

Översvämningsrisker längs Funboån

Flooding risks along Funboån

Sofia Thurin

REFERAT

Översvämningsrisker längs Funboån

Sofia Thurin

Översvämningar är inte längre osannolika händelser utan förekommer frekvent världen över. I dagens samhälle är det därför nödvändigt att ta med arbetet med kartering av översvämningar i politikernas och myndigheters arbete. Syftet med detta examensarbete var att göra en översvämningskartering av Funboån, ett tillflöde till nedre Fyrisån i Uppsala för att bidra till kommunens mål med att kartlägga översvämningsriskerna i kommunen.

I arbetet har tvärsektioner och vattenföringen mäts in. Dessutom har en ekolodning genomförts för att kartlägga bottenpografi i ån. Med bottenprofilen och laserskannade data över området som underlag har en terrängmodell skapats. Terrängmodellen har använts dels för att dra ut tvärsektioner som ska representera områdets utseende i den hydrauliska modellen MIKE 11 och dels vid karteringen av de översvämmade områdena. 100-årsflödet har beräknats och ett högsta beräknat flöde har uppskattats för Funboån och dessa har använts som indata i modellen.

Resultatet av simuleringarna i MIKE 11 visar på att stora delar av området kring Funboån översvämmas vid extrema flöden. Översvämningsutbredningen vid karteringen stämmer genomgående väl överens med höjdkurvor, höjder i terrängmodellen och ortofoton i området. Vissa brister har uppstått i karteringen till följd av felaktig interpolering mellan tvärsektionerna. De största osäkerheterna i modellen för Funboån ligger i bestämningen av vattenföringen och Mannings tal, dessas känslighet har dock ringats in.

De åtgärdsförslag som simulerats, med förändrade värden på Mannings tal och breddning av ett fåtal tvärsektioner påverkar inte översvämningsutbredningen mer än lokalt vid området kring Funbo kyrka.

Modellen för Funboån kan användas för att ta fram översvämningskartor och simulera vattennivåer. För att säkerställa modellens giltighet bör ytterligare mätningar genomföras och vattenföringen i Funboån bör bestämmas mer korrekt. Med fördel bör också ett beräknat högsta flöde tas fram för Funboån.

Nyckelord: Översvämningskartering, Funboån, MIKE 11, vattenföring, terrängmodell

*Institutionen för geovetenskaper, Luft-, vatten- och landskapslära. Uppsala universitet. Geocentrum, Villavägen 16, SE-752 36 UPPSALA
ISSN 1401-5765*

ABSTRACT

Flooding risks along Funboån

Sofia Thurin

Flooding events are no longer rare, floods occur all over the world. Accordingly, it is vital for the society and different authorities to work with flood mapping. To meet the goal of Uppsala kommun to map the risks of floods in Uppsala län, a map of the different areas around Funboån which are inside the area of risk for flooding have been developed.

In the work, cross sections and the water flow have been measured. Moreover, an echosounding have been carried out in Funboån to map the bottom topography. From the bottom map and laser scanned data covering the study area, a terrain model was created. The terrain model was used to draw cross sections in MIKE 11-GIS which represented the characteristics of the surroundings along Funboån in the hydraulic module MIKE 11. Furthermore, the 100-year flow has been calculated for Funboån with different methods and the calculated maximum flow has been estimated. These flows were used as input to the MIKE 11 model.

The results of the MIKE 11 simulations show that large parts of the areas surrounding Funboån would be flooded as a consequence of extreme flows in Funboån. The areas flooded in the model of Funboån are well consistent with contour lines, heights of the terrain model and orthophotos. Some weaknesses did emerge in the flood mapping as a result of incorrect interpolation between some of the cross sections. The main uncertainties in the model of Funboån lie in the determination of the water flow and size of the Manning number, however, there sensitivity have been identified.

The measures simulated to reduce the flooding with changing the values of Manning's number and changing the appearance of some cross sections didn't affect the extent of the floods except from some reductions around the area of the church of Funbo.

The model for Funboån can be used to produce flood maps and simulate water levels. However, to secure the validity of the model the flow in Funboån should be determined more accurately. Also, with advantage, the calculated maximum flow should be developed for Funboån.

Key words: Flood maps, Funboån, MIKE 11, terrain model, flows

*Department of Earth Sciences, Program for Air, Water and Landscape Sciences.
Uppsala University. Villavägen 16, SE-752 36 UPPSALA
ISSN 1401-5765*

FÖRORD

Detta examensarbete är den avslutande delen på civilingenjörsutbildningen i Miljö och Vattenteknik vid Uppsala universitet och omfattar 30 hp. Arbetet har utförts på WSP Vattenbyggnad i Stockholm på uppdrag av Uppsala kommun.Handledare har varit Anna Risberg på WSP och Allan Rodhe på Institutionen för geovetenskaper, Luft-, vatten och landskapslära har varit ämnesgranskare.

Jag vill till att börja med att rikta ett stort tack till min handledare Anna Risberg som väglett och stöttat mig genom hela mitt arbete och verkligen tagit sig tid att besvara alla mina frågor. Jag vill även tacka Agneta Peterson som varit min kontaktperson på Uppsala Vatten. Dessutom vill jag tacka Tore Hemström, mätingenjör Uppsala Vatten, samt Hanna Portin och Maria Näslund för hjälp vid inmätningar i fält.

Till Allan Rodhe min ämnesgranskare vill jag rikta ett stort tack för all den tid han lagt ner på att hjälpa mig genom hela arbetet och för att ha möjliggjort genomförandet av ekolodningen i Funboån och utvärdering med programmet DrDepth.

Jag vill också tacka Chongyu Xu, vid Uppsala Universitet för hjälp med de statistiska analyserna för framtagande av vattenföringen i Funboån. För arbetet med terrängmodellen vill jag tacka, Per Lodin, WSP Landskap och Miljö för hjälp med att sätta ihop ekolodningen till en snygg bottenprofil och Per Pelin som utvecklat och svarat på alla frågor om programmet DrDepth, samt Karin Henriksson och Duncan Mc Connachie, WSP Landskap och Miljö, för alla tips i skapandet av terrängmodellen. Därtill vill jag tacka Stina Åstrand, WSP vattenbyggnad, som kommit med idéer och hjälpt till där det behövts genom hela arbetet.

Dessutom vill jag tacka Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap, MSB, för att jag fått använda modellen för Fyrstån som MSB har äganderätten till. För bidragande av broritningar vill jag tacka George Chamone och Valle Janssen på trafikverket. För tillåtelsen att använda figurerna i appendix A.3 vill jag tacka Rolf Svahn på trafikverket.

Till sist vill jag tack Petter Stenström på WSP vattenbyggnad som gjorde det möjligt för mig att få göra examensarbetet på WSP och Sven Ahlgren på Uppsala Vatten som kom med idén till examensarbetet, det har varit mycket roligt och lärorikt.

Uppsala, 2011

Sofia Thurin

POPULÄRVETENSKAPLIG SAMMANFATTNING

Under de senaste åren har ett stort antal översvämningar uppmärksammats världen över. Frågor har påkallats angående klimatet, fysisk planering och samhällets sårbarhet. Flera översvämningar har de senaste åren inträffat i Sverige och de har vållat stora skador. Det är inte längre en fråga om det kommer att ske översvämningar utan när, och hur stora skador som följer. I dagens samhälle måste arbetet med översvänningsrisker vara en del av politikerns och olika myndigheters arbete.

Räddningsverkets definition av en översvämning lyder: ”Med översvämning menas att vatten täcker ytor utanför den normala gränsen för sjö, vattendrag eller hav”. Översvämningar är naturliga fenomen som har förekommit i alla tider, de kan varken styras eller förhindras. Översvämningar kan bland annat orsaka dödsfall, stora skador på miljön och äventyra den ekonomiska utvecklingen. Samhället är idag mer sårbart mot översvämningar, till följd av ökad urbanisering samt ökad exploatering av översvänningskänsliga områden. Dessutom har vi idag generellt snabbare avrinning till följd av ökad andel hårdgjorda ytor, avskogning och annan mänsklig verksamhet, vilket ökar riskerna för översvämningar.

Genom förberedelse i form av att skapa översvänningskartor för vattendragens högsta tänkbara flöden och sätta in åtgärder, är det möjligt att undvika de värsta skadorna. Det är dock nödvändigt att det görs en avvägning mellan förebyggande åtgärder och reparationer efter översvämningar. Utredning av översvänningsrisker och införande av åtgärder kräver dessutom omfattande arbete med stora investeringar och kan ta lång tid att genomföra. I arbetet är det därför viktigt att ta hänsyn till de pågående klimatförändringarna.

Översvänningskartering innebär kartläggande av områden som ligger i riskzonen för att drabbas av översvämningar. Myndigheten för Samhällsskydd och beredskap, MSB, har fått i uppdrag att upprätta översiktliga översvänningskarteringar för alla större vattendrag i Sverige, dock krävs i många fall detaljerade översvänningskarteringar. Vid översvänningskartering beräknas vattennivån och vattenytans utbredning vid flöden som inträffar med vissa valda sannolikheter. Arbetsgången för att genomföra en översvänningskartering innehåller flera omfattande steg som statistisk analys, bearbetning av topografiska data till en terrängmodell, hydraulisk modellering och presentation av resultat. För att genomföra detta krävs statistik över förekomsten av höga flöden i vattendraget, data över vattendragets botten-topografi och intilliggande markens topografi. Vattenståndet vid olika flöden beräknas med en hydraulisk modell och vattenytans utbredning beräknas utifrån markytans topografi.

Syftet med det här examensarbetet var att göra en översvänningskartering av Funboån, ett tillflöde till nedre Fyrisån i Uppsala för att bidra till kommunens mål med att kartlägga översvänningsriskerna i kommunen. Den hydrauliska modell som använts är MIKE 11, vilket är en avancerad beräkningsprogramvara utvecklad av DHI, en oberoende och internationell forsknings- och konsultorganisation.

Vid hydraulisk modellering är kvaliteten på indata avgörande för resultatet. Med mätningar i fält kan data kvalitetssäkras. Inmätning av tvärsnitt och mätning av vattenföringen har därför utförts i och kring Funboån. Dessutom har Funboån ekolodats. Med bottenprofilen och

laserskannade data över området som underlag har en terrängmodell skapats. Terrängmodellen har använts dels för att dra ut tvärsektioner som ska representera områdets utseende i den hydrauliska modellen MIKE 11, dels vid karteringen av de översvämmade områdena. Som indata till den hydrauliska modellen har 100-årsflödet beräknats. Storleken på 100-årsflödet varierar beroende på vilken metod som använts. De 100-årsflöden som har använts i modellen för Funboån är det uppskattat av SMHI till 42 m³/s respektive det beräknade med Vägverkets metod (2008) till 56 m³/s i inloppet till Funboån. Dessutom har ett beräknat högsta flöde, BHF uppskattats utifrån MSB:s modell för Fyrisån till 142 m³/s vid inloppet till Funboån. Modellens giltighet har kontrollerats med hjälp av foton från tidigare översvämningssituationer. Vidare har modellens känslighet för variationer i Mannings tal och vattenföring testats.

Området som översvämmades vid simuleringarna för de olika extremflödena (100-årsflödet med Vägverkets värden, 100-årsflödet med SMHI:s värden, 100-årsflödet med klimat-anpassade data samt beräknat högsta flöde, BHF), med de värden på Mannings tal som kalibrerats fram, stämmer genomgående väl överens med höjdkurvor i området, höjder i terrängmodellen och ortofoton.

Resultatet av simuleringarna visar att stora delar av området kring Funboån översvämmas vid de olika extremflödena. Till exempel visar simuleringarna på att några hus, framförallt i området kring Funbo kyrka riskerar att översvämmas vid ett 100-årsflöde. Karteringen bedöms relativt säker i de mer kuperade områdena då översvämningssutbredningen inte skiljer sig så mycket mellan de olika extremflödena. Betydligt osäkrare är karteringen i de flackare områdena då små skillnader i både vattenföring och friktionsvärden påverkar utbredningen betydligt.

Den begränsande faktorn för översvämningsskarteringen av Funboån är terrängmodellens kvalitet då modellens känslighet vid förändringar av markens friktionsvärden och av vattenföring har ringats in. För att förbättra pålitligheten i översvämningsskarteringen bör fler mätningar genomföras i fält. Dels bör vattenstånd och vattenföring i olika punkter längs Funboån mätas kontinuerligt under en längre tid samt vid översvämningssituationer för att användas både för att ta fram extremflöden och för kalibrering av modellen. Dessutom bör fler tvärsektioner mätas in för att beskriva slänternas utseende, hela åsträckan bör ekolodas och Gamla bron bör kontrollmätas.

Översvämningssutbredningen kring Funboån vid extremflödena kan minskas lokalt med rensning av vass och annan vegetation i vattendraget, följaktligen med ett högre värde på Mannings tal. Resultaten påverkades dock inte av små förändringar i tvärsektionernas utseende vid extremflöden.

DEFINITIONER OCH BEGREPPSFÖRKLARINGAR

Avrinningskoefficient- anger hur stor del av nederbörden som bidrar till avrinningen

Bestämmande sektion- en sektion i vattendraget som bestämmer vattenståndet uppströms, ofta en förträngning

BHF, Beräknat Högsta Flöde- är ett ”*absolut worst case scenario*” beräknas genom att ta den samlade effekten av de faktorer som påverkar vattenföringen såsom nederbörd och snömängd vid de mest ogynnsamma förhållandena ur översvämningssynpunkt

DHI- en oberoende och internationell forsknings- och konsultorganisation med målet att öka kompetensen och den tekniska utvecklingen inom vatten, miljö och hälsa (DHI, 2011)

HHQ- högsta högvattenföringen

Hydraulisk modell- simulerar vattennivåer i vattendraget utifrån givna randvillkor

IPCC- FN: s klimatpanel, Intergovernmental Panel of Climate Change

Latta- avvägningsstång, används bland annat vid inmätning av tvärsektioner

LLQ- lägsta lågvattenföringen

MLQ- medellågvattenföring, beräknas genom att ta medelvärdet för enskilda års lägsta vattenföring (Räddningsverket, 2000)

MQ- medelvattenföring, beräknas som medelvärdet på alla data över perioden

MHQ- medelhögvattenföring, beräknas genom att ta medelvärdet för enskilda års högsta vattenföring (Räddningsverket, 2000)

MSB- Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap

Rinntid- maximala tiden det tar för vatten från ett regn som faller inom ett område att rinna till en punkt där vattnet avleds. Rinntiden beror av sträckan vattnet ska transporteras samt vattnets hastighet (Svenskt Vatten P90, 2004)

SMHI- expertmyndighet under miljödepartementet

Vattenföring- ett mått på den mängd vatten som passerar en bestämd tvärsektion på ett vattendrag på en tidsenhet [m^3/s] (Räddningsverket, 2000)

Återkomsttid, T (år)- sannolikheten att en händelse inträffar ett visst år är $1/T$

Översvämning- när mark tillfälligt täcks av vatten

Översvämningrisk- kombinationen av sannolikheten för översvämning och möjliga ogynnsamma följder

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

REFERAT	i
ABSTRACT	ii
FÖRORD.....	iii
POPULÄRVETENSKAPLIG SAMMANFATTNING.....	iv
DEFINITIONER OCH BEGREPPSFÖRKLARINGAR.....	vi
INNEHÅLLSFÖRTECKNING	vii
1 INLEDNING.....	1
1.1 AVGRÄNSNINGAR	1
2 BAKGRUND OCH TEORI.....	2
2.1 ÖVERSVÄMNINGAR	2
2.1.1 Översvämningdirektivet	2
2.2 ORSAKER TILL ÖVERSVÄMNINGAR.....	2
2.3 KONSEKVENSER AV ÖVERSVÄMNINGAR.....	3
2.4 RISKHANTERING FÖR ÖVERSVÄMNINGAR.....	4
2.4.1 Invallning	5
2.4.2 Uppfyllnad och höjning av fastigheter.....	5
2.4.3 Muddring och rensning	5
2.4.4 Information och varningssystem	5
2.4.5 Sammanfattning av åtgärder mot översvämningar.....	5
2.5 ÖVERSVÄMNINGSKARTERING	6
2.5.1 Produktion av översvämningsskartering.....	6
2.5.2 Användning av översvämningsskartering.....	7
2.5.3 Översiktlig jämfört med detaljerad översvämningsskartering.....	7
2.6 STATISTIK	7
2.6.1 Återkomsttid.....	7
2.6.2 Frekvensanalys	8
2.7 KLIMATFÖRÄNDRINGAR.....	8
2.7.1 Klimatmodeller.....	8
2.7.2 Klimatförändringar i östra Svealand	9
2.7.3 Klimatförändringar och osäkerheter.....	10
2.7.4 Skred, ras och erosion	10
2.7.5 Havsyntans inverkan	10
3 MATERIAL OCH METODER	11

3.1	BESKRIVNING AV OMRÅDET.....	11
3.2	MÄTNINGAR.....	13
3.2.1	Uppmätt vattenföring i Funboån	13
3.2.2	Inmätning av tvärsektioner.....	14
3.3	VATTENFÖRING	14
3.3.1	SMHI:s flödesstatistik.....	14
3.3.2	Statistik, omskalning av data från Sävjaån.....	15
3.3.3	Statistik med POT-analys.....	16
3.3.4	Vägverkets metod.....	18
3.3.5	Tillflöden som mynnar i Funboån	19
3.3.6	Urbana bidrag vid intensiva regn	19
3.3.7	Beräknat Högsta Flöde, BHF	21
3.4	TERRÄNGMODELL.....	21
3.4.1	Höjddata	22
3.4.2	Bottenprofil	23
3.4.3	Sammanfogning av höjd- och bottenmodell	25
3.5	VAL AV HYDRAULISK MODELL.....	26
3.6	ARBETSGÅNG VID HYDRAULISK MODELLERING MED MIKE 11	26
3.6.1	Terrängmodell i MIKE 11- GIS	27
3.6.2	Hydraulisk modell MIKE 11	27
3.6.3	Studie av resultat i MIKE View	31
3.6.4	Presentation av resultatet i ArcGIS	31
3.7	SIMULERING AV MODELLEN FÖR FUNBOÅN.....	31
3.8	ÅTGÄRDER	32
4	RESULTAT	33
4.1	VATTENFÖRING	33
4.1.1	Beräkning av 100-årsflödet	33
4.1.2	Tillflöden som mynnar till Funboån.....	34
4.1.3	Urbana bidrag vid intensiva regn	34
4.1.4	Beräknat Högsta Flöde, BHF	35
4.2	SIMULERINGSRESULTAT	35
4.2.1	Jämförelse med observerade översvämningar.....	35
4.2.2	Påverkan av vattenståndet i Fyrisån	36

4.2.3	Känslighet vid förändring av Mannings tal	36
4.2.4	Undersökning av varierad vattenföring kring beräknat 100-årsflöde	38
4.2.5	Hydrograf jämfört med konstanta inflöden	39
4.2.6	Resultaten av simuleringar med beräknade 100-årsflöden.....	40
4.2.7	Påverkan av intensiva regn.....	44
4.3	RESULTAT AV SIMULERADE ÅTGÄRDER	45
4.3.1	Åtgärd 1 och 2	45
4.3.2	Åtgärd 3.....	45
4.3.3	Åtgärd 4.....	45
4.3.4	Åtgärd 5.....	46
4.3.5	Åtgärd 6.....	46
5	DISKUSSION.....	47
5.1	VATTENFÖRING	47
5.1.1	SMHI:s flödesstatistik	47
5.1.2	Statistiska metoder	47
5.1.3	Vägverkets metod.....	48
5.1.4	Påverkan av intensiva regn.....	48
5.1.5	Allmän diskussion vattenföring	48
5.2	TERRÄNGMODELL.....	49
5.3	DISKUSSION AV SIMULERINGSRESULTAT	50
5.3.1	Jämförelse med observerade översvämningar.....	50
5.3.2	Känslighet i Mannings tal och i vattenföring	50
5.3.3	Påverkan av intensiva regn i de mer urbana områdena	50
5.4	MODELLEN FÖR FUNBOÅN	51
5.5	KLIMATFÖRÄNDRINGARNAS PÅVERKAN	51
5.6	ÅTGÄRDSFÖRSLAG FÖR FUNBOÅN	52
5.7	OSÄKERHETER VID ÖVERSVÄMNINGSKARTERING	52
5.8	FÖRSLAG PÅ FÖRBÄTTRINGAR AV MODELLEN FÖR FUNBOÅN	53
6	SLUTSATSER.....	55
7	REFERENSER	56
	APPENDIX	60
	A.1 JORDARTSKARTA	60
	A.2 MANUAL FÖR INMÄTNINGAR	61

A.3 BERÄKNING AV 100-ÅRSFLÖDET MED VÄGVERKETS METOD.....	66
A.4 PROGRAMVARA	67
MIKE 11	67
MIKE 11 GIS	72
MIKE VIEW	72
A.5 UNDERLAG FÖR SIMULERINGARNA.....	73
A.6 BRORITNING.....	75

1 INLEDNING

Under de senaste åren har ett stort antal översvämningar uppmärksammats världen över. Frågor har påkallats angående klimatet, fysisk planering och samhällets sårbarhet (Carlsson m.fl., 2006). Översvämningar är inte längre osannolika händelser i andra länder. Flera översvämningar har de senaste åren inträffat i Sverige och de har vållat stora skador (Brant, 2009). Det är inte längre en fråga om huruvida det kommer att ske översvämningar utan när, och hur stora skador som följer. I dagens samhälle måste arbetet med översvämningsrisker vara en del av politikerns och olika myndigheters arbete (Brant, 2009). Konsekvenserna av översvämningar beror på var de inträffar och på hur väl det förberedande arbetet med upprättande av till exempel vallar på platsen har utförts (Holgersson, 2006).

Översvämningsproblematiken behandlas idag på EU-nivå i översvämningsdirektivet. Alla medlemsstater i EU ska innan år 2011 ha genomfört preliminära bedömningar som visar vilka områden som är i riskzonen för att översvämmas. Innan år 2015 ska riskkartor och riskplaneringskartor ha utfärdats för områdena i riskzonen (Brant och Bergqvist, 2009). Arbetet med att skapa översvämningskartor är alltså högst aktuellt. I Sverige har idag de flesta kommuner inkluderat översvämningsrisker i planeringsarbetet och för de flesta större vattendrag i Sverige finns översiktliga översvämningskarteringar utförda av Myndigheten för Samhällsskydd och beredskap, MSB (Brant, 2009).

Det är möjligt att undvika de värsta skadorna vid översvämningar genom förberedelse i form av att skapa översvämningskartor för vattendragens högsta tänkbara flöden. Det är nödvändigt att det görs en avvägning mellan förebyggande åtgärder och reparationer efter översvämningar. Dessutom kräver utredning av översvämningsrisker och införande av åtgärder ett omfattande arbete med stora investeringar som kan ta lång tid att genomföra. I arbetet är det därför viktigt att ta hänsyn till de pågående klimatförändringarna (Holgersson, 2006).

Detta examensarbete har utförts på uppdrag av Uppsala kommun. I kommunen finns en översiktlig kartering av Fyrisån, framtagen av MSB, samt en uppskattning på områden kring Funboån i riskzonen att drabbas av översvämningar baserad på höjdkurvor. Syftet med detta examensarbete var att göra en översvämningskartering av Funboån, ett tillflöde till nedre Fyrisån i Uppsala för att bidra till kommunens mål med att kartlägga översvämningsriskerna i kommunen. Målet med examensarbetet var att skapa detaljerade översvämningskartor över området. Examensarbetets delmål kan sammanfattas i följande punkter.

- Framtagning av statistik över extrema flöden
- Uppbyggnad av terrängmodell över området
- Hydrauliska beräkningar i MIKE 11
- Bedömning av klimatförändringarnas påverkan på översvämningsutbredningen
- Föreslå åtgärder för att minska förekomsterna av översvämningar

1.1 AVGRÄNSNINGAR

Fokus för arbetet var att skapa en detaljerad översvämningskartering för övre delen av Funboån. En preliminär hydrologisk modell sattes även upp för den nedre delen av Funboån samt Sävjaån och en översiktlig kartering kunde göras även för dessa delar.

2 BAKGRUND OCH TEORI

2.1 ÖVERSVÄMNINGAR

Översvämningar är naturliga fenomen som har förekommit i alla tider, de kan varken styras eller förhindras. Översvämningar kan bland annat orsaka dödsfall, stora skador på miljön och äventyra den ekonomiska utvecklingen. Olika former av mänskliga verksamheter tillsammans med effekterna av klimatförändringarna kommer sannolikt att bidra till att de ogynnsamma effekterna av översvämningar ökar (EG-direktivet, 2007).

Räddningsverkets definition av en översvämning lyder: ”Med översvämning menas att vatten täcker ytor utanför den normala gränsen för sjö, vattendrag eller hav”. Det finns två typer av översvämningar. Vanligast är de som uppkommer till följd av höga flöden. Dessa översvämningar uppkommer vanligtvis av att mer vatten tillförs vattendraget än vad som kan avledas nedströms. Vattenytan stiger och vatten sprids ut över områden som normalt inte står under vatten (Översiktlig sårbarhetsanalys, 2007). Andra typer av översvämningar är de som kan uppstå på platser som inte angränsar till vatten efter mycket kraftiga regn där marken mätts och översvämningar i kustområden som orsakas av hög havsnivå (Räddningsverket, 2000). Detta examensarbete behandlar endast översvämningar på grund av höga flöden.

Vid översvämningsbeskrivning är det viktigt att redogöra för översvämningens tids- och rumsskala. Vid korta tidsskalor som vid skyfall med efterföljande störtfloder följer ofta stor lokal skada. För korta tidsskalor är skadebegränsande åtgärder mycket svåra att genomföra, delvis på grund av svårigheterna att upprätta nederbördsprognoser (Nyberg, 2008). Dock kan riskbedömningar för olika områden göras.

2.1.1 Översvämningdirektivet

Översvämningdirektivet förhandlades fram under åren 2006 och 2007. Syftet var att minska riskerna för skador orsakade av översvämningar (MSB, 2011 a), genom att upprätta en ram för bedömning och hantering av översvämningrisker (EG-direktivet, 2007). MSB är ansvarig för införandet av översvämningdirektivet i Sverige och har utfört eller kommer att utföra översiktliga översvämningsskarteringar på alla större vattendrag (MSB, 2011 a).

2.2 ORSAKER TILL ÖVERSVÄMNINGAR

Som tidigare nämnts är översvämningar naturliga fenomen och de är en del i den naturliga hydrologiska variationen. Däremot är samhället idag mer sårbart mot översvämningar än tidigare, till följd av ökad urbanisering samt ökad exploatering av översvämning känsliga områden. Dessutom har vi idag generellt snabbare avrinning till följd av ökad andel hårdgjorda ytor, avskogning och annan mänsklig verksamhet, vilket ökar riskerna för översvämningar (Nyberg, 2008).

Ett vattendrags förmåga att avleda vatten med hänsyn till dess geometri beror till stor del på förekomsten av bestämmande sektioner. En bestämmande sektion utgörs av en förträngning, alltså ett område med liten tvärsnittsarea i vattendraget, alternativt en vattentröskel. Marken kring vattendraget har också stor betydelse för förändringar i vattendragets geometri. Utgörs marken av material som lätt eroderas och sedimenteras kan vattendragets geometri förändras och vattendraget får förändrade vattenledande egenskaper. Vattendragets geometri kan också

påverkas av människan, bland annat genom rensning av tvärsektioner och uppförande av strukturer såsom kulvertar. Ytterligare en faktor som avgör avbördningskapaciteten är lutningen på vattendraget. En liten lutning som ofta sammanfaller med flacka vattendrags-slänter innebär att vattnet avleds långsammare och risken för översvämningar ökar eftersom vattnet kan breda ut sig över större ytor (Räddningsverket, 2000).

Översvämnings utbredning till följd av hydrologiska och meteorologiska förhållanden beror av årstiden. Faktorer som vanligen påverkar storleken på flödestoppar är bland annat nederbördsförhållanden, markvattenhalt, snömängd och temperaturutveckling. I norra och mellersta Sverige infinner sig normalt de högsta flödena i samband med vårfloden. Snöns vattnekvivalent samt energitillförsel, främst genom solstrålning och värmeledning från varm luft, styr avsmältningsförloppet. Vanligt är också att höga flöden bildas efter kraftiga regn. Under perioder med långvarigt regn mättas marken och när marken inte kan mättas mer fås höga flödesökningar (Räddningsverket, 2000). I norra Sverige är det i regel snösmältningen som orsakar höga flödesökningar i de stora vattendragen till skillnad från i söder där höga flödesökningar oftast orsakas av kraftiga regn. Uppsala ligger på gränsen mellan det som i hydrologiska sammanhang klassas som norra respektive södra Sverige och får därav höga flödesökningar av regn eller snösmältning.

2.3 KONSEKVENSER AV ÖVERSVÄMNINGAR

Konsekvenserna av översvämningar beskrivs ofta utifrån sociala, ekonomiska och ekologiska aspekter. Social sårbarhet beskriver hur många människor som drabbas av översvämningarna. En mer detaljerad beskrivning tar också med förlorade liv, hälsoaspekter samt brist på vatten och sanitet. Ekologisk sårbarhet utgörs av skador på vattentäckers kvalitet och kvantitet, djur och natur samt förändringar av landskapsbilden (Nyberg, 2008). Ett exempel på ekologisk sårbarhet är dammolyckan i Ungern hösten 2010, där stora mängder giftigt slam spreds ut i naturen (Nilsson, 2010). Vidare beskriver ekonomisk sårbarhet de potentiellt förlorade ekonomiska värdena. Svårigheter uppkommer med att sätta värden på olika typer av skador och uppskatta kostnaderna (Nyberg, 2008).

Skadorna efter översvämningar kan delas in i indirekta och direkta skador. Skador som direkt kopplas till området för översvämningen ses som direkta skador medan följd effekter utanför området är indirekta skador. Dessutom kan skadorna efter översvämningar beskrivas som materiella respektive immateriella. De immateriella skadorna är mer diffusa och svårare att definiera (Jonkman och Vrijling, 2008). Exempel på konsekvenser av översvämningar är skador på miljön och stora ekonomiska konsekvenser. För fler skador och hur de delas in i direkta och indirekta skador samt ”materiella” respektive ”immateriella” skador, se (tabell 1).

Tabell 1 Generell indelning av skador orsakade av översvämningar, baserad på Jonkman och Vrijling (2008)

	Direkta	Indirekta
Materiella	<ul style="list-style-type: none"> - Jordbruk - Byggnader - Infrastruktur - Evakuering - Saneringskostnader - Avbrott i verksamhet 	<ul style="list-style-type: none"> - Skador för företag utanför det översvämmade området - Ersättning av produktion utanför det översvämmade området - Tillfälliga bostäder för evakuering
Immateriella	<ul style="list-style-type: none"> - Ekosystemförluster - Djur - Historiska och kulturella förluster 	<ul style="list-style-type: none"> - Samhälleliga störningar - Skador för regeringen

Trots de många för samhället negativa konsekvenserna av översvämningar är många ekosystem anpassade till och beroende av översvämningar som en konsekvens av att översvämningar är en del av en naturlig hydrologisk variation. Med detta följer att åtgärder för att minska översvämningarna kan inverka negativt på vissa ekosystemfunktioner (Nyberg, 2008).

2.4 RISKHANTERING FÖR ÖVERSVÄMNINGAR

Skydd mot översvämningar har en lång historia. Redan i början 1000-talet i Storbritannien infördes olika lagstiftningar och skydd byggdes för att skydda landområden. Arbetet mot översvämningar har beskrivits som en strid, ”flood fighting”, en strid som ofta resulterat i upprättande av skydd mot översvämningar. Vid de större översvämningarna är det dock inte möjligt att uppnå absolut skydd till rimliga kostnader. De senaste 20 åren används ofta istället termen ”flood risk management”. I ”flood risk management” ingår förutom att skydda sig mot översvämningar genom att bygga skydd också att minska riskerna för att översvämningar uppkommer. I detta samverkar samhällets olika sektioner vid fysisk planering och vattenförvaltningen i stort. ”Flood risk management” innebär att arbetet ska utföras kontinuerligt med analys, värdering och åtgärder (Nyberg, 2008).

Storleken på skadorna efter en översvämning beror på när i tiden åtgärderna införs, såsom invallning och dammar (Räddningsverket, 2000). Det effektivaste sättet att minska konsekvenserna vid översvämningar är att från början inte uppföra bebyggelse i riskområden för översvämningar. I alla tider har det dock funnits ett stort intresse att bygga nära vatten, alltså i riskområden (Översiktlig sårbarhetsanalys, 2007).

Risken för översvämningar kan minskas dels genom att öka vattendragens kapacitet, dels genom att öka arean av vattendragets trånga sektioner, till exempel genom rensning och ombyggnad av dammar och broar. Dessutom kan tvärsnittsarean ökas genom att leda delar av vattnet i en parallell fåra. I och med ökade krav på miljöhänsyn och önskan att förbättra vattendragens ekologiska status har man i många fall valt att inte rensa vattendrag i den utsträckning som skulle vara nödvändig i ett översvämningssperspektiv (Översiktlig sårbarhetsanalys, 2007).

2.4.1 Invallning

Ett sätt att skydda sig mot översvämningar är att bygga vallar. Invallning var mycket vanligt förekommande i början av 1900-talet i syfte att erhålla åkermark. Invallning av byggnader är inte lika vanligt men kan bli vanligare i framtiden i och med eventuellt ökad sannolikhet för översvämningar. Invallning kan ske på två sätt. Antingen består vallen av ett tätt skikt som håller vattnet ute eller så pumpas vattnet som samlats innanför vallen ut. Vallarna byggs endera permanent eller tillfälligt vid akut översvämning. Det kan dock innebära en falsk säkerhet att bygga vallar eftersom de kan brista vilket kan få ödesdigra konsekvenser. Därtill kan invallning innebära negativa konsekvenser för vattendraget i och med att dess kapacitet ändras och att områden som tidigare verkat flödesdämpande försvinner (Översiktlig sårbarhetsanalys, 2007). Invallning som påverkar flödesregimen kan alltså förstärka risken för översvämningar nedströms i vattendraget (Nyberg, 2008).

2.4.2 Uppfyllnad och höjning av fastigheter

De negativa konsekvenserna av översvämningar på enskilda byggnader kan minskas genom att marken under dessa höjs upp och fylls ut, mest fördelaktigt innan husen byggts. Dock kan uppfyllnad på samma sätt som invallning inverka negativt på vattendragets kapacitet genom förändringar i markens stabilitet (Översiktlig sårbarhetsanalys, 2007).

2.4.3 Muddring och rensning

En förebyggande åtgärd för att minska konsekvenserna av översvämningar är att muddra och eller rensa vattendragen. Genom dessa åtgärder sänks vattendragens friktionsvärden och vattnet kommer snabbare avledas nedströms. Med rensning och muddring av vattendragen minskar också risken för igentäppning, till exempel i form av att vassöar fastnar vilket minskar arean på tvärsektionerna och då också vattendragens genomsläpplighet.

2.4.4 Information och varningssystem

Införande av varningssystem minskar inte översvämningarnas utbredning men skadorna efter översvämningar kan däremot minskas markant med ett tillförlitligt varningssystem och ett bra förberedande arbete (Nyberg, 2008). Vattenföringsmodellering är ett viktigt redskap i varningssystem där översvämningens faran beskrivs. Till exempel har HBV-modellen (Nyberg, 2008) används i varningssystem. Det finns dock svårigheter med att använda modeller som HBV-modellen för översvämningsskador, eftersom modellerna inte alltid kan kalibreras efter de höga flöden som orsakar översvämningar eftersom sådana ofta inte tidigare har förekommit (Nyberg, 2008).

2.4.5 Sammanfattning av åtgärder mot översvämningar

För en sammanfattande tabell med förslag till åtgärder se (tabell 2). Åtgärderna är uppdelade på strukturella respektive icke strukturella åtgärder före, under och efter översvämningar.

Tabell 2 Åtgärder för att minska skadorna av översvämningar, baserad på Nyberg (2008)

	Strukturell åtgärd	Icke-strukturell åtgärd
Före översvämningen	Permanenta tekniska skydd <ul style="list-style-type: none"> - Vallar - Dammar - Pumpar - Åtgärder i byggnader - Erosionsskydd Ändrad markanvändning	Fysisk planering Ändrad normgivning Försäkring Utbildning Kapacitetuppbyggnad Samverkansprocesser
Under översvämningen	Temporära barriärer Pumpar Evakuering av människor och djur	Stöd till utsatta Riskkommunikation
Efter översvämningen	Återuppbyggnad Sanering Anpassning av tekniska system	Olycksutredning Lärande/ utbildning

2.5 ÖVERSVÄMNINGSKARTERING

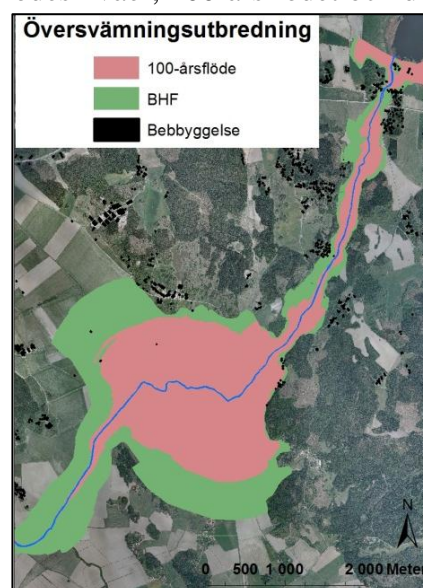
Översvämningskartering innebär att områden som ligger i riskzonen för att drabbas av översvämningar kartläggs. MSB har fått i uppdrag att upprätta översiktliga översvämningskarteringar för alla större vattendrag i Sverige, dock krävs i många fall detaljerade översvämningskarteringar (MSB, 2011 b).

2.5.1 Produktion av översvämningskartor

En översvämningskarta är en karta, över en stadsdel alternativt en vattendragssträcka avsedd att visa vilka områden som sätts under vatten vid olika vattenföringar (figur 1) (Räddningsverket, 2000). I Sverige produceras kartorna i regel för två flödesnivåer, 100-årsflödet och det Beräknade Högsta Flödet, BHF (MSB, 2011 b).

Det är i huvudsak tre moment som ska utföras vid produktion av översvämningskartor (Yacoub, m.fl., 2005).

- Bestämning av extremflöden. Flödet beräknas med olika sannolikheter såsom 100-årsflödet och genomförs vanligen med hjälp av statistiska analyser av oberoende vattenföringsserier medan beräkning av, BHF, normalt sker enligt Flödeskommitens riktlinjer för dammdimensionering (Gardelin, 2007)
- Beräkning av vattenstånd med en hydraulisk datamodell, t.ex. MIKE 11
- Kartläggning av översvämmat område



Figur 1 Översvämningskarta.

2.5.2 Användning av översvänningskartor

Generellt är översvänningskarteringar avsedda att verka som underlag vid kommunernas planering och vid insatsplanering av räddningstjänstens arbete. Karteringen ger en tydlig bild av översvänningsproblematiken kring den aktuella vattendragssträckan och visar bland annat känsliga lägen för vägar och järnvägar (Yacoub m.fl., 2005). Med översvänningskartorna är det möjligt att översätta en hydrologisk prognos till ett översvänningsområde på kartan. Varningssignaler kan gå ut till berörda och evakueringsinsatser kan utföras (Räddningsverket, 2000).

2.5.3 Översiktlig jämfört med detaljerad översvänningskartering

Idag har i huvudsak översiktliga översvänningskarteringar utförts i Sverige. Det har dock visats att dessa karteringar ofta är alldeles för osäkra för att användas som underlag vid planeringsarbete (Brant, 2009). Vid en översiktlig översvänningskartering har i huvudsak lantmäteriets rikstäckande höjddatabas använts. Denna databas baseras på ett höjdvärde var 50:e meter och har en höjdnoggrannhet på 2 meter (Lantmäteriet, 2011 a). I och med att översvänningskarteringarna aldrig kan få bättre noggrannhet än upplösningen på indata, är det enkelt att förstå att noggrannheten på höjddata är avgörande för resultatet. Vid en detaljerad översvänningskartering används en betydligt noggrannare höjdbeskrivning erhållen från laserskanning, som kan ha noggrannhet på ner till cirka 0,15 meter beroende på punkttätheten i laserskanningen (Yacoub, m.fl., 2004). Yacoub (2004) utförde en detaljerad översvänningskartering för Eskilstunaån och jämförde denna med den översiktliga karteringen och fann att resultaten skiljer sig relativt mycket lokalt. Dock stämmer de översiktliga karteringarna ofta förvånansvärt bra i stort. Med tillgång på terrängmodeller med hög noggrannhet kan betydligt säkrare översvänningskarteringar utföras (Brant, 2005).

2.6 STATISTIK

2.6.1 Återkomsttid

Med en händelses återkomsttid menas att händelsen i genomsnitt inträffar 1 gång under den tiden (Gardelin, 2007). Det betyder inte att händelsen kommer att inträffa 1 gång under perioden. Istället innebär det att sannolikheten för att exempelvis ett 100-årsflöde ska inträffa är 1 % varje enskilt år. Den ackumulerade sannolikheten blir dock mycket större eftersom man utsätts för risken under flera år. För ett hus som står 100 år i ett område som är skyddat för ett 100-årsflöde är sannolikheten hela 63 % att det någon gång under denna tid kommer att drabbas av en översvämning (tabell 3) (Översiktlig sårbarhetsanalys, 2006).

Tabell 3 Samband mellan återkomsttid, exponerad tid (50 respektive 100 år) och beräknad sannolikhet i procent, baserad på SMHI (2011 e)

Återkomsttid (år)	Sannolikhet under 50 år (%)	Sannolikhet under 100 år (%)
10	99	100
100	39	63
1 000	5	9,5
10 000	0,5	1

2.6.2 Frekvensanalys

Frekvensanalys används på hydrologiska data för att relatera storleken på extrema händelser till hur ofta de inträffar genom sannolikhetsfördelning. Vid frekvensanalys ska data vara oberoende och lika fördelad över tiden (Chow m.fl., 1988). Inom hydrologi skiljer man på två olika högflödesserier, årligt maximalt flöde och partiella varaktighetsserier. I serierna för maximalt årligt högsta flöde tas varje enskilt års maximala flöde med i analysen, vilket medför att antalet maximiflöden är lika med antalet år. För de partiella varaktighetsserierna tas istället alla flöden över ett visst tröskelvärde med i analysen. En sådan serie kallas POT-serie (Peak over Threshold). Fördelen med POT-analys framför analys med årliga maximivärden är att det i regel blir fler data för analys. Dock ökar risken för att toppflödena beror av varandra vilket medför att antagandet om oberoende blir mindre säkert (Shaw, 1983). Problem med oberoende kan ibland uppstå även vid analys av årliga maxflöden. Det kan till exempel vara svårt att med säkerhet säga att ett stort flöde i exempelvis januari inte beror av att marken redan är mättad till följd av en tidigare maximal händelse i december året innan (Chow m.fl., 1988). För att med högre säkerhet få oberoende data vid analys av årliga högsta flöden kan det hydrologiska året användas istället för kalenderåret för att ta fram de årliga toppflödena. Vid det hydrologiska årsskiftet som i södra Sverige ofta väljs till första oktober, är vattenlagren och flödena små. Risken för att två årshögsta flöden inträffar inom samma flödesepisod är därmed liten.

2.7 KLIMATFÖRÄNDRINGAR

Debatterna kring framtidens klimatförändringar är högst aktuella i dagens samhälle. De flesta klimatforskare är idag överens om att det sker en klimatförändring till följd av mänsklig påverkan. *The International Panel of Climate Change*, IPCC, skriver bland annat att 11 av de 12 senaste åren (1995-2006) är bland de 12 varmaste uppmätta åren sedan 1850 (IPCC, 2007). Dagens och framtidens temperaturhöjning sprids inte uniformt. Det är troligt att temperaturhöjningen i Norden kommer att bli högre än genomsnittligt. Förändringar av klimatet innebär också förändring av hydrologin men att prediktera dessa förändringar är mycket osäkert (Andréasson m.fl., 2001).

Hur klimatet i framtiden kommer att påverka översvämningsriskerna i Sverige beror i huvudsak på den samlade effekten av tre faktorer (Carlsson m.fl., 2006).

- Ökad temperatur, vilket medför kortare och mer ostadiga vintrar
- Förändrad nederbörd med ökad nederbörd under vintern och minskad nederbörd under sommaren
- Ökad avdunstning, vilket kan kompensera effekten av ökad nederbörd

2.7.1 Klimatmodeller

För att få en uppfattning av hur klimatet kommer att vara i framtiden upprättas klimatmodeller med ursprung i dagens klimat. Klimatmodeller kompliceras av att de måste skapas på global skala då klimatsystemet är sammankopplat i tid och rum. För att utarbeta klimatmodeller görs antaganden angående bland annat befolkningstillväxt, ekonomisk tillväxt och den tekniska utvecklingens framtida inverkan. Utifrån dessa antaganden beräknas framtida koldioxid-

utsläpp, vilket ger en uppfattning om atmosfärens framtida förändring. För att applicera klimatmodellerna på regional skala används globala modeller som randvillkor (SMHI, 2010 a).

Ett svenskt regionalt modelleringsprogram (SWECLIM) startades 1997 för att producera regionala simuleringar för klimatförändringarna i Sverige och Norden. En del av SWECLIM var att analysera klimatförändringarnas påverkan på det hydrologiska systemet. Detta utfördes med hjälp av hydrologiska simuleringar baserade på olika klimatscenarier (Andréasson m.fl., 2004).

Resultatet utifrån SWECLIMS modeller visar stora skillnader i klimatscenarier över Sverige. Dessa beror delvis på skillnader i geografiskt läge men också på skillnader i utsläppsscenarioer och vilken av klimatmodellerna som använts. En del generella samband har dock sammanställts vad gäller de hydrologiska förändringarna (Andréasson, m.fl. 2004).

- Minskade flödestoppar under vårfloden
- Minskad avrinning i södra Sverige på sommaren
- Klart minskad volym av årlig avrinning i sydöstra Sverige
- Minskad frekvens av höga flöden under våren
- Ökad avrinning under höst och vinter
- Ökad volym av årlig avrinning i norra Sverige
- Ökad frekvens av högflöden under hösten

Nederbörden i Sverige förväntas öka med mellan 10 och 20 procent. På vintern förväntas nederbörden öka över hela Sverige. På sommaren däremot pekar vissa modeller på minskad nederbörd i södra Sverige. Totalt sett, över året, gäller dock att nederbörden kommer att både öka och bli mer intensiv (SMHI, 2010 b). Dessutom förväntas antalet dagar med extrem nederbörd öka. Prediktion av extrem nederbörd är emellertid mycket svårt eftersom extrem nederbörd ofta faller inom små områden (Översiktlig sårbarhetsanalys, 2007).

Lika viktigt som nederbördsförändringar är förändringar i evapotranspiration vad gäller effekterna på hydrologin (Andréasson m.fl., 2004). Enligt Rossby Centers scenarier på regional skala kommer Sveriges medeltemperatur under perioden 2070-2100 att vara förhöjd med mellan 2,5 °C och 4,5 °C jämfört med referensperioden 1961-1990 (SMHI, 2010 b alt. Översiktlig sårbarhetsanalys, 2007). Temperaturökningen kommer att bli som störst under vintern till följd av förändrad strålningsbalans och skiktning i och med minskade snömängder i ett varmare klimat. Svealand är ett av områdena i Sverige som väntas få störst skillnad i vintertemperatur till följd av kraftigt minskad utbredning av snötäcket. I och med uppvärmningen förväntas klimatzonerna förflyttas norrut (SMHI, 2010 b) och med en ökad temperatur förväntas även en ökad avdunstning (Översiktlig sårbarhetsanalys, 2007).

2.7.2 Klimatförändringar i östra Svealand

Östra Svealand och Fyrisåns avrinningsområde, som Funboån tillhör, hör till den del av Sverige där de högsta flödena förväntas bli mindre frekventa. För området kring Mälaren och Hjälmaren kommer riskerna för översvämningar inte att förändras med avseende på de mest extrema nivåerna, däremot kan mer måttliga översvämningar förekomma oftare (Carlsson m.fl., 2006).

Länsstyrelsen har tagit fram en klimat- och sårbarhetsanalys för Uppsala län 2009 gällande framtida klimatförändringar och dess konsekvenser. Rapporten har sammanställt de förväntade klimatförändringarna fram till år 2100 i Uppsala län i följande punkter.

- Ökad temperatur, 5-7 grader under vintern respektive 3-5 grader under sommaren
- Ökad nederbörd vintertid med 20-60 %
- Förlängd vegetationsperiod med upp till 100 dagar
- Minskad varaktighet på snötäcket med upp till 60 dagar

Dessutom har Länsstyrelsen sammanställt konsekvenserna av klimatförändringarna i Uppsala län i bland andra punkterna.

- Ökad förekomst av översvämningar
- Ökad risk för skred och ras
- Vanligare med infektionssjukdomar
- Ökad närvaro av översvämningsmygg

2.7.3 Klimatförändringar och osäkerheter

Den största osäkerheten gällande bedömningen av de framtida översvämningsriskerna är hur klimatet kommer att förändras. Det är stora skillnader i de olika klimatscenarierna och osäkerheterna inom dessa är stora. Särskilt stor är osäkerheten kring beräkningen av förändringen i extrem nederbörd. Till följd av de stora osäkerheterna måste frågan ställas huruvida samhället ska ta hänsyn till klimatförändringarna i det hydrologiska säkerhetsarbetet. Det kan dock vara mycket riskabelt att inte ta hänsyn till klimatförändringarna i och med att de med största sannolikhet kommer att förändra flödesförhållandena. I och med de stora osäkerheterna kring klimatförändringarna är det inte möjligt att sätta upp entydiga riktlinjer om hur anpassningsarbetet bör bedrivas. Istället måste ett förhållningssätt med marginaler och flexibilitet tas till klimatfrågan (Carlsson m.fl. 2006).

2.7.4 Skred, ras och erosion

Klimatförändringarna bidrar förutom till förändrad flödesregim också till förändringar i markens egenskaper. Till följd av förändrad temperatur och ökad nederbörd påverkas grundvattenförhållandena med ökade porttryck i marken. Ett ökat vattentryck minskar markens hållfasthet och risken för skred och ras ökar. Med kraftiga flödestoppar och höga flöden ökar benägenheten för erosion (Översiktlig sårbarhetsanalys, 2007). Dessutom ökar risken för skred och erosion betydligt i samband med översvämningar då områden som normalt är torra ställs under vatten på grund av ökade flöden (Räddningsverket, 2000).

2.7.5 Havsyntans inverkan

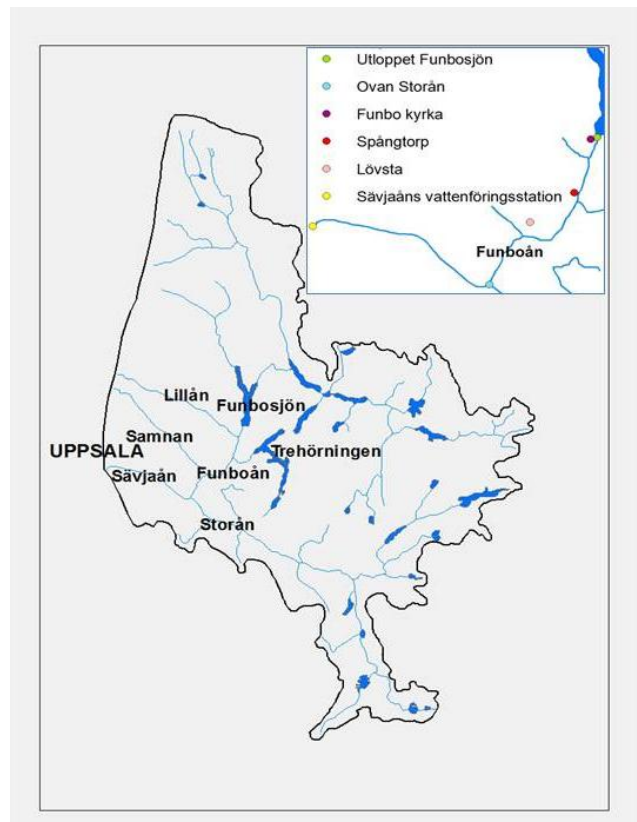
Med ökad medeltemperatur sker en avsmältning av glaciärerna vilket leder till att havsnivån kommer att stiga. Idag sker en havsnivåökning med mellan 1-2 mm/år och inom en 100-årsperiod är den förväntade havsnivåökningen mellan 9 och 88 cm. En ökad havsnivå innebär också ökade vattenstånd i vattendragen uppströms dessas mynningar i havet. I norra och mellersta Sverige motverkar dock landhöjningen effekten av havsnivåns höjning (Rankka och Rydell, 2005).

3 MATERIAL OCH METODER

Översvämningskartering innebär att vattennivån och vattenytans utbredning beräknas vid flöden som inträffar med vissa valda sannolikheter. Arbetsgången för att ta fram en översvämningskartering innehåller flera omfattande steg som statistisk analys, bearbetning av topografiska data till en terrängmodell, hydraulisk modellering och presentation av resultat. För att genomföra detta krävs statistik över förekomsten av höga flöden i vattendraget, data över vattendragets botten-topografi och intilliggande markens topografi. Vattenståndet vid olika flöden beräknas med en hydraulisk modell och vattenytans utbredning beräknas utifrån markytans topografi. För området kring Funboån som är fokus i detta examensarbete finns laserskannade data över stora delar av området. Uppmätt data för vattenföring och vattenstånd finns för Sävjaån vid SMHI:s station 2243 (SMHI c, 2010). Arean för Sävjaåns avrinningsområde är 730 km². För Funboån finns inte några uppmätta data varken för vattenföring eller vattenstånd att tillgå. Däremot finns modellerade data för vattenföringen, samt extrema flöden från SMHI:s flödesstatistik (SMHI c, 2010).

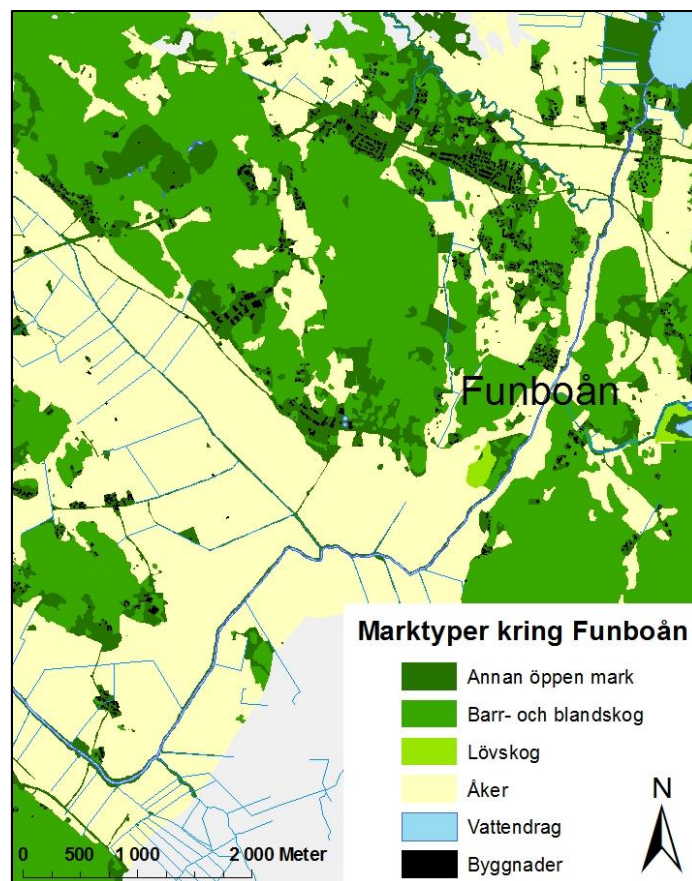
3.1 BESKRIVNING AV OMRÅDET

Funboån ligger öster om Uppsala i Uppland. Ån tillhör delavrinningsområdet Sävjaån (figur 2) som är en del av Fyrisåns avrinningsområde och utgör det största biflödet till Sävjaån. Ån är starkt dikningspåverkad i ett kraftigt uppodlat landskap. Området är sjörikt, där Funbosjön intar en nyckelposition. I systemet finns förutom flera sällsynta fiskarter som bland annat asp och faren också utter. Området har ett högt limnologiskt värde delvis på grund av att det är en öppen vandringsled för fisk från Fyrisån. Delar av området är klassat Natura2000-område (Länsstyrelsen i Uppsala län, 2010). Funboåns avrinningsområde är 500 km² och för fördelningen i hur stor del av avrinningsområdet som klassas som bland annat skog, jordbruk och bebyggd mark, se (tabell 4).



Figur 2 Lokalisering av Funboån, öster om Uppsala tätort, områdena Lövsta, Spångtorp och Funbo kyrka samt beräkningpunkterna Utloppet Funbosjön och Ovan Storån, baseras på karta av Gretner (1994).

Området som har översvämningskarterats utgörs i huvudsak av jordbruksmark. Längs sträckan finns också enstaka hus och i området undersöks möjligheterna för att anlägga ny bebyggelse. Området kring Funboån består till stor del av åker- och barr- och blandskog. Bebyggelsen är spridd över området (figur 3).



Figur 3 Marktyp runt Funboån, samt lokalisering av befintlig bebyggelse.

Tabell 4 Marktyp i Funboåns avrinningsområde beräknat vid Ovan Storån, area 500 km²

Funboåns avrinningsområde (%)	
Skog	64,3
Jordbruksmark	24,7
Bebyggd mark	0,6
Öppen mark	6,1
Vattenyta	1,7
Övrig mark	2,6

Vid studie av jordartskartan över området (figur A.1), appendix A.1, syns utbredningen av historiskt vattenbelagda områden tydligt. Ibland finns sväm/svallsediment med på jordartskartorna och dessa kan användas till en grov kalibrering av hydrauliska modeller. Ur ett nutida översvämningsperspektiv är det intressant att studera just denna utbredning eftersom det är mer sannolikt att dessa tidigare vattenbelagda områden översvämmas än områden som genom historien mer sällan har varit under vatten. Dock måste hänsyn tas till att områdets utseende har förändrats genom historien.

Funboån är ca 8,5 km lång, med en genomsnittlig bredd på ca 10 meter och en bottenlutning på 0,3 ‰. I det övre loppet är åns vattenyta relativt nära markytan (figur 4). I mittendelen är ån nerskuren och desto längre nedströms desto mer nerskuren blir ån (figur 5). Botten på ån utgörs till stor del av lera med vissa områden av mycket stenar och grus. Ån rinner genom lerjord. Vegetationen kring ån består av bladvass, säv och vattenmossa (Berglund, 2006).



Figur 4 Funboån i övre loppet, utloppet vid Funbosjön.



Figur 5 Funboån, till vänster mittendelen, nedströms järnvägsbron mot Länna och till höger nedre delen strax uppströms Ovan Storån.

3.2 MÄTNINGAR

Vid hydraulisk modellering är kvaliteten på indata avgörande för resultatet. Med mätningar i fält kan data kvalitetssäkras. Därför har inmätning av tvärsektioner och mätning av vattenföringen utförts i och kring Funboån. En mer ingående beskrivning av hur inmätningar bör ske för att på lämpligt vis kunna användas vid hydraulisk modellering redovisas i appendix A.2, Manual för inmätningar i fält.

3.2.1 Uppmätt vattenföring i Funboån

Vattenföringen mättes i Funboån den 13 oktober 2010 under en bro ca 700 meter nedströms Funbosjöns utlopp i Funboån. Syftet med vattenföringsmätningen var att se relationen mellan vattenföringen i Funboån och vattenföringen i Sävjaån där uppmätta data finns tillgängliga.

Mätningen i ån utfördes med en Ott-flygel i 10 vertikaler med ett mätdjup på cirka 80 cm. Det empiriskt uppmätta flödet i Funboån beräknades till $0,2 \text{ m}^3/\text{s}$ att jämföra med flödet i Sävjaån samma dag som uppmätts till $1,8 \text{ m}^3/\text{s}$. Flödet i Funboån var alltså betydligt mindre än vad det borde ha varit med hänsyn till att Funboåns avrinningsområde vid mätpunkten utgör ca 55 procent av Sävjaåns. Vattenföringen mättes endast vid ett tillfälle vilket gör att det inte går att lägga någon större vikt vid resultatet. För att få giltiga resultat bör vattenföringen mätas vid flera tillfällen under perioder vid både låg och hög vattenföring.

3.2.2 Inmätning av tvärsektioner

Åslänterna i tvärsektionerna till modellen mättes in med latta och måttband. Avståndet från åslänten mättes ned till vattenytan på båda sidorna av vattendraget. Inmätningen av åslänterna användes för att komplettera och kontrollera laserskannat data i åslänterna eftersom hela åslänten inte fås med vid laserskanning. Hur stor del som fås med beror på var vattennivån ligger vid laserskanningen. För de delar längs Funboån där laserskannade data saknades mättes förutom åslänterna också terrängen cirka 100 meter på båda sidorna av ån in med precisions GPS.

De första ca 1000 meterna av Funboån, nedströms Funbosjön, ekolodades inte eftersom det på vissa sträckor inte var möjligt, det var antingen för smalt eller för grunt. Dessutom hann isen lägga sig på Funbosjön och därav var det inte möjligt att med båt enkelt ta sig till denna sträcka. För dessa områden mättes tvärsektioner i vattnet från land med latta. Ett par tvärsektioner mättes också in noggrannare i vattnet från kanot med latta och måttband (som spändes ut längs vattenytan) eller direkt från vattnet.

Vid inmätningen av tvärsektioner var det viktigt att få med förträngningar i vattendraget, så kallade bestämmande sektioner, eftersom de påverkar vattenståndet uppströms (Räddningsverket, 2000).

3.3 VATTENFÖRING

En utvärdering av olika metoder för att ta fram 100-årsflödet i Funboån genomfördes. Vattenföringen beräknades i två punkter, Utloppet Funbosjön samt Ovan Storån (figur 2). De uppskattningar som ansågs mest trovärdiga användes i modellen för Funboån. Metoderna som testades var, två statistiska metoder på olika dataserier samt Vägverkets metod för hydraulisk dimensionering. Dessa jämfördes mot SMHI:s flödesstatistik. Därtill har en grov uppskattning av BHF gjorts.

3.3.1 SMHI:s flödesstatistik

SMHI har sammanställt flödesstatistik över alla vattendrag större än 200 km^3 i Sverige. Flödesstatistiken är avsedd att spegla förhållandena i ett 1900-talsklimat där data baseras på analys av uppmätta vattenföringsserier. SMHI har tagit fram 2-, 5-, 10-, 25-, 50- och 100-årsflödet med frekvensanalys och anpassning till Gumbel-fördelningen. Data har justerats med hjälp av analysresultat från jämförbart långa vattenföringsserier eftersom heltäckande data inte alltid har funnits över hela 1900-talet. För Funboån sträcker sig mätdataserien från 1919 till 1935 (SMHI, 2010 c). SMHI har beräknat värden på MLQ, MQ och MHQ, (tabell

5). SMHI har dessutom beräknat hundraårsflödet för beräkningspunkterna (tabell 5) (Bergstrand, 2010).

Tabell 5 SMHI:s beräkning av MLQ, MQ, MHQ och 100-årsflödet för beräkningspunkterna

	Utloppet Funbosjön	Ovan Storån
MLQ [m ³ /s]	0,15	-
MQ [m ³ /s]	2,75	3,55
MHQ [m ³ /s]	16	20
100-årsflöde [m ³ /s]	42	52

Klimatförändringarnas inverkan

Flödesstatistiken som beskrivits ovan anses gälla för klimatet under 1900-talet. Det är dock tydligt att flödesförhållandena under 1980-talet skiljer sig betydligt från de i början av 1900-talet. Vattendragen i östra Svealand tenderar att få lägre medelhögvattenföring, beroende på minskade snötäcken och därav minskade vårfloder. I östra Svealand har det inte sedan 1980 förekommit några riktigt höga flöden annat än mycket lokalt (Häggström, 2007).

SMHI har genomfört hydrologiska modellberäkningar för att visa hur 100-årsflödet kommer att förändras i och med klimatförändringarna. Beräkningarna visar att 100-årsflödena kommer att öka i västra Sverige men troligtvis minska i östra Svealand. I och med att modellen har körts på data som ska representera ett 1900-tals klimat kommer översvämningsutbredningen vid ett 100-årsflöde högst sannolikt inte underskattas i östra Svealand. Beräkningarna visar också på variationen i flödesförhållande mellan olika klimatzoner i och med klimatförändringarna. Variationen kan ge en indikation på hur flödesförhållandena kommer ändras om klimatzonerna i Sverige förändras (Häggström, 2007).

3.3.2 Statistik, omskalning av data från Sävjaån

Sannolikheten för att en för vattendraget kritisk vattenföring ska inträffa beräknades med hjälp av statistiska analyser. Eftersom mätdata för Funboån inte fanns tillgängligt användes mätdata från Sävjaån. Mätserien för Sävjaån som användes för den statistiska analysen sträckte sig från 1979 till och med 2008.

Vattenföring beräknades för Funboån med hjälp av data från Sävjaån under antagande att den specifika avrinningen är densamma. Det är ett rimligt antagande vad gäller medelavrinning för närliggande områden med samma nederbörd, temperatur, markanvändning och topografi. I och med att Funboåns avrinningsområde är merparten av Sävjaåns avrinningsområde kan antagandet om samma specifika avrinning antas gälla. Eftersom avrinningsområdet till Sävjaån är större än det till Funboån finns det en risk att metoden underdimensionerar flödestoppar i Funboån. Toppen för den specifika avrinningen blir störst för det mindre avrinningsområdet eftersom flödesimpulserna i det mindre området når mätpunkten mer samtidigt än vad de gör i det större. Storleken på flödestopparna beror också på andel sjöarea i avrinningsområdet. Med ökad sammanlagd sjöarea ökar den dämpande förmågan och flödestoppar kan överskattas. Andelen sjöar är större i Funboåns avrinningsområde jämfört med Sävjaåns. Det är alltså möjligt att omskalning medför att flödestopparna i Funboån överdimensioneras. Det som dock talar emot överskattning är att Storån ofta översvämmas vid

höga flöden och översvämningarna i Storån dämpar flödesvariationen i Sävjaån. Följaktligen är det två motstridiga tendenser med underskattning på grund av att området är mindre och eventuell överskattning på grund av att området har mer sjöar.

Mätdata från Sävjaån skalades om enligt ekvation 1, efter visuell kontroll av uteliggare. Omskalningen baseras på skillnad i storlek mellan avrinningsområdenas areor. Sävjaåns avrinningsområde är 730 km² och Funboåns avrinningsområde är 500 km² vid beräkningspunkten Ovan Storån och 389 km² vid Utloppet Funbosjön. Vattenföringen skalades om från Sävjaån till att gälla för beräkningspunkterna Utloppet i Funbosjön samt Ovan Storån, för lokalisering se (figur 2).

$$\frac{Q_{Funboån}}{A_{Funboån}} = \frac{Q_{Sävjaån}}{A_{Sävjaån}} = q \quad (1)$$

där

q är den specifika avrinningen [ls⁻¹km²]

$Q_{Funboån}$ är vattenföringen i Funboån vid beräkningspunkterna [m³/s]

$Q_{Sävjaån}$ är vattenföringen i Sävjaån [m³/s]

$A_{Funboån}$ är arean för Funboåns avrinningsområde vid beräkningspunkterna [km²]

$A_{Sävjaån}$ är arean för Sävjaåns avrinningsområde [km²]

100-årsflödet bestämdes med frekvensanalys. Flödestopparna från den statistiska analysen anpassades med 5 procent signifikansnivå till normalfördelningen enligt ett Kolmogorov-Smirnov test. 100-årsflödet beräknades enligt ekvation 2.

$$Q_{T=100} = \bar{Q} + sK_T \quad (2)$$

där

$Q_{T=100}$ är 100-årsflödet

\bar{Q} är medelhögflödet, MHQ

$K_T = 2,33$ fås ur tabell för normalfördelningen

s är standardavvikelsen

3.3.3 Statistik med POT-analys

För att komplettera data från Sävjaån har modellerade värden också hämtats från SMHI, HomerWeb. Modellen som har använts är S-HYPE. Det är en hydrologisk modell som modellerar flöden till vattendraget från nederbörd, genom mark, åar och sjöar. Avrinningsområdet delas upp i mindre delområden som klassas efter bland annat höjd, markanvändning och jordart. Till skillnad från till exempel HBV-modellen tar HYPE-modellen upp vattnets olika flödesvägar i marken genom att marken delas upp i flera skikt som kan ha olika tjocklek. En fördel med modellen är att modellens parametrar kopplas till geografisk information vilket gör att modellen kan användas för beräkningar i avrinningsområden utan observationer (SMHI, 2011 d).

POT-analys

Statistisk analys på HomerWeb data bedömdes bra eftersom data är framtagen med modellen S-HYPE och bedöms därför beskriva vattenföringen i Funboån väl. Vanligtvis genomförs statistisk analys, som vid omskalningen ovan, på årliga maximala flödestoppar för en serie av minst 25 år. Eftersom HomerWeb- serien endast sträcker sig över 14 år kunde mätserien inte enbart skalas om. Istället genomfördes en POT-analys, *Peak Over Threshold*, för att beräkna 100-årsflödet i Funboån. POT-analys lämpar sig för korta serier. De Q_{\max} som plockas ut ska vara större än ett satt tröskelvärde och de ska dessutom vara oberoende. Oberoende är definierat enligt Shaw (1983).

$$t > 3t_p$$

$$q < (2/3)q_p$$

där

t är tiden för den specifika toppen

t_p tiden vid tröskelvärdet för samma topp

q flödet vid toppen

q_p flödet vid tröskelvärdet

För beräkningspunkten Ovan Storån sattes tröskelvärdet till $10 \text{ m}^3/\text{s}$ och för Utloppet Funbosjön till $8 \text{ m}^3/\text{s}$. Tröskelvärdena valdes så att tillräckligt många oberoende punkter kunde användas till analysen.

Eftersom toppar från flera år har tagits med i analysen kunde inte medelvärdet för vattenföringen beräknas på vanligt sätt som summan av de årliga maximiflödena delat på antalet år. Istället beräknas medelvärdet enligt ekvation 3 (Shaw, 1983).

$$\bar{Q} = q_0 + \beta \ln(\lambda + 0,5772\beta) \quad (3)$$

$$\beta = q - q_p = \sum_{i=1}^M \frac{(q_i - q_p)}{M}$$

$$\lambda = \frac{M}{N}$$

där

\bar{Q} är medelflödet

M är antalet toppar som överstiger gränsvärdet

N är antalet år av serien

q är gränsvärdet

q är topparnas medelvärde

100-årsflödet bestämdes med frekvensanalys. Topparna från POT-analysen anpassades med 5 procents signifikansnivå till normalfördelningen enligt ett Kolmogorov-Smirnov test. Test

utfördes även för topparnas anpassning mot log-normalfördelningen, vilket dock gav samma resultat som för normalfördelningen. 100-årsflödet beräknades enligt ekvation 2.

Vattenföringen i östra Svealand beräknas inte öka i och med klimatförändringarna. Till följd av detta beräknades inte 100-årsflödet med hänsyn till klimatförändringarna med någon av de statistiska analyserna.

3.3.4 Vägverkets metod

För beräkning av den dimensionerade vattenföringen har Vägverket utarbetat två beräkningsmetoder som båda beror av avrinningsområdets storlek. Formlerna som anges nedan gäller för oreglerade vattendrag vars avrinningsområden är större än 1 km². Informationen i detta avsnitt har tagits från Vägverket (2008) om inte annat anges.

För beräkning av den dimensionerade vattenföringen bestämdes sjöarean, S, inom avrinningsområde samt korrigerad sjöprocent, P_k. Den korrigerade sjöprocenten beräknades enligt ekvation 4. Sjön närmast uppströms beräkningspunkten tilldelas därmed störst vikt. För benämningar av termerna i ekvation 4 och 5 se (tabell 6).

$$P_k = \frac{S+S_k}{A} \cdot 100 \quad (4)$$

Den specifika avrinningen beräknades utifrån arean på Sävjaåns avrinningsområde, A_{Sävja} och medelvattenföringen för Sävjaån, MQ_{Sävja}, ekvation 5.

$$Mq_{Sävja} = \frac{MQ_{Sävja}}{A_{Sävja}} \quad (5)$$

Mq_{Sävja} beräknades till 6,6 l/s*km². Beräkningarna utfördes för en återkomsttid på 100 år. För de parametrar som använts vid beräkningen av 100-årsflödet med Vägverkets metod för respektive beräkningspunkt, se (tabell 6).

Tabell 6 Indata för beräkning av 100-årsflödet med Vägverkets metod

	Ovan Storån	Utloppet Funbosjön
Avrinningsområdesstorlek, A [km ²]	500	389
Sjöarea, total inom avrinningsområdet, S [km ²]	8,4	6,3
Sjöarea för närmast uppströms belägna sjö, S _k [km ²]	1,9	1,9
Återkomsttid, T [år]	100	100
Korrigerad sjöprocent, P _k [%]	2,3	2,1
Medelvattenföring, Mq [l/s.km ²]	6,6	6,6

Medelhögvattenföringen, MHQ, är ett medeltal av den högsta årliga vattenföringen och beräknas utifrån vilken klass vattendraget bedöms tillhöra. Formlerna är utarbetade av SMHI och utgår från att naturliga vattendrag delas upp i olika klasser utifrån de faktorer som påverkar dem. För mindre vattendrag (100 ≤ A ≤ 600 km²) i mellersta och södra Sverige beräknas MHQ enligt ekvation 6.

$$MHQ = MQ(7,73 + 0,00015 \cdot A - 0,14 \cdot P_k) \quad (6)$$

Ekvation 6 har tagits fram utifrån historiska värden med avseende på avrinning och flöden framförallt från perioden 1961-1990. I och med klimatförändringarna och därav förändrade dimensionerade förutsättningar med minskade vårflooder och mer intensiva och långvariga regn behövs en justeringsfaktor. Förändringsfaktorn beror på var i Sverige avrinningsområdet är beläget. Dessa värden ska endast ses som riktlinjer. Enligt figur A.3.1, appendix A.3, har justeringsfaktorn 1,2 används för Funboåns avrinningsområde. Medelhögvattenföringen med justering för klimatförändringarna, MHQ_{just} , beräknades enligt ekvation 7.

$$MHQ_{just} = MHQ \cdot 1,2 \quad (7)$$

Vidare, för att bestämma flödet med en återkomsttid på 100 år användes sambandet mellan kvoten på högvattenföring och medelvattenföringen för olika korrigerade sjö-procent och återkomsttider. För Funboåns avrinningsområde beräknades sjö-procenten till 2,1 % respektive 2,3 % för Ovan Storån och Utloppet Funbosjön. Ur figur, A.3.2, appendix A.3, fås att HHQ_{100}/MHQ_{100} blir 4 och HHQ beräknades enligt ekvation 8, HHQ_{just} beräknades på motsvarande sätt utifrån MHQ_{just} .

$$HHQ = MHQ \cdot 4 \quad (8)$$

3.3.5 Tillflöden som mynnar i Funboån

För att få en så korrekt bild som möjligt av vattenföringen i Funboån har flödet i Funboåns tillflöden beräknats. De tillflöden som bedöms påverka vattenföringen i Funboån betydligt och som därför tagits med i analysen är, tillflödet från Lillån, ån som mynnar från Trehörningen samt Samnan (figur 2). Med dessa tre vattendrag har hela avrinningsområdet mellan beräkningspunkterna täckts in. Övriga diken som mynnar i Funboån antogs ha mycket liten påverkan på vattenföringen i Funboån och vattenföringen i dessa är med i beräkningen av tillflödena. Detta eftersom tillflödena har beräknats utifrån skillnaden i storlek av Funboåns avrinningsområde i beräkningspunkterna Utloppet Funbosjön och Ovan Storån. Vattenföringen för Funboåns tillflöden har beräknats med Vägverkets metod på samma sätt som för beräkningspunkterna Ovan Storån och Utloppet Funbosjön. Med Vägverkets metod har också tillflödena bestämts med hänsyn till klimatförändringarna. Dessutom har resultatet med Vägverkets metod skalats om gentemot beräknad vattenföring från SMHI så att tillflödena också kan beskriva tillflöden vid ett 100-årsflöde med SMHI:s värden.

3.3.6 Urbana bidrag vid intensiva regn

I och med de hårdgjorda ytorna i tätorter, skiljer sig avrinningen i tätorter från avrinningen i naturmark. Avrinningen ökar i och med att infiltrationen i marken blir mycket liten (Vägverket, 2008). Följaktligen är det viktigt att bestämma hur stor inverkan ett kraftigt regn över de mer urbana områdena, Gunsta, Bärby och Funbo, får för påverkan på vattenföringen i Funboån. Totalt utgörs Funboåns avrinningsområde till cirka tre procent av tätort. Bidraget till Funboån från dessa områden beräknades med den rationella metoden för maxflödesdimensionering utan hänsyn till lokalt omhändertagande av dagvatten, LOD, eller utjämning (Svenskt Vatten, P90). Den rationella metoden ansågs lämplig då den beräknar ett områdes maximala toppflöde. Med denna metod beräknas den dimensionerande vattenföringen utifrån

dimensionerad nederbördsintensitet. Dagvattenavrinningens storlek i en viss punkt beror av nederbördens intensitet, arean av de ytor som avvattnas till punkten, markytans karaktär och lutning, bebyggelsens utformning och avrinningsområdets form. För att fördelaktigt tillämpa den rationella metoden bör området vara nästintill rektangulärt, värdet på avrinningskoefficienten ska vara jämt utspridd över området och rinntiden får inte variera för mycket (Svenskt Vatten P90, 2004). Den dimensionerande vattenföringen beräknades enligt ekvation 9.

$$q_{d \text{ dim}} = A \cdot \varphi \cdot i(t_r) \quad (9)$$

där

$q_{d \text{ dim}}$ är dimensionerande vattenföring, [l/s]

A är avrinningsområdets area [km²]

φ är avrinningskoefficienten

$i(t_r)$ är dimensionerande nederbördsintensitet [l/(s*km²)]

t_r är regnets varaktighet [min]

Den dimensionerande nederbördsintensiteten beräknades utifrån regnets varaktighet som antogs lika med områdets rinntid. Rinntiden över en markyta beräknas enligt ekvation 10 eller utifrån vattenhastigheten över området som för en markyta uppskattas till ca 0,1 m/s, 0,2 m/s i ett grunt dike och 1,5 m/s i ledning. För beräkning av rinntiden har området delats upp i flera mindre delar (figur 6). Rinntiden har beräknats för avrinningen från respektive områdes mest avlägsna punkt till dess avvattningspunkt som har anslutning i eller till Funboån. Markavrinning beräknas enligt Vägverket (2008) enligt ekvation 10.

$$t_r = \frac{107 \times L^{0,33}}{M \times S^{0,2}} \quad (10)$$

där

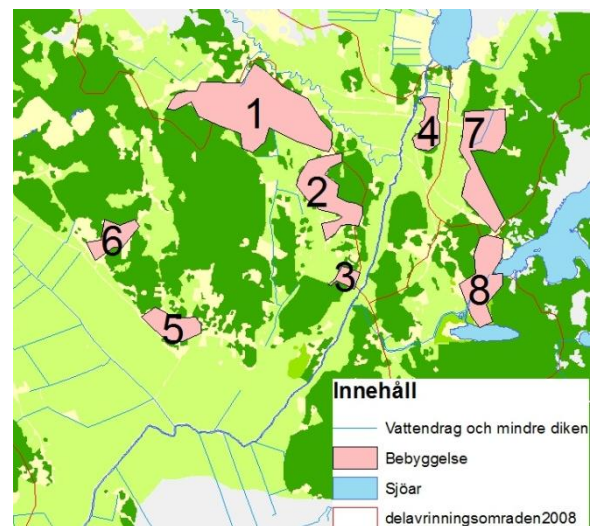
t_r är rinntid [min]

M är Mannings tal

L är rinnsträcka [m]

S är lutning i [m/m]

Ett sätt att beräkna den dimensionerande nederbördsintensiteten är att utgå från det så kallade z-värdet. Ett nyare förhållningssätt, vilket har använts i det här examensarbetet, till att beräkna den dimensionerande regnintensiteten presenteras i Dahlström (2006) och Dahlström (2010). En formel för beräkning, för varaktigheter på 3 min till 96 timmar och återkomsttider på 1 månad upp till 100 år, har tagits fram utifrån en generalisering av statistik på regnintensiteter.



Figur 6 Lokalisering av de mer urbana områdena kring Funboån.

Utifrån tabell över varaktighet, återkomsttid och regnintensitet baserad på formeln från Dahlström (2010) beräknades den dimensionerande regnintensiteten för de åtta mer urbana områdena. Vid beräkningen av rinntiden inom de urbana områden antogs vattnet gå dels som markavrinning, enligt ekvation 10, och dels i ledning.

För att bestämma den dimensionerande vattenföringen behövdes förutom den dimensionerade nederbörsintensiteten också en uppskattning av områdets avrinningskoefficient, vilken beror av områdets lutning och regnintensitet (Svenskt Vatten P90, 2004). Värdet på avrinningskoefficienten är alltid mellan 0 och 1 och ökar med ökad lutning och ökad regnintensitet. Från tabell över sammanvägda avrinningskoefficienter för olika slag av bebyggelse i Svenskt Vatten P90 (2004) sattes avrinningskoefficienten utifrån områdestyp och grad av kupering till 0,4. Den totala dimensionerande vattenföringen från de urbana områdena beräknades med ekvation 9.

Flödet från de olika områdena kommer vid ett kraftigt regn ansluta till Funboån vid olika tidpunkter eftersom områdena ligger olika långt från Funboån. För att tillmötesgå detta beräknades rinntiderna från respektive avvattningspunkt till dess anslutning till Funboån. Rinntiden i diken beräknades utifrån sträckan och uppskattad vattenhastighet. Vattenhastigheten togs från tabell i Vägverket (2008) och sattes till 0,5 m/s.

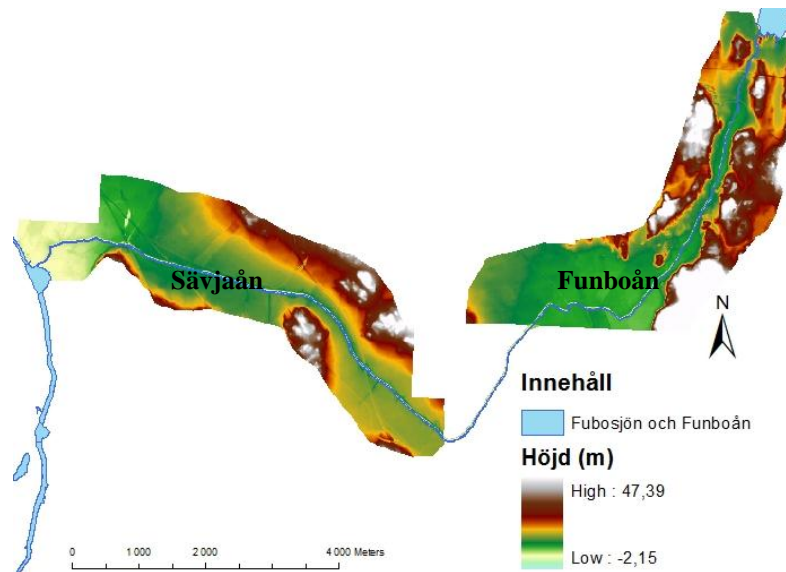
3.3.7 Beräknat Högsta Flöde, BHF

Framtagande av ett korrekt värde på BHF för Funboån är utanför ramen för detta examensarbete. I den befintliga översvämningsskarteringen för Fyrisån har MSB, tagit fram ett BHF för Sävjaån enligt flödeskommiténs riktlinjer för riskklass-1 dammar. Det maximala flödet i BHF-hydrografen i Sävjaån är satt till 259 m³/s (MSB, 2010). MSB har också tagit fram ett 100-årsflöde för Sävjaån.

BHF för Funboån har beräknats utifrån det för Sävjaån framräknade värdet på BHF, (MSB, 2010) genom att skala om efter kvoten mellan arean på Funboåns avrinningsområde och arean för Sävjaåns avrinningsområde. Dessutom har storleken på 100-årsflödet för respektive punkter studerats och använts i uppskattningen av BHF.

3.4 TERRÄNGMODELL

Vid genomförandet av hydrauliska beräkningar i vattendrag krävs mycket god kännedom om både bottenpografien och topografien i området kring vattendraget. Genom att sätta upp en terrängmodell över området fås ett bra underlag som kan användas vid de hydrauliska beräkningarna, dels kan tvärsnitten digitaliserats direkt i terrängmodellen och dels kan terrängmodellen användas vid skarteringen. Terrängmodellen för det studerade området omfattar höjdmodell och djupdata över området kring Funboån och Sävjaån (figur 7). Som en del i underlaget finns också ortofoton som täcker stora delar av avrinningsområdet. Höjdmodellen och ortofoton baseras på laserskanning respektive flygfoton i färg. Djupdata grundas på ekolodning med GPS-positionering. Terrängmodellen består av både höjd- och djupinformation och ligger till grund för de hydrauliska beräkningarna. Den övre delen av terrängmodellen täcker en yta av ca 10 km².



Figur 7 Terrängmodellens utbredning, den övre delen innefattar den noggrannare ekolodningen. Mittendelen, utan terrängmodell visar var laserskannade data saknas.

3.4.1 Höjddata

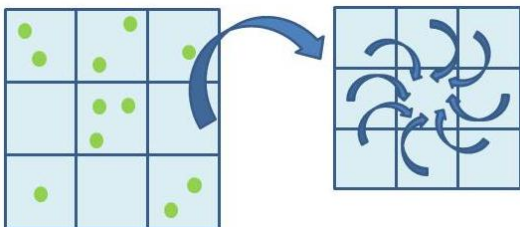
Upplösningen på höjddata är avgörande för resultatet på översvämningsskarteringen. Ju bättre upplösning på höjddata, desto säkrare uppskattning på de översvämmade områdena (Brant, 2009). Med laserskanning förbättras möjligheterna att skapa representativa terrängmodeller betydligt. Med laserskanning, eller LIDAR, som är flygburna system, återges markytans topografi med miljontals koordinatpunkter som används till terrängmodellen. Målets position, till exempel marken eller vattenytan, bestäms genom att laserpulser sänds ut och tiden mäts för dessa att komma tillbaka. Området kartläggs med flygplan i ett antal stråk med en svepvidd på cirka 100 meter i sid- och längsled. Noggrannheten som erhålls vid laserskanning beror på hur tätt punkterna samlas in. Mätningarna som fås vid laserskanning kallas rådata. Vid laserskanningen tas ingen hänsyn till om det är hus, träd eller markytan som skannas. För att med större sannolikhet få ut markytan utförs vid laserskanningen en successiv överlappning i både sid- och längsled. För att endast få ut markytan måste data behandlas. Det finns verktyg för att identifiera strukturer såsom träd och hus och ta fram den riktiga nivån för markytan (Rydell, 2008).

Laserskannade höjddata fanns tillgängligt för princip hela området kring Funboån. För området i mitten saknas laserskannad data och i det området upprättades inte heller någon terrängmodell (figur 8). För att beskriva detta område användes istället höjdkurvor med fem meters ekvidistans. Laserskanningen utfördes utanför detta examensarbete av TerraTec AS med WSP som underleverantörer den 1 september 2007 och kompletterades den 1 oktober samma år. Vid skanningen användes laserskannern Leice ALS 50-II. Flyghöjden var vid laserskanningen 1500 meter och en punkttäthet på 1 punkt/m² erhöles. Laserskanningen resulterade i en höjdmodell i form av punkter med en noggrannhet på minst 0,3 meter i koordinatsystemet SWEREF99_18_00 och höjdsystemet RH2000. Dessutom levererades höjdkurvor med 0,5 meters ekvidistans. Data kvalitetssäkrades med hjälp av kalibrering av sensor-

system, flygstråk i olika riktningar, utjämnning mellan överlappade flygstråk samt kontroll gentemot uppmätta data (Flygburen laserskanning Uppsala och Knivsta, 2007).

Höjdmodellen var primärt avsedd att användas som underlag till den hydrauliska modellen. Den består av laserskannade höjdpunkter utlagda i ett kvadratisk rutnät, så kallad grid. För att beskriva åslänterna så bra som möjligt valdes rutstorleken till en meter. En meters rutstorlek medförde dock mer interpolering jämfört med om en större rutstorlek valts. Enligt Brant (2009) gäller att ju plattare området är desto viktigare är det att ha en bra cellupplösning. För flacka områden där stor tillförlitlighet ställs på det kartlagda området bör inte en cellstorlek på större än 1 meter användas. För de flesta ändamål anser Brant (2009) att det räcker med en cellupplösning på mellan tre och fyra meter.

Höjdmodellen har skapats i ArcGIS. I och med att området är laserskannat, vilket innebär hög punkttäthet i data, användes funktionen ”Point to Raster” för att skapa terrängmodellen. Till skillnad från interpoleringsmetoden, till exempel ”Inverse distance Weighting”, går inte lika mycket information förlorad. Med funktionen ”Point to Raster” skapas för vald cellstorlek ett stort rutnät över punktdata (figur 8). Cellen får det värde som datapunkten i rutan har. Är det flera punkter i en cell går det att välja mellan bland annat att ta ett medelvärde av dessa alternativt att ta högsta eller lägsta värdet. Finns det ingen datapunkt i cellen sätts cellens värde till ”NoData”. Resultatet blir ett raster med många hål men där kvaliteten i data behålls. Hållen fylls igen genom att iterativt använda ”Raster Calculator” i ”Spatial Analyst”. Genom interpolation baserat på värdena i de angränsande cellerna sätts värden för cellerna med ”No Data” (figur 8).

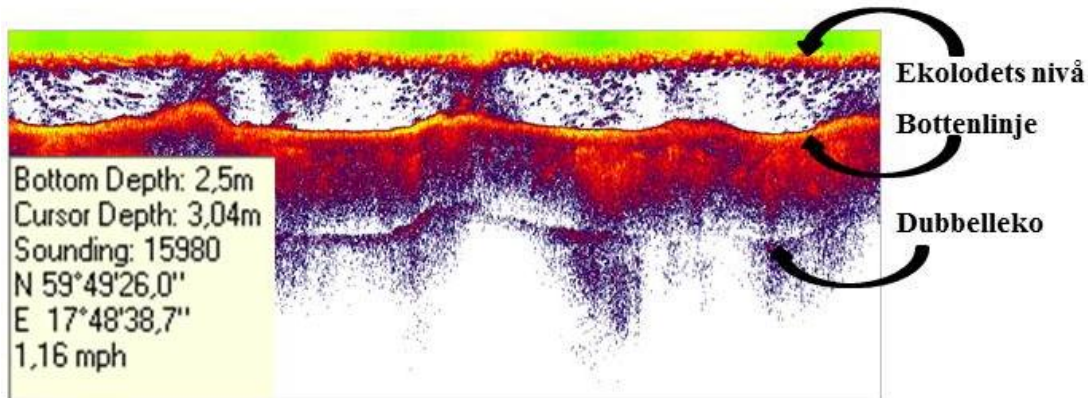


Figur 8 Beskrivning av funktionen Point to raster och hur den behandlar punktdata.

3.4.2 Bottenprofil

En förutsättning för att den hydrauliska modellen ska ge tillförlitliga resultat är att det finns höjddata såväl ovan som under vattenytan. Information om bottenpografi erhöles med ekolodning från båt. Ekolodning är ett mycket bra och relativt enkelt sätt att få en bra bild av bottenpografien. Ekolodet monteras på skrovet och tiden det tar för en ljudsignal att nå botten och komma tillbaka till båten mäts. Djupet kan sedan beräknas med hjälp av ljudets hastighet i vatten. Ekolodsmätningar är förhållandevis enkla eftersom de kan genomföras under färd med relativt hög hastighet. Dock minskar mätintensiteten mellan mätpunkterna med ökad hastighet. Vid mätning med ekolod används ett intervall av olika frekvenser för ljudpulsen. Höga frekvenser ger hög upplösning men har inte lika starkt genomträngande förmåga i till exempel kraftigt sjögräs som låga frekvenser (Rydell, 2008).

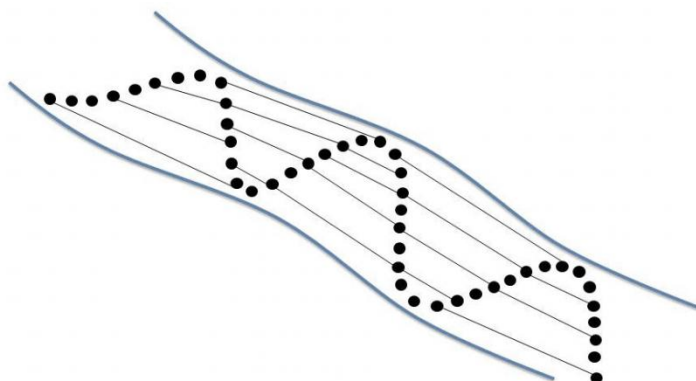
Ekolodningen utfördes med roddbåt den 16 november 2010. Ekolodet som användes var av typen Lowrance HDS-5, ett kombinerat ekolod och GPS. Vid ekolodningen sicksackades delen av ån som var i fokus för översvämningsskarteringen. För det övriga området erhöles endast en djupprofil utifrån ekolodningen. För en representativ sträcka av eko-lodningen från programmet SonarViwer, se (figur 9).



Figur 9 Skärmdump av ekolodningen från SonarViewer.

Bottenmodellen skapades med hjälp av programmen DrDepth, GEO och ArcGIS. Från SonarViwer togs ekolodspunkterna in i DrDepth. I DrDepth finns en funktion som skapar bottenprofiler direkt utifrån ekolodsdata. Tyvärr blev inte resultatet tillräckligt bra. För att kunna använda bottenprofiler skapade direkt i DrDepth måste ekolodningen ske betydligt tätare och över hela området, inte i sicksack som är normalt vid ekolodning av vattendrag. Istället användes DrDepth endast till att generera punkterna från ekolodningen till ArcGIS.

I ArcGIS fanns det inte heller någon tillräckligt bra interpoleringsmetod som kunde ta hänsyn till att ån sicksackats men att interpoleringen skulle ske längs med vattendraget. GEO användes därför först för att dra linjer mellan de ekolodade punkterna (figur 10). Linjerna fick punkternas värde. Med dessa linjer förstod interpoleringsprogrammen i ArcGIS hur interpoleringen skulle genomföras.



Figur 10 Interpolering i GEO mellan punkter erhållna från ekolodning.

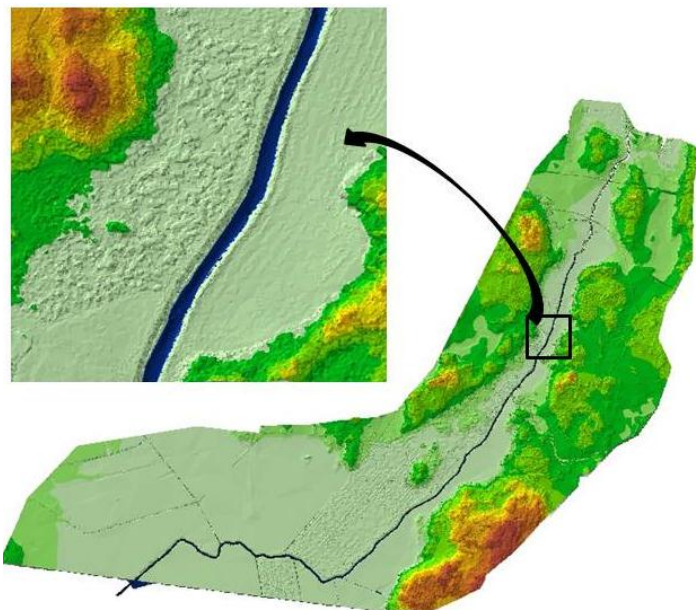
Data från ekolodningen var i koordinatsystemet WGS_84. För att få data i samma koordinatsystem som övriga höjdmodellen, SWEREF_99_18_00 användes programmet SweTrans på data från GEO.

Efter linjedragning och koordinattransformation användes ArcGIS för att skapa bottenmodellen. En geodatabasfil skapades och funktionen "Create TIN from features" användes för att skapa ett triangelnät med punkter och linjer från ekolodningen. För att möjliggöra senare sammanfogning av bottenmodellen med höjdmodellen skapades ett raster med cellstorleken 1 meter av triangelnätet.

Djupet på bottenpunkterna från ekolodningen var satta utifrån höjden på vattenytan. För att bestämma vattenytans läge vid ekolodningen i höjdsystemet RH_2000 sattes höjdfixar ut, vars höjder mättes med precisions-GPS. Vid tidpunkten för ekolodningen hade tyvärr vattenståndet stigit över höjden på höjdfixlarna och det var omöjligt att avgöra höjden på vattenytan vid ekolodningen utifrån dem. Istället bestämdes höjden på vattenytan vid tidpunkten för ekolodningen med hjälp av laserskannat data och inmätta tvärsektioner. Höjden på toppen av åslätterna i tvärsektionerna i höjdsystemet RH_2000 bestämdes från laserskannat data. Höjden på vattenytan i höjdsystemet RH_2000 kunde således bestämmas genom att från höjden på åslätterna subtrahera höjden på de inmätta tvärsektionerna. Utifrån vattenytans höjd räknades djupet på bottenpunkterna om och fick höjder i höjdsystemet RH_2000. Dessutom kontrollerades nivån på bottenytan med höjden på botten utifrån broritningar.

3.4.3 Sammanfogning av höjd- och bottenmodell

Med hjälp av ortofoton markerades Funboåns strandlinje i ArcGIS. Strandlinjen användes för att i terrängmodellen avskilja vilka data som skulle tas från ekolodningen respektive laserskanningen. Höjdmodellen sattes ihop med bottenmodellen i ArcGIS med funktionen "Mosaic to new Raster". För resultatet av terrängmodellen i den övre delen av Funboån, se (figur 11).



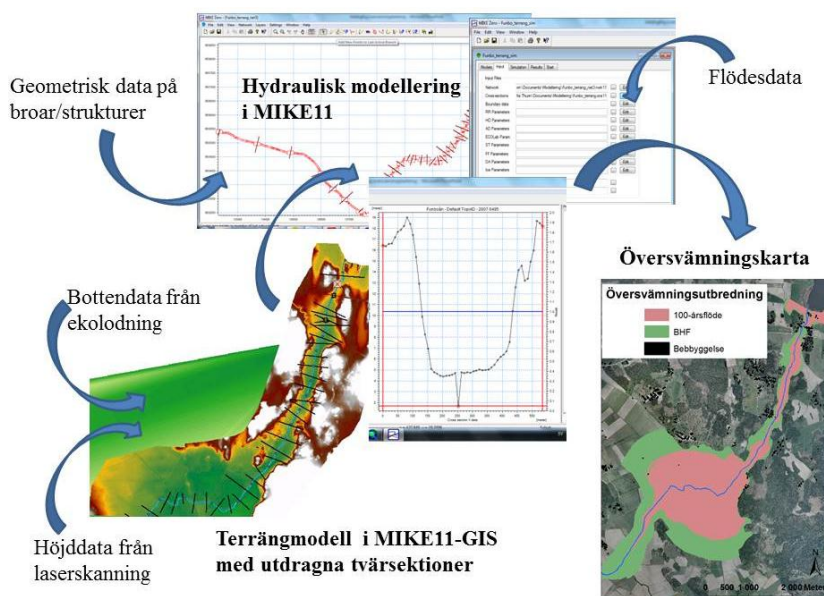
Figur 11 Terrängmodell i 3D efter sammanfogning.

3.5 VAL AV HYDRAULISK MODELL

Valet av hydraulisk modell är avgörande för resultatet av modelleringen. Det är viktigt att välja en modell som passar indata eftersom den hydrauliska modellen aldrig kan bli bättre än använt data. Brant (2009) skriver i sin rapport att hittills har vattendrag mest tillförlitligt simulerats med endimensionella modeller. För endimensionella modeller får flödet endast breda ut sig i en dimension, längs med vattendraget. Således kan inte de endimensionella modellerna ta hänsyn till för stora utbredningar i horisontalled. Sådan utbredning är dock ofta fallet vid översvämningskarteringar. En fördel med endimensionella modeller framför både tvådimensionella och tredimensionella är att de inte kräver lika omfattande indata. De är också bättre på att beskriva flödet i vattendraget. Däremot, i takt med att mer och mer data kan hanteras och samlas in, kommer de två- och tredimensionella modellerna i framtiden att kunna användas med större precision. Idag har de tredimensionella modellerna bara visat sig fungera i små områden. De flesta vattendrag har idag modellerats med endimensionella modeller och de tvådimensionella modellerna har ännu inte visat bättre resultat (Brant, 2009). Utgående från att data i området kring Funboån inte är av bästa noggrannhet har jag i denna översvämningskartering använt den endimensionella hydrauliska modellen MIKE 11. För en mer ingående beskrivning av hur MIKE 11 fungerar och vilka ekvationer programmet grundar sig på, se Appendix A.4, programvara.

3.6 ARBETSGÅNG VID HYDRAULISK MODELLERING MED MIKE 11

För hydraulisk modellering behövs geometriska data i form av tvärsektioner över vattendraget och dess omgivning. I denna kartering har tvärsektionerna dels dragits ut i terrängmodellen i MIKE 11-GIS, dels skapats direkt i MIKE 11. Bottendata och höjddata har som tidigare beskrivits använts som underlag i upprättandet av terrängmodellen i ArcGIS. Vidare krävs geometriska data i form av utseendet på och avståndet mellan broar och andra strukturer. Utifrån det simulerade flödet beräknas vattenståndet i varje tvärsektion i MIKE 11. När vattenstånden beräknats görs översvämningskarteringen. Arbetsgången för att ta fram en översvämningskartering med det hydrauliska programmet MIKE 11 visas i figur 12.



Figur 12 Arbetsgång vid hydraulisk modellering med MIKE 11.

3.6.1 Terrängmodell i MIKE 11- GIS

Terrängmodellen som tidigare skapats i ArcGIS togs in i MIKE 11- GIS. Funboån markerades som en *branch* och tvärsektioner drogs direkt i terrängmodellen. Särskilt viktigt var det att dra tvärsektioner vid broar och tydligt ta med förträngningar i vattendraget. Tvärsektionerna exporterades till MIKE 11.

3.6.2 Hydraulisk modell MIKE 11

I MIKE 11 sker beräkningen av vattenståndet i varje tvärsektion och av vattenföringen i varje q-beräkningspunkt mellan tvärsektionerna, vilket ligger till grund för kartorna som också genereras i MIKE 11. För att genomföra en översvämningskartering i MIKE 11 krävs tvärsektioner, friktionsvärden, övre och nedre randvillkor, tidssteg, och simuleringsperiod. Ytterligare termer kan anges i modellen såsom vind och grundvattenläckage. I modellen för Funboån har endast defaultvärdena använts för dessa övriga termer. Dessutom bör modellen kalibreras.

Tvärsektioner i MIKE 11

I MIKE 11 är tvärsektionerna avsedda att förklara det topografiska utseendet runt vattendraget. De definieras av ett antal x, y, z koordinater (MIKE 11 Reference Manual, 2009). Antalet tvärsektioner som behövs för att beskriva vattendraget på ett representativt sätt beräknas utifrån både fysikaliska och matematiska krav. Tvärsektioner, alltså h-punkter, bör placeras nära upp- respektive nedströms strukturer eftersom modellen inte tar hänsyn till friktionen genom strukturerna vid beräkning av flödet genom dessa. Strukturer placeras alltid i q-punkter (MIKE 11 User Guide, 2009).

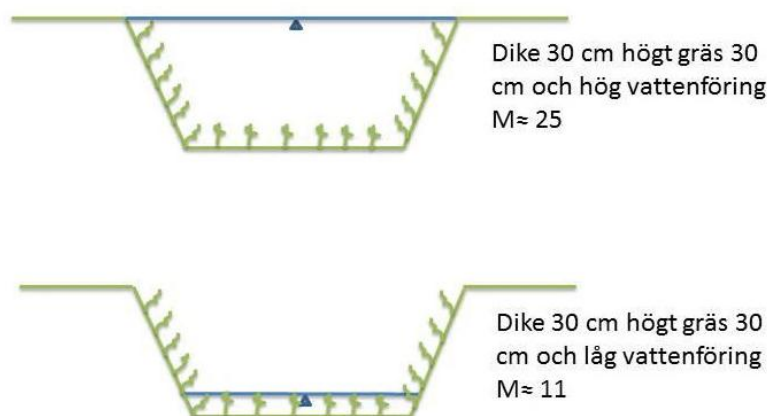
Antalet tvärsektioner som har digitaliserats i modellen över Funboån är 113 stycken och avståndet mellan dessa varierade mellan cirka 40 och 500 meter. För de tvärsektioner där botten-topografin var bristfällig användes botten-topografin från närliggande tvärsektioner och broritningar.

Bestämning av friktionsvärden i och kring Funboån

För produktion av tillförlitliga översvämningskartor behövs friktionsvärden, till exempel Mannings tal, M , i området bestämmas. Helst ska värdet på Mannings tal sättas utifrån kalibrering av modellen där modellen körs med data från tidigare kända översvämningskartor, alternativt med hjälp av värdet på Mannings tal från andra kalibrerade modeller i liknande områden (MIKE 11, Reference Manual, 2009). Det finns också riktlinjer för hur Mannings tal ska sättas för olika ytor (tabell 7). Speciellt för diken, finns anvisningar för hur Mannings tal ska sättas utifrån höjd på gräset i diket (tabell 7) samt hur hög vattenföringen beräknas vara i vattendraget (figur 13). Brant (2009) poängterar i sin rapport vikten av att mäta in huvudfårans friktionsvärden korrekt. Friktionen i omgivande mark kommer att få mindre betydelse förutsatt att översvämningskartan inte sprider ut sig för mycket lateralt.

Tabell 7 Mannings tal för olika ytor, baserad på tabell i Vägverket (2008)

Mannings tal, M för olika ytor samt diken	
Asfalt	70-85
Grus	40-50
Kort gräs	30-35
Långt gräs	25-30
Gräsklädda diken, 5 cm högt gräs	15-30
Gräsklädda diken, 30 cm högt gräs	11-25



Figur 13 Mannings tal vid förändrad vattenföring, baserad på figur i Vägverket (2008).

I MIKE 11 anges vattendragets råhet som antingen Mannings tal, M , Mannings skrovlingskoefficient, n eller Chezy tal, C . Mannings tal kan sättas globalt för hela området. Dessutom kan det globala värdet kompletteras med lokala värden för områden som skiljer sig från området i stort. Förutom att det är möjligt att sätta både globala och lokala värden i en "uniform approach" är det möjligt att dela in tvärsektionerna i tre zoner så kallad "triple zone approach". Skillnaden är att med "triple zone approach" delas tvärsektionen in i tre delar och olika värden på Mannings tal kan ges för de olika zonerna (MIKE 11 User Manual, 2009). Med denna metod är det följaktligen möjligt att ge specifika värden på Mannings tal för botten, åslänter och åslätter, till exempel kan bottenzonen ges högre värden då vegetationen på botten ofta är mindre än i slänterna.

För modellen för Funboån har Mannings tal M använts. Området kring Funboån utgörs till största delen av ca 30 cm högt gräs, dessutom förekommer områden med mycket vass. För den modell som MSB har gjort för Fyrisån har ett generellt värde på Mannings tal satts till 30, det värdet har också använts som riktvärde i modellen för Funboån. Utifrån de riktlinjer som beskrivits ovan har olika värden på Mannings tal testats i modellen. I modellen för Funboån har de lokala värden på Mannings tal som tagits fram vid jämförelsen utifrån foton vid tidigare översvämningssituationer använts.

Randvillkor

En hydraulisk modell simulerar vattennivåer i vattendraget utifrån givna randvillkor som vattenföring och vattenstånd. I MIKE 11 sätts randvillkoren i den så kallade "boundary editor". Flera olika typer av randvillkor kan anges och dessa beskrivs till exempel som "open

boundaries” som kan anges i början och slutet av modellen som bland annat ett inflöde eller en vattennivå, ”*point source*” som anges för platser i modellen där flöden tillkommer och ”*distributed point source*” som anges längs med vattendraget där flödet sprids ut jämt mellan två angivna punkter i vattendraget (MIKE 11 User Manual, 2009).

De randvillkor som användes i modellen för Funboån var *inflöde* för inloppet från Funbosjön och för övriga tillflöden till Funboån och *vattenstånd* i utloppspunkten i Fyrisån. Randvillkoret för inflödet sattes antingen konstant eller som en hydrograf. För randvillkoret för vattenstånd i utloppspunkten i Fyrisån, användes MSB:s modell för Fyrisån. Modellen för Fyrisån var i höjdsystemet RH_70 medan modellen för Funboån är i RH_2000. Efter beräkning av geoidhöjden i de båda koordinatsystemen i punkten för värdet på vattenståndet i Fyrisån korrigerades höjderna i modellen för Fyrisån med +1,8 dm för att gälla modellen för Funboån (Lantmäteriet, 2011 b). För ett 100-årsflöde sattes vattennivån konstant i utloppspunkten i Fyrisån till 2,31 m och för ett BHF till 3,96 m. För randvillkor som använts vid de olika simuleringarna, se tabell A.5 i appendix A.5, underlag för simuleringar.

Broar och kulvertar

Broar och kulvertar beskrivs i MIKE 11 som ”*Structures operations*”. I modellen har broarna över Funboån beskrivits som *weirs* eftersom de funktioner som beskriver broar i MIKE 11 normalt inte används i praktiken. I modellen för Funboån har 7 stycken broar lagts in som *weirs*. En av dessa broar beskrevs som en sammansatt bro, med 3 rektangulära kulvertar och en *weir*. Vad gäller *weirs* är det viktigt att dessa verkar flödesbegränsande, alltså måste arean för varje nivå på *weiren* vara mindre än samma nivå på tvärsnitten uppströms och nedströms (MIKE 11 User Manual, 2009). De broritningar som använts som underlag för att beskriva broarnas utseende samt bottenprofil har erhållits från Trafikverket. För placering av broar i modellen samt hur broarna lades in i modellen utifrån broritningarna, se (figur A.6) och (tabell A.6) i appendix A.6, broritning.

Val av tidssteg

I MIKE 11 finns ingen generell regel för vilket tidssteg som ska sättas vid respektive fall. För varje tidssteg beräknas vattenståndet i varje h-punkt och vattenföringen i varje q-punkt. Modellens stabilitet beror av förhållandet mellan avståndet mellan beräkningspunkterna och tidssteget. Följaktligen måste tidssteget sättas efter avståndet mellan beräkningspunkterna och vice versa för att undvika instabilitet (MIKE 11 Reference Manual, 2009). Tidssteget valdes i modellen för Funboån till 0,1 min. Om ett högre tidssteg valdes blev modellen instabil.

Simuleringsperiod

Simuleringsperioden valdes utifrån hur lång tid det tog för modellen att ställa in sig, alltså bli stabil. Eftersom modellen i huvudsak kördes för konstanta inflöden ställde modellen in sig mycket snabbt. För simuleringarna med konstanta inflöden sattes simuleringsperioden till fem dagar. För de simuleringar där hydrografer användes sattes simuleringsperioden till antalet dagar hydrografen sträckte sig över.

Kalibrering- jämförelse mot foton vid översvämningssituationer

Kalibrering är avgörande för att modeller ska efterlikna verkligheten så bra som möjligt. Eftersom de flesta parametrar i hydrauliska modeller är empiriska måste modellerna

kalibreras mot tidsserier på hydrologiska observationer. Resultatet av en fullvärdig kalibrering bör visa att modellerad avrinning stämmer överens med observerad, det vill säga hydrograferna bör ha ett liknande utseende och toppflödena bör stämma överens med hänsyn på tidpunkt och storlek. Dessutom bör modellen kunna beskriva låga flöden på ett bra sätt. I en generell utvärdering kontrolleras modellerade data på bland annat vattenstånd mot uppmätta data. För att genomföra en kalibrering krävs generellt kontinuerligt uppmätta data över en tidsperiod av 3-5 år. Kortare serier kan användas, dock blir kalibreringen inte lika tillförlitlig. Förutom kalibrering bör för bästa resultat modellen också valideras på data som inte tillhör kalibreringen (MIKE 11 Reference Manual, 2009).

Kalibrering specifikt för att modellera översvämningssituationer kräver också data vid extremsituationer. För att få bästa resultat av kalibreringen bör man ha tillgång till vattenstånd och vattenföring på flera olika platser längs vattendraget vid översvämningssituationen. Detta behövs bland annat för att det är skillnader i Mannings tal i olika delar längs vattendraget vilket påverkar utbredningen på översvämningen.

Eftersom kontinuerligt uppmätta tidsserier saknades för Funboån kunde modellen inte kalibreras enligt ovan nämnda metod. Modellen för Funboån kalibrerades istället i huvudsak genom att variera Mannings tal vilket ger en bedömning av åns friktionsförluster på grund av vegetation, meandering och varierande sektionsareor. Kalibreringen utfördes som en jämförelse utifrån foton för två översvämningssituationer. Dessa visade översvämningen söder om Lövsta i december 2008 (Rodhe, 2011) och översvämningen vid Funbo kyrka i april 2010 (Bengtsson, 2011). Hydrografer skapades för vattenföringen vid respektive tidpunkt och Mannings tal varierades till dess att modellen stämde överens med foton och givet vattenstånd vid Gamla bron. Mannings tal sattes lokalt så att ju mer vass det fanns i åslänterna desto lägre värde sattes på Mannings tal. Globalt sattes Mannings tal till 30. Vattenståndet i Fyrisån sattes till 1,74 m utifrån MSB:s beräknade vattenstånd och vattenföring i modellen för Fyrisån. En kalibrering av detta slag, eller egentligen endast en jämförelse mot foton, är inte speciellt noggrann, men det var inte möjligt att genomföra en mer tillförlitlig kalibrering inom ramen för detta examensarbete eftersom det kräver bland annat mätningar av flöde och vattenstånd vid översvämningssituationer.

Generering av kartor över översvämmade områden

I MIKE 11 kan tvådimensionella kartor skapas utifrån endimensionella simuleringar. Kartorna ska alltså ses som en tvådimensionell tolkning av resultatet från en endimensionell simulering. Kartorna kan bara skapas inom tvärsektionerna. För att också kartera områdena mellan tvärsektionerna sker en interpolering mellan dessa. För att förbättra interpolering kan en DEM-fil användas vid karteringen, den beskriver utseendet på terrängen mellan tvärsektionerna. Det är möjligt att skapa kartor som visar bland annat vattenstånd, vattendjup och hastighet utifrån simuleringsresultaten. Kartorna som skapas kan vara av tre typer, utifrån maximala värden, minimala värden eller dynamiska (MIKE 11 User Manual, 2009).

För Funboån har kartor skapats över vattenståndet för de maximala värdena. Storleken på cellerna valdes till 2,5 meter. Rutor på 1 meter hade varit önskvärt eftersom terrängmodellen

baseras på enmetersceller men det var inte möjligt på grund av otillräcklig datorkapacitet. Vid karteringen användes terrängmodellen som en så kallad DEM.

3.6.3 Studie av resultat i MIKE View

MIKE View är ett tillägg till bland annat MIKE 11 för att visualisera och analysera resultatfiler. I modellen för Funboån användes följaktligen MIKE View för att studera resultatfilerna från MIKE 11. Modellens stabilitet kontrollerades genom att visuellt studera de horisontella profilerna, som också skapats i MIKE View, samt genom att studera hur ”vattnet fylls på” dynamiskt i den horisontella profilen vid översvämningssituationer. Dessutom studerades de maximala nivåerna och vid vilken tidpunkt de maximala nivåerna inföll i respektive tvärsektion.

3.6.4 Presentation av resultatet i ArcGIS

Resultatfilerna exporterades till ArcGIS där en visuell kontroll av de översvämmade områdena genomfördes mot höjder i terrängmodellen, höjdkurvor och ortofoton. Felaktigt översvämmade ytor identifierades och togs bort. Felaktigt översvämmade ytor kan bland annat uppkomma på grund av att programmet inte kan ta hänsyn till att marknivån är djupare, utanför dikeskrönen. Följaktligen kommer vattenståndet i dessa dalar fyllas upp samtidigt som vattenståndet i vattendraget utan att vattenståndet nått upp över krönkanten. Dessutom korrigerades vissa ”tvärsdelar” av karteringen som inte såg trovärdiga ut.

3.7 SIMULERING AV MODELLEN FÖR FUNBOÅN

Modellen för Funboån har körts på flera olika scenarier. För att testa hur mycket vattenståndet i Fyrisån påverkar vattenståndet i Funboån kördes modellen utan inflöde men med konstat vattenstånd i Fyrisån, enligt 100-årsflödet och BHF.

För att visa hur översvämningsutbredningen påverkas av olika värden på Mannings tal har modellen simulerats med olika globala värden för 100-årsflödet beräknat med SMHI:s värden. Dessutom har införandet av lokala värden studerats samt huruvida modellen kan förbättras genom att använda ”*triple zone approach*”.

Vidare, för att studera hur känslig modellen var mot förändringar i vattenföringen kördes modellen för flera olika flöden kring det beräknade 100-årsflödet. De lokala värden på Mannings tal som tagits fram användes, det vill säga för den modell som bedömdes beskriva översvämningsdynamiken kring Funboån bäst.

När modellen kalibrerats och dess känslighet för både förändringar i friktionsvärden och storlek på vattenföringen testats ansågs modellen tillräckligt tillförlitlig. Modellen för Funboån kördes med konstanta värden för 100-årsflödet beräknat med Vägverkets metod, utifrån SMHI:s värden, med Vägverkets klimatanpassade värden och med en hydrograf för BHF.

Vissa simuleringar för 100-årsflödet är körda med konstanta inflöden. Att 100-årsflödet är konstant över tiden är inte sannolikt. Mer sannolikt är att 100-årsflödet nås efter en uppstegning av vattenföringen till ett maximalt värde och att det sedan avklingar. Eftersom modellen karterar efter det maximala vattenståndet borde det inte vara någon skillnad mellan att köra modellen på konstanta värden jämfört med att köra den med en hydrograf. Däremot,

liksom i verkligheten, tar det en tid viss för modellerna att översvämma hela ytorna, varför simulering med konstanta inflöden kan överskatta översvämningsutbredningen eftersom modellen hinner ställa in sig. För att kontrollera om det blir någon skillnad om modellen kördes med hydrografer istället för konstanta inflöden skapades hydrografer anpassade för att återspegla flödessituationen vid ett 100-årsflöde beräknat med Vägverkets metod.

För att undersöka om det uppkommer översvämningar till följd av intensiva regn i de mer urbana områdena har olika scenarier simulerats. För simuleringarna har regnet antagits gå i ledning eftersom det ger de värsta scenarierna. 10-årsregnets respektive ett 100-årsregnets påverkan på översvämningsutbredningen testades genom att skapa hydrografer på de urbana områdenas bidrag utifrån dimensionerad vattenföring och rinntid till Funboån. 10-årsregnet simulerades tillsammans med ett 100-årsflöde, det beräknat med Vägverkets metod och 100-årsregnet med ett medelflöde samt ett medelhögflöde i Funboån.

3.8 ÅTGÄRDER

För att undersöka hur olika åtgärder påverkar översvämningsutbredningen kördes också modellen för Funboån för några åtgärdssituationer (tabell 8). De åtgärder som undersöktes och ansågs rimliga att genomföra för Funboån var huruvida trånga sektioner kunde förändras och utifall muddring/rensning av vissa delar av vattendraget gav något resultat.

Tabell 8 Förslag på åtgärder för att minska översvämningsutbredningen

Åtgärd	Typ av Åtgärd
1	Mannings tal förändras lokalt upp till $M=20$ vid ön
2	Mannings tal sätts globalt till $M=30$
3	Ön vid Funbo kyrka tas bort, tvärsektionens utseende förändras alltså
4	Gamla bron tas bort
5	Kombinerad åtgärd, $M=30$, utan Gamla bron och utan ön
6	Rensning på block och nedsänkning av tvärsektionen vid fallet vid Spångtorp

4 RESULTAT

Huvudsyftet med att ta fram modellen för Funboån var att simulera översvämningsutbredningen kring Funboån för olika extrema flöden, vilket redovisas i det här kapitlet. Som underlag till dessa simuleringar redovisas också resultatet av beräknad vattenföring för de olika extrema situationer, jämförelsen mot foton från översvämningsituationer och studien av modellens känslighet för ändringar av vattenföring och ändringar av Mannings tal. Dessutom redovisas resultatet av simuleringarna av möjliga åtgärder för att minska risken för framtida översvämnings.

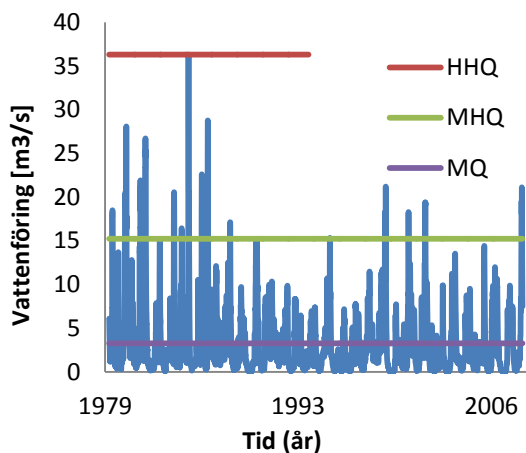
4.1 VATTENFÖRING

4.1.1 Beräkning av 100-årsflödet

Beräkningen av vattenföringen med de olika metoderna skiljer sig mycket. Högst blev vattenföringen räknat med Vägverkets metod och lägst med den statistiska metoden där data transformerats från Sävjaån. Ingen av metoderna stämmer väl överens med de erhållna extrema värdena på vattenföringen från SMHI:s flödesstatistik, 42 m³/s för Utloppet Funbosjön och 52 m³/s för Ovan Storån.

Statistik, omskalning av data från Sävjaån

En karakterisering av vattenföringen utifrån vattenföringsdata från vattenföringsstationen i Sävjaån resulterade i bestämning av MQ, MHQ och HHQ för Funboån (figur 14).



Figur 14 Karakterisering av vattenföringen för Ovan Storån med HHQ, MHQ och MQ.

Med omskalning av data från Sävjaån beräknades 100-årsflödet för beräkningspunkten Utloppet Funbosjön till 17 m³/s och vid Ovan Storån till 32 m³/s.

Statistik med POT-analys

Enligt POT-analysen på data från HomerWeb beräknades 100-årsflödet för beräkningspunkten vid Utloppet Funbosjön till 33 m³/s och vid Ovan Storån till 39 m³/s.

Vägverkets metod

Enligt Vägverkets metod beräknades 100-årsflödet för beräkningspunkten Utloppet Funbosjön till 56 m³/s och vid Ovan Storån till 72 m³/s. 100-årsflödet anpassat till klimatförändringarna

beräknades med Vägverkets metod till 67 m³/s vid Utloppet Funbosjön och till 86 m³/s vid Ovan Storån. För resultaten av beräkningarna med Vägverkets metod, se (tabell 9).

Tabell 9 Beräknade 100-årsflöden för punkterna Ovan Storån och Utloppet Funbosjön

	Ovan Storån	Utloppet Funbosjön
MQ [m ³ /s]	3,3	2,5
MHQ [m ³ /s]	18	14
MHQ _{just} [m ³ /s]	21,5	16,8
HHQ ₁₀₀ [m ³ /s]	71,8	56
HHQ _{100 just} [m ³ /s]	86,1	67,1

4.1.2 Tillflöden som mynnar till Funboån

Beräkningarna av tillflödena till Funboån för de olika 100-årsflödena visade på att Samnan bidrar med det största tillflödet, Lillån med det näst största och minst blev bidraget från ån från Trehörningen (tabell 10).

Tabell 10 Tillflöden från Lillån, Trehörningen och Samnan

	Lillån	Trehörningen	Samnan
Vägverket [m ³ /s]	5,3	3,1	7,0
SMHI [m ³ /s]	3,9	2,3	5,1
Klimat [m ³ /s]	6,4	3,7	8,3

4.1.3 Urbana bidrag vid intensiva regn

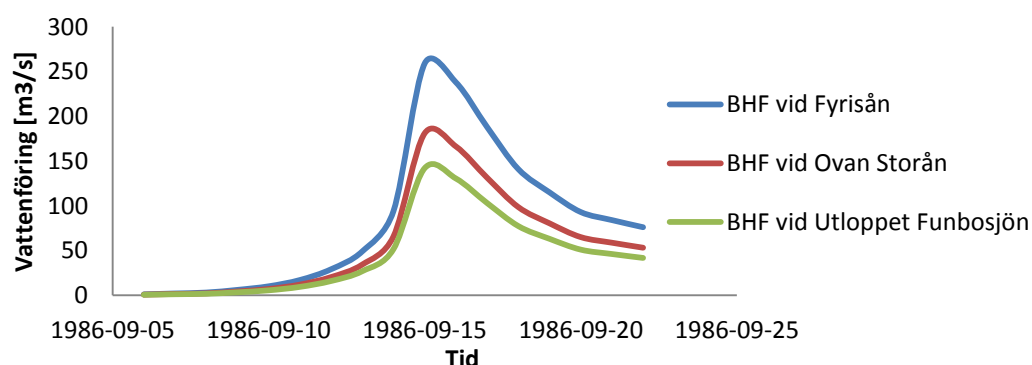
Resultatet av beräkningarna av tillflödena till Funboån till följd av intensiva regn visar på stora skillnader i om vattnet inom de urbana områdena leds av i ledning eller som markavrinning. Under antagande att vattnet i de urbana områden rinner av som markavrinningen blir det totala bidraget från de urbana områdena 5,8 m³/s för ett 10-årsregn och 12,3 m³/s för ett 100-årsregn. Antas istället vattnet gå i ledning blir den totala dimensionerande vattenföringen 23,2 m³/s för ett 10-årsregn och 49,8 m³/s för ett 100-årsregn. Mest troligt är att viss avrinning sker på marken och viss i ledning och det totala bidraget är någonstans mitt emellan det beräknat med markavrinning respektive avvattning i ledning. För respektive områdes bidrag till den totala dimensionerade vattenföringen samt rinntiderna till Funboån se (tabell 11). Eftersom de urbana områdena är olika stora och ligger olika långt från Funboån, varierar tidpunkten för den maximala flödestoppens ankomst till Funboån. Vid ett 10-årsregn bli vattenföringen från de urbana områdena maximalt, vid samma tidpunkt, 16,8 m³/s och vid ett 100-årsregn 35,9 m³/s.

Tabell 11 Resultat av beräkning av dimensionerande vattenföring från de urbana områdena

Område	1	2	3	4	5	6	7	8
Area [km ²]	0,89	0,31	0,05	0,12	0,15	0,13	0,41	0,29
Dimensionerande vattenföring (q_{dim}), 10-års regn på marken [m ³ /s]	1,9	0,8	0,1	0,5	0,5	0,3	0,9	0,9
Dimensionerande vattenföring (q_{dim}), 10-års regn i ledning [m ³ /s]	7,8	3,8	0,6	1,4	1,8	1,6	2,7	3,6
Dimensionerande vattenföring (q_{dim}), 100-års regn på marken [m ³ /s]	3,9	1,7	0,2	1,0	1,0	0,7	1,9	1,9
Dimensionerande vattenföring (q_{dim}), 100-års regn i ledning [m ³ /s]	16,7	8,1	1,2	3,0	3,9	3,3	5,8	7,8
Rinntid till Funboån [min]	30,0	26,7	15,8	0	8,3	21,7	5,0	28,3

4.1.4 Beräknat Högsta Flöde, BHF

Maximala flödet i BHF-hydrografen för Funboån, som beräknats utifrån BHF-hydrografen för Sävjaåns utlopp i Fyrisån beräknades till 142 m³/s för Utloppet Funbosjön och till 181 m³/s för beräkningspunkten Ovan Storån (figur 15).

**Figur 15** BHF-hydrografen för utloppet i Fyrisån, Ovan Storån och Utloppet Funbosjön.

4.2 SIMULERINGSRESULTAT

4.2.1 Jämförelse med observerade översvämningar

Resultatet av den mycket grova kalibreringen utifrån fotografier vid översvämningarna i april 2010 visade att modellerat vattenstånd vid Gamla bron väl stämde överens med uppskattat maximalt vattenstånd. Resultat uppnåddes med värdena på Mannings tal enligt tabell 12. Små variationer runt ± 2 i Mannings tal påverkade inte resultatet på vattenståndet vid Gamla bron. Vid en jämförelse också med fotografierna över översvämningarna vid Lövstafjärden blev de modellerade översvämningarna av rätt storleksordning. Generellt var det mycket svårt att jämföra resultatet från modelleringen med fotografierna. För att bättre kunna kalibrera modellen behövs fler foton som bättre visar översvänningsutbredningen samt noggrannare

höjdangivelser på vattenståndet vid Gamla bron. Med noggrannare kalibrering skulle mer pålitliga värden på Mannings tal kunna tas fram. Med detta följer att simuleringarna med modellen för Funboån grundar sig på de värden på Mannings tal som satts vid en mycket grov kalibrering och ändras dessa kommer det också få konsekvenser på översvämningsutbredningen för de olika scenarierna.

Tabell 12 Värden på Mannings tal i modellen för Funboån

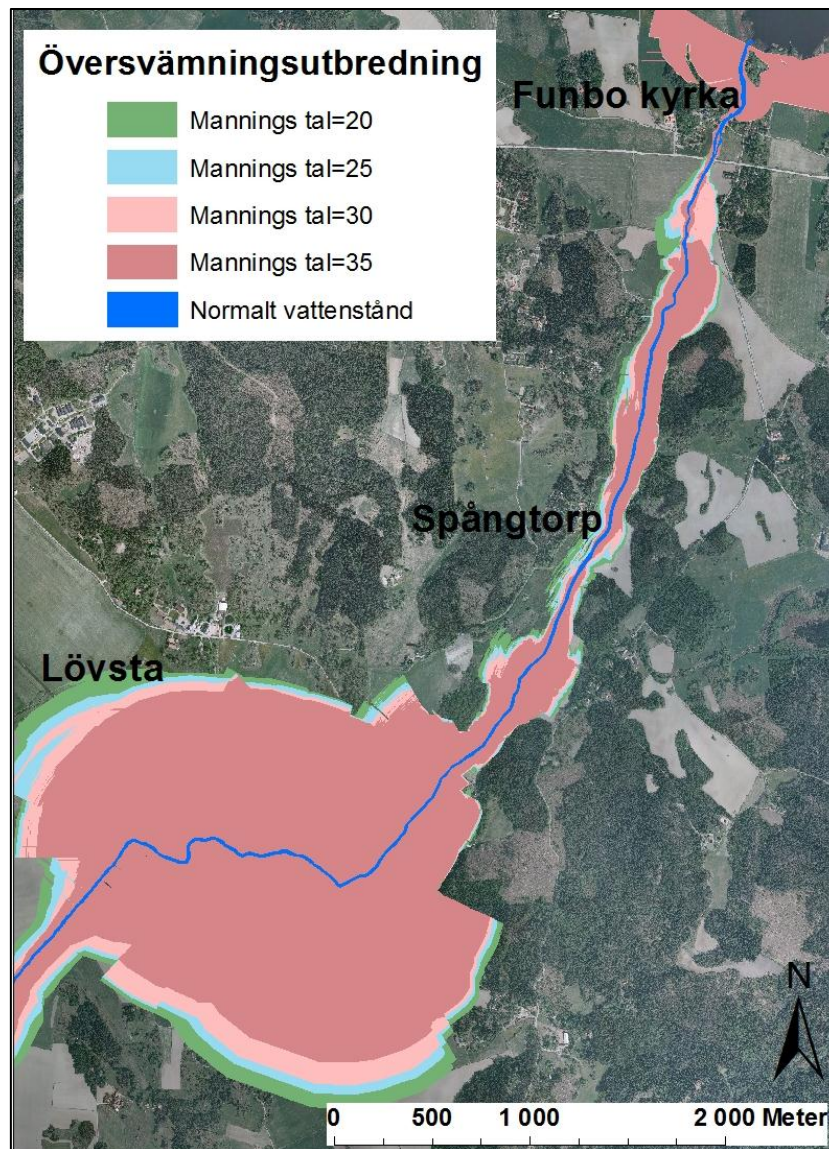
Meter från Utloppet Funbosjön (Chainage)	Mannings tal (M)
332	15
496	25
638	10
1393	15
2805	29
3013	27
3384	30
3470	27
4250	30
4324	27
6009	30
6102	27
6223	30
6376	27
Globalt	30

4.2.2 Påverkan av vattenståndet i Fyrisån

Vattenståndet i Fyrisån påverkar högt upp i systemet för Funboån då höjdskillnaderna mellan Fyrisån och Funboån är små. Resultatet av simuleringen med endast vattenståndet i Fyrisån som randvillkor, följaktligen utan inflöde, fyller upp botten i nästintill hela Funboån. Genom att köra modellen utan inflöde fås endast höjden på vattenståndet. För att vidare studera vattenståndet i Fyrisån påverkan på vattenståndet i Funboån bör olika vattenföringar i Funboån studeras mot olika vattenstånd i Fyrisån.

4.2.3 Känslighet vid förändring av Mannings tal

Översvämningsutbredningen påverkas mycket av valet på friktionsvärde, Mannings tal. Resultaten stämmer överens med teorin. Vid ökade Mannings tal minskar utbredningen av översvämningsområden eftersom ytans råhet blir mindre och därigenom avleds vattnet snabbare. Utslaget av förändringar i globala värden av Mannings tal blev störst i de flacka områdena (figur 16), eftersom vattenståndsförändringar har störst areell påverkan i flacka områden. Noterbart är att översvämningsutbredningen inte alls påverkas av förändringar i Mannings tal ovan Gamla bron vid Funbo kyrka, skillnaden i vattenstånd är endast ett par centimeter. Nedströms området kring Funbo kyrka (nedströms chainage 675), ökar påverkan av förändringar i Mannings tal betydligt med vattenståndsförändringar mellan 0,5 och 0,8 meter då Mannings tal varieras från 20 till 35.



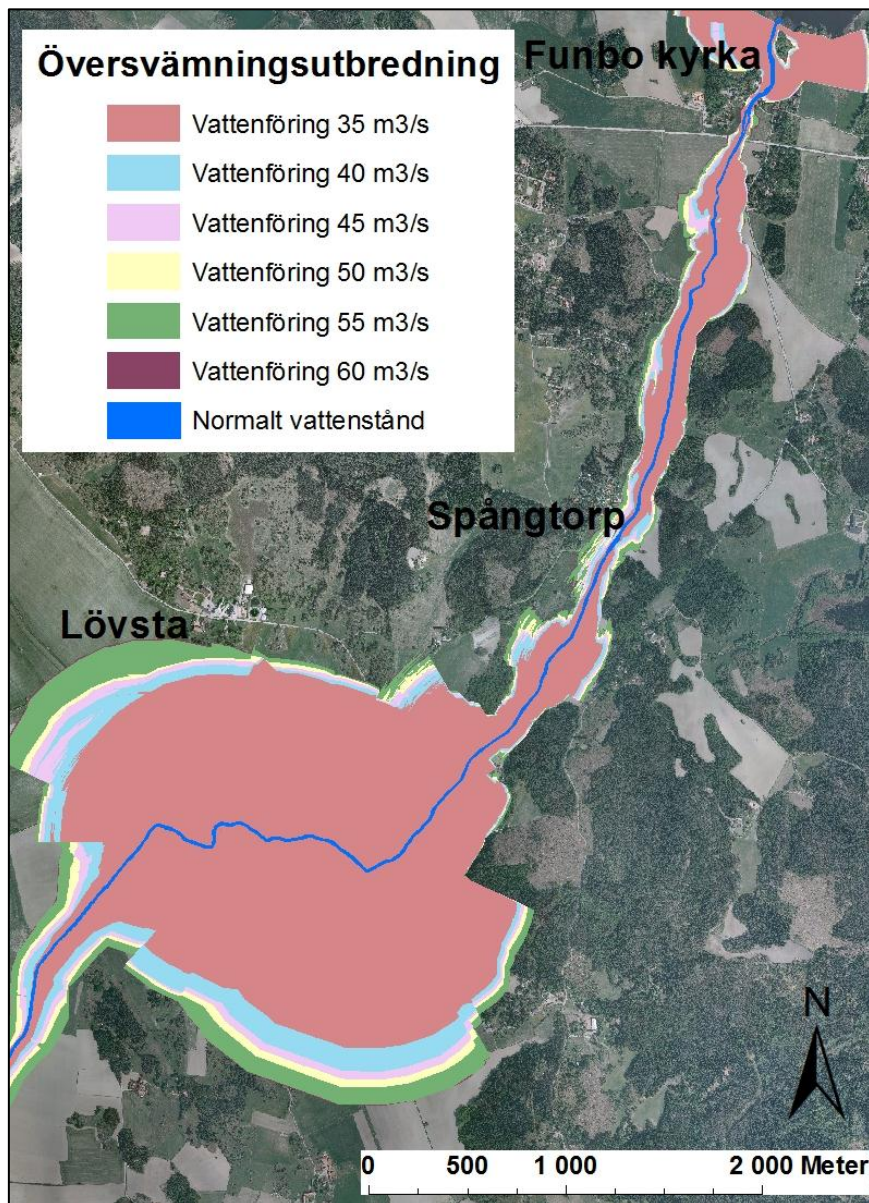
Figur 16 Resultat av varierat globalt värde på Mannings tal i intervallet 20-35. Karteringen har inte korrigerats för felaktig interpolering mellan tvärsektionerna.

Simuleringarna visar att det sker en viss förändring vid införandet av lokala värden på Mannings tal. Områdena framförallt i den översta delen av modellen är i stor utsträckning bevuxna med mycket vass. Till följd av detta användes lokala värden vid simuleringarna av 100-årsflödena och BHF för att på ett så korrekt sätt som möjligt beskriva friktionsförlusterna längs Funboån.

Resultatet av simuleringar med ”triple zone approach” påverkade resultatet, troligtvis till en mer korrekt kartering. På grund av tidsbrist undersöktes dock inte påverkan av ”triple zone approach” vidare och i modellen för Funboån användes den enklare ”uniform approach”.

4.2.4 Undersökning av varierad vattenföring kring beräknat 100-årsflöde

Hur översvämningens utbredning påverkas av variationer av den totala vattenföringen, mellan 35 och 60 m³/s, alltså kring det beräknade 100-årsflödet, beror på vilka delar av området som studeras (figur 17). Utbredningen sker inte linjärt utan beror av graden av kupering. De flackare områdena påverkades mest såsom området söder om Lövsta, där vattenståndsförändringen mellan högsta och lägsta testade flöde var cirka 1 meter. Vid Spångtorp där området är mer kuperat visade simuleringarna på en maximal vattenståndsförändring på cirka 0,8 m. I området kring Funbo kyrka förändrades vattenståndet med 0,8 meter uppströms Gamla bron och cirka 0,6 m nedströms Gamla bron. För vattenståndets variation vid de tre platserna, Funbo kyrka (uppströms gamla bron), Spångtorp och Lövsta vid varierad vattenföring se (tabell 13).



Figur 17 Översvämningens utbredning vid varierad vattenföring mellan 35 och 60 m³/s vid utloppet Funbosjön. Karteringen har inte korrigerats för felaktig interpolering mellan tvärsnitten.

Tabell 13 Vattenstånd vid Funbo kyrka, Spångtorp och Lövsta vid ändrad vattenföring

Vattenstånd [m]	Chainage	Vattenföring [m ³ /s]					
		35	40	45	50	55	60
Uppströms gamla bron	266	6,5	6,67	6,83	6,99	7,15	7,3
Spångtorp	2717	4,98	5,17	5,33	5,48	5,81	5,84
Söder om Lövsta	5588	4,81	5,02	5,2	5,37	5,75	5,77

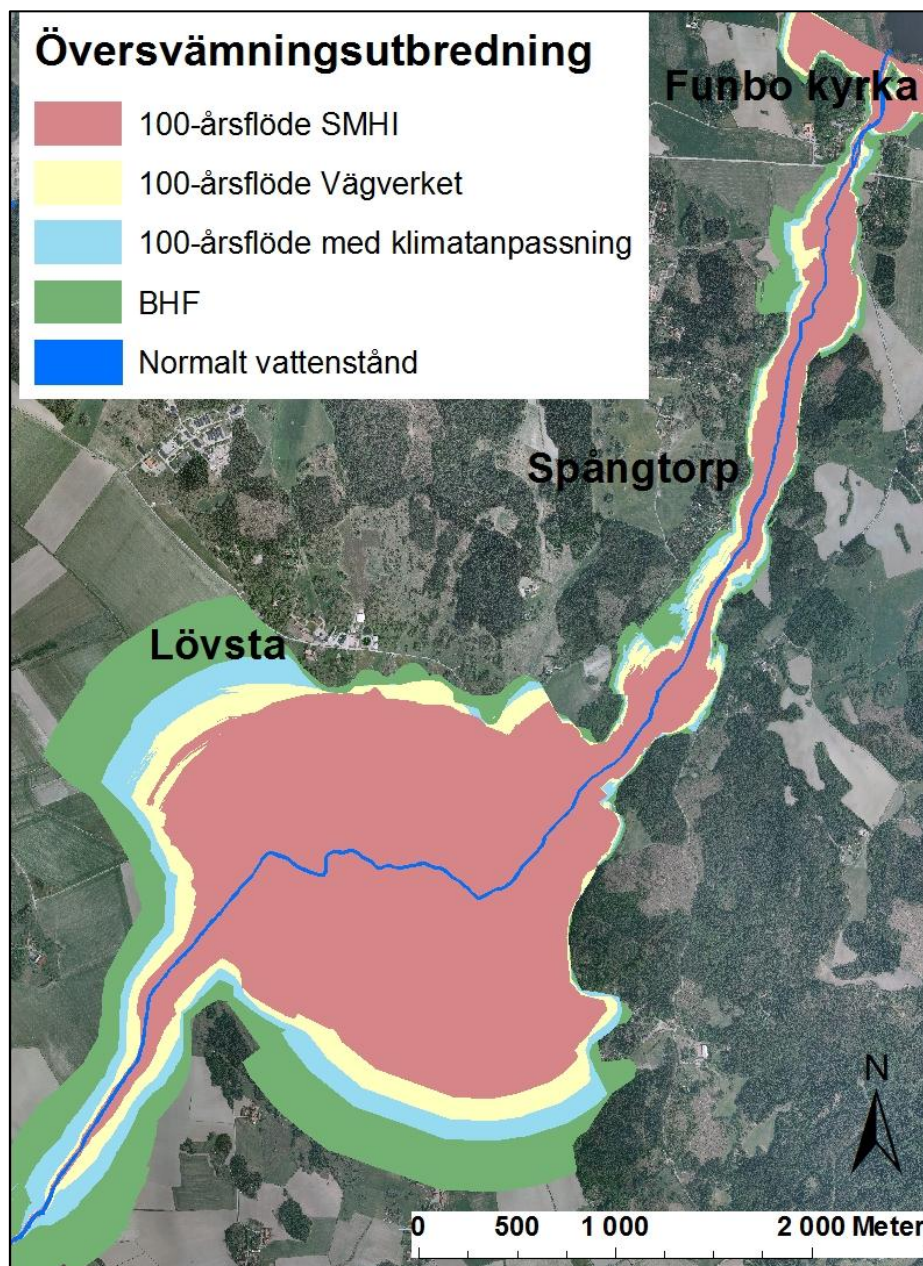
Ett viktigt resultat i analysen av förändrad vattenföring i storleksordningen av ett 100-årsflöde, var lokaliseringen av områden med stora skillnader i utbredning, alltså flacka områden. Eftersom resultatet av beräkningarna av 100-årsflödet skilde sig mycket kommer resultatet av översvämningsutbredningen bli betydligt osäkrare i dessa områden till följd av de stora variationerna i översvämningsutbredning. I de mer kuperade områdena med små förändringar är resultatet av simuleringarna av 100-årsflödet mer pålitliga. Området kring Spångtorp där åslänten åt väster är högre än i genomsnittet, är ett exempel på ett område där variationen mellan de olika flödena är reaktivt stor.

4.2.5 Hydrograf jämfört med konstanta inflöden

Resultatet av simuleringen med inflöden som hydrografer i modellen istället för konstanta flöden påverkar översvämningsutbredningen mycket marginellt för 100-årsflödet. Vattenståndsförändringen blir maximalt 0,1 meter högre i Funboån jämfört med om modellen körs med hydrografer. Med konstanta inflöden ökade vattenståndet med maximalt 0,4 meter i Funboån jämfört med när modellen kördes med hydrografer som inflöden. Med konstanta inflöden blir således utbredningen något större i vissa områden kring Funboån. Eftersom skillnaderna blev mycket små för 100-årsflödet kördes modellen för Funboån med konstanta inflöden eftersom modellen med konstanta inflöden är stabilare. Dessutom var osäkerheterna mycket stora kring hydrografernas utseende eftersom dessa endast bestäms mycket grovt utifrån MSB:s hydrografer i modellen för Fyrisån. Däremot var skillnaderna större för ett BHF och för simuleringen med ett BHF kördes modellen med hydrografer. Detta eftersom skillnaderna visade sig betydande och det ansågs inte heller rimligt med ett konstant inflöde med storleksordningen av ett BHF.

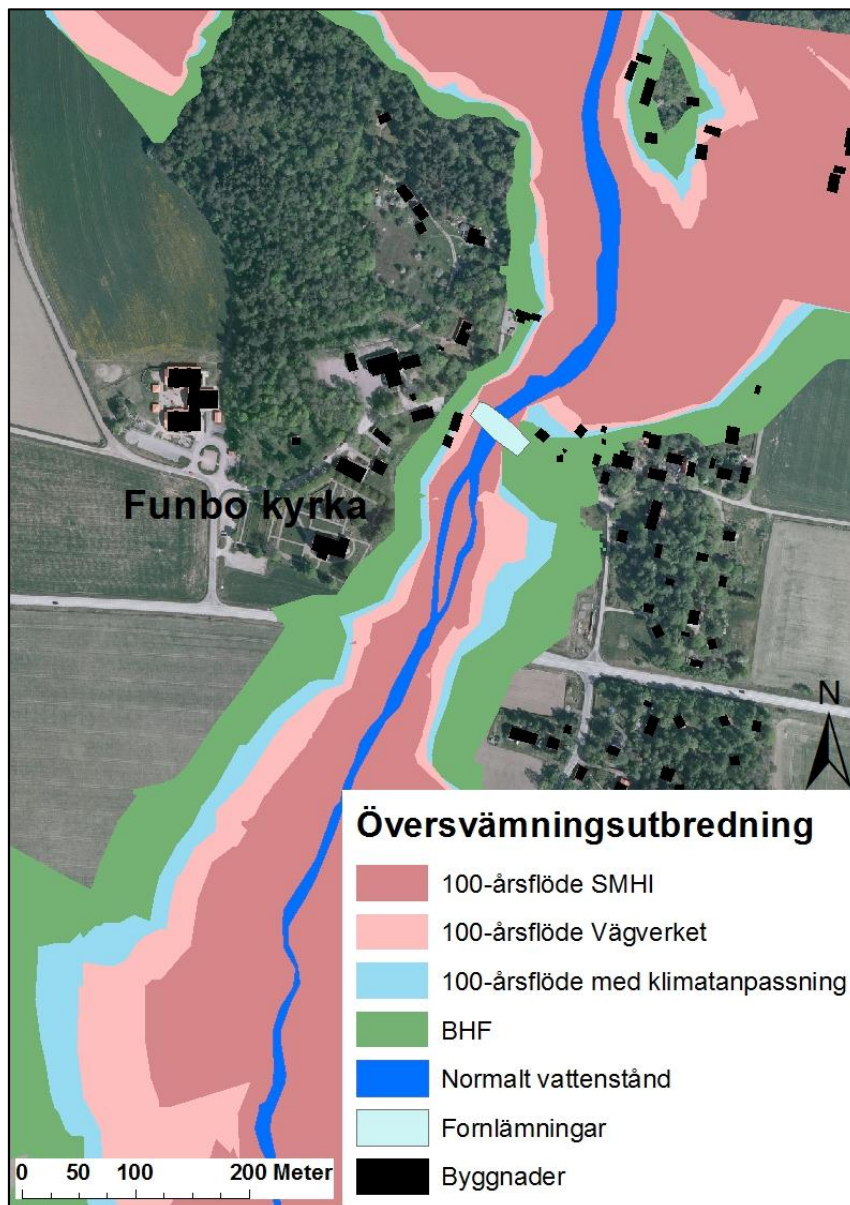
4.2.6 Resultaten av simuleringar med beräknade 100-årsflöden

Området som översvämmades vid de olika simuleringarna (figur 18), med de värden på Mannings tal som kalibrerats fram, stämmer genomgående väl överens med höjdkurvor i området, höjder i terrängmodellen och ortofoton. Generellt blir det stora skillnaderna i de flacka områdena medan skillnaden är marginell i de mer kuperade områdena. De områden som inte översvämmas ligger utanför riskzonen att drabbas av översvämningar till följd av hög vattenföring i Funboån. Översvämningar kan förekomma lokalt även i områdena utanför det karterade området vid förhållanden med mättade marker och kraftiga regn. För resultaten av översvämningskarteringen inzoomat för områdena Funbo kyrka, Spångtorp och Lövsta, se (figur 19-21). Dessa områden väntas drabbas värst av översvämningar då det i dessa områden finns en del bebyggelse, fornlämningar och känslig VA-verksamhet.



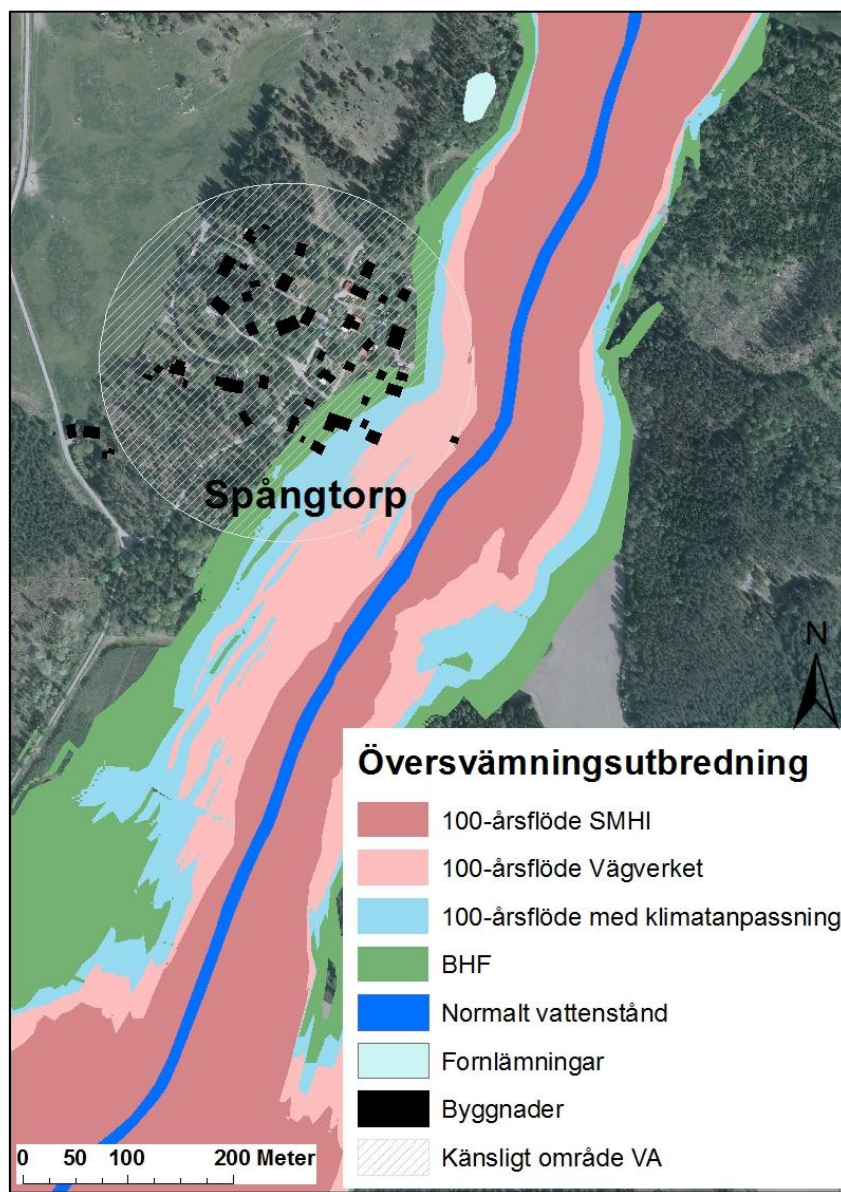
Figur 18 Översvämningsutbredning med de olika 100-årsflödena samt BHF.

Området kring Funbo kyrka drabbas idag av översvämningar relativt frekvent. Vid området uppströms Gamla bron ligger marknivån på omkring 5,7 meter. Simuleringarna visar att stora områden översvämmas vid de olika extremflödena (figur 19). Vid simuleringen med 100-årsflödet utifrån SMHI:s värden når vattenståndet upp till 6,7 meter och de flesta hus klarar sig från att översvämmas. Med 100-årsflödet beräknat med Vägverkets metod når vattenståndet upp till cirka 7,1 meter och ett fåtal hus bedöms översvämmas. Med ett klimatanpassat 100-årsflöde beräknades vattenståndet ovan Gamla bron till 7,5 meter vilket inte resulterade i att fler hus översvämmades. Området uppströms Gamla bron vid Funbo kyrka drabbas hårt av översvämningarna vid ett BHF. Flera hus ligger innanför översvämningssområdet och stora delar av åkrarna nedströms Gamla bron lades under vatten vid simuleringarna. Vattenståndet uppströms Gamla bron beräknades vid ett BHF till 9,3 meter.



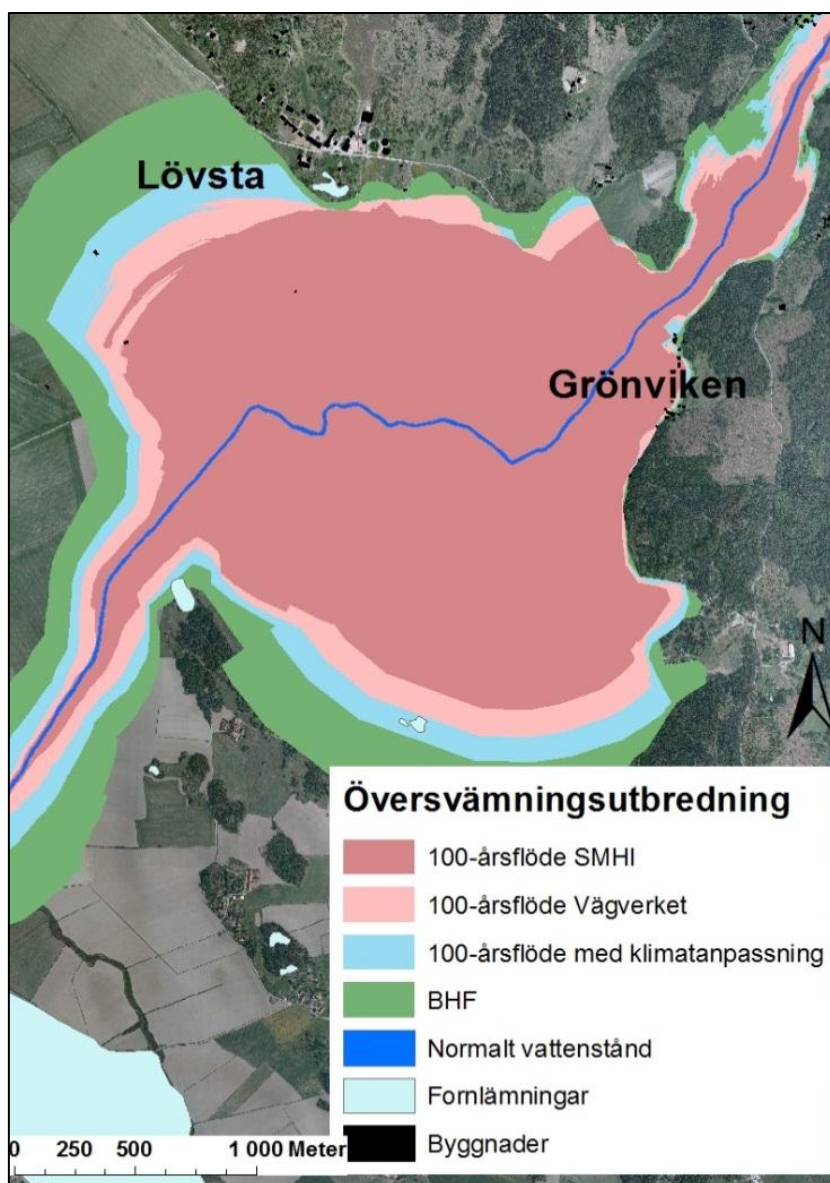
Figur 19 Översvämningssutbredning i området kring Funbo kyrka för 100-årsflödena och BHF, Gamla bronns placering visas som en forn lämning.

Området längre nedströms vid Spångtorp är det område där flest hus ligger i närheten av Funboån, dessutom finns fornlämningar i området samt ett område med känslig VA-verksamhet. Marknivån vid Spångtorp ligger på cirka 5 meters nivå närmast Funboån vid de västra åslänterna och något lägre vid de östra, cirka 4,6 meter. För resultatet från simuleringen kring Spångtorp, se (figur 20). Med SMHI:s värden på 100-årsflödet klarar sig husen i Spångtorp från att översvämmas, då vattenståndet endast stiger upp till maximalt 5,2 meter. Med 100-årsflödet som baseras på Vägverkets metod hamnar husen precis på gränsen till det översvämmade området då vattenståndet stiger upp till 5,7 meter. Vid simuleringen med det klimatanpassade flödet hamnar ett par hus innanför det översvämmade området då vattenståndet stiger upp till 6,0 meter. Vid en översvämningssituation med ett BHF skulle husen längst i sydöst ligga inom översvämningssområdet då vattenståndet skulle stiga upp till 7,1 meter.



Figur 20 Översvämningssutbredning i området kring Spångtorp för 100-årsflödena och BHF.

Åkrarna söder om Lövsta översvämmades kraftigt vid simuleringarna med samtliga studerade extremflöden (figur 21). Det är också i detta område som skillnaderna mellan de olika flödena blir tydligast eftersom området är mycket flackt, marknivån ligger på omkring 4 meter. Maximalt vattenstånd med SMHI:s värden på 100-årsflödet blev 5 meter att jämföra med 5,6 meter för 100-årsflödet med Vägverkets värden. Med klimatanpassat flöde skulle vattenståndet stiga upp till 6 meter. Karteringen med ett BHF visade på att husen vid Lövsta översvämmas. Efter studie av höjdkurvor samt laserskannade visade det sig dock att karteringen blivit felaktig i det området. Husen i Lövsta ligger på en höjd mellan cirka 11 och 20 meter och eftersom vattenståndet vid ett beräknat högsta flöde endast nådde upp till maximalt 7,1 meter är det inte möjligt att dessa hus översvämmas. I detta område har därför karteringen justerats. Åkrarna söder om Lövsta kommer helt och hållet att stå under vatten vid en högflödessituation vid de studerade flödena. Dessutom visar simuleringarna på att flera hus i Grönviken riskerar att översvämmas vid extremflöden.

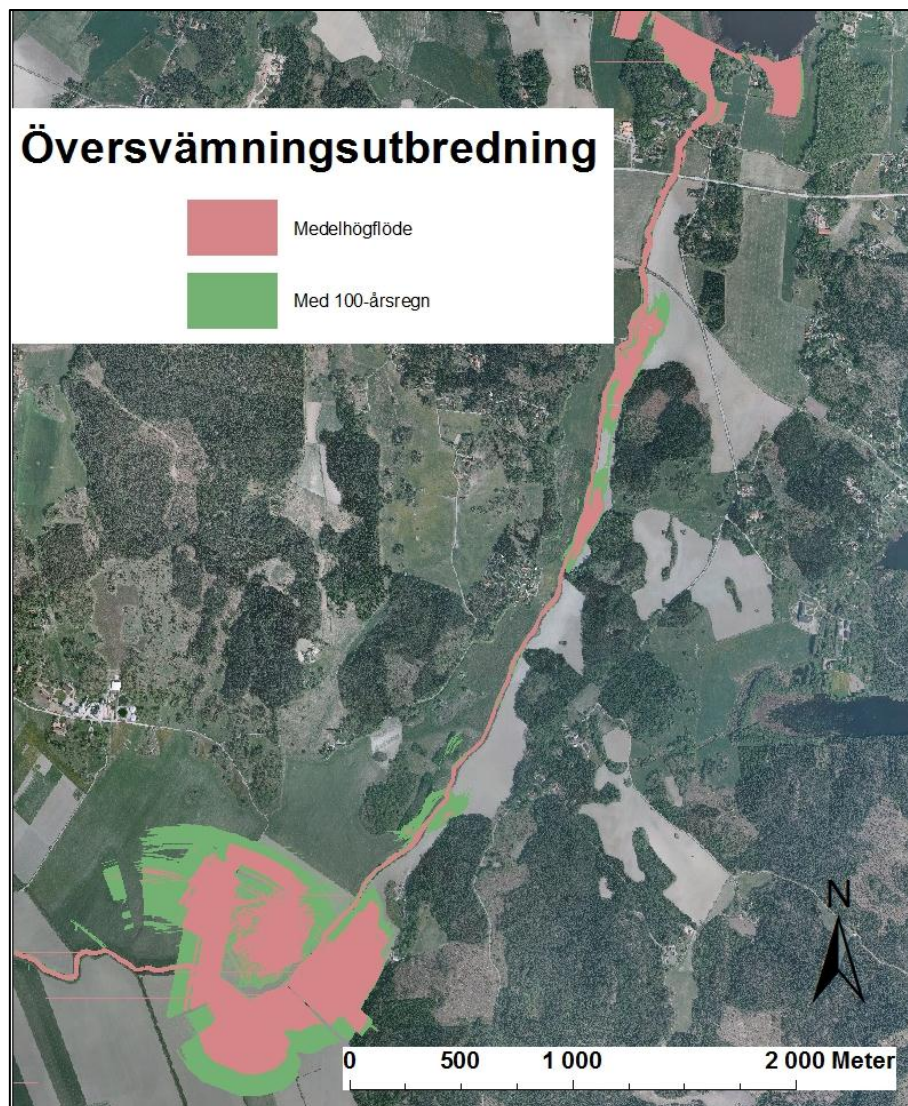


Figur 21 Översvämningsutbredning i området söder om Lövsta för 100-årsflödena och BHF.

Modellen för Funboån visar dessutom att höga flöden ger upphov till stora översvämningar vid Kungsängen, vid Sävjaåns utlopp i Fyrisån. Dess utbredning är dock osäker då modellen för Funboån endast är översiktlig i Sävjaåden. Utbredningen har inte undersökts noggrannare. Anledning till modellen för Funboån sträcker sig hela vägen ner till Fyrisån var att randvillkor skulle kunna tas från MSB:s modell för Fyrisån och inte för att undersöka översvämningens utbredning vid bland annat Kungsängen.

4.2.7 Påverkan av intensiva regn

Intensiva regn i de mer urbana områdena kring Funboån påverkar vattenföringen i ån. Simuleringarna visade att när ett 100-årsregn inträffade vid ett medelflöde i Funboån sker inga översvämningar längs ån. Ett medelhögflöde i Funboån, tillsammans med ett 100-årsregn skulle däremot öka översvämningens utbredning, i vissa delar av området (figur 22). Den maximala vattenståndshöjningen blir ca 3 dm på grund av intensiva regn. Vidare visar simuleringarna att ett 10-årsregn vid ett 100-årsflöde i Funboån inte påverkar översvämningens utbredning annat än mycket marginellt.



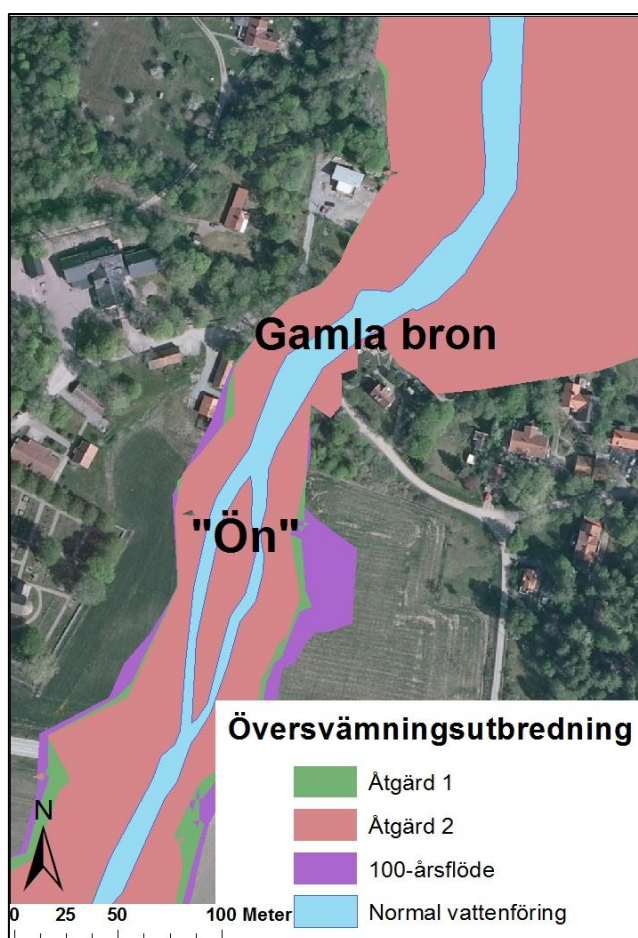
Figur 22 Påverkan av intensiva regn, ett 100-årsregn vid ett medelhögflöde.

4.3 RESULTAT AV SIMULERADE ÅTGÄRDER

Resultatet av simuleringarna av möjliga åtgärder visar på att det är mycket svårt att minska översvämningsutbredningen kring Funboån med rimliga åtgärder vid extrema flöden.

4.3.1 Åtgärd 1 och 2

Förändringar, endast i Mannings tal påverkar inte översvämningsutbredningen förutom mycket lokalt i området vid ön. Följaktligen bidrar åtgärder som att rensa området kring ön endast till att översvämningsutbredningen i det området minskar och det kommer inte påverka situationen uppströms (figur 23). I området kring ön minskar vattenståndet med 20 cm vid en rensning som motsvarar att ett globalt värde på 30 sätts i hela modellen. Ett globalt värde på Mannings tal på 30 innebär att hela vattendraget är fyllt med vatten och att höjden på växtligheten är cirka 30 cm.



Figur 23 Resultat av åtgärd 1 och 2 jämfört med 100-årsflödet för modellen för Funboån.

4.3.2 Åtgärd 3

Resultatet av simuleringen med åtgärd 3, där ön togs bort, visade att utseendet på tvärsnittet vid ön inte alls påverkar översvämningsutbredningen vid extrema flöden.

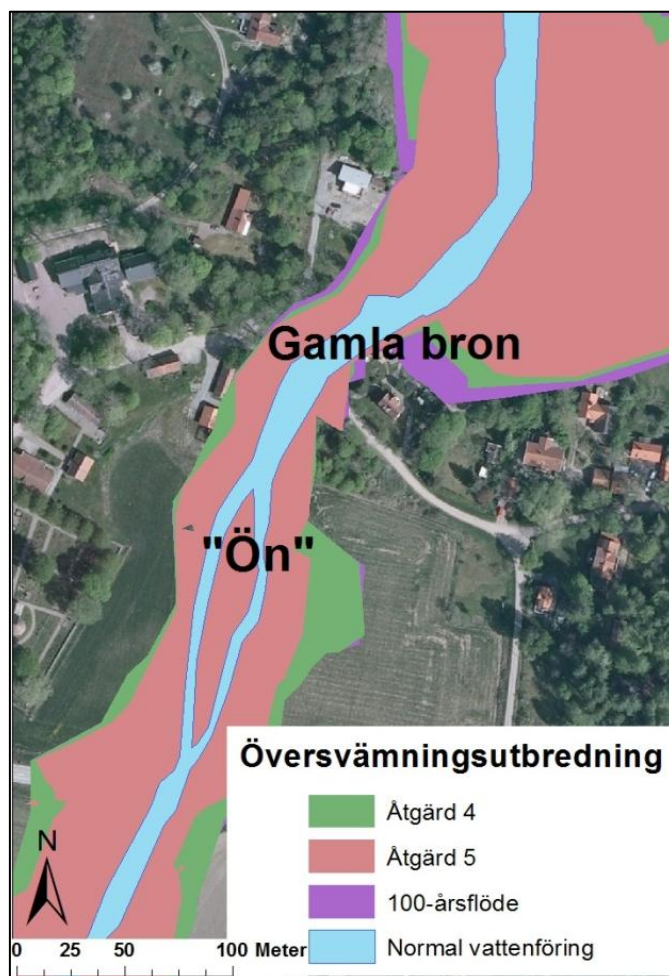
4.3.3 Åtgärd 4

Med åtgärd 4 där den Gamla bron togs bort, blev översvämningsarna uppströms Gamla bron betydligt mindre (figur 24). Vattenståndet sjönk relativt simuleringen med modellen för

Funboån med 4 dm, till 6,7 meter. Vattenståndet förändrades inte nedströms Gamla bron. Det är dock inte ett möjligt alternativ att ta bort Gamla bron eftersom den klassas som ett fornminne.

4.3.4 Åtgärd 5

En kombinerad åtgärd av att både ta bort Gamla bron, och förändra utseendet på tvärsektionen vid ön samt att sätta ett globalt värde på Mannings tal resulterade i den minsta översvämning-utbredningen vid ett 100-årsflöde beräknat med Vägverkets metod (figur 24). Vattenståndet ovan Gamla bron sjönk med denna kombinerade åtgärd till 6,5 meter uppströms Gamla bron och till 6,4 meter vid ön jämfört med 7,1 meter vid 100-årsflödet beräknat med Vägverkets metod.



Figur 24 Resultat av åtgärd 4 och 5 jämfört med 100-årsflödet med modellen för Funboån.

4.3.5 Åtgärd 6

Simuleringar med åtgärder vid området kring Funbo kyrka visar att översvämning-utbredningen ökar något vid Spångtorp. Resultatet av åtgärd 6, att rensa upp och sänka tvärsektionen vid fallet vid Spångtorp, påverkade inte resultatet mer än mycket marginellt. Detta visar på att beskrivningen av terrängen är viktigare för resultatet än beskrivningen av bottenprofilen vid höga flöden. Åtgärderna som simulerats minskade inte, utan ökade snarare översvämning-utbredningen vid Lövsta.

5 DISKUSSION

En översvämningsskartering har utförts för Funboån och översvämningsskartor har tagits fram som beskriver översvämningssutbredningen vid ett 100-årsflöde, vid ett BHF och vid ett 100-årsflöde med anpassning till klimatförändringarna. Till grund för detta har flera moment genomförts. Den statistiska karakteriseringen av vattenföringen är osäker men med de simuleringar som gjorts med olika vattenföringar måste resultatet av simuleringarna ändå bedömas kunna representera ett generellt 100-årsflöde. Med den jämförelse som genomförts på ändringar av vattenföring och av Mannings tal har känsligheten för modellen för Funboån ringats in och områden med osäkerheter kartlagts. Terrängmodellen bedöms representera terrängen kring Funboån väl, även om den i vissa avseenden är bristfällig. De åtgärdsförslag som simulerats, med förändrade värden på Mannings tal och breddning av ett fåtal tvärsektioner påverkar inte översvämningssutbredningen mer än lokalt vid området kring Funbo kyrka.

5.1 VATTENFÖRING

De framtagna extremvärdena för höga flöden skiljer sig mycket beroende på vilken beräkningsmetod som använts. Det visar på den stora osäkerheten i att bestämma vattenföringen i ett vattendrag där empiriskt uppmätta data saknas. SMHI:s extremvärden och det beräknade 100-årsflödet med Vägverkets metod ansågs mest trovärdiga.

5.1.1 SMHI:s flödesstatistik

Erhållna extremvärden från SMHI:s flödesstatistik bör vara de bästa, eftersom de tagits fram med hjälp av en avancerad modell och att data har justerats med hjälp av jämförbara flödesserier. Dock ska dessa flöden bara antas beskriva flödessituationen i ett 1900-tals klimat. Därtill är de mätdata som extremvärdena har beräknats utifrån för Funboån, från perioden 1919 till 1935. Då mätserien endast sträcker sig över 17 år är det sannolikt att den naturliga variabiliteten inte har kunnats beskrivas tillräckligt. Ytterligare ett problem är att data är cirka 100 år gammal och med detta följer att det är oklart hur väl dessa stämmer överens med dagens klimat. Dock bedöms problemen med detta minskats genom att data har justerats från jämförbara flödesserier.

5.1.2 Statistiska metoder

Beräkning av högflöden med de statistiska metoderna gav betydligt lägre flöden än den beräknade vattenföringen med både Vägverkets metod och extremvärdena erhållna från SMHI. Inom båda de statistiska metoderna finns stora osäkerheter i valet kring vilken typ av fördelning data skulle anpassas till. Efter ett Kolmogorov-Smirnov test bestämdes att data skulle anpassas till normalfördelningen. Hade istället en Gumbelfördelning valts, vilket är vanligt förekommande vid analys av hydrologiska data, hade 100-årsflödet blivit lite högre och alltså sannolikt mer korrekt. Normalfördelningen valdes för att Kolmogorov-Smirnov testet visade på att det kunde användas och då genomfördes inte vidare kontroller för huruvida andra fördelningar också var möjliga.

Vad gäller skillnaden i resultat mellan de olika statistiska metoderna, omskalning av maximala årliga toppar och POT-analys, beror skillnaden med största sannolikhet på skillnaderna i indata. Analysen på de årligt högsta topparna kan i viss mån antas stämma bäst

eftersom denna analys baseras på riktiga mätdata från Sävjaån. Dessutom studerades denna serie för en längre tid, vilket ökar sannolikheten att få med översvämningssituationer.

5.1.3 Vägverkets metod

Resultaten från beräkningen med Vägverkets metod överskattar troligtvis flödet i Funboån. Även i denna metod är osäkerheterna stora. Vid beräkning av HHQ är betydelsen av beräknad korrigerad sjöprocent liten. Vilken sjö som bedöms ligga närmast och som ska anges i beräkningen har således mindre betydelse. Av betydligt större vikt är storleken på den specifika medelavrinningen som beräknats utifrån värden för Sävjaån. Förändras denna med $1 \text{ l/s} \cdot \text{km}^2$ förändras 100-årsflödet med ca $10 \text{ m}^3/\text{s}$. Medelavrinningen användes för Sävjaån istället för värden från den i Vägverket publicerade kartan över den specifika medelavrinningen, för att få ett mer pålitligt resultat. Sävjaåns specifika avrinning bedöms väl motsvara den specifika avrinningen i Funboån då dessas avrinningsområden till stor del utgörs av samma område. Skillnaderna är att Funboåns avrinningsområde är mer sjörikt än Sävjaåns samt att Funboåns avrinningsområde är mindre. Enligt Seibert (1994) kan den specifika avrinningen i de norra delarna av Sävjaåns avrinningsområde, alltså Funboån, dessutom vara lite större än i de södra delarna på grund av att de norra områdena är mer nederbördsrika.

Resultatet för beräkningen av vattenföringen med Vägverkets metod med hänsyn till klimatförändringarna är inte helt pålitliga. Vattenföringen förväntas inte, vilket Vägverkets metod antar öka utan snarare minska eller stagnera i de östra delarna av Svealand i och med klimatförändringarna (Carlsson m.fl., 2006).

5.1.4 Påverkan av intensiva regn

Beräkningarna av tillflöden från de mer urbana områdena är osäkra. Delvis då marken som klassats som urbana områden mestadels är villor med naturmark. Hänsyn har tagits till detta i och med att ett lågt värde på avrinningskoefficienten använts. Uppdelningen i åtta mindre områden kan diskuteras eftersom flera av områdena endast bidrar med mycket små flöden till Funboån, som inte ger några egentliga effekter.

Huruvida avrinningen inom de mer områdena leds av med markavrinning eller om vattnet går i ledning är oklart. Beräkningen av rinntiderna blir alltså mycket osäker. De rinntider som använts vid simuleringarna är baserade på att vattnet inom de urbana områdena går helt i ledning. Med detta följer att resultatet av de intensiva regnens påverkan på vattenföringen i Funboån såsom översvämningssutbredningen troligtvis är överskattad.

5.1.5 Allmän diskussion vattenföring

Generellt gäller att, för att kunna göra tillförlitliga översvämningsskarteringar krävs pålitliga data för vattenföringen som underlag för statistiken över höga flöden. Detta saknas tyvärr i fallet för Funboån. Kompromissen att köra modellen för 100-årsflödet dels beräknat enligt Vägverkets metod, dels med data från SMHI, bedömdes vara den bästa lösningen, eftersom det bidrog till en sorts känslighetsanalys av variationen kring de värsta scenarierna av ett 100-årsflöde. Med Vägverkets metod fås också ett ”worst case scenario” och det är i fallet översvämningsskartering bättre att överskatta än att undersätta vattenföringen. 100-årsflödena från

de statistiska analyserna användes inte eftersom de bedömdes för låga, och skulle därför troligtvis ha underskattat översvänningsutbredningen kring Funboån.

För att få en korrekt uppfattning av vattenföringen i Funboån krävs kontinuerliga mätningar av vattenföringen över en längre period. Kontinuerliga mätningar är kanske inte rimligt i ett litet vattendrag som Funboån men det skulle klart förbättra möjligheterna att ta fram pålitliga extremflöden.

Enligt Brant (2005) är det diskutabelt om det är lämpligt att använda 100-årsflödet för översvänningskartering på grund av den begränsade mängd data som ofta finns tillgänglig och de kommande klimatförändringarna. Hon menar att det är bättre att använda ett BHF istället för statistiskt framräknade flöden som ofta grundar sig på gamla mätdata. Dock krävs det mycket bra underlag, ofta med avancerande HBV-beräkningar för att ta fram ett korrekt BHF, underlag som i många fall inte finns tillgänglig.

5.2 TERRÄNGMODELL

Terrängmodellen som har tagits fram för Funboån bedöms representera terrängen väl eftersom laserskannad höjddata med en noggrannhet på 0,3 m ligger till grund för terrängmodellen. Dessutom har stora delar av Funboån ekolodats och botten i dessa delar har därför beskrivits på ett bra sätt. Därtill har broritningar använts som komplement.

En stor osäkerhet i terrängmodellen ligger i bestämningen av vattenytans läge vid ekolodningen som ligger till grund för var bottenprofilen och terrängmodellen sammanfogades. Felet av bestämningen bör inte vara större än $\pm 0,5$ m. Vidare saknas laserskannade data för en del av området där istället höjdkurvor med 5 meters ekvidistans användes för att approximativt beskriva områdets utseende. I dessa områden är alltså översvänningsutbredningen betydligt osäkrare än i övriga områden. För att beskriva detta område noggrannare kan en utväg vara att kontakta Knivsta kommun och eventuellt erhålla höjddata från dem, då området ligger inom Knivsta kommun. Alternativt, vänta till dess att lantmäteriet har laserskannat området. Ytterligare en osäkerhet rörande höjddata ligger i huruvida det var skördat på åkrarna vid tidpunkten för laserskanningen eller inte. Det är därför möjligt att ett systematiskt fel på omkring 0,5 m finns i höjddata på grund av att toppen på säden istället för markytan mätts in vid laserskanningen. Följaktligen är det möjligt att marken ligger 0,5 meter för högt i de områden som utgörs av jordbruksmark i terrängmodellen. Om så är fallet bör undersökas vidare. Nivåerna vid en översiktlig kontroll verkade dock rimliga och laserskanningen genomfördes i september och oktober då det bör varit skördat på åkrarna.

Metoden som användes för att ta fram terrängmodellen ansågs tillräcklig för syftet med examensarbetet. Det är möjligt att ta fram bättre terrängmodeller men det ansågs inte rimligt tidsmässigt. Med funktionen "Point to Raster" fås en mycket bra beskrivning av terrängen på ett relativt enkelt sätt. Ett problem vid skapandet av terrängmodellen var att på ett korrekt sätt beskriva åslänterna. Dessa var mycket smala och branta och behövde därför beskrivas med liten gridstorlek. Till följd av detta valdes gridstorleken för hela modellen till en meter, vilket i övriga delar av modellen bedöms väl noggrant.

Vid karteringar av extrema flöden, såsom 100-årsflöden och BHF, har beskrivningen av den omgivande terrängen större betydelse för resultatet än beskrivningen av bottenprofilen. Det beror på att del av tvärsektionen som beskriver bottenprofilen endast utgör en liten del av den totala tvärsnittsarean vid extrema flöden (Brant, 2006). För tvärsektionerna som beskriver Funboån utgörs arean av bottenprofilerna av en mycket liten del av de totala tvärsektionerna då Funboån är smal och relativt grund och området runtomkring är flackt. Av detta följer att osäkerheterna i ekolodningen troligtvis har liten betydelse på resultatet av översvämningsskarteringen.

5.3 DISKUSSION AV SIMULERINGSRESULTAT

5.3.1 Jämförelse med observerade översvämningar

Den jämförelse som genomfördes med foton från översvämningssituationer för modellen för Funboån bedöms som mycket grov och tillförlitligheten i denna är låg.

5.3.2 Känslighet i Mannings tal och i vattenföring

Med den känslighetsanalys som genomförts har modellens påverkan av förändringar i Mannings tal och vattenföring ringats in. Resultaten av simuleringarna visar, som väntat på att de säkraste resultaten vad gäller utbredning erhålls i mer kuperade områden. I de flacka områdena förändras utbredningen markant beroende på vilket värde som sätts på Mannings tal respektive angiven vattenföring. Detta är i linje med de resultat Brant (2006) framhöll i sin kartering av Eskilstunaån. Brant framhåller att även om noggranna terrängmodeller används kan det vara svårt att erhålla tillförlitliga resultat i flacka områden om inte ett korrekt värde på Mannings tal kan sättas. I mer kuperade områden är varken terrängmodellens noggrannhet eller värdet på Mannings tal av samma avgörande betydelse.

Med resultatet av hur översvämningssutbredningen påverkades av olika globala värden i beaktande är det inte konstigt att införandet av lokala friktionsvärden påverkade översvämningssutbredningen. Med lokala värden för olika sträckor längs ån, fås en mer korrekt beskrivning av området kring Funboån eftersom hänsyn tas till att utseendet på området varierar. Införande av lokala värden på Mannings tal bör endast göras vid god kännedom om området, efter platsbesök och/eller noggrann studie av ortofoton, för att inte modellen ska verka mer tillförlitlig än vad den egentligen är.

Till skillnad från ändringar i Mannings tal ovan Funbo kyrka ger ändring av vattenföringen tydliga förändringar i översvämningssutbredning. Med detta följer att det i området uppströms gamla bron vid Funbo kyrka är viktigare att ange ett korrekt värde på vattenföringen än det är att ange ett korrekt värde på Mannings tal. I övriga områden i Funboån är påverkan av ändringar i vattenföring och Mannings tal av likvärdig betydelse.

5.3.3 Påverkan av intensiva regn i de mer urbana områdena

Påverkan av intensiva regn har inte stor inverkan på översvämningssutbredningen kring Funboån. Detta beror på att de urbana områdena utgör en liten del av det totala avrinningsområdet. Dessutom består de urbana områdena till stor del av villabebyggelse med relativt stora tomter. Det gör att värdet på avrinningskoefficienten blir låg, vilket påverkar den dimen-

sionerande tillrinningen från områdena. Vid beräkningen av bidraget från de urbana områdena har de värsta scenarierna använts genom hela beräkningen. Följaktligen har bidraget troligtvis överskattats och påverkan av intensiv nederbörd är alltså sannolikt mindre än vad beräkningarna visar. Till exempel har det i simuleringarna antagits att vattnet inom de urbana områdena endast går igenom ledningar. Det är dock troligt att en stor del av nederbörden avleds till exempel genom markavrinning. Avledning i ledningar ger en betydligt högre hastighet och en mer koncentrerad flödestopp. Vidare har flödestopparna från de urbana områdena korta varaktigheter mellan 5 och 20 minuter. Vattenföringen i Funboån påverkas därför endast av bidraget från urbana områden under en mycket kort period. Flödesimpulserna ansluter inte heller samtidigt vilket minskar påverkan ytterligare. Dessutom kommer flödestopparna sannolikt att jämnas ut i diken från avvattningpunkterna i respektive område till dikets mynning i Funboån.

5.4 MODELLEN FÖR FUNBOÅN

Baserat på resultat från översiktlig kalibrering samt jämförelse med den enkla uppskattning av översvänningsområden som finns tillgänglig för Funboån bedöms modellens tillförlitlighet vara god för vattennivåer inom de flöden för vilka modellen använts. De begränsande faktorerna för översvänningskarteringen av Funboån är osäkerheterna i terrängmodellen. Med den översiktliga känslighetsanalys som genomförts för ändringar av vattenföring och Mannings tal bedöms modellen för Funboån vara relativt tillförlitlig i det avseendet, speciellt i de mer kuperade områdena.

Modellen får problem att beskriva översvänningsutbredningen i de delar kring Funboån där tvärsnitt saknas i områden som är växlande flacka och kuperade. Detta är fallet bland annat vid området uppströms Funbo kyrka, på västra sidan ån, där resultatet av karteringen blev felaktig. I modellen beräknades vattenståndet maximalt till 7,2 meter med 100-årsflödet beräknat enligt Vägverket men områden med höjder på upp till 20 meter låg trots detta inom översvänningsområdet. Andra delar där karteringen blivit felaktig var i området mellan Spångtorp och Lövsta där översvänningsutbredningen hade mycket tvära kanter vilket inte bedöms rimligt. Problemen beror troligtvis på felaktig interpolering mellan tvärsnittena inom dessa områden. I de områden där felaktigheter uppkommit har det varit långt mellan tvärsnittena och utseendet på närliggande tvärsnittena har också skilt sig mycket vilket försvårar interpoleringen. Felaktigheterna har korrigerats gentemot laserskannat data och höjdkurvor. Med detta följer att karteringen i dessa områden är osäkrare än i övriga delar eftersom gränsen för översvämning har dragits utifrån beräknat vattenståndet för respektive simulering kombinerat med höjdkurvor och laserskannade punkter i respektive felaktigt område.

5.5 KLIMATFÖRÄNDRINGARNAS PÅVERKAN

Simuleringarna med klimatanpassning beräknat enligt Vägverket (2008) visar på ökade högflöden och därmed ökad risk för översvämningar kring Funboån. Det stämmer inte överens med uppfattningen att flödena ska minska eller stagnera i de östra delarna av Svealand i och med klimatförändringarna (Carlsson m.fl. 2006). Metoderna för framtagande av dimensionerade vattenföring som redovisas i Vägverket (2008) är inte enligt de senaste

rekommendationerna. Dessa har använts för att ta fram ett klimatanpassat flöde då bättre metoder inte fanns tillgängliga.

Klimatförändringarna kommer säkerligen påverka flödesförhållandena, men på vilket sätt och hur mycket är oklart. Osäkerheterna är väldigt stora vad gäller de klimatscenarier som tagits fram, speciellt vid beräkningen av extrem nederbörd. Till följd av de stora osäkerheterna är det inte säkert att klimatförändringarnas påverkan ska tas med i det hydrologiska säkerhetsarbetet. Det kan vara bättre med ett förhållningssätt med marginaler och flexibilitet i klimatfrågan (Carlsson m.fl., 2006)

5.6 ÅTGÄRDSFÖRSLAG FÖR FUNBOÅN

Eftersom de åtgärder som testats har genomförts på extremflöden går det inte att säkert säga att studerade åtgärder inte påverkar översvämningsutbredningen vid lägre flöden. Detta gäller framförallt åtgärderna som berör utseendet på tvärsektionerna.

Då ett globalt värde på Mannings tal sätts, vilket motsvarar en kraftig rensning av hela Funboån, avleds vattnet snabbare genom området kring Funbo kyrka. Detta gör att översvämningsutbredningen ökar något vid Spångtorp. För övrigt är påverkan av förändringar i Mannings tal i linje med tidigare resultatet av modellens känslighet för variationer i Mannings tal, med störst påverkan i flacka områden och med obetydlig påverkan uppströms Gamla bron. Rensningsåtgärder, vilket motsvarar ett högre värde på Mannings tal, bör utföras kontinuerligt eftersom växtligheten kommer tillbaka relativt snabbt.

En trolig förklaring till att översvämningsutbredningen inte påverkas av att utseendet på tvärsektionen vid ön ändras, är att bottenarean endast utgör en mycket liten del av det totala området som översvämmas. Dessutom är sektionerna både upp- och nedströms ön betydligt trängre vilket medför att utseendet på tvärsektionen vid ön får mindre påverkan. Sektionen uppströms är tvärsektionen precis nedströms Gamla bron och tvärsektionen näst nedströms utgörs också av en bro.

5.7 OSÄKERHETER VID ÖVERSVÄMNINGSKARTERING

Osäkerheterna vid en översvämningskartering beror av kvaliteten på indata. Viktiga variabler för att minimera osäkerheterna är, förutom en korrekt höjdbeskrivning av terrängen, en korrekt beskrivning av eventuella broar och dammar, markfriktion samt djupförhållanden i och kring vattendraget (Brant och Bergqvist, 2009).

Specifikt för modellen för Funboån kan de viktigaste osäkerheterna i översvämningskarteringen sammanfattas i följande punkter.

- Terrängmodellens kvalitet
- Bedömning av storleken på 100-årsflödena och BHF
- Uppskattning av friktionsvärden
- Ej optimalt val av placering av tvärsektioner
- Felaktig hantering av broar

Osäkerheten i terrängmodellens kvalitet, bedömning av vattenföring i modellen samt uppskattning av friktionsvärden har beskrivits tidigare. Placeringen av tvärsektioner är viktig för resultatet vid översvänningskarteringar, eftersom vattenståndet endast beräknas i tvärsektionerna och sedan interpoleras mellan dessa. Av detta följer att placeringen av tvärsektionerna är mycket viktig. Alla förträngningar och sektioner som dämpar flödet måste tas med. Huruvida detta är fallet för Funboån är oklart, framförallt i den nedre delen där sektionerna ligger mycket glest. Felaktig placering av tvärsektioner kan också förklara de ojämnheter i karteringen som uppstod vid Funbo kyrka och mellan Spångtorp och Lövsta.

Geometrin för broarna som lades in i modellen baserades på broritningar. I många fall var dock broritningarna mycket gamla och i lokala koordinatsystem som inte kunde användas. Istället mättes höjderna på ovandelen av broarna in utifrån terrängmodellen och ritningarna skalades om utifrån inmätt överkant bro. Eftersom broritningarna var gamla är det också troligt att bottenprofilens utseende sedan dess har ändrats till följd av erosion och sedimentation. På grund av detta är osäkerheterna kring broarnas utseende relativt stora. Den största osäkerheten kring hanteringen av broarna är dock hur tvärsektionerna lagts in uppströms respektive nedströms bron. Dessa sektioner har också tagits utifrån broritningarna, vilket betyder att kontraktionen till följd av broarna kan ha underskattats i modellen.

Ytterligare en stor osäkerhet i modellen för Funboån är utseendet på de kulvertar som lagts in i modellen för att beskriva utseendet på Gamla bron. Utseendet på dessa påverkar vattenståndet uppströms Gamla bron betydligt. Vid små förändringar i kulvertarnas utseende påverkas vattenståndet uppströms mer än vid små variationer i Mannings tal. Följaktligen bör dessa kulvertar kontrollmätas för att säkerställa att de beskriver utseendet på Gamla bron på ett korrekt sätt.

5.8 FÖRSLAG PÅ FÖRBÄTTRINGAR AV MODELLEN FÖR FUNBOÅN

Eftersom tillgängligheten på höjddata över området visade sig vara bättre än vad vi visste vid valet av modell, hade resultatet eventuellt kunnat förbättras genom att istället använda den tvådimensionella modellen MIKE 21. MIKE 21 passar bättre för att modellera stora flacka områden som de kring Funboån. Ett problem hade dock uppstått i de områden där laserskannad data saknas eftersom MIKE 21 kräver korrekt indata. De tvådimensionella modellerna är också mer känsliga för beräkningsfel (Brant, 2006). Däremot är MIKE 11 bättre på att beskriva flödet i ett vattendrag. Det ultimata hade varit, MIKE FLOOD, med MIKE 11 i vattendraget och MIKE 21 på översvänningsytorna.

En förbättring av modellen för Funboån skulle troligtvis vara att i beskrivningen av råheten använda ”*triple zone approach*” istället för att som i detta examensarbete använda en så kallad ”*uniform approach*”. Med en ”*triple zone approach*” är det möjligt att skilja på Mannings tal i de olika delarna av tvärsektionen. Det hade gett en bättre beskrivning av området eftersom tvärsektionernas egenskaper i många fall varierar längs sektionerna.

För att säkerställa modellens giltighet skulle också hela sträckan ner till Sävjaåns utlopp i Fyrisån behövt mätas in mer noggrant eftersom randvillkor använts från MSB:s modell för Fyrisån. Framförallt skulle nivåer i de bestämmande sektionerna behöva mätas in noggrannare. Dessutom skulle osäkerheterna i bottenprofilen minska betydligt om också den

översta delen av Funboån ekolodades, alternativt mättes in noggrannare med tvärsektioner. Ytterligare inmätningar i fält skulle också behövas för att bättre beskriva vissa delar av modellen. Fler tvärsektioner bör mätas in i slänterna för att komplettera de laserskannade data då det bland annat är osäkerheter i nivån på vattenytan vid tidpunkten för laserskanningen. Även utseende på Gamla bron skulle behöva mätas in noggrannare då dess utseende har stor inverkan på översvämningsutbredningen uppströms Gamla bron.

Enligt Brants (2005) resonemang angående val av vilket flöde som ska användas vid översvämningsmodellering bör ett noggrannare värde på BHF tas fram för Funboån. Ett BHF är ett mycket extremt scenario, men kan vara lämpligt att använda vid planeringsarbetet av bostäder och annan infrastruktur. Vilket scenario som ska användas, 100-årsflöde, 1 000-års flöde eller BHF, vid karteringen beror dock på vilka strategier och riktlinjer som kommunerna har i sitt planeringsarbete.

Som komplement till modellen för Funboån bör en enkel modell för Funbosjön med fördel sättas upp eftersom vattenståndet i Funbosjön bestämmer vattenståndet i Funboån uppströms Gamla bron. Följaktligen är det i första hand vattenståndet i Funbosjön och inte flödet i Funboån som bestämmer översvämningsutbredningen uppströms Gamla bron.

6 SLUTSATSER

- Beräkningen av högflöden med de olika metoderna skiljer sig mycket. SMHI:s extremvärden och det beräknade 100-årsflödet med Vägverkets metod ansågs mest trovärdiga.
- Terrängmodellen som satts upp för Funboån beskriver området väl.
- Resultatet av simuleringarna visar att stora delar av området kring Funboån översvämmas vid de olika extremflödena. Karteringen bedöms som relativt säker i de mer kuperade områdena då översvämningsutbredningen inte skiljer sig så mycket mellan olika valda extremflöden. Betydligt osäkrare är karteringen i de flackare områdena, då små skillnader i både vattenföring och friktionsvärden påverkar utbredningen i dessa områden mycket.
- För att förbättra översvämningskarteringens pålitlighet bör fler inmätningar i fält genomföras. Vattenföringen bör mätas kontinuerligt och vattenståndet bör mätas i olika punkter längs Funboån vid översvämningsituationer för att ta fram mer pålitliga extremflöden och bättre kunna kalibrera modellen för Funboån. Dessutom bör fler tvärsektioner mätas in för att beskriva slänternas utseende, hela åsträckan bör ekolodas och Gamla bron bör kontrollmätas.
- Översvämningsutbredningen kring Funboån vid extremflödena kan minskas lokalt med rensning av vass och annan vegetation i vattendraget, vilket motsvarar ett högre värde på Mannings tal. Dock påverkades resultaten inte av små förändringar i tvärsektionernas utseende.

7 REFERENSER

- Andréasson, J., Bergström, S., Carlsson, B., Graham, P. L., och Lindström, G., 2004, *Hydrological Change – Climate Change Impact Simulations for Sweden*, AMBIO: A Journal of the Human Environment 33(4): 228-234
- Bengtsson, S., 2011, Fotografier vid Funbo kyrka vid översvämningen i april 2010, Personlig kommunikation
- Berglund, 2006, *Aspens leklokaler i Uppsala län*, Upplandsstiftelsen, Rapport 2006:25
- Brant, S.A., 2005, *Översvämningsmodellering i GIS Betydelsen av höjdmodellers upplösning applicerat på Eskilstunaån- ett delprojekt i KRIS-GIS*, Utbildning och forskningskansliet Högskolan i Gävle, FoU-rapport nr 35
- Brant, S.A., 2009, *Betydelsen av höjdmodellers kvalitet vid endimensionell översvämningskartering*, Utbildning och forskningskansliet Högskolan i Gävle, FoU-rapport nr 35
- Brant, S.A. och Bergqvist, A., 2009, *Översvämningskarteringars tillförlitlighet*, Kart och Bildteknik, 2009:4
- Carlsson, B., Bergström, S., Andréasson, J., Hellström, S-S., 2006, *Framtidens översvämningsrisker*. SMHI Reports Hydrology No 19, 2006. SMHI, SE-601 76 Norrköping, Sweden
- Dahlström, B., 2006, *Regnintensitet i Sverige- en klimatologisk analys*, Svenskt Vatten AB, VA-Forsk 2006-26
- Dahlström, B., 2010, *Regnintensitet- en molnfysikalisk betraktelse*, Svenskt Vatten AB, VA-Forsk 2010-05
- DHI, 2011, Välkommen till DHI, <http://www.dhi.se/> (2011-01-24),
- EG-direktiv, 2007, *Europaparlamentets och rådets direktiv 2007/60/EG av den 23 oktober 2007 om bedömning och hantering av översvämningsrisker*, Europeiska unionens officiella tidning
- Gardelin, M., 2007, *Riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden för damanläggningar*, Svensk energi, Svenska kraftnät och Svemin
- Gretnér, B., 1994, *The River Fyris A Study of Fluvial Transportation*, Institutionen för Geovetenskap och Naturgeografi, Uppsala Universitet
- Hägström, M., 2007, *Kommentarer till Flödesstatistik för Sveriges vattendrag*, SMHI
- Flygburen laserskanning Uppsala och Knivsta, 2007, Rapport Höjdmmodell över Uppsala och Knivsta, Terratec och WSP

- Holgersson, 2006, *Översvämningshot Risker och åtgärder för Mälaren, Hjälmaren och Värnen*, Delbetänkande av Klimat och sårbarhetsutredningen, Statens offentliga utredningar, SOU 2006:94
- IPCC, 2007, *Climate Change 2007: Synthesis Report*, An assessment of the international panel of climate change, Spain
- Jonkman, S.N., och Vrijling, J.K., 2008, *Loss of life due to floods*, Flood Risk Management 1 s. 43-56, Blackwell Publishing Ltd
- MIKE 11 Reference Manual, 2009, *MIKE 11 A Modeling System for Rivers and Channels*, DHI
- MIKE 11 User Manual, 2009, *MIKE 11 A Modeling System for Rivers and Channels*, DHI
- MIKE 11 Short Introduction Tutorial, 2009, *MIKE 11 A Modeling System for Rivers and Channels*, DHI
- MIKE 11 GIS User Guide, 2009, MIKE 11 GIS, DHI
- MIKE VIEW User Guide and Tutorial, 2008, *MIKE VIEW a Results Presentation Tool for MOUSE, MIKE URBAN, MIKE NET and MIKE 11*, DHI
- MSB, 2010, Översiktlig översvämningskartering för Fyrisån
- MSB, 2011 a, Översvämningsdirektivet
<http://www.msb.se/sv/Forebyggande/Naturolyckor/Oversvanning/Oversvanningsdirektivet/> (2011-01-24)
- MSB, 2011 b, Översiktlig Översvämningskartering
<http://www.msb.se/sv/Forebyggande/Naturolyckor/Oversiktlig-oversvanningskartering/> (2011-01-24)
- Nilsson, A., 2010, *Dammolyckan i Ungern- Naturen slammets nästa offer*, Dagens Nyheter (DN) <http://www.dn.se/nyheter/varlden/naturen-slammets-nasta-offer-1.1184983> (2010-10-08)
- Nyberg, L., 2008, *Översvämningsrisker och riskhantering en forskningsöversikt*, Centrum för klimat och säkerhet, Karlstads Universitet
- Lantmäteriet, 2011 a, *Infoblad no. 13- Ny Nationell höjddatabas*,
http://www.lantmateriet.se/upload/filer/kartor/geodesi_gps_och_detaljmatning/Nytt_referenssystem/Infoblad/info_blad-13.pdf (2011-02-14)
- Lantmäteriet, 2011 b, *Geoidhöjd*,
http://www.lantmateriet.se/templates/LMV_Geoidhojd.aspx?id=11494 (2011-02-14)
- Länsstyrelsen i Uppsala län, 2010, *Sävjaån- Funbosjön*,
<http://www2.lansstyrelsen.se/uppsala/Sv/djur-och-natur/skyddad-natur/Natura->

2000/lanets-natura-2000-omraden/knivsta/Pages/savjaan-funbosjon.aspx?keyword=natura+2000 (2010-12-30)

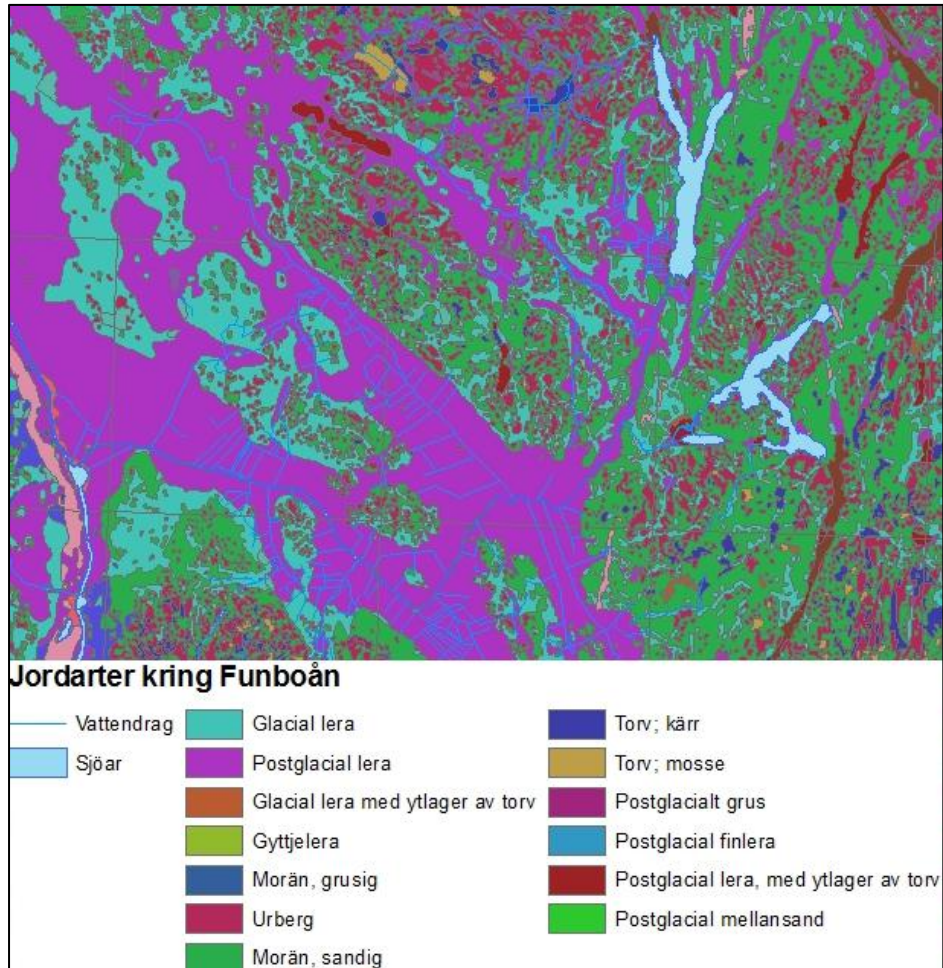
- Länsstyrelsen, 2009, *Klimat och sårbarhetsanalys för Uppsala län 2009- Framtida klimatförändringar och dess konsekvenser*. Länsstyrelsens meddelandeserie 2009:12 Miljöenheten ISSN 14-4712
- Rankka, K., Rydell, B., 2005, *Erosion och översvämningar- underlag för handlingsplan för att förutse och förebygga naturolyckor i Sverige vid förändrat klimat*, Statens geotekniska institut (SIG), Linköping
- Rodhe, A., 2011, Fotografier över Lövstafjärden vid översvämningen i december 2008, Personlig kommunikation
- Rydell, B., Arvidslund, O. och Fallsvik, J., 2007, *Undersökningar i strandnära områden- Mätning av topografi och batymetri – Tillämpning för erosion och släntstabilitet.*, Statens geotekniska institut (SIG), Linköping, Varia 573
- Räddningsverket, 2000, Översvämning, Karlstad Räddningstjänstavdelning
- Seibert, D., 1994, *Hydrological characteristics of the NOPEX research area*. Examensarbete i hydrologi, Institutionen för Geovetenskaper, Uppsala Universitet
- Shaw, E., M., 1983, *Hydrology in Practice*, Van Nostrand Reinhold (UK) Co- Ltd
- SMHI, 2010 a, *Om Klimatmodeller och scenarier*
<http://www.smhi.se/klimatdata/klimatscenarier/scenariodata/1.6148> (2010-11-05)
- SMHI, 2010 b, *Allmänna resultat från Rossby Centre- regional*
<http://www.smhi.se/klimatdata/klimatscenarier/scenariokartor/1.1904> (2010-11-05)
- SMHI, 2010 c, Flödesstatistik för Sveriges vattendrag, SMHI
- SMHI, 2011 d, *S-HYPE: HYPE-modell för hela Sverige*
<http://www.smhi.se/forskning/forskningsomraden/hydrologi/s-hype-hype-modell-for-hela-sverige-1.560> (2011-01-25)
- SMHI, 2011 e, Beräkna återkomsttider
<http://www.smhi.se/Produkter-och-tjanster/professionella-tjanster/statistik-och-data/berakna-aterkomsttider-1.14134> (2011-02-25)
- Svenskt Vatten, 2007, *Klimatförändringarnas inverkan på allmänna avloppssystem Underlagsrapport till klimat- och sårbarhetsutredningen*
- Svenskt Vatten P90, 2004, *Dimensionering av allmänna avloppsledningar*, Svenskt Vatten AB
- Vägverket, 2008, *VVMB 310 Hydraulisk dimensionering*, Vägverkets tryckeri, Borlänge

Yacoub, T., Westman, Y., Sanner, H. och Samuelsson, B., 2005, *Detaljerad översvämningskarta för Eskilstunaån. Ett projekt inom KRIS-GIS*, SMHI Hydrologi Nr 98

Översiktlig sårbarhetsanalys, 2007, *Översiktlig sårbarhetsanalys för översvämning, skred, ras och erosion i bebyggd miljö i ett framtida klimat*, Rapport utarbetad för klimat och sårbarhetsutredningen

APPENDIX

A.1 JORDARTSKARTA



Figur A.1 Jordartskarta över området kring Funboån.

A.2 MANUAL FÖR INMÄTNINGAR

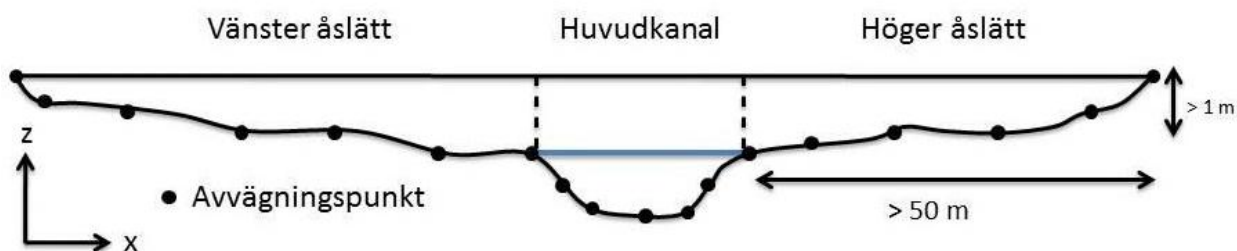
Vid hydraulisk modellering av sjöar och vattendrag för exempelvis översvämningskarteringar är inmätningar en mycket viktig del. I detta innefattar att bestämma vilka data som behövs, avvägning av tvärsektioner och bestämning av vattenföring, samt var och hur data ska inhämtas. Vilken noggrannhet som behövs bör lämpligen anpassas till övriga parametrarna i undersökningen. Syftet med den här korta manualen är att gå igenom viktiga parametrar vid inmätningar av tvärsektioner och vattenföring. Var och hur ska hydrauliska inmätningar genomföras?

Inmätning av området

Innan inmätningen av tvärsektioner startar är det viktigt bestämma hur långt ned- respektive uppströms om det intressanta området som inmätning av tvärsektioner behöver genomföras. Detta då egenskaperna för områdena upp- respektive nedströms ett område i hög grad påverkar området som ska kartläggas. Var gränsen för modellen nedströms sätts beror till stor del av lutningen på vattendraget och bör generellt sättas minst 1,6 km nedströms området som ska kartläggas, alternativt till vattendragets utlopp. Om det finns konstruktioner som till exempel dammar kan gränsen uppströms behöva sättas till flera gånger 1,6 km¹.

Avvägning av tvärsektioner

Tvärsektioner mäts in för att kartlägga området kring vattendraget, alltså områden som ligger i riskzonen för att drabbas av översvämnings. Alla potentiella tvärsektioner ska ges unika nummer innan mätningarna startar. Hur långt upp på sidorna av vattendraget mätningarna bör utföras beror av terrängen. En tumregel bör vara att mäta in minst 50 meter på vardera sidan och åtminstone tills nivån är någon meter över ”dikestoppen” (figur A.2.1)². Ibland används även ett approximativt 100-års vattenstånd för tvärsektionens början och slut i horisontalled¹.



Figur A.2.1 Tvärsektion med avvägningspunkter.

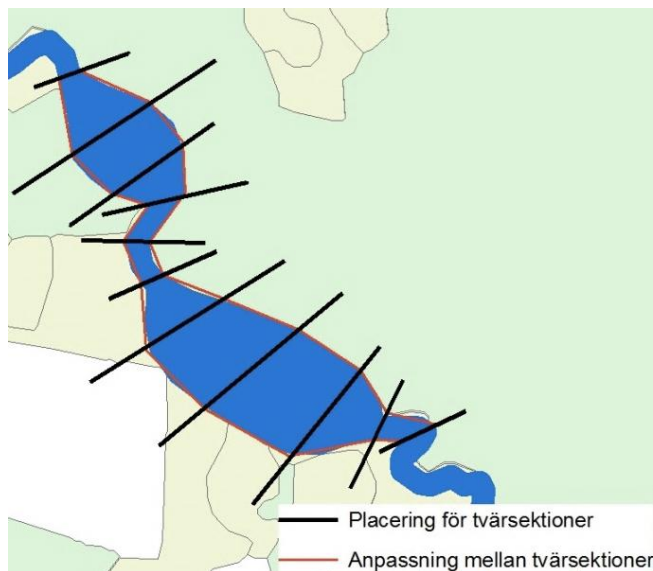
Placeringen av tvärsektioner bör ske med jämna mellanrum där det ”händer något” (figur A.2.2). Således där vattendraget smalnar av eller blir bredare, vid lutningsförändring av vattendraget, före och efter alla hinder för flödet såsom kulvertar och trummor och vid fasta flödesstationer. Definitionen på där det ”händer något” är inte helt enkel men vid inmätningen

¹ Haestad, M., Dyhouse, G., Hatchett, J., Benn, J., (2003). *Floodplain modeling using HEC-RAS*, upplaga 1, Haestad press

² Bengtsson, M., 2009, *Hydraulisk inmätning av bäck kv. Bocken, Grebbestad*, WSP Samhällsbyggnad, Göteborg

bör vattendragets utseende fås med på bästa möjliga sätt, där förträngningar utgör en viktig del av beskrivningen. Tvärsektionerna bör placeras på så sätt att en anpassad linje mellan tvärsektionerna väl förklarar vattendragets utseende (figur A.2.2). Varje tvärsektion ska kunna representera halva vägen till nästa tvärsektion vilket är nödvändigt med avseende på hur friktionsförluster beräknas¹. Det är svårt att ange ett generellt avstånd mellan tvärsektionerna eftersom det beror på vattendragets utseende, hur pass bra höjddata i övrigt representerar området och hur lång sträcka som ska kartläggas. Som tumregel bör inte avståndet vara mer än 500 meter och inte mindre än cirka 30 meter mellan tvärsektionerna och desto närmare tvärsektionerna tas varandra, desto bättre kommer tvärsektionerna förklara vattendragets utseende.

Vid inmätning av tvärsektionerna ska vattendragets huvudfåra samt centrumlinje längs vattendragets botten mätas in. Det är också viktigt att få med vattendragets slänter och slätter. Tvärsektionerna mäts in från vänster till höger nedströms i profilen, (x, z) punkter. Små bäckar mäts in med cirka 5 punkter. För ett större vattendrag bör istället 15-30 punkter mätas in¹. Noterbart är att inmätningen ska göras på botten där det är fritt vatten, således inte ner i sedimenten, om tjocka lager sediment förekommer.



Figur A.2.2 Lämplig placering av tvärsektioner för anpassning mot vattendraget.

Metoden för att mäta in tvärsektioner varierar. En enkel metod är att med precision-GPS väga av positionen på vattendragets vattenyta både i höjd och vertikalled. Utifrån vattenytans läge mäts sedan bottenprofilen och vattendragets slänter in med hjälp av latta och måttband. Alternativt mäts vattendragets slänter och slätter in direkt med precisions-GPS.

Vid inmätningen ska också botten och stranden beskrivas med avseende på vegetation, är det till exempel är berg eller kraftig växtlighet i vattendraget. Därtill ska lägen för eventuella tillflöden till vattendraget noteras. För att underlätta arbetet bör också foton tas över varje tvärsektion och särskilt på broar, kulvertar och trummor. Dessutom bör områdets utseende beskrivas generellt.

Som komplement till inmätning av tvärsektioner bör även ekolodning alternativt punktlodning av vattendraget utföras för att få en så bra beskrivning som möjligt av bottenprofilen. Vanligtvis sätts ekolodet fast på skrovet på en båt och vattendjupet beräknas genom att tiden det tar att sända en ljudsignal från båten ner till botten och tillbaka igen mäts³. Alternativt kan djuppunkter lodas med latta och dess läge noteras med GPS med jämna mellanrum i vattendraget, cirka 50 till 100 meter.

För inmätning av broar, trummor och eller kulvertar ska dessas diameter, typ, material, vattengång samt marknivå på vägbank ovan trumma och eller kulvert registreras². För kulvertar bör utseendet noteras (rektangulär, cirkelformad eller oregelbunden), liksom dess längd, ned- och uppströms nivå, huruvida det finns flera parallella kulvertar, friktionskoefficient och flödet genom bör beskrivas med riktning och storlek¹. Vidare bör tvärsektioner mätas in både före och efter dessa hinder för flödet².

Vattenföringsmätning

Vattenföring är tillsammans med vattendragets geometri de två viktigaste parametrarna i hydrauliska modeller. Metoderna för att mäta vattenföringen delas in i direkta och indirekta metoder. Med direkta metoder menas att vattenföringen, i form av vattenhastigheten, mäts på plats vid ett visst tillfälle. Vid indirekta mätmetoder registreras istället en alternativ mätbar parameter, exempelvis vattenstånd som räknas om till vattenföring⁴. Ifall kontinuerliga data eftersträvas för vattenföringen måste någon indirekt metod användas då direkta metoder endast ger ett momentant värde på vattenföringen. Således måste målsättningen med undersökningen först sättas upp innan val av metod för mätning av vattenföring kan väljas⁵.

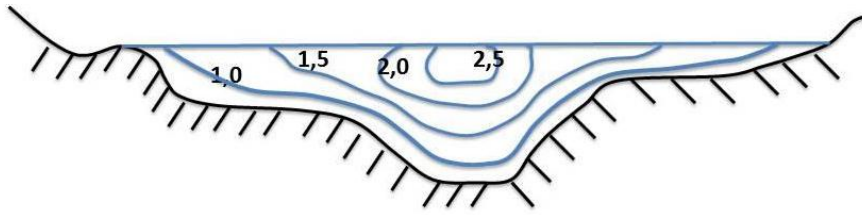
Till följd av friktion mot botten och mot stranden samt andra lokala förhållanden varierar flödes hastigheten både vertikalt och horisontellt i vattendraget, (figur A.2.3). Generellt är det större skillnad i flödes hastighet i bredd- än i djupskala. Maximal flödes hastighet återfinns vanligtvis precis under vattenytan och en bit ut från stranden. Medelflödes hastigheten bör enligt teorin för tvådimensionellt turbulent flöde i ett naturligt vattendrag mätas på ett djup av 0,6 gånger vattendjupet för varje sektion. Med hjälp av observationer har det visats att flödesmedel hastigheten kan tas fram ännu säkrare genom att ta medelvärdet av de uppmätta flödes hastigheterna på djupen av 0,2 och 0,8 gånger vattendjupet⁶.

³ Rydell, B., Arvidslund O., Fallsvik, J., (2007) *Undersökningar i strandnära områden- Mätning av topografi och batymetri- Tillämpning för erosion och släntstabilitet*, Varia 573 Statens geotekniska institut (SGI)

⁴ Bergström, S., 1993, *Sveriges Hydrologi- grundläggande hydrologiska förhållanden*, SMHI/ Svenska Hydrologiska Rådet

⁵ Marklund, H., Westman, S., *Vattenföringsbestämningar inom miljöövervakningen*, version 2:1b, Naturvårdsverket

⁶ Häggström, S, (1992). *Hydraulik för V-Teknologer*, upplaga 2, Institutionen för vattenbyggnad Chalmers Tekniska Högskola



Figur A.2.3 Variation i vattnets flödes hastighet i ett vattendrag, baseras på figur i ¹.

För att få representativa värden på flödesmätningarna är valet av plats för mätningarna avgörande. Vid mätplatsen bör strömfåran vara rak och oföränderlig, vattenströmmen ska vara jämn (snedström och bakström bör undvikas) och strömhastigheten bör i större delen av sektionen vara högre än $0,2 \text{ m/s}^5$.

Den vanligaste direkta metoden för att mäta vattenföringen är att mäta vattenstånd och hastighet på vattnet med någon form av strömhastighetsmätare, den så kallade hastighet - area metoden⁶. Vanligast är att mäta vattenhastigheten med hjälp av en flygel. Flödes hastigheten mäts då i ett antal punkter i ett tvärsnitt och vattenföringen beräknas som produkten av vattenståndet och vattenhastigheten med en integral. Om mätningarna utförs med flygel bör också platser med strömhastigheter mindre än $1,5 \text{ m/s}$ undvikas⁵. Ytterligare en metod att mäta vattenhastigheten är att använda något som flyter med vattendraget, en flottör, till exempel en apelsin. Med flottörmetoden fås vattenhastigheten vid ytan. För att få medel flödes hastigheten måste en korrigeringsfaktor användas. För vattendrag med djupet 1 meter bör en faktor på 0,7 multipliceras med flödes hastigheten på ytan, medan för vattendrag med ett djup av 6 meter eller mer bör korrigeringsfaktorn vara 0,8. Denna enkla metod är bra för att grovt uppskatta flödet. Vattenståndet, som enklast mäts med en pegel, bör mätas före och efter mätningen av flödes hastigheten. Skulle det vara skillnader i vattenstånd före och efter ska ett medelvärde tas mellan de båda mätningarna.

Är vattnet kraftigt turbulent kan det vara svårt att använda strömhastighetsutrustning, såsom flyglar, i dessa fall passar utspädningsmetoden bäst. Ett spårämne av känd koncentration tillsätts på mätplatsen och längre ned i vattendraget analyseras utspädningen. För att mäta koncentrationen krävs särskild laborieutrustning⁵. Fler fördelar med denna metod är att det inte krävs några rörliga instrument i vattnet samt att metoden är relativt snabb⁶.

Ytterligare en direkt metod för att mäta vattenföringen är volym- tidmetoden, i vilken tiden det tar för att fylla en behållare med känd volym mäts. Denna metod är lättast att använda i små vattendrag med fri vattenstråle där vattenföringen är mellan 0 och 15 l/s .

För att erhålla kontinuerliga flödesdata krävs mätning med en indirekt metod. En bestämmande sektion krävs för att få ett entydigt samband mellan vattenstånd och vattenföring. Vattenståndet mäts kontinuerligt med hjälp av en pegel och vattenföringen fås med hjälp av en avbördningskurva som visar sambandet mellan vattenstånd och vattenföring för vattendraget. Utseendet på avbördningskurvan erhålls med någon av de direkta metoderna⁵.

$$Q = K(W - W_0)^P \quad (\text{A.2.1})$$

där

Q är vattenföringen

W är vattenståndet

W_0 är tröskelvärde på vattenståndet

K är en empirisk koefficient

P är en empirisk exponent

Mätning av vattenföringen kan göras hela året, däremot krävs särskild metodik för islagda vattendrag⁵. Det är också viktigt att komma ihåg att tillförlitligheten hos flödesdata aldrig kan bli bättre än vad tekniken tillåter. Generellt gäller att desto mindre vattendraget är desto osäkrare blir data¹.

Utrustningslista för inmätningar i fält

Avvägning av tvärsektioner

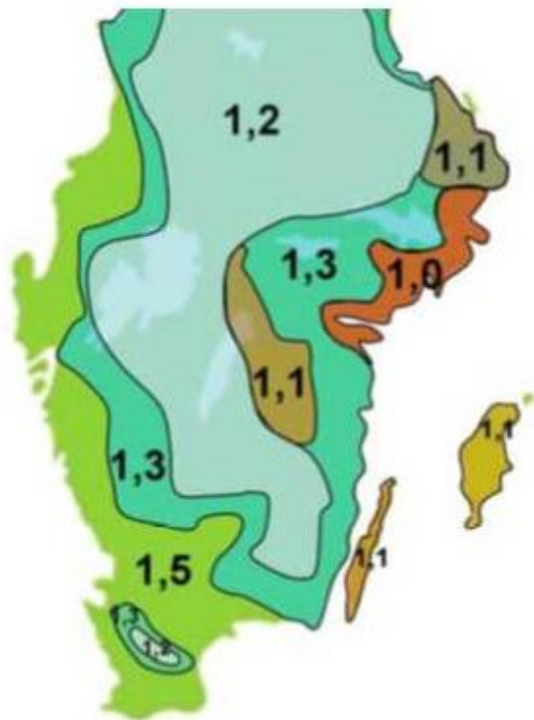
- GPS (gärna med noggrann höjdupplösning)
- Latta
- Måttband
- Båt, för att färdas på vattendraget
- Ankare

Vattenföringsmätning

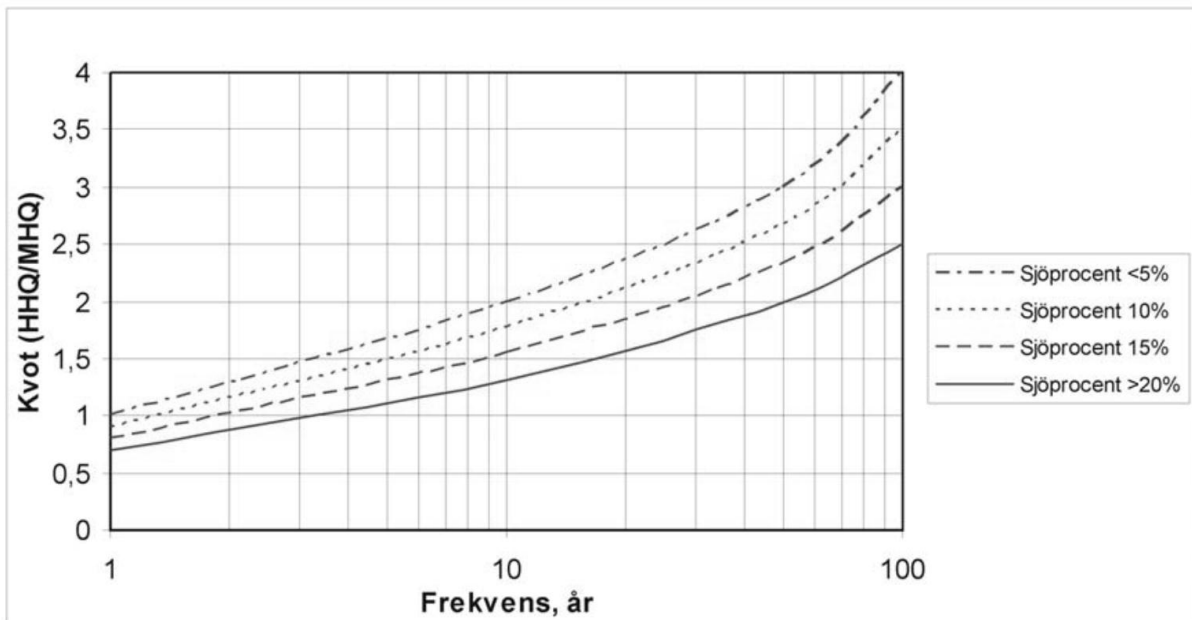
- Karta över observationsplatsen
- Avvägningsutrustning, latta
- Måttband
- Tidtagarur
- Vattenhastighetsmätare (t.ex. flygel, flottör)
- Protokoll

A.3 BERÄKNING AV 100-ÅRSFLÖDET MED VÄGVERKETS METOD

Bilderna är publicerade i Vägverket 2008:61. Medgivande om publicering i detta examensarbete gavs den 15 december 2010.



Figur A.3.1 Justeringsfaktorer för beräkning av 100-årsflödet med hänsyn till klimatförändringarna.



Figur A.3.2 Beräkning av HHQ utifrån MHQ och korrigerad sjöprocent P_k .

A.4 PROGRAMVARA

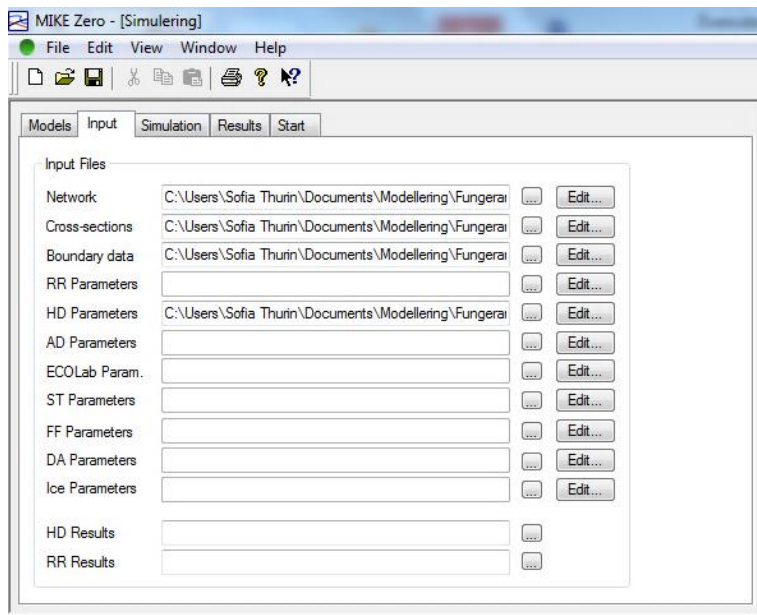
MIKE 11

MIKE 11 är en avancerad beräkningsprogramvara utvecklad av DHI. Programmet används för simulering av vattenföring, vattenkvalité och sedimenttransport i bland annat floder, flodmynningar, kanaler och bevattningssystem. Vidare är MIKE 11 ett helt dynamiskt endimensionellt modelleringsverktyg för detaljerade analyser av enkla så väl som komplicerade flodsystem (MIKE 11 Shorts Introduction Tutorial, 2009). En endimensionell beskrivning innebär att modellen endast tar hänsyn till förlopp i flödesriktningen⁷.

Editorer

MIKE 11 innehåller flera så kallade editorer, till exempel *Simulation Editor*, *Network Editor*, *Cross Section Editor*, *Time Series Editor*, *Boundary Editor*, *Parameter Editor* och *HD Parameter Editor*. Det finns inget direkt förhållande mellan dessa, de implementeras och redigeras oberoende av varandra.

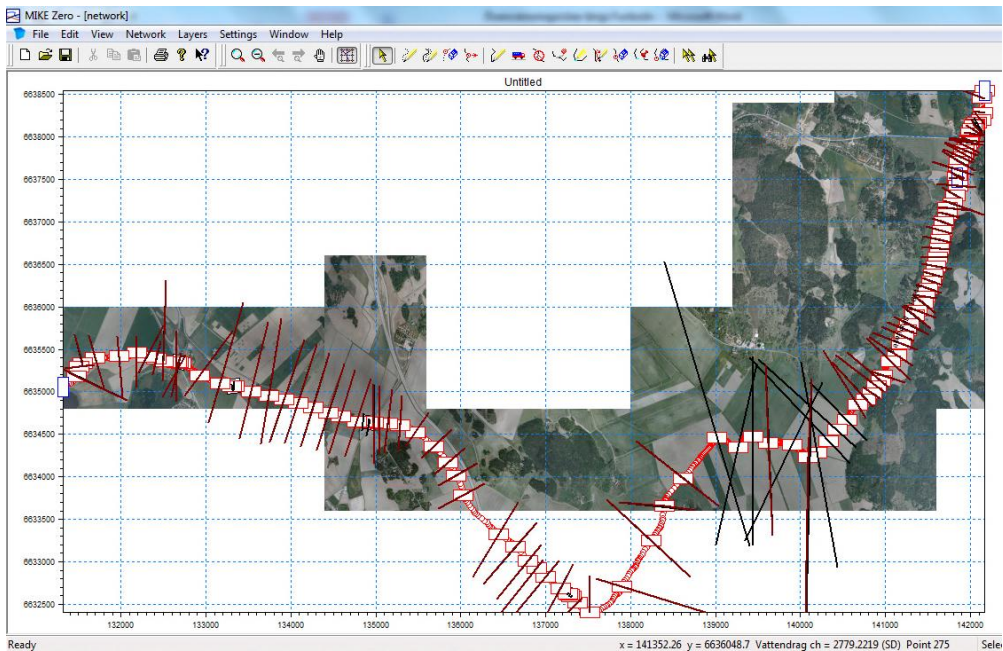
Med *Simulation Editor* (figur A.4.1) skapas en länk för informationsbyte och integration mellan de individuella editorerna. Dessutom används den för att bestämma simuleringsperiod, namnge resultatfiler och för att starta simuleringar.



Figur A.4.1 Illustration av *Simulering Editor* i MIKE 11.

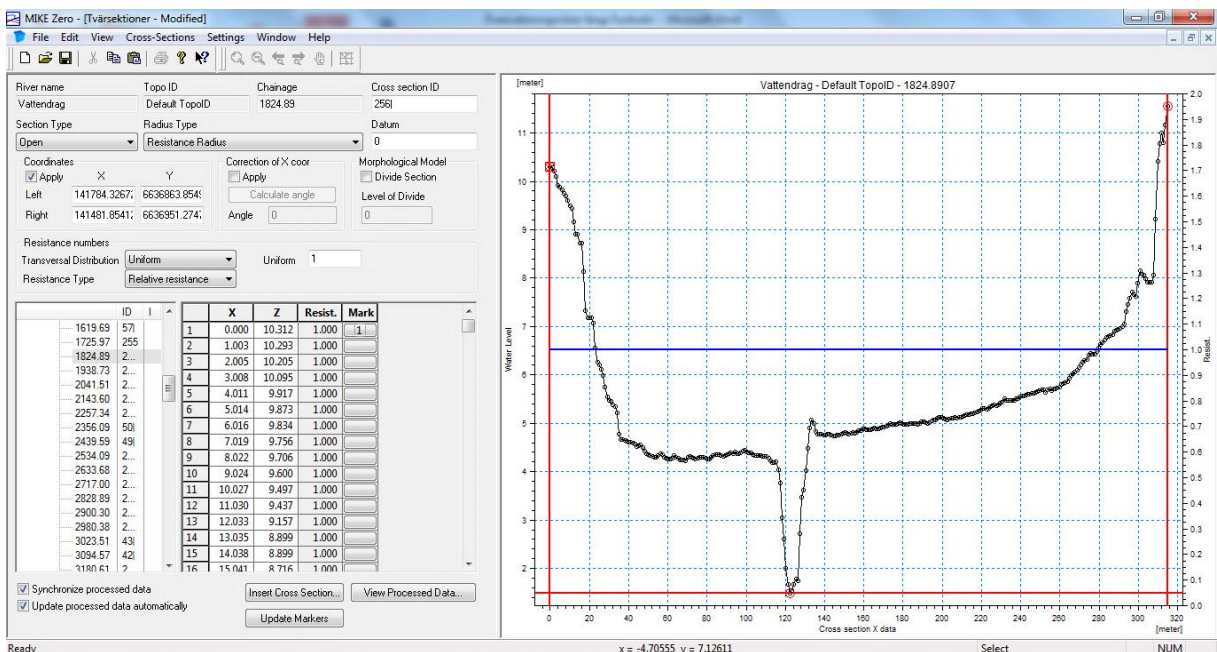
Network Editorn består av en tabelldel och en grafisk del (figur A.4.2). Den spelar en central roll i MIKE 11 eftersom information från alla andra editorer kan visas i dess grafiska fönster. Därtill är det möjligt att i det grafiska fönstret redigera vattendragets övergripande utseende såsom digitalisera punkter och anslutningar i flodgrenar och definiera hydrologiska strukturer.

⁷ Midboe, F. och Persson H., 2005, *Simulering av översvämningar i Byälven*. Examensarbete i hydrologi, Institutionen för Geovetenskaper, Uppsala Universitet



Figur A.4.2 Illustration av Network Editor i MIKE 11

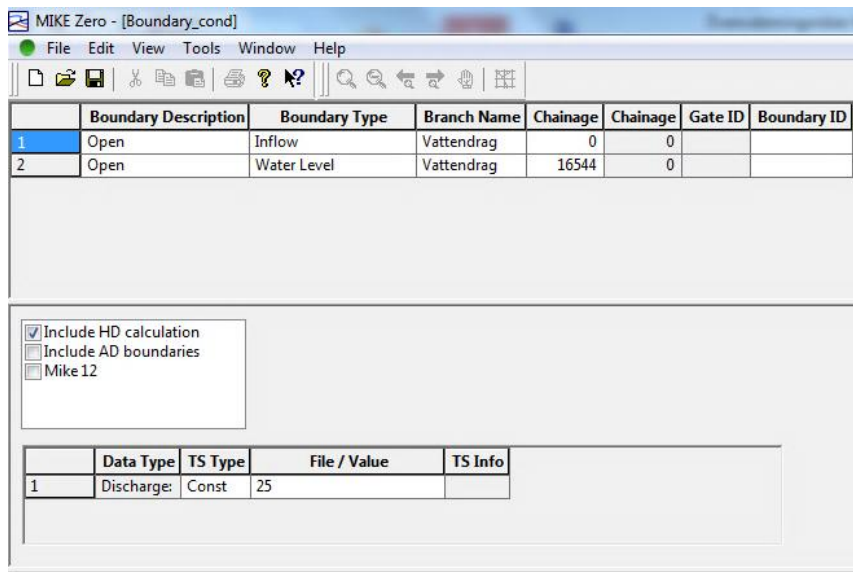
I *Cross Section Editor* består data av två olika set, rådata (figur A.4.3) och bearbetade data. Rådata beskriver med hjälp av (x, z) koordinater det fysikaliska utseendet på tvärsektionen, vanligtvis hämtat från inmätningar i fält. Bearbetade data beräknas utifrån rådata och innehåller motsvarande värden för nivå, tvärsektionsarea, flödesbredd och hydraulisk radie.



Figur A.4.3 Illustration av rådata i *Cross Section Editor* i MIKE 11.

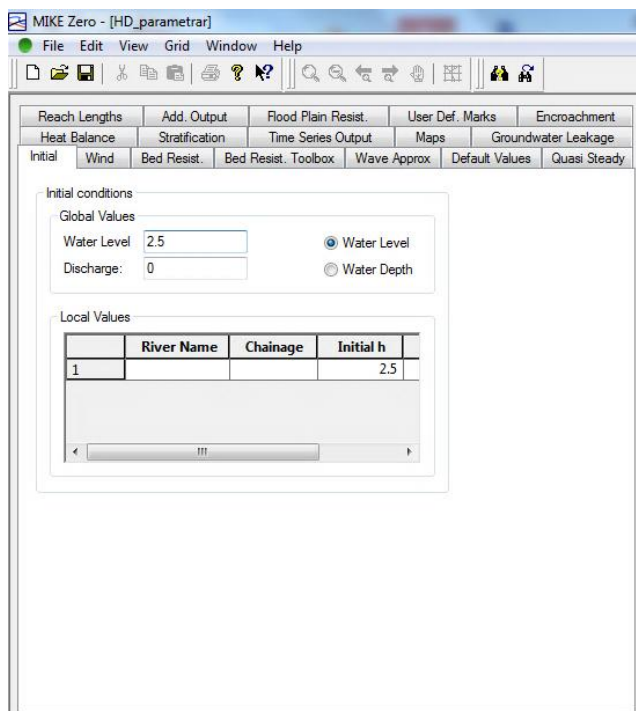
Det finns två typer av editorer för att sätta randvillkoren i MIKE 11, *Time Series Editor* och *Boundary Editor* (figur A.4.4). I *Time Series Editor* skapas tidsserier för till exempel inflöden längs vattendraget som sedan kan användas i *Boundary Editor*. I *Boundary Editor* sätts rand-

villkor i början och slutet av modellen, det finns också möjlighet att sätta villkor i andra delar av modellen såsom tillflöden.



Figur A.4.4 Illustration av *Boundary Editor* i MIKE 11.

HD Parameter Editorn (figur A.4.5) är till för att specificera värden för variabler, såsom initialvärden för flöden och vattenstånd för den hydrodynamiska beräkningen (MIKE 11 Short Introduction Tutorial, 2009). Här görs inställningar av en mängd parametrar som används i beräkningen, till exempel Mannings tal. Dessutom finns här en mängd ”default values”. Det är också möjligt att ange vilka kartor som ska genereras.



Figur A.4.5 Illustration av *HD Parameter Editor* i MIKE 11.

Saint Venants Ekvationer

Den hydrodynamiska modulen i MIKE 11 löser Saint Venants ekvationer. De är vertikalt integrerade ekvationer för bevarande av volym och rörelsemängd. MIKE 11 löser ekvationerna under antagandet att.

- Vattnet är homogent och inkompressibelt med konstant densitet
- Bottenlutningen är liten
- Längden på vågorna är stor i förhållande till vattendjupet, vilket säkrar att flödesriktningen överallt är parallell med botten. Således kan acceleration i vertikal riktning bortses
- Flödet är subkritiskt

Under antagande att tvärsektionerna är rektangulära med en horisontell botten och konstant bredd beskrivs bevarandet av massa och rörelsemängd i (MIKE 11 Reference Manual, 2009) enligt ekvation (A.4.1), respektive (A.4.2).

$$\frac{\partial(\rho Hb)}{\partial t} = - \frac{\partial(\rho Hb\bar{u})}{\partial x} \quad (\text{A.4.1})$$

$$\frac{\partial(\rho Hb\bar{u})}{\partial t} = \frac{\partial\left(\alpha' \rho Hb\bar{u}^{-2} + \frac{1}{2}\rho g b H^2\right)}{\partial x} \quad (\text{A.4.2})$$

där

ρ är densiten

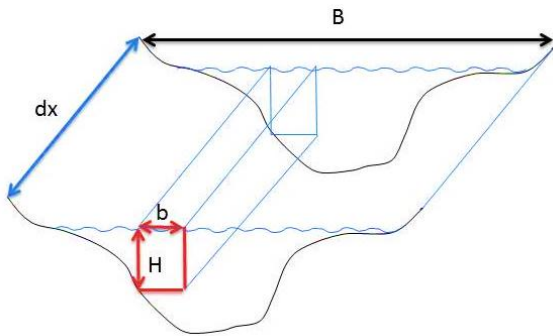
H är djupet

b är bredden

\bar{u} är medelhastigheten längs vertikalen

α' är en vertikal hastighetsfördelningskoefficient

För att även ta hänsyn till att botten lutar måste fler termer läggas till ekvationen för rörelsemängdens bevarande. Kanalens bredd får variera och vattendjup ersätts med vattenstånd. Genom att integrera de nya ekvationerna kan flödet genom tvärsektionerna beskrivas genom en uppdelning av tvärsektionerna i rektanglar med bredden, b , höjden, h , längden, dx och totala bredden, B (figur A.4.6).



Figur A.4.6 Beskrivning av hur MIKE 11 beräknar flödet genom tvärsnitt, baseras på figur i (MIKE 11 Reference Manual, 2009).

Under antagande att $\partial H/\partial x$ är konstant över kanalen samt att inget utbyte av rörelsemängd sker mellan subkanalerna kan den integrerade tvärsnittens area, A , och det integrerade flödet, Q , beskrivas.

$$A = \int_0^B H db \quad (\text{A.4.3})$$

$$Q = \int_0^B H \bar{u} db = \bar{u} A \quad (\text{A.4.4})$$

Vidare, genom att integrera ekvationerna (A.4.1) och (A.4.2) för bevarande av massa och rörelsemängd, introduceras ekvationerna för A , ekvation (A.4.3) och Q , ekvation (A.4.4). Därpå inkluderas hydraulisk resistans, q , i ekvationerna vilket ger den ekvation som MIKE 11 använder, ekvation (A.4.5).

$$Q = MR^{\frac{2}{3}} S_0^{\frac{1}{2}} A \quad (\text{A.4.5})$$

där

M är Mannings tal

R är den hydrauliska radien

S_0 är lutningen på botten

A är area av den våta delen på tvärsnittet

Lösningssmodell

Ekvationerna som beskrivits ovan löses för varje tidssteg genom transformation till flera differentialekvationer. Lösningen sker i ett datoriserat rutnät bestående av omväxlande Q - och h -punkter. Flödet och vattenståndet beräknas i varje tidssteg. Beräkningsrutnätet genereras automatiskt efter de villkor användaren har satt upp. Flödet är definierat positivt i flödesriktningen och Q - punkterna är alltid placerade mitt emellan h -punkterna, avståndet mellan h -punkterna varierar. Lösningssmodellen baseras på ett 6 punkters Abbot-scheme. För mer information se MIKE 11 Reference Manual (2009).

Om antalet beräkningspunkter ökar kommer tiden det tar att utföra beräkningen öka. Därför är det viktigt att hålla antalet beräkningspunkter så lågt som möjligt utan att resultatet blir

signifikant sämre. Dessutom beror modellens stabilitet framförallt av förhållandet mellan tidssteg och avståndet mellan beräkningspunkterna. Om avståndet mellan beräkningspunkterna minskas måste också tidsteget minska för att modellen inte ska bli instabil (MIKE 11 Reference Manual, 2009).

MIKE 11 GIS

MIKE 11 GIS är ett tillägg till ArcMap utvecklat av DHI och verkar som ett verktyg mellan ArcGIS och MIKE 11. Programmet används för att sätta upp nätverk och tvärsektioner för modeller i MIKE 11. Dessutom finns funktioner för att visualisera och analysera simuleringsresultat (MIKE 11 GIS User Guide, 2009).

MIKE VIEW

MIKE View är ett tillägg till bland annat MIKE 11 för att visualisera och analysera resultatfiler. Resultaten kan visas antingen horisontellt som färganimationer och statistik, som vertikala animationer, i form av tidsserier och varaktighetskurvor samt som relationen mellan vattenföring och vattenstånd (MIKE View User Guide and Tutorial, 2008).

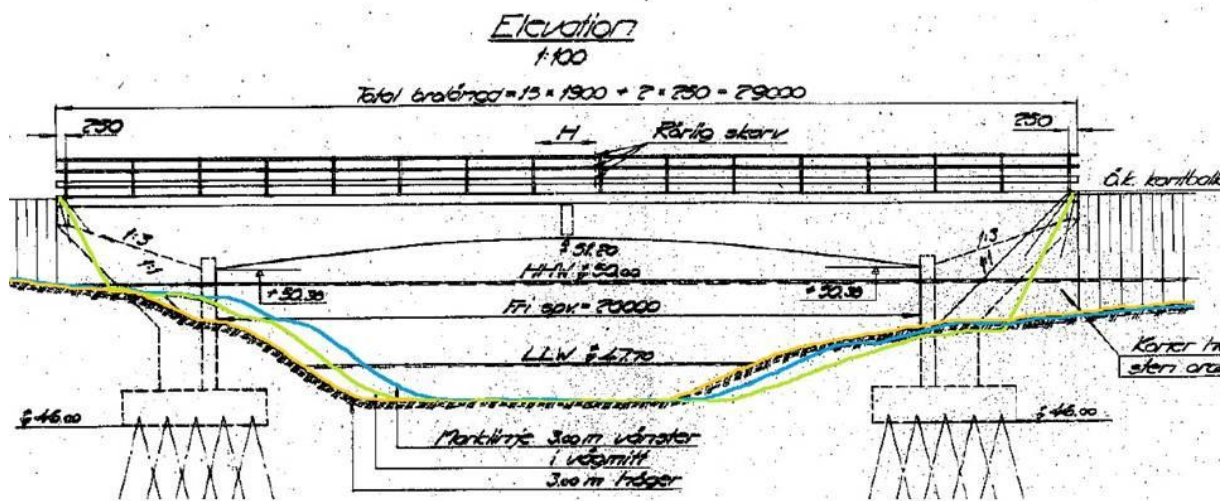
A.5 UNDERLAG FÖR SIMULERINGARNA

Tabell A.5 Randvillkor för simuleringarna

Simulering	Typ av randvillkor	Chainage	Beskrivning	Konstant/hydrograf	Flöde [m ³ /s]	Vattenstånd [m]
Kalibrering	Open	0	Utloppet Funbosjön	Hydrograf	-	-
	Point source	1132	Lillån	Hydrograf	-	-
	Point source	2980	Trehörningen	Hydrograf	-	-
	Point source	5944	Samnan	Hydrograf	-	-
	Distributed	8578	Markavrinning	Hydrograf	-	-
	Water level	16544	Vattenstånd Fyrisån	Konstant	-	1,74
Förändring av Mannings-tal	Open	0	Utloppet Funbosjön	Konstant	42	-
	Point source	1132	Lillån	Konstant	3,9	-
	Point source	2980	Trehörningen	Konstant	2,3	-
	Point source	5944	Samnan	Konstant	5,1	-
	Distributed	8578	Markavrinning	Konstant	19,7	-
	Water level	16544	Vattenstånd Fyrisån	Konstant	-	2,3
Förändring av vattenföring	Open	0	Utloppet Funbosjön	Konstant	Varierat	-
	Point source	1132	Lillån	Konstant	Varierat	-
	Point source	2980	Trehörningen	Konstant	Varierat	-
	Point source	5944	Samnan	Konstant	Varierat	-
	Distributed	8578	Markavrinning	Konstant	Varierat	-
	Water level	16544	Vattenstånd Fyrisån	Konstant	Varierat	2,3
Vägverket	Open	0	Utloppet Funbosjön	Konstant	56	-
	Point source	1132	Lillån	Konstant	5,3	-
	Point source	2980	Trehörningen	Konstant	3,1	-
	Point source	5944	Samnan	Konstant	7	-
	Distributed	8578	Markavrinning	Konstant	37,4	-
	Water level	16544	Vattenstånd Fyrisån	Konstant	-	2,3
SMHI	Open	0	Utloppet Funbosjön	Konstant	42	-
	Point source	1132	Lillån	Konstant	3,9	-
	Point source	2980	Trehörningen	Konstant	2,3	-
	Point source	5944	Samnan	Konstant	5,1	-
	Distributed	8578	Markavrinning	Konstant	19,7	-
	Water level	16544	Vattenstånd Fyrisån	Konstant	-	2,3
100-årsflöde med 10-års regn	Open	0	Utloppet Funbosjön	Konstant	56	-
	Område 7	334	Från bebyggelse	Hydrograf	-	-
	Område 4	980	Från bebyggelse	Hydrograf	-	-
	Område 8	2980	Från bebyggelse	Hydrograf	-	-
	Område 1-3	4277	Från bebyggelse	Hydrograf	-	-
	Område 5,6	5944	Från bebyggelse	Hydrograf	-	-
Water level	16544	Vattenstånd Fyrisån	Konstant	-	2,3	

Simulering	Typ av randvillkor	Chainage	Beskrivning	Konstant/hydrograf	Flöde [m ³ /s]	Vattenstånd [m]
Medelhögflöde med 100-års regn	Open	0	Utloppet Funbosjön	Konstant	16	-
	Område 7	334	Från bebyggelse	Hydrograf	-	-
	Område 4	980	Från bebyggelse	Hydrograf	-	-
	Område 8	2980	Från bebyggelse	Hydrograf	-	-
	Område 1-3	4277	Från bebyggelse	Hydrograf	-	-
	Område 5,6	5944	Från bebyggelse	Hydrograf	-	-
	Water level	16544	Vattenstånd Fyrisån	Konstant	-	1,8
BHF	Open	0	Utloppet Funbosjön	Hydrograf	-	-
	Point source	8578	Lillån	Hydrograf	-	-
	Point source	16314	Trehörningen	Hydrograf	-	-
	Point source	5944	Samnan	Hydrograf	-	-
	Distributed	8578	Markavrinning	Hydrograf	-	-
	Water level	16544	Vattenstånd i Fyrisån	Hydrograf	-	3,96
Vägverket med hänsyn till klimatförändring	Open	0	Utloppet Funbosjön	Konstant	67,2	-
	Point source	1132	Lillån	Konstant	6,4	-
	Point source	2980	Trehörningen	Konstant	3,7	-
	Point source	5944	Samnan	Konstant	8,3	-
	Distributed	8578	Markavrinning	Konstant	43,8	-
	Water level	16544	Vattenstånd Fyrisån	Konstant	-	2,3

A.6 BRORITNING



- Tvärsektion uppströms weir
- Weir
- Tvärsektion nedströms weir

Metod vid införande av weirs i MIKE 11

1. Mät in korrekt höjd på bron i terrängmodellen
2. Skala om broritningen utifrån överkant bro
3. Mät in höjderna för bottensektionerna
 - Som nivå-level (bredden på weiren vid respektive höjd)
 - Som en tvärsektion
5. Beräkna "Q-H relations" i MIKE 11

Figur A.6 Metod för att föra in en bro som en weir i MIKE 11.

Tabell A.6 Inlagda broar, chainage beskriver avståndet från Funbosjöns utlopp (m)

Bro	Chainage	Beskrivna som
Gamla bron i Funbo	452	Sammansatt, 3 kulvertar och 1 weir
Väg 55 mot Länna	665	1 weir
Järnväg mot Länna	1122	1 weir
Väg 651 [Edebybro]	9303	1 weir
Väg 649 [Falebro]	12577	1 weir
Järnväg mot Stockholm	14238	1 weir
Väg 255 [Kuggebro]	14946	1 weir