

Arvika kommun, Länsstyrelsen Värmland, Sjöfartsverket,  
Säffle kommun, Vattenfall AB

## **Projekt Byälven – etapp III Åtgärder kring Backeströmmen**

---

Finn Midbøe



## Sammanfattning

Som ett resultat av de slutsatser som presenterades i Projekt Byälven – etapp II beslutades att mera detaljerade undersökningar beträffande översvämningsförebyggande åtgärder vid Backeströmmen i centrala Säffle skulle utföras. Denna rapport utgör huvuddokumentationen av dessa undersökningar. Den gemene läsaren kan efter att ha läst inledningen, kapitel 3 och 6 gå direkt till resultat och slutsatser emedan den speciellt intresserade i kapitel 5 och 7 finner mera detaljerad information om hur simuleringarna gått till.

Den tidigare tillgängliga hydrauliska modell som beskriver Byälvens vattensystem uppdaterades med avseende på bottenpografi i Backeströmmen och längre nedströms mellan centrala Säffle och Vänern. Vissa speciella detaljer i modellen ändrades varefter den kalibrerades om. Den modifierade modellen kunde sedan användas för att utvärdera ett antal översvämningsbegränsande åtgärder och kombinationer av dessa. De åtgärder som undersökts är olika varianter av; modifiering av Strömbron, öppning av slussen, utskov mellan slusskanalen och älvfåran samt muddring/bergschakt i älvfåran. Vidare har överslagsberäkningar gjorts av kostnader för dessa åtgärder för att slutligen kunna bedöma kostnaden för olika grader av vattennivåminskning vid en översvämningsituation. Resultaten av de simuleringar och kostnadsberäkningar som gjorts visar man kan lindra en allvarlig översvämning i Byälvens vattensystem med upp till cirka 1 m i Harefjorden och knappt 0,5 m i Glafs fjorden genom åtgärder i anslutning till Kanalön i Säffle. Åtgärderna har beräknats kosta mellan 3 och 30 Mkr där de kostsammaste också är de som visar sig ge störst effekt. Emellertid finns åtgärder som trots relativt låga kostnader kan åstadkomma substantiella förbättringar av översvämningsituationen i Glafs fjorden och i än högre grad i Harefjorden och Säffle kommun.

<b>1</b>	<b>INLEDNING .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>BAKGRUND .....</b>	<b>1</b>
<b>3</b>	<b>METOD .....</b>	<b>2</b>
<b>4</b>	<b>KUNSKAPSINVENTERING .....</b>	<b>2</b>
<b>5</b>	<b>UPPGRADERING AV BEFINTLIG MODELL .....</b>	<b>4</b>
5.1	EKOLODNING .....	4
5.2	UPPGRADERING AV TVÄRSNITT I FINKAN-MODELLEN.....	5
5.3	TRÖSKEL VID STRÖMBRON.....	5
5.4	KALIBRERING.....	6
<b>6</b>	<b>ÅTGÄRDER.....</b>	<b>9</b>
6.1	ORGANISERAD ÖPPNING AV SLUSSEN .....	9
6.2	MODIFIERING AV DÄMNINGSANORDNING UNDER STRÖMBRON .....	10
6.3	ÖVERLEDNING MED UTSKOV MELLAN SLUSSKANAL OCH ÄLVFÅRA .....	11
6.4	VIDGNING AV ÄLVFÅRAN .....	12
<b>7</b>	<b>SIMULERING .....</b>	<b>13</b>
7.1	ORGANISERAD ÖPPNING AV SLUSSEN .....	13
7.2	MODIFIERING AV DÄMNINGSANORDNING UNDER STRÖMBRON .....	13
7.3	ÖVERLEDNING MED UTSKOV MELLAN SLUSSKANAL OCH ÄLVFÅRA .....	13
7.4	VIDGNING AV ÄLVFÅRAN .....	14
<b>8</b>	<b>KOSTNADSBERÄKNINGAR .....</b>	<b>14</b>
<b>9</b>	<b>RESULTAT .....</b>	<b>14</b>
9.1	ENSKILD ÅTGÄRD 6.1 A (-12/-36).....	16
9.2	ENSKILD ÅTGÄRD 6.1 B (-27/-58).....	16
9.3	ÅTGÄRDSKOMBINATION SU02 (-32/-68).....	17
9.4	ÅTGÄRDSKOMBINATION ST01 (-36/-75).....	17
9.5	ÅTGÄRDSKOMBINATION ST02 (-37/-77).....	17
9.6	ÅTGÄRDSKOMBINATION ST03 (-38/-79).....	17
9.7	ÅTGÄRDSKOMBINATION STU03 (-38/-82).....	17
9.8	ÅTGÄRDSKOMBINATION STU04 (-41/-88).....	18
9.9	ÅTGÄRDSKOMBINATION ST04 (-46/-101).....	18
<b>10</b>	<b>SLUTSATSER .....</b>	<b>18</b>
<b>11</b>	<b>REFERENSER.....</b>	<b>20</b>

## BILAGOR

BILAGA A – RESULTATTABELL ÖVER ENSKILDA ÅTGÄRDER

BILAGA B – RESULTATTABELL ÖVER KOMBINATIONER AV ÅTGÄRDER

## 1 Inledning

Detta projekt initierades av arbetsgruppen inom Projekt Byälven som en fortsättning på det utredningsarbete som tidigare genomförts inom Projekt Byälven etapp I och II. Beställare och finansiärer har till lika delar varit Arvika kommun, Länsstyrelsen Värmland, Sjöfartsverket, Säffle kommun och Vattenfall AB. Från organisationerna deltog Rolf Gustavsson, Kurt Nilsson och Anders Norrby, Arvika kommun; Ingvar Dyberg och Sven Johansson, Sjöfartsverket; Kenneth Olsson och Lars Westerberg, Säffle kommun samt Lars Nygren, Vattenfall AB. Utredningsarbetet har i huvudsak utförts av Finn Midbøe, som arbetat i Projekt Byälven, med tekniskt stöd av biträdande professor Torbjörn Svensson, Nätverket för älvsäkerhet (NÄS) vid Karlstads universitet, och Åke Engström, HydroTerra Ingenjörer AB. Under arbetets gång har lägesrapporter avlagts till projektgruppen vid möten som hållits i Säffle. Vid dessa möten har åtgärder och resultat diskuterats, under vilket nya åtgärds kombinationer att simulera lyfts fram.

För nivåangivelser i rapporten används genomgående höjdsystemet RH70.

## 2 Bakgrund

Med anledning av översvämningssituationen, främst i samband med höstflödet 2000 då Byälvens vattensystem drabbades av en översvämning som vållade stor ekonomisk skada, inleddes arbetet med att identifiera möjliga förebyggande åtgärder för att minska effekterna av höga flöden. Ett flertal olika åtgärder har studerats i ett antal utredningar, bl a Projekt Byälven (Svensson m fl, 2002) och Simulering av översvämningar i Byälven (Midbøe och Persson, 2005). En del alternativ har förkastats av olika skäl (bl a ökad magasinering uppströms Glafs fjorden och en tunnel mellan Björnöflagan och Borgviks sjön) medan andra har gått eller ska gå vidare till konkretare planering (invallning av Kyrkviken, röjning av vegetation på utvalda platser längs Byälven och förändring av vattendom för att sänka riktnivån för reglering under vår/höst). De översvämningssimuleringar som presenterats (Midbøe och Persson, 2005) visar på möjliga åtgärder i centrala Säffle. Dessa omfattar förändringar av de vattenreglerande konstruktioner som tillsammans med förträngningar i älvfåran i dagsläget utgör starkt flödesbegränsande faktorer vid en översvämningssituation liknande den som inträffade år 2000. Simuleringarna visar också att åtgärder i centrala Säffle ensamt har en potential att sänka de maximala vattennivåerna vid en flödessituation som den år 2000 med cirka 28 cm i Glafs fjorden och 65 cm i Harefjorden. Då dessa åtgärder simuleras i kombination med andra åtgärder uppnås ytterligare nivåsenkning. Med anledning av dessa resultat beslutades att gå vidare med att ytterligare konkretisera och beskriva åtgärder i anslutning till Backeströmmen i Säffle.

### 3 Metod

Arbetet inleds med en kunskapsinventering där främst deltagarna i projektgruppen medverkar till att så mycket relevant material som möjligt blir tillgängligt. Kunskapsmaterial som framkom redovisas i Tabell 1. Därefter fastställs de olika åtgärdsalternativen beträffande typ och placering. För att bedöma effektiviteten av de olika åtgärdsalternativen simuleras en relevant översvämning i ett simuleringsverktyg. Inom Projekt Byälven – etapp II hade det byggts upp en hydraulisk modell, FINKAN-modellen, som dock inte är tillräckligt detaljerad för ändamålet. Med mera detaljerad kunskap om bottenpogografien, framförallt på sträckan som är aktuell för åtgärder mellan Kanalöns norra och södra spets men också på sträckan från Kanalön och ut i Väneren, kan dock FINKAN-modellen förbättras så att sådana simuleringar blir möjliga. Den förbättrade FINKAN-modellen benämns nedan FINKAN 2. Efter att den förbättrade modellen tagits fram införs de aktuella åtgärdsalternativen i modellen för att de skall kunna bedömas utifrån deras översvämningsslindrande effekt. De viktigaste parametrarna som används är det maximala vattenstånd som en upprepning av väderhändelserna från år 2000 ger upphov till i de större magasinerna Glafs fjorden och Harefjorden. Därefter görs översiktliga beskrivningar av åtgärdsalternativen tillsammans med ekonomiska beräkningar och bedömning av eventuella miljöeffekter. Materialet sammanställs sedan för att utgöra beslutsunderlag rörande vilka åtgärder som är effektiva att vidta för att minska de maximala vattennivåer som översvämningar i området ger upphov till.

### 4 Kunskapsinventering

Projektgruppen redovisade under de första sammankomsterna i Säfte information som kunde tänkas komma till nytta under projektet. Denna information, samt material som fanns tillgängligt vid NÄS redovisas i Tabell 1.

**Tabell 1** Sammanställning av tillgänglig information relevant för Byälvens flödesegenskaper våren 2005

Benämning	Beskrivning	Lokalisering / Kontakt
Räddningsverkets MIKE11-modell	Modell framtagen i samband med översiktlig översvämningsskartering områden kring Byälven, baserad främst på höjdinformation från GSD <sup>1</sup>	SMHI, Tahsin Yacoub
Hydraulisk Simulinkmodell	Enkel hydraulisk modell uppbyggd i Simulink för att konceptuellt studera översvämningsskärmande åtgärders effekt på höga vattennivåer i Glafs fjorden	Karlstads Universitet, Jan Forsberg
Anläggningsritningar	Ritningar över slussanläggningen och Strömbron, enstaka tvärsnitt över älvsfåran samt ett stort antal tvärsnitt som beskriver slusskanalens utseende	Sjöfartsverket, Sven Johansson

<sup>1</sup> GSD - Geografiska Sverigedata

Heltäckande höjdmodell	Topografisk höjdmodell i TIN-format med varierad upplösning framtagen för utvecklingen av FINKAN-modellen och sedan uppdaterad <sup>2</sup>	NÄS, Finn Midbøe
FINKAN-modellen	Modell framtagen för att med högre detaljrikedom studera effekter av specifika åtgärder för att minska översvämningsutbredning i Glafs fjorden	NÄS, Finn Midbøe
Digitala ortofoton	Högupplösta georefererade flygfoton över delar av Byälvens sträckning samt Arvikasundet vilka togs i samband med upprättandet av en heltäckande höjdmodell under arbetet med FINKAN-modellen	Arvika kommun, Anders Norrby
Sammanställning av vattendomar	Några vattendomar mellan 1954 och 1998 som berör Byälven och regleringen i Säffle, sammanställda till ett häfte av Arvika kommun	Arvika kommun, Anders Norrby
Sammanfattande rapport Projekt Byälven – etapp I	Slutrapport avseende Projekt Byälvens inledande etapp	HydroTerra Ingenjörer AB, Åke Engström
Översvämningsrisker, konsekvenser och förebyggande åtgärder	Kort beskrivning och utförlig analys av översvämningsriskerna i Byälvsystemet hösten 2000 samt översiktlig värdering av åtgärder för att förebygga framtida översvämningsrisker	NÄS, Torbjörn Svensson
Glommas bifurkasjon ved Kongsvinger	Rapport från NVE <sup>3</sup> rörande möjlig bifurkation av vatten från Glomma till Byälvens avrinningsområde	NVE, Lars-Evan Pettersson
Flood Mitigation Analysis	Fallstudie av möjliga åtgärder för att mildra översvämningsrisker i Kyrkviken specifikt (Examensarbete vid KTH)	Arvika kommun, Anders Norrby
Översiktlig översvämningskartering längs Byälven, sträckan Glafs fjorden till utloppet i Väneren	Rapport med tillhörande kartmaterial som översiktligt visar utsatta områden vid olika översvämningsituationer framtaget vid SMHI på uppdrag av Räddningsverket	Räddningsverket, Barbro Näslund
Översvämningskartering i Arvika hösten 2000	Rapport från Arvika kommuns tekniska avdelning rörande främst deras insats under det akuta skedet av översvämningskarteringen 2000	Arvika kommun, Rolf Gustavsson

<sup>2</sup> Höjdmodellen har uppdaterats med höjdinformation som inhämtades genom mätningar som utfördes inom Projekt Byälven – etapp 3

<sup>3</sup> NVE - Norges Vassdrags- og Energidirektorat

Analys av översvämningarna under sommaren och hösten 2000 samt vintern 2001

Rapport från Svenska Kraftnät omfattande bl a översvämningen i Byälvsystemet

Svenska Kraftnät, Olle Mill och Jan Magnusson

## 5 Uppgradering av befintlig modell

Utgångspunkten låg i den befintliga modell som framtagits och i detalj beskrivits i rapporten Simulering av översvämningar i Byälven (Midbøe och Persson, 2005). För att kunna detaljstudera åtgärder i anslutning till Kanalön behövdes några i FINKAN-modellen för ändamålet svaga punkter åtgärdas:

- Beskrivningen av älvsträckan parallellt med (öster om) Kanalön gjordes i FINKAN-modellen enligt black-box-principen eftersom ingen tillförlitlig botten-topografi fanns tillgänglig för sträckan. Då sträckan simulerades ansattes tvärprofiler och mycket höga flödesmotstånd (låga Mannings M) som sedan finjusterades genom kalibreringen så att vattennivåer under två översvämningförlopp stämde väl överens. (Midbøe och Persson, 2005)
- Beskrivningen av slusskanalen gjordes utifrån ett fåtal tvärprofilritningar samt enstaka djuppunkter uppmätta med ekolod.
- Botten-topografin som beskrev sträckan mellan Kanalön och Byälvens utlopp i Väneren utgjordes av djupinformation från sjökort vilka främst är framtagna för navigation.

### 5.1 Ekolodning

För att komplettera den botten-topografiska informationen i området gjordes en ekolodning med RTK-GPS och single-beam-teknik mellan 2005-03-31 och 2005-04-04. Det viktigaste området, nära Kanalön, lodades med en ungefärlig datatäthet på 0,3 lodskott per kvadratmeter. Den noggrannhet i planet som uppnås med RTK-GPS är några centimeter. I vertikalled kunde vattenytan användas som referensyta tack vare det för säsongen ovanligt låga vattenflödet i Byälven ( $< 10\text{m}^3/\text{s}$ ). De referensnivåer som användes avläses av Sjöfartsverket på pglar benämnda *Säffle övre* respektive *Säffle nedre* och redovisas i Tabell 2.

**Tabell 2** Uppmätta vattennivåer i Säffle 2005-03-31 – 2005-04-04, uppgifter från Kanalmästare Tapio(2005)

Datum	Säffle övre <sup>1</sup> [m ö.h.]	Säffle nedre <sup>1</sup> [m ö.h.]
2005-03-31	45,12	44,39
2005-04-01	45,14	44,38
2005-04-02	45,15	44,35

Det andra området som ekolodades, från älvfåran och slusskanalens föreningspunkt nedströms Kanalön till utloppet i Väneren, kartlades med lägre noggrannhet. Efter att felaktiga lodskott mätdata rensats bort från mätdata genom visuell inspektion sammanfogades en ny heltäckande 3-dimensionell TIN-modell för området genom direkt triangule-



### 3 Metod

Arbetet inleds med en kunskapsinventering där främst deltagarna i projektgruppen medverkar till att så mycket relevant material som möjligt blir tillgängligt. Kunskapsmaterial som framkom redovisas i Tabell 1. Därefter fastställs de olika åtgärdsalternativen beträffande typ och placering. För att bedöma effektiviteten av de olika åtgärdsalternativen simuleras en relevant översvämning i ett simuleringsverktyg. Inom Projekt Byälven – etapp II hade det byggts upp en hydraulisk modell, FINKAN-modellen, som dock inte är tillräckligt detaljerad för ändamålet. Med mera detaljerad kunskap om bottenpografien, framförallt på sträckan som är aktuell för åtgärder mellan Kanalöns norra och södra spets men också på sträckan från Kanalön och ut i Väneren, kan dock FINKAN-modellen förbättras så att sådana simuleringar blir möjliga. Den förbättrade FINKAN-modellen benämns nedan FINKAN 2. Efter att den förbättrade modellen tagits fram införs de aktuella åtgärdsalternativen i modellen för att de skall kunna bedömas utifrån deras översvämningsslindrande effekt. De viktigaste parametrarna som används är det maximala vattenstånd som en upprepning av väderhändelserna från år 2000 ger upphov till i de större magasinerna Glafs fjorden och Harefjorden. Därefter görs översiktliga beskrivningar av åtgärdsalternativen tillsammans med ekonomiska beräkningar och bedömning av eventuella miljöeffekter. Materialet sammanställs sedan för att utgöra beslutsunderlag rörande vilka åtgärder som är effektiva att vidta för att minska de maximala vattennivåer som översvämningar i området ger upphov till.

### 4 Kunskapsinventering

Projektgruppen redovisade under de första sammankomsterna i Säfte information som kunde tänkas komma till nytta under projektet. Denna information, samt material som fanns tillgängligt vid NÄS redovisas i Tabell 1.

**Tabell 1** Sammanställning av tillgänglig information relevant för Byälvens flödesegenskaper våren 2005

Benämning	Beskrivning	Lokalisering / Kontakt
Räddningsverkets MIKE11-modell	Modell framtagen i samband med översiktlig översvämningsskartering områden kring Byälven, baserad främst på höjdinformation från GSD <sup>1</sup>	SMHI, Tahsin Yacoub
Hydraulisk Simulinkmodell	Enkel hydraulisk modell uppbyggd i Simulink för att konceptuellt studera översvämningssbegränsande åtgärders effekt på höga vattennivåer i Glafs fjorden	Karlstads Universitet, Jan Forsberg
Anläggningsritningar	Ritningar över slussanläggningen och Strömbron, enstaka tvärsnitt över älvsfåran samt ett stort antal tvärsnitt som beskriver slusskanalens utseende	Sjöfartsverket, Sven Johansson

<sup>1</sup> GSD - Geografiska Sverigedata

Heltäckande höjdmodell	Topografisk höjdmodell i TIN-format med varierad upplösning framtagen för utvecklingen av FINKAN-modellen och sedan uppdaterad <sup>2</sup>	NÄS, Finn Midbøe
FINKAN-modellen	Modell framtagen för att med högre detaljrikedom studera effekter av specifika åtgärder för att minska översvämningars utbredning i Glafs fjorden	NÄS, Finn Midbøe
Digitala ortofoton	Högupplösta georefererade flygfoton över delar av Byälvens sträckning samt Arvikasundet vilka togs i samband med upprättandet av en heltäckande höjdmodell under arbetet med FINKAN-modellen	Arvika kommun, Anders Norrby
Sammanställning av vattendomar	Några vattendomar mellan 1954 och 1998 som berör Byälven och regleringen i Säffle, sammanställda till ett häfte av Arvika kommun	Arvika kommun, Anders Norrby
Sammanfattande rapport Projekt Byälven – etapp I	Slutrapport avseende Projekt Byälvens inledande etapp	HydroTerra Ingenjörer AB, Åke Engström
Översvämningsrisker, konsekvenser och förebyggande åtgärder	Kort beskrivning och utförlig analys av översvämningarna i Byälvsystemet hösten 2000 samt översiktlig värdering av åtgärder för att förebygga framtida översvämningsskador	NÄS, Torbjörn Svensson
Glommas bifurkasjon ved Kongsvinger	Rapport från NVE <sup>3</sup> rörande möjlig bifurkation av vatten från Glomma till Byälvens avrinningsområde	NVE, Lars-Evan Pettersson
Flood Mitigation Analysis	Fallstudie av möjliga åtgärder för att mildra översvämningsskador i Kyrkviken specifikt (Examensarbete vid KTH)	Arvika kommun, Anders Norrby
Översiktlig översvämningskartering längs Byälven, sträckan Glafs fjorden till utloppet i Väneren	Rapport med tillhörande kartmaterial som översiktligt visar utsatta områden vid olika översvämningssituationer framtaget vid SMHI på uppdrag av Räddningsverket	Räddningsverket, Barbro Näslund
Översvämningen i Arvika hösten 2000	Rapport från Arvika kommuns tekniska avdelning rörande främst deras insats under det akuta skedet av översvämningen 2000	Arvika kommun, Rolf Gustavsson

<sup>2</sup> Höjdmodellen har uppdaterats med höjdinformation som inhämtades genom mätningar som utfördes inom Projekt Byälven – etapp 3

<sup>3</sup> NVE - Norges Vassdrags- og Energidirektorat

Analys av översvämningarna under sommaren och hösten 2000 samt vintern 2001

Rapport från Svenska Kraftnät omfattande bl a översvämningen i Byälvsystemet

Svenska Kraftnät, Olle Mill och Jan Magnusson

## 5 Uppgradering av befintlig modell

Utgångspunkten låg i den befintliga modell som framtagits och i detalj beskrivits i rapporten Simulering av översvämningar i Byälven (Midbøe och Persson, 2005). För att kunna detaljstudera åtgärder i anslutning till Kanalön behövdes några i FINKAN-modellen för ändamålet svaga punkter åtgärdas:

- Beskrivningen av älvsträckan parallellt med (öster om) Kanalön gjordes i FINKAN-modellen enligt black-box-principen eftersom ingen tillförlitlig botten-topografi fanns tillgänglig för sträckan. Då sträckan simulerades ansattes tvärprofiler och mycket höga flödesmotstånd (låga Mannings M) som sedan finjusterades genom kalibreringen så att vattennivåer under två översvämningförlopp stämde väl överens. (Midbøe och Persson, 2005)
- Beskrivningen av slusskanalen gjordes utifrån ett fåtal tvärprofilritningar samt enstaka djuppunkter uppmätta med ekolod.
- Botten-topografin som beskrev sträckan mellan Kanalön och Byälvens utlopp i Väneren utgjordes av djupinformation från sjökort vilka främst är framtagna för navigation.

### 5.1 Ekolodning

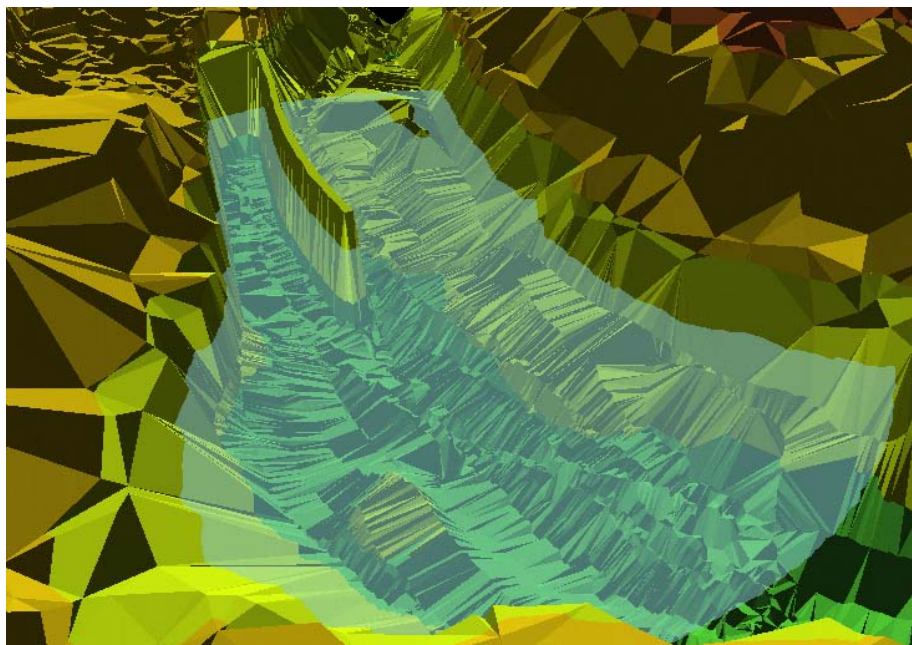
För att komplettera den botten-topografiska informationen i området gjordes en ekolodning med RTK-GPS och single-beam-teknik mellan 2005-03-31 och 2005-04-04. Det viktigaste området, nära Kanalön, lodades med en ungefärlig datatäthet på 0,3 lodskott per kvadratmeter. Den noggrannhet i planet som uppnås med RTK-GPS är några centimeter. I vertikalled kunde vattenytan användas som referensyta tack vare det för säsongen ovanligt låga vattenflödet i Byälven ( $< 10\text{m}^3/\text{s}$ ). De referensnivåer som användes avläses av Sjöfartsverket på pglar benämnda *Säffle övre* respektive *Säffle nedre* och redovisas i Tabell 2.

**Tabell 2** Uppmätta vattennivåer i Säffle 2005-03-31 – 2005-04-04, uppgifter från Kanalmästare Tapio(2005)

Datum	Säffle övre <sup>1</sup> [m ö.h.]	Säffle nedre <sup>1</sup> [m ö.h.]
2005-03-31	45,12	44,39
2005-04-01	45,14	44,38
2005-04-02	45,15	44,35

Det andra området som ekolodades, från älvfåran och slusskanalens föreningspunkt nedströms Kanalön till utloppet i Väneren, kartlades med lägre noggrannhet. Efter att felaktiga lodskott mätdata rensats bort från mätdata genom visuell inspektion sammanfogades en ny heltäckande 3-dimensionell TIN-modell för området genom direkt triangule-

ring (metodbeskrivning enl. Midbøe och Persson, 2005). Ett utsnitt av TIN-modellen redovisas i Figur 1.



**Figur 1** Utsnitt ur den 3-dimensionella TIN-modell som används för framtagning av tvärsektioner i MIKE 11 GIS. Bilden visar området strax söder om slussen och är vertikalt överdriven 4 gånger. På bilden är även vattenytan på aktuell nivå vid tidpunkten för mätningen illustrerad.

## 5.2 Uppgradering av tvärsnitt i FINKAN-modellen

TIN-filen omvandlades till ett raster med upplösning 1×1 m ur vilken nya tvärsektioner togs fram i verktyget MIKE 11 GIS. Alla tidigare tvärsnitt, som i FINKAN-modellen beskrivit älvsträckan från Kanalöns norra spets och ner till Vätern, ersattes med 45 tvärsektioner från den uppgraderade höjdmodellen samt två tvärsektioner digitaliserade från ritningar över Strömbron. I slusskanalen ersattes FINKAN-modellens 11 tvärsektioner med 33 tvärsektioner digitaliserade från ritningar från Sjöfartsverket efter att några djuppunkter på ritningarna verifierats mot tidigare ekolodningar (Midbøe och Persson, 2004).

## 5.3 Tröskel vid Strömbron

Under Strömbron finns en tröskel som enligt ritningar ligger på cirka 43,29 m ö.h. Vid tidigare black-box-modellering av sträckan har tröskeln inte beskrivits speciellt utan fått utgöra en del av strömningsmotståndet som kalibrerats för hela sträckan. Införandet av tvärsektioner som beskriver den verkliga topografin innebär emellertid att tröskeln måste införas som en flödesbegränsande faktor i modellen. För ändamålet valdes en i MIKE11 definierad s.k. *structure operation* betecknad *Weir Formula 1* som beskriver flöde över en tröskel enligt Villemontes formel (DHI, 2004). Detta möjliggör ändringar av tröskelns utformning utan att modellen behöver kalibreras om. Initialt sattes de koefficienter som ingår i Villemontes formel till av DHI angivna standardvärden för att användas som kalibreringsparametrar i senare skede. Mot förfarandet talar att bergnivån på cirka halva tvärsnittet ligger i nivå med tröskelns överkant och beräkningar med tröskelformel kan

tänkas något överdriva det strömningsmotstånd som tröskeln ger upphov till. Tillvägagångssättet får ändå betraktas som det bästa alternativet under givna förutsättningar.

## 5.4 Kalibrering

Efter att tvärsnitten på sträckan nedanför Kanalön bytts ut och tröskeln införts enligt kapitel 5.2 och 5.3 försämrades nivåanpassningen jämfört med den kalibrerade FINKAN-modellen på grund av de orealistiska värden på Mannings  $M$  som använts för att kompensera för den tidigare dåliga tillgången till topografisk information. Därför behövde området kalibreras om vilket gjordes enligt samma procedur som beskrivits för arbetet med den ursprungliga FINKAN-modellen (Midbøe och Persson, 2005) för perioden mars – maj 1999 och oktober 2000 – januari 2001. Endast värden på kalibreringsparametrar som påverkar strömningen inom området som modifierats tilläts ändras, värdena på de parametrar som var aktuella för kalibreringen och därmed kan skilja från parametervärdena i den ursprungliga FINKAN-modellen redovisas i tabellerna nedan.

**Tabell 3** Resultat från kalibrering. Gränser mellan de zoner där flödesmotstånd specificeras. Värden interpoleras mellan givna positioner. För positionsbeskrivningar se Midbøe och Persson (2005).

Platsbeskrivning	Älvgren	Position [m]	Zon 1-2 <sup>1</sup> [m ö.h.]	Zon 2-3 <sup>2</sup> [m ö.h.]
Kanalöns norra spets, Tullnäsba	Byälven	70 646,0	46,4	45,5
"	Byälven	70 647,0	45,0	46,0
60 m nedströms Strömbron	Byälven	70 830,0	45,0	46,0
61 m nedströms Strömbron	Byälven	70 831,0	45,0	45,5
Vänern	Byälven	75 814,6	45,0	45,5

<sup>1</sup> Gränsen mellan nedersta och mellersta zonen

<sup>2</sup> Gränsen mellan mellersta och översta zonen

**Tabell 4** Resultat från kalibrering. Mannings tal,  $M$ , för de zoner där flödesmotstånd specificeras. Värden interpoleras mellan givna positioner. För positionsbeskrivningar se Midbøe och Persson (2005).

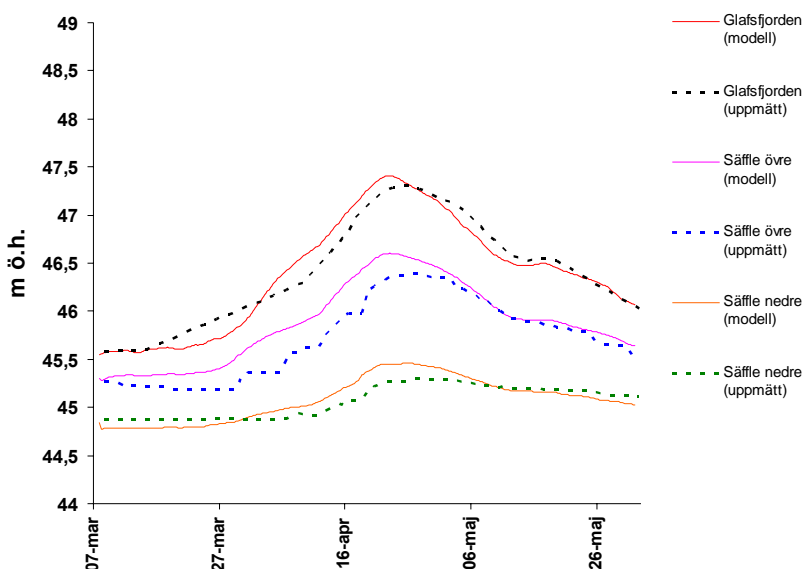
Platsbeskrivning	Älvgren	Position [m]	$M_{zon 1}$ [ $m^{1/2}s^{-1}$ ]	$M_{zon 2}$ [ $m^{1/2}s^{-1}$ ]	$M_{zon 3}$ [ $m^{1/2}s^{-1}$ ]
Kanalöns norra spets, Tullnäsba	Byälven	70 646,0	20,0	25,0	20,0
"	Byälven	70 647,0	20,0	25,0	20,0
20 m uppströms Strömbron	Byälven	70 760,0	20,0	25,0	20,0
"	Byälven	70 761,0	20,0	25,0	20,0
60 m nedströms Strömbron	Byälven	70 830,0	20,0	25,0	20,0
"	Byälven	70 831,0	14,0	20,0	22,0
Vänern	Byälven	75 814,6	14,0	20,0	22,0
Slusskanalen i Säffle	Slusskanal <sup>1</sup>	0,0	35,0	35,0	35,0
"	Slusskanal <sup>1</sup>	420,1	35,0	35,0	35,0

<sup>1</sup> För dessa områden är flödesmotståndet uniformt, d.v.s. varierar ej med nivå

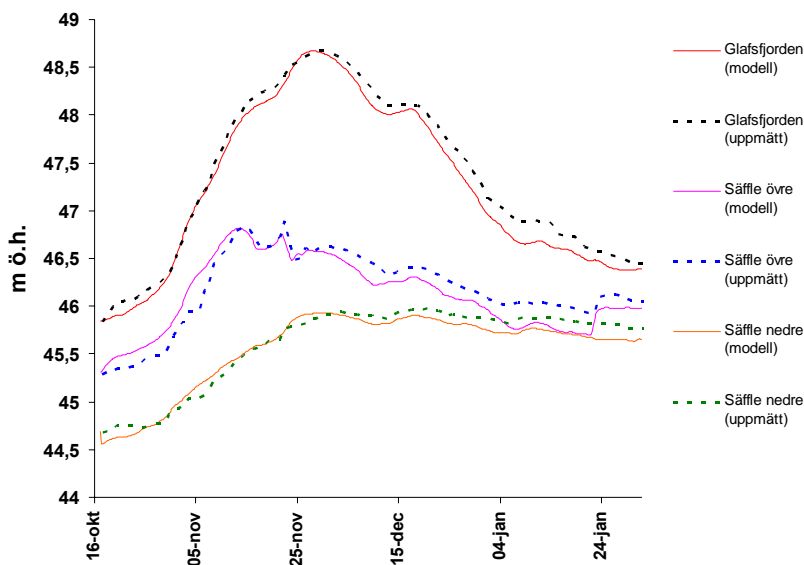
**Tabell 5** Resultat från kalibrering beträffande kalibreringsparametrar i Villemontes formel (DHI, 2004), *Weir formula 1* i MIKE11

Beteckning	Kalibrerat värde	Standardvärde
Weir coefficient	2,000	1,838
Weir exponent	1,95	1,50
Invert level	1,00	1,00

Kalibreringsresultatet presenteras i figurerna nedan. Anpassningen är bättre för översvämningsförloppet 2000 beroende på att störst vikt lagts vid detta då kalibreringen gjordes. Vattennivåns utveckling ligger aningen tidigt i modellen för vårfloden 1999 liksom den gjorde i FINKAN-modellen. Denna tendens är dock något tydligare i den nya modellen.



**Figur 2** Kalibrering av vattenstånd i Glafs fjorden samt *Säffle övre* och *Säffle nedre* för den simulerade perioden våren 1999. Modellen överskattar toppen av flödet något samtidigt som det i modellen kulminerar cirka 2 dygn för tidigt.



**Figur 3** Kalibrering av vattenstånd i Glafsforden samt vid *Säffle övre* och *Säffle nedre* för översvämningssperioden 2000.

Jämfört med den kalibrerade FINKAN-modellen beskrivs vattennivån i Glafsforden inledningsvis något bättre men något sämre då vattennivån faller tillbaka. Den totala anpassningsgraden, speciellt då även vårflödet 1999 beaktas är sammantaget något sämre än för den ursprungliga modellen. Detta betyder emellertid inte att modellen är av sämre kvalitet eftersom tillvägagångssättet som användes i den ursprungliga modellen tillät att fritt laborera med parametrarna i älvsfåran parallellt med Kanalön och att fritt ansätta realistiska värden för flödesmotstånd. Med ett sådant tillvägagångssätt ökas möjligheten att överkompensera modellen mot faktorer både innanför och utanför kalibreringen, exempelvis hanteringen av markvatten, vattenreglering, Mannings tal på andra älvsträckor i modellen osv.

Resultatet, betecknat FINKAN 2, utgör en modell som även på sträckan parallellt med Kanalön har realistiska värden på strömningsmotstånd samt innehåller en modellerad tröskel vars geometri modellanvändaren kan modifiera för att undersöka effekter på översvämningförlopp. Modellen är dock behäftad med andra begränsningar vilka måste beaktas vid tolkning av modellresultat. Sekundära vattenströmmar och turbulens runt trösklar simuleras inte fysikaliskt korrekt i endimensionella modeller. Vid förträngningar och förgreningar och föreningar av älvsträckan beaktas inte in- och utströmningsförluster. Sammanfattningsvis utgör dock FINKAN 2 ett tillräckligt precist verktyg för att användas vid effektbedömning av de åtgärdsscenarioer som undersöks inom Projekt Byälven – etapp III.

## 6 Åtgärder

I diskussionerna som förts mellan Finn Midbøe, Åke Engström och Torbjörn Svensson samt inte minst i samband med projektgruppsmötena i Säffle utkristalliserade sig några åtgärdsalternativ som verkade intressanta att undersöka närmare. Några av dessa var aktuella redan då projektet initierades medan andra kommit fram under projektets gång. Dessa kan kategoriseras i form av tre huvudspår samt kompletterande fördjupning/vidgning av älvfåran och beskrivs i följande avsnitt.

### 6.1 Organiserad öppning av slussen

Slussen med tillhörande slusskanal löper parallellt med älvfåran på den sträcka som är aktuell för åtgärder. Under översvämningen 2000 öppnades slussen för genomströmning genom att en avstängningsanordning egentligen avsedd för underhållsarbete användes så att slussportarna kunde öppnas och vatten strömma genom slussen. Förfarandet innebar dock att flödet genom slussen begränsades av 6 stålbalkar samt att öppningen av slussen skedde i ett sent skede (6.1 a). Ett mera ändamålsenligt sätt att öppna slussen skulle kunna öka genomströmningsskapaciteten och tillåta att slussen öppnas i ett tidigare skede då fara för översvämning föreligger. En viktig faktor som påverkar effekten av en sådan åtgärd är i vilket skede en öppning av slussen sker, där en tidigare slussöppning ger högre effekt samtidigt som antalet öppningar och därmed förknippade kostnader kommer att bli högre om exempelvis en relativt låg vattennivå sätts som kriterium för öppning av slussen. En i hög grad mekaniserad avstängnings/öppningsanordning skulle kunna initieras ofta utan större kostnader och på så sätt tidigt parera en översvämning samtidigt som en sådan anläggning är mera kostsam att konstruera än en enklare anordning. En öppning med det senare alternativet skulle dock kräva mer tid och resurser och därmed inte kunna göras i ett lika tidigt skede av en översvämning.

För att bedöma effekterna av en helt mekaniserad öppning av slussen undersöks en slussöppning under översvämningförloppet 2000 från och med 2000-10-17 då vattennivån vid pegeln betecknad *Säffle övre* var cirka 45,3 m ö.h. och översvämningrisken uppmärksammades (6.1 c). För att bedöma effekterna av en i mindre grad mekaniserad öppning sattes nivån 45,9 m ö.h. som den nivå vid vilken man initierar en öppning av slussen för vattengenomströmning (6.1 b). Denna nivå har sedan 1995 endast uppnåtts vid 3 flödestillfällen (vårfloden 1999 och 2 gånger i samband med översvämningen 2000) vilket torde innebära att öppningsproceduren inte behöver genomföras alltför ofta. Mera sofistikerade metoder för att bestämma när en slussöppning skall initieras är tänkbara vilket skulle kunna minska antalet falsklarm alternativt öka effektiviteten av åtgärden. En enklare variant vore att även använda vattennivån vid ytterligare en pegel, förslagsvis i Glafs fjorden, och att slussen skulle öppnas om nivån *Säffle övre* överstiger 45,9 m ö.h. eller nivån i Glafs fjorden överstiger 46,8 m ö.h. En mera avancerad metod vore att upprätta en avrinningsmodell för att prognostisera vattennivåer utifrån registrerad nederbörd och eventuellt även meteorologiska nederbördsprognoser. En liknande metod för att bedöma när översvämningar är att vänta är även nödvändig för stängningen av den barriär som planeras i Arvika. Utvecklas ett mera sofistikerat sätt att bedöma översvämningss-



risker i samband med detta borde samma system användas även för öppningen av slussen i Säffle.

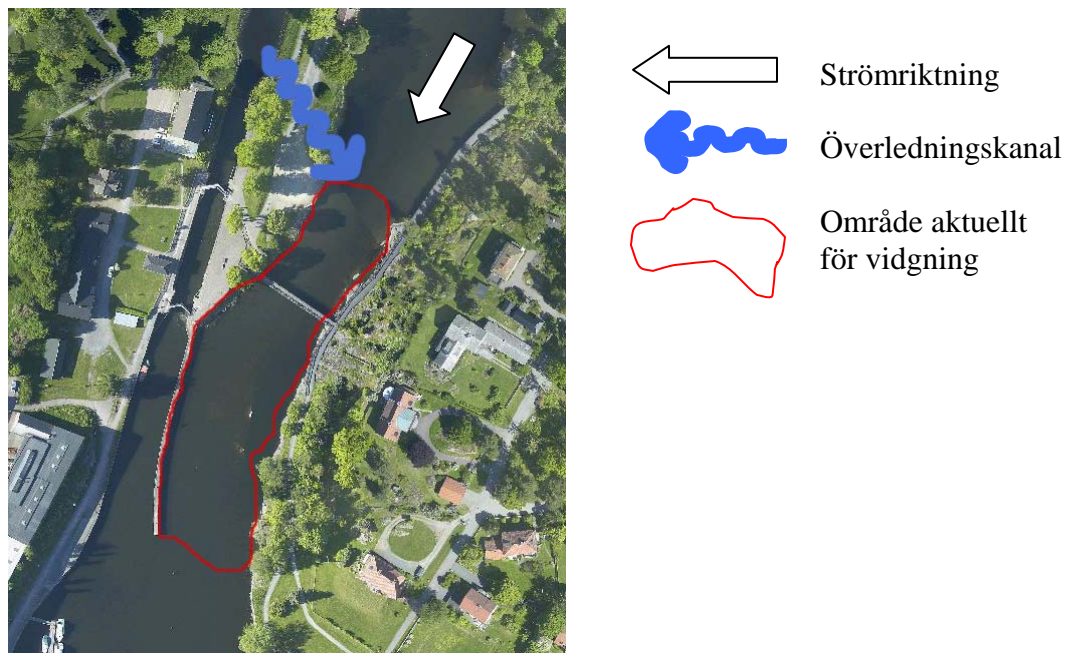
## **6.2 Modifiering av dämmningsanordning under Strömbron**

Under bron som förbinder Kanalön med östra sidan av Säffle centrum finns en dammkonstruktion som består av tre segmentluckor vardera 10,6 m breda som vilar mot en tröskel som ligger på nivån 43,29 m ö.h. Under bron finns också en fisktrappa. Även om luckorna under en högflödessituation är helt uppfällda utgör anläggningen ett betydande flödeshinder, dels eftersom öppningen är trängre än omgivande tvärsnitt, dels därför att tröskeln sticker upp ovanför botten. Tröskelhöjden överstiger dock inte överallt nivån av omgivande berggrund.

Då Projekt Byälven – etapp III initierades hade Sjöfartsverket, som är ägare av dammanläggningen, planer på att byta ut de dammluckor som används för regleringen eftersom de befintliga luckorna var uttjänta. Luckorna skulle ersättas av likadana luckor i beständigare material, vilket innebär att de inte skulle påverka regleringsmöjligheterna jämfört med idag men få längre livslängd. Luckbytet skulle kosta uppskattningsvis 1,5 Mkr. Då utredningen om översvämningens begränsande åtgärder startade stoppades uppgraderingsprocessen i avvaktan på resultatet eftersom eventuella åtgärder i samband med dammen under Strömbron skulle kunna samordnas med åtgärder aktuella i utredningen.

Tänkbara åtgärder i direkt anslutning till Strömbron är att sänka hela tröskeln och att konstruera ett djupt urtag i någon sektion av tröskeln. För effektundersökningarna valdes att sänka tröskeln med 0,5; 1,0 och 1,5 m (6.2 a) samt att göra ett urtag i tröskeln, 6 m djupt med en dammluckas bredd (6.2 b). Alla alternativ förutsätter också att berg avlägsnas omedelbart framför och bakom tröskeln så att berggrunden inte begränsar mer än själva tröskeln.

En förändring av Strömbron genom att sänka tröskeln innebär att luckorna som dämmer Byälven här måste konstrueras om för att kompensera för den lägre tröskeln. Luckorna kommer att behöva byggas högre, motsvarande den nivåsänkning som görs, vilket innebär att de riskerar att inte få plats under Strömbron på det sätt de gör idag, utan att komma nära vattenytan i händelse av en högflödessituation. Vidare kommer större luckor att uppta en större last från vattentrycket och därmed vidarebefordra en större last till bron. De kostnadsberäkningar som gjorts förutsätter dock att bron inte behöver konstrueras om nämnvärt samt att luckorna på något sätt ryms i eller bredvid bron.

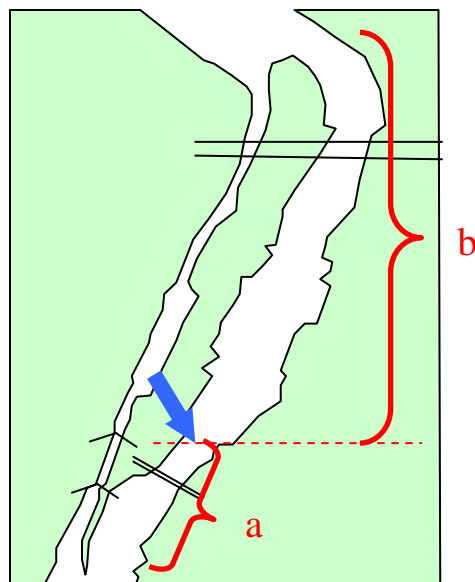


**Figur 4** Ortofoto föreställande området runt slussen i Säffle. Blå pil visar ungefärlig placering av utskov och rödmarkerat område visar det område som är aktuellt för vidgning av tvärsnitt i kombination med ett utskov (område a).

### 6.3 Överledning med utskov mellan slusskanal och älvfåra

Att öppna en överledning som avbördar vatten från slusskanalen till älvfåran nedanför Strömbron skulle innebära att mer vatten kan passera sträckan vid en given vattennivå, jämfört med dagens situation. Överledningen skulle utgöra en kanal genom kanalön ungefär vid markerad pil i Figur 4 med ett utskov som kan öppnas vid behov. Möjligen kunde anläggningen kombineras med en gästhamn uppströms slussen i Säffle. På så sätt skulle den smälta in bättre i stadsbilden kostnaderna skulle kunna delas med andra intressenter. Olika dimensioner på utskov behöver undersökas men för att det skall bli effektivt behöver sannolikt åtgärden kombineras med vidgning av älvfårans tvärsnitt nedanför punkten där överledningsflödet förenas med älvfåran (området markerat i Figur 4). Denna sträcka behöver nämligen i detta fall kunna avbörda ett större flöde än den gjorde under den verkliga översvämningen 2000. Utskovet behöver en luckanordning förslagsvis uppdelade så att varje enskild lucksektion inte är bredare än 6 m.

För effektbedömningen undersöktes en kanal med rektangulärt tvärsnitt med bottenivån på 42,0 m ö.h. och en bredd som varierades mellan 6 och 18 m (6.3 a\*\*). Sträckan genom vilken en kanal behöver passera är cirka 30 – 50 m beroende på vilken vinkel som eftersträvas vid in- och utlopp. En parallellprofil av en sådan utskovskanal omfattar cirka 120 – 200 m<sup>2</sup> vilket med undersökta utskovsbredder ger schaktvolymer mellan 700 och 3500 m<sup>3</sup>.



**Figur 5** Skiss över Kanalön med områdena a och b där vidgning av kanalfåran undersökts.

#### 6.4 Vidgning av älvfåran

En åtgärd för att öka genomströmningen, främst i kombination med åtgärderna beskrivna i kapitel 6.2 och 6.3, är att på olika sätt vidga älvfåran så att vattnet får en större area att strömma genom. De förslag till vidgad älvfåra som undersökts är fyra varianter på vardera två områden. Området har indelats i sträcka a mellan punkten där det föreslagna utskövet ansluter till älvfåran och Kanalöns sydspets samt sträcka b från Kanalöns nordspets, Tullnäsby, ned till punkten där utskövet ansluter. Sträckorna a och b markeras i Figur 5. På sträckorna undersöktes vidgningar av älvfåran så att vattennivåer som då översvämningen år 2000 kulminerade innebar en genomströmningsarea på minst 150 m<sup>2</sup>, 175 m<sup>2</sup> och 200 m<sup>2</sup> (6.4 a/b\*\*\*). I område b underskreds arean 150 m<sup>2</sup> endast vid Strömbron. Då vidgningen simuleras minskar dock vattennivåerna och därmed genomströmningsarean, speciellt då en vidgning kombineras med andra åtgärder, så att vattnets faktiska genomströmningsarea ändå inte uppgår till angivna nivåer. Dessutom undersöktes en vidgning i form av en cirka 10 m bred bottenränna ned till nivån 37,29 m ö.h. (6.4 c). Vidgning av genomströmningsarean precis vid Strömbron behandlades inte på detta sätt utan under rubrik 6.2.

## 7 Simulering

För att simulera de föreslagna åtgärderna infördes dessa i modellen FINKAN 2, först var och en för sig, för att sedan kombineras. Införandet av de olika individuella åtgärderna samt begränsningar och osäkerheter med dessa redogörs för i följande avsnitt.

### 7.1 Organiserad öppning av slussen

En organiserad öppning av slussen simulerades genom att det manuellt beräknade slussflödet som representerade slussen vid kalibreringen mot översvämningen 2000 ersattes med tvärsnitt motsvarande slussens geometri och två s.k. *structures* utgörande förträngningarna vid övre respektive nedre slussporten. Dessa *structures* var av typen FHWA WSPRO för vilken beräkningsmetoden redogörs i MIKE 11 reference manual (2004). Slussöppningen simulerades dels i ett tidigt stadium (från 2000-10-17) vilket i realiteten är att likna vid en helt mekaniserad slussöppning samt då vattennivån vid pegeln *Säffle övre* når vattennivån 45,9 m ö.h. Simuleringarna är inte förknippad med några större osäkerheter.

### 7.2 Modifiering av dämmningsanordning under Strömbron

Strömbron och dess dämmningsanordning hanteras i FINKAN 2 som en tröskel i en älvfåra med lodräta väggar. Tröskel hanteras med en speciell formel (se avsnitt 5.3). I formeln anges fysikaliska egenskaper för tröskeln, däribland krönnivå, såväl som kalibreringsparametrar. För att simulera en sänkning av tröskeln sänktes krönnivån enligt åtgärdsförslaget med 0,5; 1,0 och 1,5 m samtidigt som kalibreringsparametrarna hölls konstanta. Den införda osäkerheten som metoden medför ligger i att kalibreringsparametrarna kan förväntas förändras något då man ändrar tröskelns geometri.

Vidare har urtag ur tröskeln under Strömbron om 10,6 m (samma bredd som en av de tre nuvarande luckorna) till 37,29 m ö.h. simulerats. Urtagets djup blir därmed 6 m relativt omgivande tröskelhöjd. Simuleringen gjordes så att älvfåran förbi tröskeln delades i två parallella älvfåror. En omfattande topografin av den orörda tröskeldelen genom vilken flödet passerar en tröskel med samma geometri som i ursprungsmodellen och en annan, mycket djupare (bottennivå 37,29 m ö.h.) kanal utan flödesbegränsande tröskel. Strax nedanför tröskelns placering i modellen sammanlänkas älvfåror igen.

### 7.3 Överledning med utskov mellan slusskanal och älvfåra

Simuleringen av en överledning mellan slusskanal och älvfåra görs genom att en sammanlänkande kanal läggs till den ursprungliga modellen med inlopp i den bredare delen av slusskanalen cirka 100 m uppströms övre slussporten och utlopp ungefär lika långt norr om den nuvarande gångbron över älvfåran. Kanalen spänns upp av helt rektangulära tvärsnitt ner till 42,0 m ö.h., med varierande bredd mellan 6 och 18 m och med släta kanter (Mannings tal,  $M = 35$ ).

## 7.4 Vidgning av älvfåran

Vidgningen av älvfåran infördes i modellen genom att tvärsnitt på de aktuella sträckorna modifierades så att topografin motsvarades av införda förändringar enligt avsnitt 6.4. Inga övriga faktorer ändrades.

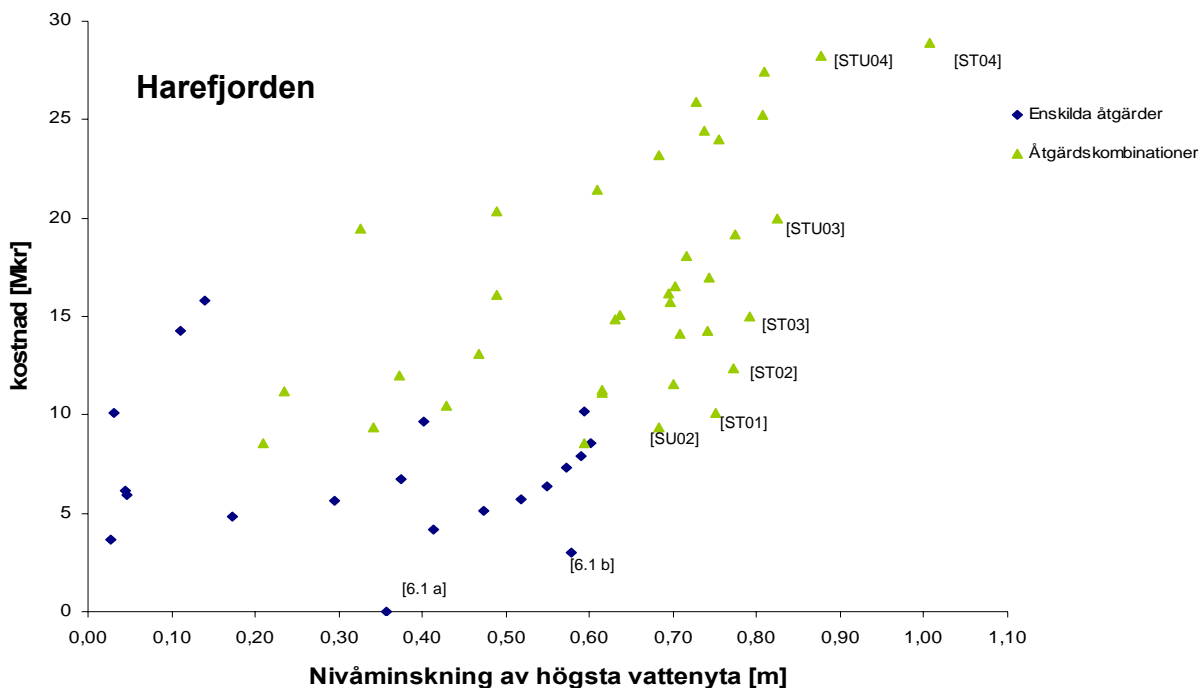
## 8 Kostnadsberäkningar

För att bedöma vilka åtgärder som är kostnadseffektiva gjordes en enkel kostnadsuppskattning av de olika åtgärderna. För de enskilda åtgärderna beräknades grovt kostnaden för jord- och bergschakt, betongarbeten och luckkonstruktioner. Kostnaden för åtgärds-kombinationer utgör summan av kostnader för de enskilda åtgärder de består av. Eventuella kostnadseffektiviseringar på grund av att flera liknande åtgärder kombineras har i aktuella fall inte beaktats. Till dessa kostnader har lagts entreprenörens allmänna kostnader och kostnader för de fångdammar som är nödvändiga för de arbeten som behöver göras i torrhet. Alla kostnader redovisas tillsammans med simuleringsresultaten i bilaga A och B.

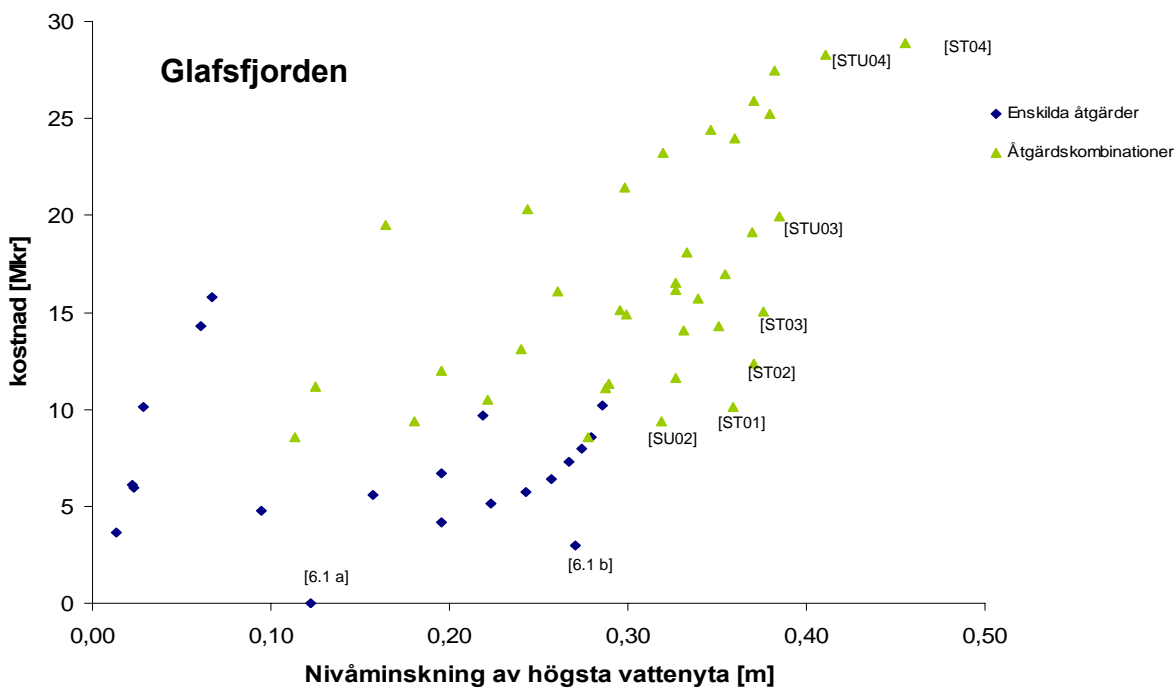
## 9 Resultat

Resultaten av simuleringarna finns tillgängliga i digitalt format som fullständiga beskrivningar av vattennivå- samt flödesprofiler längs hela älvsträckningen för alla enskilda åtgärder samt kombinationer därav. För att överskådligare kunna studera varje enskild åtgärd och kombination redovisas i bilaga A och B alla åtgärder, kombinationer, beräknade kostnader samt den maximala nivå simuleringen ger i Glafs fjorden respektive Harefjorden. Den maximala nivån motsvarar den nivå vattnet skulle nått om samma väderhändelse som inträffade 2000 skulle upprepas igen men med införda åtgärder. Vidare redovisas den nivåskillnad som åtgärden/-erna förväntas ge jämfört med om inga åtgärder alls skulle vidtas. Vid scenariot helt utan åtgärder når den maximala vattenytan 12 respektive 36 cm högre än den i verkligheten gjorde i Glafs fjorden och Harefjorden. Det beror att slussen under översvämningen öppnades, om än inte fullständigt och först i ett sent skede.

För att överskådligt kunna urskilja de intressantaste åtgärdsalternativen, vilka utgörs av de mest effektiva med avseende på kostnad och minskad vattennivå då en översvämning kulminerar, presenteras simuleringarna som punkter i ett diagram. Kostnaden för en given åtgärd eller åtgärds-kombination avläses på vertikal axel mot minskad vattennivå vid den givna väderhändelsen på horisontell axel. Diagrammen för Harefjorden och Glafs fjorden redovisas i Figur 6 och Figur 7.



**Figur 6** Diagrammet visar enskilda åtgärder och åtgärdskombinationer som punkter där horisontell axel motsvarar den nivåminskning i Harefjorden åtgärden ger upphov till och vertikal axel motsvarar kostnaden för åtgärden. Några utvalda åtgärder är markerade i diagrammet.



**Figur 7** Diagrammet visar enskilda åtgärder och åtgärdskombinationer som punkter där horisontell axel motsvarar den nivåminskning i Glafs fjorden åtgärden ger upphov till och vertikal axel motsvarar kostnaden för åtgärden. Några utvalda åtgärder är markerade i diagrammet.

I diagrammen är åtgärder och åtgärdscombinationen på nedre högra randen de intressantaste då dessa ger mest nivåminskning i förhållande till kostnaden. De åtgärder som utgör billigaste sättet att nå olika vattennivåminskningar som markerats i diagrammen redovisas speciellt nedan, nivåminskningen i Glafs fjorden respektive Harefjorden anges i rubrikens parentes för en simulering av åtgärden med samma väderhändelser som år 2000.

### **9.1 Enskild åtgärd 6.1 a (-12/-36)**

Simuleringen motsvarar händelserna 2000 och är den simulering som använts för kalibrering av modellen. Resultaten visar att vattenytan i Glafs fjorden skulle stigit 12 cm och i Harefjorden 36 cm högre än den gjorde, om inte den slussöppning som gjordes hade genomförts. Förfarandet innebar att slussen öppnades i flera steg med början den 14/11 2000 då vattenytan vid pegeln *Säffle övre* nått 46,84 m ö.h. (Midbøe och Persson, 2005). I jämförelsen är kostnaden för åtgärd 6.1 a satt till 0 kr vilket är en underskattning av den egentliga kostnaden. Den verkliga kostnaden i jämförelsen utgör nuvärdet av etablerings- och avetableringskostnaden om slussen öppnas då vattennivån 46,84 m ö.h. nås vid pegeln *Säffle övre*. Diverse faktorer gör återkomsttiden för väderhändelserna 2000 svår att beräkna (Midbøe och Persson, 2005) vilket även gör kostnaden för åtgärd 6.1 a osäker. Att inte vidta några förberedande åtgärder och vid en översvämning upprepa slussöppningen som gjordes år 2000 ställer krav att personal finns som kan utföra öppningen på ett säkert sätt, vilket kan vara svårt att garantera om inga förberedelser sker för öppningen.

### **9.2 Enskild åtgärd 6.1 b (-27/-58)**

Åtgärden motsvarar att öppningen av slussen underlättas i förväg så att en öppning kan ske enklare, och därmed oftare och i ett tidigare skede av översvämningen, samt att öppningen blir fullständig. Kostnaden för åtgärden, beräknad till cirka 3 Mkr, gäller en luckkonstruktion placerad i slusskammaren. Med en sådan anordning kan slussen öppnas för full vattengenomströmning endera av personal vid slussen eller av annan personal som införstås med förfarandet. Då översvämningens risk ej längre föreligger används luckan för att stoppa vattnet så att slussportarna kan stängas varefter luckan i slusskammaren sänks ner på botten så att slussens funktion för båttrafiken ej påverkas. I priset inkluderas såväl investeringskostnader som nuvärdet av de förväntade etablerings- och avetableringskostnader som öppning av slussen vid nivån 45,9 m ö.h. vid *Säffle övre* uppgår till. Effekten av åtgärden är stor i förhållandet till kostnaden jämfört med övriga simulerade åtgärdsförslag.

Ett billigare alternativ vore att modifiera den befintliga anordningen för avstängning för slussen som används vid underhållsarbete så att den tillåter en öppning för full vattengenomströmning. Kostnaden för en sådan åtgärd är beräknad till cirka 1 Mkr inklusive nuvärdet av etablerings- och avetableringskostnader under 60 år men ställer högre krav på att kompetent personal finns tillgängligt för etablering i genomsnitt var tredje år. Detta budgetalternativ har inte tagits med i diagrammen utan bör betraktas som ett separat alternativ som skulle kunna sänka kostnaderna om man kan säkerställa tillgången på teknisk personal.

### **9.3 Åtgärdskombination SU02 (-32/-68)**

Åtgärdskombinationen innefattar förutom en slussöppning enligt avsnitt 9.2 ett utskov om 2 gånger 6 m som avbördar vatten mellan slusskanalen och älvfåran enligt avsnitt 6.3. Kostnaden beräknas vara betydligt högre, cirka 9 Mkr, emedan ytterligare cirka 5 respektive 10 cm nivåminskning åstadkoms. Eftersom kombinationen innefattar en slussöppning vid en given vattennivå samtidigt som man placerar ett utskov i slusskanalen med inlopp ovanför den punkt i modellen där slussöppningsvillkoret är hämtat torde ett annat mera sofistikerat slussöppningsvillkor (se avsnitt 6.1) ge en något större förbättring i denna kombination än då slusskanalen inte utnyttjas för vattenföring innan slussen öppnas.

### **9.4 Åtgärdskombination ST01 (-36/-75)**

Åtgärdskombinationen liknar SU02 i det att slussöppningen finns med men istället för ett utskov har tröskeln under Strömbron sänkts 1,0 m under nuvarande nivå. Åtgärden innefattar även begränsad bergschakt så att berggrunden omedelbart upp- och nedströms ej ligger högre än tröskelnivån. Åtgärden ger ytterligare några centimeters förbättring jämfört med SU02 men till en beräknat något högre kostnad, cirka 10 Mkr.

### **9.5 Åtgärdskombination ST02 (-37/-77)**

Åtgärdskombinationen innehåller samma komponenter som ST01 men är utökad i det att älvfåran ungefär vid gångbron nedströms Backeströmmen vidgats till 150 m<sup>2</sup> enligt beskrivning i avsnitt 6.4. Kostnaden för en sådan bergschakt är hög och modellresultaten visar att effekten inte skulle bli så stor. Eftersom ett 1-dimensionellt modellverktyg som MIKE11 ej simulerar den turbulens och sekundärströmmar som kan tänkas uppstå vid förträngningar som den aktuella för denna åtgärdskombination är det dock möjligt att simuleringar utan en vidgning av älvfåran ger en något för låg vattennivå då översvämningen kulminerar.

### **9.6 Åtgärdskombination ST03 (-38/-79)**

Åtgärdskombinationen motsvarar ST02 med skillnaden att vidgning av älvfåran gjorts till 175 m<sup>2</sup> enligt beskrivning i avsnitt 6.4. Den utökade bergschakten beräknas bli kostsam, ytterligare cirka 2,5 Mkr och effekten ganska marginell. Beträffande effekter av turbulens och sekundärströmmar gäller samma resonemang som i avsnitt 9.5.

### **9.7 Åtgärdskombination STU03 (-38/-82)**

Åtgärdskombinationen motsvaras av en sänkning av tröskeln under Strömbron med 0,5 m, slussöppning enligt vid nivån 45,9 m ö.h., ett 2 gånger 6 m brett utskov mellan slusskanalen och älvfåran samt bergschakt i Backeströmmen, som vidgats till 175 m<sup>2</sup>. Åtgärderna beräknas bli kostsamma, cirka 20 Mkr, och effekten jämfört med åtgärdskombination ST03 knappt märkbar i Glafs fjorden och några centimeter i Harefjorden. Beträffande effekter av turbulens och sekundärströmmar gäller samma resonemang som i avsnitt 9.5.



### **9.8 Åtgärds kombination STU04 (-41/-88)**

Åtgärds kombinationen motsvarar STU03 med skillnaden att vidgningen av älvfåran gjorts till 200 m<sup>2</sup> i Backeströmmen enligt beskrivning i avsnitt 6.4. Den utökade bergschakten beräknas bli kostsam, ytterligare drygt 8 Mkr och effekten ganska marginell, knappast märkbar i Glafs fjorden och några centimeter i Harefjorden. Beträffande effekter av turbulens och sekundärströmmar gäller samma resonemang som i avsnitt 9.5.

### **9.9 Åtgärds kombination ST04 (-46/-101)**

Åtgärds kombinationen motsvaras av ett urtag i tröskeln under Strömbron (enl. avsnitt 6.2) i kombination med en lika bred och djup muddrad/sprängd ränna i kombination med en slussöppning vid 45,9 m ö.h. Åtgärds kombinationen är den effektivaste av de som simulerats samtidigt som tröskelurtag och omfattande bergschakt gör åtgärds kombinationen mycket kostsam. Den totala kostnaden för åtgärds förslaget är beräknad till cirka 29 Mkr.

## **10 Slutsatser**

Resultaten som presenterats i Figur 6 och Figur 7 visar att man med tekniska åtgärder i centrala Säffle kan minska den maximala vattennivå som en väderhändelse som den år 2000 orsakar med drygt 1 m i Harefjorden avtagande längs Byälvens sträckning till knappt 0,5 m i Glafs fjorden. Ett stort antal enskilda åtgärder och åtgärds kombinationer har undersökts och ur dem har urskiljts ett antal (se avsnitt 9) som vid olika önskade översvämning begränsande effekter är de mest kostnadseffektiva. Eftersom ingen inventering av ekonomiska konsekvenser av olika översvämning nivåer har gjorts kan ingen regelrätt kostnadsanalys direkt utföras men de ekonomiska vinsterna med att begränsa vattennivåerna vid högflödessituationer är uppenbara. Med detta i minnet kan dock följande åtgärds alternativ från avsnitt 9 betraktas som särskilt intressanta, beroende på vilken vattennivåminskning man vill uppnå:

- Enskild åtgärd 6.1 a, att inte vidta några förebyggande åtgärder utan vid en ny svår översvämningssituation vidta samma åtgärder som gjordes år 2000 är ett alternativ. Emellertid är kostnaden som här redovisats till 0 kr en underskattning och bestäms till stor del av hur ofta Byälvs systemet i framtiden kommer att översvämmas. Förfarandet beräknades lindra översvämningen 2000 med 36 cm i Harefjorden och 12 cm i Glafs fjorden. Åtgärds alternativet ställer krav på att personal som kan utföra öppningen finns till hands och problem är tänkbara gällande arbetsmiljön då en öppning enligt åtgärd 6.1 a med nödvändighet sker under ett kritiskt översvämningsskede och mycket av den utrustning som används är mobil och sällan används.
- Enskild åtgärd 6.1 b, organiserad öppning av slussen vid vattennivån 45,9 m ö.h., är förutom 6.1 a den billigaste åtgärden i undersökningen samtidigt som den tillhör de effektivaste. Kostnaden är beräknad till cirka 3 Mkr och åtgärden beräknas minska vattennivåerna i Harefjorden med 58 cm och i Glafs fjorden med 27 cm. Effektiviteten, definierad som minskad vattennivå (vid översvämning) per investerad krona är för denna åtgärd är den i undersökningen i särklass bästa med un-

dantag av nollalternativet (åtgärd 6.1 a, åtgärden kan inte jämföras på detta sätt då den saknar kostnad). Den torde inte behöva tillstånd i miljödomstolen och medför arbetsmiljöförbättringar för den tekniska personal som utför öppningen jämfört med idag. Åtgärden ger stor effekt till ett lågt pris och bör ingå i alla övriga åtgärds kombinationer vilket gör den svårt att motivera att inte gå vidare med.

- Åtgärds kombination ST01, att sänka tröskeln under Strömbron och schakta bort omedelbart intilliggande berg i kombination med en slussöppning vid nivå 45,9 m ö.h., är beräknat att ge en ytterligare nivåminskning med 17 cm i Harefjorden och 9 cm i Glafs fjorden till en kostnad av cirka 10 Mkr. Åtgärds kombinationen är lite dyrare än SU02 men ger större nivåminskning vilket gör den attraktivare. Alternativet bör beaktas om större nivåminskningar än vad som åstadkoms med åtgärd 6.1 b behöver uppnås.
- Visar det sig ekonomiskt motiverat att vidta drastiska åtgärder för att minska vattennivåerna vid översvämningar utgör åtgärds kombination ST04 en möjlighet. Åtgärds kombinationen innebär att en slussöppning enligt åtgärd 6.1 a kombineras med en 10 m bred och cirka 6 m djup ränna schaktas fram i Backeströmmen förbi kanalön samtidigt som motsvarande urtag görs i tröskeln under Strömbron. Kostnaden för åtgärderna är beräknade till cirka 29 Mkr och effekten till 101 cm i Harefjorden och 46 cm i Glafs fjorden. Alternativet ger största möjliga vattennivåminskning vid ett högflöde men är samtidigt jämförelsevis kostsamt.

Poängteras bör slutligen att de åtgärder som är aktuella i denna undersökning skall ställas i relation till, och även kan kombineras med, andra översvämningsskyddande åtgärder i Byälvssystemet. Till dessa räknas de som redogjorts för av Midbøe och Persson (2005), i huvudsak förändringar av gällande vattendom för att i förebyggande syfte sänka vattennivån och därmed magasinera volym under årstider med högre översvämningsskydd samt selektivt röjningsarbete av vegetation som i en högflödessituation utgör stort flödesmotstånd. Därtill kan åtgärderna också kombineras med den barriär som planeras som översvämningsskydd specifikt för Kyrkviken i Arvika kommun.

Finn Midbøe

## 11 Referenser

### Litteraturreferenser

Svensson, T., Andersson, J-O., Blumenthal, B., Forsberg, J., Hedelin, B., 2002. "Projekt Byälven – Översvämningrisker, förebyggande åtgärder och konsekvenser", Nationellt centrum för älvskadeteknik, Karlstads universitet

Midbøe, F., Persson, H., 2005, "Simulering av översvämningar i Byälven", Uppsala universitet

DHI, 2004. "MIKE 11 Reference Manual"

### Övriga referenser

Tapio, A., 2005, e-post 2005-04-05

Tabell A - Resultattabell över enskilda åtgärder

Benämning	Maximalt vattenstånd [m]		Minskning av maximal vattennivå [m]		Beskrivning	Kostnad (Mkr)
	Glafs- fjorden	Hare- fjorden	Glafs- fjorden	Hare- fjorden		
	Uppmätt	Kalibrerat	Uppmätt	Kalibrerat		
	48,67		0,00			
	48,79	48,03				
<b>6.4 a150</b>	48,78	48,00	<b>0,01</b>	<b>0,03</b>	Muddrat till 150 m <sup>2</sup> vid nivå som år 2000 på sträcka a	<b>3,6</b>
<b>6.4 a175</b>	48,77	47,98	<b>0,02</b>	<b>0,05</b>	Muddrat till 175 m <sup>2</sup> vid nivå som år 2000 på sträcka a	<b>6,1</b>
<b>6.4 ab175</b>	48,77	47,98	<b>0,02</b>	<b>0,05</b>	Muddrat till 175 m <sup>2</sup> vid nivå som år 2000 på sträcka a & b förutom dämnet	<b>6,0</b>
<b>6.4 a200</b>	48,76	48,00	<b>0,03</b>	<b>0,03</b>	Muddrat till 200 m <sup>2</sup> vid nivå som år 2000 på sträcka a	<b>10,1</b>
<b>6.4 ab200</b>	48,73	47,92	<b>0,06</b>	<b>0,11</b>	Muddrat till 200 m <sup>2</sup> vid nivå som år 2000 på sträcka a & b förutom dämnet	<b>14,3</b>
<b>6.4 c</b>	48,72	47,89	<b>0,07</b>	<b>0,14</b>	Muddrat ränna cirka 6*10 m på sträcka a & b förutom dämnet	<b>15,8</b>
<b>6.2 a50</b>	48,70	47,85	<b>0,10</b>	<b>0,17</b>	Tröskel vid dämnet sänkt 0,5 m	<b>4,8</b>
<b>6.1 a</b>	48,67	47,67	<b>0,12</b>	<b>0,36</b>	Slussen öppnas enligt förfarande år 2000	<b>0,0</b>
<b>6.2 a100</b>	48,63	47,73	<b>0,16</b>	<b>0,30</b>	Tröskel vid dämnet sänkt 1 m	<b>5,6</b>
<b>6.2 a150</b>	48,60	47,65	<b>0,20</b>	<b>0,37</b>	Tröskel vid dämnet sänkt 1,5 m	<b>6,7</b>
<b>6.3 a6</b>	48,60	47,61	<b>0,20</b>	<b>0,41</b>	Utskov 6 m brett mellan slusskanal och älvfåra	<b>4,2</b>
<b>6.2 b</b>	48,57	47,62	<b>0,22</b>	<b>0,40</b>	Tröskel vid dämnet sänkt 6 m i en sektion (10,6 m)	<b>9,7</b>
<b>6.3 a8</b>	48,57	47,55	<b>0,22</b>	<b>0,47</b>	Utskov 8 m brett mellan slusskanal och älvfåra	<b>5,1</b>
<b>6.3 a10</b>	48,55	47,51	<b>0,24</b>	<b>0,52</b>	Utskov 10 m brett mellan slusskanal och älvfåra	<b>5,7</b>
<b>6.3 a12</b>	48,53	47,48	<b>0,26</b>	<b>0,55</b>	Utskov 12 m brett mellan slusskanal och älvfåra	<b>6,4</b>
<b>6.3 a14</b>	48,52	47,45	<b>0,27</b>	<b>0,57</b>	Utskov 14 m brett mellan slusskanal och älvfåra	<b>7,3</b>
<b>6.1 b</b>	48,52	47,45	<b>0,27</b>	<b>0,58</b>	Slussen öppnas helt vid 45,9	<b>3,0</b>
<b>6.3 a16</b>	48,52	47,44	<b>0,27</b>	<b>0,59</b>	Utskov 16 m brett mellan slusskanal och älvfåra	<b>7,9</b>
<b>6.3 a18</b>	48,51	47,43	<b>0,28</b>	<b>0,60</b>	Utskov 18 m brett mellan slusskanal och älvfåra	<b>8,6</b>
<b>6.1 c</b>	48,51	47,43	<b>0,29</b>	<b>0,59</b>	Slussen öppnas helt vid 45,30 m ö.h.	<b>10,2</b>

Tabell B - Resultattabell över kombinationer av åtgärder

Scenario	ST04	STU04	STU03	STU02	TU08	ST03	T10	ST02	STU01	TU07	ST01	TU04	STU05	TU06	TU03	SU05	SU04	SU03	SU01	TU02	TU05	SU02	TU01	
ej 6.1																								
6.1 b																								
6.2 a50																								
6.2 a100																								
6.2 a150																								
6.2 b																								
6.3 a6																								
6.3 a8																								
6.3 a10																								
6.3 a12																								
6.3 a14																								
6.3 a16																								
6.3 a18																								
6.4 a150																								
6.4 ab175																								
6.4 a175																								
6.4 ab200																								
6.4 a200																								
6.4 c																								
<b>Maximalt vattenstånd [m]</b>	48,34	48,38	48,41	48,41	48,41	48,41	48,42	48,42	48,42	48,42	48,43	48,43	48,44	48,44	48,44	48,45	48,46	48,46	48,46	48,46	48,46	48,47	48,47	48,49
Glafsforden max00	47,02	47,15	47,20	47,22	47,22	47,23	47,30	47,25	47,25	47,25	47,27	47,28	47,28	47,29	47,29	47,33	47,31	47,32	47,33	47,32	47,33	47,34	47,34	47,40
Harefjorden max00	28,9	28,3	20,0	27,5	25,3	15,0	25,9	12,4	19,1	24,0	10,1	17,0	14,3	24,5	15,7	18,1	14,1	11,6	16,6	16,1	23,2	9,4	14,9	

**Kostnad (Mkr)**

Vattenståndsminskning från kalibrerad modellens maximum [m]

<b>Glafsforden max00</b>	0,46	0,41	0,38	0,38	0,38	0,38	0,37	0,37	0,37	0,36	0,36	0,35	0,35	0,35	0,34	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,32	0,32	0,32	0,30
<b>Harefjorden max00</b>	1,01	0,88	0,82	0,81	0,81	0,79	0,73	0,77	0,77	0,76	0,75	0,74	0,74	0,74	0,70	0,71	0,71	0,70	0,70	0,69	0,68	0,68	0,68	0,63

Tabell B (forts) - Resultattabell över kombinationer av åtgärder

Scenario	T09	U03	TU09	U02	U01	T11	T08	T06	T03	T05	T02	T07	T04	T01
ej 6.1														
6.1 b														
6.2 a50														
6.2 a100														
6.2 a150														
6.2 b														
6.3 a6														
6.3 a8														
6.3 a10														
6.3 a12														
6.3 a14														
6.3 a16														
6.3 a18														
6.4 a150														
6.4 ab175														
6.4 a175														
6.4 ab200														
6.4 a200														
6.4 c														

Maximalt vattenstånd [m]

Glafsforden max00	48,49	48,50	48,50	48,50	48,51	48,53	48,55	48,55	48,57	48,60	48,61	48,63	48,67	48,68
Harefjorden max00	47,42	47,39	47,41	47,41	47,43	47,54	47,54	47,56	47,60	47,65	47,69	47,70	47,79	47,82

**Kostnad (Mkr)** 21,4 14,3 10,6 10,4 7,8 16,1 20,3 13,1 10,5 12,0 9,4 19,5 11,2 8,6

Vattenståndsminskning från kalibrerad modellens maximum [m]

**Glafsforden max00** 0,30 0,30 0,29 0,29 0,28 0,26 0,24 0,24 0,22 0,20 0,18 0,16 0,12 0,11  
**Harefjorden max00** 0,61 0,64 0,62 0,62 0,59 0,49 0,47 0,43 0,37 0,34 0,33 0,23 0,23 0,21