

# FYSISKA AVLEDARE FÖR UPPSAMLING AV BLANKÅL VID VATTENKRAFTVERK

RAPPORT 2017:458



KRAFT  
TAG **ÅL**





# **Fysiska avledare för uppsamling av blankål vid vattenkraftverk**

Tekniska utmaningar och kostnadseffektiviseringar

AXEL EMANUELSSON, PETER CHRISTENSEN, FREDRIK MIKAELSSON, MARIE BÖJER, FRANS  
GÖRANSSON, JOHAN ÖSTBERG, URBAN ÖHRFELDT, YLVA HEMFRID-SCHWARTZ, PETTER NORÉN  
OCH OLLE CALLES

ISBN 978-91-7673-458-2 | © ENERGIFORSK december 2017

Energiforsk AB | Telefon: 08-677 25 30 | E-post: kontakt@energiforsk.se | www.energiforsk.se



## Förord

**Syftet med projektet var att utreda möjligheter och utmaningar med fysiska avledare vid två kraftverk i vattendrag som prioriterats högt inom svensk ålförvaltning.**

Rapporten är resultatet av projektet Fysiska avledare för uppsamling av blankål vid vattenkraftverk: tekniska utmaningar och kostnadseffektiviseringar. Bakgrunden är rekommendationer från ett tidigare projekt inom Krafttag ål om tekniska lösningars tillämpbarhet för förbättrad nedströmspassage för ål (Elforsk rapport 14.35). Då rekommenderade författarna detaljerade studier av risker och kostnader. Den aktuella rapporten bygger delvis vidare på resultat från den förra projektet, t ex genom att fortsätta studera anläggningar i Motala ström och Göta älv. I den aktuella studien har tekniska konsulter arbetat tillsammans med forskare i biologi. Projektutförare var Olle Calles, Karlstads universitet (projektledare) och Axel Emanuelsson, Norconsult AB. Från Norconsult medverkade även Fredrik Mikaelsson, Marie Böjer, Frans Göransson, Johan Östberg, Urban Öhrfeldt, Ylva Hemfrid-Schwartz och Petter Norén. Peter Christensen, R2 Resource Consultants anlätades som internationell expert. Författarna står för innehållet i rapporten.

Projektet ingår i programmet Krafttag ål som leds av följande styrgrupp:

Erik Sparrevik, Vattenfall Vattenkraft AB (ordförande)  
 Marco Blixt, Fortum Generation AB  
 Rikard Nilsson, Holmen Energi AB  
 Henrik Jatkola, Statkraft Sverige AB  
 Ola Palmquist, Tekniska Verken i Linköping AB  
 Katarina Ingvarsson, Tekniska Verken i Linköping AB  
 Johan Tielman, Sydkraft Hydropower AB (Uniper)  
 Niklas Egriell, Havs- och vattenmyndigheten  
 Sara Sandberg, Energiforsk (adjungerad)

Krafttag ål genomförs i samverkan mellan vattenkraftföretagen och Havs- och vattenmyndigheten. Energiforsk är sammanhållande för programmet. Programmet består av två delar: Åtgärder och Forsknings- och utvecklingsprojekt. Skonsam drift är en av tre inriktningar för FoU-delen av programmet.

Energiforsk

Sara Sandberg

Stockholm december 2017

Här redovisas resultat och slutsatser från ett projekt inom ett forskningsprogram som drivs av Energiforsk. Det är rapportförfattaren/-författarna som ansvarar för innehållet och publiceringen innebär inte att Energiforsk har tagit ställning till innehållet.

## Sammanfattning

**Åtgärder för förbättrad nedströmspassage vid vattenkraftverk består vanligen av fysiska avledare i form av låglutande fingrindar med intilliggande passager. I dag finns exempel på sådana åtgärder med god passagefunktion blankål vid kraftverk med en utbyggnadsvattenföring < 88 m<sup>3</sup>/s och det är inte känt om tekniken kan appliceras på kraftverk med en högre utbyggnadsvattenföring än så. Erfarenheterna från fysiska avledare i drift i Sverige i dag är överlag positiva och det saknas tydliga belägg för att fingrindarnas påverkan på drift och produktion är ett resultat av kraftverkets storlek. Samtidigt visar utredningen om uppskalning av tekniken till kraftverk i Motala ström och Göta älv, att anläggningarnas platsspecifika egenskaper spelar stor roll för genomförbarheten. Tekniken bedöms som applicerbar på Älvås kraftverk i Motala ström, medan de stora riskerna och kostnaderna förknippade med ett sådant projekt vid Vargöns kraftverk i Göta älv blottlägger en kunskapsbrist. Innan en fingrind byggs vid något stort kraftverk med hög dammsäkerhetsklass bör kunskapsläget förbättras för att inte riskera stora oväntade kostnader eller säkerhetsrisker.**

Tidigare projekt inom forskningsprogrammet "Krafttag ål" har konkluderat att det ur ålförvaltningssynpunkt är särskilt angeläget att åstadkomma en säker avledning och uppsamling av ål vid kraftverk i Göta älv och Motala ström. Vidare konstaterades en kunskapsbrist på området och en utredning av möjligheterna till att skala upp tekniken med fysiska avledare rekommenderades. Dessutom underströks behovet av deltagande teknisk expertis inom kommande utredningar om fysiska avledares utformning och i vilken utsträckning tekniken är begränsad av kraftverkets storlek. Följaktligen var målsättningen för innevarande projekt att utreda om fysiska avledare kan anläggas vid kraftverk med en utbyggnadsvattenföring överstigande den vid tidigare åtgärdade kraftverk, tillika belägna i vattendrag som prioriterats högt inom svensk ålförvaltning.

En enkätundersökning om driftsmässiga erfarenheter av låglutande galler och flyktöppningar vid vattenkraftverk i Sverige (n=7) visade att erfarenheterna av fysiska avledare i drift överlag är goda. Generellt medförde avledarna inte försämrade driftsförutsättningar och fallförlusterna över grindarna angavs som "obefintliga-ringa", med minskade fallförluster i flera fall. Konventionella rensare gav oftast bäst resultat, men samtidigt har man observerat kumulativ igensättning av grindarna och därmed ett behov av manuell rensning motsvarande det som normalt krävs vid ett kraftverk med grind. Det finns inga tydliga belägg i enkätunderlaget på att nedströmspassagers påverkan på drift och produktion står i direkt relation till kraftverkets storlek. Däremot observerades en viss tendens till ökade anläggningskostnader med ökad slukförmåga.

Utvandrande blankålar från Roxen når först till Älvås kraftverk i Motala ström och man har därför prioriterat en miljöförbättrande åtgärd högt vid detta kraftverk. Kraftverket har en utbyggnadsvattenföring på 90 m<sup>3</sup>/s och har den lägsta

dammsäkerhetsklassen i Sverige och samtliga tre aggregat föregås av grindar med 110 mm spaltvidd. Grindarna saknar rensmaskin och vattenväxter orsakar regelbundna driftstopp. En fysisk avledare anpassad till Älvås kraftverk skulle bestå av en 4 m djup grind med en total area om 180 m<sup>2</sup> och 18 mm spaltvidd. För att minska risken för begränsad avbördning vid anläggningen till följd av igensättning skulle hela grinden gå att lyfta upp under perioder extrem vattenföring. Avledaren skulle leda ålen till en flyktöppning och vidare till en uppsamlingstank för vidare transport nedströms. Investeringskostnaden för åtgärden har beräknats till ca 24-28 Mkr och löpande kostnader till totalt ca 0,5 Mkr/år. Åtgärden bedöms som möjligt att implementera och driva och trots att platsspecifika egenskaper medför viss osäkerhet är slutsatsen att projektet är genomförbart.

Utvandrare blankålar från Vänern når först till Vargöns kraftverk i Göta älv och man har därför prioriterat en miljöförbättrande åtgärd högt vid detta kraftverk. Kraftverket har en utbyggnadsvattenföring på 930 m<sup>3</sup>/s och har den högsta dammsäkerhetsklassen i Sverige och dessutom saknar två av de tre aggregaten grindar. Is och vattenväxter orsakar tidvis driftstopp vid det enda intag som är försedd med en grovgrind, men som saknar rensmaskin. En fysisk avledare anpassad till Vargöns kraftverk skulle bestå av en 10 m djup grind med en total area om 1400 m<sup>2</sup> och 18 mm spaltvidd. För att minska skador på grinden skulle den övre delen gå att lyfta upp under perioder med hög risk för drivande isflak. Avledaren skulle leda ålen till en flyktöppning och vidare till en uppsamlingstank för vidare transport nedströms. Investeringskostnaden för åtgärden har beräknats till ca 280-350 Mkr och löpande kostnader till totalt ca 3-4 Mkr/år. Åtgärden bedöms som möjlig att implementera och driva, men de höga kostnaderna i kombination med flera utmaningar och osäkerheter med potentiellt allvarliga konsekvenser gör åtgärdens lämplighet tveksam.

Sammantaget är bedömningen att den teknik för fysisk avledning som använts vid kraftverk med en slukförmåga upp mot 72-88 m<sup>3</sup>/s tekniskt sett går att bygga även vid Älvås och Vargöns kraftverk. Kostnaderna är höga och osäkerheterna är flera, men i de specifika fallen bedöms det som fullt möjligt att implementera en fysisk avledare vid Älvås kraftverk, medan ett motsvarande projekt vid Vargöns kraftverk bör föregås av ett förbättrat kunskapsläge. En viktig fråga som inte ingått i beställningen för innevarande projekt är huruvida kostnaderna för ovan beskrivna miljöförbättrande åtgärder är samhällsekonomiskt försvarbara.

## Summary

**The most common way of improving downstream passage conditions at hydropower plants is to use low-sloping racks to guide fish to and through bypasses. There are examples in the literature with such downstream passage facilities with a documented high passage survival for silver eels, but the examples have until now been limited to plants with an intake capacity of < 88 m<sup>3</sup>/s. It is not known to what extent the technique can be upscaled to plants with an intake capacity exceeding this. The experience from Sweden was mostly positive and there was no obvious connection between the size of the plant and the experiences of production and generation at plants with low-sloping racks. Applying the technique to plants in the rivers Motala ström and Göta älv, however, showed that site-specific challenges have a significant effect on the feasibility of implementing low-sloping racks at these plants. Still, the technique was considered applicable to the Älvås plant in the river Motala ström, whereas the high costs and uncertainties identified for the Vargön plant in the river Göta älv revealed an important knowledge gap. Before implementing a low-sloping rack at any plant with a high dam safety rating, there is a need for improved knowledge to avoid problems resulting in unexpected costs and failures.**

Previous projects within the "Krafttag ål" research program concluded that, from an eel management perspective, there was a high priority for improving downstream passage conditions for silver eels at plants in the rivers Göta älv and Motala ström. Furthermore, stemming from the general knowledge gap on downstream passage solutions, a feasibility study on upscaling the technique from small to large hydropower plants was recommended, emphasizing the need for a collaborative approach including both biologists and engineers. Consequently, the goal of the current project was to identify possibilities and challenges with implementing low-sloping racks to hydropower plants both with an intake capacity exceeding that of previous projects and highly prioritized in Swedish eel management.

To gather information on the experience from existing downstream passage facilities using low-sloping racks, a survey among representatives from owners of such facilities showed an overall positive experience of operating the existing facilities (n=7). The owners reported very limited, in some cases even a reduced, head-loss, and the racks did not have a negative effect on plant operation. Conventional automatic cleaners scored the best performance, but manual cleaning of the racks was required to solve the problem of gradual accumulation of debris on the racks, which typically is the case also for conventional racks. There was no clear relation between the size of the plant and the perceived effects on production and generation, but there was a tendency of increased capital expenditure with increased plant intake capacity.



The Älvås hydropower plant is the first obstacle encountered by silver eels migrating downstream from the Lake Roxen in the river Motala ström, and so the location has been highly prioritized for implementing a downstream collection facility. The three turbine intakes are equipped with 110 mm bar racks, the total capacity is 90 m<sup>3</sup>/s and the dam has a low dam safety rating. There is no automatic cleaner, i.e. the racks are manually cleaned, and macrophytes occasionally block the racks causing periods without production. A low-sloping angled rack designed for the Älvås plant was 4 m deep with a total wet area of 180 m<sup>2</sup> and 18 mm bar spacing. During extreme floods the rack can be removed completely to minimize the risk of blockage. Silver eels approaching the facility would be guided to a bypass and onwards to a collection facility for a continued transport downstream past all the remaining obstacles situated downstream. The estimated capital expenditure was 24-28 MSEK and the corresponding annual operational expenditure was 0.5 MSEK. In spite of uncertainties resulting from site-specific challenges, the conclusion was that a low-sloping angled bar rack can be implemented and operated at the Älvås plant in the river Motala ström.

The Vargön hydropower plant is the first obstacle encountered by silver eels migrating downstream from Lake Vänern in the river Göta älv, and so the location has been highly prioritized for implementing a downstream collection facility. Two of the turbine intakes lack racks, the total capacity is 930 m<sup>3</sup>/s, and the dam has the highest dam safety rating. There is no automatic cleaner installed, i.e. the rack is manually cleaned, and frazil-ice and macrophytes occasionally block the rack causing periods without production. A low-sloping angled rack designed for the Vargön plant was 10 m deep with a total wet area of 1400 m<sup>2</sup> and 18 mm bar spacing. During periods of high risk of drifting ice the upper panels of the rack can be raised to minimize the risk of blockage. Silver eels approaching the facility would be guided to a bypass and onwards to a collection facility for a continued transport downstream past all the remaining obstacles situated downstream. The estimated capital expenditure was 280-350 MSEK and the corresponding annual operational expenditure was 3-4 MSEK. In spite of uncertainties resulting from site-specific challenges, the conclusion was that a low-sloping angled bar rack can be implemented and operated at the Vargön plant in the river Göta älv. Taking the high costs, uncertainties and severe consequences of a potential failure into account, implementing a low-sloping angled rack at the Vargön plant can't be recommended at this time.

In conclusion, the fish passage solutions evaluated at plants with 72-88 m<sup>3</sup>/s intake capacity can technically be designed for and implemented at the Älvås and Vargön plants. The estimated capital and operational expenditures would be high, and there are still problems to be solved, but nevertheless it was concluded that a low-sloping rack can be built and operated at the Älvås plant in the river Motala ström, whereas there is a need for improved knowledge before implementing a low-sloping rack at the Vargön plant in the river Göta älv. The current project did not include a socioeconomic evaluation of these projects, which was considered as the next important step to take as part of the process.

# Innehåll

<b>1</b>	<b>Uppdraget</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>Bakgrund</b>	<b>10</b>
<b>3</b>	<b>Erfarenheter av fysiska avledare</b>	<b>12</b>
3.1	Underlag och genomförande	12
3.2	Driftsmässiga erfarenheter av avledare i Sverige	13
<b>4</b>	<b>Fysiska avledare vid kraftverk med hög prioritet för ål</b>	<b>17</b>
4.1	Älvås kraftverk – Motala ström	18
4.1.1	Förutsättningar för val av fingrind	20
4.1.2	Dimensionering	21
4.1.3	Fingrind	21
4.1.4	Flyktöppning och uppsamling	23
4.1.5	Kostnader	28
4.1.6	Utmaningar/osäkerheter	29
4.2	Vargöns kraftverk – Göta älv	29
4.2.1	Förutsättningar för val av fingrind	32
4.2.2	Dimensionering	32
4.2.3	Fingrind	33
4.2.4	Flyktöppning och uppsamling	36
4.2.5	Kostnader	42
4.2.6	Utmaningar/osäkerheter	42
4.2.7	Alternativa lösningar för avledning i stora vattendrag	43
<b>5</b>	<b>Minimering av produktionsbortfall</b>	<b>48</b>
5.1	Metodbeskrivning fallstudier	48
5.1.1	Beräkning av vinst i elproduktion	49
5.1.2	Ekonomiska kalkyler	49
5.2	Fallstudier Resultat	50
5.2.1	Älvås	50
5.2.2	Vargön	50
5.3	Generella beräkningar	51
5.3.1	Generella beräkningar, metodbeskrivning	51
5.3.2	Generella beräkningar, resultat	52
<b>6</b>	<b>Slutsatser och rekommendationer</b>	<b>54</b>
<b>7</b>	<b>Tack till</b>	<b>58</b>
<b>8</b>	<b>Referenser</b>	<b>59</b>

# 1 Uppdraget

Uppdraget "Fysiska avledare för uppsamling av blankål vid vattenkraftverk" bygger vidare på "Ålens möjlighet till passage av kraftverk" (Calles & Christiansson, 2012) och "Tekniska lösningars tillämpbarhet för förbättrad nedströms passage för ål" (Calles et al., 2014). Det två senare projekten har båda haft som mål att förbättra kunskaperna om tekniska lösningar för nedströmspassage av ål i medelstora och stora vattendrag, med ett ökat inslag av driftsmässiga och tekniska aspekter av åtgärderna i fråga.

Det övergripande målet med innevarande rapport har varit att (1) kartlägga erfarenheterna av avledare vid små kraftverk samt utreda om tekniken kan skalas upp till tillämpning vid stora kraftverk och (2) utreda hur flyktöppningar, förbipassager & uppsamlingar bör utformas. Frågorna har angripits genom att dels intervjua kraftverksägare med passageanläggningar i drift samt dels applicera befintlig kunskap på att utforma avledare och passager för Älvås kraftverk i Motala ström och Vargöns kraftverk i Göta älv. Utöver detta presenteras en utredning av potentialen för återpumpning av vatten från passager för att minska produktionsförluster i anslutning till nedströmspassager.

Projektet ger insikt i driftserfarenheter av befintliga fysiska avledare samt möjligheter, begränsningar och kostnader för att applicera denna teknik på stora kraftverk. Resultaten förväntas vara av nytta vid anläggandet av åtgärder vid kraftverk av olika storlek och ger dessutom insikt i vilka kostnadseffektiva sätt som kan användas för att passera fisk med minimalt produktionsbortfall vid anläggningar av olika typ.

Arbetet har utförts under ledning av Olle Calles (Karlstads universitet; Kau) och Axel Emanuelsson (Norconsult AB) i samarbete med de tekniska experterna Fredrik Mikaelsson, Marie Böjer, Frans Göransson, Johan Östberg och Ylva Hemfrid-Schwartz, samtliga vid Norconsult AB. Dessutom har internationellt erkänd expertis anlåtats i form av Peter Christensen från R2 Resource Consultants (USA).

## 2 Bakgrund

Arbetet med att återskapa fria vandringsvägar för vandrande fiskarter i reglerade vattendrag har en lång historia (Clay, 1995). Tills nyligen har detta arbete i stort sett enbart fokuserat på att åstadkomma fria vandringsvägar för uppströmsvandrande fisk, medan åtgärder för nedströmsvandrande fisk varit mycket ovanliga (Calles et al., 2013c). I de fall man försökt minska skaderisken för nedströmsvandrande fisk, har dessa lösningar nästan uteslutande formgivits för att passa laxartad fisk. Eftersom nedströmsvandrande laxfisk ofta är ytorienterad har avledarna för nedströmspassage varit lokaliserade till ytan, vilket inneburit att åtgärderna sällan fyllt någon funktion för bottenorienterade arter som ål. Moderna åtgärder för förbättrad nedströmspassage vid vattenkraftverk, vanligen fysiska avledare i form av låglutande fingrindar (galler) med intilliggande passager, tenderar dock att anpassas för alla naturligt förekommande arter och det finns i dag exempel på sådana åtgärder med god passagefunktion för både laxfisk och ål (Calles et al., 2015; Calles et al., 2013a; Calles et al., 2013b; Nyqvist et al., 2017). Det finns exempel på fysiska avledare för ål vid större kraftverk i andra länder, t.ex. Raguhns kraftverk i Mulde (utbyggnadsvattenföring = 88 m<sup>3</sup>/s) för vilket Ebel (2013) rapporterar om goda resultat för både drift och fiskpassage. Från Kanada rapporteras om 100 % passageeffektivitet för ål vid en fysisk avledare vid ett stort kraftverk i St Lawrencefloden (210 m<sup>3</sup>/s) (Anonymous, 2010), men inga detaljerade resultat om fiskpassage eller drift är tillgängliga och det går därför in att göra en objektiv bedömning av slutsatsernas relevans. Följaktligen kommer exemplen på fysiska avledare för ål från kraftverk med en utbyggnadsvattenföring < 88 m<sup>3</sup>/s, och det är inte känt om tekniken kan appliceras på kraftverk med en högre utbyggnadsvattenföring än så.

Kunskapsläget har analyserats tidigare inom forskningsprogrammet "Krafttag ål", t.ex. identifierade Calles & Christiansson (2012) ett behov av att öka kunskapen om var och i vilken omfattning ålproduktion sker, men även ett behov av att öka såväl kunskapen som implementeringen av åtgärder för förbättrad nedströmspassage för blankål vid vattenkraftverk. Vidare identifierades vattendrag i vilka det ur ålförvaltningssynpunkt är särskilt angeläget att åstadkomma en säker avledning och uppsamling av ål, nämligen Göta älv och Motala ström. Dessa kraftverk blev föremål för vidare studier i Calles et al. (2014), som konkluderade att trots att låglutande grindar med förbipassager och uppsamlingsstationer är den teknik som är mest lovande för att öka överlevnaden för nedströmsvandrande blankål i reglerade älvar, finns fortfarande en kunskapsbrist på området. Man bedömde vidare att kunskapen var tillräcklig för införandet av effektiva åtgärder för förbättrad nedströmspassage vid vattenkraftverk av den storlek där åtgärder tidigare implementerats med god framgång ( $\leq 72\text{-}88\text{ m}^3/\text{s}$ ), men att en stor satsning behövdes på förbättrad kunskap om åtgärder vid stora vattenkraftverk (definierades som utbyggnadsvattenföring  $> 100\text{ m}^3/\text{s}$ ). Dessutom underströks behovet av deltagande teknisk expertis inom kommande utredningar om fysiska avledares utformning och i vilken utsträckning tekniken är begränsad av kraftverkens storlek.

Följaktligen är målsättningen för innevarande projekt att utreda om fysiska avledare kan anläggas vid kraftverk med en utbyggnadsvattenföring överstigande den vid tidigare

åtgärdade kraftverk, tillika belägna i vattendrag som prioriterats högt inom svensk ålförvaltning.

Projektet har genomförts i tre steg enligt:

- a) **Erfarenheter av fysiska avledare** – sammanställning av driftsmässiga erfarenheter av låglutande galler och flyktöppningar vid vattenkraftverk i Sverige.
- a) **Fysiska avledare vid kraftverk med hög prioritet för ål** - biologisk och teknisk expertis har gemensamt utformat fysiska avledare med tillhörande flyktöppningar för kraftverk med en utbyggnadsvattenföring överstigande den vid tidigare åtgärdade anläggningar. De utvalda studieobjekten är belägna i vattendrag som prioriterats högt inom svensk ålförvaltning; Älvåsa kraftverk (90 m<sup>3</sup>/s) i Motala ström och Vargöns kraftverk (930 m<sup>3</sup>/s) i Göta älv. För varje anläggning har potentiella risker och utmaningar med att anlägga fysiska avledare identifierats och värderats, varefter åtgärdernas implementering och drift har kostnadsuppskattats.
- b) **Minimering av produktionsbortfall** – utredning av potentialen för minimering av produktionsförlusten som associeras med åtgärderna i fråga.

Projektets resultat förväntas ge kunskap om möjligheterna till, och kostnaderna för, att implementera fysiska avledare vid kraftverk av olika storlek. Dessutom förbättras kunskapen om potentialen för att minimera produktionsbortfall vid anläggandet av fysiska avledare och hur detta beror av kraftverkens egenskaper.

Kostnadsuppskattningarna kan vidare utgöra ett först steg i en kostnad-nyttö-analys av anläggandet av fysiska avledare vid vattenkraftverk.

### 3 Erfarenheter av fysiska avledare

De fysiska avledare som finns i drift vid svenska kraftverk i dag är begränsade till kraftverk med en slukförmåga < 72 m<sup>3</sup>/s och de få utvärderingar som genomförts har främst fokuserat på funktionen för fisk. Som redan nämnts kommer det enda relevanta exemplet på en fysisk avledare för ål vid ett större kraftverk än i de svenska exemplen från Raguhns kraftverk i Mulde (Ebel, 2013). Erfarenheterna av driftsförhållanden uppmärksammas sällan och många kraftverksägare har därför farhågor om att denna åtgärdstyp försvårar driften och ger en omfattande produktionspåverkan. För att nå en fördjupad kunskap om de driftsmässiga erfarenheterna av fysiska avledare sattes ett frågeformulär samman och intervjuer genomfördes med personal för totalt sju kraftverk med någon form av fysisk avledare. Dessa kontaktpersoner kontaktade i de flesta fall i sin tur kollegor med erfarenhet av driftspecifika aspekter.

#### 3.1 UNDERLAG OCH GENOMFÖRANDE

Ett frågeformulär sattes samman av Axel Emanuelsson och Olle Calles, varefter det granskades av Johan Tielman och Roland Kristoffersson (Uniper/Sydkraft vattenkraft AB). Frågorna sorterades in under huvudrubrikerna "Tekniska specifikationer" och "Erfarenheter", med följande underrubriker:

1. Tekniska specifikationer
  - a. Lokala förutsättningar – 6 frågor
  - b. Grindens utformning – 8 frågor
  - c. Flyktöppningarnas utformning – 11 frågor
2. Erfarenheter
  - a. Fiskavledning – 6 frågor
  - b. Tillstånd och byggnation – 3 frågor
  - c. Teknik – 10 frågor
  - d. Daglig skötsel och tillsyn – 4 frågor

Formulärets slutliga utformning presenteras i sin helhet i bilaga 1. Totalt genomfördes intervjuer för sju befintliga anläggningar i drift (Tabell 1), vilket tog ca 1-2 h per anläggning. I samtliga fall kompletterades svaren i efterhand när de intervjuade personerna valt att kontakta kollegor för ytterligare konsultation angående olika aspekter av anläggningarna.

Tabell 1. Kraftverk som ingått i intervjuundersökningen angående erfarenheter av tekniska och driftsmässiga aspekter av fysiska avledare för förbättrad nedströmspassage för fisk.

#	Kraftverk	Vattendrag	Driftsår	Ägare	Kontaktperson
1	Ätrafors	Ätran	2008	Sydskraft Hydropower AB	Johan Tielman
2	Övre Finsjö	Emån	2009	Sydskraft Hydropower AB	Johan Tielman
3	Granö	Mörrumsån	2013	Sydskraft Hydropower AB	Johan Tielman
4	Ålgårda	Rolfsån	2014	Forsnacken AB	Andreas Bäckstrand, Vattenmyndigheten
5	Hedefors	Säveån	2015	Lerum fjärrvärme AB	Daniel Johansson, Länsstyrelsen
6	Herting	Ätran	2013	Falkenbergs Energi	Karl-Göran Olofsson
7	Knislinge*	Helge å	2013	Sydskraft Hydropower AB	Johan Tielman

\* Knislinge är förberett för nedströmspassage, men saknar i dag flyktöppningar. Intervjувaren begränsades därför till driftaspekter av den låglutande grinden.

### 3.2 DRIFTSMÄSSIGA ERFARENHETER AV AVLEDARE I SVERIGE

Föremålet för denna delstudie är att fördjupa kunskapen kring de driftsmässiga erfarenheter som finns av låglutande grindar (fysiska avledare/galler). För att sådan information ska vara av intresse krävs dock att åtgärden även befunnits ha god funktion för fisk. Trots det förhållandevis låga antalet avledare som undersöks, finns endast resultat från biologisk uppföljning att tillgå från fyra av dem (Calles *et al.*, 2015; Calles *et al.*, 2013b; Calles *et al.*, 2013c; Karlsson *et al.*, 2015; Nyqvist *et al.*, 2017), men uppföljning är planerad för ytterligare två av anläggningarna (Ålgårda och Hedefors). Vi har trots detta tagit hänsyn till driftsmässiga erfarenheter från samtliga anläggningar, eftersom alla anläggningar utom Knislinge (spaltvidd 35 mm, flyktöppningar och utvärdering saknas) bedömts vara utformade på ett sätt som talar för en god funktion för fisk enligt tidigare erfarenhet (Calles *et al.*, 2013a).

Av de fysiska avledare som finns i drift är fem av s.k.  $\alpha$ -typ, dvs med en låg lutning i förhållande till botten, och två är av s.k.  $\beta$ -typ, dvs med en låg lutning i förhållande till intagets sidor (Tabell 2). Avledarna finns vid anläggningar med en genomsnittlig slukförmåga om  $38 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , där det största kraftverket är Ätrafors med slukförmågan  $72 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  (Tabell 2). Av de sju grindarna är tre uppbyggda av hydrodynamiskt utformade kompositelement med spaltvidderna 15, 18 respektive 35 mm. De resterande fyra grindarna är tillverkade med rektangulära stålelement med två vardera av spaltvidderna 15 respektive 18 mm. Avledarna är byggda med 1-6 flyktöppningar där de flesta har två öppningar per grind. Flyktöppningarnas dimensioner är i snitt  $420 \times 320 \text{ mm}$  (djup  $\times$  bredd) och sträcker sig från små cirkulära öppningar ( $\varnothing = 195 \text{ mm}$ ) till stora rektangulära öppningar där den som har störst dimensioner är  $500 \times 500 \text{ mm}$ .

Tabell 2. Information om de fysiska avledare som ingått i intervjuundersökningen angående erfarenheter av tekniska och driftsmässiga aspekter av fysiska avledare för förbättrad nedströmpassage för fisk.

Egenskap	Kraftverk						
	Ätrafors	Övre Finsjö	Granö	Ålgårda	Hedefors	Herting	Knislinge
Slukförmåga (m <sup>3</sup> /s)	72	14	60	15	32	43	25 (50)
Grindtyp	α	α	α	α	β	β	α
Grindmaterial	Stål	Stål	Komposit	Stål	Stål	Komposit	Komposit
Spaltvidd	18	18	18	15	15	15	35
Grindyta (m <sup>2</sup> )	5,4 x 8,4 x 3 = 136,1	5,5 x 4,1 = 22,6	140,9	5,4 x 8,4 = 45,4	24,0 x 5,5 = 132	38,0 x 2,3 = 87,4	3,9 x 7,7 x 2 = 59,3
Normalhastighet (m/s)	0,53	0,62	0,43	0,33	0,28	0,49	0,42
Grindrensning	1 st rak arm, platt skrapa	Pater noster med borste	Fällbara galler	1 st rak arm, platt skrapa	1 st rak arm, platt skrapa	1 st rak arm, skrapa med borst	Spolning med högtryck
Flyktöppningar							
Antal	4/6	1/2	6	2	1	2	0
Dimensioner (m; h x b)	0,57 x 0,25	0,30 x 0,50	∅ = 0,195	0,50 x 0,30	0,50 x 0,50	0,65 x 0,30 0,20 x 0,20	-
Flöde (m <sup>3</sup> /s; %)	1,5 (2 %)	0,15 (1,1%)	0,13 (0,2 %)	0,30 (2,0 %)	0,30 (0,8 %)	0,60 (1,4 %)	-
Biologisk uppföljning	blankål	öringsmolt öringkelt	blankål	blankål (2017)	laxsmolt (2017)	laxsmolt laxkelt blankål	Nej



Anläggningarna har tagit i snitt fem månader att färdigställa och byggtiden har varierat mellan en och tolv månader. Anläggningskostnaderna går inte att beräkna exakt, eftersom man i många fall genomfört arbetet i samband med annat underhåll och/eller som en del av en mer omfattande ombyggnation, t.ex. Herting, Ätrafors och Hedefors. De kostnader som redovisas spänner från 0,4 Mkr till 16 Mkr, med en genomsnittlig kostnad på knappt 4,7 Mkr. I ungefär hälften av fallen kunde åtgärden uppföras inom ramen för befintligt tillstånd, medan man i övriga fall var tvungen att ompröva befintligt tillstånd för miljöanpassningen.

Vad gäller erfarenheterna av drift och underhåll visade enkätsvaren att de låglutande grindarna generellt inte inneburit försämrade förutsättningar, men att man i flera fall fått modifiera vissa aspekter av handhavandet och tvingats lösa oförutsedda problem, t.ex. kombinationen skräphantering och fiskfångst vid Hertings kraftverk. I vilken utsträckning dessa problem är resultatet av nya lösningar i största allmänhet respektive att det just handlar om låglutande grindar, går inte att uttyda. I de flesta fall sköts grindrensning av konventionella rensare, medan man i andra fall testat nya tekniker som t.ex. fällbara galler i Granö och högtrycksspolning i Knislinge. Det förefaller som att de konventionella rensmaskinerna gett bäst resultat. Produktionsförluster till följd av åtgärderna tillskrivs främst spill genom flyktöppningar, men i två fall minimeras dessa genom att vatten från flyktöppningen återförs till inloppskanalen (Ätrafors och Granö). Fallförlusterna beskrivs som obefintliga till ringa vid rena grindar, vilket i flera fall inneburit en minskad fallförlust jämfört med förhållandena före åtgärderna (t.ex. Herting, enkätsvar och Ätrafors, Persson & Holmberg (2009)). En utmaning av grundläggande betydelse är således, föga förvånande, att hålla grindarna rena från drivgods. Ett problem som uppmärksammats vid de anläggningar som varit i drift flera år är att det sker en successiv igensättning av grindarna, dvs. att rensmaskinerna inte förmår att löpande ta bort allt drivgods utan att vissa objekt trycks in mellan elementen och fastnar. Samtidigt som det beskrivs som ett problem, menar man att behovet av manuellt underhåll med några årsintervall inte skiljer sig från normalt underhåll vid anläggningar med konventionella grindar.

Problem med iskravning och igenfrysning beskrivs för många kraftverk och ofta nämns risken för förvärrade problem som ett av de främsta skälen till att inte installera låglutande grindar. Utifrån enkätsvaren att döma har is inte utgjort ett stort problem. Svårigheter och lösningarna kopplat till isrelaterade problem tycks vara desamma före och efter åtgärd. Tex. grindvärmare eller korta produktionsstopp för att låta ett istäcke lägga sig i kraftverksdammen som fungerat före fingrind byggts har fungerat även efter. Vilka isrelaterade problem som finns och hur de kan lösas skiljer sig markant åt mellan olika anläggningar. I två fall beskrivs att de isrelaterade problemen minskat efter åtgärd (Granö och Herting), vilket anges bero på att de gamla metallgrindarna ersatts med nya grindar av komposit. Ingen av verksamhetsutövarna anger att de nya grindarna med tillhörande strukturer påverkat personalens arbetsförhållanden eller dammsäkerheten negativt, helt enkelt för att sådana lösningar inte skulle vara acceptabla.

Det finns inga tydliga samband mellan erfarenheter av driftförhållanden, negativa eller positiva, och storleken på anläggningarna. Det finns endast ett visst samband

mellan anläggningskostnader och kraftverkens storlek, vilket tyder på att faktorer som projektets totala omfattning och platsspecifika egenskaper har större betydelse för kostnaderna än kraftverkets slukförmåga.

Underlaget i undersökningen är begränsat, trots att merparten av de befintliga driftsatta fysiska avledarna som finns i Sverige ingår i materialet. Man kan trots detta se några generella mönster och sammantaget är erfarenheterna av drift och produktion vid anläggningar som försetts med låglutande grindarna övervägande positiva. Det finns inga tydliga belägg i enkätunderlaget på att nedströmpassagers påverkan på drift och produktion står i direkt relation till kraftverkets storlek. Däremot observerades en viss tendens till ökade anläggningskostnader med ökad slukförmåga. Undersökningen svarar av naturliga skäl inte direkt på i vilken utsträckning tekniken är uppskalningsbar till större kraftverk, vilket lämpligen utforskas vidare genom att applicera kunskapen om fysiska avledare på några konkreta exempel på stora kraftverk och låta teknisk och biologisk expertis bedöma möjligheter och risker med en sådan uppskalning.

## 4 Fysiska avledare vid kraftverk med hög prioritet för ål

Den största installerade fingrinden med dokumenterat god passageeffektivitet för ål i Sverige finns vid Ätrafors kraftverk i Ätran, vilken är anpassad för 72 m<sup>3</sup>/s i utbyggnadskapacitet. I andra länder finns större anläggningar med fysiska avledare för ål, dvs. de redan nämnda Raguhns kraftverk i Mulde (88 m<sup>3</sup>/s, (Ebel, 2013) och ett kraftverk i St Lawrencefloden (210 m<sup>3</sup>/s, (Anonymous, 2010). Det finns ett antal avledare vid stora kraftverk som T.W. Sullivan i Willamette River (147 m<sup>3</sup>/s, Karchesky *et al.* (2008) och Mayfield i Cowlitz River (340 m<sup>3</sup>/s Henning (2010), men dessa är anpassade till laxfisk och har spaltvidder som innebär att de inte kan benämnas som "fingrindar" och deras funktion därmed beror både av en fysisk och en beteendemässig komponent. De senare exemplen visar samtidigt att grindar som är större än de som hittills uppförts i Sverige, och dessutom täcker hela vattendjupet, är möjliga att anlägga och ha i drift.

Trots att erfarenhet saknas har krav på fysiska avledare vid kraftverk med en utbyggnadsvattenföring högre än, och i vissa fall betydligt högre än, 72 m<sup>3</sup>/s blivit allt vanligare. Som ett första steg mot ökad kunskap har innevarande projekt samlat information om driftserfarenheter från befintliga avledare vid svenska kraftverk (se "3 Erfarenheter av fysiska avledare") och därefter har biologisk och teknisk expertis applicerat denna kunskap på Älvås kraftverk i Motala ström (90 m<sup>3</sup>/s) samt Vargöns kraftverk i Göta älv (930 m<sup>3</sup>/s).

Utbyggnadsvattenföringen vid Älvås kraftverk (90 m<sup>3</sup>/s) innebär att en fingrind där blir något större (25 %) än den största befintliga fingrinden i Sverige, men jämförbar med den största fingrinden i Tyskland. De erfarenheter som finns från redan installerade grindar bedöms ändå till stor del kunna vara applicerbara på en sådan grind.

Vargöns kraftverk däremot har en utbyggnadsvattenföring på 930 m<sup>3</sup>/s, vilket är mer än 12 ggr större än vad fingrindar hittills anpassats för i Sverige. Även internationellt saknas erfarenhet och kunskap om så stora fingrindar. Anläggningens storlek ökar komplexiteten markant och bristen på tidigare erfarenheter skapar osäkerheter.

Platsbesök har gjorts vid Vargön och Älvås och för båda anläggningarna har personal på kraftbolagen varit behjälpliga med att svara på frågor och kommit med feedback på förslagen.

#### 4.1 ÄLVÅS KRAFTVERK – MOTALA STRÖM

Älvås kraftverk ligger i Motala ström nära Kimstad nedströms sjöarna Boren och Roxen. Anläggningen är en ombyggd regleringsdamm där turbiner installerats (Figur 1).

Intag till turbinerna sker på dammens vänstra sida relativt flödesriktningen (Figur 1, höger i bild och Figur 2). Dammens utskov utgörs dels av spettluckor på dammens högra sida (Figur 1, vänster i bild och Figur 2) men huvuddelen av avbördningskapaciteten kommer från utskov som sitter i anslutning till turbinerna. Såväl vattendraget som anläggningen räknas som medelstor med svenska mått mätt (Tabell 3).



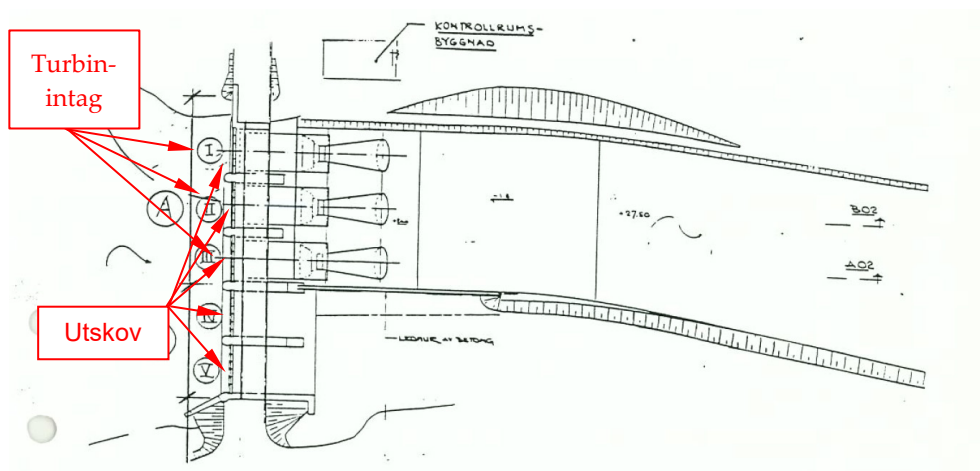
Figur 1. Älvås kraftverk. Vy från nedströmssidan. Norconsult 2016.

#### Teknisk data

- Bruttofallhöjd: 2,5 m
- Utbyggnadsvattenföring: 90 m<sup>3</sup>/s
- Medelvattenföring: 79 m<sup>3</sup>/s
- Normalårsproduktion: 10 GWh
- Avbördningsförmåga: 350 m<sup>3</sup>/s

Tabell 3. Karaktäristiska flöden vid Älvås krv. SMHI modellerade värden

Karaktäristiskt flöde	Total stationskorrigerad vattenföring [m <sup>3</sup> /s]
HQ100	350
MHQ	141
MQ	78,5
MLQ	33,9



Figur 2. Placering av turbinintag och utskov. Vid varje turbinintag finns även en utskovslucka (Tekniska verken i Linköping, 2015).

Slukförmågan om 90 m<sup>3</sup>/s är jämnt fördelad, 30 m<sup>3</sup>/s per turbin, mellan tre rör-Kaplanturbiner (bulbturbiner; Figur 3), vilket innebär att turbinerna har fasta ledskenor med ställbara blad. Samtliga turbiner är 2,6 m i diameter, roterar 98 rpm och föregås av horisontella grovgrindar med 110 mm spaltvidd. Driften i de tre turbinerna alterneras för att jämna ut slitaget och således körs ingen turbin oftare än någon annan.

Flödet vid Älvås beror huvudsakligen på tappningen vid Motala kraftverk vilket är den anläggning som reglerar Vättern. Möjlighet till reglering av flödet i Motala ström till förmån för Älvås kraftverk görs inte eftersom det finns flera andra kraftverk i vattendraget.

Intagsgrindarna sitter under vatten vid turbinintaget och rensanordning för grindarna saknas. När grindarna sätts igen rensas de genom att utskoven under intagen öppnas för att på så sätt spola rent grindarna, se figur 3.

Rensning av grindarna görs manuellt och kan behöva göras så ofta som några gånger i veckan när belastningen av drivgods är stor. Varje tillfälle som grindarna rensas innebär driftstopp vid kraftverket.

Belastningen av drivgods är ofta som störst under islossningen när isen från Roxen uppströms lossnar och drar med sig vass och annan vegetation. Både vegetation och isflak sugts ned och kan fastna på grindarna.

Vidare fastnar vattenväxter, i synnerhet nate, på intagsgrinden och är ofta svår att rensa bort eftersom den slingrar sig fast runt grindstålen. Längre upp i systemet vid Borensbergs kraftverk har intagsgrinden periodvis helt och hållet satts igen av vattenväxter. Erfarenheter från Borensberg är att konventionella rensmaskiner som rakar skräp från grinden nedifrån och upp fungerar dåligt på vissa typer av vattenväxter. Rensrakan fjädrar ut och får inte med sig växterna. Vid Borensberg har istället en ny rensmaskin installerats vilken skrapar grinden uppifrån och ned och griper sedan tag i rensmaterialet längst ned för att kunna lyfta upp det. Detta

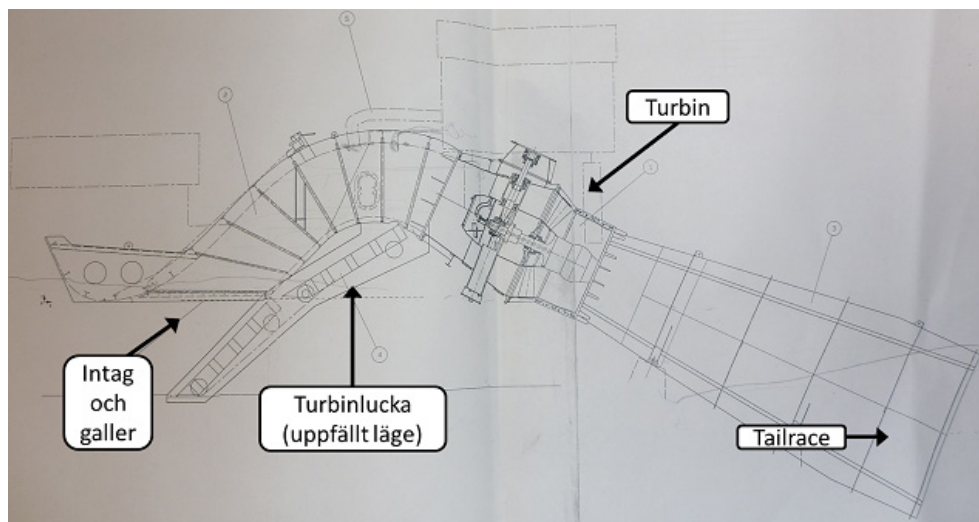
har visat sig vara ett effektivt sätt att rensa bort vattenväxter från intagsgrindar.  
(Ari Sundvall, Tekniska verken)

Vid risk för iskravning stängs kraftverket vid Älvås av.

I genomsnitt står kraftverket stilla ca 3 veckor på våren och 3 veckor på hösten på grund av drivgods och is. Huvuddelen av driftstoppen beror på drivgods (Dag Ahlqvist VSN som sköter driften).

Avbördningskapaciteten vid anläggningen uppgår till 350 m<sup>3</sup>/s vilket motsvarar ett beräknat 100-års flöde. Anläggningen är klassad som flödesdimensioneringsklass 2 och behöver därmed kunna avbörda flöden upp till 100-årsflödet. Sjöarna Boren och Roxen uppströms dämpar högflöden så att flöden över 100-års inte väntas uppkomma även om flödena i Motala ström är högre.

Kraftbolaget har föreslagit till länsstyrelsen att dammen ska ha dammsäkerhetsklass U. Kraftbolaget har inte fått beslut från länsstyrelsen ännu.



Figur 3. Ritning på rörturbinernas och turbinutskovens uppbyggnad.

#### 4.1.1 Förutsättningar för val av fingrind

- Uppsamling av ål är nödvändigt för att kunna transportera ålen förbi kraftverken nedströms och vidare ut till Bråviken.
- Riktlinjer som följer det som beskrivits som tumregler för väl fungerande nedströmsspassagelösningar ska tillämpas. Detta innebär att:
  - × Grindens vinkel mot inströmningen ska uppgå till maximalt 30-35 grader mot antingen horisontal- eller vertikalplanet (Calles et al., 2013a).
  - × Spaltvidden får maximalt uppgå till 18 mm. Detta är det mått som i litteraturen anges för att inte blankål ska passera genom grinden (Calles et al., 2013a).
  - × Vattenhastigheteten vinkelrätt grind bör ej överstiga 0,5 m/s (DWA, 2005). Rekommendationen gäller vattenhastighetens teoretiska vektor vinkelrätt grinden och beräknas på hela grindens area.

- Hela vattenarean (hela djupet och hela bredden) ska täckas av grinden under de perioder när blankålen vandrar ut. Vattendjupet uppströms kraftverket uppgår till ca 4 m enligt tillgängligt underlagsmaterial.
- Grinden ska anpassas efter slukförmågan, 90 m<sup>3</sup>/s.
- Spill förekommer regelbundet vid Älvås på grund av den relativt låga utbyggnadsvattenföringen. Från flödesdata kan man utläsa att spill inte är begränsat till en viss period på året. Detta innebär även att risk finns att ål spills förbi uppsamlingen.
- En betydande del av anläggningens avbördningskapacitet kommer från utskov i anslutning till intagen. Avbördningskapaciteten vid höga flöden får inte äventyras av grinden.
- Periodvis hög belastning i form av vass, vattenväxter, is och annat drivgods förekommer. Automatisk grindrensning är således nödvändig.

#### 4.1.2 Dimensionering

För att uppfylla rekommendationen om maximalt 0,5 m/s vinkelrätt gallret krävs en area på 180 m<sup>2</sup>. Grinden dimensioneras för att klara av full igensättning dvs. hela grinden ska kunna sättas igen utan att den kollapsar.

Det faktum att vatten avbördas genom utskov direkt under intagen innebär att grindens placering framför dessa utgör potentiell risk för anläggningens avbördningskapacitet. Om grinden sätts igen vid ett högflöde finns risk att det inte går att avbörda tillräckligt. Risken för igensättning är dessutom ofta som störst vid högflöden pga. större mängder drivgods.

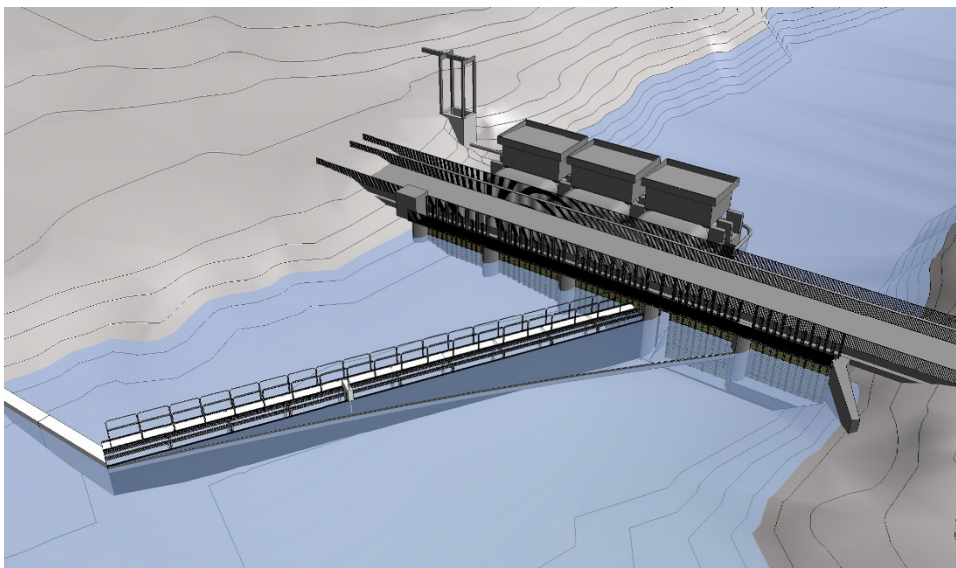
Eftersom grinden placeras framför utskov måste den kunna avlägsnas för att inte riskera igensättning vid ett högflöde med otillräcklig avbördningskapacitet som följd.

#### 4.1.3 Fingrind

En fingrind vid Älvås kraftverk för förbiledning av blankål föreslås utformas på följande sätt (Figur 4):

- Grinden utformas som en betagrind med liggande grindstål vilken täcker av hela vattenarean framför intagen/turbinutskoven. Liggande grindstål (betagrind) väljs eftersom den utformningen visat sig fungera bra vid t.ex. Herting samt vid andra anläggningar (Calles *et al.*, 2015; Nyqvist *et al.*, 2017).
- Konstruktionen utgår från vänster strand och ansluter direkt till höger om den befintliga kraftstationen. För att blankålen inte ska ta sig igenom grindarna, får det fria avståndet mellan grindstålen vara max 18 mm och för att erhålla önskvärd grindarea, 180 m<sup>2</sup>, erfordras en total konstruktionslängd om ca 45 meter (exklusive anslutande konstruktion mot vänster strand). Den vänstra anslutningen utgörs av en betongvägg med högsta höjd om 5 meter och ett fribord mot högsta kända nivå på 1 meter. Grindkonstruktionerna utformas på ett sådant sätt att de kan anslutas mot dammpelaren mellan befintlig kraftstation och utskovsdamm.
- För att hålla nere dimensionerna något har 5 stycken, 9 meter breda grindar valts. Grindarna utförs i rostfritt stål och det fria avståndet mellan grindstålen

är 18 mm. Genomsnittlig höjd för grindarna har med tillgängligt underlag beräknats till ca 4 meter och överkanten ligger i nivå med högsta kända vattennivå. Grindarna utformas på ett sådant sätt att de kan demonteras med mobilkran, antingen från vänster strand eller från befintlig brobana vid kraftstationen.



Figur 4. Betagrind samt ytans vid Ålvås krv.

- Grindarna ansluts i botten mot en ingjuten stålbalk i betongen. Betongtröskeln bedöms få en genomsnittlig höjd på 0,5 meter från botten räknat.
- Ovanpå konstruktionen ligger en gångbrygga för drift, service och underhåll.
- En läns installeras för att styra merparten av inkommande drivgods och is till de utskov som ligger längst till höger (sett i flödesriktningen). Länsen görs tät från ytan och ner till ca 0,5 m djup. En viss risk finns att ål leds bort mot utskoven men eftersom den ligger uppe vid ytan bedöms inte detta bli ett stort problem. Fördelarna med minskad belastning av skräp värderas högre.
- Det viktigaste skyddet mot drivgods bedöms vara grindens låga vinkel mot strömmen. Detta förmodas leda till att huvuddelen av drivgodset som kommer till grinden sveps längs med istället för att fastna. För det skräp/drivgods som ändå fastnar installeras en åkbar grindrensare. Åkbanan för grindrensaren monteras ovanpå grindarna och det bedöms att en grindrensare skall kunna täcka upp samtliga grindar. Grindrensaren föreslås bli automatisk, styrd av tryckfall över grindarna. Skräpet/grindrenset förs längs grindarna i nedströms riktning till flyktöppningen.
- Efter avledningen minskas flödet ned till ca 0,2 m<sup>3</sup>/s för att inte turbulensen i uppsamlingstanken ska bli för stor. Minskningen i flöde sker med hjälp av en roterande skärm (Figur 6 och 7, Eng. travelling screen). Denna fungerar som ett rullband med hål i där vattnet kan rinna igenom. Eftersom bandet hela tiden roterar rensar det sig självt genom att skräp som fastnar på uppströmssidan spolats bort när det hamnar på nedströmssidan och vattenflödet kommer från motsatt håll. För att skapa ett jämt flöde genom hela bandet finns vatten även på bandets nedströmssida. Flödet genom bandet kan finjusteras genom att



vattennivån på nedströmssidan justeras upp eller ned.

Huvuddelen av grindrenset bedöms följa huvudströmmen och hamna på den roterande skärmen och vidare till dammens nedströmssida. En mindre del skräp bedöms även hamna i avledaren.

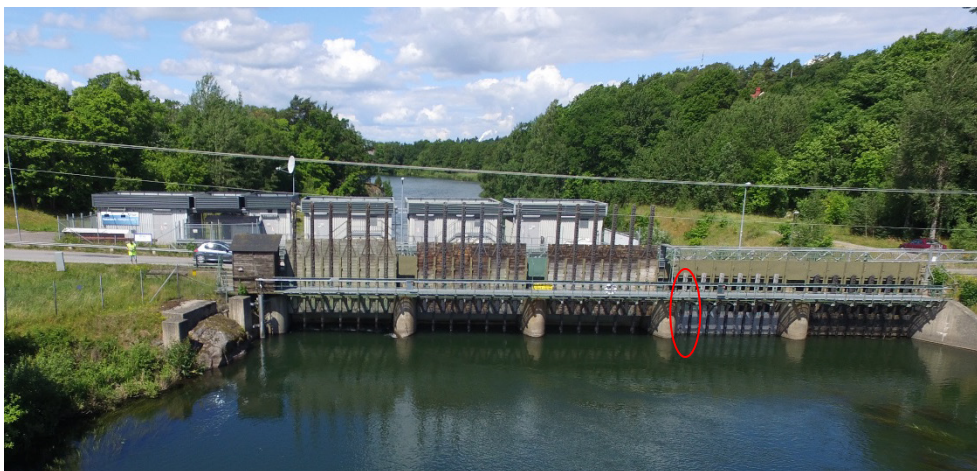
- De nya grindarna förses med lyftöron med syftet att de, vid en höglödessituation med risk för igensättning, skall kunna demonteras med mobilkran. Mobilkranen kommer inte alltid finnas på plats vilket ställer krav på organisationen att ha en handlingsplan för hur mobilkranen ska kunna ta sig dit med kort varsel. Eftersom avlägsnandet av grinden är beroende av den mänskliga faktorn går det dock inte att eliminera risken att grinden i skarpt läge inte avlägsnas. Damsäkerhetsklassen vid anläggningen är dock låg vilket gör att risken borde kunna accepteras.
- Om delar av grinden lossnar finns risk att den skadar någon av turbinerna eller skadar en del av dammen. Eftersom utskov finns i anslutning till turbinerna skulle en grinddel i princip kunna blockera ett utskov. Händelsen bedöms som osannolik eftersom men på grund av konsekvenserna av en sådan händelse bedöms detta som en medelstor utmaning/osäkerhet. Eftersom dammen har lägsta dammsäkerhetsklass bedöms utmaningen/osäkerheten vara medelstor och inte stor.
- På senare år har vandringsmussla (*Dreissena polymorpha*) som är en invasiv art börjat etablera sig i Motala ström. Musslan kan uppträda i stora bestånd och det har hänt att vattenintag mm. har blivit igensatta av musselkolonier. Även om vandringsmusslan i nuläget inte har påträffats vid Älvås finns en risk att den i framtiden sprider sig även dit med risk för igensättning av grinden. I sådant fall krävs troligtvis regelbunden rensning av grinden för att förhindra igensättning, möjligtvis genom att grinden lyfts bort och rensas på land.

Entreprenadgenomförande:

- Byggandet av de nya konstruktionerna görs i torrhet bakom temporära avstängningar, vilka helt kommer att omsluta de olika byggarbetsplatserna. De temporära avstängningarna har preliminärt antagits bli utförda med stålspont.
- Entreprenadtiden beräknas mycket grovt till ca 1 år.
- Under entreprenadtiden när intagen torrlagts får anläggningen en begränsad avbördningskapacitet. Avbördningskapaciteten i regleringsdammens utskov har beräknats till ca 130 m<sup>3</sup>/s vilket är lägre än medelhögvattenföringen på 150 m<sup>3</sup>/s. Detta innebär således en risk.
- De moment som kräver torrläggning av intagen bedöms kunna begränsas till en viss del av entreprenadtiden för att minska risken för att de sammanfaller med höga flöden. Skulle detta ändå inträffa får de temporära avstängningarna rivas. På grund av sjöarna uppströms sker förändringar i vattenföring relativt långsamt vilket innebär att viss förvarning om höga flöden bör kunna fås.

#### 4.1.4 Flyktöppning och uppsamling

Spettluckan i vänstra utskovet närmast turbinerna tas i anspråk för fiskavledning (Figur 5). Detta medför visserligen en viss reduktion av avbördningskapaciteten om ca 13 m<sup>3</sup>/s men detta bedöms vara acceptabelt.



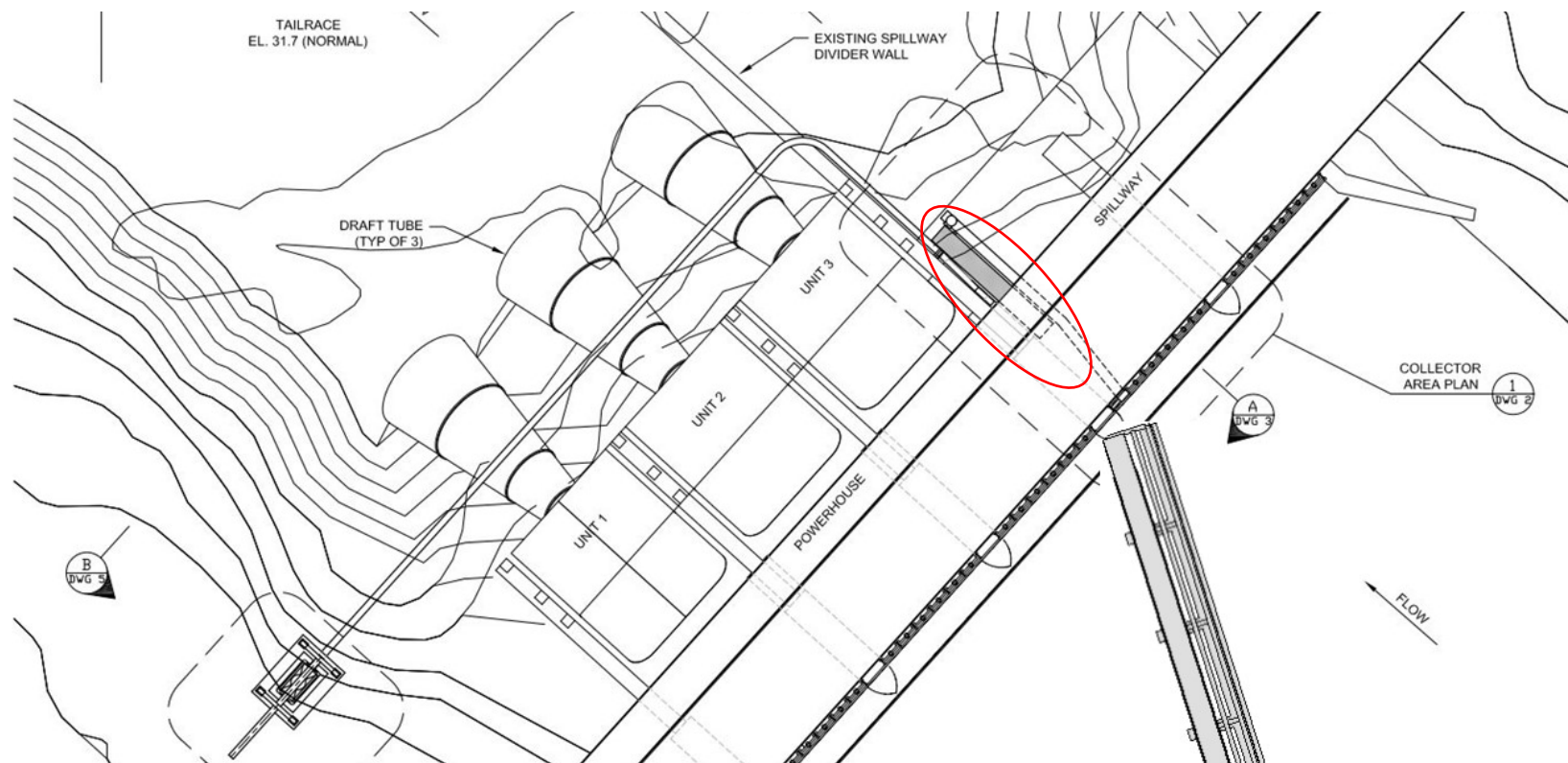
Figur 5. Älvås kraftverk, vy från uppströmssidan. Röd markering visar den lucka som föreslås för avledning av fisk.

Luckan byts ut mot en vägg med två öppningar, en som placeras ytligt och en som placeras närmre botten. Ca 1 m<sup>3</sup>/s avleds genom öppningen till ett utrymme bakom dammlinjen som uppstår genom att en skiljevägg placeras bakom den luckgât (i-balk) som utgör luckans högra fäste (Figur 6). Skiljeväggen separerar det avledda flödet från spillet. I utrymmets nedströmsände placeras en roterande skärm (Figur 7, Eng. travelling screen) vilken avvattnar flödet från ca 1 m<sup>3</sup>/s till ca 0,2 m<sup>3</sup>/s.

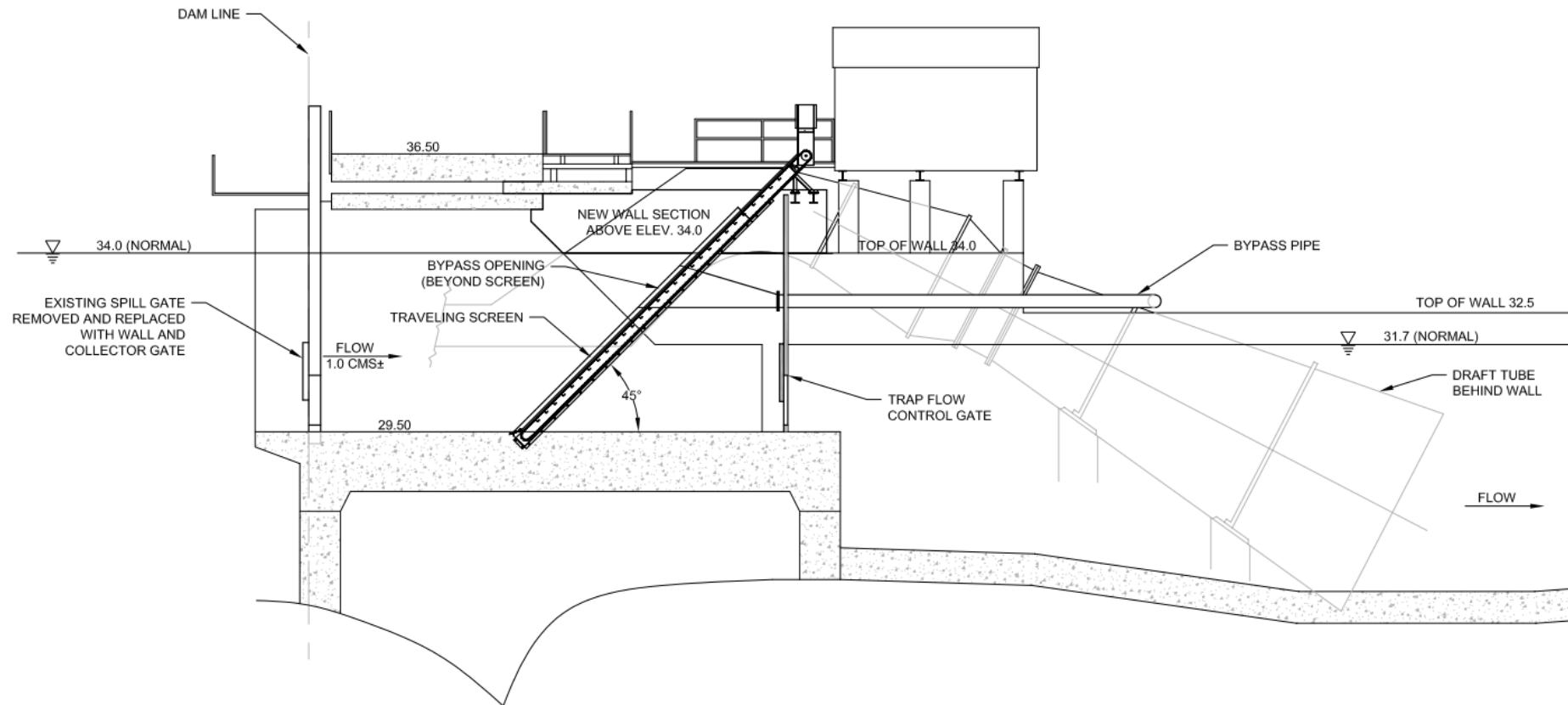
Den roterande skärmen fungerar som ett rullband med hål i där vattnet kan rinna igenom. Eftersom bandet hela tiden roterar rensar det sig självt genom att skräp som fastnar på uppströmssidan spolas bort när det hamnar på nedströmssidan och vattenflödet kommer från motsatt håll. För att skapa ett jämnt flöde genom hela bandet finns vatten även på bandets nedströmssida. Bakom skärmen finns en vägg med en lucka som kan regleras. Flödet genom bandet kan finjusteras genom att vattennivån på nedströmssidan justeras upp eller ned.

Till vänster om skärmen finns en öppning vilken via ett rör leder till en uppsamlingstank (Figur 8). Uppsamlingstanken är monterad i en ställning och kan hissas upp för att kunna lastas på lastbil.

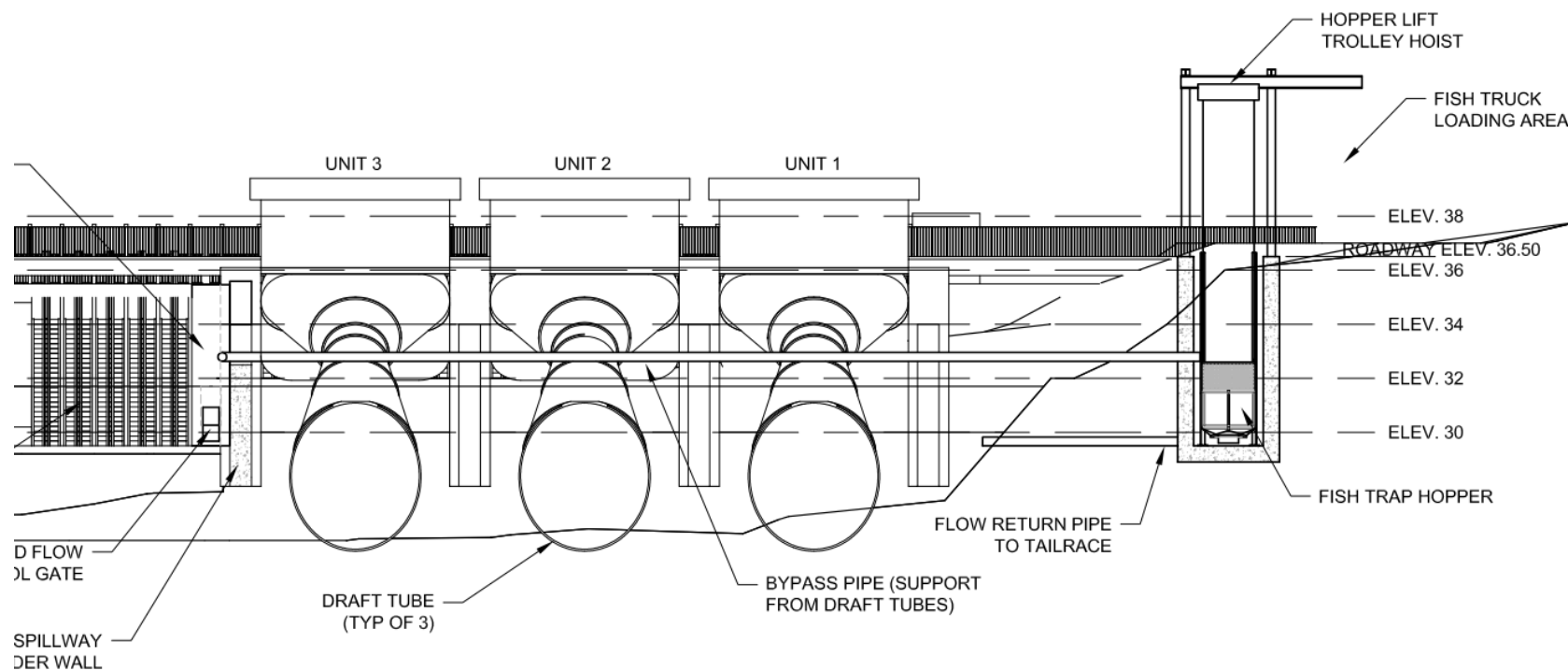
På grund av att spillsituationer förekommer frekvent över alla delar av året finns en risk att ål följer spillflödet och på så sätt inte samlas upp för transport nedströms. Huvuddelen av blankålen förväntas dock samlas upp. Den del som inte samlas upp får även i framtiden vandra ner genom systemet på samma sätt som i nuläget.



Figur 6. Avledningsanordning vid Älvås kr. Röd markering visar skiljevägg samt roterande skärm. Till vänster i bild syns uppsamlingen.



Figur 7. Sektionsvy över avledningsanordning vid Älvås kr. Figuren visar den roterande skärmen i sektion samt det rör som leder fisk vidare mot uppsamling ("bypass opening" och "bypass pipe"). Grinden syns ej i figuren.



Figur 8. Älvås kraftverk, vy från nedströmssidan. Figuren visar det rör ("bypass pipe") som leder fisk vidare mot uppsamlingstank ("fish trap hopper").

#### 4.1.5 Kostnader

Kostnader för fiskvandringssätgärder består oftast både av en investeringskostnad för anläggandet samt av löpande kostnader för den kontinuerliga driften. Både investeringskostnad och löpande kostnader har beräknats och uppskattats och redovisas för sig. Kostnaderna för transport av ål har beräknats utifrån uppgifter från Vattenfalls ”trap and transport” i Göta älv (Sparrevik muntligen 2017) med hänsyn tagen till den predikterade ålproduktionen uppströms Älvås (Calles & Christiansson, 2012) och en antagen uppsamlingseffektivitet om 80 % (Calles *et al.*, 2013b).

Kostnadsberäkningarna redovisas i bilaga 2.

##### Investeringskostnad

Entreprenadkostnad fingrind: **ca 14,5 Mkr**

Oförutsett (30 %), projektering och projektledning (10%): **ca 6 Mkr**

Uppsamlingsanordning: **ca 2 Mkr**

Produktionsbortfall entreprenad (1 år produktionsbortfall, 10 GWh årlig produktion, elpris 20-50 öre/kWh): **ca 2-5 Mkr**

Totalt **ca 24-28 Mkr**

##### Löpande kostnader

Produktionsbortfall pga. spill (1 m<sup>3</sup>/s, elpris 20-50 öre/kWh, 130 dagar/år då flödet understiger utbyggnadsvattenföringen): **ca 0,022-0,054 Mkr/år**

Produktionsbortfall pga. fallförluster (0.03 m): **ca 0,024-0,060 Mkr/år**

Produktionsbortfall pga. driftstopp: Inga driftstopp har i nuläget inkluderats i beräkningen. Inte heller någon minskning av de nuvarande ca 40 dagar driftstopp per år har tagits med i kalkylen. Om driftstopp inträffar bedöms det kosta ca 0,005-0,014 Mkr/dag i produktionsbortfall.

Drift och underhåll: Anläggningens föreslagna avledare för blankål med tillhörande konstruktioner medför en i omfattning utökad rondning i drift- och underhållshänsende. Anläggningens föreslagna nya konstruktioner kräver underhåll. Utökad drift- och underhållskostnad för den nya avledaren uppskattas mycket grovt till **ca 0,2 Mkr/år**.

Transport av ål i snitt sex gånger per månad för perioden juli-november motsvarande perioden för ålutvandring i Göta älv (Jeuthe & Leonardsson, 2017), samt en timmes hantering på plats vid Älvås till en timkostnad om 1356 kr (Erik Sparrevik, muntligen): **ca 0,084 Mkr/år**

Totalt **ca 0,47-0,53 Mkr/år**

#### 4.1.6 Utmaningar/osäkerheter

Nedan repeteras och listas utmaningar och osäkerheter som bedöms som störst vid anläggande av en eventuell fingrind vid Älvås. Utmaningarna/osäkerheterna som behandlades i kap. 4.1 delas in i liten, medelstor eller stor utmaning/osäkerhet.

- Grindens placering framför utskoven - medelstor utmaning/osäkerhet.
- Otillräcklig avbördning under byggtid – medelstor utmaning/osäkerhet.
- Drivgods från rensmaskinen hamnar i avledaren – liten utmaning/osäkerhet.
- Frekventa spillsituationer gör att ål som ska samlas upp för T&T leds förbi anläggningen – liten osäkerhet/utmaning
- Driftstopp på grund av igensättning pga. vattenväxter, annat drivgods eller kravis – liten utmaning/osäkerhet. En fingrind kan mycket möjligt leda till färre driftstopp på grund av drivgods än i nuläget (Ari Sundvall, intervju).
- Del av grinden lossnar och skadar turbin eller annan del av anläggningen - Medelstor utmaning/osäkerhet
- Igensättning av grinden på grund av vandringsmusslor – medelstor osäkerhet/utmaning

#### 4.2 VARGÖNS KRAFTVERK – GÖTA ÄLV

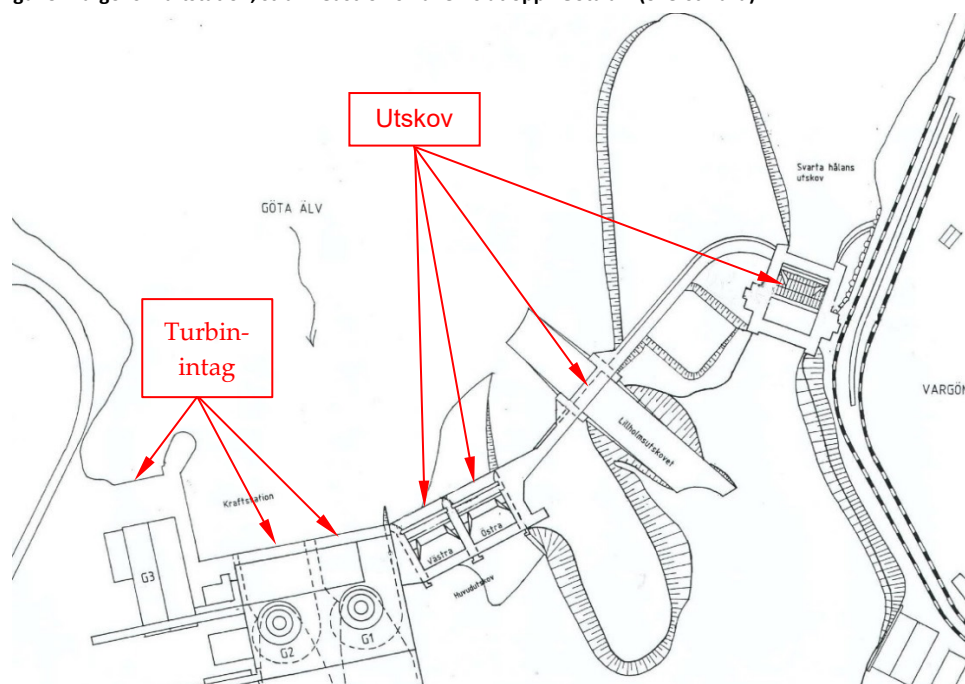
Vargöns kraftstation reglerar Väneren samt tappningen till Göta älv och är placerad ca 3 km nedströms Vänerens utlopp.

Kraftverket förses med vatten av 3 turbinintag placerade till höger i älvfåran relativt flödesriktningen (Figur 9, till vänster i bild). Aggregaten benämns G3 (närmast stranden) samt G1 och G2 (längre mot fårans mitt). Avbördning av vatten kan även avbördas genom 4 utskov på dammen (Figur 10). Såväl vattendraget som anläggningen räknas som stort i flödesvolym med svenska mått (Tabell 4).

Förutom huvuddammen utgörs anläggningen av ytterligare delar så som spärrdammar, skyddsvallar, tunnlar och avstängningsluckor längre uppströms. Åtgärderna som föreslås i rapporten är fokuserade till huvuddammen vid kraftstationen vilket innebär att övriga delar av anläggningen inte kommer beskrivas vidare.



Figur 9. Vargöns kraftstation, strax nedströms Vänerns utlopp i Göta älv (överst i bild).



Figur 10. Placering av turbinintag och utskov vid Vargöns kraftverk, Göta älv.

### Teknisk data

- Bruttofallhöjd: 5,1 m
- Utbyggnadsvattenföring: 930 m<sup>3</sup>/s
- Medelvattenföring: 557 m<sup>3</sup>/s
- Normalårsproduktion: 160 GWh
- Avbördningsförmåga: 1350 m<sup>3</sup>/s vid nivån +44.85 i Vänern (dämningsgräns). Utskoven kan dock avbörda upp till ca 1580 m<sup>3</sup>/s vid nivån +44.85 vid dammen men på grund av fallförluster mellan Vänerns utlopp och Vargön krävs en betydligt högre nivå i Vänern för att erhålla den avbördnings.



Tabell 4. Karaktäristiska flöden vid Vargöns krv. SMHI modellerade värden.

Karaktäristiskt flöde	Total stationskorrigerad vattenföring [m <sup>3</sup> /s]
HQ50	1190
MHQ	798
MQ	557
MLQ	336

Dämningsgränsen varierar över året men är som högst +44.85 (RH00). Gränsen innebär inte att nivån aldrig får överskridas utan att tvångstappning börjar ske vid den nivån. Vattennivån i Vänern har i modern tid toppnoterats till +45.67.

Sänkningsgränsen som tillämpas enligt avtal med Sjöfartverket är +43.90, men vattendomen medger sänkning till +43.16.

Tappningen till Göta älv från Vänern styrs inom befintlig dom av en tappningsställare vilken är en frivillig överenskommelse mellan Vattenfall och länsstyrelsen i ett proaktivt försök att hålla Vänerns yta på en lägre nivå. Det innebär att såväl Vänerns nivå, tillrinningen till sjön, prognosticerad tillrinning till sjön samt planerad produktion i kraftverket bestämmer tappningen. På grund av den stora magasineringsförmågan och tappningsregimen korrelerar tappningen vid Vargön inte alltid med tillrinningen till Vänern. Tappningen vid Vargön vid ålens vandringsperiod kan således vara hög såväl som låg.

Dammen är klassad som dammsäkerhetsklass A vilket är den högsta säkerhetsklassen i Sverige enligt miljöbalken.

Drivgods och skräp passerar fritt genom aggregat G1 och G2 där inga intagsgrindar finns. Aggregat G3 är försedd med en grovgrind utan automatisk grindrensning. En flytläns framför G3 leder ytorienterat drivgods mot G1 och G2 där det kan passera genom turbinerna. Även grovt drivgods som grenar och träd kan passera genom turbinerna.

På grund av anläggningens placering i ett sjöutlopp med strömmande vatten bildas normalt inte något istäcke framför intaget vintertid. Detta medför tidvis komplikationer, bland annat risk för iskravning samt att flytande isflak behöver hanteras vid stationen.

Isflaken hanteras i nuläget genom att länsen leder dem mot aggregat G1 och G2 där de kan passera anläggningen. Isens belastning på länsen är periodvis mycket hög vintertid och det har hänt att den har brustit på grund av för stora islaster.

Förutom is är belastningen av vattenväxter som kommer flytande med strömmen, i synnerhet nate, periodvis ett problem. Det har hänt att grinden framför intaget till G3 satts igen helt och hållet av vattenväxter och behövs rensas med hjälp av dykare. Spaltvidden i grinden framför G3 är 100 mm.

Förekomst av vattenväxter sker framför allt när isen håller på att lägga sig. Möjligtvis fryses växterna fast i isen när den lägger sig och rycks därefter upp. Men

stora mängder vattenväxter vid kraftstationen kan även dyka upp under andra tidpunkter på året.

#### 4.2.1 Förutsättningar för val av fingrind

- Uppsamling av ål är nödvändigt för att kunna transportera ålen förbi kraftstationerna nedströms; Olidan, Hojum och Lilla Edet.
- Riktlinjer som följer det som beskrivits som tumregler för väl fungerande nedströmspassagelösningar ska tillämpas. Detta innebär att:
  - × Grindens lutning mot inströmningen ska uppgå till maximalt 30-35 grader mot antingen horisontal- eller vertikalplanet (Calles et al., 2013a).
  - × Spaltvidden får maximalt uppgå till 18 mm. Detta är det mått som i litteraturen anges för att inte blankål ska passera genom grinden (Calles et al., 2013a).
  - × Vattenhastigheteten vinkelrätt gallret bör ej överstiga 0.5 m/s (DWA, 2005).
- Hela vattenarean ska täckas av grinden under de perioder när blankålen vandrar ut, dvs. juli – november, med den mest intensiva vandringen augusti-oktober (Jeuthe & Leonardsson, 2017). Fårans djup uppströms intagen uppgår till ca 12 m.
- Grinden ska anpassas efter slukförmågan, 930 m<sup>3</sup>/s vilket är > 12 ggr mer än vad den för närvarande största fingrinden i Sverige är anpassad för.
- På grund av dammens höga dammsäkerhetsklass är det av största vikt att inte anläggningens avbördningsförmåga påverkas negativt. Detta innebär att potentiella åtgärder inte kan placeras framför utskovsluckorna eftersom en igensättning av grinden då skulle kunna leda till sänkt avbördningsförmåga.
- Vintertid bedöms kravis kunna orsaka stora problem för en fingrind. När omständigheterna är sådana att iskravning uppstår bedöms stora delar av grinden sätta igen oavsett materialval.
- Flytande isflak har tidigare orsakat så stor belastning på länsen att den gått av vilket innebär att risken att grindstål i en fingrind kan skadas är påtaglig. Isflak avleds idag genom aggregat G1 och G2 vilka saknar intagsgrind. Grinden får inte ta bort möjligheten att avleda isflak på ett säkert sätt.
- Sammantaget bedöms det vara mycket komplicerat att ha en fingrind framför intagen vintertid. Hela eller delar av grinden behöver därför kunna avlägsnas vintertid.

#### 4.2.2 Dimensionering

För att vattenhastigheten 0,5 m/s direkt uppströms grinden inte ska överskridas behöver grindens area uppgå till ca 1800 m<sup>2</sup>. För att få ner grindens storlek något har bedömningen gjorts att det kan tolereras att denna gräns överskrids något vid full drift. En avvägning har därför gjorts att vid flöden över 600 m<sup>3</sup>/s är det acceptabelt med något högre vattenhastighet direkt uppströms vinkelrätt grinden.

Med detta resonemang blir grindens area istället ca 1400 m<sup>2</sup>. Vid full drift blir vattenhastigheten något större, upp till 0,7 m/s.

Kraftverkets slukförmåga räknas inte in i anläggningens avbördningsförmåga vilket innebär att grinden kan placeras framför intagen utan att påverka avbördningsförmågan.

Igensättning av intagsgrinden innebär en säkerhetsrisk samt stora ekonomiska konsekvenser i form av produktionsbortfall (driftstopp, arbetskostnader mm.) och ska därför undvikas. Om grinden sätter igen med fortsatt drift vid kraftverket finns risk att ensidig vattenlast uppstår. Om grinden inte är dimensionerad för detta lastfall kan det orsaka en kollaps.

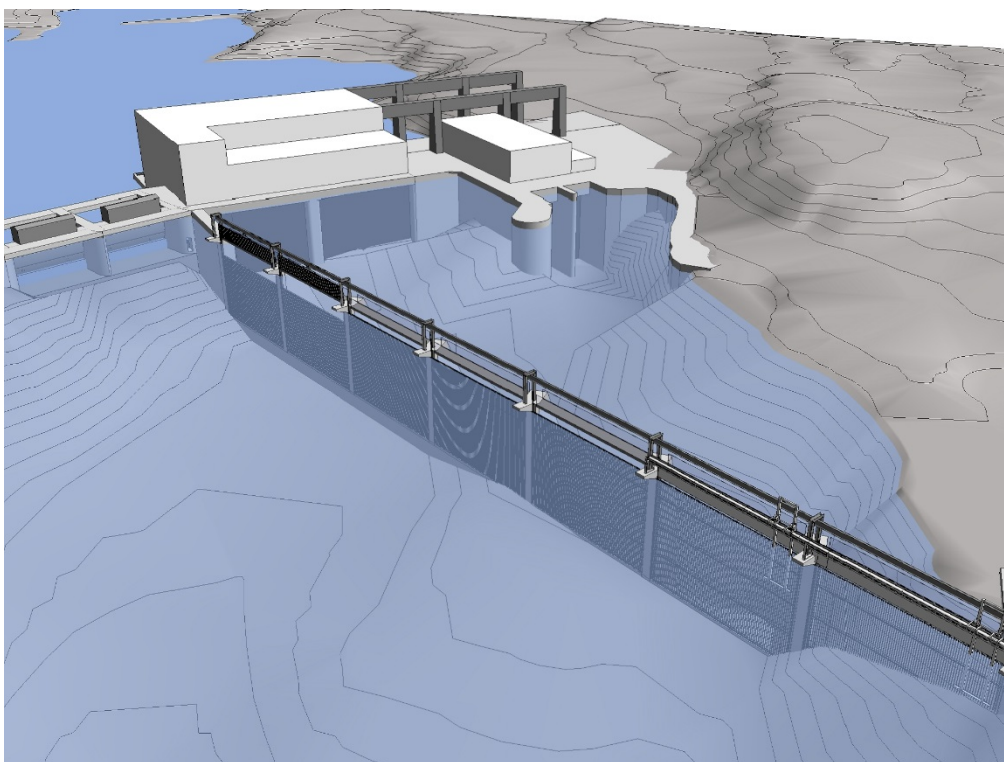
På grund av stora isflak som kommer flytande vintertid bedöms inte grinden kunna ligga under den perioden. Hela eller delar av grinden behöver kunna avlägsnas under denna period.

#### 4.2.3 Fingrind

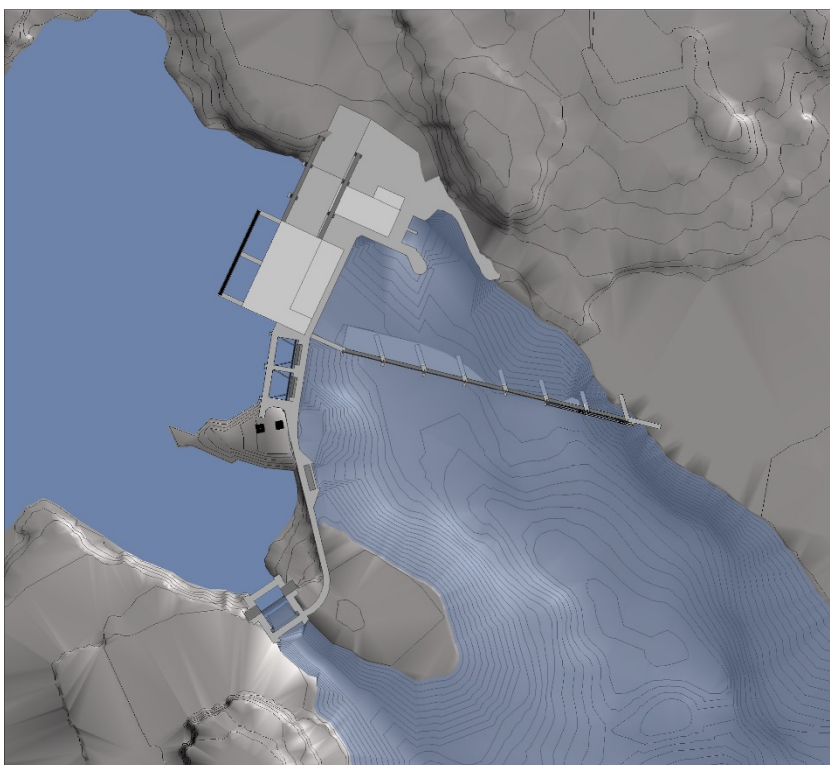
En fingrind vid Vargöns kraftverk för förbiledning av blankål föreslås utformas på följande sätt:

- Konstruktionen utgår från höger strand och ansluter direkt till vänster om den gamla kraftstationen mot reglerdammen. Grindarean uppgår till 1400 m<sup>2</sup> och för detta erfordras en total konstruktionslängd om ca 165 meter (Figur 11 och 12). Anslutningarna i vardera änden utgörs av betongkonstruktioner med ungefärlig längd 15 meter och snitthöjd ca 10 meter. Fribordet mot dämmningsgräns föreslås bli 1 meter.
- Konstruktionen utformas med 7 stycken, 17 meter breda grindar. Grindarna utförs i rostfritt stål och det fria avståndet mellan grindstålen är 18 mm. Grindstålen görs stående till skillnad från den föreslagna grinden vid Älvås. Med den omfattande höjd som grinden i Vargön får bedöms det som mycket svårt att få till en rensningslösning med liggande grindstål. Med vertikala grindstål bedöms rensning vara möjligt om än komplicerat.
- Genomsnittlig höjd för grindarna har med tillgängligt underlag beräknats till ca 10 meter och överkanten på grinden förläggs i nivå med dämmningsgränsen. De översta 2 metrarna av grindarna görs lyftbara (Figur 13) och är nedsänkta i vattenvägen endast den tid på året som ålen vandrar och ska fångas upp. Övrig tid på året är de övre delarna av grindarna lyfta ovan vattnet (med underkanten 1 meter ovanför dämmningsgräns), för att is och annat drivgods ska kunna passera. Grindarna lyfts förslagsvis med telfer vilket är en sorts lyftanordning. Telferbanor (balkar som lyftanordningen kan dras längs) monteras längs konstruktionen, tre stycken telfrar bör kunna täcka in de sju grindarna. I de fall ål vandrar ut under den period då grindarnas överdel är upplyft finns risk att den inte fångas upp.
- Fallförlusten för den nya grinden har beräknats och uppskattats till ca 3 cm. Den teoretiska fallförlusten är lägre än detta liksom erfarenheterna från installerade fingrindar. Men eftersom grinden troligtvis inte kommer vara ren hela tiden har den bedömda fallförlusten ökats något.
- Befintlig grind framför G3 behålls eftersom delar av den nya grinden hissas upp under delar av året.
- Grindarna åtskiljs av 2 meter breda betongpelare, totalt 8 stycken. Genomsnittlig höjd för betongpelarna har med tillgängligt underlag beräknats till ca 14 meter och har ett fribord mot dämmningsgränsen på 1 meter.
- Grindarna ansluts i botten mot betongtrösklar, vilka har bedömts få en genomsnittlig höjd på 1 meter.
- Ovanpå konstruktionen ligger en gångbrygga för drift, service och underhåll.

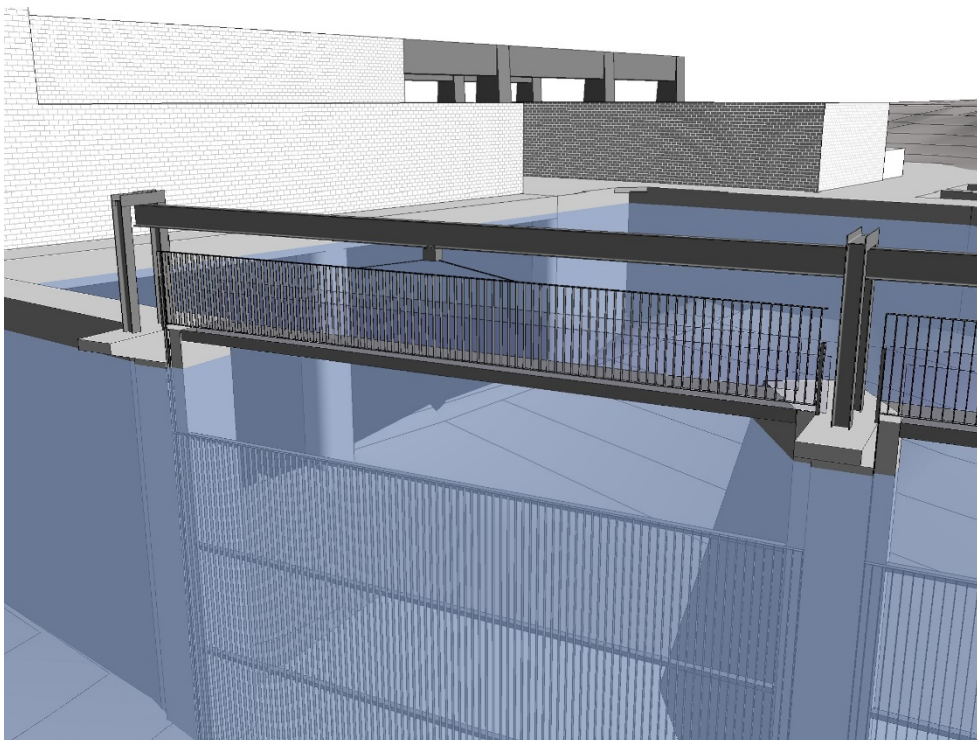
- Det bedöms inte vara rimligt att dimensionera grinden för full igensättning och ensidig vattenlast på grund av grindens höga höjd. Konstruktionen skulle bli orimligt stor. Ensidig vattenlast måste istället undvikas med hjälp av grindrensare. Det bedöms som osannolikt att hela grindens area om 1400 m<sup>2</sup> skulle sättas igen på en gång utan att rensarna hinner med att rengöra grinden. Grindrensning av en så stor och djup grind är en stor utmaning vilket diskuteras längre ned.
- Om hela grinden trots allt skulle sätta igen slår kraftverket ifrån när nivågivare larmar om att fallförlusten över grinden blivit för stor.
- Grindarna förses med åkbara grindrensare. Åkbanor monteras direkt uppströms om grindarna, tre stycken grindrensare bedöms kunna täcka upp samtliga grindar. Grindrensarna föreslås bli automatiska, styrda av tryckfall över grindarna. Grindrenset lyfts vidare över grindarna för att gå igenom G1 och G2, i likhet med hur drivgods hanteras idag vid anläggningen. Grindrensarna föreslås bli av den typ som skrapar rensset uppifrån och ned eftersom detta visat sig vara effektivt för mot vattenväxter. På grund av den stora grindarean, det omfattande djupet och den tidvis höga belastningen av drivgods bedöms rensningen av grinden utgöra en stor utmaning/osäkerhet.
- Vid situationer med iskravning bedöms delar av eller i värsta fall hela grinden kunna sätta igen. Grindrensarna bedöms inte kunna frigöra grindarna från is om den börjat bygga på. I en sådan situation slår kraftverket ifrån med driftstopp som följd. Driftstopp pga. iskravning bedöms bli ovanliga med eftersom konsekvenserna av driftstopp är så kostsamma bedöms risken ändå vara en stor utmaning/osäkerhet.
- Vid en igensättning av grindarna kan vatten inte avbördas genom turbinerna. Anläggningens avbördningsförmåga bygger dock endast på utskoven och turbinernas tillskott är inte inräknad. Anläggningens avbördningsförmåga påverkas därför inte.
- Om delar av grinden lossnar finns risk att den skadar någon av turbinerna eller skadar en del av dammen. Grinddelarna bedöms inte kunna blockera något utskov de i så fall lossnar och följer med strömmen. Händelsen bedöms som osannolik men på grund av de stora konsekvenserna av en sådan händelse bedöms detta som en stor utmaning/osäkerhet.
- Det faktum att det saknas erfarenheter av en så stor fingrind innebär en risk för oförutsedda händelser vilka kan leda till ökade kostnader, säkerhetsrisker eller driftstopp. Bristen på erfarenhet innebär osäkerheter vad gäller arbetsmiljö och säkerhet. På grund av anläggningens storlek och dammsäkerhetsklass bedöms detta vara en stor osäkerhet/utmaning.



Figur 11. Ny fingrind vid Vargöns kv. Vy från uppströmssidan.



Figur 12. Ny fingrind framför Vargöns kv. Vy rakt uppifrån.



Figur 13. Ny fingrind framför Vargöns krv. Grindsektion där översta delen hissats upp.

#### Entreprenadgenomförande:

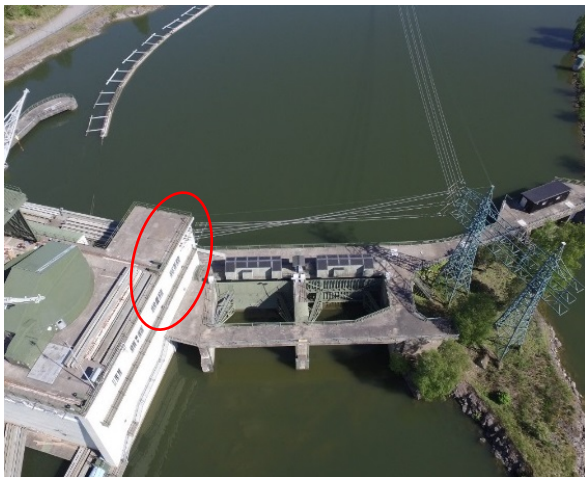
- Byggandet av den nya konstruktionen görs i torrhet bakom temporära avstängningar, vilka helt kommer att omsluta byggarbetsplatsen. Temporär avstängning har preliminärt antagits bli utförd med stålspont. Uppförandet av konstruktionen utförs lämpligen i två etapper, för att möjliggöra produktion under entreprenadtiden.
- Om sponten kan ansluta till dammen till höger utskoven kan avbördningskapaciteten bibehållas under entreprenaden. Ifall fångdammen blockerar utskovet längst till höger minskas anläggningens avbördningskapacitet under byggtiden med ca 370 m<sup>3</sup>/s. Ifall avbördningskapaciteten behöver minskas innebär detta en medelstor utmaning. Vidare utredning krävs för att utforma torrläggningen i detalj.
- Entreprenadtiden beräknas mycket grovt till ca 3 år.

#### 4.2.4 Flyktöppning och uppsamling

Från grindarna leds fisken ut genom två öppningar som tas upp i befintlig betong mellan aggregat G2 och utskovet längst till höger (Figur 14). Bakom muren finns ett kilformat utrymme vilket utnyttjas för den teknik som krävs för uppsamling av fisken (Figur 15).

Av de två öppningarna placeras en ytligt och en placeras nära botten. För ål bedöms en bottenorienterad öppning vara viktigast men med en ytorienterad täcks fler arter in. Ett vattenflöde om ca 2 m<sup>3</sup>/s avleds via öppningen vilket bedöms vara

tillräckligt stort för att kunna attrahera ålen. Vattenhastigheten i öppningen uppgår till ca 1,5 m/s. Detta bedöms skapa gynnsamma förhållanden för att attrahera ål. Eftersom tidigare erfarenheter saknas av en så djup och lång grind är funktionen för fisk att betrakta som osäker. Detta bedöms som en medelstor utmaning/osäkerhet.



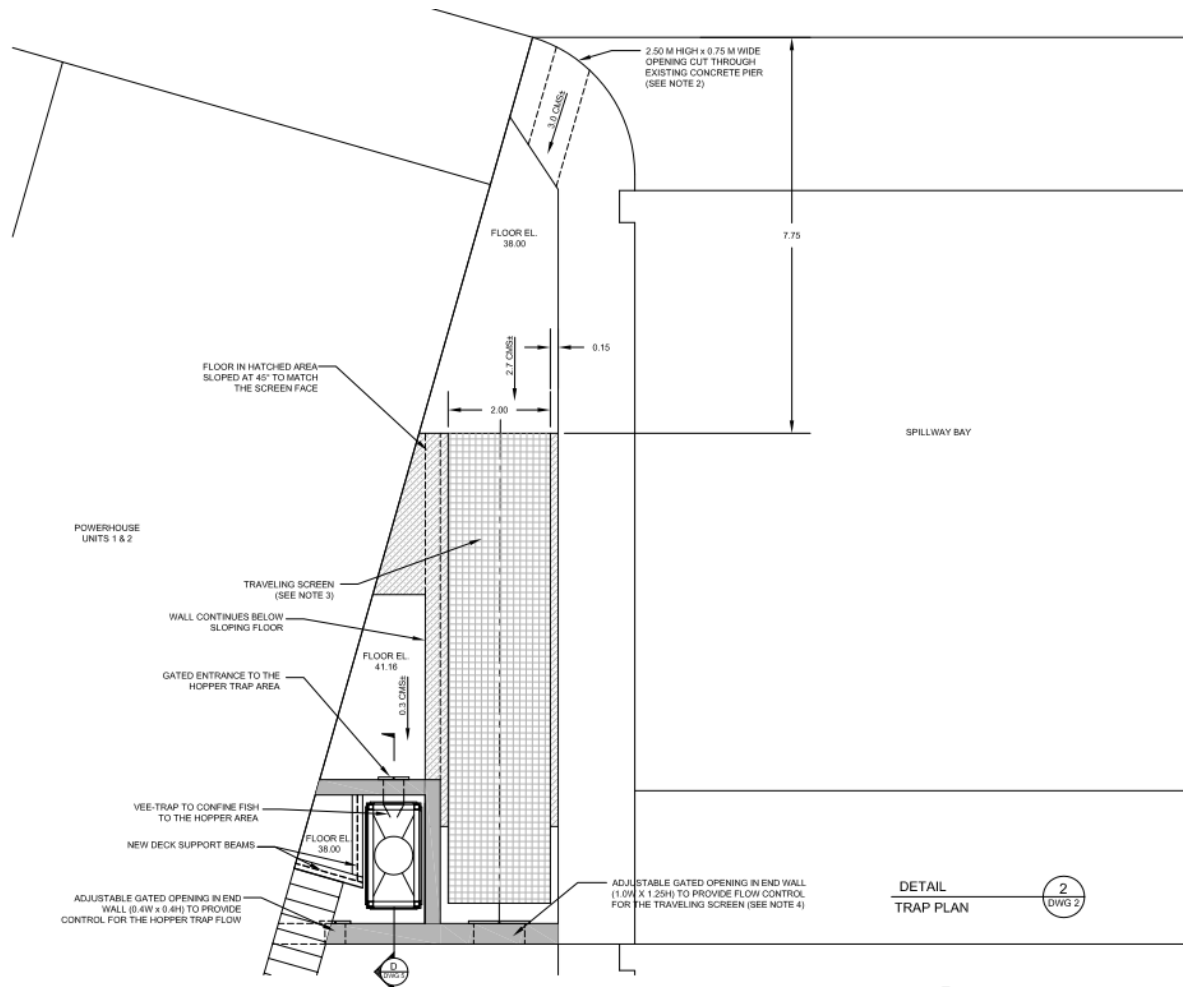
Figur 14. Kilformat utrymme mellan utskov och intag som används för fiskavledningen.



Figur 15. Utrymmet sett från nedströmssidan.

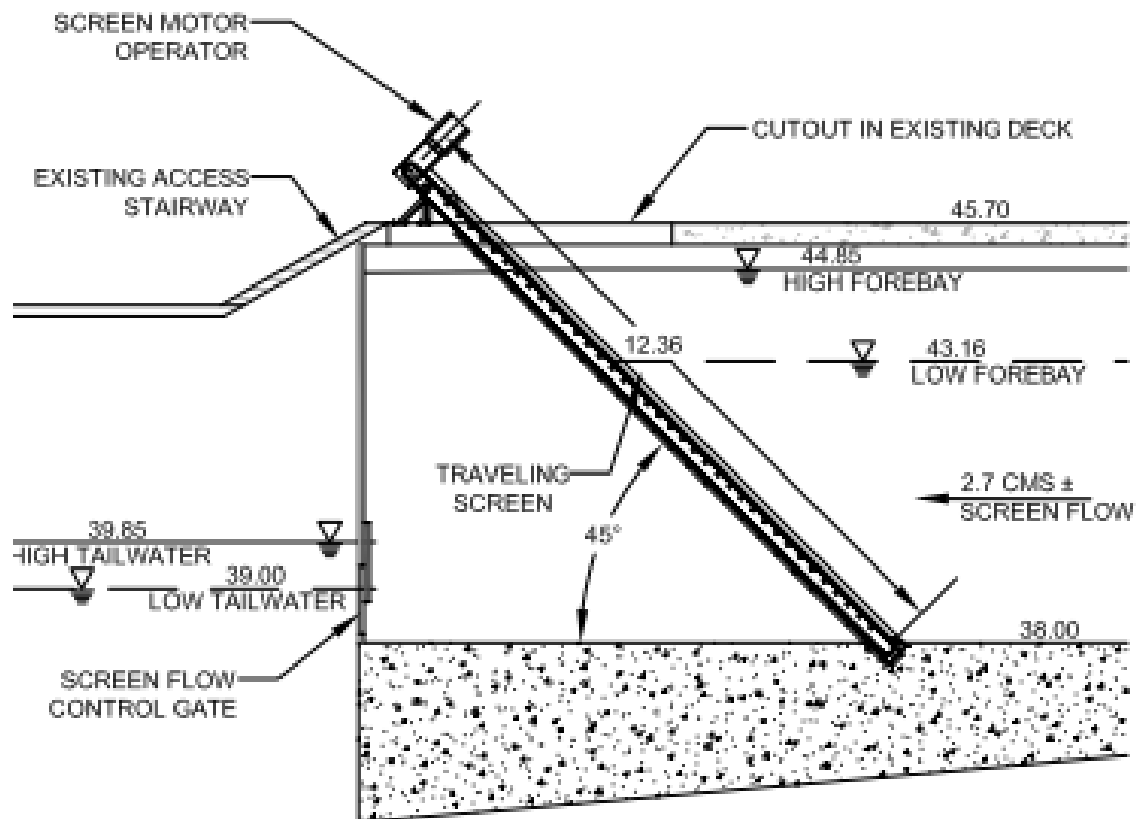
Efter avledningen minskas flödet ned till ca 0,3 m<sup>3</sup>/s för att inte turbulensen i uppsamlingstanken ska bli för stor. Minskningen i flöde sker med hjälp av en roterande skärm (Figur 16 och 17, Eng. travelling screen) vilken beskrivs i 4.1.3.

Ål och annan fisk i det avvattnade flödet leds in i en uppsamlingstank som är utformad så att den går att lyftas (Figur 18). Konceptet för detta finns redan utformat vid flera anläggningar i USA och Kanada (Figur 19). Uppsamlingstanken utförs med volymen ca 2 m<sup>3</sup> vilket innebär att den vattenfylld kommer väga drygt 2 ton. Fisktanken lyfts vidare till lastbil för fortsatt transport med de befintliga kranar som redan finns på stationsbyggnadens tak. Kranarna har kapacitet att lyfta ca 6 ton och lyftet behöver utföras i två etapper. Den första kranen lyfter behållaren upp till taket och den andra lyfter från taket till lastbilen. Hela förflyttningen bedöms ta ca 0,5 h. Uppsamlingstankarna bör förses med utrustning för syresättning av vattnet.

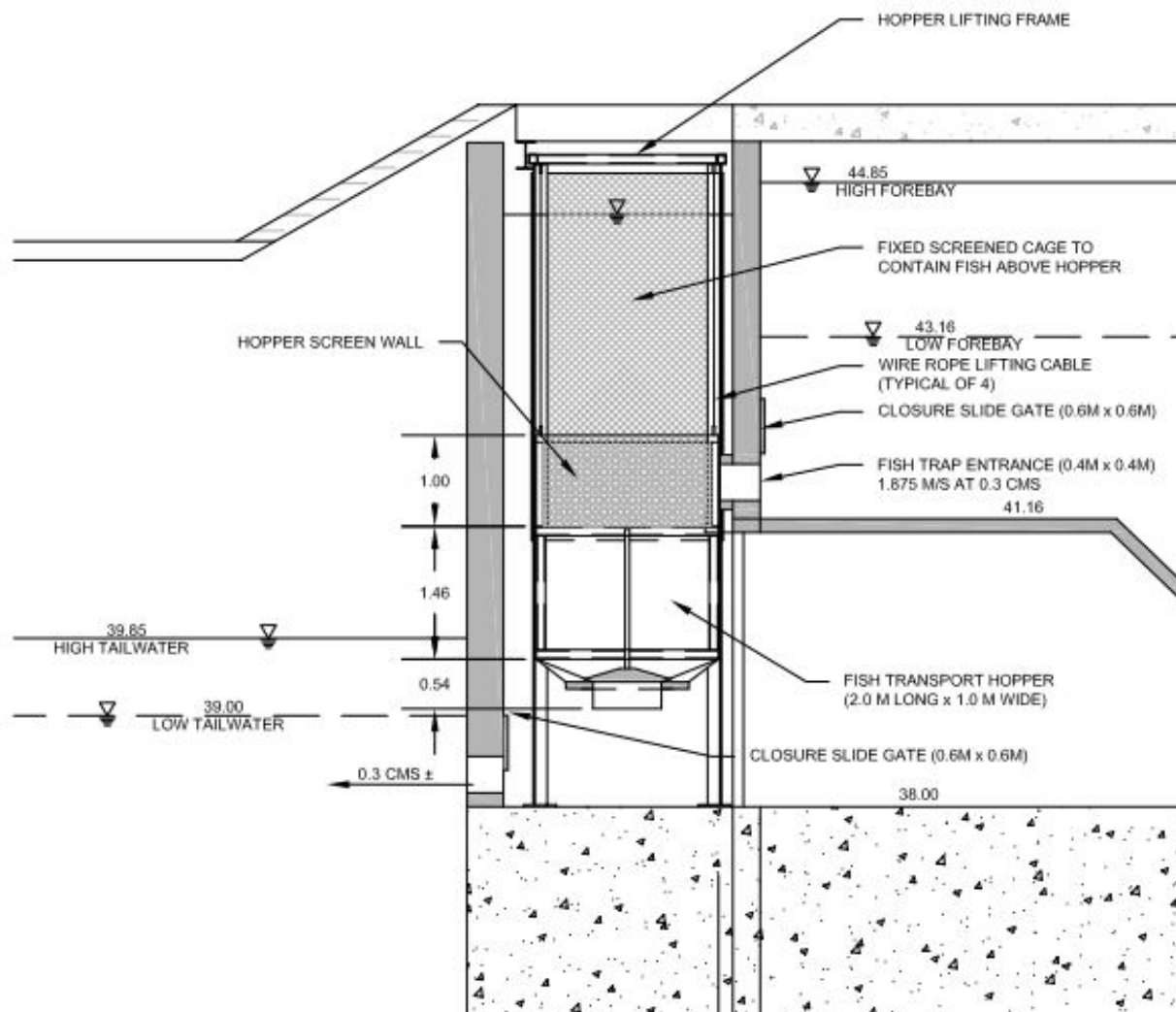


Figur 16. Planvy på uppsamlings och avvattningsanordningen placerad i det kilformade utrymmet från Figur 14 och 15.





Figur 17. Sektionsvy på det perforerade den roterande skärmen vilken avvattnar flödet.



Figur 18. Lyftbar uppsamlingstank där fisken samlas för vidare transport.



**Figur 19. Exempel på lyftbar bur från nordvästra USA. Foto: Peter Christensen.**

#### 4.2.5 Kostnader

Kostnader för fiskvandringssåtgärder består oftast både av en investeringskostnad för anläggandet samt av löpande kostnader för den kontinuerliga driften. Både investeringskostnad och löpande kostnader har beräknats och uppskattats. Kostnaderna för transport av ål har beräknats utifrån uppgifter från Vattenfalls "trap and transport" i Göta älv (Sparrevik muntligen 2017).

Kostnadsberäkningarna redovisas i bilaga 3.

##### Investeringskostnad

Entreprenadkostnad fingrind: **ca 160 Mkr**

Oförusett (30 %), projektering och projektledning (10 %): **ca 65 Mkr**

Uppsamlingsanordning: **ca 3 Mkr**

Produktionsbortfall entreprenad (1.5 år produktionsbortfall, 165 GWh årlig produktion, elpris 20-50 öre/kWh): **ca 50-124 Mkr**

**Totalt ca 280-350 Mkr**

##### Löpande kostnader

Produktionsbortfall pga. spill (3 m<sup>3</sup>/s, elpris 20-50 öre/kWh): **ca 0,15-0,37 Mkr/år**

Produktionsbortfall pga. fallförluster (0.03 m): **ca 0,19-0,49 Mkr/år**

Produktionsbortfall pga. driftstopp: Inga driftstopp har i nuläget inkluderats i beräkningen. Om driftstopp inträffar bedöms det kosta ca 0,09-0,23 Mkr/dag i produktionsbortfall.

Drift och underhåll: Anläggningens föreslagna avledare för blankål med tillhörande konstruktioner medför en i omfattning utökad rondning i drift- och underhållshänseende. Anläggningens föreslagna nya konstruktioner kräver underhåll. Utökad drift- och underhållskostnad för den nya avledaren uppskattas mycket grovt till **ca 1 Mkr/år**

Transport av ål i snitt sex gånger per månad för perioden juli-november (Jeuthe & Leonardsson, 2017), samt en timmes hantering på plats vid Vargön till en timkostnad om 1356 kr (Erik Sparrevik, muntligen). Ytterligare ca 1 h per transport bedöms gå åt utöver hanteringen på plats: **ca 0,08 Mkr/år**

**Totalt ca 3,2-3,7 Mkr/år**

#### 4.2.6 Utmaningar/osäkerheter

Nedan repeteras och listas de utmaningar och osäkerheter som bedöms som störst vid anläggande av en fingrind vid Vargön. Utmaningarna/osäkerheterna som behandlades mer ingående i kap. 4.2 delas in i liten, medelstor eller stor utmaning/osäkerhet.

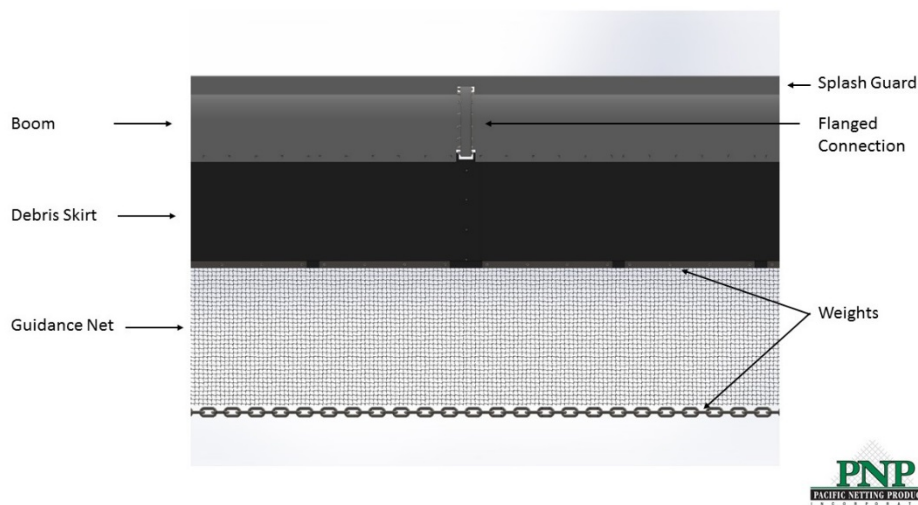
- Igensättning av grind pga. vattenväxter eller annat drivgods – Stor utmaning/osäkerhet.
- Igensättning av grind pga. iskravning - Stor utmaning/osäkerhet.
- Del av grinden lossnar och skadar turbin eller annan del av anläggningen - Stor utmaning/osäkerhet
- Minskad avbördningskapacitet under byggtiden om utskovet längst till höger blockeras. Stor utmaning/osäkerhet
- Risk för driftstopp – Medelstor utmaning/osäkerhet.
- Anlockning otillräcklig – Medelstor utmaning/osäkerhet.
- Erfarenhet av fingrind i jämförbar storlek saknas – Stor utmaning/osäkerhet.

#### 4.2.7 Alternativa lösningar för avledning i stora vattendrag

Det finns fler lösningar än låglutande grindar för avledning och uppsamling av fisk i vattendrag. Flera alternativa lösningar inbegriper nät istället för galler, t.ex. de "stow-nets" (Klust, 1970) som omnämns i tidigare rapporter (Calles & Christiansson, 2012). I Nordamerika finns flera anläggningar som använder nät för att leda av och samla ihop fisk, men då i huvudsak laxartad fisk. Det finns i dag inga motsvarande lösningar för att leda av och samla ihop nedströmsvandrande blankålar, men i teorin borde en sådan lösning fungera även för ål. Tekniken har tidigare beskrivits som begränsad till platser med låg vattenhastighet och begränsad mängd drivgods (EPRI, 2002), vilket med största sannolikhet innebär att man inte kan använda dem i turbintagens närhet där hastigheterna är höga. För att utreda möjligheter och begränsningar med en sådan lösning i Göta älv, togs kontakt med ansvariga på företaget "Pacific netting products" våren 2017, vilket följdes upp med ett möte med representanter från företaget vid konferensen Fish Passage 2017 i Corvallis, Oregon, USA. Nedan presenteras en sammanfattning av utfallet från korrespondensen.

##### *Näten*

Det kommersiella namnet på materialet är Dyneema® och näten benämns "Flexible Barrier nets". Materialet utgörs av en "Ultra High Molecular Weight Polyethylene" (UHMWPE), som beskrivs som 15 gånger starkare än stål av motsvarande dimension. Maskstorleken anpassas efter ändamålet och näten anpassas efter platsens batymetri och kan kombineras med ytlänsar för att hantera drivgods (Figur 20).



Figur 20. Tvärsnitt av en kombination av ett nät och ytläns. Figur från Pacific Netting Products (2017).

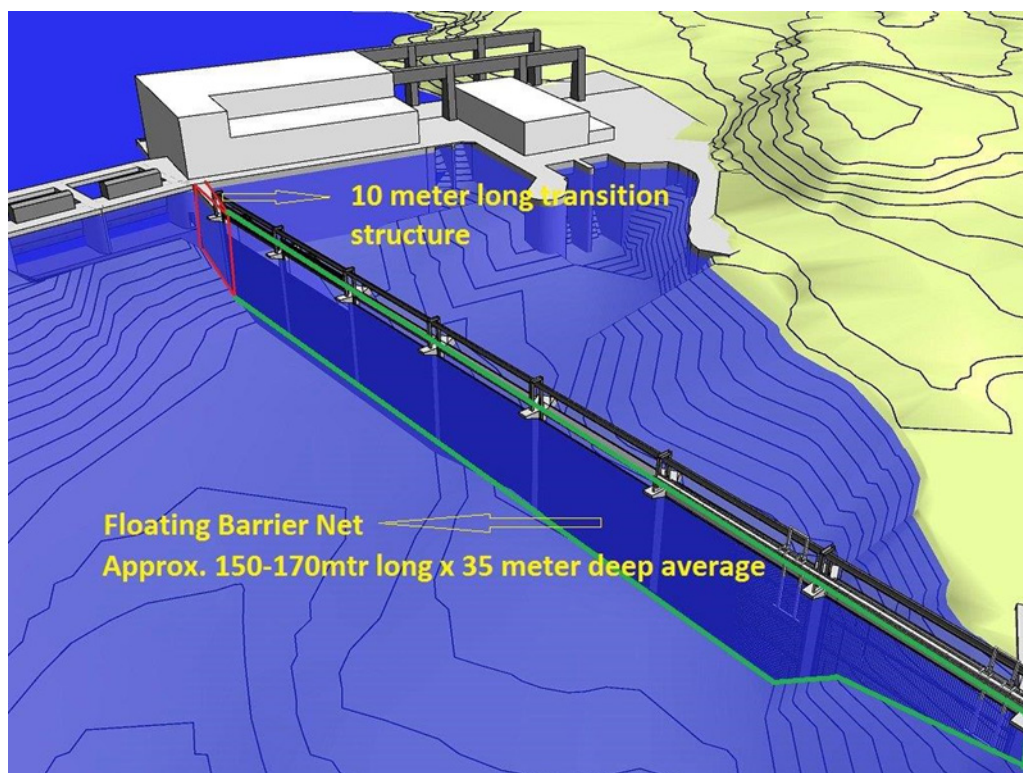
#### Nätbarriär vid Vargöns kraftverk

Det första scenariot bestod i att utreda möjligheterna till att ersätta ovan beskrivna fingaller med ett nät, med samma placering och uppsamlingsenhet. Nätet föreslås ha en maska om 18 mm och kombineras med en "Multi-Function Boom" i överkant. I nederkant hålls nätet i fiskande position med en grov kedja som väger ca 30 kg/m. Nätet anpassas till platsen batymetri och skulle då ha ett medeldjup om 16 m och vara 150-170 m långt (Figur 21). Nätet konstrueras i flera sektioner för att öka hållfastheten och rullas ihop för att underlätta upptag och vinterförvaring.

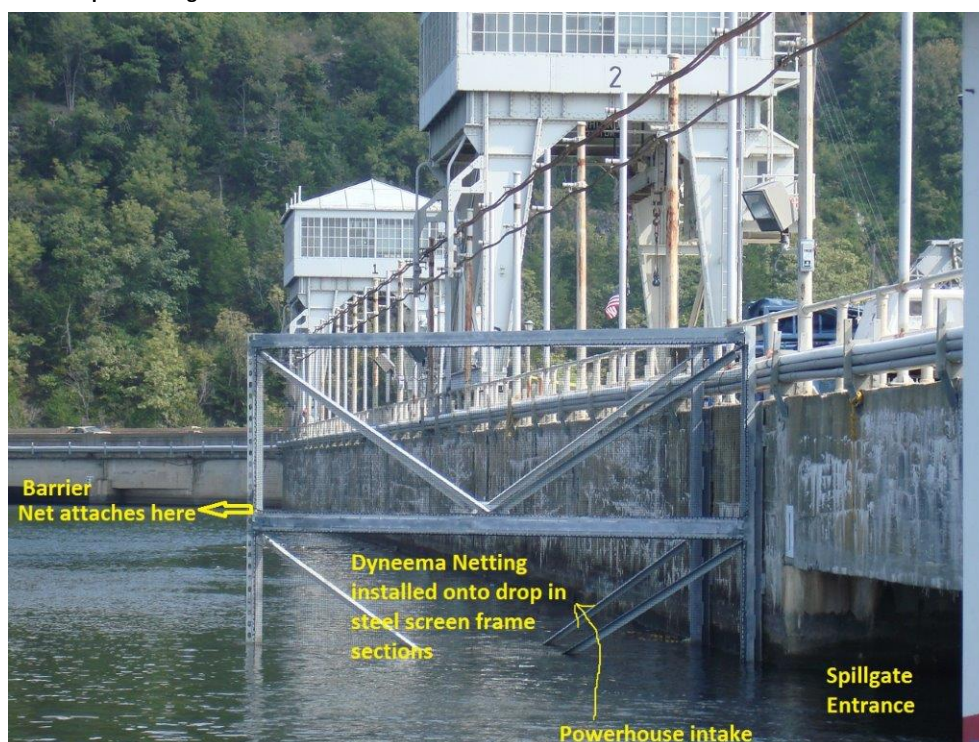
Närmast dammkroppen övergårnätet i en konstruktion som antingen är ogenomsläpplig (liknande den i Figur 11-13) alternativt ett mer finmaskigt nät (Figur 22). Tid för installation uppskattas till några veckor, kortare vid upptagning och isättning efterföljande tillfällen, där anslutningen till dammkroppen bedöms vara den största utmaningen. Det är värt att notera att nätbarriärer av detta slag har en betydligt kortare livslängd än en intagsgrind och man får sannolikt räkna med att ersätta nätet med några års intervall. Som redan nämnts anses nätbarriärer vara begränsade till låga vattenhastigheter och begränsade mängder drivgods. Som en anpassning till rådande vattenhastigheter ombads Pacific Netting att identifiera det mest optimala placeringen för en nätbarriär mellan Vargöns kraftverk och Väneren, vilket beskrivs närmare nedan.

#### Nätbarriär mellan Vänerens utlopp och Vargöns kraftverk

Med batymetrisk karta som underlag identifierades tre möjliga placeringar för nätet längs en 600 m lång älvsträcka mellan de två första broarna uppströms Vargöns kraftverk (400-100 m uppströms kraftverket, Figur 23). Den längst uppströms belägna placeringen (Figur 23, grön streckad linje) bedömdes av Pacific Netting som den mest fördelaktiga, men en eventuell installation av ett nät skulle kräva platsbesök och noggranna inmätningar.



Figur 21. Konceptuell översikt ett nät vid turbinintaget till Vargöns kraftverk. Illustration av Pacific Netting Products på underlag av Norconsult AB.



Figur 22. Exempel på lösning för övergång mellan nätbarriär och dammpassage.



Figur 23. Rekommenderade placeringar av en nätbarriär uppströms Vargöns kraftverk i Göta älv (opublicerat, Pacific Netting, 2017).

Fördelarna med dessa alternativa placeringar är att man inte befinner sig i direkt anslutning till turbinintaget, vilket ger större flexibilitet att hantera ett eventuellt näthaveri och även bättre åtkomst till nät och uppsamlingsstation för daglig drift och underhåll. Dessutom är vattenhastigheterna här lägre och platsen således bättre anpassad för en nätlösning. Ytlänsen kan förses med en integrerad "båtport", vilket utöver att passera båtar kanske även skulle kunna fungera som en passage för stora mängder drivgods.

Däremot kräver detta att nätet mynnar i en fristående uppsamlingsenhet, vilket dock ger större möjligheter att utforma den optimalt utan de begränsningar som är förknippade med en uppsamlingsenhet vid kraftverket. En uppsamlingsstation anläggs lämpligen på stranden, vilket innebär färre komplikationer vid ålhantering än motsvarigheten vid kraftverket. Uppsamlingsstationen kan även utformas som en flytande fritt rörlig enhet, men detta innebär betydligt högre kostnader.

En grov kostnadsuppskattning av ovan beskrivna förslag är en miljon dollar, vilket motsvarar ca 8 MSEK (växlingskurs 7,98, 2017-09-01).

#### *Lämplighetsbedömning av en nätbarriär*

Att anlägga en nätbarriär med tillhörande uppsamlingsstation vid Vargöns kraftverk bedöms av leverantören som genomförbart. Kostnaden är betydligt lägre än för ovan beskrivna fingrind och en sådan konstruktion kan plockas bort under de perioder den inte används och när den bedöms utgöra en säkerhetsrisk. Däremot är det förknippat med flera osäkerheter som funktionen för ål/fisk, nätets livslängd och hur omfattande skötsel som krävs för att hålla nätet rent från drivgods. Sammantaget bedömer vi att lösningen är ett intressant alternativ till förbättrad nedströmspassage för fisk, i synnerhet i stora vattendrag där både de



predikterade kostnaderna för skötsel och riskerna med en installation är lägre än motsvarande kostnad/risk för motsvarande fingrindslösning. Detta åtgärdsalternativ tillkom i projektets slutfas och har därför inte utretts i detalj.

## 5 Minimering av produktionsbortfall

För att skapa en god anlockningseffekt och en effektiv avledning är i många fall mängden vatten som avleds av central betydelse. I litteraturen föreslås att 2–10 % av kraftverkets slukförmåga ska tappas genom nedströmspassagen (Ferguson *et al.*, 1998; Larinier & Travade, 1999; Odeh & Orvis, 1998). Avledning och spill av sådan omfattning innebär vid stora kraftverk ansevärliga kostnader i produktionsbortfall. Ett alternativ för att skapa lockflöde utan att spilla stora mängder vatten är låta ett minikraftverk producera el på det vatten som släpps för att locka fisken till en viss plats.

Rekommendationer om stora flöden som spills är främst för att skapa ett flöde som leder fisken till och in i flyktöppningen. Efter att fisken simmat in i öppningen är flödets storlek inte längre lika viktigt. I många fall kan det till och med vara en nackdel med ett stort flöde eftersom krafterna i vattnet blir större och anordningarna för uppsamling och avledning tar mer plats. Av denna anledning reduceras flödet ofta efter avledning med hjälp av olika typer av perforerade skärmar. Vattnet som reducerats bort kan släppas ut på nedströmssidan som spill eller pumpas tillbaka till uppströmssidan om detta kan ske utan att en stor andel av fallhöjden förbrukats.

Om alternativet är att spilla hela det avledda flödet kan återpumpning av vatten jämförelsevis innebära ett minskat produktionsbortfall. Det är viktigt att komma ihåg att återpumpning endast är lönsam i sammanhanget att produktionsförlusterna kan reduceras. Det kan alltså innebära en relativ vinst.

Pumpningen är även förknippad med olika kostnader tex. anskaffningskostnader, drift och underhåll mm. Ifall värdet av det minskade produktionsbortfallet överstiger kostnaderna för återpumpning är återpumpningen lönsam.

Beroende på fallhöjd vid anläggningen, elpris, investeringskostnader mm. förskjuts brytpunkten för relativ lönsamhet åt olika håll.

Många parametrar som påverkar lönsamheten (ränta, elpris, inflation, platsspecifika förutsättningar mm.) är osäkra och det går därför inte beräkna exakt vid vilka förutsättningar återpumpning blir lönsamt. Syftet med denna utredning är att hitta grova riktlinjer över när återpumpning kan vara lönsamt relativt spill och intressant att utreda vidare.

### 5.1 METODBESKRIVNING FALLSTUDIER

Investeringskalkyler för återpumpning har gjorts för både Älvås och Vargön där platsspecifika parametrar tagits med. Scenarion med spill utan återpumpning har jämförts med scenarion där delar av flödet pumpas tillbaka. Utöver detta har även en mer generell beräkning gjorts med syfte att hitta generella riktlinjer för när återpumpning av spillvatten kan vara lönsamt relativt om det spills.

Beräkningarna har gjorts i två steg enligt: 1) Beräkning av relativ ökning i elproduktion och 2) Ekonomiska kalkyler, vilka utvecklas vidare nedan.

### 5.1.1 Beräkning av vinst i elproduktion

Produktionsberäkningar har gjorts vilka har utgått från SMHIs uppmätta dygnsmedelvärden från 1999-2015. För varje dag i tidsserien har en dygnsproduktion räknats fram utifrån slukförmåga, drivvattenföring, turbinverkningsgrad, pumpverkningsgrad mm.

Avledningsflöden för Vargön och Älvås har använts i kalkylerna och produktionen vid respektive anläggning har beräknats både med och utan återpumpning. Skillnaden i produktion har räknats som "produktionsvinst" på grund av pumpning jämfört med om hela det avledda flödet hade spillts.

I beräkningarna har det förutsatts att ingen återpumpning sker när dygnsmedelvattenföringen överskrider slukförmågan eftersom det vatten som då spills ändå inte kan användas till produktion.

Det har antagits att det krävs 2 m uppfodringshöjd för att pumpa tillbaka det vatten som avletts. Ytterligare värden på olika parametrar som antagits redovisas i bilagorna 4-5.

### 5.1.2 Ekonomiska kalkyler

Investeringskalkyler har upprättats med hjälp av nuvärdesmetoden över pumparnas och investeringens livslängd. Investeringskostnaden för pumparna täcks med hjälp av lån som amorteras av under 15 år vilket är den förmodade livslängden.

Investeringskostnaden för pumpar som klarar att pumpa vatten med 2 m uppfodringshöjd har ansatts till 800 kkr per pumpad m<sup>3</sup>/s. Pumpkostnaderna bygger på siffror från installerade pumpar i tidigare projekt.

Nuvärdesmetoden har använts för att räkna om framtida kostnader och intäkter till dagens penningvärde med hjälp av ränta och inflation. Den nominella räntan har ansatts till 5% och inflationen till 2%. Detta ger en reell ränta på ca 3 % enligt formeln:

$r_n$  = Nominell ränta

$r_r$  = Realränta

$q$  = Inflation

$$r_r = \frac{(1 + r_n)}{(1 + q)} - 1$$

Priset för såld el och köpt el har satts till samma nivå, nämligen 40 öre/kWh. Detta förutsätter att kraftverksägaren kan använda den producerade elen direkt. Ifall inte detta är möjligt blir priset för köpt el högre vilket försämrar förutsättningarna för att göra återpumpningen lönsam.

Ytterligare värden på olika parametrar som antagits redovisas i bilagorna 4-5.

## 5.2 FALLSTUDIER RESULTAT

### 5.2.1 Älvås

Utifrån investeringskalkylen bedöms återpumpning av vatten vid Älvås inte vara lönsamt. Produktionsbortfallet kan minskas genom att pumpa tillbaka delar av spillvattnen men inte i tillräcklig omfattning för att täcka investeringskostnaderna.

Återpumpning av vatten vid Älvås innebär att delar av det avledda flödet pumpas upp 2 m för att därefter kunna nyttjas i kraftverket vilket har en fallhöjd på ca 5 m. Den energi som går åt till att pumpa upp 0.8 m<sup>3</sup>/s (ca 0.11 GWh/år) är större än den energi som kan utvinnas när vattnet sen körs genom kraftverket (ca 0.09 GWh/år). Återpumpningen leder till ett negativt nettotillskott i el på ca -0.02 GWh/år jämfört med om hela det avledda flödet 1 m<sup>3</sup>/s spills. Nettotillskottet motsvarar ca -11 kkr/år med ett elpris på 40 öre/kWh.

Investerings- och driftkostnader för pumparna uppskattas till ca 70 kkr/år vilket innebär att kostnaderna för pumpningen är större än vinsterna.

Sammantaget bedöms återpumpning av spillvatten vid Älvås innebära en årlig förlust om **ca 70 kkr**.

Sett till hela investeringens livslängd beräknas återpumpning vid Älvås innebära en förlustaffär med **ca 1 Mkr**. Beräkningarna redovisas mer ingående i bilaga 5.

En stor orsak till att återpumpning inte blir lönsam vid Älvås är den låga fallhöjden. Vidare är utbyggnadsgraden vid Älvås låg och vatten spills ca 40 % av tiden vilket också försämrar förutsättningarna för lönsamhet.

### 5.2.2 Vargön

Även vid Vargön är fallhöjden låg och återpumpning av spillvattnet bedöms vara olönsamt. Återpumpning av vatten vid Vargön innebär att 1,7 m<sup>3</sup>/s av det avledda flödet om 2 m<sup>3</sup>/s pumpas upp 2 m för att därefter kunna nyttjas i kraftverket. Fallhöjden över kraftverket är ca 5 m.

Vid Vargön som har högre fallhöjd innebär återpumpningen ett positivt nettotillskott. Den energi som går åt till att pumpa upp 1.7 m<sup>3</sup>/s (ca 0.40 GWh/år) är mindre än den energi som kan utvinnas när vattnet sen körs genom kraftverket (ca 0.62 GWh/år). Återpumpningen leder till ett positivt nettotillskott i el på ca 0.22 GWh/år jämfört med om hela det avledda flödet 2 m<sup>3</sup>/s spills. Nettotillskottet motsvarar ca 90 kkr/år med ett elpris på 40 öre/kWh.

Investerings- och driftkostnader för pumparna uppskattas till ca 115 kkr/år vilket innebär att kostnaderna för pumpningen är större än vinsterna.

Sammantaget bedöms återpumpning av spillvatten vid Vargön innebära en årlig förlust om **ca -41 kkr**.

Sett till hela investeringens livslängd beräknas återpumpning vid Vargön innebära en förlustaffär med **ca -610 kkr**. Beräkningarna redovisas mer ingående i bilaga 5.

Även vid Vargön bedöms en stor orsak till att återpumpning inte blir lönsam vara den låga fallhöjden. Jämfört med Älvås är utbyggnadsvattenföringen betydligt högre och spill förekommer under mindre än 5 % av tiden. Återpumpning är således mer sannolikt en god investering vid kraftverk med förhållandevis hög fallhöjd, vilket utreds vidare nedan.

### 5.3 GENERELLA BERÄKNINGAR

Generella lönsamhetsberäkningar har gjorts för att hitta grova riktlinjer för när återpumpning av spillvatten kan vara lönsamt.

#### 5.3.1 Generella beräkningar, metodbeskrivning

De generella beräkningarna utförs i tre steg:

**Steg 1.** I första steget beräknas hur stor energivinst som kan göras beroende på vilken fallhöjd som kraftverket utnyttjar. Dvs. hur stort tillskott det återpumpade vattnet kan ge i produktion i förhållande till hur mycket energi som går åt för att pumpa tillbaka det. I detta steg inkluderas varken elpriser eller pumpkostnader.

**Steg 2.** I andra steget beräknas värdet av den energivinst som görs. I detta steg redovisas värdet i kronor av den energivinst som återpumpningen leder till vid olika elpriser. Inga kostnader är här medräknade. Inga faktorer knutna till investeringskalkyl har heller tagits med här.

**Steg 3.** I tredje steget vägs även kostnader in. Både kostnader och intäkter har räknats om med hänsyn till hela investeringens livslängd dvs. att framtida kostnader och utgifter räknats om till dagens värde.

Kostnaderna har beräknats på följande sätt:

- Överslagen utgår från investeringskalkylen för Vargöns fallstudie.
- För varje år i investeringskalkylen för Vargöns krv summeras kostnader för räntor, amortering och underhåll (Bilaga 5, tabell IV). Elkostnader för pumpningen räknas inte in här utan tas med i senare steg.
- Nuvärdet av varje årssummering beräknas.
- Ett medelvärde av alla nuvärden beräknas.
- Värdet slås ut per  $\text{m}^3/\text{s}$  genom att delas med det pumpade flödet ( $1,7 \text{ m}^3/\text{s}$ ).

Kostnader för pumpning har beräknats per  $1 \text{ m}^3/\text{s}$  även om kostnaderna i verkligheten inte är linjärt skalbara. Detta har gjorts för att förenkla beräkningarna och göra dem mer lätthanterliga. Förenklingen bedöms dock inte leda till några betydande felkällor.

Produktionsvinsterna har justerats med hänsyn till nuvärdeskalkyl på följande sätt:

- För varje år i investeringskalkylen för Vargön räknas en nuvärdesfaktor fram utifrån ränta och inflation (Bilaga 5, tabell IV, 13e kolumnen).
- Ett medelvärde av alla nuvärdesfaktorerna räknas fram vilken multipliceras med produktionsvinsten

### 5.3.2 Generella beräkningar, resultat

I kolumn 2 i tabellen visas skillnaden mellan hur stort tillskott som kan produceras av det återpumpade flödet i förhållande till hur mycket el som går åt för att driva pumpningen (Steg 1). Ur tabellen kan utläsas att fallhöjden vid kraftverket behöver vara över 3 m för att nettotillskottet av el ska bli positivt om pumphöjden är 2 m. Detta beror på att pumpverkningsgraden i beräkningarna är 70 % vilket innebär att energiförluster uppstår. Siffrorna gäller återpumpning av 1 m<sup>3</sup>/s och redovisas i antal GWh/år.

Tabell 5. Resultat från generella beräkningar av lönsamhet från återpumpning av spillvatten.

Fallhöjd krvt (m)	Relativ energivinst av återpumpning av spillvatten jämfört med om flödet spills (1 m <sup>3</sup> /s, 2 m uppföringshöjd)		Nettonuvärde av kostnader och intäkter från pumpning	
	Produktion GWh/år	Värde kk/år	Medelår kk/år	Hela investeringen kk
2	-0.092	-37	-97	-1459
3	-0.020	-8	-73	-1102
4	0.053	21	-50	-745
5	0.125	50	-26	-388
6	0.197	79	-2	-31
7	0.270	108	22	326
8	0.342	137	46	683
9	0.414	166	69	1040
10	0.487	195	93	1397
11	0.559	224	117	1754
12	0.631	252	141	2111
13	0.703	281	165	2468
14	0.776	310	188	2825
15	0.848	339	212	3182
16	0.920	368	236	3539
17	0.993	397	260	3896
18	1.065	426	284	4253
19	1.137	455	307	4610
20	1.210	484	331	4967

(Använt elpris: 40 öre/kWh)

I kolumn 3 redovisas värdet av produktionen i kolumn 2 (Steg2).

I kolumn 4 summeras nuvärdet av intäkter och utgifter för ett genomsnittligt år under investeringens livslängd (Steg 3).

I kolumn 5 har alla 15 åren i investeringskalkylen summerats till ett sammanlagt värde. Om värdet är positivt är investeringen lönsam och ifall den är negativ är den olönsam.

Från resultaten kan utläsas att det krävs att fallhöjden ska vara över ca 6-7 m för att investeringen ska vara lönsam. Det är viktigt att komma ihåg att beräkningarna bygger på indata som är grovt uppskattad, samt att många förenklingar och antaganden gjorts. Resultaten ska alltså inte tolkas som något exakt utan snarare som grova riktlinjer.

Vidare bör det återigen poängteras att återpumpning inte kan ge någon reell vinst utan endast en relativ vinst genom minskning i produktionsbortfall jämfört med om hela det avledda flödet spills.

Faktorer som påverkar lönsamheten i kalkylen är framför allt fallhöjden men även utbyggnadsvattenföring eftersom ingen återpumpning görs när vattenföringen överskrider utbyggnadsvattenföringen.

## 6 Slutsatser och rekommendationer

Antalet åtgärder för förbättrad nedströmspassage vid vattenkraftverk har ökat snabbt under de senaste åren trots att kunskapen och erfarenheten av dem fortfarande är begränsad (Calles *et al.*, 2013a). Dessutom kommer nya krav på att tekniken även ska användas på stora kraftverk, trots att tekniken endast prövats och utvärderats vid ett begränsat antal små till medelstora kraftverk med en utbyggnadsvattenföring inom intervallet 14-88 m<sup>3</sup>/s. Det föreligger således en stor risk att appliceringen av tekniken på stora kraftverk kommer att ske till stora kostnader och med osäker funktion för fisk. Detta till följd av att man inte grundligt utrett vilka tekniska aspekter som kan komma att göra en sådan uppskalning svår eller direkt misslyckad. Dessutom kräver dessa åtgärder ett omfattande flöde, vilket kräver att vatten tas från produktionen och medför ytterligare kostnader för åtgärderna.

Erfarenheterna från befintliga fysiska avledare visade att de överlag är positiva. Varken fallförlust, igensättning med skräp eller drift vintertid upplevdes som problematiskt. Man måste dock vara medveten om att underlaget består av förhållandevis små anläggningar, som i flera fall dessutom bytt ut branta fingrindar med liten yta mot låglutande fingrindar med en stor yta. Eftersom de är relativt nybyggda har de dessutom inte testats under särskilt många vintrar. De goda erfarenheterna av tekniken är således positiv, men innebär inte att man med automatik kan överföra lösningarna till stora anläggningar.

Åtgärdsförslagen för Älvås kraftverk i Motala ström och Vargöns kraftverk i Göta älv pekar på att tekniken i många avseenden går att skala upp till stora kraftverk, även om flera osäkerheter och utmaningar finns i synnerhet vad gäller driften. Vid Vargön som är en anläggning med den högsta dammsäkerhetsklassen kan försämringar av dammsäkerheten inte accepteras. De osäkerheter som identifierats gäller till största del risk för driftstopp, ekonomiska konsekvenser och arbetsmiljö snarare än risk för dammsäkerheten.

Lösningarna är på många sätt platsspecifika och anpassningarna av tekniken till stora kraftverk innebär att fler tekniskt komplicerade och kostsamma lösningar krävs. Att utforma lösningar som kan hantera såväl stora mängder drivgods som kravis, utan att påverka dammsäkerheten negativt, är en av de största utmaningarna för åtgärdsarbete vid kraftverk i allmänhet och vid stora kraftverk med hög dammsäkerhetsklass i synnerhet. En viktig del av åtgärdsförslagets slutliga utformning var det bidrag som inkom från anlitad utländsk expertis och driftserfaren personal på anläggningarna, vilket belyser det faktum att det finns en mångfald av tekniska lösningar att hämta kunskap om från andra länder. Ett exempel är den roterande skärm som föreslås för båda objekten, som i teorin löser många av de problem associerade med flyktöppningar, som dock är obeprövad under nordiska förhållanden och för just blankål. Roterande skärmar är vanligt förekommande för att skydda nedströmsvandrande fisk vid fiskpassage framför allt Nordamerika (Enders *et al.*, 2009), men förekommer även i Europa (Svendsen *et al.*, 2010). Tekniken beskrivs ha en mycket hög effektivitet för fisk (Turnpenny *et al.*, 1998), men man rekommenderar att de tas upp ur vattnet när risk för isbildning föreligger (DWA, 2005) eller att man antingen stoppar driften under den kalla



delen av året alternativt ombesörjer drift året runt för att hindra isbildning (Peter Christensen, muntligen). I Storbritannien har tekniken genomgått en "UK Best Practice fish screening trials study", med goda resultat (Bromley et al., 2011). Brittiska Environment Agency rekommenderar tekniken för att leda av samtliga livsstadier av ål och rekommendationerna för blankål stämmer väl överens med vad som föreslås för Älvås och Vargöns kraftverk in innevarande rapport (Environment Agency, 2011).

Själva flyktöppningen för avledning har placerats enligt liknande principer som för mindre anläggningar. Även om bedömningen är att avledningen bedöms fungera bra är tekniken obeprövad och det längsta avstånd fisken kan tvingas följa avledaren är betydligt längre än för de utvärderade anläggningarna. Just detta har visat sig kunna utgöra ett problem för bl.a. laxfisk, som kan skrämmas av avvikande turbulens längs långa avledare (Scruton *et al.*, 2007).

Vid avledning vid stora anläggningar bedöms den största utmaningen för funktionen vara att få till ett tillräckligt stort flöde som avleds utan att kostnaderna i form av produktionsförluster blir orimligt höga. Avvattning av flödet bedöms vara en viktig del för att reducera flödet och för att möjliggöra eventuell återpumpning. I anläggningar med stor fallhöjd kan återpumpning av delar av spillvattnet begränsa produktionsbortfallet trots att ett stort flöde avleds. Vid avledning av stora flöden kan även minikraftverk vara ett bra alternativ för att minska produktionsförlusten.

Föreslagna åtgärder i Motala ström och Göta älv medför höga kostnader där i synnerhet produktionsbortfallet under entreprenadtiden blir kostnadsdrivande. Om det går att samordna installation av grindar med ett redan planerat driftstopp begränsar detta kostnaden markant, vilket enligt enkätundersökningen var fallet vid flera av de redan uppförda fysiska avledarna. Kostnaderna kan även begränsas kraftigt ifall det är möjligt att driva anläggningen under åtminstone delar av entreprenadtiden. Detta bedöms i vissa fall kunna göras genom att delar av intagen torrläggs i etapper.

Kostnaden per m<sup>3</sup>/s i utbyggnadsvattenföring uppskattades för Älvås till ca 0.28 Mkr/(m<sup>3</sup>/s) och för Vargön till ca 0.33 Mkr/(m<sup>3</sup>/s).

Med ökat djup krävs större och mer komplicerade konstruktioner. Ofta är även stora anläggningar av högre dammsäkerhetsklass än mindre anläggningar vilket ställer högre krav på att dammsäkerheten inte försämras.

Fingrindar vid små anläggningar dimensioneras ofta för att klara av ensidig vattenlast, dvs. full igensättning. Vid uppskalning av teknik från små anläggningar till stora bedöms en skillnad vara att det är betydligt svårare att dimensionera grindarna för full igensättning och ensidig vattenlast. Vid små anläggningar görs detta vanligtvis men vid anläggningar stora som Vargön leder sådan dimensionering till mycket stora och dyra konstruktioner.

När grindarna inte dimensioneras för ensidig vattenlast ställer detta högre krav både på renhållning av grinden och på att kraftverket slår ifrån vid en eventuell igensättning för att undvika kollaps.

Rensning av stora fingrindar är dock obeprövat vilket innebär osäkerheter och utmaningar gällande hur man får till en tillfredställande rensning. När det gäller djupa grindar med horisontella grindstål har inte någon rensmaskin för ändamålet kunnat identifieras vilket bedöms vara en förutsättning för att skala upp betagrindar till stora anläggningar. För grindar med vertikala grindstål finns det rensmaskiner utformade för motsvarande djup som vid Vargön. De är dock inte beprövade för rensning av fingrindar vilket därmed innebär en osäkerhet. Om rensningen inte är tillräcklig finns risk att grinden sätter igen med driftstopp som resultat.

Även om fingrindar har smalare spalter än konventionella intagsgrindar behöver de inte nödvändigtvis vara känsligare för igensättning av drivgods än konventionella grindar. Vid flera av de utvärderade fingrindarna vid små kraftverk har skräp och drivgods i stor utsträckning svepts längs med grindarna vilket minskat behovet av rensning. En effekt av detta är dock att man måste ta med en hög last av drivgods i beräkningen vid dimensionering av sekundära rensmaskiner i flyktrännorna.

För att öka kunskapsläget om fingrindars känslighet för igensättning föreslås studier i labmiljö utföras för där olika typer av drivgods så som vattenväxter, vass, is mm. testas.

Den smala spaltvidden bedöms desto säkrare kunna leda till problem vid förhållanden med iskravning. I en sådan situation är risken påtaglig att isen sätter igen grinden med driftstopp som resultat. Iskravning bedöms visserligen likaväl kunna orsaka driftstopp vid små kraftverk, men där är de ekonomiska konsekvenserna oftast lägre och risken därmed lättare att acceptera. Det är dock viktigt att komma ihåg att iskravning vid många anläggningar leder till driftstopp oavsett om där finns fingrindar eller inte.

En annan utmaning finns vid anläggningar i strömsatt vatten där isen inte lägger sig och isflak förekommer. Stora isflak som driver in i en fingrind kan skada grindstålen, ifall grinden inte skyddas med hjälp av länsar. Som tidigare nämnts har flytande isflak vid Vargön orsakat så stor belastning på länsen att den brustit. Vid anläggningar med liknande förhållande bedöms risk för skador på en eventuell fingrind vara stor om den inte kan skyddas eller avlägsnas vintertid.

Det kan dock räcka med att översta delen av grinden kan lyftas upp för att skydda den mot isflak. Den del som är kvar i vattnet kan dock fortfarande sättas igen av iskravning eller drivgods.

I båda fallstudierna har åtgärdsarbetet fokuserat på området närmast turbinintagen, vilket till följd av bl.a. höga vattenhastigheter begränsat antalet realistiska lösningar för avledning. Trots dessa krävande förhållanden menar Pacific Netting att en nätbarriär skulle kunna användas för att leda av ål från intaget. Nätbarriären är ett intressant alternativ till de kostsamma och tekniskt komplicerade låglutande grindar som föreslagits här, i synnerhet om man applicerar tekniken på områden längre uppströms kraftverken med lägre vattenhastighet.

Sammantaget bedömer vi att den teknik för fysisk avledning som använts vid kraftverk med en slukförmåga upp mot 72-88 m<sup>3</sup>/s tekniskt sett går att bygga vid stora kraftverk, men att kostnaderna är höga och osäkerheterna är flera. Eftersom det saknas tidigare erfarenheter av stora fingrindar finns flera grundläggande risker. Osäkerheter kring teknikens funktion vid stora kraftverk innebär ofrånkomligen en risk för ökad förekomst av driftstopp med ekonomiska konsekvenser till följd samt risk för säkerheten. Innan en fingrind byggs vid något stort kraftverk med hög dammsäkerhetsklass måste kunskapsläget förbättras för att inte riskera stora oväntade kostnader eller säkerhetsrisker.

I första hand föreslås att labbförsök utförs där grindarnas egenskaper i fråga om igensättning och driftförhållanden utreds. Innan fingrindar byggs vid någon anläggning som är betydligt större än de som i dag finns i drift, föreslås att tekniken testas vid en anläggning som enast är något större än vad som byggts idag. Om kostnaden för att anlägga fingrindar vid stora kraftverk är motiverad ur ett samhällsekonomiskt perspektiv återstår att utreda. Även alternativa tekniker för att avleda fisk vid stora kraftverk som tex nät bör utredas vidare.

## 7 Tack till

Håkan Wickström på Sölab som alltid gör sitt yttersta för att hjälpa oss med allt som rör ål, en sann ålguru både i ord och i handling!

Johan Tielman och Roland Kristoffersson (Sydkraft Hydropower AB) för stöd med att sätta samman enkätundersökningen.

De personer som tagit sig tid att svara på vår enkätundersökning: Johan Tielman och Roland Kristoffersson (Sydkraft Hydropower AB), Andreas Bäckstrand (Vattenmyndigheten), Daniel Johansson (Länsstyrelsen Västra Götaland) och Karl-Göran Olofsson (Falkenbergs Energi).

## 8 Referenser

- Anonymous. 2010. Best management practises - Guide for American eel and waterpower in Ontario. *Ontario Waterpower Association*, 120 pages.
- Bromley, R., Coyle, S., Hawley, K., Anderson, K. and Turnpenny, A. (2014). UK Best Practice fish screening trials study. In *“International Fish Screening Techniques 2011”*. 89-100. WIT Transactions on State of the Art in Science and Engineering, Vol 71. 206 pages.
- Calles O, Christiansson J. 2012. Ålens möjlighet till passage av kraftverk - En kunskaps-sammanställning för vattendrag prioriterade i den svenska ålförvaltningsplanen samt exempel från litteraturen *Elforsk rapport*, **12:37**: 57 pages.
- Calles O, Christiansson J, Kläppe S, Alenäs I, Karlsson S, Nyqvist D, Hebrand M. 2015. Slutrapport Hertingprojektet – Förstudie och uppföljning av åtgärder för förbättrad fiskpassage 2007-2015. *Naturrekurs rinnande vatten, Karlstads universitet*, 34 pages.
- Calles O, Degerman E, Wickström H, Christiansson J, Gustafsson S, Näslund I. 2013a. Anordningar för upp- och nedströmspassage av fisk vid vattenanläggningar - Underlag till vägledning om lämpliga försiktighetsmått och bästa möjliga teknik för vattenkraft. *Havs- och vattenmyndighetens rapport*, **2013:14**: 114 pages.
- Calles O, Karlsson S, Vezza P, Comoglio C, Tielman J. 2013b. Success of a low-sloping rack for improving downstream passage of silver eels at a hydroelectric plant. *Freshwater Biology*. **58**: 2168-2179.
- Calles O, Rivinoja P, Greenberg L. 2013c. A Historical Perspective on Downstream Passage at Hydroelectric Plants in Swedish Rivers. In *Ecohydraulics*, (eds). John Wiley & Sons, Ltd: 309-322 pages.
- DWA. 2005. Fish Protection Technologies and Downstream Fishways. Dimensioning, Design, Effectiveness Inspection. *DWA topics*, 226 pages.
- Ebel G. 2013. *Fish Protection and Downstream Passage at Hydro Power Stations Handbook of Bar Rack and Bypass Systems*. Büro für Gewässerökologie und Fischereibiologie,
- Enders EC, Gessel MH, Williams JG. 2009. Development of successful fish passage structures for downstream migrants requires knowledge of their behavioural response to accelerating flow. *Canadian Journal Of Fisheries And Aquatic Sciences*. **66**: 2109-2117.
- Environment Agency (2011). Screening at intakes and outfalls: measures to protect eel. Bristol, UK. 129 pages.
- EPRI. 2002. Upstream and Downstream Fish Passage and Protection Technologies for Hydroelectric Application: A Fish Passage and Protection Manual. 180 pages.
- Ferguson JW, Poe T, Carlson TJ. 1998. Surface-oriented bypass systems for juvenile Salmonids on the Columbia River, USA. In *Migration and fish bypasses.*, M.

- Jungwirth, S. Schmutz and S. Weiss (eds). Fishing News Books: Oxford; 281-299 pages.
- Henning JA. 2010. Cowlitz River Evaluation Program Annual Report for 2009. *Washington Department of Fish and Wildlife*, 69 pages.
- Jeuthe H, Leonardsson K. 2017. Skonsam drift av vattenkraftverk vid ålvandring. *Energiforsk Rapport*, **2017:417**: 75 pages.
- Karchesky CM, Hanks ME, McDonald RD. 2008. Annual Report: T.W. Sullivan Powerhouse Evaluation of Bypass System Fish Guidance Efficiency (FGE), 2008. *Prepared for Portland General Electric by Normandeau associates Inc.*
- Karlsson S, Christiansson J, Calles O. 2015. Granö fiskavledare. *Karlstad University Studies*, **10**: 55 pages.
- Klust G. 1970. Eel stownets in German rivers. *EIFAC Technical Paper*, **14 (6)**: pages.
- Larinier M, Travade F. 1999. The development and evaluation of downstream bypasses for juvenile salmonids at small hydroelectric plants in France. In *Fish Passage Technology*, M. Odeh (eds). American Fisheries Society: Bethesda, Maryland, USA; 25–42 pages.
- Nyqvist D, Nilsson PA, Alenäs I, Elghagen J, Hebrand M, Karlsson S, Kläppe S, Calles O. 2017. Upstream and downstream passage of migrating adult Atlanticsalmon: Remedial measures improve passage performance at ahydropower dam. *Ecological Engineering*. **102**: 331-343.
- Odeh M, Orvis C. 1998. Downstream fish passage design considerations and developments at hydroelectric projects in the North-east USA. In *Migration and fish bypasses.*, M. Jungwirth, S. Schmutz and S. Weiss (eds). Fishing News Books: Oxford; 267-280 pages.
- Persson F, Holmberg J. 2009. Ätrafors - Fallförlustbestämning av ändring i lutning på intagsgaller. *EnergoRetea Energi, Elkraft & ICT AB*, 4 pages.
- Scruton D, Pennell C, Bourgeois C, Goosney R, Porter T, Clarke K. 2007. Assessment of a retrofitted downstream fish bypass system for wild Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolts and kelts at a hydroelectric facility on the Exploits River, Newfoundland, Canada. *HYDROBIOLOGIA*. **582**: 155-169.
- Svendsen JC, Aarestrup K, Deacon MG, Christensen RHB. 2010. Effects of a Surface Oriented Travelling Screen and Water Abstraction Practices on Downstream Migrating Salmonidae Smolts in a Lowland Stream. *RIVER RESEARCH AND APPLICATIONS*. **26**: 353-361.
- Turnpenny A, Struthers G, Hanson KP. 1998. *A UK guide to intake fishscreeningregulations, policy and best practice*. Crown copyright, London, UK.



# FYSISKA AVLEDARE FÖR UPPSAM- LING AV BLANKÅL VID VATTEN- KRAFTVERK

Åtgärder för förbättrad nedströmspassage vid vattenkraftverk består vanligen av fysiska avledare i form av låglutande fingrindar med intilliggande passager. I dag finns exempel på sådana åtgärder med god passagefunktion blankål vid kraftverk med en utbyggnadsvattenförling  $< 88 \text{ m}^3/\text{s}$  och det är inte känt om tekniken kan appliceras på kraftverk med en högre utbyggnadsvattenförling än så.

Erfarenheterna från fysiska avledare i drift i Sverige i dag är överlag positiva och det saknas tydliga belägg för att fingrindarnas påverkan på drift och produktion är ett resultat av kraftverkets storlek. Samtidigt visar utredningen om uppskalning av tekniken till kraftverk i Motala ström och Göta älv, att anläggningarnas platsspecifika egenskaper spelar stor roll för genomförbarheten. Tekniken bedöms som applicerbar på Älvås kraftverk i Motala ström, medan de stora riskerna och kostnaderna förknippade med ett sådant projekt vid Vargöns kraftverk i Göta älv blottlägger en kunskapsbrist. Innan en fingrind byggs vid något stort kraftverk med hög dammsäkerhetsklass bör kunskapsläget förbättras för att inte riskera stora oväntade kostnader eller säkerhetsrisker.

## Ett nytt steg i energiforskningen

Energiforsk är en forsknings- och kunskapsorganisation som samlar stora delar av svensk forskning och utveckling om energi. Målet är att öka effektivitet och nyttiggörande av resultat inför framtida utmaningar inom energiområdet. Vi verkar inom ett antal forskningsområden, och tar fram kunskap om resurseffektiv energi i ett helhetsperspektiv – från källan, via omvandling och överföring till användning av energin. [www.energiforsk.se](http://www.energiforsk.se)