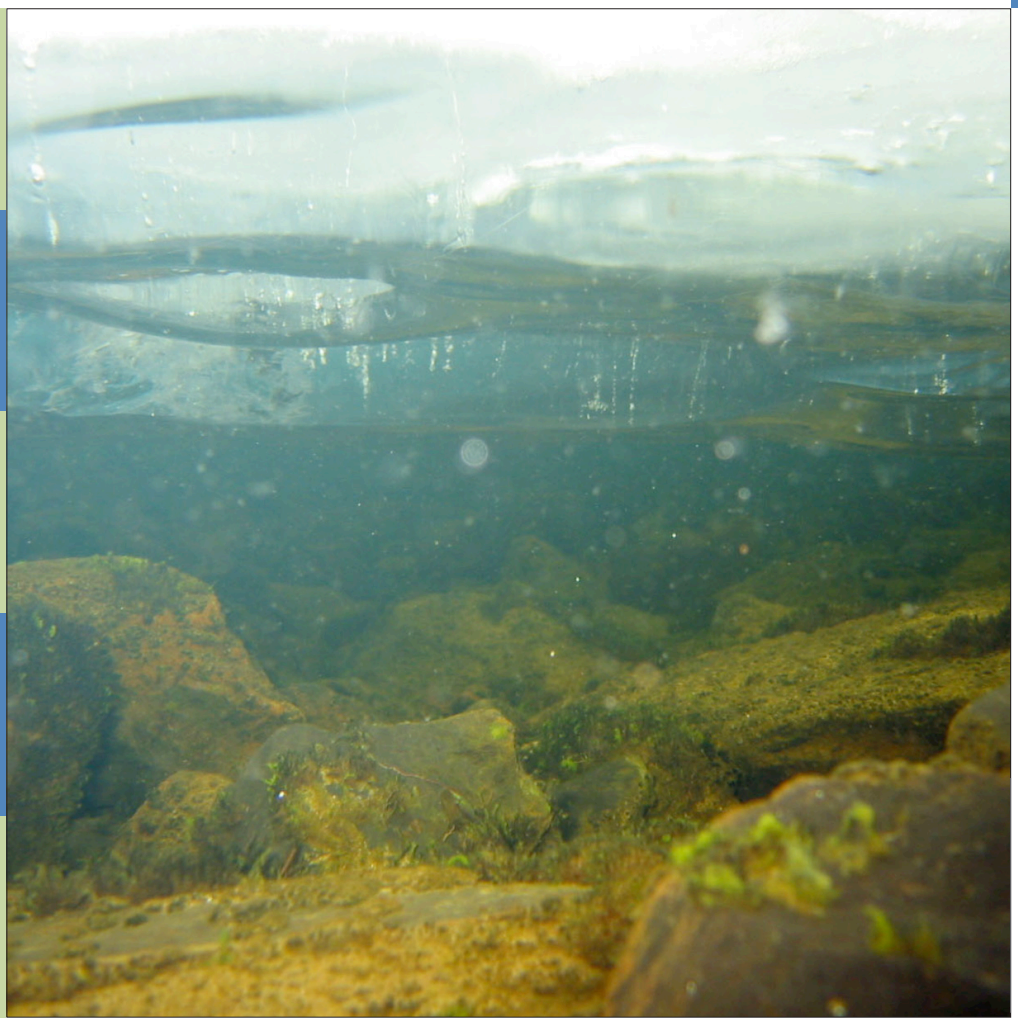
Verknader av is på habitat for fisk i elver med habitat-tiltak og minstevassføring

Knut Alfredsen, NTNU
Morten Stickler, NTNU
Tommi Linnansaari, University of New Brunswick, Canada

1
2006



RAPPORT MILJØBASERT VANNFØRING

Verknader av is på habitat for fisk i elver med habitattiltak og minstevassføring

Norges vassdrags- og energidirektorat
2006

Rapport nr. 1 - 2006

Verknader av is på habitat for fisk i elver med habitattiltak og minstevassføring

Utgitt av: Norges vassdrags- og energidirektorat

Forfattarar: Knut Alfredsen og Morten Stickler,
Norges teknisk- naturvitenskapelige universitet
Tommi Linnansaari, University of New Brunswick, Canada

Trykk: NVEs hustrykkeri
Forsidefoto: Knut Alfredsen

ISSN: 1502-234X
ISBN: 82-410-0573-3

Samandrag: Is og isproduksjon vil påverke straumningstilhøva og habitat-tilbodet i kunstige opparbeidde habitat på vinteren. Litteraturen viser og at fisken sin oppførsel endrar seg med sesongane og alle desse faktorane tyder på at vi burde ta omsyn til sesong-variasjonen ved planlegging av slike tiltak. I dette prosjektet har vi freista å finne ut av isverknadane i eit kunstig habitat. Vi har sett på metoder for å kople is inn i planlegginga ved å legge til iseffekter i analysa av tilgjengeleg habitat, og vi har brukt PIT teknologi for å merke og følge ei gruppe fisk i eit kunstig habitat over vinteren.

Emneord: Is, hydraulikk, habitat, biotopjustering.

Norges vassdrags- og energidirektorat
Middelthuns gate 29
Postboks 5091 Majorstua
0301 OSLO

Telefon: 22 95 95 95
Telefaks: 22 95 90 00
Internett: www.nve.no

Januar 2006

Innhald

Forord 7

Samandrag 9

Introduksjon 11

- **Bakgrunn** 11
- **Målsetting og arbeidsplan** 13

Metodikk 14

- **Studieområde** 14
- **Klimadata** 16
- **Simulering** 17
- **Habitatbruk og studie av fisk** 17
- **Formelverk for å simulere isdanning** 19

Resultat 21

- **Islegging i det kunstige habitatet på Øyvollen** 21
- **Modell av strekninga** 22
- **Fisken sin bruk av det kunstige habitatet** 27

Prosedyre for kunstige habitat 30

Oppsummering 33

Referansar 37

Vedlegg 42

Forord

I samband med vassdragsreguleringar og andre typar inngrep i vassdrag, blir det ofte stilt krav til habitattiltak for å redusere skadeverknadane av inngrepet. Det er eit stort behov for å auke kunnskapen om verknaden av slike typar tiltak.

Vinteren er kritisk for fisk, og det er viktig at habitattiltak også er tilpassa fisken sitt behov i denne årstida. Kunnskap om fisken sin habitatpreferanse i den kalde årstida, og måten isproduksjonen skjer på etter inngrep i vassdraget, er difor viktig.

Prosjektet "Verknader av is på habitat for fisk i elvar med habitattiltak og minstevassføring" har studert korleis is påverkar straumforholda og habitattilbodet for fisken om vinteren. Undersøkingane er utført i Dalåa, ei sideelv til Stjørdalselva med ein kombinasjon av videoopptak, feltobservasjonar og modellarbeid. Dette har gitt ny og verdfull kunnskap om isforhold, hydrauliske forhold og fisken sin habitatbruk i samband med vassdragstiltak. Rapporten viser at særleg vinterforholda bør vurderast ved planleggjing av tiltak i vassdrag.

Oslo, januar 2006

Haavard Østhagen
leiar styringsgruppe

John Brittain
programleiar

Samandrag

Is og isproduksjon vil påverke straumningstilhøva og habitattilbodet på vinteren. Litteraturen viser og at fisken sin oppførsel endrar seg med sesongane og desse faktorane tyder på at vi burde ta omsyn til sesongvariasjonen ved planlegging av kunstige tiltak. I dette prosjektet har vi freista å finne ut av isverknadane i eit kunstig habitat. Vi har sett på metoder for å kople is inn i planlegginga ved å legge til is-effekter i analysa av tilgjengeleg habitat og vi har brukt PIT teknologi for å merke og følge ei gruppe fisk i eit kunstig habitat over vinteren. Arbeidet har vore gjort på Øyvollen i Dalåa som er ei sideelv til Stjørdalselva. Resultata viser at endringane som er gjort på denne strekninga påverkar isen, og at isen vil kunne endre funksjonane til dei ulike habitattiltaka. Data frå fiskepeilingane viser at fisken endrar oppførsel frå sommar til vinter, og at skjul er ein spesielt viktig del av vinterhabitatet. Enkle rutiner for islegging og isproduksjon er kopla til habitatmodellen og det er tatt høgde for å endre vinterhabitatet dynamisk med tanke på endringar i skjul.

Introduksjon

Kunstige habitat er eit tiltak som er brukt for å motverke effekter redusert vassføring kan ha på fisk i regulerte elver. Føremålet er å gjenskape gunstige leveområde ved å endre dei fysiske tilhøva i elva gitt dei føresetnadane som den endra vassføringa gir.

Bakgrunn

Inngrep i vassdrag vil i dei aller fleste tilfelle utløyse kompensasjonstiltak for å avgrense verknadane inngrepet har i vassdraget. Det finst mange ulike tiltak som vert sett i verk alt etter kva ein ønksjer å kompensere for. Denne rapporten vil fokusere på biotop/habitattiltak for laksefisk i elver med redusert vassføring. Føremålet med slike tiltak er å prøve å gjenskape gunstige fysiske forhold for fisken i elva sjølv om ein fjernar ein del av vassføringa permanent. Tradisjonelt er bygging av ulike formar for tersklar eit vanleg tiltak i elver der vassføringa er påverka av regulering (Brittain, 2003). Denne kunnskapen er oppsummert i resultata frå terskelprogrammet (Mellquist, 1986) og vidareført i biotopjusteringsprogrammet (Eie et al. 1993), der ulike former for tiltak i vassdrag for å "tilpasse" vassdraget til det nye vassførings-regimet er undersøkt og diskutert. Dette programmet skisserer fleire av dei teknikkane som kan brukast for å lage kunstige habitat slik dei vil bli diskutert seinare i denne rapporten. Utlegging av stein, kulpar, straumkonsentratorar og bruk av ulike typer av tersklar er teknikkar som kan kombinerast til å lage eit kunstig habitat. I sin status-oppsummering for atlantisk laks i Norge har og Rieber-Mohn utvalet (NOU, 1999) sett opp habitattiltak som ein viktig del av framtidige kompensasjonstiltak i samband med inngrep i vassdrag. Erfaringsmessing vil det bli stilt ulike krav til utforminga av eit tiltak i eit vassdrag:

- Tiltaket må oppfylle dei økologiske krava som arten eller artane som ein skal kompensere for har til fysiske tilhøve, både i romleg utstrekning og over tid (t.d. Eie et al 1993). Krav til økologisk funksjon kan formulerast basert på tidlegare kunnskap eller ved ei metode som går ut på ei form for hydraulisk/fysisk klassifisering t.d. mikrohabitat (Bovee 1982; Harby et al. 1999) eller mesohabitatmetoder (Borsanyi et al. 2004).

- Tiltaket bør ikkje i noko utstrekning påverke elva sin kapasitet til transport av vatn i flomsituasjonar eller is under isgangen slik at ein kan få skadeverknader av inngrepet. Sjølv i strekningar som er sterkt påverka av regulering vil ein kunne få slike hendelsar og dei bør difor vere med i ei utformingsfase.

- Ein bør vite noko om langtidssstabiliteten av tiltaket slik at det ikkje blir øydelagt eller får redusert funksjon pga. naturlege prosessar i vassdraget. Eksempel på dette kan vere stabilitet mot erosjon t.d. av gytegrus eller utlagt substrat (Fjeldstad et al. 2005), forhindre oppfylling av hølar eller

reduksjon i holrom i utlagt substrat pga. deponering av sediment (Olsen et al. 2004) og motstand mot flompåverknad eller påverknad frå isgangar.

Tilgangen til to- og tre-dimensjonale hydrauliske modellar (e.g. Olsen and Stokseth, 1995; Steffler, 2000) gjer at planlegging og utforming av habitatet kan gjerast på ein annan måte enn tidlegare. I utgangspunktet vil desse modellane, når dei er rett sett opp, kunne rekne ut korleis hydrauliske variable vil endrast etter at tiltaka er utført, og dei gir eit godt grunnlag for å teste ut verknadane av ulike tiltak og løysingar utan å måtte bygge anlegget først. Med utgangspunkt i dette kan ein og ikkje berre evaluere om habitatet fungerer slik det skal ved normal vassføring, men og sjå kva som skjer ved flom eller om området er påverka av erosjon eller deponering av sediment (Olsen et al. 2004; Fjeldstad et al. 2005). Kombinert med eit biologisk funksjonskriterie kan ein slik modell difor brukast både i den hydrauliske og den biologiske delen av utforminga av det kunstige habitatet. Det finst nokre eksempel på bruk av modellar for å beskrive habitattiltak og restaureringsarbeid som er blitt gjennomført (t.d. Alfredsen et al. 2004). Desse baserer seg på simuleringar og biologisk analyse ved sommartilhøve. Det er ein aukande forståelse for at i område med vintersesong, så kan tilgang på habitat og dei dynamiske endringane i habitatet om vinteren vere ein kritisk faktor for fisken (Cunjak et al. 1998; Annear et al 2002; Power et al. 1993). Kombinasjonen av fisken sine fysiologiske endringar i kaldt vatn, endra oppførsel og mogleg ispåverknad i det tilgengelege habitatet (Cunjak et al. 1998; Hiscock et al 2002), gjer at dette er ein faktor som må takast med i ei funksjonanalyse av eit habitattiltak. Dei ulike komponentane som vi bygger det kunstige habitatet av vil alle vere påverka av isproduksjon og isprosessane, og vi kan og påverke isdannelsen på strekninga med dei tiltaka vi bygger.

Vi finn is i elver i mange ulike former frå fullstendige isdekke til drivande sarr og isakkumuleringar på botnen. Is vert danna når vatnet er kjølt ned til nokre hundredels grader under null då iskrystallar vert danna i vatnet. Korleis isen vil legge seg på strekninga er avhengig av klimatiske og fysiske tilhøve i området. Klimatiske variable vil styre når isdanninga startar, veksten av isen og når vi får isgang, medan strekninga si helning, vassføringa og botnmaterialet vil påverke korleis isen legg seg og kva typer is vi vil få på strekninga. Sjølve isdanningsprosessen og islegginga vil vere avhenging av gradienten på elva. I slake elver vil ein få isdanning ved overfrysing og akkumulasjon av drivande is og sarr i vassflata (Ashton, 1986; Hirayama et al. 2002), medan ein i bratte elver vil ha hastighetstilhøve som gjer at ein ikkje får isdanning og akkumulasjon direkte men der vil botnisdammar og kantis vil dominere og etterkvart gi eit fullstendig isdekke (Tesaker, 1994; Hirayama et al. 2002). Isproduksjonen i ei elv er størst i strykparti der ein kan ha ein omfattande sarrproduksjon (ofte kalt dynamisk isproduksjon), og desto lenger ei elv går open desto større vil produksjonen av is vere. I eit uregulert vassdrag kan vi grovt dele inn vintersesongen i tre delar (Cunjak, et al. 1998); ein innfrysingsperiode på seinhausten/tidleg vinter, ei stabil vinterperiode og isløysinga på seinvinteren/tidleg vår. Som sagt tidlegare så vil klimatilhøve og elvas gradient/vassføring påverke dette og gjere at det er vanskeleg å

gi generelle tidspunkt for overgangen mellom dei ulike periodene (Huusko et al., in prep).

Det finst i dag noko kunnskap om fisken sin habitatbruk om vinteren, men her manglar det framleis viktig informasjon. Når det gjeld isprosessar og islegging, finst det ein del kunnskap spesielt i større elver, men i små/bratte elver dominert av dynamisk isproduksjon som ein viktig del av frysingsprosessen er det lite kunnskap. Manglane gjeld spesielt på funksjonelle samanhengar mellom fysiske tilhøve og isdanning. Koplinga mellom desse, dvs koplinga av fiskens preferanser for habitat med isprosessar på liten skala finst det nesten ingen data om i litteraturen. Det er heller ikkje gjort mykje på modellering av is på liten skala. I dette prosjektet har vi prøvd kople kunnskap om isprosessar saman med ein metodikk for utforming av kunstige habitat for om mogleg å utvide denne metodikken til å ta med vintertilhøva som ein del av prosessen. For å gjere det har vi sett på islegging i eit område med habitattitak og kopla dette mot fysiske tilhøve og modellverkty.

Målsetting og arbeidsplan

Prosjektet si overordna målsetting var å skaffe til veie kunnskap om korleis ulike former for isproduksjon påverkar kunstige habitat for laks i elver, og å prøve å forbetre dei verktya som i dag finst slik at ein kan ta omsyn til dette ved design av slike innretningar. I dag er dei fleste laga med utgangspunkt i sommartilhøve, og erfaringar og litteratur tilseier at vintertilhøve og bør inkluderast i ein slik prosess. Det vart formulert tre målsettingar i prosjektet i den originale søknaden:

- Samanstilling av kunnskap og modellar som kan brukast til å skildre korleis produksjon av ulike typar av is påverkar fysisk habitat i ei elvestrekning.
- Feltforsøk i eit kunstig habiat for å skaffe til veie data som kan brukast til å kalibrere og teste modellane utvikla i punkt 1.
- Implementere modellane i programmet HABITAT (Alfredsen, 1999).

For å finne svara på dei tre spørsmåla som vart formulert for prosjektet, er det gjort eit arbeid som har bestått av ein kombinasjon av teori, feltmålingar og simulering. Utgangspunktet for prosjektet har vore å jobbe i område med eit eksisterande kunstig habitat og der det i tillegg er gjort grundige undersøkelsar som prosjektarbeidet kan bygge på. Det eksisterande teoretisk grunnlaget er ikkje svært omfattande, og for nokre av dei problemstillingane som er viktige i denne samanhengen manglar det eksisterande data. Det er difor i løpet av arbeidet med prosjektet lagt meir vekt på feltforsøka for å få auka forståelse for kva som skjer i det kunstige habitatet når isen legg seg. I tillegg til den opprinnelege prosjektplanen er det og gjort eit forsøk med merka fisk for å sjå korleis desse brukte det kunstige habitatet og for å få meir direkte observasjonar av respons på endringar i den fysiske tilstanden i feltet. Omfanget av nye modellar implementert i HABITAT omfattar no ikkje direkte koplingar til fiskehabitat. Dette er ting som er under arbeid i parallelle prosjekt (meir om dette sidan) og som vil bli fullført der.

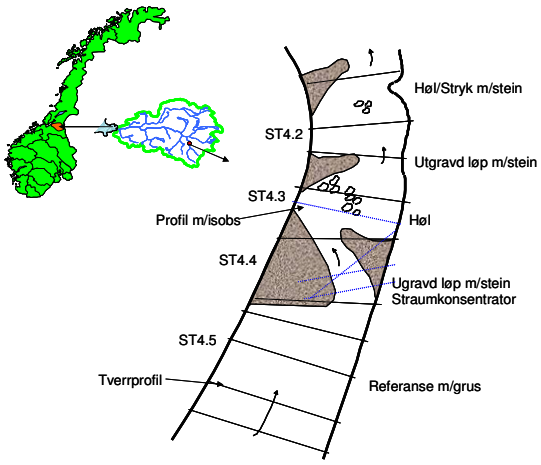
Prosjektet er etter oppstart samkøyrt med NFR prosjektet ”Effects of winter and ice conditions on the behaviour and habitat selection of juvenile Atlantic salmon”, der SINTEF Energiforskning er prosjektleiar (avslutning i 2006), ei PhD studie ved University of New Brunswick som er finansiert av SINTEF prosjektet (avsluting 2007), og det er starta eit PhD studie ved NTNU med utgangspunkt i problem-stillingar tatt opp i dette prosjektet (avsluting i 2008). Resultata frå desse vil vere viktige tillegg til metodene som er omtalte for dette prosjektet og vil kunne forbetre og endre metodene for habitatbeskrivelse og utforming av kunstige habitat, spesielt med tanke på ei betre tilnærming til dynamikken i systemet.

Metodikk

Prosjektet er gjort i form av ein kombinasjon av litteraturstudier, feltstudier og beregningar. Studieområdet er Øyvollen i Dalåa, der det tidlegare er bygd eit område med kunstig habitat. Her er det sett på islegging, hydrauliske tilhøve og habitatbruk.

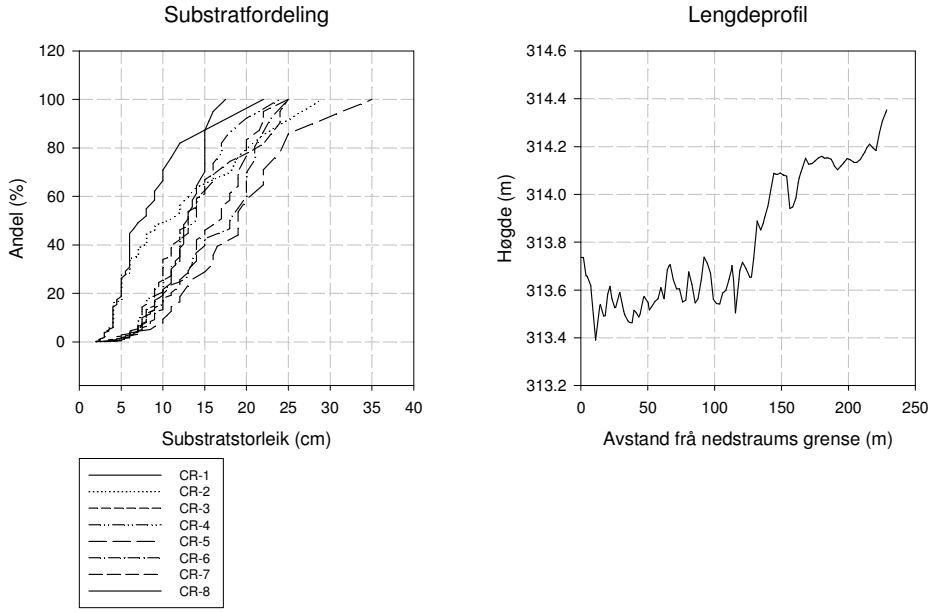
Studieområde

Ei 150 meter lang strekning av Dalåa ved Øyvollen i Meråker (øvre del av Stjørdals-vassdraget) er valgt ut som studieområde. I samband med oppgradering av kraftverka i Meråker i første halvdel av 90-talet vart vatn frå Dalåa overført til Tevlamagasinet. I samband med utprøving av kompensasjonstiltak vart det då laga eit område med kunstig habitat ved Øyvollen for betre å kunne utnytte minstevassføringa i Dalåa. Dette arbeidet vart gjort av SINTEF/LFI Trondheim ved hjelp av oppmåling og modellering av strekninga (Harby og Arnekleiv, 1994). Strekninga har sidan blitt brukt både til biologiske og hydrauliske studier (Arnekleiv et al. 2002; Alfredsen et al. 1997). Øyvollen ligg oppstraums laksen sitt naturlege område i Stjørdalselva, men yngel frå klekkeriet vert sett ut kvar sommar for dermed å auke produksjonsområdet i vassdraget. Tettleik av yngel blir overvaka, og utvandrande smolt frå området vert registrert ved hjelp av smoltfelle i Øydammen (Arnekleiv, 2002).



Figur 1 Studieområdet ved Øyvollen

Tiltaket på Øyvollen er sett saman av ein straumkonsentrator med utlagt grovt substrat og to hølar nedstraums denne (Figur 1). I dei to hølane er det lagt ut grovt substrat ved bruk av naturleg elvestein i den eine og sprengstein i den andre. Minste-vassføringa på strekninga er på mellom 200-800 l/s. Lengdeprofilen er vist på Figur 2.



Figur 2 Substratfordeling (CR1 – CR3 i referanseseksjon, CR4-CR5 ved straum-konsentrator, CR6-CR8 i høl) og lengdeprofil på studieområdet ved Øyvollen.

Strekninga vart oppmålt ved hjelp av totalstasjon og dette dannar grunnlaget for modellen og for all analyse av topografiske tilhøve på strekninga. Eit lokalt koordinatsystem vart etablert i samband med ein tidlegare modellering av strekninga (Marchand, 1996) og dette er brukt som utgangspunkt for ytterlegare oppmåling og for innmåling av is, vasslinjer, vasskant og fiskeposisjonar. Substrat er kartlagt gjennom måling av stein langs profil på strekninga (Figur 2), og elva er kartlagt både med tanke på bruk av mesohabitat og for bruk av mikrohabitatmodellering.

Figur 3 Kameraoppsett.

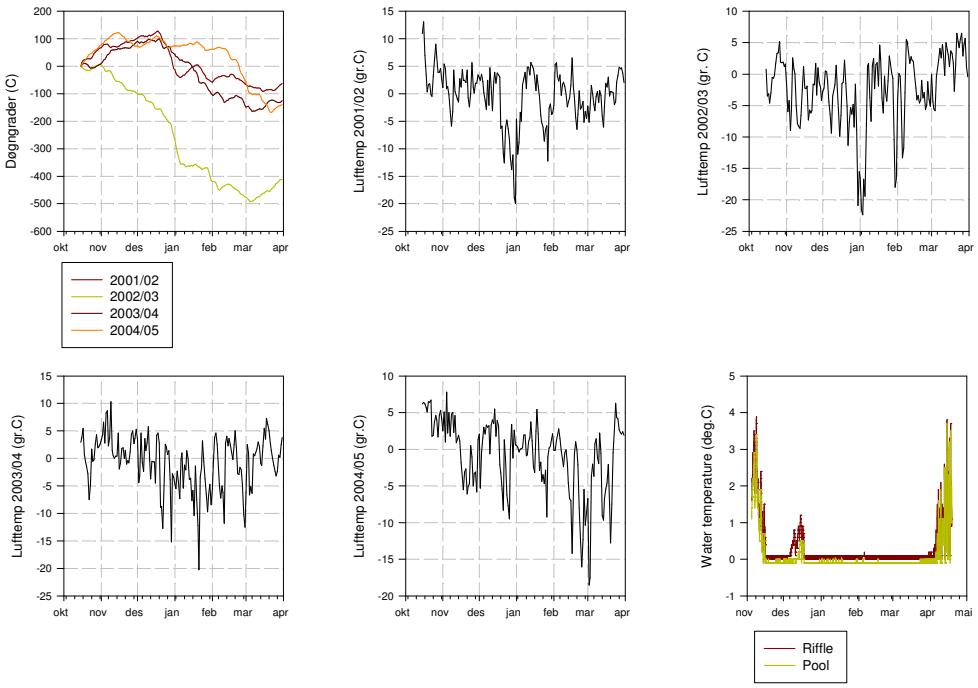
For å ha eit oversyn over islegginga på stasjonen vart det brukt eit digitalt videokamera (SONY TRV620) saman med ein "time-lapse" kontroll (Verity Software) til å ta regelmessige bilete av strekninga. Oppsettet vart montert i ei kasse i eit tre (sjå figur 3) med oversyn over den mest straumsterke delen av stasjonen og eit 12V batteri vart brukt som straumforsyning. Det første året opplevde vi at batteria måtte byttast ofte for å få gode data, så det vart forsøkt å kople til eit solcellepanel. Dette ga bedre driftstid, men framleis vart batteriet utlada i kalde perioder. Vi såg derimot at solcella var i stand til å lade batteriet på nytt, slik at kameraet starta opp igjen etter å ha vore ute i perioder.

Sjølv om data frå det automatiske opplegget ikkje vart så gode som vi hadde håpt, så har vi dekt islegginga i alle tre studieåra. Videobileta vart digitalisert, og køyrt gjennom eit script i Matlab som klipte dei i henhold til ein mal og åpe vatn, isdekke og tørt land vart identifisert frå biltetet. Dette gir eit oversyn over både den romlege utbreielsen av isen og den tida det tok å fryse over området som var synleg i kameraet.

Det vart og gjort manuelle målingar av isdekke og istjukkelse i fire tverrprofil i stasjonen (Figur 1). Desse profila dekker straumkonsentratoren (profil 1-3) og den øvre hølen (profil 4). Profil to er plassert slik at det dekker eit område der det vart danna ein botnisdam kvart år under innfrysinga. Endepunkta på kvart profil er koordinatfesta, og koordinaten for kvart borehol er sidan rekna ut basert på desse. Det vart målt istjukkelse og vassdjup under isen for kvart borehol, og vasskanten vart funnen for kvart profil ved kvar måling. Med bakgrunn i dette vart isdekket si utstrekning og tjukkelse og råkas plassering beregna slik at dette kunne brukast som inngangsdata til modellen.

Klimadata

Klimadata frå feltsesongane er henta frå meteorologisk insitutt sin stasjonar i Meråker og Selbu, og frå observasjonar med lokal temperaturmålarar på stasjonen. Vass-temperatur vart målt vinteren 2003/2004 og 2004/2005 på strekninga ved hjelp av ein Vemco temperaturloggar (± 0.1grader) første året og to målarar andre året. Talet på døgngrader er rekna ut basert på lufttemperaturen for å gi eit mål på kjøling i samband med isveksten. Figur 4 viser temperatur og døgngrader.



Figur 4 Klimadata for studieperioda.

Simulering

Opprinneleg vart habitatet på Øyvollen utforma ved bruk av ein 1-dimensjonal numerisk modell der ein prøvde å lage ein geometri og eit substratdekke i elva som skulle oppfylle mikrohabitatkrav for lakseyngel (Harby og Arnekleiv, 1994). I dette arbeidet måtte det gjerast tilnærmingar til hastighetsfordelinga for at ein skulle kunne bruke modellen. Strekninga er sidan målt og modellert på nytt med ein 2D modell som har ein betre prediktiv funksjon med tanke på dei hydrauliske tilhøva (Alfredsen et al. 1997). I dette prosjektet er den 3-dimensjonale modellen SSIIM (Olsen, 2002) brukt for dei fleste simuleringane. Programmet løyser Navier-Stokes likninga med k-e turbulensmodell i eit strukturert, ikkje-ortogonalt rutenett. Modellen er prøvd ut i fleire naturlege elver og har vist seg å kunne gi god tilpassing. Basert på dei innmålte geometripunkta (ca. 900 punkt) er det laga eit rutenett på 70x30x4 celler tilpassa vassføringar på 600 - 900 l/s. Modellen er testa mot målt vasslinje og mot hastighets-data målt i tverrprofil.

For å kunne knytte saman fysiske data med tilgjengeleg habitat for fisk, som er målekriteriet brukt ved planlegginga, er det køyrt simuleringar av fysisk habitat i programmet HABITAT. Desse data er så er kopla med målte og simulerte isdata for å danne eit bilete av korleis isen påverkar tilgjengeleg habitat. Kunnskapen om isen sin påverknad på habitat er liten i dag, men ettersom det er arbeid i gang på dette feltet i parallelle prosjekt er det tatt høgde for dette i modelloppsettet. Det er og naudsynt å forbedre ein del av rutinene for beregning av is, og dette er det og klargjort for i dei nye rutinene som er laga i HABITAT.

Med tanke på å undersøke korleis dei hydrauliske tilhøva er på strekninga med is, er programmet River2D (Blackburn og Unterschultz, 2001) sett opp både med isfrie tilhøve og med isdekke i høve til det som er observert på strekninga. Modellen er førebels ikkje fullstendig testa ut for strekninga, og må til no reknast som eit eksempel på korleis dette kan gjerast (Indergård, 2004).

Habitatbruk og studie av fisk

Tilgjengeleg habitat er brukt som eksempel på biologisk kriterie i samband med utvikling av eit kunstig habitat. I prosjektet er det både brukt mikroskala habitat-kriterier og mesoskala habitat som mål. På mikronivå er det brukt vinterpreferanser laga med utgangspunkt i data frå Gudå i Stjørdalselva (Fjeldstad og Heggenes, 1999) og generelle sommarpreferanser utvikla i samband med konstruksjonen av habitatet på Øyvollen (Arnekleiv og Harby, 1994). For å skildre mesohabitat på strekninga er det brukt eit system utvikla av NINA, SINTEF og NTNU (Borsanyi et al. 2004; Borsanyi, 2005) (sjå vedlegg 2).

For å få eit meir detaljert oversyn over fisken sin habitatbruk og for å sjå på responsar på endra tilhøve, vart det gjort eit forsøk med fisk merka med Passiv Integrert Transponder (PIT) på strekninga. Desse kan peilast med ei rekkevidde på ca. 70 centimeter og posisjonerast ned til nokre centimeters nøyaktighet ved gode tilhøve.

Figur 5 Tommi Linnansaari med peileutstyr.

Med dei ismengdene og djupa vi har i Øyvollen vil vi på ein normal sesong kunne rekne med å dekke heile strekninga ved manuell peiling med PIT utstyret. Den passive teknologien er godt eigna til denne type eksperiment sidan ein ikkje treng å ta omsyn til levetid på batteri og ein kan i prinsippet følge fisken over lang tid. I dette forsøket er det brukt ei berbar antenne (Texas Instruments TIRIS S-2000) med ein 55 cm i diameter kveil av 4 mm^2 plastdekt koparkabel (Linnansaari et al. 2005). Antenna fekk straum frå eit 18V batteri som saman med utstyr for dataprosessering vart plassert i ein ryggsekk (Figur 5). Ein standard HP IPAQ handholdt datamaskin vart brukt for å lese av merka etterkvart som fisken vart peila inn.

Totalt 50 fisk vart fanga ved hjelp av elektro-fiskeapparat den 27. september 2004 (vass-temperatur 5.8 grader). Fisken fordelte seg på 26 individ tatt frå den nedre kunstige hølen (stasjon ST4.2) og 24 individ tatt frå området rundt straumkonsentratoren (stasjon ST4.4) (sjå figur 1). Fisken vart målt og vegen, og fisk større enn 84 mm vart plukka ut for merking. Gjennomsnittleg (± stdavvik) hadde dei merka fiskane ei vekt på 14.1 ± 4.5 gram og lengde på 125 ± 11 mm. Fisken vart bedøvd med nellikolje, og merka med ein 23 mm lang Texas Instruments PIT tag (0.6 g i luft) som vart operert inn i bukhola til fisken. Fisken vart sett ut i bokser i det området der den vart fanga, med tanke på å sette fisken tilbake i elva dagen etter at dei vart fanga. I løpet av natta steig elva og i alt 22 av fiskane rømte tilbake til studieområdet av seg sjølv medan resten vart sett ut morgonen etterpå.

Fisken vart peila i alt sju gongar i løpet av vinteren på sjølve stasjonen, og i tillegg vart eit området nedstraums (ca. 100 meter) og eit område oppstaums (ca. 150 meter) peila eit par gongar for å finne ut om fisk hadde spreidd seg til nærområda til stasjonen. I ei periode midtvinters vart det gjort observasjonar av fisken annan kvar time i løpet av eit døgn samt yttelergare peilingar i perioda før og etter denne perioda. Når ein fisk vart funnen vart posisjonen registrert geografisk med totalstasjon. I tillegg registrerte vi istilhøva på stasjonen. Ved enkelte peilingar vart og fysiske habitatvariable registrerte for kvar posisjon. Effektiviteten ved peilinga vart testa ved utplassering av merke av ein annan person som peilaren leita opp. Resultata viser høg gjenfangst av merke (93 – 100% for enkle merke, 62.5 % for to merke plassert nær einannan) (Linnansaari et al. 2005). I dei tilfella der det la seg snø på isen vart denne fjerna før peiling med snøskuffer/snøfresar. I desse tilfella kan det ha vore igjen små område der snøen likevel gjorde peilinga vanskeleg.

Formelverk for å simulere isdanning

I litteraturen finst det ein del formelverk som kan brukast for å rekne på isdanning, og noko av dette er bygd inn i programvare slik som RICE (Shen et al, 1993). Ulempene for eit prosjekt som Øyvollen er at mykje av metodikken er laga for isprosessar i større vassdrag og den dekker difor ikkje alle dei problemstillingane som vi ønskjer å sjå på, spesielt med tanke på botnis. Dei eksisterande programma som reknar isdanning har og det same problemet og er ikkje eigna til mindre og bratte elver, både på grunn av dei hydrauliske og ismessige berekningsmetodene. Arbeid pågår med utvikling av ein to-dimensjonal dynamisk versjon av RICE (Shen, 2002), men denne er og fokusert på større tilhøve og andre typer prosessar enn dei som er mest aktuelle for oss. Elles så finst det hydraulisk programvare som kan køyre simuleringar med isdekke (Blackburn og Unterschultz, 2002) og desse kan vere av interesse for den type analyser som vi diskuterer her i og med at vi då kan sjå på korleis observerte isformasjonar påverkar hydraulikken på strekninga (sjå og tidlegare under kapittelet om modellar og under resultat). Ein gjennomgang av litteraturen rundt modellar for isproduksjon (både dynamisk og statisk) viser at det finst ein del data, men at det og er fleire område der ein treng vidare utvikling, noko som og litteraturen reflekterer over (e.g. Shen 2003).

Det finst to typer av eksisterande kunnskap som kan vere nyttig når ein jobbar med isproblemstillingar i mindre elver. Det eine er grenseverdiar og ulike kriterier som er sett for isdanning og vekst av ulike istyper, og den andre er formelverk utvikla for å kunne rekne på isprosessane med utgangspunkt i fysiske og klimatiske variable. Begge metodene kan implementerast i ein datamaskinbasert designprosess, og dei kan koplast mot planlegging av habitattiltak og mot biologiske kriterie som vi brukar i denne prosessen.

<u>Isdanning</u>

Isdanning skjer ulikt i bratte og slake elver avhengig av klimatiske (kjøling) og hydrauliske faktorar. I slake elver vil is legge seg i stille område og isdekket vil akkumulere frå dette eller ein kan få opphoping av flytande is ved innsnevringar eller gruntområde som verkar som utgangspunkt for akkumulasjon av is (type 1). I bratte elver har ein vanlegvis ikkje stille områder der isdekket kan starte opp i tillegg til at høg vasshastighet motverkar oppsamling av is ved isfronten. Det ein derimot ser er at det dannar seg is langs kanten og dannelse av botnisdammar kan heve nivået på elva slik at is dannar seg bak botnisdammen (type 2) (Stickler og Alfredsen, 2005). Dammen vil kunne drenere ut vatnet, men isdekket vil halde seg oppe eller knekke saman over det nye vassnivået men likevel danne eit isdekke. Tesaker (1994) definerer ei hastighetsgrense på 0.6 m/s for dei to ulike isformasjonsprosessane litt avhengig av temperatur. Hirayama et al. (2002) fann denne grensa til 0.4 – 0.7 m/s avhengig av antal døgngrader. Kanavin (1970) har gitt dette som ein funksjon av vasstemperatur og hastighet, og kritisk Froudes tal (Ashton, 1986) er og definert som eit mål på korvidt vi får oppsamling eller ikkje. Både Tesaker (1994) og Hirayama et al. (2002) har funne at ved ei helning på 0.001 til 0.01 vil vi ha ein overgang mellom type 1 og type 2 isdanning, noko som og stemmer med observasjonar av Stickler og

Alfredsen (2005). Ved islegging etter type 1 finst det fleire modellformuleringar for danning av isdekke og oppsamling av drivande is til eit dekke (e.g. Shen et al. 1995). Desse kombinerer fomuleringar for fast isdekke (Matousek 1992, kantis (Matousek 1984) og vekst av isdekket (Shen et al. 1995).

Sarr

Etter at Carstens (1966) studerte kjøling og sarrproduksjon i ei laboratorierenne er det gjort fleire studie av sarrproduksjon og sarrtransport i lab og felt, og det er utvikla modellar og metoder både som empiriske samanhengar og fysisk funderte modellar. Nokre av desse er implementerte i modellen RICE (Shen et al., 1993), men denne modellen er ikkje eigna som eit verkty der vi ønskjer å endre geometrien på strekninga og sjå på prosessar på liten skala.

Hammar og Shen (1991; 1993) presenterer ein modell for sarrvekst knytt til simuleringar med 3D hydraulisk programvare (PHOENICS). Modellen simulerer partikkeldanning, kollisjonsvekst og blanding i vassmassene basert på varmetap, turbulens og tilgang på frysekjerner. Modellen er testa mot Carstens sine data frå laboratorieforsøk. Slik modellen er sett opp ser det ikkje ut til at den er enkelt integrerbar på det nivået vi ønskjer i dette prosjektet, men vil krevje større programmering mot den 3 dimen-sjonale modellen. Koplinga mot kommersiell programvare gir og høge driftskostnader dersom ein ønskjer å bruke modellen slik den er formulert.

Matousek (1992) gir ein modell for sarrvekst i elver som ein kombinasjon av ein modell for kjøling/vasstemperatur samt ein modell for sarrutvikling basert på partikkeltransport frå overflata. Denne transporten får ein når den vertikal hastighet i vatnet overstig partikkelen sin oppdriftshastighet. Uifrå dette utleiar Matousek formlar for sarrdanning gitt hydraulisk radius og Chezys tal for elva. Modellen er utvikla i laboratorium, men testa og justert under naturlege tilhøve.

Botnis

Samanhengen mellom underkjøling og danning av botnis er først omtalt av Devik (1931), og det finst ein del observasjonar rundt kjernedanning og mekanismene som danna botnis. Kvantitative metoder er lite undersøkt, sjølv om det er gjort ein del labforsøk og nokre få feltobservasjonar som knyt område med botnisdanning til Froudes tal (Kerr et al., 2002; Doering et al. 2001). Resultata er ikkje heilt eintydige, både på grunn av litt ulikt oppsett og ulike mål med eksperimenta. Dette gjer det og litt problematisk å bruke desse data direkte i analyser av potensialet for botnisdanning i ei naturleg elv. Shen et al. (1995) har formulert ein 1D modell for botnisdanning knytt til skjerkrafta langs botnen og kjøling/varmetap. Denne modellen vil kunne rekne akkumulering både gjennom transport av sarr til botnisen og direkte vekst, men den kan ikkje forutsjå posisjon av botnisen og kva variable som gjer at produksjon av botnis startar opp. Foreløpige resultat viser at der er ein samanheng mellom turbulens-nivå, botnmateriale og botnis (Stickler og Alfredsen, 2005), og dette kan vere eit utgangspunkt for vidare utvikling av metodet for å forutssjå botnisdanning sidan data kan knyttast til typiske variable frå ein hydraulisk modell.

Resultat

Resultata frå prosjektet er delt inn i tre, islegging, hydraulisk modell med og utan is og habitatbruk på strekninga. Resultata dannar grunnlaget for revurderinga av konstruksjonsprosedyra.

Islegging i det kunstige habitatet på Øyvollen

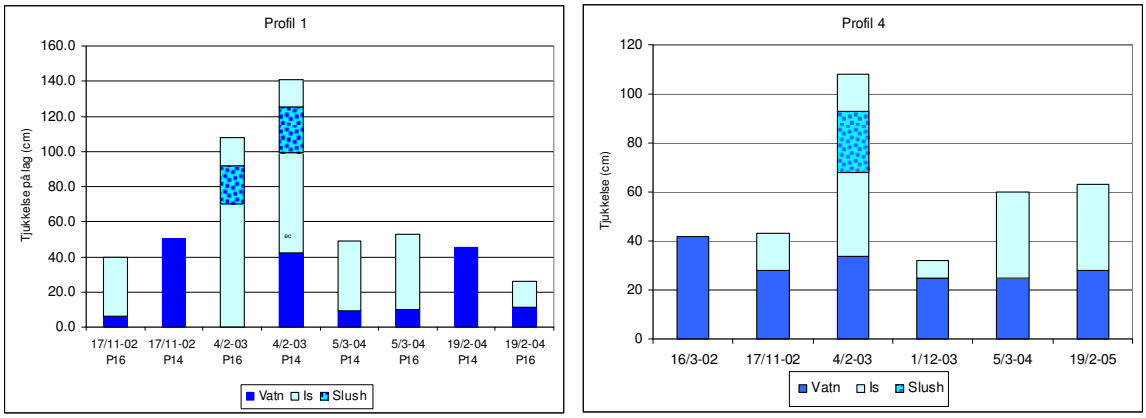
Isregimet på Øyvollen er prega av typisk innlandsklima og følger isutvikling i ei slak elv. Isen legg seg i oktober/november då det dannar seg eit stabilt isdekke fram til isløysinga i April. Observasjonane i prosjektet stemmer stort sett overeins med dette, men det er og gjort observasjonar som viser korleis interaksjonen mellom is og elv varierer og observasjonar som påverkar utforming og funksjon av det kunstige habitatet, spesielt med tanke på isen ved straumkonsentratoren.

Islegginga er observert ved feltmålingar og video alle tre åra. Alle desse viser at islegginga skjer ved at det dannar seg eit isdekke på dei nedre hølane og at isen bygger seg opp frå dette. Vi ser og at referansestrekninga oppstraums frys over raskt etter første islegging, noko som ville representere isdekket på strekninga dersom der ikkje var gjort tiltak. Ved straumkonsentratoren legg det seg kantis langs land og alle observasjonane viser at det deretter dannar seg botnis i tre område ved konsentratoren. Denne botnisdanninga må vere eit resultat av tiltaka som er gjort i elva, og stemmer med Annear (pers. med.) som har observert tilsvarande effekter i elver i Wyoming i USA. Der vart det laga kunstige habitat med føremål å snevre inn elveløpet og å få høgare hastighet på vatnet, og auka botnisdanning vart observert. Fjeldstad (et al. 2005) observerte og endringar i det kunstige habitatet på Nesheim i Dalåa på grunn av danning av botnis.

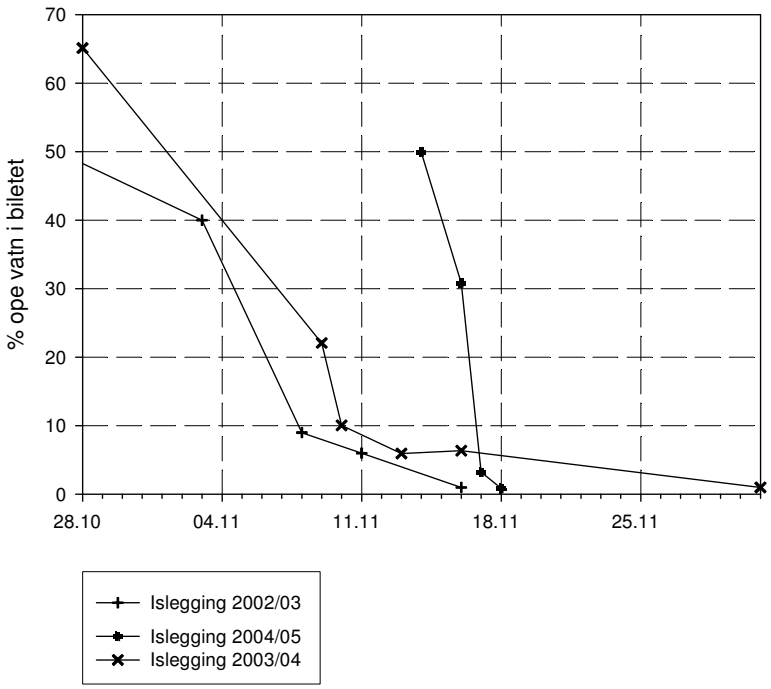
Islegginga ved straumkonsentratoren skjer deretter ved at isen bygger seg oppover på strekninga (sjå vedlegg 1 for eksempel på dette) frå isdekket i hølen. Med unntak av vinteren 2003 har det kvart år danna seg ei råk i det mest straumrike området. Ved frysinga så vert vassspeilet heva på strekninga, og oversvøymer ein del av strekninga som vanlegvis er tørr, noko som gjer at det totale isdekket dekker eit større areal enn området som er vassdekt rett før islegginga startar.

Islegginga og veksten i isdekket i dei tre åra vi har studert er påverka av klimaet og av vassføringa i elva i det prosessen byrjar. Figur 7 viser isleggingstidspunkt og prosentandel ope vatn på Øyvollen ved innfrysinga for dei tre åra islegginga er observert basert på analyse av videobilete på strekninga. Etter første stabile islegging har stort sett isdekket vokse utover vinteren avhengig av temperatur og snødekke. Eit unntak er vinteren 2004, då vi hadde ein isgang i elva i januar (sjå vedlegg 1) som opna elva for ei perode, og seinhausten 2005 då vi og fekk ein isgang i november som gjorde at elva gjekk opa fram til jul. I begge tilfelle bygde isdekket seg opp igjen raskt. Figur 6 viser tjukkleik på isdekket målt i to tverrprofil for dei åra islegginga er observert.

Profil 1 er i området ved straumkonsentratoren og profil 4 i hølen nedstraums. Frå figuren ser vi at ved enkeltmålinga i hølen i mars 2002 så hadde råka opna seg allereie i mars. Vinteren 2003 var der ei mildversperiode i januar som førte med seg oversvømmelse av det opprinnelege isdekket og dannelsen av eit lag med is og vatn (slush) før eit nytt solid isdekke vart danna. Dette finn vi igjen i figuren i begge profila denne vinteren. Vinteren 2002/2003 var elles kald og gav klart mest is av dei åra som er analysert, og allreie i november hadde vi solid kantis med ei lita råk i profil 1. Det er ikkje observert spesielle episoder i isløysinga i dei åra det er gjort feltarbeid på Øyvollen.



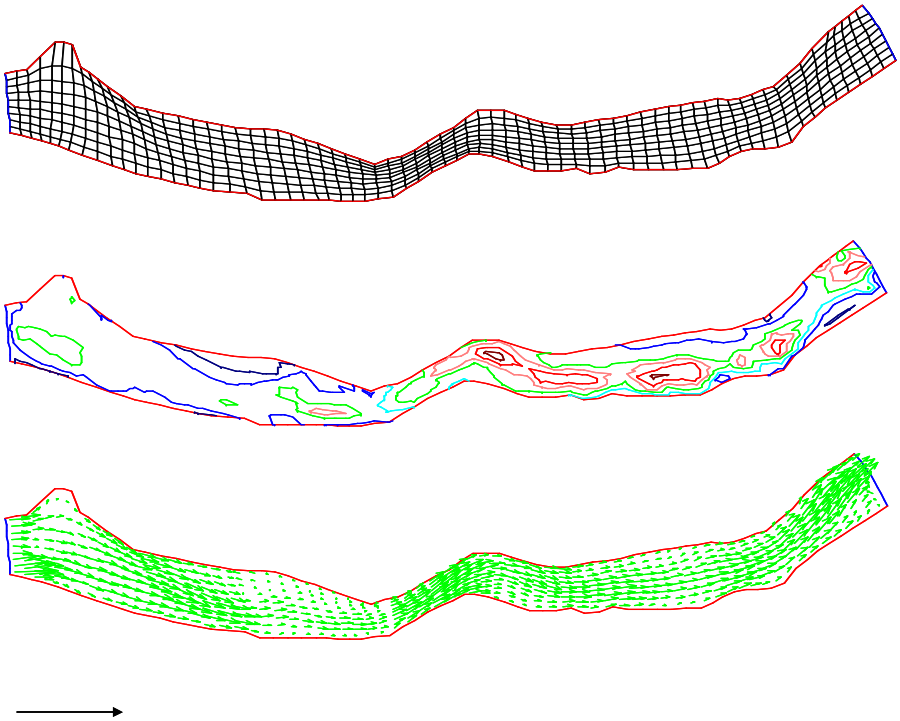
Figur 6 Isdekke i målepunkt for dei ulike vinterane. I profil 1 representerer P14 eit punkt midt i elva (i hovudstraumen) og P16 eit punkt på venstre side av elva.



Figur 7 Isleggingstidspunkt og forløp dei tre vintersesongane.

Modell av strekninga

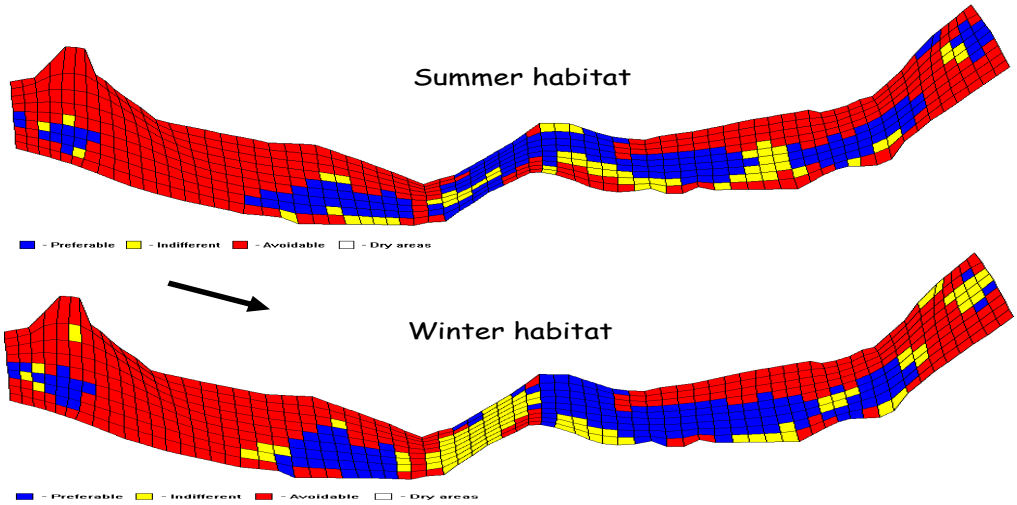
Gjennom den numeriske modellen har vi freista å simulere korleis tilhøva er på strekninga utan is og så å prøve å knytte dette mot isleggingsdata. Sidan vi ikkje har modellar i dag som kan gjere integrerte simuleringar av hydraulikk og is for ei strekning som Øvollen så har vi kopla isrutinene til beregningane gjort i SSIIM for tilhøve utan is. Det er og gjort simuleringar av hydrauliske tilhøve gitt eit fast isdekke med ulik utstrekning. Resultata er både brukte direkte og kopla med programmet HABITAT for å skildre habitattilhøva på strekninga.



Figur 8 Simuleringsresultat, 0.800 m^3/s. Øvst 70 x 30 grid, midten simulert djup (svart – minimum og raud maksimum) og nederst fordeling av middelhastighet. Pila markerer straumretninga.

Figur 8 viser resultatet frå den simuleringa som dannar grunnlaget for dei komande analysene. Frå karta ser vi ein konsentrasjon av hastighet omtrent midt i referanse-delen, ved straumkonsentratoren og ved innsnevringa i utløpet av stasjonen. Vi ser og dei kunstige hølane som er danna i området nedstraums straumkonsentratoren. Sjå elles figur 1 for ei oversikt over stasjonen. Dei substratverdiane som er brukte her er målt steinstørrelse i fleire transekt på stasjonen. I den numeriske modellen er stor-leiken på substratet brukt til å rekne ut ruhetshøgda for området som skal simulerast, men det er verdt å merke seg skilnaden på desse. Frå modellen vil djup og hastighet variere med vassføringa, medan endringar i tilgang på substrat skuldast variasjon i vassdekt areal. Vi kan ikkje i dag seie noko om korleis tilgang på substrat varierer med isdekket i og med at vi kun ser på moglege område med isdanning og ikkje noko

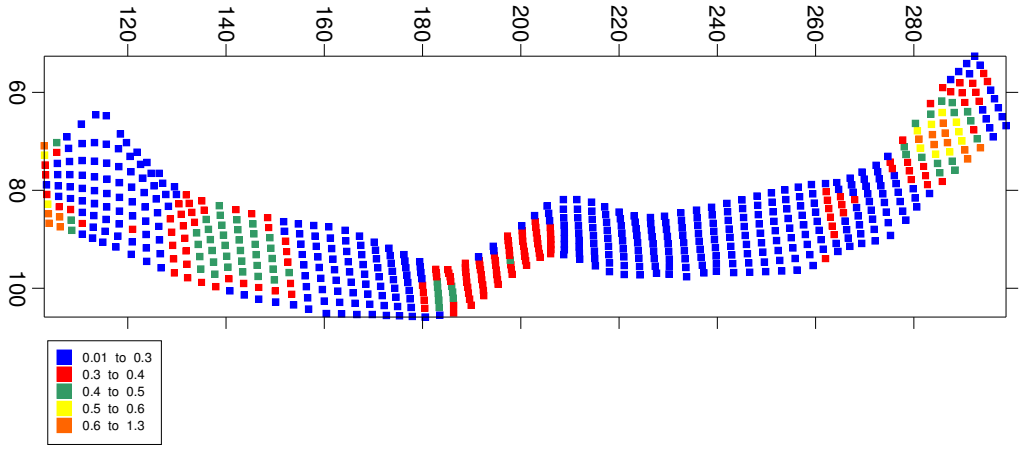
om interaksjonen mellom is og botnmaterial (t.d. i form av blokkering pga. botnis eller frå erosjon på grunn av botnis).



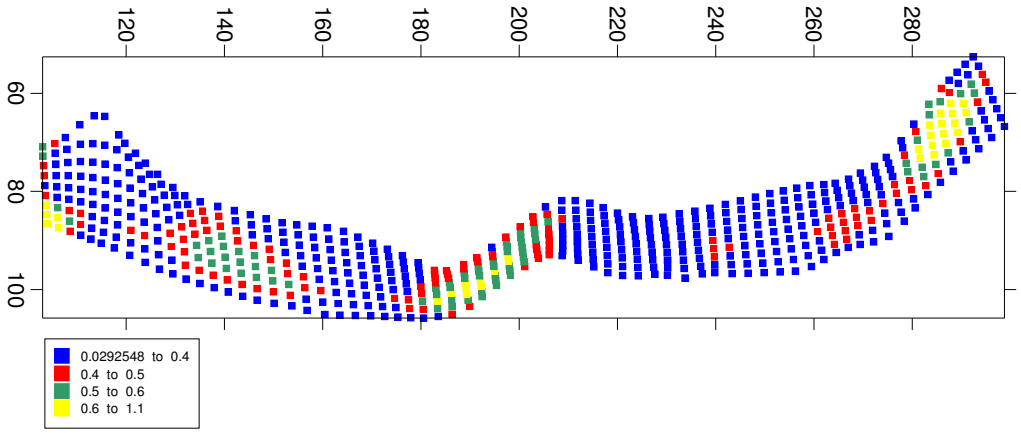
Figur 9 Sommar- og vinterhabitat på Øyvollen basert på hydrauliske data for SSIIM og sommar- og vinterpreferanser.

Figur 9 viser sommarhabitat og vinterhabitat for strekninga basert på preferanser frå Arnekleiv og Harby (1994) og Heggenes og Fjeldstad (1999) for den opprinnelege stasjonen. Merk at desse ikkje er lokale. Vi ser frå figuren at vi har eit skifte i gunstig habitat frå hurtige område mot hølområde når vi får temperaturskift frå vinter til sommar. Oppsettet som var brukt her tar ikkje omsyn til skjul og heller ikkje endringane i substrat som vi har sett på stasjonen. Om vi justerer substratet så vil vi kunne oppgradere endringane i den øvre hølen, og vi kan og legge inn statisk skjul som ein parameter i modellen. Det vi ikkje kan gjere i dag er å modellere effektene av at varierande skjul frå isdekke og ispåverknad av skjul som turbulens eller substrat. For å kunne gi ei oversikt over dette treng ein å estimere isdekke og isformasjonar på strekninga. Som vi har diskutert tidlegare så er tilgangen på slike metoder relativ mangelfull for små elver slik som i Øyvollen. Ei metode kan vere å finne variasjonen i Froudetalet for strekninga ved islegginga. Dette er vist i figur 10. Basert på dei kriteria for islegging som er knytt til Froudetalet kan ein deretter dele inn strekninga med tanke på isdannelse. Ulempa er at kriteria som er gitt i litteraturen ikkje er eintydige, og at dei i dei fleste tilfelle er baserte på laboratoriedata. Om vi legg til grunn eit Froude tal på 0.3 som ei grense for dannelse av sarr og botnis ser vi at dette skjer i straumkonsentratoren, i eit område i referanseseksjonen og på strekningas nedre del. Straumkonsentratoren vil vere åpen ei lang periode under islegginga og ofte med ei tydleg råk gjennom vinteren. Vi har og sett råkdanning i dei to andre områda og på den nedre delen og sein gjenfrysing, men det er ikkje i nærleiken så eintydig som for området ved straumkonsentratoren. Froudetalkriteriet viser at hølane får isdanning, noko som stemmer med observasjonane. For å få ei bedre forklaring på dette må vi legge til fleire variable, mest nærliggande her er eit mål på fluktuasjon i

hastighet eller eit tilsvarande mål på turbulens, for isproduksjonen og overfrysinga av strekninga vil vere avhengig av dette. Her skiller området ved straumkonsentratoren seg ut i frå dei to andre, noko som og stemmer med observasjonane vi har gjort.



Figur 10 Plott av Froudes tal (Straumretning venstre – høgre).

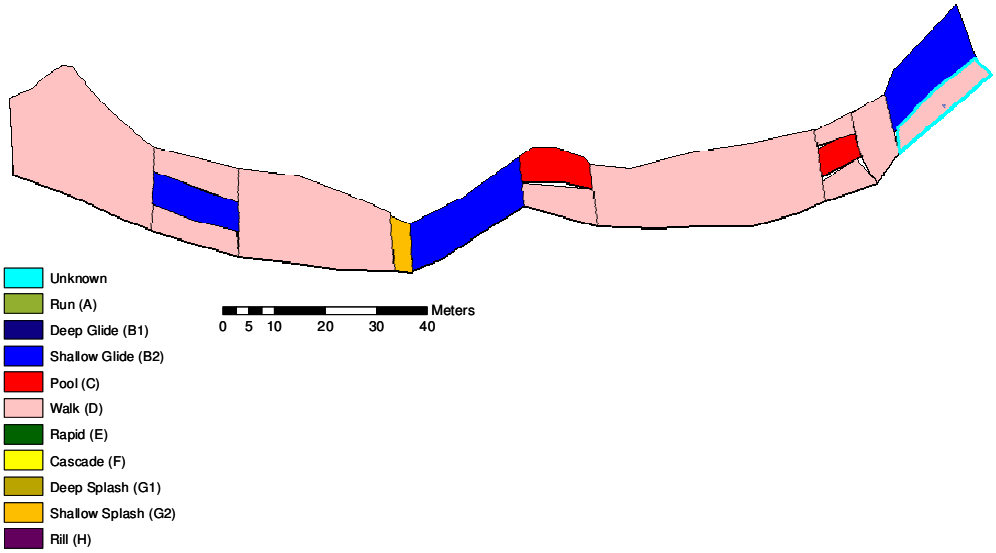


Figur 11 Plott av hastighet. (Straumretning venstre – høgre, hastighet i m/s).

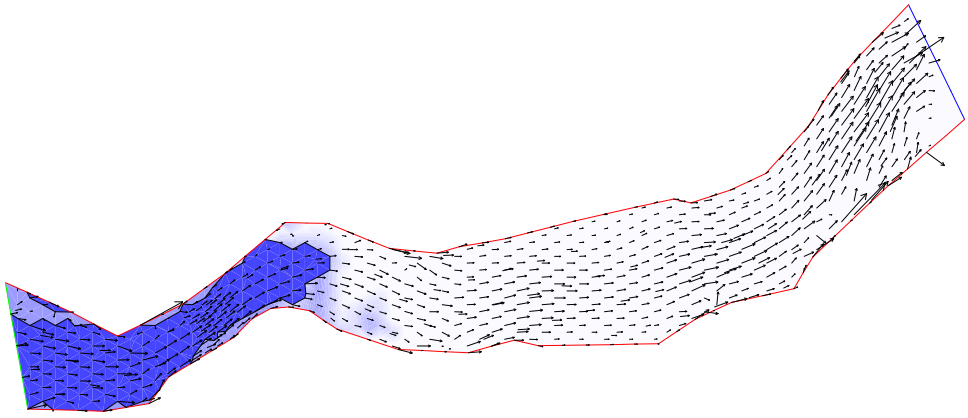
Plottar vi hastighet (figur 11) får vi det same mønsteret som for Froudetal. Igjen varierer kriteria ein del i litteraturen. Brukar ein ei hastighet på 0.6 m/s som ei grense mellom dynamisk og statisk islegging ser vi at få område på Øyvollen vil ha dynamisk isproduksjon, unntaket er utløpet og området ved straumkonsentratoren. Dette stemmer og med observasjonane. Det stemmer og rimleg overeins om vi brukar dei meir dynamiske kriteria og går utifrå ei meir gradvis overfrysing etter akkumulerte døgngrader. Kombinert med habitatplottet i figur 9 forsterkar dette reduksjonen i habitat på dei meir straumsterke partia, medan vi og kan bruke dette til å anta aukande skjul i områda med lav hastighet ettersom isen vert danna på strekninga.

Eit alternativ til mikrohabitatmetoda er å bruke mesoskala habitat og så knytte islegging og isprosessar til desse. Mesohabitatklassene definert av Borsanyi et al. (2005) er alle definert utifrå hydrauliske variable og kan direkte knyttast til ulike isprosessar, t.d. gjennom å bruke same kriterie som ved forsøka på å kople isprosessar

til modellen. Observasjonar av is i mesohabitatklassene viser tydlege samanhengar mellom mesoklasse og isformasjon (Stickler og Alfredsen, upubl. data), så denne metoda har eit potensiale til å supplere mikrohabitatmetoda som evalueringskriterie. I dette tilfelle vil ein kunne klassifisere elva på førehand, deretter bruke modelldata til å reklassifisere elva etter inngrepet og deretter knytte is til mesoklassene (Borsanyi, 2005). Figur 12 viser mesohabitat etter konstruksjonen av habitatet på Øyvollen. Eit oversyn over biologisk respons i dei ulike mesoklassene er under utvikling og vil kunne auke potensialet for bruk ytterlegare.



Figur 12 Mesohabitatkart for Øyvollen. Sjå vedlegg 2 for forklaring på kategoriane.



Figur 13 Simulering av nedre del av stasjonen med delvis isdekke. Mørk blå viser ope vatn.

På Øyvollen har vi eit stabilt vinterklima med etablert isdekke over store delar av vinteren. Ein modell for å simulere hydrauliske tilhøve med eit definert isdekke vil difor vere nyttig for å evaluere funksjonalitet av konstruksjonane på vinteren og for å gjere analyse på tilgjengeleg habitat. River2D vart difor køyrt på strekninga på

Øyvollen for to situasjonar, først med delvis isdekke på straumkonsentratoren slik vi har sett det under islegginga frå videoovervaking, deretter med fullt isdekke på heile strekninga basert på observasjonane som er gjort midtvinters. Tjukkelse på isdekket er sett lik det som vart observert under målingane, og ruhet av isen er sett lik 1 mm tilsvarande glatt is. Desse resultata må sjåast på som ein demonstrasjon av eit potensial for simuleringa, vi har ikkje testa resultata mot målte verdiar førebels. Figur 13 viser simuleringa med River2D for delvis isdekke på den nedre delen av stasjonen.

Fisken sin bruk av det kunstige habitatet

Av dei 50 merka fiskane som vart sett ut på stasjonen den 28/11/04 var der 13 som aldri vart funne ved nokon av dei manuelle peilingane. Av desse var 11 dverghannar, noko som er 50% av dei merka kjønnsmodne fiskane, og dette gir ein klar samanheng (Fisher exact, $p<0.001$) mellom om dei var kjønnsmodne og kor vidt fisken forsvann frå stasjonen etter merking (sjå tabell 1). Dei umodne fiskane vart funne ved nesten alle peilingane, og blandt desse var fiskane som høyrte til i hølen (stasjon ST4.2) klart meir stasjonære enn kva tilfelle er for dei som vart sett ut ved straumkonsentratoren (stasjon ST4.4) (Fisher exact, $p=0.001$). Dette gjeld både for peilingar under is-legginga, midtvinters og på seinvinteren. I hølen mellom dei to områda der fisken vart sett ut fann vi aldri fisk sjølv om fleire fiskar har passerte dette området ved vandring mellom utsettingsområda. Skilnaden på desse er at den hølen som holdt fisk har rikleg med skjul i form av grovt substrat medan det i den andre hølen er akkumulert ein del finmasse.

Tabell 1 Oversikt over peilingane, talet på funne fisk (N), stasjonær fisk (%) and middel avstand ± SE (m) mellom posisjonane til fisken mellom kvar peiling. Utrekning av % stasjonær fisk for stasjon ST4.2 og ST4.4 er basert på antal umoden fisk som vart merka på stasjonen opprinneleg. E = Tiltaksområde, N = Ingen is, P = Delvis isdekt, I = Fullt isdekke. N/A = Ikkje mogleg å rekne ut verdiar.

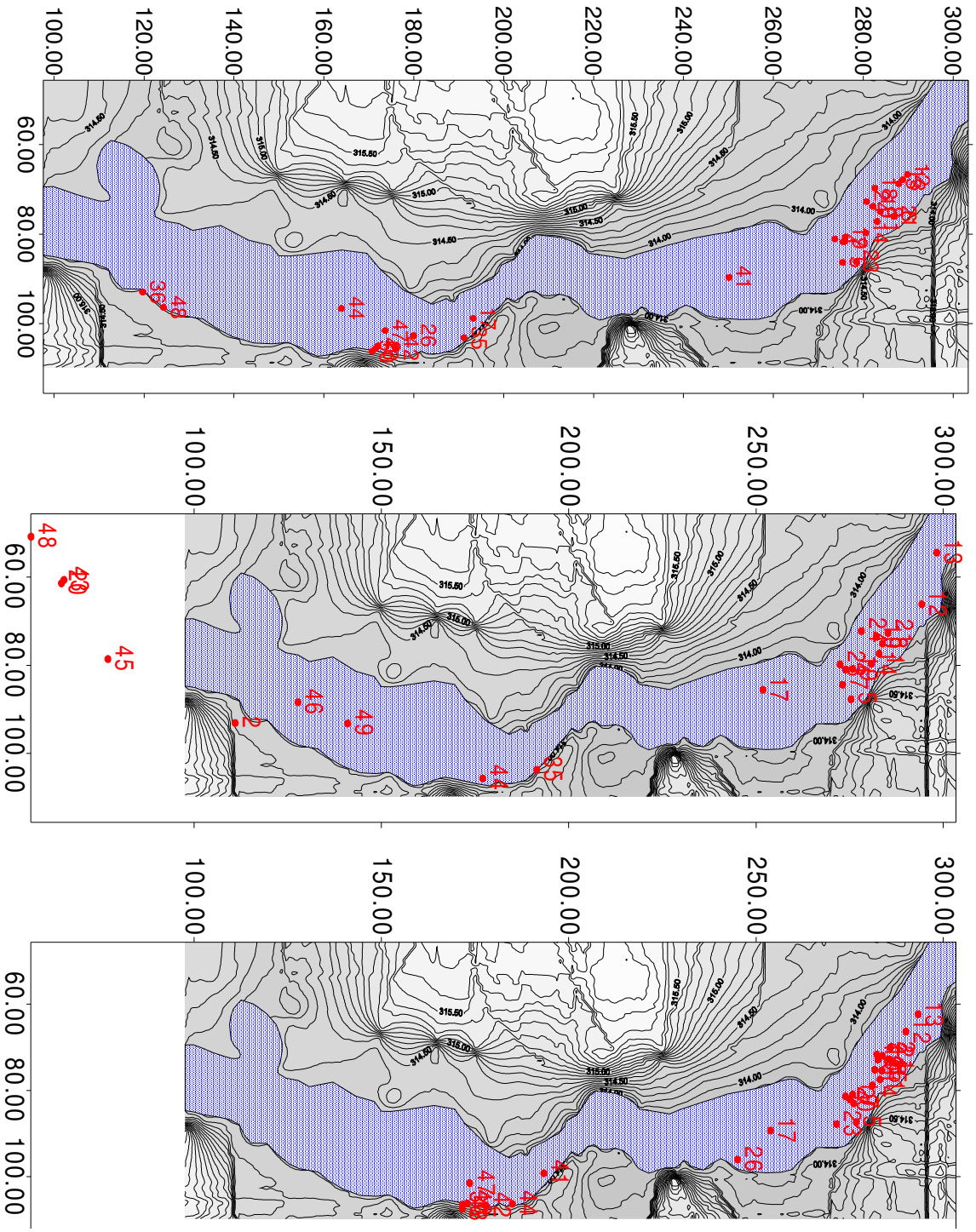
	Dato						
	0411	2211	0212	0912	1412	1802	2004
N	28	25	18	23	28	23	27
Istilhøve	N	P	P	P	P	I	N
Gyteparr, stasjonær (%), E	22.7	31.8	18.2	18.2	22.7	9.1	27.3
Umoden parr, stasjonær (%), E	71.4	60.7	46.4	50.0	46.4	46.4	75.0
Umoden stasjonær (%), ST4.2	87.5	87.5	75.0	81.3	62.5	75.0	100.0
Umoden stasjonær (%), ST4.4	25.0	25.0	8.3	8.3	16.7	8.3	33.3
Mean ± SE distance (m)	N/A	2.9 ± 0.8	N/A	N/A	2.3 ± 0.5	13.8 ± 6.2	31.6 ± 14.6

Basert på data for dei umodne fiskane vi merka verkar det kunstige habitatet på Øyvollen å vere eit gunstig område med tanke på stasjonæritet gjennom vinteren. Det er verdt å merke seg at desse verdiane må oppfattast som eit minimum sidan det i talet på fisk som ikkje er funne inkluderer i tilegg til emigrasjon døde og fisk som ikkje vart oppdaga ved den aktuelle peilinga. Dette er spesielt viktig å ta omsyn til ved peilingane i februar der snødekke på ein del av stasjonen kan ha påverka kor mange fisk som vart funne. Eit problem i så måte er at det vassdekte arealet endrar seg under islegginga slik at det kan vere vanskeleg eksakt å vite utstrekninga under isdekket. Dette gjer at den lavare graden av stasjonæritet under peilinga med is kan reflektere lavare effektivitet på gjenfangst av merke. Uansett så viser den umodne fisken på Øyvollen høg stasjonæritet samanlikna med tidlegare publiserte vinterdata (2 – 30%, Cunjak & Randall, 1993; 33% Elso & Greenberg, 2001).

Blandt gyteparren fann vi klart mindre stasjonær fisk enn kva tilfelle var for den umodne parren. Om vi ser vekk i frå høgare mortalitet i denne gruppa så er den mest nærliggande forklaringa at den gytemodne fisken emigrerer frå stasjonen. Observasjonar av mindre stasjonær oppførsel og vandring over større avstandar hjå gytemoden parr om vinteren er og observert tidlegare (Whalen et al. 1999; Robertson et al. 2003).

Vi ser frå data at det er stor skilnad mellom dei to stasjonane. Hølområdet (ST4.2) med stabile istilhøve og lavare hastighet har ein klart større andel stasjonær fisk enn kva tilfelle er med området rundt straumkonsentratoren (ST4.4). Dette kan ha samanheng med skilnad i habitattilbodet på dei to stasjonane og/eller det kan ha samanheng med større produksjon og akkumulasjon av sarr og botnis på stasjon ST4.4 og meir stabile istilhøve i ST4.2. Der er og indikasjonar på at det kan ha samanheng med underliggande fordeling av fisk på dei to områda som er vist gjennom tettleiksestimat gjort på strekninga i 2005 (meir årsyngel i ST4.4 og meir parr i stasjon ST4.2, Arnekleiv upubl. data). Ei annan faktor kan vere at alle fiskane som rømde når boksene var oversvømde var i ST4.4 og dei kan ha flytta seg umiddelbart på grunn av høg vassføring.

Gjennomsnittleg (+SE) avstand mellom posisjonar var 4.6 ± 1.5 m, N=24, målt mellom den første og den siste peilinga av fiskane. Gjennomsnittleg avstand mellom dei forskjellige peilingane er vist i tabell 1. Der er ingen signifikant skilnad mellom gjennomsnittet for dei ulike peilingane, sjølv om dei to siste har relativt høg verdi. Den høge verdien skuldast i hovudsak tre fiskar som flytta seg oppstraums frå desember til februar, og fire fiskar som gjekk tilbake til den stasjonen der dei var merka mellom februar og april (sjå figur 14 for posisjonering av fisken). Sett bort i frå desse var der ingen klare mønster i rørslene til fisken mellom kvar peiling. Dei korte rørslene som fisken hadde mellom peilingane er nok ein indikasjon på at habitatet i område ST4.2 fungerer som overvintringshabitat for fisken. Alle dei lange vandringane var fisk som gjekk frå ST4.4 og til referanseseksjonen og fisk som allereie var i denne seksjonen gjekk vidare oppover elva. Det er interessant å merke seg at vi ikkje såg fisken gå opp i den øvre delen før etter at stabilt isdekke var etablert, noko som tydar på at fisken kan bruke område som i utgangspunktet har grus



Figur 14 Peilingar av fisk. Øvre plott – før islegging, midtre plott – peiling med is og nedre plott – etter isgang. Legg merke til fisk som returnerer til partiet rundt straumkonsentratoren etter at isen er gått.

som substrat og lite skjul, som vanlegvis er rekna som lite eigna habitat, når isdekket er etablert. Når isdekket var vekk etter isløysinga, flytta alle fiskane som var observert oppstraums seg tilbake til område med grovare substrat og meir skjul. Tilsvarande oppførsel har og blitt observert av Cunjak og Randall (1993).

Vi observerte ingen fisk som trakk inn i den øvre av dei kunstige hølane på strekninga, noko som var overraskande ettersom forflyting av fisk frå raske til djupare

og meir sakteflytande område er hyppig vist i litteraturen (t.d. Heggenes og Dokk, 2001; Whalen og Parrish, 1999). Dette kan forklarast med høg grad av gjenntetting av substratet i denne hølen på grunn av deponering av finmasse, men det kan sjå ut som om kombinasjonen av djup/lav hastighet ikkje i seg sjølv har trekt til seg fisk til dette området. Det er verdt å merke at ingen fisk vart merka i dette området, men tettleiks-estimat viser at mengda fisk er redusert sidan habitatet først vart bygd (Arnekleiv, pers. med.).

Medianverdien for heimeområdet til fisken sett over vinteren er 3.6 m^2. Totalt så hadde 69% av fiskane heimeområde mindre enn 20m^2, men variasjonsområdet er stort frå 0.1 – 1372 m^2. Det eksisterer nokre eksempel på utrekning av heimeområde for perioder over lenger tid i litteraturen (t.d. 36 m^2 i Saunders og Gee, 1964; 40 – 50 m^2 i Hesthagen, 1990), men desse er alle frå elver utan is. For vinterperioda finst det berre eksempel på heimeområde rekna med bakgrunn i radiotelemetri noko som gir beregningar for korte tidsperioder pga batterilevetid og ofte med data for lange vandringar inkludert som vi ikkje har kapasitet til å finne med denne metoda. Det er difor ikkje mogleg å samanlike heimeområda funne på Øyvollen med noko tidlegare data frå litteraturen.

Prosedyre for kunstige habitat

Med utgangspunkt i resultata frå prosjektet synest det viktig å ta omsyn til vintertilhøve ved konstruksjon av kunstige habitat i område der is er ein viktig faktor om vinteren. Dette kan ein gjere ved å legge til ei analyse ved utforminga av det kunstige habitatet.

Ei prosedyre for utvikling av eit kunstig habitat i ei elvestrekning kan følgje flyt-skjemaet i figur 16. Dette opplegget legg opp til bruk av to- eller tre-dimensjonal numerisk simulering for analyse av eksisterande tilstand og for analyse av den nye konstruksjonen, men prinsippa vert dei same om ein brukar enklare hydraulisk simulering. Med utgangspunkt i numerisk simulering er det første steget data-innsamling for området der tiltaket skal byggast. Digitale kart i kombinasjon med innmåling i felt er den vanlegaste metoda for å skaffe til veie data. Det er og viktig å skaffe informasjon om vassføringsregimet for strekningen (eventuelt vassføring etter inngrep i vassdraget) for å kunne definere kor mykje vatn ein har til rådvelde ved planlegging av det nye habitatet. I tilfelle ein skal bruke habitatmodellering som eit verkty i planlegginga må og data om fisken og fiskepreferanser skaffast til veie. Neste steg er ei simulering av tilstanden på strekningen i dag, noko som inneber oppsett og kalibrering av programmet for strekninga. Denne simuleringa fungerer først og fremst som ei referanse for å samanlikne tilstande før og etter inngrepet samt å danne grunnlaget for å utføre planlegging og konstruksjon av det kunstige habitatet. Basert på dette må ein sette opp kva type habitat vi ønskjer, omfanget på dette og detaljert plassering i strekninga. Når dette er på plass, følgjer det tredje steget i prosessen. Dette er sjølve konstruksjonen av habitatet i modellen, vanlegvis utført som ei

redigering av modelloppsettet som vart etablert i punkt 2. Typisk vil denne prosessen innehalde ei redigering av geometrien i modellen for å legge inn hølar, straum-konsentratorar og andre element og ei oppjustering av ruhetsparametre i modellen for å ta omsyn til substratforbetringar på strekninga. Neste steg er numerisk simulering av den nye geometrien for dei aktuelle vassføringane. Basert på den nye geometrien bør ein gjere ei hydraulisk evaluering av den nye strekninga. Spesielt funksjonalitet under flom og stabilitet i flomsituasjonar og korleis strekningen vil fungere med tanke på erosjon av konstruksjonane og deponering av sediment i nye hølar. Dette er problem-stillingar som er viktige med tanke på levetid av det kunstige habitatet og eventuelle krav til vedlikehald av konstruksjonen. På Øyvollen ser vi i dag ei tiltetting av substratet i den øvste kunstige hølen, noko som sannsynlegvis kan knyttast til deponering av finstoff i høgvassperioder i denne hølen (Olsen et al. 2004). Dersom ein finn at dette ikkje er oppfylt så må ein tilbake til steg tre for å justere geometrien og repetere simuleringa og evalueringa. Om ein finn at habitatet oppfyller dei krava vi stiller til hydraulisk funksjonalitet, så vil neste steg vere å evaluere den biologiske funksjonaliteten til strekningen. Om dette ikkje fungerer etter planen må vil tilbake til punkt tre og gjere nye justeringar.

Prosedyra over er hovudsakleg brukt med utgangspunkt i sommartilhøve. Som vi har sett i studiane på Øyvollen så er vinter viktig i fleire samanhengar. Fisken endrar oppførsel og stiller andre krav til habitat om vinteren enn om sommaren, og islegging påverkar hydraulikken og funksjonaliteten til ulike elementa i den kunstige habitatet. Kombinert gir desse faktorane at isprosessar og vinterhabitatkrav må byggast inn i prosessen for å få ei evaluering av habitatet som dekker alle årstidene. Dette vil påverke fleire av designprosessane diskutert tidlegare. Grunnleggande isanalyse må leggast inn i punkt to (figur 15), eventuelt og inkluderast som eit punkt under data-innsamlinga i steg en. I tillegg treng vi å skaffe data om fisken sin habitatbruk om vinteren, spesielt respons på endringar i isdekke og tilgang på habitat når isdekket endrar seg. Isanalyse vil inngå i simuleringa av det nye habitatet, samt i evalueringa av biologisk funksjonalitet i punkt seks.

I tillegg kjem isen si innverknad på stabilitet og langtidsfunksjonalitet i systemet. Is vil kunne øydelegge konstruksjonane, spesielt under isgangen. Det finst mange eksempel på erosjonsskader ved isgang (t.d. Beltaos, 1995). På Øyvollen ser vi nokre endringar som kan tilskrivast isgangsskader, men førebels finst det ikkje data for å evaluere dette.

Modellverkty er testa og utprøvd for fleire eksempel utan is, og desse har vist seg å vere ein nyttig del av konstruksjonsprosedyra. Når det gjeld simuleringar med is, kan vi dele desse inn i to: simulering av statiske tilhøve og simulering av dynamisk isproduksjon. Til kvar av desse kan vi ha to ulike tilnærmingar: (1) enten kan vi simulere dette med modellar som bygger inn isproduksjonen som ein del av det matematiske grunnlaget eller (2) vi kan bruke data frå simuleringar utan is som eit grunnlag for å forutsjå korleis isen vil legge seg. Oppsummert kan vi sette opp dette som følgjande punkt:

- Forutsjå is på liten skala kan gjerast med bruk av modellane dersom ein legg seg på eit nivå der ein reknar ut dei fysiske variable som inngår i vurderinga og deretter gjer ei vurdering av desse oppimot innverknadane islegginga har på hydraulikken. Forutsett tilstrekkeleg underkjøling kan vi gjennom å kombinere hastighet eller Froude tal med helning og substrat skilje mellom strekningar som får isdekke og strekningar som må lukkast gjennom akkumulering av is. Det vil og kunne brukast for å finne korleis og kvar botnis vil legge seg, men her trengs det meir informasjon for å få dette eksakt.

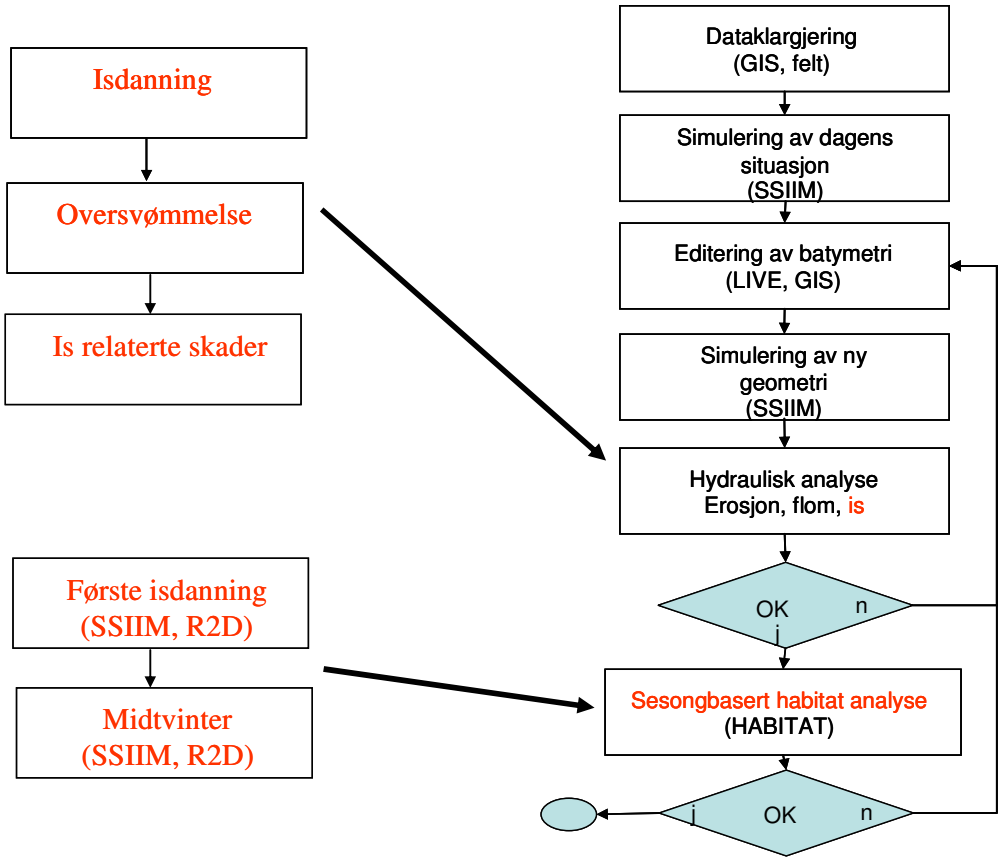
- Simuleringar av dynamisk is der isen er integrert som ein del av modellen er i dag ikkje mogleg. Dei modellane som finst er alle laga for større tilhøve og for hydrauliske modellar som ikkje alltid kan tilpassast dei elvene som vi jobbar med i Norge. Det er eit arbeid på gang internasjonalt rundt dette, og vi vil i forleninga av dette prosjektet jobbe vidare med å finne samanhenhengar som kan brukast i denne samanhengen.

- Simulering av straumning med eit statisk isdekke har vi hatt relativt gode erfaringar med både med fullstendig og med delvis dekke. Begge dei hydrauliske programma vi har brukt i konstruksjon av kunstig habitat kan gjere dette, SSIIM fungerar best med fullstendig dekke medan River2D og handterar delvis isdekke. Dette er eit nyttig verkty for å evaluere fordeling av hastighet og djup når isdekket varierer. Ulempa er at isen må målast inn og leggast til i modellen manuelt, og at endringar i isdekket enno ikkje kan simulerast.

- Stabilitet og verknader av isgang på konstruksjonane finst det delvis metoder for å studere. Ein kan både evaluere isdekket og potensielle storleikar på isgangen utifrå erfaringsbaserte modellar, men ein viktig del ting å legge merke til her er at dei fleste av desse modellane er testa mot store vassdrag, og at det ikkje finst testar knytt til mindre og bratte vassdrag enno.

Med utgangspunkt i dette kan vi modifisere prosessen for å planlegge eit kunstig habitat med ismodular. Eit forslag til modifisert plan er vist som eit flytskjema i figur 15. I tilegg til å integrere isprosessane med den biologisk delen av analysa, bør ein og jobbe med isverknader mot stabilitet og funksjonalitet av habitatkonstruksjonane.

Ein viktig ting å ta omsyn til er at det biologiske grunnlaget brukt i denne prosessen er basert på habitatpreferanser utvikla statiske for vinter/sommar knytt mot djup, hastighet og substrat. Som vi har sett frå dei fiskedata vi har tilgjengelege så bør desse sannsynlegvis justerast til i større grad å ta omsyn til skjul og i dette både is og substrat si innverknad på tilgjengeleg skjul. Ei utviding til å ta omsyn til endra preferanser om vinteren vil vere eit framskritt, men observasjonane av fisken på Øyvollen viser at den spesielt nattestid har ein dynamisk oppførsel som det kan vere vanskeleg å ta omsyn til med statiske preferansefunksjonar. Arbeid er på gang for å lage ein meir dynamisk modell, men eit alternativ kan vere å bruke mesoskala habitat som gir større oppløysing i analysa.



Figur 15 Prosessdiagram for konstruksjon av kunstige habitat. Tillegg av isrutiner til venstre, original proedyre til høgre.

Oppsummering

Basert på dette ser vi nokre ting som bør vurderast ved konstruksjon av habitat:

- Skille mellom vinter og sommar er tydleg både i straumningsmønster og i fisken sin bruk av habitatet. Dette er det difor svært viktig å få med i utforminga av habitatet. Klima og isregime bør difor brukast som eit utgangspunkt for planlegginga av korleis det kunstige habitatet skal fungere over året.

- Med ein forståelse av isregimet bør neste steg vere å evaluere korleis dei ulike istypene vil danne seg på strekninga og korleis desse påverkar dei konstruksjonane vi lagar i detalj. Aukar vi produksjon av sarr/botnis, kor stor utstrekning får vi på tidleg fast isdekke, korleis skjer isakkumuleringa (hengedammar/isvekst), får vi isdekke på heile stasjonen og kva slags isløysing vi kan få er alle emne som vi bør ha med i ei slik analyse. Dette kan gjerast både ved bruk av analyse av observasjonsdata samt målingar av karakteristiske hydrauliske trekk på strekninga og/eller gjennom bruk av simuleringsmodellar.

- Isen sin langtidsverknad på konstruksjonane er ikkje tatt med i denne diskusjonen. Både observasjonar og litteratur viser at isgangar, spesielt i dei tilfella der isen bryt opp før den er nedbroten av temperatur kan påverke omgjevnadane i svært stor grad. Sjølv elver med redusert vassføring kan produsere store isgangar, jfr isgangar i Surna dei seinaste åra. Det er difor sannsynleg at dette kan vere ein faktor som kan påverke stabilitet og funksjonalitet til kunstige habitat og ein bør difor gjere noko for å analysere dette og utnytte dette i konstruksjon av habitatet.

- Observasjonane av fisk på strekninga tyder på at skjul er den dominerande variabelen for vinterhabitatet. Med isdekke som skjul brukte fisken og grunne område som ikkje var brukt ved isfrie tilhøve. Etter isgangen såg vi fisk som gjekk tilbake til sine opprinnelege område som ikkje var brukte på vinteren. Det at fisken ikkje brukar den øvre hølen på strekninga var overraskande. Dette stemmer med data frå elektrofiske (Arnekleiv, pers.med), men vi har merka fisk i dette området i år for finne ut om dei forsvinn eller om det er i bruk. Så langt peikar dette på at vedlikehald kan vere ein viktig ting å ta omsyn til ved planlegging av tiltak.

- Numerisk simulering av hydraulikk og koplinga mot habitatevaluering vil kunne gi oversikt over mange problemstillingar knytt til utforming av kunstige habitat. Men spesielt på vinteren vil det vere avgjerande å kunne bygge inn skjul som ein del av denne prosessen. Skjul i form av substrat er ein statisk variabel og er i stor grad tatt omsyn til i dag, men vi ser at grada av pakking i sedimentet burde inkluderast i som ein del av denne variabelen. Skilnaden på bruk av dei kunstige hølområda på Øyvollen tyder på dette.

Skjul i form av isdekke og turbulent overflate vil i vere dynamiske prosessar som endrar seg over tid og må forsøkast inkluderast i modellen. I dag kan dette gjerast gjennom analyse av hastighet og turbulensparametre i modellen, men metoda treng vidare utvikling.

- Sett utifrå punkta over bør retningslinjer for konstruksjon av kunstig habitat innehalde rutiner for å handtere vinterfunksjon og problemstillingar knytt til is.

Med utgangspunkt i det som er funne ut i prosjektet i dag og dei manglane i data og kunnskap som vi har sett under arbeidet med dette prosjektet så vert studiane på Øyvollen vidareført gjennom to doktorstudium, eit som går på vinterhabitat for laksefisk og eit som går mot isprosessar i elver og korleis desse påverkar tilgjengeleg habitat. Fisk vil bli merka på Øyvollen hausten 2005 og vil verte observerte både på varmt vatn, ved overgangen til vinter og gjennom vintersesongen 2005/06. Det vil og bli gjort ytterlegare målingar for å prøve å forbedre kunnskapen om islegging og islegging i mindre vassdrag og for å vidareutvikle verkty for å rekne på denne. Kombinert vil dette kunne gi eit bidrag til å finne ut meir om fisken sin habitatbruk og spesielt knytt til dynamikken i dette og moglege modelløysingar. Det andre viktige punktet er å utvikle meir formelverk og samanhengar for bedre å kunne forutsjå isleggingsmønster og dynamisk isproduksjon.

Takkseiing

Takk til Trine Indergård for feltarbeid og dataanalyse og til Arne Grostad for hjelp i felt og med bygging av feltutstyr. Takk til Atle Harby for grunnlagsdata om utforminga av Øyvollen, og til Jo Vegar Arnekleiv for informasjon om fiskebestanden på Øyvollen og for elektofiske og peiling av fisk på stasjonen. Takk og til alle andre som har tatt del i feltarbeidet på Øyvollen. Vi ønskjer og å takke Hans-Petter Fjeldstad for gjennomlesing og kommentrarar til første utkast av rapporten.

Referansar

Alfredsen, K., P. Borsanyi, A. Harby, H-P. Fjeldstad, S-E. Wersland (2004). Application of habitat modelling in river rehabilitation and artificial habitat design. Hydroecologie Applique, vol 14, no 1, pp. 105-117.

Alfredsen, K.T. (1999) An object-oriented framework for application development and integration in hydroinformatics. Dr.Ing thesis, Norwegian University of Science and Technology, 1999: 20.

Alfredsen, K., A. Harby, T. H. Bakken and W. Marchand (1997). Application and comparison of computer models for quantifying impacts of river regulations on fish habitat. In: (Brock, Lysne, Flatabø og Helland-Hansen eds) Hydropower 97, A.A.Balkema. ISBN 90-5410-886-6.

Annear, T. C., W. Hubert, D. Simpkins & L. Hebdon, (2002). Behavioral and physiological response of trout to winter habitat in tailwaters in Wyoming, USA. Hydrological processes 16: 915-925.

Arnekleiv, J.V., G. Kjærstad, L. Rønning og J. Koksvik (2002). Fisk, bunndyr og minstevannføring i elvene Tevla, Torsbjørka og Dalåa, Meråker kommune. Vitenskapsmuseet rapport zoologisk serie 2002-5. NTNU. ISBN 82-7126-634-9.

Arnekleiv, J. V. and A. Harby (1994). Biotope Improvement Analysis in the River Dalåa with the River System Simulator. 1st International Symposium on Habitat Hydraulics, Trondheim, Norway, NTH.

Ashton, G. D., (1986). River and lake ice engineering, Water resources publications. ISBN 0-918334-59-4.

Beltaos, S. (ed) (1995). River Ice Jams. Water resources publications, LLC. ISBN 0-918334-87-X.

Blackburn og Unterschultz (2002) Ice Topography File Editor User's Manual University of Alberta September, 2002.

Borsanyi, P. (2005). A classification method for scaling river biotopes for assessing hydropower regulation impacts. Ph.D. thesis, Norwegian University of Science and Technology.

Borsanyi, P, K. Alfredsen, A. Harby, O.Ugedal, C. Kraxner (2004). A Meso-scale habitat classification method for production modelling of Atlantic salmon in Norway. Hydroecologie Applique, Vol. 14, no 1., pp. 119-138.

Bovee, K. D. (1982). A guide to stream habitat analysis using the instream flow incremental methodology. Fort Collins, Colorado, National Biological Service.

Brittain, J. (2003) Weirs as a mitigation measure in regulated rivers – the Norwegian experience. Habitat Modelling and conservation flows. Quebec 4-5 march 2003.

Carstens, T. (1966). Experiments with supercooling and ice formation in flowing water. Geofysiske Publikasjoner. Vol. XXVI, no 9. 18 sider.

Cunjak, R., T. D. Prowse and D. L. Parrish (1998). "Atlantic salmon (Salmo salar) in winter: "the season of parr discontent"?" Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 55: 161-180.

Cunjak, R. A. & R. G. Randall (1993). In-stream movements of young Atlantic salmon (*Salmo salar*) during winter and early spring. In: Gibson, R. J. and Cutting, R. E. [ed.]. Production of juvenile Atlantic salmon, *Salmo salar*, in natural waters. Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences 118: 43-51.

Devik, O. (1931) Termische und dynamische bedingungen der eisbildung in wasserlaufen. Geofysiske Publikasjoner Vol IX, no 1.

Doering, J. C., L. E. Bekeris, M. P. Morris, K. E. Dow and W. C. Girling (2001). Laboratorie study of anchor ice growth. Journal of Cold Regions Engineering 15: 60-66.

Eie, J. A., J. E. Brittain og J. A. Eie (1993) Biotopjusteringstiltak i vassdrag. Kraft og Miljø nr. 21. Norges vassdrags- og energidirektorat. ISBN 82-410-0247-5.

Elso, J. I. & L. A. Greenberg (2001). Habitat use, movements and survival of individual 0+ brown trout (*Salmo trutta*) during winter. Archive für Hydrobiologie 152: 279-295.

Fjeldstad, H.-P., N.R.B Olsen og T.Å. Fergus (2005) Habitatforbedrende tiltak – geomorfologiske prosesser, sedimenttransport, erosjon og simulering av optimale forhold for fisk. Miljøbasert vannføringsrapport nr. 1 – 2005, NVE, ISBN 82-410-0520-2.

Fjeldstad, H.-P. and J. Heggenes (1999). Fiskehabitatforhold i Stjørdalselva ved Gudå - Fiskepreferanser. SINTEF Rapport STF22 A99409 SINTEF Bygg og Miljøteknikk, Hydrologi og Vassdrag.

Hammar, L. og H.T.Shen (1993). Frazil transport and evolution in channels. Proceedings of the 7th workshop on the hydraulics of river ice. Saskatchewan, Canada.

Hammar, L. og H.T.Shen (1991). A mathematical model for frazil ice evolution and transport in channels. Proceedings of the 6th workshop on the hydraulics of river ice. Ottawa, Canada.

Harby, A. K.A. Vaskinn, K. Alfredsen, Å. Killingtveit, A. Erlandsen, J. Heggenes, S.J. Saltveit, O. Lingaas (1999). Methods and applications of fish habitat modelling in Norway. In: Proceedings from 3rd international symposium on ecohydraulics (CD-ROM). Salt Lake City, Utah, USA 12-16 juli 1999.

Heggenes J & J.G. Dokk (2001). Contrasting temperatures, waterflows, and light: seasonal habitat selection by young Atlantic salmon and brown trout in a boreonemoral river. Regulated Rivers 17: 623-635.

Hesthagen, T. (1990). Home range of juvenile Atlantic salmon, *Salmo salar*, and brown trout, *Salmo trutta*, in a Norwegian stream. Freshwater Biology 24: 63-67.

Hiryama, K., M. Yamazaki and H. T. Shen (2002). Aspects of river ice hydrology in Japan. Hydrological processes 16.

Hiscock, M. J., D. A. Scruton, J. A. Brown & C. J. Pennell (2002b). Diel activity pattern of juvenile Atlntic salmon (Salmo salar) in early and late winter. Hydrobiologia 483: 161-165.

Indergård, T. (2004). Data collection and modelling of Øyvollen, Dalåa for analyzis of winter habitat for juvenile Atlantic salmon (*salmo salar*). Prosjektoppgåve, Institutt for vann- og miljøteknikk, NTNU.

Kannavin, E. (1970) Islegging i sjøer og elver. Norges vassdrags- og elektrisitets-vesen.

Kerr, D. J., H. T. Shen and S. F. Daly (2002). Evolution and hydraulic resistance of anchor ice on gravel bed. Cold regions science and technology 35: 101-114.

Linnansaari, T., J.H. Halleraker, og R.A. Cunjak. (2005) Efficacy and accuracy of portable PIT antennae and its use for tracking juvenile Atlantic salmon (*salmo salar L.*) in an ice covered stream. *Accepted for publication in Hydrobiologia.*

Marchand, W. (1996) Fish Habitat Modelling. Diplomoppgåve, Institutt for vassbygging, NTNU.

Matousek, V. (1992) Frazil and skim ice formation in rivers. Proceedings of the 11th international ice symposium, Banff, Alberta, pp. 1-22.

Matousek, V. (1984) Types of ice run and conditions for their formation. Proceedings of the IAHR international ice symposium, Hamburg, Tyskland, vol 1, pp. 315-327.

Mellquist, P. (1986) Liv i regulerte elver. Kraft og miljø nr. 10. Norges vassdrags- og energidirektorat.

Michel, B., (1971). Winter regime of rivers and lakes. U.S. Army Cold Regions Research and Engineering Laboratory, Hanover, N.H. Monograph III-B1a.

NOU (1999). Til laks åt alla kan ingen gjera. Norges Offentlige utredninger 1999: 9, ISBN 82-583-0476-3.

Olsen, N.R.B, I. Pegg, K.T.Alfredsen, H-P.Fjeldstad & T.Å. Fergus (2004). 3D CFD modelling of sediment deposition in habitat improvement structures. In: (Garcia de Jalon & Martinez (eds)) Proceedings of the fifth international symposium on ecohydraulics. Madrid, Spain, 12-17 september, pp. 508-515.

Olsen, N.R.B. (2000). A three-dimensional numerical model of sediment movements in water intakes with multiblock option. Version 1.1 and 2.0 for OS/2 and Windows. User's Manual. Department of hydraulic and environmental engineering, NTNU, Trondheim, Norway.

Olsen, N. R. B. & S. Stokseth (1995). Three-dimensional modelling of water flow in a river with large bed roughness. IAHR Journal of Hydraulic Research **33** (4): 571-581.

Power, G., R. A. Cunjak, J. Flannagan & C. Katopodis (1993). Biological effects of river ice. In: T.D. Prowse and N.C. Gridley (eds) Environmental aspects of river ice, National Hydrology Research Institute, Environment Canada.

Robertson, M. J., C. J Pennell, D. A. Scruton, G. J. Robertson & J. A. Brown (2004). Effect of increased flow on the behaviour of Atlantic salmon parr in winter. Journal of Fish Biology 65: 1070-1079.

Robertson, M. J., K. D. Clarke, D. A. Scruton & J. A. Brown (2003). Interhabitat and instream movements of large Atlantic salmon parr in a Newfoundland watershed in winter. Journal of Fish Biology 63:1208-1218.

Saunders, R. L. & J. H. Gee (1964). Movement of young Atlantic salmon in a small stream. Journal of the Fisheries Research Board of Canada 21: 27-36.

Shen, H. T., (2003). Research on river ice processes: Progress and missing links. Journal of Cold Regions Engineering: 135-142.

Shen, H.T. (2002) Development of a comprehensive river ice simulation system. In: (Squire and Langhorne, eds) Ice in the environment. Proceedings of the 16th International Symposium on ice. Dunedin, New Zealand, desember 2002. Vol 1, pp. 142-149. ISBN 1-877139-52-1.

Shen HT, DS Wang og AMW Lal (1995) Numerical simulation of river ice processes. Journal of cold regions engineering 9 (3): 107-118.

Shen HT, DS Wang og AMW Lal (1993). A river ice model – RICEN; model formulation and program guides. Rep.No. 93-7, Dept of Civil and Envir. Eng. Clarkson University.

Steffler, P. (2000) River 2D. Two dimensional depth averaged model of river hydrodynamics and fish habitat. Users Manual. University of Alberta.

Stickler, M. og K. Alfredsen (2005). Factors controlling anchor ice formation in two steep Norwegian rivers. In: Proceedings of the 13th workshop on ice covered rivers. Committee on River Ice Processes and the Environment. (CD-ROM).

Tesaker, E. (1994). Ice formation in steep rivers. Proceedings of the 12th international ice symposium, IAHR, Trondheim, Norway.

Whalen, K. G., D. L. Parrish & M. E. Mather. (1999) Effect of ice formation on selection of habitats and winter distribution of post-young-of-the-year Atlantic salmon parr. Canadian Journal for Fisheries and Aquatic Sciences 56: 87-96.

Whalen KG, D.L. Parrish (1999). Nocturnal habitat use of Atlantic salmon parr in winter. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science **56**: 1543-1550.

Vedlegg 1

Islegging i stasjonen vinteren 2004-2005.

Resultat av vinterisgang på Øyvollen i januar 2004.

Vedlegg 2

surface pattern	smooth/rippled	wave height <0.05 m
	broken / unbroken standing waves	wave height >0.05 m
surface gradient	steep	(>4%)
	moderate	(<4%)[1]
surface velocity	fast	>0.5 m/s
	slow	<0.5 m/s
water depth	deep	>0.7 m
	shallow	<0.7 m
substrate type	Clay (CL)	<.002mm
	Silt (SI)	<.02
	Sand (SA)	<2 mm
	Gravel (GR)	<16 mm
	Pebble (PB)	<64 mm
	Cobble (CO)	<300mm
	Boulder (BO)	>300mm
	Bedrock (BE)	continuous rock

surface pattern (SP)	surface gradient (SG)	surface velocity (SV)	water depth (WD)	Code	Name
smooth/little waves	steep	fast	deep	A	Run
			shallow		
		slow	deep		
			shallow		
	moderate	fast	deep	B1	Deep Glide
			shallow	B2	Shallow Glide
		slow	deep	C	Pool
			shallow	D	Walk
broken/riffling	steep	fast	deep	E	Rapid
			shallow	F	Cascade
		slow	deep		
			shallow		
	moderate	fast	deep	G1	Deep Splash
			shallow	G2	Slallow Splash
		slow	deep		
			shallow	H	Rill

Denne serien utgis av Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE)

Utgitt i rapportserien Miljøbasert vannføring:

Nr. 1-02 Thomas Skaugen, Marit Astrup, Zelalem Mengistu, Bjarne Krokli: Lavvannføring - estimering og konsesjonsgrunnlag (28 s.)

Nr. 1-03 Eva B. Thorstad, Finn Økland, Nils Arne Hvidsten, Peder Fiske, Kim Aarestrup: Oppvandring av laks i forhold til redusert vannføring og lokkeflommer i regulerte vassdrag (51 s.)

Nr. 2-03 Per Ivar Bergan, Carsten S. Jensen, Finn R. Gravem, Jan Henning L'Abée-Lund, Anders Lamberg, Peder Fiske: Krav til vannføring og temperatur for oppvandring av laks og sjøørret (63 s.)

Nr. 1-04 Hervé Colleuille, Tor Simon Pedersen, Panagiotis Dimakis: Elv og grunnvann. Analyse av interaksjon mellom et grunnvannsmagasin og Glomma på Rena, Hedmark (002.Z) Rapport 1. Formål og metoder (67 s.)

Nr. 2-04 Hervé Colleuille, Tor Simon Pedersen, Panagiotis Dimakis, Bjørn Frengstad: Elv og grunnvann. Analyse av interaksjon mellom et grunnvannsmagasin og Glomma på Rena, Hedmark (002.Z). Rapport 2. Materiale og feltmålinger (113 s.)

Nr. 3-04 Hervé Colleuille, Wai Kwok Wong, Panagiotis Dimakis: Analyse av interaksjon mellom et grunnvannsmagasin og Glomma på Rena, Hedmark (002.Z). Rapport 3. Grunnvannsmodellering (114 s.)

Nr. 4-04 Bjørn Ove Johnsen og Nils Arne Hvidsten: Krav til vannføring i sterkt regulerte smålaksvassdrag (68 s.)

Nr. 5-04 Torulv Tjomsland: Abiotiske effekter i reguleringsmagasiner. Temperatur- og isforhold i Follsjøen og i vassdraget nedenfor (25 s.)

Nr. 6-04 Svein Jakob Saltveit, Peder Fiske, Åge Brabrand, Harald Sægrov, Ola Ugedal: Bruk av fangst statistikk for å belyse effekt av endret vannføring på fisk (46 s.)

Nr. 7-04 Peder Fiske, Arne Johan Jensen: Mot en modell for sammenhengen mellom vannføring og fiskeproduksjon. Fase 1 - Evaluering av presmoltsammenhenger (30 s.)

Nr. 1-05 Hans-Petter Fjeldstad, Tharan Fergus, Nils Reidar Bøe Olsen: Habitatforbedrende tiltak - geomorfologiske prosesser, sedimenttransport, erosjon og simulering av optimale forhold for fisk (34 s.)

Nr. 2-05 Åge Brabrand, Trond Bremnes, Svein Jakob Saltveit, Andreas G. Koestler, Jim Bogen: Økologisk betydning av grunnvann for bunndyr og fisk (64 s.)

Nr. 3-05 Gunnar G. Raddum, Arne Fjellheim, Gaute Velle: Populasjonsstrukturen hos bunndyr i Aurlandselva i relasjon til endringer i vannføring og temperatur (48 s.)

Nr. 4-05 Arve Misund, Hervé Colleuille, Oddmund Soldal: Elv og grunnvann. Analyse av interaksjon mellom grunnvann og elvevann i et typisk vestlandsdalføre: Osa, Hordaland (84 s.)

Nr. 5-05 Wai Kwok Wong, Hervé Colleuille: Elv og grunnvann. Estimering av grunnvannsbidrag til det totale avløpet ved hydrogramseparering (62 s.)

Nr. 6-05 Thomas Væringstad, Hege Hisdal: Estimering av alminnelig lavvannføring i umålte felt (40 s.)

Nr. 7-05 Hege Hisdal: Regional metodikk for estimering av lavvannskarakteristika (53 s.)

Nr. 8-05 Hervé Colleuille, Panagiotis Dimakis, Wai Kwok Wong: Elv og grunnvann. Sluttrapport - Oppsummering og anbefalinger (41 s.)

Nr. 1-06 Knut Alfredsen, Morten Stickler, Tommi Linnansaari: Verknader av is på habitat for fisk i elver med habitattiltak og minstevassføring (43 s.)