



Länsstyrelsen
Värmland

HYDRAULIK I KLARÄLVENS TORRFÅRA VID TAPNINGAR FRÅN HÖLJES KRAFTVERKSDAMM

Niclas Hjerdt, Markus Andersén, Christer Jonsson och Dan Eklund

LÄNSSTYRELSEN I VÄRMLANDS LÄN

PUBL NR 2008:11



Omslagsbilden visar Höljes kraftverksdamm och den övre delen av torråran, fotograferad 2007-11-15 vid en tappning av 9,2 m³/s från dammen. Foto: © Jan Tomperi.

PUBL NR 2008:11
ISSN: 0284-6845

Länsstyrelsen i Värmlands län
651 86 Karlstad
054-19 70 00
lansstyrelsen@s.lst.se
www.s.lst.se

Förord

Arbetet med att restaurera värdefulla fysiska och hydrologiska vattenmiljöer har under senare år fått större betydelse. Enligt miljömålspropositionen 2004/05:150 bör utgångspunkten för miljöanpassning av reglerade vatten vara att nuvarande produktionskapacitet bibehålls med de inskränkningar som miljöbalkens omprövningsregler innebär.

Under den senaste 10-årsperioden har fångsten av Klarälvslox vid avelsfisket i Forshaga uppgått till ca 200- 700 st per år. Även om laxbeståndet nu är större än på många årtionden är det endast bråkdelar av vad som fanns innan Klarälven byggdes ut för vattenkraftändamål. Nedgången beskrivs exempelvis av det fasta fisket vid Dejeforsen på 1850-talet, där upp till 8 000 - 12 000 laxar fångades per år, eller av Klarälvsloxens uppväxtområde, vilket minskat från mer än 1000 hektar till ca 100 hektar. Därtill är den kvarvarande laxreproduktionen reducerad av bland annat regleringseffekter och påverkad av långvariga utsättningar av odlad fisk.

Höljes kraftverk är inte bara den nordligaste och största vattenkraftproducenten i länet – det är också det svenska kraftverk som sannolikt har orsakat mest skada på de unika och skyddsvärda vänervandrande beståndet av Klarälvslox. Denna rapport redovisar en hydrologisk studie som genomförts av SMHI med hjälp av Länsstyrelsen i samband med provtappningar till den 6 km långa torrfåran nedströms Höljes kraftverk. Projektet, som är ett led i arbetet med bland annat miljö kvalitetsmålet Levande sjöar och vattendrag samt EU:s Ramdirektiv för vatten, kommer att följas upp med fler studier med syfte att utreda om och hur Höljes kraftverk bör genomgå vissa anpassningar till förmån för allmänintressen som naturvård, fiskevård, friluftsliv och sportfiske.

Studien har genomförts med bistånd av Länsstyrelsen och Fortum Generation/Service. Från Länsstyrelsen, som beställt studien, har följande personer varit engagerade i arbetet: Jens Andersson, Peter Andersson, Mikael Hedenskog, Jan Tomperi, Marie Tomperi, Urban Nyqvist och Oscar Sävström. Studien är också publicerad i SMHI:s rapportserie (nr 109, 2007).

För Länsstyrelsen i Värmlands län

Torben Ericson
avdelningschef Natur och Näring

Report Summary / Rapportsammanfattning

Issuing Agency/Utgivare Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut S-601 76 NORRKÖPING Sweden	Report number/Publikation Hydrologi Nr. 109	
Author (s)/Författare Niclas Hjerdt, Markus Andersén, Christer Jonsson och Dan Eklund	Report date/Utgivningsdatum December 2007	
Title (and Subtitle)/Titel Hydraulik i Klarälvens torrfåra vid tappningar från Höljes kraftverksdamm		
Abstract/Sammandrag <p>SMHI har i uppdrag från Länsstyrelsen Värmland genomfört hydrauliska mätningar i Klarälvens torrfåra vid provtappningar från Höljes kraftverksdamm. Tre olika flödesnivåer provtappades under perioden 11-15 november 2007. Projektet är ett led i arbetet med miljö kvalitetsmålet Levande sjöar och vattendrag samt Ramdirektivet för vatten. Syftet är bl.a. att utreda möjligheterna till naturlig reproduktion av vänervandrande klarälvslax, öring, harr och andra vattenlevande organismer. Torrfåran mäter ca 6 km från dammen till platsen där kraftverksutloppet och den naturliga älvsåran möts.</p> <p>De mätningar som genomfördes syftade till att bestämma flöden, vattenstånd, gradienter, djup, strömhastigheter, rinntider, vattendragsbredder, och den våta arean vid olika mätpunkter utmed undersökningssträckan. Samtliga uppmätta parametrar är flödesberoende. En enkel empirisk modell presenteras vilken gör det möjligt att beräkna hur en förändrad tappning påverkar genomsnittliga värden av strömhastighet, bredd och djup i sträckan.</p> <p>Resultaten visar bland annat att vattnets medelhastighet ökar snabbare än medelbredd och medeldjup då flödet från dammen ökar. När flödet ökar från 2,5 m³/s till 7,5 m³/s (+200%) ökar medelhastigheten från 0,28 m/s till 0,52 m/s (+88%), medelbredden från 33 m till 43 m (+31%), och medeldjupet från 0,28 m till 0,34 m (+22%). Förändringarna på den nedre delsträckan är likartade. Vid medellåg vattenföring i Höljan och samma flödesökning som ovan från dammen så stiger den totala våta arean från 21 ha till 26 ha (+27%).</p>		
Key words/sök-, nyckelord Hydraulik, provtappning, minimitappning, strömhastighet, rinntid, Klarälven, torrfåra, vattenkraft, åtgärdsplan, hydraulisk geometri.		
Supplementary notes/Tillägg	Number of pages/Antal sidor 53	Language/Språk Svenska
ISSN and title/ISSN och titel 0283-7722 Hydrologi		
Report available from/Rapporten kan köpas från: SMHI S-601 76 NORRKÖPING Sweden Eller www.smhi.se		

Innehållsförteckning

Sammanfattning	2
Inledning	3
Metoder	4
Vattenföringsmätning	4
Mätning av vattenstånd	6
Punktmätning av vattendjup och strömhastighet	6
Mätning med spårämnesförsök	9
Mätning av vattendragsbredd och den våta arean	10
En modell för genomsnittlig hydraulik i delsträckorna	12
Resultat	13
Vattenföring	13
Vattenstånd	16
Vattendjup och strömhastighet	18
Spårämnesförsök	27
Vattendragsbredd och den våta arean	30
Resultat från den hydrauliska modellen i delsträckorna	33
Diskussion och slutsatser	37
Referenser	42
Appendix: Fotobilaga	43

Sammanfattning

SMHI har i samarbete med Länsstyrelsen i Värmland och Fortum genomfört en hydraulisk fältstudie i torråran nedströms Höljes kraftverksdamm. Detta arbete har genomförts på beställning av Länsstyrelsen i Värmland som ett underlag för arbetet med bland annat miljö kvalitetsmålet *Levande Sjöar och Vattendrag* samt *Ramdirektivet för Vatten*. Syftet med studien var främst att karaktärisera torrårans hydraulik vid olika tappningar från kraftverksdammen. Denna karaktärisering kan sedan ligga till grund för fortsatta utredningar av möjligheten till naturlig reproduktion av lax, öring, harr och andra vattenlevande organismer.

Provtappningar av tre olika flöden från dammens utskov genomfördes i november 2007. Vid varje provtappning genomfördes ett antal mätningar på olika lokaler i sträckan, och dessa mätningar relaterades senare till vattenföringen. Mätningar genomfördes både på hela delsträckor och i lokala punkter för att undersöka hur vattenföringen påverkar sträckans hydrauliska karaktär.

Inmätning av vattenstånd visade att den totala fallhöjden i torråran är ca 20 meter, vilket ger en genomsnittlig lutning på 0,3% på den 6 km långa sträckan. Punktmätningarna med flygel visade att den lokala variationen (standardavvikelsen av 25 mätpunkter i en 100 m² yta) i vattendjup och strömhastighet generellt ökade med stigande vattenföring. Superkritiskt flöde inträffade endast i två av de totalt 375 uppmätta punkterna.

För att kunna bedöma hur andra flöden än de faktiskt uppmätta påverkar sträckans hydraulik så användes en empirisk modell som bygger på antaganden inom hydraulisk geometri. Modellen beskriver hur medelbredd, medeldjup och medelhastighet varierar med vattenföringen i två olika delsträckor av torråran uppströms biflödet Höljan.

Resultat visar bland annat att strömhastigheten ökar betydligt snabbare än bredden och djupet vid ökad vattenföring. När flödet i den övre delsträckan ökar från 2,5 m³/s till 7,5 m³/s (+200%) så ökar medelhastigheten från 0,28 m/s till 0,52 m/s (+88%), medelbredden från 33 m till 43 m (+31%), och medeldjupet från 0,28 m till 0,34 m (+22%). Resultat från den nedre delsträckan var likartade.

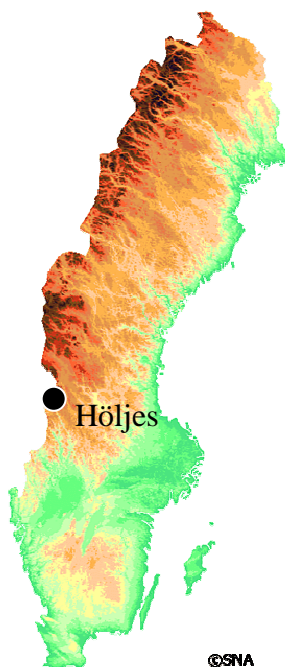
Den våta arean i torråran uppskattades utifrån flygbilder och GIS-analys. Med hjälp av en empirisk modell kunde vattenföringens betydelse för den våta arean undersökas. I den nedre delen av torråran påverkas den våta arean även av flödesbidraget från Höljan. Vid medellågvattenföring i Höljan (0,4 m³/s) när flödet från dammen ökar från 0 m³/s till 2,5 m³/s, 5 m³/s och 7,5 m³/s så ökar den totala våta arean från 3,5 ha till 20,6 ha, 23,9 ha och 26,2 ha. Modellen kan även användas för att uppskatta den våta arean vid andra flöden från Höljan och dammen.

Sambanden mellan vattenföring och bredd, djup och strömhastighet bestäms av fårans morfologiska egenskaper. Genom att justera fårans morfologi kan även de hydrauliska variablerna modifieras.

Inledning

Under de senaste åren har en rad olika åtgärder genomförts i Klarälvens avrinningsområde för att återställa lek- och uppväxtområden för naturliga och skyddsvärda fiskbestånd. Elfiskeundersökningar har fastslagit att vandringsfisk söker sig upp i biflöden till Klarälvens övre lopp. Under hösten 2007 började Länsstyrelsen i Värmland förbereda ett underlag för åtgärdsprogram i Klarälvens torrfåra nedströms Höljes kraftverksdam. Projektet är ett led i arbetet med bland annat *Levande Sjöar och Vattendrag* samt *Ramdirektivet för Vatten*. Det har bland annat till syfte att belysa hydrauliska förutsättningar för naturlig reproduktion av lax, öring och harr. Eftersom åtgärder i denna sträcka bland annat förutsätter en kontinuerlig tappning från kraftverksdammen är det viktigt att inledningsvis fastställa hur den fysiska miljön i sträckan påverkas av olika flödesnivåer.

SMHI och Länsstyrelsen i Värmland utvecklade gemensamt fram en plan för fältmätningar i syfte att karaktärisera den hydrauliska miljön i torrfåran vid olika provtappningar från dammen. Planen omfattade ett mätprogram där ett antal fysiska och kemiska mätningar repeteras vid tre olika flödesnivåer. Syftet med de olika tappningarna var att klarlägga samband mellan olika hydrauliska variabler och vattenföringen, för att i ett senare skede kunna avgöra förutsättningarna för det akvatiska ekosystemet att utvecklas på ett tillfredställande sätt. Medelvattenföringen vid krönet av Höljesdammen är beräknad till $93,6 \text{ m}^3/\text{s}$, medan medelvattenföringen vid kraftverkstunnelns utlopp är beräknad till $98,3 \text{ m}^3/\text{s}$ (SMHI flödesstatistik). Flödesnivåerna för provtappningen bestämdes till $2,5 \text{ m}^3/\text{s}$, $5 \text{ m}^3/\text{s}$ och $7,5 \text{ m}^3/\text{s}$, d.v.s. i intervallet 2-8% av medelvattenföringen. När omprövning av vattendomar sker till förmån för det allmänna fiskeintresset är tillståndsägaren utan ersättning skyldig att tåla en skada motsvarande upp till 5% av kraftverkets produktionsvärde. Detta brukar motsvara 5% av medelvattenföringen.



Figur 1. Höljes

Kraftverket i Höljes är Värmlands största med en årlig elproduktion på ca 530 GWh, vilket motsvarar knappt hälften av den totala produktionen i Klarälven och knappt 1% av den totala vattenkraftsproducerade elen i Sverige (Kuhlin 2007). Dammen byggdes 1957-1962 och uppdamningen bildade Höljesjön med en yta av 18 km^2 . Uppströms kraftverksdammen ligger riksgränsen mot Norge och Trysilälven med ytterligare kraftverk. Dammhöjden på 80 meter är den femte högsta i landet (Kuhlin 2007). Kraftverket med sina två turbiner är nersprängd i berget och vattnet leds tillbaka till Klarälven via en lång tunnel, vilket skapar en sex kilometer lång torrfåra i älvens ursprungliga sträckning. Denna sträcka är oftast helt torrlagd med undantag för de nedre två kilometrarna där biflödet Höljan rinner till med en medelvattenföring (MQ) på $4,5 \text{ m}^3/\text{s}$ och en medellågwaterföring (MLQ) på $0,4 \text{ m}^3/\text{s}$ (SMHI flödesstatistik). Under året kan även sporadiska tappningar från dammen förekomma.

Metoder

Syftet med fältundersökningen var att fastställa torrfårans vattenföring, vattenstånd, bredd, strömhastighet och djup vid tre olika provtappningar från dammens utskov. Placeringen av mätpunkter skedde i samråd med Länsstyrelsen i Värmland. Resultaten från mätningarna användes sedan i en empirisk modell för att uppskatta hur strömhastighet, bredd och vattendjup i sträckan generellt varierar med vattenflödet.

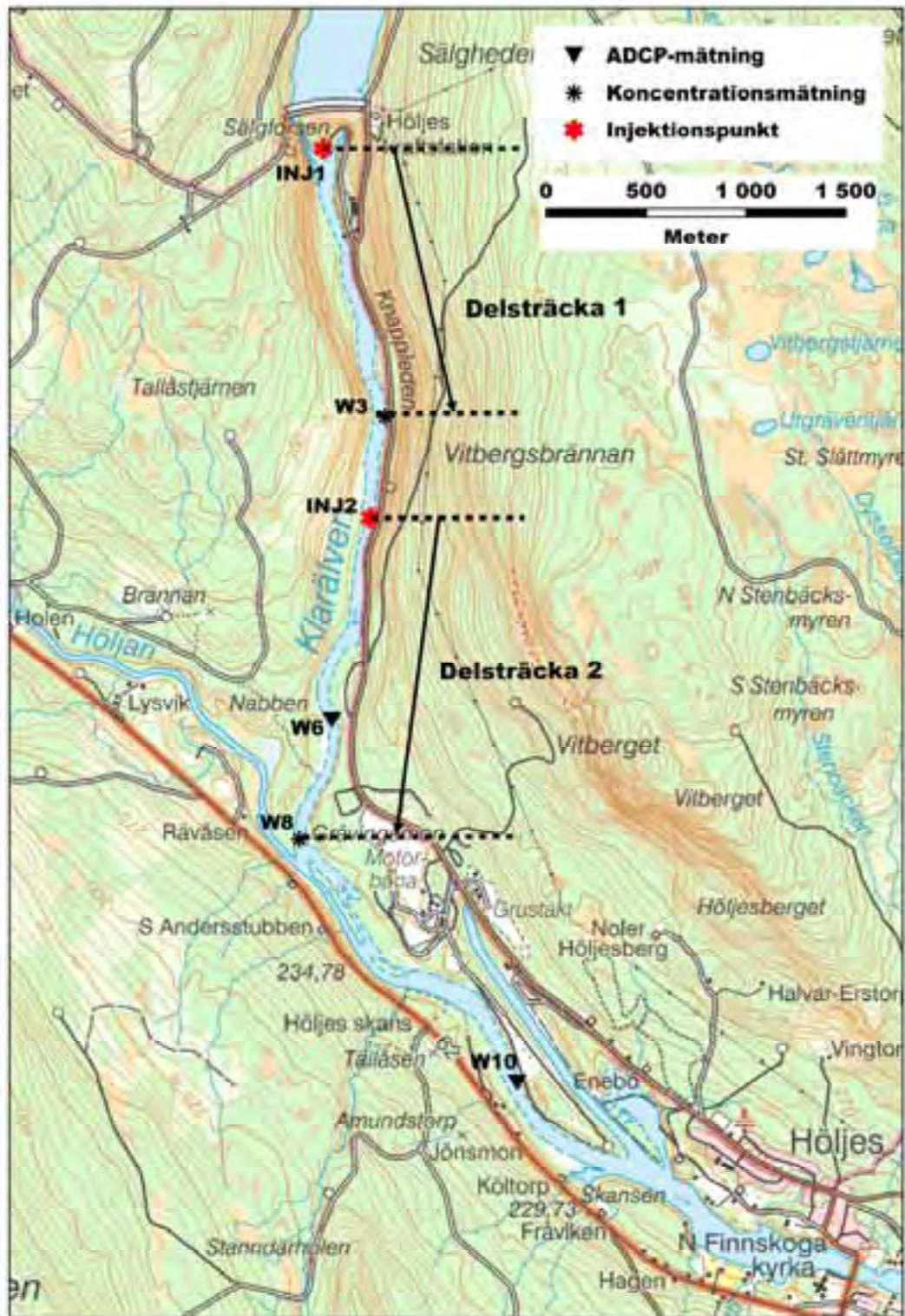
Vattenföringsmätning

Flödesmätning med akustisk Doppler-strömprofilerare (*eng*: Acoustic Doppler Current Profiler, ADCP) genomfördes på två lokaler vid samtliga tre tappningar (figur 3). SMHI och motsvarande institut i andra länder har använt ADCP för flödesmätningar sedan början av 1990-talet, och tekniken har till stor del ersatt de traditionella flygelmätningarna.

En ADCP transporteras över en mätsektion och skickar samtidigt ut en mängd ljudvågor med bestämd frekvens (figur 2). Instrumentet registrerar, med hjälp av Dopplerteknik, sin egen hastighet mot botten och den hastighet partiklarna i vattnet har. Förutsättningen för tekniken är antagandet att partiklarna rör sig med samma hastighet som vattnet. Med hjälp av vattnets hastighet och sektionens area kan flödet beräknas. Fördjupning inom området finns i framför allt två dokument, skrivna av instrumenttillverkaren (RD Instruments, 1996) och United States Geological Survey (Oberg och Mueller, 2007).



Figur 2. Flödesmätning med ADCP vid lokal W10.



Figur 3. Karta som visar lokaler för flödesmätning (ADCP), injektionspunkter och mätpunkter för spårämneskoncentration, samt delsträckor för modellberäkningar.

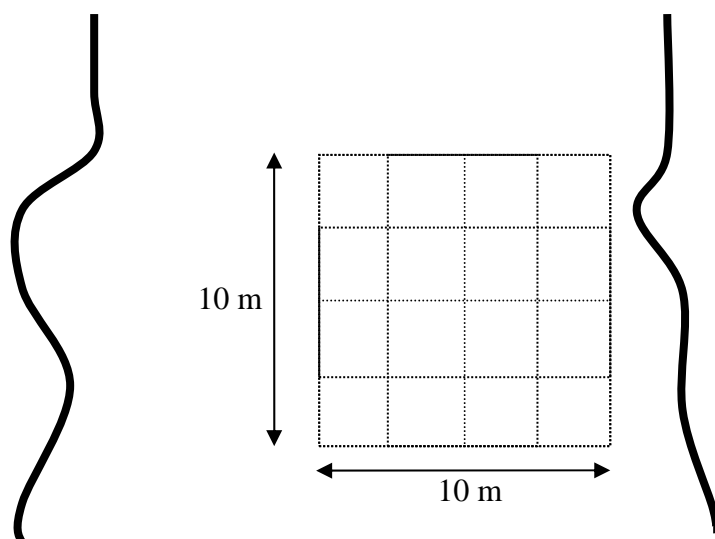
Mätning av vattenstånd

Vattenstånd mättes vid elva lokaler (W1-W10, W34) vid samtliga tre tappningar. Temporära pglar fördelades relativt jämt över sträckan men placerades i högsta möjliga utsträckning på bestämmande sektioner eller forsnackar (figur 5). Pglarna bestod av armeringsjärn som klippts i 1,50 meters längd och slagits ner i bottensubstratet med slägga. Före mätningarna mättes pglarna in med s.k. realtidskorrigerad GPS (Trimble R8 nätverks-RTK). Genom realtidskorrektion från Lantmäteriets SWEPOS-tjänst erhålls pglarnas position med en noggrannhet som är bättre än 5 cm i x-, y- och z-led. Vattenståndet vid pglarna vid varje tappning avlästes och omräknades till höjd över havet i referenssystemet RH 70.

Punktmätning av vattendjup och strömhastighet

För att bestämma hur varje tappning påverkar strömhastigheten och djupet *lokalt* i torrfåran användes manuella flygelmätningar. Dessa flygelmätningar genomfördes i fem kvadratiska ytor som fördelades jämt över torrfårans sträckning på lokaler där även vattenståndet mättes (figur 6). Placeringen av kvadratytorna gjordes i samråd med Länsstyrelsen i Värmland för att täcka in olika typer av habitat i torrfåran. Varje kvadratyta märktes upp genom att slå ner fyra armeringsjärn i bottensubstratet som markerade ytans hörn, och sedan spänna upp snöre längs yttersidorna. Markeringstejp fästes längs snöret med 2,5 meters intervall för att markera mätpunkterna längs sidorna. Mätpunkterna inom ytan lokaliserades genom att utgå från markeringarna längs sidorna.

Varje kvadratytor hade måtten 10×10 meter och inom denna yta gjordes 25 punktmätningar av strömhastighet och djup (figur 5). Mätpunkterna fördelades jämt i ett rutnät med 25 noder (figur 4). Strömhastigheten mättes på 60% av djupet räknat från vattenytan eftersom detta ger ett approximativt medelvärde för hastigheten i hela vattenkolumnen. De mätpunkter som sammanföll med uppstickande stenblock noteras med ett "x" i protokollet. Varje kvadratmätning kan sägas karakterisera de hydrauliska förhållandena i 100 m² av vattendragets yta. Länsstyrelsen i Värmland ansvarade för mätningarna i kvadratytor W1 och W8, medan mätningar i övriga kvadratytor genomfördes av SMHI.



Figur 4. Placering av kvadratytor i torrfåran samt rutnätet för de 25 mätpunkterna.

Resultaten från de 25 punktmätningarna i varje kvadratyta visualiserades genom att skapa kvadratiska diagram med interpolerade värden i programmet ArcGIS. Medelvärden med standardavvikelse av strömhastighet och vattendjup i varje kvadratyta beräknades och plottades mot vattenföringen.

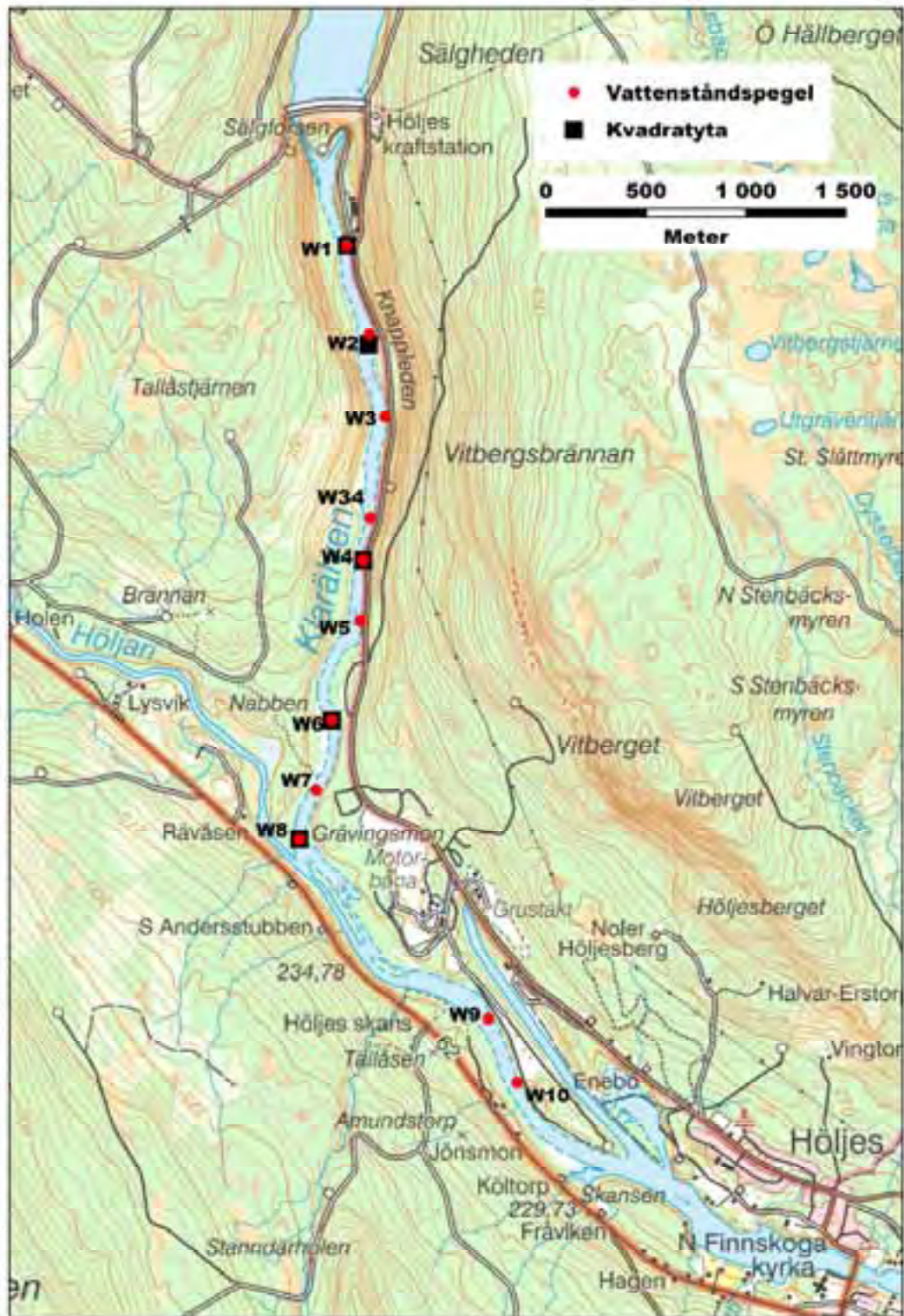
För att ytterligare karaktärisera de hydrauliska förhållandena i kvadrattyterna beräknades Froudes tal för alla punktmätningar av strömhastighet och djup. Froudes tal används ofta av ekologer som index för att karakterisera småskaliga habitat (Gordon m.fl. 1992). Det har dessutom visats vara relaterat till isbildningsprocesser i strömmande vatten. Froudes tal beskriver balansen mellan gravitationskrafter och vattnets tröghet, där gravitationskrafterna drar vattnet nedströms och trögheten reflekterar vattnets förmåga att påverkas av gravitationen. Froudes tal, Fr , beräknas som:

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{gd}} \quad (1)$$

där v är strömhastigheten (m/s), g är gravitationskonstanten ($9,81 \text{ m/s}^2$), och d är vattendjupet (m). Täljaren i uttrycket är strömhastigheten medan nämnaren representerar våghastigheten. Vid $Fr < 1$ sägs vattnet vara strömmande (*subkritiskt*) och då är strömhastigheten lägre än våghastigheten. Vid $Fr > 1$ sägs vattnet vara stråkande (*superkritiskt*) och då är strömhastigheten högre än våghastigheten. Vid $Fr = 1$ balanseras dessa hastigheter och ett s.k. hydrauliskt hopp (kritiskt flöde) uppstår, vilket ofta orsakar en stående våg i vattendraget. Strömningen i vattendrag är till övervägande del subkritisk ($Fr < 1$), även om superkritiskt flöde ($Fr > 1$) kan uppstå runt stenblock i strömmen och i forssträckor.



Figur 5. Punktmätningar av strömhastighet och vattendjup i kvadrattyta W4 tisdagen den 13/11 2007. I bilden skymtar armeringsjärn och snöre som användes för att markera kvadrattytans sidor. Foto: Jan Tomperi.



Figur 6. Karta som visar placering av vattenståndspeglar och kvadrattytor för punktmätningar av strömshastighet och vattendjup.

Mätning med spårämnesförsök

Syftet med spårämnesförsöken var att undersöka hur vattenflödet i torrfåran påverkar strömförhållanden längs sträckan generellt. Som spårämne användes det fluorescerande färgämnet rhodamin WT och en fluorometer användes för att mäta koncentrationen spårämne i vattnet *in situ*. Inför varje försök programmerades fluorometern att mäta och lagra spårämneskoncentrationen var tionde sekund. Fluorometrar placerades i strömfåran vid W3 och W8 inför varje spårämnesförsök genom att fästa instrumenten på armeringsjärn som slagits ner i bottenstratumet.

Spårämnesförsök genomfördes för de tre olika tappningarna på två olika delsträckor i torrfåran. Anledningen till att torrfåran delades upp i två delsträckor var att man ville kunna utesluta transporten genom den konstruerade spegeldammen mellan W3 och W4 mitt på sträckan. De två delsträckorna omfattar delsträcka 1 (1400 m, figur 3) respektive delsträcka 2 (1720 m, figur 3).

Samma mängd spårämne (100 ml) användes i alla spårämnesförsök. De genombrottskurvor som uppmättes av varje fluorometer antas beskriva transporten av ett inert ämne som färdats med vattenströmmen och endast påverkats av advektions- och dispersionsprocesser längs vägen (figur 7). Medelhastigheten, v_{50} , beräknades som

$$v_{50} = \frac{s}{t_{50}} \quad (2)$$

där s är vattendragssträckan och t_{50} är tiden då 50% av den totala spårämnesmassan passerat sträckan. På liknande sätt beräknades maxhastigheten, v_5 , och minihastigheten, v_{95} , genom att använda tiden när 5% respektive 95% av den totala spårämnesmassan passerat sträckan.



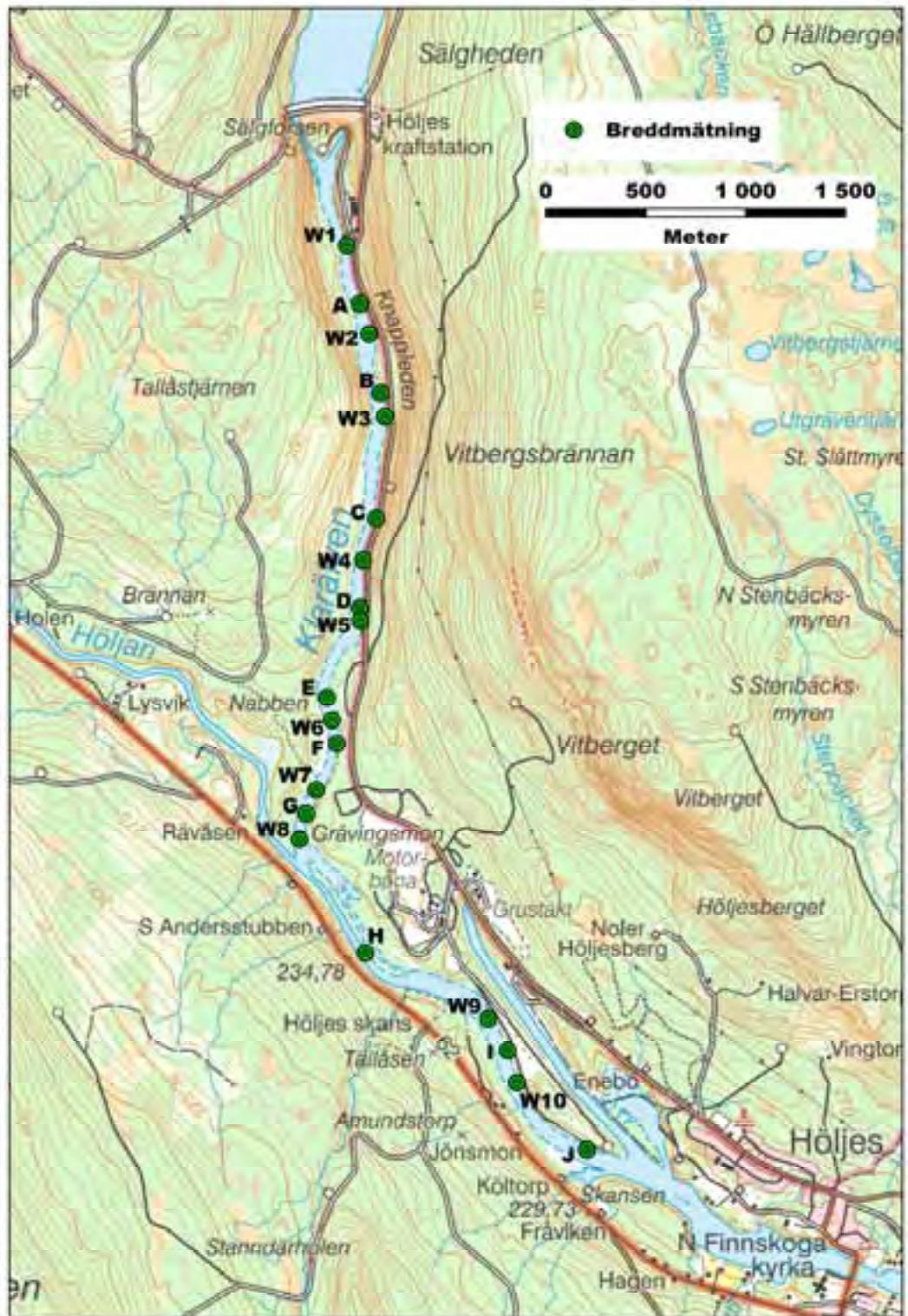
Figur 7. Spårämnet sprider sig snabbt nedströms (åt höger i bilden) efter injektionen vid INJ1 (markerat med vit cirkel i bilden) nedströms dammen den 15:e november 2007. Foto: Jan Tomperi.

Mätning av vattendragsbredd och den våta arean

Vattenfårans bredd mäts på alla lokaler utmed sträckan där även vattenstånd mäts, samt vid ytterligare lokaler som placerades mellan vattenståndslokalerna (figur 8). Dessa mätningar genomfördes av Länsstyrelsen i Värmland. Sammantaget mättes vattendragets bredd vid 20 lokaler utmed hela sträckan vid varje provtappning. Syftet med dessa mätningar var dels att uppskatta hur vattendragets bredd varierade med flödet samt att uppskatta den vattentäckta arean under provtappningarna.

Vid varje lokal mättes bredden genom att placera sig vid ena strandkanten med en laseravståndsmätare (Leica) och rikta denna mot en träffyta på motsatta strandkanten. Medelfelet för dessa avståndsmätningar uppges vara mindre än $\pm 0,5$ meter.

Under sista dagen för provtappningarna, den 15:e november, flygfotograferades sträckan med hjälp av helikopter från 500 respektive 600 meters höjd. Bildmaterialet från denna överflygning användes för att beräkna den våta arean på hela sträckan. Beräkningen genomfördes av Länsstyrelsen i Värmland. Metoden bygger på ytuppskattning från flygbilder tagna på 500 meters höjd (se bildexempel i figur 7). Flygbilderna importerades i ArcView och rektifierades efter grundortofoto. Efter rektifiering digitaliserades vattenytan i polygoner och arean hos polygonerna beräknades sedan i programmet. Eftersom flygfotografering endast genomfördes för en provtappning beräknades den våta arean för övriga flöden med hjälp av en enkel regressionsmodell. Denna modell antar att relationen mellan de landbaserade breddmätningarna och den våta arean var konstant för samtliga flöden.



Figur 8. Karta som visar mätpunkter för vattendragsbredd. Lokaler W1-W10 är identiska med lokaler för vattenståndsmätning.

En modell för genomsnittlig hydraulik i delsträckorna

I delsträckorna ovan Höljan mättes både genomsnittlig strömhastighet och vattendragsbredd (se ovan). Detta gör att man kan använda sig av sambanden från *hydraulisk geometri* för att beräkna det genomsnittliga vattendjupet i delsträckorna. Hydraulisk geometri är ett begrepp som utvecklades under 1950-talet av amerikanska hydrologer som undersökte sambanden mellan olika hydrauliska variabler (strömhastighet, bredd och djup) och vattenföringen. De analyserade en stor mängd data från hela världen och hittade empiriska samband mellan varje variabel och vattenföringen (Leopold och Maddock, 1953). Sambanden mellan bredd (W), djup (D), hastighet (U) och vattenföring (Q) uttrycks:

$$W = aQ^b \quad (3)$$

$$D = cQ^f \quad (4)$$

$$U = kQ^m \quad (5)$$

Där de sex parametrarna (a , b , c , f , k och m) bestäms genom kurvanpassning till observerade värden. Man behöver observationer av bredd, djup och hastighet vid två eller fler olika flödesnivåer för att kunna bestämma parametrarna. Samtidigt så gäller att:

$$Q = WDU = aQ^b cQ^f kQ^m = ackQ^{(b+f+m)} \quad (6)$$

där produkten av koefficienterna:

$$ack = 1 \quad (7)$$

och summan av exponenterna:

$$b + f + m = 1 \quad (8)$$

för att kravet på kontinuitet ska uppfyllas i ekvation (6). Hydraulisk geometri har traditionellt använts för att både beskriva den hydrauliska karaktären lokalt i ett tvärsnitt där flödet varierar i tiden och även för att beskriva den rumsliga variationen utmed vattendrag vid ett specifikt flöde. Nyligen presenterades en studie där man använde hydraulisk geometri för att även uppskatta medelvärden av de hydrauliska variablerna i olika sträckor (Stewardson, 2005). Bakgrunden till denna utveckling är att ekologer ofta efterfrågar hur hydrauliken i sträckan som helhet påverkas av vattenföringen, och inte enskilda tvärsnitt.

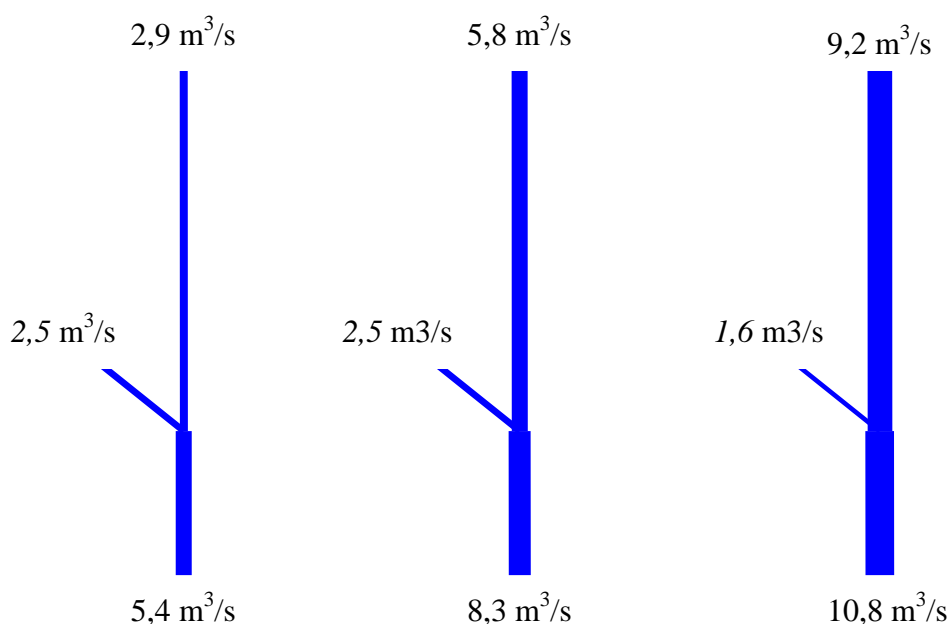
Modellen anpassades till de två delsträckorna i torrfåran (figur 3) eftersom spårämnesförsöken i dessa sträckor ger en uppskattning av medelhastigheten vid olika flöden och de okända termerna i (5) därmed kan bestämmas.

Breddmätningarna (figur 8) användes för att beräkna den genomsnittliga bredden i varje delsträcka och vid varje flöde. Det geometriska medelvärdet måste användas eftersom det aritmetiska medelvärdet inte uppfyller kontinuitetskravet när man medelvärdesbildar bredd, djup och strömhastighet från olika tvärsnitt inom en delsträcka. Genom kurvanpassning kunde sedan parametrarna för medelbredd i (3) bestämmas. Slutligen beräknades parametrarna för medeldjup i (4) genom att använda (7) och (8).

Resultat

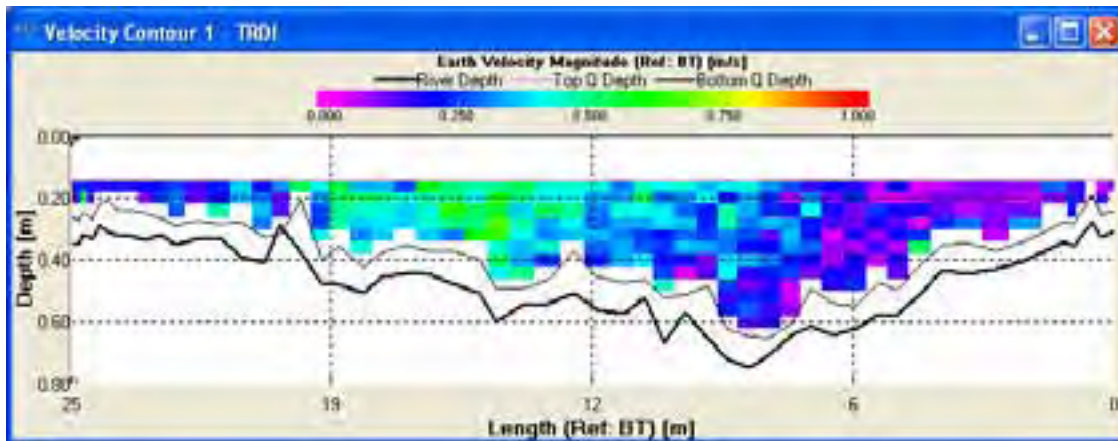
Vattenföring

Flödesmätningarna visade att de flöden som provtappades konsekvent översteg de planerade flödesnivåerna med mellan 16-23%. Största avvikelserna skedde under den sista provtappningen.

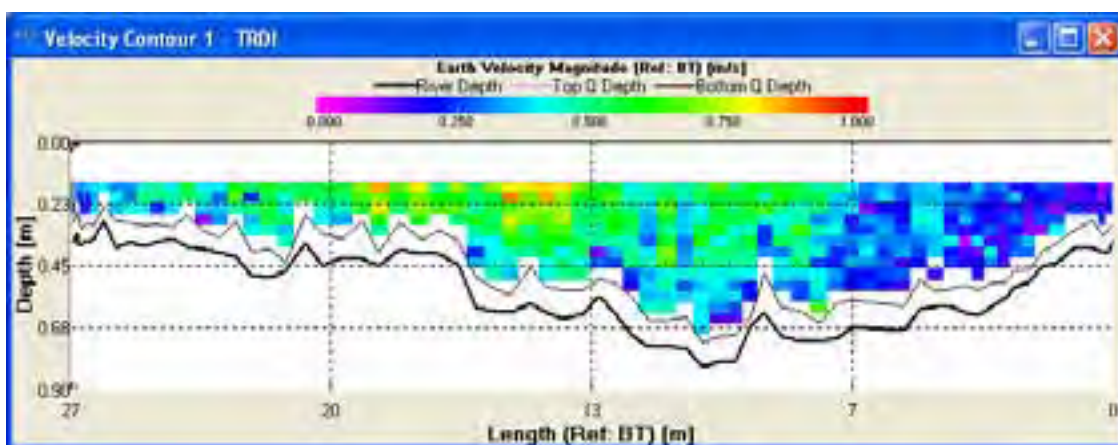


Figur 9. Förenklad visualisering av resultaten från vattenföringsmätningarna med ADCP. Övre och nedre vattenföringar är uppmätta, flödesbidraget från Höljan är beräknat (*kursivt*).

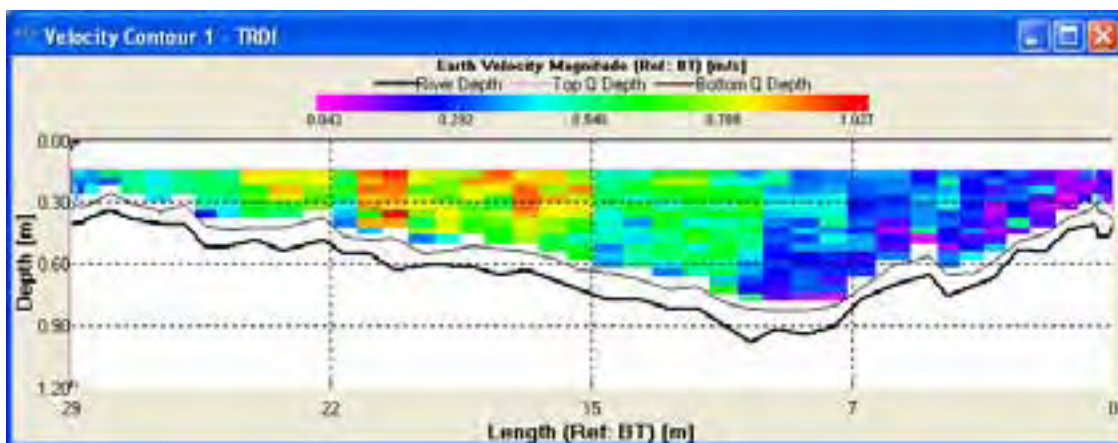
Vid varje lokal och mättillfälle genomfördes 4-5 tvärsnittsmätningar med ADCP och vattenföringen beräknades som medelvärdet av dessa mätningar. Det relativa felet (standardavvikelse/ medelvärde) i mätningarna låg i intervallet 1-2%, vilket bedöms som lågt. Strömhastigheter extrapolerades för det ytligaste vattenskiktet (0-16 cm) samt i grunda strandområden där dopplertekniken inte kan leverera mätningar. I de uppmätta djup-hastighetsprofilerna (figurer 10-15) saknar därför det ytligaste vattenskiktet mätvärden. Profilerna i figurerna 10-15 ska betraktas i nedströmsriktning, d.v.s. vattnet rör sig mot pappret.



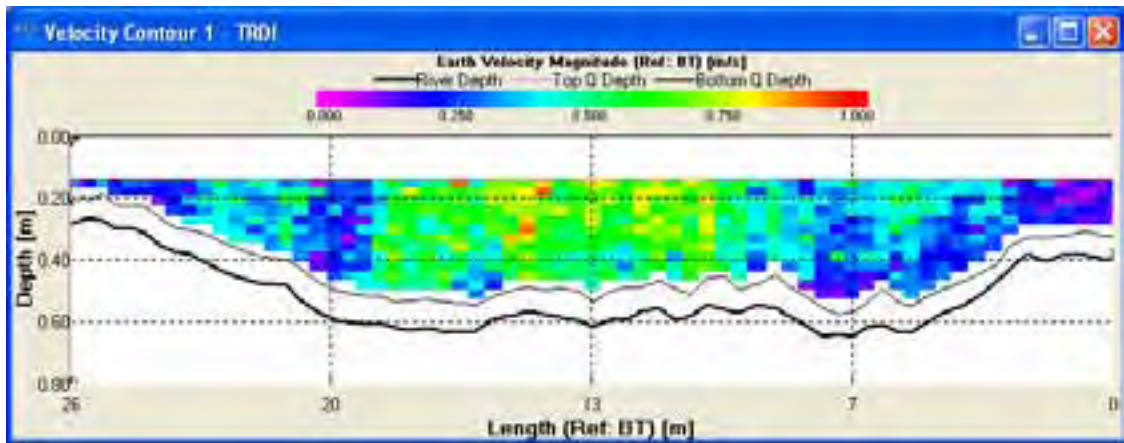
Figur 10. Djup-hastighetsprofil som uppmättes med ADCP i lokal W6 2007-11-13. Beräknad vattenföring: $2,9 \pm 0,1$ m³/s.



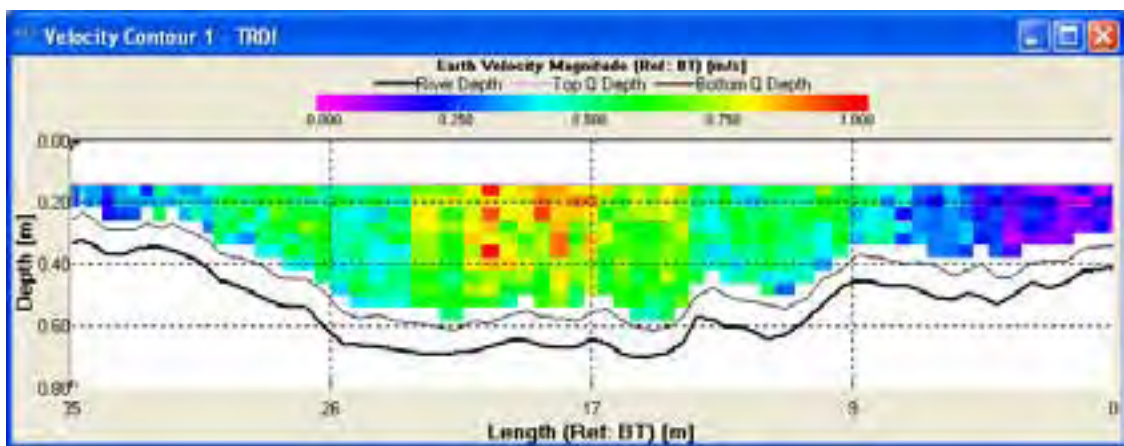
Figur 11. Djup-hastighetsprofil som uppmättes med ADCP i lokal W6 2007-11-14. Beräknad vattenföring: $5,8 \pm 0,1$ m³/s.



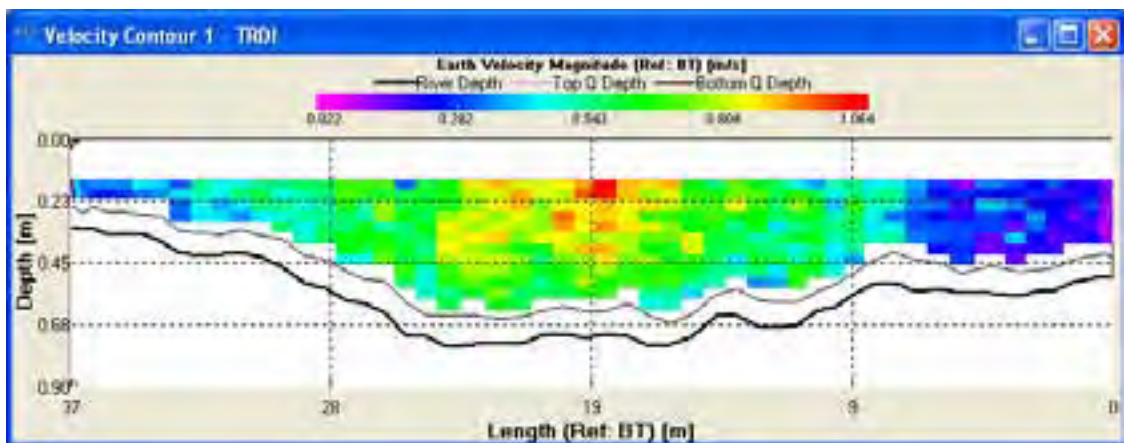
Figur 12. Djup-hastighetsprofil som uppmättes med ADCP i lokal W6 2007-11-15. Beräknad vattenföring: $9,2 \pm 0,2$ m³/s.



Figur 13. Djup-hastighetsprofil som uppmättes med ADCP i lokal W10 2007-11-13. Beräknad vattenföring: $5,4 \pm 0,1$ m³/s.



Figur 14. Djup-hastighetsprofil som uppmättes med ADCP i lokal W10 2007-11-14. Beräknad vattenföring: $8,3 \pm 0,1$ m³/s.



Figur 15. Djup-hastighetsprofil som uppmättes med ADCP i lokal W10 2007-11-15. Beräknad vattenföring: $10,8 \pm 0,2$ m³/s.

Vattenstånd

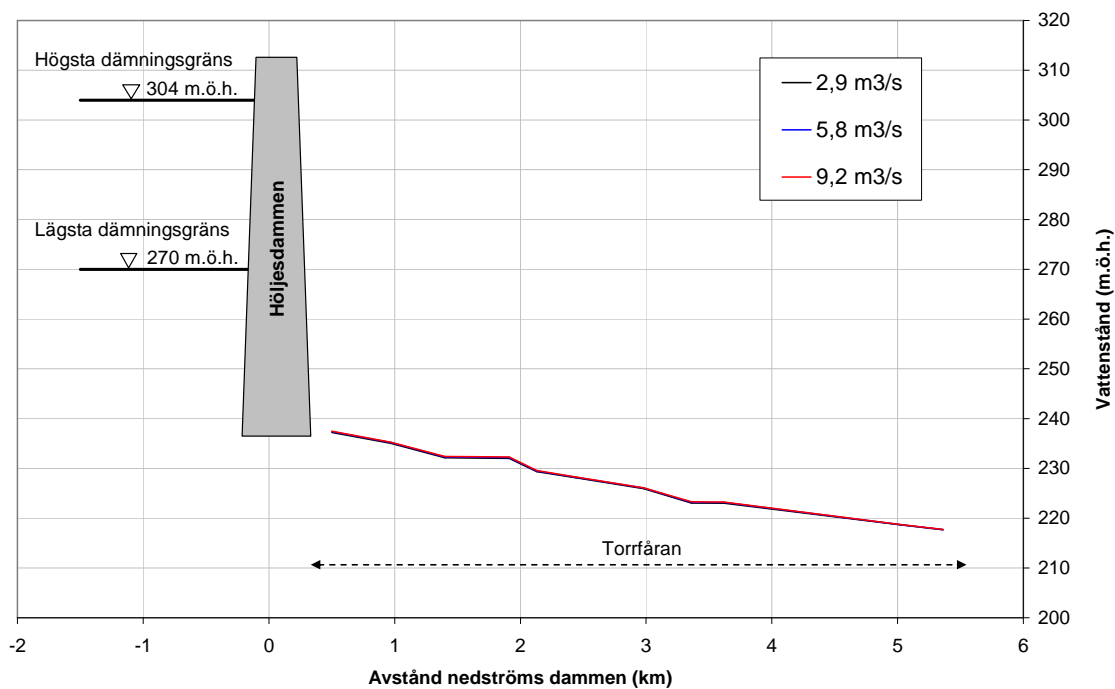
Inmätningarna av vattenstånd utmed torråran visade att fallhöjden på sträckan var knappt 20 meter (tabell 1), vilket ger en genomsnittlig lutning på 0,4%. Lokalt varierar lutningen längs sträckan. Två distinkta partier har mycket liten lutning (W3-W34 respektive W7-W8, tabell 1). Det övre flacka partiet, W3-W34, kan karaktäriseras som ett spegeldamm med en konstruerad tröskel av trä vid W34 (figur 5). I jämförelse med fallhöjden i torråran är fallhöjden vid själva dammvallen som mest ca 67 meter (vid högsta dämmningsgräns) och som minst ca 33 meter (vid lägsta dämmningsgräns), se figur 16.

Tabell 1. Observerade vattenstånd vid olika flöden.

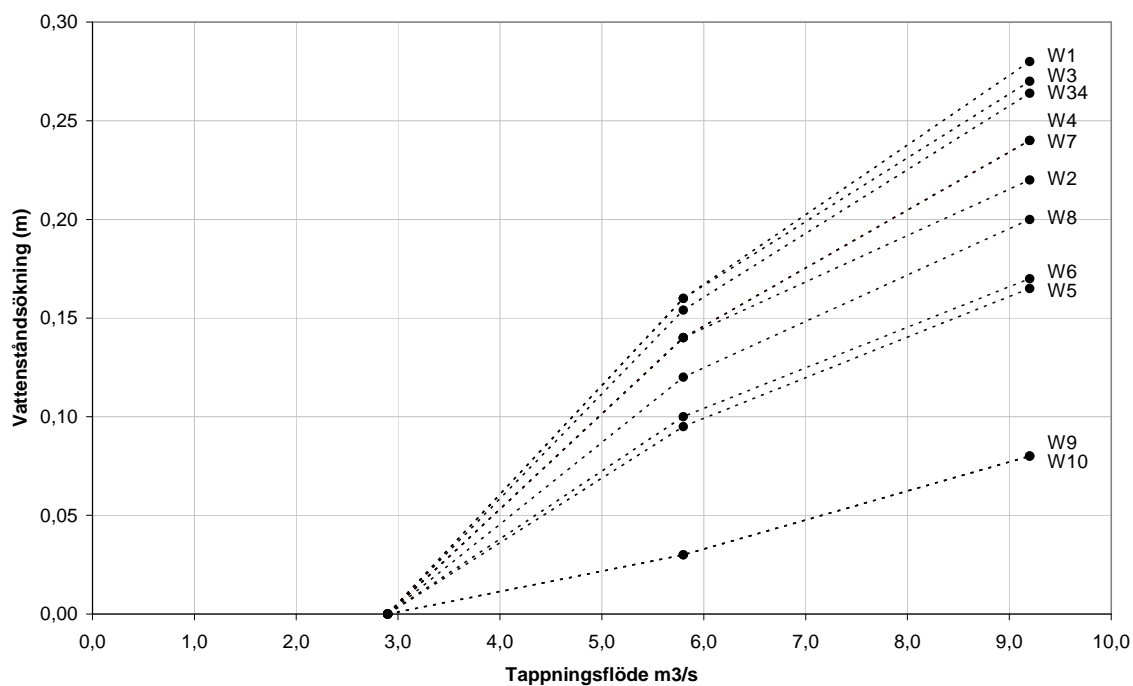
Lokal	Avstånd nedströms dammen (km)	x (RT90)	y (RT90)	Vattenstånd (m.ö.h. RH 70) 2007-11-13 2,9 m ³ /s	Vattenstånd (m.ö.h. RH 70) 2007-11-14 5,8 m ³ /s	Vattenstånd (m.ö.h. RH 70) 2007-11-15 9,2 m ³ /s
W1	0,50	6763131	1323382	237,22	237,38	237,50
W2	0,97	6762688	1323494	235,04	235,18	235,26
W3	1,40	6762272	1323572	232,13	232,29	232,40
W34	1,91	6761764	1323499	232,04	232,19	232,30
W4	2,13	6761553	1323464	229,33	229,47	229,57
W5	2,44	6761249	1323448	228,13	228,23	228,30
W6	2,98	6760750	1323307	225,95	226,05	226,12
W7	3,36	6760399	1323228	223,05	223,19	223,29
W8	3,62	6760153	1323143	223,04	223,16	223,24
W9	5,02	6759254	1324090	218,68	218,71	218,76
W10	5,36	6758933	1324234	217,68	217,71	217,76

Vattenståndet steg vid ökad tappning från dammen (tabell 1), även om stigningstakten minskade med ökat flöde (figur 17). Detta beror på att även bredden ökar vid ökad vattenföring och därmed den vattenledande tvärsnittsarean.

De största ökningarna i vattenstånd observerades i den övre delen av torråran (figur 17), medan vattenståndet nedströms Höljan ökade relativt lite. Det finns två förklaringar till detta. Dels beror vattenståndsökningen på ökningen i vattenfårans bredd enligt ovan, och dels beror den av flödesmotståndet i fåran. Flödesmotståndet uttrycker friktionen som uppstår mellan vattnet och bottensubstratet. Grövre bottensubstrat ger generellt ett större flödesmotstånd än finare bottensubstrat eftersom bottenmorfologin blir ojämna. Bottensubstratet i torråran blir successivt finare i nedströmsriktningen.



Figur 16. Profil över vattenytans höjd över havet (RH 70) vid olika flöden. Som referens har även högsta och lägsta dämningsgräns i Höljessjön ritats in, med höjdangivelser från Lantmäteriets Terrängkarta.



Figur 17. Vattenståndets ökning i olika lokaler från respektive nivå vid $2,9 \text{ m}^3/\text{s}$ vid en ökad avtappning från dammen. Observera att det egentliga flödet vid W9 och W10 är högre p.g.a bidrag från Höljan.

Vattendjup och strömhastighet

De hydrauliska mätningarna i fem kvadratytor vid tre olika flöden gav totalt 375 punktvärden av djup och strömhastighet. De fem kvadratytorerna representerar tillsammans 500 m² av vattenfårans yta i sträckan uppströms Höljan, vilket motsvarar 0,3-0,4% av den totala våta ytan beroende på flödet från dammen.

Generellt sett kan man förvänta sig att djup och strömhastighet samvarierar i vattendrag. När djupet ökar så sjunker i regel strömhastigheten, och tvärtom. I förlängningen betyder detta att en stor variation i djup även medför en stor variation i strömhastighet, och detta mönster framträder i flera av kvadratytorerna. Variationen i djup och hastighet samvarierar i W2, W4 och W6 (tabeller 2-3) och förhållandet mellan djup och hastighet ser linjärt ut om de plottas mot varandra (figur 26). Däremot avviker W1 och W8 från detta mönster (figur 26). I W1 finns en stor variation i djup men en relativt liten variation i hastighet, och i W8 är variationen i djup liten men hastigheten desto mer varierande (tabeller 2-3). Detta tyder på att mer storskaliga faktorer påverkar W1 och W8, främst placeringen av kvadratytan i relation till huvudströmfåran. W1 låg nära strandkanten i ett relativt lugnt område med svagt strömmande vatten, och här behövs en ganska stor tappning för att få en kraftig genomströmning. W8 låg alldeles uppströms en forsacke bestående av grova stenblock, vilket bromsade upp strömmen i kvadratytan vid lägre tappningar.

Kvadratytorerna representerade ett antal olika miljöer längs torrfåran och det finns en del intressanta liknelser och skillnader mellan dessa miljöer. Kvadratyta W6 var den i särklass mest homogena miljö som undersöktes (figur 21). Denna yta låg i det nedre partiet av torrfåran (figur 6) i en sträcka med jämn bottenprofil och väl sorterat bottensubstrat bestående av knytävsstora stenar.

Den största variationen i djup uppmättes i kvadratyta W4 (tabell 2, figur 20), vilken låg nära strandkanten i en relativt smal sträcka av torrfåran med branta stränder (Appendix, figurer A4 och A10). Här bestod bottensubstratet av grova stenblock vilket gjorde att bottenprofilen var mycket oregelbunden. Kvadratyta W4 hade även störst medeldjup vid den lägsta tappningen (0,49 meter, se tabell 2 och figurer 23 och 26).

Tabell 2. Medeldjup med standardavvikelse i kvadratytorerna vid olika vattenföringar.

lokal	x (RT90)	y (RT90)	Medeldjup (m)	Medeldjup (m)	Medeldjup (m)
			± stdav	± stdav	± stdav
			2007-11-13	2007-11-14	2007-11-15
			2,9 m ³ /s	5,8 m ³ /s	9,2 m ³ /s
W1	6763134	1323382	0,35 ±0,10	0,57 ±0,15	0,66 ±0,14
W2	6762635	1323492	0,26 ±0,12	0,37 ±0,16	0,46 ±0,16
W4	6761528	1323462	0,49 ±0,16	0,54 ±0,23	0,64 ±0,25
W6	6760973	1323378	0,24 ±0,07	0,35 ±0,08	0,43 ±0,07
W8	6760160	1323157	0,28 ±0,08	0,33 ±0,08	0,52 ±0,12

Medeldjupet i kvadratytorerna ökade vid ökad tappning från dammen, och djupökningen motsvarade approximativt den observerade vattenståndsökningen (jmf figur 17 med figur 23). Medeldjupet vid 2,9 m³/s låg i intervallet 0,24-0,49 meter, vid 5,8 m³/s i intervallet 0,33-0,57 meter och vid 9,2 m³/s i intervallet 0,43-0,66 meter (tabell 2). Även standardavvikelsen av medeldjupet ökade med flödet (tabell 2).

Generellt sett så ökade strömhastigheten snabbare med vattenföringen än motsvarande ökning i djup (jmf figurer 23-24). Kvadrattyornas medelhastighet vid 2,9 m³/s låg i intervallet 0,23-0,48 m/s, vid 5,8 m³/s i intervallet 0,25-0,80 m/s, och vid 9,2 m³/s i intervallet 0,43-0,94 m/s (tabell 3). Även standardavvikelsen av medelhastigheten ökade med flödet (tabell 3).

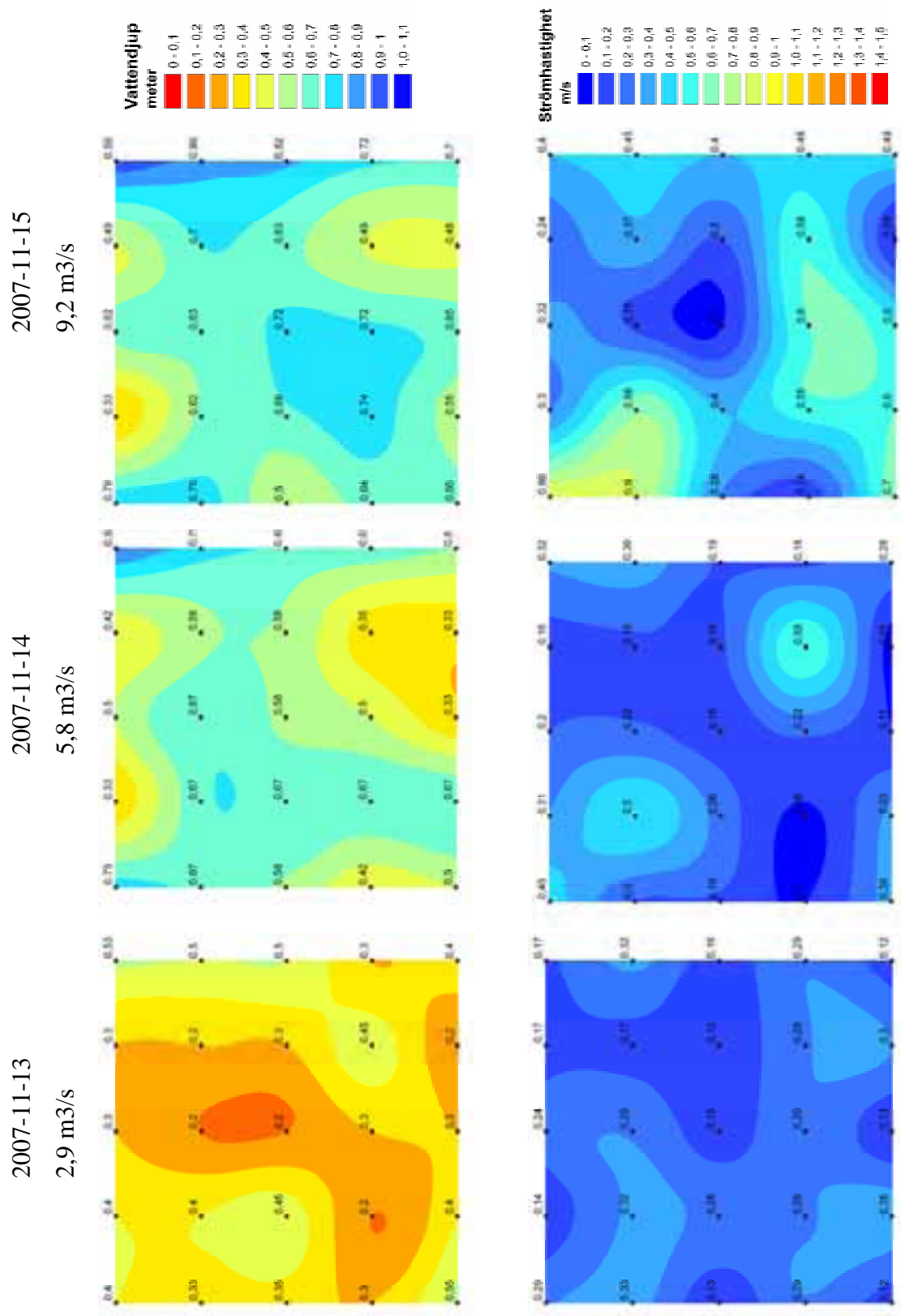
Tabell 3. Medelhastighet med standardavvikelse i kvadrattyorna vid olika vattenföringar.

lokal	x (RT90)	y (RT90)	Medelhast (m/s)	Medelhast (m/s)	Medelhast (m/s)
			± stdav 2007-11-13 2,9 m ³ /s	± stdav 2007-11-14 5,8 m ³ /s	± stdav 2007-11-15 9,2 m ³ /s
W1	6763134	1323382	0,23 ±0,09	0,25 ±0,13	0,43 ±0,21
W2	6762635	1323492	0,48 ±0,28	0,80 ±0,26	0,94 ±0,30
W4	6761528	1323462	0,39 ±0,16	0,45 ±0,25	0,72 ±0,25
W6	6760973	1323378	0,49 ±0,11	0,67 ±0,16	0,88 ±0,16
W8	6760160	1323157	0,26 ±0,14	0,54 ±0,26	0,69 ±0,27

Stråkande vatten (superkritiskt flöde) observerades i endast två av de sammanlagt 375 punktmätningar som genomfördes. De genomsnittliga Froude-talen ökade generellt sett med vattenföringen men var långt under kritiskt flöde i samtliga kvadrattytor och flöden (tabell 4). Strömförhållandena i två av kvadrattyorna (W2 och W6) var betydligt intensivare än i de övriga kvadrattyorna (tabell 4). Dessa två ytor låg relativt nära vattenfårans mitt i snabbbrinnande partier med hög lutning. I motsats till dessa var W1 i fårans ytterkant och inkluderade en hel del uppstickande stenblock och växtlighet, vilket resulterade i lugna strömningsförhållanden med låga Froude-tal (tabell 4).

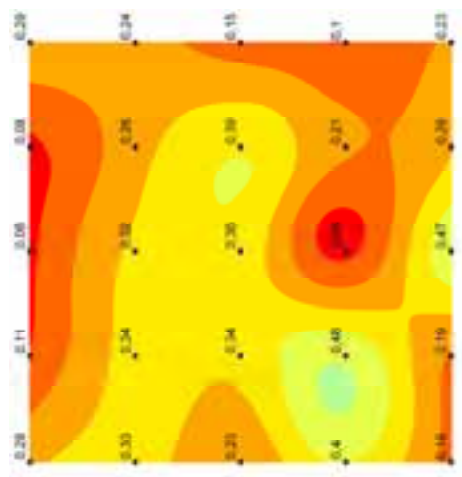
Tabell 4. Genomsnittligt Froude-tal i kvadrattyorna vid olika vattenföringar.

lokal	x (RT90)	y (RT90)	Froude-tal	Froude-tal	Froude-tal
			2007-11-13 2,9 m ³ /s	2007-11-14 5,8 m ³ /s	2007-11-15 9,2 m ³ /s
W1	6763134	1323382	0,13	0,11	0,17
W2	6762635	1323492	0,32	0,44	0,46
W4	6761528	1323462	0,19	0,23	0,34
W6	6760973	1323378	0,33	0,37	0,43
W8	6760160	1323157	0,16	0,30	0,31

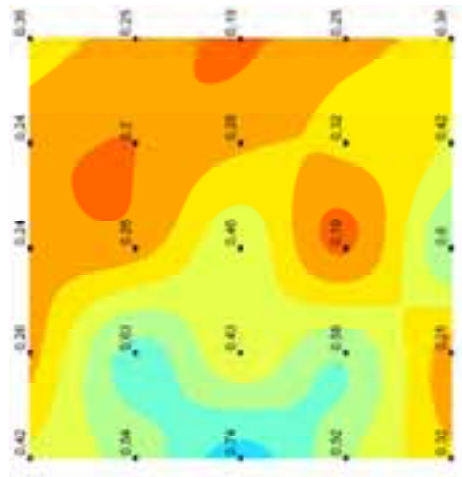


Figur 18. Interpolerade diagram med vattendjup och strömhastigheter i kvadrattyta W1 för tappningar på 2,9 m³/s, 5,8 m³/s samt 9,2 m³/s.

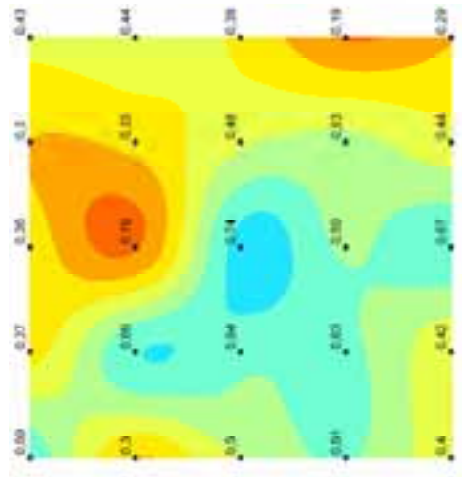
2007-11-13
2,9 m³/s



2007-11-14
5,8 m³/s

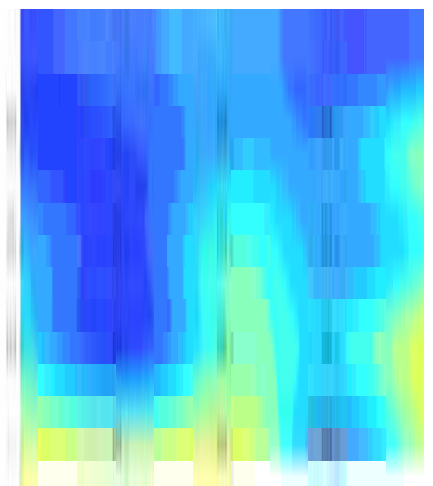
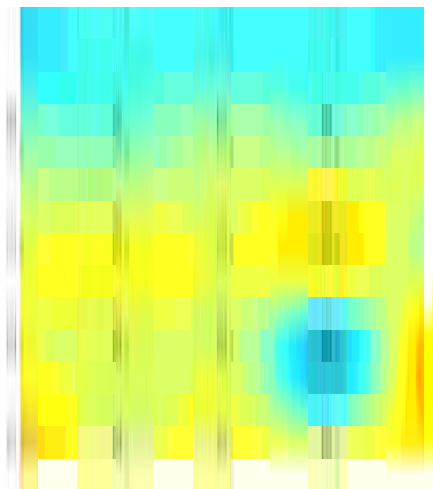
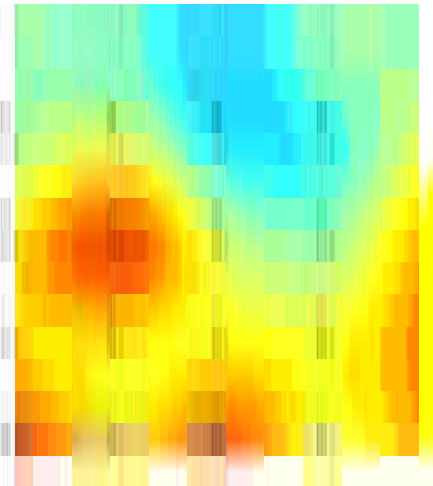


2007-11-15
9,2 m³/s

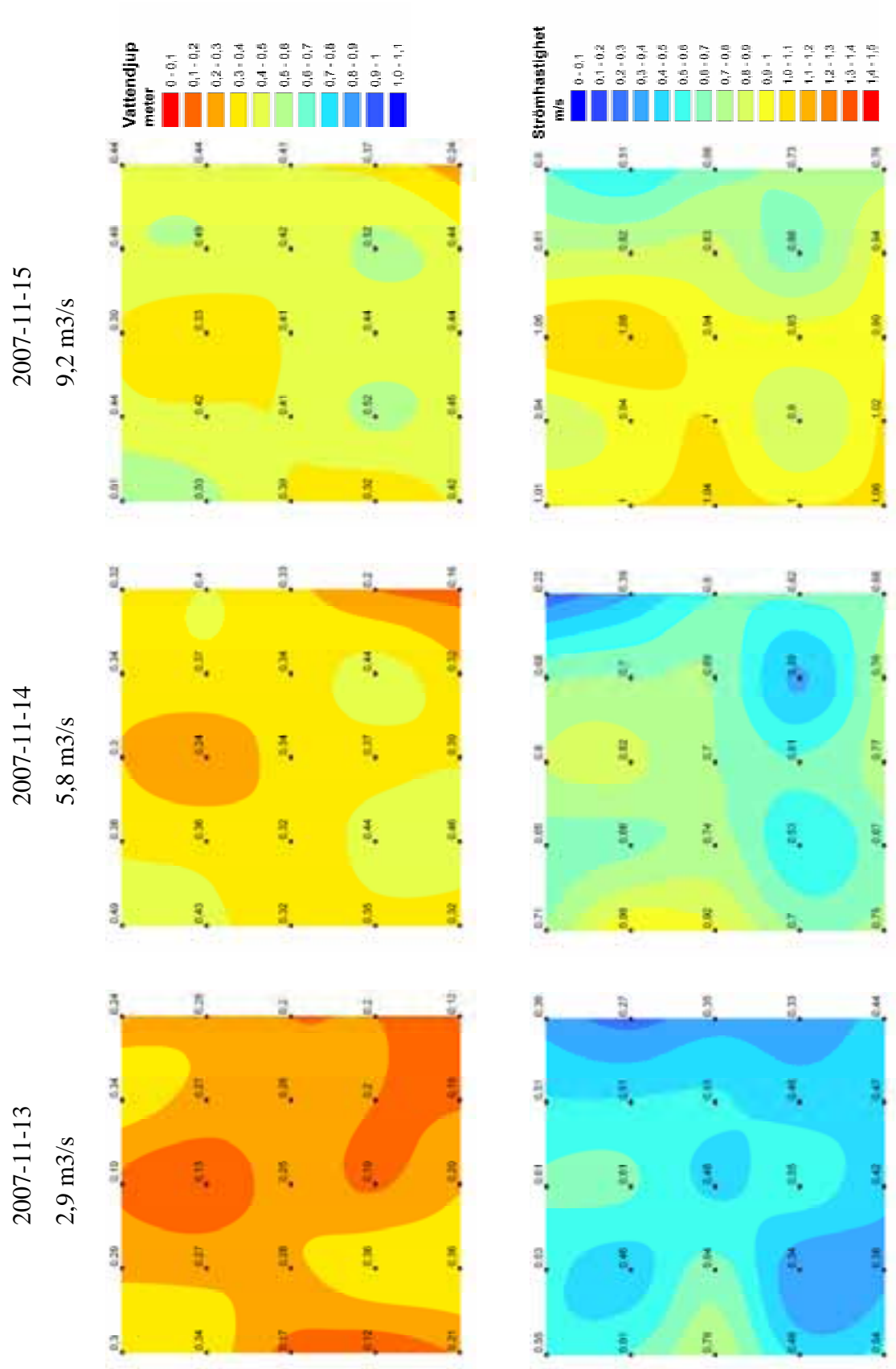


Strömshastighet
m/s

0 - 0,1
0,1 - 0,2
0,2 - 0,3
0,3 - 0,4
0,4 - 0,5
0,5 - 0,6
0,6 - 0,7
0,7 - 0,8
0,8 - 0,9
0,9 - 1
1,0 - 1,1
1,1 - 1,2
1,2 - 1,3
1,3 - 1,4
1,4 - 1,5

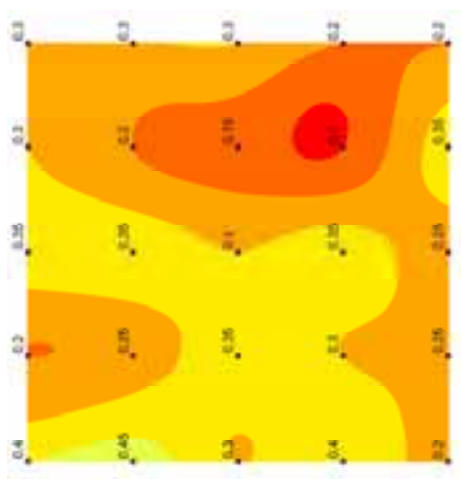


Figur 19. Interpolerade diagram med vattendjup och strömshastigheter i kvadrattyta W2 för tappningar på 2,9 m³/s, 5,8 m³/s samt 9,2 m³/s.

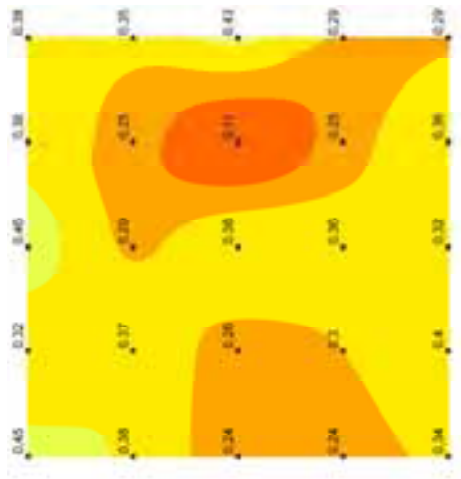


Figur 21. Interpolerade diagram med vattendjup och strömhastigheter i kvadrattyta W6 för tappningar på 2,9 m³/s, 5,8 m³/s samt 9,2 m³/s.

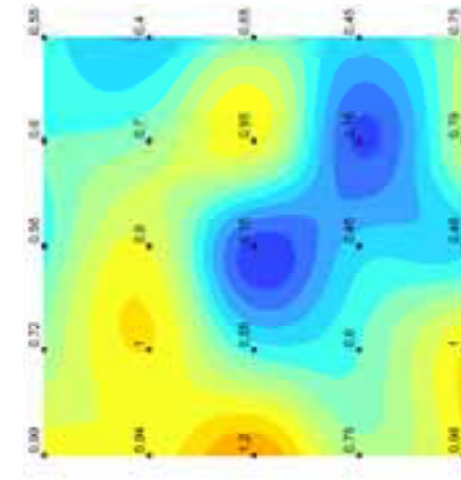
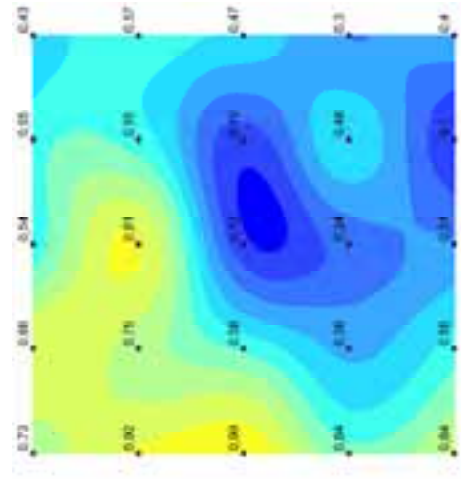
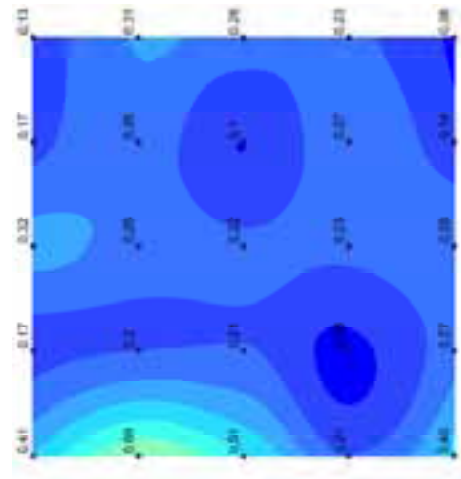
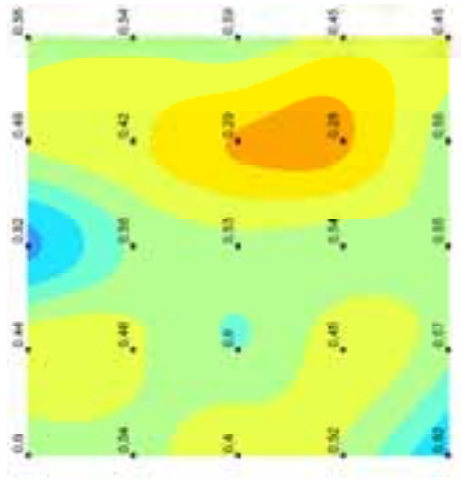
2007-11-13
2,9 m³/s



2007-11-14
5,8 m³/s



2007-11-15
9,2 m³/s



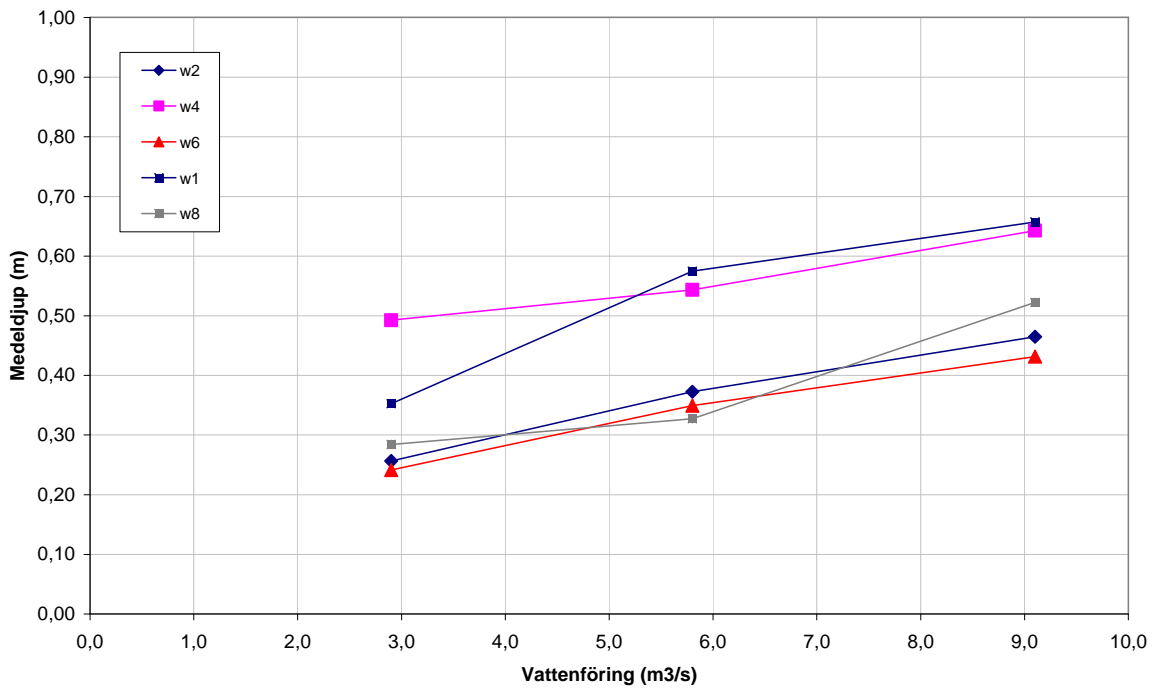
Vattendjup
meter

- 0 - 0,1
- 0,1 - 0,2
- 0,2 - 0,3
- 0,3 - 0,4
- 0,4 - 0,5
- 0,5 - 0,6
- 0,6 - 0,7
- 0,7 - 0,8
- 0,8 - 0,9
- 0,9 - 1
- 1,0 - 1,1

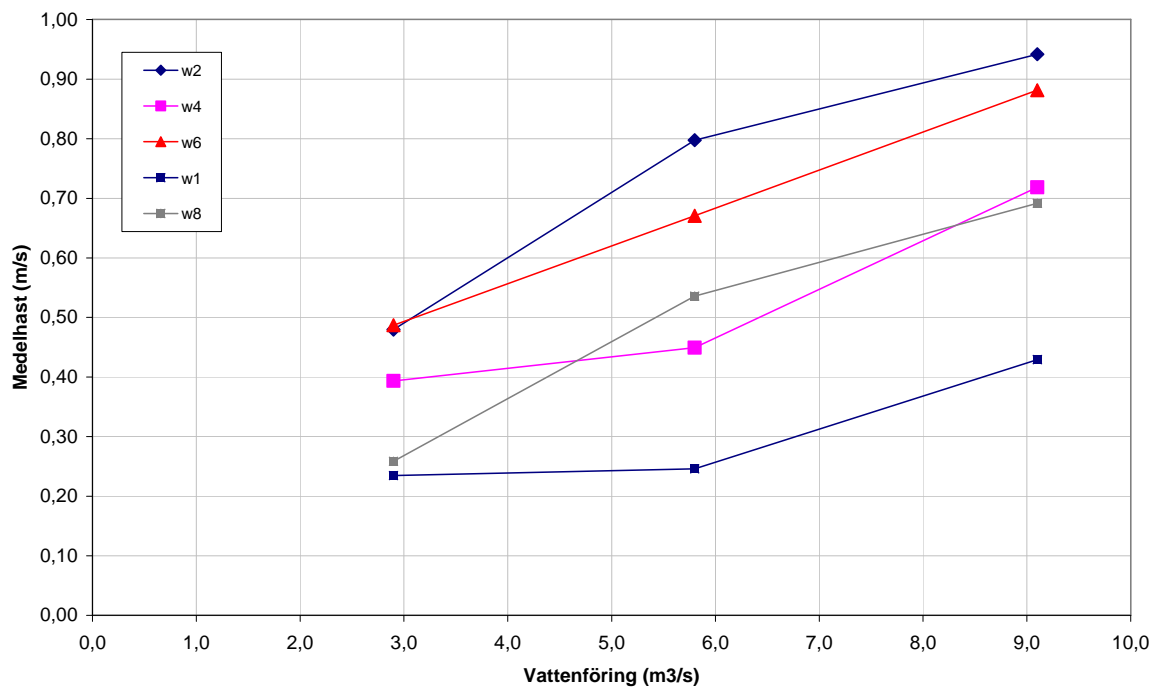
Strömhastighet
m/s

- 0 - 0,1
- 0,1 - 0,2
- 0,2 - 0,3
- 0,3 - 0,4
- 0,4 - 0,5
- 0,5 - 0,6
- 0,6 - 0,7
- 0,7 - 0,8
- 0,8 - 0,9
- 0,9 - 1
- 1,0 - 1,1
- 1,1 - 1,2
- 1,2 - 1,3
- 1,3 - 1,4
- 1,4 - 1,6

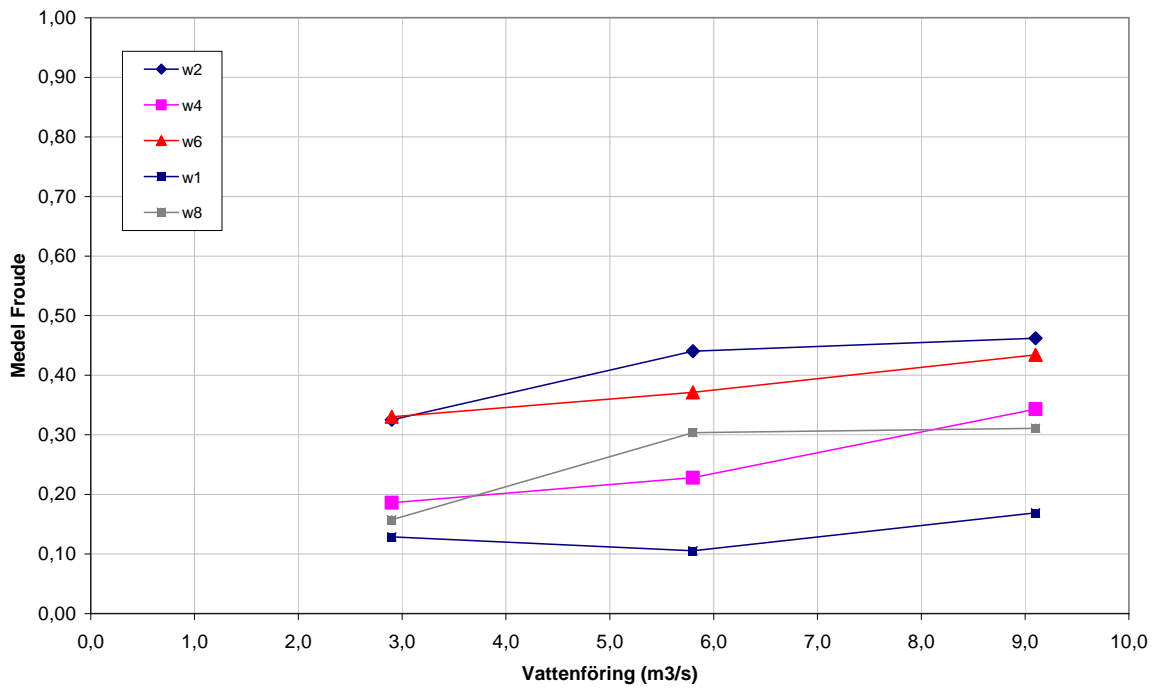
Figur 22. Interpolerade diagram med vattendjup och strömhastigheter i kvadratytta W8 för tappningar på 2,9 m³/s, 5,8 m³/s samt 9,2 m³/s.



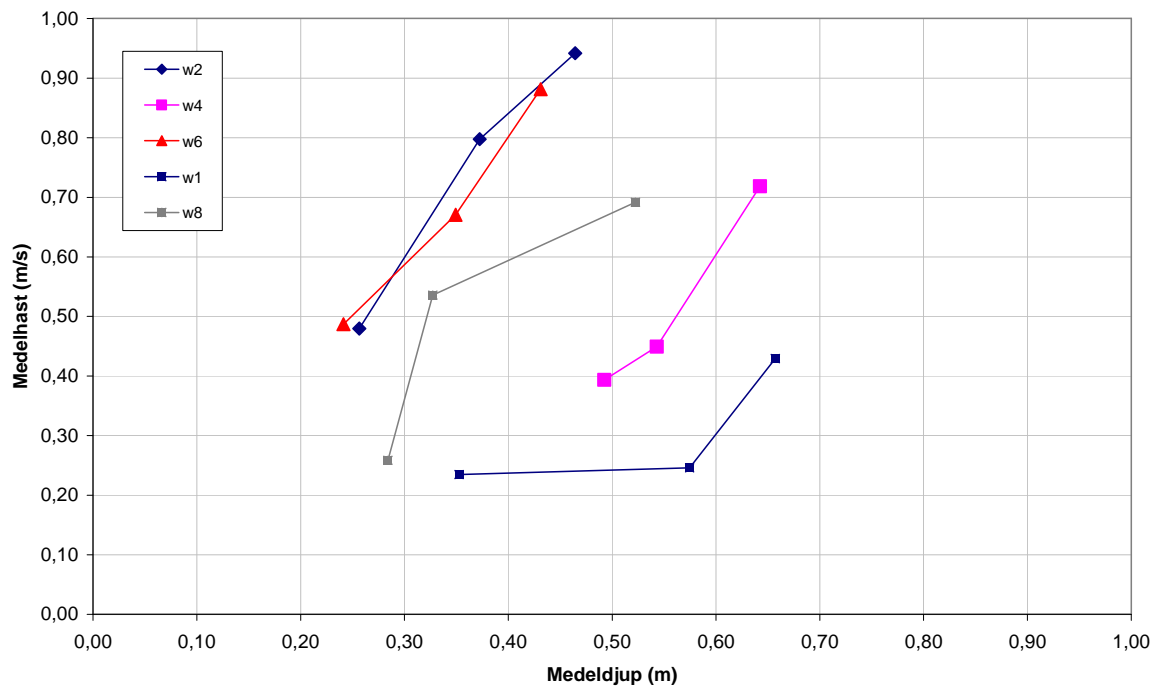
Figur 23. Medeldjup i kvadrattyorna som funktion av vattenföring.



Figur 24. Medelhastighet i kvadrattyorna som funktion av vattenföring.



Figur 25. Genomsnittligt Froude-tal i kvadrattyorna som funktion av vattenföring.



Figur 26. Förhållandet mellan kvadrattyornas medelhastighet och medeldjup för 2,9 m³/s, 5,8 m³/s och 9,2 m³/s. Högsta flödet plottas längst upp till höger medan det lägsta flödet plottas längst ner till vänster.

Spårämnesförsök

Spårämnesförsöken visade att strömhastigheterna i de två delsträckorna var mycket likartade. Vid 2,9 m³/s flöde från dammen uppgick medelhastigheten i delsträcka 1 till 0,30 m/s. När flödet ökade till 5,8 m³/s och sedan till 9,2 m³/s ökade medelhastigheten till 0,45 m/s respektive 0,58 m/s (tabell 5). I delsträcka 2 ledde dessa flödesökningar till medelhastigheter på 0,44 m/s respektive 0,59 m/s. Resultaten visar även att spridningen i strömhastighet ökar med ökande vattenföring. Spridningen i strömhastighet på sträckan återspeglas av skillnaden mellan maxhastigheten (v_5) och minhastigheten (v_{95}). I delsträcka 1 är skillnaden mellan min- och maxhastighet 0,14 m/s när flödet från dammen är 2,9 m³/s, medan skillnaden stiger till 0,21 m/s när flödet ökar till 9,2 m³/s (tabell 5).

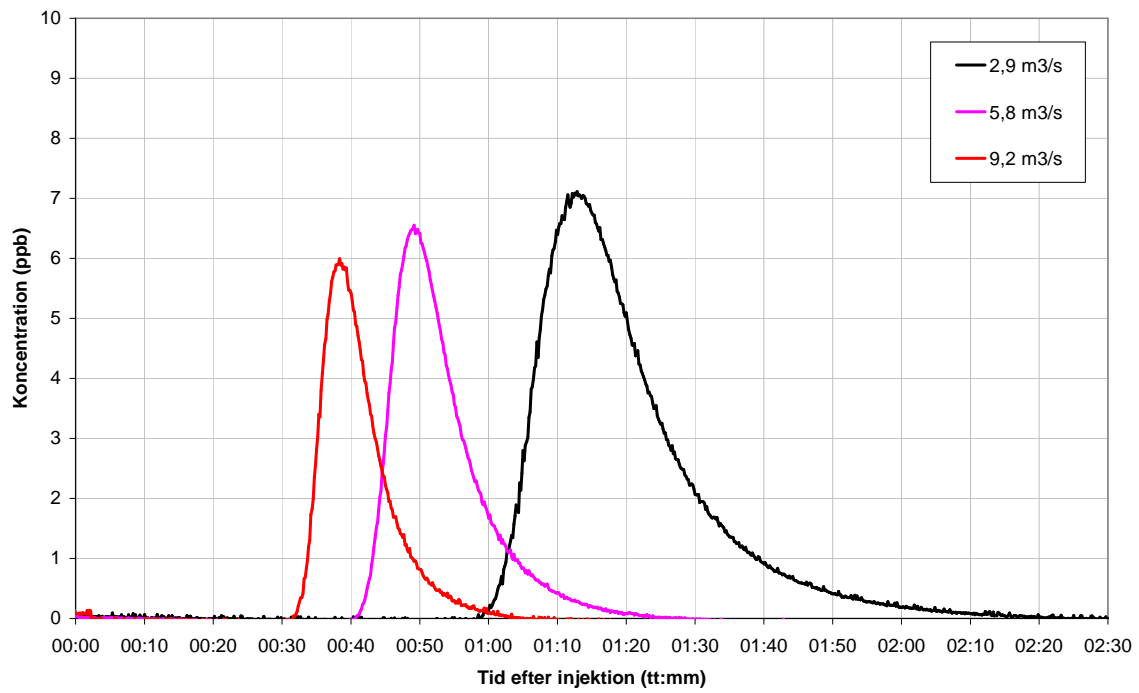
Tabell 5. Spårämnesresultat för delsträcka 1 (från INJ1 till W3, figur 3).

Datum	2007-11-13	2007-11-14	2007-11-15
Tappning från dammen (m ³ /s)	2,9	5,8	9,2
Avstånd (m)	1400	1400	1400
Genomsnittlig lutning (%)	0,6	0,6	0,6
Maximal koncentration (µg/l)	7,0	6,5	5,9
Rinntid till koncentrationsmax (hh:mm:ss)	01:13:11	00:49:11	00:38:41
Hastighet hos koncentrationsmax (m/s)	0,32	0,47	0,60
Maxhastighet v_5 (m/s)	0,36	0,52	0,67
Medelhastighet v_{50} (m/s)	0,30	0,45	0,58
Minhastighet v_{95} (m/s)	0,22	0,35	0,46
Genomsnittlig tvärsnittsarea, Q/v_{50} (m ²)	9,7	12,9	15,9

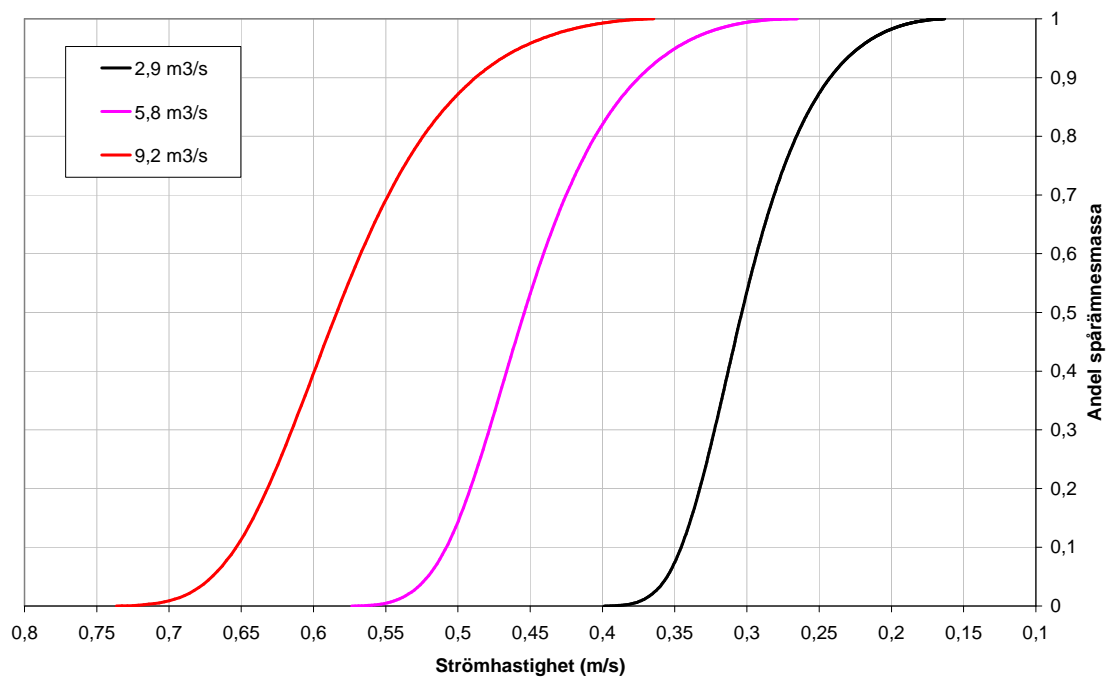
På grund av instrumentproblem finns inga observationer för spårämnesförsöket i delsträcka 2 vid tappningen av 2,9 m³/s, men man kan anta att medelhastigheten liknade den som uppmättes i delsträcka 1 vid samma flöde.

Tabell 6. Spårämnesresultat för delsträcka 2 (från INJ2 till W8, figur 3).

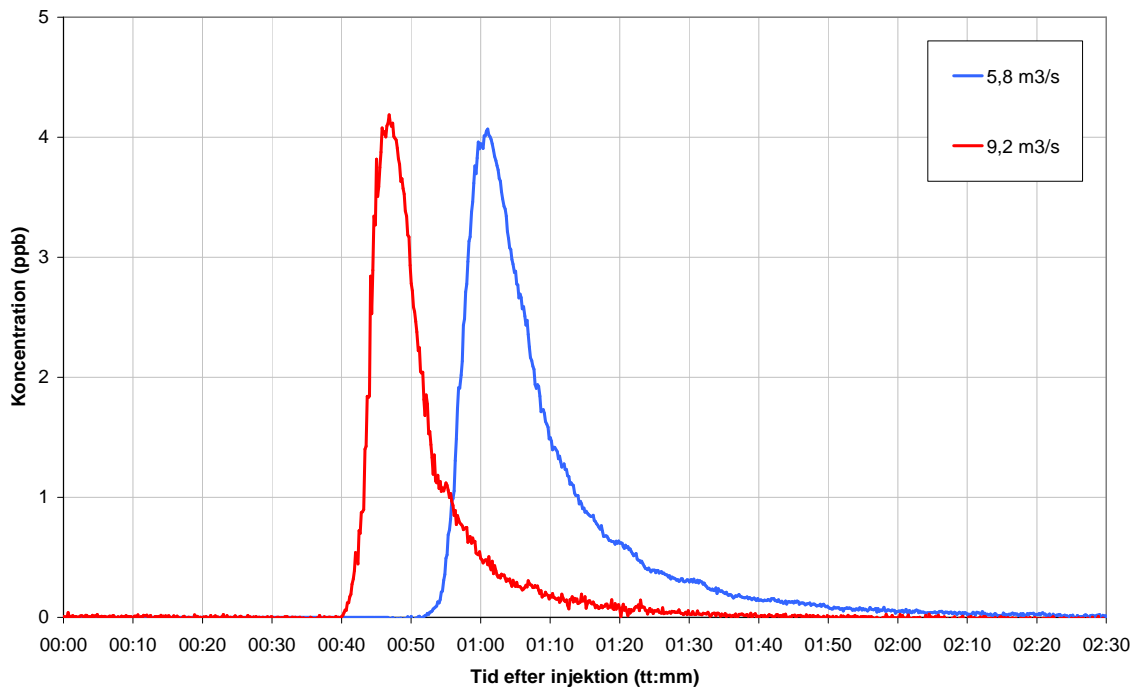
Datum	2007-11-13	2007-11-14	2007-11-15
Tappning från dammen (m ³ /s)	2,9	5,8	9,2
Avstånd (m)	1720	1720	1720
Genomsnittlig lutning (%)	0,5	0,5	0,5
Maximal koncentration (µg/l)	-	4,1	4,1
Rinntid till koncentrationsmax (hh:mm:ss)	-	01:01:01	00:46:51
Hastighet hos koncentrationsmax (m/s)	-	0,47	0,61
Maxhastighet v_5 (m/s)	-	0,50	0,66
Medelhastighet v_{50} (m/s)	-	0,44	0,59
Minhastighet v_{95} (m/s)	-	0,29	0,41
Genomsnittlig tvärsnittsarea (m ²)	-	13,2	15,6



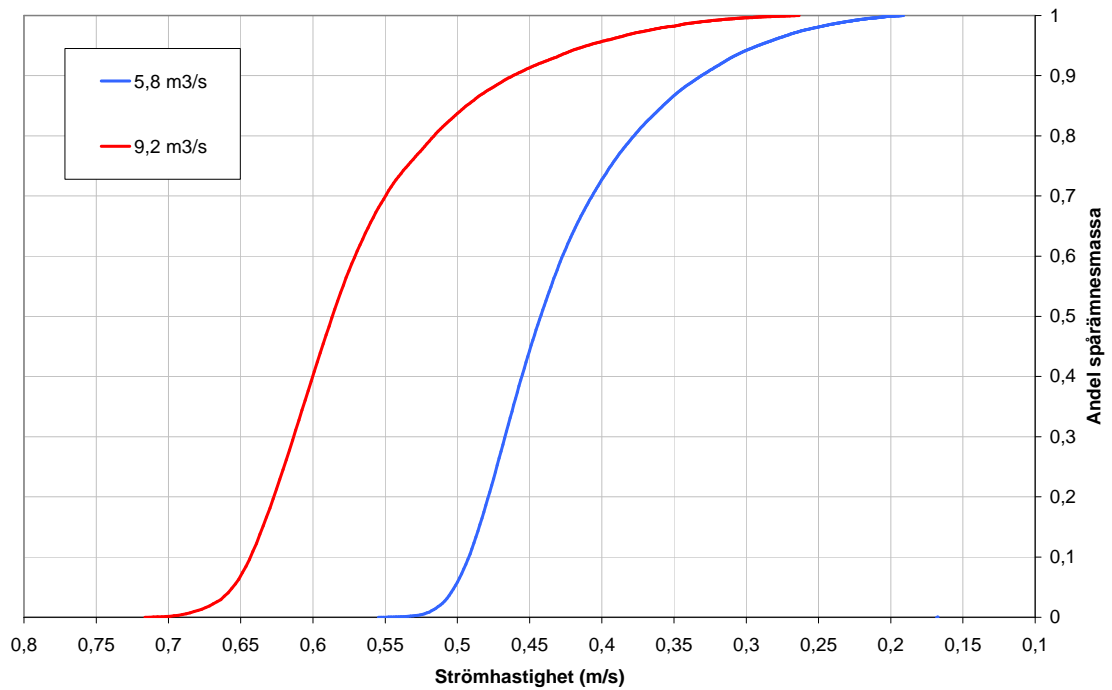
Figur 27. Koncentrationskurvor för spårämnet Rhodamin WT vid olika tappningar för mätpunkt W3 efter injektion vid INJ1, d.v.s. delsträcka 1.



Figur 28. Kumulativ hastighetsfördelning för olika tappningar i delsträcka 1.



Figur 29. Koncentrationskurvor för spårämnet Rhodamin WT vid olika tappningar för mätpunkt W8 efter injektion vid INJ2.



Figur 30. Kumulativ hastighetsfördelning för olika tappningar på i delsträcka 2.

Vattendragsbredd och den våta arean

Mätningarna av vattendragsbredd och djup delades upp i två delsträckor före analys för att skilja ut påverkan från Höljans flödestillskott. Det visade sig att skillnaden i bredd mellan delsträckorna var mycket liten, där medelbredden i den övre delsträckan ökade från 36 till 44 m i samband med flödesökning, medan medelbredden i den nedre delsträckan ökade från 35 till 45 m. Standardavvikelsen är 7-9 m i den övre delsträckan, 6-7 m i den nedre delsträckan, vilket bekräftar bilden av en homogenare geometri i sträckans nedre delar (tabeller 7-8).

Det fanns tydliga skillnader i hur stor del av vattendragets bredd som påverkades av uppstickande stenblock utmed torrfåran. Torrfåran nedströms Höljan har en relativt jämn botten och saknar i allmänhet uppstickande stenblock. Vid flödet 2,9 m³/s hade endast 0-1% av bredden uppstickande stenblock i denna delsträcka (tabell 8), medan råheten var större uppströms Höljan där 0-35% av bredden hade uppstickande stenblock (tabell 7). Andelen vattendragsyta med uppstickande stenblock minskade generellt med ökad vattenföring (tabeller 7-8).

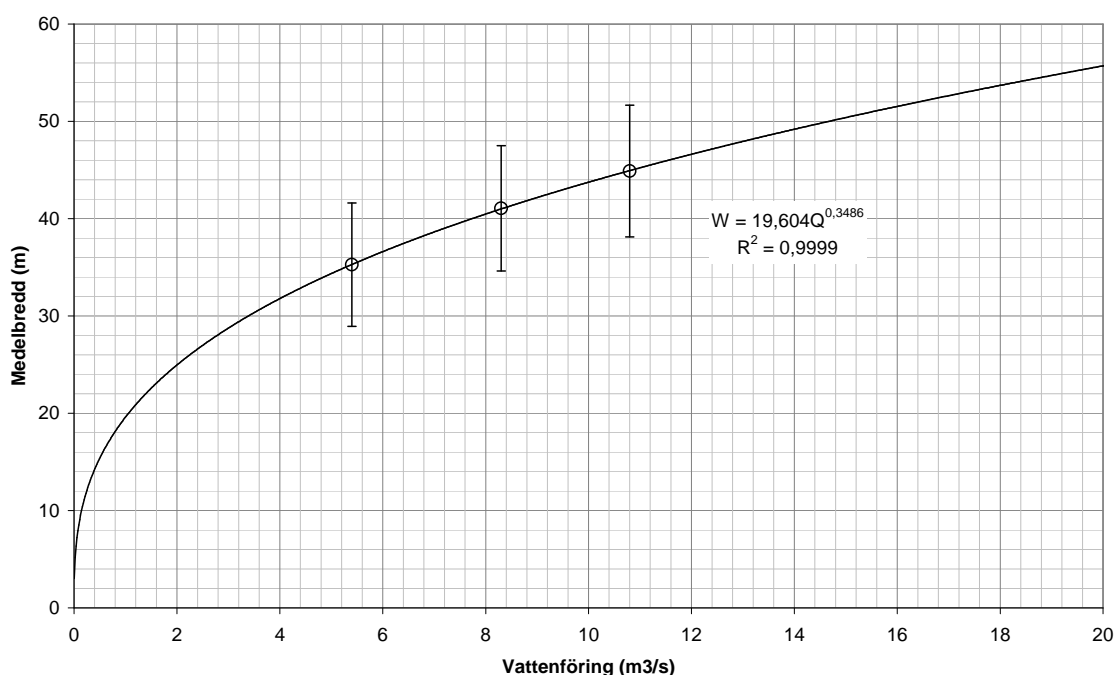
Tabell 7. Vattendragsbredd och bedömning av % uppstickande stenblock vid alla mätpunkter för 2,9 m³/s, 5,8 m³/s samt 9,2 m³/s, samt medelvärden och standardavvikelser för sträcka W1-W8.

Lokal	X	Y	2007-11-13 2,9 m ³ /s		2007-11-14 5,8 m ³ /s		2007-11-15 9,2 m ³ /s	
			Bredd vattenfylld fåra (m)	% sten	Bredd vattenfylld fåra (m)	% sten	Bredd vattenfylld fåra (m)	% sten
W1	6763131	1323382	39,3	20	40,6	10	42,1	5
A	6762839	1323447	30	10	33,9	5	38,1	5
W2	6762688	1323494	35,9	35	44	10	46,8	10
B	6762391	6762391	40,1	30	46	15	54,2	5
W3	6762272	1323572	28,5	10	35,6	10	44,2	5
C	6761761	1323529	57,5	50	59	35	60	20
W4	6761553	1323464	35,4	15	37,12	15	39,4	10
D	6761315	1323448	34,5	5	35	5	38,65	5
W5	6761249	1323448	46	10	50	5	54	2
E	6760864	1323282	40,1	0	41,5	1	43,8	0
W6	6760750	1323307	29	5	33	0	42,5	5
F	6760634	1323332	31,5	5	33,5	5	36,85	0
W7	6760399	1323228	20	10	28	20	31,13	10
G	6760280	1323178	40	0	41,5	0	43,55	0
W8	6760153	1323143	35,5	5	36,7	1	40,7	1
Medel			36,2	14,0	39,7	9,1	43,7	5,5
Stdav			8,6	14,2	7,8	9,4	7,5	5,3

Tabell 8. Vattendragsbredd och bedömning av % uppstickande stenblock vid alla mätpunkter för 2,9 m³/s, 5,8 m³/s samt 9,2 m³/s, samt medelvärden och standardavvikelser för sträcka H-J.

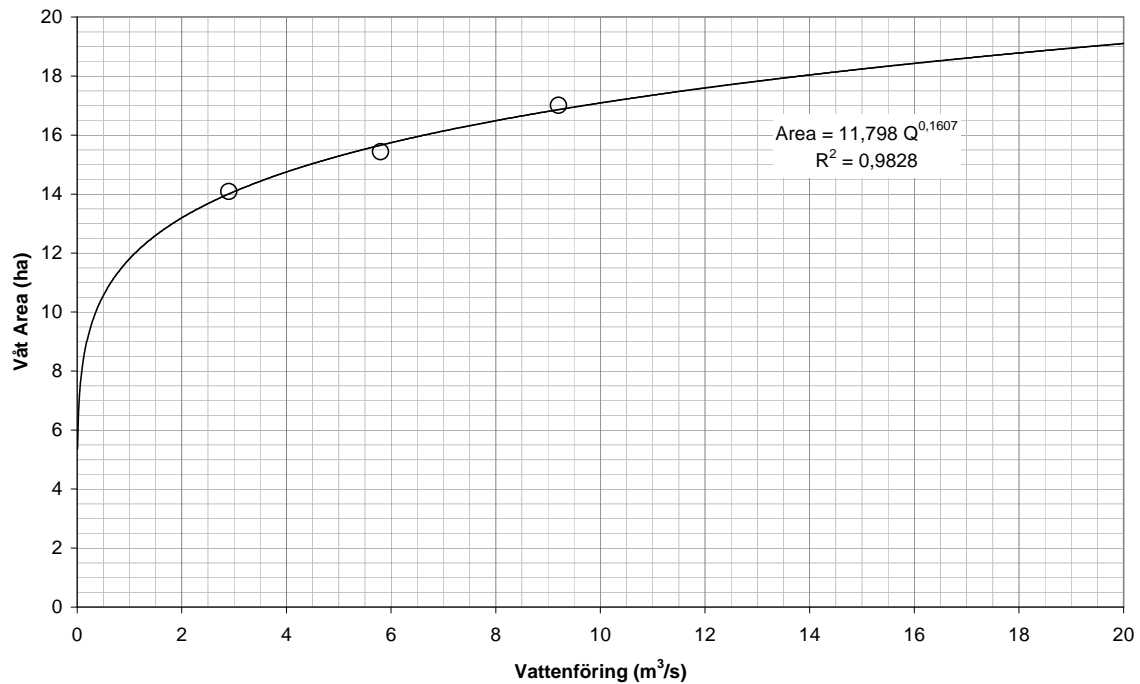
Lokal	X	Y	2007-11-13 2,9 m ³ /s		2007-11-14 5,8 m ³ /s		2007-11-15 9,2 m ³ /s	
			Bredd vattenfylld fåra (m)	% sten	Bredd vattenfylld fåra (m)	% sten	X	Y
H	6759585	1323475	26,4	0	31,8	0	35,78	0
W9	6759254	1324090	40	1	45,5	0	48,89	0
I	6759094	1324187	38,2	0	44	0	50,52	0
W10	6758933	1324234	40,9	0	47	0	49,7	0
J	6758597	1324585	30,9	0	37	0	39,54	0
Medel			35,3	0,2	41,1	0,0	44,9	0,0
Stdav			6,3	0,4	6,4	0,0	6,8	0,0

Medelbredden relaterades till vattenföringen genom att använda ekvation (3). I sträckan nedströms Höljan blev kurvanpassningen mycket bra (figur 31). Eftersom sträckan uppströms Höljan delats in i två delsträckor finns motsvarande diagram i figurer 35 och 38.

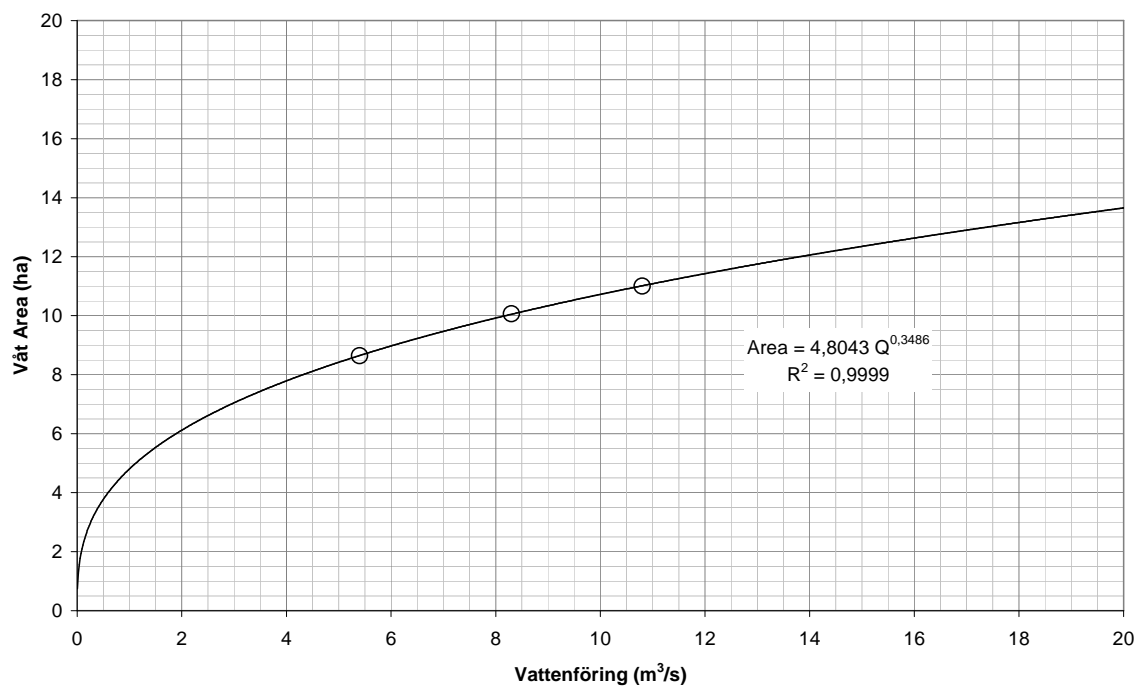


Figur 31. Medelbredd (inkl. uppstickande stenblock) i sträckan H-J, d.v.s. nedströms Höljans mynning, med kurvanpassning av ekvation (1). Felstaplarna visar standardavvikelsen av de observerade medelbredderna.

Eftersom endast flyfotografering från en provtappning genomfördes ($Q=9,2 \text{ m}^3/\text{s}$) så beräknades den våta arealen för de andra provtappningarna genom att anta samma förhållande mellan flygbaserad och landbaserad uppskattning av medelbredden.



Figur 32. Den våta arean i torråran uppströms Höljan uppskattat från flygbilder och landbaserade breddmätningar (cirklar) som funktion av flödet från dammen.



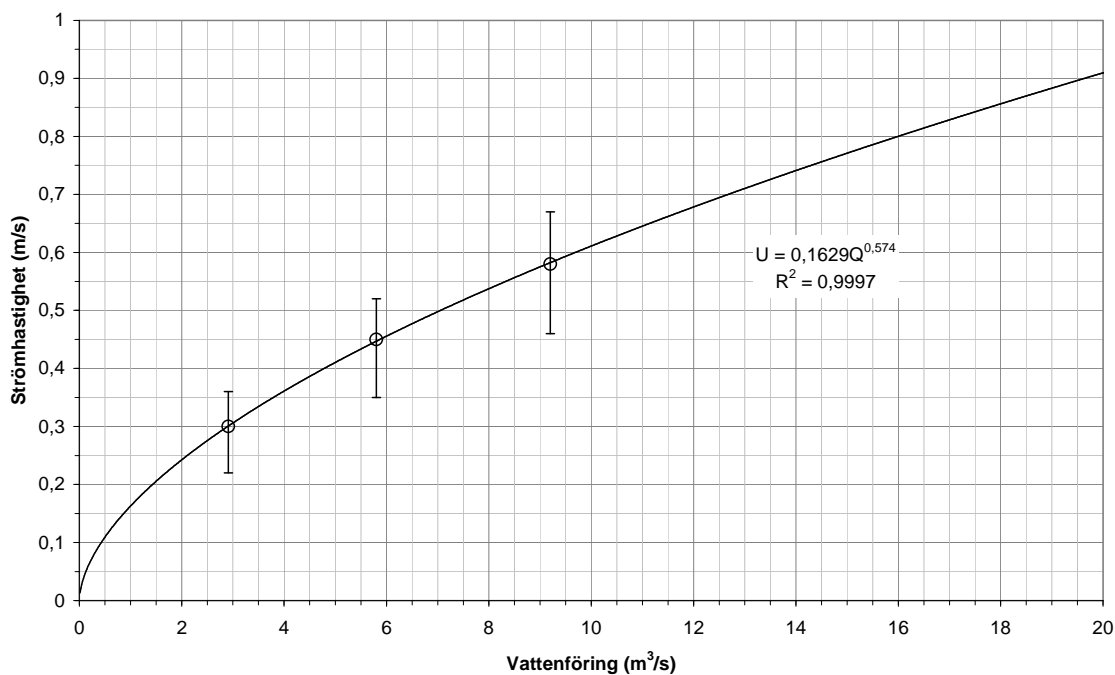
Figur 33. Den våta arean i torråran nedströms Höljan uppskattat från flygbilder och landbaserade breddmätningar (cirklar) som funktion av den totala vattenföringen i sträckan, d.v.s. summan av flödet från både Höljan och dammen.

Resultat från den hydrauliska modellen i delsträckorna

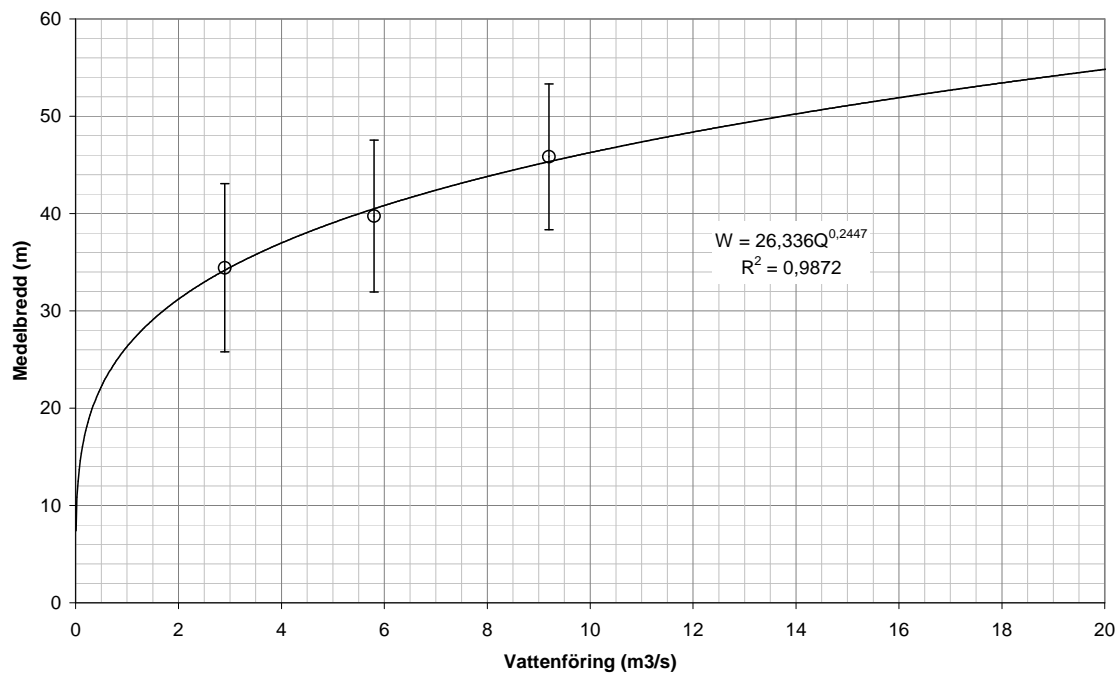
Genom att använda sambanden från hydraulisk geometri kunde strömhastighet, vattendragsbredd och djup relateras till vattenföringen i delsträckorna. Nyckeln till detta var att beräkna de okända faktorerna i funktionerna (3-5) genom att anpassa funktionerna till uppmätta värden. Eftersom vattendjupet inte kunde mätas på hela delsträckor användes ekvationerna (7-8) för att beräkna de okända faktorerna i funktion (4). Resultatet av denna analys finns sammanfattat i tabell 9 och i figurer 34-39.

Tabell 9. Funktioner som beskriver hur medelbredd, medeldjup och medelhastighet är relaterade till vattenföringen i de olika delsträckorna. Delsträckornas läge visas i figur 3.

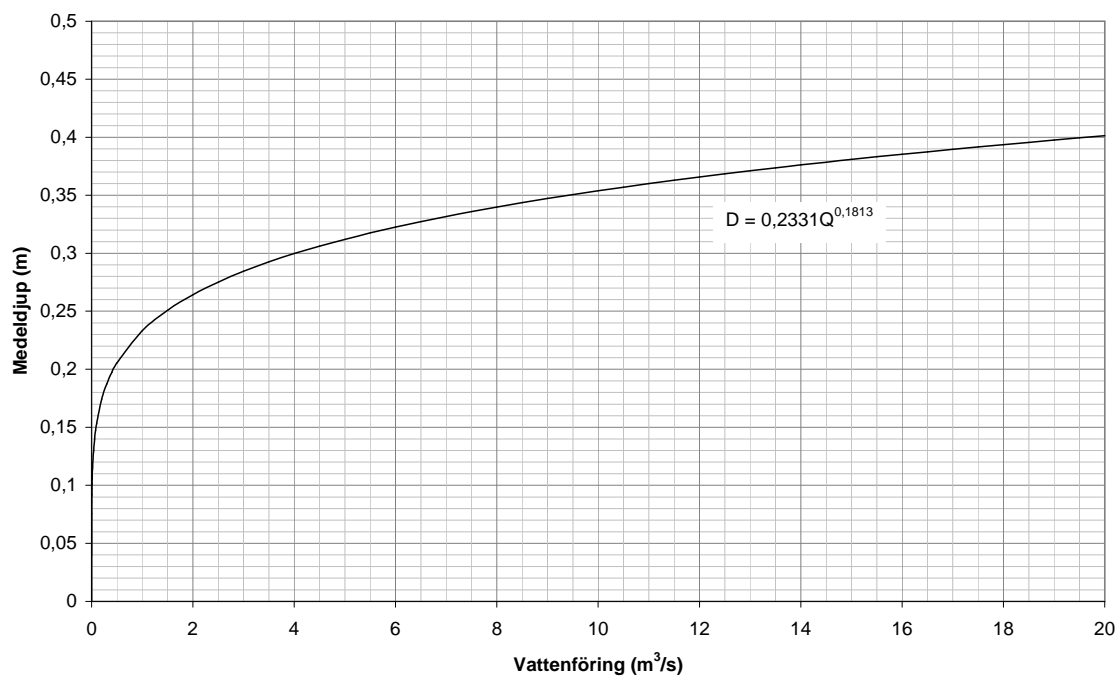
Variabel	Delsträcka 1	Delsträcka 2
Medelbredd	$W = 26,3 \cdot Q^{0,245}$	$W = 30,4 \cdot Q^{0,146}$
Medeldjup	$D = 0,233 \cdot Q^{0,181}$	$D = 0,229 \cdot Q^{0,218}$
Medelhastighet	$U = 0,163 \cdot Q^{0,574}$	$U = 0,144 \cdot Q^{0,636}$



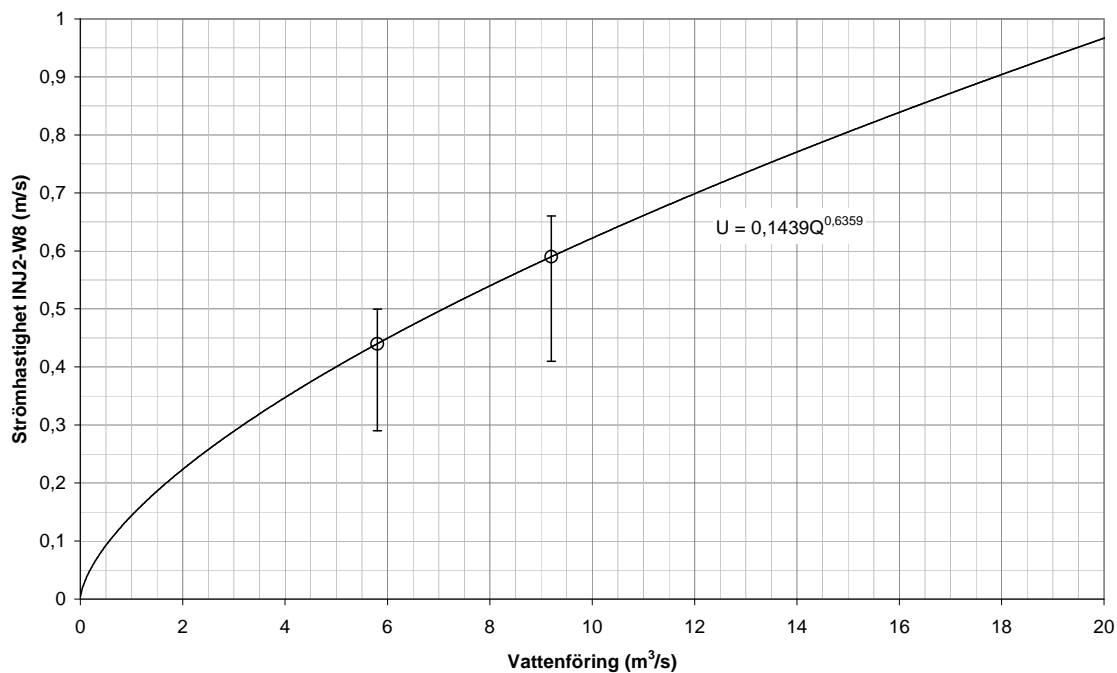
Figur 34. Medelhastigheten som funktion av vattenföringen i delsträcka 1. Observerade medelhastigheter betecknas med cirklar med vertikala staplar som visar max- och minihastigheter.



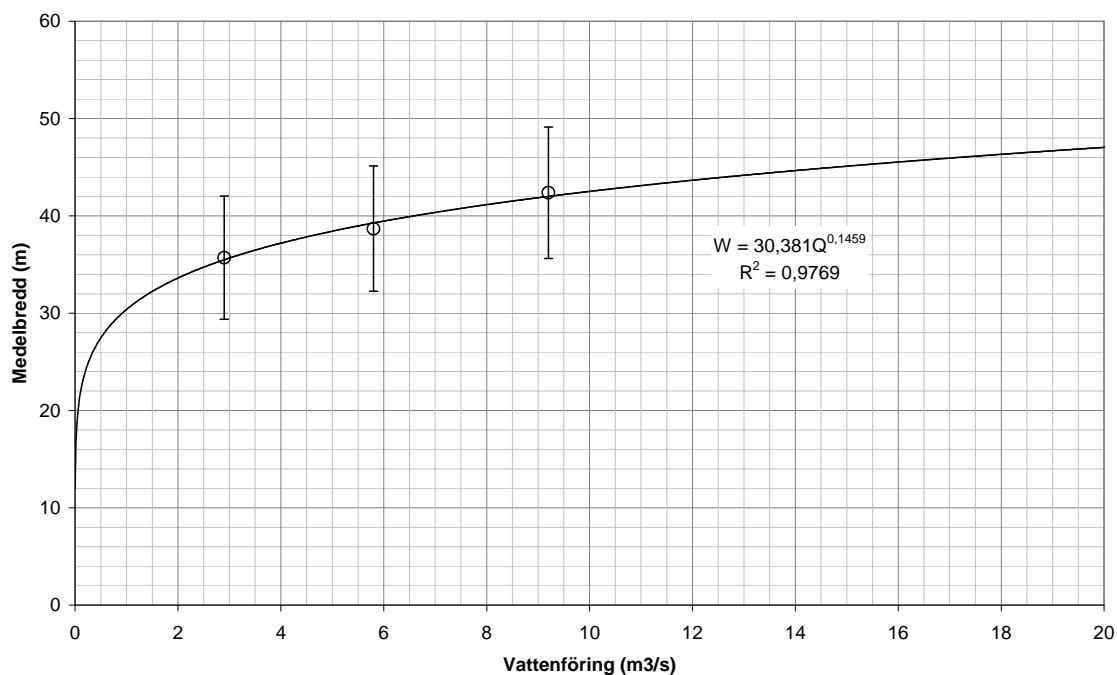
Figur 35. Vattenfårans medelbredd som funktion av vattenföringen på delsträcka 1. Observerade medelvärden av vattendragsbredd betecknas som cirklar med felstaplar som anger standardavvikelser av medelvärdena.



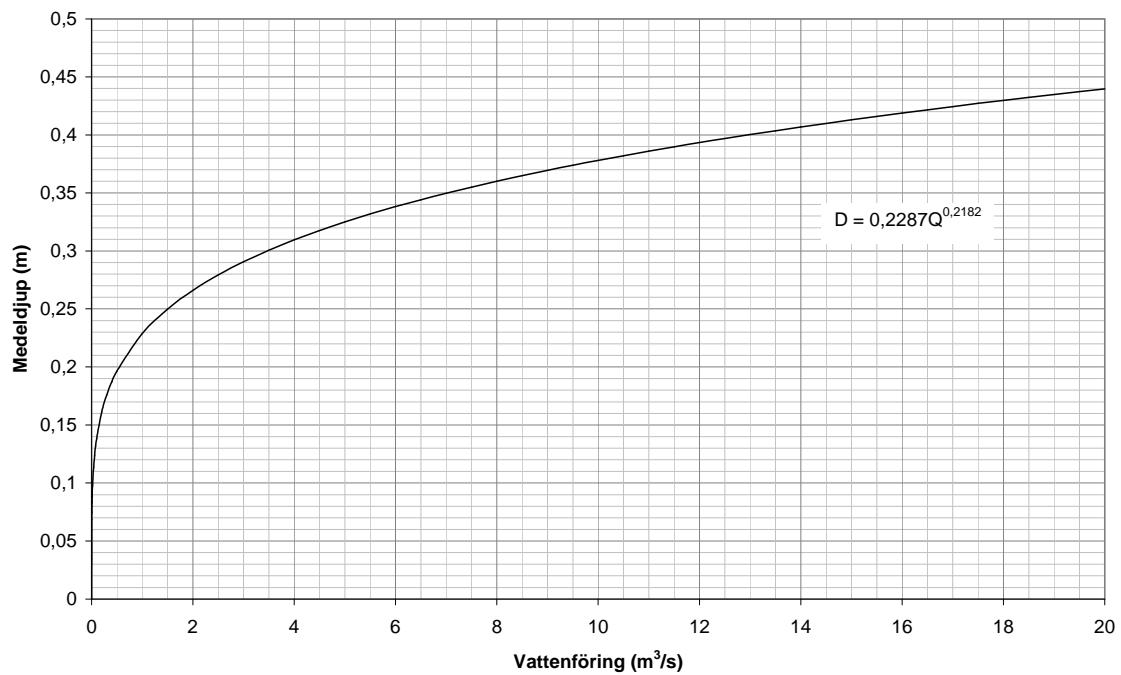
Figur 36. Vattendragets medeldjup som funktion av vattenföringen i delsträcka 1.



Figur 37. Medelhastigheten som funktion av vattenföringen i delsträcka 2. Observerade medelhastigheter betecknas med cirklar med vertikala staplar som visar max- och minihastigheter.



Figur 38. Vattenfårans medelbredd som funktion av vattenföringen på delsträcka 2. Observerade medelvärden av vattendragsbredd betecknas som cirklar med felstaplar som anger standardavvikelser av medelvärdena.



Figur 39. Vattendragets medeldjup som funktion av vattenföringen i delsträcka 2.

Diskussion och slutsatser

Hur stor är den våta arean vid olika tappningar?

I beräkningen av den våta arean antas medellågvattenföring (MLQ) i Höljan. Detta görs med anledning av att den minsta vattendragsytan under året i någon mening antas vara begränsande för den biologiska reproduktionen. Höljans MLQ har uppskattats till 0,4 m³/s genom jämförelse med liknande närliggande områden. Främst har uppskattningen utgått från flödesstatistik från SMHI:s mätstation i Grea, Mangslidälven, ca 40 km söder om Höljans mynning i Klarälven. SMHI har utgått från MLQ i Grea (0,5 m³/s) och gjort justeringar baserat på skillnader i area och andel sjöyta i avrinningsområdena.

Tabell 10. Beräknad våta yta vid olika tappningar från dammen och medellågvattenföring i Höljan.

Delsträcka	Tappning från Höljesdammen			
	0 m ³ /s	2,5 m ³ /s	5 m ³ /s	7,5 m ³ /s
Uppstr. Höljan	0 ha*	13,7 ha	15,3 ha	16,3 ha
Nedstr. Höljan	3,5 ha	7,0 ha	8,6 ha	9,9 ha
Hela sträckan	3,5 ha	20,6 ha	23,9 ha	26,2 ha

*Isolerade stillastående vattensamlingar har uteslutits.

För att uppskatta den våta arean för en godtycklig tappning från dammen bör man känna till flödestillskottet från Höljan eftersom den påverkar den våta ytan i den nedre delen av torrfåran. Är flödet i Höljan känt så kan sambanden i figurer 32-33 användas. Sambandet i figur 33 ger den våta arean för torrfåran nedströms Höljan, och den kurvanpassade ekvationen innehåller den totala vattenföringen i sträckan, Q . Denna vattenföring kan delas upp i bidraget från Höljan, $Q_{Höljan}$, samt bidraget från dammen, Q_{Damm} . Totala arean för hela sträckan (från dammen till sammanflödet med kraftverkstunneln) blir då:

$$Area = \underbrace{11,798 \cdot Q_{Damm}^{0,1607}}_{\text{Area uppströms Höljan (från figur 32)}} + \underbrace{4,804 \cdot (Q_{Höljan} + Q_{Damm})^{0,3486}}_{\text{Area nedströms Höljan (från figur 33)}} \quad (9)$$

Möjligtvis kan en liten del av den totala arean även påverkas av vattenföringen genom kraftverket, eftersom denna kan påverka vattenståndet i den nedersta delen av torrfåran. Det är svårt att avgöra hur stor denna påverkan kan vara men effekten är troligtvis endast kännbar ett hundratal meter uppströms sammanflödet med kraftverkstunneln eftersom gradienten är relativt stor i sträckan (figur 16, medellutning=0,3%). Inför provtappningarna 2007-11-12 uppmättes en vattenföring av 60 m³/s vid vägbron i Höljes samhälle nedströms sammanflödet med kraftverkstunneln.

Dessa matematiska samband bortser från de isolerade samlingar med stillastående vatten som finns i torrfåran då inget vatten tappas från dammen. Dessa vattenytor beror av lokal tillrinning och uttrycker grundvattenytans läge i den omgivande terrängen.

Hur stor är medelbredden vid olika tappningar?

Vid liten tappning från dammen är medelbredden faktiskt större uppströms än nedströms Höljan, trots att vattenföringen ökar efter bidrag från Höljan (tabell 11). Detta beror sannolikt på att bottensedimenten uppströms Höljan är grövre och orsakar större dämningseffekt än de finare substraten nedströms Höljan. Dessutom har man gjort vissa justeringar av djupfåran nedströms Höljan för att koncentrera vattenströmmen under lågflöden.

Tabell 11. Beräknad medelbredd vid olika tappningar från dammen och medellågvattenföring i Höljan. Medelvärde för hela sträckan har beräknats genom att vikta medelvärdet för varje delsträcka med delsträckans längd. Delsträckornas läge visas i figur 3.

Delsträcka	Tappning från Höljesdammen			
	0 m ³ /s	2,5 m ³ /s	5 m ³ /s	7,5 m ³ /s
1	0 m*	32,9 m	39,0 m	43,1 m
2	0 m*	34,8 m	38,4 m	40,8 m
Nedstr. Höljan	14,2 m	28,4 m	35,3 m	40,3 m
Hela sträckan	-	32,1 m	37,5 m	41,3 m

*Isolerade stillastående vattensamlingar har uteslutits.

Man kan utgå från uttrycken i tabell 9 samt i figur 31 för att uppskatta medelbredden i de olika delsträckorna för en godtycklig vattenföring.

Hur stort är medeldjupet vid olika tappningar?

Medeldjupet för delsträcka 1 och 2 har beräknats för olika vattenföringar utifrån sambanden för hydraulisk geometri, d.v.s. ur sambanden mellan vattenföring, strömhastighet, bredd och djup som finns beskrivna i tabell 9. Dessa samband kan användas för att uppskatta medeldjupet vid en godtycklig vattenföring.

Tabell 12. Beräknat medeldjup vid olika tappningar från dammen. Delsträckornas läge visas i figur 3.

Delsträcka	Tappning från Höljesdammen			
	0 m ³ /s	2,5 m ³ /s	5 m ³ /s	7,5 m ³ /s
1	0 m*	0,28 m	0,31 m	0,34 m
2	0 m*	0,28 m	0,33 m	0,36 m
Nedstr. Höljan	-	-	-	-

*Isolerade stillastående vattensamlingar har uteslutits.

Vad är anledningen till att vattenståndet ökar betydligt mer än medeldjupet när tappningen från dammen ökar?

Vattenståndet ökade med i genomsnitt 10-12 cm för varje ökad tappning från dammen (tabell 1), medan medeldjupet endast ökade med 3-4 cm. Anledningen till skillnaden är de strandområden som översvämmas vid ökad tappning, vilket medför att ökningen i medeldjupet blir mindre än ökningen i vattenstånd. Den översvämmade strandytan som

tillkommer när vattenståndet ökar är grund och drar ner medeldjupet. En överslagsräkning visade att resultaten överensstämmer med varandra om man räknar med denna faktor.

Hur stor är vattnets medelhastighet vid olika tappningar?

Medelhastigheten mättes med spårämnesförsök i delsträcka 1 och 2 och beräknades som delsträckans längd dividerat med transporttiden för hälften av spårämnets totala massa (se ekvation 2). Uttrycken i tabell 9 samt figurer 34 och 37 beskriver hur medelhastigheten varierar med vattenföringen och kan användas för att uppskatta medelhastigheten för olika tappningar från dammen (se exempel nedan i tabell 13).

Tabell 13. Beräknad medelhastighet i delsträckorna vid olika tappningar från dammen. Delsträckornas läge visas i figur 3.

Delsträcka	Tappning från Höljesdammen			
	0 m ³ /s	2,5 m ³ /s	5 m ³ /s	7,5 m ³ /s
1	0 m/s	0,28 m/s	0,41 m/s	0,52 m/s
2	0 m/s	0,26 m/s	0,40 m/s	0,52 m/s
Nedstr. Höljan	-	-	-	-

Varför stiger strömshastigheten så snabbt med flödet?

Av de relationer som beskriver vattendragets hydrauliska geometri syns att hastigheten ökar snabbast med flödet, medan fårans bredd och djup ökar betydligt långsammare (figur 34-39). Stewardson (2005) analyserade 17 olika naturliga vattendragssträckor och rapporterade att exponenten för hastighetsfunktionen, m , hade ett medelvärde på 0,52. Detta ska jämföras med $m=0,57$ respektive $m=0,64$ för sträckorna som analyserades i denna studie, vilka alltså ligger i närheten av Stewardsons medeltal. Generellt sett så är exponenten för hastighetsfunktionen oftast högre än motsvarande exponenter för bredd och djup, och det har naturliga orsaker där bl.a. erosionsbenägenheten spelar en viktig roll.

Hur förändras spridningen i strömshastighet med ökad tappning från dammen?

Spridningsprocessen, d.v.s. dispersionen, drivs till stor del av skillnader i vattenhastighet. När flödet ökar så ökar gradienten mellan långsamma vattenströmmar nära botten/strandzonen och snabba vattenströmmar i huvudfårans mittdel, och detta medför att dispersionen ökar. Ett mått på denna spridning i hastighet är skillnaden mellan min- och maxhastighet, d.v.s. $v_{5}-v_{95}$. (tabeller 5-6), vilket ökar från 0,14 m/s till 0,21 m/s när flödet ökar från 2,9 m³/s till 9,2 m³/s i delsträcka 1.

Hur förändrades hydrauliken lokalt vid stigande flöde?

Som förväntat ökade både vattendjup och strömshastighet i kvadrattytorna vid stigande flöde. De genomsnittliga strömshastigheterna ökade i regel med 81-96% från lägsta till högsta provtappning, förutom i kvadratyta W8 där ökningen var hela 168%. Medeldjupet ökade i regel från 79-86% från lägsta till högsta provtappning, med undantag från kvadratyta W4 där ökningen endast var 30%.

Vissa kvadrattytor var betydligt mer heterogena än andra, vilket återspeglas av de uppmätta standardavvikelsena för djup och hastighet (tabeller 2-3). För lokaler med hög genomströmning, d.v.s. centralt placerade i strömfåran utan flödeshinder uppströms eller nedströms, fanns ett tydligt omvänt proportionellt samband mellan djup och hastighet. En stor variation i djup medför här en stor variation i strömshastighet, och tvärtom.

Trots att det stundtals var svårt att genomföra flygelmätningarna på grund av höga strömhastigheter, framför allt under den högsta provtappningen, så påträffades superkritiskt flöde endast i två punkter (i kvadratytor W2 respektive W4) av totalt 375 uppmätta punkter (25 punkter i 5 kvadratytor vid 3 mättillfällen). Det högsta uppmätta Froude-talet var 1,48 och påträffades i kvadratyta W4 2007-11-15. De genomsnittliga Froude-talen höll sig väl under gränsen för kritiskt flöde ($Fr=1$) i alla kvadratytor (tabell 4).

Varför var flödena under provtappningen högre än planerat?

De tre flöden som provtappades visade sig alla överstiga de planerade flödena. Detta har sin förklaring i svårigheten att reglera små flöden med hög precision i det breda utskov som användes. Endast en centimeters skillnad i lucköppning förändrade flödet stort, och noggrannheten i givarna vid utskovet var inte tillräckligt hög för att med millimeterprecision kunna bestämma öppningsgraden (Fortum, personlig kommunikation). Eftersom undersökningens syfte var att kartlägga hur hydrauliska variabler i torråran varierar med vattenföringen har det ingen betydelse vilka exakta flödesnivåer som tappas. De matematiska sambanden påverkas inte av detta.



Figur 40. Flygbild från 2007-11-15 över sammanflödet mellan Klarälvens torråra (till höger) och Höljan (till vänster) under en tappning på $9,2 \text{ m}^3/\text{s}$ från dammen. Bilden visar en omfattande isbildning i Höljan medan torråran är isfri. Foto: Jan Tomperi.

Varför sjönk flödestillskottet från Höljan under den sista provtappningen, från $2,5 \text{ m}^3/\text{s}$ de föregående dagarna till $1,6 \text{ m}^3/\text{s}$ under 2007-11-15?

Det sista dygnet under provtappningen var mycket kallt i området med en morgontemperatur på -12°C . Troligtvis orsakade detta isbildning i många vattendrag med isproppar som periodvis dämmer vattenföringen. Höljan är ett relativt långt vattendrag med många tillrinnande bäckar. Från flygfotografier av Höljans nedre lopp 2007-11-15 kan man se att vattendraget är kraftigt nedisat (figur 40). Till skillnad från Höljan så skedde ingen större isbildning i torråran, och detta beror av att relativt varmt vatten tappades från

Höljesdammen. Isbildningen påverkar inte sambanden mellan hydraulik och vattenföring som presenterats i denna studie.

Kan man påverka de relationer som beskrivs av hydraulisk geometri?

Relationerna mellan hydrauliska variabler och vattenföringen bestäms av fårans morfologi, vilken i sin tur reflekterar torrfårans ursprungliga hydrologi. För att förändra detta förhållande måste torrfårans morfologi justeras. Flödesmotståndet i fåran kan ökas genom att placera ut strukturer som exempelvis stenblock och dödved som bromsar upp vattenströmmen. Flödesmotståndet kan även påverkas genom öppning av uppschaktade stenvallar utmed strömfåran samt utrivning av spegeldammen, vilket i sin tur påverkar sambanden mellan olika hydrauliska variabler (bredd, djup och strömhastighet) och vattenföringen.

Praktiska utvärderingar av miljöåtgärder i vattendrag i norra Sverige har visat att strömhastigheten minskar till förmån för ökad bredd och djup (Nilsson m.fl., 2005, 2007). Om sådana åtgärder genomförs i Höljes bör man bland annat ta hänsyn till att även betydligt högre flöden ibland tappas ur dammen. En rumsligt fördelad hydraulisk modell skulle kunna användas för att på förhand utvärdera effekter av olika åtgärder. En sådan modell kan även användas för att studera hur de hydrauliska variablerna varierar rumsligt i torrfåran, t.ex. visa hur strömhastighet och djup skiljer sig mellan fårans mitt och ytterområden.

Referenser

Gordon, N.D., McMahon, T.A. and Finlayson B.L., 1992. *Stream hydrology. An introduction for ecologists*. Wiley.

Kuhlin, L., 2008. En sammanställning av vattenkraften i Sverige på Internet, www.kuhlins.com

Leopold, L.B., & Maddock, T., 1953. The hydraulic geometry of stream channels and some physiographic implications". United States Geological Survey, 1-57.

Leopold, L.B., Wolman, M.G. & Miller J.P., 1964. *Fluvial processes in geomorphology*. Dover publications, Inc.

Nilsson, C. (red.), 2007. Återställning av älvar som använts för flottning – en vägledning för restaurering. *Naturvårdsverkets Rapport 5649*.

Nilsson C, Lepori F, Malmqvist B, Tornlund E, Hjerdt N, Helfield JM, Palm D, Ostergren J, Jansson R, Brannas E, Lundqvist H, 2005. Forecasting environmental responses to restoration of rivers used as log floatways: An interdisciplinary challenge. *Ecosystems* 8 (7): 779-800

Oberg K. & Mueller D.S., 2007. Validation of Streamflow Measurements Made with Acoustic Doppler Current Profilers.

RD Instruments, 1996. Acoustic Doppler Current Profiler Principles of Operation: A Practical Primer, Second edition.

Stewardson M., 2005. Hydraulic geometry of stream reaches. *Journal of Hydrology* 306: 97-111.

Appendix: Fotobilaga



Figur A1. Bilder fotograferade i uppströms riktning från lokal W1 under $2,9 \text{ m}^3/\text{s}$ (övre), $5,8 \text{ m}^3/\text{s}$ (mitten) och $9,2 \text{ m}^3/\text{s}$ (nedre). Foto: Jan Tomperi



Figur A2. Bilder fotograferade rakt över fåran vid lokal W2 under $2,9 \text{ m}^3/\text{s}$ (övre), $5,8 \text{ m}^3/\text{s}$ (mitten) och $9,2 \text{ m}^3/\text{s}$ (nedre). Foto: Jan Tomperi



Figur A3. Bilder fotograferade i uppströms riktning från lokal W3 under $2,9 \text{ m}^3/\text{s}$ (övre), $5,8 \text{ m}^3/\text{s}$ (mitten) och $9,2 \text{ m}^3/\text{s}$ (nedre). Foto: Jan Tomperi



Figur A4. Bilder fotograferade i uppströms riktning från lokal W4 under $2,9 \text{ m}^3/\text{s}$ (övre), $5,8 \text{ m}^3/\text{s}$ (mitten) och $9,2 \text{ m}^3/\text{s}$ (nedre). Foto: Jan Tomperi



Figur A5. Bilder fotograferade i uppströms riktning från lokal W6 under $2,9 \text{ m}^3/\text{s}$ (övre), $5,8 \text{ m}^3/\text{s}$ (mitten) och $9,2 \text{ m}^3/\text{s}$ (nedre). Foto: Jan Tomperi



Figur A6. Bilder fotograferade i uppströms riktning från lokal W7 under $2,9 \text{ m}^3/\text{s}$ (övre), $5,8 \text{ m}^3/\text{s}$ (mitten) och $9,2 \text{ m}^3/\text{s}$ (nedre). Foto: Jan Tomperi



Figur A7. Bilder fotograferade i uppströms riktning från lokal W8 under $2,9 \text{ m}^3/\text{s}$ (övre), $5,8 \text{ m}^3/\text{s}$ (mitten) och $9,2 \text{ m}^3/\text{s}$ (nedre). Foto: Jan Tomperi



Figur A8. Bilder fotograferade i uppströms riktning från lokal W9 under $2,9 \text{ m}^3/\text{s}$ (övre), $5,8 \text{ m}^3/\text{s}$ (mitten) och $9,2 \text{ m}^3/\text{s}$ (nedre). Foto: Jan Tomperi



Figur A9. Bilder fotograferade i uppströms riktning från lokal W10 under $2,9 \text{ m}^3/\text{s}$ (övre), $5,8 \text{ m}^3/\text{s}$ (mitten) och $9,2 \text{ m}^3/\text{s}$ (nedre). Foto: Jan Tomperi



Figur A10. Bilder fotograferade i uppströms riktning från lokal W4 under $2,9 \text{ m}^3/\text{s}$ (övre), $5,8 \text{ m}^3/\text{s}$ (mitten) och $9,2 \text{ m}^3/\text{s}$ (nedre). Foto: Niclas Hjerdt



Figur A11. Översiktbild fotograferad från dammkrönet i nedströms riktning då vattenföringen i torråran var $2,9 \text{ m}^3/\text{s}$ (överst), $5,8 \text{ m}^3/\text{s}$ (mitten) och $9,2 \text{ m}^3/\text{s}$ (nederst). Foto: Niclas Hjerdt (överst) och Jan Tomperi (mitten och nederst).

SMHI ger ut sex rapportserier. Tre av dessa, R-serierna är avsedda för internationell publik och skrivs därför oftast på engelska. I de övriga serierna används det svenska språket.

Seriernas namn	Publiceras sedan
RMK (Rapport Meteorologi och Klimatologi)	1974
RH (Rapport Hydrologi)	1990
RO (Rapport Oceanografi)	1986
METEOROLOGI	1985
HYDROLOGI	1985
OCEANOGRAFI	1985

I serien HYDROLOGI har tidigare utgivits:

- 1 Bengt Carlsson (1985)
Hydrokemiska data från de svenska fältforskningsområdena.
- 2 Martin Häggström och Magnus Persson (1986)
Utvärdering av 1985 års vårflödesprognoser.
- 3 Sten Bergström, Ulf Ehlin, SMHI, och Per-Eric Ohlsson, VASO (1986)
Riktlinjer och praxis vid dimensionering av utskov och dammar i USA. Rapport från en studieresa i oktober 1985.
- 4 Barbro Johansson, Erland Bergstrand och Torbjörn Jutman (1986)
Skåneprojektet - Hydrologisk och oceanografisk information för vattenplanering - Ett pilotprojekt.
- 5 Martin Häggström (1986)
Översiktlig sammanställning av den geografiska fördelningen av skador främst på dammar i samband med septemberflödet 1985.
- 6 Barbro Johansson (1986)
Vattenföringsberäkningar i Södermanlands län - ett försöksprojekt.
- 7 Maja Brandt (1986)
Areella snöstudier.
- 8 Bengt Carlsson, Sten Bergström, Maja Brandt och Göran Lindström (1987)
PULS-modellen: Struktur och tillämpningar.
- 9 Lennart Funkquist (1987)
Numerisk beräkning av vågor i kraftverksdammar.
- 10 Barbro Johansson, Magnus Persson, Enrique Aranibar and Robert Llobet (1987)
Application of the HBV model to Bolivian basins.
- 11 Cecilia Ambjörn, Enrique Aranibar and Roberto Llobet (1987)
Monthly streamflow simulation in Bolivian basins with a stochastic model.
- 12 Kurt Ehlert, Torbjörn Lindkvist och Todor Milanov (1987)
De svenska huvudvattendragens namn och mynningspunkter.
- 13 Göran Lindström (1987)
Analys av avrinningsserier för uppskattning av effektivt regn.
- 14 Maja Brandt, Sten Bergström, Marie Gardelin och Göran Lindström (1987)
Modellberäkning av extrem effektiv nederbörd.
- 15 Håkan Danielsson och Torbjörn Lindkvist (1987)
Sjökarte- och sjöuppgifter. Register 1987.
- 16 Martin Häggström och Magnus Persson (1987)
Utvärdering av 1986 års vårflödesprognoser.

- 17 Bertil Eriksson, Barbro Johansson, Katarina Losjö och Haldo Vedin (1987)
Skogsskador - klimat.
- 18 Maja Brandt (1987)
Bestämning av optimalt klimatstationsnät för hydrologiska prognoser.
- 19 Martin Häggström och Magnus Persson (1988)
Utvärdering av 1987 års vårflödesprognoser.
- 20 Todor Milanov (1988)
Frysförluster av vatten.
- 21 Martin Häggström, Göran Lindström, Luz Amelia Sandoval and Maria Elvira Vega (1988)
Application of the HBV model to the upper Río Cauca basin.
- 22 Mats Moberg och Maja Brandt (1988)
Snökartläggning med satellitdata i Kultsjöns avrinningsområde.
- 23 Martin Gotthardsson och Sten Lindell (1989)
Hydrologiska stationsnät 1989. Svenskt Vattenarkiv.
- 24 Martin Häggström, Göran Lindström, Luz Amelia Sandoval y Maria Elvira Vega (1989)
Aplicacion del modelo HBV a la cuenca superior del Río Cauca.
- 25 Gun Zachrisson (1989)
Svåra islossningar i Torneälven. Förslag till skadeförebyggande åtgärder.
- 26 Martin Häggström (1989)
Anpassning av HBV-modellen till Torneälven.
- 27 Martin Häggström and Göran Lindström (1990)
Application of the HBV model for flood forecasting in six Central American rivers.
- 28 Sten Bergström (1990)
Parametervärden för HBV-modellen i Sverige. Erfarenheter från modellkalibreringar under perioden 1975 - 1989.
- 29 Urban Svensson och Ingemar Holmström (1990)
Spridningsstudier i Glan.
- 30 Torbjörn Jutman (1991)
Analys av avrinningens trender i Sverige.
- 31 Mercedes Rodriguez, Barbro Johansson, Göran Lindström, Eduardo Planos y Alfredo Remont (1991)
Aplicacion del modelo HBV a la cuenca del Río Cauto en Cuba.
- 32 Erik Arnér (1991)
Simulering av vårflöden med HBV-modellen.
- 33 Maja Brandt (1991)
Snösmältning med georadar och snötaxeringar i övre Luleälven.
- 34 Bent Göransson, Maja Brandt och Hans Bertil Wittgren (1991)
Markläckage och vattendragstransport av kväve och fosfor i Roxen/Glan-systemet, Östergötland.
- 35 Ulf Ehlin och Per-Eric Ohlsson, VASO (1991)
Utbyggd hydrologisk prognos- och varningstjänst.
Rapport från studieresa i USA
1991-04-22--30.
- 36 Martin Gotthardsson, Pia Rystam och Sven-Erik Westman (1992)
Hydrologiska stationsnät 1992/Hydrological network. Svenskt Vattenarkiv.
- 37 Maja Brandt (1992)
Skogens inverkan på vattenbalansen.
- 38 Joakim Harlin, Göran Lindström, Mikael Sundby (SMHI) och Claes-Olof Brandesten (Vattenfall Hydropower AB) (1992)
Känslighetsanalys av Flödeskommitténs riktlinjer för dimensionering av hel älv.
- 39 Sten Lindell (1993)
Realtidsbestämning av arealnederbörd.
- 40 Svenskt Vattenarkiv (1995)
Vattenföring i Sverige. Del 1. Vattendrag till Bottenviken.
- 41 Svenskt Vattenarkiv (1995)
Vattenföring i Sverige. Del 2. Vattendrag till Bottenhavet.
- 42 Svenskt Vattenarkiv (1993)
Vattenföring i Sverige. Del 3. Vattendrag till Egentliga Östersjön.

- 43 Svenskt Vattenarkiv (1994)
Vattenföring i Sverige. Del 4. Vattendrag till Västerhavet.
- 44 Martin Häggström och Jörgen Sahlberg (1993)
Analys av snösmältningsförlopp.
- 45 Magnus Persson (1993)
Utnyttjande av temperaturrensens persistens vid beräkning av volymsprognoser med HBV-modellen.
- 46 Göran Lindström, Joakim Harlin och Judith Olofsson (1993)
Uppföljning av Flödeskommitténs riktlinjer.
- 47 Bengt Carlsson (1993)
Alkalinitets- och pH-förändringar i Ume-älven orsakade av minimitappning.
- 48 Håkan Sanner, Joakim Harlin and Magnus Persson (1994)
Application of the HBV model to the Upper Indus River for inflow forecasting to the Tarbela dam.
- 49 Maja Brandt, Torbjörn Jutman och Hans Alexandersson (1994)
Sveriges vattenbalans. Årsmedelvärden 1961 - 1990 av nederbörd, avdunstning och avrinning.
- 50 Svenskt Vattenarkiv (1994)
Avrinningsområden i Sverige. Del 3. Vattendrag till Egentliga Östersjön och Öresund.
- 51 Martin Gotthardsson (1994)
Svenskt Vattenarkiv. Översvämningskänsliga områden i Sverige.
- 52 Åsa Evremar (1994)
Avdunstningens höjdberoende i svenska fjällområden bestämd ur vattenbalans och med modellering.
- 53 Magnus Edström och Pia Rystam (1994)
FFO - Stationsnät för fältforskningsområden 1994.
- 54 Zhang Xingnan (1994)
A comparative study of the HBV model and development of an automatic calibration scheme.
- 55 Svenskt Vattenarkiv (1994)
Svenskt dammregister - Södra Sverige.
- 56 Svenskt Vattenarkiv (1995)
Svenskt dammregister - Norra Sverige.
- 57 Martin Häggström (1994)
Snökartering i svenska fjällområdet med NOAA-satellitbilder.
- 58 Hans Bertil Wittgren (1995)
Kvävetransport till Slätbaken från Söderköpingsåns avrinningsområde
- 59 Ola Pettersson (1995)
Vattenbalans för fältforskningsområden.
- 60 Barbro Johansson, Katarina Losjö, Nils Sjödin, Remigio Chikwanha and Joseph Merka (1995)
Assessment of surface water resources in the Manyame catchment - Zimbabwe.
- 61 Behzad Koucheki (1995)
Älvtemperaturers variationer i Sverige under en tioårsperiod.
- 62 Svenskt Vattenarkiv (1995)
Sänkta och torrlagda sjöar.
- 63 Malin Kanth (1995)
Hydrokemi i fältforskningsområden.
- 64 Mikael Sundby, Rikard Lidén, Nils Sjödin, Helmer Rodriguez, Enrique Aranibar (1995)
Hydrometeorological Monitoring and Modelling for Water Resources Development and Hydropower Optimisation in Bolivia.
- 65 Maja Brandt, Kurt Ehlert (1996)
Avrinningen från Sverige till omgivande hav.
- 66 Sten Lindell, Håkan Sanner, Irena Nikolushkina, Inita Stikute (1996)
Application of the integrated hydrological modelling system IHMS-HBV to pilot basin in Latvia
- 67 Sten Lindell, Bengt Carlsson, Håkan Sanner, Alvina Reihan, Rimma Vedom (1996)
Application of the integrated hydrological modelling system IHMS-HBV to pilot basin in Estonia
- 68 Sara Larsson, Rikard Lidén (1996)
Stationstäthet och hydrologiska prognoser.

- 69 Maja Brandt (1996)
Sedimenttransport i svenska vattendrag
exempel från 1967-1994.
- 70 Svenskt Vattenarkiv (1996)
Avrinningsområden i Sverige. Del 4.
Vattendrag till Västerhavet.
- 71 Svenskt Vattenarkiv (1996)
Svenskt sjöregister. 2 delar
- 72 Sten Lindell, Lars O Ericsson, Håkan Sanner,
Karin Göransson SMHI
Malgorzata Mierkiewicz , Andrzej
Kadlubowski, IMGW (1997)
Integrated Hydrological Monitoring and
Forecasting System for the Vistula River
Basin. Final report.
- 73 Maja Brandt, Gun Grahn (1998)
Avdunstning och avrinningskoefficient i
Sverige 1961-1990. Beräkningar med HBV-
modellen.
- 74 Anna Eklund (1998)
Vattentemperaturer i sjöar, sommar och vinter
- resultat från SMHIs mätningar.
- 75 Barbro Johansson, Magnus Edström, Katarina
Losjö och Sten Bergström (1998)
Analys och beräkning av
snösmältningförlopp.
- 76 Anna Eklund (1998)
Istjocklek på sjöar.
- 77 Björn Bringfelt (1998)
An evapotranspiration model using SYNOP
weather observations in the Penman-Monteith
equation
- 78 Svenskt Vattenarkiv (1998)
Avrinningsområden i Sverige. Del 2
Vattendrag till Bottenhavet.
- 79 Maja Brandt, Anna Eklund (1999)
Snöns vatteninnehåll Modellberäkningar
och statistik för Sverige
- 80 Bengt Carlsson (1999)
Some facts about the Torne and Kalix
River Basins.
A contribution to the NEWBALTIC II
workshop in Abisko June 1999.
- 81 Anna Eklund (1999)
Isläggning och islossning i svenska sjöar.
- 82 Svenskt Vattenarkiv (2000)
Avrinningsområden i Sverige. Del 1.
Vattendrag till Bottenviken.
- 83 Anna Eklund, Marie Gardelin, Anders
Lindroth (2000)
Vinteravdunstning i HBV-modellen -
jämförelse med mätdata
- 84 Göran Lindström, Mikael Ottosson Löfvenius
(2000)
Tjäle och avrinning i Svartberget – studier
med HBV-modellen
- 85 Bengt Carlsson och Göran Lindström (2001)
HBV-modellen och flödesprognoser
- 86 Josef Källgården (2001)
Snow distribution in a mountainous region.
A remote sensing study.
- 87 Johan Andréasson, Anders Gyllander, Barbro
Johansson, Josef Källgården, Sten Lindell,
Judith Olofsson, Angela Lundberg (2001)
Snötaxering med georadar - Bättre
vårflödesprognoser med HBV-modellen?
- 88 Deliang Chen, Barbro Johansson (2003)
Temperaturens höjdberoende – En studie i
Indalsälvens avrinningsområde.
- 89 Agne Lärke, Håkan Sanner, Anna Johnell
(2003)
Utvärdering av SMHI:s prognos- och
varningstjänsts verksamhet under flödena
januari t o m mars 2002 i sydvästra Sverige
- 90 Barbro Johansson, Johan Andreasson och
Johan Jansson (2003)
Satellite data on snow cover in the HBV
model. Method development and evaluation
- 91 Charlotta Pers (2003)
BIOLA – BIOgeochemical LAke Model
Manual
- 92 Carl Granström (2003)
Utvärdering av SMHIs prognos- och
varningstjänsts verksamhet under flödet i
området runt Emån juli 2003
- 93 Carl Granström (2003)
Modell för prognos av tidpunkt och karaktär
för islossningen i Torne älv.

- 94 Maja Brandt och Gun Grahn, SMHI. Erik Årnfelt och Niclas Bäckman, Länsstyrelsen Östergötland (2004) Anpassning av TRK-systemet från nationell till regional nivå samt scenarioräkningar för kväve – Tester för Motala Ström
- 95 Carl Granström (2004) Utvärdering av SMHIs hydrologiska prognos- och varningstjänst under flödet i södra Lappland juli 2004.
- 96 Carl Granström (2004) Utvärdering av SMHIs hydrologiska prognos- och varningstjänst under flödet i Småland juli 2004.
- 97 Carl Granström (2004) Utvärdering av SMHIs hydrologiska prognos- och varningstjänst under flödet i nordvästra Lappland juli 2004.
- 98 Tahsin Yacoub, Ylwa Westman, Håkan Sanner, Bernth Samuelsson (2005) Detaljerad översvämningskarta för Eskilstunaån. Ett projekt inom KRIS-GIS
- 99 Carl Granström (2005) Utvärdering av SMHIs hydrologiska prognos- och varningstjänst under vårfloden i fjällen juni 2005
- 100 Tahsin Yacoub , Håkan Sanner (2006) Vattenståndsprognoser baserade på översiktlig kartering. En fallstudie.
- 101 Göran Lindström (2006) Regional kalibrering av HBV-modellen
- 102 Kurt Ehlert (2006) Svenskt Vattendragsregister
- 103 Charlotta Pers (2007) HBV-NP Model Manual
- 104 Barbro Johansson, Göran Lindström, Jonas Olsson, Tahsin Yacoub, Günter Haase, Karin Jacobsson, Anna Johnell, Håkan Sanner (2007) Översvämningsprognoser i områden med ofullständiga data. Metodutveckling och utvärdering.
- 105 Carl Granström, Anna Johnell, Martin Häggström (2007) Utvärdering av SMHIs hydrologiska prognos- och varningstjänst under höga flöden i sydvästra Sverige - nov 2006 till jan 2007
- 106 Johan Andréasson, Sara-Sofia Hellström, Jörgen Rosberg, Sten Bergström (2007) Översiktlig kartpresentation av klimatförändringars påverkan på Sveriges vattentillgång - Underlag till Klimat- och sårbarhetsutredningen”
- 107 Berit Arheimer, Charlotta Pers (2007) Kväveretention i svenska sjöar och vattendrag – betydelse för utsläpp från reningsverk
- 108 Calle Granström, Martin Häggström, Sten Lindell, Judith Olofsson, Anna Eklund (2007) Utvärdering av SMHIs hydrologiska prognos- och varningstjänst under höga flöden i Götaland – juni och juli 2007



Länsstyrelsen
Värmland

Länsstyrelsen i Värmlands län
Våxnäsgatan 5, 651 86 Karlstad
054-19 70 00
www.s.lst.se