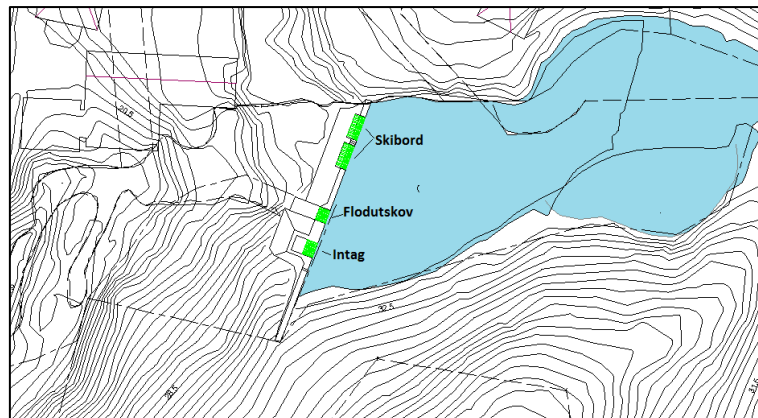


# Ålavledaren vid Vessige Kraftverk

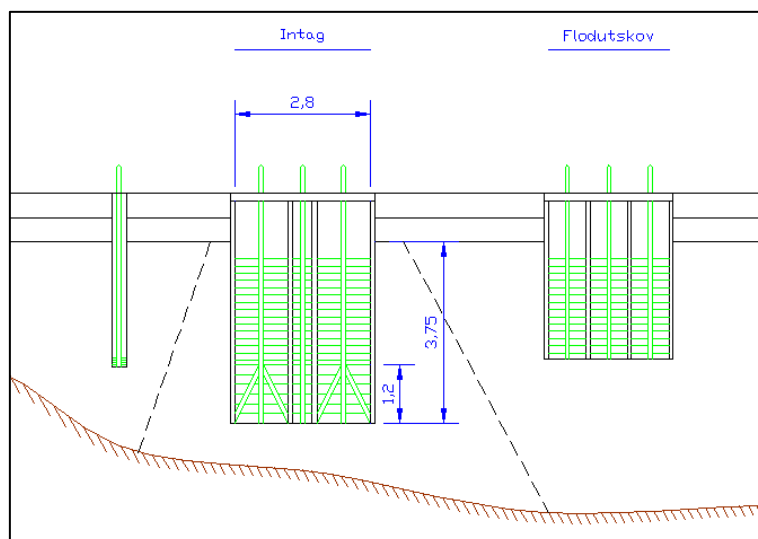
## Kraftverksdammen

Dambyggnaden vid Vessige kraftverk har fyra öppningar: två skibord, ett flodutskov och ett intag. Skiborden fungerar som bräddavlopp för dammen och underlättar regleringen av dammnivån när tillrinningen är större än kraftstationens slukförmåga. Vatten rinner över skiborden under 16 % av ett år. Flodutskovet, som är handmanövrerat, öppnas vid kraftigare högvatten. Vatten rinner genom flodutskovet under knappt 3 % av ett genomsnittligt år.



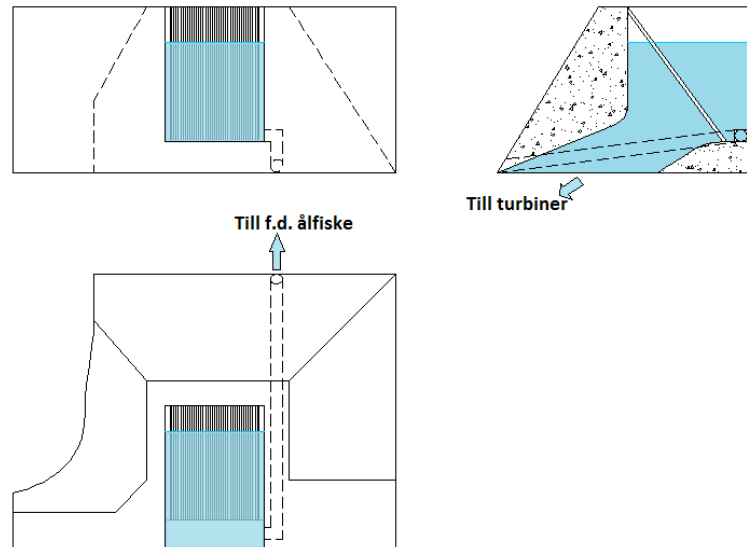
Figur 1: Kraftverksdammen i Vessigebro. Avbördningen av överskottsvatten sker med hjälp av två skibord och ett flodutskov. Vattnet leds från intaget till kraftstationen via en trätub (ej utritad).

Kraftverksintaget är dimensionerat för låga vattenhastigheter. Turbinernas sammanlagda slukförmåga är  $1,9 \text{ m}^3/\text{s}$ . Intagsluckans öppning under ytlänsen är enligt mått från figur 2  $3,4 \text{ m}^2$ , vilket betyder att genomsnittliga vattenhastigheten genom luckan är maximalt  $0,6 \text{ m/s}$ .



Figur 2: Medströmsvy över dambyggnaden vid intaget. Planken ovan lucköppningen fungerar som ytläns. Avståndet mellan intaget och flodutskovet är ca  $3,5 \text{ m}$ . Den smala luckan längst till vänster användes tidigare för att släppa fram vatten till en ålyngelledare.

Bakom intagsluckan finns en sump från vilken vatten leds ner i en tub och vidare ner till kraftstationen (fig. 3). Framför tuböppningen finns en fingrind med 18-20 mm spaltbredd. Grinden lutar 57° mot sumpens botten. Maximala vattenhastigheten in mot fingrinden är beroende av dammnivån. Nivån regleras så att fribordet håller sig mellan 0,68 och 1,28 m. Enligt fig. 2 befinner sig sumpens botten 3,75 m under dammkrönet, vilket betyder att vattnets tvärsnittarea i sumpen varierar mellan 6,9 och 8,6 m<sup>2</sup>. Maximala vattenhastigheten in mot fingrinden är således mindre än 0,3 m/s.



Figur 3: Kraftverksintaget. Medströmsvy (överst till vänster), genomskärning sett från vänster (överst till höger), vy från ovan (underst). Från intaget går ett 350 mm rör genom muren. Röret avledde tidigare vatten till ett fast ålfiske.

Fingrinden rensas automatiskt när fallförlusten över grinden är större än 5 cm.

Tidigare fanns ett ålfiske vid dammen. Fisket bedrevs genom att en lucka i intagssumpen öppnades varvid vatten leddes genom ett rör i dammkroppen ner till en ålkista vid dammtån. Småskaligt ålfiske är numera förbjudet och ålkistan revs under sommaren 2009.

## Erfarenhet av fiskdöd vid kraftverket

På grund av de låga vattenhastigheterna i kraftverksintaget är det mycket ovanligt att fisk fastnar mot fingrindarna. Mindre ålar klarar dock att pressa sig emellan gallren och simma ner i turbinerna. Löphjulen i kraftverkets turbiner är små och när en ål försöker simma igenom dem fastnar den med huvudet mellan två skovlar medan kroppen kläms fast mot skovlarna längs löphjulets ytterkant, se figur 4.



Figur 4: Ödet för en ål som försöker simma igenom kraftverkets turbiner. Trossen illustrerar hur en ål försökt simma igenom löphjulet men klämts fast av vattentrycket mot hjulets utsida.

Att ålen varken hackas, skivas eller mals, utan kläms till döds då den försöker passera någon av verkets turbiner, gör att turbindöden inte försiggår obemärkt. När ålen fastnar på utsidan av löphjulet uppstår ett osymmetriskt flöde genom turbinen. Detta orsakar dels vibrationer i turbinaxeln, dels en kraftig minskning av turbineffekten om 25 % eller mer. Detta påkallar rensning av turbinen. Att få bort en ål som fastnat i skovelhjulet är besvärligt. Vanligt skräp, till exempel löv och smågrenar, brukar lossna av den turbulens som uppstår i turbinen då den stoppas och återstartas. En ål kräver däremot manuell rensning eftersom den sugts fast mot löphjulet på nytt då turbinen återstartas. Rensningen går till så att en liten lucka öppnas på turbinens sug sida varefter ålen måste dras ut mellan två turbinblad för hand, ett arbete som kan vara både besvärligt och tidsödande.

Ålen är nattaktiv, vilket innebär att om den fastnar i verkets turbiner, så gör den det nattetid. Det betyder att turbinen går med de vibrationer som den fastklämda ålen orsakar i åtminstone ett par timmar innan felet upptäcks följande morgon. Vibrationer i turbinaxeln innebär ökat slitage på turbinens lager, vilket i sin tur förkortar tiden som turbinen kan gå utan att lagren behöver justeras. Att justera turbinlager är ett arbete som tar åtminstone en halv dag i anspråk.

Kort sagt innebär turbindödade ålar både produktionsbortfall och merarbete. Att hindra ålen från att gå ner i turbinerna har således varit en fråga för kraftverksägaren att lösa redan från verkets tidiga år.

I nuvarande ägarens, Vebro Industri, arkiv finns dagböcker över kraftverksdriften från sent 1930-tal fram till tidigt 1970-tal. Från 1950-talets sista år fram till sommaren 1960 finns anteckningar som tyder på ökad turbindödlighet och att allt större ålar plockades ut ur turbinerna. En tillfällig lösning på problemet tycks ha varit att öppna luckan till ålfisket vid intaget (jämför fig. 3).

**Figur 5: Noteringar om kraftverksdriften från 1950-talet. Det framgår bland annat att elnätet var synnerligen svagt med flera strömavbrott varje vecka.**

Sommaren 1960 blev situationen ohållbar. Den 29 augusti 1960 finns antecknat: "Stoppat kl. 1500. Turbinen skakade. Full med ål o pinnar. Varit nere och rengjort turbinen väl, många ålar o stora pinnar." Den 5 september uppges att nya grindar till dammen börjat tillverkas, den 12:e är de färdiga och den 15:e har de med stor möda fått på plats i intaget. Händelsen avslutas med en städning av turbinerna den 21 september: "Rengjort stora och lilla turbinen perfekt. ål, stenar o pinnar." Därefter finns inga anteckningar om turbindödade ålar, men å andra sidan blir det allt mera glest mellan noteringarna under 60-talet och 1972 upphör de helt.

Att öppna luckan till ålfisket vid de nätter ålen förväntades vandra var också den metod som användes de sista åren ålkistan stod kvar. Luckan öppnades i skymningen och stängdes följande morgon. Ålkistan tömdes och eventuell fångst fick simma ut i forsen. Erfarenheterna av denna metod var samma som under 1950-talet: de nätter ålfisket var öppet dog inga ålar i turbinerna.

En annan iakttagelse om turbindödligheten är kopplad till hur avbördningen av spillvatten går till. Ålen vandrar i synnerhet vid högvatten, varför vatten ofta spills vid sidan av turbinerna under ålvandringen. Erfarenheten har visat att när högvattnet är tillräckligt kraftigt för att luckor i flodutskovet måste dras, så dör inga ålar i turbinerna. Däremot har turbindöd inträffat när tillrinningen inte varit större än att skiborden räckt till för att avbörda överskottsvattnet.

Sammantaget pekar erfarenheterna på att fingaller i kombination med en flyktöppning i nära anslutning till gallret är tillräckligt för att turbindöd ska kunna undvikas. Det som skedde med intagsgallret mot slutet av 1950-talet var förstås att det började rosta sönder, vilket medförde allt större hål i gallret och därmed fler och allt större ålar i turbinerna. Episoden visar också på att det är troligt att ålen aktivt letar efter öppningar i gallret: hade ålen passivt sugits in genom gallret borde det inte ha funnits någon indikation på ökad dödlighet innan stora pinnar och stenar fastnade i turbinen.

Att dödligheten upphörde när ålfisket var i bruk visar att ålen hittar även till en öppning vid sidan av gallret. Att dödligheten upphörde även när flodutskovet stod öppet pekar möjligen på att ålen hittar till en öppning ett gott stycke från gallret. Alternativt verkar den högre vattenhastigheten ( $> 2$  m/s) genom flodutskovet lockande på vandrande ål. Att ålarna, åtminstone inte alla, inte hittar till skiborden, kan bero på att de ligger för långt ifrån intaget, eller på att vattenhastigheten över dem är för låg ( $< 1$  m/s) för att vara ett intressant alternativ.

### Ålpassage med hjälp av ålkistan

År 2008 utvärderades metoden att öppna luckan till ålfisket för att avleda ål från intaget. Luckan öppnades nattetid vid tillfällen med stigande vattenföring när ålen förväntades vara aktiv. Totalt fångades under perioden juni – oktober 135 ålar. Precis som tidigare erfarenheter visat, fastnade inga ålar i turbinerna när luckan till fisket stod öppen. Att öppna luckan enbart nätter med stigande vattenföring visade sig vara otillräckligt för att helt undvika dödlighet i turbinerna under perioden: under de nätter luckan var stängd fastnade totalt 22 ålar mot skovelhjulen. Dödligheten bland de ålar som sökte sig ut via intaget var alltså så hög som 14 %, vilket får anses vara oacceptabelt högt.

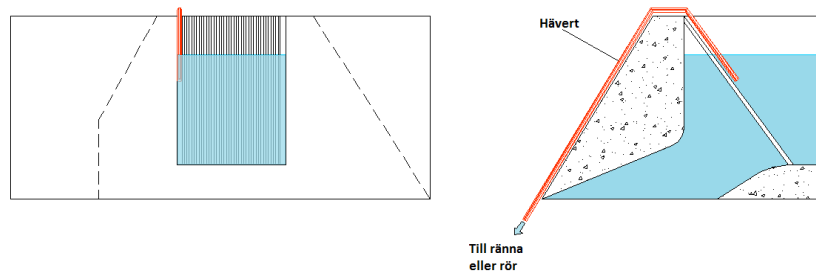
För att minska turbindödligheten ytterligare med hjälp av metoden med ålfisket, skulle det ha varit nödvändigt att hålla luckan öppen varje natt under vandringsäsongen. Eftersom ålfisket drog förhållandevis mycket vatten, cirka 130 l/s, skulle driften i kraftverket ha störts för mycket om luckan skulle ha stått öppen under alla sommar- och höstnätter.

Lucköppningen till ålfisket var 1 dm hög med en tvärsnittsarea om  $230 \text{ cm}^2$ . Vattenhastigheten genom öppningen var alltså så hög som 5,7 m/s. Eftersom det var känt sedan tidigare att ålen kunde hitta till en öppning med lägre vattenhastighet än så (jämför med det trasiga fingallret under 1950-talet i föregående avsnitt), var idén att ersätta öppningen med ett rör med en diameter som motsvarade lucköppningens höjd och att anpassa vattenhastigheten genom röret så att den blev lägre än 5,7 m/s. Rörets mindre tvärsnittsarea i kombination med den lägre hastigheten skulle naturligtvis innebära ett lägre flöde. Om idén fungerade skulle röret kunna avleda vatten – och förhoppningsvis även ål – under större delen av året, utan att kraftverksdriften stördes nämnvärt.

## Ålröret i teorin

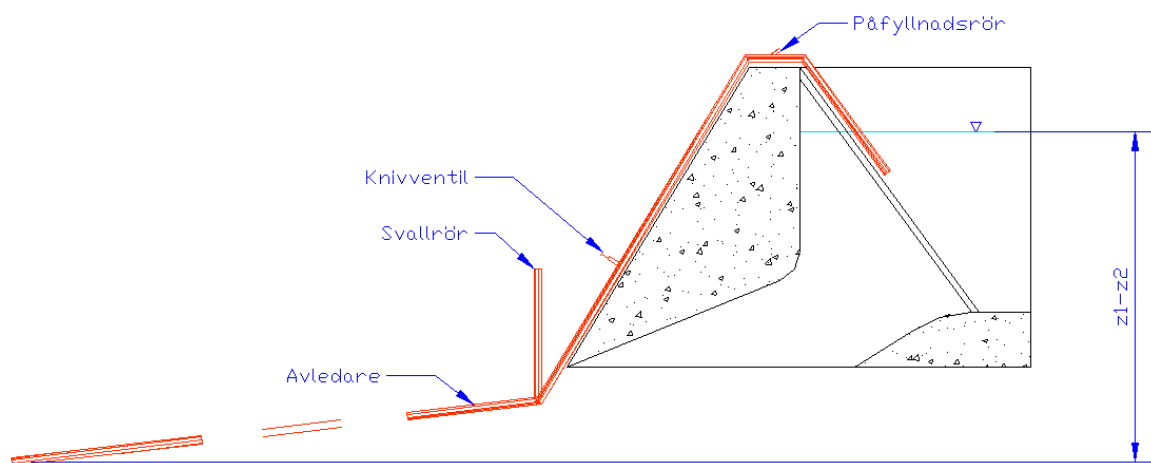
Den första tanken var att placera ett 110 mm standardrör i tilloppsröret till det gamla ålfisket (jämför med fig. 3). Idén övergavs eftersom den skulle ha inneburit en svårrensad rörkrök inuti dammuren.

Att borra upp ett dm-stort hål i dammuren framför fingrinden innan effektiviteten av ett rör undersökts var inget som övervägdes. Istället valdes en hävert över dammuren, se figur 6. Enda skillnaden, hydrauliskt sett, är att ett undertryck uppstår i hävertens högst belägna del. Undertrycket är dock inte så stort och den tryckvariationen eventuellt passerande fisk upplever, är inte så hastig att några skador bör kunna uppkomma av den anledningen.



Figur 6: För att avleda vatten från intaget används en hävert. Häverten består av ett 110-mm rör och är placerad som figuren visar. Inloppet till häverten är beläget drygt 6 dm under normala dammnivån.

Hävertens inlopp är riktat längs fingrinden ner mot intagssumpens botten. Häverten mynnar i forsen ett antal meter nedströms dammbyggnaden. Hävertens, eller ålrörets, olika delar framgår av figur 7.



Figur 7: Ålrörets olika delar. Vattnets drivs fram av nivåskillnaden,  $z_1 - z_2$ , mellan dammytan och hävertens mynning.

Vid start av ålröret stängs knivventilen och vatten fylls på genom påfyllnadsröret. När röret är fyllt ner till ventilen pluggas påfyllnadsröret varefter knivventilen dras. Därvid startar häverten och drivs sedan av nivåskillnaden mellan ytan i intaget och avledarens mynning.

Vid stopp av avledaren stängs knivventilen och det bortrusande vattnet ersätts med luft som sugts in genom svallröret. Svallröret är nödvändigt vid snabba stopp, eftersom trycket i avledaren annars skulle kunna falla så lågt att den förstördes.

För att beskriva hur ålröret fungerar används energiekvationen:

$$z_1 + h_1 + \alpha_1 \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + h_2 + \alpha_2 \frac{v_2^2}{2g} + h_L$$

Här betecknar index 1 förhållandena i intaget och index 2 förhållandena vid ålrörets mynning.  $z$  betecknar nivå,  $h$  tryck och  $v$  hastighet. Koefficienterna  $\alpha$  är beroende av typ av strömning som råder i rören, laminär eller turbulent.  $h_L$ , slutligen, betecknar fallförlusterna.

Förenklade antaganden:

- Atmosfärstryck vid intaget och avledarens mynning:  $h_1 = h_2$ .
- Turbulent strömning i rören:  $\alpha_1 = \alpha_2 \approx 1$
- Hastigheten vid intaget liten i förhållanden till hastigheten i rören:  $v_1 \approx 0$

Energiekvationen kan då förenklas till:

$$z_1 - z_2 = \frac{v_2^2}{2g} + h_L$$

Genom att anpassa fallförlusten,  $h_L$ , till nivåskillnaden,  $z_1 - z_2$ , kan alltså hastigheten genom röret,  $v_2$ , bestämmas.

Fallförlusterna beror av förluster i rören, rörböjar, inlopp och rörskarvar. Dominerande förlust är friktionen i rören. Denna förlust kan beräknas med Darcy-Weisbachs ekvation:

$$h_L = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g}$$

där  $L$  är rörens totallängd,  $D$  rördiametern.  $f$  är en koefficient som är beroende av vattenhastigheten, rördiametern, rörytans råhetstal och vilken vätska som flödar genom röret. Värdet på  $f$  hämtas ur ett s.k. Moody-diagram.

I Vessige har rörets mynning placerats så att en nivåskillnad om ca 5 m uppstår. Vattenhastigheten genom röret har valts så att den är mindre än 5,7 m/s, men större än 2 m/s (genomsnittshastigheten genom flodutskovet). Ungefär mitt i detta intervall ligger hastigheten 4 m/s. Om vattenhastigheten genom röret ska vara 4 m/s måste fallförlusten vara:

$$h_L = z_1 - z_2 - \frac{v^2}{2g} = 5 - \frac{4^2}{2 \cdot 9,81} = 4,19 \text{ m}$$

Rören antas vara släta (råhetstal = 0). För 4 m/s och en rördiameter på 110 mm är då  $f$  enligt Moody-diagrammet lika med 0,015. Den rörlängd som behövs beräknas genom att lösa ekvationen:

$$f \frac{1}{D} \frac{v^2}{2g} \cdot L = h_L$$

d.v.s.

$$0,015 \frac{1}{0,11} \frac{4^2}{2 \cdot 9,81} \cdot L = 4,19 \Rightarrow L = 38 \text{ m}$$

Till förlusterna i rören kommer övriga förluster, varför totala rörlängden kan vara något kortare. I Vessige används en rörlängd om ca 34 m.

Vattenhastigheten genom röret har verifierats genom en enkel mätning av dynamiska trycket i vattenstrålen vid rörets mynning. Detta befanns pendla mellan 80 och 90 cm, vilket svarar mot en vattenhastighet mellan 4,0 och 4,2 m/s. Flödet genom röret är alltså av storleksordningen 40 l/s, vilket kan anses obetydligt i förhållande till kraftverkets drivvattenflöde vid alla tillrinningar. Ålröret kan därför vara i drift dygnet runt under hela året.

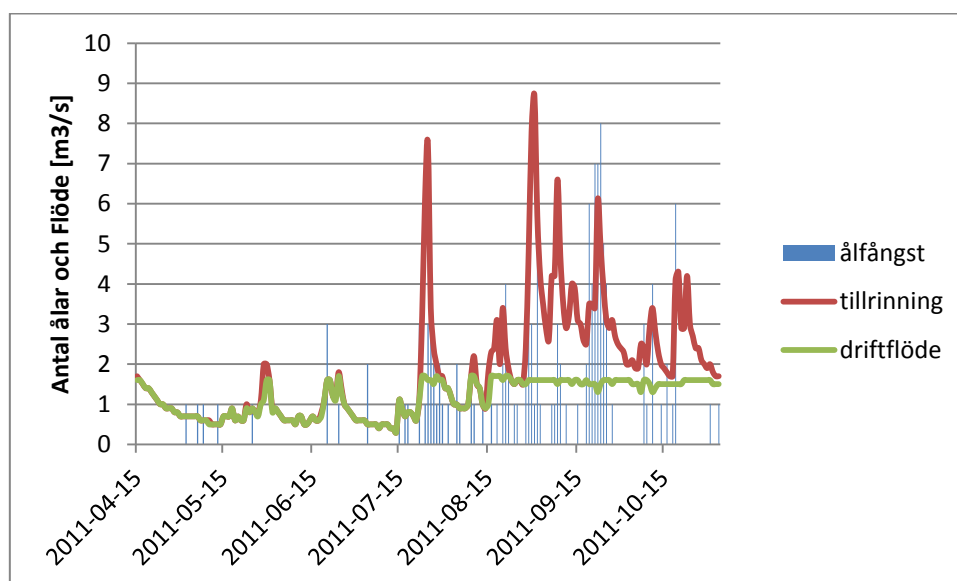
## Ålröret i praktiken

Ålröret monterades och togs i drift i slutet av oktober 2009 efter att ålkistan rivits. En ryssja knöts över rörets mynning och redan efter ett par dagar kom första ålfångsten. Vattnet fick sedan flöda fritt genom röret tills vattnet frös i december. Inga ålar fastnade i turbinerna under november – december.

Röret startades åter efter islossningen i mars 2010. Avsikten var att utvärdera röret under normal kraftverksdrift från vår till höst. Dessvärre inträffade ett turbinhaveri i maj månad, varefter kraftverket gick med reducerad slukförmåga (1,3 m<sup>3</sup>/s mot normala 1,9) under nästan ett helt år. Röret fungerade bra under 2010: ålar fångades i en ryssja vid rörmynningen från juni – oktober. Inga ålar fastnade i turbinerna. Röret var i drift säsongen ut och stoppades först när isen började lägga sig.

I april 2011 återmonterades den reparerade turbinen och togs i drift. Samtidigt startades ålröret. En ny utvärderingsperiod började. Slukförmågan var dock inte fullt 100 % eftersom verkets minsta turbin fått lagerproblem. Som mest kunde 1,6–1,7 m<sup>3</sup>/s, mot normala 1,9, ledas ner till turbinerna under perioden.

Sommaren och hösten 2011 kom att utmärkas av för årstiden ovanligt kraftiga flöden. Från slutet av juli och in i november gick verket med hela sin tillgängliga slukförmåga. Detta innebar att ålvandringen kom att kulminera när flödet och vattenhastigheten i intaget var nära nog maximal (figur 8).



Figur 8: Utvärdering av ålröret 2011. Ålvandringen kulminerade i samband med högvatten och kraftverket i nära nog full drift.



Testperiodens resultat var goda: 141 ålar fångades i ryssjan vid rörets mynning, medan inga ålar fastnade i turbinerna. Dessutom kunde det konstateras att röret utnyttjades även av andra arter än ål. Bifångster av grodor, signalkräfter, abborrar, gäddor och öringar noterades.

Ålvandringen kulminerade under testperiodens andra halva. Flodutskovet öppnas normalt när tillrinningen är större än ca 4 m<sup>3</sup>/s, vilket inträffade vid fyra tillfällen, se figur 8. Intressant nog fångades ål i ryssjan även vid dessa tillfällen. Ål går alltså in och söker av intaget trots att flödet där är betydligt mindre än i det närliggande flodutskovet. Enligt tidigare erfarenheter inträffar ju inte turbindöd när flodutskovet står öppet. Detta kan peka på att ål vänder om och simmar ut ur intaget när de stöter på gallret. Det kan också peka på att mindre ålar, ålar av sådan storlek som tidigare simmade ner i turbinerna, är mer benägna att simma ut genom flodutskovet.

Ål fångades med hjälp av röret även när utskovet var stängt och överskottsvatten endast rann över skiborden. Enligt tidigare erfarenheter var det inte tillräckligt att släppa vatten över skiborden för att turbindöd skulle undvikas. Eftersom inga ålar fastnade i turbinerna under perioden när denna typ av flödessituation rådde, är det troligt att ålröret kommer att fungera även under kommande säsonger med mera normala flöden.

Något som befarades när röret sattes på plats var att drivved skulle komma att störa driften av ålröret. Erfarenheterna från 2011 pekar på att det inte är ett stort problem. Under perioden bröts flödet genom röret vid endast två tillfällen och vid bägge kunde röret återstartas på första försöket. Detta trots att rikligt med skräp drogs in i intaget och fastnade på grinden. Rensmaskinen gick som mest 3 ggr/h i samband med att högvattnen kulminerade.

Det enda som definitivt tycks sätta stopp för ålröret är nedisning, vilket inträffar då isen lägger sig i dammen. Detta har dock ingen praktisk betydelse eftersom ålen troligen slutar vandra långt innan vattentemperaturen sjunkit så lågt.

Sammantaget tycks ålröret vara en framgång: det gör samma nytta som luckan till det gamla ålfisket, men drar betydligt mindre vatten. Röret kommer fortsättningsvis att hållas öppet året om, med undantag för perioder med temperaturer långt under nollstrecket.