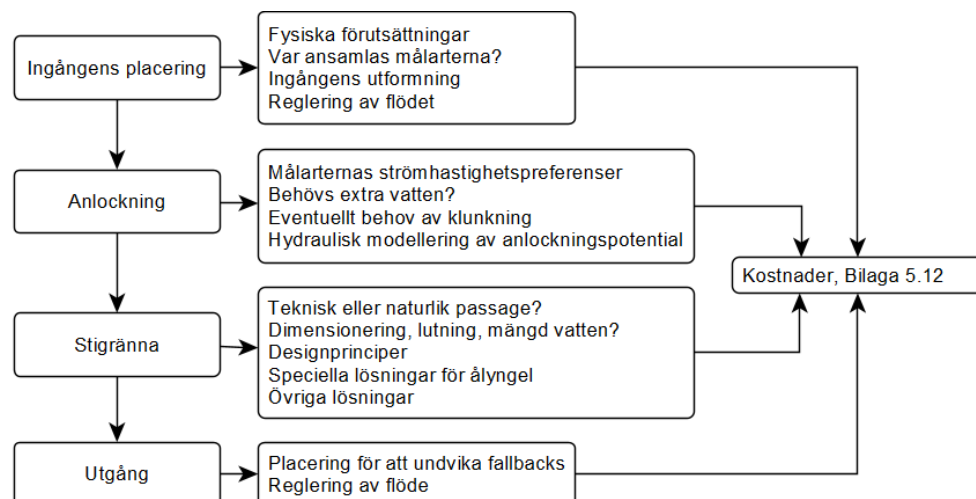


Bilaga 5.5. Lösningar för uppströmsvandrande fisk

Arbetet med att utforma en passagelösning för uppströmsvandrande fisk beskrivs i fem avsnitt i denna bilaga. Det första avsnittet handlar om ingångens placering. Detta har stor betydelse för fiskens möjlighet att hitta ingången (utloppet) och möjligheterna till anlockningen av fisk (se separat stycke om anlockning). Därefter följer ett avsnitt som beskriver stigrännans utformning, följt av ett avsnitt som beskriver hur man anlägger utgången uppströms. Avslutningsvis i bilagan finns ett särskilt avsnitt som beskriver lösningar för uppströmsvandrande ålyngel.

Flödesschemat i Figur 12 visar arbetsgången med att utforma en passagelösning för uppströmsvandrande fisk, med hänvisningar till de avsnitt som innehåller den information som beskrivs översiktligt i flödesschemat.



Figur 1. Flödesschema för att hitta en fungerande passagelösning för uppströmsvandrande fisk med hänvisning till de delar av texten i bilagan som beskriver den del av processen som anges i respektive box.

Placering av ingång till uppströmspassage (utlopp)

Ingången till en uppströmspassage bör i första hand placeras i området där fisken stoppas i sin vandring (dvs. vid turbinutlopp eller foten av en damm). Denna plats är ofta den längst uppströms liggande punkten som följer huvudfåran i vattendraget (Baek and Kim 2014). Lax följer ofta huvudströmmen på väg uppströms medan till exempel öring, harr, lake och juvenil fisk simmar uppströms närmare stranden (BMLFUW 2012). Enligt rekommendationer bör placeringen av ingången till en uppströmspassage ske så nära huvudströmmen som möjligt. Vid kraftverk bör ingången placeras så nära turbinutlopp som möjligt (DWA 2014), men områden med kraftig turbulens bör undvikas. Det viktiga är att fisken har chans att känna av lockvattnet och hitta ingången vilket underlättas i ett anslutande område med lugnare vatten där fisken naturligt samlas för att vila. Lokalkännedom om var fisken ansamlas är därför viktig. Om det inte finns något befintligt område med

lugnare vatten i anslutning till huvudströmmen bör man överväga att skapa en sådan miljö dit lockvattnet kan nå.

Om fisken tenderar att ansamlas på fler än ett ställe vid hindret, eller om vattendraget är väldigt brett, kan det finnas anledning att överväga flera öppningar till fiskpassagen. Man bör dock ha i åtanke att mängden vatten som krävs för funktion och anlockning då ökar totalt sett, eller behöver fördelas på fler ingångar. Ett annat alternativ är att man undanröjer de "viloplatser" som är svåra att nå med lockvatten för att styra fiskarna till de "viloplatser" där de kan känna av lockvattnet. På platser där vattennivån varierar kraftigt, och ingången därför riskerar att vara otillgänglig vid vissa vattennivåer, kan flera ingångar till passagen vara en lösning. För att minimera mängden vatten till anlockning i en sådan situation kan man alternera och hålla en passageöppning stängd efter behov. På så sätt kan man koncentrera anlockningen till den öppning som för tillfället är mest effektiv utifrån rådande vattennivå.

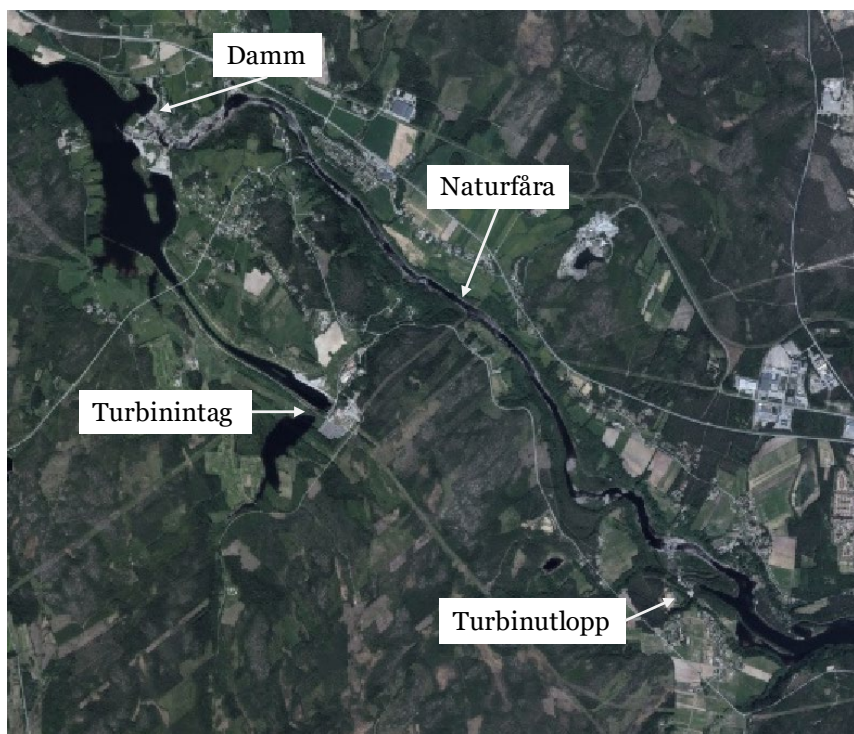
Det är viktigt att beakta hur de olika flödesförhållandena ser ut på platsen, och hur dessa flödesförhållanden påverkar möjligheterna för god anlockning vid den tilltänkta ingången (utloppet) av passagen. Vid höga flöden blir det ofta mycket turbulent just nedanför utskov, vilket kan försämra fiskens förutsättningar att uppfatta anlockningsströmmen under sådana förhållanden (Figur 13). Provtappningar kan vara ett bra sätt att skapa sig en uppfattning om flödesförhållandena på den specifika platsen. Alternativt kan flödesmodelleringar utföras (se vidare bilaga 5.6 hydraulisk modellering).



Figur 2. Ingången (röd pil) till fiskpassagen är placerad i ett område som blir mycket turbulent vid högflöden. Foto: Fiskevårdsteknik.

Istället för att placera ingången mitt i huvudfåran, där tillgängligheten för underhåll och drift kan vara begränsad, är det ofta mer praktiskt att ha ingången till fiskpassagelösningen vid stranden. Det är då viktigt att fisken attraheras av flödet som kommer ur passagen så förutsättningarna att skapa anlockning är viktiga att tänka på vid val av placering av ingången till uppströmspassagen. För att underlätta för fisken att hitta ingången till passagen kan man försöka nyttja de fysiska förutsättningarna på platsen. Man kan också se över möjligheterna att skapa eller modifiera befintliga strukturer i vattnet för att både skapa bättre anlockning och fysiskt styra fisken mot ingången (DWA 2014, Li m. fl. 2019).

I fall där turbinutlopp och kraftverksdamm ligger vitt skilda från varandra (Figur 14), och dammen nås via en gammal älvfåra (naturfåra), finns risk att fisken har svårt att hitta rätt väg till en eventuell passage. Fisk ansamlas generellt vid turbinutloppet vid förhållanden när det dominerande flödet går genom turbinen, och nedströms dammen i naturfåran när det dominerande flödet passerar dammen (sker primärt vid högflöden). Om passagen ligger i anslutning till dammen kan fisken ha svårt att hitta den under normal flödesregim. Om den ligger i anslutning till turbinutloppet finns å andra sidan en risk att fisk fastnar vid dammen om de lockats dit av spill vid högflöde. Där det är möjligt kan det då vara fördelaktigt att anlägga passagelösningar på båda platserna (Larinier 2008). Med två passager ökar det totala behovet av vatten och man kan se över möjligheterna att alternera vilken passage som är öppen för att maximera anlockning och funktion för att passera fisk förbi anläggningen.



Figur 3. Naturfåra i Umeälven vid Stornorrfors kraftverk. Naturfårans längd är ca 8 km mellan dammen och turbinutloppet. © Lantmäteriet Geodatasamverkan.

I fall med naturfåror där endast en passage är möjlig bör följande frågor ställas för att identifiera den bästa placeringen av passageingången:

- Anlockning – utvärdera var fisk ansamlas vid de vanligaste förekommande vattenflödena under vandringsperioden genom att studera var det dominerande flödet passerar vid olika förhållanden.
- Utloppskanalens längd – där utloppskanalen från turbinerna är lång försvåras anlockningen till naturfåran.
- Habitat/livsmiljöer i naturfåran – genom att placera fiskpassagens ingång (utlopp) överst i naturfåran kan fiskpassagens vatten tillgodogöras i naturfåran och ibland återskapa strömhabitat. Vid långa naturfåror med värdefulla strömhabitat kan detta vara av stor vikt.

En avgörande faktor är oftast längden av naturfåran. Vid långa naturfåror är det oftast fördelaktigt att fiskpassagens ingång (utlopp) placeras vid dammen, dels på grund av skillnaden i fallhöjd, dels för att åstadkomma habitat i naturfåran där möjlighet finns. Längden på naturfåran kan variera från flera mil (exempel Stalons kraftverk, Ångermanälven) till endast några fåtal meter. Vid korta naturfåror kan det vara mer lämpligt att placera fiskpassagen vid turbinutloppet för att uppnå en optimal anlockning.

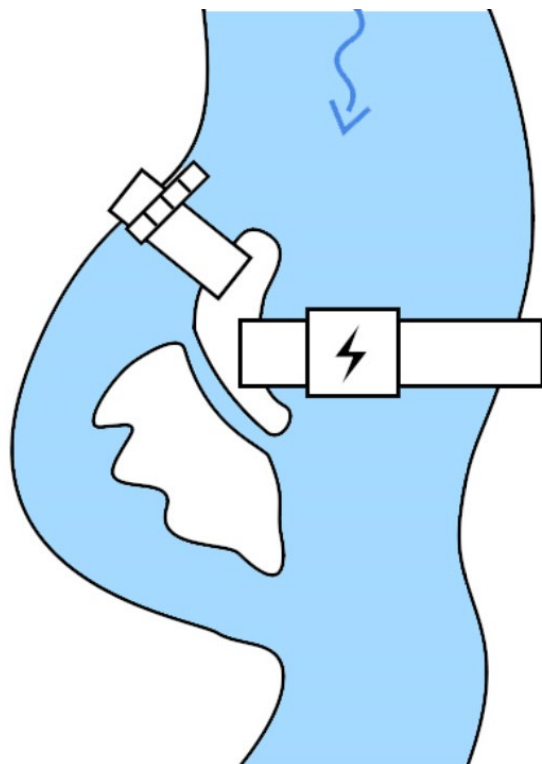
När fiskpassagen ligger i anslutning till en damm bör man försöka lägga ingången till uppströmspassagen på den sida av naturfåran som är djupast för att underlätta för fisken att ta sig dit (Figur 15). Vidare är det viktigt att försäkra sig om att hela naturfåran är vandringsbar fram till fiskpassagen. Eftersom flödet i naturfåran oftast är betydligt lägre än innan dammbyggnaden kom till, kan passager som tidigare varit lätta att passera utgöra vandringshinder när flödet är begränsat. Provtappningar med det tänkta flödet bör göras för att identifiera potentiellt problematiska partier som behöver åtgärdas. I vissa fall kanske det ändå visar sig senare att något parti i naturfåran som, trots att det åtgärdats, behöver modifieras ytterligare. Det är då bra om det finns möjlighet att styra om vattnet, alternativt att villkoren är utformade, så att modifieringar är möjliga även under vandringssäsongen.



Figur 4. Placering av ingången på den djupa sidan ökar chansen att fisken ska kunna hitta ingången till passagen. I detta fall saknas dock tydligt anlockningsflöde vilket skulle behöva tillföras under vandringsperiod. Foto: Mattias Olsson, Länsstyrelsen Västernorrland.

I det fall fiskpassagens utlopp placeras vid dammen i naturfåran behöver anlockningen till naturfåran säkerställas. Detta kan göras genom ett relativt högt flöde i naturfåran, klunkning eller styranordningar (se stycke nedan om klunkning). Förutsättningarna att få till bra anlockning i sådana situationer torde vara relativt goda i små vattendrag och där avståndet till utloppet från turbinerna är litet. Däremot är det en stor utmaning i ett stort vattendrag vilket svårigheten att få till bra anlockning i sammanflödesområdet i nedre Umeälven vittnar om, trots alternering mellan 20 och 50 m³/s i naturfåran.

I vissa fall kan en passage mellan naturfåran och turbinutloppet vara ett alternativ att överväga Figur 16, vilket förutsätter att de geotekniska förhållandena i anslutning till utloppskanalen medger en sådan lösning utan att verksamheten riskeras. Det är dock oftast svårt att hantera den nivåvariation som kan uppstå i naturfåran. En tröskel kan då behöva anläggas i naturfåran, för att skapa en pool där inloppet till passagen kan anslutas. Passagen kan till exempel utformas som en slitsränna för att bättre hantera nivåvariationer i naturfåran.



Figur 5. Passage mellan turbinutlopp och naturfåra för att underlätta för fisk att hitta passagen vid stora avstånd mellan passagen vid dammen och turbinutloppet. Illustratör: Mattias Olsson, Länsstyrelsen Västernorrlands län.

Det är viktigt att en fiskpassage vid dammen i naturfåran har god anlockning även vid höga flöden genom dammen. Annars uppstår en situation där fisk anlockas till naturfåran och dammen när flödet är högt, men har svårt att hitta fiskpassagen. Av denna anledning kan ett inlöp erbjuda en fördelaktig lösning då det oftast kan hantera stora flöden. Ett exempel på detta är Herting i Ätran, där ett V-liknande inlöp anlagts och innebär att fisk kan hitta upp genom dammen även vid höga flöden (Figur 17). Ett annat alternativ är att lägga huvuddelen av spillet på utskovet närmast ingången till fiskpassagen och skapa ett naturligt inlöp som skapas genom att installera en "vinge" strax uppströms ingången för att styra ut vattnet från utskovet några meter från stranden. En sådan lösning gör att lax och öring hittar in i fiskpassagen i Norrfors även när det spills $>100 \text{ m}^3/\text{s}$ genom utskovet. Det bör dock nämnas att perioder med höga spill normalt är kortvariga eftersom kraftverken vanligen är dimensionerade för att sluka flöden som är högt över medelvattenföringen. Principen är dock densamma om det är ett utlopp från kraftverksturbinerna istället för ett spill från dammen.



Figur 6. V-liknande inlöp i Halland. © Lantmäteriet Geodatasamverkan.

Ingångens utformning

För att utforma utloppet på fiskpassagen måste först variationer i vattenståndet nedströms hindret utredas. Om dessa uppgifter saknas kan inmätningar vid olika vattenföringar behövas. Det finns enkla tryck-temploggrar som kan användas i kombination med sådana inmätningar för att dokumentera nivåvariationerna under den period fiskvandringen förväntas. För att inte utloppet av fiskpassagen ska bli för brant vid låga vattennivåer bör utformningen i första hand utgå från dessa låga vattennivåer. En tumregel är att anpassa utloppet så att det fungerar som bäst vid de nivåer som dominerar under vandringsperioden.

Ingången bör utformas med målsättningen att bilda en koncentrerad strömpelare (jet) vid stigrännans utlopp för god anlockning. Hastigheten vid utloppet på stigrännan ska vara mellan 0,8–2,0 m/s (DvWK 2002). Om någon av målarterna är svagsimmande behöver en del av ingången erbjuda lägre strömhastigheter än så, vilket kan åstadkommas med en klack i botten. Det kan vara lättare för fisken att hitta ingången till passagen om vattnet strömmar ut ur passagen än om vattnet faller ned ur passagen (Calles m. fl. 2013a), men detta beror av de lokala förutsättningarna och vilken/vilka målarterna är.

För att skapa en koncentrerad strömpelare är det viktigt att ingången till passagen inte är för bred. Ett alternativ är att använda ejektorpumpar för att skapa en koncentrerad strömpelare. Dessa fungerar så att man skickar in en stråle med vatten med hög hastighet som drar med sig en större mängd vatten vilket leder till ökad vattenhastighet för hela anlockningsflödet. Vattnet som pumpas in kan komma från ovan eller nedan dammen.

Ett omlöp kan försees med stora block på båda sidor för att skapa en smal och djup passage, alternativt utformas med branta sidor och smal botten. I de fall fiskpassagen mynnar i en djup bassäng bör om möjligt botten släntas av från fiskpassagens utlopp ned till botten. En avsläntning minskar turbulensen under

fiskpassagens mynning, samt möjliggör för svagsimmande fisk och annan fauna att röra sig längs botten hela vägen in i passagen (DVWK 2002).

Reglering av flödet och vattennivån i passagen

När det finns behov av underhåll i passagen kan möjligheten att stänga flödet både uppströms och nedströms vara viktigt. Detta bör därför tas med redan i planeringen och ritningen för passagelösningen. Ibland behöver flödet i en passage regleras och inte vara beroende av hur vattennivån uppströms fiskpassagen varierar. När flödet genom fiskpassagen inte kan regleras finns risk att fiskpassagens funktion varierar med det varierande flödet. Vid höga flöden kan fisk till exempel riskera att hamna utanför fiskpassagen. Väldigt höga flöden kan också riskera att förstöra konstruktioner som ett omlöp till exempel. Det är viktigt att regleringen i sig inte utgör ett ytterligare hinder för fisken med kraftigt ökandevattenhastigheter eller förhöjd nivåskillnad till exempel (Figur 18). Den dimensionering som gäller övrig fiskpassage, med avseende på vattenhastighet, nivåskillnad mellan bassänger och utrymme, rör också konstruktionen för reglering av flödet. Om en stor nivåskillnad ska regleras bör detta spridas ut på flera bassänger eller flera regleringsluckor (Larinier 2002c). Ett annat alternativ är att ha flera inlopp till passagen som kan användas vid olika flöden (op. cit.).



Figur 7. En lucka i omlöp som används vid reglering leder till höga vattenhastigheter som kan vara svåra att passera för svagsimmande arter. Bilden är tagen från nedströmssidan. Foto: Fiskevårdsteknik.

Reglering av flödet sker vanligtvis med någon form av luckor eller sättar som regleras för att öka eller minska flödet vid extremflöden. Dessa luckor kan till exempel öppnas i sidled likt en dörr eller vara fästa vid ett överfall i en bassängtrappa och då vinklas nedströms. Om fiskpassagen behöver vara öppen även under icke-vandringssäsong, exempelvis under vintern, kan

regleringsluckor användas för att minska flödet i fiskpassagen. Under dessa perioder är dock fiskpassagens funktion som vandringsväg nedsatt. Omlöp bör dock utformas för att kunna hantera även de högsta förekommande nivåerna utan att rasera eftersom högflöden kan komma plötsligt innan reglering hinner ske.

Det finns goda erfarenheter av inlopp till omlöp som har en lucka och en tröskel bakom som gör att vattennivån på baksidan (nedströms) följer vattennivån på uppströmssidan och bromsar flödet och håller nere vattenhastigheten igenom luckan. När flödet är lågt är det luft i luckan men när flödet är högt stiger vattnet till följd av tröskeln nedströms och luckan börjar bromsa vattnet. För mer information om utformning hänvisas till projektering av fiskväg i Knipån (Sjöstrand 2008).

I inlöp kan vatten även avbördas över skibordsdammen vid höga nivåer, utöver den dimensionerande tröskeln. Skibordsdammens avbördning kan beräknas med hjälp av ekvationen för fri utströmning över horisontella skibord (se nedan).

$$Q = C \frac{2}{3} \sqrt{2g} (h)^{1.5} b$$

Q = flödet [m^3/s]

$C = 0,602 + 0,083 \, h/p$

h = vattenhöjden över överfallet [m]

b = bredd på överfallet [m]

Formeln för flödet gäller med följande begränsningar	
p	Skall vara minst 30 cm
b	Skall vara minst 30 cm
h	Skall vara minst 3 cm och högst 75 cm
h/p	Får inte vara större än 1

Vid hög avbördning över skibordsdammen kan bakdämning ske i inlöpet om inte nederdelen av inlöpet anpassas för höga flöden. Detta måste därför beaktas vid utformningen. För inlöp med långa skibordsöverfall ökar flödet mycket vid liten ökning av övervattenytan (vattenytan uppströms) när nivån ligger över skibordsdammen. Av denna anledning har inlöp en nivåutjämnande effekt på övervattenytan, vilket kan vara en positiv egenskap.

För att hantera nivåvariationer i ett omlöp kan inloppet (utgången) utformas som en slitsränna. Ett exempel på detta är omlöpet vid Anundsjö, Moälven, Ångermanland (Figur 19). För att uppnå en eftersträvad funktion krävs dock ett tillräckligt antal slitsar för att hantera nivåvariationen utan att fallet per slits blir för stort. Dimensioneringen är densamma som för en slitsränna men vattenytan nedströms regleras istället av omlöpets flödesdimensionerande tröskel.



Figur 8. Omlöp som är utformat som en hybrid mellan slitsränna och en naturlig stigränna. De inledande 7 slitsarna möjliggör en jämn flödesregim i omlöpet trots varierande övertvattenyta. Foto: Mattias Olsson, Länsstyrelsen Västernorrlands län.

En annan variant för att reglera flödet i inloppet till en fiskpassage är med hjälp av sättar som läggs till eller tas bort för att reglera öppningen och därigenom flödet i passagen (Figur 20). Vid regleringsdammar kan vattennivån variera flera meter. För att hantera detta kan flera inlopp (utgångar) till fiskpassagen användas, placerade på olika nivåer. Vid höga vattennivåer är de undre inloppen stängda och den övre öppningen öppen. Efter hand som flödet minskar och vattnet sjunker öppnas nästa lucka varpå flödet ökar.



Figur 9. Enkel reglering av inflöde till passage via sätтар. Foto: Mattias Olsson, Länsstyrelsen Västernorrlands län.

Anlockning

För att kunna ta ställning till var ingången lämpligast placeras och hur den bör utformas för att få så bra anlockning som möjligt krävs kunskap om de vandrande fiskarnas beteende och preferenser. Fisk som vandrar uppströms i vattendragen förhåller sig ofta till huvudströmmen för att orientera sig (Northcote 1984). Det innebär inte nödvändigtvis att de simmar i den starkaste strömmen utan kan utnyttja strömkanten som finns i ytterkanterna av huvudströmmen. Svagsimmande arter som simmar uppströms för lek kan välja partier närmare stranden eller närmare botten där strömhastigheterna generellt är lägre. Oavsett så leder uppströmsvandringen till att de, i vattenkraftsreglerade vattendrag, leds mot turbinutlopp. För att locka fisk till ingången till passagelösningen handlar det därför ofta om att attrahera uppströmsvandrande fisk i konkurrens med turbinutlopp.

Det behövs plats-specifika studier för att avgöra vilket anlockningsflöde som krävs för att tillgodose målarternas preferenser (Fjeldstad m. fl. 2018). För många arter är det inte dock flödet i sig som är avgörande utan vattenhastigheten. Till exempel har det uppgetts att för god attraktion av lax krävs vattenhastigheter på mellan 2,0 och 2,4 m/s (Larinier 2002b). Det innebär i praktiken att anlockningsflödet behöver resultera i de strömhastigheter som målarterna attraheras av i de områden där fiskarna passerar i vattendraget utanför passagens ingång. Flödets roll i det sammanhanget är generellt att ju högre flöde, desto högre vattenhastighet. Rekommendationer som tidigare nämnts i den vetenskapliga litteraturen är ett utflöde från fiskpassagen som motsvarar ca 2–5 % av det totala vattenflödet (Larinier m. fl. 2002, River 2013). Wolter och Schomaker (2019) fann ett

positivt samband mellan funktionen och andel av flödet som användes i 193 studerade fiskpassager. De såg också att förhållandet var omvänt i relation till storleken på vattendraget. Det innebär att i stora vattendrag kan det räcka med mindre andel flöde i fiskpassagen. I små vattendrag kan man däremot inte minska andelen flöde i fiskpassagen utan att funktionen i passagen samtidigt blir sämre. Detta beror på dimensioneringen, då det finns nedre gränser för hur lite vatten en fiskpassage behöver för att fungera. Denna vattenmängd utgör i små vattendrag en större andel av det totala medelvattenflödet jämfört med i stora vattendrag.

I vissa fall behövs mycket vatten för att locka fisken att simma in i fiskpassagen, men i andra fall kan det fungera bra även med mindre andel anlockningsflöde. För att använda vattnet på ett effektivt sätt kan flödet i vissa fall anpassas utifrån vandringsstider och säsongvariation. Om syftet med passagen är att potadroma arter ska kunna ha utbyte med populationer upp- eller nedströms, även om de inte nödvändigtvis måste vandra för att fullfölja sin livscykel, krävs det inte starka anlockningsströmmar. I så fall kan fokus (snarare) ligga på att göra miljön i passagen så attraktiv som möjligt för dessa arter, vilket kan innebära lugnflytande och icke turbulent flöde (Larinier 2002b). Eftersom utmaningen att anlocka fisk till en passage främst gäller de med uttalad vandring, alltså rörelser som är synkroniserade hos flera individer och med en tydlig riktning, handlar merparten av denna bilaga om vad som krävs för att passera dessa målarter.

Fiskens enda möjlighet att känna av anlockningsflödet är i området innanför huvudströmmen där anlockningsströmmen är starkare än de konkurrerande strömmarna (O'Connor m. fl. 2015). Om anlockningsströmmen riktas vinkelrätt mot huvudströmmen blir anlockningssträckan kortast möjliga (Figur 21), och om pelaren inte når ända ned till botten är det mindre sannolikhet att fisken kommer i kontakt med anlockningsströmmen jämfört med om anlockningsströmmen vinklas nedströms.



Figur 10. Vinkelrät mynning vilket ger ett kort anlockningsflöde vilket i detta fall förmodligen kan vara svårt för fisken att identifiera givet turbulensen och vattenhastigheten i området utanför mynningen (ingången för uppströmsvandrande fisk). Foto: Mattias Olsson, Länsstyrelsen Västernorrlands län.

Om fiskarna vandrar nära stranden kan anlockningsflödet vara nästan parallellt med huvudflödet (BMLFUW 2012) (Figur 22). Enligt Seifert (2012) är en vinkel mindre än 30° att föredra och en vinkel över 45° bör undvikas. Om mynningen placeras nära ett lugnare område, till exempel ett bakvatten, där fisken naturligt ansamlas, kan fiskarna lättare känna av anlockningsflödet (DVWK 2002). Där naturlig struktur saknas kan anläggandet av struktur i vissa fall bidra till att optimera platsen där fiskpassagen mynnar ur ett anlockningsperspektiv. Ett exempel på detta kan vara nedströms en stor sten/klippa eller annan fysisk struktur. I Lögdeälven i Ångermanland finns en bassängtrappa som sträcker sig en bit ut i älven vilket skapar ett lugnvatten på "läsidan" av denna struktur där fisken ansamlas. Där valde man att göra ett urtag i sidan på trappan så att utloppet mynnar i detta lugna område där fisken naturligt samlas. Detta gjordes för att underlätta för fisken att identifiera ingången och därigenom förbättra uppvandringen i fiskpassagen (Carlsson m. fl. 2016).



Figur 11. Mynning parallellt med huvudflödet. Foto: Mattias Olsson, Länsstyrelsen Västernorrland.

Några viktiga principer för anlockningsflödet är att det inte ska finnas återcirkulerande virvlar. Även vattnets turbulens och acceleration har stor betydelse för hur fisken attraheras eller repelleras av en anordning (Larinier 1998 ur Calles 2013). Fiskar kan försöka undvika turbulens för att inte tappa orienteringen (Silva m. fl. 2016) men kan i vissa fall attraheras av turbulens om turbulensen kan sänka energikostnaderna för fisken (Russon m. fl. 2010).

Tillskapande av anlockning, behövs extra vatten?

För att få fiskar att simma in i passagelösningen behövs i många fall mycket mer vatten än vad som krävs i själva fiskpassagen för att fiskarna skall kunna vandra effektivt. Till exempel så används ca 1,2 m³/s i fiskpassagen vid Stornorrfors kaftverk i Umeälven i Västerbotten, men ytterligare drygt 20 m³/s förstärker anlockningen vid fiskpassagens ingång. Här har man installerat ett minikraftverk som utviner energi ur det extra "lockvattnet" innan detta går in i fiskpassagens nedre del och bildar anlockningsflöde. Ett annat alternativ där det saknas anlockningsflöde är att pumpa vatten från nedströms dammen och på så vis öka andelen vatten till anlockningen.

Klunkning

Klunkning innebär att vattenflödet ökas temporärt, oftast i naturfåran, för att anlocka fisk. Generellt får klunkning bättre effekt ju högre och långvarigare klunken är. Bäst effekt uppnås om körningen i kraftverket anpassas, dras ned eller stängs av helt, under klunken.

Vid Strömsbro, Testeboån i Gästrikland, genomfördes klunkning en dag i veckan med 24 h varaktighet genom att stänga kraftverket och låta allt vatten

passera dammen där fiskpassagen var placerad. Effekten av klunkarna var mycket tydlig då nästan all lax passerade i samband med klunkarna. För öringen fanns det också ett samband med en ökad vandring vid klunktillfällena även om det inte var lika tydligt som för laxen (Kläppe 2016). Klunkning har använts under flera årtionden i nedre Umeälven och liksom i Testeboån är effekten mycket påtaglig. Några dagar efter klunkar på 50 m³/s registreras tydliga toppar i uppvandringen i fisktrappan. Det kan dock uppstå en begränsning som en följd av klunkningarna i vissa system, som i nedre Umeälven. Klunkningarna lockade upp lax och öring i naturfåran men samtidigt försvårade klunkningen för laxarna att passera Baggböleforsen som utgör ett vandringshinder vid 50 m³/s. Däremot kunde laxarna passera forsen när klunkningarna avslutades och flödet återgick till 20 m³/s.

Varaktigheten i klunkarna måste anpassas så att fisken har tid att svara på det ökade flödet och ta sig igenom passagen eller till en punkt där de sedan kan vandra vidare när flödet återgår till det normala. Det kan krävas provklunkning och utvärdering för att bestämma den optimala varaktigheten av klunkarna. Vid klunkar kortare än 24 h behöver de anpassas till de aktiva vandringsperioderna under dygnet. Även frekvensen av klunkarna måste anpassas för den fördröjning i vandringen som kan accepteras. Det är också viktigt att naturfårans utformning inte innebär att det finns platser där fisk strandar när flödet dras ned efter klunkningen.

En nackdel med klunkningsmetoden är om de vandrande fiskarna har en ”giving-up time”, vilket visat sig vara fallet för lax i nedre Umeälven (Leonardsson m. fl. 2013). Om klunkarna kommer med lägre frekvens hinner fler fiskar ge upp i sitt sökande efter möjligheter att ta sig vidare uppströms. Det är därför bättre om det går att få till en kontinuerlig anlockning istället för en periodisk lösning.

Hydraulisk modellering

Det finns verktyg för att modellera hydrauliken för att bilda sig en uppfattning om förutsättningarna för att skapa anlockning. Ett sådant verktyg är 3D-modeller vilka ofta avser CFD (Computational Fluid Dynamics) som lämpar sig för modellering av vattenströmningar i anslutning till en fiskpassage, till exempel med komplicerad hastighetsfördelning och turbulens (se bilaga 5.6 Hydraulisk modellering). Dessa modeller ställer dock stora krav på kompetens hos utföraren och på kvalitén på indata för bra resultat. 3D-modeller kräver också en stor beräkningskapacitet. Detta sammantaget gör 3D-modellering till en krävande och ofta kostsam process som framförallt är aktuell i större vattendrag där också svårigheten med anlockning är som störst. Modelleringen som beskrivs i bilagorna 5.6–5.8 handlar enbart om de hydrauliska förhållandena men skulle behöva inkludera fiskarnas beteende och preferenser för att kunna effektivisera fiskpassagerna (Andreasson, bilaga 5.7). Det pågår forskning för att förbättra kunskapen om kopplingarna mellan hydraulik och fiskars beteende. Detta är dock ett komplext område där mycket fortfarande är okänt (Katopodis pers. kom. maj 2019, Silva m. fl. 2018).

Stigränna

I detta avsnitt redogörs för olika typer av stigrännor och generella principer för dimensionering, lutningar, vattenhastigheter etc. Inledningsvis ges information om olika stigrännor uppdelade i tekniska och naturlika stigrännor, samt utrymmesbehov för dessa. Sedan följer generella principer för uppströmspassage och vad man måste tänka på vid utformningen av stigrännan. Avsnittet avslutas med detaljerad information kring anläggandet av slitsrännor och omlöp då dessa är de typer som framförallt anläggs i Sverige idag.

Stigrännor brukar delas in i tekniska och naturlika där de tekniska ofta är utformade i betong eller trä och de naturlika i framförallt naturliga material. De tekniska utgörs bland annat av olika former av bassängtrappor, däribland slitsrännan, eller motströmsrännor. De naturlika utgörs av bland annat omlöp och inlöp.

Bassängtrappor (även kallad kammartrappor, eng. pool-and weir)

Olika typer av bassängtrappor benämns oftast utifrån utformningen på förbindelsen mellan bassängerna. I vissa bassängtrappor strömmar vattnet över bassängkanten ner i nästa bassäng vilket kallas bassängtrappa med överfall, (eng. *pool and weir*), i andra har man gjort någon typ av nedsänkning i mellanväggen där vattnet rinner över kallas också bassängtrappa med överfall, (eng. *pool and weir with notch*), andra har bottenhål i mellanväggen vilket kallas bassängtrappa med bottenhål, (eng. *pool and weir with orifices*) och vissa har kombinationer av dessa (Figur 23 och Figur 24). En annan typ av förbindelse är slitsar som ofta räcker hela vägen till botten och dessa kallas slitsrännor (eng. *vertical slot*). I tidigare litteratur har man ofta hållit isär slitsrännor och bassängtrappor men i denna vägledning behandlas slitsränna som en typ av bassängtrappa eftersom principen med bassänger är densamma.



Figur 12. Bassängtrappa utrustad med PIT-tagantennar för registrering av återvandrande märkt lax och öring. Foto: Linda Vikström.



Figur 13. Bassängtrappa med nedsänkning och bottenhål. Foto: Lo Persson.

Vid utformandet av en bassängtrappa utgår man ifrån vilka arter som ska passera och anpassar vattenhastigheten med hjälp av bland annat nivåskillnaden mellan bassängerna då nivåskillnaden mellan bassängerna har stor inverkan på vattenhastigheten (*Tabell 4*). Därefter räknar man ut antalet bassänger som behövs utifrån fallhöjden som ska överbryggas.

Tabell 1. Nivåskillnadens påverkan på den genomsnittliga vattenhastigheten vid vattenytan i den nedre bassängen vid överfall och genom bottenhål i en bassängtrappa. Data för överfall från engelsk fiskpassagemanual (Armstrong m. fl. 2010), för uträkningar se även bilaga 5.7 hydrauliska samband fiskpassager och uträkning av hastigheten på stenkrönet s. 144.

Nivåskillnad (m)	Vattenhastighet (m/s)	
	Överfall	Bottenhål
0,10	~1,4	~0,8
0,15	~1,7	~0,9
0,20	~2,0	~1,1
0,25	~2,2	~1,2
0,30	~2,4	~1,3

Bassängerna utformas för att minska vattnets energi och skapa en bra flödesbild mellan bassängerna (Larinier 2002c). Minsta längd, bredd och djup i bassängerna avgörs av storleken på de största fiskarna som stigrännan ska utformas för (se avsnitt om generell dimensionering). Öppningarna mellan bassängerna påverkar strömbilden och hur energidämpningen sker (turbulensen). Vilken typ av öppning man väljer avgörs till stor del av vilka arter man vill ska kunna passera samt hur mycket nivån på övervattenytan varierar. Bassängtrappor med endast överfall kan till exempel vara svåra att passera för svagsimmande arter och arter som rör sig efter botten. Larinier (2002c) rekommenderade tidigare att nivåskillnaden skulle vara 30 cm. Nu har rekommendationen sänkts till 20 cm för att passa fler arter. En slitsränna möjliggör för fisken att simma på valfritt djup och är dessutom mindre känslig för variation i vattennivå än de flesta andra stigrännor. Den tänkta utformningen ska fungera vid både hög- och lågflöden och annars bör öppningarna mellan bassängerna eller storleken på bassängerna förändras för att funktionen ska bibehållas även vid högre och lägre flöden. Ett annat alternativ är att möjliggöra reglering av flödet i inloppet till fiskpassagen med hjälp av reglerluckor.

När den hydrauliska funktionen i passagen är uppnådd kan vattennivån i bassängerna räknas ut och sidorna på bassängerna dimensioneras utifrån den förväntade högsta nivån. Om stigrännan inte är en rak linje utan har kraftiga svängar (180°), behöver vändbassängen vara lika lång som en vanlig bassäng för att inte vattenflödet ska slå i väggen allt för kraftfullt. Där stigrännan gör tvära svängar bör också räta vinklar rundas för att undvika att vertikala

vattenströmmar uppstår som kan locka fisken att hoppa ut ur bassängerna (op. cit.). Om ytterligare vatten tillförs för anlockning i nedre delen av passagen bör ingången till passagen dimensioneras för det totala flödet.

En teknisk stigränna kan vara känslig för om drivgods kommer in i passagen och fastnar i någon av bassängerna eller i förbindelsen (öppningen) mellan bassängerna (Armstrong m. fl. 2010). Detta kräver tillsyn och underhåll, vilket under perioder, och i vattendrag med mycket drivgods, kan vara arbetskrävande. Ett sätt att minimera risken att något fastnar inuti stigrännan är att ha någon form av rensgaller eller ytlänsar i lutning mot strömmen. Dessa kan då fänga upp eller styra undan skräpet innan det kommer in i stigrännan. Dessa måste dock också rensas men det är förmodligen lättare att rensa ett galler vid inloppet än att behöva stänga passagen för att ta bort drivgods i mitten av stigrännan.

Naturlika passager (nature like fish passage, bypass channel)

Naturlika passager används framförallt på platser med låg fallhöjd (Calles m. fl. 2012), och de är vanligare i mindre vattendrag (Rivinoja 2015). Olika typer av naturlika fiskpassager namnges ofta utefter dragning: omlöp dras runt hindret (Figur 25), inlöp dras genom hindret (Figur 26) och överlöp dras över hindret. Omlöp, eller naturlig fåra (eng. *nature-like fish pass, bypass channel*), konstrueras för att efterlikna ett naturligt vattendrag utifrån substrat, lutning och sträckning. En naturlig ramp (även stryk, upptröskling, överlöp, eng. *nature-like ramp*) utgörs av block och stenar som skapar en ny sluttande botten och byggs upp i höjd med hindret. En naturlig bassängtrappa (ibland även omlöp dock inte i denna rapport, eng. *nature-like pool structure, rough-channel pool pass*) är en annan variant av naturlig stigränna där rader av större block skapar bassänger (Calles m. fl. 2012). Utformningen har fördelen att den medger ett större vattendjup med begränsade flöden samt har en större energidämpning. Naturlig bassängtrappa kan därför byggas något brantare än till exempel ett omlöp. Ett inlöp utgörs av en naturlig fåra förbi hindret inom vattendraget (eng. *bypass channel through the dam*).



Figur 14. Exempel på omlöp. Foto: Mattias Olsson, Länsstyrelsen Västernorrland.



Figur 15. Exempel på inlöp. Foto: Mattias Olsson, Länsstyrelsen Västernorrland.

Naturlika stigrännor fungerar för ett stort antal arter och är ett bra alternativ på platser med rätt förutsättningar och i de fall där man även vill återskapa livsmiljöer för strömlevande organismer (Calles m. fl. 2013a). Det är framförallt utrymmesbrist, branta sluttningar och markförhållanden som begränsar anläggandet av omlöp. Då omlöp kräver stort utrymme kan placeringen av mynningen vara problematisk och inte vara möjlig på den optimala platsen. Detta bör vägas in vid utformningen av stigrännan då en mindre optimal placering riskerar att göra det svårare för fisken att hitta ingången (utloppet).

Ett alternativ på platser med stor variation i vattennivå kan vara ett inlöp, dvs. en spont/överfallsdamm där höjd vattennivå innebär att vatten automatiskt spills in i inläppet och därmed ökar attraktionen. I Herting i Ätran har två dammar anlagts likt en avsmalnande triangel i övre delen av den restaurerade naturfåran för att styra fiskar via en fiskräknare vidare uppströms (Figur 17). Vid höga flöden spills vatten automatiskt över dessa dammar, som i ett dubbelt inlöp, och leder till ökat vattenflöde i hela naturfåran (Nyqvist m. fl. 2017).

Jämfört med tekniska passager är naturlika passagers hydraulik inte lika känslig för om drivgods kommer in i stigrännan. Det kan dock bli problem om skräp täpper till inloppet eller utloppet och påverkar flödet i stigrännan. Därför kan någon form av rensgaller eller ytlänsar vara bra i vattendrag där det transporteras mycket drivgods och skräp under perioder. Dessa kräver dock också tillsyn och rensning.

En annan sak man behöver tänka på är eventuell förekomst av predatorer i och utanför en passage. Stigrännan bör inte bidra till att exponera fisk för predatorer. Måsar lär sig till exempel fort var det är enkelt att hitta mat. För att skydda fisk från predatorer kan stigrännan täckas med till exempel hönsnät. Om passagen täcks med något annat material bör man ha i åtanke att arter kan reagera olika på mörker. Predatorer som uppehåller sig i ett omlöp kan behöva kontrolleras beroende av vilka målarterna är och hur målbilden ser ut för passagelösningen.

Utrymmesbehov för tekniska passager kontra omlöp

I tekniska fiskapassager bromsas vattnet upp av mellanväggar i betong eller av trä mellan de olika bassängerna. I omlöp bromsas vattnet däremot upp av naturligt material som stenar och grus på botten och längs sidorna. Detta innebär att förmågan att bromsa vattnet är högre i tekniska fiskpassager vilket gör att lutningen kan vara högre och ändå bromsa vattnets energi lika mycket som i en naturlig passage med lägre lutning. En teknisk stigränna behöver därför inte lika stort utrymme som till exempel ett omlöp. Ett omlöp anläggs med slänter som av hänsyn till rasrisken vanligtvis inte lutar mer än 1:2 (kan skilja sig något beroende på släntmaterial). Vid höga omgivningar kräver ett omlöp stora schaktslänter vilket tar ytterligare utrymme i anspråk (Figur 27). Detta kan dock till viss del avhjälpas med stödmurar. Inlöp som anläggs inom vattendragets bredd kräver inget utrymme vid sidan av vattendraget, vilket kan vara lämpligt där stränderna är väldigt branta eller det saknas tillgängligt utrymme (Calles m. fl. 2013a). Även ramper eller upptröskling kan vara lämpligt där det saknas utrymme (Figur 28).



Figur 16. Exempel på schaktslänter vid omlöp. Foto: Länsstyrelsen Jämtland.



Figur 17. Fiskpassage i form av ramp/upptröskling inom vattendraget där utrymmet är begränsat. Här vid konserthuset i Gävle. Foto: Mattias Olsson, Länsstyrelsen Västernorrland.

Generella principer

Utgångspunkten är att stigrännan i första hand utformas för att ge så bra förutsättningar som möjligt för målarterna att passera. Detta gäller även de olika livsstadier som är relevanta. Med många målarter kan detta vara en utmaning eftersom en del arter är starksimmande och lockas av starka strömmar, medan andra arter som är svagsimmande kan få problem att ta sig fram i sådana miljöer. För att fisk ska kunna passera en stigränna får vattenhastigheten inte vara för hög och djupet måste vara tillräckligt för att fisken ska vilja passera. I detta avseende är lutningen och vattenflödet viktiga variabler eftersom de påverkar såväl vattenhastigheten och djupet i fiskpassagen. För att möjliggöra passage för svagsimmande arter och

livsstadier måste det finnas sammanhängande stråk med lägre hastigheter, max 0,2 m/s enligt Degerman (2008), för att även de minsta fiskarna ska kunna passera. I detta fall är det viktigt att tänka på att det räcker med ett enda parti där det saknas utrymmen med lägre hastighet, och där hastigheten då blir för hög för svagsimmande arter, för att hela passagen ska förbli ett vandringshinder. När målarterna utgörs av både stark- och svagsimmande arter gäller det alltså att tillskapa stråk med höga strömhastigheter samtidigt som det finns sammanhängande stråk med låga strömhastigheter.

Strömhastigheten är inte lika i hela vattenkolumnen utan är lägre vid botten och invid kanterna. Desto mer struktur på botten och kanterna desto mer bromsas vattnet upp och en större andel av vattenkolumnen får en lägre hastighet. Även vattenhastigheten i tekniska fiskpassager av förhållandevis slät betong, varierar och är lägre närmast botten än högre upp i vattenkolumnen. I en studie av en låglutande slitsränna i Kanada fann man att vattenhastigheten ca 60 cm från slitsen varierade från 0,5 m/s ca 10 cm från botten till 1,3 m/s närmare ytan (Marriner m. fl. 2016). Unga individer av både öring och lax kan ta sig upp för Sveriges största tekniska stigränna i betong, lika snabbt som vuxna individer trots att medelhastigheten i bottenhålen som de unga fiskarna använder är ca 1,4 m/s (Leonardsson pers. kom. och opublicerade data). De unga fiskarnas relativt lätta uppströmsvandring möjliggörs troligtvis av att låga strömhastigheter förekommer nära hörnen och kanterna i bottenhålen.

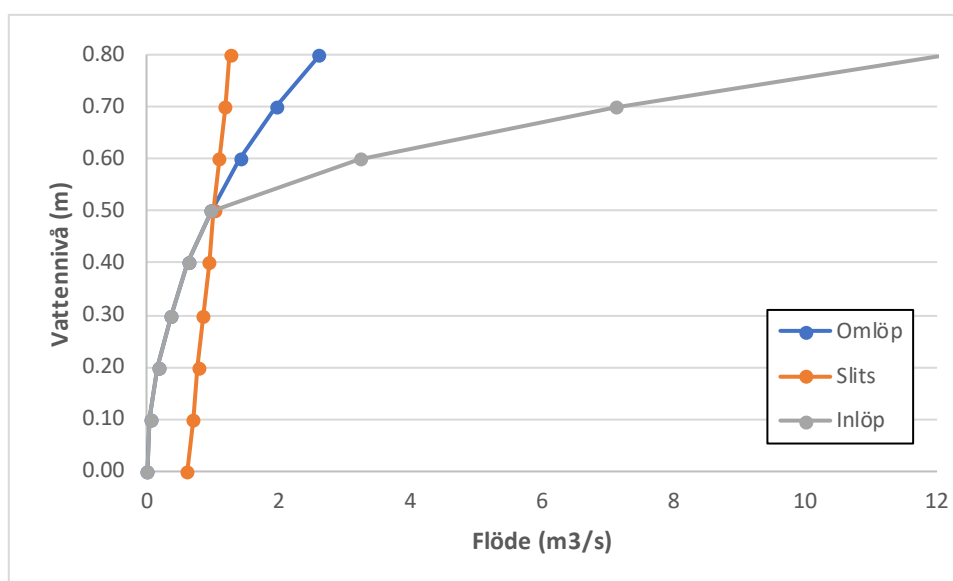
Eftersom naturlika passager är utformade för att efterlikna naturliga vattendrag med avseende på bland annat struktur, fungerar de bra för ett stort antal arter då botten och kanterna är ojämna och lutningen är låg. Dessa förhållanden skapar sammanhängande stråk med låg vattenhastighet. Bland tekniska fiskpassager förespråkas idag slitsrännor med låg lutning, då dessa har visat sig möjliggöra för ett stort antal arter att passera och de inte är lika känsliga för variation i vattenflöde som naturlika passager (Marriner m. fl. 2016).

Det går att modifiera utformningen av stigrännan och förbindelsen (öppningarna) mellan bassängerna, för att skapa en mångfald av olika vattenhastighetsspår så att arter med olika simkapacitet och vattenhastighetspreferenser ska kunna passera. Exempel på modifieringar som gjorts för att möjliggöra passage för små fiskar i bassängtrappor är tillförsel av struktur på botten, minskad bassängsstorlek vilket minskar virvlarna som bildas, och minskad nivåskillnad mellan bassänger (Larinier 2008). Larinier rekommenderar idag att ha struktur på botten av passagerna för att möjliggöra för insekter och små ålar att ta sig fram (Michael Larinier, pers. kom. juni 2019). När man tillför struktur bör denna utformas så att fisk ska kunna följa med nedströms utan att fastna om fiskpassagen behöver tömmas, vid till exempel underhåll. Man bör också ha i åtanke att anpassning till svagsimmande arter kan få som konsekvens att vattenhastigheten minskar vid utloppet till passagen. Detta kan minska attraktionen för lax och andra starktsimmande arter (Armstrong m. fl. 2010). Den kanske enskilt viktigaste faktorn som avgör vattenhastigheten är lutningen vilket beskrivits tidigare (se *Tabell 4*).

Stigrännans flöde avgörs av utformningen av inloppet. Inloppet bör antingen anpassas till alla de vattennivåer som förekommer uppströms fiskpassagen (övervattenytan) eller så bör man ha möjlighet att reglera inflödet i passagen. Detta är viktigt för att funktionen ska upprätthållas och stigrännan vara tillgänglig vid olika vattennivåer. I första hand behöver man därför utreda i detalj hur vattenytan uppströms fiskpassagen varierar. Detta kan göras genom att studera uppmätt historisk nivådata, driftsanvisningar och/eller beräkningar över fasta trösklar.

Olika passagelösningar kan vara olika känsliga för variationer i vattennivå i vattendraget (Figur 29). Detta kan vara viktigt att ha i åtanke vid val av lösning. Slitsrännor är utvecklade för att kunna hantera variation av flöde (Katopodis and Williams 2012). Slitsrännans öppningar är utformade som djupa, smala slitsar vilket innebär att en ökad nivå endast ger en liten ökning av den våta arean i fiskpassagen. Flödet i slitsrännan ökar därför linjärt och inte exponentiellt som för naturliknande fiskpassager. Av denna anledning kan slitsrännor hantera relativt stora nivåvariationer.

I naturliknande fiskpassager utan speciellt anpassade intag, leder en liten förändring av övervattenytan till en stor ökning av vattenflödet.



Figur 18. Exempel på avbördningskurvor för omlöp, inlöp och slitsränna dimensionerade för vattenflöde 1,0 m³/s vid nivån 0,5 m. Inlöpets skibordsdamm antas vara på nivån 0,5 m. Figur: Fiskevårdsteknik.

Vid mycket stora nivåvariationer, exempelvis i regleringsmagasin, kan dock även en slitsränna ha svårt att hantera nivåvariationerna. Då kan det vara nödvändigt med flera inlopp till fiskpassagen som stängs och öppnas beroende på rådande nivå för övervattenytan.

I Sverige anläggs idag framförallt omlöp, och när det gäller tekniska passager anläggs ofta slitsrännor (ÅiV). Anledningen till att dessa är vanligt förekommande är att de anses fungera bättre för fler arter jämfört med till exempel motströmsrännor som är mer selektiva (Larinier 2002a). Vid en inventering i södra Sverige bedömdes omlöp och slitsrännor oftare som

funktionella jämfört med motströmsrännor och bassängtrappor med andra typer av öppningar (Nilsson 2019). Även i den internationella sammanställningen av Wolter och Schomaker (2019), där flera arter beaktades, bedömdes naturlika fiskpassager och slitsrännor ha högre funktion än andra typer avvassängtrappor och motströmsrännor. För lax fungerar bassängtrappor med överfall bra. I Norge har man framförallt denna typ av fiskpassage. Vid en inventering bedömdes 70 % som fullt funktionella och bristande funktion berodde oftast på bristande underhåll (Fjeldstad and Alfredsen 2015).

Generell dimensionering

Några säkra rekommendationer på hur mycket vatten som behövs för god funktion (och anlockning) finns inte men generellt anses att det ofta är bristen på vatten som leder till dålig funktion i en fiskpassage (Calles m. fl. 2013a, Nilsson 2019). För att kunna simma i en fiskpassage måste fisken ha tillräckligt manövreringsutrymme. Enligt den tyska handboken DWA (2014) krävs därför att längden på bassänger (eller liknande) är minst 3 gånger fiskens längd, och att vattendjupet i passagen ska vara minst 2,5 gånger höjden på fisken. Enligt Larinier (2002c) bör dock en slitsränna för stor fisk ha ett vattenflöde på 0,7 – 1 m³/s vilket ger ett vattendjup på ca 5-7,5 gånger fiskens höjd givet övrig dimensionering. Undantag kan endast göras vid speciella flaskhalsar där 2 gånger höjden kan räcka. Bredden på partier längre än 2 m ska vara minst 9 gånger fiskens bredd, partier upp till 2 m ska vara minst 6 gånger fiskens bredd, och vid övergång mellan partier bör bredden inte understiga 3 gånger fiskens bredd (DWA 2014.). I Marriner m. fl. (2016) rekommenderas att bassängerna i en slitsränna bör ha en längd motsvarande 10 gånger slitsens bredd och en bredd motsvarande 8 gånger slitsens bredd. Med en slits på 30 cm skulle det innebära en bassänglängd på 3 m och en bassängbredd på 2,4 m.

Generell dimensionering av bassängliknande strukturer i fiskpassager.	
Bassängmått	Fiskmått
Längd	3 ggr längden
Djupet	2,5 ggr höjden
Bredd partier > 2 m	9 ggr bredden
Bredd partier < 2 m	6 ggr bredden
Bredd korta partier (flaskhalsar)	3 ggr bredden

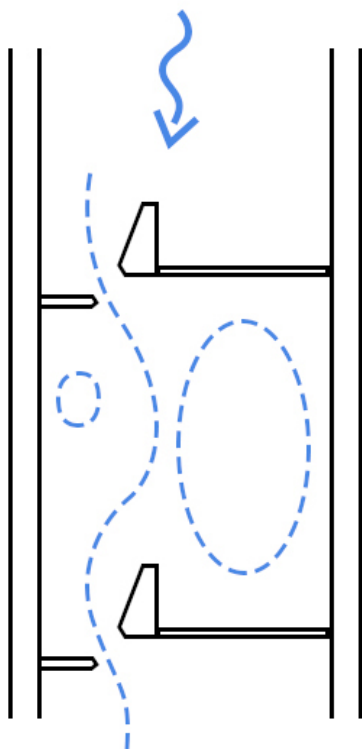
Designprinciper för slitsrännor:

En slitsränna är en typ av bassängtrappa där förbindelsen mellan bassängerna utgörs av vanligtvis en, men ibland två, vertikala slitsar. En slitsrännas flöde avgörs oftast av det flöde som krävs för god attraktion till fiskpassagen. Flödet måste även vara tillräckligt utifrån bredden på slitsen så att rätt djup

upprätthålls. En undre gräns för slitsränna är 100 l/s för strömlevande öring (DWA 2014) och 0,4–1,0 m³/s för lax. Flödet i en slitsränna kan beräknas med olika metoder, se till exempel Katopodis (1992) sidan 15–17. En slitsrännans flöde bestäms genom dess utformning, bredd på slitsen och nivåskillnaden mellan bassängerna (fallet i slitsarna). En tumregel är att längden på bassängerna ska vara 10 gånger slitsens bredd och bredden på bassängerna ska vara 8 gånger slitsens bredd (Katopodis 1992). Minsta bredd på slitsen avgörs av bredden på den största fisken som man vill ska kunna passera (se avsnitt generell dimensionering).

Slitsarna ska vara vinklade, vanligtvis mellan 30–45 grader (Figur 30), för att flödet ska styras in mot centrum av nedströmsliggande bassäng och energin i vattnet ska kunna dämpas (Larinier 2002c). Det har tidigare varit vanligt att man haft en liten tröskel i slitsen. Detta för att stabilisera flödet och undvika ”kortslutning”, dvs. att vattenströmmen går direkt mot nästa slits och den önskade energidämpningen uteblir, men även för att vattendjupet kan upprätthållas även vid lägre flöde. Vid en undersökning av de hydrauliska förhållandena i slitsrännor med och utan tröskel, visade det sig att tröskeln orsakade en mer komplex flödesbild och ökade turbulensen i bassängerna (Pena m. fl. 2018). Detta kan orsaka problem för fisken. Hur stort problem detta utgör ur fiskvandringssynpunkt är oklart. Tröskeln kan dock utgöra ett hinder för små fiskar och insekter, som vid fullt djup och struktur på botten har goda möjligheter att passera en slitsränna med låg lutning (Armstrong m. fl. 2010). Att möjliggöra passage även för små fiskar och insekter är ofta målsättningen med anläggandet av låglutande slitsrännor idag.

Fallhöjden mellan bassängerna, dH, i en slitsränna är avgörande för vattenhastigheten i slitsen vilket också påverkar passagemöjligheterna mellan bassängerna. För att fisk ska kunna passera en slitsränna måste vattenhastigheten i slitsen vara tillräckligt låg, energidämpningen i bassängerna tillräcklig för att erbjuda viloplatser, och bredden samt djupet tillräckliga för att fisken ska våga passera. För att stora fiskar ska kunna passera slitsrännor krävs stora slitsöppningar för att dessa ska kunna manövrera genom öppningarna/slitsarna vilket gör att flödet behöver vara minst 0,7 – 1 m³/s (Larinier 2002c).



Figur 19. Schematisk skiss av slitsränna efter Katopodis 1992 (design # 1). Illustratör: Mattias Olsson, Länsstyrelsen Västernorrlands län

Slitsrännor med brantare lutningar, upp mot 10 %, kan fungera väl även för svagsimmande arter. Då gäller att nivåskillnaden mellan bassängerna inte är för stor (<10–15) och att bassängerna är tillräckligt stora för att dämpa energin till max 150 W/m³ för att underlätta för svagsimmande arter (Mats Hebrand pers. kom. dec 2019). Det kan dessutom krävas att struktur i botten och väggarna tillförs/utformas för att möjliggöra passage för små fiskar (> 25 mm). Försök har dock visat att metoden kan vara selektiv och att vissa arter, trots modifieringar, fortfarande inte kan passera vid lutningar > 5 % (Armstrong m. fl. 2010). Fiskpassager anpassade enbart för starksimmande arter, exempelvis lax och havsöring, kan ha högre nivåskillnad (ΔH) mellan bassänger men generellt rekommenderas en nivåskillnad på 20 cm (Larinier pers. kom. juni 2019), jämfört med tidigare rekommendation om 30 cm (Larinier 2002c).

Bassängens samlade vattenvolym måste vara tillräckligt stor för att dämpa flödesenergin i vattnet som strömmar ur slitsen och in i bassängen. Om bassängen är för liten resulterar det i låg energidämpning, hög turbulens och därmed brist på viloplatser för fisk. Flödesenergin ska understiga 200 W/m³ (Larinier 1992). Flödesenergi kan beräknas genom (DvWK 2002) :

$$E \approx \frac{\rho g \Delta H Q}{B * H_m * (L_b - D)}$$

E = Specifik Energi (W/m³)

ρ = 1000

g = gravitationskonstant 9,81 (m/s²)

Q = Vattenflöde (m^3/s)

ΔH = Språnghöjd mellan bassängerna (m)

L_b = Bassängens längd (m, inklusive mellanvägg)

B = Bassängens bredd (m)

D = Mellanväggens tjocklek (m)

H_m = Vattendjupet (m)

Slitsbredden ska vara minst tre gånger fiskens bredd (DWA 2014). För lax och havsöring innebär det en slits om minst 30 cm. För stationär öring och harr kan slitsen vara ner till 15 cm (DVWK 2002). Djupet i stigrännan bör vara minst 2,5 gånger höjden på fisken (DWA 2014). För lax och asp innebär det att djupet bör vara minst 50 cm. För att avbörda tillräckligt med vatten samt uppnå en nivåutjämnande effekt är det dock vanligt att djupet i en slitsränna är betydligt större vilket även leder till en bättre energidämpning. Längden på bassängerna bör vara minst tre gånger fiskens längd (op. cit.), vilket för lax innebär ca 3 m och för asp ca 2,5 m långa bassänger. Bredden på bassängerna bör vara minst 9 gånger fiskens bredd vilket för lax är ca 1,8 m (DWA 2014). En stigränna med ungefär dessa mått är slitsrännan vid Kallstena i Hedströmmen i Västmanlands län (Figur 31).



Figur 20. Denna slitsränna avbördar ca 400 l/s med 12 cm fall per slits. Bassängerna är 3,35 m långa och 1,8 m breda. Foto: Fiskevårdsteknik.

Botten av slitsrännan kan täckas med ett lager natursten (Figur 32). Det skapar en zon med lägre vattenhastighet närmast botten vilket möjliggör fiskvandring även för mer svagsimmande arter. Naturstenen måste dock vara i tillräckligt stora fraktioner för att inte spolats bort av vattenströmmen (Figur 33). Ett alternativ är att gjuta fast större stenar och sedan tillföra mindre fraktioner som sedan kan fyllas på vid behov. Tänk dock på vad som händer när passagen eventuellt töms på vatten och fisk behöver röra sig nedströms: i passager utan struktur kan fisken spolats med vattnet när nivån sjunker men detta försvåras av struktur som behöver utformas så risken att fisk fastnar

minimeras. Struktur på botten kan också orsaka ökad sedimentation i bassängerna.



Figur 21. Slitsränna med struktur på botten. Foto: Mattias Olsson, Länsstyrelsen Västernorrland.



Figur 22. Slitsränna där bottenmaterialet till viss del spolats bort. Foto: Fredrik Nilsson, Länsstyrelsen Västra Götalands län.

Designprinciper för omlöp

Ett omlöp, utformas för att efterlikna naturliga vattendrag i omgivningen med avseende på lutning, utformning och substrat. Det innebär ett slingrande lopp med varierande lutning och bredd likt en blockrik bäck (Figur 34). Vidare måste omlöpet anpassas för de målarter som ska passera.



Figur 23. Omlöp utformat som en blockrik bäck. Foto: Mattias Olsson, Länsstyrelsen Västernorrland

När det gäller utformandet av passagen bör, som tidigare nämnts, bredd och vattendjup dimensioneras utifrån de största individerna som förväntas/önskas passera men när det gäller vattenhastigheter och krav på simkapacitet bör man ha i åtanke de svagaste och minsta individerna som ska ges möjlighet att passera (DWA 2014).

En låg lutning är eftersträfvansvärd i ett omlöp, gärna $< 2\%$ om det finns utrymme. Lutningar över 2% kan användas om referensförhållandena i området innebär kraftigare lutningar eller när det är nödvändigt av till exempel utrymmesskäl. Maximala lutningen för en naturlig stigränna med godtagbar funktion är 5% (Armstrong m. fl. 2010, DVWK 2002). Vid omlöp med lutningar $> 3\%$ behöver extra omsorg läggas på strömkontrollerande strukturer (op. cit.). Det innebär att block måste placeras strategiskt för att man ska uppnå eftersträvad vattenhastighet och djup.

Stigrännan måste erbjuda ett tillräckligt djup för att fisk inte ska skygga för att passera, och enligt DWA (2014) ska djupet vara minst 2,5 gånger höjden på de största fiskarna som ska passera. Grovt räknat utgör fiskens höjd ca 20% av längden, vilket innebär att det minsta vattendjupet inte får understiga den största fiskens halva längd. För storsvuxen vandringsöring och lax innebär det att djupet bör vara minst 50–60 cm. I små eller branta stigrännor kan det vara svårt att uppnå tillräckligt vattendjup i fiskpassagen. I dessa fall kan utformning med rader av stora block, naturlig bassängtrappa, vara en lösning.

Bottenbredden av omlöpet ska inte understiga 0,8 m (DVWK 2002). Sidornas sluttning bör inte understiga 1:2 för att undvika rasrisk. Trånga sektioner som passage mellan stenar ska inte understiga 3 gånger fiskens bredd (DWA 2014). För en fiskpassage anpassad för lax ska bredden helst överstiga 40 cm vid trånga passager, vilket framgår av de passageval som laxarna gör i fiskpassagen vid Stornorrfor i Umeälven. Laxarna väljer där i över 80% av fallen de 125 cm breda överfallen istället för bottenhålens öppningar som är 40x40 cm.

Hur stort flödet i omlöpet som behövs avgörs vanligtvis av det flöde som krävs för god attraktion till fiskpassagen. Flödet måste även vara tillräckligt för att uppnå ett tillräckligt vandringsdjup i omlöpet. En undre gräns för ett omlöp är 100 l/s (DvWK 2002) men vanligtvis krävs mycket större flöden än så för att uppnå tillräckligt djup och tillräcklig bredd.

För att inte riskera att spolas sönder är det bra om omlöpet kan hantera alla förekommande högvattennivåer i övervattenytan. Det bör inte heller torrläggas vid normala lågvattennivåer. Flödet i ett omlöp, dimensioneras genom att anlägga en flödesbestämmande tröskel direkt nedströms utskovet (Figur 35 eller Figur 36). Den flödesbestämmande tröskeln motsvarar i princip en forsacke i ett naturligt vattendrag. Nivån, bottenstruktur och tvärsnittsarean på tröskeln avgör vilket flöde som avbördas vid en given vattennivå. Ökar vattennivån ökar även flödet. Dimensioneringen sker genom beräkningar med Manningsformel genom vilka utformningen av tröskeln kan bestämmas. Dock råder osäkerheter kring beräkningar av flödet varför det krävs flödesmätningar i omlöpet när det är färdigt om det exakta flödet är viktigt att uppnå. Efter flödesmätningar i omlöpet kan tröskeln justeras för att få rätt flöde. Är flödet för lågt tas stenar bort på tröskeln, är det för högt lägger man till stenar tills rätt flöde erhålls.



Figur 24. En flödesbestämmande tröskel är placerad bakom utskovet varvid höga vattenhastigheter i omlöpet undviks. Foto: Mattias Olsson, Länsstyrelsen Västernorrlands län.



Figur 25. Flödesbestämmande tröskel i form av ett stenblock. Foto: Mattias Olsson, Länsstyrelsen Västernorrlands län.

Flödet i omlöpet kan beräknas med Manningsformel för trapetsformade kanaler, förutsatt att omlöpet utformats som en trapets. Det går även att räkna på avbördningen för så kallade dubbeltrapetsar genom Mannings formel. Mannings tal anges mellan 10 och 20 beroende på råheten i fiskpassagen. Det går även att utföra mer detaljerade beräkningar med avseende på tvärsektionernas fria area (DvWK 2002).

$$v_n = M \cdot \frac{(b \cdot y_n + (\tan \alpha) \cdot y_n^2)^{2/3}}{(b + 2 \cdot y_n \cdot \sqrt{1 + (\tan \alpha)^2})^{2/3}} \cdot \sqrt{I} = M \cdot \frac{(b \cdot y_n + k_l \cdot y_n^2)^{2/3}}{(b + 2 \cdot y_n \cdot \sqrt{1 + k_l^2})^{2/3}} \cdot \sqrt{I} \text{ (v-form)}$$

$$q = M \cdot \frac{(b \cdot y_n + (\tan \alpha) \cdot y_n^2)^{5/3}}{(b + 2 \cdot y_n \cdot \sqrt{1 + (\tan \alpha)^2})^{2/3}} \cdot \sqrt{I} = M \cdot \frac{(b \cdot y_n + k_l \cdot y_n^2)^{5/3}}{(b + 2 \cdot y_n \cdot \sqrt{1 + k_l^2})^{2/3}} \cdot \sqrt{I} \text{ (q-form)}$$

$$I = \frac{v_n^2 \cdot (b + 2 \cdot y_n \cdot \sqrt{1 + (\tan \alpha)^2})^{4/3}}{M^2 \cdot (b \cdot y_n + (\tan \alpha) \cdot y_n^2)^{4/3}} = \frac{v_n^2 \cdot (b + 2 \cdot y_n \cdot \sqrt{1 + k_l^2})^{4/3}}{M^2 \cdot (b \cdot y_n + k_l \cdot y_n^2)^{4/3}} \text{ (I-form)}$$

$$I = \frac{q^2 \cdot (b + 2 \cdot y_n \cdot \sqrt{1 + (\tan \alpha)^2})^{4/3}}{M^2 \cdot (b \cdot y_n + (\tan \alpha) \cdot y_n^2)^{10/3}} = \frac{q^2 \cdot (b + 2 \cdot y_n \cdot \sqrt{1 + k_l^2})^{4/3}}{M^2 \cdot (b \cdot y_n + k_l \cdot y_n^2)^{10/3}} \text{ (I-form)}$$

där

v_n = [Naturlig medelhastighet](#) (m/s)

$q = \text{Flöde (m}^3/\text{s)}$

$M = \text{Mannings tal (m}^{1/3}/\text{s)}$

$b = \text{Kanalens bottenbredd (m)}$

$y_n = \text{Naturligt vattendjup (m)}$

$\alpha = \text{Släntlutningsvinkel (radianer)}$

$k_l = \tan \alpha$

$I = \text{Fall (-)}$

Mannings tal beror på ytans skrovlighet och i omlöp kan tal mellan 10 och 20 användas. En ränna med yta av mycket grov sten och strömstyrande block erhåller ett lägre tal och vice versa.

Mannings formel avser beräkningar av vattenflödet i likformiga kanaler. En fallförlust uppstår vid övergången från ett stillastående magasin till vattenhastigheten inne i omlöpet som måste beaktas. Detta kan beräknas genom Bernoullis ekvation.

Efter en genomgång av litteraturen kring omlöp sammanfattar författarna i Calles m. fl. (2013a) att det som behövs för ett fungerande omlöp är följande:

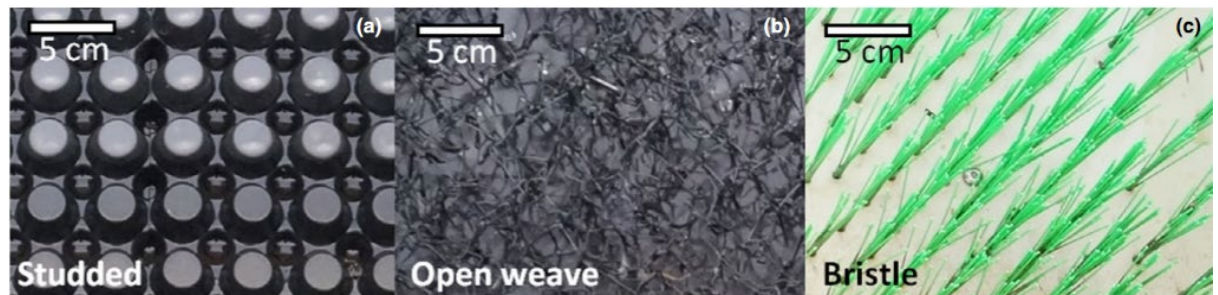
- Medelvattenhastigheten är 0,5–1 m/s.
- Bottensubstratet ska vara minst 2 dm tjockt.
- Det bör finnas en naturlig sekvens av höljor och strömsträckor (*pool-riffle*).
- Vattenföringen bör prioriteras över annan vattenanvändning och bör följa den naturliga variationen i området.
- Botten kan vara i form av ett V för att möjliggöra vandring även vid lägre flöden.
- Man bör räkna med att fylla på med mindre sten och grus som spolats bort.
- Omlöpet kan också behöva genomspolas av högre flöden för att undvika sedimentation.

Speciella lösningar för ålyngel

Ålyngelledare kan utformas som en fuktig ramp med någon form av substrat som ålynglen kan klättra i. Substratet bör vara anpassat till storleken på ålen och ju längre uppströms ju större (äldre) ålar då ålen vandrar uppströms under lång tid (Solomon and Beach 2004). Detta substrat har tidigare utgjorts av till exempel sopkvastborst, konstgräs eller liknande. För utförlig beskrivning av utformning av olika substrat hänvisas till den brittiska guiden: "Elver and eel passes" (Environment-Agency 2011).

Watz m. fl. (2019) undersökte effektiviteten hos tre olika substrat: ett i plast med upphöjda rundade former respektive mindre fördjupningar likt en äggkartong (EF-16, Figur 37a), ett som utgjordes av en tredimensionell polyamidmatta med en hård trådstruktur som används som erosionsskydd (Enkamat, Figur 37b), ett borstsubstrat likt en uppochnedvänd piassavakvast (Fish PassTM, Figur 37c). De kom fram till att det substrat som ledde till att flest

ålar startade att klättra och även tog sig igenom passagen var plastunderlaget med upphöjda rundade former respektive fördjupningar (Figur 37a). Detta testades både experimentellt i laboratorium och i fält vid Laholms kraftverk och i båda fallen hade plastunderlaget högst effektivitet jämfört med de andra två substraten.



Figur 26. Olika substrat testade för funktion i ålyngelledare a) plastsubstrat med förhöjda rundade former respektive små fördjupningar b) Enkammat c) borst. Källa Tidskrift Animal Conservation artikel Watz m. fl. 2019.

För att fungera som passage måste ålyngelledaren hållas fuktig och vatten kan tillföras via en pump eller från ovan hindret med hjälp av fallhöjden. Ledarens lutning och längd blir en avvägning av en enkel (låg lutning) passage som inte ska vara för lång. Vid stora höjdskillnader kan lutningen vara förhållandevis brant men det är dock viktigt att vattenmängden och vattenhastigheten inte blir för hög då detta kan leda till att ålynglen spolats ut. En brant lutning påverkar också valet av substrat då olika substrat fungerar olika bra i brant lutning (Solomon and Beach 2004). Om botten i ledaren vinklas eller formas som ett v kan det möjliggöra vandring vid varierande vattennivåer om vatten från ovan hindret används, dock krävs en bredare ledare då endast en del av den är tillgänglig för passage vid ett givet tillfälle (op. cit). Passagen bör vara täckt för att skydda ålarna mot predation, detta minskar också risken att löv och grenar täpper igen ledaren.

För att locka till sig ålynglen kan ofta mer vatten behöva tillföras vid ingången till ledaren, detta kan med fördel göras uppifrån så vattnet landar på ytan vid ingången till ledaren (Piper m. fl. 2012). Ingången bör placeras där ålynglen lätt kan hitta den vilket innebär invid fårans kanter eller i lugnare bakvatten. För att hitta den bästa placeringen kan hydrauliken undersökas liksom även tätheter av ålyngel under vandringsperioder. Försök med flyttbara ålyngelsamlare kan också ge indikation på lämplig placering. Försök med en flyttbar ålyngelsamlare indikerade även att en stor anlockningsyta hade positiv effekt på antalet ålar som vandrade in i samlaren (Christiansson m. fl. 2017, Watz m. fl. 2017). Utgången av passagen får inte placeras för nära turbinintaget då ålynglen riskerar att sugas nedströms om vattenhastigheten är för hög. Utgången till ålyngelledaren bör inte heller placeras i en miljö där predatorer lätt ansamlas.

Övriga lösningar

Andra typer av uppströmslösningar kan vara fiskhissar (*fish lift*) vilka fångar fisken vid botten av hindret och sedan lyfter fisken över hindret. Då maskorna inte kan vara för små begränsas användningsområdet för små fiskar och enligt

Baudoin m. fl. (2014) kan driftskostnaderna vara höga. Fiskhissar kan ändå vara ett alternativ vid höga hinder där andra typer av passagelösningar kan vara svåra att få till. Effektiviteten i fiskhissar har sällan utvärderats, och där den uppmätts har den enligt Calles m. fl. (2013a) varit låg.

En annan lösning är att fisk fångas och transporteras förbi hindret (*trap and transport*). Detta sker till exempel i Klarälven där lax fångas vid det nedersta kraftverket och sedan transporteras uppströms förbi flera kraftverk för att komma till lekplatserna (se till exempel Hagelin m. fl. 2016). Trap and transport har även framgångsrikt använts inom Krafttag Ål för att transportera utvandrande blankål som fångats i Väneren till nedströms Lilla Edet i Göta kanal.

Andra tekniker som utvecklats på senare tid (och fortfarande är under utveckling) är olika pumpar som flyttar fisken över hindret. Ett sådant system är Whooshh där fisken flyttas via lufttryck i en mjuk och fuktig tub. Vid en studie på kungslax (*Chinook*) och havsvandrande regnbåge (*steelhead*) i USA visade det sig att själva systemet kunde transportera fisken med minimala skador och att selektionen utifrån storlek på fisken fungerade tillfredsställande (Garavelli m. fl. 2019). Storleksselektionen har dock också lett till kritik just för att vara selektiv och författarna till studien skrev att systemet kunde utökas med flera olika tuber som var för sig transporterade olika storlekar av fisk. Ett annat system med pump kallas Fishheart och detta håller på att testas i Spjutmo kraftverk i Österdalälven (Fortum, <https://mediaroom.fortum.com/sv/fortum-installerar-alternativ-fiskvag-vid-spjutmo-kraftverk/>). Gemensamt för dessa pumpar verkar vara att de fungerar för att transportera fisk när fisken väl är inne i anläggningen men att problemen att få fisken att simma in i anläggningen är desamma som i en traditionell passage och kräver bra anlockningsförhållanden. Garavelli m. fl. (2019) föreslog att Whooshh skulle användas i kombination med en kortare traditionell fiskpassage för att anlockningen ska bli bättre samt att fisken själv kan välja om den vill simma in i passagen.

Utgång

Placeringen av utgången av en stigränna är viktig då man bör tänka på att fisk som kommer ut ur en passage kan vara omtumlad eller utmattad och därför inte bör utsättas stora vattenhastigheter. Utgången från fiskpassagen, uppströms, bör därför placeras en bit från hindret, dammen, eller turbinintaget för att minimera risken att fisken "faller tillbaka" över hindret, genom utskovet, eller sugas in i turbinintaget (Fjeldstad m. fl. 2018). Vattenhastigheten vid inloppet (utgången) bör inte överstiga 1 m/s (Calles m. fl. 2013a). Även områden där predatorer kan ansamlas bör undvikas.