

ELFORSK



DAMMSÄKERHET

Utvärdering av dammbrottsberäkning som underlag för
konsekvensklassificering

Elforsk rapport 11:82

Dammsäkerhet

Utvärdering av dammbrottsberäkning som
underlag för konsekvensklassificering

Elforsk rapport 11:82

Förord

Denna rapport är ett resultat från Elforsks dammsäkerhetstekniska utvecklingsarbete som syftar till att långsiktigt stödja kraftindustrin dammsäkerhetspolicy.

Elforsks dammsäkerhetstekniska utvecklingsarbete har en styrgrupp bestående av: Jonas Birkedahl – Fotum, Claes-Olof Brandesten – Vattenfall Vattenkraft, Lars Hammar – Vattenfall Vattenkraft, Anders Isander – E.ON, Martin Johansson – Skellefteå Kraft, Anders Sjödin – Statkraft, Gunnar Sjödin – Vattenregleringsföretagen, Rolf Steiner – Fortum samt Cristian Andersson – Elforsk. Adjungerade till gruppen är också Maria Bartsch och Anna Engström-Meyer – Svenska Kraftnät.

Att kunna genomföra tillräckligt bra dammbrottsberäkningar är angeläget eftersom de utgör underlag för beredskapsplanering och för konsekvensklassificering av dammanläggningar. Konsekvensklassificeringen bestämmer till stor del omfattningen av dammsäkerhetsarbetet.

Projektet "Utvärdering av dammbrottsberäkning som underlag för konsekvensklassificering" har gjort en jämförelse av dammbrottsberäkningar för Hästberga dammanläggning och det dammbrott som inträffade där 7 november 2010. Jämförelsen pekar på att dammbrottsberäkningar med endimensionella beräkningsprogram (i detta fall Mike 11), kan genomföras med tillfredsställande noggrannhet för att kunna utgöra underlag för konsekvensklassificering av fyllningsdammanläggningar, även om noggrannheten på höjddata är relativt grov. Osäkerhet i höjddata kan kompenseras med konservativa antaganden eller med fältinmätningar.

Slutsatser och rekommendationer i rapporten står som vanligt författaren för.

Stockholm, december 2011



Cristian Andersson

Sammanfattning

Dammbrottsberäkningar genomförs generellt som underlag för konsekvensklassificering av dammanläggningar. Vilken konsekvensklass som en dammanläggning tillhör, bestämmer till stor del omfattningen av dammsäkerhetsarbetet. Det är därför av största vikt att en dammanläggning hamnar i korrekt konsekvensklass.

Målet med rapporten är att göra en grov bedömning av noggrannheten hos dammbrottsberäkningar som grund för konsekvensklassificering av dammanläggningar. Den 7 november 2010 gick Hästberga dammanläggning till brott vilket ledde till okontrollerad utströmning från magasinet. Detta projekt inkluderar en dokumentation av det aktuella dammbrottet samt jämförelser mellan det verkliga dammbrottets utbredning och resultatet från beräkningar av dammbrottet.

Beräkningarna är utförda med en beräkningsmodell där det inte skett någon fältinmätning av sektioner längs Helge å eller funnits några data över vattennivåer och motsvarande flöde att kalibrera beräkningarna mot.

Vid beräkning av dammbrottets utveckling i tid och bredd så varierar resultaten för maximala utflödet genom dammbrottet från ca 600 m³/s till strax under 1200 m³/s, bredden från ca 28 m till 54 m och tiden från 0,7 tim till 1,4 tim. Det verkliga dammbrottet uppskattas till ca 30 m i bredd och tiden till ca 1 tim.

Sammanfattningsvis från jämförelsen mellan verkligt fall och beräknat fall så anses att MIKE 11 generellt har en tillräcklig noggrannhet för att konsekvensklassificera dammanläggningar. Även i de fall där noggrannheten på höjddata är relativt grov. Det anses dock finnas en risk att noggrannheten i specifika punkter är för låg för att kunna avgöra om det är ett skadeobjekt eller inte. Därför bör alla antaganden göras konservativt för att simulera ett värsta fall. Vid valet mellan framförallt konsekvensklass 1B och 2 bör det utvärderas om det ska ske fältinmätningar av sektioner kring möjliga skadeobjekt för att öka noggrannheten.

Det rekommenderas att det tas fram svenska riktlinjer för hur dammbrottsberäkningar ska utföras. Framför allt då dammbrottsberäkningar ofta utgör underlaget för konsekvensklassificeringen vilken avgör en stor del av dammsäkerhetsarbetets omfattning. Dammbrottsberäkningen bör därför grundas på så enhetliga antaganden som möjligt.

Summary

Dam break analysis is generally carried out as a base for consequence classification of a dam. Which class a dam is determined to belong to decides to large part the extent of the dam safety work. Therefore it is of most significance that a dam belongs to correct consequence class.

On 7th November 2010 a dam failure occurred at the Hästberga dam which led to uncontrolled outflow from the reservoir. The aim with the present report is to make a rough estimation of the accuracy of dam break analysis as a base for consequence classifications. This includes a documentation of the current dam failure and a comparison between the real dam failure and the calculated.

The calculations are carried out with a model without any field measurements of sections along the waterway and without any data over water levels with corresponding flow for calibration of the calculations.

From the calculations of the development of the dam failure it is seen that the result for the maximum outflow through the dam break varies from approx. 600 m³/s to almost 1200 m³/s, the width of the dam break from approx. 28 m to 54 m and the time from approx. 0.7 h to 1.4 h. The real dam failure is estimated to approx. 30 m in width and the time to approx. 1.0 h.

It is considered, from the comparison between the real dam failure and the calculated dam failure, that MIKE 11 generally has a sufficient accuracy for making the consequence classification of a dam. Even for cases where the elevation data is relative coarse. It is though considered to be a risk that the accuracy in specific points is too low to decide if an object is considered a risk object. Therefore all assumptions should be made conservative to simulate a "worst case". When choosing between consequence class, especially 1B and 2, it should be evaluated if field measurements of sections around possible risk objects should be carried out to increase the accuracy.

It is recommended to develop Swedish guidelines for dam break analysis. This since dam break analysis often is the base for the consequence classification of a dam which decides to a large part the extent of the dam safety work. Therefore the dam break analysis should be carried out as uniformed as possible.

Innehåll

1	INLEDNING	3
1.1	Bakgrund	3
1.2	Projektets syfte & mål	3
1.3	Avgränsningar	4
1.4	Dammdata	4
2	GENOMFÖRANDE	7
2.1	Projektorganisationen	7
2.2	Terrängmodell	7
2.3	Hydrauliska beräkningar av flodvågen	7
2.4	Dammbrottsbräschens utveckling.....	7
2.4.1	3,5 x H (<i>empirisk modell</i>)	8
2.4.2	Froehlich (<i>empirisk modell</i>).....	8
2.4.3	Washington (<i>parametrisk modell</i>)	8
2.4.4	MIKE 11 Erosion (<i>fysikalisk modell</i>).....	8
3	RESULTAT	9
3.1	Dokumentation av dammbrottet vid Hästberga dammanläggning - <i>Verkligt fall</i>	9
3.2	Dammbrottsbräschens utveckling.....	10
3.3	Jämförelse av utflödeshydrograf	11
3.4	Flodvågsutbredning	11
4	DISKUSSION & REKOMMENDATIONER	13
4.1	Diskussion.....	13
4.1.1	Terrängmodell.....	13
4.1.2	Hydrauliska modelleringar	13
4.1.3	Resultat.....	13
4.2	Slutsats & Rekommendationer	14
4.3	Pågående studier	15
4.3.1	Dammbrottsbräschens utveckling	15
4.3.2	Utbredning av flodvågen.....	15
4.3.3	Dammbrottsantaganden	15
5	APPENDIX	16
6	REFERENSER	17

1 INLEDNING

Dammbrottsberäkningar genomförs generellt som underlag för konsekvensklassificering av dammanläggningar. Vilken konsekvensklass som en dammanläggning tillhör bestämmer till stor del omfattningen av dammsäkerhetsarbetet. Det är därför av största vikt att en dammanläggning hamnar i korrekt konsekvensklass.

1.1 Bakgrund

I Sverige finns idag inga enhetliga riktlinjer för hur dammbrottsberäkningar som underlag för konsekvensklassificering ska utföras. I RIDAS – Kraftföretagens riktlinjer för dammsäkerhet, står följande (Svensk Energi, 2008):

”Vid klassificeringen av en damm skall dammbrottets karaktär beaktas. Faktorer som dammbrottets tidsförlopp och brottöppningens storlek studeras. Det dammbrott som ger största konsekvensen avgör klassificeringen.”

Under 2009 utförde EnergoRetea en dammbrottsberäkning och konsekvensklassificering för Hästberga dammanläggning. Resultatet blev att Hästberga konsekvensklassificerades att tillhöra konsekvensklass 2 på grund av beaktansvärd ekonomisk skadegörelse vid ett dammbrott. (Persson. F och Petersson. M, 2009)

Den 7 november 2010 gick Hästberga dammanläggning till brott vilket ledde till okontrollerad utströmning från magasinet. Då dammbrott är extremt ovanligt så beslutades det att jämföra det inträffade dammbrottet mot de tidigare beräkningarna.

1.2 Projektets syfte & mål

Det finns fyra syften med rapporten.

- Att dokumentera hur det aktuella dammbrottet vid Hästberga dammanläggning utvecklades samt flodvågens utbredning. Underlaget ska kunna användas vid framtida analyser och förbättringar av beräkningsmetoder.
- Att översiktligt jämföra den tidigare dammbrottsberäkningen, som utgjorde underlag för konsekvensklassificeringen av Hästberga dammanläggning, mot konsekvenserna av det inträffade dammbrottet vid Hästberga dammanläggning.
- Att jämföra några olika beräkningsmetoder för dammbrottsbräschens utveckling i bredd och tid.

- Att beräkna flodvågen från dammbrottet i MIKE 11 med förutsättningarna från det verkliga dammbrottet och jämföra resultatet med flodvågens utbredning i verkligheten.

Målet är göra en grov bedömning av noggrannheten för dammbrottsberäkningar med ett endimensionellt beräkningsprogram i syftet att utgöra grunden för konsekvensklassificering av dammanläggningar.

1.3 Avgränsningar

- All utvärdering sker endast mot det aktuella dammbrottet vid Hästberga dammanläggning.
- Utvärderingen gäller endast brott i fyllningsdammar.
- Endast programmet MIKE 11 används för beräkning av flodvågens utbredning.
- Det existerar många beräkningsmetoder för dammbrottsbräschens utveckling. Endast ett fåtal väljs ut för jämförelse här, se Kapitel 2.4.
- Dammbrottsberäkningarna görs med antagandet att vattennivån i magasinet är vid dammkrön. Vattennivåerna uppströms samt nedströms Hästberga dammanläggning vid dammbrottstillfället är vid denna rapports framställande okända.
- Endast dammbrott i vänster fyllningsdamm beaktas då det råder stora osäkerheter när mitten fyllningsdamm gick till brott samt hur dammbrottsbräschens här utvecklades, se vidare Kapitel 3.1.
- Naturliga förlopp studeras, dvs. sabotage tas ej med.

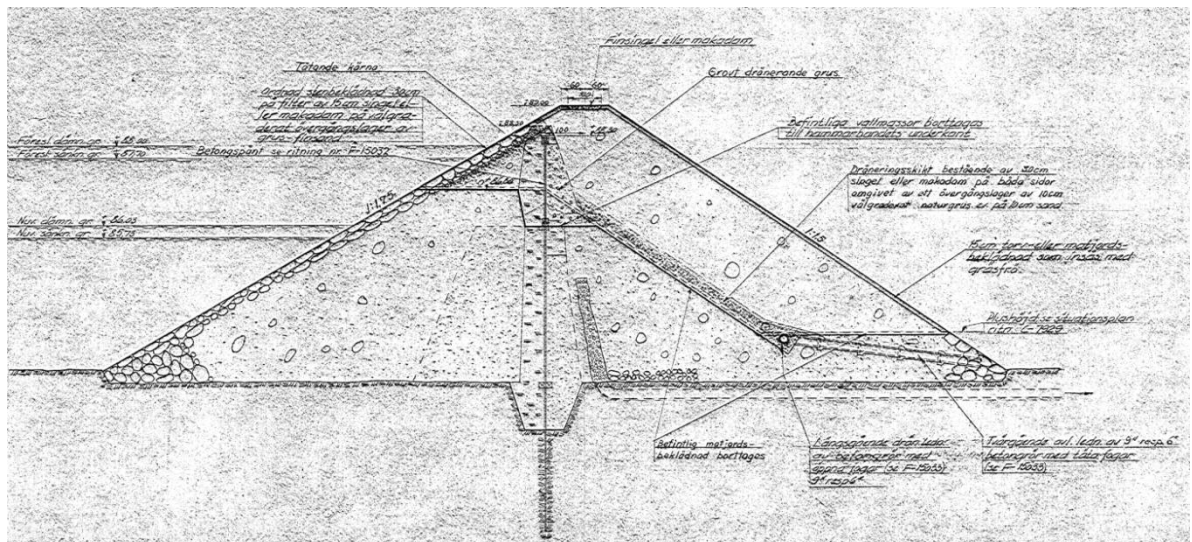
1.4 Dammdata

För detaljerad anläggningsbeskrivning hänvisas till DTU (drift, tillståndskontroll och underhåll)– manualen för Hästberga dammanläggning. Nedan redovisas information som anses relevant för dammbrottsberäkningarna. (DTU-manual Hästberga, 2010)

Avrinningsområde	ca 1 657 km ²
Dämningsareal	ca 0,6 km ²
Frisläppt vattenvolym (DG)	ca 3,6 Mm ³
Frisläppt vattenvolym (Krön)	ca 4,2 Mm ³
Bruttofallhöjd	ca 10 m
Utbyggnadsvattenföring	ca 20 m ³ /s

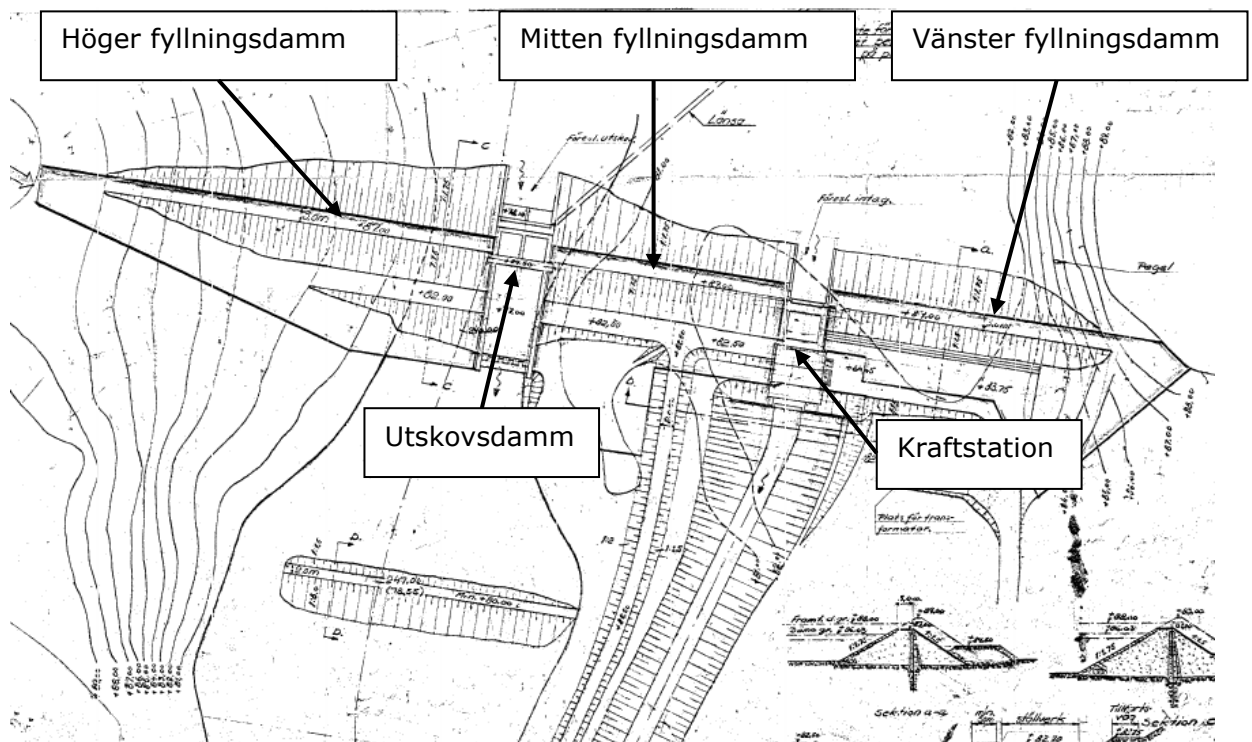
Hästberga dammanläggning består av 3 stycken fyllningsdammar samt kraftstation och utskovsdamm av betong, se planritning i Figur 1.2. Fyllningsdammarerna har en central placerad spont med omkringliggande stödfyllning. Sponten består av stående träplank som övergår i en betongspont. Betongsponten består av sammansatta betongelement i dimensionerna 2,1 x 0,07 x 0,35 (H x B x L) meter och är placerade över träsponten på nivån +86,2 m. Fyllningsdammarerna är uppbyggda med ett tätmaterial på uppströms sida av sponten upp till nivån +88,3 m. En klack av

tätmaterial har även placerats i överkant, på nedströms sidan av betongsponten. Tätjorden består av ett siltigt material med inslag av Kiselgur. Nedströms betong- och träsponten har dränerande material placerats. Stödfyllningen består av grusig Sand där jordprover visar att andelen finmaterial, $d < 0,063 \text{ mm}$, är 7 % och andelen material $d > 20 \text{ mm}$ är 5 till 15 %. Fyllningsdammarnas krön ligger på ca +89,0 m och högsta dammhöjd är ca 12 m. Se typsektion i Figur 1.1. (DTU-manual Hästberga, 2010)



Figur 1.1 Normalsektion av fyllningsdamm med påbyggnad för dämning till +88,00 (ritning F-15031, 1958).

Det saknas information om dammanläggningen är grundlagd på berggrund eller naturliga jordmassor då det förekommer ritningar som visar båda alternativen.



Figur 1.2 Plan över Hästberga damanläggning (ritning C-7929, 1952).

2 GENOMFÖRANDE

2.1 Projektorganisationen

Medverkande personer och deras uppgift i detta projekt har varit:

- Martin Petersson, författare samt hydraulik, ÅF
- Jacob Levallius, terrängmodell och GIS, ÅF
- Johan Östberg, hydraulik, ÅF
- Andreas Rick, kvalitetsgranskning, ÅF
- Fredrik Persson, rådgivning, E.ON Vattenkraft Sverige

2.2 Terrängmodell

En terrängmodell har skapats där sektioner har plockats ut som ingångsdata till den hydrauliska modellen. Resultatet från de hydrauliska beräkningarna har sedan använts i terrängmodellen för att skapa kartorna över dammbrottet.

Som grunddata för terrängmodellen har Lantmäteriets GSD höjddata GRID 50+ använts, vilket är punktdata med 50 m ekvidistans. Denna har interpolerats fram till en heltäckande terrängmodell. Sjöar och vattendrag representeras i GSD höjddata med enbart värdet på vattenytan och därför har vattendjup fått kompletteras manuellt. Länsstyrelsen i Skåne tillhandahåller sjödjupskartor för skånska sjöar och dessa har använts för Skeingesjön och Osbysjön. Nivåkurvorna i sjödjupskartorna har digitaliserats och höjdsatts. För Hästberga magasin har det antagits en lägsta bottenyta på +82 m. Vattendraget har simulerats med att i terrängmodellen skära ner en 10 m bred fåra som i centrum har ett djup på 2 m utifrån terrängmodellens höjd. Sektioner har lagts manuellt för att bäst representera skillnaderna i terrängen, se Bilaga 1 för sektioneringen i modellen.

2.3 Hydrauliska beräkningar av flodvågen

För de nya flodvågsberäkningarna har MIKE 11 använts. Se Bilaga 1 för allmän beskrivning av MIKE 11 samt aktuella inställningar och sektionering för de dammbrottsberäkningar som utförts i detta projekt.

De tidigare utförda dammbrottsberäkningarna för konsekvensklassificering av Hästberga dammanläggning är också utförda med MIKE 11.

2.4 Dammbrottsbräschens utveckling

För beräkning av dammbrottsbräschens utveckling används idag ett flertal olika metoder. De olika metoderna kan dock delas in i fyra olika principiella metoder:

- Empiriska modeller
- Analytiska modeller
- Parametriska modeller
- Fysikaliska modeller

I denna rapport har exempel på empiriska, parametriska och fysikaliska metoder använts. De valda modellerna som används i denna rapport beskrivs kortfattat nedan och valet av metod motiveras kort.

2.4.1 3,5 x H (*empirisk modell*)

Empiriska metoder innebär att metoden är baserad på erfarenheter från verkligheten och/eller experiment. Här används historik från tidigare dammbrott för att få fram ett statistiskt väntat resultat. Det räknas med att dammbrottet blir 2 till 5 gånger dammhöjden, från dammkrön till naturligmark (Fread, 1988). Här används medelvärdet 3,5 x höjden. Motiveringen till valet är att denna metod anses historiskt ha varit utbredd i Sverige och används fortfarande när en snabb och grov uppskattning behövs.

2.4.2 Froehlich (*empirisk modell*)

Empiriska metoder innebär att metoden är baserad på erfarenheter från verkligheten och/eller experiment. Froehlichs formler används i Norska riktlinjerna för dammbrottsberäkningar för fyllningsdammar och användandet av Froehlichs formler är även utbrett i Sverige, vilket motiverar valet (NVE, 2005).

2.4.3 Washington (*parametrisk modell*)

Parametriska modeller kombinerar empiriska och analytiska metoder. En metod enligt dammsäkerhetsriktlinjer från USA som används för att beräkna dammbrottsbräschens utveckling (Washington State Department of Ecology, 2007). Valet motiveras då metoden kombinerar kända empiriska och analytiska metoder, dock är utbredningen av metoden okänd.

2.4.4 MIKE 11 Erosion (*fysikalisk modell*)

Fysikaliska metoder innebär att olika matematiska formler används för att beskriva de processer som sker. Metoden ställer krav på att det finns uppgifter på vilka material som fyllningsdammen består av. Här används MIKE 11s inbyggda fysikaliska dammbrottsberäkning som använder Engelund-Hansens sedimenttransportformel (DHI, 2009). För inställningar i MIKE Dam break Erosion beräkningen se Bilaga 1. Motiveringen till valet är att användandet av MIKE är utbrett i Sverige för både dammbrottsberäkningar och översvämningsberäkningar och har bland annat använts i projekt för samordnad beredskapsplanering för dammbrott i Sverige.

3 RESULTAT

3.1 Dokumentation av dammbrottet vid Hästberga dammanläggning - *Verkligt fall*

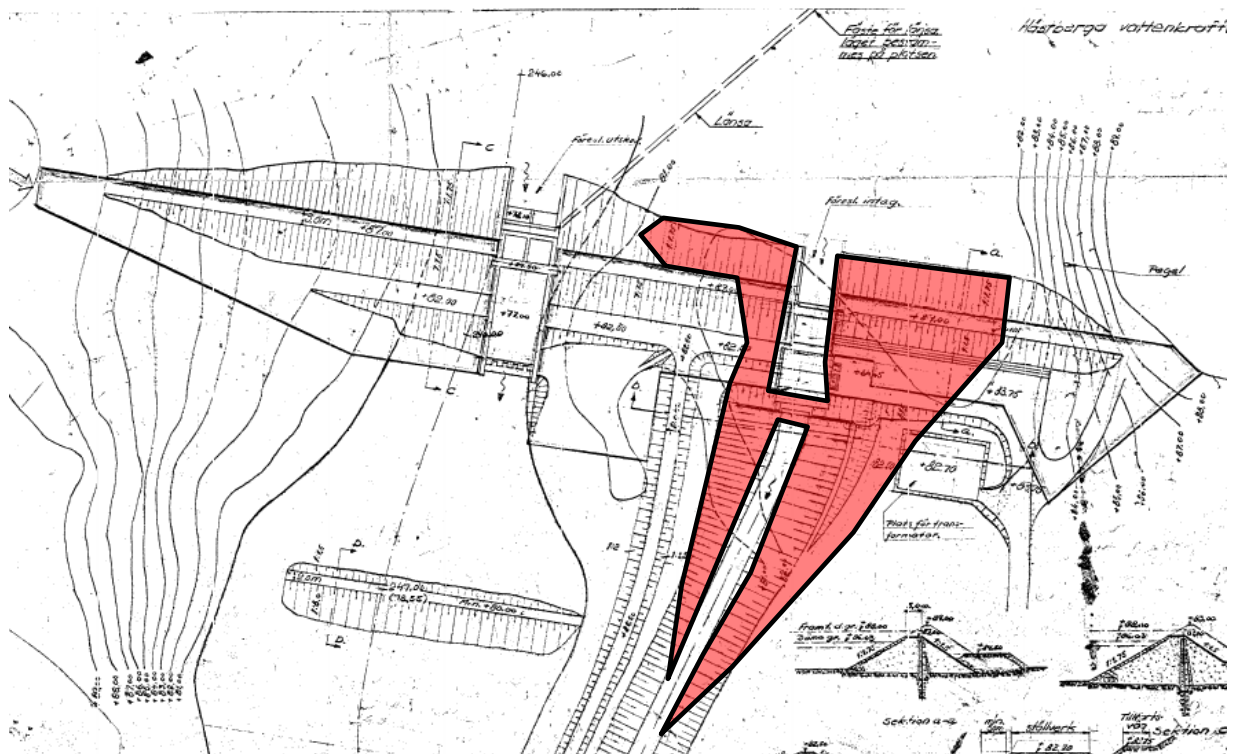
Följande uppgifter utgör beräkningsförutsättningar för "*Verkligt*" fall.

Det har inte utförts några noggranna inmätningar av dammbrottets bredd eller djup då det fortfarande, när denna rapport skrevs, gick ett stort flöde genom dammbrottsöppningen och rasrisken var stor vid kanterna. Uppskattningsvis är dammbrottets bredd i vänster fyllningsdamm ca 30 m och djupet ca 9 m från befintligt dammkrön. Det skedde sannolikt en kraftig erosion i naturlig mark nedströms även en tid efter att dammbrottet hade fullt utvecklats.

Från samtal med en kanotist, som var på plats när dammbrottet inträffade, uppges att dammbrottet har startat i anslutningen mellan vänster fyllningsdamm och kraftstationen. Dammbrottet uppges ha utvecklats fullt efter ca 60 minuter där den största ökningen i bredd uppges ha skett under de första 30 minuterna. (ÅF, 2011)

Någon gång under dammbrottets utveckling i vänster fyllningsdamm, eller strax därefter, kollapsar även en del av mitten fyllningsdamm, ca 15 m, i anslutningen mot kraftstationen. Denna del medräknas ej i beräkningarna då det anses finnas så stora osäkerheter kring hur och när dammbrottet i mittersta dammen utvecklats.

Se Figur 3.1 för uppskattad omfattning på dammbrottet och Bilaga 2 för fotodokumentation av dammbrottet.



En vägbro ca 1,2 km nedströms Hästberga dammanläggning kollapsar till följd av dammbrottet. Räddningstjänsten uppger vid samtal att de uppskattar att vägbron stod i ca 20 min innan den kollapsade. (ÅF, 2011)

En karta över dammbrottets utbredning skapades genom GPS inmätning av spår i naturen efter dammbrottet samt med hjälp av flygfoton från Räddningstjänsten, se Bilaga 4. Original data från GPS inmätningen återfinns i Bilaga 6.

3.2 Dammbrottsbräschens utveckling

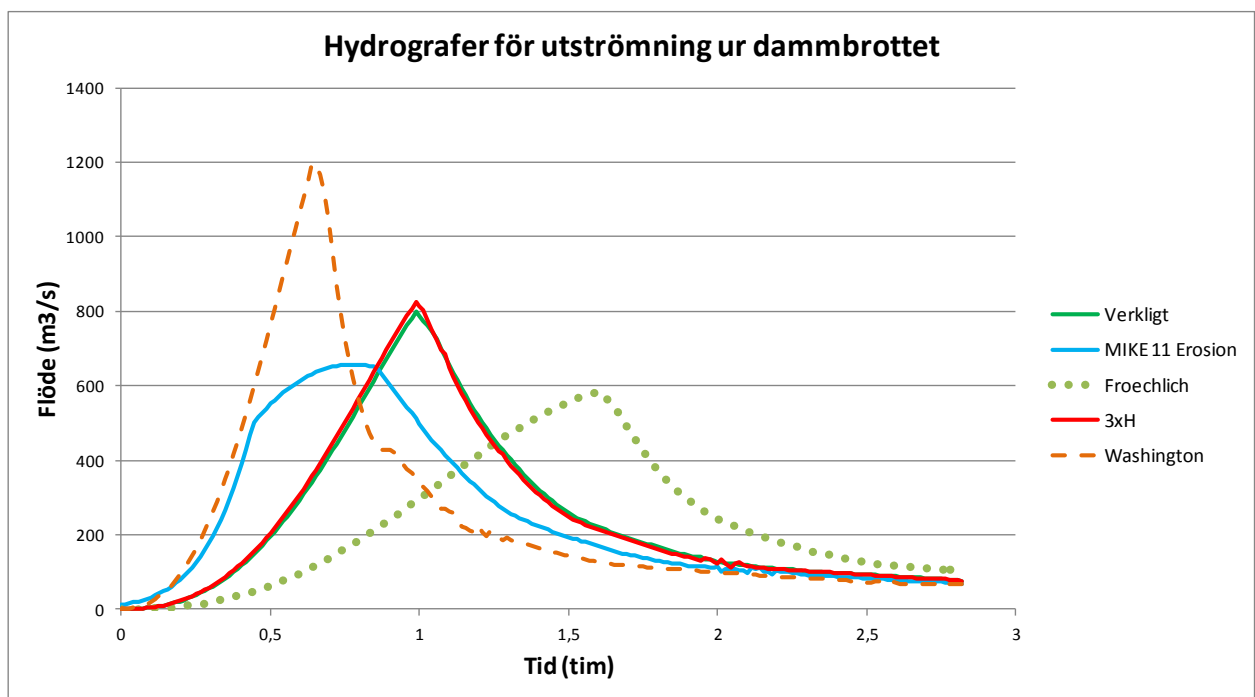
I Tabell 3.1 visas resultaten från de olika beräkningarna av dammbrottsbräschens utveckling. Fullständiga beräkningar kan ses i Bilaga 3.

Tabell 3.1 Resultat från beräkningar av dammbrottsbräschens utveckling.

Metod	Dammbrottsbredd (m)	Tid till fullt utvecklat (tim)
Verkligt	30 (uppskattat)	1,0 (uppskattat)
Froehlich	48,0	1,4
3,5 x H	31,5	1,0 (antaget)
MIKE 11 Erosion	27,9	1,3
Washington	54,0	0,7

3.3 Jämförelse av utflödeshydrograf

Resultatet från flodvågsberäkningarna redovisas genom översvämningsskartor, se Bilaga 5, och som hydrografer som visar utströmningen genom dammbrottsbräschan, se Figur 3.2.



Figur 3.2 Hydrografer för utströmningen ur dammbrottsbräschan med olika beräkningsmetoder av dammbrottets formation.

3.4 Flodvågsutbredning

I Bilaga 5 kan en jämförelse ses mellan flodvågens utbredning vid inträffat dammbrott, gamla flodvågsberäkningen med dammbrott vid utbyggnadsvattenföring och ny flodvågsberäkning med dammbrott vid utbyggnadsvattenföring.

I Tabell 3.2 kan ses en jämförelse mellan vattennivåer vid olika avstånd. I Bilaga 1 redovisas sektioneringen med avstånd för den nya MIKE 11 modellen. Den gamla flodvågsberäkningen har inte samma sektionering som den nya dammbrottsberäkningen utförd i detta projekt.

Tabell 3.2 Jämförelser mellan vattennivåer för verkligt fall och beräkningar.

Avstånd* (m)	Inmätt nivå vid dammbrott (+m)	Nivå vid gammal flodvågs- beräkning (+m)	+/- (m)	Nivå vid ny flodvågs- beräkning (+m)	+/- (m)
1980	85,2	85,6	0,4	85,8	0,6
2200	84,0	85,5	1,5	85,7	1,7
3130	82,0	80,9	-1,1	82,4	0,4
3540	80,2	80,3	0,1	80,3	0,1
3940	80,0	80,2	0,2	79,4	-0,6
4180	79,5	80,0	0,5	79,1	-0,4
4500	78,2	79,4	1,2	78,9	0,7

*Avståndet är angivet från där modelleringen av Helge å börjar (0 m) vilket är 1930 m uppströms Hästberga dammanläggning, se sektionering i Bilaga 1.

4 DISKUSSION & REKOMMENDATIONER

4.1 Diskussion

Nedan diskuteras bland annat osäkerheter och andra omständigheter som kan påverka resultaten.

4.1.1 Terrängmodell

Noggrannhet för GSD höjddata, som terrängmodellen är uppbyggd med, är +/- 2,5 m. För sjödjupskartan för Osbysjön uppskattas noggrannheten i höjd till +/- 0,5 m. För sjödjupskartan i Skeingesjön fanns ingen referenshöjd och där uppskattas noggrannheten till +/- 1 m. Modelleringen av vattendragets mittfåra påverkas av att upplösningen på GSD höjddata är för grov för att återspegla vattendragets fallprofil varför den fick antas och läggas in manuellt.

4.1.2 Hydrauliska modelleringar

De nya och gamla beräkningarna av flodvågens utbredning är utförda med en beräkningsmodell där det inte skett någon fältinmätning av sektioner längs Helge å eller funnits några data över vattennivåer och motsvarande flöde att kalibrera beräkningarna mot.

För de nya och gamla flodvågsberäkningarna skiljer inte noggrannheten på terrängmodellen nämnvärt då det inte finns noggrann höjddata för området att tillgå samt att informationen om bottenprofilen är okänd. Däremot är sektioneringen för de gamla och nya flodvågsberäkningarna olika vilket kan påverka resultatet.

Samtliga uppgifter rörande dokumentationen av det verkliga dammbrottet, "*Verkligt*" fall, utgörs av uppskattningar och fältinmätningar och anses innehålla en viss osäkerhet.

4.1.3 Resultat

Vid beräkning av dammbrottets utveckling i tid och bredd så varierar resultatet för maximala utflödet genom dammbrottet från ca 600 m³/s till strax under 1200 m³/s. För simuleringen av det "*Verkliga*" dammbrottet så blir maximala utflödet ca 800 m³/s. Från beräkningarna varierar bredden från ca 28 m till 54 m och tiden från ca 0,7 tim till 1,4 tim. Det verkliga dammbrottet uppskattas till ca 30 m i bredd och tiden till ca 1 tim. Att metoden $3,5 \cdot H$ nästan identiskt följer hydrografen för "*Verkligt*" dammbrott anses mer vara en tillfällighet, att gjorda antaganden stämde väldigt bra med utfallet i verkligheten, än att metoden generellt skulle ge tillförlitliga värden.

Dammbrottet i mitten fyllningsdamm har ej medräknats i beräkningarna då det anses finnas så stora osäkerheter kring hur detta utvecklats. Dammbrottet i mitten fyllningsdamm har dock sannolikt avbördat vatten under dammbrottet så att mindre vatten går igenom vänster fyllningsdamm vilket gör att de beräknade dammbrottsbredderna hade minskat med en mindre vattenvolym.

Beräkningarna av dammbrottsbräschens utveckling är gjorda med antagandet att det är en homogen fyllningsdamm som går till brott. I verkligheten är fyllningsdammen mer komplicerat uppbyggd, bland annat med en träspont som övergår i en betongspont. Detta kan påverka hur dammbrottsbräschens utvecklas.

Den enda beräkningen av dammbrottsbräschens utveckling som tar hänsyn till ev. motdämning från nedströmsvattenyta är beräkningen med MIKE 11 Erosion.

Kartorna med utbredningen av det inträffade dammbrottet är skapade efter mätningar med GPS samt studier av flygfotografier och använder därför inte GRID 50+ höjddata för bestämning av utbredning som beräkningar i MIKE gör. Detta innebär att en vattennivå vid en viss punkt på Helgeå för verkligt fall och beräknat kan vara samma men visas olika på kartan, eller vara olika men visas samma på kartan. Därför är jämförelsen mellan uppmätt utbredning vid dammbrottet och simulerad utbredning i MIKE 11 inte jämförbar på detaljnivå.

Från Tabell 3.2 kan ses att de beräknade vattennivåerna generellt ligger runt +/- 0,5 m men avviker som mest +1,7 m och -1,1 m. För att en bostad ska klassificeras som ett skadeobjekt säger RIDAS (Svensk Energi, 2008):

"Sannolikheten för förlust av människoliv är beroende av vattendjup och vattenhastighet. Studier visar på risk för förlust av människoliv vid vattendjupet 0,7 meter och vattenhastigheten 0,5 meter/sekund."

Därför finns risken att noggrannheten i specifika punkter är för låg för att kunna avgöra om det är ett skadeobjekt eller inte och antaganden bör göras konservativt för att kunna utesluta skadeobjekt.

4.2 Slutsats & Rekommendationer

Den tidigare dammbrottsberäkningen för Hästberga dammanläggning anses ha en tillfredställande noggrannhet för att kunna utgöra underlag för en korrekt konsekvensklassificering. Motiveringen är att konsekvenserna av det inträffade dammbrott till stor del överensstämmer med de tidigare beräkningarna, dvs. att Hästberga dammanläggning tillhör konsekvensklass 2.

Konsekvensklass 2 innebär att sannolikheten är icke försumbar för beaktansvärd skada på samhällsanläggningar, miljövärde eller ekonomisk skadegörelse. Med beaktansvärd (mindre) ekonomisk skadegörelse (Klass 2) avses en skada vars sammanlagda värde överstiger 100 basbelopp (ca 4 miljoner kronor) men understiger 3000 basbelopp (ca 130 miljoner kronor).

Det anses med resultat från detta fall att MIKE 11 generellt har en tillräcklig noggrannhet för att konsekvensklassificera dammanläggningar, även i fall som detta där noggrannheten på höjddata är relativt grov. Det anses dock att alla antaganden ska ske konservativt för att simulera ett värsta fall. Vid valet mellan framförallt konsekvensklass 1B och 2 bör det utvärderas om det ska ske fältinmätningar av sektioner kring möjliga skadeobjekt för att öka noggrannheten, i de fall då det inte utförts.

Det rekommenderas att det tas fram svenska riktlinjer för hur dammbrottsberäkningar ska utföras då dammbrottsberäkningar ofta utgör underlaget för konsekvensklassificeringen. Konsekvensklassificeringen avgör en stor del av dammsäkerhetsarbetet och bör därför grundas på så enhetliga antaganden som möjligt.

4.3 Pågående studier

Här görs en kort sammanställning av några pågående studier inom områden som rör dammbrottsanalyser.

4.3.1 Dammbrottsbräschens utveckling

Inom organisationen Ceati DSIG sker studier för utveckling av dammbrottsmodeller för implementering i HEC-RAS, HR Wallingford, etc. Studien innefattar beräkning av dammbrott orsakat av överrinning för homogena fyllningsdammar. Färdigställande av detta projekt tillsammans med fortsatt utveckling av tekniker och modeller kommer öka kunskapen inom området.

4.3.2 Utbredning av flodvågen

Tillgängligt underlag, bland annat i form av terrängdata och kalibreringsdata (vattennivådata och motsvarande flöde), styr idag till stor del noggrannheten i beräkning av flodvågens utbredning. Lantmäteriet har ett projekt innefattande att till 2015 framställa en rikstäckande höjdmodell med ett medelfel i höjd som är bättre än 0,5 m för ett 2 m grid, vilket avsevärt kommer förbättra tillgänglig höjddata och därmed noggrannheten i beräkningarna (Lantmäteriet, 2011).

4.3.3 Dammbrottsantaganden

Det finns enligt författarnas kännedom inga uppgifter på att det i Sverige ska tas fram riktlinjer för hur dammbrottsberäkningar ska utformas.

5 APPENDIX

Bilaga 1	MIKE 11-beräkningar
Bilaga 2	Fotodokumentation av dammbrottet
Bilaga 3	Beräkningar
Bilaga 4	Flodvågens utbredning
Bilaga 5	Jämförelser av flodvågens utbredning vid olika beräkningar
Bilaga 6	Inmätningssdata flodvåg

6 REFERENSER

DHI. 2009. MIKE 11 A Modeling System for Rivers and Channels – Reference Manual.

DTU-manual Hästberga. 2010. *Drift-, tillståndskontroll- och underhållsmanual för Hästberga dammanläggning*. Brittedal Kraftproduktion AB. 2010-06-01

Fread, D.L. 1988. *THE NWS DAMBRK MODEL: THEORETICAL BACKGROUND/ USER DOCUMENTATION*. Hydrologic Research Laboratory, Office of Hydrology, National Weather Service (NWS) June 20. Reprinted October 1988.

Lantmäteriet. 2011. *Projektet Ny nationell höjdmodell – Presentation*. Online, hämtat 2011-05-04.
[http://www.lantmateriet.se/templates/LMV_Page.aspx?id=18115]

NVE. 2005. *Retningslinjer for dambruddsbolgerberegninger*. Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE). Utgave 2 – Oktober 2005.

Persson, Fredrik. Petersson, Martin. 2009. *Hästberga – Dammbrottsberäkning avseende underlag för konsekvensklassificering*. EnergoRetea. Malmö. 2009-09-30.

Persson, Fredrik. Petersson, Martin. 2009. *Hästberga - Konsekvensklassificering av Hästberga dammanläggning*. EnergoRetea. Malmö. 2009-10-01.

Svensk Energi. 2008. *RIDAS - Kraftföretagens riktlinjer för dammsäkerhet*. Reviderad 2008

Washington State Department of Ecology. 2007. *Dam Safety Guidelines – Technical Note 1. Dam Break Inundation Analysis and Downstream Hazard Classification*. Publication Number 92-55E.

ÅF Hydropower South. 2011. *Utredning av orsak till dammbrott i Hästberga dammanläggning*. 2011-03-01. Brittedal Kraftproduktion AB.

Bilaga 1 - MIKE 11 beräkningar

1 MIKE 11

MIKE 11 är ett endimensionellt beräkningsprogram för stationärt och icke-stationärt flöde. Programmet kan simulera flöden genom varierande konstruktioner så som broar, dammar m.m. Användningsområden är översvänningskartering, strömning genom kanaler och magasin, dammbrott m.m. Programmet har utvecklats av DHI Software.

En modell i MIKE 11 är uppbyggd av tvärsektioner som representerar geometrin för åfåran och den omkringliggande terrängen. Saint Venants ekvation används för beräkning av vattennivån i varje sektion för ett angivet flöde.

1.1 Uppbyggnad av modell

1.1.1 Helgeå

Helgeå har modellerats från ca 2 km uppströms Hästberga dammanläggning och ner till Genastorp dammanläggning. Sektioner är tagna från terrängmodellen som skapats i GIS, se huvudrapport Kapitel 2.2. För åfårans utformning under vattenytan har antagits ett generellt djup på 2 m och en tringelformad geometri som på en del sträckor har anpassats mot uppgifter från broritningar och platsbesök. Skeingesjön och Osbysjön är uppbyggda i terrängmodellen med uppgifter från sjödjupskartor. Sektioneringen för modelleringen i MIKE 11 kan ses sist i denna bilaga.

1.1.2 Upp- och nedströms förhållanden

Inflödet är satt till ett konstant flöde av $18 \text{ m}^3/\text{s}$. Genastorp dammanläggning utgör nedströms förhållande för modellen och är representerad av en fast vattennivå, +71,85 m som är dämningssgränsen, som antas kunna hållas under hela modelleringstiden.

1.1.3 Dammanläggningar

Hästberga dammanläggning är uppbyggd enligt dammregistret. Skansen dammanläggning är uppbyggd efter uppskattningar från platsbesök. Genastorp dammanläggning som är slutpunkten på modellen är representerad av en fast vattennivå, dämningssgränsen, som den antas kunna hålla under hela modelleringstiden.

1.1.4 Broar

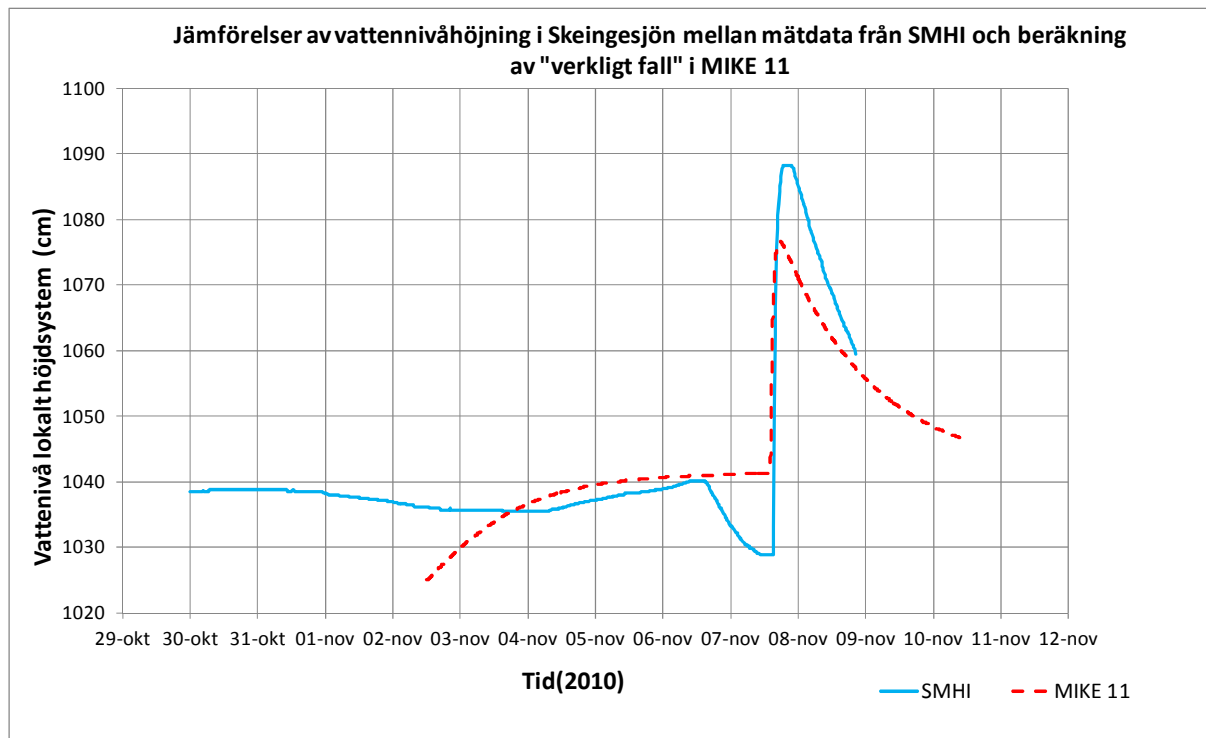
3 stycken vägbroar och 1 styck järnvägsbro är inlagd i modellen. Utformningen är från konstruktionsritningar. Alla är inlagda med "Energy Equation" för strömning under bron och med "MIKE 11 Weir" för överströmning.

1.2 Kalibrering

Inga data för kalibrering av den modellerande vattendragssträckan har återfunnits för detta projekt. Broritningar innehåller vissa uppgifter på vattennivåer vid hög och lågflöde, dock saknas uppgifter på vilken storlek som representerar hög- och lågflöde.

1.3 Verifiering

Från SMHI har data (vattenstånd i lokalt höjdsystem samt omräknat till flöde) erhållits för vattenföringsstation 88-2155 Skeingesjön, som ligger nedströms Hästberga dammanläggning, från 2010-10-30 klockan 00:00 fram till 2010-11-08 klockan 20:15. Data har använts som verifieringsdata för i MIKE 11 beräknade vattennivåhöjningar i Skeingesjön till följd av dammbrottet. Skillnaden på vattennivåhöjning från data från SMHI och beräknat "verkligt fall" till följd av dammbrottet är ca 0,1 m, se resultat i Figur 1.1



Figur 1.1 Jämförelser av vattennivåhöjning i Skeingesjön från SMHI och beräkning av "verkligt fall" i MIKE 11.

1.4 Simulering

Simuleringarna av flodvågsberäkningen har gjorts med följande inställningar:

Timestep:	5 sek
Delta:	0,55
Manning's tal:	24
Simuleringsperiod:	5 dagar
Wave approximation:	Fully order higher dynamic
Antal sektioner:	86 st
Modellerad stäcka:	ca 18 km

För dammbrottsberäkningen med MIKE 11 Energy Equation – Erosion Based har inställningar enligt Figur 1.2 använts.

Dambreak Structure: Helgeå

Dam Break Structure - Erosion Failure

Dam Geometry

Upstream Slope	1.2
Downstream Slope	1.7
Top Width	1.3

Material Properties

Grain diameter	0.002
Specific gravity	2.6
Porosity	0.38
Crit. Shear Stress	0.04
Side Erosion Index	0.7

Limit of Breach Geometry

Final Bottom Level	79
Final Bottom Width	78
Breach Slope	0

Initial Failure

Breach Failure Initially

Breach Failure

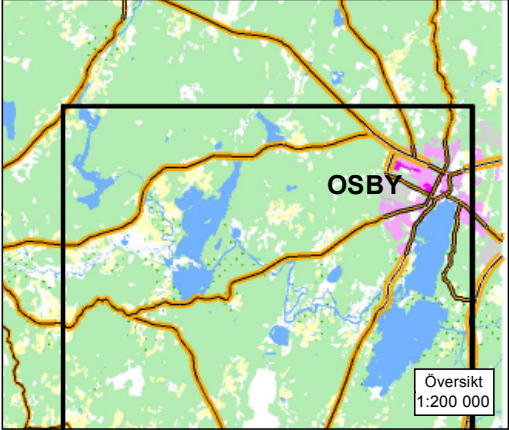
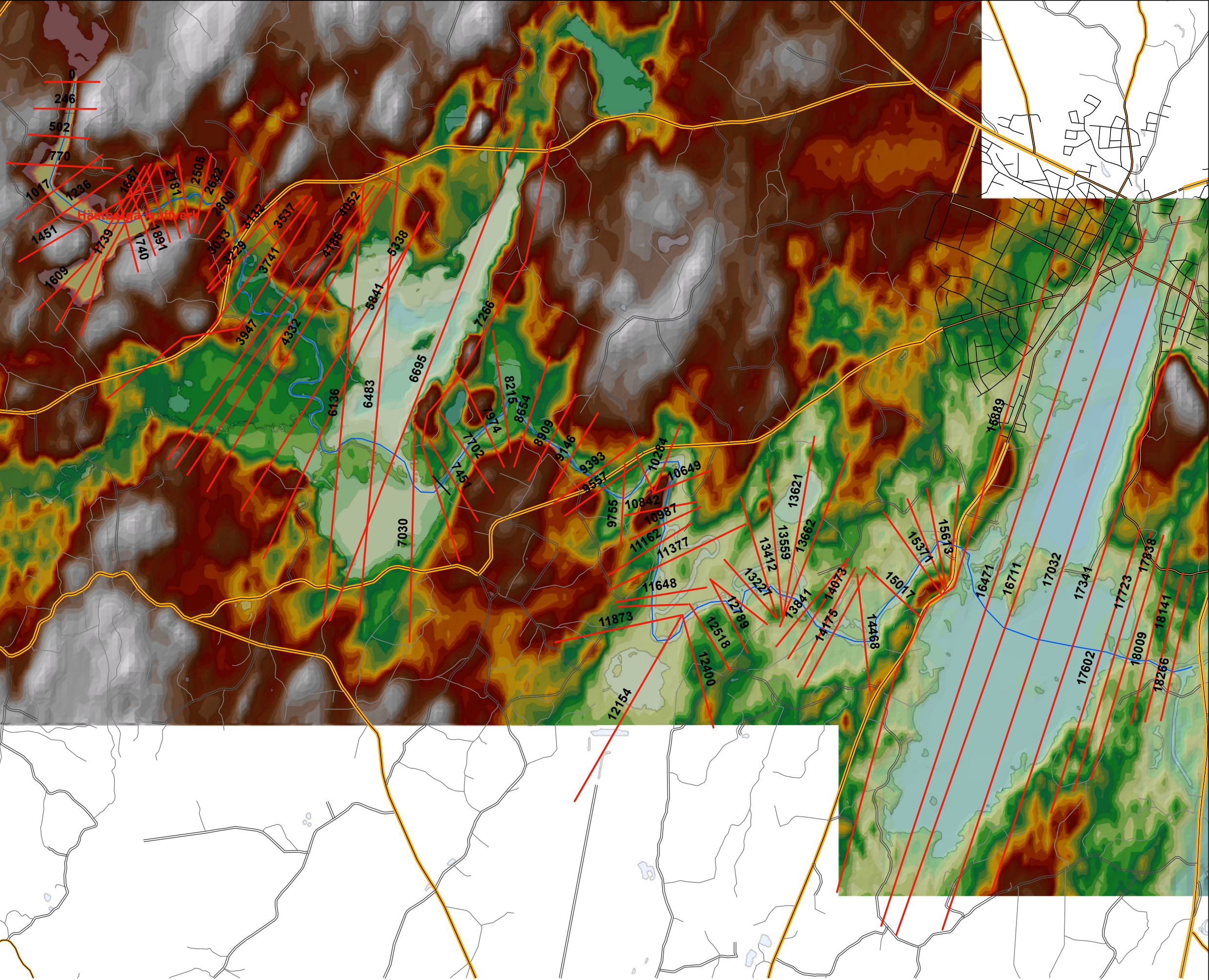
Initial Level	87.5
Initial Width	4

Piping Failure

Starting Level	0
Initial Diameter	1
Roughness	0.01
Collapse Ratio (D/y)	1
Volume Loss Ratio	0
Calibration Coef.	1

OK Cancel

Figur 1.2 Inställningar i MIKE 11 för Erosion Based dammbrott.



Författare
Martin Petersson

Dokumenttyp
BILAGA 2

Datum
2010-12-16

Bilaga 2 - Fotodokumentation av dammbrottet

I denna bilaga visas foton från dammbrottet i Hästberga. Bild 1 är en planritning över anläggningen som visar var bilderna är tagna samt ungefärlig utbredning av dammbrottet Bild 2 till 12 är tagna 2010-11-08 medan Bild 13 och 14 är tagna 2010-11-07 av Räddningstjänsten.

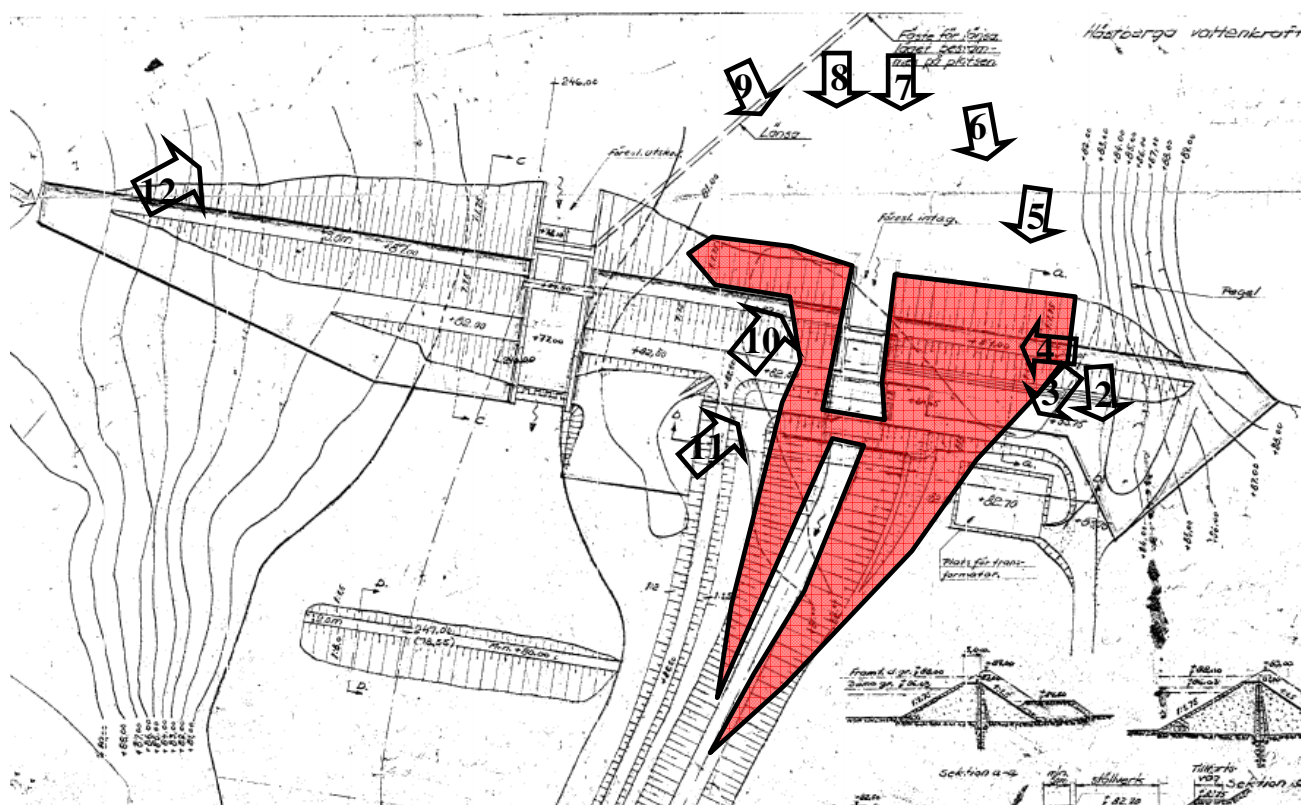


Bild 1



Bild 2



Bild 3



Bild 4



Bild 5



Bild 6



Bild 7



Bild 8



Bild 9



Bild 10



Bild 11



Bild 12



Bild 13



Bild 14

Författare: Martin Petersson
Datum: 2011-06-27

Bilaga 3 Beräkningar

Froehlichs formler (Empirisk modell)

$$B_m = k_0 * 0,18 * V_{magasin}^{0,32} * h_d^{0,19}$$

$$T = 0,0025 * \frac{V_{magasin}^{0,53}}{h_d^{0,9}}$$

B_m = Brottbredd (m)
T = Brottid (tim)
V_{magasin} = magasinsvolym (m³)
h_d = höjden mellan vattennivån och botten i brottet
k₀= 1,4 vid överströmmning

Resultat

$$B_m = 1,4 * 0,18 * (4,2 * 10^6)^{0,32} * (89 - 82)^{0,19} = 48,0m$$

$$T = 0,0025 * \frac{(4,2 * 10^6)^{0,53}}{(89 - 82)^{0,9}} = 1,4tim$$

Washington (Parametrisk modell)

$$BFF = V_w (H_w)$$

$$V_m = 3,3 * (BFF)^{0,77}$$

Faktorn 3,3 är uppskattad, varierar mellan 2,5 för erosionsbeständigt mtrl till 3,75 för kohesions jordar

$$W_b = \frac{27 * V_m - H_b^2 * (CZ_b + \frac{H_b * Z_b * Z_3}{3})}{H_b * (C + \frac{H_b * Z_3}{2})}$$

$$\tau = 0,02 * V_m^{0,36}$$

BFF =	Bräschformations faktor
Vw =	Magasinsvolym (acre-ft)
Hw =	Höjden mellan vattennivån och botten i brottet (ft)
Vm =	Eroderat material i dammbrottet (yds ³)
Wb =	Brottbredd (ft)
Hb =	Höjden mellan vattennivån och botten i brottet (ft)
C =	Krönbredd (ft)
Z3 =	Z1+Z2
Z1 =	uppströms släntlutning
Z2 =	nedströms släntlutning
τ =	Brottid (tim)
Zb=	Sidolutning på dammbrottet (antaget rektangulärt)

Resultat

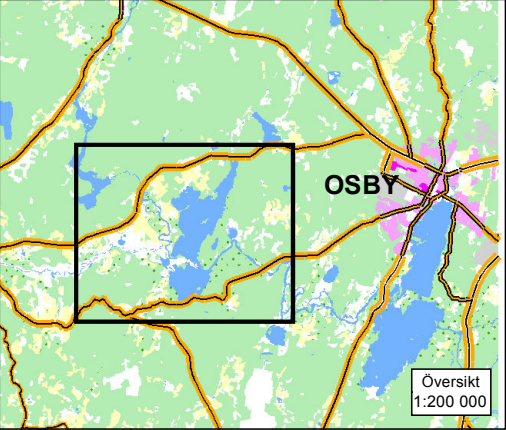
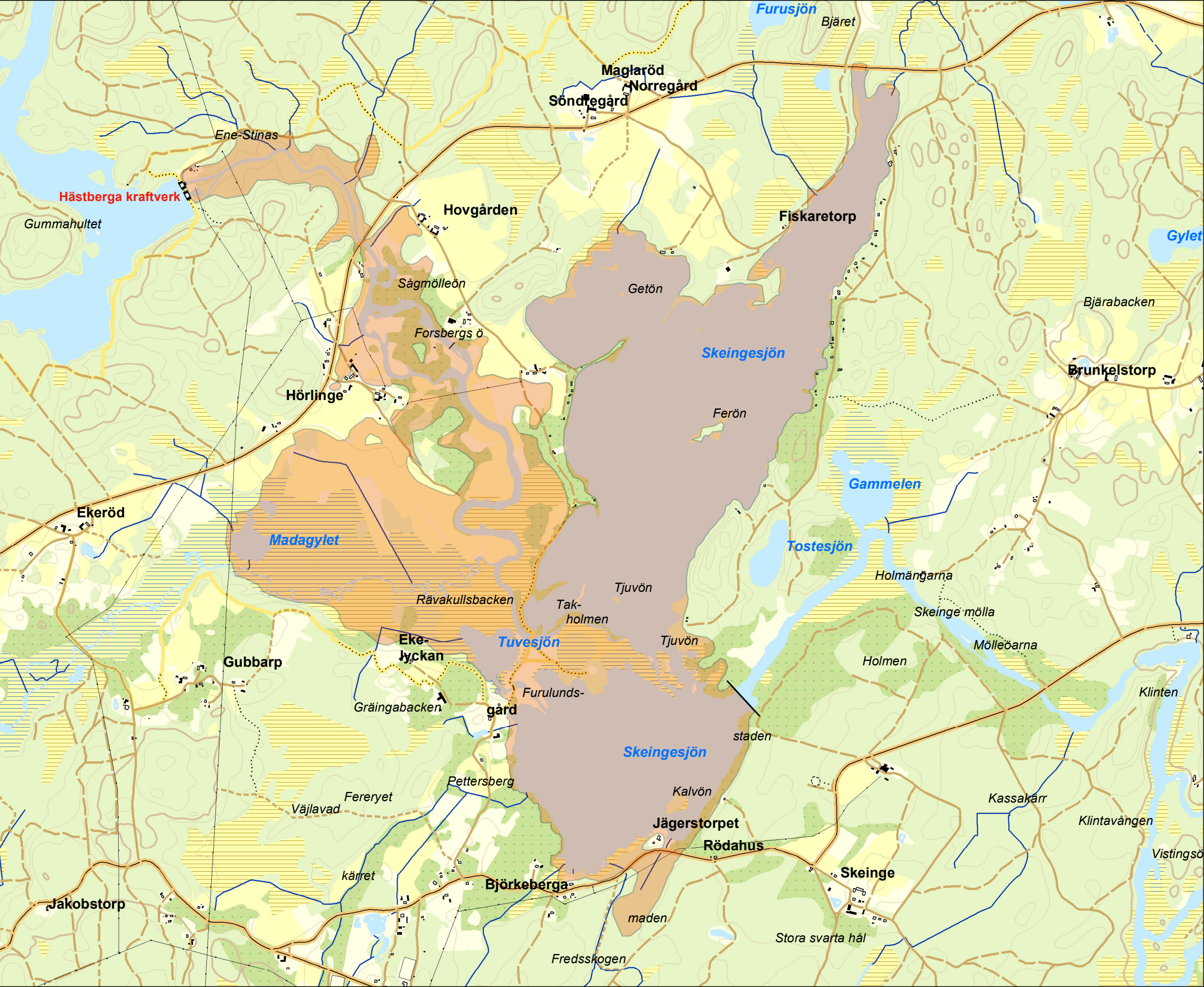
$$BFF = 3405 * 23 = 78315$$

$$V_m = 3,3 * (78315)^{0,77} = 19354$$

$$W_b = \frac{27 * 19354 - 23^2 * (5 * 0 + \frac{23 * 0 * 10,7}{3})}{23 * (5 + \frac{23 * 10,7}{2})} = 177$$

$$\tau = 0,02 * 19354^{0,36} = 0,7$$

Brott tid (tim) = 0,7
Brottbredd (m) = 54

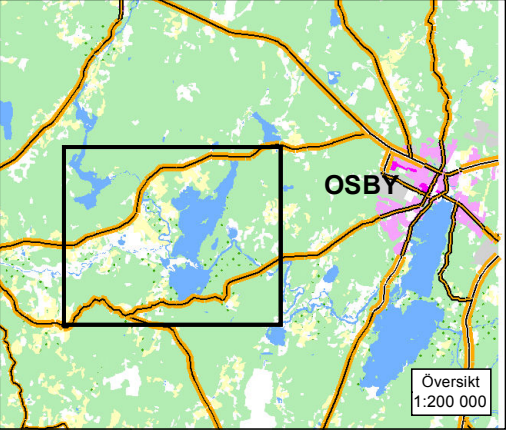
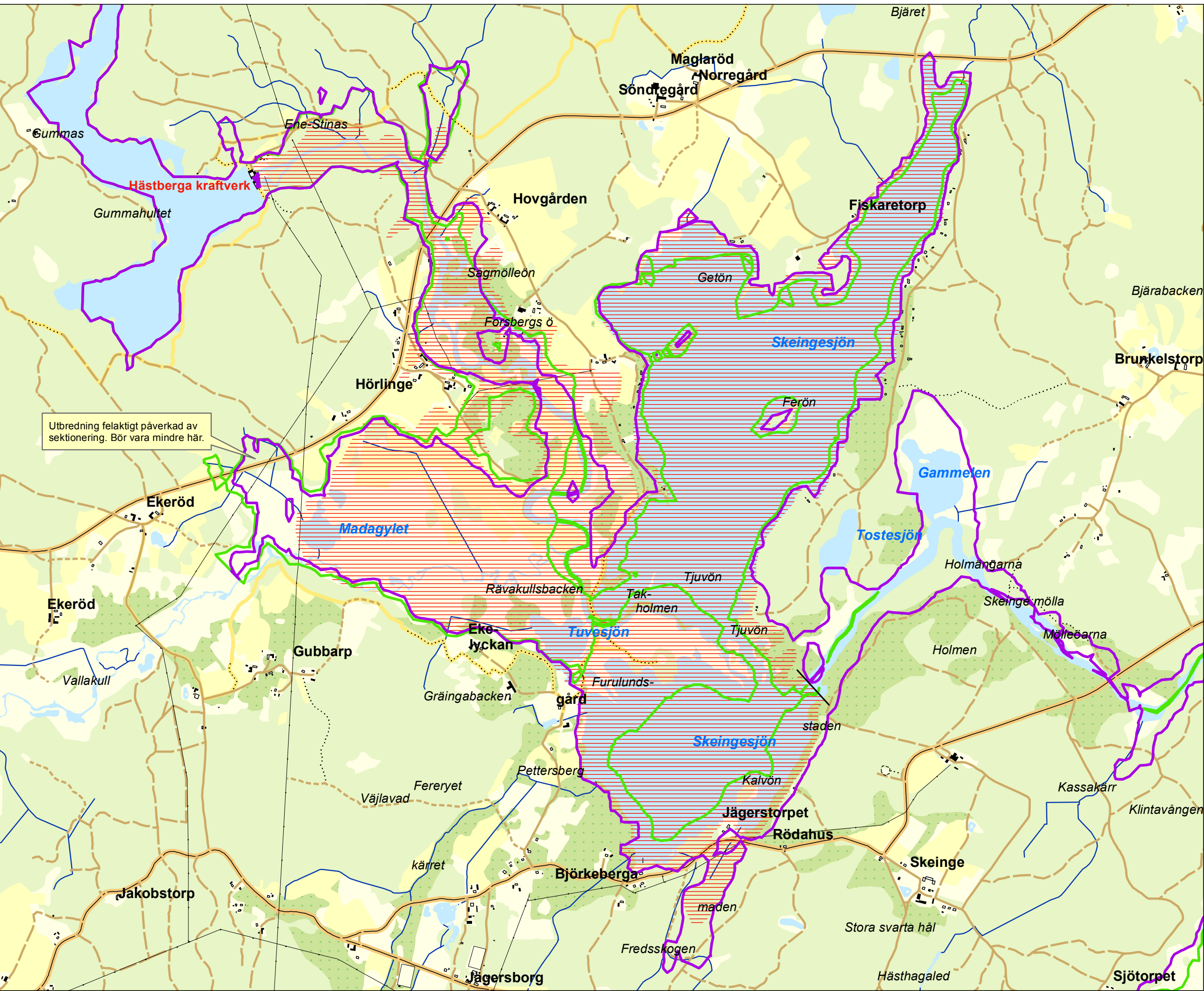


Uppskattad maximal vattenutbredning

Vattennivåer fram till Skeingesjön baseras på inmätningar. Vattennivåer i Skeingesjön baseras på flygfoton och höjdnivåer.

Kartering av översvämning slutar vid utloppet av Skeingesjön.

Bilaga 5 Jämförelser av flodvågens utbredning vid olika beräkningar



- Vattenutbredning
- Ny beräkning, verklig
 - Gammal beräkning, utbyggn.vattenföring
 - Uppmätt/skattad maximal nivå, dammbrott

0 50 100 200 300 400 500 m

Skala	A3	1:17 500	Datum	2011-01-25
Kartblad	XX XX		Ref sys	RT90 2.5g V
Energo		Uppdrag nr	Sign JLS	

Författare: Martin Petersson
Datum: 2010-11-15

Bilaga 6 Inmätningssdata flodvåg

Bilaga 6

Punkter inmätta med GPS för att dokumentera flodvågens utbredning.

Nr	X	Y	Z	Anmärkning (vad högsta vattennivån har identifierats med)
9	6252027	1379878	83,787	Lera
10	6252027	1379876	84,091	Lera
11	6251802	1380412	81,467	Löv
12	6251786	1380416	82,085	Löv
13	6251786	1380416	82,069	Löv
14	6251714	1380434	80,428	Löv
15	6251714	1380434	80,403	Löv
16	6251663	1380435	81,453	Hus
17	6251663	1380436	81,36	Hus
18	6251618	1380426	80,292	Löv
19	6251519	1380376	80,237	Löv
20	6251258	1380391	80,183	Vägg gård
21	6251258	1380391	80,189	Vägg gård
22	6251204	1380327	78,885	Löv
23	6251170	1380441	79,47	Löv
24	6251150	1380565	79,66	Löv
25	6251110	1380581	80,229	Löv
26	6251108	1380631	79,972	Löv
27	6250982	1380753	79,647	Löv
28	6250970	1380750	79,474	Löv
29	6251093	1380876	78,962	Löv
30	6250630	1380892	78,17	Löv
31	6252095	1379316	88,142	Stockar
36	6252182	1379242	88,019	vy strand
37	6252208	1379430	86,87	vy sten diket
38	6252210	1379436	86,063	vy diket
43	6252071	1379430	88,067	vass us
44	6252117	1379468	88,263	Lågpunkt
45	6252122	1379466	88,524	Lågpunkt
46	6252120	1379464	88,451	Lågpunkt
47	6252120	1379464	88,458	Lågpunkt
52	6252184	1379623	84,08	vägg ns 1.3
53	6252184	1379623	84,076	vägg ns 1.3
55	6252200	1379642	85,248	Löv



ELFORSK

SVENSKA ELFÖRETAGENS FORSKNINGS- OCH UTVECKLINGS – ELFORSK – AB
Elforsk AB, 101 53 Stockholm. Besöksadress: Olof Palmes Gata 31
Telefon: 08-677 2530. Telefax 08-677 2535
www.elforsk.se