

PROJEKT BYÄLVEN – EFTER ÖVERSÄMNINGEN HÖSTEN 2000

The Byälven project – after the flood of year 2000

av TORBJÖRN SVENSSON och FINN MIDBÖE

Karlstads Universitet

e-post: torbjorn.svensson@kau.se, finn.midboe@hydroterra.se



Abstract

During autumn year 2000 a severe flood hit the Byälven river system in the western parts of Värmland, Sweden, causing damages of about MEUR 25–30. Afterwards local municipalities and the county board decided to investigate the possibilities of mitigating future floods and initiated the Byälven Project. What caused the flood and a number of flood protection measures were looked into in the first stage of the project. Some measures that proved environmentally or economically unfeasible were rejected whilst some remained interesting. In the second stage a detailed hydraulic model of the river was developed and used to study the effectiveness of different flood protection measures. Places along the river reach where protective measures would be effective were identified and the attained reductions of water level were calculated. In the third stage more detailed simulations and economical calculations were made for the most interesting measures in order to estimate cost effectiveness. The investigation highlights a number of technical protective measures that considerably reduces risk-cost coupled with floods. The step by step carrying through of the project made it possible to economize on investigating resources and thereby to study the most interesting protective measures more in depth. The method proved to be successful considering protective measures now are being realized.

Key words – Byälven, Gläfsfjorden, flood, protective measures, hydraulic simulation, return period, risk-cost, flood protection, natural disaster, high water levels

Sammanfattning

Under hösten 2000 inträffade en omfattande översvämning inom Byälvens vattensystem i västra Värmland med skadekostnader på i storleksordningen 250 Mkr. Efter översvämningen beslutade kommunerna och länsstyrelsen att möjligheterna till skyddsåtgärder skulle utredas och initierade Projekt Byälven. Orsaker och händelseförlopp vid översvämningen kartlades och möjliga skyddsåtgärder undersöktes i projektets första etapp. Ett antal skyddsåtgärder kunde avfärdas som miljömässigt eller ekonomiskt ogenomförbara medan andra kvarstod som intressanta. I andra etappen togs en detaljerad strömningsmodell fram som användes för att undersöka effekterna av olika tekniska skyddsåtgärder. Platser där tekniska åtgärder kunde ge bra översvämning begränsande effekt identifierades och nivåminskningen av skyddsåtgärder vid en översvämning beräknades. I etapp tre gjordes mera detaljerade simuleringar av de mest intressanta skyddsåtgärder samtidigt som ekonomiska kalkyler gjordes för att bedöma kostnadseffektiviteten. Ett beslutsunderlag med skyddsåtgärder respektive kostnader och effektivitet togs fram. Utredningarna pekar på ett antal tekniska skyddsåtgärder som avsevärt skulle reducera riskkostnaden i samband med översvämningar i Gläfsfjorden och Byälven. Projektets etappvis genomförande medförde att man kunde hushålla med utredningsresurserna och gav möjlighet att i detalj studera de aspekter som var avgörande för de mest effektiva skyddsåtgärder. Arbetsmetoden visade sig också vara framgångsrik i det avseende att skyddsåtgärder nu är genomförda, under genomförande eller planerade.

Bakgrund

Under hösten 2000 inträffade en omfattande översvämning inom Byälvens vattensystem i västra Värmland, från sjön Glafs fjorden till utloppet i Vänern vid Säffle. Speciellt i Arvika, som ligger vid en avgränsad vik av Glafs fjorden, Kyrkviken, blev situationen mycket allvarlig. Under oktober och november var den sammanlagda nederbörden omkring tre gånger så hög som normalt vilket medförde att nivån i Glafs fjorden steg till 3,14 m över medelnivån (Svensson m.fl., 2002). I Arvika översvämmades hamnområdet och delar av stadens centrum. Järnvägstrafiken genom staden stoppades och reningsverk slogs ut. Även kring Glafs fjorden och längs Byälven ned till Säffle blev många hus, stora jordbruksarealer och flera vägar påverkade, se Fig. 1. Stora ansträngningar gjordes av räddningstjänsten m.fl. för att skydda människor, byggnader och infrastruktur mot vattenmassorna. B.l.a. användes mobila översvämningsskydd, s.k. pallbarriärer, för första gången i stor skala. En informationsstab byggdes upp för att förse allmänheten och de drabbade med löpande information om läget. Kontinuerligt uppdaterade flödes- och vattenståndsprognoser lämnades av SMHI, men först i ett senare skede av översvämningen. Den sammanlagda insatsen anses vara den mest omfattande som genomförts i Sverige och kunde hindra en än större katastrof. De totala kostnaderna för översvämningen har uppskattats till omkring 250 Mkr. Av detta har från statliga medel till Arvika kommun utbetalats 25 Mkr för att täcka kostnader för räddningsinsatsen och 48 Mkr för att ersätta skador på kommunala anläggningar.

Insatserna under översvämningen och effekterna på olika samhällsfunktioner har beskrivits i en rad rapporter från olika kommunala förvaltningar. Här framgår vilka svåra påfrestningar som många människor utsattes för till följd av översvämningen och som i vissa fall lett till psykosociala effekter som kvarstått under lång tid. Skador orsakade av Byälvens översvämning på viktiga

samhällsfunktioner, såsom el, VA och vägar, kunde återställas inom några månader medan vissa byggnader skulle komma att stå skadade under lång tid.

Slutligen steg även Vänern högre än den nått sedan den reglerades på trettioalet och länsstyrelsen övertog ansvaret och tillät tappning av mer vatten än vad gällande vattendom medger till Göta älv. Boende och kommuner runt hela Vänern mobiliserade för att värja sig mot vattennivåerna.

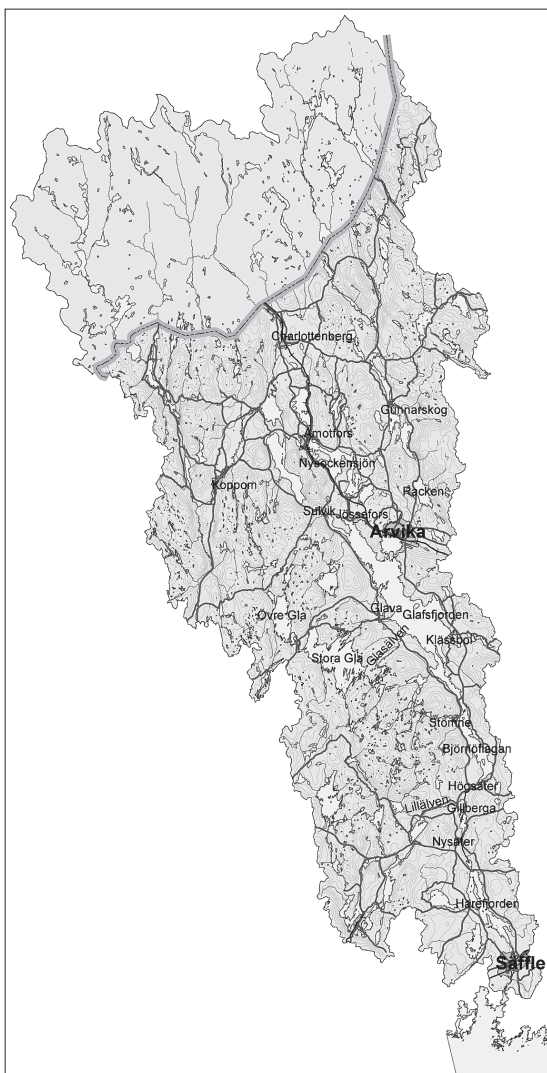
Översvämningen aktualiserade naturligtvis frågan om hur framtida översvämningsskador skulle kunna begränsas och dessa diskussioner kom att i första hand kanaliseras genom den då nybildade älvgruppen för Byälven. Älvgruppen består av berörda intressenter inom hela avrinningsområdet, se Fig. 2. Gruppen leds av länsstyrelsen för Värmlands län och skall vara en informations- och samordningskanal. I gruppen ingick förutom Länsstyrelsen representanter för Säffle, Arvika och Eda kommuner, Hedemark fylke i Norge, Vägverket, Banverket, Sjöfartsverket, LRF och SMHI, m.fl.

Diskussioner inom älvgruppen och berörda kommuner utmynnade i ett uppdrag till Karlstads universitet att utreda och belysa översvämningens förlopp och orsaker, samt att visa på vilka tekniska möjligheter som finns för att minska riskerna för framtida översvämningar. I utredningsförslaget ingick även en ekonomisk utvärdering av direkta och indirekta skadekostnader, men denna kom inte till utförande. Utredningen finansierades till lika delar av länsstyrelsen och de tre berörda kommunerna. Den ställdes senare samman med andra relevanta utredningar och data till ett kunskapsmaterial som ligger till grund för fortsatt arbete. Som projektledare engagerades HydroTerra ingenjörer AB.

Det fortsatta arbetet med skydd mot översvämningar i Byälven, från Glafs fjorden, inklusive Kyrkviken och Arvika stad ned till Säffle och utloppet i Vänern, har följt två linjer. Den första är att stänga förbindelsen mellan Kyrkviken och Glafs fjorden vid höga vattenstånd och på så sätt undanhålla Arvika stad från översvämning,



Figur 1. Översvämningen i centrala Arvika och vid Gillbergasjön, längs riksväg 175 mellan Säffle och Arvika.



Figur 2. *Byälvens avrinningsområde.*

den andra är att minska nivån i Glafs fjorden genom att underlätta genomströmningen nedströms. Även möjligheten att dämpa flödestoppen genom magasinering uppströms har bedömts, men avskrivits beroende på de stora konsekvenserna. Det första förslaget är f.n. nära genomförande, se ansökan till miljödomstolen (Arvika kommun, 2005). Miljödomstolen har meddelat tillstånd men detta har överklagats.

I denna artikel beskrivs arbetet med det andra förslaget, analysen av hur avtappningen genom Byälven skall kunna ökas vid risk för översvämningar. Arbetet, som getts namnet Projekt Byälven, har genomförts i tre etapper där ovan nämnda utredning utgör Etapp 1



Figur 3. Flygbild från översvämningen som visar översvämmad jordbruksmark vid Gillbergasjön.

(Svensson m.fl., 2002). De båda senare etapperna har delvis finansierats inom EU-projektet FLOWS (<http://www.flows.nu>).

Målsättningen med projektet har utvecklats successivt på basis av resultaten från tidigare etapper. Slutmålet har varit att ta fram ett väl underbyggt förslag till åtgärds-paket som skall begränsa verkningarna av framtida höga flöden.

Byälvssystemet

Byälvens avrinningsområde sträcker sig från området kring den norska sjön Møkeren i norr till utloppet i Vänern ca 6 km söder om Säffle, se Fig.2. Ca 1/3 av avrinningsområdet ligger i Norge på upp till ca 520 m höjd över havet. Den totala arealen är 4785 km². Glafs-fjorden är den största sjön inom avrinningsområdet med en areal av ca 100 km² vid normalvattenstånd. Övriga sjöar har en total areal av ca 510 km² vilket ger en sjöandel av 12,8 %. Huvuddelen av tillrinningen till Glafs-fjorden sker från norr genom Kölaälven, Vrångsälven och Vaggeälven vilka har ett gemensamt utlopp i Glafs-fjorden via Jössefors kraftstation. Andra större tillopp sker genom Glasälven väster om Glafs-fjorden och Viks-älven som mynnar i Kyrkviken i Arvika. Söder om Glafs-fjorden ansluter Lillälven direkt till Byälven mellan Björnöflagan och Gillbergasjön. I övrigt finns ett antal större och mindre åar och bäckar som mynnar i Glafs-fjorden, Harefjorden eller i Byälven. Detaljerade upp-gifter finns i Svensson m.fl. (2002).

Byälvens sträckning mellan Glafs fjorden (Björnöfj-
gan) och utloppet passerar genom Gillbergasjön och
Harefjorden, sedan genom en smalare älvsträcka genom
centrala Säffle och ner till Vänern. Delsträckorna däremellan
och ned till Säffle är flacka och omges i huvudsak
av jordbruksmark, se Fig. 3. Vid medelvattenföring,

58,0 m³/s vid utloppet, faller älven endast ca 0,5–0,6 m från Glafs fjorden ned till Säffle och det s.k. dämnet, där nivån kontrolleras med tre rörliga dammluckor för att kunna upprätthålla seglatsdjup vid låga flöden. Parallellt med dammsektionen ligger en sluss för sjöfarten.

De flesta sjöarna uppströms Glafs fjorden är reglerade för kraftändamål. Den sammanlagda regleringsgraden (regleringsvolym/årstillrinning) är vid Glafs fjordens utlopp ca 21 %. Byälven mellan Glafs fjorden och utloppet i Vänern är reglerad för sjöfartsändamål genom nivåkontrollen i Säffle. Detta påverkar i första hand lågflödes-situationer.

Nederbörden varierar markant inom området på grund av den brutna terrängen. De största nederbörds-mängderna, omkring 800 mm, faller i områdets västra delar medan de södra delarna har minst nederbörd med ca 600–650 mm. Medelårsnederbörden inom Byälvens avrinningsområde är 730 mm.

Ettap 1

Den övergripande målsättningen för Ettap 1 var att analysera det hydrologiska förloppet inom avrinnings-området som ledde till översvämning i dess nedre del. På grundval av detta skulle möjliga tekniska skyddsåtgärder mot framtida översvämningsskador värderas översiktligt. Utredningen kom att innehålla följande delar:

- Geografisk beskrivning av Byälvens avrinningsområde inklusive dokumentation från studier av längs älven inom den svenska delen av avrinningsområdet
- Beskrivning av händelseutvecklingen under hösten 2000 med avseende dels på den meteorologiska situationen och dels på översvämningsekvenser och räddningsinsatser
- Insamling av data över nederbörd, flöden och vatten-nivåer samt statistiska bearbetningar
- Vattenbalansberäkningar för Glafs fjorden, Harefjorden och vissa delar uppströms Glafs fjorden
- Hydraulisk modellering (strömningsberäkningar) för sträckan Glafs fjorden – Säffle. Modellen användes efter kalibrering till att översiktligt värdera möjlig-heterna att sänka översvämningssnivåerna genom att minska vattendragets strömningsmotstånd.
- Utvärdering av möjligheter till översvämningsskydd genom magasinering uppströms. Beräkning av maga-sinsbehov för flödesutjämning samt beskrivning av befintliga magasin och möjliga översvämningssdäm-pande magasin.

Arbetsgruppen hade vid den tidpunkten inte tillgång till kommersiella datorprogram för hydrologiska eller hydrauliska beräkningar. Analyserna utfördes därför

med traditionella metoder och egenutvecklade modeller i Excel respektive Simulink.

Nederbördsdata insamlades från 8 stationer i och om-kring avrinningsområdet. Höstmånaderna oktober och november 2000 var både betydligt varmare och blötare än normalt. Detta kan kopplas till ett fastlåst väderläge med förhärskande sydliga till ostliga vindar. På grund av detta fick t.ex. Arvika hela 388 mm nederbörd under oktober och november, vilket utgör 308 % av normala värden under perioden och kan jämföras med normal årsnederbörd som är 594 mm. Även inom andra delar av avrinningsområdet föll minst 250 % av normalt. I december normaliserades nederbörds-situationen något.

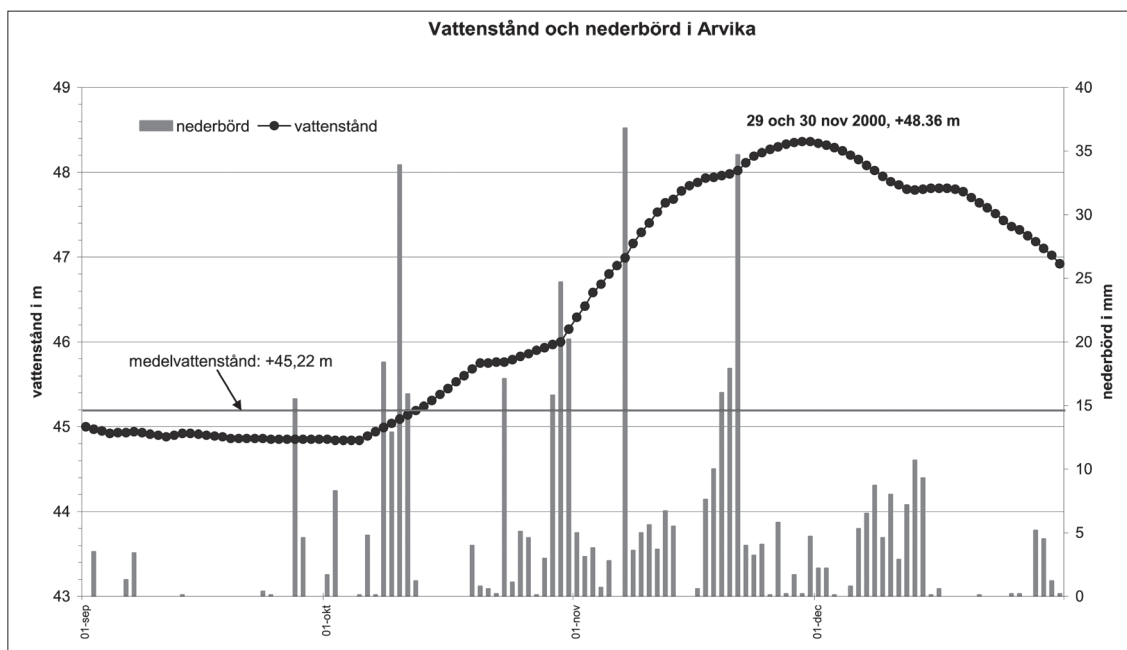
Den långvariga perioden med mycket regn ledde till att mark- och grundvattenmagasinen, från ett tämligen normalt läge, fylldes till mycket över det normala. Då tillfördes i stort sett all nederbörd snabbt de rinnande vattendragen inom avrinningsområdet. Vattenstånden i sjöarna inom området steg kontinuerligt och nådde maximum i slutet av november för att sedan börja falla. Detta exemplifieras i Fig. 4 som visar vattenståndet i Glafs fjorden och dygnsnederbörden i Arvika.

Vattennivån i Glafs fjorden hösten 2000 är den högsta som registrerats. En nästan lika hög nivå inträffade dock år 1904 enligt en markering på Arvikas stadshus.

Flödet i Byälven mellan Glafs fjorden och Vänern mäts vid dammsektionen i Säffle genom Sjöfartsverkets försorg. Under översvämningssperioden steg flödet här till ett maximum av 400 m³/s. Dammluckorna var då helt öppna och vattnet hotade ändå att översvämma delar av Säffle. Man bestämde då att tillfälligt öppna fri passage genom slussen, vilket var möjligt efter viss dramatik. Återkomsttiden för ett flöde på 400 m³/s har angivits av SMHI till 500 år medan nivån i Glafs fjorden med statistiska metoder beräknats till ca 100 år baserat på data för perioden 1961–2000 (Svensson m.fl., 2002).

För flödet i resten av Byälven, mellan Glafs fjorden och Säffle, finns flödesmätningar endast vid ett fåtal till-fällen på enstaka platser. Utflödet från Glafs fjorden fick därför beräknas med hjälp av en vattenbalansmodell. Denna baseras på tillgängliga mätdata för utflödet i Säffle samt på tillrinning och nivåer i övriga delar av sträckningen. Tillrinningen från de delavrinningsom-råden där mätningar saknas beräknades med en enkel hydrologisk modell. Detta gäller t.ex. hela den lokala tillrinningen till Kyrkviken. Modellen kalibrerades mot situationen under översvämningen vilket gav helt rim-liga värden på de ingående parametrarna. Vattenbalans-modellen användes sedan för att beräkna utflödet ur Glafs fjorden och för att upprätta en avbördningskurva som beskriver sambandet mellan utflödet och nivån i sjön vid liknande förhållanden som rådde hösten 2000.

De åtgärds-möjligheter som studerades i Ettap 1 var



Figur 4. Vattenståndet i Glafsforden och nederbörden i Arvika under perioden 1 sept. till 31 dec. 2000.

dels att minska strömningsmotståndet i Byälven nedströms Glafsforden och dels att jämna ut flödestoppar genom magasinering uppströms.

Magasinsbehovet beräknades utgående från villkoret att nivån i Glafsforden inte skulle överstiga en viss begränsningsnivå, t.ex. +47,5 m ö.h. under en högflödessituation liknande den år 2000. Vattennivån och utflödet sattes konstanta från den tidpunkt då begränsningsnivån uppnåts och överskottet i tillrinning förutsattes därefter magasineras uppströms till dess att tillrinningen inte längre var större än utflödet. Det på detta sätt beräknade magasinsbehovet uppgick till 589 Mm³ för att begränsa maximinivån till +47,0 m och 348 Mm³ för +47,5 m. Med en magasininsvolym av 100 Mm³ skulle man uppnå en sänkning av maximinivån av omkring 0,4 m, motsvarande nivån +47,95 m.

Magasinsbehovet kan jämföras med de befintliga magasininsvolymerna i sjöar uppströms Glafsforden. Dessa är 206 Mm³ totalt uppströms Jössefors och 129 Mm³ i Glassjöarna. De senare är dock så stora i förhållande till sitt tillrinningsområde att de endast skulle ha kunnat fyllas med ca 50 %, eller 60–70 Mm³, under översvämningssperioden. Den magasinering som skedde under oktober och november var ca 100 Mm³ i sjöarna uppströms Jössefors och 20 Mm³ i Glassjöarna. Det medförde en överfyllning av magasinerna uppströms Jössefors med 50 Mm³, medan fyllnadsgraden i Glassjöarna

knappt nådde upp till dämningssgränsen. Sammantaget innebär detta att en magasininsvolym av 190–200 Mm³ skulle kunna göras tillgänglig för flödesdämpning om magasinerna uppströms Jössefors vore helt tömda och i Glassjöarna tömda till minst 50 % vid början av översvämningssperioden. Även med detta oralistiska antagande skulle nivån i Glafsforden ha stigit till ca. +47,75 m, d.v.s. en sänkning av den maximinivå som nåddes med 0,6 m.

Möjligheterna att anlägga särskilda översvämningssmagasin för flödesdämpning uppströms Glafsforden har inventerats översiktligt. De enda möjligheter som synes stå till buds är att öka de befintliga magasinerna storlek genom att tillåta en höjning av nivån utöver dämningssgränsen. En höjning av 13 befintliga sjömagasin med mellan 1 och 3 m över dämningssgränsen skulle ge ett tillskott till magasininsvolymen med 156 Mm³. Efter som 50 Mm³ av dessa redan togs i anspråk under översvämningen hösten 2000 återstår 106 Mm³. Det skulle ha räckt till att sänka maximinivån i Glafsforden med något mer än 0,4 m.

Med hänsyn till de stora ingrepp som måste göras för att dämpa flödestoppar genom magasinering och den relativt begränsade effekten har detta alternativ inte utretts vidare.

Den andra metoden för att sänka nivån i Glafsforden och nedströms vid höga flöden är att minska ström-

ningsförlusterna på sträckan mellan Glafsforden och Vänern. För att studera detta konstruerades en matematisk simuleringsmodell som beräknar vattenståndsutvecklingen i Glafsforden, Gillbergasjön och Hareforden utgående från tillrinningen till Glafsforden och från biflödet Lillälven. För kalibrering utnyttjades även flödesdata från Säffle. Modellen kan betraktas som tre seriekopplade magasin med 3,7 km långa älvsträckor emellan. Flödet i älvsträckorna beräknades för varje tidssteg som kvasistationär kanalströmning vilket kan motiveras av att nivåförändringarna i sjöarna är långsamma i förhållande till tiden det tar för vattnet att transporteras mellan sjöarna. Modellen byggdes upp i det generella simuleringsprogrammet Simulink. För älvsträckorna mellan sjöarna fanns endast ett fåtal tvärsektioner uppmätta. Utgående från dessa ansattes i beräkningarna ett likformigt, prismatisk kanaltvärsnitt för respektive älvsträcka. Modellen kunde kalibreras med god tillpassning till förhållandena hösten 2000 med rimliga värden på Mannings tal och en realistisk tvärsnittsform.

Beräkningsmodellen har använts för att studera effekterna på vattennivåerna i systemet av att genomföra generella åtgärder i form av breddning och/eller fördjupning av älvsträckorna. Som exempel skulle man ha fått en 28 cm lägre maximinivå i Glafsforden under översvämningen hösten 2000 om de två älvsträckorna mellan Glafsforden och Hareforden breddats med 10 m och fördjupats med 0,5 m. Effekten är störst av åtgärder i den nedre av älvsträckorna. Om dessutom utflödet i Säffle ökas med 15 %, sjunker maximinivån i Glafsforden med 0,42 m och skulle då ha hamnat på nivån +47,94 m.

Breddning och fördjupning av älvsträckorna skall i detta sammanhang inte tolkas alltför bokstavligt. De innebär i praktiken att strömningshinder, ojämnheter, förträngningar m.m. tas bort så att strömningsförlusterna minskar lika mycket som motsvarar de minskade friktionsförluster man skulle få vid den angivna ökningen av tvärsnittsarea. Det skulle dock komma att krävas betydligt mera information om älvens botten-topografi än som var tillgängligt då utredningen gjordes för att avgöra var och hur de mest kostnadseffektiva åtgärderna kan utföras.

Etapp II

Resultaten från etapp I visade att åtgärder för att minska strömningsmotståndet i Byälven på sträckan mellan Glafsforden och Vänern kunde minska den högsta vattennivån vid samma översvämningssituation som år 2000 med upp till ca 0,4 m. För att avgöra vilka typer av åtgärder som kan göras, var de borde sättas in och med vilken omfattning för att åstadkomma denna översväm-

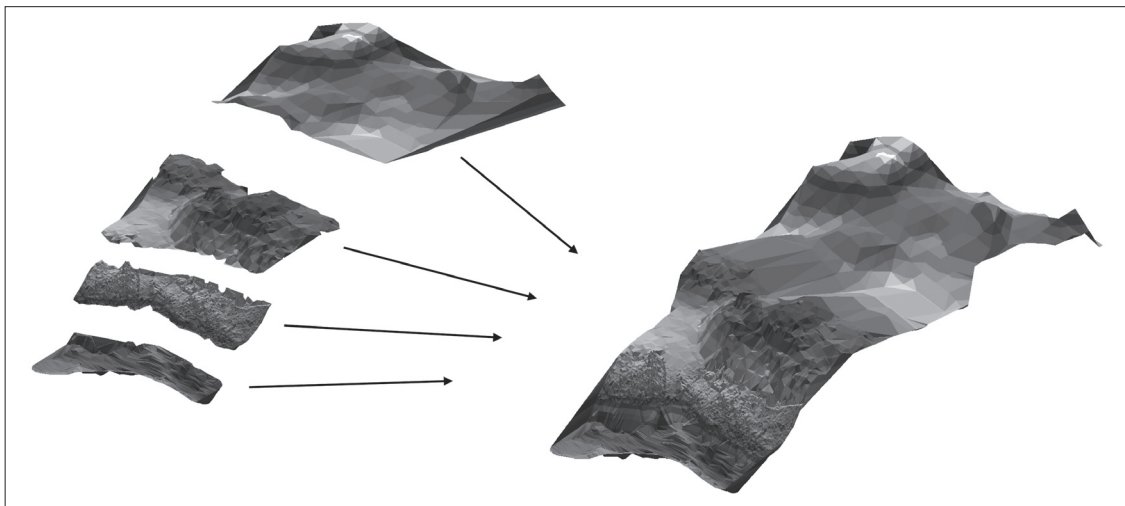
ningsbegränsande effekt behövdes emellertid en mera detaljerad hydraulisk modell över vattendraget. Projekt Byälven etapp 2 initierades med målsättningen att ta fram en modell som bättre beskrev vattendraget och som skulle kunna användas för att ta reda på vilka verkliga åtgärder som skulle vara effektiva för att minska översvämningens riskerna och var dessa åtgärder bäst borde lokaliseras.

Metod

För att öka modellupplösningen byttes modellverktyget Simulink/MATLAB ut mot MIKE 11, som är ett simuleringsverktyg specifikt för dynamisk 1-dimensionell simulering av öppen kanalströmning. Modellsträckan förlängdes dessutom till att omfatta Byälvens sträckning ända ner till Vänern, för att kunna använda registrerade vattennivåer i Vänern som nedströms randvillkor. Den modell som användes inom etapp I sträckte sig bara ner till dämnet/slussen där en uppmätt hydrograf användes som randvillkor.

Till den nya modellen behövdes en tätare, och med verkligheten mera överensstämmande, uppsättning tvärsektioner än vad som tidigare använts, dels för att öka modellens tillförlitlighet, men även för att kunna använda modellen för att identifiera sträckor med stort flödesmotstånd och därmed intressanta platser att vidta åtgärder. Istället för att mäta in ett stort antal tvärsektioner längs älven framställdes en heltäckande tredimensionell terrängmodell ur vilken tvärsnitt i ett senare skede kunde plockas fram godtyckligt efter önskemål. Höjdinformation ovanför normal vattenyta hämtades från Lantmäteriets GSD-höjddata som kompletterades med mera detaljerad höjdinformation längs älvens stränder genom laserscanning från helikopter. Bottentopografisk information från befintliga sjökort förfinades genom att älvsträckorna mellan Glafsforden och Hareforden samt mellan Hareforden och slussen/dämnet i Säffle ekodades. Samtliga höjddata kombinerades ihop till en sammanhängande tredimensionell terrängmodell med varierande detaljupplösning så att trånga älvsträckor, som har stor påverkan på strömningsmotståndet i älven, beskrevs i detalj men mindre kritiska områden, sjöbottnar och landområden som inte översvämmas, endast grovt representerades, se Fig. 5.

För att definiera de tvärsektioner som skulle ingå i den nya modellen samt för att överföra informationen till simuleringsprogramvaran användes ett GIS-interface. Detta medgav att data motsvarande ca 450 tvärsektioner längs älvsträckan kunde överföras förhållandevis rationellt. 450 beräkningspunkter, och därmed även maximalt 450 tvärsnitt, valdes främst som en kompromiss mellan modellupplösning och beräkningsprestanda men även licensrelaterade begränsningar i den programvara som användes spelade in.



Figur 5. Tredimensionell höjdinformation från Lantmäteriets GSD-höjddata, höjdinformation inhämtat genom laserscanning från helikopter och bottenpografisk information från sjökort och ekolodning sammanfogades till en sammanhängande höjdmodell för hela vattendraget.

Samma inflöden från reglerade delavrinningsområden som användes i den tidigare modellen användes även nu, men avrinningen från oreglerade områden rekonstruerades med SMHI:s hydrologiska modelleringsverktyg IHMS som bygger på HBV-modellen (Bergström, 1976). För detta ändamål användes nederbörds- och temperaturdata från ett antal väderstationer inom avrinningsområdet samt potentiell evapotranspiration från en närliggande mätpunkt. Då inga vattenföringsstationer inom avrinningsområdet finns att kalibrera mot användes värden på kalibreringsparametrar för oreglerade avrinningsområden i närheten och med liknande egenskaper (Bergström, 1990).

Vattendragets reglering vid dämnet samt förloppet då slussen i Säffle öppnades för vattengenomströmning under översvämningen år 2000 efterliknades i modellen genom att speciella funktioner, *structures*, lades till (DHI, 2003).

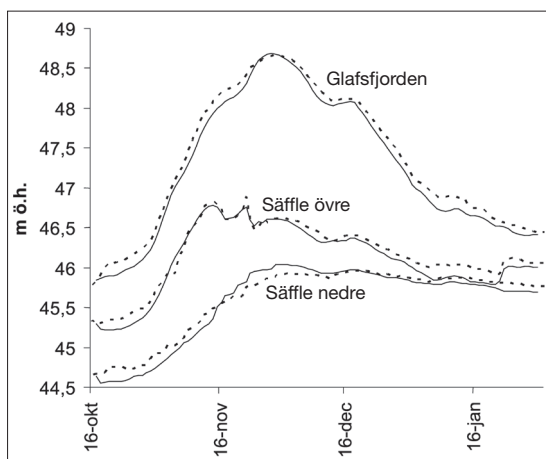
Vid kalibreringen av modellen justerades bottenhöjden i tre olika djupzoner. Som kalibreringsparametrar användes inte bara råheten enligt Mannings formel utan även nivåer på de djupzoner som markerar olika råhet. Råhet och zonindelning tilläts även variera längs älvens sträckning. Då modellen främst skulle användas för att studera översvämningar kalibrerades den för två högflodessituationer; den välkända översvämningen i samband med höstflödet oktober 2000 – januari 2001, samt vårflo den mars – maj 1999. För tre punkter i systemet; Glafs fjorden (Arvika), Säffle uppströms slussen/dämnet samt Säffle nedströms slussen/dämnet uppnåddes anpassning enligt Fig. 6 och 7.

Vissa uppslag till åtgärder fanns redan innan arbetet med etapp II drog igång, men den nu kalibrerade modellen över vattendraget gav goda möjligheter att studera strömningsförhållanden i älven mera i detalj och på så sätt identifiera ytterligare platser där åtgärder vore intressanta att studera. Det viktigaste hjälpmedlet för att åstadkomma detta är ett diagram över vattenytans lutning mellan Glafs fjorden och Väneren, se fig. 8. Där vattenytan faller av brantast återfinns de största strömningsförlusterna och där har åtgärder för att underlätta genomströmningen störst potential.

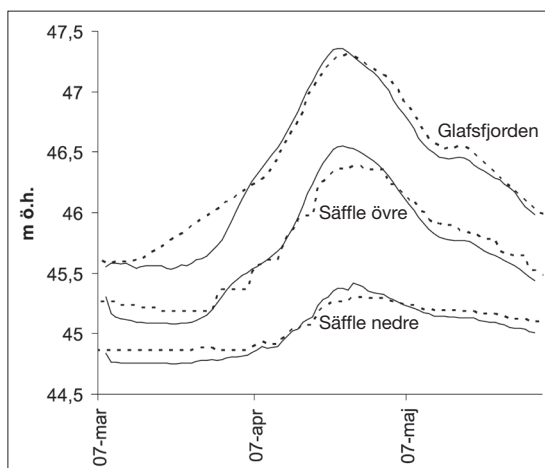
För att undersöka effekten av översvämningsförebyggande åtgärder översattes dessa i olika förändringar av modellen. Muddringsföretag och vidgningar av trånga sektioner efterliknades genom att tvärsnitt förändrades. Borttagande av strandnära vegetation som misstänktes öka flödesmotståndet vid höga vattenstånd simulerades genom att flödesmotståndet för Mannings tal för korresponderande djupzoner justerades. Effekten av förändringar av dämnet och slussen i Säffle åstadkoms genom modifieringar av *structures*, tvärsektioner och strömningsmotstånd. Dessutom undersöktes ett stort antal kombinationer av åtgärder. För mera detaljerad information om de simuleringar som utfördes se Midböe och Persson (2005).

Resultat

Den översvämningsbegränsande effekten, i form av förändrad vattenståndsprofil längs älvsträckningen, beräknades för ett stort antal enskilda åtgärder och åtgärds-



Figur 6. Kalibreringsresultat för översvämningsperioden 2000–2001. Kalibrering av vattenstånd i Glafs fjorden samt uppströms (Säfte övre) och nedströms (Säfte nedre) slussen i Säfte. Heldragna linjer utgör modellresultat och streckade linjer uppmätta värden. Höjdskalan absoluta nivåer refererar till höjdsystem RH00.

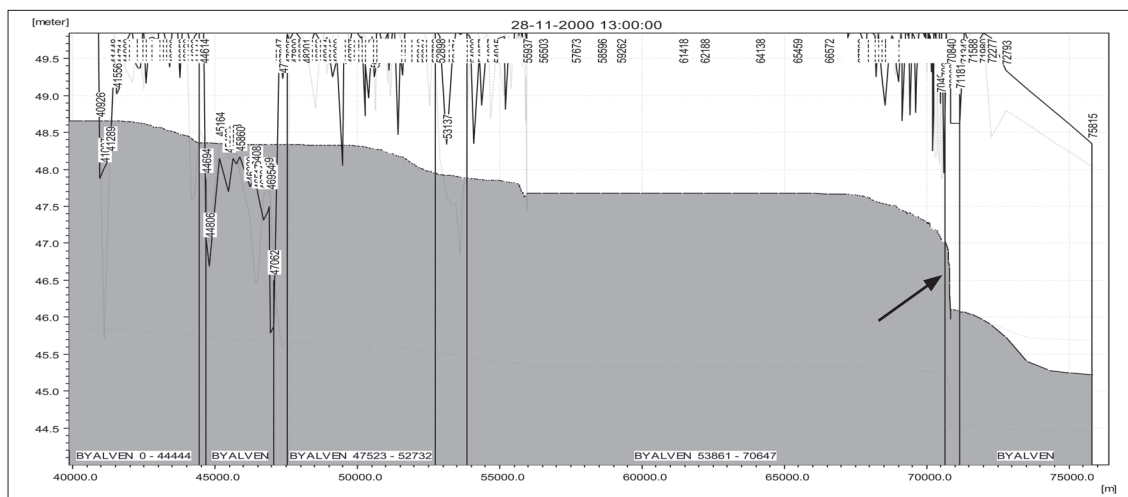


Figur 7. Kalibreringsresultat för översvämningsperioden i samband med vårflo- den 1999. Kalibrering av vattenstånd i Glafs fjorden samt uppströms (Säfte övre) och nedströms (Säfte nedre) slussen i Säfte. Heldragna linjer utgör modellresultat och streckade linjer uppmätta värden. Den stora avvikelsen för Glafs fjorden under slutet av mars beror på att vattennivåer inte registrerats under denna tid och interpolering har gjorts mellan en nivå i mitten av mars och en i mitten av april. Redovisade absoluta nivåer refererar till höjdsystem RH00.

kombinationer. Tabell 1 visar resultaten från några av de kombinationer som simulerades.

Den största översvämningsbegränsande effekten uppnåddes vid simuleringarna av åtgärds-kombination 7, som omfattar vidgningar av älvfåran, ombyggnad av slussen/dämmet i Säfte samt en minskning av flödes-motståndet på smalare älvsträckor genom både röjning av vegetation på land samt vassröjning. Den översvä-

mingsbegränsande effekten beräknades vid en översvä- ningssituation som den år 2000 uppgå till ca 0,8 m i Glafs fjorden och ca 1,0 m i Harefjorden. Åtgärder mot- svarande dessa förändringar bedöms vara mycket omfat- tande, medföra stora ekonomiska kostnader och inne-



Figur 8. Diagrammet visar vattennivåns variation mellan Glafs fjorden (vänster) och Vänern (höger) enligt modellen då översvämnings- kulminerade i slutet av november år 2000. Pilen markerar dämmet/slussen i Säfte som är den plats där störst strömningsförluster uppstår under en höglödessituation.

Tabell 1. *Resultat av några åtgärds kombinationer som har simulerats*. I kolumnerna är undersökta åtgärder angivna med • och resultat från simuleringar avläses i nedre delen av tabellen för respektive år. Redovisade absoluta nivåer refererar till höjdsystem RH00.

Åtgärdsbeskrivning	Åtgärds kombinationer					
	1	2	3	5	6	7
Ökat flöde genom slussen i Säffle	•				•	•
Borttagning av permanenta invallningsföretag längs älven					•	•
Vidgning av trång sektion vid Hökeströmmen				•		•
Förändrad regleringsstrategi med lägre initial vattennivå					•	•
Något minskat flödesmotstånd på stränder längs älven					•	
Kraftigt minskat flödesmotstånd på stränder längs älven				•		•
Minskat flödesmotstånd på älvens botten				•		•
Inget flöde genom slussen i Säffle		•	•			
Begränsade åtgärder för att öka genomströmning vi dämnet	•	•	•		•	
Omfattande åtgärder för att öka genomströmning vi dämnet						•
Avlägsnande av tröskel vid dämnet	•	•	•		•	•
År 2000–2001						
Glafs fjorden: Maximal vattennivå [m ö.h.]	48,41	48,48	48,51	48,69	48,20	47,91
Glafs fjorden: Förändring av maximal vattennivå [m]	–0,28	–0,21	–0,18	–0,18	–0,48	–0,78
Harefjorden: Maximal vattennivå [m ö.h.]	47,03	47,29	47,32	47,74	46,84	46,71
Harefjorden: Förändring av maximal vattennivå [m]	–0,65	–0,39	–0,36	+0,06	–0,84	–0,97
År 1999						
Glafs fjorden: Maximal vattennivå [m ö.h.]	47,15	47,17	–	47,26	–	–
Glafs fjorden: Förändring av maximal vattennivå [m]	–0,21	–0,19	–	–0,10	–	–
Harefjorden: Maximal vattennivå [m ö.h.]	46,03	46,17	–	46,80	–	–
Harefjorden: Förändring av maximal vattennivå [m]	–0,74	–0,60	–	+0,03	–	–

bära en avsevärd miljöpåverkan. En mera realistisk kombination av åtgärder, kombination 6, beräknades ge en översvämningsbegränsande effekt av ca 0,5 m i Glafs fjorden och ca 0,8 m i Harefjorden för översvämningen år 2000.

Slutsats

Resultaten från etapp II visar att mera riktade åtgärder, trots att de fysikaliskt motsvarar mindre omfattande åtgärder än vad som simulerades i etapp I, gav en något större översvämningsbegränsande effekt än de generella vidgningar av älvfåran som etapp I visade på. De nivåer som uppnås är dock i samma storleksordning. Vidare kunde konstateras att de åtgärder som gav störst effekt var åtgärder i Säffle, där både modell och observationer visar de största fallförlusterna under översvämningsförloppen. Modellens uppbyggnad vid dämnet i Säffle samt på sträckan därifrån och ned till Väneren var dock till stora delar empirisk och de åtgärder som testades i modellen var behäftade med liknande svårigheter att översätta i verkliga åtgärder som åtgärderna som undersöktes i etapp I. För att komma tillrätta med detta behövde modellen förfinas ytterligare.

Ettap III

Med resultaten från Etapp II vid handen klarnade bilden om var specifikt åtgärder mest effektivt borde vidtas, samt vilken effekt som skulle uppnås vid en översvämnning liknande den som inträffade år 2000. Dock saknades uppgifter om kostnader för olika åtgärder samt kunskap om vilka åtgärder i anslutning till slussen/dämnet i Säffle som var att föredra ur effektivitetssynpunkt. Därför initierades etapp III. Målsättningen var att få fram ett beslutsunderlag som med stor tillförlitlighet kunde användas för att avgöra vilka översvämningsbegränsande åtgärder som gav den största effekten till lägst kostnad.

Metod

För att besvara frågan om vilka åtgärder som behövde vidtas i anslutning till slussen/dämnet i Säffle behövde modellen i MIKE 11 förfinas ytterligare. Den med ekolod kartlagda bottenpografien från etapp II sträckte sig bara fram till dämnet/slussen och dämmets lucköppningar hade modellerats utan tillgång till ritningar genom att mycket stort flödesmotstånd ansatts. För att kunna väga åtgärder vid slussen respektive dämnet mot

varandra behövdes en mera konceptuell modelluppbyggnad. Ytterligare ekolodning genomfördes av sträckan mellan punkten där slusskanalen och älvfåran delar sig uppströms kanalön i Säffle och ner till Vänern. Ritningsmaterial med information om bottenpografi i direkt anslutning till dämmet samt dämmets konstruktion användes för att i modellen efterlikna konstruktionen med ytterligare *structures*. Modellen kalibrerades om på samma sätt som beskrivits för etapp II och en bra anpassning till verkliga flöden och nivåer kunde uppnås utan att orrealistiskt höga värden på strömningssmotståndet i dämmet behövde ansättas. Ett antal olika åtgärdsalternativ specifika för området (se fig. 9) i anslutning till slussen/dämmet togs fram i en arbetsgrupp. Dessa omfattade följande:

- Modifiering av slussen så att den i en översvämningssituation kan öppnas snabbare och därmed i tidigare skede samt att genomströmningen vid öppningen blir mera obehindrad

- Modifiering av dämmet så att den i öppnat läge ger upphov till mindre strömningssförluster
- Överledning av vatten från slusskanalens nedre del över till den naturliga älvfåran för att mera vatten skall kunna passera den trånga sektionen vid dämmet
- Vidgning av älvfåran på olika ställen i den naturliga älvfåran parallellt med kanalön

Åtgärderna simulerades i den förbättrade modellen, dels var för sig, dels i ett antal kombinationer som bedömdes vara intressanta. Vidare gjordes kostnadsberäkningar av åtgärderna. För de enskilda åtgärderna beräknades grovt kostnaden för jord- och bergschakt, betongarbeten och luckkonstruktioner. Kostnaden för åtgärds kombinationer utgjorde summan av kostnader för de enskilda åtgärder de bestod av. Till detta lades entreprenörens allmänna kostnader och kostnader för fångdammar, etablering och liknande.

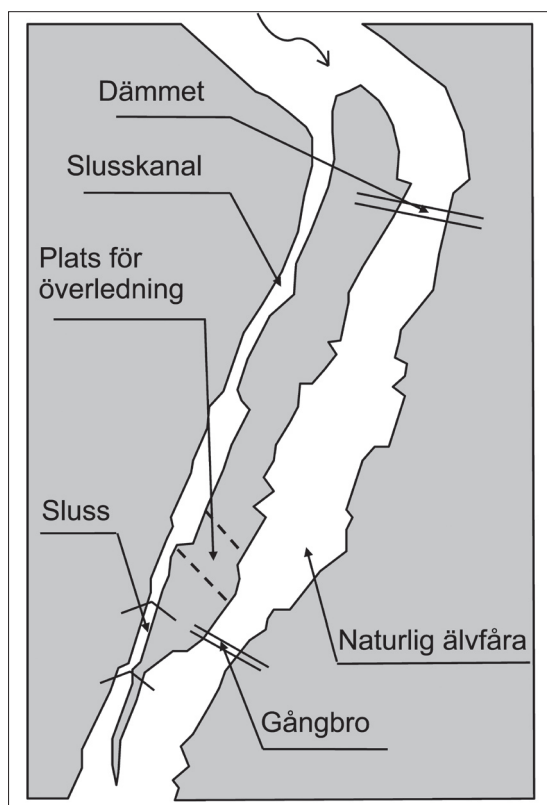
Resultat

Först kunde konstateras att de åtgärder som simulerades i den förfinade versionen av modellen gav liknande resultat som de simuleringar som gjordes i etapp II. Den förbättrade modellupplösningen gav dock möjlighet att urskilja fler olika åtgärder i anslutning till slussen/dämmet. Simuleringsresultaten uttryckt i maximal översvämningssbegränsande effekt vid en översvämningssituation som den år 2000 relaterades sedan till den beräknade kostnaden för åtgärden eller åtgärds kombinationen. En sådan jämförelse för Glafs fjorden (Arvika) redovisas i figur 10.

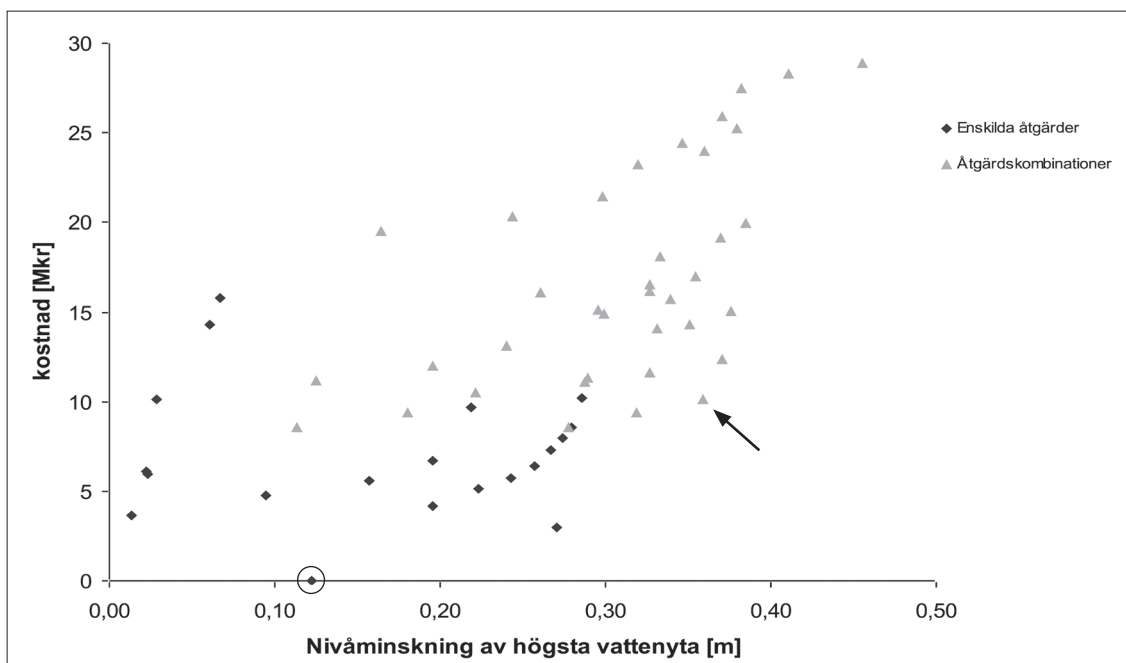
Figur 10 beskriver kostnadseffektiviteten för olika åtgärder eller åtgärds kombinationer med avseende på deras översvämningssbegränsande effekt. Punkterna på nedre högra randen motsvarar de åtgärder eller åtgärds kombinationer som är mest kostnadseffektiva. Beräkningarna avser en översvämning i Glafs fjorden liknande den som inträffade år 2000, men bedöms vara relevant även för andra översvämningssituationer. Motsvarande diagram kan ur simuleringsresultaten enkelt konstrueras för en godtycklig plats längs Byälven.

Slutsats

Utredningsarbetet inom projekt Byälvens tre etapper har resulterat i ett starkt förbättrat kunskapsunderlag rörande möjligheterna att förebygga översvämningsskador. De hydrologiska och hydrauliska aspekterna på översvämningssproblemen i vattendragen är nu relativt väl kartlagda, liksom kostnadsuppskattningar för olika skyddsåtgärder. Därmed framstår nu riskkostnaden, den



Figur 9. Skiss över Byälvens passage genom centrala Säffle där älvén delar sig i två parallella grenar på en ca 500 m lång sträcka; den naturliga älvfåran till öster, och slusskanalen till väster. Normalt används slusskanalen endast för slussning och inte för att avbörda vatten.



Figur 10. Diagrammet visar sambandet mellan åtgärdskostnad och sänkning av högsta vattennivå som erhålls i Glaffjorden vid en översvämning motsvarande den år 2000. Punkterna svarar mot olika enskilda åtgärder och åtgärdskombinationer. Nollpunkten på x-axeln motsvarar den vattennivå som vattnet beräknats ha nått om inga åtgärder vidtagits för att öka flödet i Byälven under översvämningen år 2000. Den med cirkel markerade enskilda åtgärden motsvarar det verkliga förloppet under översvämningen, då slussen öppnades för viss genomströmning. Den med pil markerade åtgärdskombinationen är den som i ett senare skede berörda kommuner och länsstyrelsen i Värmland kom överens att föreslå sjöfartsverket, som äger anläggningarna i Säffle, att genomföra.

viktigaste aspekten av problemet som ännu inte utretts, som allt mera avgörande för de beslut som behöver fattas för att eventuella skyddsåtgärder skall komma till stånd. Riskkostnaden utgör summan av produkterna av skadekostnader för alla framtida översvämningssituationer och situationernas respektive sannolikhet omräknat till ett nuvärde. Ur ett samhällsekonomiskt perspektiv skall varje åtgärd som är fördelaktigare än nollalternativet vidtas. En åtgärd är fördelaktigare än nollalternativet om den reduktion i riskkostnad den ger upphov till är större än skyddsåtgärdens kostnad. Riskkostnadsberäkningar är för Byälven i dagsläget behäftade med osäkerhetsfaktorer av framförallt två skäl:

1. Skadekostnaden för en given översvämningssituation beror på hur väl räddningsinsatsen lyckas skydda de skadeobjekt som finns. Hur väl räddningsinsatsen lyckas beror dels på faktorer som är möjliga att förutsäga, såsom tillgång till materiel och översvämningens stighastighet, men även mera svårbedömda faktorer, såsom tillgång till externa hjälpinsatser som exempelvis kan bero på hur översvämningssituationen ser ut i andra delar av landet. Skadekostnaden kan även påverkas av

exploatering av nya områden eller förändringar av befintlig bebyggelse vilket påverkar skyddsåtgärdernas lönsamhet.

2. Sannolikheten för att en given översvämningssituation skall inträffa är avgörande då man beräknar den sammanlagda riskkostnaden. Beräkning av sannolikhet för de allvarligaste översvämningarna med mycket lång återkomsttid är behäftade med relativt stora osäkerheter vare sig man använder sig av rent statistiska metoder eller hydrauliska och hydrologiska modeller. Klimatförändringarna adderar ytterligare osäkerhet vid dessa beräkningar.

Att riskkostnader är osäkra betyder dock i fallet Byälven varken att man kör fast eller att riskkostnaderna inte utgör en viktig del i en analys av översvämningssproblemen. Osäkerheterna kan kvantifieras vid beräkning av riskkostnader utgående från osäkerheter gällande hydrologisk- och hydraulisk modellering och jämföras med budgetar för skyddsåtgärder. Med en osäkerhetsanalys av alla ingående faktorer kan beslut fattas med en hög medvetenhet om vilka osäkerheter som finns och är avgörande.

I fallet Byälven har beräkning av återkomsttiden för den översvämning som inträffade år 2000 gjorts med olika metoder och med olika resultat. Då en uppskattning av riskkostnaden görs utifrån de längsta återkomsttider som presenterats framstår skyddsåtgärder som innebär större investeringar i form av byggnadsverk som olönsamma jämfört med nollalternativet, som innebär att invänta nästa översvämning med befintlig beredskap och ta de kostnader detta medför. En mera ingående statistisk behandling av vattenståndsdata (Svensson, m.fl., 2002) ger dock återkomsttider för vilka riskkostnaderna blir så höga att många av de skyddsåtgärder som föreslagits inom projektet framstår som lönsamma. Till detta skall läggas klimatförändringarnas förväntade effekt på avrinningen, som i Byälvens avrinningsområde ger mer nederbörd och därmed större skadekostnader vid översvämningssituationer som den som inträffade år 2000.

Flera skyddsåtgärder mot översvämningar längs Glafs-fjorden och Byälven är nu på väg att genomföras. Att man från kommunerna och länsstyrelsens sida kommit så långt beror dels på engagerade tjänstemän och politiker som har översvämningen år 2000 i minnet, men också på att man valt ett arbetssätt som visat sig vara effektivt. Genom att etappvis sovra bland de många förslag till åtgärder som kom fram efter översvämningen och parallellt bygga ut kunskapsbasen, exempelvis genom de modeller som sattes upp över vattendraget, har man kunnat sortera bort mindre effektiva åtgärder och lyfta fram intressanta som i nästa steg kunnat utredas mera i detalj. Etappindelningen har medfört en hushållning med utredningsresurser så att dessa lagts på de faktorer som varit avgörande för de skyddsåtgärder som bedömts vara mest effektiva. På så sätt har man fått fram ett underlag som beslutsfattare kan använda sig av för att

välja vilken översvämningssbegränsande effekt man vill kosta på sig. Något förenklat väljer nu politikerna den översvämningssbegränsande effekt man vill uppnå, i enheten cm vid en given översvämning, utifrån investeringskostnad. Projekt Byälven ser ut att lyckas med att driva frågan om att vidta tekniska skyddsåtgärder efter en översvämning ända fram till verkställande, något som visat sig svårt både på andra platser och längs Byälven efter tidigare översvämningar. Erfarenheterna från Projekt Byälven bör utnyttjas vid utredning av översvämningssproblem och skyddsåtgärder även på andra platser.

Referenser

Litteraturreferenser

- Arvika kommun, 2005. Ansökan till miljödomstolen, mål nr 1754-05 vid Vänersborgs tingsrätt, Arvika.
- Bergström, S., 1976. »Development and application of a conceptual runoff model for Scandinavian catchments», SMHI Report RHO 7, Norrköping.
- Bergström, S., 1990. »Parametervärden för HBV-modellen i Sverige», SMHI Hydrologi Nr. 28, 1990. Norrköping.
- DHI, 2003. »MIKE 11 Reference Manual».
- Midbøe, F., Persson, H., 2005. »Simulering av översvämningar i Byälven», Uppsala Universitet.
- Svensson, T., Andersson, J.-O., Blumenthal, B., Forsberg, J., Hedelin, B., 2002. »Projekt Byälven – Översvämningssrisker, förebyggande åtgärder och konsekvenser», Nationellt centrum för älvskadeteknik, Karlstads universitet.

Webbreferenser

<http://www.flows.nu>, 2006-12-17