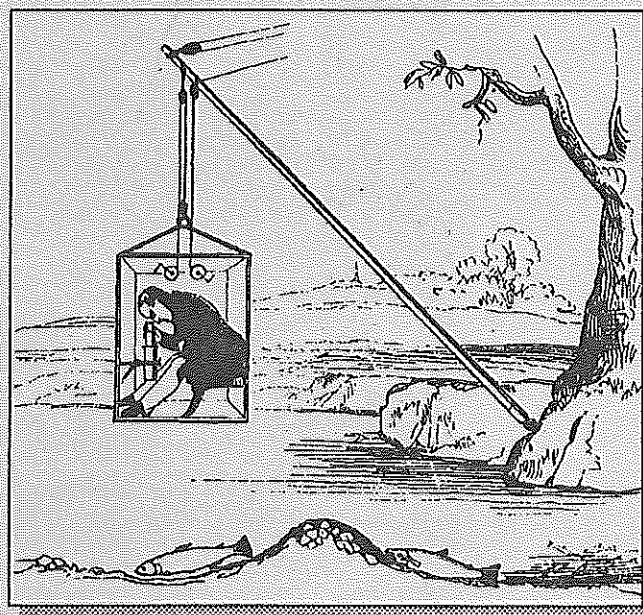


Information från

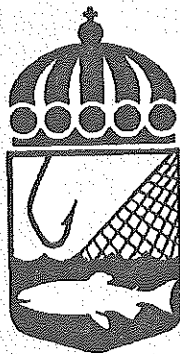
1994-06-27

SÖTVATTENS- LABORATORIET Drottningholm



GERHARD SANDELL
LARS PETTERSSON
INGEMAR ABRAHAMSSON

Fiskvägar - en litteraturöversikt



FISKERIVERKET
National Board of
Fisheries

Redaktion:

Redaktör: Stellan F Hamrin
Monica Bergman (manus, layout)
Eva Sers (manus, prenumeration)
Serien utkommer med 4 nr/år
Lösnr 100 kr (inkl porto+moms)
Prenumeration 325 kr/år (inkl porto+moms)

Adress:

Sötvattenslaboratoriet
Institute of Freshwater Research
S-178 93 Drottningholm

Telefon 08-620 04 00
Telefax 08-759 03 38

ISSN 0346-7007



FISKERIVERKET

08-27

Direkttelefonnummer till Sötvattenslaboratoriet

Växeln 08/62 00 400 tel. tid 10-11, 13-14 Fax 08/759 03 38

Allmänna frågor om fisk 62 00 418
kräftor 423

Tel. tid 12.30-14

"

Namn	Ankn	Funktionsområde
Aldén, Ulrika	62 00 434	Fiskekologi, miljöövervakning fisk
Andersson, Henrik	437	Databas sjöprovfisken
Appelberg, Magnus	435	Miljööverv. fisk, provfiske, Red.Nord.J
Bergman, Monica	408	Publ. Inform, Nordic J. of Freshw. Res.
Bergstrand, Eva	409	Högproduktiva sjöar, åldersanalys, studiebesök
Bergquist, Björn	445	Fiskevård, miljööverv. fisk i rinnande vatten
Christensson, Monika	405	Fakturor, diarium, inköp
Christensen, Preben	429, 425	Vaktmästeri. Efter kont.tid. Bost.tel 759 09 65
Clevestam, Patrik	415, 431	Ål
Edsman, Lennart	413, 431	Beteendekologi hos kräftor
Enderlein, Catarina	412	Fiskmärkning
Enderlein, Olof	411	Fiskmärkning, ekoräkning, siklöja
Filipsson, Olof	418	Provfiske, fiskevård
Fjälling, Arne	423	Teknikfrågor; kräftor; siklöja
Fürst, Magnus	410	Kräftor
Hammar, Johan	424	Ekol. röding, sik, fjällsjöar, ISACF
Hamrin, Stellan F	401	Lab.chef; högprod. sjöar, biomanipulering
Holmgren, Kerstin	438, 431	Ål, könsdiff.
Jansson, Bengt-Åke	428, 431	Akvarieass.
Jeansson, Gun	404	Sekr. ekonomi, personal, diarium
Jonsson, Anders	419, 431	Kräftor, ekologi, beteende, data
Järvi, Torbjörn	443	Beteendekol. hos lax o öring i rinn.vatt. Red.Nord.J
Lindström, Torolf	439, 427	Sikyngel, djurplankton
Mosegaard, Henrik	441	Öring, röding, otoliter, statistik
Nathanson, Jan-Erik	440	Mal
Nordell, Christer	428, 426	Inst.tekniker
Niejahr, Birgitta	402, 414	RNA/DNA-analys, åldersbestämning
Odelström, Tommy	444	Kräftodling Norrland, kräfteologi
Reizenstein, Maja	416, 431	Ål, åldersbestämning
Sers, Eva	406, 417	Bibliotek; adressregister Inform. Nord.J. Faktablad
Svensson, Knut	422, 431	Fiskodling
Svärdson, Gunnar	403	
Wickström, Håkan	407	Ål, ålfiskevård, ålodling
Ångström-Klevbom, Carin	433, 436	Åldersbestämning, miljööverv. fisk

Sötvattenslaboratoriet, Lokalkontor, Trädgårdsgatan 13, 702 12 Örebro

Degerman, Erik	019/10 35 25, även fax	Rinn. vatt. elfiske, Faktablad
Nyberg, Per	019/12 19 05	Fiskevård, yrkesfiske, miljööverv. stora sjöar,
Sers, Berit	019-10 35 25	Databas elfisken

FÖRORD

Fiskeriverkets utredningskontor i Jönköping har tillsammans med verkets Sötvattenslaboratorium och Terra-Limno Gruppen AB av Fiskeriverket erhållit medel för ett forsknings- och utvecklingsprojekt, *Fiskvägar – funktion och utveckling*. Projektet som startades 1991 beräknas vara avslutat 1996. Redovisning av projektets olika delar sker fortlöpande i rapporter varav föreliggande litteraturöversikt är grundläggande.

Översikten omfattar 183 referenser och tar upp alla de grundtyper av fiskvägar som redovisas i litteraturen. Därutöver förekommer en mängd säregna varianter som – åtminstone hittills – inte vunnit större spridning. Den tillgängliga litteraturen domineras av nordamerikanska undersökningar som främst avhandlar transatlantiska fiskarter och förhållanden. De nu redovisade uppgifterna har valts med tanke på nordisk tillämpning. Fiskvägar som konstruerats för uppströmsvandring av vuxen fisk har givits mera utrymme än anläggningar för nedströmsvandring.

Avsikten med litteraturöversikten är att ge en orientering i ämnet och inte en fulländad handledning i fiskvägsprojektering. Hydrauliska beräkningsmodeller har därför undvikits. Istället hänvisas till lämplig litteratur i ämnet. Flertalet av de i rapporten angivna referenserna, särtryck m m finns arkiverade hos projektgruppen.

I litteraturen råder viss förbistring om terminologin hos en del typer av fiskvägar. Adekvata svenska benämningar saknas. I de flesta fall har dock översättning gjorts till svenska, ibland med den engelska förlagan inom parentes. Vissa fiskarter saknar svenska namn varför en artlista upprättats (Appendix I).

Översikten har sammanställts av Gerhard Sandell, Lars Pettersson och Ingemar Abrahamsson, Terra-Limno Gruppen AB. Övriga medlemmar i projektgruppen för *Fiskvägar – funktion och utveckling* har bistått med råd och stöd. I avsnittet 4.8, som behandlar turbiner och fiskspärrar, har Björn Bergquist vid Fiskeriverkets Sötvattenslaboratorium samt Mats Larsson och Per Sjöström, Vattenfall Hydropower AB, medverkat. De två sistnämnda har även biträtt projektgruppen med synpunkter i övrigt. Merparten av bildbearbetningen har gjorts av Thomas Asp och Charlotta Stenson medan Monica Bergman, Sötvattenslaboratoriet, ansvarat för layout. Ett varmt tack riktas till samtliga.

För slutredigeringen har Statens Naturvårdsverk lämnat ett ekonomiskt bidrag vilket tacksamt noteras.

Projektgruppen för Fiskvägar – funktion och utveckling

Bo Essvik, Fiskeriverkets utredningskontor (projektledare)
Björn Bergquist, Fiskeriverkets Sötvattenslaboratorium
Arne Johlander, Fiskeriverkets utredningskontor
Lars Pettersson, Terra-Limno Gruppen AB
Gerhard Sandell, Terra-Limno Gruppen AB
Per Sjöstrand, Fiskeriverkets utredningskontor

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

FÖRORD	1
SAMMANFATTNING	3
1 INLEDNING	6
2 FISK I RINNANDE VATTEN	7
2.1 Vandringsbeteende	7
2.2 Sim- och hoppbeteende	10
3 VANDRINGSHINDER	17
4 FISKVÄGAR	19
4.1 Fiskvägar av bassängtyp	20
4.2 Fiskvägar av motströmstyp	26
4.3 Fiskvägar med vertikala slitsar	30
4.4 Kulvertar	34
4.5 Kanaler	39
4.6 Fiskvägar för uppvandrande fiskyngel	41
4.7 Slussar och hissar	43
4.8 Smoltrännor och fiskspärrar	49
5 ASPEKTER PÅ FISKVÄGSPROJEKTERING	53
5.1 Biologiska aspekter	53
5.2 Klimatologiska, hydrologiska och geologiska aspekter	54
5.3 Aspekter på utformning och hydraulik	57
5.4 Tillsyn och underhåll	62
5.5 Ekonomiska aspekter	62
6 HISTORIK OCH UTVECKLING	63
7 LITTERATUR	67
8 ENGLISH SUMMARY: FISHWAYS - A LITERATURE SURVEY	74
APPENDIX	77

FISKVÄGAR - EN LITTERATURÖVERSIKT

Gerhard Sandell¹⁾, Lars Pettersson²⁾ och Ingemar Abrahamsson³⁾

¹⁾ Terra-Limno Gruppen AB, Ävrö 16, 572 95 FIGEHOLM

²⁾ Terra-Limno Gruppen AB, Ö. Tunhem, Backatorp, 521 94 FALKÖPING

³⁾ Terra-Limno Gruppen AB, Box 90, 435 22 MÖLNLYCKE

SAMMANFATTNING

Vandringar eller förflyttningar inom eller mellan vattensystem utgör en nödvändig del i fiskars livscykel. Det kan röra sig om lekvandring, födosöksvandring, förflyttningar till övervintringsområden eller till områden med lämpliga temperaturer, strömförhållanden osv. Hindras fisken i sin förflyttning kan konsekvenserna bli ödesdigra. Fiskpopulationer kan slås ut eller kraftigt begränsas i förekomst och utbredning. Genom byggnation av fiskvägar säkerställs fri passage förbi naturliga eller konstgjorda hinder.

I Norden har 1900-talets utbyggnad av vattenkraften medfört att stora delar av såväl större som mindre vattendrag blivit otillgängliga för vandrande fiskarter. Underhåll och byggande av fiskpassager utgör därför en av de viktigaste insatserna för bevarande av vilda ursprungliga fiskstammar.

Informationsbehovet om fiskvägar har ökat i takt med det tilltagande intresset för denna typ av fiskevård. Syftet med litteraturöversikten är att ge en allmän orientering om det nuvarande kunskapsläget inom ämnet. Översikten omfattar 183 referenser och tar upp alla de grundtyper av fiskvägar som redovisas i litteraturen. Därutöver förekommer en mängd säregna varianter som – åtminstone hittills – inte vunnit större spridning. Den tillgängliga litteraturen domineras av nord-

amerikanska undersökningar som främst avhandlar transatlantiska fiskarter och miljöförhållanden. De redovisade uppgifterna har dock valts med tanke på nordisk tillämpning. Fiskvägar som konstruerats för uppströmsvandring av vuxen fisk har givits mera utrymme än anläggningar för nedströmsvandring.

Bland de fiskvägar som förekommer världen över kan åtta grundtyper skönjas:

- fiskvägar av bassängtyp (bassäng- eller kammarrappor)
- fiskvägar av motströmstyp (denilrännor)
- fiskvägar med vertikala slitsar (slitsrännor)
- slussar och hissar
- kulvertar
- kanaler (naturrännor)
- fiskvägar för uppströmsvandrande fiskyngel
- smoltrännor

De sju förstnämnda typerna används huvudsakligen för uppströmsvandring men kan även nyttjas av flertalet nedströmsvandrande fiskarter. Speciellt kulvertar och kanaler är väl lämpade att klara såväl uppströms- som nedströmsvandring. För uppströmsvandrande ålyngel krävs speciella sk ledare som därför egentligen kan sägas utgöra en egen grundtyp. Smoltrännor byggs uteslutande för nedströmsvandrande smolt.

Bassängtrappor består som namnet antyder av en serie bassänger placerade efter varandra som stegen i en trappa. I allmänhet rinner vattnet från bassäng till bassäng över en helbräddad tröskel (tvärvägg). Delar av flödet kan också ledas genom försänkningar i tvärväggens krön eller via s k underströmningsöppningar i tvärväggens nederkant. Ytterligare varianter finns, men de är mera sällsynta. Nivåskillnaden mellan bassängerna bör enligt de flesta bedömare inte överstiga 30 cm. Kammartrappors lutning är sällan större än 10%. De byggs vanligen i betong, ibland med tvärväggar av trä. Kammartrappor lämpar sig väl för de flesta laxfiskar, men är kanske mindre bra för fiskar som inte gårna simmar genom underströmningsöppningar eller är "svaga hoppare". Nackdelar med kammartrappor är känsligheten för flödesförändringar och vattennivåfluktuationer.

I en **denilränna** behöver fisken inte hoppa. Istället simmar den längs botten i en ränna där vattenströmmen reducerats, och delvis vänts mot huvudströmmen (därav namnet "motströmstyp"), med hjälp av utplacerade lameller. Lamellernas utseende samt deras vinkel mot rännans väggar och botten varierar mellan olika modeller. De vanligaste typerna är en modell med enplanslameller och den s k alaska-modellen. Denilrännor kan byggas med relativt brant lutning, upp emot 25%, men ju kraftigare lutning desto mera vatten krävs. Lutningen måste dessutom anpassas till aktuella fiskarter; ungefär 15-25% för vuxna laxfiskar och 10-15% för andra vuxna sötvattensfiskar. Enligt litteraturen tycks denilrännor fungera bra som fiskväg för ett flertal fiskarter i rinnande vatten. Gös verkar dock ha svårighet att passera och dessutom råder det lite delade meningar om rännornas lämplighet för liten fisk. De flesta denilrännor har hittills byggts i trä eller i kombinationen trä/betong, men även aluminiumrännor förekommer. Denilrännor har större tolerans för vattenståndsfluktuationer än kammartrappor. En nackdel är emellertid känsligheten för flytande grenar o dyl som drastiskt kan förändra strömbilden i fiskvägen.

Slitsrännor kan i utseende och funktionssätt sägas utgöra ett mellanting mellan bassängtrappor och denilrännor. Vattnet strömmar från bassäng till bassäng via en el-

ler två vertikala slitsar i tvärväggarna. Fisken behöver således inte hoppa vid sin passage. Då slitsarna utgör "flaskhalsen" är det viktigt att slitsbredden dimensioneras med tanke på uppvandrande fiskars storlek. Vattendjupet i rännan bör ej understiga 60 cm. Lutningen kan variera mellan ca 5-15%, men ligger vanligen runt 10%. Fiskvägar med vertikala slitsar har visat sig fungera för ett stort antal sötvattensfiskar och anadroma arter. Även yngel av abborre har setts passera. Slitsrännor byggs oftast i betong med tvärväggar av trä. De är mer eller mindre självreglerande och har följaktligen mycket hög tolerans för flödesförändringar och fluktuationer i vattennivån.

Slussar och hissar fungerar helt annorlunda jämfört med andra fiskvägstyper. En fisksluss följer ungefär samma princip som en sluss för fartyg. Fisken simmar in i slussens nedre del varefter vattennivån bringas stiga till den nivå som råder uppströms vattenhindret. En fiskhiss, däremot, förpassar fisken förbi vandringshindret med någon form av mekanisk hissordning. En gemensam, och begränsande, faktor för både slussar och hissar är att de inte fungerar kontinuerligt som exempelvis kammartrappor, denilrännor och slitsrännor, utan istället följer en intermittent arbetscykel. Cykeln inbegriper insläpp och upptransport av en grupp fiskar över hindret fram till dess nästa grupp kan släppas in osv. En arbetscykel kan ta alltifrån en kvart upp till flera timmar beroende på metod, hindrets höjd etc. Å andra sidan kan sådana uppfordringar av fisk i princip göras förbi hur höga hinder som helst (vad gäller slussar åtminstone upp till 60 m). Det är snarast en fråga om kostnader. Det råder delade meningar om slussars och hissars effektivitet som av vissa anses begränsas av de intermittenta driftsegenskaperna samt en komplicerad och ofta krånglande mekanik. Bevisligen finns dock slussar och hissar med en "passagekapacitet" runt 500 000 respektive 1 miljon fiskar per år.

Kulvertar eller trummor används vid dräneringsverksamheter bl a under bil- och järnvägar. Kulvertar utgör därvid ofta vandringshinder för fisk. För att möjliggöra fri fiskpassage kan i princip tre anläggningsalternativ väljas: (1) vanlig rund kulvert med

maximala vattenhastigheten 1,2 m/s och ett vattendjup om minst 0,2 m, (2) kulvert innehållande tvärväggar eller strömdämpare och (3) kulvert (halvtrumma eller liknande) som efterliknar eller utnyttjar vattendragets naturliga lutning, bredd, strömbild och bottenmaterial. Beroende på kulvertlängd bör lutningen i en slät rund kulvert ej överstiga 0,5-1%. Tvärsnittsytan behöver inte vara cirkulär utan kan egentligen ha vilken form som helst. Kulvertar byggs vanligen i betong eller korrugerad plåt.

Naturligt utformade **kanaler** skiljer sig från andra fiskvägstyper genom att de säkerställer fri passage för både fisk och smådjur samtidigt som de utgör lämpliga miljöer för flora och fauna. Två huvudtyper kan urskiljas: de som byggs i själva vattendraget, över vandringshindret ifråga, och de som grävs vid sidan av hindret som omloppskanal. Vattenhastigheten i en kanal bör ligga runt 0,3-1,0 m/s vilket kräver relativt flack lutning, 1-1,5% för långa och 2-2,5% för korta kanaler. Detta medför att kanaler kan utnyttjas för både uppströms- och nedströmsvandring av i stort sett alla i rinnande vatten förekommande fiskarter och fiskstorlekar.

Ålyngelledare är en speciell typ av fiskväg som byggs för uppströmsvandrande ålyngel. Då dessa yngel har väldigt dålig simförmåga måste en ledare utformas så att ynglen kan klättra eller slingra sig fram i ett lämpligt substrat. En ålyngelledare kan bestå av ett hoprullat plastat hönsnät fyllt med exempelvis ljung eller ris. Numera utnyttjas även syntetiska material som i vissa fall placeras inne i ett PVC-rör.

Smoltrännor skall säkerställa fri passage för nedströmsvandrande ungfisk, företrädesvis smolt, förbi ett vattenintag till ett kraftverk eller dylikt. I allmänhet placeras en fiskspärr i anslutning till intaget, dels för att skydda fisken från att sugas in, dels för att leda den till rännan. En sidopassage kan antingen utformas som ett enkelt överfall eller som en lutande ränna. Byggs ett överfall bör fallhöjden vara åtminstone 45 cm för att förhindra återvandring uppströms. Byggs en ränna för t ex laxsmolt bör vattenhastigheten inte överstiga 1,5 m/s.

Det är svårt att jämföra kostnaderna för olika fiskvägstyper eftersom byggmaterial, lokalens åtkomlighet, naturvårdshänsyn, hydrologi etc spelar en avgörande roll. Såväl norska som svenska beräkningar indikerar emellertid att anläggande av fiskvägar kan vara samhällsekonomiskt lönsamt. Lönsamheten ökar med tiden efter åtgärd eftersom kostnaderna för fiskvägsbyggnationer är av engångskaraktär medan avkastningen i form av fiskproduktion återkommer årligen.

Fiskvägsprojektering bör ske med eftertänksamhet och med ett klart definierat syfte. Huvudfrågan är vad man ur fiskeribiologisk synvinkel vinner på en byggnation utöver redan befintliga förhållanden. Därtill kommer ställningstaganden rörande vattenkvalitet, konflikter med andra intressen i vattendraget, äganderätt samt drifts- och underhållsansvar. Byggnationen skall dessutom åtföljas av ett kontrollprogram som klargör om målsättningarna uppnåtts. I allmänhet är en nytto- kostnadsanalys befogad, där "nytto" och "kostnad" ej enbart bör ses i ekonomiska termer.

1 INLEDNING

Den första större fiskvägen i Europa byggdes i mitten av 1800-talet på Irland (Pryce-Tannatt 1938; Anon. 1990). Några årtionden senare konstruerade norrmannen Landmark den första dokumenterade fiskvägen i Norden (Orsborn 1985; Grande 1990). Landmarks fiskväg, som består av utsprängda trappsteg (pooler) i berget, lär fungera än idag (Grande 1990). Landmark projekterade dessutom fiskvägar i form av rännor med flödesdämpande tvärväggar längs ena kanten (Powers et al. 1985).

I Sverige omnämns större fiskvägsbyggnationer först i början av 1920-talet. Schmidt (1922) beskriver fiskvägar som anlagts vid vattenkraftmagasin i ett dussintal svenska älvar och åar. Bortsett från fiskvägar som utformats speciellt för uppströmsvandrande ål- yngel var flertalet av dessa första fiskvägar i vårt land av Landmarkstyp (Furuskog 1946). Byggnad av fiskvägar har under 1900-talet genomgått en enorm utveckling där nyvunna fiskeribiologiska kunskaper gått hand i hand med rent tekniska vetenskaper, i första hand hydraulik. En strävan att säkra laxfiskars lekvandring i framför allt nordamerikanska floder har därvid gett betydliga bidrag till de framsteg som gjorts.

I Sverige har intresset för byggande av fiskvägar samt deras betydelse för fiskevården ökat kraftigt under det senaste decenniet. Kunskaperna inom projektering och byggnadsteknik har emellertid under hela 1900-talet varit inskränkt till ett fåtal initierade. Särskilt bör framhållas pionjäreterna Carl Schmidt och Valter Furuskog, samt deras efterföljare Sven Andersson, samtliga fiskerijingenjörer.

Huvudsyftet med en fiskväg är att säkerställa fri passage för vandrande fisk förbi ett naturligt eller konstgjort hinder i ett vattendrag. I Norden har 1900-talets utbyggnad av vattenkraften medfört att stora delar av såväl större som mindre vattendrag avstängts för vandrande fiskarter. Detta förhållande har inneburit att betydande arealer av lek-

och uppväxtområden för i första hand laxfiskar blivit otillgängliga, ofta med ödesdigra konsekvenser som följd (Linløkken 1989; Lonnebjerg 1990). Av de älvsträckor som var åtkomliga för laxlek i svenska laxälvar vid sekelskiftet återstod 1971 endast ca 18% (Utter 1972). Dessutom har vattenföroreningar, överfiskning, omdömeslös flyttning av fisk mellan olika vattendrag samt bristfälliga metoder vid avelsarbete, främst i samband med kompensationsutsättningar, bidragit till att genetiskt unika lax- och öringstammar mer eller mindre utarmats (Nyman 1986; Ring & Hanell 1987; Norman 1989; Henricson et al. 1990). De av människan skapade vandringshindren förhindrar således tillsammans med en rad andra faktorer flera fiskarter att fullfölja sina livscyklar. Vad naturliga vandringshinder beträffar så har vattenorganismerna sedan "tidernas begynnelse" anpassat sig till dem vilket innebär att naturliga vattenfall sällan ensam utgör ett akut hot mot populationers överlevnad. Underhåll och byggande av fiskpassager vid, främst konstgjorda, vandringshinder utgör därför en av de viktigaste fiskevårdande insatserna för att bevara vilda, ursprungliga fiskstammar (Berg & Myhre 1990). Såväl norska som svenska beräkningar pekar på att anläggande av fiskvägar kan vara samhällsekonomiskt lönsamt (Hannerz & Degerman 1984; Berg & Myhre 1990). Lönsamheten ökar med tiden efter åtgärd eftersom kostnaderna för fiskvägsbyggnationer är av engångskaraktär medan avkastningen i form av fiskproduktion återkommer årligen. Möjliggörs fri passage för havsvandrande arter erhålls en ökad fiskproduktion i både det åtgärdade vattendraget och i havet. Vid sidan av rent fiskeribiologiska aspekter kan fiskvägar även bidra till att bibehålla den biologiska mångfalden i vatten-systemen.

Byggnad av fiskvägar bör ske med eftertänksamhet och alltid föregås av en nytto-kostnadsanalys där "nytto" och "kostnad" ej enbart bör ses i ekonomiska eller fiskeribiolo-

giska termer. I vissa fall kan byggnationer ge negativa ekologiska konsekvenser genom exempelvis oönskad konkurrens, predation eller sjukdomsspridning när nya områden blir tillgängliga. Å andra sidan är det i allmänhet dammar som föranleder fiskvägs-

byggnationer varför det oftast är fråga om att återställa ursprungliga förhållanden. Slutligen skall påpekas att olika vattenanspråksintressen kan försvåra eller förhindra anläggande av fiskvägar.

2 FISKAR I RINNANDE VATTEN

De rinnande vattnen i vårt land, från minsta bäck till den största älv, har i runda tal en sträckning av 300 000 km (Sers & Degerman 1992). Bland dessa vattendrag kan ett flertal vattendragstyper skönjas, alltifrån lugnflytande, varma och eutrofa låglandsvatten med ett stort antal fiskarter, till snabbbrinnande, kalla och mycket näringsfattiga fjällvatten med en förhållandevis sparsam fiskfauna. Dessa vatten hyser ett spektrum av miljöer som ger livsrum åt många olika fiskarter.

Kravet på livsmiljö kan variera avsevärt mellan olika fiskarter. Av de arter som återfinns i vattendrag är vissa starkt knutna till strömmande eller stråkande vatten, medan andra föredrar mera lugnflytande partier eller nästan stillastående vatten. Vidare trivs en del fiskar i mycket näringsrika miljöer med starkt grumligt vatten, medan andra är anpassade till ett liv i extremt näringsfattiga, klara vatten. De flesta sötvattensfiskar kan tillbringa hela sitt liv i ett vattendrag. Flera av våra karpfiskar, t ex asp, id, lake, färna, stäm, elritsa, mört, vimma, faren, björkna och braxen påträffas mer eller mindre regelbundet i rinnande vatten. Vidare finns ett fåtal fiskar som är obligat knutna till rinnande vatten, dvs de förekommer uteslutande i denna vattenmiljö. Bäcknejonöga, grönling och strömlevande öring tillhör denna sistnämnda grupp. Dessutom förekommer arter som enbart utnyttjar vattendrag för delar av sin livscykel, t ex lax, havsöring, gös och ål.

Vid en sammanställning av 1 622 elfiskade lokaler i rinnande vatten fann Sers & Degerman (1992) totalt 36 registrerade fiskarter vilket utgör drygt 70% av landets söt-

vattenslevande (fisk)arter. De tolv vanligaste arterna var (procenttalet anger andelen lokaler där arten förekom): öring (76%), elritsa (24%), lake (21%), stensimpa (20%), gädda (19%), lax (12%), mört (9%), ål (8%), abborre (8%), bäcknejonöga (7%), harr (6%) och bergsimpa (4%). Påpekas skall att strömmande och grunda partier är överrepresenterade i förhållande till djupa selområden (op cit).

Man får inte glömma att de rinnande vattnen i många fall även utgör en sista utpost för sällsynta och utrotningshotade fiskar som grönling och sandkrypare. Av denna anledning skall betydelsen av de små vattendragen inte underskattas, även om dessa vattenmiljöer kanske främst rönt intresse som uppväxtområde för ungar av laxfisk.

2.1 Vandringsbeteende

Fiskars vandringar är en anpassning till att optimalt utnyttja ekosystemet för överlevnad, tillväxt och reproduktion (Nikolsky 1963). Vandringsarna utgör därvid en nödvändig del i fiskars livscykel. De kan delas in i tre kategorier (modifierat efter Harden Jones 1968, Northcote 1978 och Linløkken 1989):

- lekvandringar från födosöksområden till lekområden (t ex lax, öring, sik och ål);
- födosöksvandringar av två typer: spridningsvandring av ungfisk från lekområdet till uppväxtområdet (ålyngel, lax- och öringsmolt) och utlekt fisk som vandrar från lekområdet tillbaka till födosöksområdet (t ex lax, öring och sik);
- övervintringsvandringar från födosöksområden (i vissa fall lekområden) till övervint-

ringsområden. Katopodis (1977) omnämner även vandringar till områden med lämpliga temperatur- och/eller strömförhållanden.

Man skiljer också mellan begreppen anadrom, katadrom, oceanodrom och potadrom. För anadroma fiskar, t ex lax och havsöring, inträder könsmognad i saltvatten medan leken sker i sött vatten. För katadroma fiskar, som ål, gäller i princip det motsatta förhållandet; de växer upp i sötvatten men vandrar ut i havet för att leka. Dessa vandringsbeteenden anses ha utvecklats som en följd av skillnad i födotillgång mellan havs- och sötvattenmiljöer (Gross 1987). Oceanodroma och potadroma fiskar tillbringar hela sitt liv i salt- respektive sötvatten (McKeown 1984).

De flesta studier av vandringsbeteende har gjorts på anadroma fiskar. Framför allt laxen är starkt beroende av att fritt kunna förflytta sig mellan lek- och födosökområdena för sin reproduktion. Förhindras denna vandring dör bestånden ut (Linløkken 1989). De flesta fiskvägar i Norden har anlagts i syfte att säkerställa lekvandring för olika arter laxfiskar. Lekvandringen hos lax och öring är bl a beroende av vattentemperaturen, vilket i allmänhet medför att tidpunkten för lekvandringsperiodens inledning varierar med latituden. Lekvandringen kan börja flera månader före själva leken, vilket åtminstone delvis torde avspegla enskilda populationers anpassning till lekplatser belägna långt upp i vattendraget (Norman 1989).

Laxen är den vandringsfisk som genomför de längsta lekvandringarna från hav till lekplatser långt upp i större vattendrag. Tiden för uppvandring varierar i olika delar av landet; den är kortare och inträder senare ju längre norrut ett vattendrag är beläget (Alm 1954). Tiden för lekvandring kan också variera mellan olika år eftersom uppvandringen huvudsakligen sker vid högvatten. Själva leken äger rum på hösten i hela landet, under perioden september-november. I allmänhet anländer de äldre laxarna först, dvs i början av uppvandringens perioden, varefter medelåldern sjunker med tiden. Dessa förhållanden överensstämmer i stort med finska uppgifter, där de största östersjölaxarna uppges återvända till sina hemälvar under sommaren, medan yngre och mindre fiskar anländer mot slutet av sommaren (Rytkönen & Hepojoki 1990).

Flera undersökningar visar att lax inte simmar kontinuerligt och målinriktat mot strömmen vid exempelvis lekvandring, utan snarare med ett oregelbundet vandringsmönster innehållande både ned- och uppströmsvandringar (Westerberg 1977; Cleugh & Russell 1980; Power & McCleave 1980; Uppman 1980; Gueneau 1983; Rosberg & Greer 1985; Faler et al. 1988). Telemetrisk studier visar att lax i genomsnitt förflyttar sig 1-5 km per dag i ett vattendrag, men variationerna är stora och långa perioder utan förflyttning kan följas av vandringar på 15-20 km/dag (Anon. 1990).

Öring, som uppvisar betydligt större ekologisk variation än lax, kan indelas i tre huvudtyper – havsöring, sjölevande öring och strömlevande öring – vilka sammantaget avspeglar artens stora biologiska plasticitet, dvs dess anpassning till en mångfald olika vattenmiljöer (Nyman 1987). Artens anadroma form benämnes havsöring. Havsöringens lekvandringsbeteende liknar till stora delar laxens. Havsöring föredrar dock – till skillnad från laxen som huvudsakligen leker i ett vattendrags huvudfåra – biflöden till huvudälven eller andra mindre vattendrag (Rytkönen & Hepojoki 1990). I små åar och bäckar vandrar havsöringen inte upp förrän sent på hösten, omedelbart före leken. I större vattendrag, däremot, börjar lekvandringen redan i juni och pågår sedan hela eftersommaren och hösten. Sjölevande öring kallas i princip de former som tillbringar huvuddelen av sitt vuxna liv i sjöar, men som utnyttjar angränsande vattendrag för lek- och tidig uppväxt. För den sjölevande öringens del inträder lekvandringen främst under eftersommar och höst, ju mindre vattendrag desto senare (Alm 1954). Leken kan antingen ske uppströms sjön, vilket är vanligast, eller nedströms. Både havsöring och sjölevande öring (vandringsöring) kan bli mycket storvuxna (Näslund 1992). Strömlevande öring lever hela sitt liv i främst små rinnande vatten. Den är utpräglat stationär och håller sig huvudsakligen inom ett område av 15-30 m² (Bachman 1984). Dock kan den företa kortare lek- och födosöksvandringar (200-300 m). I vissa vattendrag är strömlevande öring småvuxen (<100g) och förhållandevis kortlivad (Näslund 1992). Påpekas skall att det finns

många bestånd av strömlevande öring som är betydligt mera storvuxen (några kilo är inte ovanligt, ibland upp till 6-7 kg) samt gör längre vandringar än 200-300 m, t ex Glomma-öring som vandrar omkring 10 mil (Johlander, Bergquist pers medd). Då variationen i levnadssätt inom arten öring är stor och ibland även könsbunden, förekommer flera övergångsformer vilket avspeglas i de olika vandringens mönstren. Den ovan nämnda indelningen i tre öringtyper är därför i viss mån en förenkling.

Laxens och havsöringens smolt utvandrar till största delen i samband med vårens och försommarens högvatten, varför tiden för utvandring kan variera mellan såväl olika vattendrag som olika år (Alm 1954). Havsöringens smolt är ofta både något äldre och större än laxens vid utvandring. Sjölevande öring-smolt vandrar från uppväxtområdena företrädesvis under försommaren, men sådana vandringar kan även förekomma under sensommaren (Näslund 1990).

Harr är en annan laxfisk som så snart isen försvunnit vandrar uppströms i vattendrag för att leka (Svärdson 1962). I en lekback i Jämtland skedde uppvandringen under tiden 21 april-18 maj med en koncentration runt 23-26 april (op cit). Efter 10-20 dagar i bäcken återvände harrarna till den nedströms belägna sjön. I ett norskt projekt, Glommaprojektet (Linløkken 1989), har man delvis kartlagt harrens och öringens vandringar i ett antal vattendrag. Vandringarna startade i maj-juni när vattentemperaturen översteg 5 °C och ebbade ut i oktober-november när temperaturen sjönk under 5 °C. Harren gjorde dessutom födosöksvandringar på sommaren.

Andra laxfiskar som helt eller delvis utnyttjar vattendrag för reproduktion är sik, siklöja, nors och röding (Muus & Dahlström 1968). Siken gör lekvandringar upp i vattendrag under höst/vinter när vattentemperaturen understiger 7 °C. Vandringsformer av siklöja som i sept-dec går upp i älvarna för att leka finns framför allt i Östersjön. Även norsen har utpräglade vandringar som i samband med vårens islossning söker sig upp i rinnande vatten för lek. Vissa rödingstammar, slutligen, uppvisar framför allt i den nordligaste delen av utbredningsområdet ett

typiskt lekvandringsbeteende. Man har även funnit att ung röding (längder strax under 20 cm) ibland under vårflöden företar uppströmsvandringar (Näslund 1991; Näslund et al. 1993).

Vid sidan av laxfiskar påträffas, som nämndes ovan, flera andra fiskarter mer eller mindre regelbundet i våra rinnande vatten. Vissa av dem utför relativt omfattande vandringar i vattendragen. Mört, asp, vimma och faren bildar ofta lekstim som under vårens försommaren simmar upp i bäckar och åar för att leka (Muus & Dahlström 1968). Lika så elritsa bildar lekstim framåt sommaren. Även stäm och färna utnyttjar vattendrag för sin lek, stäm i mars-maj och färna någon månad senare (op cit). Gös är en annan art som ibland förekommer i svagt strömmande och måttligt näringsrika vatten (Sonesten 1991). Den kan företa långa lekvandringar, men själva leken sker främst i stillastående eller möjligen svagt strömmande vatten (se referenser i Sonesten 1991). Även födosöksvandringarna kan vara mycket omfattande, främst efter leken då gösen sprider sig i vattensystemen (op cit). Beroende på födotillgång och vattentillförsel gör gösen ibland under sommaren och hösten vandringar upp i flodsystem (Golovanenko & Shuvatova 1975).

En art vars vandringar är av intresse i detta sammanhang är den europeiska ålen – en katadrom fiskart som växer upp i sötvatten men vandrar ända till Sargassohavet för att leka. Larverna driver sedan tvärs över Atlanten mot Europas kuster. Under resan som tar ca tre år förvandlas larverna till sk glasål. När vattentemperaturen under sommarmånaderna överstiger 8-10 °C vandrar många av glasålarerna upp i sötvattenssystemen (Tesch 1977). De uppvandrande ålarna kan, åtminstone i svenska vattendrag, även bestå av ålar upp till fem års ålder (Svärdson 1976).

Fiskar som främst utnyttjar synen för orientering söker sig nära ytan eller, i grunda vatten, till mera strandnära områden vid uppströmsvandring (Pavlov 1989). Till denna kategori hör pelagiska fiskar som lax, öring och vissa arter tillhörande sillsläktet *Alosa* samt en del bottenlevande fiskar, t ex braxen (Pavlov 1989). Dessa fiskar vandrar huvudsakligen under dagtid eller i skymning/gry-

ning. Det är emellertid inte tidpunkten i sig som styr uppvandringen utan snarare ljusförhållandena (op cit). Vad gäller laxfiskar bör man enligt Bell (1986) utgå ifrån att ca 95-97% av dygnsuppvandringen genom en fiskväg sker under dagtid (ca 60% mellan gryning och middagstid och 40% under eftermiddagen fram till skymningen). Vidare är sällan uppvandringen jämt fördelad över dagen utan så mycket som 20% av fiskpassagen kan ske inom loppet av en timme. Återstående 3-5% av uppvandringen under ett dygn sker nattetid och då företrädesvis på sennatten fram mot gryningstimmarna (op cit). Ellis (1962) fann vid studier av havsvandrande indianlax och silverlax ett liknande vandringmönster under dygnet. Huvuddelen av fiskarna vandrade upp morgon, förmiddag och eftermiddag. Vid en undersökning av fiskpassage genom en fiskväg noterade Brett & Mackinnon (1954) att kungslax och silverlax uteslutande vandrade upp i dagsljus. Detta mönster tycks emellertid variera något mellan olika laxfiskarter samt styras av faktorer som antalet vandrande fiskar och tidpunkt under uppvandringssäsongen. Fiskarter som främst använder känslan vid orienteringen uppströms, t ex mal och gös, vandrar uteslutande uppströms i strandnära vatten under natten; detta dygnsmönster gäller även fiskvägspassage (Pavlov 1989). Enligt Svärdson (1962) tycks även harren huvudsakligen lekvandra nattetid. Ytterligare andra fiskarter, t ex stjärnstör, uppvisar ett mera jämnt fördelat vandringmönster över dygnet, men en svag ökning i rörelseaktivitet förekommer i allmänhet nattetid (Pavlov 1989). Månljus kan hämma vandringbenägenheten hos dessa arter (op cit).

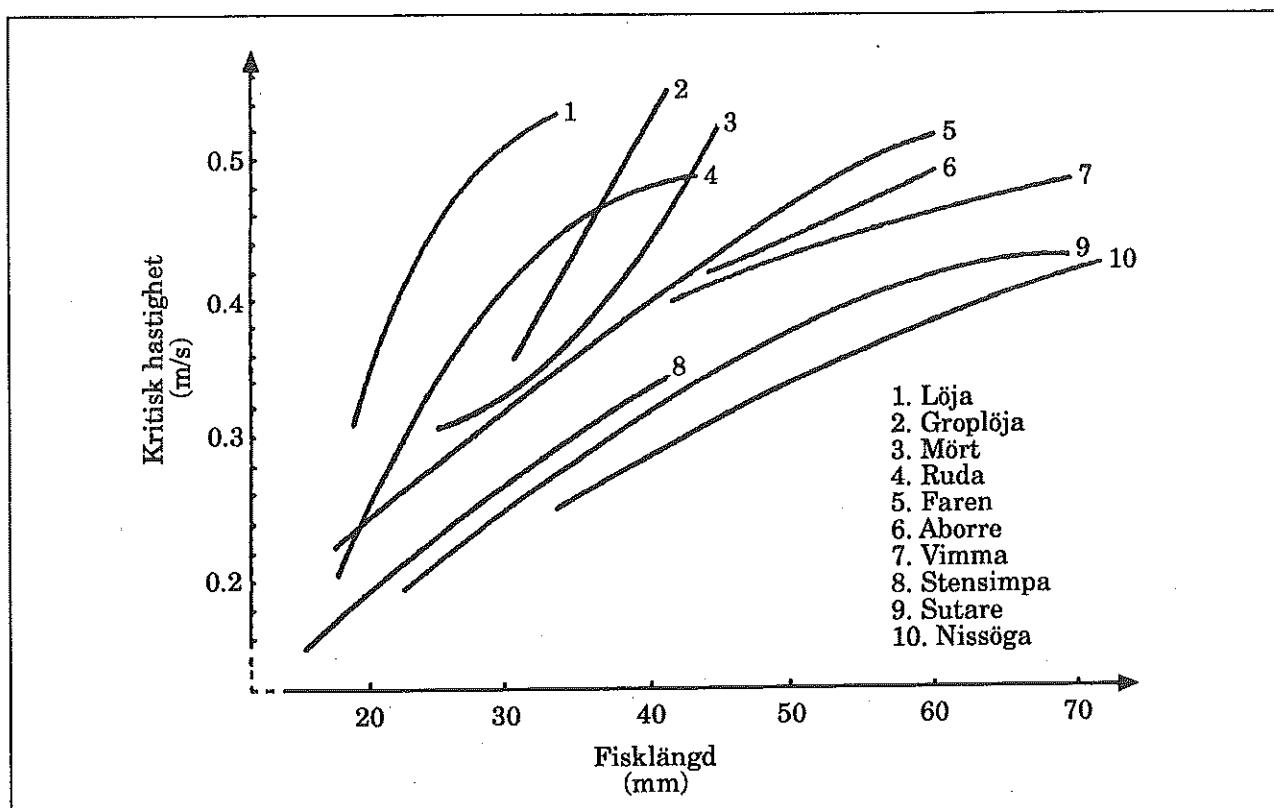
2.2 Sim- och hoppbeteende

Fiskar i strömmande vatten håller sig sannolikt i närheten av, men utanför, den stridaste strömmen för att på så sätt hushålla med krafterna; av och till uppsöker den områden i vattendraget med mera lugnflytande partier (Osborne 1961; Ellis 1962; Linløkken 1989; m fl). Osborne (1961) uppger att lax ("salmon") vid uppströmsvandring tillbringar så mycket som två tredjedelar av tiden i lugna vattenpartier för vila. Vidare har man i flera undersökningar visat att laxfiskar inte simmar

kontinuerligt och målinriktat mot strömmen vid lekvandring, utan snarare med ett regelbundet vandringmönster innehållande både ned- och uppströmsförflyttningar (Ellis 1962; Westerberg 1977; Cleugh & Russell 1980; Power & McCleave 1980; Uppman 1980; Gueneau 1983; Rosberg & Greer 1985; Faler et al. 1988; m fl). Med telemetristudier har man påvisat att fisk på lekvandring uppströms regelbundet alternerar mellan aktiv simning mot strömmen och aktiv-passiv nedströmsdrift, den senare rörelsen sker dock med huvudet fortfarande vänt mot vattenströmmen (Pavlov 1989). Enligt Pavlov finns sannolikt två förklaringar till detta beteende. Den ena är att fisken utför en förnyad orientering i vattenströmmen, medan den andra innebär att fisken helt enkelt är utmattad (den ena förklaringen utesluter inte den andra). Ju närmare leken ligger i tiden, desto oftare sker aktiv-passiv nedströmsdrift, åtminstone hos utpräglade sötvattensfiskar (op cit).

När en fisk konfronteras med en vattenström vänder den sig i regel mot strömmen; denna reaktion kallas på engelska "rheotaxis" (Ellis 1962) eller "rheoreaction" (Pavlov 1989) (ungefär "strömreflex"). Stuart (1962) benämner orientering mot strömmen för "positive rheotaxis" och med strömmen för "negative rheotaxis". Orienteringen mot strömmen sker genom stimulering av optiska och taktila sinnesorgan (dvs synen respektive sidolinjeorganet och/eller balansorganen). Reaktionen påverkas bl a av vattentemperatur, ljusförhållanden, turbulens, fiskens fysiska kondition och vattenhastighet.

Vad gäller vattenhastighetens påverkan på orientering och simförmåga så skiljer man mellan tröskelhastighet (V_{tr}) ("threshold current velocity") och kritisk vattenhastighet (V_{kr}) ("critical current velocity") (Pavlov 1989). Med tröskelhastighet avses den lägsta strömhastighet vid vilken en fisk orienterar sig mot strömmen (beroende på främst fiskart kan V_{tr} variera mellan 0,01-0,3 m/s) medan kritisk vattenhastighet är den (lägsta) strömstyrka vid vilken en fisk inte längre förmår hålla sig kvar i strömmen. Pelagiska arter (fiskar i den fria vattenmassan) som huvudsakligen orienterar sig visuellt uppvisar i allmänhet låga värden på V_{tr} och höga på V_{kr} , medan förhållandet är det omvända hos bottenlevande ar-



Figur 1. Kritisk vattenhastighet (V_{kr}) i förhållande till fiskstorlek för några fiskarter. Lägga märke till att strikt pelagiska arter som exempelvis löja uppvisar avsevärt högre värden på V_{kr} än den bottenlevande stensimpan. Noteras bör att diagrammet endast omfattar fiskar mindre än 70 mm. (Modifierad efter Pavlov 1989, s. 4.)

ter som främst orienterar sig med hjälp av taktila sinnesorgan (Pavlov 1989). Extremt bottenlevande fiskarter som rysk stör och stjärnstör uppvisar överlag 2-3 gånger lägre värden på V_{kr} än fiskar som lever något högre upp i vattenmassan, t ex abborre, vimma och mört. I Figur 1 redovisas den kritiska vattenhastigheten för mindre individer av några fiskarter.

Pavlov (1989) uppger att simhastigheten i allmänhet är lägre hos bottenlevande fiskar än hos pelagiska arter, 0,5-1 respektive 3-4 fisklängd per sekund. Fisklängd per sekund förkortas i allmänhet som L/s (Arnold 1974). I litteraturen finns ett flertal mer eller mindre tillförlitliga uppgifter om olika fiskarters maximala simhastighet (Kerr 1953; Gray 1957; Brett et al. 1958; Bainbridge 1958, 1960; Ellis 1962). Gray (1957) uppmätte den maximala simhastigheten för öring, stäm, gädda och ruda till 5,5-11, 9-17,8, 7,5-13 respektive 6 L/s. Gray uppger vidare att en öring med längden 29 cm kan simma med hastigheten 3,2 m/s under en längre tid. En-

ligt Bainbridge (1958, 1960) kan laxfiskar simma med en hastighet av ungefär 10 L/s, vilket torde innebära att en öring eller lax, 30-40 cm lång, kan forcera en motström av ca 3 m/s. Bainbridge (1958) hävdar att vuxen laxfisk ("adult salmon") kan uppnå hastigheten 11 m/s. Heikkilä (1986) beskriver hur sik i den finska älven Tornionjoki simmade mot en strömstyrka motsvarande 1-2 L/s. En annan finsk studie av en fiskväg med vertikala slitsar indikerar att vattenhastigheter överstigande 1,4 m/s tycks försena eller förhindra passage av sik och siklöja av storleken 9-30 cm respektive 9-24 cm (Laine 1990a). I försök med havsvandrande regnbåge, kungslax och silverlax som beskrivits av Weaver (1963) fann man att fisken, om den tilläts välja, i allmänhet föredrog att simma mot den starkare av två olika strömhastigheter. Det mest extrema valet stod mellan 0,9 och 3,9 m/s. Vidare framkom att 92% av regnbågen och 51% av kungslaxen utan uppehåll simmade igenom en 25 m lång kanal med motströmmen 3,9 m/s. När vattenhastigheten ökades till 4,5 m/s

sjönk dessa procenttal till 51% respektive 5%. Man testade även tiden för passage genom en 9 m lång kanal vid olika strömhastigheter (0,6-4,2 m/s). Regnbåge och silverlax passerade snabbare upp till vattenhastigheter runt 2,4 m/s varefter tiden för passage ökade. För kungslax ökade passagetiden redan vid lägre vattenhastigheter.

Vid dimensionering av fiskvägar är det nödvändigt att känna till de aktuella fiskarternas simkapacitet, dvs hur länge de orkar hålla en viss simhastighet utan att utmattas. Med hänsyn till denna frågeställning kan man dela in fiskars simhastighet i tre kategorier [klassifikation enligt Beamish (1978), men en snarlik indelning omnämns även av Webb (1975), Aaserude & Orsborn (1985), Orsborn (1985), Powers & Orsborn (1985), Powers et al. (1985), Pavlov (1989), Katopodis (1977, 1992), m fl]:

- 1) "burst speed" – maximal simhastighet; intensiva kortvariga rusningar som varar mindre än 20 sekunder.
- 2) "prolonged speed" – medelmåttig simhastighet; halvintensiv och utdragen simning som varar mellan 20 sekunder och ca 200 minuter.
- 3) "sustained speed" – långsam "marschfart"; lugn och ihållande simning som varar längre än 200 minuter.

Vid byggnation av fiskvägar bör man i första hand ta hänsyn till simkapaciteter tillhörande kategorierna (1) och (2). Simhastigheter tillhörande kategori (1) utnyttjas främst vid jakt, flykt och ansats före hopp, men kan

även användas i strida forsar eller vid passage genom starkt strömmande partier i fiskvägar, t ex mellan bassängerna i en slitsränna eller kammarrappa med underströmningsöppningar samt i denilrännor. Kategori (2), "prolonged speed", utnyttjas exempelvis vid uppströmssimning i moderat strömmande vatten eller vid passage av kulvertar utan vilobassänger samt i vissa fall denilrännor (Powers et al. 1985).

I Tabell 1 redovisas för atlantlax, öring och regnbåge den övre gränsen för simhastigheter tillhörande de tre kategorierna. Figur 2 anger sambandet mellan fiskstorlek, simhastighet och tid till utmattning hos regnbåge och indianlax medan Figur 3 visar simkapacitet som funktion av fiskstorlek hos några fiskarter. De simhastigheter som avses i Figur 3 faller inom kategorin "prolonged speed". Uppgifterna bör inte accepteras helt oreserverat eftersom inomartsvariationen hos fiskar av samma storlek kan vara avsevärd (Jones et al. 1974a, b). Figuren kan emellertid ge viss vägledning vid t ex dimensionering av denilrännor, enkla kulvertar utan viloplatser eller vid bedömning av vandringshinder.

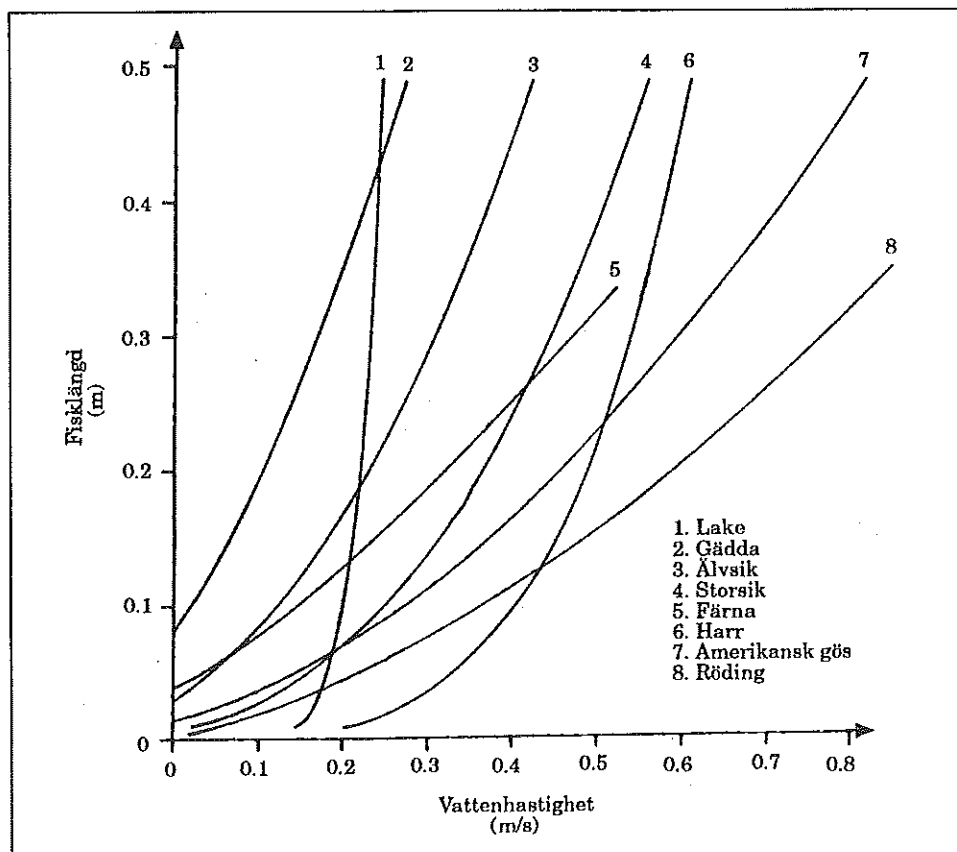
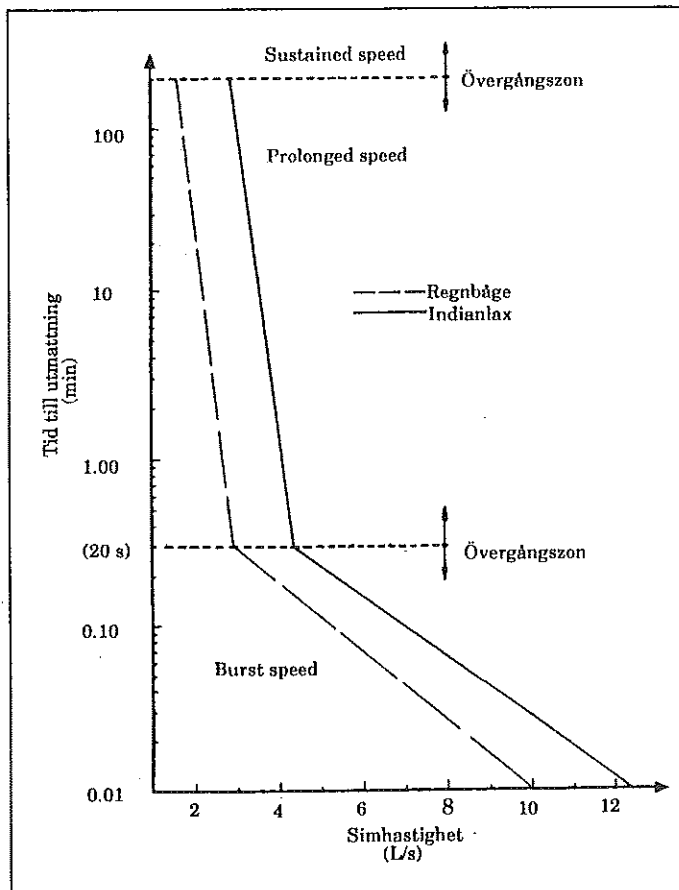
Katopodis (1990, 1992) har utvecklat en modell som i sin vidare tolkning medger beräkning av lämplig vattenhastighet i fiskvägar som utformats för uppströmsvandring. Modellen som beskriver olika fiskgruppers simförmåga baseras på ett referensmaterial bestående av 473 tester. I modellen försöker man klargöra två frågeställningar rörande fiskars simförmåga: *hur länge* och *hur långt* en fisk förmår simma mot en viss given

Tabell 1. Högsta observerade simhastighet samt övre gräns för simhastighet inom kategorierna "sustained speed", "prolonged speed" och "burst speed" hos atlantlax, öring och regnbåge (modifierad efter Powers et al. 1985, s 55).

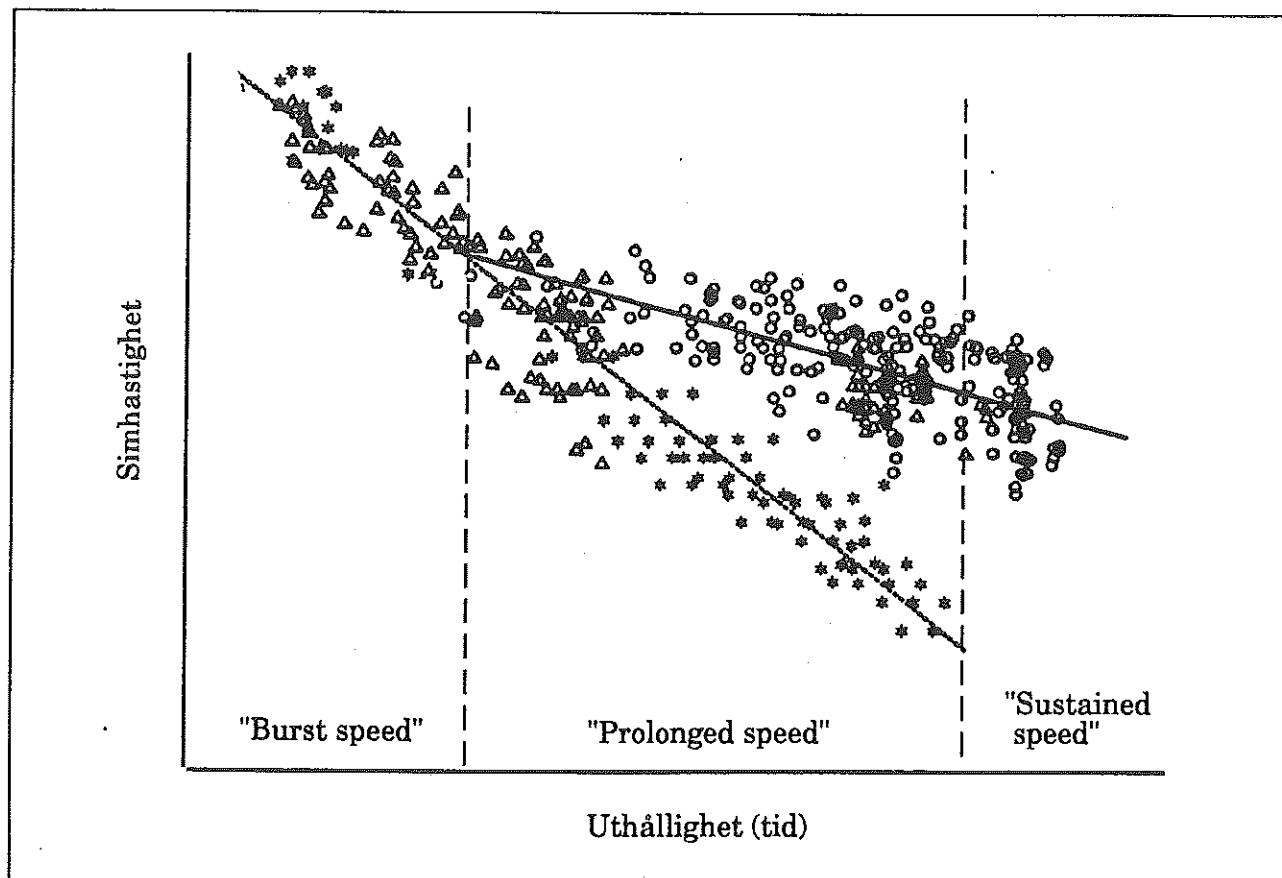
Fiskart	Sustained speed (m/s)	Prolonged speed (m/s)	Burst speed (m/s)	Observerad maximal simhastighet (m/s)
Atlantlax*	1,2	3,6	7,0	8,0
Öring	0,7	1,9	3,8	3,8
Regnbåge	1,4	4,1	8,0	8,0

*"Sustained och "prolonged speed" är beräknade; härvid har antagits att kvoterna mellan "burst" och "prolonged" respektive "sustained speed" är lika stora för atlantlax som för regnbåge.

Figur 2. Förhållandet mellan simhastighet (mätt som kroppslängd per sekund = L/s) och tid till utmattning för regnbåge och indianlax vid s k "burst" och "prolonged speed". Figuren visar bl a att energiförbrukningen ökar med ökad simhastighet och att utmattning därför inträder förhållandevis snabbt vid "burst speed". (Modifierad efter Powers et al. 1985, s 56; ursprungligen efter Beamish 1978.)



Figur 3. Samband mellan fisklängd och den maximala vattenhastighet (motström) vid vilken fisken förmår simma 100 m på 10 minuter. [Modifierad efter Katopodis (1977), s 955; ursprungligen från Jones et al. (1974a, 1974b).]

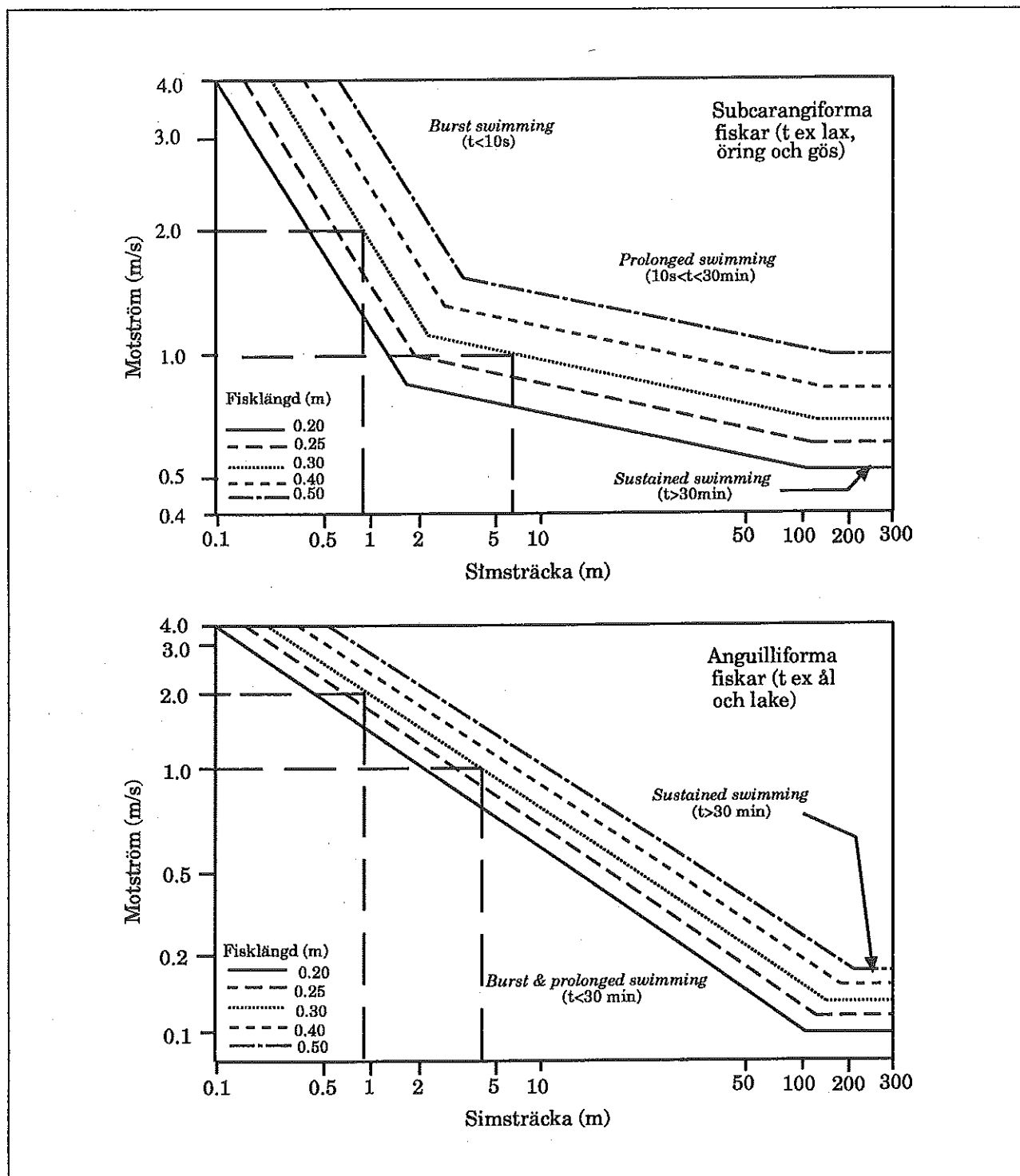


Figur 4. Diagrammet visar förhållandet (i detta fall dimensionslöst) mellan uthållighet och simhastighet hos fiskar med ett "subcarangiformt" simsätt, t ex lax och öring ($n = 394$; trekantar = sötvattensfiskar; cirklar = anadroma fiskar) och fiskar med ett "anguilliformt" simsätt, t ex ål och lake ($n = 79$; markerade med stjärnor). De undersökta fiskarnas storlek låg inom längdintervallet 38-600 mm. Notera att de båda kategorierna uppvisar likartad uthållighet i relation till simhastighet vid "burst speed", medan "subcarangiforma" fiskar kan bibehålla en högre simhastighet under längre tid inom intervallet "prolonged speed" (kanske även inom "sustained speed"). (Modifierad och förenklad efter Katopodis 1992, s 35; för uppgifter om linjernas ekvationer, determinationskoefficienter etc, se nämnda referens.)

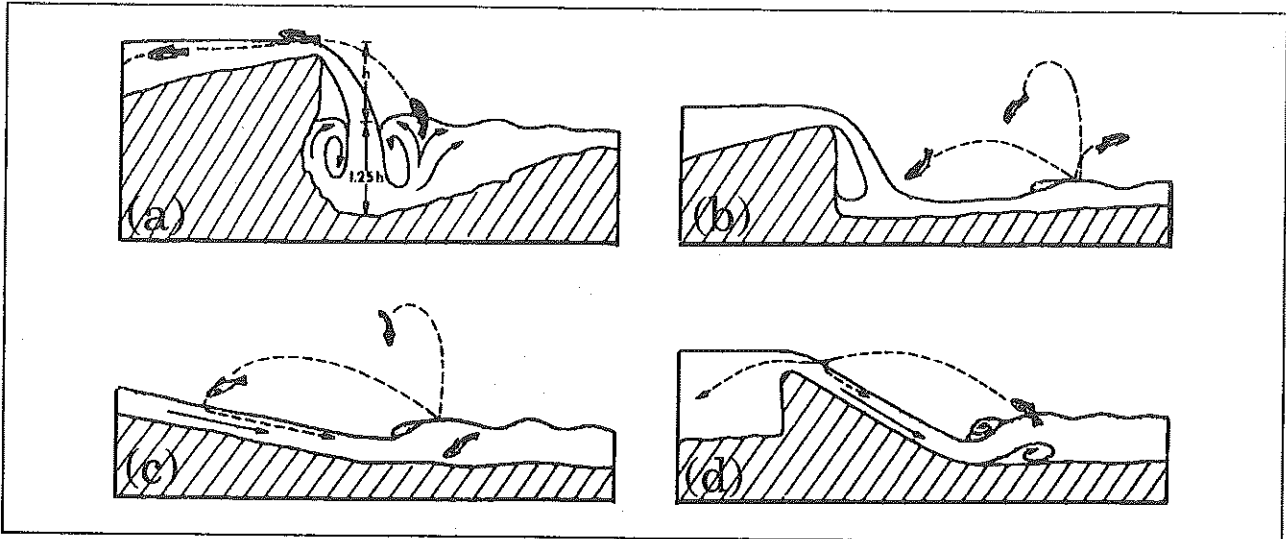
strömstyrka. Båda frågorna är givetvis av fundamentalt intresse vid fiskvägsbyggnationer. Fiskarna har indelats i två grupper med funktionellt sett olika simsätt: "subcarangiform" och "anguilliform". Denna indelning grundas på Lindsey (1978) men det skall påpekas att även andra former av simsätt existerar. Det förstnämnda simsättet representeras av fiskar som vid simning främst rör den bakre halvan av kroppen, t ex lax, öring eller gös, medan den andra kategorin består av "ållika" fiskar som utnyttjar mer eller mindre hela kroppen för simrörelser (t ex ål, lake och havsnejonöga). I Figur 4 finns alla fiskar som ingick i referensmaterialet representerade i ett diagram där simhastighet avsetts mot varaktighet (egentligen uthållighet

mätt i tid). Figuren kan vara till vägledning i situationer där fiskars uthållighet vid olika simhastigheter är av speciellt intresse. I Figur 5 har Katopodis gjort informationen mer tillämpbar. Figuren visar hur vattenhastigheten (motström) påverkar simsträckan hos "subcarangiforma" och "anguilliforma" fiskar av olika kroppslängd. Med ledning av Figur 5 kan, inom vissa gränser, både vattenhastigheten i en fiskväg och längden på densamma på förhand anpassas med hänsyn till fiskars simförmåga. Det är kanske framför allt i detta sista avseende som Katopodis' modell utgör ett viktigt komplement vid fiskvägsprojektering.

Det råder delade meningar om hur högt en fisk kan hoppa och vilka stimuli som ut-



Figur 5. Diagrammen visar sambandet mellan simmad sträcka och vattenhastighet vid motströmssimning för "subcarangiforma" (överst) och "anguilliforma" fiskar (nederst) av olika storlek. Exempel: vid en motström av 2 m/s förmår fiskar av längden 30 cm, oavsett vilken grupp de tillhör, att simma lika långt (ca 0,9 m). Detta beror på att de båda grupperna har lika god uthållighet vid simning inom "burst speed"-området (se Figur 4). Vid simning mot en ström av storleksordningen 1 m/s förmår emellertid "subcarangiform"-gruppen att simma en längre sträcka. Även i detta fall finner man förklaringen i Figur 4, där det framgår att "subcarangiforma" fiskar kan bibehålla en högre simhastighet under längre tid inom intervallet "prolonged speed". Observera att definitionen (eg tidsintervallen) för "burst" ($t < 10s$), "prolonged" ($10s < t < 30min$) och "sustained swimming/speed" ($t > 30min$) här skiljer sig något från den som redovisas i avsnitt 2.2. För mera utförlig information, se Katopodis (1990, 1992). (Modifierad efter Katopodis 1992, s 37-38.)



Figur 6. Nedanför ett vattenfall eller starkt lutande partier bildas ibland en stående våg. Vågen anses stimulera fisken att hoppa samt ge den en extra "skjuts" i hoppet. (a) visar en optimalt utvecklad stående våg. Fiskpassage är möjlig i (a) och (d) men ej i (b) och (c). För övrigt se huvudtext. (Modifierad efter Eiserman et al. 1975; ursprungligen efter Stuart 1962.)

löser själva hoppet. Powers et al. (1985) fann vid försök med silverlax att det från energisynpunkt är fördelaktigare för fisken att hoppa än att simma om nivåskillnaden överstiger 70 cm. Stuart (1962) menar att hoppreaktionen utlöses via påverkan av häftigt fallande vatten. Han kunde vid modellförsök med lax och öring visa att det under vissa förutsättningar uppkom en stående våg nedströms fallet som fungerade som "katapult" för den hoppande fisken. Stuart fann att "optimala hoppningsförhållanden" uppstod när den stående vågen uppträdde nära vattenfalllets (hindrets) bas samt då förhållandet fallhöjd/nedströmsdjup var $1/1,25$ (Figur 6). Av figuren framgår också att till synes liknande hinder i själva verket kan fungera helt olika vad beträffar fiskpassage (vandringshinder diskuteras även i Avsnitt 3). Stuart (1962) påpekar att fisken i hoppets initialskede måste kunna se hindrets krön för att styra hoppet i rätt riktning. Detta är en av anledningarna, menar Stuart, till att fisk sällan hoppar i mörker samt att hinder med dålig kontrast mot bakgrunden är mera svårforcerade. Även Flick (1968) rapporterar att laxfiskar vid hopp kan utnyttja energin i en stående våg nedströms fallet. Bell (1984) antar att hoppbeteendet framkallas av skuggfenomen och uppåtriktade strömmar. Aaserude & Orsborn (1985) vidareutvecklar Stuarts idéer om en stående våg. De slår bl a fast att Bells term "upwell-

ing" är homolog med Stuarts stående våg och att de hydrauliska mekanismerna bakom denna är uppåttstigande luftbubblors bärförmåga samt att den vertikala uppåtriktade vattenhastigheten är en funktion av bubblornas storlek. Vidare menar Aaserude och Orsborn att även om fiskar bevisligen tar hjälp av den stående vågen vid hoppet är det osäkert huruvida de stimuleras av den. Kanske är det snarare så, att stående vågor av naturliga skäl bildas på platser där det helt enkelt är nödvändigt för fisk att hoppa (Aaserude & Orsborn 1985; Orsborn 1987).

Vad gäller hoppkapaciteten så anger både Landmark (1884) och Stuart (1962) att en stor atlantlax under gynsamma förhållanden kan hoppa 4-5 m lodrätt upp i luften medan Calderwood (1930) och Mills (1971) uppger att denna art förmår hoppa åtminstone 3,5 respektive 3,65 m. Andra uppgifter gör gällande att atlantlax av storleken 6-8 kg kan forcera vattenfall av ca 2 m höjd (Lonnebjerg 1980). Vidare finns uppgifter om att havsvandrande regnbåge kan utföra hopp runt 4-5 m om de både tar hjälp av stående vågor och har möjlighet att simma den sista biten före själva hoppet (Powers & Orsborn 1985). Enligt Reiser & Peacock (1985) ligger den maximala hopphöjden hos vuxen regnbåge och öring av genomsnittstorlek vid 3,4 respektive 0,8 m. Det skall påpekas att hoppkapaciteterna ovan utgör exempel som i all-

mänhet har registrerats under gynnsamma omständigheter. Vid dimensionering av fiskvägar måste man utgå ifrån delvis andra kriterier, t ex ta hänsyn till fiskvägens längd, seriehopp kontra enstaka hopp osv. Furniss et al. (1991) anger 30 cm som högsta höjdskillnad för öring samt 60-90 cm för lax och regnbåge. De angivna höjderna gäller vid enstaka hopp. Furniss et al. påpekar emellertid att dessa gränser vid seriehopp snarare är 15 respektive 30 cm.

I övrigt finns det vissa observationer och beräkningar som indikerar att det föreligger ett direkt samband mellan fiskvikt och muskelkraft (Denil 1936; Gray 1957). Denil (1936) uppger att den största kraft som lax under en kortvarig prestation kan uppnå är 1,2 gånger dess vikt. Vidare faställer han att motsvarande kraft hos öring är 1,4 gånger kroppsvikten. Enligt Stuart (1962) och Gray (1957) kan öring till och med utföra kraftansträngningar som motsvarar 4 gånger dess vikt.

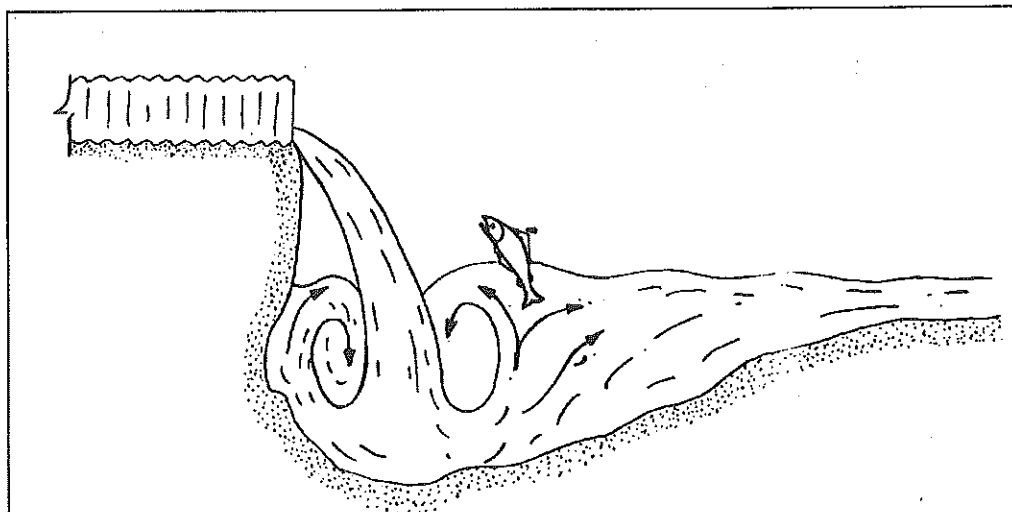
3 VANDRINGSHINDER

Med vandringshinder avses i regel de partiella eller definitiva hinder i ett vattendrag som försvårar respektive förhindrar fri passage för främst uppströmsvandrande fisk. Konstgjorda hinder utgörs nästan uteslutande av dammanläggningar och vägtrummor medan naturliga hinder kan vara vattenfall, kraftig vegetation eller ansamlad bråte. Många dammar fyller idag ingen praktisk funktion, utan står endast kvar som mer eller mindre raserade ruiner, medan andra är i drift för exempelvis elkraftproduktion. I allmänhet är det endast dammar och vattenfall som föranleder

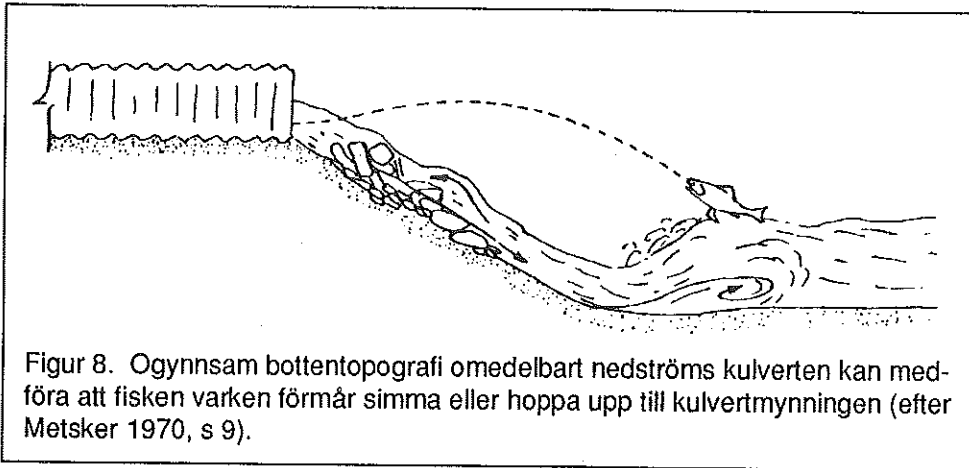
byggnation av fiskvägar, såvida de ej kan utrivs eller sprängas bort.

Kulvertar eller vägtrummor utgör i många fall svårframkomliga passager för fisk. De vanligaste bristerna är för brant lutning och därmed för hög vattenhastighet vid inloppet, utloppet eller inne i själva kulverten. Ibland kan även ett otillräckligt vattendjup inne i kulverten, företrädesvis vid låg vattenföring, utgöra ett hinder för fisken (Katopodis 1977). Dessutom har kulvertar ofta alltför stor fallhöjd i utloppet, beroende på felaktig utformning eller som följd av erosion (Anon. 1980;

Hermansen 1989) (Figur 7). I många fall försvårar även en ogynnsam bottentopografi omedelbart nedströms mynningen fiskens passage (Figur 8). En annan vanlig orsak till bristande funktion är drivande bråte (grenar och trädstammar), samt vintertid, drivande is och isbildning som



Figur 7. Kulvertsystem som gör det omöjligt för fisken att passera p g a för stor fallhöjd (efter Metsker 1970, s 14).



Figur 8. O gynnsam bottenpografi omedelbart nedströms kulverten kan medföra att fisken varken förmår simma eller hoppa upp till kulvertmynningen (efter Metsker 1970, s 9).

kan täppa till framför allt kulvertens övre öppning (Katopodis 1977).

Skillnaden mellan naturliga och konstgjorda hinder är att de förstnämnda ingår som en naturlig del i fiskens livsmiljö; organismsamhället i ett vattendrag har följaktligen sedan generationer anpassat sig till de förhållanden som hindren gett upphov till. Naturliga vandringshinder behöver därför inte utgöra ett akut hot mot en fiskpopulation om det inte tar sin tribut i form av ökad dödlighet eller försvagning av bestånden till följd av exempelvis försenad lekvandring (Clay 1961). Vad gäller konstgjorda hinder, och då framför allt de som nyligen anlagts, är problemet snarare att hela eller delar av en fiskpopulation lider omedelbar skada genom utestängning från lekplatser eller fördröjda vandringar (op cit). Ur hydrologisk synvinkel finns dessutom en väsentlig skillnad mellan naturliga och konstgjorda vandringshinder. Flödet i exempelvis ett naturligt vattenfall följer nästan undantagslöst vattendragets vattenföring, vilket kan medföra kraftiga driftsstörningar i vissa typer av fiskvägar. Dylåka störningar kan även uppkomma i fiskvägar vid dammanläggningar. Här är dock i allmänhet problemet mindre markant efter-

som åtminstone större vattenmagasin har en utjämnande effekt på vattenföringen. Dessutom finns det i regel vattendomar som dels föreskriver viss minimitappning, dels sätter gränser för vattennivåns fluktuationer i dammen.

Vandringshinder

kan också utgöra naturliga barriärer mot såväl sjukdomsspridning som oönskad konkurrens (såväl inom som mellan fiskarter) och predation genom att många vattenlevande organismer förhindras att vandra uppströms. Erfarenheter visar att vandringshinder exempelvis kan förhindra uppströms spridning av kräftpest (Alderman & Polglase 1988; Taugbøl & Skurdal 1993). Det är därför viktigt att överväga huruvida fiskpassager förbi t ex gamla flottledsdammar kan underlätta kräftpestspridning (Fiskeriverket 1993). Man bör således beakta de ekologiska konsekvenser åtgärdande av främst naturliga vandringshinder kan medföra.

Inom ramen för denna studie ingår egentligen ej att beskriva när ett hinder bör karakteriseras som ett reellt vandringshinder. Det kan emellertid vara värt att notera att en sådan bedömning inte endast baseras på den aktuella fallhöjden, utan även på aktuell fiskart, vattentemperatur och forsnackens struktur samt vattendjup och bottenpografi omedelbart nedströms hindret (Anon. 1990). I Appendix III återfinns ett antal principskisser över olika typer av vandringshinder samt deras relativa svårighetsgrad. Även Figur 6 visar några situationer där hinder omöjliggör fiskpassage.

4 FISKVÄGAR

I den stora mängd litteratur som behandlar projektering av fiskvägar framträder speciellt Clay (1961). I detta standardverk, "Design of fishways and other fish facilities", diskuteras flertalet förekommande fiskvägstyper ur de flesta aspekter. Clays bok var den första egentliga handboken i fiskvägsprojektering och hans definition av en fiskväg står sig än idag: *...essentially a water passage around or through an obstacle, so designed as to dissipate the energy in the water in such a manner as to enable fish to ascend without undue stress.*

Fiskvägar kan med hänsyn till ändamålet indelas i två kategorier: fiskvägar för uppströmsvandring respektive nedströmsvandring. Från konstruktions- och nyttjandesynpunkt kan man dessutom urskilja åtta huvudtyper (modifierat efter Clay 1961; Lonnebjerg 1980; Bell 1986; Anon. 1990; Katopodis 1990, 1992):

Fiskvägar för uppströmsvandring:

- 1 fiskvägar av bassängtyp (bassängtrappor/kammartrappor)
- 2 fiskvägar av motströmstyp (denilrännor)
- 3 fiskvägar med vertikala slitsar (slitsrännor)
- 4 kulvertar
- 5 kanaler (naturrännor)
- 6 fiskvägar för uppvandrande fiskyngel
- 7 slussar och hissar

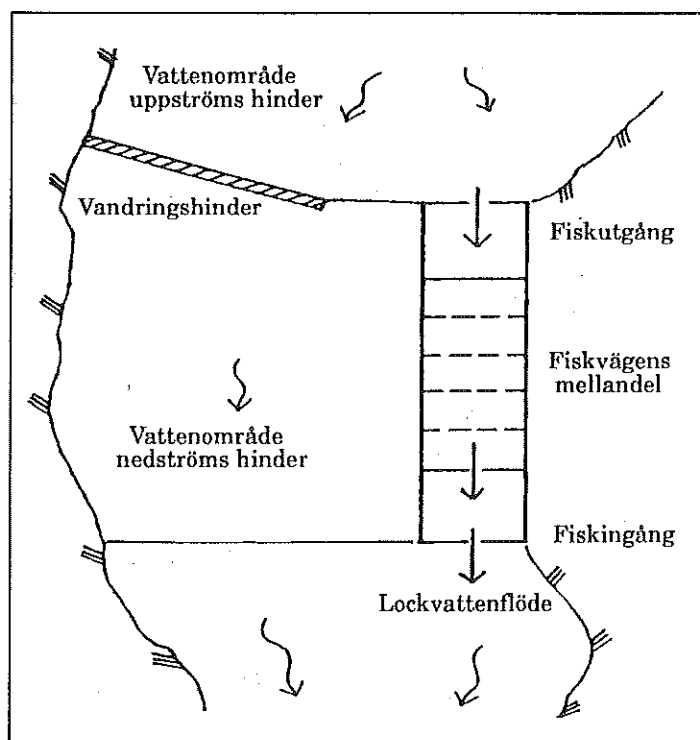
Fiskvägar för nedströmsvandring:

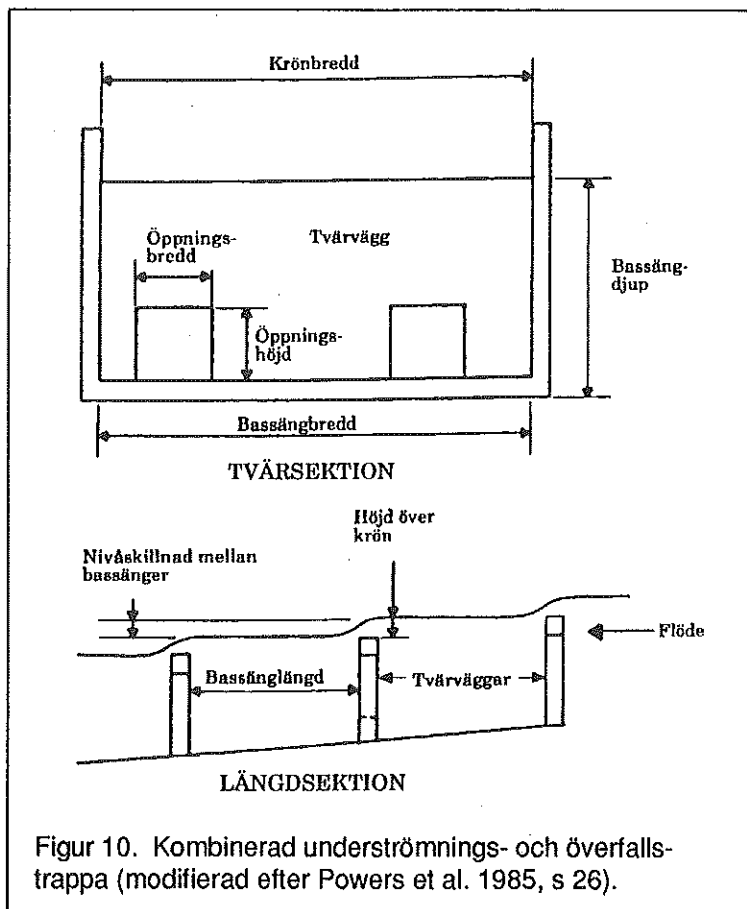
- (4) kulvertar
- (5) kanaler (naturrännor)
- 8 smoltrännor

Figur 9. Principskiss av en fiskväg ämnad för uppströmsvandring förbi ett vandringshinder. Mellandelen kan utgöras av vilken som helst av fiskvägstyperna 1-7. Påpekas bör dock att lockvatten ej förekommer i fiskvägar för uppvandrande ålyngel. (Modifierad efter Orsborn 1985, s. xiv.)

Flertalet fiskvägar som anlagts för uppströmsvandring kan även utnyttjas för nedströmsvandring. Ett sådant "dubbelt" nyttjande är emellertid mest uttalat för kulvertar och kanaler varför dessa placerats i båda kategorierna [det skall påpekas att vissa fiskslussar och hissar även konstruerats i syfte att underlätta nedströmsvandring av smolt; se bl a Powers et al. (1985)]. Vidare förekommer ibland kombinationer av olika fiskvägstyper, t ex mellan denilrännor och fiskvägar med vertikala slitsar (Rytkönen & Hepojoki 1990, Katopodis 1992, Laine 1993) eller smoltrännor i anslutning till andra typer av fiskvägar. Sådana kombinationer behandlas inte närmare i denna sammanställning.

Samtliga fiskvägar för uppströmsvandring består i princip av tre delar, en mynning (nedre öppning, fiskgång), ett vattenintag (övre öppning, fiskutgång) och en mellandel där fisken antingen av egen kraft (typ 1-6) eller genom "passiv förflyttning" (typ 7) tillåts passera förbi vandringshindret (Anon. 1990) (Figur 9).





- överfallstrappa ("the pool and weir-type") där allt vatten strömmar över tvärväggen (Clay 1961).
- underströmningstrappa ("the pool and orifice-type") där allt vatten strömmar genom en eller flera öppningar i tvärväggens nedkant (Clay 1961).
- kombinerad överfalls/underströmningstrappa ("the weir and orifice-type") där vattnet strömmar både över tvärväggen och genom öppningen/öppningarna i nedkanten (Clay 1990) (Figur 10).

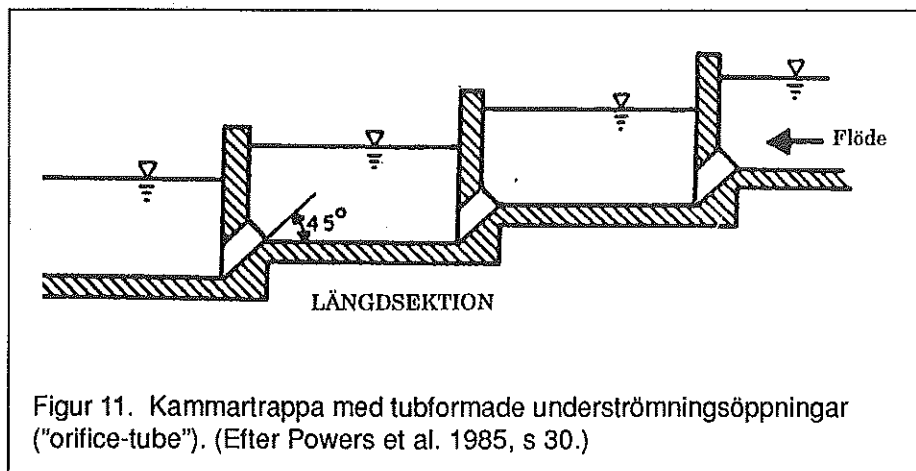
Dessutom förekommer ett flertal varianter av dessa tre grundtyper: t ex kammarrappor med tubformade underströmningsöppningar (Figur 11) eller trappor med tvärväggar där delar av krönet är försänkt (Clay 1961; Figur 12). Vad gäller formen på dessa försänkningar så har man med varierande resultat testat ett flertal olika typer, t ex semicirkulära, trapezoida, hexagonala, triangulära osv (Aaserude & Orsborn 1985; Figur 13).

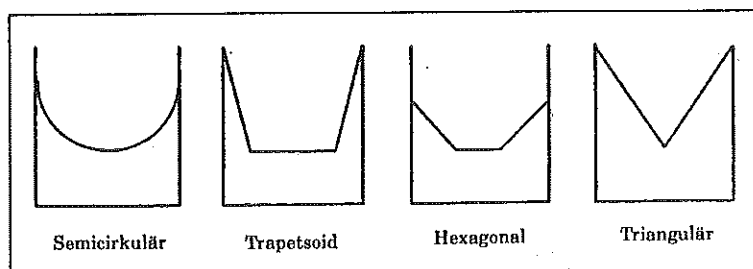
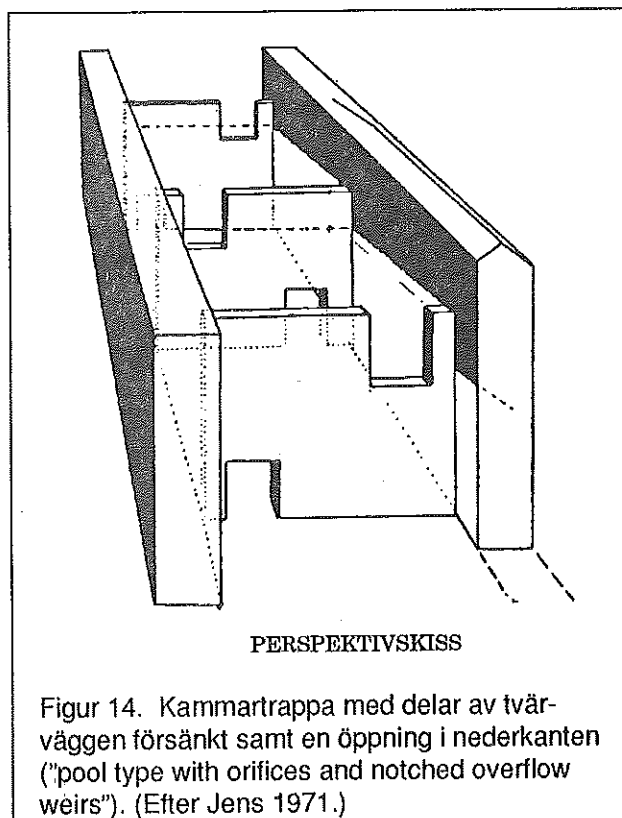
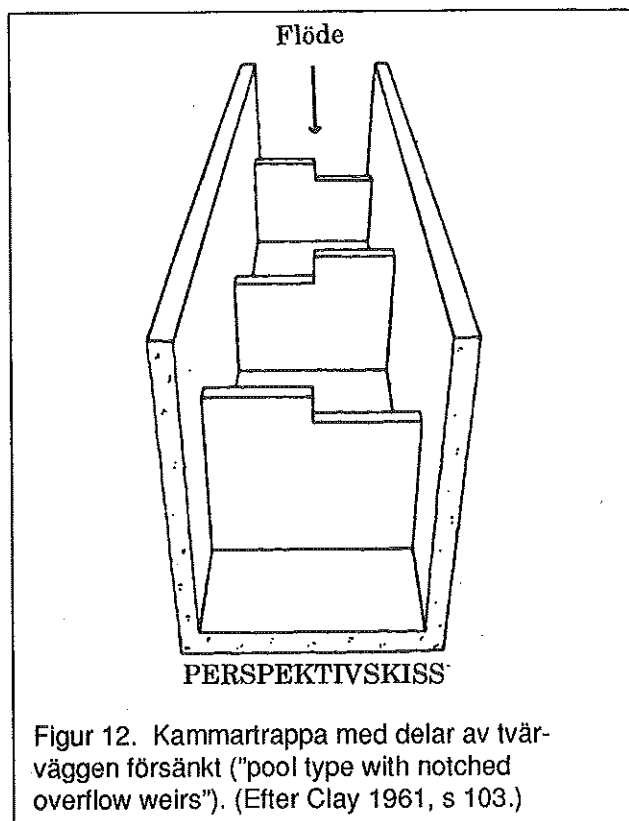
Man har också provat kammarrappor vars tvärväggar har både öppning i nedkanten och delar av krönet försänkt (Lonnebjerg 1980; Figur 14), kammarrappor med tvärväggar vars krön är justerbart och kammarrappor med rörliga tvärväggar (Clay 1990) osv. Ytterligare ett exempel ges i Avsnitt 6, Figur 46.

Det är i detta sammanhang värt att omnämna den speciella variant av överfallstrappa med försänkta tvärväggar och perfor-

4.1 Fiskvägar av bassängtyp

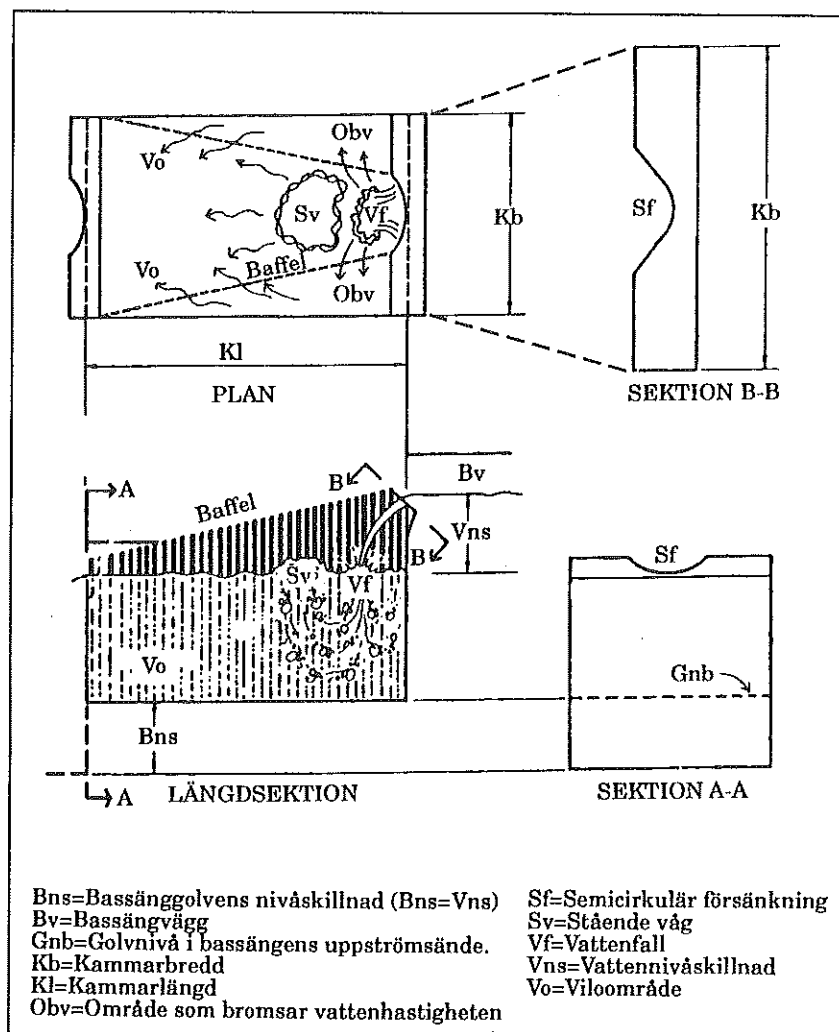
Fiskvägar av bassängtyp, ibland kallade kammarrappor (Lonnebjerg 1980) eller bassängtrappor (Anon. 1990), återfinns världen över i en mängd olika utföranden. Kammarrappor baseras på den ursprungligaste principen vad gäller utformning av fiskvägar (Bell 1986). De har troligen utvecklats ur en serie bassänger som högs eller grävdes ut i marken runt ett vandringshinder. Numera byggs de i allmänhet i betong eller trä med ett rektangulärt tvärsnitt där kamrarna är åtskilda av en tvärvägg (Clay 1961). Varje bassäng ligger lite högre än den omedelbart nedströms belägna bassängen. Beroende på hur vattnet strömmar från bassäng till bassäng, skiljer man mellan tre huvudgrupper:





rade strömdämpare (eng. "baffles") som under mitten av 1980-talet utvecklades i USA (Aaserude & Orsborn 1985; Orsborn 1987) (Figur 15). Tvärväggarna, vars övre del var ställda i 45° vinkel och riktade nedströms i förhållande till vertikallplanet, hade på krönet en semicirkulär försänkning som vidgades mot ytterkanterna. Enligt Orsborn (1985) bör försänkningens bredd ej överstiga 40% av bassängbredden. Genom strömdämparnas strategiska placering i varje bassäng kunde man dels minska både bassänglängd och vattenhastighet, dels leda fisken till den stående våg som bildades nedströms tvärväggarna (vad gäller stående våg se Figur 6). Det är viktigt att öppningar lämnas vid strömdämparnas bas så att fiskar som eventuellt hamnar innanför dessa åter kan ta sig ut. En annan fördel med denna utformning är att fiskvägen fungerar även vid höga flöden

(inom viss gräns) eftersom "överskottsvatten" faller bakom dämparna. Aaserude & Orsborn (1985) utförde en mängd försök med denna fiskvägstyp. De fann bl a att strömdämparna fördubblade passagen av silverlax genom fiskvägen från 28% till 60%, trots att nivåskillnaden mellan bassängerna var så stor som 70 cm. För övrigt fann man vid dessa försök att det från energisynpunkt är fördelaktigare för fisken att hoppa än att simma om nivåskillnaden överstiger 70 cm (Powers et al. 1985). Enligt Orsborn (pers medd) finns överfallstrappan (Figur 15) på åtminstone en plats i Nordamerika. Den har i stort sett infriat förväntningarna, men visat sig vara känslig för nedfallande grenar o dyl som radikalt påverkar flödesbilden i trappan. Den har numera kompletterats med någon slags skyddsbarriär för nedströmstransporterat flytande bråte (op cit).



Figur 15. Överfallstrappa ("weir-baffle-pool fishway") med semicirkulär försänkning i tvärväggarna och vertikalt slitsade strömdämpare för att minska vattnets rörelseenergi (modifierad efter Orsborn 1985, s 14).

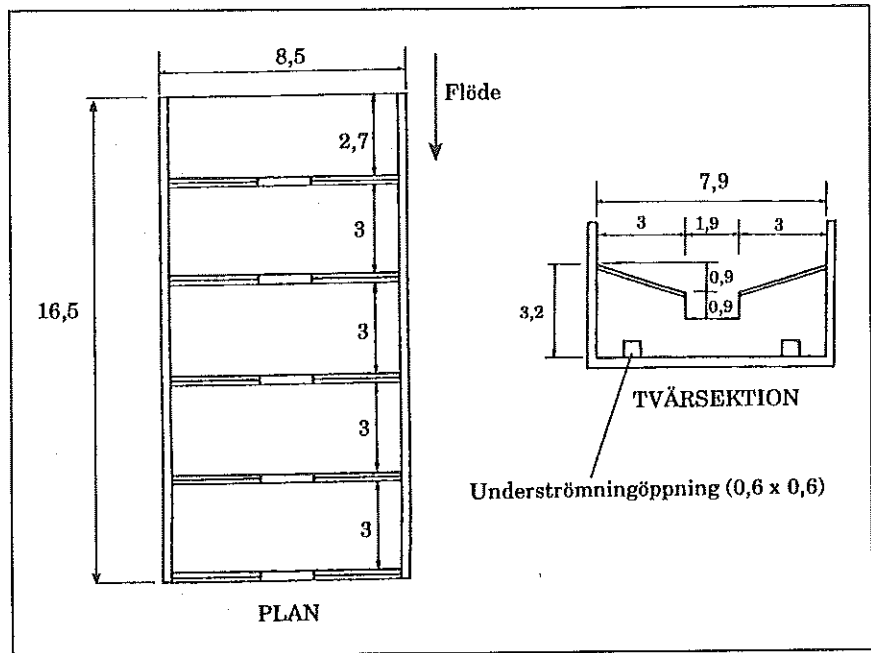
ling av ris och skräp, lågt vattenflöde (ungefär en tredjedel av flödet i en fiskväg med vertikala slitsar) och låg kostnad (Orsborn 1987). Även Bates (1990) redogör för "the pool and chute fishway". Han menar att denna fiskvägstyp bäst lämpar sig vid mindre vandringshinder, med fallhöjder på mindre än 1,5 m, och att den är framtagen för att klara förhållandevis stora flödesvariationer. Bates (1990) omnämner två fiskvägar av denna typ där lutningen var omkring 10%. Den största hittills, byggdes 1988 i USA vid Town Dam i Yakima River

Powers & Orsborn (1985) och Orsborn (1987) redogör dessutom för småskaliga modellförsök från slutet av 1980-talet med små grunda strömdämpare (3,8 x 3,8 cm) placerade i en 0,4 m bred ränna (s k bassäng-ränna, "pool and chute fishway"). Dämparna sattes med 15 cm mellanrum i en ränna med lutningen 25% som tidigare ej kunnat forceras av de laxfiskar som användes vid försöken. När strömdämparna kommit på plats simmade 100% av fiskarna igenom den 2,4 m långa rännan. Orsborn (1987) menar att försöken tyder på att man kan konstruera "fiskrännor" utan de komplicerade strukturer som bl a förekommer i olika typer av denilrännor inklusive alaska-modellen (se t ex Figur 19 och 20). Fördelarna med denna mycket enkla konstruktion är att mängden luftbubblor och vattenturbulens reduceras, lockvattenströmmen blir effektivare, fisken kan simma genom hela fiskvägen, mindre risk för ansam-

(Figur 16). En av fördelarna är att tvärväggarnas krön är svagt V-formade med en rektangulär försänkning i mitten. Vid låga flöden möjliggörs fiskpassage i de centralt belägna delarna, medan det vid höga flöden bildas ett vågformigt flödesmönster i centrum och ett mera "vandringsvänligt" dykande flöde längs kanterna (op cit) (vågformigt och dykande flöden beskrivs nedan i detta avsnitt).

Trots att framför allt laxfiskar under naturliga och gynnsamma omständigheter kan hoppa mycket högt, är de hydrauliska förhållandena i allmänhet helt annorlunda i en bassängtrappa än i ett vattendrag. Flera fiskeribiologer har hävdade att nivåskillnaden mellan bassängerna inte bör överstiga 30 cm om fiskvägen skall nyttjas av lax och öring (såväl nordamerikanska som europeiska arter avses) (Gauley & Thompson 1963; Everhart et al. 1975; White & Pennino 1980; Everhart & Youngs 1981; Bell 1984, 1986;

Figur 16. "The pool and chute fishway" vid Town Dam i Yakimafloeden i USA. När vattenföringen i floden är 113 m³/s avbördas enligt Bates (1990) ca 10 m³/s genom fiskvägen. År 1989 passerade 1 660 kungslaxar. Längdmått i meter. (Efter Bates 1990, s 339.)

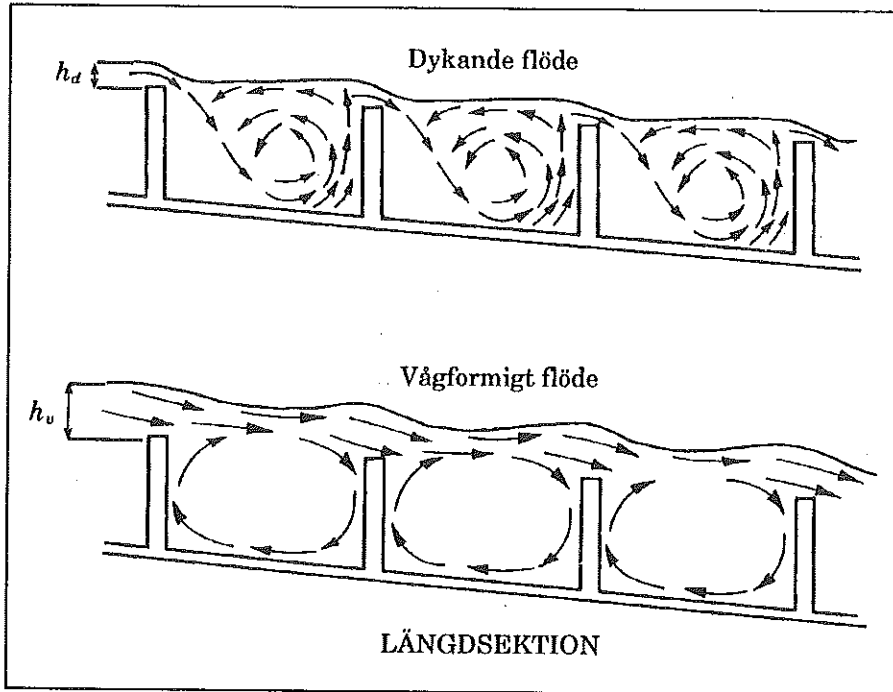


Katpodis 1992). Enligt Larinier (1990) varierar nivåskillnaden mellan poolerna i franska bassängtrappor från 15 till 60 cm beroende på vilka fiskarter de är byggda för: 30-60 cm för atlantlax, 30-45 cm för bäckröding, 20-30 cm för majfisk och 15-30 cm för övriga arter. Larinier påpekar dock att den önskvärda nivåskillnaden för atlantlax och bäckröding bör vara 30-40 cm respektive 30 cm. Laine (1990a) uppger höjden 20 cm för sik och siklöja medan Katopodis (1992) omnämner att denna tröskelhöjd brukar användas för vuxna individer av sötvattensfiskar överlag. Hooli (1988) anger som tumregel att fallhöjden bör vara ungefär hälften av fiskens längd (omnämns i en uppsats som behandlar fiskvägar med vertikala slitsar men påståendet gäller sannolikt även för bassängtrappor). Aaserude och Orsborns resultat från fiskvägar med strömdämpare är därför mycket anmärkningsvärda. Orsborn (1987) menar att fiskens kapacitet att forcera fiskvägar av hävd har underskattats och att valet av lämpliga nivåskillnader mellan överfallsbassängerna ursprungligen baserats på ett slumpmässigt val av tröskelhöjder av vilka en del tycktes fungera och andra inte. Dessutom har kanske en viss säkerhetsmarginal vägts in i syfte att möjliggöra även passage för svagare individer för bibehållande av genpoolens variation (op cit). Även försöken med den "oändligt långa" fiskvägen som beskrivs i Avsnitt 5.3.4, indikerar

att fiskars sim- och hoppförmåga i många fall har underskattats.

Larinier (1990) poängterar vikten av att bassängernas volym anpassas till såväl flöde som aktuella fiskarter. Han anger minimilängden 2,5 m och ett minsta djup av 1,2 m om fiskvägen skall nyttjas av vuxen atlantlax. Likaså påtalar Larinier att poolängden kan variera från 1,2 m i mindre bassängtrappor med flöden runt 0,1 m³/s ämnade för liten öring, till mer än 4,5 m i större fiskvägar utformade för flöden omkring 1 m³/s. Också Stuart (1962) omnämner vikten av tillräckligt vattendjup. Vid hans försök med den stående vågen (Avsnitt 2.2) framkom att fisken ansamlades i vågens omedelbara närhet och att när de väl hoppade från densamma, skedde detta utan nämnvärd ansats. Stuart menar att ett tillräckligt djup nedom ett fall eller i en bassäng i första hand är till för att skapa en stående våg och inte för att ge fisken vertikalt hopptrymme.

I kammarrappor av överfallstyp erhålles – beroende på vattendjupet över trösklarnas krön vid ett visst givet avstånd mellan tvärväggarna samt en viss bredd och lutning på trappan – antingen ett dykande eller ett vågformigt flödesmönster (Clay 1961; Anon. 1990; Katopodis 1992) (Figur 17). Båda flödestyperna kan således även uppträda i en bassängtrappa med underströmningöppningar (Katopodis 1992). Flödesmönstret är av mycket

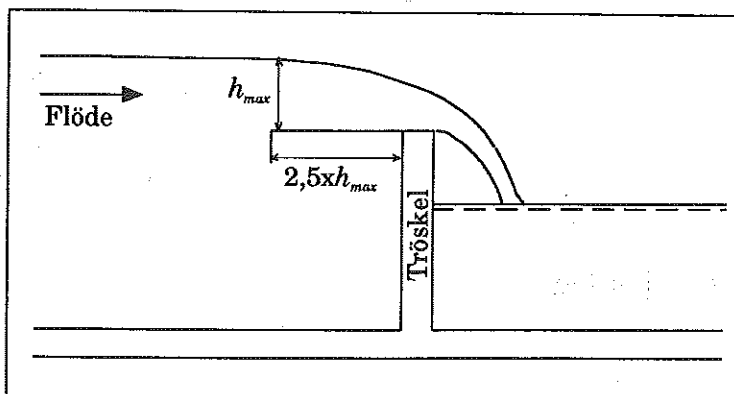


Figur 17. Dykande eller vågformigt flöde i kammartrappor av överfallstyp beroende på vattendjupet (h) över tröskelkrönet. Observera hur h_d drastiskt minskar omedelbart nedströms tröskeln vid ett dykande flödesmönster, medan h_v i det vågformiga flödesmönstret är i det närmaste oförändrad och liksom "flyter ovanpå". Notera dessutom att h inte mäts precis lodrätt över tröskeln utan en viss sträcka uppströms (se Figur 18). (Ur Clay 1961, s 116, ursprungligen efter Pretious et al. 1957.)

central betydelse vid dimensionering av kammartrappor. Vid vågformigt flöde erhålls ett ytskikt som endast i ringa grad blandas med det cirkulerande vattnet i bassängen, medan ett dykande flöde ger en energidämpning genom turbulent omblandning och diffusion. Likaså varierar formeln för avbördning och vattenhastighet med flödestypen. Vid dykande flöde återfinns den högsta strömhastigheten precis invid tröskelns överkant men hastigheten avtar till ungefär hälften uppe vid vattenytan. Vid projektering av kammartrappor eftersträvar man ett flödesmönster av denna sistnämnda typ då det ger en gynnsammare strömning i bassängerna (op cit). Jämför diskussionen om den stående vågen i Avsnitt 2.2. Med tanke på fiskpassage är det emellertid bättre med antingen ett dykande eller ett våg-

formigt flöde än en instabil situation där flödesmönstret ideligen växlar mellan de båda typerna (Clay 1961).

I princip följer ett dykande flödesmönster avbördningen genom ett ytutskov med skarpkantat överfall. En betydande del av den dimensioneringsforskning som utförts på kammartrappor följer denna hydrauliska grundformel. Generellt har man funnit att ett stabilt dykande flöde erhålls när vattendjupet (h_{max} ; se Figur 18) över tröskeln i en kammartrappa understiger 30 cm, medan ett stabilt vågformigt flöde bildas när vattendjupet över tröskeln är större än 35 cm (Clay 1961). Katopodis (1990; 1992) har överskådligt sammanställt de hydrauliska ekvationer som man genom empiriska studier fastställt för några olika typer av kammartrappor. För övrigt hänvisas till i texten angivna referenser.



Figur 18. Hydrauliken i en kammartrappa liknar i vissa fall flödesmönstret över en tröskel eller ett skarpkantat överfall med luftad stråle (gäller framför allt kammartrappor med ett dykande flödesmönster). Figuren visar var det största vattendjupet (h_{max}) över tröskeln bör mätas vid dimensionering av kammartrappor (efter Clay 1961, s 286). Det skall påpekas att Forsman (1961) och Lonnebjerg (1987) anger att h_{max} bör mätas ($4 \times h_{max}$) respektive ($3 \times h_{max}$) uppströms tröskeln.

Kammartrappor byggs ofta helt i betong, men vid mindre konstruktioner kan tvärväggarna göras av trä (Lonnebjerg 1980). Lutningen är vanligen omkring 10% (Lonnebjerg 1980; Larinier 1990; Katopodis 1992); i vissa fall förekommer dock lutningar upp emot 25-30% (Larinier 1990; Johlander & Sjöstrand 1993).

En nackdel med kammartrappor av främst överfallstyp är deras känslighet för förändringar i vattenföring (Clay 1961). Även en relativt liten flödesförändring kan medföra en kraftig försämring av funktionen genom översvämning eller torrläggning av trappan. Flera av de varianter som nämnts ovan är utvecklade för att stävja sådana funktionsstörningar (Bell 1986). Fiskvägar av bassängtyp byggs därför företrädesvis vid konstgjorda vandringshinder (t ex dammar) där man genom reglering kan hålla vattennivåns fluktuationer inom givna gränser (op cit). I en del fall kan det vara befogat att ha upplysta eller kontrasterande öppningar i underströmnings-trappor för attrahera fisken (op cit) (se även Avsnitt 5.3.5).

Antalet kammartrappor i Sverige är inte känt, men de torde vara den vanligaste typen av fiskväg. Av totalt cirka 400 byggda fiskvä-

gar i Norge utgörs ca 2/3 av bassängtrappor (Berg & Myhre 1990). I Danmark finns ett flertal kammartrappor av främst överfallstyp, varav en del är byggda helt i betong medan andra består av inmurad natursten (Lonnebjerg 1990). I Frankrike har man under 1980-talet byggt mer än 150 bassängtrappor (Larinier 1990). Flertalet är försedda med djupa (ca halva tvärväggens höjd) och växelvis placerade försänkningar vid tvärväggarnas ena kant samt likaledes växelvis placerade underströmningsöppningar (se princip i Figur 14).

Genom de danska överfallstrapporna passerar lax, öring och mört, medan bassängtrapporna med underströmningsöppningar även visat sig lämpliga för harr, abborre och (sällan) gädda (Lonnebjerg 1990). Enligt Larinier (1990) fungerar bassängtrapporna i Frankrike för de flesta i vattendragen förekommande fiskarter förutom gös. Katopodis (1992) hävdar att kammartrappor visat sig vara lämpliga för anadroma laxfiskar överlag, men mindre lämpade för fiskar som inte gärna simmar genom undervattensöppningar eller hoppar.

I Tabell 2 återges några litteraturuppgifter rörande lutning, flöden och passerande fiskarter i fiskvägar av bassängtyp.

Tabell 2. Några litteraturuppgifter rörande lutning, flöden och passerande fiskarter i fiskvägar av bassängtyp (kammartrappor).

Lutning (%)	Flöden (m ³ /s)	Passerande Fiskarter	Anmärkning	Referens
<10			Rekommendation	Lonnebjerg (1980)
8-14	0,4-0,5		Avser trappor i Norge	Anon. (1990)
	0,35-1		Avser trappor i Norge	Grande (1990)
7-25 (10-12)	0,1-5	De flesta fiskarter utom gös	Vanligen är lutningen 10-12%. Avser trappor i Frankrike	Larinier (1990)
	0,1-0,8	Lax, öring, harr, mört, abborre (sällan gädda)	Avser "pool-and-orifice" trappor i Danmark	Lonnebjerg (1990)
	0,1-0,8	Lax, öring, mört	Avser "pool-and-weir" trappor i Danmark	Lonnebjerg (1990)
10			Vanligt förekommande lutning	Katopodis (1992)
10-30			Avser 53 trappor i sydvästra Sverige	Johlander & Sjöstrand (1993)

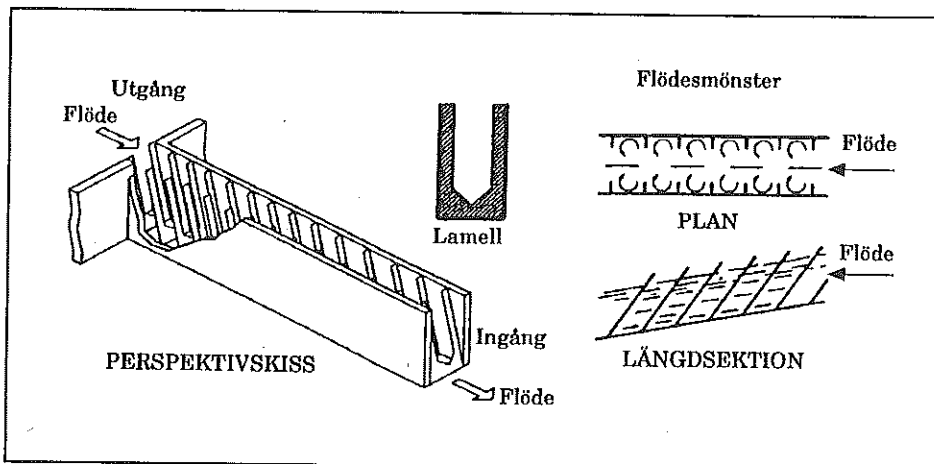
4.2 Fiskvägar av motströmstyp

Denilrännor, även kallade motströmstrappor, har fått sitt namn efter belgaren Denil som konstruerade den första rännan år 1908 (se Avsnitt 6, Figur 44). Denil införde med sin ränna ett nytänkande vad gäller fiskvägars hydraulik. Huvudsyftet med utvecklandet av denilrännan var att skapa en fiskväg som kunde klara relativt stora fluktuationer i vattenföringen (Clay 1961).

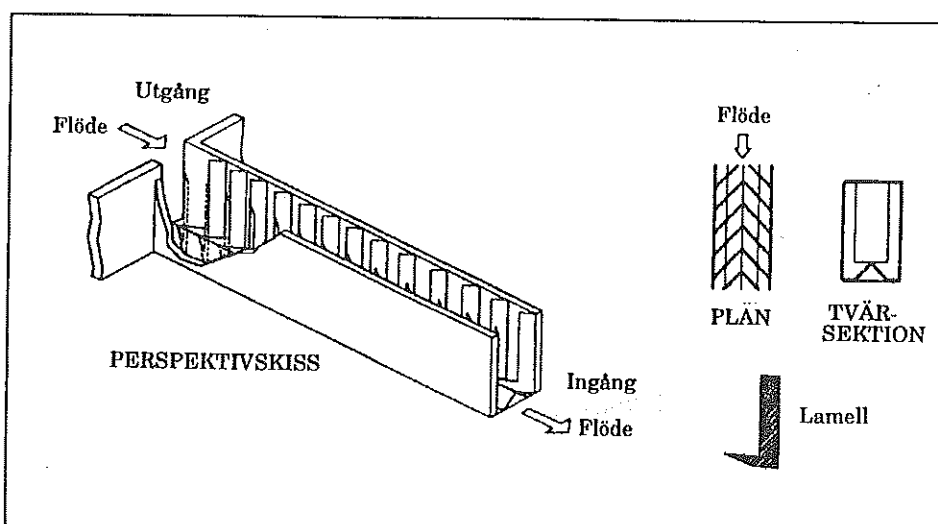
Principen för denilrännors funktion är att fisken hela tiden tillåts simma längs botten i en förhållandevis smal ränna utan att behöva hoppa. Vattenhastigheten nedbringas genom lameller som placerats i rännan. Vid genomströmningen leds vattnet in i de många sekundära kanaler som bildas av lamellerna och tvingas ut igen i en riktning som är mer eller mindre motsatt huvudströmmens riktning. Sedan den första denilrännan byggdes har ett flertal olika typer testats. Vad som

skiljer dem åt är främst lamellernas utseende samt deras vinkel mot rännans väggar och botten. De vanligaste typerna är modellen med enplanslameller ("simple Denil"; Figur 19) och alaska-modellen ("the Alaska Steep-pass"; Figur 20) (Rajaratnam & Katopodis 1984). Notera skillnaden mellan de två modellerna vad gäller lamellernas form och vinkling mot rännans väggar och botten.

Denil konstruerade de första rännorna med mycket stark lutning (upp till 66%). Idag byggs emellertid de flesta denilrännor med en lutning ej överstigande 25%. Gemensamt för alla konstruktioner är att rännorna kan utformas med större lutning än kammarrappor samt att de i allmänhet genererar en mer koncentrerad lockvattenström (se Avsnitt 5.3.3) än flertalet andra fiskvägstyper (Katopodis 1992). I gengäld kräver en denilränna – ofta beroende på den kraftiga lutningen – förhållandevis mycket vatten för att fungera tillfredsställande (Clay 1961; Lonnebjerger



Figur 19. Den vanligaste typen av denilränna med s k enplanslameller. Lamellerna sitter tvärs strömriktningen med rät vinkel mot rännans långsvägar samt vanligen med vinkeln 45° mot rännans botten (efter Katopodis 1992, s 4).



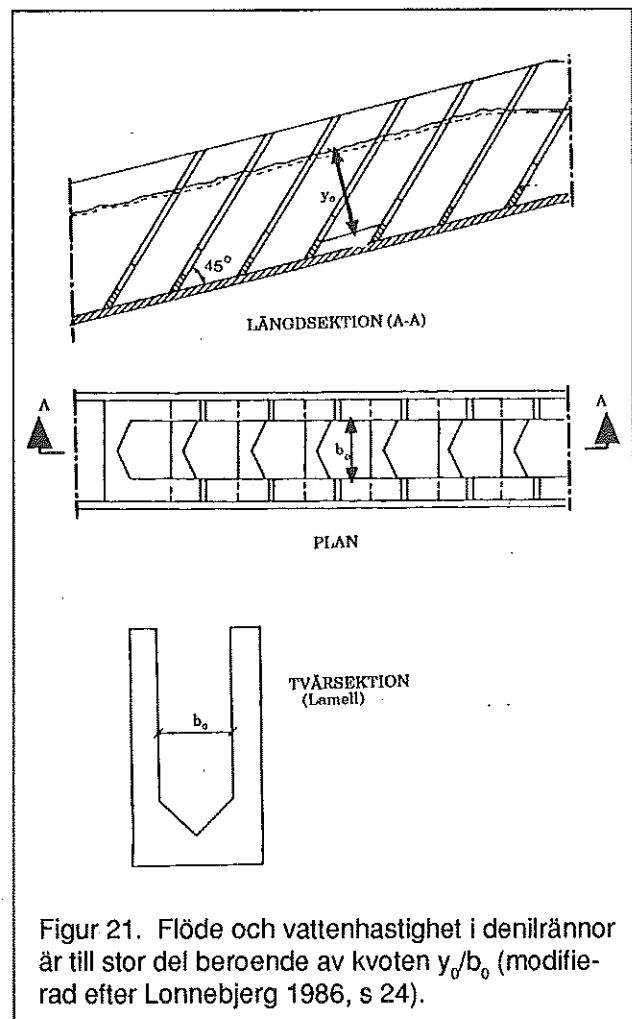
Figur 20. Denilränna av s k alaska-modell. Lägga märke till lamellernas utformning och hur de är vinklade ut från rännans långsvägar mot strömriktningen. Flera varianter av alaska-modellen har testats – bl a med avseende på lamellernas vinkel mot rännans botten – men den ovan avbildade med lamellvinkeln 90° mot rännans botten lär vara den vanligast förekommande (s k modell A). (Efter Katopodis 1992, s 4.)

1980; Grande 1990; Katopodis 1992). En nackdel med denlrännor är den turbulens som ibland uppkommer mellan lamellerna. Turbulensen kan medföra att luftfyllda "tromber" bildas som i sin tur förorsakar problem för uppvandrande fisk (Furuskog 1945; Rajaratnam & Katopodis 1984). För att minska dessa effekter har försök gjorts med långsgående lister på sidoväggarna vilket förhindrar nedtransport av luft (Furuskog 1945). Dessutom är denlrännor ganska känsliga för flytande bråte som kan medfölja vattenströmmen. Grenar och annat skräp kan drastiskt ändra strömbilden i rännan till förfång för uppvandrande fisk. Denlrännor kräver därför relativt mycket tillsyn (Bell 1986). Vid byggande av denlrännor bör man också tänka på att vattendjupet nedströms rännans ingång helst inte skall överstiga vattendjupet i själva rännan eftersom det då bildas en bakström som avsevärt reducerar vattenhastigheten i mynningen (Rajaratnam & Katopodis 1984). Denna virvelbildning är mest markant vid höga flöden men i rännor med kraftig lutning kan den även uppkomma vid relativt små flöden. Följden kan bli minskad anlockning av framför allt djupt simmande fiskar. För att undvika kritiska vattenhastigheter i de längst uppströmsliggande delarna är det viktigt att lamellerna byggs ända upp till fiskutgången.

Dimensionering av denlrännor följer i stort de hydrauliska principer som gäller för strömning i öppna kanaler. Utvecklingen som lett fram till de rännor och lamellkonstruktioner som idag tillämpas bygger till stor del på empiriska data som framkommit vid olika modellförsök. Formler för beräkning av flöde och vattenhastig genom denlrännor har bl a beskrivits av Larinier (1978), Lonnebjerg (1980), Rajaratnam & Katopodis (1984), Rajaratnam et al. (1987a), Katopodis (1990, 1992) m fl. Hydrauliken är komplex, men några förenklade riktlinjer kan skönjas.

Rajaratnam & Katopodis (1984) och Rajaratnam et al. (1987a) har experimentellt studerat en denlränna med enplanslameller i syfte att utforma generella dimensioneringsregler för denna typ. Vid försöken konstaterades bl a att såväl flöde som vattenhastighet till stor del är beroende av kvoten mellan vattendjupet över lamelltröskeln (y_0) och fria

bredden (b_0) mellan lamellerna, det vill säga y_0/b_0 (Figur 21). Ju större y_0/b_0 -kvot, desto större flöde och högre vattenhastighet. Vid låga flöden, när $y_0/b_0 \leq 1$, bildas ett "skikt" med relativt låg och konstant hastighet som sträcker sig upp till en viss vattennivå i rännan. Vid $y_0/b_0 > 3$ försvinner detta låghastighets-skikt och istället sker en kontinuerlig hastighetsökning uppåt mot vattenytan med ibland oerhörda hastigheter närmast ytan. Eftersom vattenhastigheten i en denlränna med enplanslameller och en viss given lutning ökar med ökat vattendjup (y_0) har man försökt förbättra funktionen i rännor med hög y_0/b_0 -kvot (>3) genom att dela upp rännan i en övre och nedre sektion (s k "two-level Denil fishway"). Vad som i praktiken gjorts i dessa fall är att ytterligare en botten har byggts på lämplig höjd över den ursprungliga botten (Rajaratnam et al. 1987a; Katopodis 1990, 1992). Vid låga flöden rinner vattnet enbart i den undre rännan. Vid höga flöden



rinner däremot vattnet i båda rännorna varvid den övre fungerar som fiskväg och den undre enbart som en kanal för transport av vatten (Katopodis 1990).

I rännor av alaska-modell minskar generellt vattenhastigheten från botten mot ytan när y_0/b_0 är mindre än 1,2 ($y_0/b_0 < 1,2$). För högre värden på y_0/b_0 erhålles däremot en symmetrisk hastighetsfördelning med maximal hastighet vid halva djupet ($0.5y_0$) (Katopodis 1990, 1992).

Katopodis (1990, 1992) redovisar de hydrauliska ekvationer som man genom empiriska studier har erhållit för fiskvägar av motströmstyp.

De flesta denilrännor har hittills utförts som träkonstruktioner eller en kombination av trä och betong, men även aluminium förekommer som byggnadsmaterial. Det första exemplaret av alaska-modellen byggdes i aluminium eftersom det otillgängliga läget krävde ett lätt byggnadsmaterial. Om fiskvägen delvis måste grävas ned i marken är vattentät betong att föredra (Lonnebjerg 1980). På senare tid har även prefabricerade konstruktioner i glasfiberarmerad plast börjat tillverkas.

Förutom för laxfiskar har denilrännor, beroende på lutning, visat sig fungera för en rad andra fiskarter med betydligt sämre simförmåga. I rännan vid Tange i Gudenå i Danmark har man observerat passage av inte mindre än 11 fiskarter, bl a ett stort antal mört och abborre (Lonnebjerg 1990). Enligt Katopodis (1992) brukar denilrännor byggas med lutningen 15-25% om de är avsedda för vuxna laxfiskar och med lutningen 10-15% om de skall nyttjas av andra adulta sötvattensfiskar. Vid jämförande studier av två denilrännor (lutning 10% och 20%) och en fiskväg med vertikala slitsar i Lesser Slave River befanns cirka nio icke laxartade fiskarter använda fiskvägarna (Schwalme et al. 1985). Gädda passerade i ett signifikant större antal i denilrännorna medan två arter sugkarpar passerade i ett större antal i fiskvägen med vertikala slitsar. Noteras bör att amerikansk gös inte utnyttjade någon av fiskvägarna trots att de aktivt rörde sig i floden (Schwalme et al. 1985). Vid försöken varierade vattenhastigheten i denilrännorna inom intervallen 0,52-0,80 (10% lutning) och 0,75-1,13

m/s (20% lutning). Vilobassänger bör anläggas med 10-15 m mellanrum (för vuxen laxfisk) alternativt med 5-10 m mellanrum för andra vuxna sötvattensarter (Katopodis 1992).

I en annan amerikansk undersökning rapporterar Slatick & Basham (1985) om observationer av uppvandrande fisk i ett antal denilrännor i Alaska under åren 1971-79. Rännornas längd och lutning varierade mellan 7,9-20,1 m respektive 23,3-28,7%. Flödet genom rännorna var i genomsnitt 0,16 m³/s. I studien undersöktes, "amerikansk alosa-sill", "mejselmunnad karpfisk", "oregonstäm", karp, stillahavsnejonöga, sugkarpar och ett flertal nordamerikanska laxfiskar. Det visade sig att samtliga laxfiskarter samt stillahavsnejonöga lätt passerade alla de undersökta fiskvägarna. Vidare tog sig samtliga arter igenom rännor av längden 7,9 m oavsett lutning, men när längden översteg 15,2 m kunde ej karp passera. Dessutom förmådde ej "amerikansk alosa-sill" eller stationära sötvattensfiskar ta sig igenom denilrännor av längden 20,1 m och lutningen 27,3%. Enligt Slatick & Basham tyder resultaten på att denilrännor med speciellt utvalda längder kan utnyttjas i syfte att förhindra vissa "oönskade" icke laxfiskar att vandra uppströms till förmån för laxfiskar och stillahavsnejonöga. Även Larinier (1990) hävdar att denilrännor är relativt artselektiva vad beträffar uppvandring och att de "egentligen endast anpassats för arter i rinnande vatten som är i besittning av ansenlig kapacitet vad gäller simhastighet och uthållighet." Han uppger vidare att de inte är utformade med tanke på liten fisk (25-30 cm) och inte heller för arter som gädda och gös. Rajaratnam & Katopodis (1984) anser däremot att närvaron av det "låghastighets-skikt" som omnämndes ovan kan förklara varför såväl små fiskar som fiskar med sämre simförmåga har setts passera genom denilrännor. Och enligt Linløkken (1989) har man observerat öringar som var mindre än 20 cm långa passera en denilränna som såg både "stri och vanskelig ut".

Sammantaget visar dessa studier att en viss fiskvägstyp inte kan fungera optimalt för alla fiskarter samt att denilrännor av olika längder kan användas i syfte att förhindra vissa fiskarter att passera till förmån för

laxfiskar (Schwalme et al. 1985; Slatick & Basham 1985). En kombination av olika typer är förmodligen att föredra om flera arter skall kunna passera (Schwalme et al. 1985).

I Norden har fiskvägar av deniltyp byggts både i Sverige, Norge, Danmark och Finland. I Sverige är de dock inte så vanliga. En denilrännan vid Hertings kraftstation i Åtran har emellertid varit i drift och fungerat tillfredsställande i över 40 år. Den är byggd i betong med enplanslameller av trä, har en fallhöjd på 5 m och lutningen 16,7% (Furuskog 1945). Rännan är anlagd i rät vinkel mot dammen

och U-formad. En vilobassäng finns dels i själva kröken, dels på vardera längdsektionen (op cit). I utloppet har en elektronisk fiskräknare installerats. Enligt uppgift från fiskeenheten i Hallands län passerade under augusti-november 1992 i runda tal 1 500 fiskar. Denilrännan vid Herting nyttjas företrädesvis av lax (Sjöstrand pers medd).

I Norge har man inte heller byggt så många denilrännor. Av 400 inventerade fiskvägar är endast sex denilrännor (Anon. 1990). Vid Hunderfossen i Gudbrandsdalslågen har man konstruerat en kombinerad denilrännan

Tabell 3. Några litteraturuppgifter rörande lutning, flöden och passerande fiskarter i fiskvägar av motströmstyp (denilrännor).

Lutning (%)	Flöden (m ³ /s)	Passerande Fiskarter	Anmärkning	Referens
10		9 arter främst gädda och sugkarpar (ej amer. gös)	Lesser Slave River weir. 170 st fiskar passerade (se nedan)	Schwalme et al. (1985)
20		9 arter främst gädda och lake (ej amer. gös)	Lesser Slave River weir. 146 st fiskar passerade (se ovan)	Schwalme et al. (1985)
	1-1,5		Avser denilrännor i Norge	Grande (1990)
15-20		Passageproblem för gös, gädda och mindre fisk	Avser denilrännor i Frankrike	Larinier (1990)
16-25	0,05-0,3	Bl a lax, öring, harr, regnbåge, abborre, braxen, sutare (ej gös)	Avser denilrännor i Danmark	Lonnebjerg (1990)
10-15		Adult sötvattensfisk	Vanligt förekommande lutning	Katopodis (1992)
15-25		Adult laxfisk	Vanligt förekommande lutning	Katopodis (1992)
10	0,2-0,5*	8st ej laxartade fiskarter	Freeport westbank. 82% nyttjade denna fiskväg (se nedan)	Katopodis (1992)
20	0,3-0,6*	8 st ej laxartade fiskarter	Freeport eastbank. 18% nyttjade denna fiskväg (se ovan)	Katopodis (1992)
10-12,6	0,45-1*	4 st ej laxartade fiskarter	Avser en denilrännan	Katopodis (1992)
12,7	0,1-0,6*	13 st ej laxartade fiskarter	Avser en denilrännan	Katopodis (1992)
10-20			Avser tre denilrännor i sydvästra Sverige	Johlander & Sjöstrand (1993)

*Uppmättes under en tidsperiod på två månader

och kammarrappa (den nedre delen är kammarrappa). Fallhöjden är totalt 18 m och lutningen 12,5%. Själva denilrännan har en fallhöjd på 6 m (Grande pers medd).

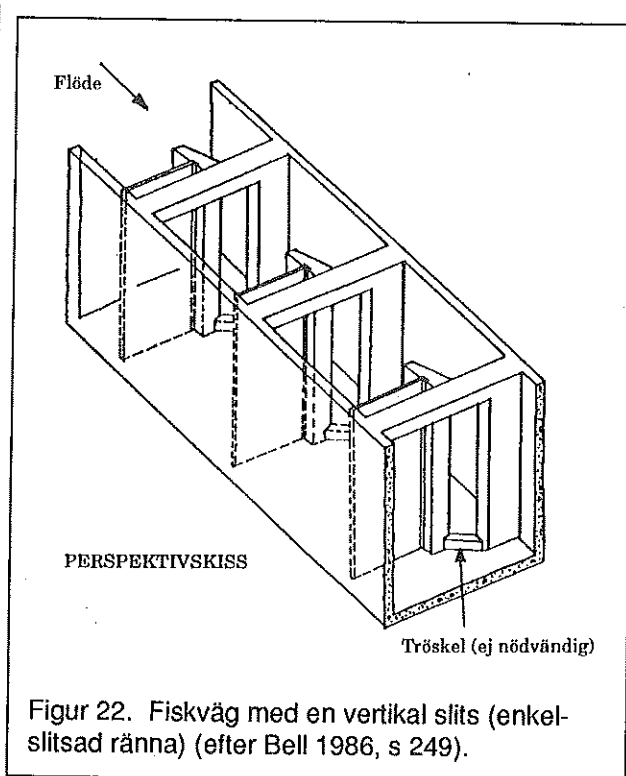
I Danmark har ett 100-tal rännor byggts sedan 1975, de flesta i anslutning till fiskodlingar. Förutom denilrännor med enplanslameller och alaska-modellen har man i Danmark använt en konstruktion utan bottenlameller, dvs med ganska små lameller placerade på båda sidoväggarna (Lonnebjerg 1990). Denna typ har bl a testats vid Tange i Gudenaå. På grund av ogynnsam placering och otillräcklig vattenföring i förhållande till huvudströmmen är dock funktionen otillfredsställande med avseende på laxfisk. Vid en funktionskontroll passerade endast 23 havsöringar och 61 ej havsvandrande öringar, men däremot 6 713 mörtar och 2 260 abborrar. Felaktig mynningsplacering tros vara orsaken till den låga uppvandringen av öring (op cit). Flertalet rännor i Danmark har konstruerats för vattenföringar i storleksordningen 100-200 l/s, ett fåtal för 150-300 l/s och fyra-fem stycken för extremt låga flöden omkring 50 l/s (op cit). Lonnebjerg skriver inget om funktionen hos dessa sistnämnda denilrännor med mycket låga flöden. Sannolikt är de byggda vid mycket små hinder och med flack lutning.

I Frankrike har man under det senaste decenniet byggt mer än 150 denilrännor, huvudsakligen ämnade för lax och havsöring (Larimier 1990).

I Tabell 3 återges några litteraturuppgifter rörande lutning, flöden och passerande fiskarter i fiskvägar av motströmstyp.

4.3 Fiskvägar med vertikala slitsar

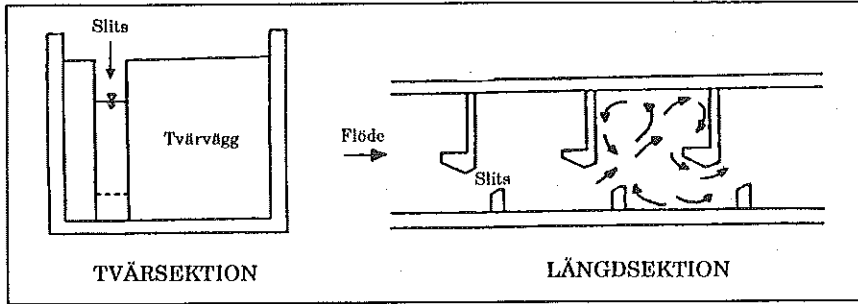
Fiskvägar med vertikala slitsar, dvs slitsrännor (Figur 22), är en vidareutveckling av bassängtyperna eller kanske snarare en kombination av dessa och denilrännan (Clay 1961). Liksom denilrännor har slitsrännor en vidtolerans för förändringar i vattenföringen (Clay 1961; Orsborn 1987). De är till sin utformning avsevärt mera komplicerade än kammarrappor, men i gengäld mer eller mindre självreglerande (Bell 1986). I slitsrännor strömmar vattnet från bassäng till bassäng via en eller två vertikala öppningar eller slit-



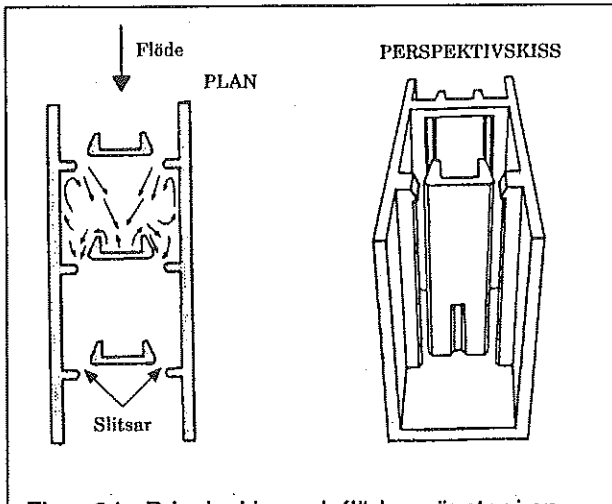
Figur 22. Fiskväg med en vertikal slits (enkelslitsad ränna) (efter Bell 1986, s 249).

sar i tvärväggarna (enkelslits Figur 23 respektive dubbelslits Figur 24) (Clay 1961; Andrew 1990; Katopodis 1990). Slitsarna går från tvärväggarnas underkant till deras överkant. Varianten med en vertikal öppning är lämplig i mindre vattendrag med moderata flöden, medan den med två öppningar passar bättre för större vattendrag där man kan förvänta sig kraftiga flöden – och framför allt kraftiga nivåfluktuationer på uppströmsidan – samt ett stort antal uppvandrande fiskar (Powers et al. 1985; Andrew 1990). Det skall nämnas att även andra typer av fiskvägar förekommer som eventuellt kan hänföras till denna kategori. Ett exempel är en spiralvriden fiskväg med alternerande vertikala små strömdämpare eller vingar på sidoväggarnas insida (Figur 25).

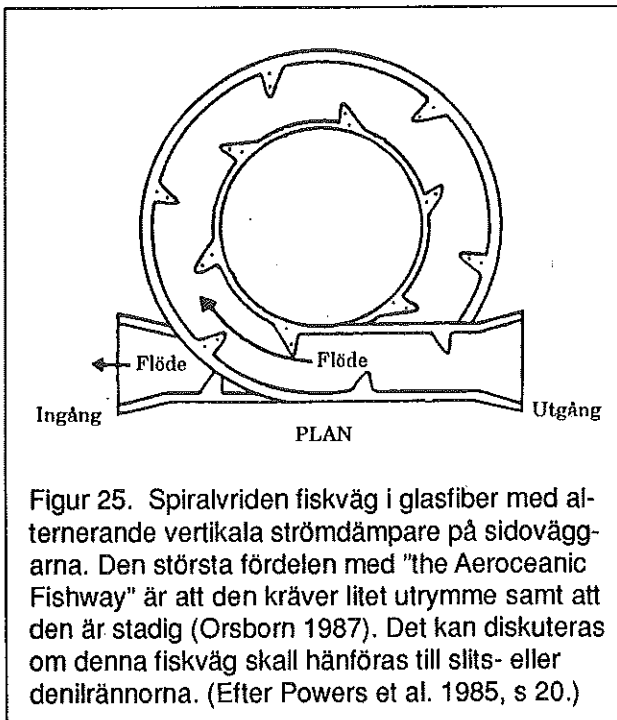
Slitsarna utformas så att vattenströmmen riktas in mot rännans centrum. Den största vattenhastigheten återfinns i slitsöppningarna, men i varje bassäng sker en effektiv omblandning som dämpar vattnets rörelseenergi (Katopodis 1990, 1992). I en ränna med dubbla slitsar kolliderar vattenströmmarna strax uppströms nästkommande tvärvägg. I en enkelslitsad ränna saknas denna möjlighet till effektiv energiförlust. Istället måste



Figur 23. Principskiss och flödesmönster i en enkelslitsad ränna (efter Powers et al. 1985, s 33).



Figur 24. Principskiss och flödesmönster i en slitsränna med två vertikala slitsar (s k "Hell's Gate double-slotted fishway"). Denna speciella fiskvägstyp utvecklades 1914 i British Columbia (vid "Hell's Gate on the Fraser River") för att kunna klara en daglig vattennivåfluktuation runt 2 m. (Efter Powers et al. 1985, s 17.)



Figur 25. Spiralvriden fiskväg i glasfiber med alternerande vertikala strömdämpare på sidoväggarna. Den största fördelen med "the Aeroceanic Fishway" är att den kräver litet utrymme samt att den är stadig (Orsborn 1987). Det kan diskuteras om denna fiskväg skall hänföras till slits- eller denilrännorna. (Efter Powers et al. 1985, s 20.)

vattnets rörelseenergi dämpas enbart genom omblandning i bassängerna (Clay 1961). Vattenstrålens riktning är därför av stor betydelse i enkelslitsade rännor. Då denna styrs av såväl tvärväggarnas som slitsarnas placering och utformning har en rad olika utförande testats under årens lopp. I Figur 26 visas några av dessa modifikationer. För att ytterligare minska vattenhastigheten genom slitsarna byggs ibland en låg tröskel i dessas underkant (se Figur 22). Tröskeln minskar även risken för att fisk "kanar tillbaka" nedströms i rännan (Powers et al. 1985).

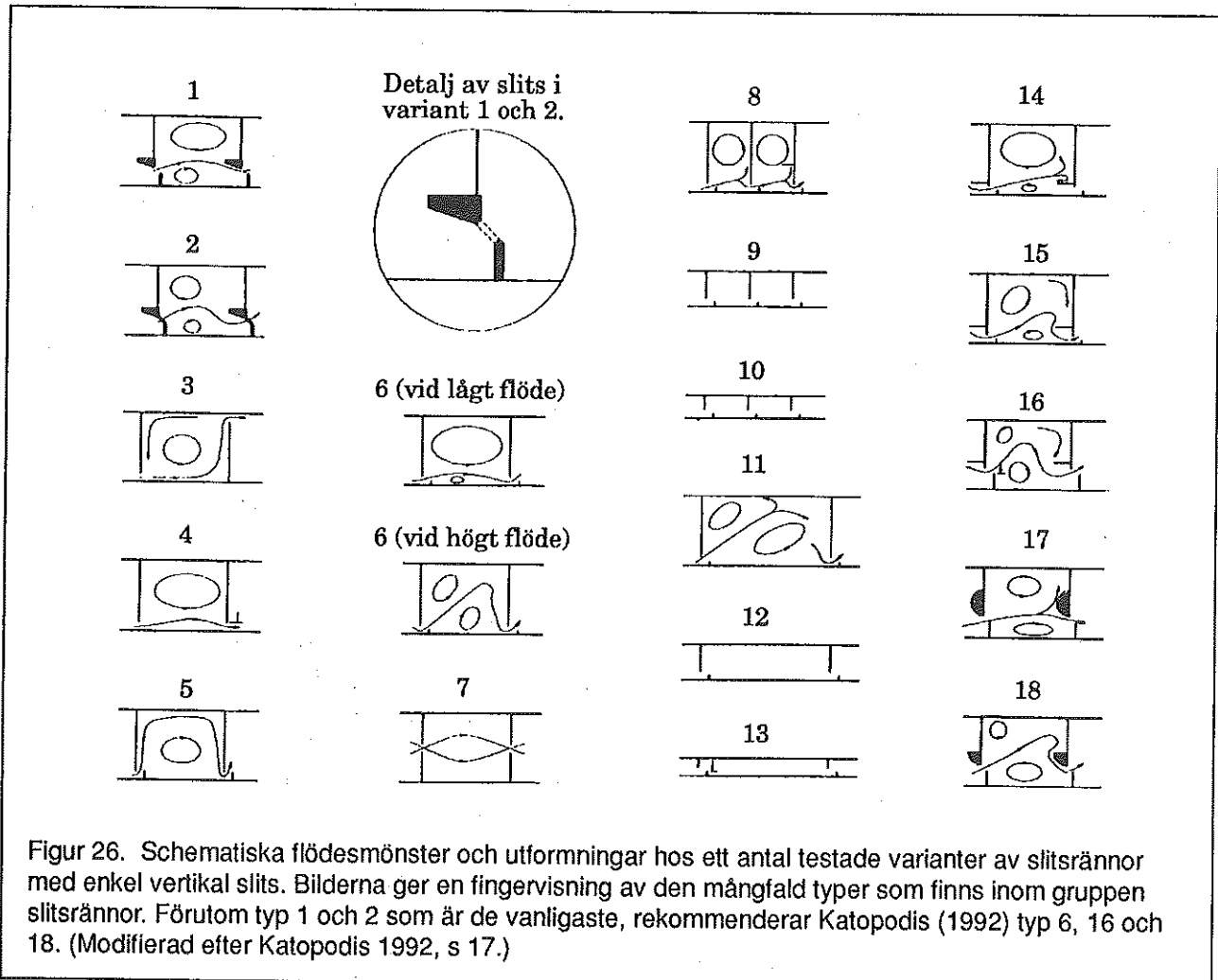
En fisk skall, om slitsrännan är rätt dimensionerad, lätt kunna bibehålla sin position i en pool (Katopodis 1992). I en rätt utformad slitsränna är vattenhastigheten i stort sett konstant från botten till ytan i samtliga slitsöppningar. Detta s k likformiga flöde karakteriseras av att nivåskillnaden (Δh) mellan vattenytorna i två närliggande pooler är lika stor genom hela fiskvägen. Detta medför i sin tur att slitsrännans funktion i princip är oberoende av vattendjupet i själva rännan så länge detta är lika stort genom hela rännan (Rajaratnam et al. 1987b; Katopodis 1990, 1992). Fiskvägar med vertikala slitsar är därför att föredra vid vandringshinder där möjligheten till nivåreglering är inskränkt eller saknas och där vattenståndsfluktuationerna är stora (Bell 1986). En förutsättning är emellertid att tvärväggarnas höjd, dvs hela slitsrännans höjd, dimensioneras med tanke på den maximala vattennivå som kan uppkomma på såväl uppströms- som nedströmssidan samt att dessa vattennivåer samvarierar – åtminstone inom vissa gränser. I annat fall finns risk för att det uppstår ett s k olikformigt flöde vilket karakteriseras av att Δh antingen ökar eller minskar nedåt i rännan. Om exempelvis vattennivån nedströms vandringshindret är

konstant samtidigt som nivån på uppströms- sidan sänks, uppstår en dämningseffekt i rännans nedre del (Δh minskar nedåt i rännan) vilket avsevärt försämrar lockvattenströmmen. Samma effekt erhålles vid en höjning av den nedströms liggande vattenytan samtidigt som uppströmsnivån hålls konstant eller sänks. Dessa förhållanden är relativt vanliga vid dammar med liten magasineringskapacitet (Katopodis pers medd). Vid det motsatta förhållandet, dvs om den nedströms liggande vattennivån sänks medan den övre bibehålls oförändrad eller höjs – eller om nedströmssidan hålls konstant och uppströms- sidan höjs – kommer både Δh och vattenhastigheten att öka nedåt i slitsrännan vilket försvårar fiskens passage. Denna risk är mest markant för slitsrännor som anlagts vid dammar med stor magasineringsförmåga (Katopodis pers medd). Att vattenhastigheten påverkas av skillnader i Δh beror på att has-

tigheten är en funktion av vattnets nivåskillnad mellan två närliggande pooler (om man bortser från vattenhastigheten i den närmast uppströms liggande poolen) (Katopodis 1992).

Det är viktigt att ingången och utgången placeras i en nivå som ligger under den lägsta nivå som kan uppkomma på uppströms- respektive nedströmssidan (Katopodis 1992). För att säkerställa god funktion bör enligt Katopodis vattendjupet i rännan ej understiga 60 cm. Slitsrännan i Figur 24, som är 2 m bred och 10 m djup, är den djupaste som hittills byggts (Katopodis pers medd).

Rajaratnam et al. (1987b) har experimentellt testat olika former av slitsrännor och beskrivit deras hydraulik. Därefter har ytterligare ett antal tester utförts av bl a Rajaratnam och Katopodis (se referenser i Katopodis 1992). I samtliga tester har man bl a undersökt hur olika slitstyper (se t ex Figur 26) påverkar uppkomsten av likformigt respektive



olikformigt flöde samt försökt definiera en hydraulisk "övergångszon" mellan de båda flödestyperna. Katopodis (1992) menar att den kanske viktigaste slutsatsen av dessa försök var att poolbredder runt 8 x slitsbredden och pool-längder omkring 10 x slitsbredden visar sig fungera tillfredsställande. Förutom typ 1 och 2 som är de vanligaste, rekommenderar Katopodis typerna 6, 16 och 18 (Figur 26). Det skall påpekas att slitsbredden utgör "flaskhalsen" i slitsrännor eftersom slitsarna måste dimensioneras med utgångspunkt från den uppvandrande fiskens storlek. Vidare uppger Katopodis (1992) att fallhöjden mellan varje bassäng ej bör överskrida 30 cm för lax eller 20 cm för övriga sötvattensarter. Enligt Hooli (1988) finns en tumregel som säger att fallhöjden bör vara ungefär lika stor som halva fisklängden. Katopodis (1990, 1992) har överskådligt sammanställt de hydrauliska ekvationer som man genom empiriska studier fastställt för några olika typer av slitsrännor. För övrigt hänvisas till andra i texten angivna referenser.

Slitsrännor byggs oftast i betong med tvärväggar av trä (Clay 1961). Den ovan nämnda spiralvridna fiskvägen gjordes emellertid i glasfiber eftersom man eftersträvade en lätt konstruktion (Orsborn 1987). Lutningen i en slitsränna varierar i allmänhet mellan 5 och 15%. Vanligen ligger lutningen runt 10% (Katopodis 1992).

Fiskvägar med vertikala slitsar har visat sig fungera för ett stort antal sötvattensfiskar och anadroma arter (Katopodis 1992). Vid ett försök i Finland i en fiskväg av denna typ (längd 30 m; lutning 6,7%) noterade Laine (1990a) att såväl öring som stora mängder sik och siklöja utnyttjade fiskvägen. Dessutom registrerades enstaka abborrar och elritsa. Den minsta fisk man fann i fiskvägen var en elritsa som vägde ett gram. I ett annat finskt försök kontrollerades funktionen hos en fiskväg med vertikala slitsar i älven Pöyry (Kamula et al. 1992). Slitsrännan bestod egentligen av två rännor åtskilda av en tillskapad "naturlig" sektion med en vid pool i överdelen. Fiskvägens total längd var 220 m och fallhöjden 6 m. Under en treårig undersökningsperiod registrerades lax, öring, abborre, braxen och mängder av andra karpfiskar i rännan. Hooli (1988) fann vid studier av uppvandrande fiskar i en annan slitsränna med längden 18 m och lutningen 8,3% ("bassängmått" 0,86 x 0,65 m; slitsöppning 7 cm) att sik lättast forcerade fiskvägen vid flöden runt 25-35 l/s. Vid högre vattenföringar simmade fiskarna däremot okontrollerat och endast ett fåtal tog sig igenom. Schwalme et al. (1985) fann vid en jämförelse mellan två denilrännor och en slitsränna att åtminstone nio fiskarter passerade samtliga fiskvägar (se även Avsnitt 4.2). Sugkarp föredrog slitsrännan medan gädda hellre tycktes ut-

Tabell 4. Några litteraturuppgifter rörande lutning, flöden och passerande fiskarter i fiskvägar med vertikala slitsar (slitsrännor).

Lutning (%)	Flöden (m ³ /s)	Passerande Fiskarter	Anmärkning	Referens
ca 8		10 arter, främst sugkarpar (ej amer. gös)	Lesser Slave River weir. 356 st fiskar passerade (se tab 4.2)	Schwalme et al. (1985)
8,3	0,025-0,035	Sik	Avser en slitsränna	Hooli (1988)
6,7		Abborre, elritsa, sik, siklöja	Avser en slitsränna	Laine (1990a)
2,7	0,5	Lax, öring, abborre, braxen m fl karpfiskar	Avser en slitsränna	Kamula et al. (1992)
10			Vanligt förekommande lutning	Katopodis (1992)

nyttja denilrännorna. Noteras bör att abboryngel lyckades passera slitsrännan (i denilrännan kunde eventuell passage av abboryngel inte kontrolleras). Vid försöken varierade vattenhastigheten genom slitsarna mellan 0,23 och 0,68 m/s. I denilrännorna låg hastigheten inom intervallet 0,52-1,13 m/s.

Enligt Clay (1961) har fiskvägar med vertikala slitsar med stor framgång använts på flera håll i nordamerika för att säkerställa stillahavslaxars lekvandring. Uppvandringsrekordet i en dubbelslitsad ränna sattes 1954, då två miljoner havsvandrande indianlaxar passerade genom Hell's Gate canyon på sex dagar (Andrew 1990).

I Tabell 4 återges några litteraturuppgifter rörande lutning, flöden och passerande fiskarter i fiskvägar med vertikala slitsar.

4.4 Kulvertar

Kulvertar eller trummor används för olika typer av dräneringsverksamheter, framför allt för vattenkanalisering under bilvägar och järnvägar (Anon. 1980). De anläggs ofta istället för broar eftersom kulvertar är billigare och relativt enkla att installera (Anon. 1980). Brobyggnation är emellertid att föredra från fisk- och naturvårdssynpunkt, eftersom det medför mindre påverkan i vattendraget och dess närmiljö (Hermansen 1989; Furniss et al. 1991; Katopodis 1992), och skall alltid vara ett alternativ till kulvertdragning där det ställs krav på särskilda hänsyn till fiskevärden (Anon. 1980). Vid kanalisering i samband med vägbyggen bör man välja en vägdragning som medför att kulvertlutningen minimeras samt att lutning och vattenhastighet, såväl uppströms, nedströms som i kulvertsektionen, blir så jämn som möjligt (Metsker 1970; Furniss et al. 1991). Vattenströmningen i en kulvert är vanligen av vågformad typ (se Figur 17) och vattenhastigheten i allmänhet högre och mera likformig än i naturliga åfåror (Katopodis 1992). Kulvertbyggnation ändrar också vattendragets hydraulik såväl uppströms som nedströms själva kulverten vilket ibland kan medföra avsevärda erosionseffekter på den naturliga strömfåran (Furniss et al. 1991). Kulvertar är i allmänhet konstruerade i betong eller korrugerad plåt (Anon. 1980). Tvärsnittytan behö-

ver inte vara cirkulär utan kan i princip anta vilken form som helst (Tabell 5).

Det finns tre alternativ vid anläggning av en kulvert som skall kunna passeras av fisk (Katopodis 1992). (1) Vanlig rund kulvert med en maximal vattenhastighet som kan forceras av fisk (1,2 m/s) och ett vattendjup på minst 0,2 m. (2) Kulvert med konstgjorda tvärväggar eller strömdämpare som underlättar fiskpassage (Figur 27). (3) Kulvert som simulerar en naturlig åfåra där man eftersträvar att bibehålla vattendragets naturliga lutning, bredd, strömbild och bottenmaterial.

Den vanliga kulverten utgör sällan en tillfredsställande fiskväg, särskilt inte för liten fisk, vilket medför att konstgjorda hjälpmedel eller simulering av naturfåra vanligen krävs (Katopodis 1992). Kulverten bör dock ej utformas så att konstgjorda strömdämpare eller tvärväggar behöver installeras för att fullgod funktion skall uppnås (Furniss et al. 1991). Strömdämpare skapar igensättningsproblem samt tillsynskostnader (op cit) och bör i första hand tillgripas vid modifiering av redan befintliga kulvertar (Katopodis 1977; Furniss et al. 1991). En vanlig kulvert skall anläggas något djupare än gradienten på sträckan för att möjliggöra sedimentation av sand och grus och därmed en naturlig bottenmiljö inne i kulverten (Kay & Lewis 1970; Katopodis 1990). Det kan räcka med att 1/10 av rördiametern placeras under vattendragets bottennivå (Lonnbjerg 1986).

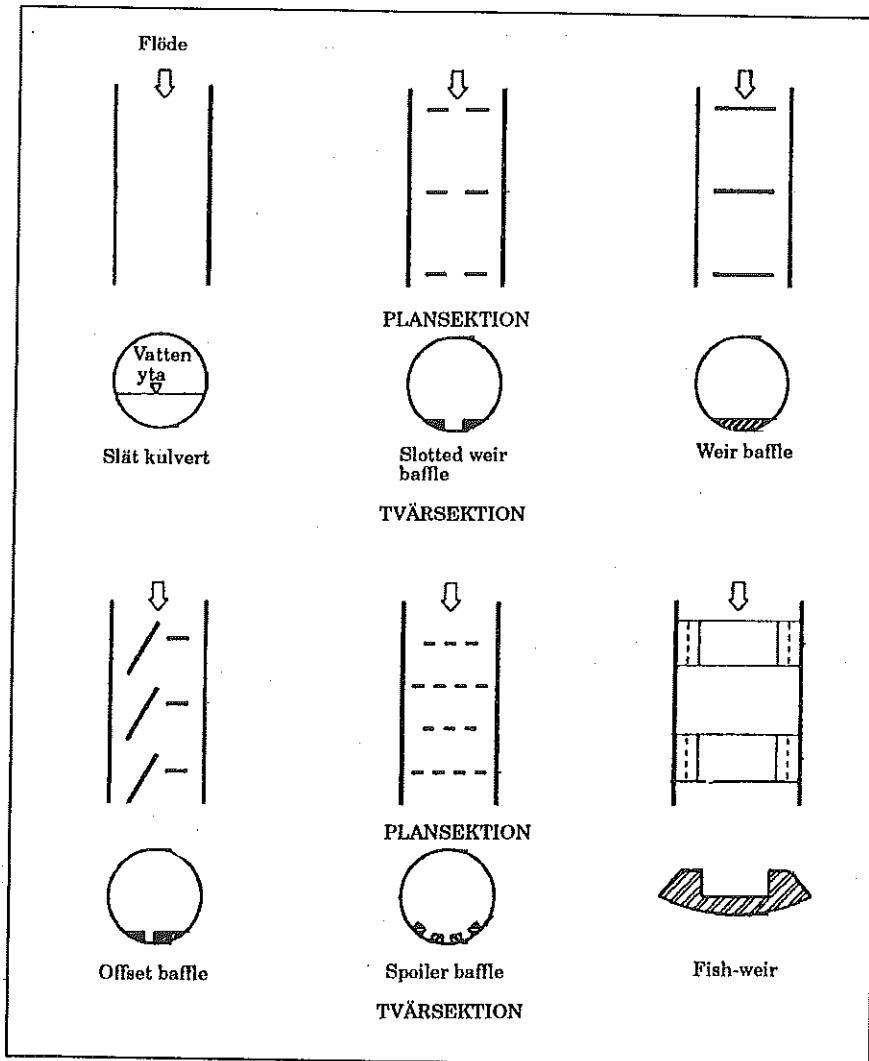
Vid simulering av en naturlig strömfåra anpassas kulvertens storlek och lutning efter vattendragets bredd, tvärsnittsarea och gradient på platsen (Katopodis 1992). Kulverten anläggs under den naturliga strömbädden och fylls med sten och grus i dimensioner som gör bädden stabil (op cit). Strömfåran som skapas skall vara varierad, gärna med ett något meandrande lopp, och kan med fördel ha en bottenprofil som säkerställer tillräckligt vattendjup vid lågvatten (Hermansen 1989). En likartad modell är halvtrumman ("open bottom pipe arch", Tabell 5) som placeras över den naturliga strömfåran (Furniss et al. 1991). Halvtrumman medför att den naturliga strömbädden och vattenhastigheten kan bibehållas i stort sett oförändrad. Furniss et al. (1991) hävdar att halvtrum-

Tabell 5. Fiskeribiologiska egenskaper hos olika typer av kulvertar (modifierad efter Katopodis 1992, s 11).

TYP AV KULVERT		KOMMENTAR
Open Bottom Pipe Arch Halvtrumma		Bibehåller en naturlig strömbädd med små förändringar i lutning, vattenhastighet och bredd.
Open Bottom Box Culvert Öppen rektangulär kulvert		Bibehåller en naturlig strömbädd med små förändringar i lutning, vattenhastighet och bredd.
Box Culvert With Trough Rektangulär kulvert med bottenränna		Bottenränna underlättar fiskpassage vid låga flöden. Kan anpassas för simulering av naturlig strömfåra. Tvärväggar och strömdämpare kan installeras.
Box Culvert Rektangulär kulvert		Små vattendjup vid låga flöden begränsar fiskpassage. Kan anpassas för simulering av naturlig strömfåra. Tvärväggar och strömdämpare kan installeras.
Pipe Arch Culvert Valvformad kulvert		Platt och bred profil medger ökad fiskpassage genom dämning. Kan anpassas för simulering av naturlig strömfåra. Tvärväggar och strömdämpare kan installeras.
Horizontal Elliptical Culvert Horisontell elliptisk kulvert		Utgör en kompromiss mellan valvformad och rund kulvert. Kan anpassas för simulering av naturlig strömfåra. Tvärväggar och strömdämpare kan installeras.
Stacked Culverts Kulvertar i olika höjdnivå		Ökad fiskpassage vid stora flödesvariationer jämfört med en kulvert. Kan anpassas för simulering av naturlig strömfåra. Tvärväggar och strömdämpare kan installeras.
Round Metal Culvert Rund kulvert		Kan anpassas för simulering av naturlig strömfåra. Tvärväggar och strömdämpare kan installeras.

man är att föredra framför runda eller valvformade ("pipe arch", Tabell 5) kulvertar. Många fiskeribiologer anser att halvtrumman är den enda acceptabla kulverttypen för att tillgodose möjligheter till fiskpassage (op cit).

I samband med vägbyggen anläggs vanligen kulvertar i lutningen 0,5-5% (Katopodis 1992). För att möjliggöra fiskpassage bör en kulverts lutning inte överstiga 0,5% för kulvertlängder på mer än 24,4 m (Dane 1978).



Figur 27. Rund kulvert med olika typer av tvärväggar ("weirs") och strömdämpare ("baffles") för att underlätta fiskpassage. Då lämpliga svenska benämningar saknas, har den engelska terminologin ej översatts. (Efter Katopodis 1992, s 25.)

För kulvertlängder mindre än 24,4 m skall lutningen inte överstiga 1%. Överskrids dessa kriterier skall strömdämpare eller dylikt installeras och lutningar på mer än 5% skall alltid undvikas (op cit). För valvformade trummor måste kulvertlutningen understiga 1% och för runda trummor närma sig 0% om vattenhastigheter som möjliggör fiskpassage ej skall överskridas (Furniss et al. 1991). Överstiger lutningen 2% eller kulvertlängden 30 m bör brobyggnation istället för kulvertdragning övervägas. Anläggs kulvertar med kraftiga lutningar är det viktigt att, både uppströms och nedströms kulverten, skapa eller förbättra vilobassänger och skydd för fisken samt att bibehålla en stabil strömbädd (op cit).

Det som bestämmer huruvida en fisk kan passera en kulvert är kulvertlängd och vattenhastighet i förhållande till fiskens simför-

måga (Katopodis 1992). Av betydelse är också förhållandena vid kulvertens inlopp och utlopp (Anon. 1980; Katopodis 1992). Kulverten bör utformas med utgångspunkt från fiskens simförmåga och då främst dess s k "prolonged speed" (Avsnitt 2.2) (Katopodis 1977, 1992). Det är dessutom viktigt att utformningen baseras på simförmågan hos den minst kapabla av de vandrande fiskarna i vattendraget (Furniss et al. 1991). Maximala simdistanser för laxartad fisk vid olika vattenhastigheter i kulvertar har studerats. Maximala vattenhastigheter (vid 60% av vattendjupet) för att icke anadroma laxfiskar ("trouts") skall kunna passera 10, 50 och 90 m kulvert är 1,22-1,32, 0,61-1,04 respektive 0,46-0,95 m/s (Belford & Gould 1989). Motsvarande värden för anadroma laxfiskar är ca 2,5, 2,2 respektive 1,9 m/s (Kay & Lewis 1970). Enligt Metsker (1970) bör inte kortare perioder med vattenhastig-

heter runt 0,12 m/s genom en kulvert ha någon större negativ inverkan för passage av laxfisk ("trouts") med kroppslängden 2,5-5 cm. Maximal vattenhastighet för vandrande laxfiskar med en kroppslängd på ca 40 cm är 2,4 m/s. Under normala förhållanden bör dock inte vattenhastigheten överstiga 1,8 m/s för laxfisk i denna storlek (op cit). För annan fisk är de maximala vattenhastigheterna lägre än för laxfiskar (Anon. 1980). Andra rekommendationer för maximala vattenhastigheter i kulvertar för att säkerställa fiskpassage är 0,6 m/s (Hermansen 1989), 1,2 m/s (Katopodis 1992), 1,2 m/s för kulvertlängder mindre än 24,4 m och 0,9 m/s för kulvertlängder över 24,4 m (Dane 1978).

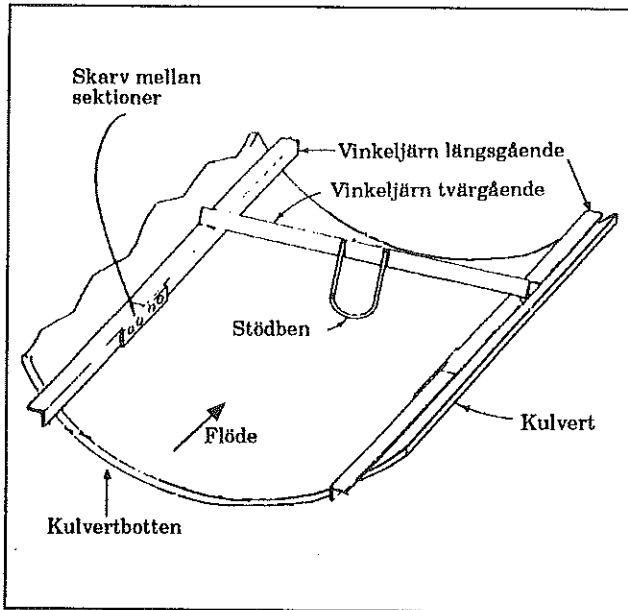
Slatick (1970) utförde en del enkla försök i syfte att undersöka hur cirkulära kulvertar med slät insida, dvs utan tvärväggar eller annat bottenmaterial, fungerar som fiskvägar. I försöket, som gjordes med kungslax, havsvandrande indianlax, silverlax och havsvandrande regnbåge, testades tre olika kulvertdiametrar (0,3, 0,6 och 0,9 m) samt kulvertlängderna 27,2 m och 87,3 m. Dessutom kontrollerade man hur olika vattenhastigheter (0,15-1,2 m/s) och vattendjup (30,5-35,6 cm alternativt helt vattenfylld kulvert) påverkade passagen av fisk. Försöken visade att kulvertdiametern 0,6 m var fullt tillräcklig för passage av samtliga undersökta fiskarter genom båda kulvertlängderna, vare sig kulverten var helt eller endast delvis fylld med vatten. Det bör påpekas att vattenhastigheten i den delvis fyllda kulverten var 0,9 m/s. Däremot simmade inte gärna fisken in i kulvertar med 0,3 m diameter. Vidare fanns det en tendens till snabbare fiskpassage genom de delvis fyllda kulvertarna jämfört med de helt fyllda.

Vid val av kulvertstorlek är det bättre att överdimensionera än att underdimensionera (Kay & Lewis 1970). En större diameter transporterar inte bara mera vatten utan ger även lägre vattenhastighet och lägre erosion. Åtgärden medför bättre utrymme vid eventuella ytterligare modifieringar av kulvertens botten. Det kan också medföra att modifieringar helt enkelt inte behöver utföras eller åtminstone göras mindre omfattande (op cit).

Vattendjupet i en kulvert bör ej vara mindre än 0,2-0,25 m för att säkerställa fiskpassage (Anon. 1980; Hermansen 1989; Kato-

podis 1992). Furniss et al. (1991) anger minsta vattendjup till 0,15 m för "trouts" och 0,3 m för lax och regnbåge. Kulvertar som vid låg vattenföring riskerar att er hålla små vattendjup är särskilt den valvformade trumman (Furniss et al. 1991) samt den rektangulära (Katopodis 1992) ("pipe arch" respektive "box culverts", se Tabell 5). Man bör eftersträva en vattennivå i kulverten som överensstämmer med vattendragets nivå uppströms och nedströms kulverten (Katopodis 1990). Vid kraftiga nivåfluktuationer kan det vara lämpligt att bygga flera kulvertar ovanpå varandra i olika plan (Metsker 1970; Anon. 1980; Furniss et al. 1991). Den nedre kulverten koncentrerar flödet vid låga vattenföringar medan den övre kulverten eller kulvertarna träder i funktion vid höga vattenföringar (se "stacked culverts", Tabell 5). Den nedre kulverten möjliggör även passage vid extremt höga, kritiska, vattenföringar (Metsker 1970). Kulvertens bottenprofil kan också utformas så att vattenflödet koncentreras i en mindre strömfåra, som löper i botten av en större profil, under lågvattenföring (Hermansen 1989). Denna utformning säkerställer vattendjupet vid lågvatten och ger tillräcklig kapacitet vid högvatten (se Tabell 5). Anläggs flera kulvertar vid sidan av varandra bildas ett område med bakvatten mellan kulvertarna vilket kan utgöra en lämplig viloplats för fisk (Metsker 1970). Furniss et al. (1991) anser dock att en stor kulvert är bättre än flera små eftersom både vattenhastighet och risken för igensättning minskar.

För att underlätta fiskpassage i en kulvert kan man använda sten och block som kvarhålls i kulverten av sin egen tyngd eller genom stöd i botten (Figur 28) (Clancy & Reichmuth 1990). Alternativt kan konstgjorda tvärväggar eller strömdämpare placeras inne i kulverten (Metsker 1970; Anon. 1980; Katopodis 1992) (Figur 27). Strömdämpare är mest effektiva när de har en höjd av minst 30 cm och vattennivån i kulverten når strax över dämparna (Katopodis 1977; Anon. 1980; Furniss et al. 1991). Vid högre vattennivåer försämras funktionen med vattendjupet (Furniss et al. 1991). Anon. (1980) omnämner att "offset baffles" (Figur 27) producerar en bra strömbild och fiskpassage i kulvertlutningar på upp till 5%. Denna typ av strömdämpare,

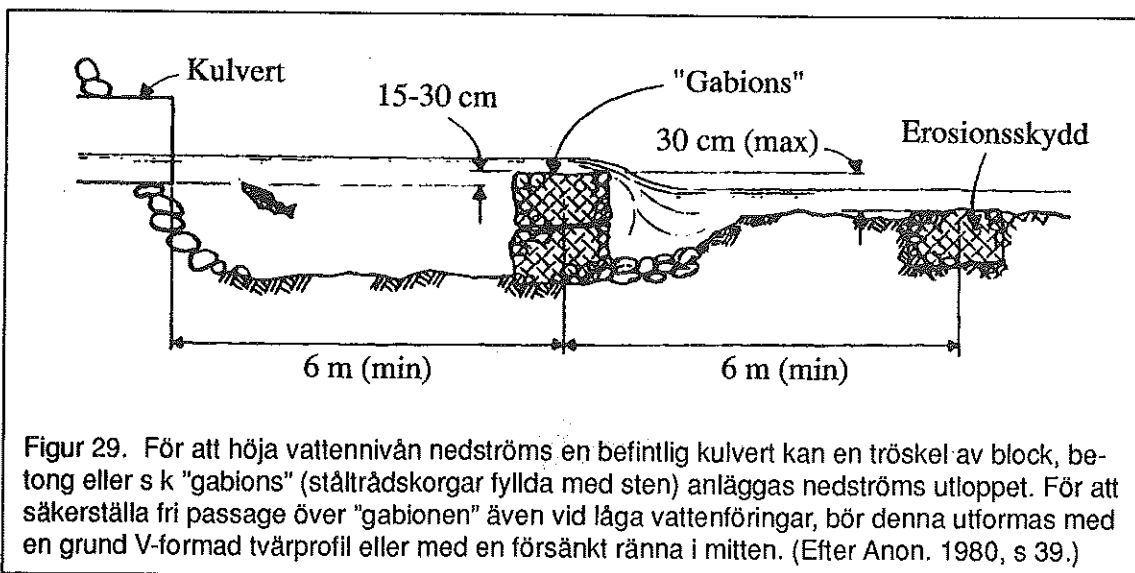


Figur 28. Detaljskiss av en löstagbar metallanordning som med framgång använts för att göra en vägkulvert (diameter 1,8 m) framkomlig för uppströmsvandrande strupsnittsöring i Yellowstone River, USA. Konstruktionen, som monteras ihop sektionvis inuti kulverten, består av två parallella längsgående vinkeljärn förbundna med tvärgående järn. För att reducera ingreppen i kulvertväggarna förankras endast uppströmsändan. På varje tvärgående järn sitter ett nedåtriktat stödben som ligger an mot kulvertens botten. På uppströmssidan av varje tvärgående järn utlägges sten e dyl så att små trösklar bildas. Avståndet mellan de tvärgående järnen (trösklarna) samt stödbenens höjd måste anpassas efter kulvertens lutning. Konstruktionen har visat sig vara både hållbar och effektiv. Det skall påpekas att kulvertens transportkapacitet minskade med ca 15% efter ombyggnationen. (Efter Clancy & Reichmuth 1990, s 245.)

som rekommenderas i många rapporter (Katopodis 1977), skall byggas i en 1,2-1,8 m bred sektion (Furniss et al. 1991). Den har visat sig ha en självrensande förmåga vid högflöden och kräver i runda trummor en kulvertdiameter på minst 1,5 m (Anon. 1980). I mindre kulvertar används ofta horisontella tvärväggar av typen "weir baffle" och "fish-weir" som upptar hela kulvertbotten, (Figur 27). I stora kulvertar, med kulvertdiametrar större än 2,2 m, har strömdämpare anlagts längs ena sidan med bra resultat. Dämparsektionen skall då avgränsas med en 30 cm hög längsvägg gentemot den motsatta kulvertdelen (op cit). Strömdämpare minskar

vattengenomströmningen i en kulvert (Kay & Lewis 1970; Katopodis 1977). Trots att strömdämpares påverkan på en kulverts transportkapacitet är relativt liten kan de vid små säkerhetsmarginaler medföra behov av en större kulvertdiameter (Furniss et al. 1991).

Katopodis (1992) redovisar en förstudie till anläggande av en rund kulvert i Altrude Creek i Canada. Kulverten var 73 m lång med en lutning på 0,5%. Med hänsyn till simförmågan ("prolonged speed") hos de fiskar som vandrar i Altrude Creek fick vattenhastigheten i kulverten ej överstiga 0,5 m/s. Beräkningar visade att under fiskvandringstid skulle den genomsnittliga vattenhastigheten



Figur 29. För att höja vattennivån nedströms en befintlig kulvert kan en tröskel av block, betong eller sk "gabions" (ståltrådkorgar fyllda med sten) anläggas nedströms utloppet. För att säkerställa fri passage över "gabionen" även vid låga vattenföringar, bör denna utformas med en grund V-formad tvärprofil eller med en försänkt ränna i mitten. (Efter Anon. 1980, s 39.)

i kulverten vara 0,8 m/s. Eftersom simulering av naturfåra i detta fall ej var ett alternativ, valde man att installera strömdämpare, av typen "slotted-weir" (Figur 27) med en höjd av 30 cm och ett avstånd av 1,2 m i kulverten. Åtgärden skulle medge fiskpassage genom att fisken fick möjlighet till ett "burst and rest swimming pattern" (op cit).

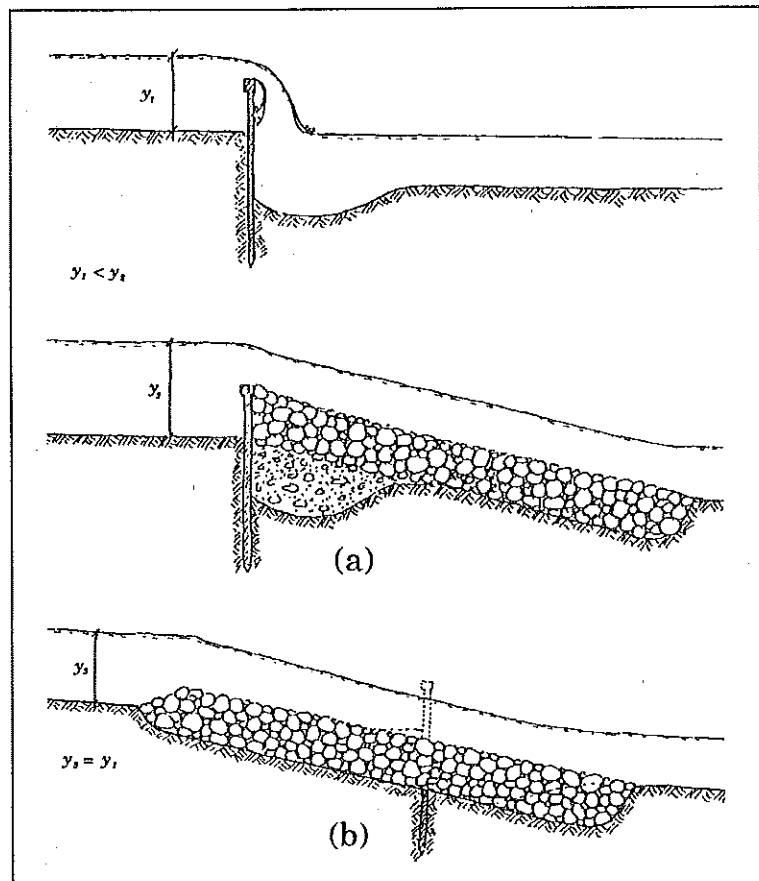
Om en kulverts utlopp ligger 20-30 cm eller mer över vattenytan på nedströmssidan, bör man utgå ifrån att nivåskillnaden kan utgöra en barriär för uppströmsvandring (Metsker 1970; Gad 1979; Furniss et al. 1991). En relativt enkel åtgärd är då att bygga en liten damm eller ett lågt överfall ungefär 6 m nedströms utloppet (Metsker 1970; Anon. 1980), dock ej längre nedströms än 5 kulvertdiametrar (Metsker 1970) (Figur 29). Höjs vattennivån över kulvertutloppets botten åstadkoms dessutom ett bakflöde och vattenhastigheten sjunker i kulverten. Det är emellertid viktigt att dels erosionsskydda botten nedströms överfallet, dels försäkra sig om att kulvertens försämrade transportkapacitet ej medför att kulvertdiametern måste ökas (Metsker 1970; Furniss et al. 1991).

Om kulverten byggs för att möjliggöra lekvandring skall den utformas med hänsyn till det s k "tre-dagars-förseningsflödet" (se Avsnitt 5.2 samt Appendix II) (Katopodis 1977). Katopodis (1977, 1990, 1992) har sammanställt ett antal hydrauliska ekvationer, framtagna genom empiriska studier, för kulvertar.

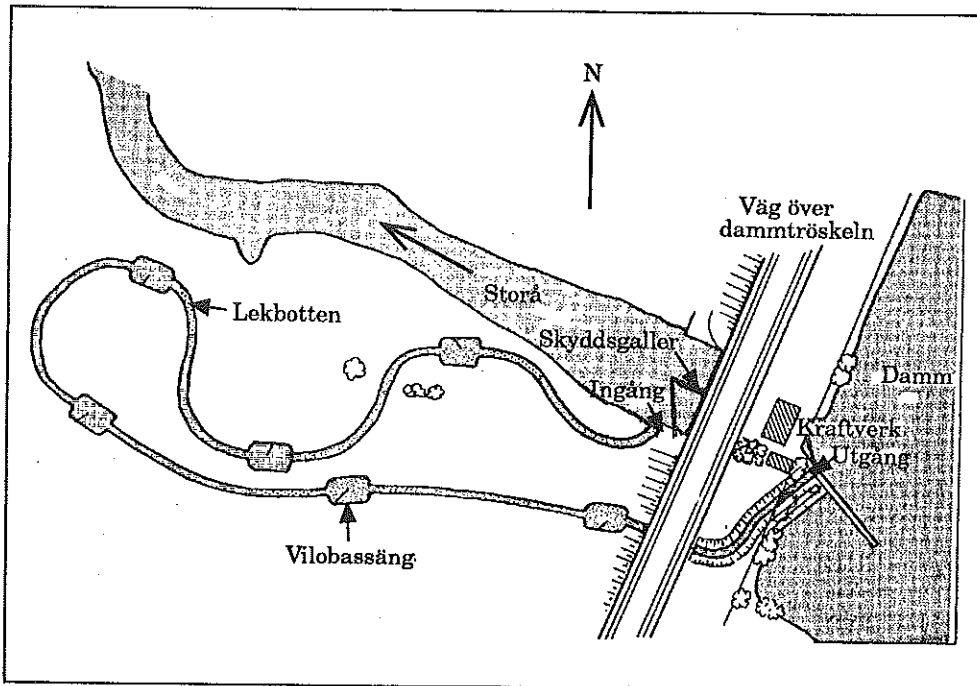
4.5 Kanaler

En speciell form av fiskvägar är de lågsluttande och naturligt utformade grävda kanaler eller naturrännor som under senare år byggts på kontinenten. Fördelen med kanaler, jämfört med andra fiskvägstyper, är deras ekologiska anpassning till det akvatiska livet i ett vattendrag. Syftet med dessa fiskvägar är att de skall säkerställa fri passage för fisk och smådjur samtidigt som de utgör naturliga miljöer för flora och fauna

(Andersen et al. 1992). Vid utformningen av naturrännor är det nödvändigt att göra en avvägning mellan å ena sidan omgivande topografi- och jordartsförhållanden, in- och utloppsplacering samt den existerande vattenföringen – samt å den andra – utseende och ekonomi (Sørensen et al. 1992). Sørensen et al. (1992) uppger att man numera kan anlägga fiskvandningskanaler förbi hinder av ansevärd höjd. Två huvudtyper kan urskiljas: (1) de som byggs i själva vattendraget i direkt anslutning till vandringshindret och (2) de som utgöres av en separat kanal vid sidan av vandringshindret (omloppskanal) (op cit). I det förstnämnda fallet utformas kanalen som en utfyllnad direkt i åfåran i anslutning till exempelvis en fördämning (Figur 30). Denna utformning är endast möjlig vid "mindre" hin-



Figur 30. Byggnad av fiskvandningskanaler i själva vattendraget kan antingen göras genom att hindret/tröskeln förslängs (a) vilket i varierande omfattning medför en dämningseffekt, eller genom att hindrets överdel avsänks varefter utfyllnad sker uppströms alternativt över detsamma (b). Beteckningarna y_1 - y_2 anger hur vattennivån påverkas beroende på vilken utformning som väljs. (Efter Sørensen et al. 1992, s 18-19.)

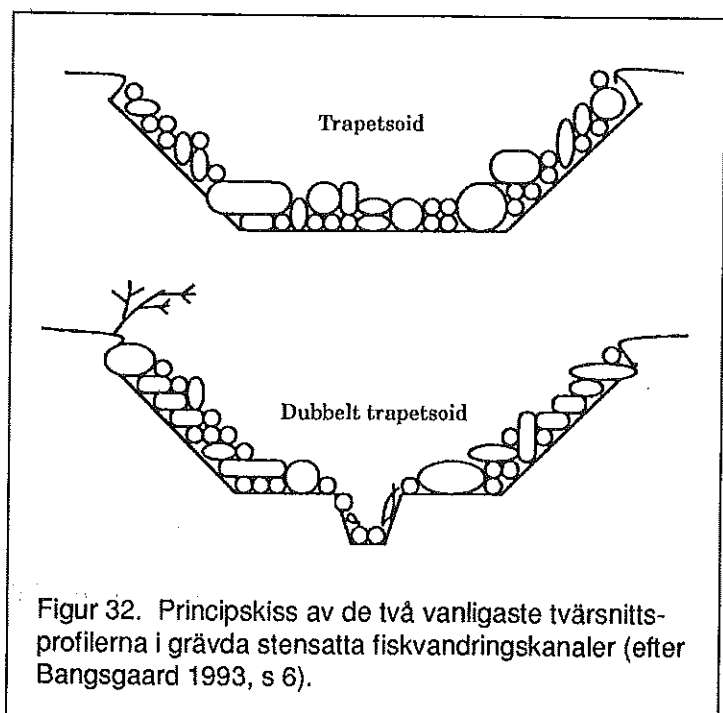


Figur 31. Fiskvandningskanalen vid sidan av Holsterbro kraftverksdam i Stora-systemet i Danmark är ett exempel på en sk omloppskanal (efter Jørgensen 1993, s 13).

der (op cit). Då sådana kanaler måste dimensioneras för hela flödet i vattendraget kan stora vattenståndsvariationer förekomma. I det sistnämnda fallet, omloppskanalen, avleds en delström vid sidan av huvudfåran vilket möjliggör reglering av vattenföringen (op cit) (Figur 31). Den ideala lösningen för omloppskanaler är att vattenföringen i mesta möjliga mån följer de naturliga fluktuationerna i huvudvattendraget, dock med en minimivattenföring som säkerställer fiskens möjlighet att finna och passera kanalen (Jørgensen 1993). Vilken av de två typerna som bör väljas måste avgöras från fall till fall. Vid projektering av naturrännor bör man beakta att dessa även kan tjänstgöra som fiskväg för vandrande smolt (se Avsnitt 4.6 och 4.8).

Sørensen et al. (1992) uppger att man i långa fiskvandningskanaler bör eftersträva en maximal lutning på 1-1,5% medan lutningen i kortare kanaler kan uppgå till 2-2,5%. En undersökning av 14 kanaler i Vejle i Danmark visade att trots stora lutningar, upp till 3%, utnyttjades de av i stort sett samtliga förekommande fiskarter (Bangsgaard 1993). Kanalen anläggs med en svagt meandrande strömfåra och normalt med en trapetsformad eller dubbel

trapetsformad profil, den sistnämnda med en smalare och djupare del i mitten (Figur 32) (Sørensen et al. 1992). Fördelen med en dubbel trapetsformad profil är att kanalen blir framkomlig för fisk även vid låga vattenföringar eftersom vattnet då koncentreras till den smala djupare delen. Bottnen är täckt av sten och block som dels utgör erosionsskydd, dels ökar friktionen vilket i sin tur medför att



Figur 32. Principskiss av de två vanligaste tvärsnittsprofilerna i grävda stensatta fiskvandningskanaler (efter Bangsgaard 1993, s 6).

vattenhastigheten nedbringas. Samtidigt skapas också ståndplatser för fisk. Enligt Sørensen et al. (1992) bör en kanals medeldjup ej understiga 20 cm. Vidare bör vattnets medelhastighet vara 0,3-1,0 m/s för att kanalen skall fungera för all fisk. Lägre vattenhastigheter än 0,3 m/s ökar risken för sedimentation av finkornigt minerogent och organogent material (op cit).

Empiriska försök visar att hydrauliken i naturrännor kan beräknas med hjälp av Mannings formel om mycket låga Manningsstal används (Hermansen 1992). För mera ingående uppgifter om tillämpningen av Mannings formel och olika Manningstal hänvisas till elementär litteratur i hydraulik. Dessutom behandlar Sørensen et al. (1992) såväl hydraulik som andra väsentliga aspekter vid byggande av fiskvandningskanaler.

I Danmark finns ca 500 kanaler. Flertalet har anlagts vid hinder med fallhöjder omkring en meter eller mindre. Vid Holstebro kraftverk i Storåsystemet har man byggt en kanal med fallhöjden 5,3 m och totallängden 655 m inklusive sex vilobassänger (Figur 31) (Jørgensen 1992, 1993). Förutom att kanalen fungerar som fiskvandningsväg har även lekbottnar skapats. Kanalen är dimensionerad för ett maximalt flöde av 1 m³/s. Lutningen är i strömpartierna 1% och på lekplatserna 0,4% medan vilobassängerna är helt horisontella. Kanalens övre öppning, som är placerad endast några få meter från kraftverkets turbinintag, är försedd med ett reglerbart intag så att vattenföringen kan anpassas till det rådande vattenståndet i kraftverksmagasinet. Fiskvägen har visat sig fungera för alla i systemet förekommande fiskarter (19 st). Under 1990 uppvandrade exempelvis stora mängder sik samt ett ansevärt antal braxen, mört, abborre m fl. På de anlagda lekplatserna har man dessutom konstaterat lax- och harrlek (Jørgensen 1993).

Enligt Pavlov (1989) har man i dåvarande Sovjetunionen byggt fiskkanaler i kolossalformat. Vid Konstantinovskiy i floden Don finns en kanal, 2,5 m djup, 22 m bred och 6 km lång med trapetsformad profil, men Pavlov ger även exempel på kanaler med en längd över en mil. Man har placerat ut speciella leksubstrat på bottnarna och flera arter leker i kanalerna. Dessutom har 16 mindre kanaler för fisk anlagts i floden Volga (op cit).

4.6 Fiskvägar för uppvandrande fiskyngel

Fiskyngels förflyttningar i rinnande vatten kan t ex utlösas av variationer i vattenföring eller vattentemperatur. Dessutom sker vandring för födosök eller för att undkomma predatorer, ibland upp i biflöden (Katopodis 1992). Hos nedströmslekande arter, som vissa öringstammar, måste smolten ges möjlighet att simma från uppväxtområdena och uppströms.

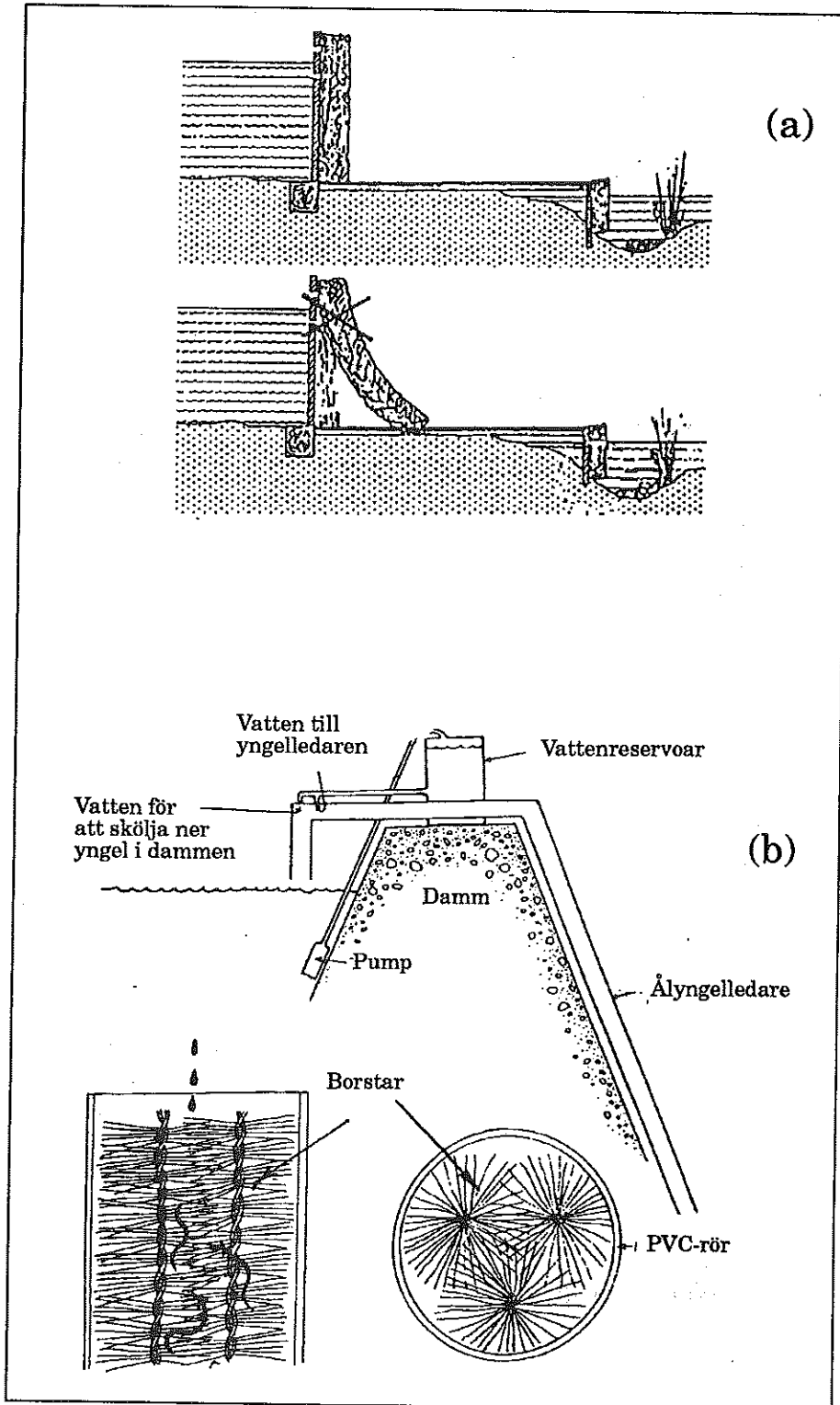
Bortsett från ledare för ål, har i fiskväglitteraturen inte några fiskvägar påträffats som utformats uteslutande för uppströmsvandrande fiskyngel. Kanaler och fiskvägar med vertikala slitsar lämpar sig emellertid väl för detta ändamål. Även denirännor och bassängtrappor kan fungera; de förra om de inte görs för branta eller för långa, de senare om de förses med underströmningsöppningar. I viss mån kan också slussar och hissar (se Avsnitt 4.7) utnyttjas av uppströmsvandrande fiskyngel.

Ålyngel har till skillnad från andra fiskar mycket dålig simförmåga. Konventionella fiskvägar är därför oftast olämpliga för ålyngel då vattenhastigheten är för hög. Ålyngelledare måste istället utformas så att ålen kan klättra eller slingra sig fram i ett lämpligt substrat. I en rätt utformad ålyngelledare skall ynglet till och med kunna klättra vertikalt rakt upp. Vilken form som väljs beror, liksom vid byggande av övriga fiskvägstyper, till stor del på det aktuella vandringshindrets karaktär. En rad olika material har använts under årens lopp och då i synnerhet naturliga material som ris och ljung. Ett problem är emellertid att organiska material ganska lätt bryts ned vilket medför ett ökat underhållsarbete. Liksom för övriga former av fiskvägar är mynningens placering av största vikt (se Avsnitt 5.3.3). Mynningen skall placeras nära hindret så att ynglet lätt hittar dit (Figur 33).

Ett nylonmaterial kallat ENKAMAT har under senare år testats i Danmark och visat sig fungera bra (Dahl 1990). ENKAMAT-materialet består av nylontrådar, oordnat hopfogade i flera lager. Det är framför allt en typ, kallad 7020, som befunnits vara särskilt väl lämpad. En annan form av ålyngelledare tillverkad av nylon beskrivs av Mitchell (1990).

Denna ledare består av PVC-rör innehållande speciellt utformade borstar liknande jättelika flaskrengöringsborstar (Figur 33). I horisontellt liggande rörpartier behövs inga borstar. Enligt Mitchell är den största ålyngelledare av detta slag byggd över en 74 m hög kraftverksdam. Vid mindre hinder behövs

inte alltid så sofistikerade anordningar för att möjliggöra ålyngeluppvandring. Tesch (1977) beskriver exempelvis två enkla metoder. I det ena fallet rullas ris, hyvelspån eller – enligt Dahl (1991) – ljung in i ett plastat hönsnät som sedan hängs över hindret ifråga; i det andra fallet hängs helt enkelt hopsydda jute-



Figur 33. Några olika typer av ålyngelledare. Bild (a) visar hur en enkel ålyngelledare bör placeras vid ett mindre hinder för att fungera tillfredsställande. Yngelledarna kan bestå av ett hoprullat plastat hönsnät fyllt med exempelvis ljung, ris eller annat lämpligt material. (Efter Dahl 1991, s 3.) Bild (b) visar hur en ålyngelledare över ett större hinder kan utformas. Denna typ med cirkulära borstar inneslutna i ett PVC-rör har bl a använts i Nya Zeeland. (Efter Mitchell 1990, s 241.)

vävssäcker över hindret lite vid sidan av huvudströmmen. Den sistnämnda metoden har Tesch hämtat ur Wilke (1975).

Vattenåtgången i dessa typer av fiskvägar är försumbar. Det räcker med att låta vatten sippra ned genom substratet i yngelledaren. Å andra sidan är detta en viktigt åtgärd då ålynglen hela tiden strävar efter att förflytta sig mot strömmen (Mitchell 1990). En serie instruktiva bilder av ålyngelledare samt hur dessa bör utformas och placeras i förhållande till vandringshindret och vattenströmmen återfinns i Dahl (1991).

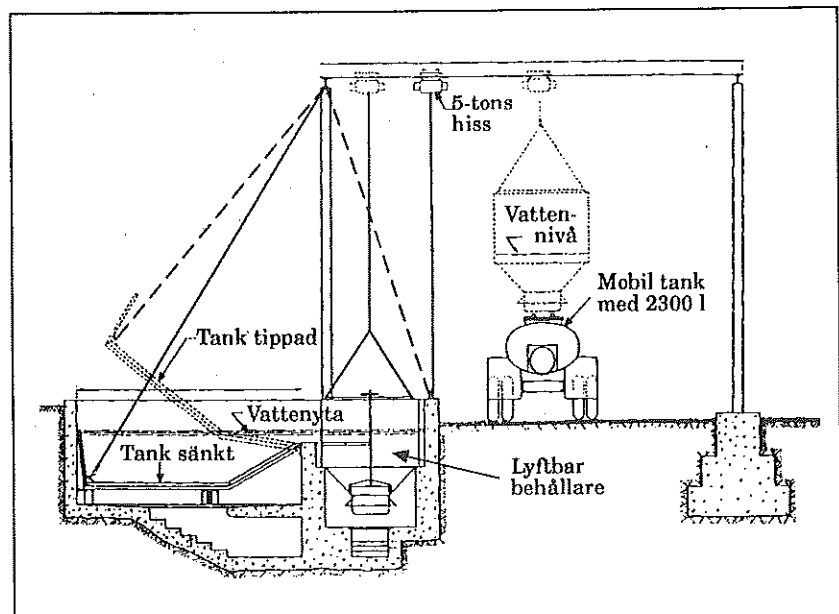
4.7 Slussar och hissar

Fiskslussar och fiskhissar är anordningar som medger mer eller mindre passiv passage för uppströmsvandrande fisk. Den funktionella skillnaden mellan de två typerna är att fiskhissar transporterar fisken förbi vandringshindret med någon form av mekanisk anordning, medan en fisksluss huvudsakligen fungerar efter samma princip som en sluss för fartyg (Clay 1961). Det bör påpekas att fiskslussar och fiskhissar i många fall anlagts som komplement eller direkt anslutits till andra typer av fiskvägar ämnade för uppströmsvandring. Under årens lopp har man i olika delar av världen utvecklat en mängd tekniska lösningar vad gäller såväl slussar som hissar. I detta avsnitt behandlas därför enbart de vanligaste typerna. För mera ingående infor-

mation hänvisas i första hand till Clay (1961), Bell (1986) och Pavlov (1989), men även Clay (1990) och Larinier (1990) diskuterar olika typer av slussar och hissar.

Gränsdragningen eller distinktionen mellan en fisksluss och en fiskhiss kan ibland vara något diffus. Pavlov (1989) skiljer exempelvis mellan fiskslussar, hydrauliska fiskhissar och mekaniska fiskhissar. Hydrauliska hissar lyfter fisken i en container eller behållare vilken flyter på den stigande vattenytan inne i "hissen", medan den mekaniska hissen drivs av mekaniska hissanordningar utan hjälp av vattnets lyftkraft. Clay (1961, 1990) ansluter sig i stort till denna indelning även om han ibland benämner hydrauliska hissar som "fish locks" och överlag definierar fiskhissar som "alla mekaniska sätt att transportera fisk förbi ett vandringshinder" vare sig detta sker med hissanordningar, lastbil (Figur 34), järnväg eller linbana (Clay 1961). Det är nog snarast terminologin som skapar lite förbistring. Samtliga författare som beskrivit dessa typer av fiskvägar tycks nämligen vara överens om att den hydrauliska fiskhissen intar en mellanställning mellan de mera renodlade ytterligheterna fisksluss och fiskhiss – oavsett vilka benämningar som används. Det bör i detta sammanhang omnämnas att man i dåvarande Sovjetunionen till och med utnyttjar speciella fartyg av pråmtyp för att skeppa fisk förbi vandringshinder (Pavlov 1989; Clay 1990). Fisken anlockas till pråmen ungefär

Figur 34. Principskiss av en hissanordning där fisk lyfts upp ur vattnet i en behållare för vidare transport med tankbil förbi vandringshindret (s k "trapping and trucking"). Förenklat går det till så att fisken lockas in i den tippbara tanken (vilken har en "otät" botten bestående av träspjälor). När tanken tippas tvingas fisken in i den lyftbara behållaren som i sin tur vinschas över till tankbilen där fisken töms i. (Efter Clay 1961, s 146.)



på samma sätt som vid andra typer av fiskvägar, t ex med hjälp av lockvatten (se Avsnitt 5.3.3). Själva transporten sker helt enkelt genom att pråmen seglar uppströms via fartygsslussar som anlagts på platsen. Eventuellt kan man betrakta pråmtransport av fisk som en form av mobil fisksluss.

Vilka definitioner eller benämningar man än föredrar så är huvuddragen i den tekniska utformningen av de delar som skall locka in och ansamla fisken ungefär likartad hos samtliga typer. Det måste alltid finnas en lockvattenström som får fisken att simma in i slussen eller hissen. Vidare måste ingången lokaliseras efter de principer som gäller för alla typer av fiskvägar (se Avsnitt 5.3.3). Dessutom finns i allmänhet någon form av anordning som förhindrar fisken att vända tillbaka nedströms när den väl simmat in. En

begränsande faktor hos alla typer av hissar och slussar är att de inte fungerar kontinuerligt som exempelvis kammarrappor, denilrännor eller slitsrännor, utan istället mera intermittert, dvs de följer en viss arbetscykel vars tid bestäms av konstruktionens tekniska utformning och storlek. Med en arbetscykel avses alla de arbetsmoment som inbegriper insläpp och upptransport av en grupp fiskar över hindret ifråga fram till dess att nästa grupp kan släppas in osv. I Tabell 6 kan man utläsa olika tider för en arbetscykel hos ett antal slussar (15 min till 4 tim), hydrauliska hissar (2 tim) och mekaniska hissar (30 min till 4 tim). För att undvika ansamlingar av fisk vid ingången och förseningar i vandringsmönstret är det således viktigt att slussar och hissar verkligen dimensioneras på grundval av det förväntade antalet vandrande fiskar.

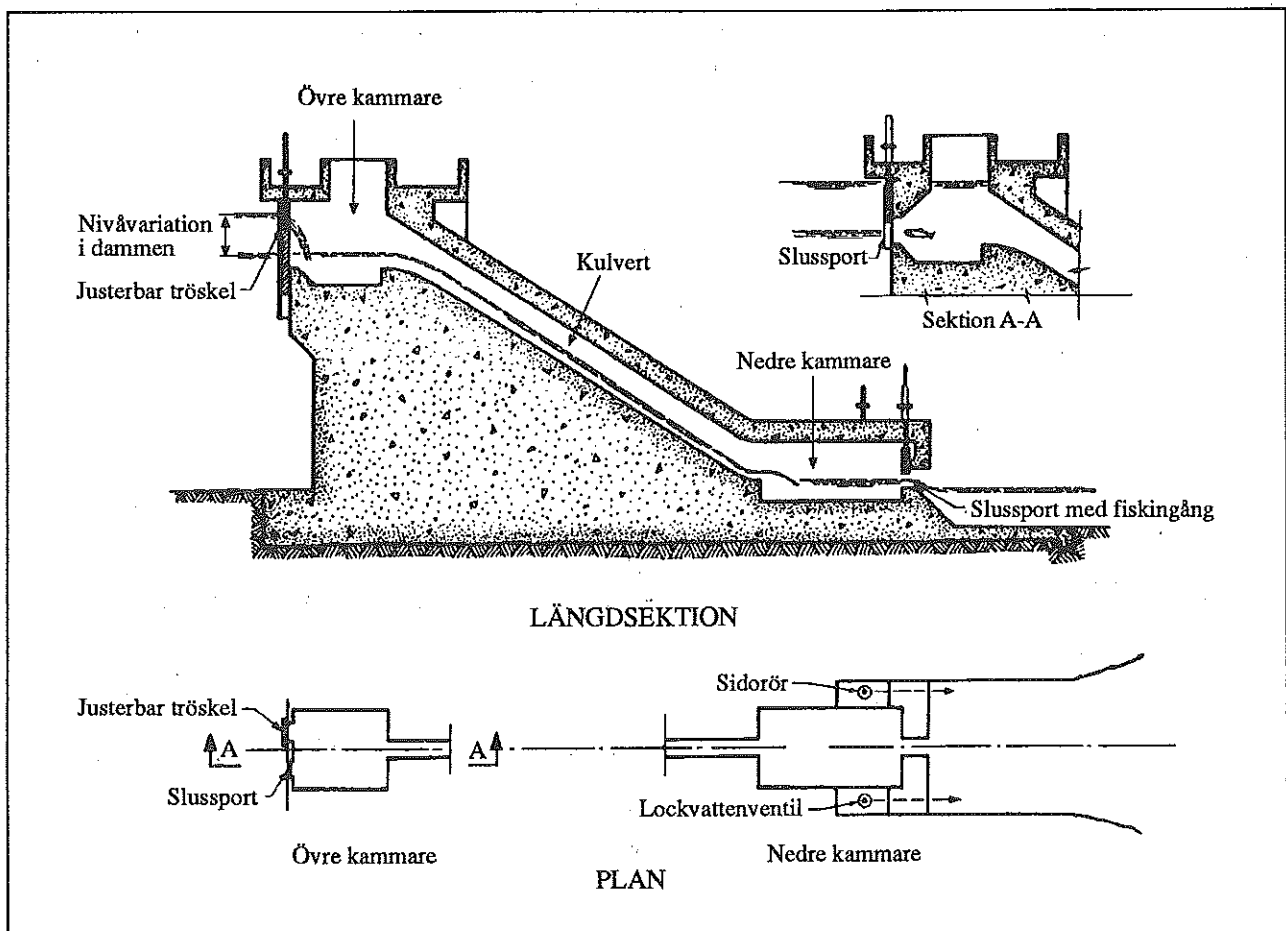
Tabell 6. Några fakta om de största fiskhissarna och fiskslussarna i dåvarande Sovjetunionen (modifierad efter Pavlov 1989, s 21).

Plats	Volgogradskiy	Tsimlyanskiy	Krasnodarskiy	Saratovskiy	Kochetovskiy	Federovskiy
Flod	Volga	Don	Kuban	Volga	Don	Kuban
Byggår	1961	1955	1975	1969	1969	1982
Fiskvägstyp	Fisksluss (hydraulisk)	Fisksluss (hydraulisk)	Fiskhiss	Fiskhiss	Fisksluss	Fisksluss
Nivåskillnad (m)	23	20	13-17	13-17	1-3	1-4
Lockvattenflöde (m/s)	0,8-1,2	0,8-1	0,6-1,4	0,8-1,4	0,6-2	0,8-1,8
Tid / arbetscykel (min)	120	120	90-240	30-180	15-180	120-240
Passerande fiskarter						
Braxenarter		X	X		X	X
Rysk stör	X	X	X	X	X	X
Stjärnstör	X		X	X	X	X
Donaulöja					X	X
Sill	X			X	X	X
Karp		X				X
Sik	X			X		
Husstör	X					
Mal		X				
Vimma			X		X	X
Fiskpassage (antal/år)	1 000 000	200 000	1 000 000	1 000 000	1 000 000	500 000

Funktionen hos en fisksluss följer som ovan nämnts samma princip som en sluss för fartyg. Fisken simmar in i slussens nedre del – antingen på samma nivå som lockvattnet eller via en kortare fiskväg – varefter en lucka stängs bakom den och vattennivån bringas stiga till den nivå som råder uppströms vandringshindret. Därpå öppnas slussens övre del så att fisken kan simma ut. Pavlov (1989) anger att fiskslussar kan användas för lyfta fisk förbi hinder av ungefär 10 m höjd, medan Clay (1961) anför exempel på slussar med en lyfthöjd uppemot 60 m.

Den vanligaste typen är enligt Clay (1990) den s k Borlandsslussen (Figur 35). Det första exemplaret byggdes 1949 i Liffey River på Irland (Clay 1961). Borlandsslussen består av en nedre kammare, en lutande kulvert och en övre kammare. Fisken lockas in i den nedre kammaren med hjälp av den vattenström som rinner från den övre kammaren, genom

den lutande kulverten och ut genom den nedre kammaren. Är denna vattenström för svag kan vatten tillföras via en extra lockvattenventil. Efter en viss fastställd tid eller när ett visst antal fiskar simmat in i den nedre kammaren, stängs en slussport bakom dem och vattennivån bringas stiga genom att den övre porten öppnas ytterligare lite mer. När hela slussen är fylld, dvs när vattennivån i den övre kammaren uppnått samma höjd som vattnet i dammen, tillåts fisken att simma ut. I detta moment öppnas ett sidorör eller sidoutskov i den nedre kammaren så att en svag motström skapas i den övre. Det är denna ström som får fisken att simma ut. Därefter stängs ånyo den övre porten en aning och hela systemet töms via sidoutskovet innan den nedre porten åter öppnas och en ny arbetscykel startar. Anledningen till att slussen töms via sidoutskovet innan den nedre porten öppnas är att man vill undvika alltför stark



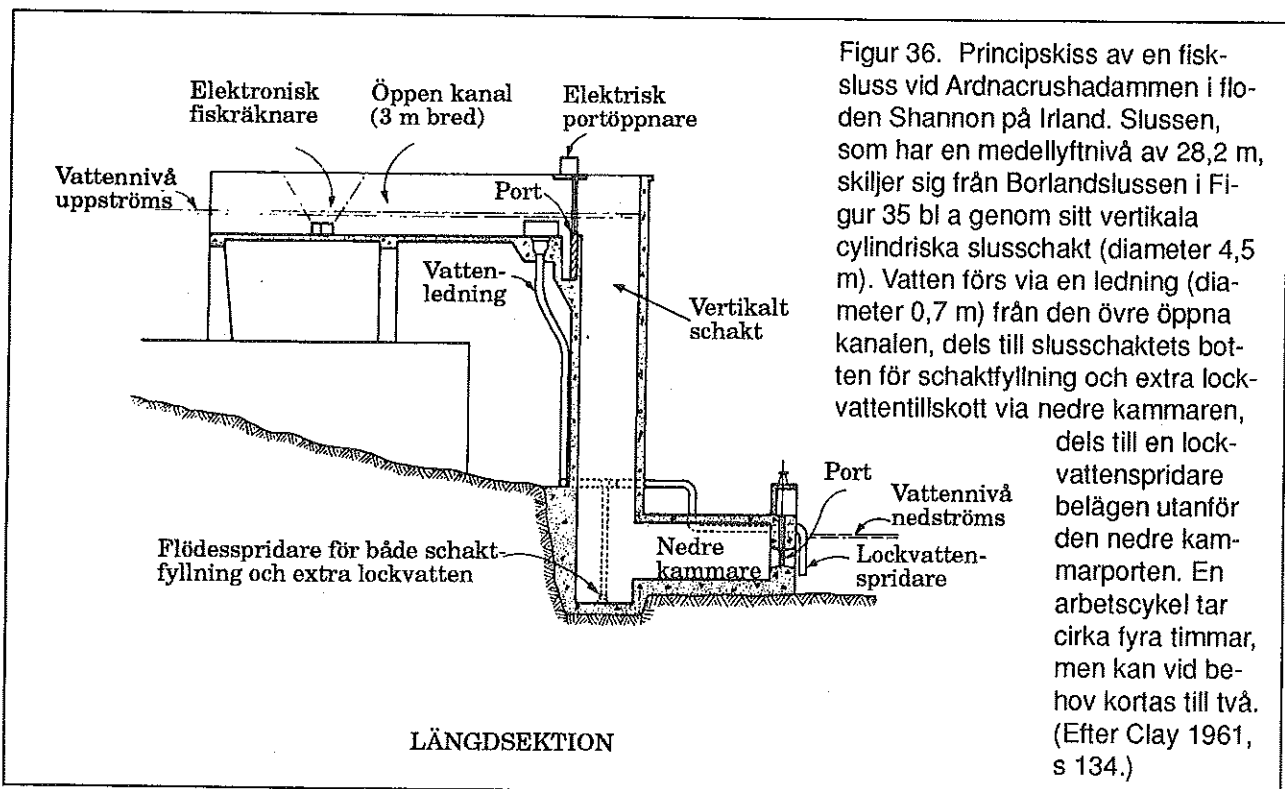
Figur 35. Förenklad skiss av en Borlandsluss. För närmare funktionsbeskrivning se huvudtext. (Efter Clay 1961, s 133.)

turbulens i den nedre kammarens ingång. En arbetscykel i den Borlandsluss som visas i Figur 35 tar ungefär en timme (Clay (1961). Clay anger vidare att en Borlandsluss kan lyfta åtminstone 500-1000 laxar ("salmon") per dag samt att denna slusstyp i många fall även används vid nedströmsvandring av såväl utlekta laxfiskar som smolt. Utvandrings-säsongen 1957 lär 13 943 smolt ha passerat genom en Borlandsluss i Skottland (op cit). Det har ofta hävdats att denna typ av sluss är relativt vattensnål. Enligt Clay (1961) kräver emellertid en typisk Borlandsluss drygt 700 l/s, vilket väl knappast är att anse som vattensnålt i detta sammanhang. Clay (1961) beskriver dessutom ett fall där fyra Borlandslussar placerades på samma plats (vid Orrin Dam i Skottland). I dammen, som var 60 m hög, fluktuerade vattennivån 21 m; slussarnas övre kammare placerades därför på olika höjder så att åtminstone en sluss skulle fungera oavsett vattennivån i dammen. En begränsande faktor för både slussar och hissar är som tidigare diskuterats arbetscykelns längd, men det finns ytterligare en nackdel med i första hand Borlandslussar. Ibland har det uppstått svårigheter att locka ut fisken ur den övre kammaren vilket medfört att kvar-

dröjande fisk spolats tillbaka ned genom den sluttande kulverten (Clay 1961). Fisken kan därvid er hålla skador genom nötning mot kulvertens väggar och/eller vid stötar mot väggar och slussport i den nedre kammaren (op cit). Problemet har till stor del avhjälpats genom att låta den lutande kulverten försätta en bit nedom botten i den nedre kammaren. På så vis skapas en "stötdämpande" vattenbädd i kulvertens nedre ände.

I Figurerna 36-39 visas ytterligare ett antal slusstyper. Figur 36 och 37 återger slussar med vertikala sluss-schakt. I Figur 38 visas en holländsk slussvariant som i utformning till stora delar liknar en sluss för fartyg. Vad som i huvudsak skiljer denna sluss från de ovan beskrivna är att den i hela sin längd är öppen upptill.

Slussar byggda i dåvarande Sovjetunionen har en något annorlunda utformning än europeiska och nordamerikanska slussar. För det första består de nästan alltid av en vertikal lyftkammare eller kulvert och för det andra är själva ingångskammaren i allmänhet försedd med ett speciellt galler eller en grind som både "föser in" och koncentrerar fisken i slussens ingångskammare (Pavlov 1989; Clay 1990). Huvudanledningen till denna anord-

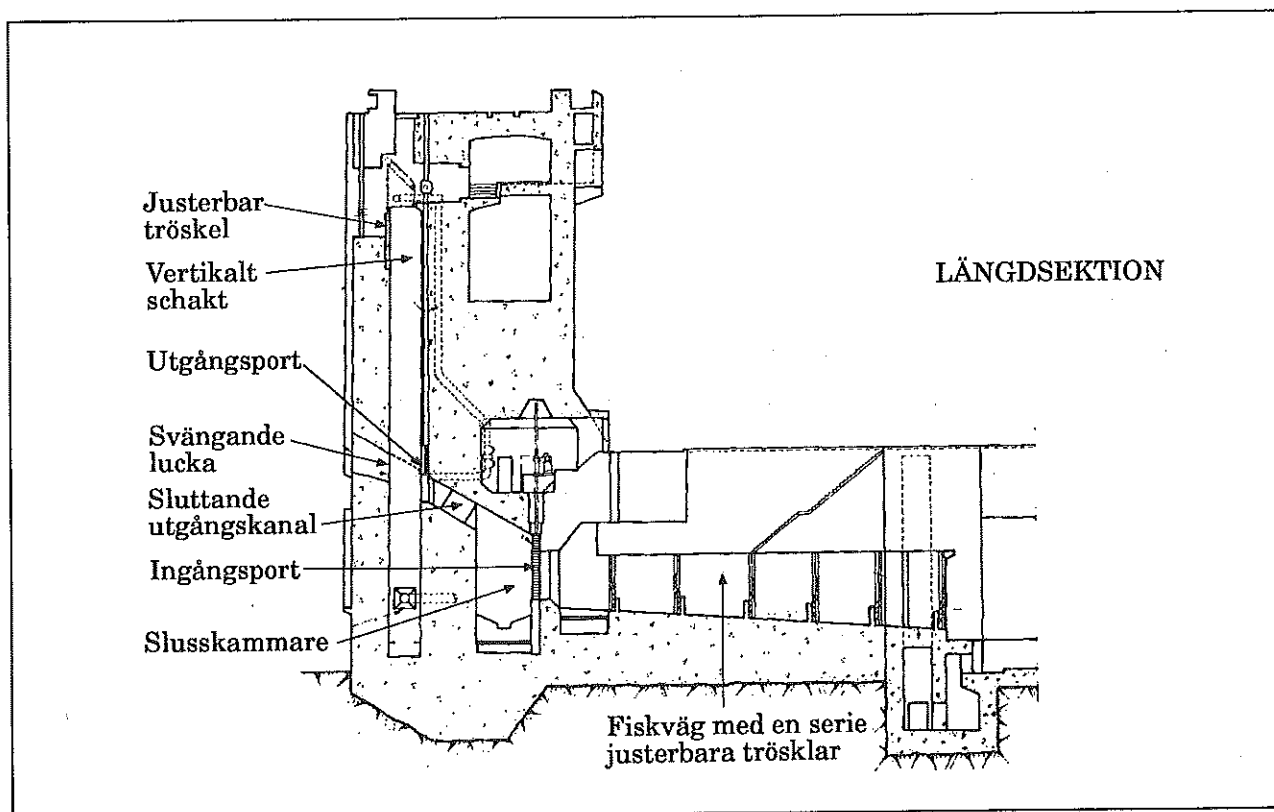


ning är att slussarna i många fall utformats i syfte att tjäna såväl vuxen lekvandrande fisk som ungfisk, av vilka de sistnämnda i allmänhet inte har lika stark drift att vandra uppströms (Clay 1990). I Figur 39 visas en sluss som anlagts i floden Don.

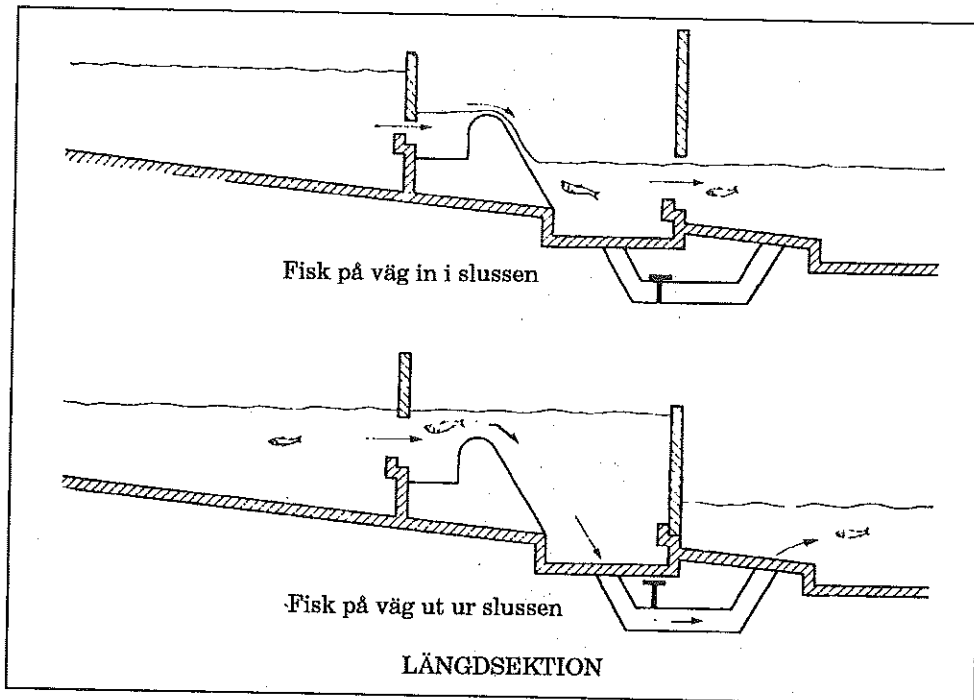
Powers et al. (1985) beskriver en annan typ av hydraulisk fiskhiss, kallad Warnerhissen. (En sprängskiss av denna hiss finns i Powers et al. 1985, s 22; bildkvaliteten medger dock ej tryckning.) Hissen som utvecklades 1977 installerades första gången 1981 vid Cariboo Dam i British Columbia. Warnerhissen består i princip av en vertikal eller lutande cylinder med en "halvflytande" nätbotten som följer den stigande/sjunkande vattenpeblaren i cylindern. Då nätbotten hela tiden befinner sig på samma avstånd från vattenytan utsätts inte fisken för några tryckför-

ändringar vid "lyftet". Powers et al. (1985) uppger att hissen har en kapacitet överstigande 2 000 fiskar per dag. En fördel med konstruktionen är att åtminstone två enheter kan kopplas till samma vattenförsörjningssystem samt att hissen visat sig fungera mycket bra även för nedströmsvandrande smolt. Enligt Powers et al. (1985) meddelade J Warner 1985 att hissen vid Cariboo Dam i detta avseende fungerade "till 100%".

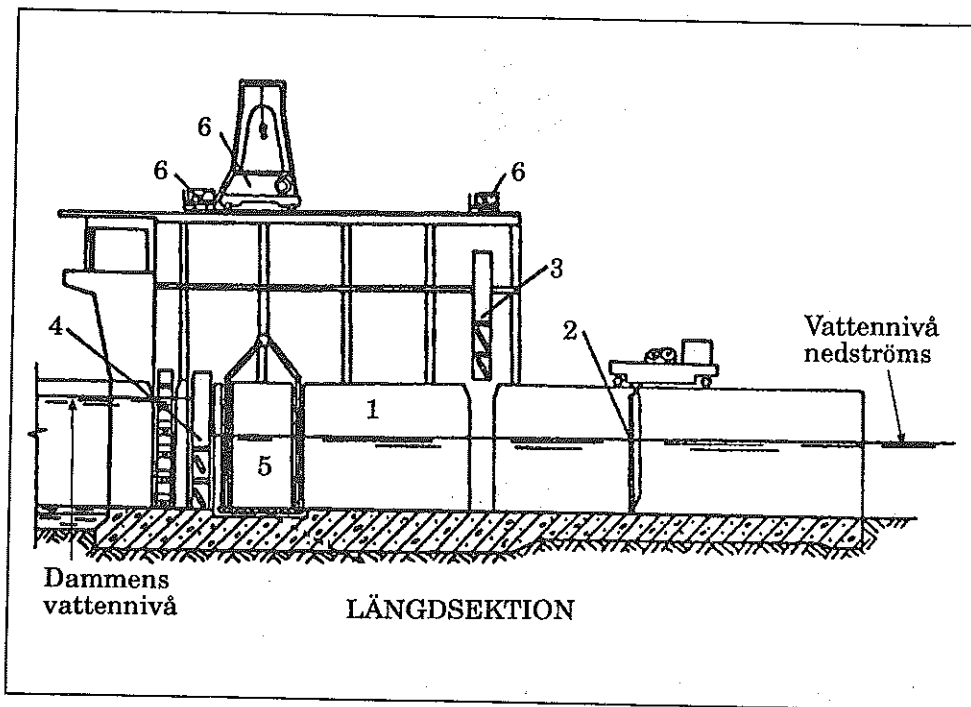
Inom fiskväglitteraturen råder det lite delade meningar om fiskslussars och fiskhissars funktionella effektivitet. Vissa författare menar att dylika anordningar fungerar tillfredsställande medan andra ställer sig mera tveksamma. Man har exempelvis anfört att effektiviteten begränsas av de intermittenta driftsegenskaperna och den relativt komplicerade mekaniken som ofta krånglar (Moffitt et



Figur 37. Schematisk skiss av en experimentsluss för fisk vid McNary-dammen i Nordamerika. Slussen är utformad med två alternativa passager förbi hindret – en där fisken når dammen på stort vattendjup och en där den når dammens ytvatten. Fisken leds in i slusskammaren via en kort kammartrappa med justerbara trösklar. När tillräckligt antal fiskar har ansamlats i slusskammaren stängs ingångsporten och kammaren fylls med vatten. Därpå öppnas utgångsporten och fisken tillåts simma ut genom den sluttande kanalen. Fisken "lockas ut" genom att en bottenventil (ej avbildad) öppnas i slusskammaren så att en motström genereras i kanalen. Beroende på den svängande luckans läge kan fisken nu antingen simma direkt ut i dammen via kanalens förlängning, eller gå upp till ytvattnet genom det vertikala schaktet. (Efter Clay 1961, s 142.)



Figur 38. Bilderna visar schematiskt funktionen hos en fisksluss från Holland (efter Clay 1961, s 137; ursprungligen efter Deelder 1958).



Figur 39. Schematisk bild av en fisksluss vid Kochetovskiydammen i floden Don. Fisken "föses" in i slusskammaren (1) med hjälp av den rörliga grinden (2). Därefter sänks den nedre slussporten (3) och vattennivån i kammaren höjs till dammens vattennivå. Den övre slussporten (4) öppnas och fisken kan simma ut. I slusskammaren finns även en fisklyft (5) som kan användas om man vill ta upp fisk för vägning, märkning etc. (6) är motorer för styrning av slussportar och fisklyft. Denna slusstyp finns på åtminstone ytterligare två platser i det forna Sovjetunionen. (Efter Pavlov 1989, s 18.)

al. 1982; Bell 1984; Orsborn 1987; Katopodis pers medd; Salmela pers medd). I Finland har man haft dåliga erfarenheter av de fiskhissar som byggdes i samband med vattenkraftutbyggnad i början av seklet. Endast ett fåtal fiskar rapporterades utnyttja hissarna (Laine et al. 1993). Den sannolikt enda idag fungerande fiskhissen i Finland byggdes 1942 vid Vaajakoski kraftstation mellan sjöarna Päijänne och Leppävesi (Kamula pers medd). I dåvarande Sovjetunionen, där huvudparten av fiskvägarna utgörs av hissar och slussar, tycks de emellertid fungera bra (Pavlov 1989). I Tabell 6 redovisas de största och mest effektiva fiskvägarna av denna typ i Sovjetunionen; vissa av dem har en imponerande kapacitet vad gäller fisktransport. Likaså tycks ju den ovan beskrivna Warnerhissen fungera för såväl uppströms- som nedströmsvandrande fisk. Larinier (1990) uppger att man i Frankrike byggt åtta fiskhissar under de tio senaste åren. Dessa hissar kan indelas i två klasser, dels de som byggts för att säkerställa uppströmsvandring för ett begränsat antal fiskar (ca 1 000-2 000 individer), dels de som dimensionerats för 100 000-tals individer. I en av de största hissarna lyftes under ett dygn mer än 4 500 fiskar (Travade 1990).

Clay (1961) jämför för- och nackdelar med slussar och hissar. Han skriver bl a att kapaciteten vid uppströmsvandring är ungefär lika mellan de två typerna, men att endast fiskslussar kan utnyttjas av nedströmsvandrande ungfisk. Vidare menar Clay: (1) att anläggningskostnaden är i samma storleksordning inom höjdintervallet 18-60 m, (2) att slussar är billigare att bygga om fallhöjden understiger 18 m och (3) att hissar troligen är billigare om fallhöjden överstiger 60 m. Driftskostnaden är däremot avsevärt lägre för slussar. Slutligen påtalar han att det för båda typerna föreligger en viss risk för både stress och försenad uppvandring (risken är i detta hänseende något större för slussar).

4.8 Smoltrännor och fiskspärrar

Vid vattenintag för kraftproduktion, bevattning, dricksvatten, industriellt process- eller kylvatten kan det finnas behov av skyddsanordningar som hindrar fisk från att sugas in i

systemet. Här avhandlas endast fiskspärrar och fiskledare placerade i vattendrag vid vattenkraftverk eller dammar. Behovet av fiskspärrar kan gälla både nedströms- och uppströmsvandrande fisk medan behovet av fiskledare främst avser nedströmsvandring.

Vid vattenintag för kraftproduktion är risken för skador med eller utan dödlig utgång till stor del beroende av turbintypen. Montén (1985) skiljer vad funktionen beträffar mellan två huvudtyper: (1) fristråle- eller aktionsturbiner, i vilka fallhöjden omsätts till hastighet i en fri stråle som riktas mot löphjulet och (2) reaktionsturbiner, i vilka en mindre del av fallhöjden omsätts till hastighet medan resten utgör tryckenergi som avges till löphjulet. Peltonturbinen tillhör kategorin fristråleturbiner, medan både Francis- och Kaplanturbiner är reaktionsturbiner. Francisturbinen har fasta skovelblad medan Kaplanturbinen är en propellerturbin med rörliga blad.

Fallhöjdens storlek har störst betydelse vid val av turbintyp. Peltonturbinen lämpar sig för höga fallhöjder (300-2 000 m). Francis-turbinerna begagnas i registret (40-700 m) medan Kaplanturbinerna används från de lägsta fallhöjderna upp till 50 m (70 m) (Montén 1985). Kaplanturbinerna utnyttjas dock sällan när fallhöjden överstiger 30 m (Ruggles & Palmeter 1989). Vid kraftproduktionen i svenska vattendrag används nästan enbart turbiner av reaktionstyp (Francis eller Kaplan).

Antalet blad i en Francisturbin varierar enligt Montén (1985) från 10 till 20 (vanligast 15) beroende på fallhöjden. Propellerturbiner av Kaplantyp har vanligtvis endast 4-8 blad varför mellanrummet mellan bladen är större än i en Francisturbin. Risken för fiskskador är därför större i Francisturbiner än i propellerturbiner. Överhuvud taget föreligger en ökad risk för fiskskador när bladmellanrummet är litet i förhållande till fiskens storlek (op cit). Skadefrekvensen och därmed dödligheten hos passerande fisk beror också på en rad andra faktorer, t ex fallhöjd, vattenhastighet, vattentemperatur, turbininställning, turbineffektivitet, turbulens, tryck och kavitation (Montén 1955, 1985). Med kavitation avses här den energiavgivning som uppstår när små ångbubblor, bildade på grund av

tryckförändringar i vattenmassan, kollapsar. Avgörande för fiskdödligheten vid turbinpassage är enligt Montén (1985) vattnets turbulens och sannolikheten för kollision mellan fisk och turbinblad. På senare år har dock kavitationen tillskrivits allt större betydelse (Mills 1989). Risken för kavitation är störst när fallhöjd och belastning är antingen över eller under turbinens optimala verkningsgrad. I allmänhet är både turbulens och kavitation lägst när turbinen arbetar vid en belastning som ger maximal verkningsgrad vilket medför att fiskdödligheten då också är lägst (Montén 1985).

Risken för skador och dödlighet beror även på fiskart, kroppsform och storlek. Med tilltagande storlek ökar vanligen risken för skador. Genom sin anpassning till strömmen vatten uppvisar i regel både lax och öring en lägre dödlighet vid turbinpassage än övriga fiskarter (Montén 1985; Ruggles & Palmer 1989). Eftersom skadefrekvens och fiskdödlighet är kopplad till så många olika faktorer varierar de också kraftigt från fall till fall. Beroende på turbin typ, fiskart, fiskstorlek och lokala förhållanden kan dödligheten variera från 5% till 100% (Montén 1985). Förutom att Kaplanturbinerna ger en lägre kollisionsrisk mellan fisk och turbinblad fungerar de även effektivt i ett bredare belastningsintervall än Francisturbiner vilket sammantaget ger betydligt lägre fiskdödlighet. Enligt Ruggles (1980) är den genomsnittliga dödligheten hos lax- och havsöringsmolt endast ca 10-20% vid passage genom Kaplanturbiner medan passage genom Francisturbiner ofta ger en dödlighet mellan 50% och 70%. För ytterligare uppgifter om fiskförluster i olika typer av turbiner med hänsyn till fiskart, fiskstorlek etc hänvisas till Lindroth (1941), Berg (1987) och Montén (1985).

Behovet av fiskspärrar och fiskledare vid vattenkraftverk förknippas oftast med risken för att utvandrande fisk skall förolyckas vid passagen genom turbinerna. Även om alla typer av fisk, åldersstadier och fiskstorlekar löper risk att sugas in i ett vattenkraftverk är det ofta ungstadier av nedströmsvandrande laxfisk (smolt) man vill skydda. Dessa fiskar har i denna levnadsfas ett beteende som innebär att de söker sig nedströms med huvudströmmen företrädesvis i ytvattnet (Stuart

1962; Bell 1986). Om huvudflödet går genom kraftverket finns risk för att en del av smolten förolyckas vid passagen. En metod att motverka sådana situationer är att bygga någon form av skyddsbarriär och/eller fiskledare i kombination med sidopassager ("bypasses") förbi ett kraftverk.

Utvandrande ål är en annan fisk som riskerar att skadas eller förolyckas i turbiner. Enligt Larsson (1992) är detta problem på intet sätt nytt. Tidigare fanns många gånger föreskrifter om fingrindar vid intagen till kraftstationerna. Eftersom grindarna hindrade vattenflödet är skyldigheten numera i allmänhet borttagen. Kraftstationsägaren betalar istället en ekonomisk ersättning för den skada som uppstår främst beroende på att några bra alternativ för förbiledning av fisken hittills saknats. Från naturvårdssynpunkt är detta naturligtvis inte en tillfredsställande lösning.

Fiskspärrar och fiskledare utnyttjas även för att styra eller leda uppvandrande fisk till en viss plats. Ett användningsområde kan exempelvis vara att hindra uppvandrande laxfisk från att gå upp i utloppskanalen från en kraftstation och istället söka sig upp via en fiskväg.

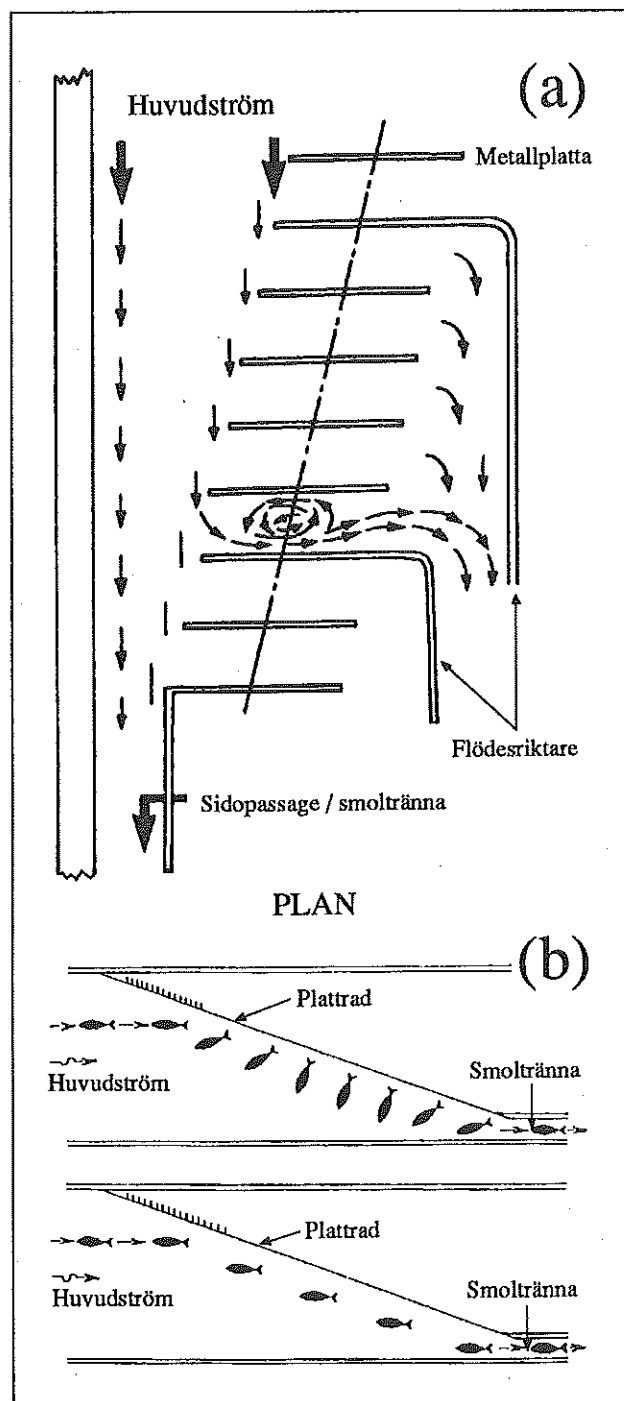
De flesta erfarenheterna av fiskspärrar och fiskledare finns från USA och Canada. I en slutrapport från EPRI (Electric Power Research Institute 1986) redovisas och beskrivs fyra grupper av fiskspärrar och fiskledare klassificerade efter funktionssätt.

Till den första gruppen, beteendepåverkande spärrar ("behavioral barriers"), som tar fasta på att förändra eller utnyttja det naturliga beteendemönstret för att locka eller skrämna fisk räknas bl a el-, ljud- och ljusspärrar. Fiskspärrar som styrs av ljud, ljus eller luftbubblor har tidigare inte ansetts särskilt effektiva. Senare års forskning visar dock att metoderna utvecklats och att effektiviteten hos denna typ av spärrar ökat (Larsson 1992). Också från Europa finns ett antal studier som kan hänföras till beteendepåverkande spärrar. Försök från Norge med infraljud har visat sig effektiva på utvandrande laxsmolt (Sand 1992). Från Nederländerna finns exempel där man med hjälp av ljusramper kunnat minska skadorna på utvandrande blankål med över 60 procent (Haddinger et al. 1991).

Den andra gruppen består av fysiska spärrar ("physical barriers") vars syfte är att mekaniskt helt förhindra passage. Som exempel kan nämnas olika former av galler eller grindar. Till den tredje gruppen spärrar/ledare ("collection systems") räknas olika former av fiskhissar och fiskpumpar.

Den fjärde gruppen har klassificerats som mekaniska fiskavledare eller fiskledare ("fish diversion systems"). Den vanligaste typen är olika former av nät eller galler, såväl rörliga som fasta, som förhindrar fisken att nå kraftverksintaget och som leder fisken till smolt-rännor på ömse sidor om intaget (Bell 1986; Mills 1989). Denna fiskledare har dock nackdelen att den sätter igen och kräver därför någon form av rensning. Det har ibland diskuterats för och nackdelar med mekaniska fiskspärrar som är helt ogenomträngliga för fisk. Förutom problemen med minskad vattengenomsläpplighet så har försök också visat att smolt som inte snabbt hittar en passage förbi spärren om och om igen kommer att försöka finna en lämplig väg ut. Detta kan så småningom leda till utmattning, eventuellt med dödlig utgång (Clay 1961).

En annan typ av fiskledare som har fungerat betydligt bättre är sk louvers (Ritchey 1956; Bates & Vinsonhaler 1957; Ruggles & Ryan 1964; Ducharme 1972; Bell 1986). Denna fiskledare består av en persiennlik rad vertikala stålplattor som placerats med den breda sidan vinkelrätt mot strömmen från ytan till botten och diagonalt över vattendraget nedströms till en smolt-ränna (Figur 40). Stålplattornas bredd varierar mellan 5 och 10 cm och har ett mellanrum av 5-30 cm (Ducharme 1972). Plattorna ger upphov till störningar eller vibrationer som fisken uppfattar och försöker undvika genom att simma bort från plattorna tvärs huvudströmmen i vattendraget (Ritchey 1956). Detta resulterar i en förflyttning längsmed louver-systemet fram till smolt-rännan och vidare förbi kraftverket (Figur 40). Louver-system kan utformas på många sätt, t ex i flera diagonala rader efter varandra med var sin smolt-ränna eller som ett V där "öppningen" är riktad uppströms och en smolt-ränna placerad nedströms i "spetsen". I långa plattrader kan det bli nödvändigt att ansluta flera smolt-rännor eftersom mindre fiskar kan ha svårt att bibe-



Figur 40. Bild (a) visar schematiskt vattenströmningen i ett louver-system med sk flödesriktare. Flödesriktarna styr endast vattenströmmen i önskad riktning "på andra sidan" plattraden. De är således ej nödvändiga för systemets funktion. Bild (b) visar schematiskt hur en fisk uppträder i ett louver-system. När den känner störningen från systemet försöker den simma bort från plattorna. Summan av simriktningen och huvudströmmens riktning ger en förflyttning längs med raden av plattor, med stjärten före, till smolt-rännan. [Bild (a) är efter Bell 1986, s 187, medan (b) är modifierad efter Larinier & Miralles 1980, s 15.]

hålla sin position igenom hela systemet (Bates & Vinsonhaler 1957). Viktiga faktorer att ta hänsyn till vid projektering av louvers är bl a vattendjup, huvudströmmens vattenhastighet och flöde samt simförmågan hos aktuella fiskarter. I Bates & Vinsonhaler (1957), Ruggles & Ryan (1964) och Ducharme (1972) beskrivs ingående projektering av louver-system.

En av fördelarna med louvers är att fisken aldrig kommer i fysisk kontakt med plattorna (op cit). Avledningseffektiviteten kan i vissa fall uppgå till 90% (Mills 1989), men vanligare är storleksordningen 50-80% (Ruggles & Ryan 1964; Ducharme 1972). Vid varierande flödesförhållanden eller när risken är stor för ackumulation av material framför metallpersiennen fungerar denna typ av fiskledare sämre (Bell 1986). Louvers rekommenderas inte heller på platser som kräver fullständig avstängning av ett vattendrag. En lösning kan vara att låta fiskledaren täcka enbart en del av vattenmassans översta två meter. I allmänhet vandrar både lax- och öringsmolt nedströms i ytvattnet (översta metern) och under dagtid ofta längs skuggade strandpartier (op cit).

Hur effektiv en fiskspärr än är, fyller den ingen egentlig funktion om inte en lämplig sidopassage finns i omedelbar anslutning. Bland de viktigaste faktorerna vid byggande av sidopassager är vattenhastighet, flöde och placeringen av själva sidopassagen (Clay 1961). En sidopassage för smolt kan antingen utformas som ett enkelt överfall eller som en lutande ränna (smolträna) med ett förhållandevis stort flöde (Clay 1961). Byggs ett överfall bör fallhöjden enligt Clay uppgå till

minst 45 cm eftersom inte ens de största smolt då förmår hoppa tillbaka uppströms. Byggs däremot en ränna, bör vattenhastigheten öka likformigt nedåt i rännan, men accelerationen skall ej överstiga 0,1 m/s per längdmeter ränna (Brett & Alderdice 1958). Den gradvisa accelerationen eliminerar plötsliga variationer i strömbilden vilket minskar risken för att fisk skräms bort från ingången (Clay 1961). Vidare kan smolten i rännor med omväxlande turbulenta och lugna vattenområden finna platser för vila, vilket kan medföra att de åter får kraft att simma uppströms – en situation som man helst vill undvika (Clay 1961). Brett & Alderdice (1958) rekommenderar dock att vattenhastigheten ej bör överstiga 1,5 m/s om rännan är ämnad för laxsmolt. Om rännan är tänkt att utnyttjas för utpräglade stimfiskar bör den dessutom vara ganska vid.

I princip gäller, enligt Clay (1961), att ju större del av den totala vattenmängden som avleds till rännan desto effektivare fungerar den. Om mer än 1,4 m³/s avledes till en ränna behöver dock sannolikt inte rännans flöde utgöra mer än en procent av totalflödet på platsen. Om endast en mindre del av vattendragets flöde passerar turbinerna kan vattendraget i sig själv fungera som sidopassage. Clay framhåller vidare att sidopassagen/smolt-rännans ingång skall vara belägen så nära som möjligt det område där fisken ansamlas vid skyddsbarriären.

Avslutningsvis bör påpekas att de naturligt utformade omloppskanaler, som behandlas i Avsnitt 4.5, i många fall även kan fungera som fiskvägar för nedströmsvandrande smolt.

5 ASPEKTER PÅ FISKVÄGSPROJEKTERING

Fiskvägsprojektering kräver goda insikter i såväl teknik som biologi. Clay (1990) skriver: *Troughout a long career in fisheries engineering it has been demonstrated time and again to the writer that the best approach to research and development in this field is for the engineer and biologist to work as a team.*

Det skall alltid finnas ett klart definierat huvudsyfte med en fiskvägsbyggnation (Clay 1961). Redan på planeringsstadiet är det viktigt att klargöra vad man från fiskeribiologisk synpunkt vinner på att anlägga en fiskväg utöver redan befintliga förhållanden. Man bör undersöka vilka fiskarter som skall utnyttja fiskvägen samt uppskatta antalet vandrande fiskar, deras storlek och syfte med vandringen. Fiskarternas temporala vandringmönster, såväl på dygns- som årstidsbasis, bör kartläggas. Har fiskvägen som mål att möjliggöra uppströmsvandring för lek bör följande övervägas: hur stora är de befintliga och potentiella arealerna för lek och uppväxt? Finns risk för konkurrens med stationära fiskpopulationer? Kan ungstadiers nedströmsvandring säkerställas med avseende på predation, turbinförluster etc? Är vattenkvaliteten acceptabel i de områden som görs tillgängliga? Föreligger risk för konflikt med andra intressen eller verksamheter i aktuellt vattendrag, t ex kommunikationer, industriell verksamhet, naturresurser, annan naturvård m m? Framtida äganderätt, drift och underhåll bör tidigt utredas. Uppföljningsprogram innehållande såväl funktionsstudier som kontroller av huruvida målsättningar uppnås skall upprättas. Först när denna typ av frågeställningar har besvarats kan man börja studera de faktorer som avgör hur fiskvägen bör utformas (typ, konstruktion, dimensionering, placering) för att fungera optimalt till lägsta kostnad. Fiskvägens utformning sammanställs i en teknisk rapport innehållande ritningar och skattade kostnader. En lämplig tid för byggnation bör väljas, med hänsyn till vattenföring och påverkan på biota. I Sverige

bör helst anläggningsarbetena utföras vid lågvatten vintertid eller under sensommaren.

Slutligen skall påpekas att all fiskvägsprojektering bör ske med en god portion sunt förnuft. Stuart (1962) skriver att man skall undvika uppfinningar eller koncept som ger upphov till onaturliga hydrauliska förhållanden då fisk i första hand är anpassade till de naturliga flödes- och strömningsmönster som återfinns i orörda vattendrag.

5.1 Biologiska aspekter

De biologiska aspekterna är bl a väsentliga för fiskvägars dimensionering och utformning. Huvuddelen av de frågor som behandlar fiskvägsprojektering har emellertid på ett eller annat sätt fiskeribiologisk anknytning varför sådana aspekter återkommer i Avsnitt 5.2-5.4. Vid planering och byggnation av fiskvägar bör man komma ihåg att de flesta biologiska data är till hjälp, även om de vid ett första påseende verkar vara av mindre värde. Clay (1961) skriver: *...any biological data, even though not exact or complete, is of value to the engineer in arriving at the best design of fishways.*

Redan vid planläggningen måste man vara klar över vilken eller vilka arter/grupper av fiskar som skall utnyttja anläggningen samt vilka "krav" dessa ställer på en vandringväg. Vid byggnation av vandringvägar för havslax får man räkna med att det tar minst två laxgenerationer att uppnå full produktion inom ett område (Berg 1964). Dessutom måste man veta huruvida fiskvägen skall användas av adult fisk eller ungstadier samt om det är fråga om upp- eller nedströmsvandring, eller kanske bådadera. Rör det sig exempelvis om uppströmslekande öring skall vuxna fiskar i första hand kunna vandra upp och smolt vandra ned. Är det däremot fråga om nedströmslek skall vuxna lekfiskar beredas möjlighet att vandra såväl nedströms som uppströms och dessutom smolt kunna vandra uppströms. I vissa fall krävs därför

olika typer av fiskvägar på samma lokal. De aktuella arternas simförmåga och ekologi är av central betydelse och då bl a vandringsbeteendet som i hög grad bestämmer vilka tider på året fiskvägen skall vara i funktion. Som tidigare nämnts (Avsnitt 2.1) kan man förutom renodlade lekvandringar urskilja födosöksvandringar, vandringar till övervintringsplatser och vandringar till områden med lämpliga temperatur- eller strömförhållanden. Om fiskvägen inte enbart skall användas av lekvandrare måste den fungera för i princip alla förekommande fiskarter i vattendraget samt för de flesta ålderskategorier (Katopodis 1977). För ej lekvandrande fisk behöver en viss försening vid en fiskväg inte innebära allvarlig stress eller omfattande fara för fiskbeståndets fortlevnad. Man kan således tolerera längre förseningar vid fiskvandring genom fiskvägar som enbart byggts för ej lekvandrande arter (op cit). Då en fiskarts vandringsmönster kan variera mellan såväl närliggande vattendrag som på mera storskalig regional basis, måste alltid hänsyn tas till lokala förhållanden. Om dessa mönster är okända eller om man förväntar sig ett omfattande nyttjande av fiskvägen, kan det finnas skäl att genomföra märkningsförsök för fastställande av de mest frekventa vandringsperioderna samt en skattning av antalet vandrare individer.

Det bör påpekas att en fisk nästan alltid tvekar innan den första gången simmar in i en fiskväg (Laine 1990a). Å andra sidan visar flera undersökningar att ju längre upp i fiskvägen den simmar, desto snabbare och lättare sker passagen (Collins & Elling 1960; Connor et al. 1964; Dominy 1973; Laine 1990a). Detta hänger delvis samman med att fisken lär sig hur den aktuella fiskvägen "fungerar" (McLeod & Nemenyi 1940; Laine 1990a). Laine (1990a) kunde i ett försök i en fiskväg med vertikala slitsar visa att öring alltid simmade snabbare genom den övre delen av fiskvägen än genom den nedre, trots att flödesmönster och andra hydrauliska faktorer var desamma i alla poolerna (Laine skriver: "...it is obvious that the fish learned to climb."). Laine påvisade vidare att siklöja och sik ofta simmade fram och tillbaka i de nedre poolerna. Öring uppvisade ett liknande beteende.

Grundläggande undersökningar av fiskars beteende i fiskvägar samt deras förmåga att passera fiskvägar saknas dock för flertalet arter (Katopodis 1990). De starkt vandringsbenägna laxfiskarna är emellertid bättre undersökta än andra fiskgrupper och fiskvägar ämnade för dessa arter har i allmänhet varit mer lyckosamma. Fiskvägar för andra grupper av fiskar och juveniler är däremot förhållandevis nya företeelser och följaktligen inte så väl dokumenterade (Katopodis 1990). De i litteraturen förekommande uppgifterna baseras i hög grad på fältobservationer.

Undersökningar i Canada visar att samtliga fiskvägstyper för uppströmsvandring som behandlas i Avsnitt 4 – fiskvägar för uppströmsvandrande ålyngel undantaget – fungerar för alla lekvandrande anadroma laxfiskar på den nordamerikanska kontinenten, men att kammarrappor av överfalls- och underströmningstyp fungerar mindre bra för fiskarter som inte gärna hoppar över hinder respektive simmar genom undervattensöppningar (Katopodis 1992). Vidare visar nordamerikanska studier att en fiskvägstyp sällan fungerar optimalt för alla förekommande fiskarter i ett vattendrag (Schwalme et al. 1985; Slatick & Basham 1985). Denirännor kan exempelvis användas i syfte att förhindra vissa fiskarter att passera till förmån för laxfiskar (se Avsnitt 4.2). En kombination av olika fiskvägstyper är förmodligen att föredra om flera arter skall ges möjlighet att passera (Schwalme et al. 1985).

5.2 Klimatologiska, hydrologiska och geologiska aspekter

Vid planläggning av en fiskväg är det en fördel om det aktuella vattendragets sk regim är känd (glacial regim, nival regim, atlantisk regn- och snöregim etc; Lassila 1972). Regimen visar i stora drag hur vattenföringen varierar under året, t ex om det normalt förekommer en eller två flödestoppar. Vidare är det angeläget att undersöka om det under året föreligger risk för drivis eller omfattande isbildning i fiskvägen (Anon. 1990). I vårt tempererade klimat sätter dessutom vattentemperaturen i sig gränser för den tid en fiskväg kan utnyttjas. I Norge simmar enligt Grande (1990) inte laxfiskar genom en fiskväg

om temperaturen understiger 6-7 °C. I en fiskväg vid Hunderfossen i den norska älven Gudbrandsdalslågen var uppvandringen av öring störst vid 12-14 °C, men också vid 7-10 °C gick det upp fisk, om än i mindre omfattning (Jensen & Aass 1991). Vidare har man i Norge konstaterat att öring utnyttjar fiskvägar vid lägre vattentemperaturer än lax (Grande 1990). Menzies (1939) rapporterade att uppvandrande lax i de skotska älvarna Tay och Spey ej klarade av att passera vandringshinder om vattentemperaturen understeg 5,5 °C. Liknande observationer har gjorts av Pyefinch (1955) och Jackson & Howie (1967).

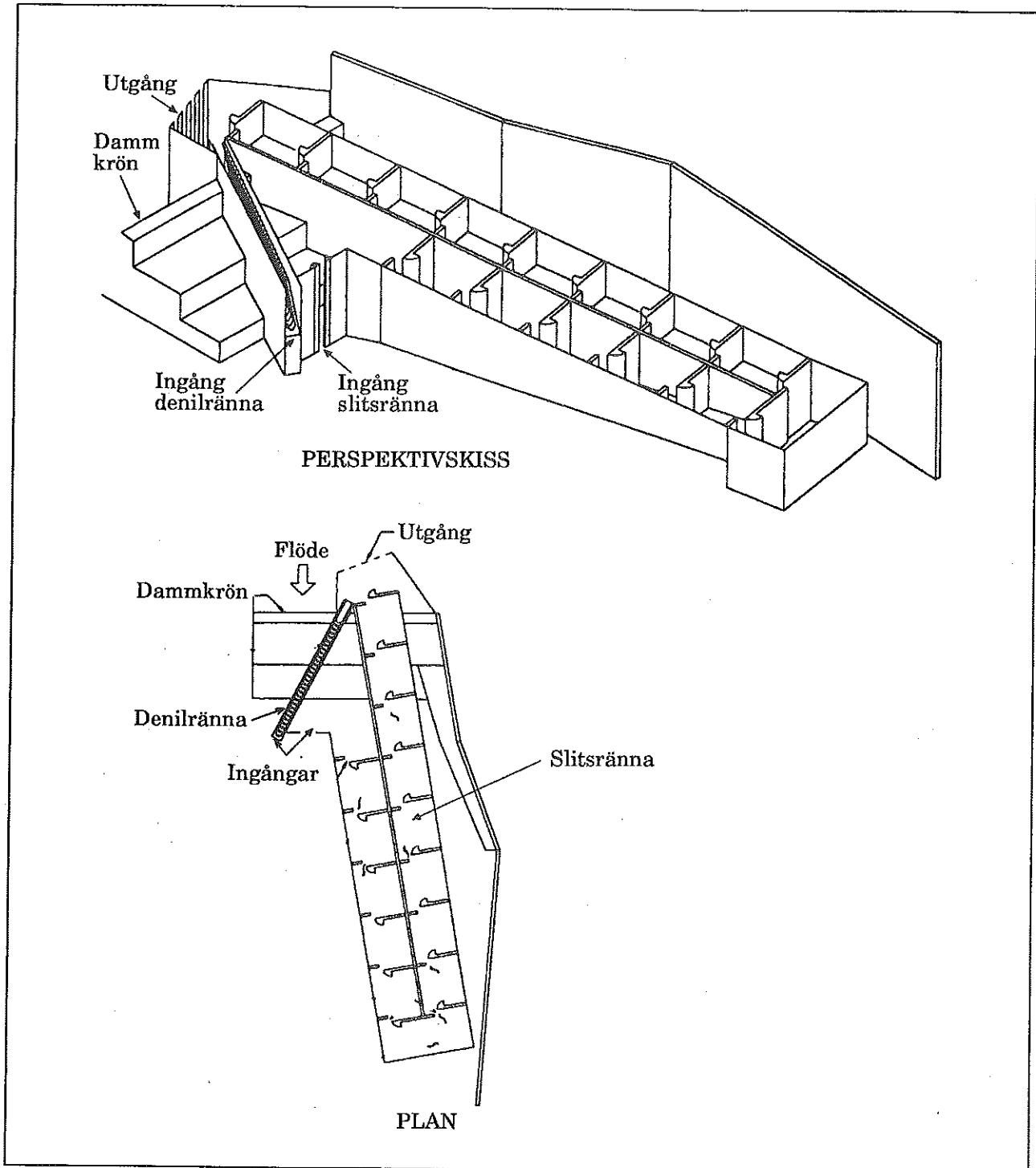
Oavsett om en fiskväg skall anläggas vid ett naturligt vattenfall eller en damm skall byggnationen föregås av noggranna vattennivåmätningar såväl uppströms som nedströms vandringshindret – företrädesvis under den period då man förväntar sig att fisken vandrar (Clay 1961; Larinier 1990; Katopodis 1992). Det är framför allt viktigt att notera maximal vattennivå både på uppströms- och nedströmssidan samt graden av samvariation dem emellan (Rajaratnam et al. 1987b; Katopodis 1992). I allmänhet bidrar uppgifter om nivåfluktuationer med mer information än enbart vattenföringsdata (Katopodis pers medd). Saknas vattenföringsdata skall nivåmätningarna kombineras med flödeskontroller, helst dagligen under den aktuella perioden (Clay 1961; Katopodis 1992). Syftet med mätning av vattenföring och vattennivåer i det aktuella vattendraget är att en anläggning för fiskpassage måste utformas med hänsyn till rådande hydrologiska förhållanden. Hydrologin påverkar såväl val av fiskvägstyp som dimensionering av den valda fiskvägstypen. Toleransen för stora fluktuationer i flöde och uppströms liggande vattennivå är lägst hos bassängtrappor, något högre hos denilrännor och högst hos slitsrännor.

Det är viktigt att ej underdimensionera fiskvägen, men såväl ett för högt som ett för lågt flöde i fiskvägen under den kritiska lek-vandringsperioden kan medföra fördröjd lek-vandring vilket kan leda till ödesdigra biologiska effekter, t ex utebliven lek eller lek i områden med dåliga lekförhållanden, utarmning av fiskens energireserver eller till och

med dödlighet (Katopodis 1992). För flera fiskarter, och då kanske främst atlantlax, bör man inte acceptera någon försening överhuvud taget (op cit). Emellertid anses en försening som varar mindre än tre dagar vara godtagbar för de flesta sötvattensfiskar, medan förseningar överstigande tre dagar i allmänhet bara kan godtas om de infaller ungefär en gång var tionde år (op cit). Finns dagliga flödesmätningar tillgängliga för ett antal år kan man genom en relativt enkel metod beräkna det s k "tre-dagars-förseningsflödet" (Q_{3d}). Q_{3d} är det högsta flöde i vattendraget som bibehålls eller överträffas under tre dagar i följd (op cit) (se Appendix II). Om däremot dagliga flödesmätningar under upp-vandringsperioden saknas i det aktuella vattendraget, kan man i vissa fall utnyttja uppgifter från ett annat (helst närliggande) vattendrag med likartad regim och hydrologi. Vattenföringsdata kan i detta fall omräknas med hänsyn till vattendragens avrinningsområden eller tvärsnittsarea. En fiskväg bör under alla förhållanden fungera i intervallet mellan normal årlig högvattenföring (MHQ) och normal årlig lågvattenföring (MLQ) (Lonnebjerg 1980). Notera också det s k 50- eller 100-årsflödet, dvs det maximala flöde som förväntas uppträda en gång på 50 alternativt 100 år (Katopodis 1992). Detta kan vara viktigt med tanke byggt teknik, materialval etc. Fiskvägar som anläggs vid dammanläggningar skall – åtminstone under kritiska vandringsperioder – garanteras en minimivattenföring som säkerställer fullgod funktion.

På platser med mycket kraftiga nivåfluktuationer eller extrema variationer i vattenföring kan det vara befogat att bygga mer än en fiskväg (ibland även olika typer) så att det under alla tänkbara hydrologiska förhållanden finns åtminstone en fungerande passage för fisk (Banks 1969; Katopodis 1992). Kombinationer av olika fiskvägstyper finns bl a vid Hunderfossen i Gudbrandsdalslågen i Norge, vid Isohaara-dammen i den finska älven Kemijoki (Kamula et al. 1993) och vid Hunttdammen i Canada (Figur 41).

I anslutning till vandringshindret bör dels vattendragets botten-topografi och bottenmaterial, dels kringliggande terrängs topografi, berg- och jordarter karteras. En sådan under-



Figur 41. Två fiskvägar vid Hunt dammen i Canada ("Hunt Dam on the Thames River, Ontario"). Denilrännans ingång, som ligger ca 1,5 m högre än slitsrännans, fungerar både som "lockvattenspridare" till slitsrännan och – vid hög vattennivå nedströms dammen – som fiskväg. Lägga märke till hur slitsrännan kröker 180° för att ingången skall mynna nära dammbasen där i detta fall fisken ansamlas. (Modifierad efter Katopodis 1992, s 59.)

sökning är av stort värde inte bara av rent byggnadstekniska skäl, utan även för bedömning av erosionsrisk och bankstabilitet samt fiskvägens placering och funktion (se Avsnitt

5.3). Vattendragets bottenpografi kan av en tränad iakttagare till stora delar avläsas på vattenytans strömbild.

5.3 Aspekter på utformning och hydraulik

Projektering av fiskvägar medför alltid en avvägning mellan å ena sidan byggtkniska aspekter och å den andra funktionsmässiga (placering, vattenhastighet, vattenflöde etc) med hänsyn till de fiskeribiologiska kraven. Därtill kommer att fiskvägen på ett naturligt sätt skall anpassas till omgivande miljö och övriga anläggningar på platsen.

5.3.1 Byggnadsmaterial

Exempel på lämpliga byggnadsmaterial för olika fiskvägstyper har i första hand behandlats i Avsnitt 4, men några små detaljer kan ändå vara värda att nämna här. Vid val av byggnadsmaterial bör man ta hänsyn till faktorer som pris, styrka, hållbarhet och utseende (Lonnebjerg 1980). Vidare bör man beakta platsens tillgänglighet samt lokala förhållanden som topografi, markanvändning (t ex öppen mark, skog, tätort, industriområde), vandringshindrets beskaffenhet (naturligt visavi konstgjort av t ex betong, trä eller jord).

Vid användning av betong skall kvalitet och armering säkra att konstruktionen blir vattentät och frostbeständig (Lonnebjerg 1980). Den karakteristiska betongstyrkan skall vara $\geq 30 \text{ MN/m}^2$ (MPa), vattencementtalet $< 0,5$, sättmättet $< 6 \text{ cm}$ och vid tillsats av luftporbildande medel skall en porvolym av minst 4% eftersträvas (op cit). Om rännan gjutes på platsen bör sidor och botten inte göras tunnare än 15 cm. Det är vanligt att själva fiskvägsstommen byggs i ett material medan lameller, tvärväggar och trösklar tillverkas i ett annat. Man bör vara uppmärksam på att just kombinationen av olika byggnadsmaterial kan medföra problem. Risken för komplikationer är störst vid inblandning av metaller. Exempelvis kan träimpregneringsmedel som innehåller koppar ge korrosion på aluminium (op cit).

I kanadensiska försök noterades att fisken vid passage genom kammarrampor av överfallstyp gärna hoppade nära fiskvägens sidoväggar, vilket medförde att de relativt ofta kom i kontakt med väggarna och erhöll skrapskador (Collins 1958). Denna nötning

mot sidoväggarna anses ha varit en bidragande orsak till en del observerade svampangrepp på försöksfiskar även i andra fiskvägsexperiment (Collins et al. 1962). Man bör således eftersträva släta material och strukturer i alla delar av en fiskväg och inte endast på de delar som befinner sig under vattnet. Sannolikt är detta särskilt viktigt om fiskvägen är lång eller om fisken måste passera flera fiskvägar under uppvandringen. Vidare bör man – om platsen där fiskvägen skall byggas är mycket otillgänglig – överväga val av lämpligt material med tanke på eventuella transportproblem. I Nordamerika har man i vissa fall, där endast flygtransport var möjlig, valt extremt lätta byggmaterial (Orsborn 1987). Några exempel är en denilränna av alaskamodell byggd i aluminium (se Avsnitt 4.2, Figur 20) och en spiralvriden fiskväg av glasfiber (se Avsnitt 4.3, Figur 25).

5.3.2 Längd och lutning

I grunden avgörs en fiskvägs längd och lutning av vandringshindrets höjd. Längd och lutning bestämmer i sin tur nivåskillnaden mellan bassängerna eller poolerna i kammarrampor och slitsrännor. Nivåskillnaden slutligen, måste anpassas till aktuella fiskarter och fiskstorlekar. I kammarrampor och slitsrännor måste dessutom bassängerna eller poolerna dels vara tillräckligt djupa för att förhindra alltför kraftig turbulens, dels tillräckligt långa för att stävja uppkomsten av starka strömvirvlar (Everhart et al. 1975). Vid förlängning av poolerna ökar emellertid nivåskillnaden mellan dem såvida man ej ökar den totala längden och ger fiskvägen en flackare lutning. Denna typ av avvägningar utgör en betydande del av fiskvägsprojektering då de i grunden är avgörande för fiskvägens hydraulik.

5.3.3 Mynningsutformning, flöde och lockvatten

En mycket fundamental faktor för alla förekommande typer av fiskvägar ämnade för adult uppströmsvandrande fisk är mynningsens utformning (ingången). Fiskens förmåga att finna denna beror dels på fiskens artspecifika vandringsbenägenhet och beteende i strömmande vatten, dels på mynningsens pla-

cering (i vattendraget) samt styrka och riktning på den vattenström som lämnar fiskvägens mynning (Leman & Paulik 1966; Pavlov 1979, 1989; Orsborn 1985; Linløkken 1989; Anon. 1990; Berg & Myhre 1990; m fl). Med tanke på mynningens tillgänglighet bör noteras att det finns observationer som tyder på att vuxen fisk som konfronteras med ett vandringshinder företrädesvis uppehåller sig inom intervallet 0,5-2 m under vattenytan (Bell 1986). Den exakta platsen för mynningens placering bör väljas genom kontroll av fisktätheten (Clay 1961). En fiskvägs mynning skall i alla hänseenden ligga lägre än normalvattenståndet i vattendraget (Anon. 1990). I vissa fall, när vattennivåns fluktuationer nedströms vandringshindret är stora eller när vattenföringens variation är så kraftig att fisken söker alternativa vägar upp mot hindret, kan det vara motiverat att bygga flera mynningar (Anon. 1990; Grande 1990; m fl). En fiskväg i Målselvfossen i Norge har exempelvis försetts med två ingångar, en som fungerar på våren-försommaren när vattenföringen är hög och vattentemperaturen låg och en som är anpassad för eftersommarens lägre flöden med varmare vatten (Grande 1990; Laine et al. 1993). Vidare har den tidigare omnämnda fiskvägen vid Hunderfossen (Avsnitt 4.2) försetts med två ingångar (Grande pers medd). Även i svenska Jonsered finns en fiskväg med flera ingångar (Sjöstrand pers medd).

På platser med mycket kraftiga och turbulenta flöden kan det vara nödvändigt att skärma av fiskvägens mynning med en skyddande vägg (Grande pers medd). I undantagsfall kan det även finnas skäl att bygga någon form av fiskledare, t ex ett elstängsel eller galler, som vägleder fisken till ingången. Detta bör dock tillgripas som en sista åtgärd då effekten inte alltid blir den avsedda. Lonnehjerg (1980) skriver att ett elektriskt stängsel vid fiskvägen i Tange endast hade "liten eller ingen effekt" på öring. Jørgensen (1993) påtalar vikten av att använda plattjärn och inte rundjärn vid byggnation av ledgaller. Fisken fastnar lättare i ett "runt" galler eftersom gällocken verkar som mothåll. Vidare skriver Jørgensen att avståndet mellan järnen av samma orsak ej bör överstiga 20 mm.

Som nämndes ovan är riktningen och styrkan på den vattenström som lämnar en fiskvägs mynning av väsentlig betydelse för att anlocka fisk till mynningen. Detta har sin förklaring i att framför allt uppströmsvandrande lekfisk huvudsakligen söker sig mot huvudströmmen på platsen. Det vatten som avbördas via en fiskväg kallas därför ofta lockvatten. Pavlov (1989) påtalar vikten av att den horisontella vinkeln mellan lockvattenströmmen och huvudströmmen på platsen inte bör överstiga 30° samt att lockvattnet bör mynna på ett djup som motsvarar det vattenskikt där fisken huvudsakligen uppehåller sig. Även Orsborn (1985) poängterar att lockvattenströmmen måste vara riktad mot den plats där fisken ansamlas, t ex vid basen av ett vattenfall eller omedelbart nedströms ett turbinutsläpp.

Pavlov (1989) har ingående beskrivit lockvattnets betydelse och då i synnerhet vattenhastighetens inverkan. Han anger att vattenhastigheten måste ligga mellan tröskelhastigheten (V_{tr}) och den kritiska vattenhastigheten (V_{kr}) för den uppvandrande fiskarten ifråga (vad gäller definitionen av V_{tr} och V_{kr} se Avsnitt 2.2). Helst bör lockvattnets hastighet ligga strax under eller omkring 60-80% av den aktuella artens V_{kr} . I de flesta fall innebär detta vattenhastigheter runt 0,7-1,0 m/s (op cit). Vidare uppger Pavlov (1979, 1989) att man i ett laboratorieförsök kunde visa att om lockvattnets strömhastighet ökades, simmade flera fiskar in i den konstgjorda kanal som användes vid försöket. Enligt Malevanchik & Nikonorov (1984) bör *skillnaden* mellan lockvatten- och huvudströmmens hastighet vara 0,15-0,2 m/s, dvs nära V_{tr} för de flesta uppvandrande fiskarter. Orsborn (1985) uppger att lockvattnets hastighet bör ligga runt 2,4-3,6 m/s. Collins & Elling (1960) beskriver ett försök där man fann att havsvandrande regnbåge, kungslax och silverlax hellre sökte sig mot en högre vattenhastighet om de fick möjlighet att välja. Fiskarna föredrog genomgående vattenhastigheterna 1,8-2,4 m/s framför 0,6-1,2 m/s. Försöket följdes upp med ännu en studie där regnbåge och kungslax tilläts välja mellan vattenhastigheterna 0,9 och 4,0 m/s. 89,5% av kungslaxen och 75,6% av regnbågen valde den högre hastigheten (op cit).

I två bassängtrappor som ingick i det norska Glommaprojektet fann Linløkken (1989) att den största fiskuppvandringen (arter ej angivna) registrerades när flödet genom trappan utgjorde 2,5-5% av älvens totala vattenföring. Enligt Larinier (1990) har man i Frankrike funnit att lockvattenflödet bör ligga runt 1-5% av huvudflödet på platsen; i vissa mindre vattendrag utgör det mer än 50% (op cit). I princip finns det givetvis inget som hindrar att hela vattenföringen i mindre vattendrag tidvis passerar genom en fiskväg, vilket då innebär att lockvattenflödet utgör 100% av vattenföringen på platsen.

Det finns flera sätt att förbättra lockvattnets attraktionskraft. En metod är att styra huvudströmmen i vattendraget mot en plats omedelbart nedanför fiskvägens mynning. Ett annat sätt är att via ett separat rör eller en kulvert öka vattenföringen i direkt anslutning till fiskvägens mynning vilket ej påverkar vattenföringen i själva fiskvägen (Linløkken 1989). I båda fallen skapas en extra lockvattenström. Ett tredje alternativ är att via en reglerbar lucka i fiskvägens intag variera flödet genom fiskvägen. Man kan exempelvis tillfälligt öka lockvattnets flöde och därmed hastighet till värden som är flera gånger högre än fiskens V_{hr} (Pavlov 1989). På så vis utökas anlockningsområdet areal betydligt och förhoppningsvis ansamlas fisk i närheten av mynningen. Därefter sänker man åter flödet till den ursprungliga och, för fiskvägen, optimala nivån och låter fisken simma upp.

I sammanhanget skall påpekas att extra lockvatten ej bör utformas som ett separat vattenfall, ty även om fallet mynnar mycket nära fiskvägens ingång kan fisken lockas att hoppa bredvid ingången (se Avsnitt 2.2). Hösten 1992 och 1993 sågs vid Emsfors i Emån hur öring ideligen och förgäves hoppade upp mot ett vattenfall från en islucka trots att fallet mynnade bara någon enstaka meter vid sidan av fiskvägens ingång (Sandell opubl). Huruvida merparten av dessa fiskar slutligen fann fiskvägen är okänt, men i vilket fall har de under tiden slösat bort mycket värdefull energi och eventuellt även skadat sig vid fallet mot den stensatta kant som fanns på platsen. Det var uppenbart att den stående våg som bildades nedom fallet "lurade" fisken

att hoppa. Stuart (1962) beskriver omständigheter liknande dem vid Emsfors och tillägger att om lekmogen fisk gör många sådana misslyckade hopp riskerar den att ofrivilligt avge sin rom eller mjölke.

I Canada har man i vissa fall vid nybyggnation av kraftverksanläggningar fördelat fiskvägens mynning på flera mindre öppningar lagda på en horisontell rad direkt ovanför turbinutsläppet (Katopodis pers medd). Fördelen med denna byggnadstekniska lösning är att allt vatten som passerar kraftverket även fungerar som en enda stor och effektiv lockvattenström. En förutsättning är givetvis att merparten av vattendragets flöde passerar genom turbinerna. I detta fall måste sannolikt alternativa mynningskonstruktioner anläggas parallellt för att säkerställa uppvandring under perioder då kraftverket ej är i drift.

Vikten av fiskvägars mynningsutformning, flöde och lockvattenström har belagts i en rad undersökningar. En viktig aspekt med tanke på vattenflödet i en fiskväg är om det föreligger en konflikt om vattenresursen på den aktuella platsen, t ex kraftverk eller dylikt. I vattenkraftsammanhang kan exempelvis även ett till synes försumbart vattenbortfall i det långa loppet bli mycket kostsamt (Sjöström pers medd). Då dessutom fiskvägar kräver förhållandevis stora investeringskostnader är det väsentligt att minimera sådana konflikter genom att med alla tänkbara åtgärder optimera en fiskvägs funktion även vid låga flöden (op cit). I första hand bör man överväga om det finns möjlighet att minimera eller helt undvika konflikten genom att välja en fiskväg som fungerar även vid låga flöden (Orsborn 1987). Det är emellertid vanskligt att ange en fiskvägs optimala vattenflöde, eftersom denna varierar med fiskart, fiskvägens typ, storlek, mynningsplacering etc. I Frankrike har man påvisat att en av de vanligaste orsakerna till dåligt fungerande fiskvägar var för låga lockvattenflöden (ofta i kombination med felaktig mynningsplacering) (Larinier 1990). Lockvattenflöden understigande 0,1% av huvudflödet var inte ovanliga. Lonnebjerg (1990) beskriver hur Danmarks största bestånd av lax (Gudenå) utplånades till följd av en bristfällig fiskvägskonstruktion vid kraftverket i Tange.

Den direkta orsaken var en kombination av för låg vattenföring i vandringsvägen (ca 0,040 m³/s medan vattendragets totala vattenföring var 15-20 m³/s – dvs lockvattenflödet utgjorde ca 0,2-0,3% av totalflödet – och att fiskvägens mynning placerats för långt nedströms i förhållande till kraftverkets utsläpp. Alltför stor vattenföring vid sidan av vandringsvägen, genom exempelvis dammluckor/turbiner, kan innebära att fisken söker sig bort från ingången och istället blir stående i vattenströmmen från dammutskovet/turbinen.

Slutligen skall nämnas vikten av att en fiskväg alltid konstrueras med en reglerbar lucka i vattenintaget. En sådan anordning medger inte bara möjlighet att vid olika vattenföringar vidmakthålla optimala hydrauliska förhållanden i såväl själva fiskvägen som nedströms densamma, utan även torrläggning av fiskvägen t ex under vintern. En intagslucka underlättar dessutom regelbunden tillsyn, reparationsarbeten och kontroll av fiskuppvandring.

5.3.4 Vattenhastighet och viloplats

En annan viktig omständighet med stark biologisk anknytning är vattenhastigheten i fiskvägar av typen 1-5, dvs i fiskvägar där fisken simmande tar sig igenom av egen kraft (se Avsnitt 4). I princip bestäms vattenhastigheten av lutning och vattendjup, där hastighet och djup är funktioner av flöde och lutning (Katopodis 1990).

Vattenhastigheten i fiskvägar ämnade för uppströmsvandring får ej överstiga fiskens simförmåga, dvs den får ej vara högre än att fisken orkar simma mot strömmen genom hela fiskvägen (Lonnebjerg 1980; Katopodis 1990) och definitivt inte överstiga fiskens V_{kr} -värde (se Avsnitt 2.2). Fiskars simkapacitet varierar med såväl art som kroppsstorlek, men är även beroende av fysikaliska faktorer som vattentemperatur, syrehalt, pH och salinitet (Katopodis 1990). Man bör t ex tänka på att yngre fiskar har sämre simförmåga än äldre, vilket ofta glöms bort i fiskvägssammanhang. Dessutom minskar "simuthålligheten" drastiskt strax före lek (Pavlov 1989).

Man bör även undvika plötsliga variationer i vattenhastighet eller strömbild då detta

kan medföra att vandrande fisk stannar upp och ansamlas i själva fiskvägen eller nedströms densamma (Laine 1990b; Lonnebjerg 1980; Bell 1986). Dessutom bidrar ett fluktuerande flödesmönster till att fisken får svårare att orientera sig (Jens 1981; Orsborn 1985; Pavlov 1989; Laine 1990a).

Om en fiskväg måste göras mycket lång eller förhållandevis brant bör man överväga att bygga någon form av vilobassänger. En obekräftad tumregel är, att om vattenhastigheten i en fiskväg under längre sträckor överstiger 2 m/s bör viloplats anordnas. Om vilobassänger bedöms som nödvändiga bör de utformas så att strömbild och hydrauliska faktorer i övrigt blir så likartade som möjligt med resten av fiskvägen (Laine 1990a). Laine (1990a, 1990b) utförde en serie försök i syfte att undersöka vilka vattenhastigheter som utmärker lämpliga viloplats. Hon fann att sik och siklöja med kroppslängder runt 10-30 cm föredrog att vila i strömhastigheter omkring 0,5-1 kroppslängder per sekund (förkortas som L/s); ibland utnyttjades även viloplats med strömmar runt 2-4 L/s. Heikkilä (1986) uppger att sik i den finska älven Tornionjoki uppsökte platser med strömhastigheter <1 L/s för vila. Bachman (1984) registrerade på stånd- eller viloplats för öring av storleken 15-30 cm en medelvattenhastighet av 8 cm/s. För öring av medellängden 42 cm anger Shirvell & Dungey (1983) motsvarande värde till 27 cm/s. Enligt dessa uppgifter borde således strömhastigheter på öringens viloplats ligga runt 1,6-3,8 L/s beroende på fiskstorlek. Ellis (1962) fann vid studier av havsvandrande indianlax och silverlax i ett naturligt vattendrag att strömhastigheter runt 1,0-1,5 m/s ledde till avbrott i en annars varaktig och jämn simhastighet. I den irån där fisken tvingas simma kontinuerligt genom hela fiskvägen (se Avsnitt 4.2) bör enligt Katopodis (1992) viloplats anläggas med 10-15 m mellanrum om rännan enbart nyttjas av vuxen laxfisk medan vuxna sötvattensarter behöver vilobassänger var femte eller tionde meter. Det är emellertid viktigt att framhålla att vilobassänger inte skall byggas i onödan då det är väl känt att alla förändringar i vattnets flödesmönster kan medföra att fisken missleds. Det är därför lika viktigt att undvika vattenhastigheter

som är så låga att vandringsbenägenheten mattas samt alltför turbulent strömning vilket kan medföra orienteringssvårigheter för fisken (Laine 1990a, 1990b). Enligt Laine (1990a) kan viloplatsen i vissa fall utgöra "hydrodynamiska fiskfällor".

Slutligen skall nämnas att man i allmänhet underskattar laxfiskars utomordentliga simförmåga. Några simexperiment utförda i nordamerika kan belysa detta påstående. I ett laboratorieförsök (se bl a Collins et al. 1961, 1962; Connor et al. 1964) byggdes två kammarrappor av överfallstyp med lutning 12,5% respektive drygt 6%. De båda kammarrapporna konstruerades på ett sådant sätt att fisken konfronterades med en oändligt lång fiskväg ("an endless fishway"). Tyvärr saknas uppgifter om såväl flöde som vattenhastighet, men varje bassäng var 0,91 m bred och – beroende på lutning – 2,44 m (lutning 12,5%) respektive 4,88 m långa (lutning drygt 6%). Nivåskillnaden mellan bassängerna var 30 cm. Ett antal fiskar fick simma ca 300 m genom försökstrapporna under hydrauliska förhållanden vilka bedömdes som nästintill optimala. De fiskarter man använde i försöket var kungslax, havsvandrande indianlax och havsvandrande regnbåge. Efter försöket undersöktes fiskarna med avseende på bl a laktathalt i blod och muskler samt glykogeninnehåll i muskler och lever. Inte någon av de undersökta fiskarna visade några tydliga tecken på utmattning. Det skall tilläggas att man även lät en fisk, en indianlaxhane med vikten 1,5 kg, simma utan uppehåll uppför den branta kammarrappan (lutning 12,5%) i 5 dagar, vilket motsvarar en sträcka av ungefär 1,5 mil och en vertikal stigning av cirka 2 km. Eftersom anläggningen skulle användas för andra ändamål fick försöket avbrytas i "förtid". Indianlaxhannen simmade då fortfarande, till synes oförtröttlig. Enligt Collins et al. (1962) uppvisade denna fisk efter försöket ett blodlaktatvärde som endast var en fjärdedel av den nivå som Parker & Black (1959) angett som letalgräns för spöfångade indianlaxar.

5.3.5 Undviker fisk mörklagda fiskvägar?

Det har ibland diskuterats huruvida vandrande fiskar optimalt nyttjar kulvertar, sprängda tunnlar eller andra typer av mörklagda fiskvägar. Long (1959) och Collins & Elling (1960) beskriver ett försök där man studerade beteendet hos havsvandrande regnbåge i en mörklagd respektive upplyst kammarrappa av överfallstyp. Man noterade att fisken tvekade innan den simmade in i den mörka trappan, men att när den väl simmat in, passerade signifikant snabbare genom den mörklagda trappan än genom den upplysta (2 minuter respektive 8,5 minuter). I ett annat försök visade Slatick (1970) att kungslax, havsvandrande indianlax, silverlax och havsvandrande regnbåge utan problem kunde passera en mörklagd kulvert av längden 82,3 m. Av de fyra undersökta fiskarterna tycktes dock havsvandrande regnbåge gynnas något om kulvertens innandöme var upplyst.

Enligt Katopodis (pers medd) är mörklagda fiskvägar inget större problem. När fisken väl kommit in i fiskvägen simmar den vidare mot vattenströmmen. Misstänker man däremot att fisken kan ha svårt att finna den mörka mynningen bör denna lysas upp. Bell (1986) uppger exempelvis att det i vissa fall kan vara nödvändigt att öppningarna i underströmningstrappor (se Avsnitt 4.1) har en upplyst eller kontrasterande bakgrund. Lika så Grande (1990; pers medd) menar att mörklagda fiskvägar fungerar. I Norge finns flera fisktunnlar med god funktion; den längsta är omkring 200 m lång (Grande 1990). I Lærdalsälven har man dessutom studerat fiskpassage i en upplyst respektive mörklagd tunnel. Inga skillnader kunde observeras (op cit). I en amerikansk studie kunde Kay & Lewis (1970) visa att mörka vägkulvertar 180-225 m långa, inte tycktes ha någon negativ effekt på passagen av anadroma arter som havsvandrande regnbåge, silverlax och kungslax. Rapporter finns dock om att sik undviker snäva och mörka passager som vägkulvertar (Berg 1988). Det kan vara värt att notera, med tanke på mynningsutformning och fiskvägstyp, att laxfisk enligt Stuart (1962) inte gärna hoppar i mörker (se Avsnitt 2.2).

5.4 Tillsyn och underhåll

Regelbunden tillsyn är minst lika betydelsefull som underhåll och effektiva drifrutiner. Tillsyn behövs för att undvika igensättning av fiskvägens vattenintag samt för reglering av flödet. Det är av central betydelse att fiskvandringar som möjliggjorts genom fiskvägsbyggnationer kan upprätthållas. Om en fiskväg som anlagts för lekvandring inte fungerar tillfredsställande, kan detta få konsekvenser för flera fiskgenerationer framåt (Anon. 1990). I Norge får sådana effekter störst genomslag i nordligt belägna vattendrag, eftersom generationstiden för anadroma fiskarter ökar mot norr (op cit). Både smoltutvandringsålder och ålder vid första lekvandringen är högre i de nordliga atlantälvarna än i de södra (Alm 1954). I svenska och finska östersjöälvar finner man däremot inget utpräglat sådant samband hos lax och havsöring (op cit). I allmänhet är det lättare att återskapa ett stort lekvandringmönster hos lax än hos havsöring, men stängning av en vandringsväg kan helt föröda anadromiteten hos båda arterna (Anon. 1990).

I Norge har man i flera undersökningar sökt kartlägga bristerna i olika typer av fiskvägar (Grande 1983; Anon. 1984, 1990; Halvorsen 1987; Linløkken 1988, 1989). Den senaste av dessa, (Anon. 1990), är en rikstäckande kontroll av befintliga fiskvägars funktion som uppger att mer än hälften av landets fiskvägar är helt eller delvis ur funktion (22% fungerar inte alls, medan 34% fungerar sämre än de borde). Hos hälften av de fiskvägar som inte fungerade var orsaken bristande underhåll. Utifrån denna rikstäckande undersökning har en handlingsplan sammanställts för förbättring av fiskvägarna (Berg & Myhre 1990). I handlingsplanen framhålls bl a att tillsynen måste organiseras bättre och att en underhållsplan eventuellt borde upprättas för varje fiskväg.

Vid en inventering av 65 fiskvägar i sydöstra Sverige fann Johlander & Sjöstrand (1993) att ca 40% fungerade förhållandevis väl medan drygt 32% hade "tveksam" eller undermålig funktion. För resterande 28% av fiskvägarna saknades uppgifter om funktionen. Vid inventeringen framkom också vikten av att själva byggarbetet åtföljs av kontinu-

erlig tillsyn samt att någon, när fiskvägen är färdigbyggd, tar ansvar för nödvändig skötsel. Vidare konstaterades att lämplig funktionskontroll dessvärre ofta saknas (op cit).

5.5 Ekonomiska aspekter

Det är svårt att i generella termer jämföra kostnaderna för olika typer av fiskvägar eftersom byggmaterial, byggplatsens åtkomlighet, naturvårdshänsyn, hydrologiska faktorer etc spelar en avgörande roll. I en nytto-kostnadsanalys bör dessutom fiskvägens effektivitet, dvs vinsten ur ren fiskeribiologisk synvinkel, samt eventuella vinstbortfall för annan vattenanvändning som kraftproduktion, vägas in. Kostnaderna kan emellertid reduceras genom att optimalt utnyttja förhållandena på platsen samt att från början inkorporera fiskvägar vid nyetablering eller ombyggnation av dammanläggningar (Katopodis 1992). Vidare bör man – utan att ge avkall på ändamål och hållbarhet – eftersträva att välja kostnadseffektiva material och ändamålsenlig utformning av vald fiskvägstyp. Om man räknar med att bygga om fiskvägen efter ett visst antal år kan det vara motiverat att välja ett förhållandevis billigt material.

En bedömning av byggkostnaden för olika typer av fiskvägar utan hänsyn till sk nytto-kostnadsanalyser indikerar att kammartappor i allmänhet är billigare att bygga än denilrännor som i sin tur är billigare än fiskvägar med vertikala slitsar (Katopodis 1992). I en svensk studie av fiskvägar i sydvästra delen av landet visade det sig att den totala byggkostnaden per objekt varierade från knappt 1 000 kr till mer än 2,5 miljoner kronor (Johlander & Sjöstrand 1993). Den stora variationen i kostnad får tillskrivas skillnader i storlek, fiskvägstyp etc. Anläggningskostnaden för 41 fiskkanaler i danska Vejle varierade från 100 000 upp till 400 000 danska kronor per kanal (Bangsgaard 1993).

En mer ändamålsenlig kostnadsjämförelse är att beräkna kostnaden per fallmeter (kr/fm). Johlander & Sjöstrand (1993) fann att av totalt 27 fiskvägar där kostnadsuppgifter fanns tillgängliga, låg kostnaderna per fallmeter under 10 000 kr för 9 st, mellan 10 000 och 100 000 kr för 11 st och över 100 000 kr för resterande sju. I några fall

(större betongtrappor) uppgick kostnaderna till mellan 200 000 och 300 000 kr/fm.

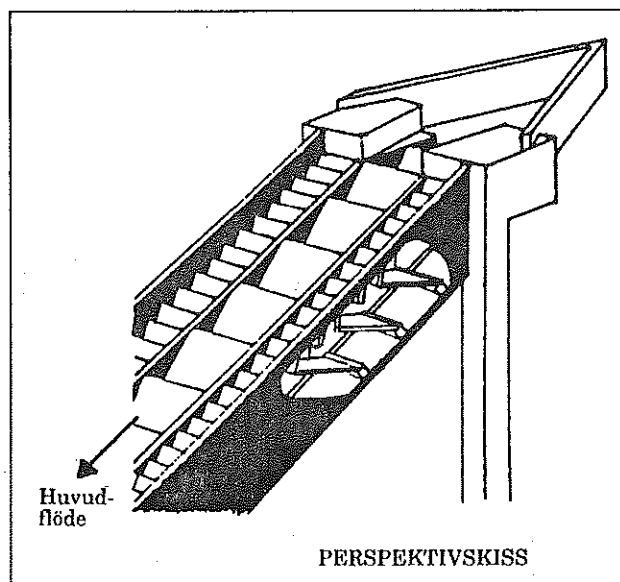
Katopodis (1992) redovisar kostnaderna för ett antal fiskvägsprojekt i Canada. Även om dessa uppgifter endast belyser strikt nordamerikanska förhållanden så kanske de ändå kan ge en del kompletterande upplysningar. Alla belopp är direkt omräknade enligt valutakursen i september 1992 (1 canadensisk dollar = 4,70 svenska kronor). Fyra nybyggda denilrännor av betong med metall-

lameller (vertikal fallhöjd 1,4-1,7 m; byggår 1988-89) kostade mellan 38 000-61 000 kr per fallmeter, medan en denilränna som byggdes helt i stål 1986 (vertikal fallhöjd 0,5 m) kostade totalt 94 000 kr dvs 188 000 kr/fm. Några andra exempel är ett antal mindre bassängtrappor som i genomsnitt kostade 47 000 kr/fm samt en slitsränna med en del specialutföranden som flödeskontroll, flera mynningar och arrangemang för extra vattentillförsel, vars anläggningskostnad uppgick till 940 000 kr/fm.

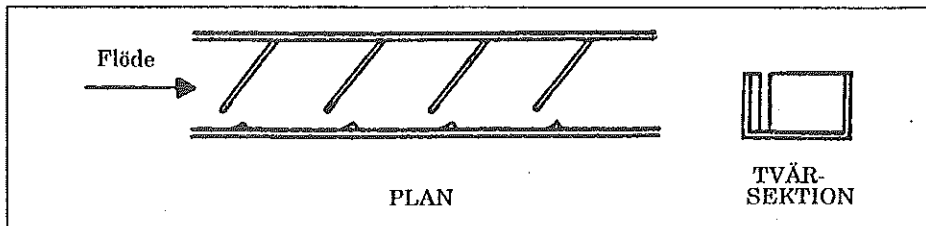
6 HISTORIK OCH UTVECKLING

I Frankrike omnämns fiskvägar redan på 1700-talet (Nemenyi 1941). Den första större fiskvägen i Europa byggdes 1852-53 vid ett ca 7 m högt vattenfall, Lower Falls, i floden Ballysodaire på Irland (Pryce-Tannatt 1938; Anon. 1990). År 1861 fastslog "The British Salmon Fishery Act" att fiskvägar skulle installeras och underhållas vid alla nya dammar i laxfiskförande floder (Pryce-Tannatt 1938). Många av de tidigaste konstruktionerna var ineffektiva och baserades mera på intuition än strikt vetenskaplig metodik (Orsborn 1987). Merparten av 1800-talets fiskvägskonstruktioner gick ut på att minska vattenhastigheten i en brant ränna så pass mycket att fisk kunde passera (Powers et al. 1985; Orsborn 1987). I Nordamerika uppfann exempelvis år 1879 Marshall MacDonald en fiskväg bestående av en träränna med lutningen 1:3. Vattenhastigheten nedbringades och avlänkades uppåt med hjälp av skålformade kar eller trappsteg som placerats i tre längsgående sektioner i själva rännan (Figur 42). Vattnet strömmade först in i mittrännan, sedan ut i de smalare sidosektionerna och därefter åter in i mittdelen. Norbäck (1884), dåvarande fiskeriinspektör i Värmlands län, skriver: *Härigenom uppnås ett konstant lika djup och en likformig måttligt hastig ström*

hela ledaren utför, hvilken till och med för de trögaste fiskar icke erbjuder någon svårighet att uppstiga. Tankegången bakom MacDonalds fiskväg var för sin tid utomordentligt sinnrik,



Figur 42. MacDonalds branta fiskränna från 1879 byggdes i Virginia i USA. Vattenhastigheten i trä-rännan nedbringades med hjälp av skålformade trappsteg eller kar. Den plogliknande anordningen i uppströmsdelen skulle förhindra flytande skräp o dyl att täppa till rännans vattenintag. (Efter Powers et al. 1985, s 12.)



Figur 43. Plan- och tvärsektion av Landmarks första fiskväg med vertikala slitsar. Den byggdes i Norge 1890 och var den första av sitt slag. (Efter Powers et al. 1985, s 12.)

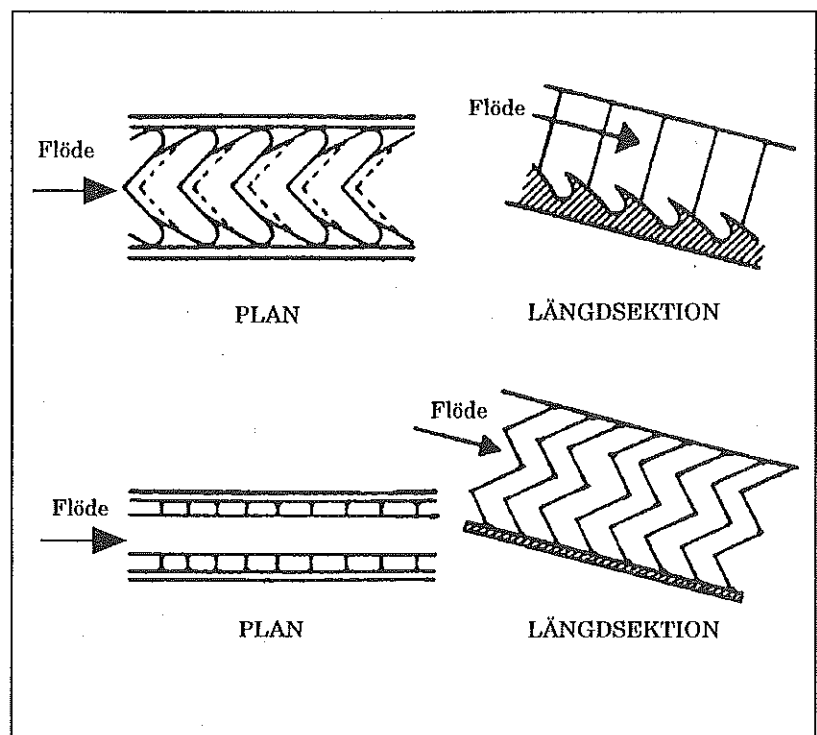
men tyvärr fungerade den inte i praktiken varför konceptet föll i glömska. I Norden konstruerade ungefär samtidigt norrmannen Landmark en bassängtrappa vid Osfossen i älven Gaula genom att spränga ut pooler i berget (Orsborn 1987; Grande 1990). Enligt Grande (1990) lär denna fiskväg fungera än idag. Landmark uppfann dessutom en föregångare till fiskvägar med vertikala slitsar genom att i en ränna placera tvärväggar längs ena sidan (Powers et al. 1985) (Figur 43).

Vad gäller fiskslussar och fiskhissar så är deras historia något kortare än övriga fiskvägstyper. Enligt Clay (1961) gjorde en skotte vid namn Malloch vid sekelskiftet en ritning som i stort liknar en modern fisksluss men hans idé blev inte accepterad av en oförstående samtid. Inte förrän i mitten av 1920-talet fick slussar och hissar sitt genombrott (i Nordamerika) i och med att man började anlägga

allt högre dammar (Nemenyi 1941; Clay 1961). I Europa byggdes den första fiskhissen i Abborrfors i Finland 1933 (Nemenyi 1941).

För Sveriges vidkommande är fiskvägar- nas tidigaste historia mera hölj- i dunkel. Norbäck (1884) beskriver visserligen ingående både Macdonalds träränna och den irländska fiskvägen vid Lower Falls samt ytterligare ett antal "laxledare, laxtrappor, spiralledare och ålledare", men han nämner ingenting om att sådana byggnationer skulle ha gjorts i Sverige. Ett flertal fiskvägar av främst Landmarkstyp (Figur 43) samt ledare för ålyngel fanns bevisligen i många svenska vattendrag i början av 1920-talet. Schmidt (1922) beskriver nämligen med både text och fotografier sådana fiskvägar i bl a Pite älv, Gide älv, Ljungan, Dalälven, Motala ström, Mörrumsån, Nissan, Ätran, Gullspångsälven och Göta älv. Fiskeriingenjör Valter Furuskog (1946)

Figur 44. De två övre bilderna visar Denils ursprungliga fiskränna från 1908. Ritningarna är lite svåra att tolka, men inuti rännan hade en serie tandlika lameller placerats med spetsarna snett upp mot strömriktningen. Lamellerna tvingade vattnet ut mot rännans sidoväggar. En nackdel med denna utformning var att rännan blev känslig för variationer i vattennivån. (En modifierad form av denna denilränna byggdes 1925 vid Jonsered i Sävån.) Denil utvecklade därför en ny modell med lameller enbart längs sidorna, ordnade i ett sick-sack-mönster (de två nedre figurerna). Denil lät rännans botten förbli "kal" eftersom han antog att "bottenlameller" endast hade en hydraulisk effekt på mycket ringa vattendjup. (De två övre figurerna är efter McLeod & Nemenyi 1940; de två nedre efter Powers et al. 1985, s 13.)

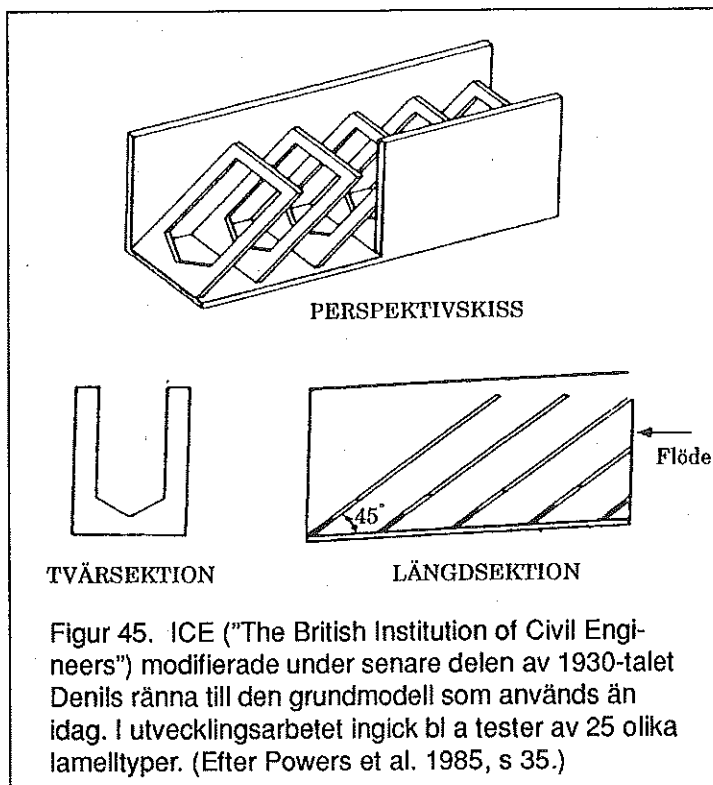


uppper vid ett föredrag att dessa första fiskvägar "infördes av förre fiskeriingenjören Carl Schmidt som efter jämförelse under studieresor i England, USA och på kontinenten funnit Landmarktrapporna överlägsna andra utländska typer." I föredraget citerar Furuskog även delar av den stundtals roande polemik som uppenbarligen förekom på 1940-talet rörande de svenska fiskvägarnas effektivitet: "Författaren Albert Viksten skriver i Socialdemokraten den 27 januari 1941 om dem: *I Sverige bygger man laxtrappor så urusla, att en fiskevårdsdoktor med uppjudande av all sin eventuella smidighet knappt skulle kunna klättra upp för dem, även om trapporna torrlades. Men så har det väl knappast heller varit meningen att någon lax skall gå där!*" Furuskog (1946) kommenterar detta uttalande i sitt föredrag: *Om den stridbare författaren sålunda funnit konstruktionen invecklad och trapporna föga lämpliga för doktorer att gå i, hindrar detta inte, att laxen gärna fortsätter upp, när den väl hittat in i en sådan trappa.* Dessutom uppper Furuskog (1946, 1948a) att man vid Jonsered i Säveån år 1925 uppfört en av de tidigare typerna av denilrännor (Figur 44). Överlag utmärker sig Schmidt och Furuskog som föregångare och ivriga förespråkare för fiskvägar i Sverige. Båda gjorde studieresor till utlandet och publicerade även flera artiklar i ämnet [se förutom de ovan angivna, Furuskog (1945; 1948b)].

Fiskvägsprojektering har de senaste 75 åren genomgått en mycket snabb utveckling; under 1900-talet har åtminstone fem stora genombrott skett inom detta forskningsfält (Orsborn 1987).

(1) 1908-39; Denils forskning rörande fiskvägar i allmänhet och utvecklingen av denilrännan i synnerhet (Figur 44). Han var den förste som insåg sambandet mellan fiskars simkapacitet och de hydrauliska krafterna i en fiskväg (British Institution of Civil Engineers 1942).

(2) 1936-38; Den engelska sammanslutningen "The British Institution of Civil Engineers



Figur 45. ICE ("The British Institution of Civil Engineers") modifierade under senare delen av 1930-talet Denils ränna till den grundmodell som används än idag. I utvecklingsarbetet ingick bl a tester av 25 olika lamelltyper. (Efter Powers et al. 1985, s 35.)

(ICE), Committee on Fishpasses" lanserade en omfattande undersökning av olika fiskvägstyper bl a innehållande fiskars simbeteende, fiskvägars djup, lutning, hydraulik etc. Dessutom förenklade kommittén denilrännans utformning till den grundmodell som huvudsakligen används än idag (Figur 45) (Katopodis & Rajaratnam 1983).

(3) 1939-40; De första systematiska amerikanska undersökningarna av fiskvägar inleddes vid University of Iowa (se framför allt McLeod & Nemenyi 1940). McLeod och Nemenyis forskning bidrog framför allt till att mycket ny kunskap framkom om bl a strömningsförhållanden i olika typer av bassängtrappor: överfallstrappor, underströmnings-trappor, fiskvägar med parvis satta strömdämpare ("paired-obstacle baffled fishways") eller alternerande strömdämpare ("alternate-obstacle baffled fishways") etc. Dessutom införde de ytterligare modifieringar av denilrännorna. McLeod och Nemenyi var för övrigt de första inom fiskvägsforskningen som använde fisk som försöksobjekt.

(4) 1943-46; Under denna tid projekterades den berömda fiskvägen vid Hell's Gate

Canyon i floden Fraser i British Columbia (se Avsnitt 4.3 och Figur 24). Projekteringen föregicks av omfattande hydrauliska tester i modellskala. Det speciella med denna slitsränna var att flödet från de två vertikala öppningarna i varje tvärvägg möttes i centrum av fiskvägen vilket reducerade vattenhastigheten. Fiskvägen vid Hell's Gate var för övrigt den första fiskväg som dimensionerades med hänsyn till uppvandringsstatistik.

(5) 1951-72; Forskningsarbetet vid "Bonneville Fisheries-Engineering Research Laboratory" i Washington. Bland de faktorer som framgångsrikt undersöktes var fiskvägars "uppvandringskapacitet" (Elling & Raymond 1959), lutning (Gauley 1960), vattenhastighet (Weaver 1963) och mörklagda fiskvägars funktion (Long 1959). En av anledningarna till att verksamheten vid Bonneville blev så lyckosam var att biologer och ingenjörer arbetade tillsammans. Under denna tid, närmare bestämt 1962, utvecklades bl a "the Ice Harbor type of fish ladder" (Figur 46), en bassängtrappa med försänkta krön och underströmningsöppningar där varje tvärvägg var försedd med två korta vertikala vingar på uppströmsidan (Orsborn 1987). Dessutom utvecklades av G L Ziemer en modifierad typ av denilrännan, s k alaska-modell ("the Alaska Steeppass"; se Avsnitt 4.2 och Figur 20) (Ziemer 1962).

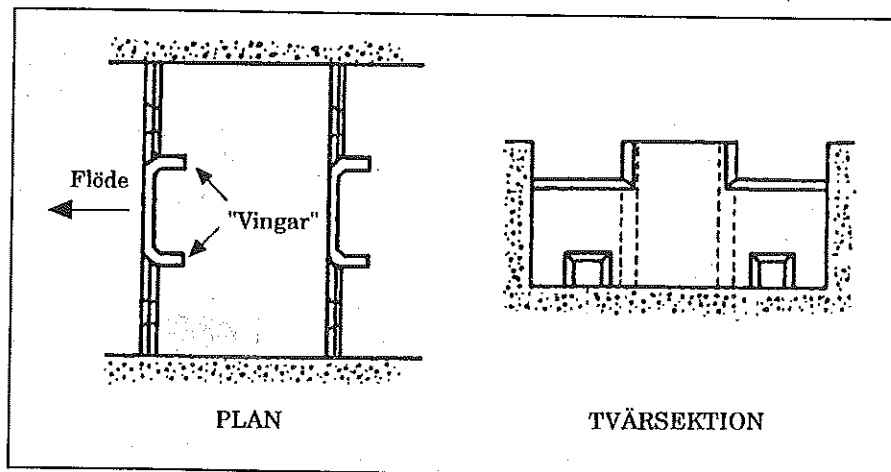
Under 1970- och 1980-talen har en mängd andra mer eller mindre spektakulära fiskvägstyper utvecklats och testats. Alla är de dock "variationer på samma tema", dvs nå-

gon av de grundtyper som presenterats i Avsnitt 4. Ett exempel är en spiralvriden fiskväg av glasfiber med alternerande vertikala små strömdämpare på sidoväggarna (Figur 25) (Aeroceanics Fish Corporation 1976). Ett annat exempel är den speciella typ av bassängtrappa med förlängda pooler, försänkta tvärväggar och bafflar som konstruerades av R G Aaserude och J F Orsborn under mitten 1980-talet ("weir-baffle-pool fishway") (se Avsnitt 4.1 och Figur 15) (Aaserude & Orsborn 1985; Orsborn 1987).

Som framgår av denna resumé av fiskvägars historia och utveckling så speglar texten nästan uteslutande europeiska och nordamerikanska förhållanden. Detta hänger samman med att litteratur på engelska både är lätt att inhämta och tillägna sig. Pavlov (1989) uppger emellertid att man i dåvarande Sovjetunionen har byggt fiskhissar och fiskslussar sedan mitten av seklet. Dessförinnan anlade man, från 1914 till mitten av 1960-talet, andra typer av fiskvägar. Bortsett från ett relativt stort antal fungerande fiskkanaler, uppges endast en av dessa andra fiskvägstyper vara i drift (Pavlov 1989). Huvudanledningarna till detta är enligt Pavlov pågående rekonstruktionsarbeten och diverse andra orsaker av biologisk och teknisk art.

Avslutningsvis skall nämnas att en pågående trend vad gäller fiskvägsprojektering är utvecklingen mot allt mindre konstruktioner – inte bara av ekonomiska skäl utan även på grund av att vattenkraftutbyggnad numera sker i förhållandevis små vattendrag (Orsborn 1987).

Figur 46. Fiskvägen vid "Ice Harbor dam on the Snake River" i USA har såväl dubbla dammkrön som dubbla underströmningsöppningar. Dessutom har varje tvärvägg försetts med två uppströmsriktade vingar vilka anses dämpa uppkomsten av tvärgående vågor över tvärväggarnas krön. (Efter Powers et al. 1985, s 18.)



7 LITTERATUR

- Aaserude, R.G. & J.F. Orsborn. 1985.** New concepts in fishladder design. - Project 82-14, Final Report, Part 2. Bonneville Power Administration, Portland, Oregon, USA.
- Alderman, D.J. & J.L. Polglase. 1988.** Pathogens, parasites and commensals. p. 213-235. - In: Holdich, D.M. & R.S. Lowery (eds.) Freshwater crayfish. Croom Helm Ltd, London.
- Alm, G. 1954.** Laxfamiljen, Salmonidae. p. 623-652 - Ur: Andersson, K.A. (red.) Fiskar och Fiske i Norden. Band II. Andra upplagan. Natur och Kultur, Stockholm.
- Andersen, O.J., J. Nielsen & H. Hermansen. 1992.** Faunapassage i Gudenåens øvre del. - Vækst. Hedeselskabets tidsskrift, Viborg, Danmark. 113(4): 11-13.
- Andrew, F.J. 1990.** The use of vertical-slot fishways in British Columbia, Canada. p. 267-274. -In: Proceedings of the International Symposium on Fishways '90 in Gifu, Japan, Oct 8-10, 1990.
- Anon. 1980.** Stream enhancement guide. - Government of Canada, Fisheries and Oceans. Vancouver, British Columbia.
- Anon. 1984.** Vannkraftutbygning, reguleringsinngrep, virkninger på fisk. - Rapport Statistisk Sentralbyrå 84/10.
- Anon. 1990.** Fisketrapper, funksjoner og virkemåte. Innstilling fra fisketrapputvalget. - Direktoratet for Naturforvaltning 1990.
- Aeroceanics Fish Corporation. 1976.** The aer-oceanics fishway - a new concept, product brochure. Scarborough, Canada.
- Arnold, G.P. 1974.** Rheotropism in fishes. - Biol. Rev. 49(4): 515-576.
- Bachman, R.A. 1984.** Foraging behaviour of freeranging and hatchery brown trout in a stream. - Trans. Amer. Fish. Soc. 113: 1-32.
- Bainbridge, R. 1958.** Linløkken (1989) anger denna referens i teksten på sidan 32. Den saknas dock i litteraturliste.
- Bainbridge, R. 1960.** Speed and stamina in three fish. - J. Exp. Biol. 37(1): 129-153.
- Bangsgaard, L. 1993.** Fisketæthed på 14 stryg og omløb i Vejle Amt. - Vejle Amt. Teknik og Miljø. Vejle, Danmark.
- Banks, J.W. 1969.** A review of the literature on the upstream migration of adult salmonids. - J. Fish. Biol. 1: 85-136.
- Bates, K. 1990.** Recent experience in cost efficient fish passage in Washington State. p. 335-341. -In: Proceedings of the International Symposium on Fishways '90 in Gifu, Japan, Oct 8-10, 1990.
- Bates, D.W. & R. Vinsonhaler. 1957.** Use of louvers for guiding fish. - Trans. Amer. Fish. Soc. 86: 38-57.
- Beamish, F.W.H. 1978.** Swimming capacity. p. 101-187. - In: Hoar, W.S. & D.J. Randal (eds.) Fish physiology. Vol. 7. Locomotion. Academic Press, New York.
- Belford, D.A. & W.R. Gould. 1989.** An evaluation of trout passage through six highway culverts in Montana. - N. Amer. J. Fish. Mgmt 9: 437-445.
- Bell, M.C. 1984.** Fisheries handbook of engineering requirements and biological criteria. - U.S. Corps of Engineers, Fisheries Engineering Research Program, North Pacific Division, Portland, Oregon, USA.
- Bell, M.C. 1986.** Fisheries handbook of engineering requirements and biological criteria. - U.S. Corps of Engineers, Fish Passage Development and Evaluation Program, North Pacific Division, Portland, Oregon, USA.
- Berg, M. 1964.** Nord-norske lakseelver. - Johan Grundt Tanum, Oslo.
- Berg, O.K. & K.O. Myhre. 1990.** Handlingsplan. Fisketrapper og sikring av bestander. - DN-notat 1990-4. 39 p.
- Berg, S. 1987.** Fiskenes passage gennem turbineanlæg i Gudenåen. - Gudenåkomiteen - Rapport nr 15. Århus, Viborg og Vejle Amtskommune.
- Berg, S. 1988.** Heltbestanden i Ringkøbing og Stadil fjerde, opgangen nov-dec 1987. - Ringkøbing Fjord Undersøgelser 1986-87. Rapport udarbejdet for Ringkøbing Amtskommune.

- Brett, J.R. & D.F. Alderdice. 1958.** Research on guiding young salmon at two British Columbia field stations. - Bull., Fish. Res. Board Can. 117: 75 p.
- Brett, J.R. & D. Mackinnon. 1954.** Some aspects of olfactory perception in migrating adult coho and spring salmon. - J. Fish. Res. Board Can. 11: 310-318.
- Brett, J.R., M. Hollands & D.F. Alderdice. 1958.** The effect of temperature on the cruising speed of young sockeye and coho salmon. - J. Fish. Res. Board Can. 15(4): 587-605.
- British Institution of Civil Engineers. 1942.** Report of the committee on fishpasses. - William Clowes & Sons, London. (Reprinted 1948.)
- Calderwood, W.L. 1930.** Salmon and seatrout. - Edward Arnold, London.
- Clancy, C.G. & D.R. Reichmuth. 1990.** A detachable fishway for steep culverts. - N. Amer. J. Fish. Mgmt 10: 244-246.
- Clay, C.H. 1961.** Design of fishways and other fish facilities. - Dept. of Fisheries, Canada. 361 p.
- Clay, C.H. 1990.** Suggestions for future research on fishways and fish facilities. p. 1-9. - In: Proceedings of the International Symposium on Fishways '90 in Gifu, Japan, Oct 8-10, 1990.
- Cleugh, T.R. & L.R. Russel. 1980.** Radio tracking chinook salmon to determine migration delay at Whitehorse rapids dam. - Can. Fish. Mar. Serv. Manusc. Rep. 1495: 1-43.
- Collins, G.B. 1958.** The measurement of performance of salmon in fishways. p 85-91. - In: Larkin, P.A. (ed.) The investigation of fish power problems. University of British Columbia, Vancouver, Canada.
- Collins, G.B. & C.H. Elling. 1960.** Fishway research at the fisheries-engineering research laboratory. - U.S. Fish. Wildl. Serv. Circ. 98: 1-17.
- Collins, G.B., C.H. Elling, J.R. Gauley & C.S. Thompson. 1961.** Effect of fishway slope on performance and biochemistry of salmonids. - Fish. Bull. 63(1): 221-253.
- Collins, G.B., J.R. Gauley & C.H. Elling. 1962.** Ability of salmonids to ascend high fishways. - Trans. Amer. Fish. Soc. 91(1): 1-7.
- Connor, A.R., C.H. Elling, E.C. Black, G.B. Collins, J.R. Gauley & E. Trevor-Smith. 1964.** Changes in glycogen and lactate levels in migrating salmonid fishes ascending experimental "endless" fishways. - J. Fish. Res. Board Can. 21(2): 255-290.
- Dane, B.G. 1978.** A review and resolution of fish passage problems at culvert sites in British Columbia. - Fish. & Mar. Serv. Tech. Rep. 810.
- Dahl, J. 199.** Ålepas - hvorfor og hvordan? - Ferskvandsfiskeriforeningen for Danmark.
- Deelder, C.L. 1958.** Modern fish passes in the Netherlands. - Prog. Fish Cult. 20(4): 151-155.
- Denil, G. 1936.** La mécanique du poisson de rivière. - Annales des Travaux Publics de Belgique (4). (Artikeln fortlöper genom flera nummer under åren 1936, 1937 och 1938.)
- Dominy, C.L. 1973.** Effect of entrance, pool weir elevation and fish density on passage of alewives (*Alosa pseudoharengus*) in a pool and weir fishway. - Trans. Amer. Fish. Soc. 102: 398-404.
- Ducharme, L.J.A. 1972.** An application of louvers deflectors for guiding Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolts from power turbines. - J. Fish. Res. Board Can. 29(10): 1397-1404.
- Eiserman, F., G. Dern & J. Doyle. 1975.** Cold water stream handbook for Wyoming. - U.S. Soil Conservation Service, Cheyenne, Wyoming.
- Electric Power Research Institute. 1986.** Assessment of downstream migrant fish protection technologies for hydroelectric application. - EPRI AP-4711. Final report, project 2694-1.
- Elling, C.H. & H.L. Raymond. 1959.** Fishway capacity experiment. - U.S. Fish Wildl. Serv. Spec. Sci. Rep. Fish. 299.
- Ellis, D.V. 1962.** Preliminary studies on the visible migrations of adult salmon. - J. Fish. Res. Board Can. 19(1): 137-148.
- Everhart, W.H. A.W. Eipper & W.D. Youngs. 1975.** Principles of fishery science. - Cornell University Press, New York. 288 p.
- Everhart, W.H. & W.D. Youngs. 1981.** Principles of fishery science. - Cornell University Press, New York.
- Faler, M.P., L.M. Miller & K.I. Welke. 1988.** Effects of variation in flow on distributions of northern squawfish in the Columbia river below McNary dam. - N. Amer. J. Fish. Mgmt 8: 30-35.
- Fiskeriverket. 1993.** Möjligheter att öka flodkraftbestånd i svenska vatten. (English summary: Ways of increasing populations of the noble crayfish *Astacus astacus* in Swedish fresh waters.) - Information från Sötvattenslaboratoriet, Drottningholm (2). 66 p.

- Flick, W.A. 1968.** Effectiveness of three types of barrier panels in preventing upstream migration of fish. - *Progr. Fish Cult.* 30(2): 100-103.
- Forsman, A. 1961.** Avbördningstabell för skarpkantat mätöverfall med triangulär öppning. - Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut. Hydrologiska byrån.
- Furniss, M.J., T.D. Roelofs & C.S. Yee. 1991.** Road construction and maintenance. p. 297-323. - In: Meehan, W.R. (ed.) Influences of forest and rangeland management on salmonid fishes and their habitats. *Amer. Fish. Soc. Spec. Publ.* 19.
- Furuskog, V. 1945.** En ny laxtrappa. - *Svensk Fisk. Tidskr.* 11: 233-240.
- Furuskog, V. 1946.** Fiskvägsfrågan. - Föredrag hållet vid vandringsfiskutredningens sammanträde den 9 april 1946.
- Furuskog, V. 1948a.** Utvecklingstendenser inom fiskvägstekniken. - Föredrag vid Svenska Fiskevårdsförbundets sammanträde den 16 mars 1948.
- Furuskog, V. 1948b.** Fiskvägar, fiskhissar och fiskspärrar. - *Svenska Vattenkraftföreningens Publ.* 401 (1948:4).
- Gad, A. 1979.** PM angående utformning av vägtrummor - fiske. - PM 1979-03-15.
- Gauley, J.R. 1960.** Effect of fishway slope on rate of passage of salmonids. - *U.S. Fish Wildl. Serv. Spec. Sci. Rep. Fish.* 350.
- Gauley, G.R. & C.S. Thompson. 1963.** Further studies on fishway slope and its effect on rate of passage of salmonids. - *Fish. Bull. Fish. Wildl. Serv. U.S.* 63: 45-62.
- Golovanenko, L.F. & T.F. Shuvatova. 1975.** Some physiological indicators of the Azor pikeperch (*Lucioperca lucioperca*) from different habitats. - *J. Ichthyol.* 15(5): 833-836.
- Grande, R. 1983.** Erfaring med bygging av fiske-trapper; Hvorfor virker noen og andre ikke? - Symposium om tiltak ved vassdragsreguleringer og virkningene av disse, 1-3 nov 1983.
- Grande, R. 1990.** Fish ladders in Norway. p. 517-522. - In: Proceedings of the International Symposium on Fishways '90 in Gifu, Japan, Oct 8-10, 1990.
- Gray, J. 1957.** How fishes swim. - *Scientific American* 2: 48-54.
- Gross, M.R. 1987.** Evolution of diadromy in Fishes. - *Amer. Fish. Soc. Symp.* 1: 14-25.
- Gueneau, P. 1983.** Radio-telemetry on Atlantic salmon in France. p. 267-269. - In: Pincock, D.G. (ed.) Proc. 4 Int. Wildl. Biotec. Conf., Aug. 1983, Halifax.
- Haddering, R.H., J.W. van der Stoep & J.M.P.M. Habraken. 1991.** Deflecting eels from water inlets of powerstations with light. p. 78-87. - In: Moriarty, C. (ed.) Papers presented to the 7th Session of the EIFAC working party on eel, Dublin, 20-25 maj 1991. *Irish Fish. Invest. Ser. A.* 36.
- Halvorsen, M. 1987.** En effektstudie av lakse-trappene i Finnmark. - *Fylkesmannen i Finnmark, Miljøvernadv. Rapport* 23.
- Hannerz, L. & E. Degerman. 1984.** Lax - en utredning beträffande förutsättningarna för det svenska laxfisket. - *Jordbruksdepartementet, Ds Jo* 1984:5.
- Harden Jones, F.R. 1968.** Fish migration. - Edward Arnold Publ. Ltd, London. 325 p.
- Heikkilä, J. 1986.** Kalatie- ja kalataloudellinen tutkimus Tornionjoella. Tutkimusmetodiikan kehittäminen. - University of Oulu. 20 p. (Manuscript.)
- Henricson, J., O. Ring & L. Hanell. 1990.** Bevarande av genetiska naturresurser: Nationella avelsplaner för gullspångslax och gullspångsöring. (English summary: Conservations of genetic resources: national breeding plans for the salmon and trout stocks of River Gullspångsälven.) - *Information från Sötvattenslaboratoriet, Drottningholm* (3): 9-17.
- Hermansen, H. 1989.** Faunapassage langs vandløb ved større rørunderføringer. - *Dansk Vej-tidsskrift* 11.
- Hermansen, H. 1992.** Projektering af stenstryg som faunapassage i vandløb. - Baggrund og udvalgte overheads. Hedeselskabet, Center for Hydrobiologi, Silkeborg, Danmark.
- Hooli, J. 1988.** Studies in fishway models. - *Aqua Fenn.* 18(2): 171-178.
- Jackson, P.A. & D.I.D. Howie. 1967.** The movement of salmon (*Salmo salar*) through an estuary and a fish-pass. - *Irish Fish. Invest. Ser. A-2:* 1-28.
- Jens, G. 1971.** Funktion, Bau und Betrieb von Fischpässen. - *Arch. FischWiss.* 22 (Beih. 1): 1-30.
- Jens, G. 1981.** Funktion, Bau und Betrieb von Fischpässen. - *Arbeiten des Deutschen Fischerei-Verbandes* 32: 1-27.

- Jensen, A.J. & P. Aass. 1991.** Oppgang av ørret i fisketrappa i Hunderfossen 1983-1990 i forhold til vannføring og vanntemperatur. - Norsk Institutt for Naturforskning, NINA Forskningsrapp. 19: 1-27.
- Johlander, A. & P. Sjöstrand. 1993.** Fiskvägar i sydvästra Sverige - en översikt. Projekt Fiskvägar - funktion och utveckling. - Delrapport etapp I. Fiskeriverket, Utredningskontoret Jönköping.
- Jones, D.R., J.W. Kiceniuk & O.S. Bamford. 1974a.** An evaluation of the swimming performance of several fish species from the Mackenzie River. - J. Fish. Res. Board Can. 31(10): 1641-1647.
- Jones, D.R., O.S. Bamford & J.W. Kiceniuk. 1974b.** An evaluation of the swimming performance of several fish species from the Mackenzie River. - Study for Environment Canada, Fisheries and Marine Service, Winnipeg, Manitoba. (Unpubl. report.)
- Jørgensen, J. 1992.** Fiskepasse ved Holstebro Vandkraftverk. Undersøgelse af fisks opstrøms passage af, og gydesucces på stryget ved Holstebro Vandkraftverk. - Ringkøbing Amtskommune, Teknik- og miljøforvaltningen.
- Jørgensen, J. 1993.** Fiskepassage ved Holstebro Vandkraftværk. - Vand & Miljø 10(1): 13-17.
- Kamula, R., A. Laine, T. Pohjamo & J. Hooli. 1992.** The research in the Pöyry fishway of the River Siikajoki, Finland. - Laboratory of Hydraulics and Water Resources Engineering, University of Oulu. Sarja A Series Julkaisu 49 Publication.
- Kamula, R., A. Laine & J. Hooli. 1993.** Considering non-salmonid fish in fishway hydraulics. - Amer. Fish. Soc. Annual Meeting in Portland, USA, 1993.
- Katopodis, C. 1977.** Design of culverts for fish passage. - Third National Hydrotechnical Conference, Proceedings, 30-31 May 1977. Canadian Society for Civil Engineers. Vol 2. p. 949-971.
- Katopodis, C. 1990.** Advancing the art of engineering fishways for upstream migrants. p. 19-28. - In: Proceedings of the International Symposium on Fishways '90 in Gifu, Japan, Oct 8-10, 1990.
- Katopodis, C. 1992.** Introduction to fishway design. - Working document, Freshwater Institute, Central and Arctic Region, Department of Fisheries and Oceans, 501 University Crescent Winnipeg, Manitoba, Canada, R3T 2N6.
- Katopodis, C. & N. Rajaratnam. 1983.** A review and laboratory study of the hydraulics of denil fishways. - Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 1145. 181 p.
- Kay, A.R. & R.B. Lewis. 1970.** Passage of anadromous fish through highway drainage structures. - Highway Research Report, Final Report. District 01 Hydraulics Section. Research Report 629110.
- Kerr, J.E. 1953.** Studies on fish preservation at the Contra Costa steam plant of the Pacific Gas and Electric Co. - Calif. Fish & Game, Fish. Bull. 92.
- Laine, A. 1990a.** The effects of a fishway model hydraulics on the ascend of vendace, whitefish and brown trout in Inari, northern Finland. - Aqua Fenn. 20(2): 191-198.
- Laine, A. 1990b.** The swimming of fish and factors affecting it in the Kirakkaköngäs fishway model at Inari. - Laboratory of Hydraulics and Water Resources Engineering, University of Oulu. Sarja A Series Julkaisu 41 Publication.
- Laine, A., R. Kamula & J. Hooli. 1993.** Fundamental concepts of fish passage in Scandinavian countries. - Amer. Fish. Soc. Annual Meeting in Portland, USA, 1993.
- Landmark, A. 1884.** Om laxtrappe. - Norsk Teknisk Tidsskrift.
- Larinier, M. 1978.** Etude du fonctionnement d'un passe a poissons a raletisseurs plans. - Bull. Franc. Piscic. 51(271): 40-54.
- Larinier, M. 1990.** Experience in fish passage in France: Fish pass design criteria and downstream migration problems. p. 65-74. - In: Proceedings of the International Symposium on Fishways '90 in Gifu, Japan, Oct 8-10, 1990.
- Larinier, M. & A. Miralles. 1980.** Dispositif de guidage par persiennes «louveres». - Saumons 32: 15-16.
- Larsson, M. 1992.** Fiskspärrar. Metoder att leda (skrämna, locka) fisk i anslutning till vattenkraftanläggningar. - Vattenfall Vattenkraft, H 1992/5, Vällingby.
- Lassila, M. 1972.** Grundläggande hydrologi. - Umeå universitet, Geografiska institutionen. Kompendium 1.
- Leman, B. & G.J. Paulik. 1966.** Spill pattern manipulation to guide migrant salmon upstream. - Trans. Amer. Fish. Soc. 95: 397-407.
- Lindroth, A. 1941.** Ål och turbiner. - Svenska Vattenkraftföreningens Publ. 345 (1941:13).

- Lindsey, C.C. 1978.** Form, function and locomotory habits in fish. p. 1-100. - In: Hoar, W.S. & D.J. Randal (eds.) Fish physiology. Vol VII. Locomotion. Academic Press, New York.
- Linløkken, A. 1988.** Årsrapport for 1978. Glommaprojektet.- Hedmark Energiverk, Hamar, Rapp. 4.
- Linløkken, A. 1989.** Fisketrapper og fiskevandring i Glomma i Hedmark. Glommaprojektet. Hedmark Energiverk, Hamar, Rapp. 7.
- Long, C.W. 1959.** Passage of salmonoids through a darkened fishway. - U.S. Fish Wildl. Serv. Spec. Sci. Rep. Fish. 300.
- Lonnebjerg, N. 1980.** Fiskepass av modstrøms-typen. - Danmarks fiskeri- og Havsundersøgelser, Silkeborg og Ingeniørhøjskolen, Horsens, Danmark.
- Lonnebjerg, N. 1986.** Spærringer og fiskepass i vandløb. - Ingeniørhøjskolen, Horsens, Danmark, 1986-01-09.
- Lonnebjerg, N. 1987.** Måling af vandføring i render, kanaler og vandløb. - Ingeniørhøjskolen, Horsens, Danmark.
- Lonnebjerg, N. 1990.** Fishways in Denmark. p. 253-259. - In: Proceedings of the International Symposium on Fishways '90 in Gifu, Japan, Oct 8-10, 1990.
- Malevanchik, B.S. & I.V. Nikonorov. 1984.** Fish passing and protecting structures: design problems. - Moscow, Legkaya i pishchevaya promyshlennost'. (In Russian.)
- McKeown, B.A. 1984.** Fish migration. - Timber Press, Portland, Oregon, USA.
- McLeod, A.M. & P. Nemenyi. 1940.** An investigation of fishways. - Studies in Engineering Bulletin 24. University of Iowa, USA.
- Menzies, W.J.M. 1939.** Conference on salmon problem. p. 100-101. - In: Moulton, F.R. (ed.) Pubs. Am. Ass. Advmt. Sci. 8.
- Metsker, H.E. 1970.** Fish versus culverts. Some considerations for resource managers. - Forest Service. U. S. Department of Agriculture. Engineering Technical Information System. Technical report ETR-7700-5.
- Mills, D. 1971.** Salmon and trout. - Oliver and Boyd, Edinburgh.
- Mills, D. 1989.** Ecology and management of Atlantic salmon. - Chapman & Hall, London. 351 p.
- Mitchell, C.P. 1990.** Fish passes for New Zealand native freshwater fish. p. 19-28. - In: Proceedings of the International Symposium on Fishways '90 in Gifu, Japan, Oct 8-10, 1990.
- Moffitt, C.M., B. Kynard & S. Rideout. 1982.** Fish passage facilities and anadromous fish restoration in the Connecticut river basin. - Fisheries (Bethesda) 7(6): 2-11.
- Montén, E. 1955.** Om utvandrande laxungars möjligheter att oskadada passera genom kraftverksturbiner. - Vandringsfiskutredningen, Medd. 13.
- Montén, E. 1985.** Fisk och turbiner, Vattenfall. - Norstedts förlag, Stockholm.
- Muus, B.J. & P. Dahlström. 1968.** Sötvattensfisk och fiske i Europa. - Norstedts förlag, Stockholm.
- Nemenyi, P. 1941.** An annotated bibliography of fishways. - Studies in Engeneering, Bulletin 23. University of Iowa, USA.
- Nikolsky, G.V. 1963.** The ecology of fishes. - Academic Press, New York. 352 p.
- Norbäck, O.G. 1884.** Handledning i Fiskevård och Fiskafvel jemte öfversigt af svenska sötvattensfiskarnes familjer, Släkten och arter m m. - Gernandt Boktryckeri AB, Stockholm.
- Norman, L. 1989.** Selektion vid laxfiskars naturliga fortplantning och under odlingsförhållanden. (English summary: Selection in salmonids: A comparison between natural selection and selection under hatchery conditions.) - Information från Sötvattenslaboratoriet, Drottningholm (5): 50-63.
- Northcote, T.G. 1978.** Migratory strategies and production in freshwater fishes. p. 326-359. - In: Gerking, S.D. (ed.) Ecology of freshwater fish production. Blackwell Sci. Publ. Oxford.
- Nyman, L. 1986.** Avelsmetodik för fiskevården. (English summary: A breeding methodology for fisheries management.) - Information från Sötvattenslaboratoriet, Drottningholm (2): 1-20.
- Nyman, L. 1987.** Öring - stationär eller vandringsfisk? Samma art. - Fiskevård (2): 25.
- Näslund, I. 1990.** Överlevnad, spridning och tillväxt hos naturdammodlad, ensamrig öring (*Salmo trutta* L.) utsatt i Låktabäcken, Lappland. (English summary: Survival, dispersal and growth in 0+ pond reared brown trout (*Salmo trutta* L.) released in a northern Swedish stream.) - Information från Sötvattenslaboratoriet, Drottningholm (2): 1-15.

- Näslund, I. 1991.** Partial migration and the development of seasonal habitat shifts in a landlocked Arctic charr (*Salvelinus alpinus*) population. - Doctoral dissertation, Swedish University of Agricultural Sciences, Umeå.
- Näslund, I. 1992.** Öring i rinnande vatten. En litteraturöversikt av habitatkrav, täthetsbegränsande faktorer och utsättningar. (English summary: Brown trout (*Salmo trutta* L.) in running waters. Habitat requirements, density regulation and stocking - A review.) Information från Sötvattenslaboratoriet, Drottningholm (3): 43-82.
- Näslund, I., G. Milbrink, L.O. Eriksson & S. Holmgren. 1993.** Importance of habitat productivity differences, competition and predation for the migratory behaviour of Arctic charr. - *Oikos* 66: 538-546.
- Orsborn, J.F. 1985.** New concepts in fish ladder design. - Project 82-14, Final Report. Part 1: Summary. Bonneville Power Administration, Portland, Oregon, USA.
- Orsborn, J.F. 1987.** Fishways - historical assessment of design practices. - *Amer. Fish. Soc. Symp.* 1: 122-130.
- Osborne, M.F.M. 1961.** The hydrodynamical performance of migratory salmon. - *J. Exp. Biol.* 38: 365-390.
- Parker, R.R. & E.C. Black. 1959.** Muscular fatigue and mortality in troll-caught chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*). - *J. Fish. Res. Board Can.* 16: 95-106.
- Pavlov, D.S. 1979.** The biological bases of fish behaviour control in a water flow. - Moscow, Nauka. (In Russian.)
- Pavlov, D.S. 1989.** Structures assisting the migrations of non-salmonid fish: USSR. - *FAO Fish. Tech. Pap.* 308.
- Power, J.H. & J.D. McCleave. 1980.** Riverine movements of hatchery-reared Atlantic salmon (*Salmo salar*) upon return as adults. - *Env. Biol. Fish.* 5: 3-13.
- Powers, P.D. & J.F. Orsborn. 1985.** Analysis of barriers to upstream fish migration. - Project 82-14, Final Report. Part 4. Bonneville Power Administration, Portland, Oregon, USA.
- Powers, P.D., J.F. Orsborn, T.W. Bumstead, S. Klinger-Kingsley & W.C. Mih. 1985.** Fishways - an assessment of their development and design. - Project 82-14, Final Report. Part 3. Bonneville Power Administration, Portland, Oregon, USA.
- Pretious, E.S., L.R. Kersey & G.P. Contractor. 1957.** Fish protection and power development on the Fraser River. - Univ. of Br.C., Vancouver.
- Pryce-Tannatt, T.C. 1938.** Fish passes in connection with obstructions in salmon rivers. - The Buckland Lectures for 1937. Edward Arnold, London.
- Pyefinch, R.A. 1955.** A review of the literature on the biology of the Atlantic salmon. - *Sci. Invest. Freshw. Fish. Scot.* 9.
- Rajaratnam, N. & C. Katopodis. 1984.** Hydraulics of denil fishways. - *J. Hydraulics Engineering* 110(9): 1219-1233.
- Rajaratnam, N., C. Katopodis & L. Flint-Petersen. 1987a.** Hydraulics of two-level denil fishway. - *J. Hydraulic Engineering* 113(5): 670-676.
- Rajaratnam, N., G. van der Vinne & C. Katopodis. 1987b.** Hydraulics of vertical slot fishways. - *J. Hydraulic Engineering* 112(10): 909-927.
- Reiser, D.W. & R.T. Peacock. 1985.** A technique for assessing upstream fish passage problems at small-scale hydropower developments. p. 423-432. - In: Olson, F.W., R.G. White & R.H. Hamre (eds.) Symposium on small hydropower and fisheries. *Amer. Fish. Soc.*, Bethesda, Maryland.
- Ring, O. & L. Hanell. 1987.** Genetisk bakgrund till avelsstammarna av Gullspångslax och Gullspångsöring i Kälarne. (English summary: Genetic background of brood stocks of Gullspång salmon and brown trout at the Fisheries Board's Kälarne hatchery.) - Information från Sötvattenslaboratoriet, Drottningholm (6): 1-44.
- Ritchey, F. 1956.** Louvers collect fish in channel. - *Western Construction*, May 1956.
- Rosberg, G.E. & G.L. Greer. 1985.** Migration rate and behaviour of adult sockeye and chum salmon through trained and untrained sections of the lower Fraser River. - *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 1349: 1-25.
- Ruggles, C.P. 1980.** Review of the downstream migration of Atlantic salmon. - *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 952. 39 p.
- Ruggles, C.P. & P. Ryan. 1964.** An investigation of louvers as a method of guiding juvenile Pacific salmon. - *Can. Fish. Cult.* 33. 68 p.
- Ruggles, C.P. & T.H. Palmeter. 1989.** Fish passage mortality in a tube turbine. - *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 1664.

- Rytkönen, J. & A. Hepojoki. 1990.** The design and construction of fishways in the northern European river conditions. p. 245-251. - In: Proceedings of the International Symposium on Fishways '90 in Gifu, Japan, Oct 8-10, 1990.
- Sand, O. 1992.** Lyd og fryktreaksjoner hos lakse-smolt. - Fiskesymposiet februar 1992. Vass-dragsregulantenenes forening.
- Schmidt, C. 1922.** Fiskets skydd mot skador från industrin. - Ur: Nordqvist, O. (red.) Sötvattensfiske och fiskodling. Albert Bonniers Förlag, Stockholm.
- Schwalme, K., W.C. Mackay & D. Lindner. 1985.** Suitability of vertical slot and denil fishways for passing north-temperate, nonsalmonid fish. - Can. J. Fish. Aquat. Sci. 42(11): 1815-1822.
- Sers, B. & E. Degerman. 1992.** Fiskfaunan i svenska vattendrag. (English summary: The fish fauna in Swedish streams.) - Information från Sötvattenslaboratoriet, Drottningholm (3): 1-41.
- Shirvell, C.S. & R.G. Dungey. 1983.** Microhabitats chosen by brown trout for feeding and spawning in rivers. - Trans. Amer. Fish. Soc. 112: 355-367.
- Slatick, E. 1970.** Passage of adult salmon and trout through pipes. - U.S. Fish Wildl. Serv. Spec. Sci. Rep. Fish. 592.
- Slatick, E. & L.R. Basham. 1985.** The effect of denil fishway length on passage of some non-salmonid fishes. - Mar. Fish. Rev. 47(1): 83-85.
- Sonesten, L. 1991.** Gösens biologi - en litteratursammanställning. Information från Sötvattenslaboratoriet, Drottningholm (1): 1-89.
- Stuart, T.A. 1962.** The leaping behaviour of salmon and trout at falls and obstructions. - Dept. Agric. Fish. Scotl.; Freshw. Salm. Fish. Res. 28: 1-46.
- Svärdson, G. 1962.** Harren. - Fiske 2: 7-16.
- Svärdson, G. 1976.** Decline of the Baltic eel population. - Rep. Inst. Freshw. Res., Drottningholm 55: 136-143.
- Sørensen, H., P. Landsfeldt, M. Lorentzen & J.B. Vierli. 1992.** Stryg som faunapassage. Erfaringer og ideer. - Ingeniørhøjskolen, Horsens Teknikum, Danmark.
- Taugbøl, T. & J. Skurdal. 1993.** Crayfish plague and management strategies in Norway. - Biol. Cons. 63: 75-82.
- Tesch, F.-W. 1977.** The eel. Biology and management of Anguillid eels. - Chapman & Hall Ltd, London.
- Travade, F. 1990.** Monitoring techniques for fish passes recently used in France. p. 119-126. - In: Proceedings of the International Symposium on Fishways '90 in Gifu, Japan, Oct 8-10, 1990.
- Uppman, S. 1980.** Försök med ultraljudsteleometri på lekvandrande lax i Ljusnans mynningsområde 1979. (English summary: Ultrasonic tracking of migrating spawners of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in the mouth of River Ljusnan.) - Information från Sötvattenslaboratoriet, Drottningholm, (1). 32 p.
- Utter, W. 1972.** Laxens uppvandring i svenska älvar 1888 och 1971. - Svenskt Fiske 4: 16-17.
- Weaver, C.R. 1963.** Influence of water velocity upon orientation and performance of adult migrating salmonids. - U.S. Fish Wildl. Serv., Bureau Comm. Fish. Fishery Leaflet 63: 97-121.
- Webb, P.W. 1975.** Hydrodynamics and energetics of fish propulsion. - Env. Canada, Fish. Mar. Serv., Bull. 190.
- Westerberg, H. 1977.** Telemetriförsök med lax och laxöring i Mörrumsån, 1976. - Information från Laxforskningsinstitutet. p. 1-10.
- White, D.K. & B.J. Pennino. 1980.** Connecticut River fishways - model studies. - J. Hydraulics Div. 1980/7: 1219-1233.
- Wilke, H. 1975.** Aalaufstieg - leicht gemacht. - Fisch. und Fang 16: 160-161.
- Ziemer, G.L. 1962.** Steeppass fishway development. - Alaska Department of Fish and Game, Information Leaflet 12.

ENGLISH SUMMARY: FISHWAYS – A LITERATURE SURVEY

Migration within or between aquatic systems represents a necessary part of the life cycle of fish. Such migration may be for spawning purposes, to search for food, to move to winter feeding grounds or to areas having a suitable temperature and current etc. If fish are prevented from migrating, the consequences can be disastrous. Fish populations may be eradicated or decline drastically in number and range. The construction of fishways ensures free passage around natural or man-made barriers.

The construction this century of hydroelectric power installations on waterways in the Nordic countries has meant that large sections of both major and minor waterways have become inaccessible to migratory fish species. Maintenance and construction of fish passes therefore represents one of the most important ways of preserving original wild fish populations.

The need for information on fishways has increased along with the growing interest in this type of fisheries management. The purpose of the survey of the literature in this field is to provide a general picture of the present state of knowledge on the subject. The survey contains 183 references and deals with all the basic types of fishways described in the literature. In addition, there are a large number of unique variations which are not as yet in widespread use. Most of the available literature concerns North American studies, principally describing transatlantic fish species and habitats. However, the information presented has been selected in the light of its potential relevance in the Nordic countries. Fishways constructed for the upstream migration of adult fish have been given more space than devices for downstream migration.

Eight basic types of fishways may be identified as being among those used worldwide:

- weir fishways
- Denil fishways
- vertical slot fishways

- fish locks and elevators
- culvert fishways
- channels
- fishways for juveniles migrating upstream
- bypasses

The first seven types are mainly used for upstream migration but can also be used by the majority of fish species that migrate downstream. Culvert fishways and channels are particularly suitable for both upstream and downstream migration. Glass eels, which migrate upstream, require special "ladders" which may therefore be said to constitute a separate basic design. Bypasses are constructed solely for use by smolt migrating downstream.

Weir fishways consist of a series of pools functioning like the steps of a ladder. The water usually runs from one pool into another over a weir. Some of the water flow can also be channelled through notches in the weir overflow or via orifices in the base of the weir. There are other variations, but these are less common. According to most authorities, the drop from one pool to the next should not be more than 30 cm. Weir fishways seldom have a gradient of more than 10 per cent. They are usually made of concrete, although the weir itself may be of wood. Weir fishways are well-suited for most salmonids, although they are perhaps less effective for fish species having a tendency to swim through orifices or which are poor "leapers". Other disadvantages are vulnerability to flow and water level fluctuation.

In a **Denil fishway** the fish do not need to leap. Instead they swim along the bottom in a channel where the strength of the current has been reduced and to some extent turned to form a counter-current using baffles placed in the channel. The shape of the baffles and the angle at which they are affixed to the walls and bed of the channel vary from model to model. The most common types are the

plain Denil and the Alaska Steeppass. Denil fishways can be built with a relatively steep gradient: up to 25 per cent or so, but the steeper the gradient the more water is needed. Moreover, the gradient must be adapted to suit the fish species in question; around 15-25 per cent for adult salmonids and 10-15 per cent for other adult freshwater fish species. According to the literature, Denil fishways seem to work well for the majority of species in streams and rivers. However, pike-perch (also called zander - *Stizostedion lucioperca*) seem to find it difficult to pass and there are also conflicting views as to the suitability of these fishways for small fish. Most Denil fishways to date have been made of wood or of a combination of wood and concrete, although aluminium fishways also exist. Generally speaking, Denil fishways cope better with water level fluctuations than weir fishways. One disadvantage is their vulnerability to floating branches and other solid material which may have a dramatic effect on the current in the fishway, however.

In terms of their appearance and method of operation, **vertical slot fishways** may be said to be something between weir fishways and Denil fishways. The water flows from pool to pool via one or two vertical slots in the weir. Hence, the fish do not need to leap when negotiating the fishway. Since the slots constitute a "bottleneck", it is important that the width of the slots is adapted to suit fish migrating upstream. The water in the channel should not be less than 60 cm deep. The gradient may vary from about 5 to 15 per cent and is usually approximately 10 per cent. Fishways with vertical slots have been shown to work for a large number of freshwater fish and anadromous species. Even juvenile perch (*Perca fluviatilis*) have been observed using these fishways. Vertical slot fishways are often constructed in concrete with wooden weirs. They are more or less self-regulating and consequently cope very well indeed with fluctuations in flow and water level.

Fish locks and elevators work in a quite different way from other types of fishways. A fish lock works on roughly the same principle as a lock used by ships and boats. The fish swim into the lower section of the lock; the water level is then raised to the level up-

stream of the barrier to migration. An elevator, however, transports the fish past the barrier to migration using some form of mechanical lift. A common limiting feature of both locks and elevators is that they do not operate continuously, unlike, for example, weir fishways, Denil fishways and vertical slot fishways. Instead they operate on an intermittent cycle. The cycle runs from entry and transport upwards of a batch of fish over the barrier until the point when the next batch can be allowed to enter, and so on. A cycle may take anything from fifteen minutes to several hours, depending on method and the height of the barrier etc. On the other hand, there is no theoretical limit to the height of the barriers above which fish could be lifted in this way (at least 60 m in the case of elevators). It is more a question of cost. There are differences of opinion on the efficacy of locks and elevators; some authorities consider them to be limited by the fact that they cannot be run continuously and the complicated mechanisms involved, which often give trouble. However, there are fish locks and elevators that have been shown to be capable of transporting around 500,000 and one million fish a year, respectively.

Culvert fishways are used in connection with drainage channels under roads and railways, for example. The culverts often represent a barrier to fish migration. In practice there are three alternative methods of enabling fish to pass freely: (1) a normal cylindrical culvert (road culvert) allowing a maximum water velocity of 1.2 m/s and having a water depth of at least 0.2 m, (2) a culvert fitted with weirs or baffles to reduce flow rate and (3) a culvert (semi-cylindrical or similar) that resembles or makes use of the natural gradient, width, current and bed material of a watercourse. Depending on the length of the culvert, the gradient in a smooth cylindrical culvert should not exceed 0.5-1 per cent. The end face need not be circular; the shape is of no particular significance. Culverts are usually made of concrete or corrugated sheet metal.

Naturally shaped **channels** differ from other types of fishway in that they ensure free passage for both fish and small animals while also forming a suitable habitat for flora

and fauna. Two main types can be identified: those which are constructed in the watercourse itself over the barrier to migration and those which are dug alongside the barrier to form a bypass. The flow velocity in a channel should be in the region of 0.3-1.0 m/s, which requires a fairly gentle gradient: 1-1.5 per cent for long channels and 2-2.5 per cent for short ones. This allows channels to be used for both upstream and downstream migration by almost all fish species and sizes found in rivers and streams.

Eel ladders are a special type of fishway built for glass eels migrating upstream. Since these eels are very poor swimmers, a "ladder" must be designed so that the eels can climb or slither along a suitable substrate. An eel ladder may consist of rolled-up plastic-coated chicken wire filled with heather or brushwood. Synthetic materials are also used nowadays; in some cases these are placed inside PVC piping.

Bypasses are intended to ensure that downstream migrate juvenile fish, usually smolt, are able to pass by a water intake for a power plant or other installation. In general, a fish barrier is fitted near the intake in order to stop the fish from being sucked in and to guide them to the bypass. A bypass may either be designed as a simple weir or as a sloping channel. If a weir is constructed, the

drop should be at least 45 cm to prevent the fish turning back upstream. The water velocity in a bypass for salmon smolt should not exceed 1.5 m/s.

It is difficult to compare the cost of different types of fishway since materials, the accessibility of the site, environmental protection considerations, hydrology etc are of central importance. Norwegian and Swedish estimates indicate that the construction of fishways can be beneficial in socio-economic terms, however. Profitability increases in the years after construction since the building of a fishway represents a one-off cost, while return in the form of fish production is received annually.

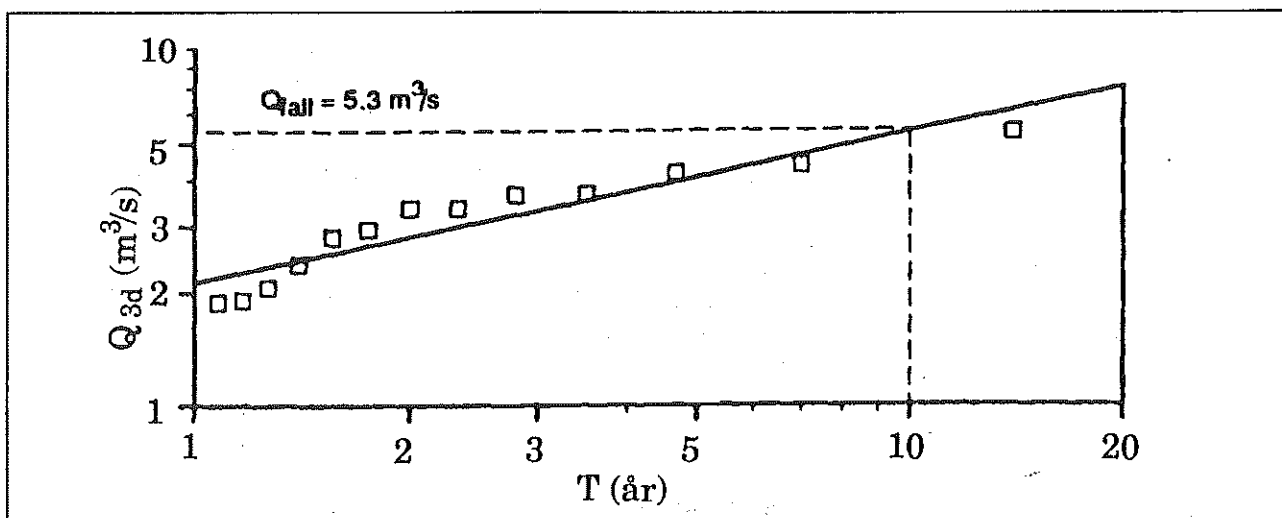
Careful consideration and clearly defined objectives are necessary when planning fishways. The main issue concerns the gains in terms of fish biology obtained from building a fishway as compared with existing conditions. Other considerations include water quality, conflicts with other interests along the watercourse, ownership and responsibility for operation and maintenance. Construction must also be followed by a monitoring programme designed to establish whether the objectives have been achieved. A cost-benefit analysis is usually justified, where benefit and cost should not only be seen in economic terms.

I rapporten nämnda fiskarter

Svenska	Engelska	Latin
Abborre	Perch	<i>Perca fluviatilis</i>
Amerikansk alosa-sill	American shad	<i>Alosa sapidissima</i>
Amerikansk gös	Walleye	<i>Stizostedion vitreum</i>
Asp	Asp	<i>Aspius aspius</i>
Bergssimpa	Alpine bullhead	<i>Cottus poecilopus</i>
Björkna	Silver bream	<i>Blicca bjoerkna</i>
Blåsik (Sik)	Powan	<i>Coregonus lavaretus</i>
Braxen	Bream	<i>Abramis brama</i>
Bäcknejonöga	Brook lamprey	<i>Lampetra planeri</i>
Bäckröding	Brook trout	<i>Salvelinus fontinalis</i>
Donaulöja	Danubian bleak	<i>Chalcalburnus chalcoides</i>
Elritsa	Minnow	<i>Phoxinus phoxinus</i>
Faren	Zope	<i>Abramis ballerus</i>
Färna	Chub	<i>Leuciscus cephalus</i>
Groplöja	Moderlieschen	<i>Leucaspis delineatus</i>
Grönling	Stone loach	<i>Noemacheilus barbatulus</i>
Gädda	Pike	<i>Esox lucius</i>
Gös	Pike perch	<i>Stizostedion lucioperca</i>
Harr	Grayling	<i>Thymallus thymallus</i>
Husstör	Giant sturgeon	<i>Huso huso</i>
Id	Ide	<i>Leuciscus idus</i>
Indianlax	Sockeye salmon	<i>Oncorhynchus nerka</i>
Karp	Common carp	<i>Cyprinus carpio</i>
Kungslax	Chinook salmon	<i>Oncorhynchus tshawytscha</i>
Lake	Burbot	<i>Lota lota</i>
Lax	Atlantic salmon	<i>Salmo salar</i>
Löja	Bleak	<i>Alburnus alburnus</i>
Mal	Wels	<i>Silurus glanis</i>
Majfisk	Shad	<i>Alosa alosa</i>
Mört	Roach	<i>Rutilus rutilus</i>
Nissöga	Spined loach	<i>Cobitis taenia</i>
Nors	Smelt	<i>Osmerus eperlanus</i>
Regnbåge	Steelhead trout	<i>Oncorhynchus myssky</i>
Ruda	Crusian carp	<i>Carassius carassius</i>
Rysk stör	Russian sturgeon	<i>Acipenser gueldenstaedti</i>
Röding	Arctic charr	<i>Salvelinus alpinus</i>
Sandkrypare	Gudgeon	<i>Gobio gobio</i>
Siklöja	Vendace	<i>Coregonus albula</i>
Sill	Herring	<i>Clupea harengus</i>
Silverlax	Coho salmon	<i>Oncorhynchus kisutch</i>
Stensimpa	Bullhead	<i>Cottus gobio</i>
Stillahavsnejonöga	Pacific lamprey	<i>Lampetra tridentata</i>
Stjärnstör	Stellate sturgeon	<i>Acipenser stellatus</i>
Storsik	Humpback whitefish	<i>Coregonus pidschian</i>
Strupsnittsöring	Cutthroat trout	<i>Oncorhynchus clark bowieri</i>
Stäm	Dace	<i>Leuciscus leuciscus</i>
Sugkarpar	Suckers	<i>Catostomus spp.</i>
Sutare	Tench	<i>Tinca tinca</i>
Vimma	Zährte	<i>Vimba vimba</i>
Äl	Eel	<i>Anguilla anguilla</i>
Älvsik	Broad whitefish	<i>Coregonus nasus</i>
Öring	Brown trout	<i>Salmo trutta</i>
Mejselmunnad karpfisk	Chiselmouth	<i>Acrocheilus alutaceus</i>
Guldögd karpfisk	Goldeye	<i>Hiodon alosoides</i>
Oregonstäm	Northern squawfish	<i>Ptychocheilus oregonensis</i>

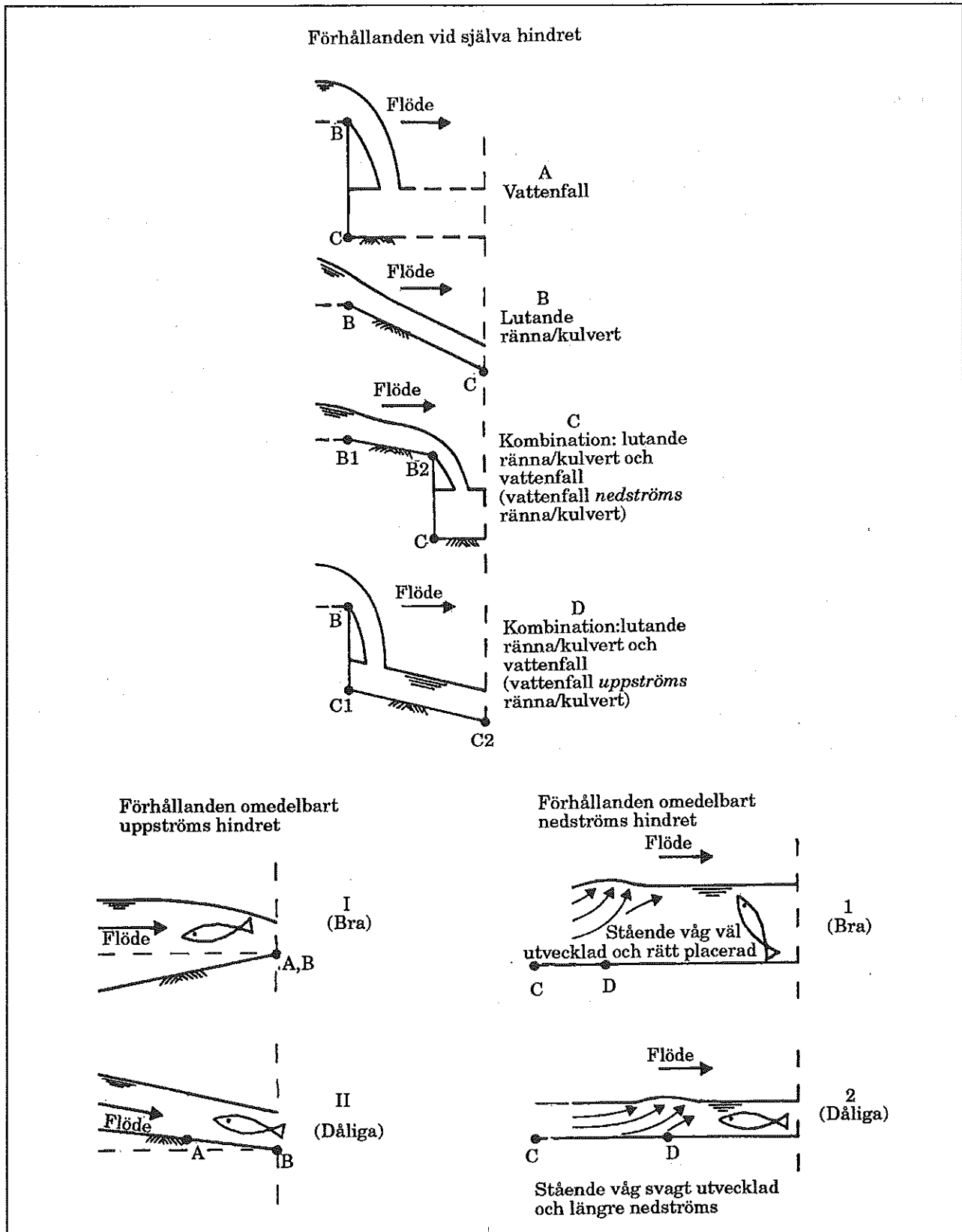
Beräkning av "tre-dagars-förseningsflöde" (efter Katopodis 1977, 1992).

- A. Beräkna det årliga "tre-dagars-förseningsflödet" (Q_{3d}) för den aktuella uppvandringsperioden (x är det antal år för vilka man har tillgång till dagliga flödesmätningar under den aktuella uppvandringsperioden)
1. Det lägsta värdet av de tre första dagarnas flöde under uppvandringsperioden sättes som initialvärde på Q_{3d} .
 2. Bestäm det lägsta flödet för nästa tredagarsperiod, dvs det lägsta flödet för dagarna två, tre och fyra.
 3. Jämför det lägsta flödesvärdet i (2) med det initiala Q_{3d} -värdet i (1); det största av de två flödesvärdena sättes därefter som det nya Q_{3d} -värdet.
 4. Bestäm det lägsta flödet för nästa tredagarsperiod, d v s det lägsta flödet för dagarna tre, fyra och fem.
 5. Jämför det lägsta flödesvärdet i (4) med det "nya" Q_{3d} -värdet i (3); det största av de två flödesvärdena sättes därefter som det nya Q_{3d} -värdet.
 6. Upprepa detta förfarande för hela uppvandringsperioden så att ett slutligt Q_{3d} -värde erhålles för det första året.
 7. Upprepa proceduren för samtliga år så att x olika Q_{3d} -värden erhålls.
- B. De olika årens Q_{3d} -värden rangordnas där-
efter enligt följande:
8. Ge det högsta Q_{3d} -värdet ranknummer 1, det näst högsta ranknummer 2 osv.
 9. Bestäm "upprepningsperioden" (T) för varje Q_{3d} -värde genom att dividera totalantalet Q_{3d} -värden plus 1 ($x + 1$) med respektive ranknummer.
Exempel: "upprepningsperioden" för det fjärde största Q_{3d} -värdet baserat på 15 års flödesmätningar blir $T = (15 + 1)/4 = 4$.
 10. (T) plottas därefter mot respektive Q_{3d} -värde i ett log-log diagram. Punkterna bildar vanligtvis en rät linje. Med hjälp av diagrammet kan man bestämma andra Q_{3d} -värden, t ex det "tre-dagars-förseningsflöde" som uppträder var tionde år ($T = 10$).

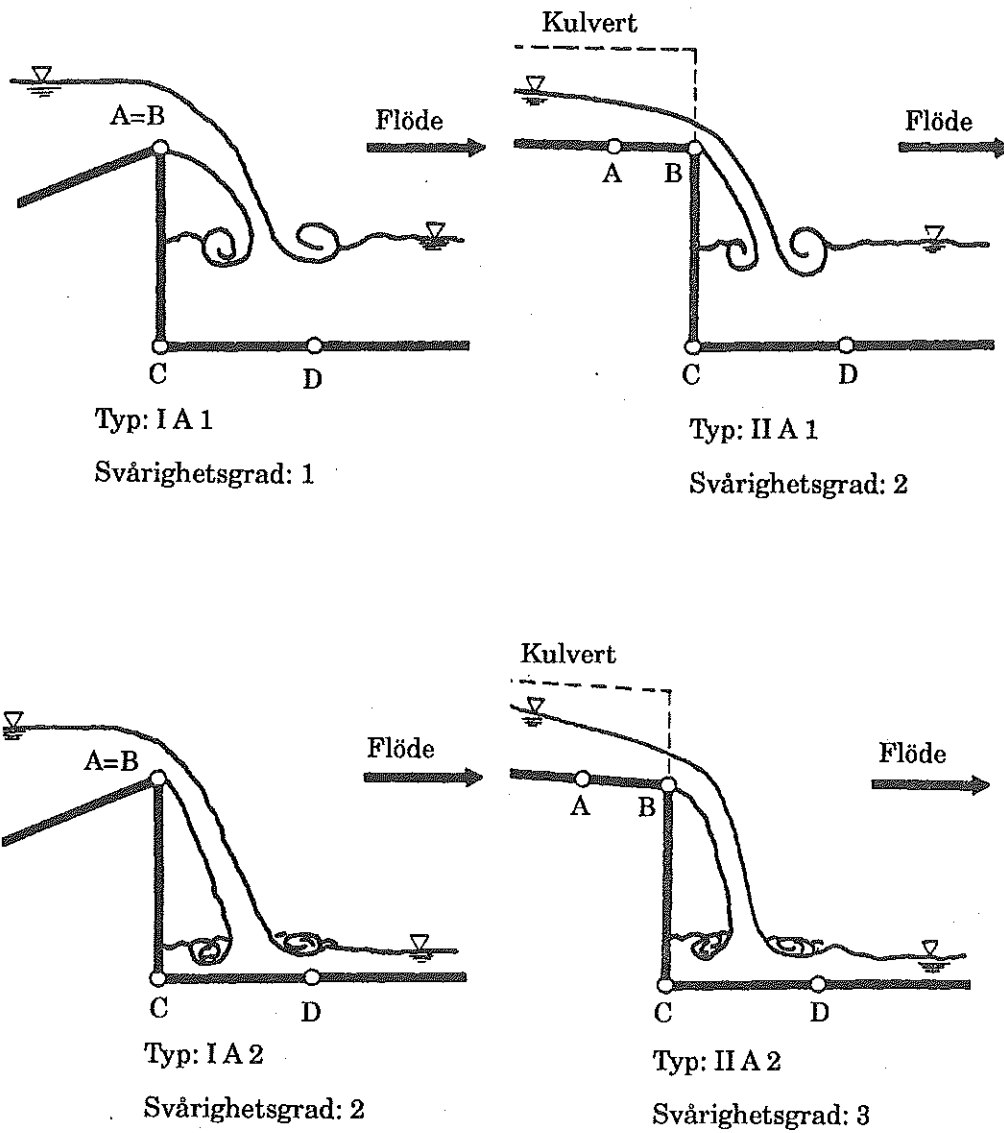


Figur II:1 Frekvenskurva för "tre-dagars-förseningsflödet" (Q_{3d}) i floden Redearth Creek i Canada för perioden 15 sept - 31 okt. Av diagrammet framgår att vattenföringen vart tionde år ($T = 10$) uppgår till minst $5,3 m^3/s$ under tre dagar i följd. (Modifierad efter Katopodis 1992, s 14.)

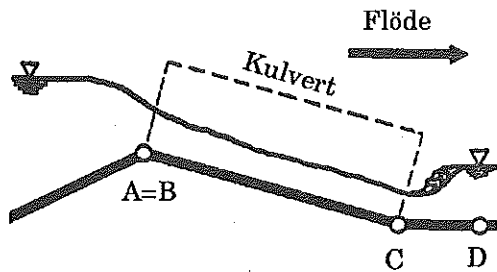
Karakterisering av vandringshinder med hänsyn till svårighetsgrad



Figur III:1 Teckenförklaring till figurerna III:2-III:5 för karakterisering av vandringshinder med hänsyn till svårighetsgrad. Vandringshindren är avbildade i sidovy. (Efter Powers & Orsborn 1985, s 32-34.)

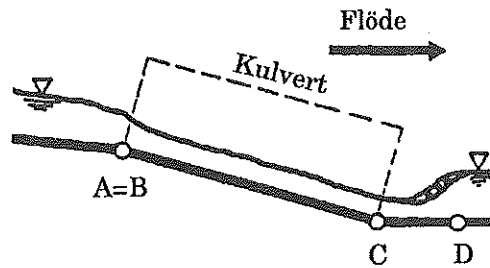


Figur III:2 Olika typer av vandringshinder samt deras relativa svårighetsgrad är indelad i en subjektiv skala 1-10. Övriga teckenförklaringar återfinns i figur III:1. (Efter Powers & Orsborn 1985, s 35.)



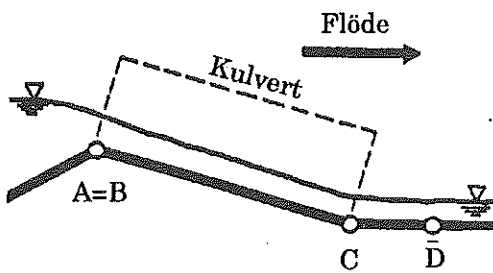
Typ: I B 1

Svårighetsgrad: 2



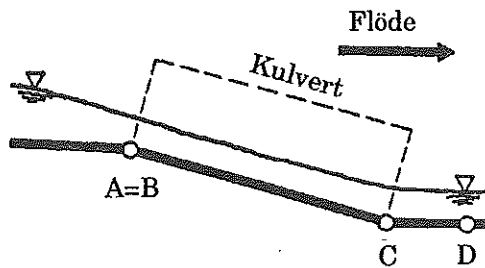
Typ: II B 1

Svårighetsgrad: 3



Typ: I B 2

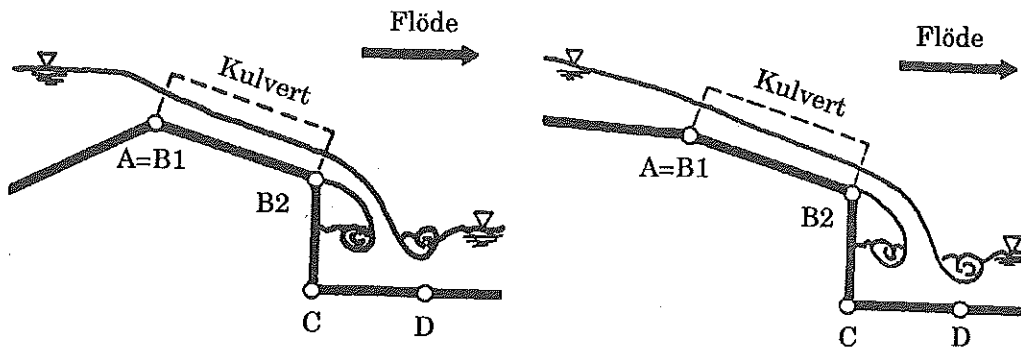
Svårighetsgrad: 3



Typ: II B 2

Svårighetsgrad: 4

Figur III:3 Olika typer av vandringshinder samt deras relativa svårighetsgrad är indelad i en subjektiv skala 1-10. Övriga teckenförklaringar återfinns i figur III:1. (Efter Powers & Osborn 1985, s 36.)

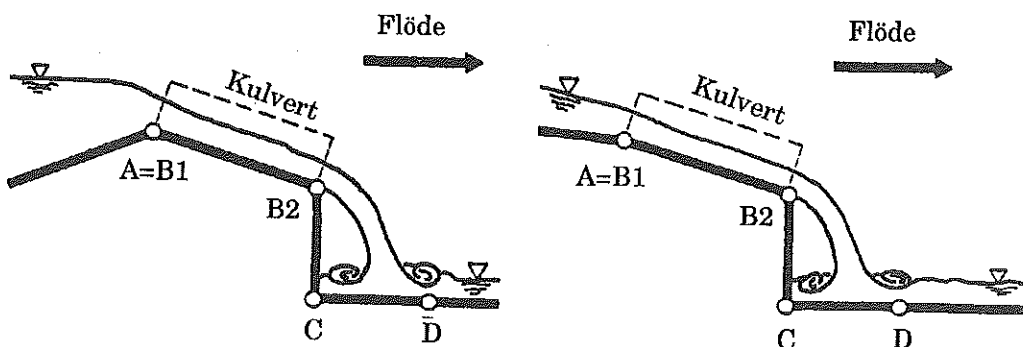


Typ: I C1

Svårighetsgrad: 3

Typ: II C1

Svårighetsgrad: 4



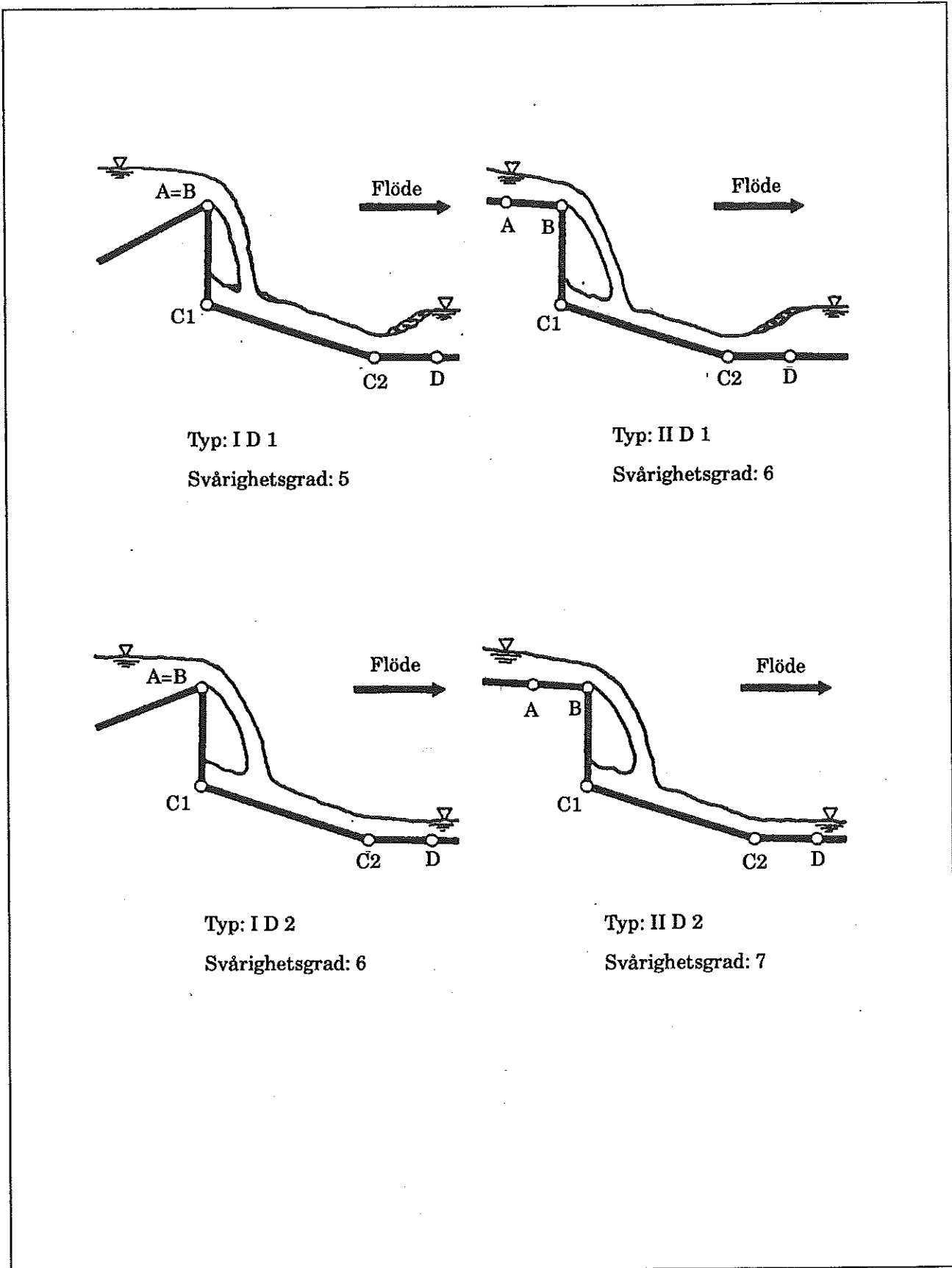
Typ: I C2

Svårighetsgrad: 4

Typ: II C2

Svårighetsgrad: 5

Figur III:4 Olika typer av vandringshinder samt deras relativa svårighetsgrad är indelad i en subjektiv skala 1-10. Övriga teckenförklaringar återfinns i figur III:1. (Efter Powers & Osborn 1985, s 37.)



Figur III:5 Olika typer av vandringshinder samt deras relativa svårighetsgrad är indelad i en subjektiv skala 1-10. Övriga teckenförklaringar återfinns i figur III:1. (Efter Powers & Orsborn 1985, s 38.)

INFORMATION FRÅN SÖTVATTENSLABORATORIET (INSTITUTE OF FRESHWATER RESEARCH), DROTTNINGHOLM

- 1993 1 Westerberg, H. Laxmärkningar i Vättern. English summary: Evaluation of tagging experiments on landlocked Atlantic salmon in Lake Vänern 1965-91 p. 1-15
- Näslund, I. Överlevnad och spridning hos öring utsatt i små vattendrag. English summary: Survival and dispersal in hatchery-reared brown trout (*Salmo trutta* L.) released in small streams p. 17-41
- Näslund, I. Läktaprojektet 10 år - erfarenheter från ett försök att etablera en vandrande öringstam. English summary: Genetic and environmental influences on the migratory behaviour of brown trout (*Salmo trutta* L.) in a Swedish stream p. 43-54
- 2 Fiskeriverket Möjligheter att öka flodkraftbestånd i svenska vatten. English summary: Ways of increasing populations of the noble crayfish *Astacus astacus* in Swedish fresh waters 66 p.
- 3 Höglind, K. Studier av havsöringbeståndet i den kalkade Tjöstelrödsbäcken - elfisken och vattenkemi. English summary: Studies of the sea trout (*Salmo trutta*) population in River Tjöstelrödsbäcken, a small lime-treated stream in south-west Sweden p. 1-24
- Degerman, E. Vad betyder förekomsten av sjöar för fiskfaunan i rinnande vatten? English summary: What is the effect of lakes on stream-dwelling fish? p. 25-35
- Sers, B.
- Degerman, E. *pH*sces - fisk som indikator på lågt pH. English summary: *pH*sces - the fish fauna as an indicator of low pH p. 37-54
- Lingdell, P.-E.
- 4 Sers, B. Sammanställning av fiskmärkningar utförda under åren 1980-85. English summary: Tagging experiments of freshwater fish in Sweden 1980-85 71 p.
- Meyer, E.
- Enderlein, O.