

Rationell produktion av detaljerad översvämningskartering

Rational production of detailed flood mapping

Dan Eklund

Referat

Rationell produktion av detaljerad översvämningskartering

Dan Eklund

På SMHI, Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut, utförs översiktliga och detaljerade översvämningskarteringar. Vid översvämningskartering används en hydraulisk modell som utifrån flödesdata och geometrisk data beräknar resulterande vattenstånd i tvärsektioner längs vattendraget. För översiktlig kartering används Lantmäteriverkets rikstäckande höjddatabas, med en noggrannhet på ca 2 m i höjddled, för terrängåtergivning. För mer detaljerad kartering krävs noggrannare indata. Sådan kan erhållas med laserscanning (LiDAR) från helikopter och kan ge en noggrannhet på runt en decimeter i plan och höjd.

I ett led att rationalisera karteringsarbetet på SMHI ämnar man övergå till hydraulikprogrammet HEC-RAS dit geometrisk data kan exporteras från ett GIS med tilläggsverktyget HEC-geoRAS. Resultaten från den hydrauliska modellkörningen kan även importeras tillbaka till GIS-miljö för visualisering av översvämningsutbredning. En fullständig terrängmodell där både omgivningens topografi och vattendragets bottenförhållanden finns representerade underlättar GIS-arbetet och överföringen till hydraulikprogrammet. I detta arbete undersöks hur väl en komplett terrängmodell kan uppföras utifrån olika grad av täthet i djupdata och huruvida införandet av HEC-RAS och HEC-geoRAS kan bidra till en mer effektiv arbetsgång för SMHIs översvämningskartering. Undersökningar har gjorts på Eskilstunaån där topografisk LiDAR tidigare använts för höjddatainsamling.

Slutsatsen är att karteringsarbetet troligtvis kan rationaliseras genom ändrade rutiner. För vattendrag liknande Eskilstunaån, och med detaljerad terrängdata, kan kartering utföras med hjälp av en terrängmodell baserad på glesare djupdata utan att resultaten försämras i stor grad. Tätare djupdata är emellertid att föredra då det ger noggrannare resultat och förenklar terrängupbyggnaden.

Nyckelord: Översvämnning, översvämningskartering, detaljerad terrängdata, hydraulisk modellering, HEC-RAS, HEC-geoRAS

Abstract

Rational production of detailed flood mapping

Dan Eklund

At SMHI, the Swedish Meteorological and Hydrological Institute, both detailed and general surveying flood risk mappings are made. For flood simulation a hydraulic model is used to estimate water levels in cross sections along a river with geometrical data and flow data as input. For general flood mapping a national digital elevation model with an accuracy in height data of ca 2 m provided by Lantmäteriet, the National Land Survey of Sweden, is used for the terrain model. For detailed flood mapping more accurate elevation data is necessary. Such data can be obtained from airborne laser scanning (LiDAR) and could give an accuracy of some 10 cm in plan and height.

As a means of rationalizing the work procedure of flood mapping SMHI intend to start using the hydraulic modeling program HEC-RAS, to which geometrical data can be exported from a GIS with the additional tool HEC-geoRAS. The results from the hydraulic model simulations can also be imported back to the GIS environment for visualization of the flooded area. A complete terrain model where both the surrounding topography and the river bottom are represented simplifies the GIS work and the transfer to the hydraulic program. The study investigates how well a complete terrain model can be built, starting from different levels of density in depth data, and if the implement of HEC-RAS and HEC-geoRAS could contribute to a more efficient work procedure of the flood risk mapping at SMHI. Studies are made on the river Eskilstunaån where topographic LiDAR have been used earlier for height data collection.

The conclusion is that the flood simulation work probably can be rationalized by the changed routines. For rivers similar to Eskilstunaån, and with detailed terrain data, the mapping can be performed with a terrain model based on less dense depth data without considerable deterioration of the results. However, denser depth data is to prefer, since it gives more accurate results and simplifies the terrain building process.

Key words: Flooding, flood risk mapping, flood plain mapping, detailed terrain data, hydraulic modeling, HEC-RAS, HEC-geoRAS

*Department of Earth Sciences, Uppsala University
Villavägen 16, SE-752 36 Uppsala, Sweden
ISSN 1401-5765
UPTEC W08014*

Förord

Detta examensarbete avslutar min utbildning på civilingenjörsprogrammet Miljö och vattenteknik vid Uppsala universitet. Det omfattar 20 högskolepoäng och har utförts på SMHI, avdelning Miljö och säkerhet Hydrologi i Norrköping.

Jag vill gärna tacka Hans Björn, min handledare på SMHI, för all hjälp och givande diskussioner under arbetets gång och Allan Rodhe vid institutionen för geovetenskaper, luft-, vatten och landskapslära på Uppsala universitet, som har varit arbetets ämnesgranskare.

Tack till Sonja Larsson-McCann som öppnade möjligheten för mig att göra mitt exjobb på SMHI från första början. Tack även till David Segersson, Kerstin Andersson, Tahsin Yacoub och Ylva Westman på SMHI vilka samtliga har hjälpt mig med mitt arbete på olika sätt, samt alla andra medarbetare på avdelning Miljö och Säkerhet för den trevliga arbetsmiljö ni gett mig.

Slutligen vill jag även tacka min familj och Hanna Edberg.

Februari 2008

Dan Eklund

Copyright © Dan Eklund och Institutionen för geovetenskaper, Programmet för luft-, vatten- och landskapslära, Uppsala universitet.

UPTEC W08014 ISSN 1401-5765

Tryckt hos Institutionen för geovetenskaper, Geotryckeriet, Uppsala universitet, Uppsala 2008

Rationell produktion av detaljerad översvämningsskartering – populärvetenskaplig sammanfattning

Under 1900-talet har Sverige drabbats av översvämningar kring vattendrag och i sjönära områden till följd av kraftiga regn och höga flöden med mer eller mindre allvarliga konsekvenser. Såväl bostäder som infrastruktur och miljö kan ta skada då vattnet stiger över sina breddar. Många upplever att frekvensen och omfattningen av översvämningar har ökat i samband med de senaste årens stormar och på många håll räknar man med tilltagande problem i och med eventuella klimatförändringar.

För att få en bild av vattnets utbredning vid en högflödessituation kan en översvämningsskartering göras. Förväntade flöden matas då in i en hydraulisk modell tillsammans med uppgifter om områdets terräng och vattendragets bottenbeskaffenhet, och ett resultat fås i form av vattenstånd för respektive flöde i ett antal sektioner längs vattendraget. Modellerade vattenstånd kalibreras mot uppmätta från tidigare högflödestillfällen. Det finns flera programvaror för hydraulisk modellering och översvämningsskartering tillgängliga på marknaden. Utifrån de beräknade vattenstånden tas sedan en karta fram där vattenytans utbredning framträder respektive simulerat flöde. Sådana kartor är ett bra hjälpmedel inför bl.a. planering av ny bebyggelse och räddningsinsatser.

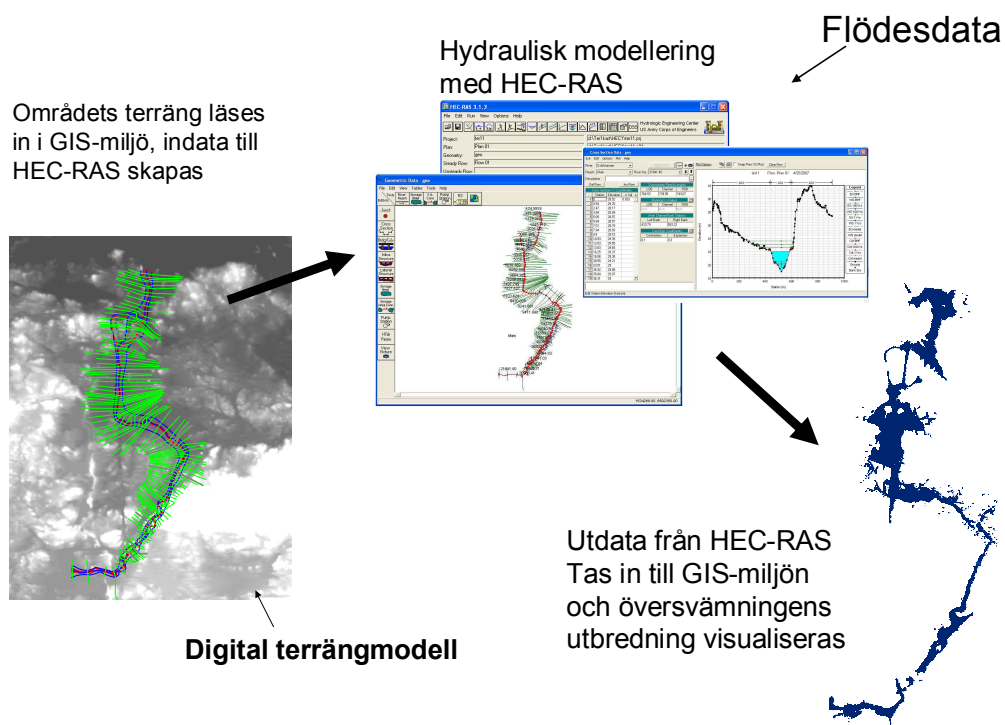
Översvämningsskarteringar har gjorts under en längre tid på SMHI åt bland annat Räddningsverket och olika kommuner. Det har oftast rört sig om översiktliga skarteringar där Lantmäteriverkets digitala höjddatabas legat till grund för terrängbeskrivningen. Denna databas består av ett nationellt 50x50 m rutnät med en höjdangivelse i varje cell. Noggrannheten i höjddled uppgavs efter den senaste inventeringen vara ca 2 m, vilket är en betydande källa till osäkerhet i skarteringen, särskilt i flacka områden. Vid mer detaljerade skarteringar krävs noggrannare höjddata vilket kan införskaffas genom bland annat helikopterburen laserskanning. Detta är en förhållandevis dyr metod men som i gengäld ger tät punktdata med en noggrannhet ända ner på decimetern. Med dessa indata kan sedan en tillförlitlig terrängmodell byggas i GIS-miljö.

I ett led att rationalisera produktionen av översvämningsskartering ämnar SMHI gå över till att använda programvaran HEC-RAS vilken på ett enkelt och lättarbetat sätt kan kopplas till GIS-programmet ArcMap för överföring av terrängdata och visualisering av resultat med hjälp av ett hjälpprogram. Hela skarteringskedjan kan då utföras på ett smidigare sätt av en ensam person. För att överföringen av terrängdata skall fungera optimalt är det en fördel om man från början har en komplett terrängmodell med både omgivande topografi och bottenens djupförhållanden representerade.

I detta arbete har undersökts huruvida införandet av de nya programmen och rutinerna kan göra produktionen av detaljerad översvämningsskartering mer effektiv, mindre tidskrävande och därmed billigare, utan att resultatet försämras jämfört med tidigare tillvägagångssätt. Hur väl en komplett terrängmodell kan uppföras i GIS-miljö utifrån olika grad av täthet i djupdata har också undersökts. Tester har gjorts med tidigare insamlad data från Eskilstunaån där en laserskanning av terrängen och ekolodning av botten gjorts.

Resultaten visar att produktionen antagligen kan effektiviseras med hjälp av de nya programmen och metoderna för terränguppbyggnad. Tätt botten­data som kan införskaffas genom till exempel ekolodning från båt av vattendraget är att föredra då både terränguppbyggnaden förenklas och resultaten förbättras, men även utifrån mer knapphändiga djupuppgifter kan en fullständig bottenmodell skapas på ett relativt enkelt sätt med tillförlitliga resultat. Detta gäller åtminstone för vattendrag liknande Eskilstunaån som är relativt lugnt flytande och förutsätter att uppenbara variationer i fallhöjd vid bestämmande sektioner längs sträckan, tex vid dammar, är kända och läggs in i modellen.

Tillgången till mer detaljerad topografisk data kommer förhoppningsvis att öka i framtiden i och med att efterfrågan på detaljerad flödessimulering ökar och tekniken förbättras och blir billigare. Lantmäteriet ser för närvarande över laserskanning som en möjlig väg att förbättra den nationella höjddatabasen då man anser att den nuvarande är alltför inexact. Intresset för översvämningskartering lär heller knappast minska framöver, vilket förhoppningsvis bidrar till bättre och billigare programvaror och lösningar för hydraulisk modellering.



Arbetsgång för översvämningskartering med HEC-RAS

Dan Eklund

1. INLEDNING	1
1.1 Bakgrund.....	1
1.2 Syfte.....	2
2. TEORI	3
2.1 HEC-geoRAS	3
2.2 HEC-RAS	5
2.2.1 Användning av energiekvationen.....	6
2.2.2 Beräkningsprocess.....	8
2.2.3 Användning av rörelsemängdens bevarande	9
2.3 Dammar	10
2.3.1 Tvärsektioner kring dammar	10
2.3.2 Beräkningsmetoder för dammar	11
2.4 Höjddatainsamling	13
2.4.1 Laserscanning.....	13
3. MATERIAL OCH METODER	14
3.1 Eskilstunaån.....	14
3.3 Höjddata	15
3.4 Terrängmodeller	16
3.4.1 Terrängmodell 1 – Detaljerad referensmodell	17
3.4.2 Terrängmodell 2 – Botten interpolerad mellan tvärsektioner.....	18
3.4.3 Terrängmodell 3 – En längsgående ekolodning	18
3.4.4 Terrängmodell 4 – För översiktlig kartering	18
3.5 Hydrauliska beräkningar	19
3.5.2 Flöden och vattenstånd	19
3.5.2 Ytans råhet	19
3.6 Dammdata	19
3.8 Kalibrering.....	20
3.7 Hydrauliska modelluppsättningar	21
Modell1a – referensmodell	21
Modell 1b – med dammar.....	21
Modell 1c – med glesa tvärsektioner	21
Modell 1d – tvärsektioner kring ett mindre fall borttagna	21
Modell 2 – förenklad bottenmodell.....	21

Modell 3 – med en längsgående ekolodning.....	21
Modell 4 – LMVs höjddatabas	21
3.8 Förenklingar och antaganden.....	22
4. RESULTAT	23
4.1 Resultet av modellkörningar	23
Modell1a och 1b – Terräng 1 utan och med dammar.....	25
Modell 1c – glesa tvärsektioner	25
Modell 2 – förenklad bottenmodell.....	25
Modell 3 – med en längsgående ekolodning.....	26
Modell 1d – tvärsektioner kring ett mindre fall borttagna	26
Modell 4 – LMVs höjddatabas	26
5. DISKUSSION	27
5.1 Modellresultaten.....	27
5.2 Programanvändning	30
5.3 Felkällor och osäkerhet	30
6. SLUTSATSER.....	31
7. REFERENSER	33
BILAGA	

1. Inledning

1.1 Bakgrund

Översvämningar sker mer eller mindre årligen i Sverige med fysiska skador och stora kostnader som följd. För att kunna planera fysisk bebyggelse och räddningsinsatser vid kraftiga flöden och översvämningar har översiktlig översvämningsskartering gjorts för våra större vattendrag (Räddningsverket 2007). Vid dessa produceras kartor som indikerar vilka områden som kommer att läggas under vatten, dels för 100-årsflödet, dels för beräknat högsta flöde (BHF). Kartorna baseras på modellerat vattenstånd i sektioner längs vattendraget. 100-årsflödet är det flöde som statistiskt sett återkommer en gång på hundra år och BHF är det största möjliga flödet vid maximalt ogynnsamma förhållanden med avseende på nederbörd, markfuktighet, havsvattenstånd, med mera. Kartorna skall kunna användas vid tolkning av hydrologiska varningar utfärdade av SMHI, Sveriges Hydrologiska och Meteorologiska Institut (SMHI 2007).

SMHI har sedan 1998 gjort översiktliga översvämningsskarteringar på uppdrag av Räddningsverket runt om i landet. Skarteringsarbetet har skett i prioritetsordning utifrån risken för översvämning och totalt ca 1000 mil vattendrag är skall skarteras (Räddningsverket 2007). Skarteringen baseras på flödes- och vattenståndsuppgifter, bro- och dammrutningar, terrängdata ur lantmäteriets (LMV) digitala höjddatabas och kartor. LMVs höjddatabas är ett rikstäckande 50x50 m raster med en noggrannhet i höjddled på ca 2 m för flacka områden enligt den senaste inventeringen gjord 2001 (Klang 2006).

En mer detaljerad skartering kan vara nödvändig för känsliga områden inom de zoner där översiktlig skartering gjorts, för detaljplanering, inför byggnation nära vattendrag, räddningsinsatser, etc. Mer detaljerade vattenståndsberäkningar kräver en noggrannare höjdbeskrivning, vilket har konstaterats av bland annat Brandt (2005) vid högskolan i Gävle. SMHI utför även sådana detaljerade översvämningsskarteringar, tidigare för bland annat Eskilstunaån (Yacoub m fl, 2005).

Vid översvämningsskartering används GIS (Geografiska InformationsSystem) för kart- och höjddatabehandling och en hydraulisk modell för beräkning av vattenstånd i tvärsnitt längs vattendraget. Olika program finns tillgängliga för detta och på SMHI har GIS-mjukvarorna ArcINFO och ArcView, utvecklade av ESRI, och hydraulikprogrammet MIKE11 tidigare använts. MIKE11 är utvecklat av DHI, Dansk Hydrologisk Institut, och är det mest utbredda programmet för ytvattenberäkning.

I detta arbete har ESRI:s ArcMap som ingår i GIS-programvaran ArcGIS Desktop, hydraulikprogrammet HEC-RAS och GIS-applikationen HEC-geoRAS, båda utvecklade av amerikanska U.S. Army Corps of Engineers, använts. HEC-RAS står för Hydraulic Engineering Center - River Analysis System och är ett program liknande MIKE11 för modellering av endimensionellt flöde av ytvatten. Med endimensionell beräkning menas att strömning bara räknas i riktning längs vattendraget. Detta är inte fallet i verkligheten, till exempel vid grund eller hastiga geometriska förändringar av strömfåran, men tidigare undersökningar har visat att för tydligt avgränsade vattendrag fungerar denna förenkling bra. Flerdimensionella modeller finns men dessa ställer höga krav på indata och blir lätt instabila (Brandt 2005). Verktystillsatsen HEC-geoRAS

till ArcMap kopplar ihop kartinformationen med den hydrauliska modellen så att kartering kan göras relativt enkelt, utan att djupare kunskaper i GIS krävs, utifrån flödesdata och rumslig data genom överföring av filer mellan programmen.

Vid SMHI undersöks möjligheterna att förenkla arbetsgången för översvämningskartering och man ämnar övergå till att använda HEC-RAS och HEC-geoRAS som ett led i rationaliseringen. Man vill även undersöka möjligheterna att sätta ihop all tillgänglig höjddata för det område som skall karteras till en sammanhängande terrängmodell där vattendragets bottenyta beskrivs längs hela sträckan, även om kännedom om bottenens utseende är begränsad till ett fåtal sektioner. Att utgå från en fullständig terrängmodell underlättar arbetet i den hydrauliska modellen förutsatt att den kan skapas på ett tillräckligt smidigt sätt och att kvalitén i resultatet inte förändras mer än godtagbart med sämre tillgång på djupdata.

Tanken med detta examensarbete är att det skall underlätta införandet av de nya programmen i SMHIs karteringsarbete. Detta har genomförts genom fallstudier på Eskilstunaån där detaljerad data finns sedan tidigare.

1.2 Syfte

Syftet med examensarbetet är att undersöka på vilka sätt SMHIs detaljerade karteringsmetoder kan rationaliseras med bibehållen noggrannhet i resultat. Vilka krav på indata som behövs och huruvida HEC-RAS och HEC-geoRAS kan användas för en enklare kartering i jämförelse med tidigare tillvägagångssätt skall undersökas.

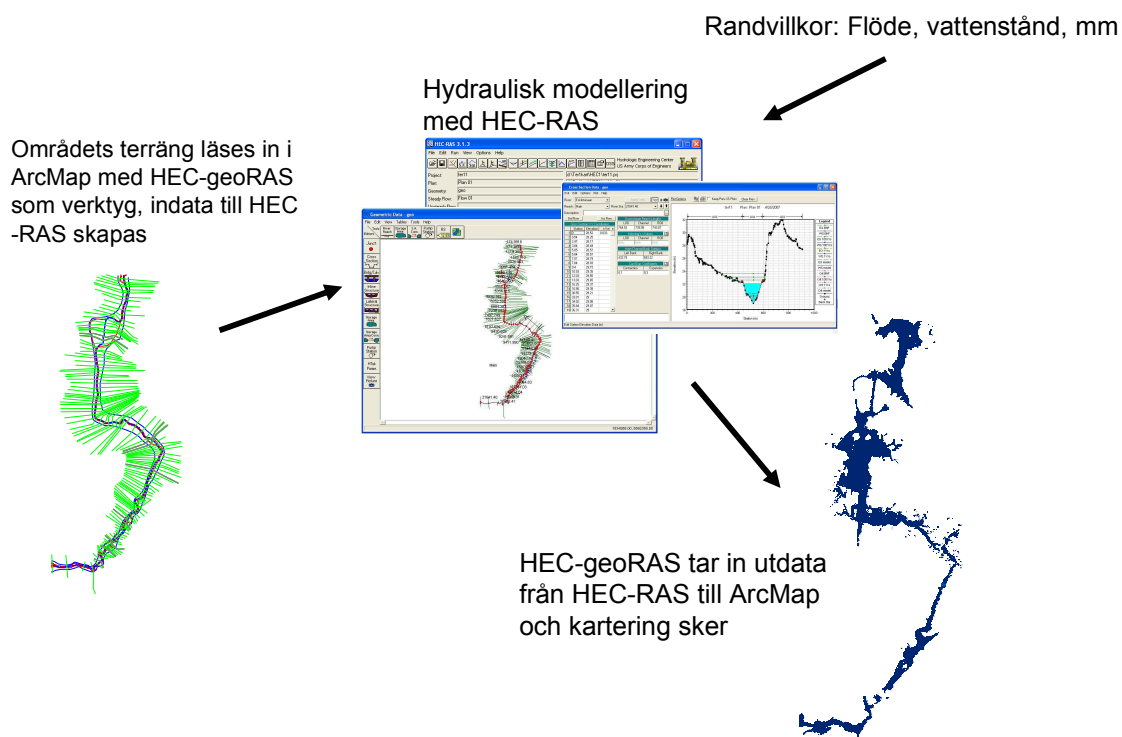
Betydelsen av tätheten hos vattendragens djupdata och fördelar med att sätta ihop all höjddata till en sammanhängande modell skall undersökas, samt möjligheterna att applicera metoderna på översiktlig kartering.

2. Teori

Följande avsnitt beskriver teorin bakom HEC-RAS och sammankopplingen mellan GIS och hydraulikprogrammet via HEC-geoRAS, samt laserscanning (LiDAR) som metod för höjddatainsamling.

2.1 HEC-geoRAS

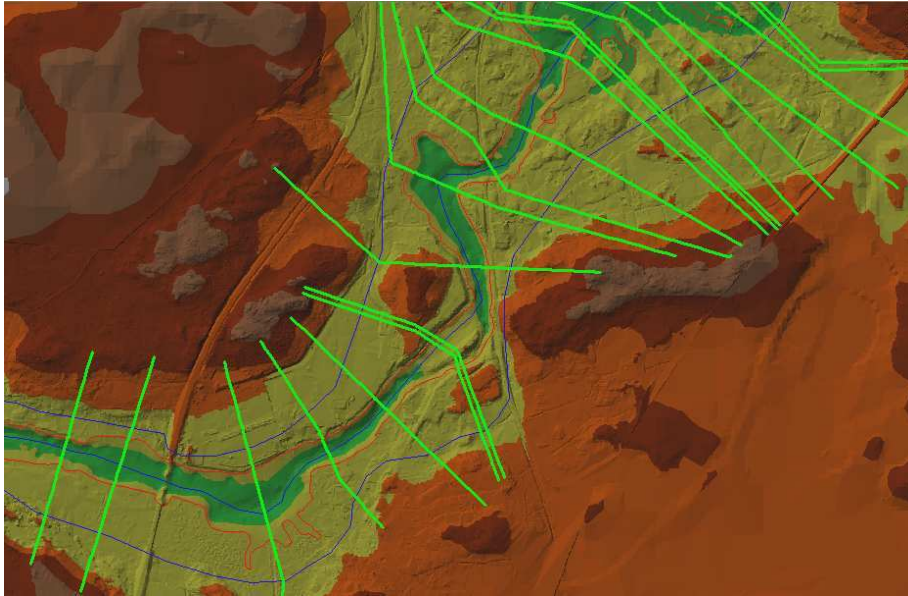
Indata till HEC-RAS krävs i form av geometriska data och flödesdata. Den geometriska datainformation består bland annat av utseende och läge hos ett antal tvärsektioner av vattendraget, avstånd mellan dessa och damm- och brouppgifter. Vattenståndet i varje tvärsektion tas sedan fram för det simulerade flödet i de hydrauliska beräkningarna. Om en terrängmodell finns i form av ett TIN (Triangular Irregular Network) eller raster kan HEC-geoRAS användas för att markera tvärsektioner direkt i ett kartdokument, automatiskt skänka dem geometriska egenskaper från terrängmodellen och exportera dem till hydraulikprogrammet. Efter beräkningar i HEC-RAS kan sedan resultaten importeras tillbaka till GIS-programmet med HEC-geoRAS och själva karteringen göras, se Figur 1.



Figur 1. Arbetsgång för användning av geoRAS och RAS. Flöde och geometri är indata till den hydrauliska modellen

Förutom stomlinje (centrum för vattendragets flöde) och tvärsektioner finns det möjlighet att lägga in strandlinjer, flödesvägar för flöden ovanför strandlinjen (flowpaths), råhetsvärden för ytans olika områden, broar och kulvertar, dammar, invallningar, magasinsytor, ineffektiva flödesareor och andra egenskaper, ett efter ett i olika lager direkt i kartbladet. Detta minskar

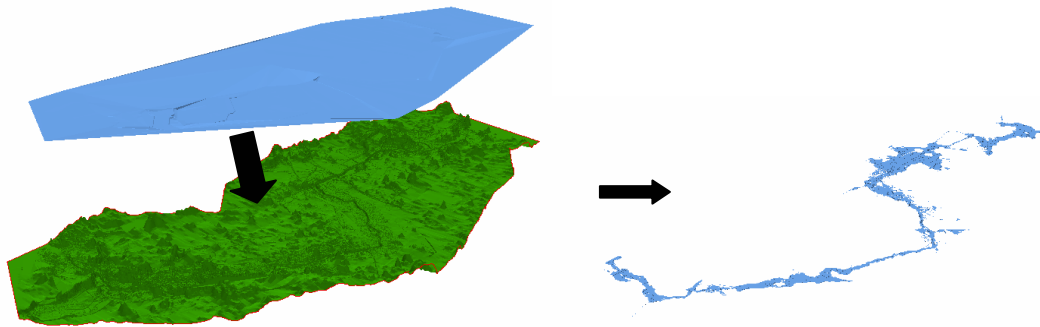
förarbetet i hydraulikprogrammet och ger god överblick av de komponenter som används vid bestämningen av översvämningsytan i området. I dessa lager införs och sparas alla nödvändiga egenskaper för de hydrauliska beräkningarna, se Figur 2.



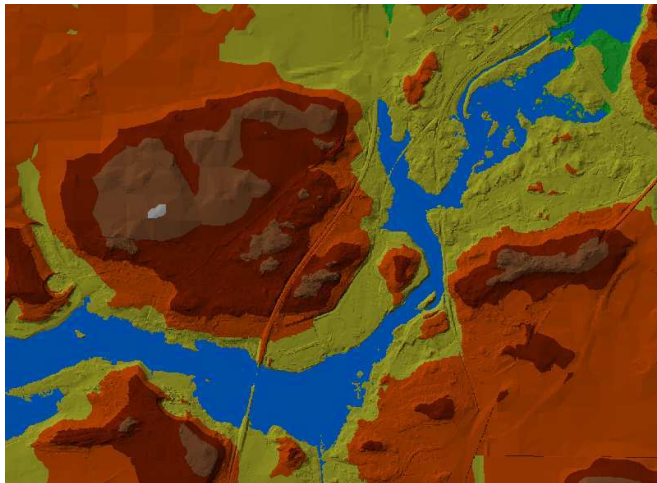
Figur 2. Terrängmodell med strandlinjer (röda linjer), stomlinje och flowpaths (blåa linjer) och tvärsektioner (gröna linjer) dragna

En exportfil med de geometriska egenskaperna skapas som kan importeras direkt till HEC-RAS. Där behandlas och kompletteras data vid behov ytterligare sektion för sektion. Bro- och/eller dammdetaljer bestäms från data utöver terrängmodellen (ritningar, dammprotokoll, etc.). Flöden för vilka vattenstånd skall beräknas matas in i en särskild editor, där även randvillkor anges. Vattenståndet i varje tvärsektion erhålls efter körning och kan presenteras på olika sätt i hydraulikprogrammet, som också skapar en fil att importera tillbaka till GIS-miljö med HEC-geoRAS.

En yta interpolerad från vattennivåerna i varje tvärsektion tas fram med GIS-programmet. Denna yta skärs sedan med terrängytan så att översvämningsens utbredning och djup kan genereras, se Figur 3a och 3b.



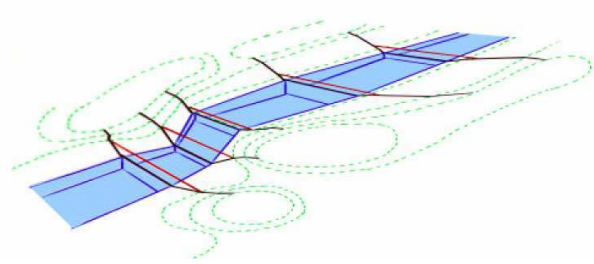
Figur 3a. Översvämningens utbredning tas fram som skärningen mellan "vattenytan" interpolerad från vattenstånderna i sektionerna och terrängmodellen



Figur 3b. Översvämningens modellerade utbredning över landytan för ett visst flöde, med ett TIN som underlag

2.2 HEC-RAS

Hydraulikprogrammet HEC-RAS utför endimensionella ytvattenberäkningar i naturliga eller konstgjorda vattensystem utifrån kännedom om terräng och bottenhöjdförhållanden och flödesdata. Vattenståndet vid det aktuella flödet genereras i ett antal tvärsektioner dragna tvärs över vattendraget, se Figur 4. Tvärsektionerna byggs upp av punkter med koordinater i xyz-led. Stationära eller icke stationära förhållanden kan simuleras och strömmande eller stråkande flöde eller en blandning av båda sorter kan beräknas. Då endast stationära förhållanden har simulerats i detta arbete har bara de hydrodynamiska beräkningar som gäller för sådana flödesdata beskrivits nedan. HEC-RAS Reference Manual (USACE 2002) har använts som källa i detta avsnitt om inget annat anges. För en mer ingående programbeskrivning hänvisas till denna.



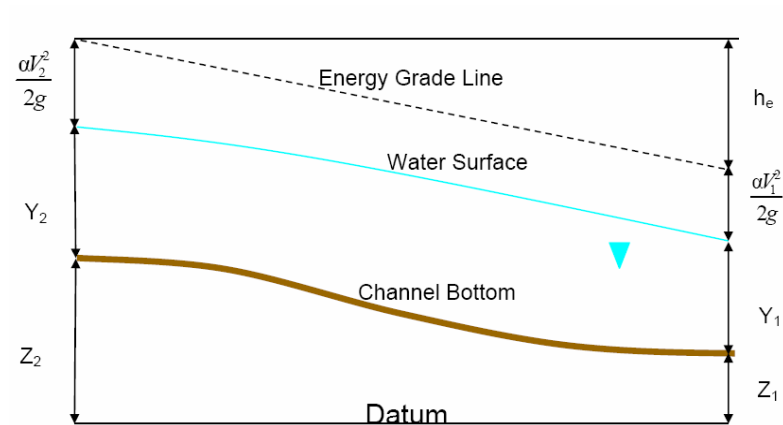
Figur 4. Vattenståndet beräknas i varje tvärsektion för ett givet flöde (Yacoub m fl, 2005)

2.2.1 Användning av energiekvationen

Vid stationära förhållanden beräknas vattennivån i en tvärsektion utifrån nivån i intilliggande sektion, se Figur 5. Energiekvationen (1) gäller för flöden i öppna vattendrag:

$$Y_2 + Z_2 + \frac{a_2 v_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{a_1 v_1^2}{2g} + h_e \quad (1)$$

- Där
- Y_1, Y_2 = vattendjup vid respektive tvärsektion
 - Z_1, Z_2 = bottenens höjdnivå i respektive tvärsektion
 - v_1, v_2 = genomsnittlig flödes hastighet genom respektive tvärsektion, flöde/area
 - a_1, a_2 = viktningskoefficienter för flödes hastigheten
 - g = tyngdaccelerationen
 - h_e = energiförluster



Figur 5. Längsprofil av vattendraget mellan två tvärsektioner (USACE 2002)

Energiförlusten mellan tvärsektionerna uttrycks av termen h_e . Denna beror av friktions- och kontraktions- eller expansionsförluster:

$$h_e = LS_f + C \left| \frac{a_2 v_2^2}{2g} - \frac{a_1 v_1^2}{2g} \right| \quad (2)$$

Där L = viktat avstånd mellan tvärsektionerna
 S_f = energilinjens lutning, friktionsförlusten per meter
 C = koefficient för expansions- eller kontraktionsförluster

Avståndet mellan tvärsektionerna beräknas som ett viktat medelvärde av avstånden mellan tvärsektionens delsektioner. Avgränsningen mellan delsektionerna sätts av programmet som de ställen där ytans råhetsvärde (Mannings tal) ändras. Ett avstånd för själva vattendraget (stomlinjens längd mellan sektionerna) och två för områdena till höger och vänster om huvudfåran som eventuellt översvämmas används. Dessa avstånd kan fås automatiskt från GIS-programmet med importfilen. Flödet för respektive delsektion anses vara likformigt fördelat och används för att ta fram det viktade värdet för L :

$$L = \frac{L_{lob} Q_{lob} + L_{ch} L_{ch} + L_{rob} Q_{rob}}{Q_{lob} + Q_{ch} + Q_{rb}} \quad (3)$$

Där L_{lob} , L_{ch} , L_{rob} = avstånd mellan tvärsektionerna för respektive delsektion, vänster (lob står för "left overbank"), höger (rob står för "right overbank" och huvudfåran (" ch står för "channel").

Q_{lob} , Q_{ch} , Q_{rob} = medelvärde för flödet genom respektive delsektion

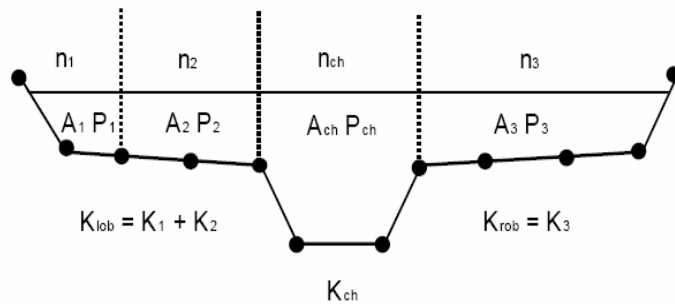
Delflödena beräknas med hjälp av Mannings formel, se ekvation 4 och 5. Ytnivån bestämmer genomströmningsarean för varje delsektion. Figur 6 visar uppdelningen av en tvärsektion i delsektioner.

$$Q = KS_f^{1/2} \quad (4)$$

$$K = \frac{1}{n} AR^{2/3} \quad (5)$$

$$R = \frac{A}{P} \quad (6)$$

Där K = "conveyance"
 n = Mannings tal
 A = delsektionens area
 P = delsektionens våta perimeter
 R = hydraulisk radie för delsektionen,



Figur 6. K beräknas i varje delsektion. (USACE 2002)

Även den kinetiska energin viktas fram med hjälp av flödet i de olika delsektionerna. Först tas korrigeringsfaktorn a fram i ekvation 7 för en tvärsnitt uppdelad i tre delsektioner. Sedan kan den kinetiska energin $av^2/2g$ beräknas.

$$a = \frac{Q_{lob} v_{lob}^2 + Q_{ch} v_{ch}^2 + Q_{rob} v_{rob}^2}{Qv^2} \quad (7)$$

S_f , energilinjens lutning beräknas ur Mannings formel då K är känt:

$$S_f = \left(\frac{Q}{K} \right)^2 \quad (8)$$

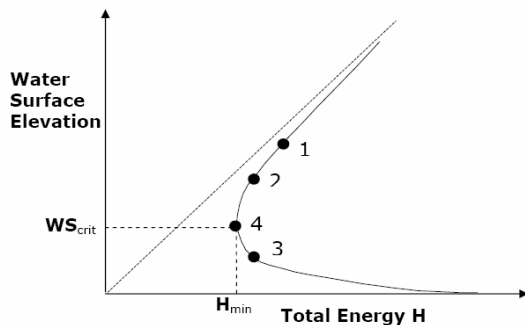
Förlustkoefficienten för kontraktion och expansion, C , sätts efter hur abrupt geometrin förändras. C multipliceras med den absoluta skillnaden i kinetisk energi mellan två tvärsnitt i ekvation 2 som beräknar totala energiförlusten, h_e . För gradvis övergång i naturliga vattendrag är typiska värden 0,3 för kontraktion och 0,5 för expansion. För hastigt förändrad geometri som leder till kraftig kontraktion eller expansion rekommenderas värden på runt 0,6 respektive 0,8. Expansion av flödet antas av programmet ske när kinetiska energin uppströms är större än den nedströms, varvid det lägre värdet automatiskt används, och vice versa.

2.2.2 Beräkningsprocess

Ekvation 1 och 2 löses iterativt med för den okända ytnivån Y_2 :

1. Ytnivån uppströms antas först vara den samma som den nedströms. Detta gäller för subkritiskt flöde, för superkritiskt flöde antas ett initialt värde nedströms.
2. K , L , a och den kinetiska energin beräknas utifrån det antagna vattenståndet
3. S_f beräknas och ekvation 2 löses för h_e .
4. Energiekvationen (1) löses.
5. Det beräknade vattenståndet jämförs med det antagna och proceduren upprepas om skillnaden är större än den inställda toleransnivån (default-värdet är 0,003 m). Upprepningen pågår med det senaste beräknade vattenståndet som initialvärde i en modifierad form tills nivån når ett godtagbart värde.

När ekvationen är balanserad och ett slutgiltigt värde tagits fram kontrolleras det kritiska djupet för den aktuella tvärsektionen. Den totala energin för sektionen tas fram som summan av den potentiella och kinetiska energin. Från den beräknas det kritiska djupet vilket är vattenytans nivå för den lägsta energin för det givna flödet. Om det bara finns ett sådant minimum för tvärsektionen kan en ”parabolisk” stegvis metod användas, se Figur 7, annars övergår programmet till en mer avancerad metod.



Figur 7. Vattendjupet som funktion av den totala energin för en tvärsektion. Energins minsta värde (H_{min}), för vilket det kritiska djupet (WS_{crit}) uppstår, tas fram med en iterativ metod (USACE 2002)

2.2.3 Användning av rörelsemängdens bevarande

Om vattenståndet visar sig passera det kritiska djupet från den ena tvärsektionen till den andra, det vill säga om flödet går från subkritiskt (strömmande) till superkritiskt (stråkande) eller tvärtom, är ekvation 1 inte längre gällande eftersom den bara kan appliceras på gradvis förändrat flöde. Vid flöde genom dammar sker ofta stora förändringar i flödeskaraktären men empiriska formler kan då tas till, se avsnitt 2.3.2. I annat fall används lagen om rörelsemängdens bevarande. Denna härleds ur Newtons andra lag:

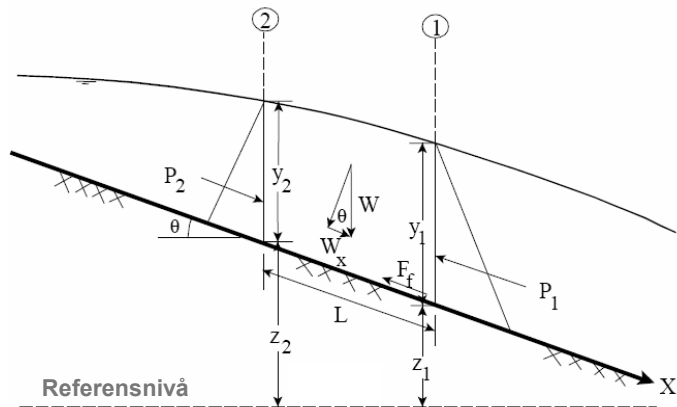
$$F_x = ma \quad (9)$$

Där F_x = summan av krafter verkande på en kropp
 ma = massa gånger acceleration = förändring av rörelsemängd per tidsenhet

Applicerad på en volym vatten mellan två tvärsektioner (se Figur 8) kan ekvation 9 skrivas som:

$$P_2 - P_1 + W_x - F_f = Q\rho\Delta(v) \quad (10)$$

Där $P1, P2$ = hydraulisk tryckkraft
 W_x = kraft i x-led orsakad av volymens tyngd
 F_f = friktionskraft i tvärsektionerna
 ρ = vattens densitet
 $\Delta(v)$ = flödets hastighetsförändring från tvärsektion 2 till 1



Figur 8. Verkande krafter på en volym begränsad av tvärsektioner (USACE 2002)

Då den hydrauliska tryckkraften, vattnets tyngdkraft, friktionskraften och rörelsemängden skrivs om kan förändringen i rörelsemängd formuleras som:

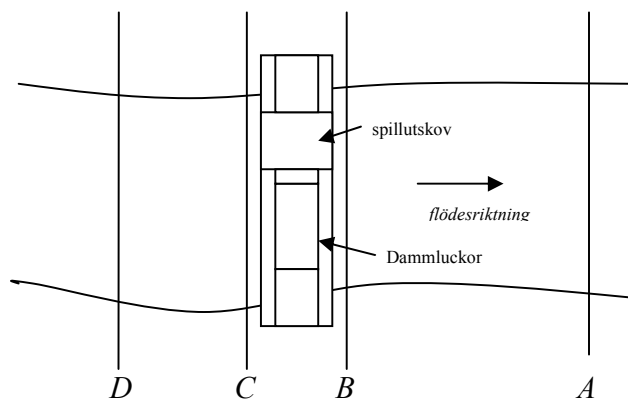
$$\frac{Q_2^2 \beta_2}{gA_2} + A_2 Y_2 + \left(\frac{A_1 + A_2}{2} LS_0 - \frac{A_1 + A_2}{2} LS_f \right) = \frac{Q_1^2 \beta A_1}{gA_1} + A_2 Y_2 \quad (11)$$

Där β = koefficient som korregerar för ojämn hastighetsfördelning
 S_0 = medelvärde av bottenlutningen mellan sektionerna
 A_1, A_2 = genomflödesareor i tvärsektion 1 och 2

2.3 Dammar

2.3.1 Tvärsektioner kring dammar

För att modellberäkningarna kring dammar skall fungera optimalt krävs att fyra tvärsektioner läggs in med HEC-geoRAS (eller på alternativt sätt) kring varje damm, två uppströms och två nedströms, se Figur 9. Tvärsektion A skall vara belägen så långt nedströms att kontraktion från dammöppningarna inte påverkar vattenmassan där direkt. Tvärsektion B skall dras direkt nedströms dammen utan att någon del av själva dämmningskonstruktionen ingår i sektionen. Tvärsektion C läggs på samma sätt så nära dammen som möjligt fast uppströms. Tvärsektion D läggs uppströms dammen, så högt upp att kontraktion då vatten rinner in genom dammöppningarna ännu inte hunnit ske.

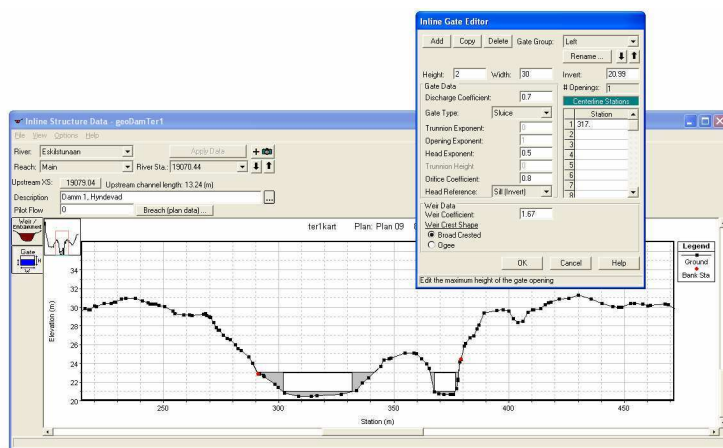


Figur 9. Tvärsektioner kring en damm

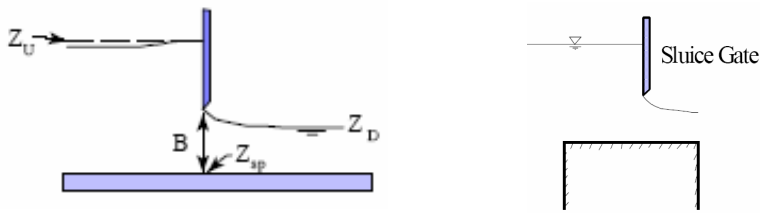
2.3.2 Beräkningsmetoder för dammar

Damndata förs in i en särskild editor (Se Figur 10) där dammens bredd, längd, krönhöjd, luckors och utskovs antal, bredd, höjd, placering samt koefficienter för beräkningarna som beskriver flödet genom luckor och över spillutskov förs in. Hela damm-konstruktionen som beskrivs med detta verktyg befinner sig mellan tvärsektion C och B. Dammluckorna kan beskrivas som vertikala, "sluice gates", vilka kan regleras i höjdlid, eller radiella, sektorluckor.

Flödesberäkningarna genom dessa bygger på välkända formler. Dammkrön och utskov beskrivs som "broad crested spillway", ett enkelt rektangulärt dammkrön, eller "ogee spillway crest", ett rundat krön med sluttande utskov. Den förstnämnda varianten har använts genomgående i detta arbete och luckorna har alla beskrivits som vertikala, se Figur 11.



Figur 10. Verktyg i HEC-RAS för beskrivning av dammstrukturer



Figur 11. Damkrön med vertikal lucka (USACE 2002)

Olika beräkningsmetoder för flödet genom en öppning används för olika förhållanden. Om luckan öppnats så mycket eller flödena är så låga att vattennivån inte når upp till nedre kanten på luckan beräknas flödet som för ett ytutskov enligt ekvation 12.

$$Q = C_1 L H^{3/2} \quad (12)$$

Där C_1 = avbördningskoefficient
 H = Energilinjens höjd över utskovets tröskelnivå

För höga flöden då vattenytan uppströms (Z_U , vid sektion C, se figur 11 respektive 9) överstiger höjden från tröskeln till luckkanten (B) 1,25 gånger eller mer används ekvationen för fritt flöde genom bottenutskov, ekvation 13. Med fritt flöde menas att vattennivån nedströms inte påverkar nivån uppströms dammkonstruktionen, se Figur 11.

$$Q = C_2 L B \sqrt{2gH_1} \quad \text{Då } H_1 > 1,25 B \quad (13)$$

Där C_2 = avbördningskoefficient, typiskt mellan 0,5 – 0,7
 L = utskovets bredd
 B = lucköppningens höjd
 $H_1 = Z_U - Z_{SP}$, skillnaden mellan vattennivå uppströms och tröskelhöjden

Då vattenmassan lämnat utskovet minskar dess hastighet och expansion sker. Om vattennivån nedströms (vid tvärsnitt B) stiger så mycket att nivån uppströms (vid sektion C) påverkas används ekvation 14. Detta kallas "submerged flow" och sker då kvoten mellan nivån över tröskeln nedströms och energilinjens höjd över tröskeln är större än 0,67. Om denna kvot (dykningsgraden) når ett värde av 0,8 anses flödet vara "fully submerged" och programmet övergår till att använda ekvation 13 igen.

$$Q = C_2 L B \sqrt{2g3H_2} \quad \text{Då } h/H_2 \geq 0,67 \quad (14)$$

Där $H_2 = Z_U - Z_D$, skillnaden mellan vattennivå uppströms och nedströms
 $h = Z_D - Z_{SP}$, nedströms vattennivå, höjd över tröskeln

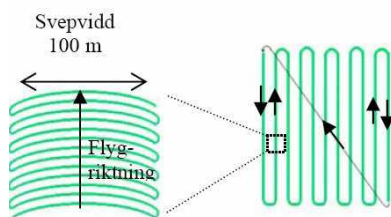
Då vattennivån uppströms stiger över luckkanten men inte så högt som 1,25 gånger luckhöjden beräknas både ekvation 12 och 13, sedan tas ett linjärt viktat medelvärde fram i en iterativ process som ger ett slutgiltigt vattenstånd uppströms dammen för det aktuella flödet.

2.4 Höjddatainsamling

Vid översiktlig översvämningsskartering används Lantmäteriverkets höjddatabas för terrängbeskrivningen. För detaljerad översvämningsskartering krävs bättre höjdunderlag med avseende på både noggrannhet i xyz-led och observationernas täthet. Laserscanning är en metod som har använts för insamling av högupplöst och tät höjddata på ett flertal platser i Sverige under senare år.

2.4.1 Laserscanning

Laserscanning, LiDAR (Light Detecting And Ranging), utförs från helikopter eller flygplan och genererar ett stort antal punkter koordinatbestämda i plan och höjd. Under mätningen flyger man fram och tillbaka i stråk över undersökningsplatsen under vilket avscanningen sker med en svepvidd på 100 m, se Figur 12. Flyghöjden ligger på mellan 150 och 300 m.



Figur 12. Flygstråk vid laserscanning (Rydell m fl, 2007)

Utrustningen består av sändare och mottagare av laserimpulser, skannerspeglar och gyrosystem, GPS-mottagare och styrdator för lasern. Ljus sänds, reflekteras mot mark, vegetation och byggnader och tas emot via skannerspeglarna. Skannerspeglarna avläser laserstrålarnas lutningsvinklar, vilka används för att bestämma strålarnas position i förhållande till helikoptern/flygplanet. Flygmaskinens position bestäms med differentiell GPS (GPS-mätning mot referenspunkter på marken).

För lasermätning av topografi på land (Topografisk LiDAR) används infrarött ljus. Mindre noggrann scanning ger en täthet på 1 till 2 punkter per m^2 med en osäkerhet på ca 0,3 – 0,5 m i höjddled (kostnad 2000 – 3000 kr per km^2 inklusive etablering). Högre punkttäthet går att åstadkomma med osäkerheter på runt 0,05 m i höjddled (kostnad 6000 – 9000 kr per km^2).

Rådatan som erhålls vid laserscanningen består av ett mycket stort antal punkter ojämt spridda över ytan. Dessa filtreras ner till ett behändigare antal punkter utan att avkall på återgivningen av terrängförhållandena görs. Hög punkttäthet behålls där topografin hastigt förändras och punkttätheten minskar i flackare områden. Dessutom filtreras vegetation, fordon och byggnader bort så att endast markytan återges, detta är möjligt genom att scanningarna från stråkflygningen överlappar varandra (Rydell m fl, 2007).

3. Material och metoder

3.1 Eskilstunaån

För att undersöka och jämföra metoderna för terrängframställningen användes data från Eskilstunaån. För detta område har översiktlig översvämningsskartering gjorts av SMHI 2001 och detaljerad skartering har gjorts av SMHI 2005 och av Anders Brandt 2005 inom projektet KRIS-GIS. KRIS-GIS är ett koncept inom ett samarbete mellan Lantmäteriverket (LMV), Sveriges geologiska undersökning (SGU), SMHI, Sjöfartsverket, Vägverket och Statens geotekniska institut (SGI) som bland annat verkat för att visa på betydelsen av GIS för krishantering (Yacoub m fl, 2005).

Eskilstunaån sträcker sig från Hjälmarens utlopp i Näsjöfjärden, genom Eskilstuna till utloppet i Mälaren norr om Torshälla. Den sammanlagda sträckan som karterats är ca 22 km lång och innefattar 8 dammar och flera broar varav 9 stycken tidigare tagits hänsyn till vid kartering. Dammarnas läge finns utsatt i kartan över Eskilstunaån, Figur 13. Invallningar finns vid ett flackt område längs sträckan mellan damm 6 och 7 där vattendraget förgrenar sig. Från inloppet till centrala Eskilstuna är omgivningen mestadels brant ner mot strömfåran och mellan Torshälla och utloppet till Mälaren finns ytterligare en flack sträcka.



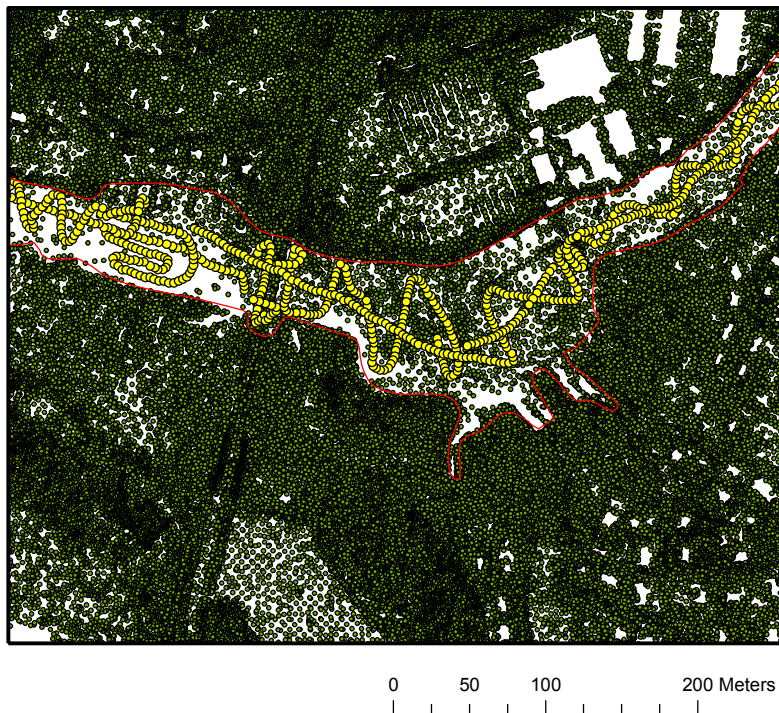
Figur13. Eskiltunaån, den karterade sträckan med dammar utmärkta. © Lantmäteriverket Gävle 2008. Medgivande I 2008/1072

3.3 Höjddata

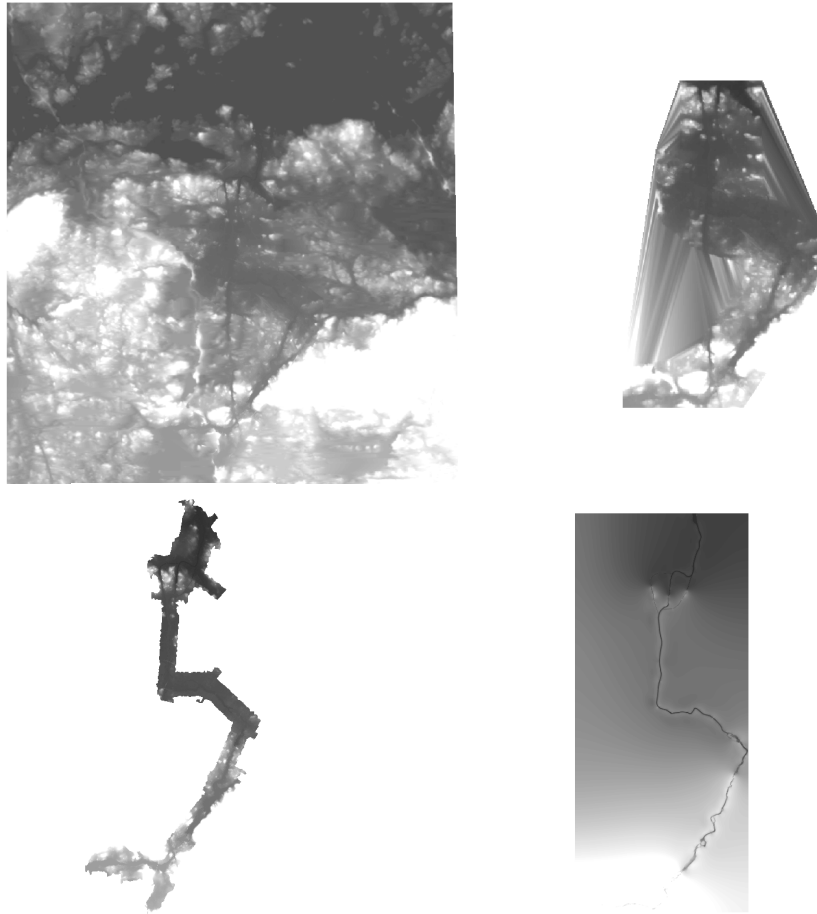
Laserscanning har utförts i två omgångar för området kring Eskilstunaån av TopEye AB i Göteborg. Under den första mätningen som gjordes från 300 m flyghöjd togs ca 41 miljoner mätpunkter ut närmast vattendraget med tätheten 2 punkter/m², vilka sedan filtrerades ner till ett dataset med 4,6 miljoner så kallade model key points, mkp. Dessa återger terrängen med en avvikelse mindre än 0,5 m i xy-led och 0,15 m i höjdd (Yacoub m fl, 2005). Den andra laserscanningen genomfördes på liknande sätt, men innehåller färre punkter och täcker in ett större område utanför gränserna för den första laserscanningen. I filtreringen har byggnader filtrerats bort, likaså träd och annan vegetation, så att modellen bara återger själva markytan. Broar och vägbankar finns fortfarande kvar, se Figur 14.

Från dessa punktset har ett raster med upplösningen 2x2 m skapats och detta har sedan satts ihop med LMVs höjdmödel till en terrängmodell över hela området. Detta raster har tillsammans med separat framtagna bottenytor använts till vattendragets terrängmodeller i detta arbete, se Figur 15.

En djupkartering av Eskilstunaån har utförts av Myrica AB. Den består av drygt 12000 lodskott positionerade med GPS. Dessa har avvikelsen ≤ 5 m i xy-led och $\leq 0,2$ m i djupled (Yacoub m fl, 2005), se Figur 14.



Figur 14. Strandlinjer, model key points och lodskott för en sträcka av Eskilstunaån



Figur 15. Raster uppbyggda LMV höjddatabas, av mkp från de två laserscanningarna samt en bottenyta. Dessa slås ihop till en sammanhängande terrängmodell

3.4 Terrängmodeller

Det man kan tjäna på genom att från början bygga en fullständig, sammanhängande terrängmodell är att tvärsektionerna kan digitaliseras direkt i GIS-programmet med HEC-geoRAS och sedan exporteras till HEC-RAS.

Tvärsektionerna kan då dras på bästa sätt De kan dras tätt där så behövs eftersom data finns över hela området och varje sektion kommer automatiskt få höjddata för botten och omgivning. Detta underlättar sektionsdragning runt dammar och broar där det sammanlagt krävs fyra tvärsektioner för optimal beräkning av energiförluster genom byggnationen, två nedströms och två uppströms. Om ingen bottenyta finns, utan endast topografisk data för omgivningen och strandkanter är inlagd i terrängmodellen kommer djupdata istället att behöva sättas manuellt i HEC-RAS.

Finns tillgång till djupdata för hela vattendraget, till exempel ekolodade från båt, kan en bottenyta skapas direkt från dem, där djupare sträckor och variationer i bottenens utseende representeras.

Tillsammans med höjddata skapas då en fullständig terrängmodell enkelt. Vid översiktliga översvämningskarteringar vid SMHI begränsas kunskaperna om bottenens utseende oftast till det man kan få ut från bro- och dammritningar. Kompletterande djupmätningar med lod kan ha gjorts på strategiska platser.

Om bottenprofiler finns tillgängliga för ett antal sektioner längs med vattendraget kan en bottenyta interpoleras mellan dessa så att en sammanhängande terrängmodell fås. Även om bottenytan interpolerats fram ur fältdata endast kring broar, dammar och eventuellt andra kritiska passager i vattendraget, så som fall eller förgreningar, kommer godtyckligt antal tvärsektioner kunna dras för export till HEC-RAS och direkt förses med topografisk information. Den omgivande terrängens topografi och vattendragets breddvariation kommer då att beskrivas noggrannare i hydraulikprogrammet än då bara glesa sektioner läggs in, och detta kan ha betydelse för översvämningskarteringens kvalitet.

Fyra terrängmodeller togs fram med olika metoder baserade på varierande mängd indata till bottenyta och omgivning. Till tre av modellerna användes ett raster uppbyggt av laserskannade punkter och LMVs höjddatabas för terrängen omkring vattendraget, vilken sattes ihop med en bottenyta så att en sammanhängande terrängmodell för hela karteringsområdet erhöles. Till den fjärde modellen användes enbart LMVs höjddatabas till terrängen. Till uppbyggnad av terrängmodellerna användes ArcMap 9.1 med befintliga verktyg.

Interpolationsmetoden ”Topo To Raster” (TTR) användes för rasteruppbyggnaden till samtliga terränger. Denna metod finns tillgänglig i ArcMap och är egentligen utvecklad för att skapa hydrologiskt korrekta ytor för framtagning av avrinningsområden och dylikt, genom att utjämna minima i topografien. TTR är särskilt anpassad för indata i form av nivåkurvor, men inställningar kan göras för att optimera metoden för punktdata liksom för att bibehålla fördjupningar. En iterativ finit differens-interpolationsteknik används i metoden vilken tar hänsyn till plötsliga förändringar i topologin så som ”kanter” och avsatser som krävs för att representera flodfåror och diken i det skapade rastret, samtidigt som ytans kontinuitet bibehålls (ArcGIS Desktop Help, 2007). Det är dessutom en relativt snabb metod. Dammar är inte representerade i själva terrängmodellerna utan senare inlagda i de hydrauliska modellerna.

Terrängmodellerna användes sedan i 7 olika hydrauliska modellkörningar med arbetsgången beskriven i avsnitt 2.1 Ytnivåer och översvämningsytor beräknades för 100-årsflöde och BHF och resultaten jämfördes sinsemellan och med SMHIs tidigare karteringar. För jämförelse av bottenivåer i de olikabottenmodellerna, se figur A4, Bilaga A.

3.4.1 Terrängmodell 1 – Detaljerad referensmodell

Till den första terrängmodellen användes all tillgänglig data som insamlats, dvs höjddata från laserscanningen och ekolodad djupdata, vilket antas ge ett noggrant resultat som stämmer väl med verkligheten. Utifrån mkp från laserscanningarna skapades en terrängmodell i form av ett raster med cellstorleken 2x2 m. Från detta raster bestämdes strandlinjens höjdläge och sattes ihop med den ekolodade punktdatan så att en separat raster med bottenterrängen skapades, också det med upplösningen 2 m. De två rastren slogs sedan ihop till en fullständig terrängmodell. På en del ställen där körning med båt inte har varit möjlig, tex intill dammar och i smala passager, har

djupvärden interpolerats fram eller satts manuellt efter kännedom och antaganden av bottenterrängen. Botten och omgivning sattes sedan ihop till ett sammanhängande raster.

3.4.2 Terrängmodell 2 – Botten interpolerad mellan tvärsektioner

Nästa modell byggdes på observationer endast i tvärsektioner längs vattendraget samt laserscanning av omgivningen. Detta för att testa hur väl en terräng byggd på mer knapphändiga data över botten står sig mot en med detaljerad djupdata. Värden togs från den första modellen för att få fram punkter i tvärsektionerna, motsvarande de som skulle fås från en djuplodning tvärs vattendraget eller från damm och broritningar. I praktiken skulle dessa punkter läggas in manuellt i terrängmodellen, eller läsas in som till exempel en textfil om både xyz-koordinater finns för varje enskild punkt.

Tvärsektionerna med känd botten data lades i anslutning till dammar och broar och de ställen där vattendragets geometri hastigt förändras, liknande de tvärsektioner som dragits i tidigare översvämningskarteringar gjorda av SMHI men något glesare. Totalt användes djupdata från motsvarande 40 st tvärsektioner över den 22 km långa sträckan, som längst med avstånd på 1800 m från varandra. Med hjälp av befintliga verktyg i ArcMap interpolerades sedan höjdvärden för botten fram mellan sektionerna och strandkanterna så att en sammanhängande bottenmodell erhöles.

3.4.3 Terrängmodell 3 – En längsgående ekolodning

Med den tredje modellen avsågs att testa hur bra modellen blir då tillgång till en enda längsgående ekolodning gjord med en körning med båt finns, utifrån vilken man lagt tvärsektioner på lämpliga ställen. För att simulera ekolodningen togs värden med avstånd på ett par meter från den första, mest exakta bottenytan, som ju byggde på verklig ekolodning. Data från tvärsektioner, ekolodning och omgivning sattes sedan ihop till en sammanhängande bottenmodell på samma sätt som för tidigare beskrivna modeller.

3.4.4 Terrängmodell 4 – För översiktlig kartering

Även en mer översiktlig kartering gjordes där endast LMVs höjddatabas användes för att beskriva omgivningen. Varje rastercell gjordes om till en punkt och detta punktset sattes ihop med djupdatan ifrån ekolodningen till ett sammanhängande TIN.

3.5 Hydrauliska beräkningar

3.5.2 Flöden och vattenstånd

Vid de hydrauliska körningarna användes samma flöden som vid SMHIs detaljerade översvämningsskartering, då BHF togs fram med HBV-modellen och 100-årsflödet erhöles med frekvensanalys av vattenföringsserier från en hydrologisk station (SMHIs vattenföringsstation nr 61-138) (Yacoub m fl, 2005). Stationen ligger vid övre Hyndevad nära Hjälmarens utlopp där den första tvärsektionen är dragen. Då man varit intresserad av översvämningens största utbredning och det inte finns några möjligheter för större magasineringseffekter längs den skarterade sträckan simulerades stationära förhållanden. En sjö skulle annars kunna dämpa ett maximalt flöde så att lägre ytnivåer uppstod för flödestopparna nedströms.

Hydraulikprogrammet kräver även randvillkor i början och slutet av den skarterade sträckan för ”mixat” flöde, det vill säga för beräkningar där både kritiskt och underkritiskt flöde antas på sträckan. Dessa är satta i form av de vattenstånd som rådde vid respektive flöde vid den första sektionen uppströms samt för den sista sektionen vid utloppet i Mälaren. I Tabell 1 redovisas flöden och ytnivåer använda vid simuleringarna.

Tabell 1: Flöden och vattenstånd vid modellkörningarna

	Kalibreringsflöde	100-årsflöde	BHF
Flöde (m³/s)	70*	123*	198*
Vattenstånd, Hyndevad	22.5*	22.84*	23.85*
Vattenstånd, Mälaren	0,9**	1,14*	2*

*SMHI 2001 **Brandt 2005

3.5.2 Ytans råhet

För beräkning av energiförluster krävs information om ytans råhet. Råheten är angiven i form av Mannings n, som används i ekvation 5 vilken leder fram till ett uttryck för energiförlusterna vid varje tvärsektion, se avsnitt 2.1.1. För samtliga modeller har ett värde använts för vattendragets botten och ett för terrängen utanför strandkanten, $n = 0,033$ respektive $n = 0,056$, på samma sätt som vid tidigare skarteringar vid SMHI. Mannings n sattes för hela terrängytan med HEC-geoRAS före dataexport till hydraulikprogrammet, men råhetsbeskrivningen kan även ändras i efterhand eller göras direkt i HEC-RAS. Mannings n kan användas för kalibrering av modellen genom att dess värde ändras längs sträckan, men har i de beskrivna modellerna behållits oförändrat. Kalibrering har istället genomförts genom förändring av dammarnas utformning.

3.5.3 Dammdata

I två av modellerna lades dammar in med avsikt att de skulle jämföras med SMHIs tidigare MIKE11-modell med dammar. Därmed kunde en jämförelse mellan resultaten från de olika programmen göras. På den skarterade sträckan har åtta dammar lagts in i modellen. Information om dessa dammar erhöles från SMHI och bestod av damminventeringsprotokoll, ritningar och anteckningar sammanställd inför tidigare skarteringar.

Lucköppningarna har i de flesta fall inte beskrivits separat utan förenklats till en större lucka med en area motsvarande de verkliga luckornas sammanlagda area. Dessutom är alla luckor beskrivna som vertikala. För samtliga dammar har avbördningskoefficienten initialt satts till 0,7 vid flöde genom bottenutskov, och till 1,69 vid flöde över ytutskov.

3.5.4 Kalibrering

Modell 1b och 4 kalibrerades mot kända ytnivåer uppmätta vid sju av dammarna vid höga flöden sommaren 2000. Vid damm 3, Rosenfors regleringsdamm, fanns ingen uppgift om ytnivå vid kalibreringsflödet. Flödet låg på 70 m³/s och motsvarar 1-årsflödet för Eskilstunaån. Kalibreringen skedde genom förändring av dammgeometri och reglering av dammluckor i HEC-RAS. För översiktlig kartering har en avvikelse på mindre än 0,5 m satts som godtagbar gräns (Räddningsverket 2001) Vid detaljerad kartering önskas ett fel på mindre än 0,2 m (SMHI 2005), vilket också uppnåddes för Modell1b. Kalibreringsresultaten presenteras i tabell 2.

Tabell 2: Kalibrering av Modell 1b och Modell 4.

	Uppmätt nivå (m)	Modell 1b, detaljerad kartering		Modell 4, översiktlig kartering	
		Modellerad nivå (m)	Avvikelse (m)	Modellerad nivå (m)	Avvikelse (m)
1, Hyndevad	22,08	21,99	-0,09	21,86	-0,22
2, Rosenholms- dammen	21,67	21,69	0,02	21,63	-0,04
4, Skjulsta	16,47	16,49	0,02	16,73	0,26
5, Tunafors	15,67	15,58	-0,09	15,59	-0,08
6, Faktori- dammarna	9,74	9,88	0,14	9,89	0,15
7, Holmens regleringsdamm	7,38	7,25	-0,13	7,36	-0,02
8, Stora kvarnfallet	6,34	6,26	-0,08	6,34	0

3.7 Hydrauliska modelluppsättningar

Modell 1a – referensmodell

I den första modellen användes terräng 1 och täta tvärsektioner, sammanlagt 148 stycken, i den hydrauliska modellen. Denna modell har mest detaljerad indata och antas ge det bästa och mest verklighetstroga resultatet. Flöden, randvillkor och råhetstal sattes till ovan nämnda, liksom i alla övriga modeller. Inga dammar lades in. Modell 1a användes sedan som referens vid utvärdering av de förenklade terrängmodellerna, Modell 2 och 3. Eftersom endast skillnader beroende på de olika bottenbeskrivningarna i terrängmodell 1, 2 och 3 skulle jämföras och för att göra jämförelserna mellan bottenytorna mer generella lades inga dammar in i dessa modeller.

Modell 1b – med dammar

Dammar lades in i modellen (inga dammar lades in i någon annan modell) via HEC-RAS dammeditor, i övrigt ser denna modell ut som ovanstående. Karteringsresultat jämfördes mot SMHIs detaljerade kartering och modellen kalibrerades också på samma sätt som av SMHI.

Modell 1c – med glesa tvärsektioner

Endast tvärsektionerna där botten var känd från damm- och broritningar användes i HEC-RAS, höjdinformationen i sektionerna togs från terräng 1, ingen interpolering av bottenytan gjordes i förväg och ingen tvärsektion mellan de från början kända användes vid beräkningarna.

Modell 1d – tvärsektioner kring ett mindre fall borttagna

Terräng 1 med glesa tvärsektioner, utan dammar, användes men tvärsektionerna kring ett fall (på platsen för damm nr 5) avlägsnades ur modellen. Fallhöjden är ca 5,3 m på platsen. Modellen sattes upp för att simulera ett vattendrag där ett mindre fall finns vid vilket geometrin är okänd. I Eskilstunaån finns annars de större förändringarna i topografin kring dammarna och de är därför representerade i deras respektive tvärsektioner.

Modell 2 – förenklad bottenmodell

Till den andra modellen användes Terrängmodell 2 och täta tvärsektioner.

Modell 3 – med en längsgående ekolodning

Terrängmodell 3 användes med täta sektioner.

Modell 4 – LMVs höjddatabas

Terrängmodell 4 användes, täta sektioner och dammar. Resultatet från karteringen jämfördes med SMHIs översiktliga kartering från år 2001 och med resultaten från modell 1b.

3.8 Förenklingar och antaganden

Vattenståndet beräknas bara längs Eskilstunaåns huvudfåra men vattnet tillåts stiga till samma nivå i biflöden och förgreningar. Vid höga flöden antas att samtliga dammluckor är öppna och att inget flöde sker genom kraftverkens turbiner. På de platser det finns turbiner i anslutning till dammen är flödet genom dessa stoppat. Alla dammar antas stå kvar oförändrade vid höga flöden.

Invallningarna längs den flacka sträckan tas ej hänsyn till. De finns automatiskt representerade i höjdmodellen på grund av den detaljerade upplösningen hos den laserskannade höjddatan, men vattnet har tillåtits stiga även utanför invallningarna. Detta skulle motsvara en förenkling av att invallningen brustit eller att vatten stigit över lägre delar av invallningar och svämmat över låga ytor bakom dem.

Även bakom en del vägbankar, som tydligt återges i den detaljerade terrängmodellen och som i verkligheten skulle kunna fungera som vallar och motverka vattnets utbredning såvida de inte brister, har vattnet tillåtits stiga. På en del ställen skulle vatten dock kunna leta genom kulvertar, avlopp eller gångtunnlar som inte finns återgivna i modellen och orsaka översvämning även bakom sådana barriärer.

Inga broar har tagits hänsyn till i modellkörningarna eftersom vattnet beräknats stiga upp mot brobanan vid endast fyra av dessa vid BHF vid tidigare karteringar. Broarna antas därför inte antas påverka flödet nämnvärt (Yacoub m fl, 2001).

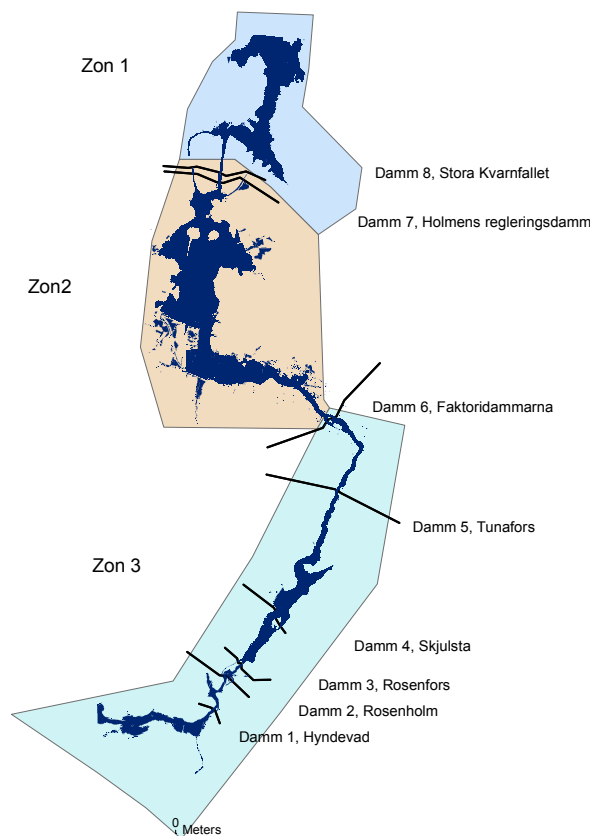
Vind och vågors påverkan på vattenståndet är ej medräknat. Vattnet förutsätts även vara fritt från eroderat material och bråte som annars kan följa med vid häftiga flöden och täppa till trånga passager eller dammluckor. Inga ras antas ske vid stränderna längst den karterade sträckan.

4. Resultat

Resultaten från körningarna redovisas modell för modell. Ytnivåer och ytearea jämfördes för de olika modellerna. Samtliga redovisade resultat är från BHF, samma trender kunde ses för 100-årsflödet. Se bilaga A för Figurer hänvisade till i detta avsnitt.

4.1 Resultet av modellkörningar

För jämförelse av översvämningsytorna genererade av modellerna med olika bottenytor delades sträckan upp i tre zoner, se Figur 16. Arealen togs fram i varje zon för Modell 1c, 2 och 3 samt referensmodellen 1a. Se tabell 3 och 4. Avvikelserna i ytnivåer mot referensmodellen 1a för de olika zonerna visas i tabell 5, 6 respektive 7. De största skillnader i ytnivå uppkommer direkt nedströms dammar. Vid dessa platser sker oftast en ganska liten översvämning eftersom vattendragets kanter och även botten i många fall sluttar betydligt. Avvikelserna i ytnivå är mindre där hydrauliken kring dammarna inte spelar in på vattenståndet direkt. För bäst uppfattning av skillnader i ytnivåer vid de olika modellkörningarna bör figurerna över dessa studeras, inte bara tabellerna. I dessa figurer kan man även se skillnaden i bottennivåer (för stomlinjen).



Figur 16. Zonindelning av området

Tabell 3. Ytarea i de tre olika zonerna för Modell 1a, 2, 3 och 1c

	Area (km²)			
	Modell 1a	Modell 2	Modell 3	Modell 1c
Zon 1	1,63	1,65	1,65	1,56
Zon 2	2,62	2,79	3,00	2,48
Zon 3	1,67	1,81	1,76	1,62
Totalt	5,91	6,25	6,40	5,66

Tabell 4a. Avvikelser i ytarea mot referensmodellen 1a

	Avvikelse från Modell 1a (km²)		
	Modell 2	Modell 3	Modell 1c
Zon 1	0,03	0,02	-0,07
Zon 2	0,17	0,38	-0,14
Zon 3	0,14	0,08	-0,05
Totalt	0,33	0,49	-0,26

Tabell 4b. Relativa avvikelser i ytarea mot referensmodellen 1a

	Avvikelse från Modell 1a (%)		
	Modell 2	Modell 3	Modell 1c
Zon 1	1,60	1,35	-4,13
Zon 2	6,52	14,54	-5,22
Zon 3	8,11	5,02	-3,26
Totalt	5,62	8,22	-4,37

Tabell 5. Avvikelser i ytnivå mot referensmodellen 1a i de olika zonerna samt hela sträckan för Modell 2 (absolutvärden)

	Modell 2		
	Medel (m)	Median (m)	Max (m)
Zon 1	0,08	0,07	0,66
Zon 2	0,08	0,35	1,46
Zon 3	0,26	0,23	0,68
Hela sträckan	0,19	0,12	1,46

Tabell 6. Avvikelser i ytnivå mot referensmodellen 1a i de olika zonerna samt hela sträckan för Modell 3 (absolutvärden)

	Modell 3		
	Medel (m)	Median (m)	Max (m)
Zon 1	0,11	0,11	0,35
Zon 2	0,11	0,16	0,42
Zon 3	0,23	0,19	0,60
Hela sträckan	0,15	0,14	0,60

Tabell 7. Avvikelser i ytnivå mot referensmodellen 1a i de olika zonerna samt hela sträckan för Modell 1c (absolutvärden)

	Modell 1c		
	Medel (m)	Median (m)	Max (m)
Zon 1	0,07	0,05	0,23
Zon 2	0,05	0,03	0,15
Zon 3	0,10	0,02	0,35
Hela sträckan	0,07	0,04	0,35

Modell1a och 1b – Terräng 1 utan och med dammar

Figur A1 visar vattenytornas utbredning för de två modellerna längs hela den karterade sträckan. Avvikelserna är störst i det flacka området i Zon 2.

Figur A2 visar skillnaden i vattenytans utbredning mellan SMHIs detaljerade kartering och Modell 1b. Dammar lades in i båda modellerna. Gränserna för SMHIs karteringen ligger längre uppströms respektive längre nedströms än för Modell 1b.

Modell 1c – Terräng 1 med glesa tvärsektioner

Se Figur A3, A4 och A5 samt tabell 3, 4 och 7. För Modell 1c, med glesa tvärsektioner, blir ytnivån något lägre för större delen av vattendraget, med något mindre översvämningsarea som följd.

Modell 2 – förenklad bottenmodell

Se Figur A3, A6 och A8 samt tabell 3, 4 och 5. Avvikelsen i ytnivå på det flacka partiet mellan Faktoridammen och Holmens regleringsdamm är mindre än 0,1 m från resultaten från Modell 1, med knappt märkbara skillnader i översvämningsarea som följd. Avvikelsen är större (dock mindre än 0,3 m) innan utloppet mot Mälaren nedanför sista dammen. Längre uppströms, där omgivningen mestadels är brantare ner mot vattendraget är skillnaderna i översvämningsarea små med några enstaka undantag.

Skillnaderna i ytnivå varierar mer där flera förändringar av vattendragets höjdläge sker på en kort sträcka (som mellan damm 1 och 3) än för referensexemplet. Över lag är ytnivåerna något högre än för terräng 1a.

Modell 3 – med en längsgående ekolodning

Se Figur A3, A7 och A8 samt tabell 3, 4 och 6. Ytnivåerna ligger generellt något över de för referensterrängen, < 0,2 m för det största flacka partiet, och ligger med ett undantag innanför en avvikelse på 0,6 m. Översvämningsytan i vattendragets nedre flacka region (Zon 1) är snarlik den framtagna med Modell1a och något större än för terräng 2, se Figur A7 och tabell 3.

Modell 1d – tvärsektioner kring ett mindre fall borttagna

Se Figur A9 och A10. Översvämnningen uteblir uppströms platsen för damm 5.

Modell 4 – LMVs höjddatabas

Se Figur A11, A12 och A13. Resultatet från karteringen jämfördes med resultaten från SMHIs översiktliga kartering från år 2001 och Modell1b.

5. Diskussion

5.1 Modellresultaten

I Modell 1b, där dammar lagts in, fungerar dessa som bestämmande sektioner varför vattenståndet höjs gentemot Modell 1a. Höjningen är störst i Zon 2 där omgivningen är flack.

Genomflödesarean minskade betydligt vid Tunafors och Faktoridammarnas sektioner. Men trots att vattenståndet höjs tydligt blir ökningen i ytarea liten då det inte finns några särskilt flacka områden längs sträckan. Övriga dammar hade mindre dämmande effekt eftersom genomflödesarean inte skilde så mycket från modellen utan dammar, då alla luckor hölls öppna vid BHF. För den sista biten av vattendraget, i Zon 1, är ytnivåerna mycket lika med såväl som utan dammar eftersom Mälarens vattenstånd där är den bestämmande faktorn i båda modellerna.

Då resultaten från Modell 1b jämförs med resultaten från SMHIs detaljerade kartering är utbredningen betydligt mindre väster om förgreningen med Modell 1b. Detta kan troligtvis förklaras med att tvärsektionerna är dragna med mindre hänsyn till topografin i den senare och att vattenytan övergår gränsen för det laserskannade området, till terräng endast byggd på LMVs höjddatabas. Därav den skarpa kanten och ytans triangelform uppe till höger. Ytan blir också något större för det flacka området mellan damm 6 och 7 med HEC-RAS- modellen. Längs övriga vattendraget sammanfaller polygonerna för respektive vattenyta ganska väl vilket visar att kartering kan göras med snarlikt resultat för HEC-RAS och MIKE11. De små skillnader som uppstår kan till exempel bero på att dragningen av tvärsektioner och deras geometri och att dammbeskrivningen skiljer sig mellan de båda modellerna.

Test gjordes med endast glesare tvärsektioner, motsvarande de redan kända kring broar och dammar, som indata till hydraulikprogrammet (Modell 1c). Resultatet blir en något mindre översvämningsarea än för referentterrängen, men avvikelserna är inte större än ca 5,2 % längs någon del av vattendraget. Anledningen är antagligen att de glesa sektionerna täcker in de platser där större förändringar i djup sker och att botten däremellan inte varierar särskilt mycket. Ytan som läggs ovanpå terrängmodellen i HEC-geoRAS när den resulterande översvämningsytan skall tas fram interpoleras mellan vattenstånden i tvärsektionerna och skiljer inte mycket från den som skapas med Modell 1a, och då samma terrängmodell används att skära vattenståndsytan blir ytaerna också lika. Viss betydelse verkar de täta sektionerna dock ha för resultatet, eftersom nivåerna för Modell 1c är lägre i snitt för alla zoner. Avvikelserna syns mest uppströms damm 1 och 2 och nedströms damm 8, se Figur A4 och A5.

Modell 2 togs fram för att pröva hur bra resultatet blir då en bottenyta tas fram mellan de kända tvärsektionerna och sätts ihop med omgivande terräng så att tvärsektioner sedan kan dras på bästa sätt och exporteras till HEC-RAS. Till skillnad från med Modell 1c blev nivåerna något högre och ytarean något större än för referensmodellen. Störst är avvikelserna i ytarea i Zon 3, ca 8,1 %. Den största avvikelserna i ytnivå, 1,46 m, uppstår nedströms platsen för damm 5 och ger upphov till en något större översvämnning lokalt än för referensmodellen. I övrigt är skillnaden mot nivåerna från Modell 1a inte större än ca 0,7 m, se Figur A8. Dessa avvikelser sker vid dammarna. För de flackare sträckorna är skillnaden mindre.

Med Modell 3, med den långsgående ekolodningen, fås större skillnad i area jämfört med referensmodellen för det stora flacka partiet i Zon 2, så mycket som ca 14.5 %, men mindre skillnad för sträckorna närmast Mälaren och Hjälmaran. Snabba förändringar i höjddled följs i de flesta fall bättre än med Modell 2, men ytnivån ligger, med några undantag mellan damm 2 och 4, konsekvent högre än referensnivån. Detta antas bero på att bottenprofilen får ett mer V-format utseende när den interpoleras mellan endast strandkant och punkterna från djupmätningen med båt, tvärsnittsarean blir mindre och vattenståndet ökar.

Från resultaten av Modell 1a, 1c, 2 och 3 kan slutsatsen dras att noggrannheten i botten återgivning har ganska liten betydelse jämfört med noggrannheten i omgivningens återgivning vid simulering av höga flöden. Detta gäller åtminstone för ett relativt flackt vattendrag som Eskilstunaån där tvärsektionerna dessutom redan är kända kring avgörande platser längs sträckan. Visserligen skiljer sig resultaten en del från modell till modell men de avviker knappast så mycket att man kan säga säkert att den ena eller andra metoden är bättre. Man kan anta att för sådana mer ”okomplicerade” vattendrag är det onödigt jobb att ta fram en bottenyta till en sammanhängande terrängmodell för att sedan kunna dra täta tvärsektioner till den hydrauliska modellen, förutsatt att kännedom om fall och större, plötsliga geometriska förändringar finns, samt detaljerad data för omgivande terräng. Undersökningar skulle dock behöva göras för en sträcka med större geometriska variationer i terräng och botten för att utvärdera hur väl metoderna fungerar i sådana fall. Modell 1a, 2 och 3 har heller inte kalibrerats in mot uppmätta ytnivåer, eftersom just avvikelserna på grund av skillnaderna i bottenbeskrivning skulle undersökas. Kalibrering bör naturligtvis göras mot något tillgängligt högt flöde vid varje ”skarp” simulering och noggrannheten skulle därmed förbättras.

Om ett fallområde skulle missas på sträckan och tvärsektioner inte dras kring det, vilket körningen med Modell 1d är menad att illustrera, kan betydande avvikelser från den verkliga översvämningen uppkomma, se Figur A12. Med en långsgående djupmätning kan sådana större avvikelser i bottenytan upptäckas och eventuellt kan en tvärsektion läggas in för vilken höjddata mäts in eller uppskattas. Med detaljerad terrängdata, som när en laserscanning gjorts, kommer dock ett sådant fallområde sannolikt upptäckas ändå eftersom en fallprofil för strandkanten alltid bör tas fram som ett första steg vid översvämningsskartering.

Att använda sig av metoderna för Terrängmodell 2 eller 3 innebär främst att arbetsgången med att dra tvärsektioner och föra in dessa i hydraulikprogrammet blir enklare. Förutsatt att sedan tidigare kända djupdata först har satts ut kan hela sektioner med botten, strandkanter, omgivning, råhetsegenskaper, inbördes avstånd och andra egenskaper som används av hydraulikprogrammet tas fram direkt i GIS-miljö. Man har också möjlighet att täcka in variationer i terrängen kring vattendraget i högre grad.

Om ingen bottenyta tas fram kan sektioner utan bottenbeskrivning exporteras till HEC-RAS med HEC-geoRAS för att sedan färdigställas där. Problemet blir då, om tvärsektionerna dragits tätt, att man kan få orimligt många sektioner att färdigställa manuellt vilket tar lång tid och leder till en omständlig skarteringsprocess.

Troligtvis finns inte mycket att tjäna på att inte göra en mer noggrann bottenundersökning, som i fallet med terrängmodell 1. Om resurser lagts på en laserscanning eller fotogrammetrisk mätning av området kan man troligen kosta på ekolodning från båt också. Detta gäller särskilt om sträckan

som skall karteras inte innefattar så många dammar eller broar eller om den av någon annan anledning inte redan har noggrant återgivna bottenprofiler dokumenterade. Tidsåtgången, och därmed kostnaden, att täcka in större delar av vattendraget (sicksack-körning) borde heller inte skilja så mycket mot att bara göra en körning i mittfåran. Med en djupundersökning som täcker in största delen av vattendraget även på bredden blir arbetet med terrängmodellen i GIS-miljö också enklast, snabbast och mest tillförlitligt. Dessutom kan kännedomen om bottenförhållandena under broar och kring dammar uppdateras. Bottennivåer angivna på ritningar kan ha ändrats med tiden på grund av muddring eller sedimentering och deposition.

Om alla områden längs sträckan där hastiga förändringar i djup och geometri förekommer är kända och en noggrann djupundersökning kan göras kring dessa sektioner för att användas i en hydraulisk modell kan man baserat på resultaten från modell 1c räkna med ett tillräckligt resultat, om än något underskattat. Detta förutsätter att en mer detaljerad terrängmodell finns för själva omgivningen och att området är relativt flackt.

När översiktlig kartering görs med Modell 4 skiljer sig resultaten i översvämningskartan tydligt från både den detaljerade karteringen med Modell 1a och från SMHIs översiktliga kartering. Den tydligaste avvikelserna mot SMHIs resultat, på höger sida nedströms damm 6, kan förklaras med att LMVs höjddatabas genomgående har för låga värden i detta område. Detta har korrigerats för i SMHIs kartpresentation men inte i den för Modell 4. På det flacka partiet uppströms damm 7 ger Modell 4 en högre ytnivå än den tidigare översiktliga karteringen. Det skulle kunna bero på en genomgående högre bottennivå i Modell 4 på grund av osäkerheten i lodskottens verkliga placering i z-led, mer om detta i avsnitt 5.3 "Felkällor". En liten skillnad i ytnivå kan i kombination med den lågupplösta höjddatan ha en stor effekt på utbredningen av översvämmande vatten, som syns i Figur A13.

Med Modell 4 blir det tydligt att för en detaljerad kartering krävs detaljerad terrängdata, särskilt i flacka områden, vilket tidigare påpekats i tidigare nämnda KRIS-GIS-rapport (Brandt 2005) och av Vähäkäri (Vähäkäri 2006). Vähäkäri studerade området kring Nedre Dalälven och utförde där kartering baserad på noggrann LiDAR-data.

I ett annat projekt inom KRIS-GIS trycker man på behovet av en noggrannare nationell höjddata än den nuvarande lågupplösta för att bland annat kunna använda som terrängmodell vid flödes- och översvämningsmodeller (Klang 2006). Lantmäteriverket har genomfört studier kring hur terrängmodellen kan förbättras. Laserscanning diskuteras där som alternativ för insamling av höjddata i känsliga områden till en sådan rikstäckande databas, för vilken man önskar en noggrannhet på 0,5 m i höjdd. (Klang & Burman 2006)

Flera kommuner har redan upprättat, eller skall upprätta noggranna lokala höjddatabaser med avsikt att använda för detaljerad översvämningskartering, inför bedömning av översvämningsrisker och planering av bebyggelse. Förhoppningsvis kan det ökade intresset för detaljerad kartering bidra till utvecklandet av laserscanning och andra former av noggrann topografisk och batymetrisk höjddatainsamling så att metoderna i framtiden blir bättre och billigare och kan bidra till förenklad och tillförlitligare översvämningskartering.

5.2 Programanvändning

Under arbetets gång har HEC-RAS och HEC-geoRAS använts kontinuerligt och de har funnits fungera bra och vara lättanvända. Tydliga manualer underlättar införande av programmen. Vid uppförande av terrängmodeller har befintliga verktyg i GIS-programmet använts. Dessa verktyg är lättanvända, även för en användare med enklare GIS-kunskaper. Arbetet med uppbyggnad av Terrängmodell 2 är dock mer tidskrävande och krångligare än arbetet med de andra två.

Jämförelsen mellan Modell 1b och SMHIs tidigare detaljerade kartering då MIKE11 använts visar att programvarorna ger likvärdiga resultat beträffande översvämningssytor då stationära förhållanden simuleras.

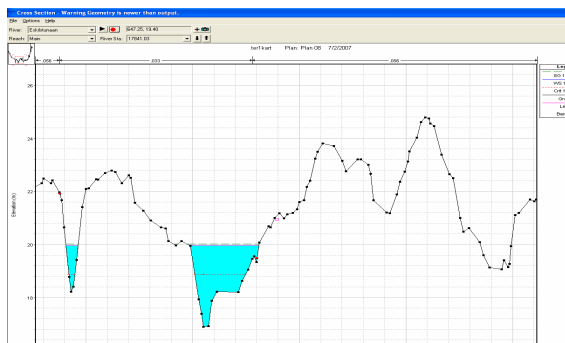
5.3 Felkällor och osäkerhet

Djupdata från ekolodningen fanns endast tillgänglig som djup under ytan, ej inlagd i något referenssystem. Då vattenståndet för dagen då ekolodning utfördes inte heller fanns tillgängligt drogs djupet bort från "vattenytan" som bildas när raster eller TIN skapas från mkp. Laserscanning och ekolodning utfördes heller inte under samma dagar. Detta kan ha gett ett systematiskt fel beroende på ytnivån under dagen för laserscanningen att addera till den angivna avvikelser på < 0,2 m för bottenmodellerna.

Dammbeskrivningarnas noggrannhet varierar beroende på hur noggranna uppgifter som funnits tillgängliga för varje damm.

Modellerna med dammar kalibrerades mot ett flöde på 70 m³/s. Då det gäller modellering av 100-årsflöde och Högsta Beräknade Flöde är det önskvärt att kalibrera modellen mot ett högre flöde än årsflödet.

I HEC-RAS kan korrektioner göras så att vattnets genomströmningsarea begränsas till en del av tvärsektionen såvida det inte stiger över en utsatt nivå, se Figur 17. Detta kan vara nödvändigt för att beskriva vattnets väg korrekt om det finns vallar eller naturliga avgränsningar i verklighetens terräng som vattnet inte kan rinna runt. När vattenytan sedan skär terrängmodellen, för att själva utbredningen av vattnet skall genereras, tas inte denna hänsyn för områden mellan tvärsektionerna och fristående "pölar" kan bildas. I närheten av den sammanhängande vattenytan kan det vara osäkert om de egentligen skall finnas där eller inte. De skulle kunna uppkomma av att vatten runnit genom en kulvert, gång- eller cykeltunnel eller en brusten vall.



Figur 17. Begränsning av vattenflödets tvärsnittsarea i HEC-RAS. Vatten tillåts inte rinna i fåran längst till vänster

6. Slutsatser

Då detaljerad terräng- och djupdata längs vattendraget finns tillgänglig kan en sammanhängande terrängmodell enkelt skapas i GIS-miljö varefter HEC-geoRAS och HEC-RAS kan användas för en fullständig översvänningskartering med goda resultat. Arbetet med översvänningskartering vid SMHI kan därmed göras snabbare och helt eller till största delen av en person ensam.

Detta förutsätter att en laserscanning, flygfotografering från låg höjd (eller annan insamling av höjddata för vilken kraven på noggrannhet kan uppfyllas) av området som skall karteras har gjorts samt att en ekolodning som täcker in det mesta av vattendraget utförts. Höjddata bör finnas i form av punkt- eller rasterdata i koordinatbestämd i referenssystem RT90 och med höjdangivelser angivna i RH70 som enkelt kan importeras i ett GIS. Om lodskotten är angivna som djup under ytan måste vattenståndet för alla delar av vattendraget under dagen för djupmätningen vara känt.

Även utifrån mer knäpphändiga djupuppgifter, tagna enbart från bro- och dammuppgifter och enstaka uppmätta tvärsnitt, kan en fullständig terrängmodell relativt enkelt skapas med tillgängliga verktyg i ArcMap. Karteringens resultaten blir då ungefär de samma som med tätare bottenbottendata, åtminstone för ett vattendrag liknande Eskilstunaån med många dammar och broar för vilka höjd- och bottenuppgifter finns. För att rationalisera själva karteringsarbetet skall djupdata från tvärsnittena då helst erhållas i form av punktdata som lätt kan importeras i GIS-miljö.

För vattendrag av mer varierande karaktär är sådana terrängmodellens funktion mer osäker, och en djupmätning längs hela sträckan skulle vara att föredra. En enda långsgående djuplodning kan användas och ge en resulterande översvänningsyta som ligger nära den framtagna med noggrannare djuplodning. I trånga passager eller grunda botten kan en enda körning med båt också vara det enda möjliga. Om en förhållandevis dyr laserscanning redan gjorts kan kostnaden för den mer noggranna bottenundersökningen antagligen ses som liten i sammanhanget.

Kan en mer noggrann bottenundersökning göras till ett rimligt pris är detta att föredra då både arbetsgången blir enklare och snabbare och resultatet säkrare. Tabell 6 sammanfattar kort terrängmodellernas för- och nackdelar.

Samma arbetsgång som för detaljerad översvänningskartering kan följas för översiktlig kartering med Lantmäteriets digitala höjddatabas som underlag eller för kartering byggd på lokal höjddata insamlad med andra metoder än laserscanning.

Tabell 8. Sammanfattning av bottenterrängerna

	Bottenterräng 1	Bottenterräng 2	Bottenterräng 3	Bottenterräng 1c
Indata	Noggrann indata	Botten interpolerad mellan kända Tvärsektioner	En längsgående ekolodning längs stomlinjen	Bottenytan endast beskriven med glesa tvärsektioner
Tidsåtgång	Snabb metod	Långsammare och omständigare metod	Snabb metod	Relativt snabb. De kända tvärsektionerna kan beskrivas i HEC-RAS.
Kostnad	Knappast mycket högre än för terräng 3.	Kostnad för ekolodning sparas in	Eventuellt något billigare än metod 1, på grund av kortare tidsåtgång vid djupmätningen	Kostnad för ekolodning sparas in
Noggrannhet	Hög noggrannhet	Överskattar generellt översvämningens utbredning något, avvikelserna dock små.	Överskattar generellt översvämningens utbredning något, avvikelserna dock små.	Underskattar generellt översvämningens utbredning något, avvikelserna dock små.
Allmänt	Metoden rekommenderas om kostnaden för ekolodning är överkomlig	De kända tvärsektionernas representerbarhet för hela vattendraget är osäker.	Förmodligen kan en mer noggrann dupundersökning göras till i princip samma kostnad.	Täta tvärsektioner kan inte användas i hydraulikprogrammet utan att tidsåtgången ökar markant

7. Referenser

ArcGIS Desktop Help (2007)

[http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.1/index.cfm?TopicName=How%20Topo%20to%20Raster%20\(3D%20Analyst\)%20works](http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.1/index.cfm?TopicName=How%20Topo%20to%20Raster%20(3D%20Analyst)%20works), 2007-05-28

Brandt, A.S. (2005) *Översvämningsmodellering i GIS: Betydelse av höjdmodellers upplösning applicerat på Eskilstunaån*, FoU-rapport nr 27, Högskolan i Gävle, Gävle

Klang, D. (2006) *KRIS-GIS projekt i Eskilstuna, Kvalitet i höjdmodeller*, LMV-rapport 2006:4, Lantmäteriet, Gävle

Klang, D., Burman, H. (2006) *En ny svensk höjdmodell*, LMV-rapport 6006:3, Lantmäteriet, Gävle

Rydell B., Arvidslund O., Fallsvik J. (2007) *Undersökningar i strandnära områden*, Varia 573, SGI, Linköping

Räddningsverket (2001) *Översiktlig översvämningskartering längs Svartån – Hjälmarén – Eskilstunaån*, Rapport nr 18, Räddningsverket, Karlstad

Räddningsverket (2007)

<http://www.raddningsverket.se/upload/Förebyggande/naturolyckor/Översiktlig%20översvämningskartering.pdf>, 2007-05-28

SMHI (2007) <http://www.smhi.se/sgn0102/n0205/oversvam/oversvam.htm>, 2007-05-28

U.S. Army Corps of Engineers (2002) *HEC-RAS River Analysis System, Hydraulic Reference Manual, Version 3.1*, U.S. Army Corps of Engineers, Institute for water resources, Hydrologic engineering centre, Davis

Vähäkari, A. (2006) *Simulering av översvämningsar i Nedre Dalälven*, Examensarbete i Miljö- och vattenteknik, UPTEC W06019, Institutionen för geovetenskaper, luft-, vatten och landskapslära, Uppsala Universitet, Uppsala

Yacoub T., Westman Y., Sanner H., Samuelsson, B. (2005) *Detaljerad översvämningskarta för Eskilstunaån, ett projekt inom KRIS-GIS ®*, SMHIs Rapportserie Hydrologi nr 98, Norrköping

Muntliga referenser

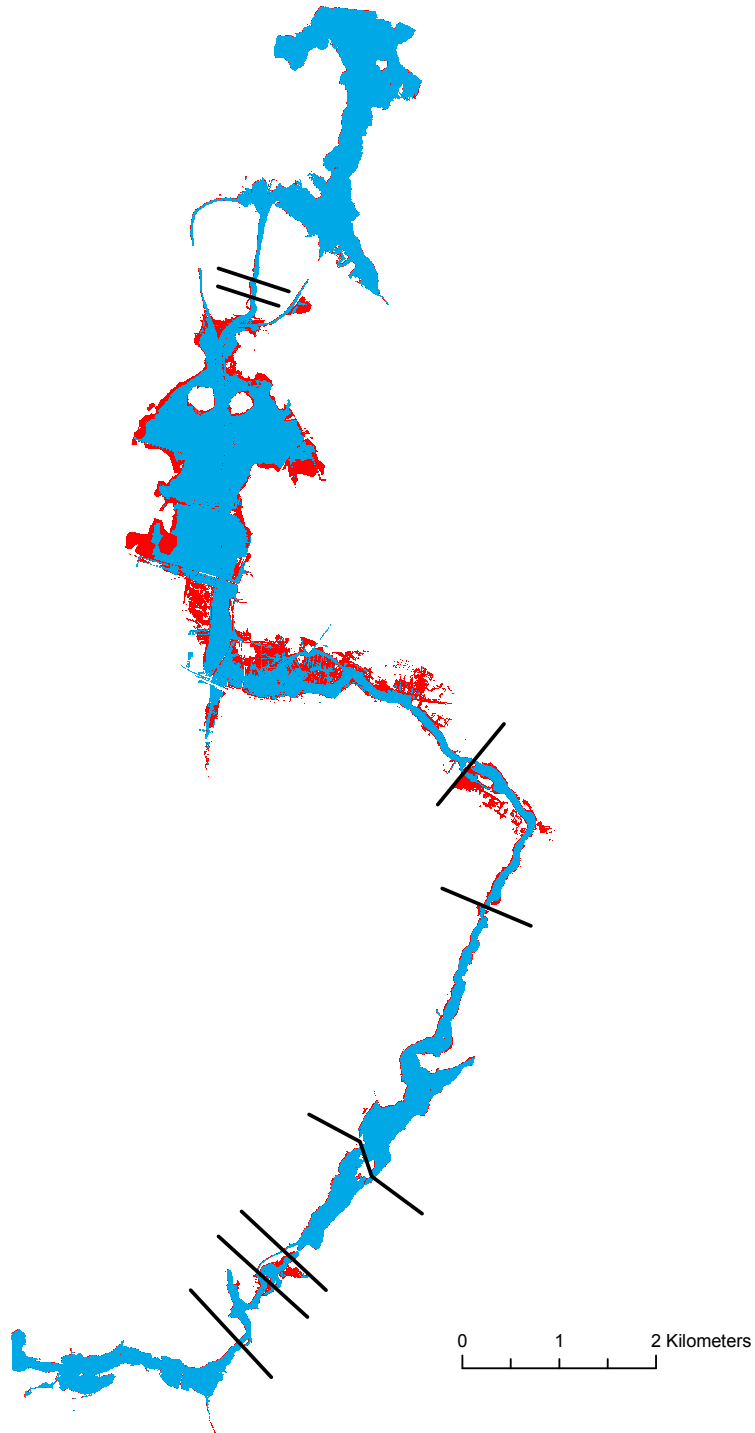
Hans Björn, Miljö och säkerhet Hydrologi, SMHI

Kerstin Andersson, Miljö och säkerhet Hydrologi, SMHI

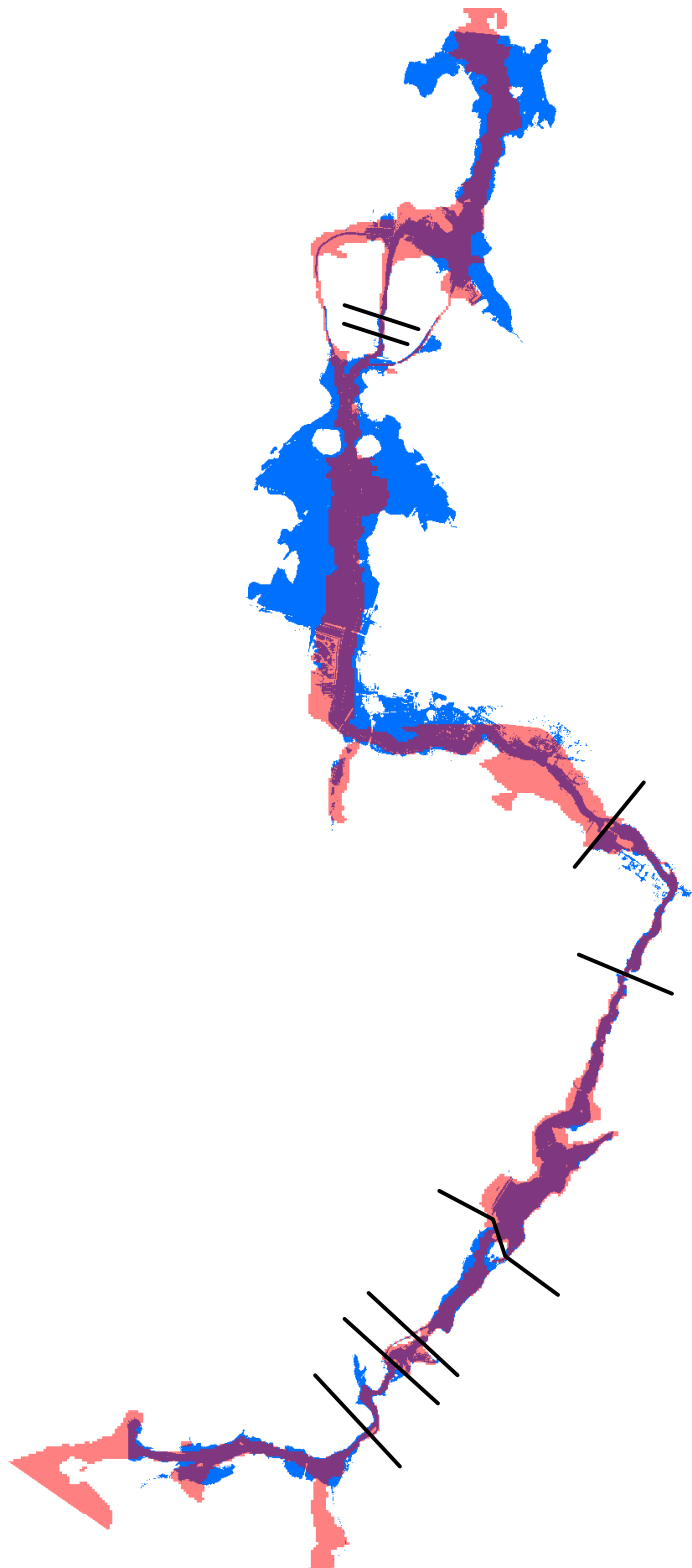
Tahsin Yacoub, Basverksamhet Produktion Hydrologi, SMHI

Regelbunden kontakt under arbetets gång.

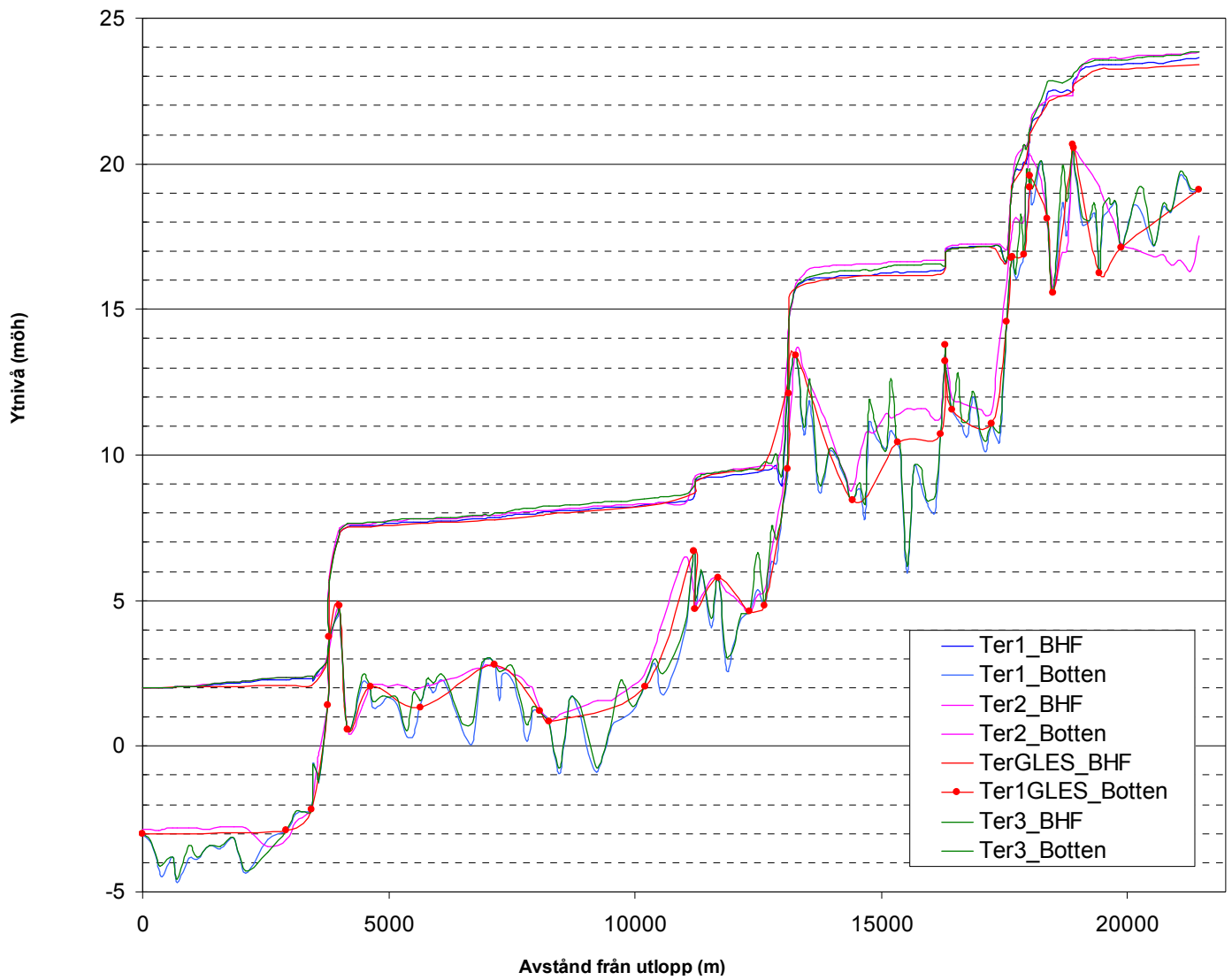
Bilaga



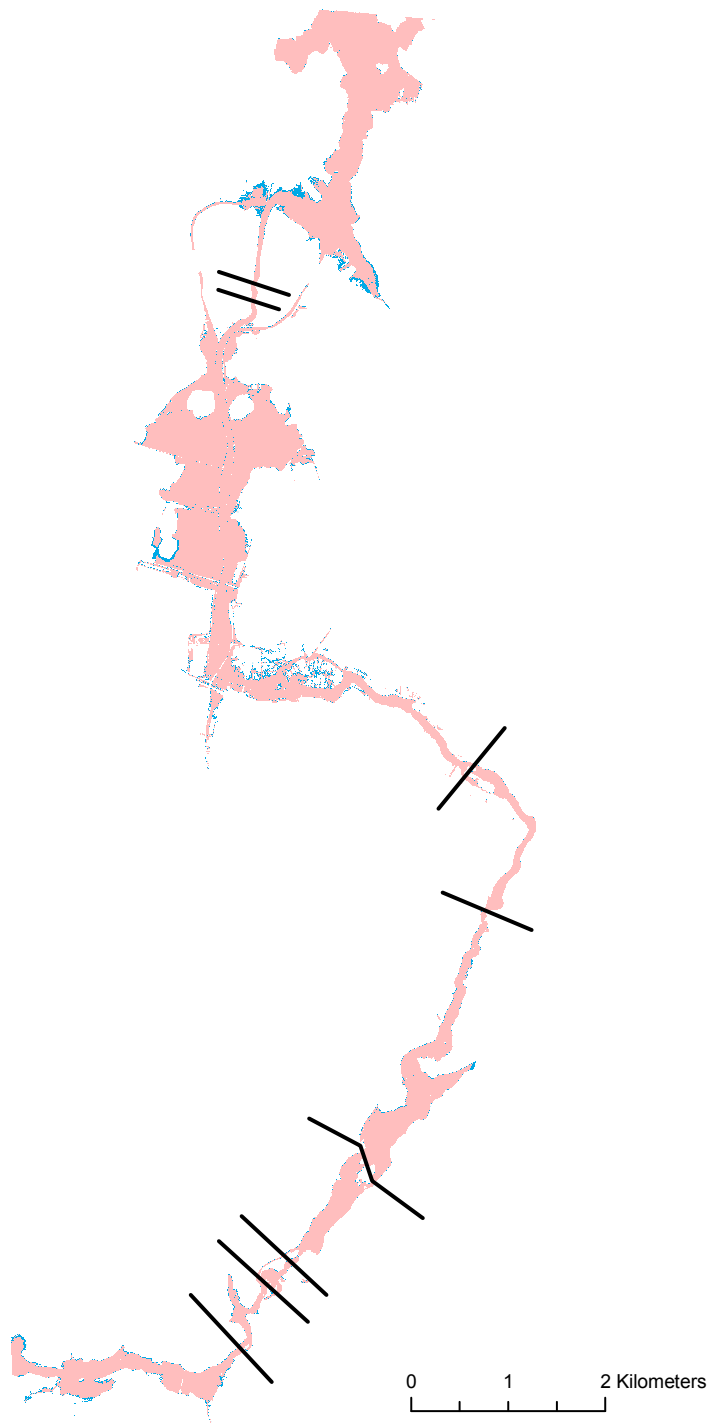
Figur A1. Ytutbredning vid BHF för modell 1a (det blå, övre lagret) och modell 1b (det röda, undre lagret). Tvärsektionerna strax uppströms dammarna är markerade i figuren



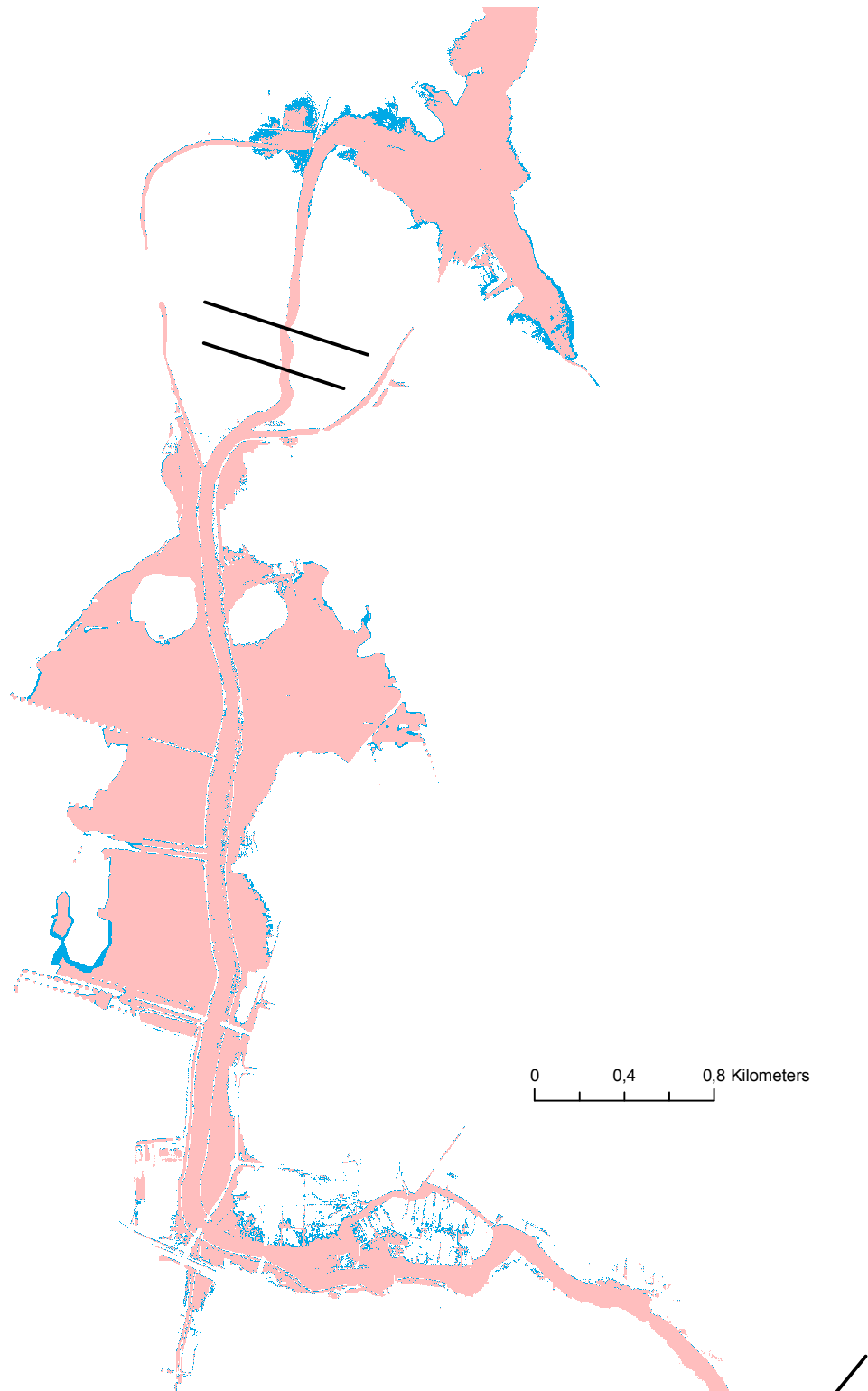
Figur A3. Översvämningssyta vid BHF för Modell 1a (blått lager) och SMHI:s tidigare detaljerade kartering med MIKE11 (rött transparent lager)



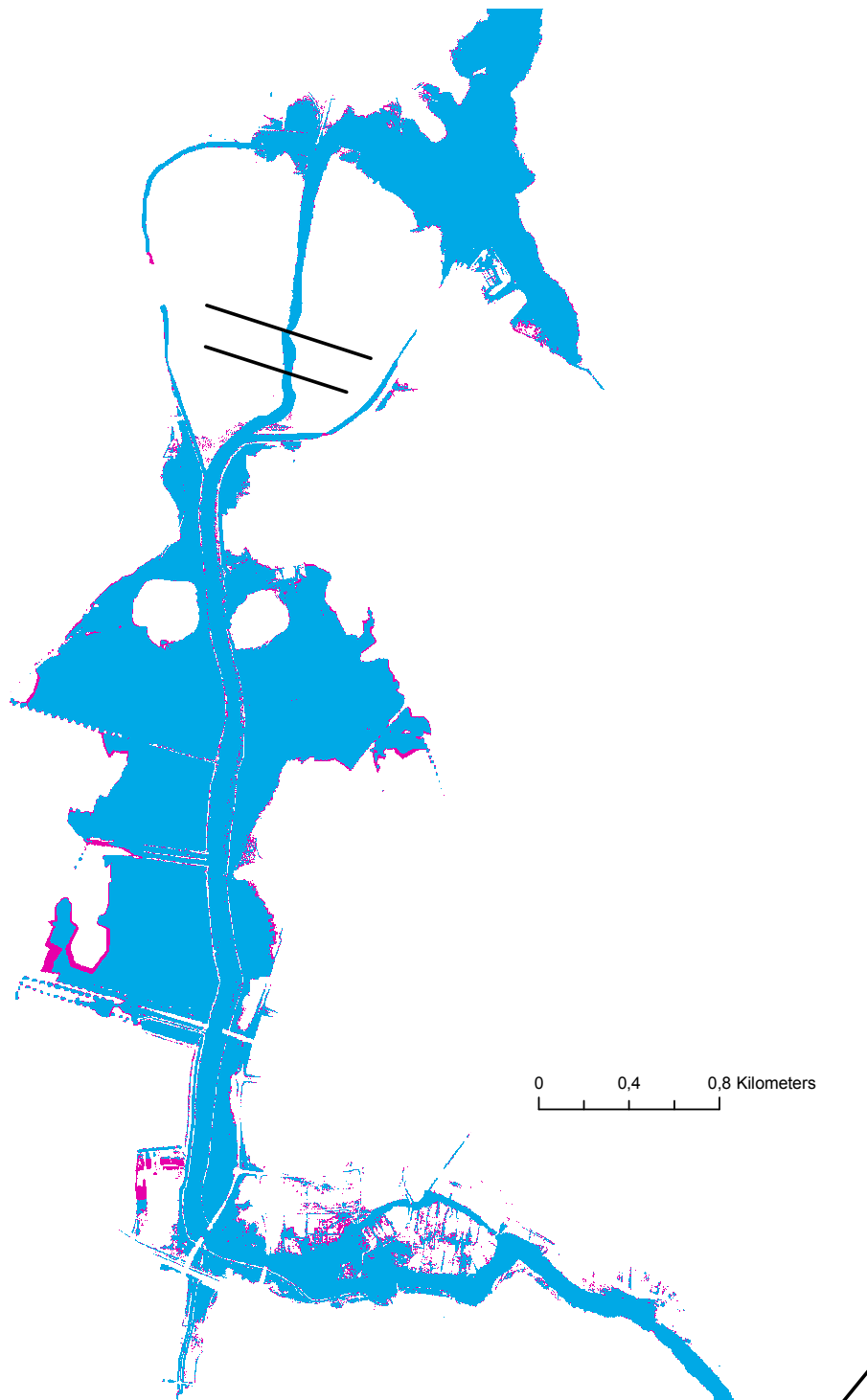
Figur A4. Ytnivåer samt bottennivåer från simuleringsresultaten vid BHF med modellerna 1a, 2, 3 och 1c



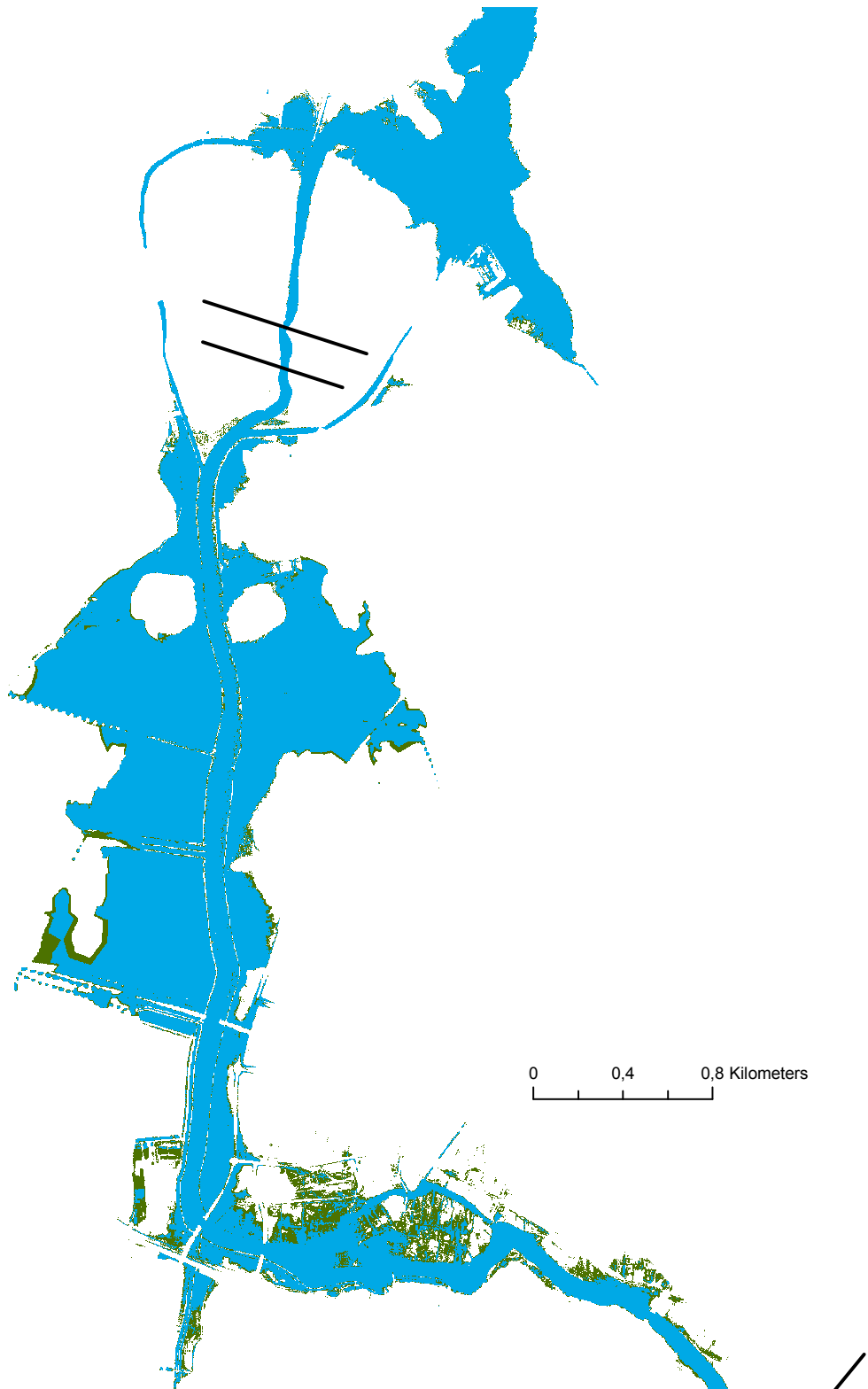
Figur A5. Översvämningsyta från model 1a (det blå, undre lagret) och model 1c (skärt lager)



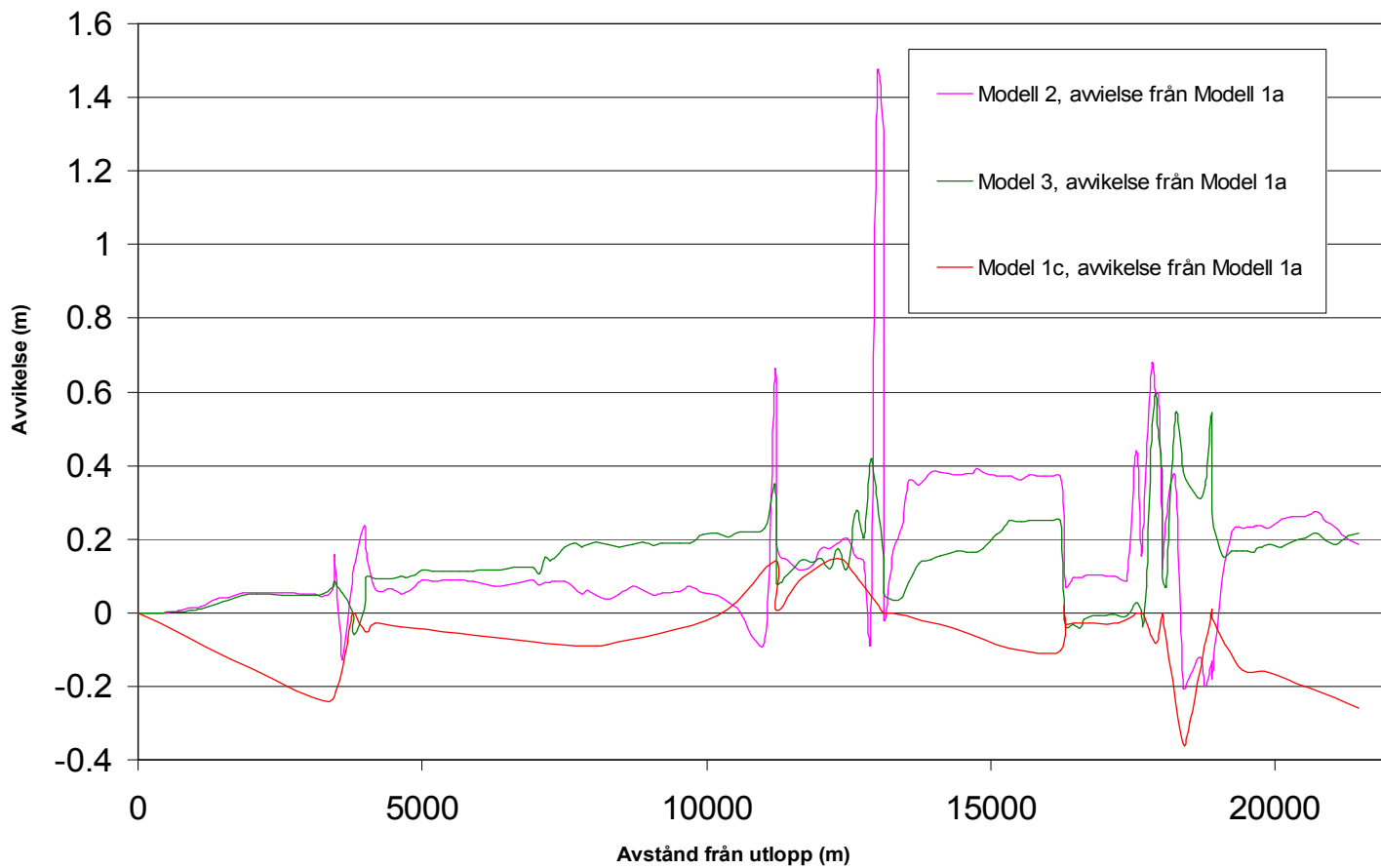
Figur A6. Översvämningsyta från modell 1a (det blå, undre lagret) och Modell 1c (skärt lager) vid BHF



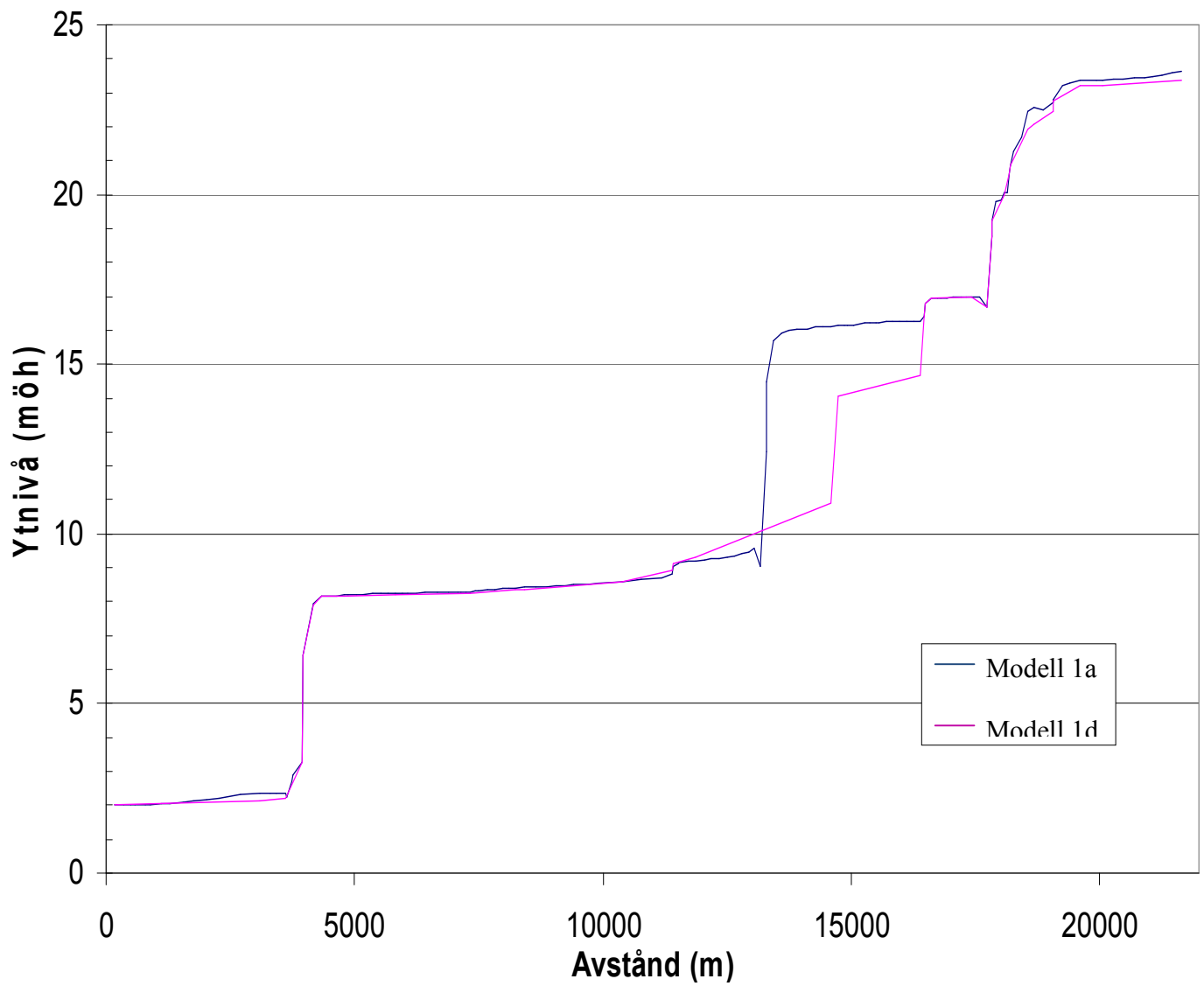
Figur A7. Översvämningssytor från modell 1a (det blå, övre lagret) och modell 2 (det lila, undre lagret), vid BHF



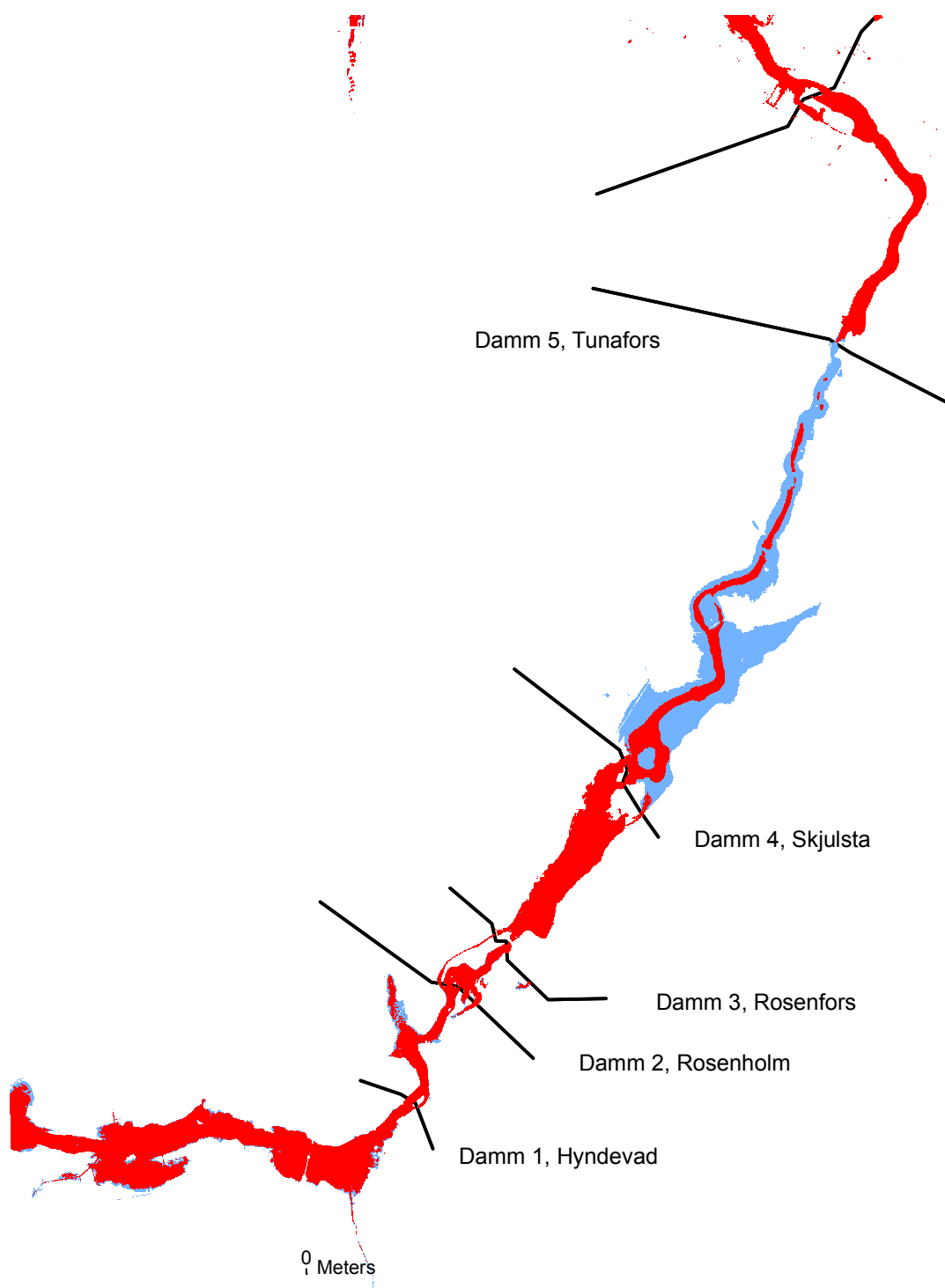
Figur A8. Översvämningssytor vid körningar av Modell 1a (det ljusblå, övre lagret) och Modell 3 (det gröna, undre lagret), BHF



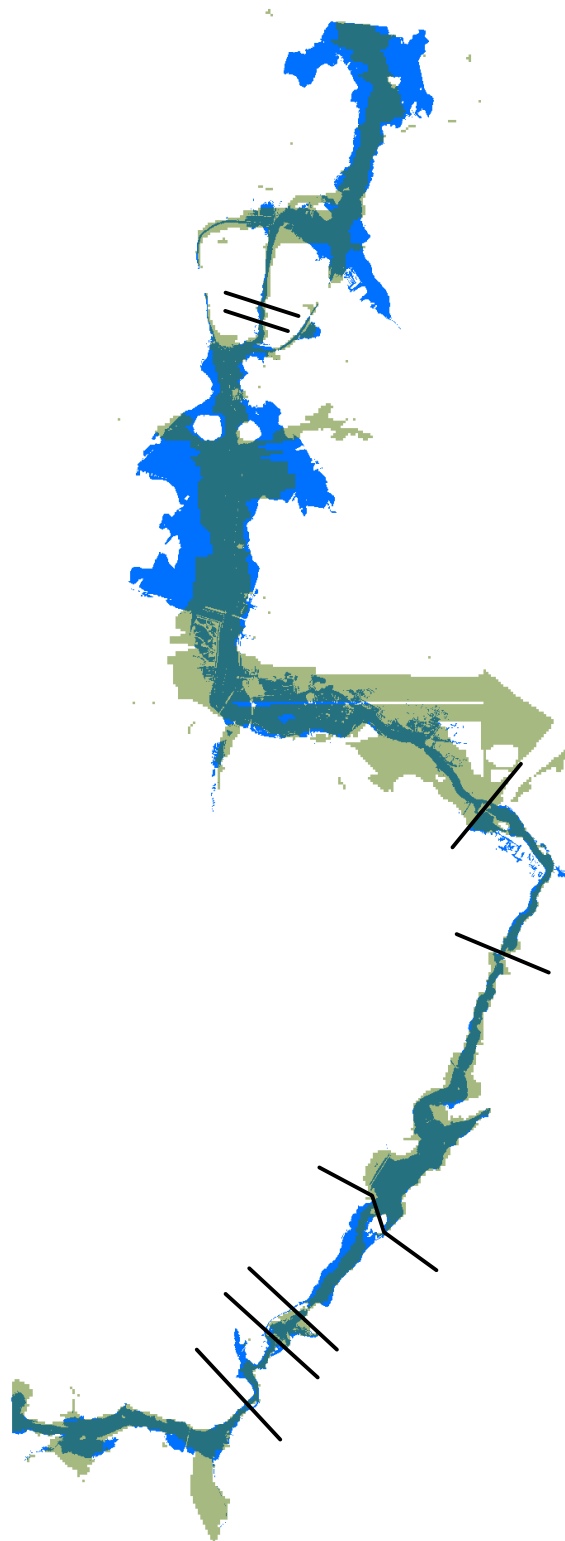
Figur A10. Avvikelse mot resultat för Modell 1a (med fullständig djupmätning) med Modell 1c (glesa tvärsektioner), Modell 2 (interpolerade tvärsektioner) och Model 3 (en långsgående djupmätning), respektive, vid BHF



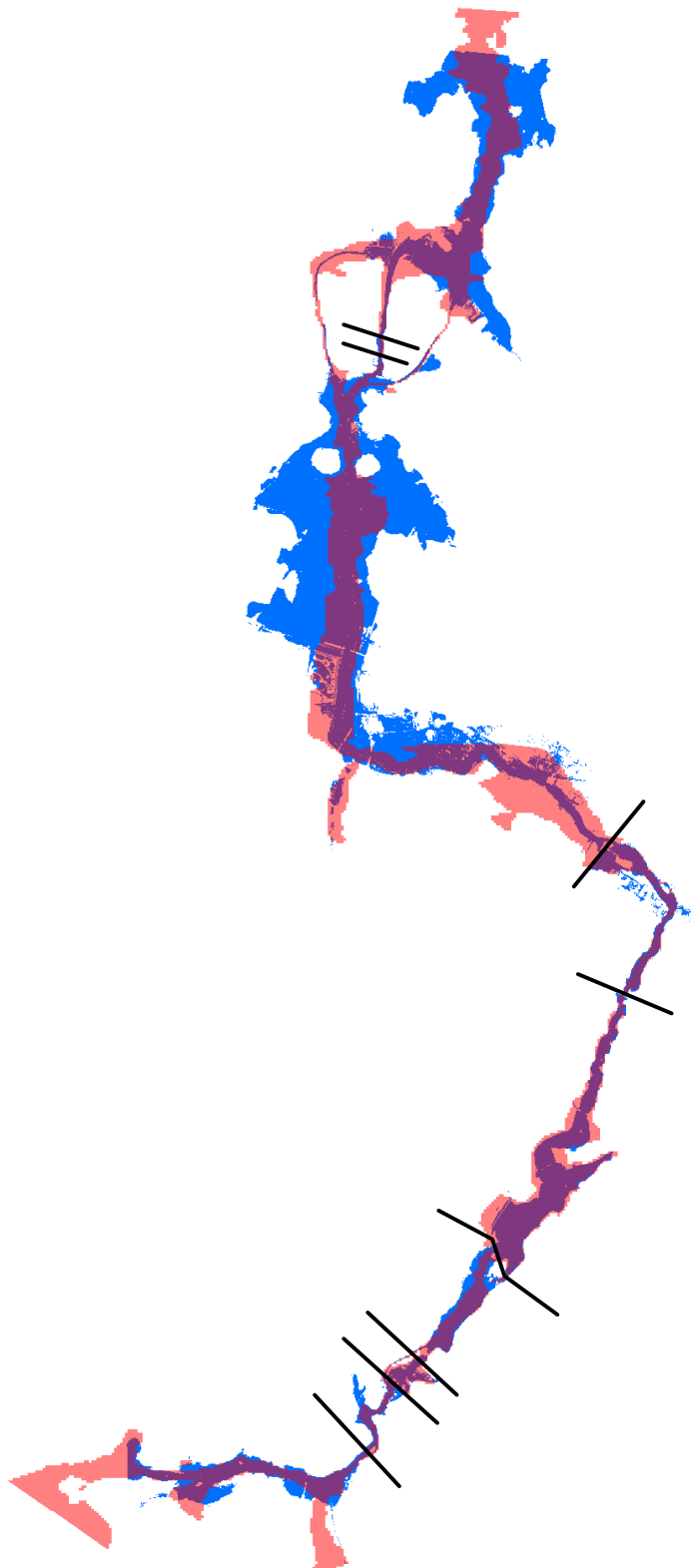
Figur A11. Ytnivåer från Modell 1a och Modell 1d. Tvärsektioner kring platsen för damm 5 är borttagna i den senare. BHF



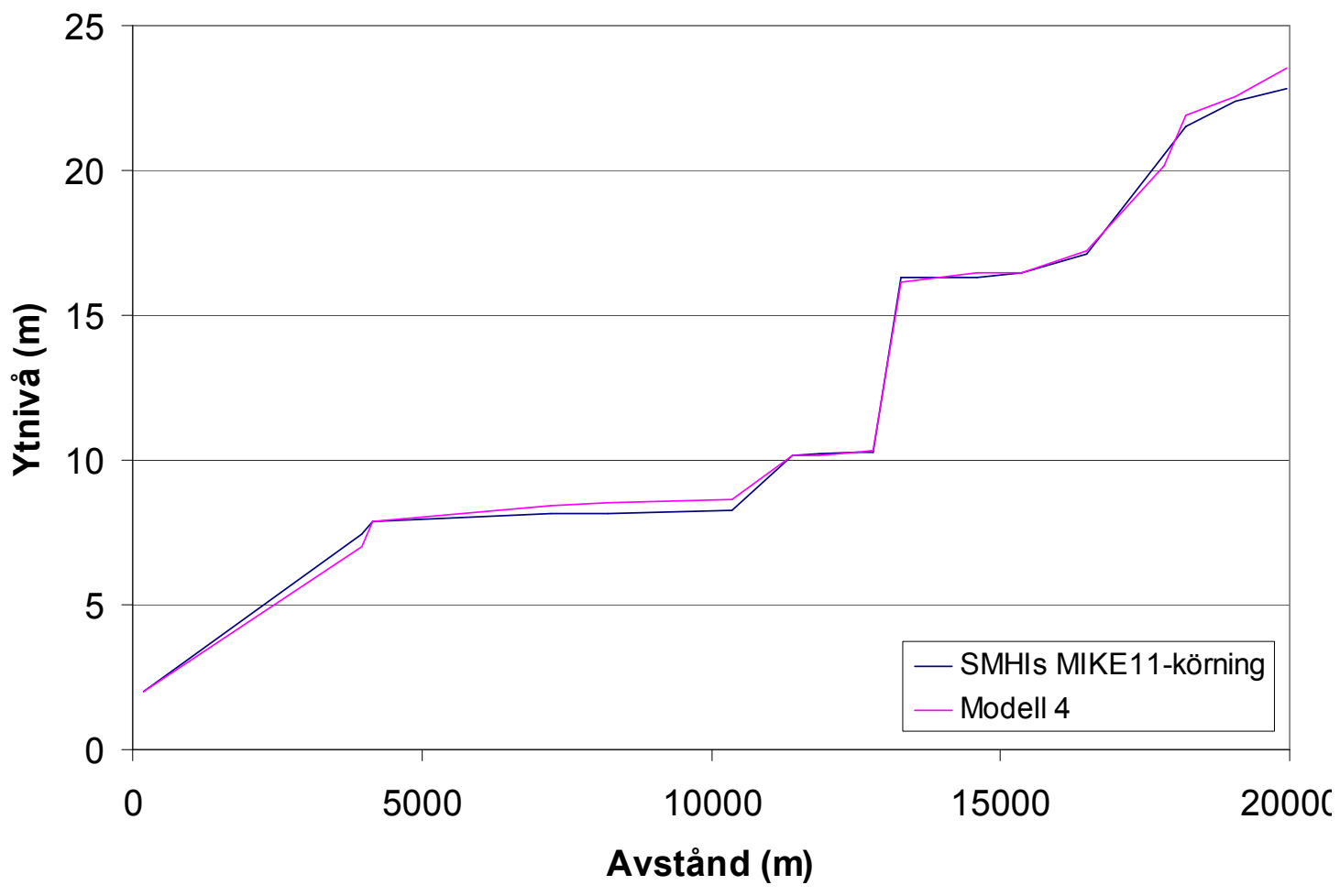
Figur A12. Översvämningsytor från Modell 1a (det ljusblå, undre lagret) och Modell 1d (det röda, övre lagret) där tvärsektionerna kring damm 5 är borttagna. Uppströms platsen för damm 5 blir översvämningen mindre, nedströms är skillnaderna små. BHF



Figur A13. Översvämingsarea från Modell 4 (genomskinligt grönt lager) ovanpå den från Modell 1b (blått lager), BHF. Dammar inlagda i båda Modellerna



Figur A14. Översvämingsarea från Modell 4 (genomskinligt rött lager) ovanpå den från SMHIs översiktliga karteringen, BHF. Dammar inlagda i båda modellerna



Figur A15. Ytnivåer från Modell 4 respektive SMHIs tidigare översiktliga kartering vid BHF