

Vandføringens betydning for opstrøms passage af laks og ørred ved opstemninger i vandløb

Litteraturstudie og statusrapport.

Rapport til Skov- og Naturstyrelsen

Udarbejdet 20. juni 1999 af
Biotop v/rådgivende biolog Jan Nielsen
Ønsbækvej 35, Studstrup, 8541 Skødstrup
Tlf. 26 73 99 06 eller 75 82 99 06
e-mail jn@biotop.dk, www.biotop.dk

Indholdsfortegnelse

Forord	3
Sammendrag	4
English summary	6
1 Indledning	8
2. Fiskepassager	11
2.1 Betydningen af effektive fiskepassager	11
2.2 Fjernelse af spærring og etablering af stryg	13
2.3 Omløb	14
2.4 Fisketrapper	14
3. Laksens og ørredens vandringer	15
3.1 Tidspunkt på døgnet	15
3.2 Springadfærd ved forhindringer	15
3.3 Vandringshastighed	17
3.4 Vandtemperaturen og svømmeevnen	18
3.5 Vandføringens generelle betydning	20
4. Eksempler på undersøgelser af vandføringens betydning for laksens og ørredens vandringer	22
4.1 Danske undersøgelser	22
4.1.1 Gudenåcentralen ved Tange, Gudenå	22
4.1.2 Holstebro Vandkraftværk, Storå	24
4.1.3 Årup Mølle Dambrug og Svends Mølle, Rohden Å	26
4.2 Udenlandske undersøgelser	32
4.2.1 Pitlochry Dam, Skotland	32
4.2.2 Hunderfossen, Norge	33
4.2.3 Loire, Frankrig	33
4.3 Sammenstilling af resultater over vandføringens betydning	35
5. Samlede konklusioner om vandføringens betydning	39
Litteratur	42

Forord

I 1955 skrev statsbiologen Knud Larsen en rapport om, hvordan man kunne sikre fiskenes frie vandringer ved regulering af vandløb. Han var fuldt ud klar over de problemer, man kunne skabe ved reguleringer, etablering af styrt m.m. og nævnte, at det kunne være i strid med de samfundsøkonomiske interesser. ”*Man må gøre sig klart, at man ved ødelæggelsen af fiskeriet i et vandløb ikke alene fjerner grundlaget for en lille flok menneskers fornøjelse, men – i føleligere grad – grundlaget for en del af det i forvejen hårdt trængte kystfiskeris eksistens*”.

Knud Larsen og hans kolleger fungerede også som fiskerisagkyndige ved etableringen af dambrug m.m., hvor man ved anlæg af spærredæmninger ofte forhindrede fiskene i at nå de livsvigtige gydeområder opstrøms dæmningerne. De fiskerisagkyndige var klar over problemet og forlangte ofte såkaldte erstatningsudsætninger som compensation. I andre tilfælde blev der anlagt fisketrapper, som skulle være i funktion i efteråret, når ørreder og laks vandrede opstrøms på gydevandring. Desværre var der ingen krav om passage for arter uden fiskerimæssig interesse, og eftertiden har vist, at de fleste fisketrapper ikke fungerede pga. fejlkonstruktion og dårlig pasning.

Statsbiologernes bekymring for vandløbenes tilstand gjaldt fiskeriet, ikke miljøet. I dag er der en anderledes bred miljøforståelse i samfundet, idet det er en forudsætning i amternes regionplaner, at der skal være et alsidigt dyre- og planteliv i vandløbene. Fiskene opfattes som en del af det alsidige dyreliv, og der kan kun være naturlige fiskebestande, hvis fiskene kan vandre frit i vandløbene. Derfor er der krav om passage for fisk og den øvrige fauna i regionplanerne.

Mange dambrug har i dag tilladelse til at bruge det meste af vandet i vandløbene til fiskeproduktion, så de oprindelige å-strækninger uden om dambrugene ligger ofte tørre hen det meste af året. Det betyder, at fiskene og den øvrige fauna forsvinder helt eller delvist fra disse døde å-strækninger, lige som vandringerne stoppes. Men efter en ændring i vandforsyningsloven er der nu krav om, at dambrugene fra år 2005 skal afgive mindst halvdelen af medianminimums-vandføringen til de døde å-strækninger.

Denne rapport er finansieret af Skov- og Naturstyrelsen og er udarbejdet som arbejdsgrundlag for en vurdering af den nødvendige vandmængde til sikring af gode passagemuligheder for laks og havørred uden om opstemningsanlæg. Det skal pointeres, at der er tale om opstrøms vandringer, og at rapporten ikke beskriver de øvrige fiskearters krav til vandføringen. Desuden må det pointeres, at der er lavet en del upublicerede fiskeundersøgelser omkring fiskepassager, hvor det ikke har været muligt at medtage resultaterne i denne rapport pga manglende databehandling og sammenskrivning. Det vurderes dog, at der ligger en del brugbare undersøgelsesresultater og venter på en samlet vurdering.

Det skal til slut fremhæves, at den endelige afvejning af den nødvendige vandmængde til sikring af et godt vandløbsmiljø ved opstemningsanlæg også bør indeholde en vurdering af mulighederne for nedstrøms fiskepassage, andre arters krav (flora og fauna) samt egentlige helhedsvurderinger.

Sammendrag

Laks og ørred er afhængige af at gyde i vandløbene og trækker hovedsagelig opstrøms i perioder med meget vand. Vandføringen er den parameter, der har størst betydning for fiskenes vandringer, og optrækket udebliver eller mindskes stærkt ved små vandføringer. Hvis fiskenes vandringer skal sikres, anbefales det, at der afgives en tilstrækkelig vandmængde til fiskepassage ved opstemningsanlæg, og at vandløbene uden om anlæggene bevarer stærkt svingende vandføringer med flomsituationer, som kan udløse fiskenes vandretrang.

De vandføringer, der udløser laksens og ørredens vandringer, defineres som vandføring pr. m vandløbsbredde. Fiskenes opstrøms vandringer begynder primært, når vandføringen stiger til 80 l/s/m, kulminerer ved 200 l/s/m og reduceres ved større vandføringer.

Ovenstående kan sikre optrækket af laks og havørred gennem vandløbene. Men det må også sikres, at fiskene finder og passerer de fiskepassager, der er anlagt uden om opstemningsanlæg m.m.. Ud fra en biologisk tankegang anbefales det, at spærringerne så vidt muligt fjernes eller ombygges til stryg, så der genskabes fuldstændig fri fiske/faunapassage samtidig med, at der ikke er noget pasningsbehov.

Hvis det ikke kan lade sig gøre at fjerne en spærring eller ombygge den til et stryg, anbefales det at lave omløb med dobbeltprofil, så der kan løbe meget vand gennem omløbet i situationer med frivand. Frivandet er gratis og bør bruges som lokkevand i fiskepassagen frem for, at det lokker fiskene et forkert sted hen. Det bedste vil være at konstruere en lav overløbskant ved vandindtaget til passagen, så vandet af sig selv løber ned i passagen, når vandstanden stiger. Det kræver mindre pasning og fungerer ofte bedre end ved brug af egentlige stemmeskodder.

Det er uhyre vigtigt, at vandet fra fiskepassagen løber ud meget tæt på det sted, hvor andet vand ledes ud. Ellers farer fiskene vild. Hvis det ikke kan lade sig gøre, anbefales det umiddelbart opstrøms udløbet af passagen at etablere en afgitring med 20 mm tremmeafstand eller at støbe en skrånende styrtbund af beton, så fiskene forhindres i at svømme forbi fiskepassagen.

Forudsat at man laver fiskepassager efter anerkendte principper, og at udløbet af passagerne er placeret optimalt i forhold til opstemningen (incl. evt. afgitring nedstrøms turbiner o.a.) kan man drage følgende konklusioner:

- I mindre vandløb, hvor medianminimum er op til nogle få hundrede l/s, virker nogle (men ikke alle) passager godt ved vandføringer svarende til medianminimum. Der er ikke konstateret velfungerende passager, hvis vandføringen i passagen er under en vandmængde svarende til medianminimum. Hvis passagen indrettes, så den kan rumme frivand svarende til flere gange medianminimum vil den derimod altid virke efter hensigten.
- I større vandløb som i Storåen ved Holstebro (medianminimum på næsten 4.000 l/s) kan fiskene tilsyneladende godt finde en passage, hvor der kun løber ca. 25 % af medianminimum. Det skal pointeres, at der ikke er fundet andre positive resultater af undersøgelser med en så lille vandføring i en fiskepassage, og at konklusionerne ved Holstebro er baseret på fangst af ganske få laks og havørreder i omløbet. Det skal dog samtidig tilføjes, at undersøgelserne i Storåen har været meget grundige, at der også har været elektrofisket meget i Storåen nedstrøms og omkring omløbet, og at

der har været tale om en betydelig opvandring af laksefisken helt. Derfor anses undersøgelsens konklusioner for pålidelige.

Laksen og havørreden starter sine opstrøms vandringer i større vandløb i april-juni og trækker for alvor op i de mindste vandløb fra september. Oprækket slutter i januar/februar. Det kan på det foreliggende grundlag konkluderes, at en vandføring på halvdelen af medianminimum (som krævet ved dambrugene fra år 2005) i en fiskepassage ikke i sig selv er nok til at sikre opstrøms passage af laks og havørred i mindre vandløb, hvor vandføringen går ned på nogle få hundrede l/s om sommeren. Hvis der skal sikres en effektiv fiskepassage, må den afgivelse af frivand, der kræves ved dambrug fra år 2005, derfor suppleres med ekstra afgivelse af vand i den periode, hvor laksen og havørreden vandrer opstrøms. Hvordan det evt. skal gøres, skal ikke vurderes i denne rapport, som udelukkende omfatter en biologisk vurdering af de nødvendige vandmængder til sikring af effektiv fiskepassage.

Laks og havørreder på gydevandring vandrer primært i perioden fra solnedgang til solopgang. Kendskabet hertil kan bruges ved turbineanlæg med større vandmagasiner, hvor indtægten fra salg af elektricitet er mindst om natten. Her kan det i specielle situationer (som ved Holstebro Vandkraftværk) overvejes at have stor vandføring i fiskepassagen i de mørke timer og mindre i dagtimerne, så vandet udnyttes bedst muligt. Man skal dog sikre sig, at man ikke har alt for store udsving i vandføring/vandstand op- og nedstrøms opstemningerne, da det kan forårsage andre økologiske gener som udtørring af stryg, overskylning af fuglereeder m.m..

Andre fiskearter end laks og havørred er ikke omtalt i denne rapport. Det kan dog konkluderes, at mange af de andre fiskearter ikke kan eller vil passere egentlige fisketrapper, men at de altid kan passere stryg og omløb. Derfor anbefales stryg og omløb generelt som fiskepassage frem for fisketrapper.

English summary

The salmon *Salmo salar* and trout *Salmo trutta* depend on in-river spawning and the upstream migrations mainly occur in spate situations. The river-flow is the most important parameter controlling fish migrations and upstream migrations ceases or diminishes strongly at low flows. If fish migrations are to be secured it is recommended to secure a sufficient flow in the fish passages at weirs and to protect spates in the rivers and fish passages around weirs to trigger fish migrations.

The flows which trigger the migrations of salmon and trout are defined as flow per m river width. The upstream migrations primarily starts when flows increases to 80 l/sec/m, culminates at 200 l/sec/m and are reduced at higher flows.

Apart from triggering the upstream migrations of salmon and trout it must be secured that the fish find and passes the fish passages around obstacles. From a biological point of view it is recommended to remove the obstacles or change them to riffles/rock ramps. In this way free fish/faunapassage is regained and there is no need for maintenance of man made fish passages.

If it is impossible to remove an obstruction or change it into a rock ramp it is recommended to make bypass-streams with a double profile so that river flows in the bypass-stream can be increased in spate situations. The surplus water is costless and should be used as attraction water in the fish passage instead of misguiding the fish in wrong directions. The best solution is to construct a low overflow edge at the water intake to the fish passage so that the water automatically flows into the fish passage when the water level increases. This solution requires less maintenance and functions better than traditional fish ladders.

It is very important to lead the water from the fish passage out into the river very close to the weir. If not the fish are often misguided. If this is impossible it is recommended to construct a screen with 20 mm's between bars right upstream the outlet from the fish passage or to construct a ramp of concrete upstream the outlet of the fish passage so that the fish are prevented from swimming upstream from the outlet of the fish passage.

If the fish passages are constructed after well known principles and if the outlet of the fish passage are very close to the weir the following conclusions can be drawn:

- In small streams with summer flows of a few hundred l/sec some (but not all) passages are successful at flows which equals median minimum flows. No successful fish passages have been found if the fish passage flow is smaller than the median minimum flow of the river. If the passage is constructed to hold surplus water several times the median minimum flow of the river it will always be successful.

In bigger streams as the River Storå at Holstebro (median minimum flow equals 4.000 l/sec) the fish apparently are able to find a passage with of flow as low as 25 % of the river median minimum flow. It should be pointed out that no other successful fish passages have been found with a relative flow as low as this and that the conclusions from the Holstebro research program are drawn after catching a few salmon and seatrout. It should however also be pointed out that the investigations at Holstebro have been very thorough including electrofishing in the River Storå downstream and near the outlet of the fish passage and that there have been a massive upstream migration of the whitefish to the bypass-stream. Because of this the investigations in the River Storå are very reliable.

The salmon and seatrout start the upstream migrations in the bigger streams in April-June increasing the intensity of upstream migrations to the smaller streams in September. Upstream migrations ceases in January/February. It can be concluded that a fish passage flow which equals half the median minimum river flow is insufficient to secure upstream migrations of salmon and seatrout in the smaller streams with a median minimum river flow of a few hundreds of liters per second. If upstream migrations are to be secured the statutory liberation of water equalizing a flow of half the median minimum flow which are demanded at fish farms from the year 2005 thus must be supplemented with extra water in the period of upstream migrations of salmon and trout. How this is done is not discussed in this report which only comprises a biological evaluation of the necessary river flows to secure sufficient and effective fish passage facilities.

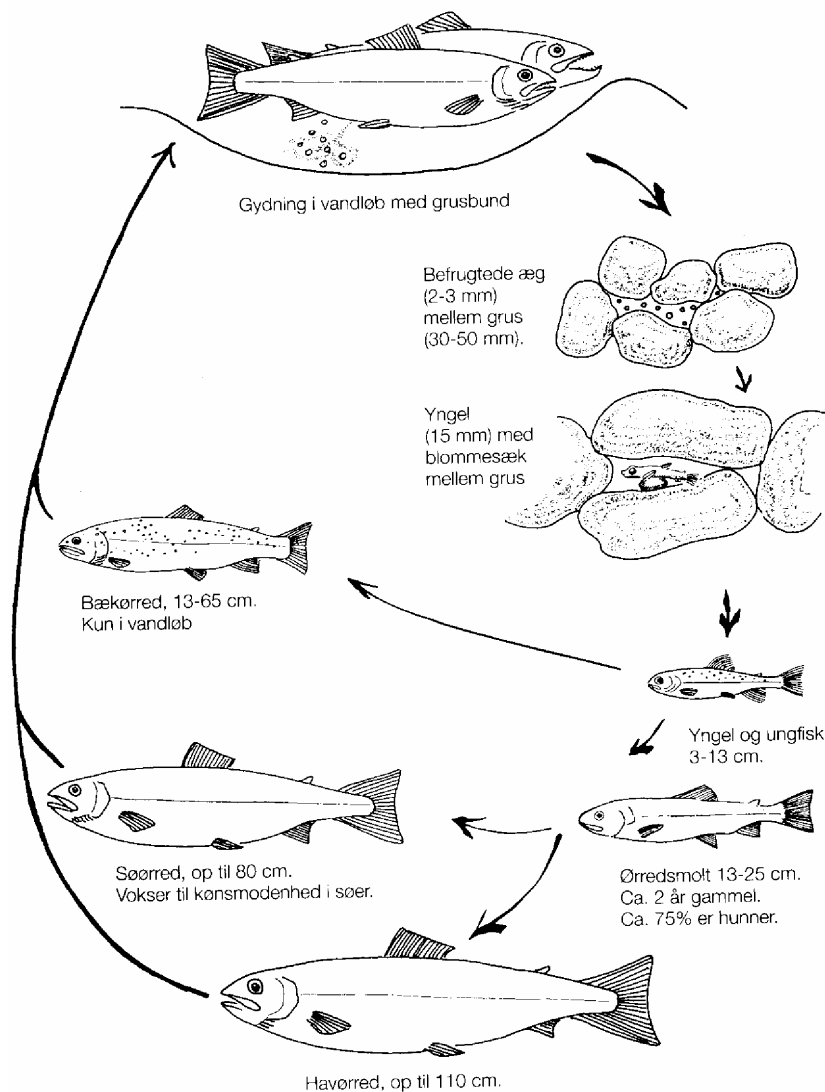
Salmon and seatrout on spawning migrations primarily migrates in the period from sunset to sunrise. This knowledge can be used at hydropower stations with big reservoirs where the income from sale of electricity is smallest at night. Here it can be considered to have a big flow through the fish passage at night and a smaller flow during daytime so that the water is used to facilitate fish passage in the most effective way (as at Holstebro Hydro Power Station). It should however be taken into account that big variations in water level up- and downstream the weir should be avoided because of negative ecological effects such as drying out of riffles, damage to bird nests i.e.

Other fish species than salmon and seatrout are not mentioned in this report. It can be concluded that many of the other species are unable to pass through traditional fish ladders but also that they always are able to migrate trough bypass-streams and rock ramps with a low slope. For this reason rock ramps and bypass-streams are recommended instead of fish ladders.

1. Indledning

Næsten alle fisk vandrer på et tidspunkt af deres liv, da fiskene så kan udnytte forskellige levesteder mest optimalt. Nogle arter betegnes egentlige vandrefisk, som f.eks. laks og ørred. De gyder i vandløbene, hvor der fra naturens hånd er gode muligheder for overlevelse af æg og yngel på de lavvandede stryg med grusbund og hurtig vandstrøm. Udvandringen til sø- eller hav på et senere tidspunkt er en god biologisk taktik, da væksten her er så god, at hunfiskene bliver store og indeholder langt flere og større æg end de fisk, der er blevet i vandløbet hele livet.

Vores hjemlige ørreds livscyklus er vist på figur 1.1, hvor det bl.a. ses, at ørreden optræder i tre former, bækørred, søørred og havørred. Der er tale om samme art *Salmo trutta*, og de tre former kan sagtens gyde med hinanden. Laksen *Salmo salar* har principielt samme livsmønster som havørreden, bortset fra, at laksene vandrer længere omkring i havet end havørreden.



Figur 1.1
Ørredens livscyklus (figur fra Nielsen 1994b).

Laksens og ørredens vandringer mellem fersk- og saltvand var en god biologisk taktik på det tidspunkt, hvor mennesket ikke var begyndt at ødelægge fiskenes livsbetingelser i vandløbene ved at bygge dæmninger, regulere vandløb, forurene m.m.. Da det skete, fik det fatale følger for specielt laksen, som forsvandt fra alle danske vandløb undtagen Skjern Å (Jørgensen 1993, Bisgaard 1996). Gydebestanden var så lille som 132 laks i 1995, men steg til 173 laks i 1996 og 223 laks i 1997 (Glüsing 1998). Ørreden har bedre været i stand til at klare sig, da den kan optræde i standformen bækørred og generelt også gyder i mindre vandløb end laksen. Desuden er ørredbestandene traditionelt blevet ophjulpnet ved årlige udsætninger i mange vandløb som kompensation for dårlige miljøforhold (primært dårlige gyde- og passageforhold).

Nu er de danske ørredbestande igen i fremgang efter samfundets store investeringer i de senere år i spildevandsrensning, miljøvenlig vandløbspleje, restaurering m.m. (Madsen 1995, 1998, Nielsen 1997b). Der er adskillige eksempler på, at gode vandløb med fiskespærringer og dårlige ørredbestande opstrøms spærringerne har fået fine naturlige ørredbestande fra gydning, når der skabes passage ved spærringerne (Kristensen 1989, Nielsen 1994b&d m.fl.).

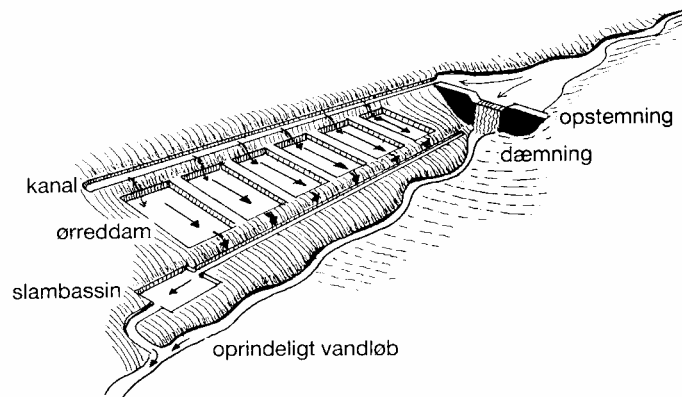
Langt de fleste laks og havørred på gydevandring vandrer tilbage til de vandløb, de forlod som ungfisk, og kun få fisk strejfer og gyder i andre vandløb (Stuart 1957, Banks 1969, Bertmar 1979, Sambrook 1983, Stabell 1984, Thorpe 1988, Jonsson m.fl. 1990, Shearer 1992, Heggberget m.fl. 1993). Det samme gælder for søørred (Nielsen, J., upublicerede undersøgelser fra tilløb til Mossø). Det har endda vist sig, at havørred og laks også er i stand til at finde tilbage til bestemte steder i vandløbet (Sambrook 1983, Heggberget m.fl. 1988). Fra naturens hånd er dette en sikkerhed for, at de enkelte fiskestammer er tilpasset de lokale forhold. Derfor er det vigtigt at sikre fri passage for fiskene, så et stort antal fisk gyder i de enkelte vandløb, og den genetiske mangfoldighed i fiskebestandene bevares.

De danske amter, som er miljømyndighed for vandløbene, har målsat mange vandløb som fiskevandløb i deres regionplaner. Ca. halvdelen af de danske målsatte vandløb er målsat som laksefiskevandløb, hvor ørreden og andre laksefisk enten skal kunne leve efter udsætning eller klare sig selv ved gydning (B1- og B2-vandløb samt visse A-vandløb) (Miljøstyrelsen 1995). Desuden er ca. en fjerdedel af vandløbene udpeget til at kunne have bestande af andre fisk end laksefisk.

Desværre er der fiskespærringer i mange vandløb, som f.eks. ved dambrug eller andre steder, hvor man har lavet opstemninger (figur 1.2). Spærringerne hindrer målsætningen i at blive opfyldt, da fiskene ikke kan vandre frit mellem gyde- og opvækstområderne i vandløbene og havområderne. Derfor er det bestemt i amternes regionplaner, at der skal skabes fri passage for fiskene ved spærringerne, lige som Skov- og Naturstyrelsen giver tilskud hertil efter vandløbslovens kapitel 8.

Der er typisk spærret for fiskenes vandringer de steder, hvor man bruger vandet til fiskeproduktion i dambrug, elproduktion i turbiner m.m.. Det betyder også, at der vil blive indtægtstab, hvis der skal afgives vand til fiskepassage.

Det er værd at bemærke, at vand uden om dambrug m.m. (vand i "døde" å-strækninger ud over at sikre fiskepassage også sikrer bedre livsforhold for flora og fauna i disse å-strækninger. Som eksempel kan nævnes en tjekkisk undersøgelse ved 23 opstemningsanlæg med "døde" å-strækninger, hvor der ikke var ret mange store fisk på strækningerne med nedsat vandføring, og hvor fiskebiomassen (den samlede vægt af fiskene) kun var en fjerdedel af fiskebiomassen i



Figur 1.2

Når vandet bliver ledt væk fra vandløb og ind i dambrug, vandkraftanlæg o. lign., bliver fiskene ofte forhindret i at svømme forbi. Desuden opstår der en såkaldt død å-strækning. Det er det oprindelige åløb mellem opstemningen og udløbet fra dambruget eller turbineanlægget, som kun får tildelt en unaturligt lille vandmængde (figur fra Nielsen 1994b).

vandløbene op- og nedstrøms (Kubecka m.fl. 1997). Dette kan sammenholdes med forholdene i vadehavsområdet (Ribe- og Sønderjyllands amter), hvor 20-30 % af hovedløbene (amtsvandløbene) er mere eller mindre påvirket af stuvning eller periodisk manglende vandføring ved dambrugene (Ejbye-Ernst & Nielsen 1997).

De danske vandløb har også en økonomisk værdi for fiskeriet. En beregning fra 1985 viste, at hvis alle vandløb med en fiskevandmålsætning får gode fiskebestande, er værdien af det samlede fiskeriudbytte af bæk- og havørred (rekreativt og erhvervsmæssigt) 144 mio. kr. årligt ved en kilopris på 50 kr. (Markmann & Rasmussen 1985). Dette kræver bl.a. fri passage for fiskene, hvilket med de rette passager også kommer andre fisk til gode, f.eks. ålen. Hvis vandløbenes og søernes værdi som åleproduktionsvand medregnes (50 kr./kg.), er værdien 204 mio. kr.. Hvis man ydermere medregner værdien af afledte aktiviteter (videreforarbejdning af erhvervsmæssigt fangne fisk, fiskeleje, grejkøb, hotelophold, besøg hos købmanden m.m.) stiger værdien til 529 mio. kr., alt beregnet på 1980-niveau.

For at sikre det bedst mulige kendskab til den nødvendige vandmængde til fiskepassage har Skov- og Naturstyrelsen fået udarbejdet denne rapport, som beskriver vandføringens betydning for opstrøms passage af laks og ørred ved opstemninger i vandløb. Med andre ord, hvor meget vand skal der til, før laks og ørred finder og passerer gennem fiskepassager ved opstemninger i vandløb? Hvad bestemmer laksens og ørredens trækmonster omkring opstemninger, og hvordan kan man udnytte dette til at lokke dem over i og gennem fiskepassager?

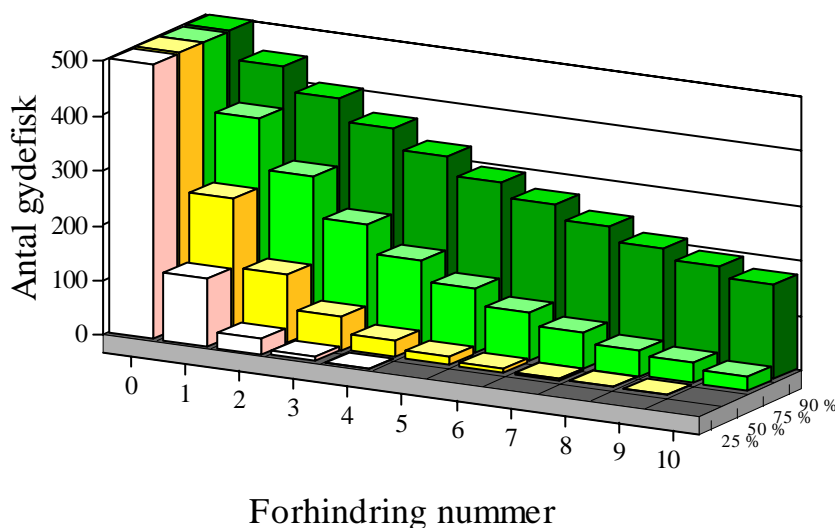
2. Fiskepassager.

2.1 Betydningen af effektive fiskepassager.

Laks og havørred vandrer generelt ret ens i ferskvand og er derfor her behandlet under et. Læseren bør dog være opmærksom på, at laks og ørred er gode til at passere forhindringer i vandløb, og at de andre fisk også bør have fri passagemulighed, hvis vandløbene skal have selvreproducerende fiskebestande. Fisk som elritse, grundling, ferskvandsulk, pigsmørling, gedde, helt, snæbel m.fl. har svært ved at passere selv ganske små forhindringer, men dette er ikke behandlet i denne rapport.

Hvis der er problemer med opstrøms fiskepassage i vandløb, kan man principielt skabe passage på flere måder som beskrevet i dette kapitel. Man kan fjerne spærringen eller bygge stryg, omløb eller fisketrapper. Forskellige eksempler herpå er beskrevet i Jens (1971), Lonnebjerg (1980,1989,1990), Pedersen (1986), Orsborn (1987), Ejbye-Ernst m.fl. (1989), Monk m.fl. (1989), Drewes (1990), Gebler (1991), Jørgensen (1992a,b), Nielsen (1994a,b,c), Mallen-Cooper (1994), Sandell m.fl. (1994), Madsen (1995), Hansen (1996a&b) samt Cowx & Welcomme (1998).

Det er af afgørende betydning for fiskebestandene, at fiskepassagerne er effektive og findes/bruges af en meget stor del af de fisk, der er på vandring. Det gælder specielt i de større vandsystemer, hvor fiskene skal passere flere passager for at nå frem til gydevandløbene. Problemstillingen ses bedst ved at studere figur 2.1, som simulerer situationer, hvor der er etableret fiskepassager, der ikke virker lige godt. Figuren viser hvor mange af 500 fisk, der når frem til gydevandløbene, hvis de først skal passere gennem et antal fiskepassager. Hvor mange fisk når overhovedet frem til gydevandløbene, hvis fiskene f.eks. først skal passere 5 opstemninger med fiskepassager? Svaret er, at hvis kun 25 % af fiskene finder vej ved hver passage, så når ingen frem til gydevandløbene. Ved 50 % effektivitet ved hver passage når kun 16 fisk igennem fem passager. Ved 75 % effektivitet når 119 fisk frem (under en fjerdedel), og ved 90 % effektivitet når 295 fisk frem.



Figur 2.1

Teoretisk beregning af den andel af 500 fisk, der når frem til gydevandløbene, hvis de først skal passere gennem et antal fiskepassager, som hver især kun bringer 25 %, 50 %, 75 % eller 90 % af fiskene forbi de enkelte opstemninger.

Der sorteres altså mange fisk fra, hvis passagerne ikke er effektive. Man skal op på en effektivitet på næsten 100 % ved hver passage, hvis en rimelig andel af fiskene skal kunne passere flere passager på vandringerne fra havet til de små gydevandløb. Selv ved 75 % effektivitet når under en fjerdedel af fiskene frem til gydevandløbene, hvis de først skal passere 5 fiskepassager.

Desværre viser erfaringen, at mange danske fiskepassager enten ikke fungerer eller fungerer meget dårligt som følge af fejlkonstruktion eller manglende vedligeholdelse (Ansbæk 1980, Ansbæk & Markmann 1980a, 1980b, Dahl 1982, Markmann 1984, Nielsen 1985, 1986, 1987, 1994b, 1994c, 1994d, 1997a, Ejbye-Ernst m.fl. 1989, 1990, Ejbye-Ernst & Nielsen 1997, Jensen & Sivebæk 1997). Det gælder også i udlandet. I Norge fungerer halvdelen af landets 400 fisketrapper ikke pga. manglende vedligeholdelse, udmundingsproblemer og bestandsmæssige forhold (Jensen & Aas 1991). I et delområde af det norske vandsystem Glomma vandrer kun 0,2 % af de større ørreder og stallinger gennem fisketrapperne, og her er hovedproblemet, at fiskene ikke kan finde ind i trapperne p.g.a. dårlig lokkevirkning (Qvenild & Linløkken 1989). Selv i Australien, hvor forholdene er meget anderledes, er der store problemer med fisketrapper, idet 79 % ikke fungerer (Harris 1984).

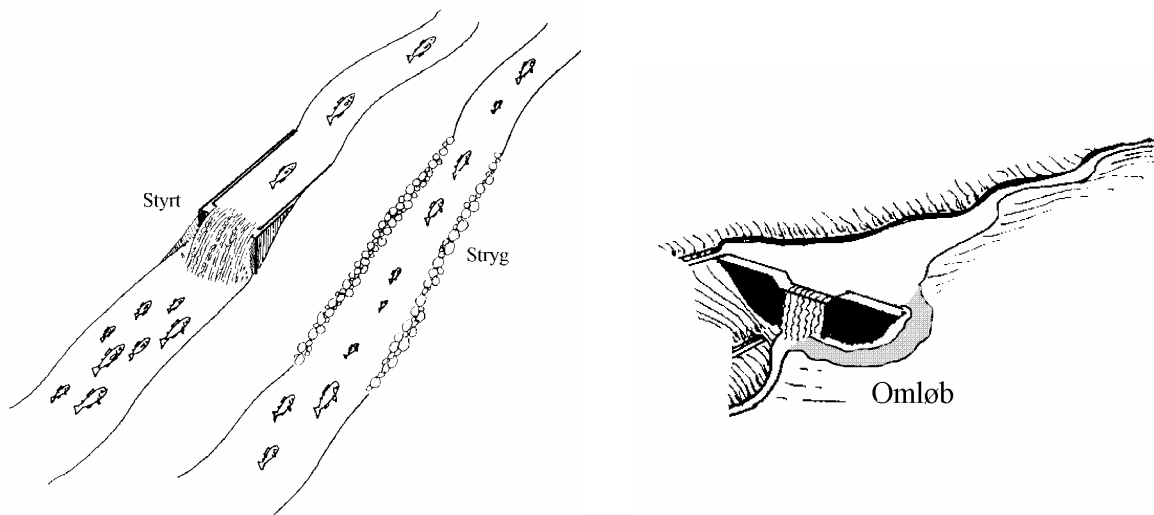
Ved en besigtigelse af 135 fiskepassager i Vejle Amt i 1996 blev det vurderet, at kun 59 % af passagerne (fisketrapper, stryg og omløb) virkede godt. Der var anlægstekniske problemer (fejlkonstruktion m.m.) ved 30 % af passagerne (hovedsagelig fisketrapperne) og pasningsproblemer ved 19 % (fisketrapper og omløb). Nogle steder var der både anlægstekniske- og pasningsproblemer (Nielsen 1997a). Hvis dette er et generelt problem (hvilket ud fra erfaringer andre steder er særdeles sandsynligt), betyder det i praksis, at fiskene ikke når ret langt op i vandsystemerne. Problemet kan også medføre indavl med tab af genetisk variation, men kan minimeres, hvis det er muligt at fjerne spærringerne eller at sikre en optimal drift af eksisterende fiskepassager (kræver evt. ombygning og hyppigt tilsyn).

Da emnet for denne rapport er uløseligt forbundet med emnet fiskepassage, er der senere i dette kapitel givet en kort gennemgang af fordele og ulemper ved forskellige typer af fiskepassager, idet der samtidig er henvist til yderligere litteratur om emnet.

Der skal gøres opmærksom på, at laks og havørred også har problemer med at finde nedstrøms på deres vandringer fra vandløbene til havet. Der omkommer mange smolt på vandringerne i ferskvand, hvis de skal passere gennem søer (Nielsen 1985, 1986, 1994b, 1995a, 1997c, 1998, Koed 1993, Carl & Larsen 1994, Plesner 1994, Munk & Thomsen 1995, J.A. Hansen 1997, Holdensgaard m. fl. 1997, Henriksen 1998, Thomassen 1998, Jepsen m.fl. 1998). Hovedårsagen er, at smolten bliver forsinket og/eller ædt af rovfisk og fugle, når de ikke kan finde vej gennem søerne p.g.a. en dårlig lokkestrøm gennem søerne. Der er mange eksempler på, at smolten i stedet følger vandstrømme, der er skabt af vinden.

Problemet med lokkestrøm til fiskepassage gælder altså både i op- og nedstrøms retning, bl.a. også, når smolten skal passere forbi opstemninger, hvor noget af vandet bliver brugt til dambrugs- eller turbinedrift. En del smolt kan ikke finde forbi eller når ikke forbi, inden de mister vandretrangen i starten af juni. Bl.a. var der et smolttab på ca. 30 % henh. ca. 60 % ved to dambrugsopstemninger i Sneum Å, og andre undersøgelser har vist tilsvarende store smolttab ved større opstemninger (Jensen & Sivebæk 1997). Problemet er også stort i udlandet (Conley 1990) og bør undersøges nærmere, da det er meningsløst at miste smolten, inden den når havet. Det er dog ikke omtalt yderligere i denne rapport, som kun omhandler opstrøms passage.

Det skal også understreges, at der ikke i denne rapport er taget stilling til, hvor meget vand, der skal løbe i de ”døde” å-strækninger, før de miljømæssige forhold bliver i orden. Her kan bl.a. henvises til Nielsen (1995b), Lund (1996) og Lund & Clausen (1998) for så vidt angår ørredens og andre fiskearters krav til vandløbenes vandføringsevne, dybder, vandhastigheder m.m.. Men man bør også inddrage smådyrenes krav til vandløbene, og emnet bør i det hele taget vurderes nøjere.



Figur 2.2

En fjernelse af en spærring eller en ombygning af styrt til stryg giver fri passage for fisk i alle størrelser. Et omløb (også kaldet omløbsstryg, strygomløb etc.) er i princippet et nyt vandløb uden om spærringen. Men omløbet får som regel kun tilført en del af den samlede vandmængde, så fiskene kan have svært ved at finde det (figurer delvist efter Nielsen 1994b).

2.2 Fjernelse af spærring og etablering af stryg (figur 2.2)

Hvis man fjerner spærringen eller bygger stryg, fjerner man ofte muligheden for at bruge vandet til dambrugsdrift o.lign.. Desuden kan man komme til at ødelægge kulturhistoriske mindesmærker eller specielle naturtyper, som bør bevares. Men set fra fiskenes og smådyrenes side får man normalt store fordele ved en fjernelse af spærringen. Da alt vandet fra vandløbet fremover løber i vandløbet, vil man få fuldstændig fri passage for fisk og smådyr m.m., hvis man tager hensyn til fiskenes krav til de fysiske forhold og ikke anlægger strygene med for kraftig hældning (Nielsen 1994b&c, 1995b). Samtidig undgår man at skulle passe og vedligeholde en eventuel fiskepassage, og man skaber gode levesteder for fisk og smådyr på strygene. Det gælder også på en strækning umiddelbart opstrøms spærringen, hvor vandhastigheden øges, hvis man sænker vandstanden ved en fjernelse af opstemningen. Gode eksempler på effekten af at skabe fri fiskepassage med stryg er nævnt i danske publikationer som Bangsgaard (1993, 1994), Nielsen (1994a, b&d), Madsen (1995), Hansen (1996a) og Frandsen (1998).

2.3 Omløb (figur 2.2)

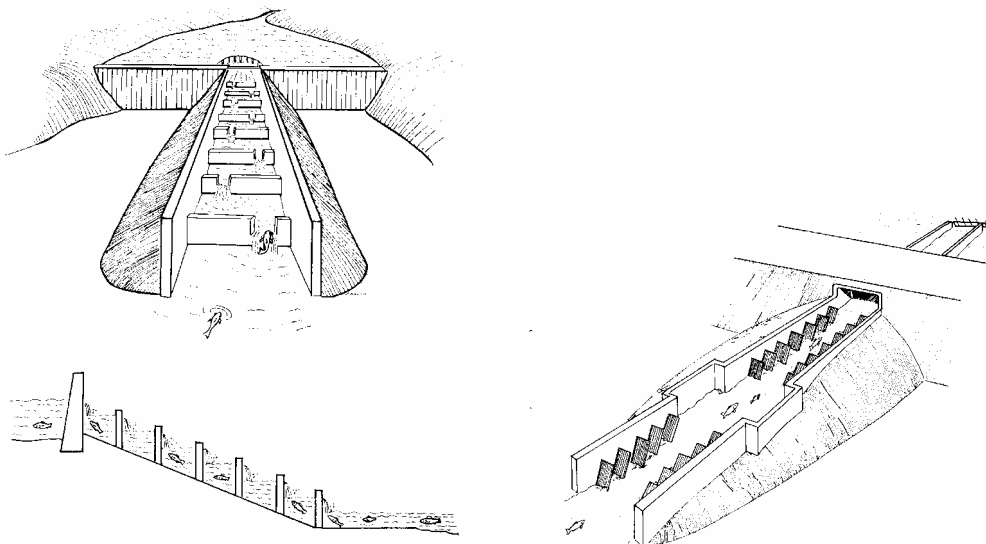
Omløb er nye vandløb, der anlægges som fiskepassager, men også fungerer som værdifulde gyde- og opvækstområder for fisk. Af danske undersøgelser af omløb kan nævnes Jørgensen (1992a,b), Michelsen (1992), Davidsen & Mathiesen (1992), Bangsgaard (1993,1994), Nielsen (1994a,b), Madsen (1995), Munk & Thomsen (1995) og Hansen (1996a). Der er også eksempler på fine undersøgelser i udlandet (f.eks. Steiner 1991, Schmutz m.fl. 1994) og Jungwirth 1996).

Man skal være opmærksom på, at selv om der lever og svømmer mange fisk i omløbene, betyder det ikke nødvendigvis, at omløbene er effektive som fiskepassager. De virker kun godt, hvis en stor del af fiskene finder og bruger dem på deres vandringer.

Der er sjældent bestemt effektivitet på omløbene, men Jungwirth (1996) skriver bl.a., at der vandrede 3.658 fisk gennem et omløb i floden Mur i Østrig. Heraf var der ca. 2.300 kønsmodne stallinger – et imponerende tal, men det svarede ”kun” til 17 % af de kønsmodne stallinger på en 5,5 km strækning nedstrøms spærringen.

2.4 Fisketrapper (figur 2.3)

I 1936 beskrev den navnkundige danske fiskeribiolog Otterstrøm med begejstring sine oplevelser ved studieture til udenlandske fisketrapper (Otterstrøm 1936), og herefter begyndte man at bygge fisketrapper ved danske opstemninger. Frem til slutningen af 1980'erne blev stort set alle fiskepassager i Danmark bygget som fisketrapper, der hydraulisk set kan passeres af en del af de danske fiskearter (dog ikke alle). Desværre virker de fleste fisketrapper dårligt. Hovedårsagen er, at fiskene har svært ved at finde dem - der løber som regel for lidt vand i dem, så fiskene opdager dem ikke. Desuden kræver trapperne meget pasning, da de bl.a. nemt stopper til med grene m.m.. Derfor er en del fisketrapper (også nogle af de nyeste) fjernet igen og erstattet af stryg eller omløb.



Figur 2.3

Principskitser af fisketrapper. Bassintypen (t.v.) fungerer ved, at fiskene svømmer op gennem en række små styrt, men kan også være bygget med dykkede åbninger. Modstrømstrappen (t.h.) virker ved, at fiskene svømmer gennem en strømrrende med lameller, der skaber cirkelformede vandstrømme, så fiskene lettere kan passere opstrøms (figurer fra Nielsen 1994b).

3. Laksens og ørredens vandringer.

Det primære formål med laksens og ørredens opstrøms vandringer i vandløb er at nå frem til de gydepladser, de selv kom fra, så de kan føre slægten videre. Derfor ændrer fiskens hormoner sig på et tidspunkt i livsforløbet, så den begynder at danne kønsprodukter i stedet for blot at vokse. Herefter vil den på et tidspunkt påbegynde vandringen tilbage til hjemvandløbet. De første laks trækker allerede op i vandløbene i april måned, selv om laksen først gyder sidst på året. Havørreden er generelt lidt senere til at vandre op i vandløbene. Et gammelt mundheld blandt lystfiskere siger, at de første havørreder bliver fanget grundlovsdag, dvs. i starten af juni. Herefter foregår optrækket resten af året frem til starten af det nye år.

Fiskenes hormonsystem styrer deres vandringer, men de klimatiske forhold har stor betydning for deres vandrelyst. Forhold som vandtemperaturen og vandføringen (vandmængden pr. tidsenhed, i Danmark normalt målt som liter pr. sekund) har specielt stor betydning. Det er ganske logisk, da fiskene har nemmere ved at passere forhindringer ved høj vandstand i åen, hvor risikoen for at blive set (ædt) af fjender samtidig er mindst. Mange lystfiskere ved vandløb har da også observeret, at der efter en periode med kraftigt regnvejr ikke går lang tid, før der kan fanges laks og havørred, som lige er trukket op fra havet. Men nøjagtige sammenhænge mellem klimatiske forhold og fiskevandring er ikke belyst konkret i ret mange danske undersøgelser, da det bl.a. er ret kompliceret at måle antallet af vandrende fisk. Derfor har det i denne rapport været nødvendigt også at søge til udenlandsk litteratur.

3.1 Tidspunkt på døgnet

Laksen vandrer hovedsagelig opstrøms i de mørke timer, selv om vandringer også kan forekomme i dagtimerne (Hayes 1953, Hawkins & Smith 1986, Webb 1990, Jonsson 1991).

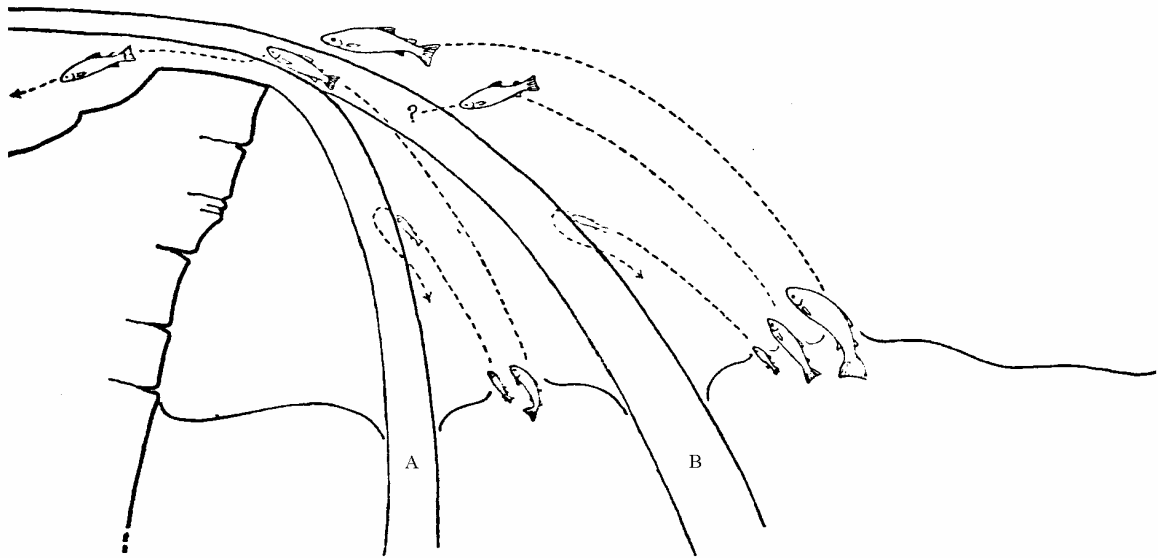
Havørreden og laksen i den engelske flod Axe har en lille tilbøjelighed til at vandre opstrøms om natten, specielt ved små vandføringer (Banks 1969). Søørred fra Loch Leven vandrede kun om natten, hvis vandet var klart, men vandrede hele døgnet i uklart vand (Munro & Balmain 1956, her efter Banks 1969).

Laksen og ørreden bruger synet, hvis de skal springe over styrt o.lign. og kan derfor være forhindret i at springe i mørke ved vanskelige forhindringer (Stuart 1962, se næste afsnit).

3.2 Springadfærd ved forhindringer

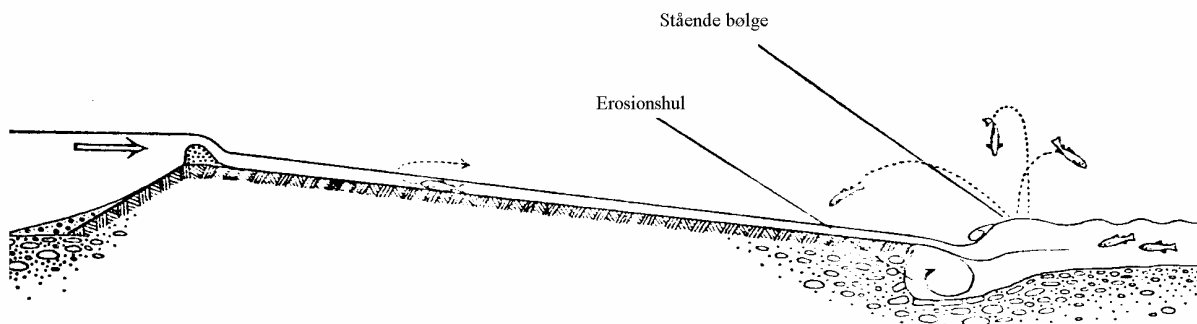
Det er velkendt, at laksen og ørreden prøver at springe over forhindringer, den ikke kan svømme over, f.eks. ved styrt og vandfald. Der er dog grænser for, hvor højt fiskene kan springe. Cowx & Welcomme (1998) nævner højden 3,7 m som det maksimale, en laks kan springe under gunstige omstændigheder. Jensen m.fl. (1989) henviser til, at laksen har svært ved at passere selv små forhindringer ved vandtemperaturer under 5° C og nævner et konkret tilfælde ved et vandfald, som laksen ikke kan passere ved vandtemperaturer under 7,3° C (se også afsnit 3.4).

I et klassisk studie af laksens og ørredens springadfærd ved forhindringer beskriver Stuart (1962), hvordan laksen og ørreden søger hen til den stående bølge ved evt. forhindringer (figur 3.1 og 3.2).



Figur 3.1

Springende havørreder, bækørreder, laks og lakseungfisk ved styrt under lav (A) og medium (B) afstrømning (delvis efter Stuart 1962).



Figur 3.2

Eksempel på skrånende styrtbund, som laksefiskene ikke kan passere (delvis efter Stuart 1962).

Afstanden fra den stående bølge til en evt. forhindring influerer meget på, om det lykkes for fiskene at springe over. Eksempelvis mislykkes springet ofte, hvis der er tale om en skrånende styrtbund, så den stående bølge er langt fra selve forhindringen. Fiskene bruger synet, når de skal springe og kan i sådanne situationer ikke se forhindringen, når de starter springet. Problemet forstærkes i mørke, så fiskene springer kun ved gode lysforhold. Dette er senere i rapporten brugt til at anbefale skrånende styrtbunde i situationer, hvor fiskene skal ledes hen til udløbet af fiskepassager, som f.eks. ved en fisketrappe i Gudenåen ved Kloster Mølle (Nielsen, 1994a og upubl.). Styrtbunden er selvrensende, kræver ingen pasning og virker tilsyneladende efter hensigten, da der ofte passerer søørreder fra Mossø gennem fisketrappen.

Fiskene har lettest ved at passere styrt, hvor vandet falder lodret, og hvor vanddybden under styrtet er tæt på 1,25 gange faldhøjden over styrtet. I denne situation tiltrækker den stående bølge fra det faldende vand fiskene helt hen til selve forhindringen og samtidig er det den mest simple og effektive måde at nedsætte vandhastigheden. Stuart nævner, at forholdet 1:1,25 (styrthøjde:vanddybde) svarer til forholdene ved naturlige vandfald og erosionshuller i naturlige vandløb og anbefaler at skabe hydrauliske forhold i evt. fiskepassager, så de ligner de vandløb, fiskene er tilpassede.

Det anbefales generelt, at fiskene skal kunne svømme over forhindringer i stedet for at springe, da fiskene kan blive skadet ved mislykkede spring og er lettere ofre for tyvfiskere (Beach 1984). Det er også set (bl.a. ved danske undersøgelser af havørredoptrækket til Hadsten Lilleå og Grejs Å) at de mindste og svageste fisk bliver sorteret fra, når de skal springe over forhindringer (Nielsen 1985, 1994b). Man kunne umiddelbart regne det for en fordel, at de mindste fisk ikke får lov til at gyde. Men de mindste fisk er som regel ret unge fisk, der endnu ikke har nået at vokse sig store, og de er genetisk set lige så gode og ofte bedre end de største fisk. Desuden er bestandene i de danske vandløb så små, at man alene for at undgå indavl bør sikre et så stort antal gydefisk som muligt, hvilket bl.a. kan gøres ved at fjerne alle forhindringer i vandløbene.

3.3 Vandringshastighed

Laks har en maksimal vedvarende svømmehastighed på 2 kropslængder/s mens en tilsvarende værdi for en 30 cm lang ørred er 3 kropslængder/s (Winstone m.fl. 1985). En laks på 75 cm kan altså svømme med en vedvarende svømmehastighed på 5,4 km/t i stillestående vand men noget langsommere, hvis den skal svømme opstrøms og samtidig overvinde vandets hastighed. Hvis vandet strømmer med 0,5 m/s, kan en laks på 75 cm svømme opstrøms med en vedvarende hastighed på 3,6 km/t.

Laks og havørred kan kortvarigt svømme meget hurtigere, ca. 10 kropslængder/s (Winstone m.fl. 1985). Det skal dog bemærkes, at vandtemperaturen har stor betydning for fiskenes svømmeevne, hvilket specielt har betydning, hvis fiskene skal springe over forhindringer.

Det har generelt vist sig, at laksen og havørreden som regel vandrer opstrøms i vandløbene med en gennemsnitlig hastighed på nogle få km/døgn, selv om der er registreret vandringer på op til 37 km/døgn (tabel 3.1). Fiskene vandrer hovedsagelig i de mørke timer og kan stoppe i længere perioder undervejs. Hastighederne i tabellen er incl. disse ophold men er samtidig et reelt udtryk for fiskenes egentlige vandringshastighed opstrøms gennem vandløbene inden selve gydetiden.

Tabel 3.1

Vandringshastigheder for laks og havørred på opstrøms vandring i vandløb uden væsentlige fiskespærringer. * er målt over en kort periode på 24 timer.

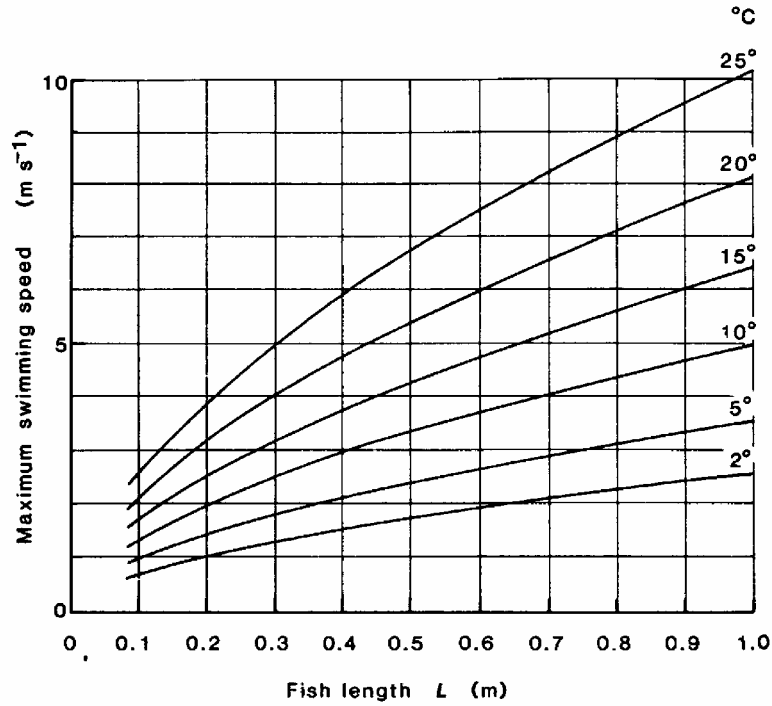
Art	Vandløb	Vandringshastighed i vandløb (km/døgn)			Længde af opstrøms vandring (km)			Reference
		Gns.	Min.	Max.	Gns.	Min.	Max.	
Laks	LaHave River, Nova Scotia	4,3			64			Hayes (1953)
Laks	Aberdeenshire Dee, Skotland	9,9	5,4	22,0	44	19	67	Hawkins & Smith (1986)
Laks	Loire, Frankrig	14,5	2,4	37,0	32	5	75	Baril & Gueneau (1986)
Laks	Alta Elven, Norge	0,9			13			Heggberget m.fl. (1988)
Laks	River Oir, Frankrig	3,4	2,2	4,1		4	8	Baglinière m.fl. (1991)
Laks	Gudenå, Danmark	3,1	1,6	7,1 *15,7	27	10	35	Aarestrup & Jepsen (1995)
Laks	Alta Elven, Norge	2,6	0,4	11,0	19-30			Økland m.fl. (1995) + Heggberget m.fl. (1996)
Laks	Mistassini River, Canada	3,3			130			Trépanier m.fl. (1996)
Havørred	Gudenå, Danmark	1,3	0,2	3,6	42	14	86	Aarestrup & Jepsen (1998)

3.4 Vandtemperaturen og svømmeevnen.

Fisk er vekselvarme dyr lige som krybdyr, så deres stofskifte er meget afhængigt af vandtemperaturen. Fiskene dør, hvis vandet bliver for varmt og bliver inaktive, hvis vandet bliver for koldt.

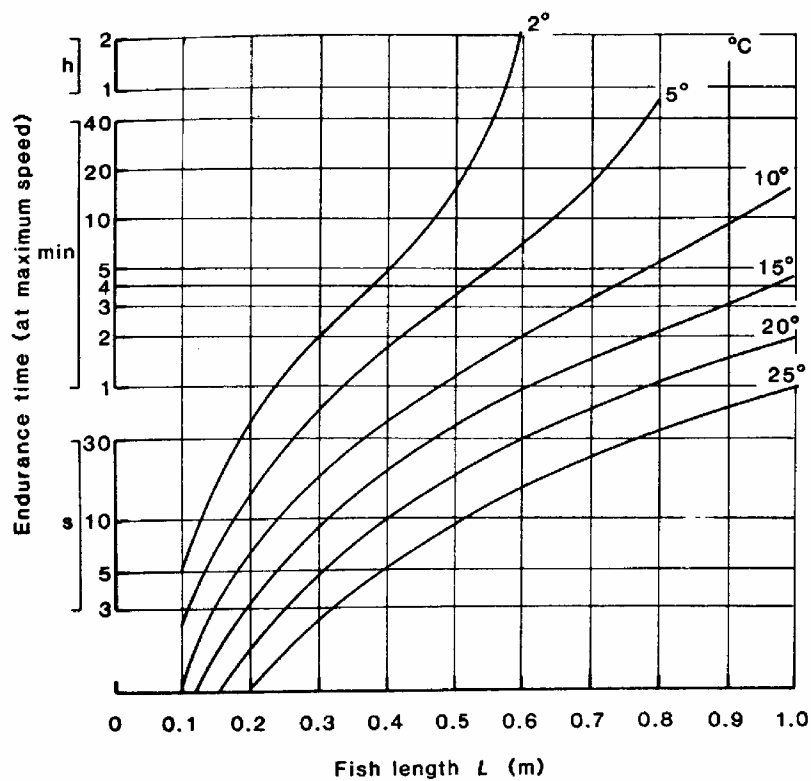
Gee (1980) mener, at vandtemperaturer over 16 °C begrænser laksens opstrøms vandringer. Alabaster (1990) og Alabaster m.fl. (1991) henviser til en række undersøgelser af laksens opstrøms gydevandring, hvor man har fundet store optræk ved vandtemperaturer op til 20° C og aftagende optræk ved stigende vandtemperaturer op til ca. 24° C, hvor optrækkene stoppede. Problemet med vandtemperaturen øges, hvis man bortleder vand fra vandløbet. Milner (1990) og Cowx & Welcomme (1998) henviser til, at laksens bevægelser stopper ved vandtemperaturer over 21,5° -22° C og begrænses ved vandtemperaturer under 5° C samt at tilsvarende sikkert gælder for ørred, men sandsynligvis med lavere øvre og nedre temperaturtærskler. Baglinière m.fl. (1987) melder om en nedre temperaturgrænse for ørredens gydevandring på 6° C. Endelig fandt Baril & Gueneau (1986), at laksen ikke kunne passere et styrt ved vandtemperaturer under 5° C, mens Jensen m.fl. (1989) henviser til, at laksen har svært ved at passere selv små forhindringer ved vandtemperaturer under 5° C. Jensen m.fl. nævner et konkret tilfælde ved et vandfald, som laksen ikke kan passere ved vandtemperaturer under 7,3° C.

Det er påvist, at den maksimale svømmehastighed hos de fleste fiskearter er ens for fisk af samme længde, og at den er overraskende høj (Beach 1984). De høje maks. svømmehastigheder er meget vigtige, hvis vandrende fisk skal svømme eller springe op over vanskelige vandfald. Figur 3.3 viser sammenhængen mellem fiskens længde og den maksimale svømmehastighed ved forskellige vandtemperaturer, beregnet som gennemsnit af 6 fiskearter (heriblandt laks). Det ses tydeligt, at fiskenes maksimale svømmehastighed er mindst i koldt vand, som f.eks. når laksen og havørreden skal gyde. Det gælder dog omvendt, at fiskene er mere udholdende i koldt vand, hvor de kan svømme ved maksimal svømmehastighed i længst tid (figur 3.4).



Figur 3.3

Forskellige fiskestørrelses maksimale svømmehastigheder ved forskellige vandtemperaturer, målt som gennemsnit på seks fiskearter, bl.a. laks (Beach 1984).



Figur 3.4

Udholdenheden af forskellige fiskestørrelser ved maksimal svømmehastighed og ved forskellige vandtemperaturer, målt som gennemsnit på seks fiskearter, bl.a. laks (Beach 1984).

Sammenholdes oplysningerne i figur 3.3 og 3.4 ses det f.eks., at en fisk på 50 cm (en typisk dansk havørred) har en maksimal svømmehastighed på knap 2,5 m/s i 5° varmt vand og knap 5,5 m/s i 20° varmt vand. Den kan opretholde hastigheden i ca. 4 minutter i det 5° varme vand men må sætte hastigheden ned efter 20-30 sekunder i det 20° varme vand. Set i relation til de danske vandløb med relativt lave vandhastigheder (typisk under 1 m/s) betyder det derfor ikke noget for fiskenes trækmønster, at de skal trække opstrøms i vandløbene i kolde perioder. Der opstår dog problemer, hvis de skal springe over styrt og opstemninger eller svømme gennem lange rørledninger, hvor vandhastigheden kan være flere meter pr. sekund.

Hvis man ikke har oplysninger om vandtemperaturen og måske ønsker at beregne fiskenes svømmeevne på en mere simpel måde, kan man gøre som beskrevet i Winstone m.fl. (1985). Her regner man ganske simpelt med, at laks og havørred kan svømme med en maksimal hastighed på 10 kropslængder pr. sekund. En fisk på 50 cm kan efter denne model svømme med en maksimal hastighed på 5 m/s, hvilket svarer meget godt til Beach's model for 15-20° varmt vand.

3.6 Vandføringens generelle betydning.

Laksens og ørredens generelle trækmønster i relation til vandføringen er ret ens, så de fleste laks og ørreder vandrer op i vandløbene ved stigende vandstand eller faldende vandstand efter en periode med høj vandstand (Stuart 1957, Banks 1969, Alabaster 1970, Arnold 1974, Campbell 1977, Winstone m.fl. 1985, Jensen m.fl. 1986, Baglinière m.fl. 1987, Jensen 1988, Gee 1990, Milner 1990, Alabaster m.fl. 1991, Kristiansen 1991, Gosset m.fl. 1992, Trépanier m.fl. 1996, Cowx & Welcomme 1998). Fiskene vandrer altså ikke ved de højeste (ekstreme) vandføringer, men i perioden lige før eller lige efter, hvilket nogle steder skyldes, at det kan være vanskeligt at vandre ved for høje vandhastigheder. Vandringerne kan stoppe eller blive meget begrænsede, når vandføringen er under en vis minimumsværdi (Banks 1969, Campbell 1977, Cragg-Hine 1985, Winstone m.fl. 1985, Jonsson 1991, Jensen & Aas 1991, 1995, Alabaster m.fl. 1991, Gosset m.fl. 1992, Qvenild 1994). Eksempelvis fandt Kristiansen (1991) ud af, at vandkraftværket Harte-værket ved Kolding var den primære årsag til et meget lille gydeoptræk af havørred til Vester Nebel Å, da vandet fra den øverste del af åen ledes væk, så der kun er en meget lille og stabil vandføring. Derfor anbefaler Kristiansen, at Harteværket åbner for frisluserne i en periode, så havørredtrækket kan sættes i gang.

Vandføringen forud for vandringernes start har stor betydning. Eksempelvis har stigende vandstand stor betydning for optrækket af laks til den skotske flod Aberdeenshire Dee efter en periode med lav vandstand (typisk om sommeren), mens det ikke betyder noget efter en periode med højere vandstand end normalt (Smith m.fl. 1994). Tilsvarende blev optrækket af havørred til Kolding Å forsinket i efteråret 1989, hvor vandføringen var langt under normal. Hovedtrækket kom først efter en kortvarig flom i december. I 1990 var afstrømningen noget større i juni-september og det relative optræk af havørreder langt større i denne periode (Kristiansen 1991).

Det er vigtigt at kende de vandføringer, hvor fiskene (herunder laks og ørred) vandrer opstrøms i vandløbene på gydevandring. Et godt kendskab hertil er nødvendigt for at vurdere eller beregne, hvor meget vand man evt. kan tillade sig at fjerne fra de enkelte vandløb (til turbiner, dambrug, drikkevand m.m.) uden at ødelægge det naturlige optræk af fisk (Cragg-Hine 1985, Winstone m.fl. 1985). Sammenhængene er beskrevet i engelsk litteratur i forbindelse med vandindvinding til industrielle formål m.m. og er særdeles relevante i Danmark, hvor der bl.a. skal afgives vand til

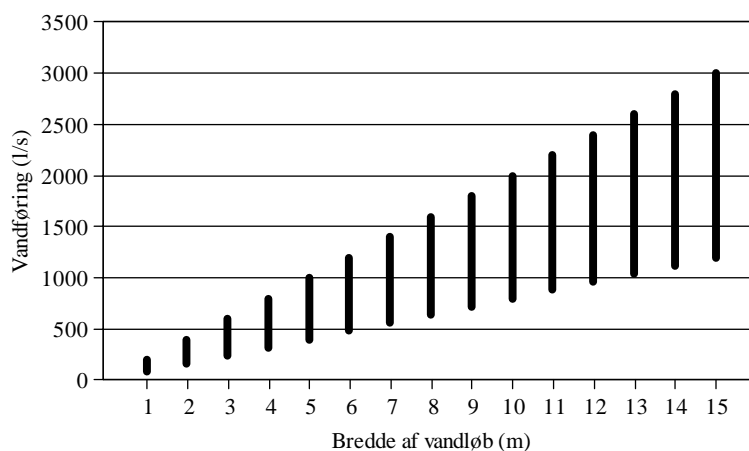
fiskepassage og sikring af flora og fauna i de ”døde” å-strækninger uden om dambrug, vandkraftværker m.m..

Mange forfattere har beskrevet lokale sammenhænge mellem vandføringen og fiskenes vandringsmønster, som kan være svære at bruge generelt (Fraser 1975, Beach 1984, Milner 1990). Andre har dog beskrevet mere overskuelige sammenhænge ud fra konkrete undersøgelser med registrering af fiskevandring (elektroniske fisketællere og mærkning af fisk med radiosendere):

Winstone m.fl. (1985) anbefaler, at der altid skal være mindst 40 % af den gennemsnitlige, daglige vandføring i vandløbet for at stimulere laks og ørred til at vandre opstrøms.

Cragg-Hine (1985) anbefalede en anden sammenhæng til bestemmelse af, hvornår laks og ørred trækker opstrøms. Sammenhængen er brugt som en generel anbefaling fra organisationen FAO (Food and Agricultural Organisation) i Rom (Cowx & Welcomme 1998), hvorfor det også i denne rapport er valgt at anbefale sammenhængen som den mest anvendelige generelle sammenhæng:

De vandføringer, der udløser laksens og ørredens vandring, defineres kort og godt som vandføring pr. m vandløbsbredde (Cragg-Hine 1985, Cowx & Welcomme 1998). Fiskenes opstrøms vandring begynder primært, når vandføringen stiger til 80 l/s/m, kulminerer ved 200 l/s/m og reduceres ved større vandføringer. Da disse oplysninger er meget interessante og så vidt vides ikke tidligere anvendt i Danmark, er det valgt at vise sammenhængen i et overskueligt diagram (figur 3.5):



Figur 3.5

Vandføringer i vandløb, som primært bestemmer laksens og ørredens opstrøms vandring. Den nederste del af stolpen viser de vandføringer, som udløser vandringerne, mens den øverste del af stolpen viser, hvornår vandringerne kulminerer (optimale vandføring for vandring). Figuren er lavet på basis af oplysninger i Cragg-Hine (1985) og Cowx & Welcomme (1998).

4. Eksempler på undersøgelser af vandføringens betydning for laksens og ørredens vandringer.

4.1 Danske undersøgelser

4.1.1 Gudenåcentralen ved Tange, Gudenå (figur 4.1).

Nogle af de mest grundige undersøgelser i Danmark er lavet omkring fisketrappen i Gudenåen ved Gudenåcentralen, også kaldet Tangeværket, som har været undersøgt i en lang årrække (Dahl 1982, Nielsen 1985,1987, Dieperink 1992, Aarestrup & Jepsen 1995, Koed m.fl. 1996).

Før kraftværket blev bygget i 1920 havde Gudenåen en naturlig bestand af laks, som uddøde i løbet af få år efter kraftværkets opførelse. Samtidig faldt udbyttet af havørredfiskeriet med 45 % (Poulsen 1935). Laksene havde alle sine gydeområder opstrøms Tange og kunne ikke finde forbi dæmningen ved kraftværket, da fisketrappen (en bassintrappe) kun havde en vandføring på 22 l/s. Til sammenligning er middelvandføringen i hovedstrømmen på 21.000 l/s (Koed m.fl. 1996).

Efter årelang kritik blev der bygget en ny fisketrappe ved Tange i 1980, denne gang en modstrømstrappe med indbyggede hvilebassiner. Vandføringen i fisketrappen blev hævet til 150 l/s, og der blev bygget en elektrospærring nedstrøms kraftværket, som skulle lede opstrøms trækkende fisk over i fisketrappen. Der var ikke strøm på elektrospærringen før i 1985, men den havde ingen effekt og blev derfor opgivet (Nielsen 1985,1987). Effektiviteten af modstrømstrappen var meget lav gennem flere sæsoner, nemlig 3-10 % (Nielsen 1985,1987, Dieperink 1992).

I 1993 blev der etableret et skråtstillet gitter med 20 mm tremmeafstand nedstrøms turbinerne og ca. 4 m opstrøms udløbet af fisketrappen. Hensigten var at lede opstrøms trækkende fisk over i fisketrappen. Undersøgelser i 1994 og 1995 viste, at ca. 25 % af åens laks og havørreder nu vandrer gennem trappen (Koed m.fl. 1996). Det er en væsentlig stigning, men stadig ikke tilfredsstillende. Der blev ved undersøgelserne konstateret en klar sammenhæng mellem opvandringen af laks og havørred og vandføringen i Gudenåen, så opgangen hovedsagelig skete ved lav vandføring. Såvel laks som havørred havde altså svært ved at finde udmundingen af fisketrappen pga. en for ringe relativ vandføring (lokkestrøm) gennem trappen, specielt ved høje vandføringer (Koed m.fl. 1996).

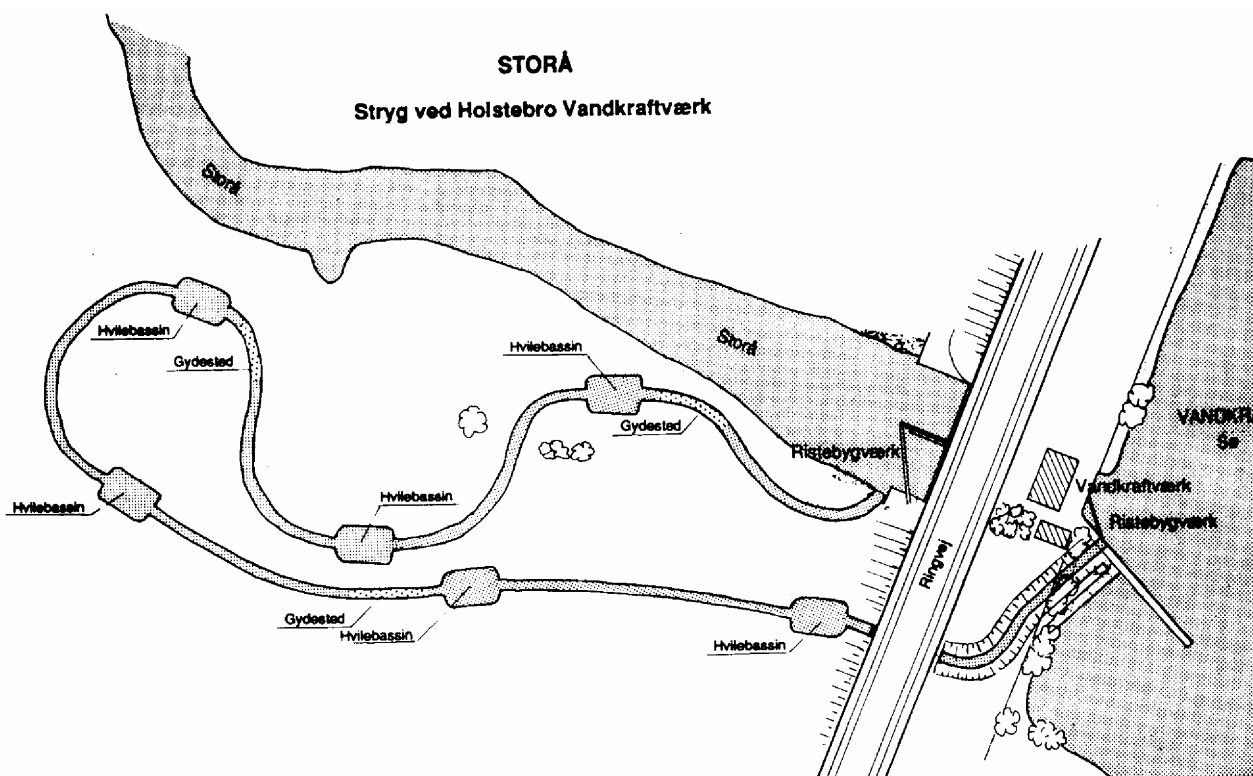
Undersøgelser i 1994 af 16 laks, der var mærket med radiosendere, gav ingen oplysninger om laksenes adfærd omkring opstemningen, idet ingen laks kom i nærheden af fisketrappen. Hovedårsagen var nok, at der var tale om udsatte laks, hvoraf de fleste udsættes nedstrøms Gudenåcentralen (Aarestrup & Jepsen 1995).



Figur 4.1

Fotos af den gamle bassintrappe (øverst t.v.), den nye modstrømstrappe med elspærringen (øverst t.h.) og (nederst) spærregitteret ved Gudenåcentralen (udløbet af den nye fisketrappe ses i forgrunden).





Figur 4.2

Plantegning af omløbet ved Holstebro Vandkraftværk. Tegningen viser placering af op- og nedstrøms ristebygværk, hvilebassiner og gydepartier (tegning fra Jørgensen 1993).

4.1.2 Holstebro Vandkraftværk, Storå (figur 4.2-4.3).

I 1989 blev der etableret et 655 m langt omløb ved Holstebro Vandkraftværk, som indtil da havde spærret for opgang af fisk til de øverste 2/3 af Storåsystemet (Davidsen & Mathiesen 1992, Jørgensen 1992, 1993). Omløbet er dimensioneret til vandføringer på op til 1.000 l/s. Nedstrøms turbineafløbet blev der etableret et gitter med 20 mm tremmeafstand, som skulle stoppe de større fisk og lede dem over i omløbet. Herefter blev der i 1990 og 1991 lavet omfattende fiskeundersøgelser for at vurdere ved hvilke vandføringer, de forskellige fiskearter vandrer gennem omløbet. Fiskene blev hovedsagelig fanget i en fælde i omløbet, men der blev også suppleret med elektrofiskeri.

I den undersøgte periode varierede vandføringen i åen mellem 10 og 27 m³ /s, og vandføringen i omløbet blev samtidig reguleret, så den generelt svingede mellem 400 og 1.000 l/s (yderpunkter 96 l/s og 1.368 l/s). Herefter blev der lavet statistisk analyse af sammenhængene mellem vandføringen og antallet af fisk i fælden. Der blev i alt fanget 11 havørreder, laks og steelhead (vandreform af regnbueørred), som samlet set havde de bedste passageforhold ved vandføringer i omløbet på omkring 1.000 l/s (statistisk signifikant sammenhæng mellem antal fisk og vandføring).

Det lille antal fisk i fælden skyldes, at bestanden var meget lille. I 1990 blev der således ved flere dages elektrofiskeri i Storåen nedstrøms vandkraftværket kun fanget fire laks (Jørgensen 1992), og den totale fangst af havørred og laks ved en række elektrofiskninger i Storåen nedstrøms vandkraftværket incl. tilløbene Gryde Å og Vegem Å var 16. Jørgensen (1993) konkluderede herefter, at omløbet er effektivt, så der ikke sker ophobning af de nævnte arter nedstrøms omløbet.

I en periode var lederisten nedstrøms turbineafløbet fjernet. I denne periode blev de tre arter ikke fanget i omløbet, og antallet af laksefisker helt blev også mindsket markant. Samtidig blev der elfisket en havørred i området indenfor risten. Det kan ses som en indikation på lederistens positive betydning for passagen i omløbet.

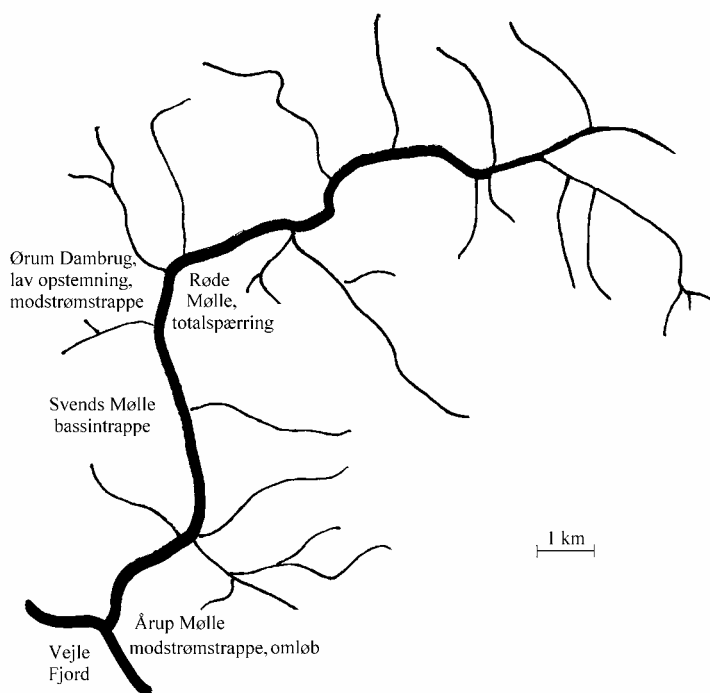
Som en konsekvens af undersøgelserne blev driften af omløbet ændret, så der nu i perioden 1. oktober til 31. maj løber 1.000 l/s i omløbet hele døgnet. Resten af året løber der 400 l/s i dagtimerne og 1.000 l/s om natten.

Jørgensen (1993) kommer med en række anbefalinger: Vandføringen i omløb bør i videst muligt omfang følge de naturlige svingninger i vandløbene, dog med en minimumsvandføring, der sikrer, at omløbene kan findes og passeres. Etableres der omløb med et dobbeltprofil vil det i nogen udstrækning kunne erstatte eventuelle frisluser, og der vil komme en mere naturlig variation i vandføringen i omløbet. Lederisten er også vigtig, så selv med en optimal placering af omløbets udløb så tæt på turbineudløbet som muligt må det generelt anbefales, at der etableres lederiste.



Figur 4.3

Spærregitteret ved Holstebro Vandkraftværk forhindrer opstrøms trækkende fisk i at vandre helt op til opstemningen ved broen, så fiskene i stedet bliver ledt over til omløbet (forrest i billedet).



Figur 4.4

Oversigtskort over Rohden Å-systemet med indtegning af de lokaliteter, der er omtalt i teksten.

4.1.3 Årup Mølle Dambrug og Svends Mølle, Rohden Å (figur 4.4-4.8).

Vejle Amt har i årene 1988-1992 undersøgt passageforholdene for havørred på gydevandring til Rohden Å-systemet, hvor vandløbene generelt har nogle af Danmarks bedste ørredbestande (Nielsen 1997d). Frem til slutningen af 1980'erne var der spærret for fiskevandring ved mange opstemninger, men siden har Vejle Amt skabt passage næsten alle steder. Derfor kan havørrederne fra Vejle Fjord nu udnytte det meste af vandsystemet som gyde- og opvækstområde.

Undersøgelserne i Rohden Å er aldrig publiceret i detaljer, men er meget relevant for emnet i denne rapport. Derfor beskrives undersøgelserne i dette afsnit.

Rohden Å er 5-10 meter bred med ret lave vanddybder, så man kan bunde næsten alle steder i waders. Amtets undersøgelser er lavet ved elektrofiskeri ved vadning med to elektroder, hvor strømmen leveres af en 3000 watts generator i en gummibåd. Det vurderes, at effektiviteten af fiskeriet med dette grej er 50-75 %, og da effektiviteten vurderes at være ret ens overalt i systemet kan tætheden af havørreder ved sammenhængende undersøgelser umiddelbart sammenlignes og give et minimumstal for bestandsstørrelsen på de undersøgte strækninger.



Figur 4.5
Fiskepassagerne ved Årup Mølle Dambrug, Rohden Å.. Øverst fisketrappe af modstrømstypen.
Nederst omløb med dobbeltprofil ved lille henh. stor vandføring.



Vandføringen i Rohden Å nedstrøms Årup Mølle Dambrug er følgende:

- Medianminimum (307 l/sek.)
- Årsgennemsnit (1.142 l/sek.)
- Årsmaximum (ca. 7.000 l/sek.)

Nedstrøms Årup Mølle Dambrug (figur 4.4) er der ingen gydemuligheder for havørred undtagen i et par mindre tilløb, hvor opgangen dog var lille i årene 1988-1992 (Vejle Amt, unpubl. data). Det formodes derfor, at langt de fleste af de havørreder, der i 1988-1992 blev fanget nedstrøms Årup Mølle Dambrug, var på vandring op i systemet opstrøms Årup Mølle Dambrug.

Ved Årup Mølle Dambrug var der frem til starten af 1992 en fisketrappe af modstrømsstypen, som kunne udnytte en vandføring på 175 l/s (figur 4.5, øverst). Den blev i 1992 erstattet af et omløb med dobbeltprofil (figur 4.5, nederst), som kan udnytte vandføringer mellem 135 og 4.000 l/sek. (Nielsen 1994a, 1994b).



Figur 4.6

Fisketrappe af bassintypen ved Svends Mølle, Rohden Å.

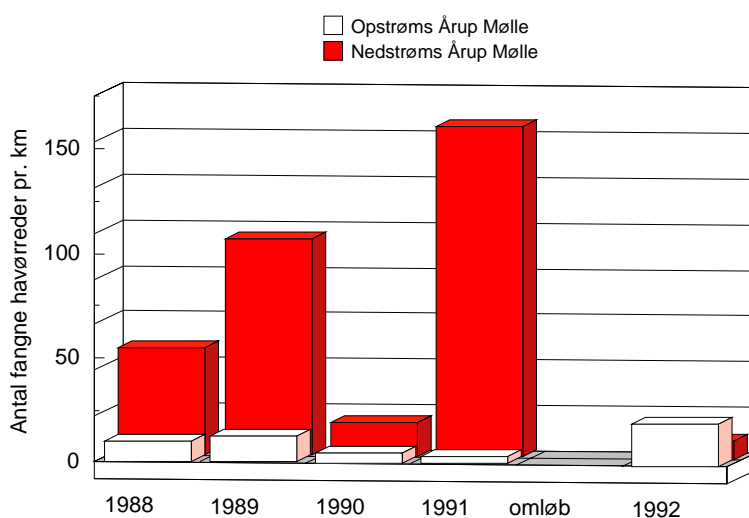
De havørreder, der vandrer forbi Årup Mølle, blev i mange år stoppet af en opstemning ca. 3 km længere opstrøms ved Svends Mølle, hvor der dog i 1991 blev anlagt en fisketrappe af bassintypen (figur 4.6). Fisketrappen udnytter vandføringer mellem 70 og 300 l/sek.

Ved Ørum Dambrug er der en lav opstemning (under en meter) med en modstrøms fisketrappe, der kan føre 30 – 80 l/sek. Det vurderes, at havørrederne springer gennem opstemningen i forbindelse med afgivelse af frivand i stedet for at benytte fisketrappen. Vurderingen baseres på, at det er nemt for ørrederne at springe gennem opstemningen og at trappen som regel har været tilstoppet eller

afspærret, når der er lavet fiskeundersøgelser i Rohden Å. Derfor er effektiviteten af selve fisketrappen ikke vurderet ved Ørum Dambrug.

Ved Røde Mølles stemmeværk var der en totalspærring frem til 1993, hvor dambrugets ejer installerede modstrømstrappen fra Årup Mølle. Den kom aldrig til at virke, så Vejle Amt har i 1998 opkøbt dambruget og erstattet stemmeværket med et stryg.

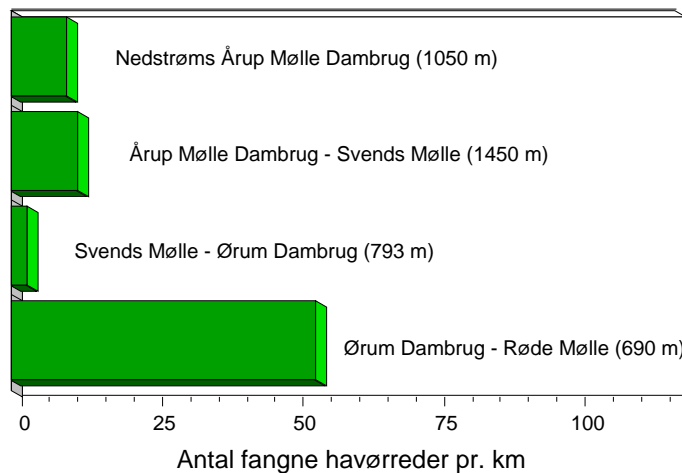
I perioden 1988-1992 elektrofiskede Vejle Amt hvert år efter havørred op- og nedstrøms Årup Mølle Dambrug i havørredens gydetid. Undersøgelserne viste entydigt, at havørrederne havde svært ved at passere modstrømstrappen, så tætheden af havørreder pr. km vandløb i årene 1988-1991 var 5-40 gange højere nedstrøms fisketrappen end opstrøms (figur 4.7). Spærringsproblemet ved Årup Mølle Dambrug blev principielt løst, da der i 1992 blev lavet et omløb med dobbeltprofil, som kunne rumme meget store frivandsmængder. Resultatet af amtets elfiskeri i 1992 viste, at den største tæthed af havørreder nu fandtes opstrøms Årup Mølle, hvor der var dobbelt så mange havørreder pr. km vandløb som nedstrøms omløbet. Det vurderes derfor, at en meget stor del af havørrederne vandrer gennem omløbet uden problemer, og at de specielt vandrer opstrøms i perioder med stor vandføring i omløbet (ved stor nedbør).



Figur 4.7

Antallet af havørreder ved elektrofiskeri i Rohden Å op- og nedstrøms Årup Mølle Dambrug, hvor en modstrøms fisketrappe i 1992 blev erstattet af et omløb med dobbeltprofil. Alle undersøgelser er lavet i nov.-dec. måned, hvor havørreden forventes at være trukket op til sine gydeområder (upublicerede data fra Vejle Amt).

Resultaterne fra november 1992, hvor der havde været en stor opgang af havørreder forbi Årup Mølle Dambrug, er inddelt i fire delresultater på figur 4.8. Herved kan det vurderes, hvor nemt havørrederne kunne vandre forbi Svends Mølle og Ørum Dambrug (opstemningen ved Røde Mølle virkede som tidligere nævnt som en totalspærring).



Figur 4.8

Antallet af fangne havørreder ved elektrofiskeri på fire strækninger af Rohden Å, november 1992. Længden af de undersøgte strækninger fra de enkelte opstemninger og nedstrøms er angivet i parentes (upubl. data fra Vejle Amt).

Det ses tydeligt af figur 4.8, at havørrederne ikke havde problemer med at finde op til Røde Mølle. Den største tæthed af havørreder blev fundet på strækningen Ørum Dambrug – Røde Mølle, hvor der blev fanget 37 havørreder (svarende til 54 havørreder/km). Omløbet ved Årup Mølle og fisketrappen ved Svends Mølle fungerede altså godt.

Effektiviteten af fisketrappen ved Ørum Dambrug kan ikke vurderes, da havørrederne sandsynligvis passerer direkte gennem stemmeværket uden at bruge fisketrappen. Faktum er dog, at havørrederne nemt finder forbi Ørum Dambrug.

Det er bemærkelsesværdigt, at den største tæthed af havørreder blev konstateret længst oppe i systemet på trods af, at der er en del fine gydetilløb for havørred undervejs til Røde Mølle. Der er sikkert også vandret havørreder op i tilløbene, så man kunne have forventet en faldende tæthed af havørred på den øverste strækning. Derfor må opgangen have været betydelig.

Resultaterne af Vejle Amts undersøgelser kan samles i en tabel sammen med data over vandføringen i Rohden Å henh. fiskepassagerne (tabel 4.1). Det fremgår, at en vandføring i fisketrappen ved Svends Mølle svarende til medianminimum har været tilstrækkeligt til, at havørrederne har kunnet finde og svømme gennem fisketrappen. Det skal bemærkes, at fisketrappen er bygget direkte ind i frislusen, og at der er udlagt store sten i frislusen med det formål at lede havørrederne over til fisketrappen. Det har dog ofte ved andre fiskepassager vist sig, at en gunstig placering af fiskepassagen ikke er nok - vandføringen i fiskepassagen betyder også meget. Et godt eksempel herpå er netop fra Årup Mølle, hvor fisketrappen også var bygget ind i frislusen, men hvor vandføringen i trappen var for lille til at lokke fiskene hen til trappen.

Tabel 4.1

Vandføringsdata og vurdering af effektiviteten af fiskepassagerne for opvandrende havørreder i Rohden Å.
 Årsmiddelvandføringen er 1.142 l/sek. og medianminimum er 307 l/sek. (målt nedstrøms Årup Mølle Dambrug).

Rohden Å, lokalitet og årstal	Vandføring i fiskepas l/s	Vandføring i fiskepas, % af årsmiddel.	Vandføring i fiskepas, % af med.min	Effektivitet af fiskepas	Bemærkninger	Reference
Årup Mølle Dambrug 1988-1991	175	15	57	Meget dårlig	Modstrømstrappe	Ejbye-Ernst m.fl. (1990) Vejle Amt, upubliceret Nielsen 1994a, 1994b
Årup Mølle Dambrug 1992	135 - 4.000	12 - 350	44 - 1.300	Særdeles god	Omløb med dobbeltprofil	Vejle Amt, upubliceret Nielsen 1994a, 1994b
Svends Mølle 1992	70 - 300	6 - 26	23 - 98	Særdeles god	Fisketrappe af bassintypen	Nielsen 1994a, 1994b

4.2 Udenlandske undersøgelser

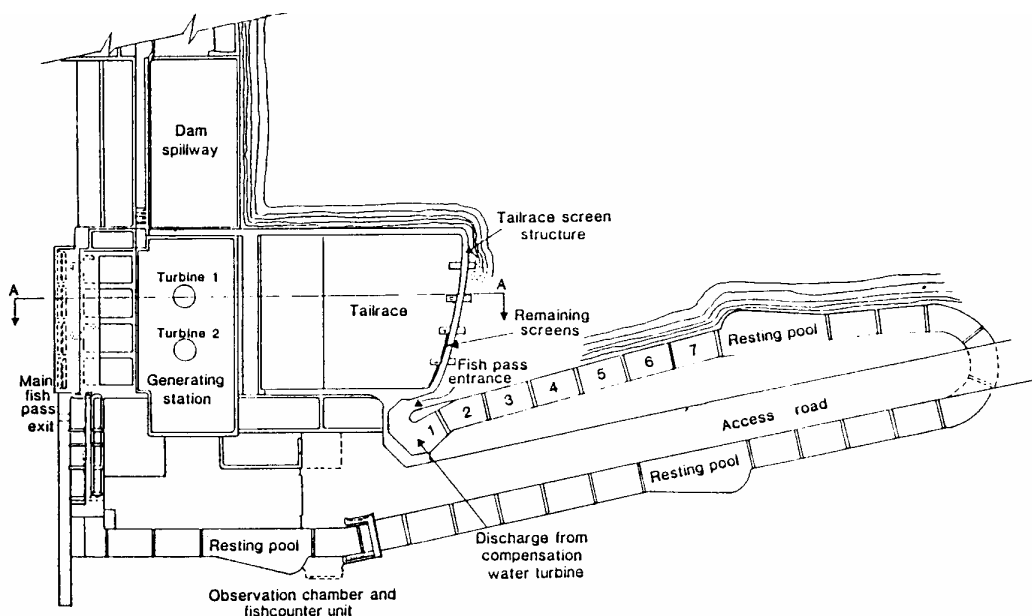
4.2.1 Pitlochry Dam, Skotland (figur 4.9).

Der er lavet omfattende undersøgelser omkring laksens vandringer ved et skotsk kraftværk ved Pitlochry Dam, River Tummel, hvor 11 laks var mærket med radiosendere (Webb 1990). Kraftværket har to Kaplan-turbiner, som kan fungere enkeltvis eller sammen, afhængigt af vandføringen, der normalt aldrig er under $18,3 \text{ m}^3/\text{s}$. Fisketrappen får aldrig mere end 10 % af den samlede vandføring. Nedstrøms afløbet fra turbinen og nærmest fisketrappen er der et gitter med 4,1 cm tremmeafstand, men resten af afløbet er ikke afgitret.

Laksene holdt sig væk fra hovedvandstrømmen, når dobbeltturbinen var i drift ved større vandføringer ($35\text{-}40 \text{ m}^3/\text{s}$). Seks laks svømmede i alt 11 gange ind i turbineafløbet, når der kun var en turbine i drift ved mindre vandføringer.

11 laks svømmede ind i fisketrappen, men kun fem laks passerede hele vejen gennem trappen. Tre af de fem laks havde tidligere været inde i afløbet fra enkeltturbinen. Der var ingen sammenhæng mellem indvandringen og vandføringen ved kraftværket. Fiskene blev som gennemsnit forsinket 23,7 døgn i floden, før de svømmede ind i trappen, svingende fra 0,6 døgn til 43 døgn.

Det kan umiddelbart lyde som et godt resultat, at alle 11 laks fandt ind i trappen, som aldrig fik mere end 10 % af den samlede vandføring. Men kun fem laks (45 %) svømmede helt gennem trappen, og desuden blev fiskene forsinket op til 43 døgn ved dæmningen, inden de svømmede ind i fisketrappen. Hvis laksene skal passere flere tilsvarende opstemninger, vil der stort set ikke komme fisk op til de øverste dele af vandsystemet (se f.eks. figur 2.1).



Figur 4.9

Skitsetegning af turbineanlæg og fisketrappe ved Pitlochry Dam. Fisketrappen fører 1.360 l/s + ekstra 600 l/s , som lukkes ud i det nederste kammer fra en lille turbine, d.v.s. at fiskene lokkes hen til trappen med en samlet vandstrøm på 1.960 l/s . Trappen er 311 m lang og består af 34 betonbassiner, hvoraf de fleste er $7,9\text{ m} \times 4,3 \text{ m}$ og har en dybde på 2,1 m (figur fra Webb 1990).

4.2.2 Hunderfossen, Norge.

Der er lavet en del undersøgelser af ørredens vandringer omkring et kraftværk ved Hunderfossen i den norske elv Gudbrandsdalslågen, hvor man bl.a. har brugt radiosendere og daglig fangst af ørreder i en fisketrappe (Jensen & Aas 1991, 1995, Qvenild 1994, Arnekleiv & Krabøl 1996, Kraabøl & Arnekleiv 1997). Her udnytter kraftværkets turbiner altid en vandføring på 2-300 m³/s. Vandet fra kraftværket bliver ledt ud 4,4 km nedstrøms dæmningen, så der er en 4,4 km lang ”død-å”- strækning af elven mellem dæmningen og udløbet fra kraftværket. Dæmningen er 200 m bred og forsynet med en fisketrappe, der altid fører 1,8 m³/s. Det meste af året (oktober-juni) afgives der intet frivand over dæmningen bortset fra 1,8 m³/s i selve fisketrappen, men i perioden juli-september afgives der i alt op til 20 m³/s over dæmningen for at sikre fiskepassage. I perioder med meget smeltevand er den samlede vandføring dog så stor (op til 1.500 m³/s), at der må aflastes over dæmningen.

I perioder med lille vandføring ved dæmningen (under 20 m³/s) står ørrederne i længere tid i eller ved turbineafløbet (150-300 m³/s) i stedet for at vandre op mod dæmningen og fisketrappen. Ørrederne vandrer først op mod dæmningen, når der afgives større mængder frivand her. Ved en række forsøg blev i alt 91 ørreder (fanget ved dæmningen og i fisketrappen) mærket med radiosendere og genudsat nedstrøms udløbet fra turbinerne. Der var ingen opgang af ørreder til dæmningen ved vandføringer under 20 m³/s, og ved en vandføring på 30 m³/s i et døgn vandrede kun én af otte ørreder op. Ved et forsøg, hvor der i et døgn blev afgivet 60 m³/s ved dæmningen vandrede 9 af 13 ørreder op til dæmningen. Nu anbefales det gentagne gange at afgive 60 m³/s for at sikre gydevandringen, idet den hidtidige afgivelse på 1,8-20 m³/s er helt utilstrækkelig.

Der er dog også et problem ved store vandføringer ved dæmningen, da ørrederne så ikke kan finde fisketrappen. Årsagen er bl.a., at der kun kan løbe 1,8 m³/s i fisketrappen, så ekstra frivand afgives ved siden af. Hvis fiskepassagen havde kunnet rumme en større vandmængde, havde fiskene haft meget lettere ved at finde den.

Konklusionen på undersøgelserne er, at hvis der som tidligere kun afgives op til 20 m³/s ved dæmningen og fisketrappen (6-14 % af den samlede vandføring), vil en del ørreder blive stående ved turbineafløbet uden at finde op til fisketrappen og dæmningen. Det er uheldigt, men kan måske afhjælpes ved at slippe lokkeflomme med jævne mellemrum.

Det er værd at bemærke, at det lykkedes at få næsten 70 % af ørrederne til at vandre forbi udløbet fra kraftværket og op til dæmningen, da der blev afgivet 60 m³/s (17-33 % af den samlede vandføring). Det er dog ikke påvist, hvor godt fisketrappen virker, bortset fra at ørrederne ikke kan finde fisketrappen ved meget store vandføringer.

4.2.3 Loire, Frankrig

Franske undersøgelser i floden Loire (vandføring 209-780 m³/s) viste, at laks med radiosendere blev forsinket i op til 4 dage, før de passerede et styrt, men at de som regel sprang/svømmede forbi i løbet af få timer (Baril & Gueneau 1986). Styrthøjden varierede mellem 1,2 og 6 m, afhængigt af vandstanden, og styrtet (floden) var 210 m bredt. Hele styrtet var altid dækket af vand, men i højre side var der lavet en 1,5 m bred udskæring for at lette laksens passage. Den hurtigste laks passerede efter kun 19 minutter, og alle laks passerede med en gennemsnitlig forsinkelse på kun 9 timer.

Ved et andet lignende styrt i Loire (370 m bredt og gennemsnitligt 1,5 m højt, hvor der i stedet for en udskæring var to fiskepassager (ikke nærmere beskrevet) beregnet for majsild *Alosa alosa*, blev laksen meget mere forsinket. To laks passerede på 12 timer, men syv andre laks brugte 2-51 dage og en ottende laks tabte sin radiosender efter 23 døgn uden at have fundet forbi. De 9 laks, der passerede, blev i gennemsnit forsinket 17 døgn (Baril & Gueneau 1986).

Konklusionen på de franske undersøgelser var, at vandtemperaturen var afgørende for laksens opstrøms vandringer, idet fiskene blev forsinket ved vandtemperaturer under 5° C og passerede styrtene, når temperaturen igen kom over 5° C. En anden konklusion var, at fiskene som regel trak op til styrtene ved den højre bred, og at de herefter brugte en del tid på at svømme rundt og undersøge området. Kun en laks sprang gennem udskæringen ved det første styrt, resten sprang over selve styrtene.

4.3 Sammenstilling af resultater over vandføringens betydning.

I dette afsnit er resultaterne af en række undersøgelser stillet sammen i tabelform, så det bl.a. kan vurderes hvor meget vand, der skal løbe i en fiskepassage, før den virker tilfredsstillende. Det er her (jf. afsnit 2.1 og figur 2.1) defineret, at en fiskepassage kun virker tilfredsstillende, hvis mindst 75 % af vandrefiskene finder og gennemsvømmer den.

Det skal pointeres, at der er lavet mange undersøgelser over effekten af at fjerne spærringerne og bygge stryg i stedet. De har entydigt vist, at det giver fuldstændig fri passage for laks og ørred, hvis alt vandet i vandløbet altid løber over strygene (Nielsen 1994a,b,d, Frandsen 1998 samt mange andre undersøgelser). Problemerne med dårlige passageforhold opstår altid, når vandet deles og bruges til flere formål, så fiskepassagerne kun får tildelt en delmængde af vandet. Problemerne kan forstærkes, hvis fiskepassagen er en type, som ikke kan benyttes af alle fiskearter (som f.eks. fisketrapper).

Der er fundet en del resultater fra undersøgelser over fiskepassager, der virker dårligt (tabel 4.2). Problemet har stort set altid været for lille vandføring i fiskepassagen, så fiskene ikke kan finde den. De dårligt fungerende passager har typisk haft en vandføring på under 25 % af medianminimum. Et par modstrøms fisketrapper ved Årup Mølle Dambrug og Åkjærdal Mølle havde dog en vandføring på ca. 50-100 % af medianminimum - men selv dette var ikke nok til, at havørrederne kunne finde og passere igennem dem.

Årsagen til den dårlige funktion af fiskepassagerne i tabel 4.2 er ganske tydeligt, at laks og havørred trækker opstrøms i situationer med meget vand i vandløbene, dvs. typisk i perioder med megen nedbør. Her kan fiskene ikke finde passagerne, da de vandrer efter hovedstrømmen og springer forgæves i frisluserne. Situationen er vist på figur 4.10, som viser to fotos af modstrømstrappen ved Åkærdal Mølle, Vejle Amt. Det ene foto viser situationen i en tør periode, hvor det meste af vandet løb i fisketrappen. Undersøgelser viste, at fiskene kunne finde trappen i denne situation - men der vandrede kun få fisk igennem, da fiskene ikke vandrer ret meget ved små vandføringer. Når det derimod satte ind med regnvejr, svulmede åen op og fiskene startede deres opstrøms vandringer. Men nu svømmede de forbi fisketrappen og sprang forgæves i frislusen (andet foto). Fisketrappen ved Åkærdal Mølle blev sat op sidst i 1980'erne, men blev efter en række undersøgelser (Kristiansen 1991) fjernet igen i 1993, hvor Vejle Amt fjernede stemmeværket og lavede et stryg i stedet (Nielsen 1994a). Nu er der ingen passageproblemer, idet alt vandet bliver brugt til fiskepassage.

Tabel 4.2

Oversigt over undersøgelser af dårligt fungerende fiskepassager ved opstemninger med en vurdering af passagerens effektivitet over for optrækkende laks og havørred. Data for vandføring er leveret af de lokale amter, hvis oplysningerne ikke er nævnt i referencerne.

Vandløb	Lokalitet	Års- middel vandf. l/s	Median minimum l/s	Vandføring i fiskepas l/s	Vandføring i fiskepas, % af årsmiddel.	Vandføring i fiskepas, % af med.min	Fiskeart	Effektivitet af fiskepas i % eller vurderet	Bemærkninger	Reference
Hadsten Lilleå	Løjstrup Mølle Dambrug	2.829	1.084	130	5	12	Havørred	0	Modstrømstrappe (erstatning for bassintrappe)	Aarestrup & Jepsen (1998)
Dalby Møllebæk	Dalby Mølle	210	35	70 - 100	33 - 48	200 - 286	Havørred	0	25 m lang modstrømstrappe	Vejle Amt upubl.
Åkær Å	Åkærdal Mølle	650	100	70 - 120	11 - 18	70 - 120	Havørred	0	Modstrømstrappe, undersøgt i to år, nu erstattet af stryg.	Kristiansen (1991) Nielsen (1994a)
Storå	Holstebro Vandkraftværk	8.190	3.888	400-1.000	5 - 12	10 - 26	Havørred + laks + steelhead	Ingen opvandring uden spærregitter	Omløb med optimalt placeret udløb lige nedstrøms spærregitter	Jørgensen (1992a,b), Davidsen & Mathiesen (1992)
Rohden Å	Årup Mølle Dambrug 1988-1991	1.142	307	175	15	57	Havørred	Meget dårlig	Modstrømstrappe, undersøgt i fire sæsoner, nu erstattet af omløb.	Ejbye-Ernst m.fl. (1990) Vejle Amt, upubliceret Nielsen (1994a, 1994b)
Karup Å	Karup Elværk	2.800	1.700	300	11	18	Havørred	Meget dårlig	Omløb.	Jensen (1996)
Gudenå	Gudenåcentralen	21.000	9.300	150	0,7	1,6	Havørred	3	Modstrømstrappe uden ned- strøms gitter, men med elektrospærring.	Nielsen (1987)
Gudenå	Gudenåcentralen	21.000	9.300	150	0,7	1,6	Havørred	6	Modstrømstrappe uden nedstrøms gitter.	Dieperink (1992)
Hadsten Lilleå	Løjstrup Mølle Dambrug	2.829	1.084	130	5	12	Havørred	7	Bassintrappe, udmunding ca. 15 m nedstrøms frisluse.	Nielsen (1985) + Ejbye-Ernst m.fl. (1990)
Gudenå	Gudenåcentralen	21.000	9.300	150	0,7	1,6	Havørred	10	Modstrømstrappe uden ned- strøms gitter og elspærring.	Nielsen (1985)
Gudenå	Gudenåcentralen	21.000	9.300	150	0,7	1,6	Havørred Laks	25 25	Modstrømstrappe med nedstrøms gitter.	Koed m.fl. (1996)
River Tay	Pitlochry Dam, Skotland		18.600	1.360-1.960		7 - 10	Laks	45	Bassintrappe, som principielt udmunder det rigtige sted (se figur 5.1).	Webb (1990)
Gudbrands- dalslågen	Hunderfossen		120.000- 300.000	20.000 30.000 60.000		6 - 14 9 - 20 17 - 33	Søørred	0 13 69	Ikke forsøg med fisketrappe, men forsøg med lokkevandsmængde.	Arnekleiv & Krabøl (1996)



Figur 4.10

Fisketrappen ved Åkærdal Mølle, Åkjær Å ved lille henh. stor vandføring. Fiskene vandrer specielt i perioder med meget vand men kan så ikke finde fisketrappen. Nu er opstemningen fjernet, og der er bygget et stryg i stedet.

Der er kun fundet få publicerede resultater fra undersøgelser af fiskepassager, der virker godt (tabel 4.3). Der er dog lavet flere danske undersøgelser, de er blot ikke publiceret, og det har desværre ikke været muligt at gøre dette i forbindelse med denne rapport.

Konklusionen for de fiskepassager, der virker godt for laks og havørred er, at der er en stor vandføring i passagerne, og at de munder ud tæt på det sted, hvor evt. frivand bliver afgivet. Derfor har fiskene ingen problemer med at finde passagerne.

Omløbet ved Holstebro Vandkraftværk virker godt, selv om der kun løber maksimalt 25,7 % af medianminimum gennem omløbet (svarende til 1.000 l/s). Som beskrevet i afsnit 4.1.2 havde laksefiskene store problemer med at finde omløbet i en periode, hvor spærregitteret ved frislusen var fjernet. Men omløbet gav god passage for laks, havørred, steelhead og helt, da gitteret kom på plads. Eksemplet viser, at man her kunne skabe god fiskepassage med en relativt lille vandføring – men det skal også fremhæves, at denne ”lille” vandføring var så høj som 1.000 l/s.

Den bedste fiskepassage i tabel 4.3 er principielt omløbet ved Årup Mølle Dambrug, der er lavet med et dobbeltprofil, så frivandet også kan afgives gennem omløbet. Der løber ned til 44 % af medianminimum i omløbet (svarende til vandføringen i den tidligere modstrømstrappe, se tabel 4.1 & 4.2), men fiskene vandrer hovedsagelig i perioder med meget frivand, som så afgives gennem omløbet. I disse situationer løber det meste vand i omløbet, så fiskene nemt lokkes herover. Samtidig er omløbet nemt at svømme igennem for andre fiskearter end laksefisk.

Der vandrer også mange havørreder gennem omløbet ved Tirsbæk Slot og fisketrappen ved Boller Mølle, som også kan udnytte en stor vandmængde (op til flere gange større end årsmiddelvandføringen). Passagerne virker også godt, når der afgives frivand uden om passagerne, da udløbet af fiskepassagerne er placeret i umiddelbar nærhed af frivandet.

Tabel 4.3

Oversigt over undersøgelser af godt fungerende fiskepassager ved opstemninger med en vurdering af passagerens effektivitet over for optrækkende laks og havørred. Data for vandføring (årsmiddel og medianminimum) er leveret af de lokale amter, hvis oplysningerne ikke er nævnt i referencerne.

Vandløb	Lokalitet	Års- middel vandf. l/s	Median minimum l/s	Vandføring i fiskepas l/s	Vandføring i fiskepas, % af årsmiddel.	Vandføring i fiskepas, % af med.min	Fiskeart	Effektivitet af fiskepas i % eller vurderet	Bemærkninger	Reference
Klokkedal Å	Boller Mølle	121	25	50 - 300	41 - 248	200 – 1.200	Havørred	Særdeles god	Fisketrappe af bassintypen	Nielsen (1994a)
Tirsbæk	Tirsbæk Slot	90	15	10 - 550	11 - 611	67 – 3.667	Havørred	Særdeles god	Omløb	Hedeselskabet (1990) Vejle Amt, upubl.
Kvak Møllebæk	Kvak Mølle	72	36	Op til 150	45 - 200	90 - 400	Havørred	Særdeles god	Omløb, som altid får ca. 90 % af vandet	Bygballe & Nielsen (1996)
Rohden Å	Årup Mølle Dambrug 1992	1.142	307	135 - 4.000	12 – 350	44 – 1.300	Havørred	Særdeles god	Omløb med dobbeltprofil	Vejle Amt, upubliceret Nielsen (1994a, 1994b)
Rohden Å	Svends Mølle	1.100	285	70 - 300	6 - 27	25 - 105	Havørred	Særdeles god	Fisketrappe af bassintypen	Vejle Amt, upubliceret Nielsen (1994a, 1994b)
Storå	Holstebro Vandkraftværk	8.190	3.888	400-1.000	5 - 12	10 - 26	Havørred + laks + steelhead	Særdeles god ved høj vandføring i omløb og med spærregitter. Men ingen opvandring i en periode uden spærregitter	Omløb med optimalt placeret udløb lige nedstrøms spærregitter. Storåen havde en meget lille bestand af laks, havørred og steelhead , og der var størst opvandring ved stor vandføring (men kun 11 fisk fanget i alt).	Jørgensen (1992a,b), Davidsen & Mathiesen (1992)

5. Samlede konklusioner om vandføringens betydning

Vandføringen er den parameter, der har størst betydning for havørredens og laksens opstrøms vandringer i vandløb. Fiskene trækker opstrøms i perioder med meget vand, og optrækket udebliver eller mindskes stærkt ved små vandføringer. Der vil ikke trække fisk opstrøms på strækninger af vandløb, hvor vandføringen holdes på et unaturligt, lavt niveau, som f.eks. i delvist tørlagte vandløb uden om dambrug, vandkraftværker o. lign.. Tilsvarende følger ungfisk på vandring mod havet (smolt) hovedvandstrømmen på deres nedstrøms vandringer og kan have store problemer med at finde den rigtige vej forbi opstemningsanlæg i den korte tid, de vandrer om foråret (få uger).

Fiskenes afhængighed af en stor vandføring er fra naturens hånd en god biologisk taktik, da de har nemmere ved at passere forhindringer og bedst kan skjule sig ved en stor vandføring. Men taktikken er dårlig i vandløb, der er påvirket af vandindvinding, for her kan fiskene ofte vente forgæves på en stor vandføring. Det er f.eks. set i Kolding Å-systemet, hvor optrækket til Vester Nebel Å udebliver i de år, hvor det meste af vandet bliver ledt ned til vandkraftværket ved Harte i stedet for at løbe i Vester Nebel Å (Kristiansen 1991).

Den bedste måde at skabe fiskepassage på ved opstemningsanlæg vil altid være at fjerne spærringerne eller ombygge dem til stryg, så der genskabes fuldstændig fri fiske/faunapassage samtidig med, at der ikke er noget behov for pasning (Nielsen 1994a,b,c,d, Frandsen 1998 m.fl.). I mange situationer er det dog ikke muligt, da anlæggene ofte skal bevares af økonomiske eller kulturtekniske grunde. Så må man finde løsninger med fri fiskepassage samtidig med, at anlæggene bevares eller ombygges. Der vil da ofte fra stemmeværksejerens side være et ønske om at bevare en stor vandmængde til el- eller dambrugsproduktion, hvilket ofte nedsætter effektiviteten af fiskepassagerne.

I 1998 udsendte FAO en vejledning om vandløbsrestaurering og definerede her, hvornår laks og ørred trækker opstrøms i vandløb på gydevandring (Cowx & Welcomme 1998). De vandføringer, der udløser laksens og ørredens vandringer kan udtrykkes som vandføring pr. m vandløbsbredde. Fiskenes opstrøms vandringer begynder primært, når vandføringen stiger til 80 l/s/m, kulminerer ved 200 l/s/m og reduceres ved større vandføringer.

Det er interessant at sammenligne FAO's anbefalede vandmængde til fiskepassage med konkrete eksempler, f.eks. Tirsbæk, som løber til Vejle Fjord. Tirsbæk er ca. 2 m bred ved udløbet i fjorden, hvorfor havørreden ifølge definitionen vandrer opstrøms i bækken ved vandføringer mellem 160 og 400 l/s. Omløbet ved Tirsbæk Slot kan føre vandmængder på op til 550 l/s og munder ud ved den frisluse, hvor overskydende frivand også bliver afgivet. Havørreden har da heller ingen problemer med at finde og svømme igennem omløbet (medianminimum i Tirsbæk er 15 l/s, årsmiddel er 90 l/s og medianmax. er 1.000 l/s).

Set i relation til afgivelse af frivand til fiskepassage ved dambrug, turbineanlæg o. lign. er det ikke nok med en konstant afgivelse af vand i fiskepassagen svarende til halvdelen af medianminimum eller lignende. I visse tilfælde (men ikke alle) er der fundet gode passageforhold ved afgivelse af en vandmængde svarende til medianminimum. Eksempelvis virkede en modstrøms fisketrappe dårligt i Åkær Å (vandføringen i trappen svarede til medianminimum), mens en bassin fisketrappe i Rohden Å ved Svends Mølle virkede godt ved samme relative vandføring.

Hvis man skal være sikker på, at en passage vil virke, skal der langt større vandmængder til i passagen, og den bør indrettes, så den kan rumme en stor del af det frivand, der alligevel afgives i situationer med meget vand (som regel omkostningsfrit for stemmeværksejeren). Det gøres i praksis ved at indrette passagen med et dobbeltprofil og en overløbskant ved vandindtaget til passagen.

Dobbeltprofilet sikrer, at vandet samles i bunden af passagen ved små vandføringer, og overløbskanten sikrer, at overskudsvandet automatisk løber i passagen ved stigende vandstand. Hvis passagen er lavet som et stryg eller omløb, vil den give passage for alle arter af fisk og smådyr og den vil stort set være pasningsfri, hvilket har stor betydning for stemmeværksejeren og passagens effektivitet. Hvis passagen anlægges som en fisketrappe, vil kun nogle fisk og smådyr kunne passere, og man må regne med en betydeligt indsats til pasning og vedligeholdelse, som ofte ikke finder sted i praksis (Nielsen 1997a).

I visse situationer med begrænset plads i området er det ikke muligt at lave en stor fiskepassage, som også kan rumme frivandet. Her er det altafgørende, at udløbet af fiskepassagen ligger lige ved det sted, hvor det meste af vandet ellers løber. En fisketrappe af bassintypen i Rohden Å ved Svends Mølle virker således fint ved en vandføring svarende til medianminimum, og et omløb i Storåen ved Holstebro Vandkraftværk vurderes også at virke godt ved en vandføring på 1.000 l/s, svarende til 26 % af medianminimum.

Specielt angående sidstnævnte er det dog atypisk, at en fiskepassage med 26 % af medianminimum vurderes at fungere. Det skyldes sikkert, at vandføringen i omløbet er så stor (1.000 l/s), at det generelt har en god lokkevirkning. Man kan ikke regne med samme effektivitet i mindre vandløb som f.eks. Tirsbæk, hvor omløbet absolut ikke ville have virket ved en vandføring på 4 l/s (26 % af medianminimum). Der er også mange eksempler på fisketrapper, der virker dårligt ved vandføringer svarende til medianminimum eller mindre (tabel 4.2). Det gælder specielt modstrøms fisketrapper, som nemt stopper til med grene o. lign., hvis de ikke passes dagligt.

Det ville have været relevant her at sammenligne med udenlandske undersøgelser over fiskepassager. Men det er kun lykkedes at finde speciallitteratur om nogle få, dårligt fungerende passager (nævnt i afsnit 4.2), så en sådan sammenligning har ikke været mulig. Det kan dog ud fra litteraturhenvisninger m.m. konstateres, at mange passager i udlandet virker dårligt, og at hovedårsagen som regel er, at der afgives for lidt vand gennem passagerne.

Milner (1990) og Jørgensen (1993) anbefaler følgende forhold omkring fiskepassage og vandføringer (Jørgensen beskriver situationen for omløb, men forholdene gælder generelt for forskellige typer af passager):

- Definer minimumsvandføringer (vandføringer, under hvilke ingen indvinding er tilladt).
- Beskyt vandløbenes sommerflomme til sikring af fiskevandring og brug kun de største flomme til opfyldning af vandreservoirer.
- Vandføringen i fiskepassagen bør i videst muligt omfang følge de naturlige svingninger i vandløbene, dog med en minimumsvandføring, der sikrer, at passagen kan findes og passeres.
- Etableres der en fiskepassage med dobbeltprofil vil det i nogen udstrækning kunne erstatte eventuelle frisluser, og der vil komme en mere naturlig variation i vandføringen i passagen.
- Tag hensyn til andre økologiske påvirkninger ved manipulering af vandføringer.

I situationer, hvor der kun løber en mindre del af vandet i fiskepassagen, skal udløbet af passagen som tidligere nævnt være uhyre tæt på det sted, hvor resten af vandet ledes ud. Ellers farer fiskene

vild. Hvis det ikke kan lade sig gøre, anbefales det at etablere en afgitring med 20 mm tremmeafstand eller en skrånende styrtbund af beton, så fiskene stoppes ved udløbet af fiskepassagen. En sådan styrtbund er lavet ved siden af en fisketrappe i Gudenåen ved Kloster Mølle og vurderes at virke godt (Vejle Amt, unpubl.).

Til slut kan det nævnes, at laks og havørreder på gydevandring primært vandrer i perioden fra solnedgang til solopgang. Kendskabet hertil kan bruges ved turbineanlæg med større vandmagasiner, hvor indtægten ved salg af elektricitet er mindst om natten. Her kan det i specielle situationer (som ved Holstebro Vandkraftværk) overvejes at have stor vandføring i fiskepassagen i de mørke timer og mindre i dagtimerne, så vandet udnyttes bedst muligt. Man skal dog sikre sig, at man ikke får for store udsving i vandføring/vandstand op- og nedstrøms opstemningerne, da det kan give andre økologiske gener (tørlægning af stryg, overskylning af fuglereder etc.).

Litteratur

- Aarestrup, K. & N. Jepsen (1995): Aspekter af adfærden hos atlantisk laks (*Salmo salar* L.) under opvandring i Gudenåen, undersøgt ved hjælp af radiotelemetri. Specialrapport, Biologisk Institut, Afdeling for Zoologi, Aarhus Universitet.
- Aarestrup, K. & N. Jepsen (1998): Spawning migration of sea trout (*Salmo trutta* (L.)) in a Danish river. *Hydrobiologia* 371/372, 275-281. I Lagardère, J.P., M.-L. Bégout Anras & G. Claireaux (eds): *Advances in Invertebrates and Fish Telemetry*, Kluwer Academic Publishers, Belgien.
- Alabaster, J.S. (1970): River flow and upstream movement and catch of migratory salmonids. *Journal of Fish Biology* 2, 1-13.
- Alabaster, J.S. (1990): The temperature requirements of adult Atlantic salmon, *Salmo salar* L., during their upstream migration in the River Dee. *Journal of Fish Biology* 37, 659-661.
- Alabaster, J.S., P.J. Gough & W.J. Brooker (1991): The environmental requirements of Atlantic salmon, *Salmo salar* L., during their passage through the Thames Estuary, 1982-1989. *Journal of Fish Biology* 38, 741-762.
- Ansæk, J. (1980): Ørreders og åls passage ved dambrug. *Ferskvandsfiskeribladet* nr. 9, 5 sider.
- Ansæk, J. & P.N. Markmann (1980a): Spærringer i vandløb. *Sportsfiskeren* nr. 9, s. 6-7.
- Ansæk, J. & P.N. Markmann (1980b): Spærringer i vandløb. *Stads- og Havneingeniøren* nr. 9, s. 333-344.
- Arnekleiv, J.V. & M. Kraabøl (1996): Migratory behaviour of adult fast-growing brown trout (*Salmo trutta*, L.) in relation to water flow in a regulated Norwegian river. *Regulated Rivers: Research and Management*, vol. 12, 39-49.
- Arnold, G.P. (1974): Rheotropism in fishes. *Biol. Rev.* 49, 515-576.
- Baglinière, J.-L., G. Maise, P.-Y. Lebail & E. Prévost (1987): Dynamique de la population de truite commune (*Salmo trutta* L.) d'un ruisseau breton (France). II – *Les geniteurs migrants*. *Ecol. Applic.* 8 (3), 201-215.
- Baglinière, J.-L., G. Maise & A. Nihouarn (1991): Radio-tracking of male adult Atlantic salmon, *Salmo salar* L., during the last phase of spawning migration in a spawning stream (Brittany, France). *Aquat. Living Resou.* 4, 161-167.
- Bangsgaard, L. (1993): Fisketæthed på 14 stryg og omløb i Vejle Amt. Rapport udgivet af Vejle Amt, Teknik og Miljø, 41 sider.
- Bangsgaard, L. (1994): Fiskepassage i vandløb. *Vand & Jord* 1 (1), 36-38.
- Banks, J.W. (1969): A Review of the Literature on the Upstream Migration of Adult Salmonids. *Journal of Fish Biology* vol. 1, 85-136.
- Baril, D. & P. Gueneau (1986): Radio-pistage de saumons adultes (*Salmo salar*) en Loire. *Bull. Fr. Pêche Piscic.* 302: 86-105.
- Beach, M.H. (1984): Fish pass design – criteria for the design and approval of fish passes and other structures to facilitate the passage of migratory fish in rivers. Fisheries Research Technical Report No. 78, 46 sider. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, Directorate of Fisheries Research, Lowestoft.
- Berg, O.K. & M. Berg (1987): Migrations of sea trout, *Salmo trutta* L., from the Vardnes river in Northern Norway. *J. Fish. Biol.* 31, 113-121.
- Bertmar, G. 1979: Home Range, Migrations and Orientation Mechanisms of the River Indalsälven Trout, *Salmo trutta* L.. Rep. Inst. Freshwater Research Drottningholm 58, 5-26.

- Bisgaard, J. (1996): Status for laksen i Skjern Å. Bestandsudvikling fra 1983 til 1995 og bestandsdynamik. Notat fra Ringkjøbing Amtskommune, Vandmiljøafdelingen, 43 sider.
- Bygballe, T. & J. Nielsen (1996): Kvak Møllebæk Brook at Skibet. Side 41-42 i Hansen, H.-O. (ed.): River Restoration – Danish experience and examples. Miljø- og Energiministeriet, Danmarks Miljøundersøgelser, 99 sider.
- Campbell, J.S. (1977): Spawning characteristics of brown trout and sea trout *Salmo trutta* L. in Kirk Burn, River Tweed, Scotland. J. Fish. Biol. 11, 217-229.
- Carl, J. & M. Larsen (1994): Betydningen af gedde (*Esox lucius* L.) og sandart (*Stizostedion lucioperca* (L.)), som predatorer på havørred (*Salmo trutta* L.) smolt under udtrækket fra Bygholm Å og Sø, 1992. Specialrapport, Biologisk Institut, Afdeling for Zoologi, Aarhus Universitet.
- Conley, S. (1990): Upstream downstream. Atlantic Salmon Journal 39 (3), 30-31.
- Cowx, I.G. & R.L. Welcomme (1998) eds.: Rehabilitation of rivers for fish. FAO håndbog, udgivet af Fishing News Books, 260 sider (ISBN 0-85238-247-2).
- Cragg-Hine, D. (1985): The assessment of the flow requirements for upstream migration of salmonids in some rivers of North-West England. I (ed. J.S. Alabaster): Habitat Modification and Freshwater Fisheries, Proceedings of EIFAC Symposium, Aarhus 1984, s. 209-215, Butterworths.
- Dahl, J. (1982): Rapport om kontrol af Tangetrappen i forsøgsperioden 1980-82. Rapport fra Ferskvandsfiskerilaboratoriet til Gudenåkomiteen og Danmarks Sportsfiskerforbund.
- Davidson, S. & J.P. Mathiesen (1992): Fiskeundersøgelse af stryg i Ringkjøbing Amt. Vækst 2, 7-8.
- Dieperink, C. (1992): Opvandring af ørred og laks i Gudenåen. IFF..rapport nr. 7, Institut for Ferskvandsfiskeri og Fiskepleje, Silkeborg, 20 sider + bilag (ISSN 0907-1164).
- Drewes, U. (1990): Bemessung von Fischpässen an Sohlstufen (Wehren, Sohlabstürzen, Sohlgleiten, Schussrinnen). Endbericht über das Forschungsvorhaben 2091-BV 4e – 10/84, Technische Universität Braunschweig Leichtweiss-Institut für Wasserbau. 54 sider + bilag.
- Ejbye-Ernst, M., L.K. Larsen & J. Nielsen (1989): Kontrol af fisketrapper. Vand & Miljø 8, 351-354.
- Ejbye-Ernst, M., L.K. Larsen & J. Nielsen (1990): Undersøgelser af danske fisketrapper. Vand & Miljø 1, 27-29.
- Ejbye-Ernst, M. & H.T. Nielsen (1997): Laksefiskene og fiskeriet i vadehavsområdet. Resumerapport fra Ribe Amt, Sønderjyllands Amt og Danmarks Fiskeriundersøgelser, ISBN 87-7342-841-8, 41 sider.
- Frandsen, S. B. (1998): Flere ørreder i Grejs Å. Vand og Jord 5 (4), 140-143.
- Fraser, J.C. (1975): Determining discharges for fluvial resources. FAO Fisheries Technical Paper No. 143, Rome, 102 sider.
- Gebler, R.-J. (1991): Naturgemässe Bauweisen von Sohlenbauwerken und Fischaufstiegen zur Vernetzung der Fliessgewässer. Doktordisputats fra Fakultät für Bauingenieur- und Vermessungswesen der Universität Karlsruhe (TH), Walzbachtal, 143 sider.
- Gee, A.S. (1980): Angling Success for Atlantic Salmon (*Salmo salar*) in the River Wye in Relation to Effort and River Flows. Fish Mgmt 11 (3), 131-138.
- Glüsing, H. (1998): Opgangen af laks til Skjern Å systemet 1997. Notat fra Ringkjøbing Amtskommune, Vandmiljøafdelingen, 8 sider.
- Gosset, C., F. Travade & C. Garaicoechea (1992): Influence d'un Écran Électrique en aval d'une Usine Hydroélectrique sur le Comportement de Remontée du Saumon Atlantique (*Salmo salar*). Bull.Fr.Pêche Piscic. 324, 2-25.

- Hansen, H.-O. (1996a) red.: Vandløbsrestaurering – eksempler og erfaringer fra Danmark. Danmarks Miljøundersøgelser 136 s. Faglig rapport fra DMU nr. 151.
- Hansen, H.-O. (1996b) ed.: River restoration – Danish experience and examples. Rapport fra European Centre for River Restoration, Danmarks Miljøundersøgelser, Silkeborg, 99 sider (ISBN 87-7772-279-5).
- Hansen, J.A. (1997): Aspekter af smoltudtræk og sammenligning af dødeligheder for vild- og dambrugssmolt af ørred (*Salmo trutta* L.) og laks (*Salmo salar* L.) i Gudenåen 1996. Specialrapport, Biologisk Institut, Afdeling for Zoologi, Aarhus Universitet, 92 sider + bilag.
- Hansen, M.M. (1997): Grundlaget for fiskeudsætninger i Danmark. DFU-rapport nr. 28-97, 59 sider (ISBN 87-88047-08-3).
- Harris, J.H. (1984): A survey of Fishways in Streams of Coastal South-eastern Australia. Austr.Zool. 21 (3), 219-233.
- Hawkins, A.D. & G.W. Smith (1986): Radio-Tracking Observations on Atlantic Salmon Ascending the Aberdeenshire Dee. Scottish Fisheries Research Report No. 36, 24 sider (ISSN 0308 8022).
- Hayes, F.R. (1953): Artificial Freshets and Other Factors Controlling the Ascent and Population of Atlantic Salmon in the LaHave River, Nova Scotia. Bulletin no. 99, Fisheries Research Board of Canada, 47 sider.
- Hedeselskabet (1990): Tirsbæk faunapassage ved Tirsbæk Gods. Projektbeskrivelse, 6 sider + bilag, Hedeselskabet, Silkeborg.
- Heggberget, T.G., L.P. Hansen & T.F. Næsje (1988): Within-River Spawning Migration of Atlantic Salmon (*Salmo salar*): Can.J.Fish.Aquat.Sci. 45, 1691-1698.
- Heggberget, T.G., F. Økland & O. Ugedal (1993): Distribution and migratory behaviour of adult wild and farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*) during return migration. Aquaculture 118, 73-83.
- Heggberget, T.G., F. Økland & O. Ugedal (1996): Prespawning migratory behaviour of wild and farmed Atlantic salmon, *Salmo salar* L., in a north Norwegian river. Aquaculture Research 27, 313-322.
- Henriksen, P.W. (1998): Ørredbestanden i Langvad Å-systemet 1996-1997. Bestandens sammensætning. Smoltproduktion. Overlevelse gennem Kattingesøerne. Rapport fra Roskilde Amt, Teknisk Forvaltning, 50 sider (ISBN 87-7800-276-1).
- Holdensgaard, G., C.Pedersen & S.Thomassen (1997) Nedvandring af lakse- og ørredsmolt i Gudenåen og Tange Sø 1994-1996. FOS-Laks rapport nr. 1, 46 sider + bilag.
- Jens, G. (1971): Funktion, Bau und Betrieb von Fischpässen. Arch.Fisch.Wiss. 22, Beih. 1, 1-30.
- Jensen, A. (1988): Havørreden i Tved Å, Ribe å vandsystem, 1986-1987. Speciale rapport, Århus Universitet, 61 sider.
- Jensen, A.J., T.G. Heggberget & B. O. Johnsen (1986): Upstream migration of adult Atlantic salmon, *Salmo salar* L., in the River Vefsna, northern Norway. J. Fish. Biol. 29, 459-465.
- Jensen, A.J., B.O. Johnsen & L.P. Hansen (1989): Effect of River Flow and Water temperature on the Upstream Migration of Adult Atlantic Salmon *Salmo salar* L. in the River Vefsna, Northern Norway. Side 140-146 i Brannon, E. & B. Jonsson (ed.): Proceedings of the Salmonid Migration and Distribution Symposium, June 23-25, Second International Symposium.
- Jensen, A.J. & P. Aas (1991): Oppgang av ørret i fisketrappa i Hunderfossen 1983-1990 i forhold til vannføring og vanntemperatur. NINA forskningsrapport nr. 19, Norsk Institutt for Naturforskning, 27 sider.
- Jensen, A.J. & P. Aas (1995): Migration of a fast-growing population of brown trout (*Salmo trutta* L.) through a fish ladder in relation to water flow and water temperature. Regulated Rivers Research and Management 10, 217-228.

- Jensen, A.R. & F.Sivebæk (1997): Smoltfangst med fælder og passageforhold forbi spærringer. Del 2 (31 sider) i Danmarks Fiskeriundersøgelser (1997): Laksefiskene og fiskeriet i vadehavsområdet, teknisk rapport. DFU-rapport nr. 40b-97,
- Jensen, H.-E. (1996): Fiskeundersøgelser i Karup å 1995/96. Notat fra Viborg Amt, Recipientkontoret, 8 sider.
- Jepsen, N., K. Aarestrup, F. Økland & G. Rasmussen (1998): Survival of radio-tagged Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) and trout (*Salmo trutta* L.) smolts passing a reservoir during seaward migration. *Hydrobiologia* 371/372, 347-353. I Lagardère, J.P., M.-L. Bégout Anras & G. Claireaux (eds): *Advances in Invertebrates and Fish Telemetry*, Kluwer Academic Publishers, Belgien.
- Jonsson, B., N. Jonsson & L.P. Hansen (1990): Does juvenile experience affect migration and spawning of adult Atlantic salmon ? *Behav.Ecol.Sociobiol.* 26, 225-230.
- Jonsson, N. (1991): Influence of Water Flow, Water Temperature and Light on Fish Migration in Rivers. *Nordic J. Freshw. Res.* 66, 20-35.
- Jungwirth, M. (1996): Bypass channels at weirs as appropriate aids for fish migration in Rhithral rivers. *Regulated Rivers Research & Management* 12, 483-492.
- Jørgensen, J. (1992a): Fiskepassage ved Holstebro Vandkraftværk. Rapport udgivet af Ringkjøbing Amtskommune, Teknik og Miljøforvaltningen, 21 sider + 6 sider bilag.
- Jørgensen, J. (1992b): Fiskepassage ved Holstebro Vandkraftværk. *Vand & Miljø* 10 (1), 13-17.
- Jørgensen, J. (1993) red.: Handlingsplan for ophjælpning og retablering af de danske laksebestande. IFF..rapport nr. 10, Institut for Ferskvandsfiskeri og Fiskepleje, Silkeborg, 57 sider (ISSN 0907-1164).
- Koed, A. (1993): Aspekter af gedde (*Esox lucius* L.) og sandarts (*Stizostedion lucioperca* (L.)) fødebiologi. Specialrapport, Biologisk Institut, Afdeling for Zoologi, Aarhus Universitet.
- Koed, A., G. Rasmussen, G. Holdensgård & C. Pedersen (1996): Tangetrappen 1994-95. DFU-rapport nr. 8-96, Landbrugs og Fiskeriministeriet, Danmarks Fiskeriundersøgelser, Silkeborg, 44 sider + bilag (ISSN 1395-8216).
- Kraabøl, M. & J.V. Arnekleiv (1997): Utvandring av vinterstøing og smolt av Hunderørret fra Gudbrandsdalslågen i relasjon til manøvrering av Hunderfossen Kraftverk – pilotforsøk med radioteleometri. *Zoologisk notat 1997-1* fra Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Universitet, Vitenskapsmuseet, Trondheim, 22 sider + bilag (ISBN 82-7126-520-2).
- Kristensen, J. (1989): Sådan gør Hald Sø's Bådelaug også: Fiskepassage gør udsætninger af ørredyngel overflødig. *Vand & Miljø* 7, 310-311.
- Kristiansen, H. (1991): Havørred i Kolding Å vandsystem 1989-91. DFH rapport nr. 427, Danmarks Fiskeri- og Havundersøgelser, 97 sider (ISSN 0109-4432).
- Kubecka, J., J. Matena & P. Hartvich (1997): Adverse ecological effects of small hydropower stations in the Czech Republic: 1. Bypass plants. *Regulated Rivers Research & Management* vol. 13, 101-113.
- Larsen, K. (1955): Vandløbenes regulering og fiskenes fri gang. *Skrifter fra Danmarks Fiskeri- og Havundersøgelser*, København, nr. 16, 38 sider.
- Libosvárský, J. (1976): On the ecology of spawning migration of brown trout. *Zoologické Listy* 25 (2), 175-182.
- Lonnebjerg, N. (1980): Fiskepas af modstrømsstypen. *Meddelelser fra Ferskvandsfiskerilaboratoriet* 1/80, Danmarks Fiskeri- og Havundersøgelser.
- Lonnebjerg, N. (1989): Etablering af fiskepassager i vandløb. Notat, 10 sider.

- Lonnebjerg, N. (1990): Fishways in Denmark. Proceedings of the International Symposium on Fishways in Gifu, Japan, 8.-10 oktober 1990, side 153-259.
- Lund, T. (1996): Elverdamsåen. Hydraulikkens og vandføringens betydning for ørredbestandens fysiske vilkår. Specialrapport, Geomorfologisk Afdeling, Geologisk Institut, Århus Universitet, 115 sider + bilag. Trykt og udgivet af Roskilde Amt, august 1997 (ISBN 87-7800-247-8).
- Lund, T.J. & B. Clausen (1998): Levevilkår for ørred. Vand & Jord 5 (3), 116-119.
- Madsen, B.L. (1995): Vandløbene – ti år med den nye vandløbslov. Miljønyt nr. 13, Miljø- og Energiministeriet, Miljøstyrelsen, 216 sider.
- Madsen, B.L. (1998): Vandløbene i Danmark. Gads Forlag, København, 179 sider.
- Mallen-Cooper, M. (1994): How high can a fish jump. New Scientist 142 (1921), 32-37.
- Markmann, P.N. (1984): Spærringer og faunapassage i vandløb. Vand & Miljø 2, 21-26.
- Markmann, P.N. & G. Rasmussen (1985): Den fiskemæssige værdi af vore ferske vande. Vand & Miljø nr. 3, s 105-109.
- Michelsen, K. (1992): Undersøgelse af fiskepassage på 4 lokaliteter i Skjern Å-systemet. Rapport fra Ringkjøbing Amtskommune, Teknik- og Miljøforvaltningen, 34 sider + bilag.
- Miljøstyrelsen (1995): Registrering af danske vandløb. Arbejdsrapport nr. 6 fra Miljø- og Energiministeriet, Miljøstyrelsen, 222 sider.
- Milner, N. J. 1990 (ed.): First movement in relation to freshwater flow and quality. Workshop proceedings fra workshop på Universitetet i Bristol, England, 4.-6. april 1989, afholdt af Atlantic salmon trust/Wessex water. 51 sider + 4 sider bilag. ISBN 1 870875 10 9.
- Monk, B., D. Weaver, C. Thompson & F. Ossiander (1989): Effects of Flow and Weir Design on the Passage Behaviour of American Shad and Salmonids in an Experimental Fish Ladder. North American Journal of Fisheries Management 9, 60-67.
- Munk, K. & J.L. Thomsen (1995): Udtræk af blankål, *Anguilla anguilla* (L.), udsatte laksesmolt, *Salmo salar*, L., opstrømspassage af fisk ved Vestbirk Vandkraftanlæg, samt aspekter af rovfiskebestanden i øvre Gudenå. Specialrapport, Biologisk Institut, Afdeling for Zoologi, Aarhus Universitet, 127 sider.
- Munro, W.R. & K.H. Balmain (1956): Observations on the spawning runs of brown trout in the South Quiech, Loch Leven. Freshwat. Salm. Fish. Res. 13.
- Nielsen, J. (1985): Havørreden i Gudenåen. Gudenåkomiteen, rapport nr. 3, 105 sider.
- Nielsen, J. (1986): Laksefiskene og fiskeriet i Randers Fjord. Gudenåkomiteen, rapport nr. 4, 50 sider.
- Nielsen, J. (1987): Status over fisketrappen ved Tange 1980-85. Sportsfiskeren nr. 8, 4-6.
- Nielsen, J. (1994a): Restaurering af vandløb i Vejle Amt 1983-93. Rapport fra Vejle Amt, Teknik og Miljø, 76 sider.
- Nielsen, J. (1994b): Vandløbsfiskenes Verden – med biologen på arbejde. G.E.C. Gads Forlag, København, 202 sider.
- Nielsen, J. (1994c): Sådan laver man en god fiskepassage. Sportsfiskeren 9, 24-26.
- Nielsen, J. (1994d): Højen Bæk vandt. Vand & Jord 1 (2), 84-87.

- Nielsen, J. (1995a): Vandringsmønstret mellem fersk- og saltvand hos laks *Salmo salar* og havørred *Salmo trutta* med henblik på en vurdering af passage over lavvandede områder. Rapport fra Ringkjøbing Amtskommune, Vandmiljøafdelingen, 39 sider.
- Nielsen, J. (1995b): Fiskenes krav til vandløbenes fysiske forhold. Miljøprojekt nr. 293 fra Miljø- og Energiministeriet, Miljøstyrelsen, 129 sider.
- Nielsen, J. (1997a): Nogle fiskepassager virker dårligt. Vand & Jord 4 (4), 145-149.
- Nielsen, J. (1997b): Ørreden som miljøindikator. Miljønyt nr. 24 fra Miljø- og Energiministeriet, Miljøstyrelsen, 53 sider.
- Nielsen, J. (1997c): Smoltvandring hos laks (*Salmo salar*) og havørred (*Salmo trutta*) i vandløb og søer. Rapport til COWI som arbejdsgrundlag for Skjern å naturprojektet, 39 sider.
- Nielsen, J. (1997d): Ørreden *Salmo trutta* i Vejle amts vandløb. Rapport fra Vejle Amt, Teknik og Miljø, 12 sider + bilagskort (ISBN 87-7750-300-7).
- Nielsen, J. (1998): Smoltens vandring i vandløb og søer. Sportsfiskeren 4, 30-31.
- Orsborn, J.F. (1987): Fishways – Historical assessment of Design Practices. American Fisheries Society Symposium 1: 122-130.
- Otterstrøm, C.V. (1936): Fisketrapper. Ferskvandsfiskeribladet 84 (2), s. 17-34 og Ferskvandsfiskeribladet 84 (3), s.45-65.
- Pedersen, C. M. (1986): Faunapassage i vandløb. Vækst nr. 3, 8-11.
- Plesner, T. (1994): Udtræk af ørredsmolt (*Salmo trutta*, L.) og nedstrøms passage af fisk ved Vestbirk Vandkraftanlæg på Gudenaåen. Specialrapport, Biologisk Institut, Afdeling for Zoologi, Aarhus Universitet, 60 sider.
- Poulsen, E.M. (1935): Nye undersøgelser over Gudenaåens Lakse- og Havørredbestand. Beretning til Ministeriet for Landbrug og Fiskeri fra Den Danske Biologiske Station XL: 9-36.
- Qvenild, T. & A. Linløkken 1989: Glomma – fisk og reguleringer. Sluttrapport fra Glommaprosjektet, Hamar, Norge, 62 sider (ISBN 82-7555-000-9).
- Qvenild, T. (1994): Ørret og ørretfiske. Aschehoug & Co. (W. Nygaard), Oslo, ISBN 82-03-22063-0.
- Randall, R.G., M.C. Healey & J.B. Dempson (1987): Variability in Length of Freshwater Residence of Salmon, Trout and Char. American Fisheries Society Symposium 1: 27-41.
- Sambrook, H. (1983): Homing of sea trout in the River Fowey catchment, Cornwall. Proc. 3rd Brit. Freshw. Conf., s. 30-40.
- Sandell, G., L. Pettersson & I. Abrahamsson (1994): Fiskvägar – en litteraturoversikt. Information från Sötvattenslaboratoriet Drottningholm, Sverige, nr. 1, 83 sider.
- Schmutz, S., S. Matheisz, A. Pohn, J. Rathgeb & G. Unfer (1994): Erstbesiedelung des Marchfeldkanals aus fischökologischer Sicht. Österreichs Fischerei 47, 158-178.
- Shearer, W.M. (1992): The Atlantic Salmon: Natural history, exploitation and future management. Fishing News Books, 244 sider (ISBN 0-85238-188-3).
- Smith, G.W., I.P. Smith & S.M. Armstrong (1994): The relationship between the river flow and entry to the Aberdeenshire Dee by returning adult Atlantic salmon. Journal of Fish Biology 45, 953-960.

- Stabell, O.B. (1984): Homing and olfaction in salmonids: a critical review with special reference to the Atlantic salmon. *Biol. Rev.* 59, 333-388.
- Steiner, H.A. (1991): Messungen an der Fischaufstiegshilfe von der Drau in die Kellerberger Schleife. *Österreichs Fischerei* 44, 87-100.
- Stuart, T.A. (1953): Spawning Migration, Reproduction and Young Stages of Loch Trout (*Salmo trutta* L.). *Freshwater and Salmon Fisheries Research* 5, 1-39.
- Stuart, T.A. (1957): The Migrations and Homing Behaviour of Brown Trout (*Salmo trutta* L.). *Freshwater and Salmon Fisheries Research* 18, 1-27.
- Stuart, T.A. (1962): The Leaping Behaviour of Salmon and Trout at Falls and obstructions. *Freshwater and Salmon Fisheries Research* 28, Department of Agriculture and Fisheries for Scotland. 45 sider.
- Thomassen, N.L. (1998): Udtræk af vilde og dambrugsopdrættet ørred (*Salmo trutta* L.)- og lakse (*Salmo salar* L.) smolt i Gudenåen 1996. Specialerapport, Biologisk Institut, Odense Universitet, 132 sider.
- Thorpe, J.E. (1988): Salmon migration. *Sci.Prog., Oxf.* 72, 345-370.
- Trépanier, S., M.A. Rodriguez & P. Magnan (1996): Spawning migrations in landlocked Atlantic salmon: time series modelling of river discharge and water temperature effects. *Journal of Fish Biology* 48, 925-936.
- Webb, J. & A.D. Hawkins (1989): The Movements and Spawning Behaviour of Adult Salmon in the Girnock Burn, A Tributary of the Aberdeenshire Dee, 1986. *Scottish Fisheries Research Report Number* 40, 42 sider (ISSN 0308 8022).
- Webb J. (1990): The Behaviour of Adult Atlantic Salmon Ascending the Rivers Tay and Tummel to Pitlochry Dam. *Scottish Fisheries Research Report* 48, 25 sider.
- Winstone, A.J., A.S. Gee & P.V. Varallo (1985): The assessment of flow characteristics at certain weirs in relation to the upstream movement of migratory salmonids. *J.Fish Biol.* 27 (Supplement A), 75-83.
- Økland, F., T.G. Heggberget & B. Jonsson (1995): Migratory behaviour of wild and farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*) during spawning. *Journal of Fish Biology* 46, 1-7.