAN_1503	247,1	267,1	271,6
8	BAAN_1884	247,1	267,1	271,6
9				

Figur 51. Illustrering av förarbete i Excel.

- ##### b. Om shapefilen med beräkningssektioner inte har kolumner för BRANCH_ CHAINAGE i attributtabellen: Kör modellen Add Field (Figur 53) i verktygsboxen för Översvamningskartering
- ##### c. Om en fil med mittpunkter för beräkningssektioner saknas; generera en punktfil exempelvis med verktyget "Make XY Event Layer"
- #### 2. Koppla beräknade vattennivåer till sektioner
- Importera sektionsfilen till ArcMap
 - Högerklicka på sektionsfilen, välj "Joins and Relates" → "Join" (Figur 52a) och fyll i det fönster som kommer upp enligt (Figur 52b). "Validate Join" kan användas för att kontrollera om den tabell som läggs till uppfyller kraven GIS ställer på tabelldata.



Figur 52. Del a visar hur Join-verktyget nås i ArcMap, del b vilka inställningar som behöver göras.

3. Generera skikt och vattennivårastrer:

För att köra modellen finns två alternativ; antingen dubbelklicka på den i verktygsfältet och följa instruktionerna, eller högerklicka på modellen i verktygsfältet, välja edit, definiera indata och köra modellen i ModelBuilder-fönstret. Det senare kan vara att föredra om problem uppstår vid första alternativet då körning av modellen i ModelBuilder medför enklare felsökning. Vid användning av det första alternativet finns förklarande texter till samtliga inparametrar. Om flera scenarion ska köras görs detta lämpligen via ArcCatalog genom att högerklicka på modellen och välja batch.

Modellen genererar följande resultat:

- Raster med interpolerade vattennivåer.
- Vattenutbredningsskikt.

Om modellen behöver justeras görs detta genom att högerklicka och välja edit, det rekommenderas att justeringar sparas under nytt namn. I de fall öpolygonpunkter eller mittpunkter saknas tas lämpligen den högra delen i Figur 6 bort (allt efter första "Make Feature Layer") och modellen sparas under nytt namn. Detta medför att eventuell hantering av öpolygoner måste göras manuellt efter skikten genererats.

Om intermediära resultat önskas sparas kan detta ändras genom att i ModelBuilder-fönstret högerklicka på variabeln och avmarkera "Intermediate". Genom att istället markera "Model Parameter" kan det i modellkörningar anges var filen önskas sparas.

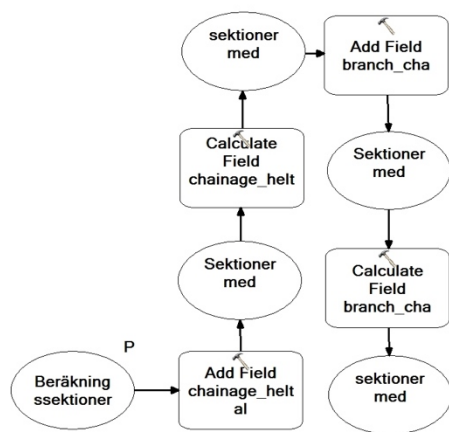
Enklare felsökning:

- Modellen skriver inte över befintliga filer, använd unika filnamn
- Kontrollera att texten i angivet scenario är exakt samma som kolumnen i attributtabellen
- Kontrollera att "Edit TIN" i modellen har "scenario" angivet i kolumnen för "height_field".
- Inga värden att interpolera:
Öppna sektionsfilens attributtabell och kontrollera att sammankopplingen av sektioner och tabelldata fungerat. Kontrollera att tabellen uppfyller alla krav i 1a och testa att göra om Steg 2 om tabellen bara innehåller <Null> värden
- Felmeddelande innehållande %SCRATCHWORKSPACE%/

Öppna modellen genom att högerklicka på den och välj Edit, i ModelBuilder-fönstret kontrollera inställningar under Model→Model Properties. Expandera Workspace, välj Edit Values och kontrollera att den är angiven till Workspace_TEMP.

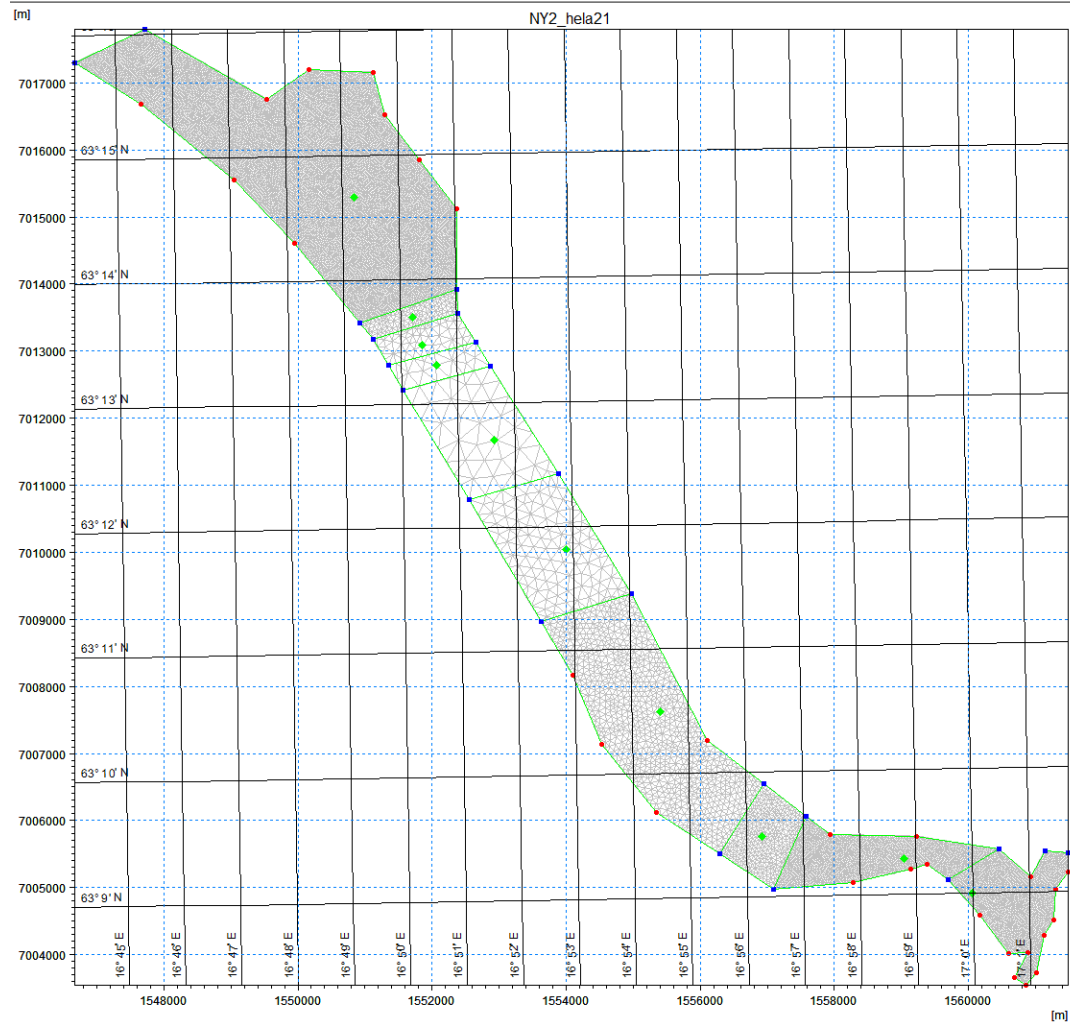
Tabell 6. Datakrav för framtagen modell

Indata	Beräkningssektioner
	Tabell med beräknade vattennivåer
	Mittpunkter
	Öpolygonpunkter
	Terrängmodell
Inställningar	Koordinatsystem
	Upplösning på terrängmodell
	Scenario
	Mapp där temporära filer sparas
Resultat	Vattennivå raster
	Vattenutbredningsskikt

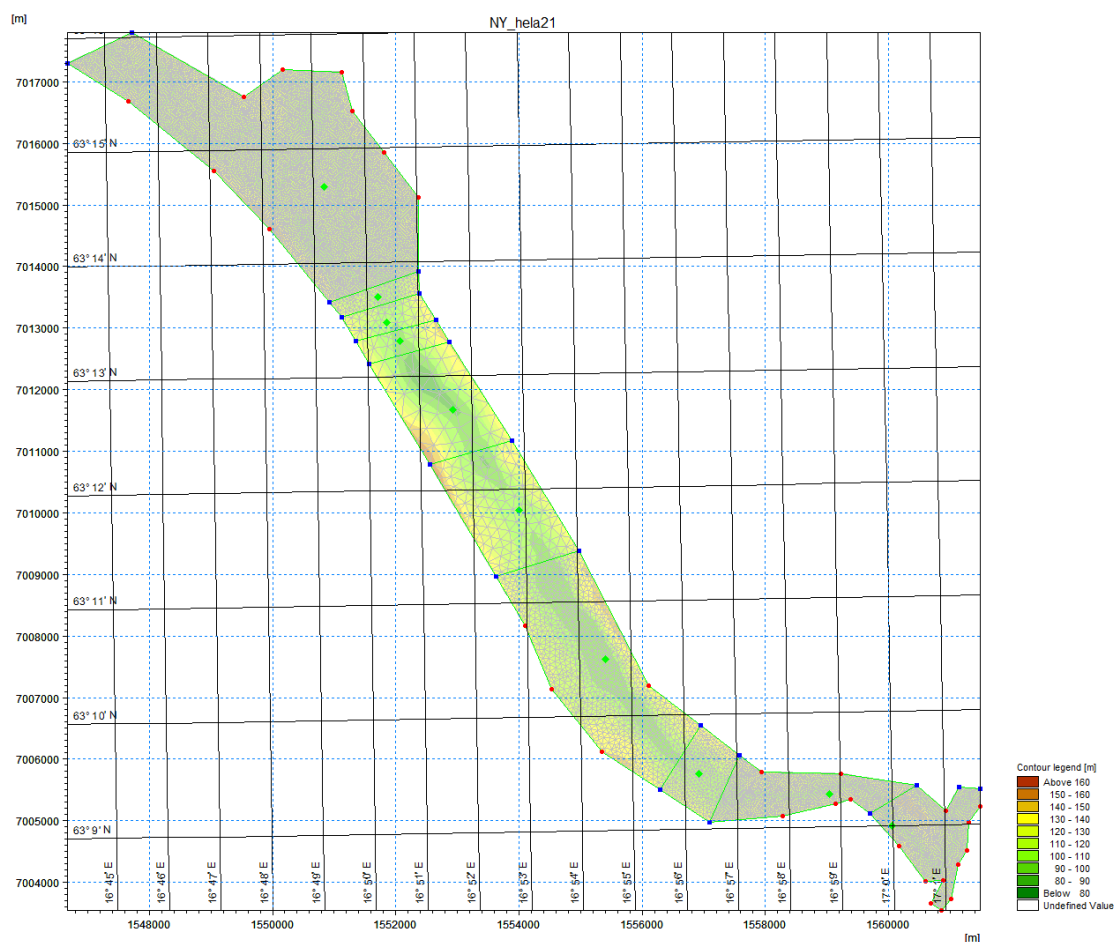


Figur 53. Modellstruktur för modell som lägger till "BRANCH_cha" kolumn i beräkningssektionsfilens attributtabell.

BILAGA 4. MODELLERING I MIKE 21



Figur 54. Triangulärt, flexible mesh genererat med Mike Zero Mesh editor för området i Figur 5. Området är indelat i tre huvuddelar med olika upplösning beroende på vattendragets karaktär. Mellan de tre huvuddelarna har mindre områden skapats för att jämna ut meshet vilket krävs för simulering i MIKE 21.



Figur 55. Mesh i Figur 54 interpolerat mot terrängdata vilket användes som domän i MIKE 21-simuleringar.

MIKE Zero användes för att skapa en MIKE 21 FlowModel Flexible Mesh för varje scenario. Meshet i Figur 55 användes som modelldomän där en rand angavs till inflödet i den norra delen och en rand till dammen i områdets södra del. Modulerna "Hydronamic" och "Inland Flooding" användes med inställningen "Higher order" i lösningsteknik, övriga inställningar gjordes enligt Tabell 7. Modellen kördes tills stabilt tillstånd uppnåts, maximala utbredningen redovisas.

Tabell 7. Parametervärden för MIKE 21-simuleringar för undersökning av vikten av 2D-modellering för meandrande vattendrag.

Parameter	Värde
Critical CFL	0,8
Drying depth	0,0005m
Flooding depth	0,005m
Wetting depth	0,1m
Mannings tal	25m ^{1/3} /s