

Känslighet hos lax från Enningdalsälven, Gullspångsälven, Rolfsån och Drammenselva för parasiten *Gyrodactylus salaris* i laboratorieförsök

av

Lars Karlsson¹, Sven Kollberg¹, Kjetil Olstad² och Tor Atle Mo²

1. Fiskeriverket, Sötvattenslaboratoriet, Brobacken, SE-814 94 Älvkarleby, Sverige
2. Veterinärinstituttet, POB 8156 Dep., N-0033 Oslo 1, Norge

1. INLEDNING

Parasiten *Gyrodactylus salaris* påträffades första gången på lax i Norge vid Sunndalsöra 1975 och samtidigt i en nordnorsk älv, Lakselva, i fylket Nordland (Johnsen och Jensen 1991). Sannolikt hade parasiten följt med transporter av odlad lax från den svenska delen av Östersjö-området till norska odlingar. Parasiten har förorsakat stor dödlighet hos laxbestånden i de norska vattendrag dit den lyckats sprida sig (Johnsen och Jensen 1991). Hösten 2002 hade 44 laxförande vattendrag infekterats med parasiten (opublicerade data T.A. Mo).

I Östersjö-området är *G. salaris* väl spridd i odlingar och i vilda bestånd. Parasiten, som tillhör gruppen Monogenea, påträffades första gången i fiskodlingen i Hölle vid Indalsälven år 1951 (Malmberg 1957). Vid senare undersökningar har den påträffats på lax i 7 av 13 undersökta svenska fiskodlingar samt i tre vildlaxbestånd, Ume/Vindelälven, Mörrumsån och Torneälven (Malmberg och Malmberg 1991). Under de senaste åren har det konstaterats relativt höga mängder av parasiten vid omfattande undersökningar i Torneälven (Mo och Perä 2002). Det har dock inte rapporterats att parasiten skulle ge upphov till dödlighet på lax tillhörande vilda bestånd i Östersjö-området. Malmberg (1957) beskev situationen på följande sätt: "Fiskar, som äro i god kondition, kunna icke angripas av *Gyrodactylus* i någon större utsträckning. *Gyrodactylus* är nämligen en typisk så kallad svaghetsparasit." I svenska fiskodlingar som är anslutna till organiserad fiskhälsokontroll har infektion av *Gyrodactylus* spp. under de senaste 25 åren medverkat vid en begränsad dödlighet i ett fåtal fall (pers. komm. U.-P. Wichardt, Fiskhälsan FH AB). Erfarenheterna i Finland är likartade. Här påträffades *G. salaris* på lax eller regnbågslax i nära 40% av fiskodlingarna i norra Finland (Koski och Malmberg 1995, Rintamäki-Kinnunen och Valtonen 1996). Endast ett fall finns beskrivet då *G. salaris* förorsakat dödlighet i en finsk fiskodling (Rintamäki 1989). Dessa erfarenheter bekräftas av infektionsförsök där lax från älven Neva i Östersjöområdet visade sig vara resistent mot *G. salaris*, medan två norska laxstammar föreföll sakna motståndskraft mot den (Bakke m fl 1990).

Det är inte helt klarlagt om *G. salaris* förekommit naturligt i laxförande vattendrag på svenska västkusten. Vid den första undersökning som utfördes på västkusten år 1989 påträffades parasiten i Lagans laxodling i Laholm och samma år på vilda laxungar i Sävån som tillhör

Göta älvs vattensystem (Malmberg och Malmberg 1991). Vad som talar för att parasiten är ny för västkusten är de relativt höga parasitmängder som enskilda fiskar kan ha (Alenäs m fl 1998, Karlsson 2001a, b). I flera fall har lax i vattendrag först varit parasitfria för att vid senare undersökningar påvisats vara infekterade, vilket tyder på att de spridit sig till vattendraget mellan kontrollerna. *G. salaris* har påvisats på vild lax i 10 av de 23 laxförande vattendragen på svenska västkusten. I stort sett samtliga vattendrag på södra västkusten är infekterade och några få i södra delen av Västra Götaland. (monitoringresultat hösten 2002, L. Karlsson). Biflöden till Göta älv är de nordligaste vattendrag där den påvisats. Det har under ett decennium diskuterats vilket inflytande *G. salaris* har på laxbestånden. En rad olika argument och analyser har anförts för att *G. salaris* har stort, måttligt eller möjligen nästan inget inflytande på bestånden på västkusten (Alenäs m fl 1998, Degerman 1998). Klart är att många drabbade bestånd under 1990-talet varit mycket svagare än de var på 80-talet, före upptäckten av parasiten. Det kan dock åtminstone till en del tillskrivas faktorer som låg havsöverlevnad för lax och låga sommarvattenföringar i vattendragen under 1990-talet, något som minskat överlevnaden av lax- och öring-ungar (Degerman m fl 1997, Degerman 1998).

Under hösten 2001 påträffades *G. salaris* i en kassodling för regnbågslax i Södra Bullaresjön i Enningdalsälvens nederbördsområde (Figur 1). Älven utgör gränsvattendrag mellan Sverige och Norge och det är huvudsakligen i de nedre norska delarna som det finns ett vilt laxbestånd (se detaljer i Avsnitt 3, Enningdalsälven). Det är inte känt hur länge parasiten förekommit i fiskodlingen, eftersom inga kontroller av *G. salaris* utförts där tidigare. Regnbågslax har dock troligen funnits kontinuerligt i fiskodlingen sedan början av 1980-talet. Regnbågslax, som med stor sannolikhet rymt från fiskodlingen, har påträffats i sjön och i älven, men parasiten har inte spridit sig till det vilda laxbeståndet i älven.

Den parasit som påträffades i fiskodlingen klassificerades som regnbågslaxens speciella typ av *G. salaris* (bestämd av G. Malmberg, Zoologiska Institutionen, Stockholms universitet). Denna form skiljer sig något från den parasit som orsakat dödlighet i de flesta norska laxälvar, men även regnbågsformen kan förorsaka dödlighet hos lax (Mo 1991). Däremot saknas naturligtvis specifik information om potensen hos den parasit som påträffades i fiskodlingen i Södra Bullaresjön. Vidare är påverkan av *G. salaris* på svenska laxbestånd i vilket fall som helst inte alls lika stor som den är i Norge och Enningdalsälvsaxen kan antingen likna bestånden i Sverige eller i Norge. Detta medförde att svenska myndigheter hade svårt att bedöma risken för att det vilda laxbeståndet i Enningdalsälven skulle påverkas negativt vid en eventuell spridning av parasiten. Som en konsekvens av denna osäkerhet var det svårt att fastställa lämpliga åtgärder för att förhindra spridning av parasiten.

För att studera vilken effekt en infektion av *G. salaris* kan få på laxbeståndet i Enningdalsälven bestämdes det att infektionsförsök skulle utföras med parasiten. En rad infektionsstudier med *Gyrodactylus* parasiter har genomförts sedan man upptäckte den norska laxens höga känslighet (Bakke och Harris 1998; Lindenström och Buchman 1998). I sådana studier har bland annat studerats inverkan av omvärldsfaktorer som temperatur och salthalt på utfallet, skillnader mellan laxstammar och känslighet hos olika fiskarter (Bakke och Harris 1998). Lax från någon svensk stam på västkusten har dock inte undersökts tidigare. Även för laxbestånden i Väner-området är det omdiskuterat vilken påverkan *G. salaris* kan få vid en infektion och därför bestämdes det att laxbestånd därifrån skulle ingå i försöken.

Norska forskare har påvisat att vattenkvaliteten kan ha stor betydelse för utvecklingen av en *G. salaris*-infektion (Soleng m fl 1999, Poleo 2001). I infektionsförsök där mängden fritt aluminium i vattnet ökades på experimentell väg dog parasiterna medan laxungarna

överlevde. De flesta västsvenska laxförande vattendragen är försurade och kalkas (Anon. 1999). En försurning medför att aluminiumhalten i vattnet ökar, något som kan påverka överlevnad av laxungar negativt (Dickson 1983; Rosseland m fl 1990). Detta innebär att vattenkvaliteten i försurade svenska vattendrag på västkusten kan ha hämmande inverkan på utveckling av en *G. salaris*-infektion, samtidigt som laxungar också påverkas. Följaktligen bedömdes det som angeläget att utföra försök med vatten med de fysikaliska och kemiska egenskaper som fanns på västkusten, framförallt i Enningdalsälven. Det kan vara betydelsefullt att även i andra avseenden skapa en försöksmiljö som ger minsta möjliga negativa påfrestning på fisken. Stress kan påverka fisk så att patogener kan föröka sig och döda fiskvärden (Sinderman 1983, Bakke och Harris 1998, Harris m fl 1999). För västkustens laxstammar kan detta vara speciellt viktigt att undvika, eftersom de möjligen har ett intermediärt läge mellan norska laxstammar och lax från Östersjö-området då det gäller känslighet för *G. salaris*. Bland faktorer som kan påverkas finns till exempel transportlängd från ursprungsplats till försöksplats, hur mycket fisken hanteras och att den använda fisken har tillgång till naturlig föda (driftfauna eller pellets) samt normal vattenkvalitet och naturlig dygnsrytm.

Vid Veterinärinstitutet i Oslo har infektionsförsök med standardiserad metodik tidigare genomförts med en rad olika laxstammar (Sterud m fl 2002). Det bedömdes som centralt att försök genomfördes med en välutprovad metodik för att resultaten skulle accepteras både i Norge och i Sverige. På grundval av resonemangen ovan beslöts det att genomföra infektionsförsöken på två platser. De genomfördes dels vid Veterinärinstitutet i Oslo enligt den noggrant specificerade försöksmall som finns där. Dessutom genomfördes laborieförsök i Sverige vid en fältstation vid Södra Bullaresjön med det klara målet att i största möjliga utsträckning efterlikna de naturliga förutsättningarna vid en eventuell *G. salaris*-infektion i Enningdalsälven. En preliminär redovisning av de svenska resultaten har gjorts tidigare (Karlsson och Kollberg 2002).

2. MÅL FÖR INFEKTIONSFÖRSÖKEN

De infektionsförsök som utfördes vid en fältstation vid Södra Bullaresjön och vid Veterinärinstitutet i Oslo var avsedda att belysa följande frågor:

1. Kan den stam av *G. salaris* som påträffats i fiskodlingen vid Södra Bullaresjön infektera lax?
2. Även om parasiten kan infektera fisken så kan laxen genom en aktiv motreaktion vara resistent mot den i olika utsträckning. Har Enningdalslaxen en naturlig motståndskraft mot *G. salaris* och hur stor är den i så fall?
3. Finns det skillnader i motståndskraft mot *G. salaris* hos laxungar från Enningdalsälven, Gullspångsälven, Rolfsån och den norska Drammenselva?
4. Finns det skillnader i fiskens reaktion vid försök på olika platser?
5. Finns det skillnader i fiskens mottaglighet för olika stammar av *G. salaris*?

3. BESKRIVNING AV DE ANVÄNDA LAXBESTÅNDEN

I försöken användes laxungar som härstammar från fyra olika vattendrag och här ges bakgrundsdata om de olika bestånden.

Enningdalsälven

Enningdalsälven har en längd av 75 km och avrinningsområdet är 782 km². Älven mynnar i Idefjorden som utgör gräns mellan Norge och Sverige (Figur 1). Den laxförande delen av älven sträcker sig från mynningen och 13 km upp till sjöarna Norra och Södra Bullaresjön som ligger i en 3 mil lång sprickdal. Mellan Norra och Södra Bullaresjön finns dessutom en sträcka på 1 km, Långevallsälven, som är lämplig för laxungar. Arealen lämpliga uppväxtområden för lax har skattats vara 4,5 ha på norska sidan och ca 1,7 ha i Sverige (Saltveit 1988, Saltveit 2002, Anon. 1999). Laxen i älven betraktas som ursprunglig. Årliga utsättningar av laxungar görs i Norge. *Gyrodactylus*-monitoring har utförts i vattendraget vid 15 tillfällen mellan 1988 och 2002. Senaste kontrollerna utfördes hösten 2002 vid Berby och i Långevallsälven inom ramen för norska och svenska monitoringprogram (L.R. Karlsen, Fylkesmannen Østfold, L. Karlsson, Fiskeriverket). Inga *Gyrodactylus*-parasiter har påträffats på lax i vattendraget.

Gullspångsälven

Vänern är en av det fåtal sjöar som hyser s.k. relikta laxbestånd, dvs laxbestånd som blivit kvar i sötvatten genom landhöjningen efter senaste istiden (Figur 1). Numera är laxbestånden i Gullspångsälven och Klarälven de enda som finns kvar i Vänerområdet. Gullspångsälvens laxförande del är starkt begränsad. Arealen av uppväxtområden som var lämpliga för lax bedömdes ursprungligen vara ca 10 ha. Numera är stora delar av områdena skadade av korttidsreglering och flottledsrensning så att mindre än 5 ha återstår (Nyberg 1997, pers. komm. A. Johlander, Fiskeriverket). Båda laxstammarna odlas vid flera fiskodlingar i Vänerområdet. Årligen sätts det ut 170-200000 smolt av de båda stammarna i Vänern. Lax från Gullspångsälven sätts också ut i Vättern. Vänerlaxen anses ha en mellanställning mellan laxbestånden i Östersjöområdet och i Nord-Atlanten och det är osäkert vilken av de båda grupperna den är närmast släkt med (Nilsson m fl 2001). Detta har förstärkt farhågor att *G. salaris* om den sprider sig till Vänerområdet ska kunna ha en likartad inverkan som den haft på norska laxbestånd.

Den enda information som finns om Gullspångslaxens känslighet för *G. salaris* härstammar från ett besök vid fiskodlingen i Hölle vid Indalsälven i april 1954 (Malmberg 1988, Malmberg och Malmberg 1991). En bassäng med Gullspångslax fanns vid sidan av bassängerna med Östersjöslax från Indalsälven. Malmberg (op. cit.) observerade att Gullspångslaxen var påverkad av gyrodactylos (sjukdom till följd av *Gyrodactylus*-infektion). Enligt fiskodlingsföreståndaren var Gullspångslaxen känsligare och svårare att framgångsrikt bada mot *G. salaris*. Gullspångslax har dock senare odlats under lång tid i fiskodlingar i Östersjöområdet utan att några sådana problem har förekommit (pers. komm. U.-P. Wichardt, Fiskhälsan). Endast ett fåtal kontroller av förekomsten av *G. salaris* har gjorts i Vänerområdet. I samband med export av laxungar från Gammalkroppa fiskodling i Vänerområdet till Norge åren 2000 och 2001 har kontroller utförts av 60 laxungar vid varje tillfälle. Under senhösten 2001 undersöktes vilda laxungar i Gullspångsälven. Inte vid något av dessa tre tillfällen har *Gyrodactylus*-parasiter påträffats.

Rolfsån

Rolfsån har en längd av 75 km och ett avrinningsområde på 694 km². Den laxförande delen av ån sträcker sig från mynningen ca 10 km innan ett kraftverk begränsar laxens utbredning. Den totala arealen uppväxtområden som är lämpliga för lax har bedömts vara 3,1 ha. Laxstammen betraktas som ursprunglig och inga utsättningar förekommer i vattendraget. (Anon. 1999). En genetisk studie av Jansson (1997) visade att laxbeståndet var väl genetiskt skilt från andra stammar på västkusten. Förekomsten av *G. salaris* har undersökts 1997, 1999,

2001 och 2002. Ingen *G. salaris* har påträffats i ån, men däremot har *G. derjavini* påträffats på laxungar.

Drammenselva

Drammenselva är den näst största norska älven med ett nederbördsområde av 17096 km². Älven mynnar i Oslofjorden ca 120 km nordväst om Enningdalsälvens mynning i Idefjorden (Figur 1). Sammandraget nedan är hämtat från Eken och Garnås (1990). Laxfiske i vattendraget har gamla anor med statistik tillbaka till 1876. Efter en lågfångstperiod under 1950-70-talet som anses bero på utsläpp bland annat från träförädlingsindustrier ökade laxbeståndet åter mot slutet av 1980-talet till följd av bättre vattenkvalitet och utsättningar. Under 1986-87 påträffades *G. salaris* i två fiskodlingar för regnbågslax i Tyrifjorden, en sjö i Drammenselvas nederbördsområde. Hur parasiten kommit till sjön är inte känt, men det antas att den följt med fisk som transporterats till odlingen. Hösten 1987 påvisades parasiten på laxungar i vattendraget och den näraliggande Lierelva, dit parasiten tros ha spritt sig via en vattenförande tunnel. Fram till 1989 påträffades *G. salaris* bara i nedre delen av Drammenselva, nedanför Hellefossen (knappt 20 km uppströms mynningen), men detta år påvisades den också uppströms Hellefossen samt i biflöden. Under 1989 ökade infektionens styrka kraftigt och mer än 10000 parasiter förekom på de starkast infekterade laxungarna. Förutom parasiter registrerades också kraftiga svampinfektioner, fenslitage och hudskador på laxungarna. Tätheten av laxungar i elfisken minskade också något detta år och ett år senare skedde en drastisk minskning av antalet laxungar. Tätheten av laxungar vid Hellefossen har kontrollerats årligen med elfiske sedan 1986 (Garnås och Moresi 2000, Anon. 2002a). Efter infektionsutbrottet har tätheten genomsnittligt varit ca 10% av den som förekom under perioden före infektionen. För att kompensera för förlusten av laxproduktion på grund av *G. salaris*-infektionen sätts det årligen ut 50-80000 smolt och 200-300000 1-somriga laxungar i vattendraget (pers. komm. E. Garnås, Fylkesmannen Buskerud). På grundval av de data som redovisas ovan samt resultat i infektionsförsök anses laxstammen vara känslig för *G. salaris*-infektioner (Bakke m fl 2002).

4. MATERIAL OCH METODER

Försöksfisk, parasiter, vattenkemi

Ettåriga laxungar användes som försöksfisk. Deras genomsnittliga längd framgår av Tabell 3. Vilda laxungar från Rolfsån och Enningdalsälven fångades med elfiske i respektive vattendrag. Fisk från Enningdalsälven hämtades vid två lokaler. En del av fisken fångades i Berby i den norska delen av älven och resten kom från den svenska Långevallsälven (Figur 1). Odlad Gullspångslax hämtades från Brattfors laxodling nära Filipstad i Väner-området. Odlad lax från Drammenselva hämtades från en fiskodling nära Hellefoss vid Drammenselva. I de fall då fisk skulle användas vid båda försöksplatserna, delades fisken upp i två grupper innan de transporterades till försöksanläggningen vid respektive plats i påsar innehållande 1/3 vatten och fisk och 2/3 syre.

Ett sextiototal *G. salaris*- infekterade regnbågslaxar av årsklass 01 (vikt 3-4 hg) hade under flera veckor före försöksstarten hållits vid en temperatur av ca 12° vid Svensk Regnbågslax fiskodling i Smeviken för att öka upp antalet parasiter på fisken. En kontroll före försöket visade att fisken var kraftigt infekterad. Ett 30-tal regnbågslaxar transporterades till Oslo och 30 fraktades till försöksplatsen vid Södra Bullaresjön. *G. Salaris*-infekterade laxungar från Lärdalselva användes för överföring av parasiten till Veterinärinstitutet i Oslo. Dessa laxungar fick infektera odlad fisk som vistades i samma bassäng. Den odlade fisken hölls i två månader före försöksstarten. *G. salaris* från Ätran hämtades genom elfiske av infekterade laxungar i vattendraget i samband med hämtning av fisk från Rolfsån.

Prover på vattnets sammansättning togs i början och slutet av försöksperioden på ingående vatten i försökslokalerna vid Södra Bullaresjön och vid Veterinärinstitutet i Oslo samt i Enningdalsälven vid Berby i Norge (Figur 1).

Försök vid Södra Bullaresjön

Försökslokal och vattenkvalitet

Smittförsöken genomfördes under perioden 6 maj till 16 juli 2002 i en byggnad vid sågverket i Östad vid Södra Bullaresjön (Figur 1). Lokalen låg ca 30 meter från stranden av sjön. En sugledning lades ut i Bullaren och i början var vattenintaget placerat på 2,5 meters djup. Då vattentemperaturen i försöksbassängerna i mitten av maj steg till drygt 15° flyttades vattenintaget till ett djup av 6.5 meter. Det innebar att intaget hamnade nära språngskiktet och att vattentemperaturen under resterande del av försöket kunde hållas nära 12°. Vatten pumpades till en fördelningstank belägen 10 meter över sjöns yta. Därifrån rann vatten genom självtryck till en tank i försökslokalen där det vid behov luftades och värmdes. Från denna tank fördelades vattnet med självtryck till de olika försöksbassängerna. Från bassängerna leddes vattnet i avloppsrör till ett gemensamt utlopp i en infiltrationsgrop som fyllts med 4 m³ grus, senare kompletterat med ytterligare 2 m³, för att säkerställa att avloppsvatten filtrerades innan det rann ut i sjön. Som en säkerhetsåtgärd ifall ett strömavbrott skulle inträffa placerades en 50 l syrgastub med fördelare till samtliga försöksbassänger. Vid strömavbrott öppnades en magnetventil och syre strömmade ut i bassängerna.

Försöket

I försöken användes fisk från Enningdalsälven (Berby i Norge och Långevallsälven i Sverige), Gullspångsälven och Rolfsån. *G. salaris* stammen kom från regnbågslax. En översikt av försöken ges i Tabell 3, inklusive samtliga försökskombinationer. Då fisken transporterats till anläggningen kontrollerades förekomsten av *Gyrodactylus* och andra yttre parasiter på den. Eftersom Rolfsåfisk var svagt infekterad med *G. derjavini* (artbestämd av T.A. Mo) behandlades den med formalin två gånger för att eliminera parasiten. Avsikten var att ha två försöksreplikater för varje stam. Tyvärr inträffade flera missöden med Rolfsåfisk som medförde dödlighet både i Oslo och vid Södra Bullaresjön. Av den anledningen kunde bara en försöksbassäng sättas upp. Efter transporten till anläggningen fick fisken akklimatisera sig en vecka innan infektionsförsöket startade. Fisk från olika stammar hölls separerade i 1 m² stora bassänger och laxungar från den norska delen av Enningdalsälven och fisk från den svenska Långevallsälven hölls också separerade i var sin bassäng. En naturlig ljus-mörkerkrytmik erhöles genom det ljus som kom in genom försökslokalens fönster och bassängerna var till 2/3 täckta med mörk plast för att ge fisken möjligheter till skydd. Vattendjupet i bassängerna var 15-20 cm och vattenflödet låg i intervallet 2-3 liter/minut. Varje bassäng hade separata håvar samt rengöringsborstar mm för att undvika kontaminering mellan bassänger. Fisken utfodrades ca varannan dag såväl under akklimatiseringen som under smittförsöket. Den odlade Gullspångslaxen utfodrades med pellets, medan den vilda fisken erhöles levande föda i form av sländelarver, fiskyngel och annat som hävades upp från bäckar i omgivningen samt inköpta maggots.

Totalt användes ett trettiotal regnbågslaxar för att infektera laxungarna. Regnbågslaxen avlivades genom slag i huvudet varefter fenorna skars av. Fenor och samtliga laxyngel av en stam placerades i ett 20 l kärl med svag vattengenomströmning och hölls där i ca 40 timmar. Några laxungar kontrollerades mot slutet av perioden så att de var infekterade och därefter delades fisken i grupper om ca 25 fiskar och placerades i försökstrågen om 1 m². Under hela

försöksperioden hölls noggrann kontroll på dödligheten och sannolika skäl till dödligheten noterades.

Antalet parasiter räknades var sjunde dag på ett tiotal slumpmässigt valda laxungar från varje försöksbassäng med början en vecka efter infektionen. Fisken bedövades i en lösning av klorbutanol (0,04 %). Därefter mättes fiskens totallängd, den las i ett kärl med vatten med halv bedövningstyrka och samtliga fenor, kroppen och huvudet undersöktes. Antalet parasiter noterades och räknades samman till en totalsumma för hela fisken. När fisken från en bassäng undersökts, sköljdes kärlet med rent vatten, tvättades med antibakteriell lösning (Virkon S) och sköljdes därefter åter med rent vatten innan genomgången fortsatte med fisk från nästa bassäng.

Försöken avslutades 10 veckor efter försöksstarten (nio veckor för Enningdalslax från Långevallsälven). Vid avslutningen kontrollerades antalet parasiter på samtliga laxungar och därefter konserverades försöksfisken i etanol.

Försök vid Veterinärinstitutet, Oslo

Försökslokal och vattenkvalitet

Försöken genomfördes under perioden 7 maj till 19 juli 2002 vid Veterinärinstitutets försöksanläggning vid Adamstuen i Oslo. Vattnet som brukades i akvarieanläggningen var deklorinerat och filtrerat dricksvatten från Oslo kommuns nät, kemisk sammansättning framgår av Tabell 1. Under försöksperioden höll vattnet en temperatur av 7,5-8°C.

Akvarieanläggningen ligger i en källarlokal utan tillgång till dagsljus och med automatiskt reglerat 12 timmar ljus/12 timmar mörker. Fisken hölls i grå glasfiberbassänger om 50 x 50 cm eller 100 x 100 cm med ca 200 respektive 400 liter vatten. Samtliga kar hade en kontinuerlig vattentillförsel om 2 l/minut och luft bubblades in med hjälp av 1 cm² diffusorer. Bassängerna var täckta med svagt genomskinliga glasfiberlock. Varje kar hade separata håvar och rengöringsborstar.

Försöket

I försöken användes fisk från Enningdalsälven, Gullspångsälven, Rolfsån och Drammenselva. Infektioner genomfördes med tre olika typer av *G. salaris*. Parasiterna härstammade från regnbågslax, Lärdalselva och från Ätran, Tabell 3. Fisken hölls i försökskaren under minst en vecka innan försöken startade. Under hela perioden utfodrades fisken varannan dag med kommersiellt granulerat foder (1,5 mm). Fisken från Rolfsån var infekterad med *G. derjavini* vid ankomsten till Oslo (artbestämt av Tor Atle Mo). Den blev inte behandlad mot infektionen innan försöket startade. Övrig fisk var inte infekterad med *Gyrodactylus*-parasiter.

Fisken infekterades över natt (12 timmar) i 40 x 40 cm kar med 10 l vatten. Inget vatten tillfördes under infektionsöverföringen, men luft bubblades in kontinuerligt med hjälp av 1 cm³ utströmmarstenar. *G. salaris* tillfördes på fenor av infekterad fisk efter att dessa avlivats genom ett slag mot huvudet. Direkt efter infektionen räknades antalet parasiter på fisken innan den överfördes till respektive försöksbassäng. För lax från Enningdalsälven och Drammenselva genomfördes försöket i två varianter:

1. Där den infekterade fisken hölls i en grupp.
2. 12 fiskar per grupp isolerades i 10 x 15 x 20 cm plastboxar som innehöll 2 isoleringskammare. Boxarna hade finmaskigt nät i botten för att tillåta gott vattenutbyte. De två varianterna genomfördes i samma bassäng för respektive kombination av laxstam och *G. salaris*-typ.

Intensiteten av infektionen övervakades var sjunde dag genom räkning av samtliga parasiter på fenor och kropp på 10 slumpmässigt utvalda individer från varje grupp samt på alla isolerade fiskar. Fisken bedövades i 0,04 % klorbutanol innan räkningen gjordes under stereolupp medan fisken låg i en halverad koncentration av bedövningsmedel. All utrustning desinficerades med Virkon S vid byte av bassäng. Under räkningen blev laxen utsatt för så lite behandling som möjligt. Under hela försöksperioden registrerades död fisk dagligen. Alla försök avslutades efter 10 veckor.

Bearbetning av resultat

Resultaten anges som prevalens (andel smittade fiskar), intensitet (antal parasiter per laxunge) samt medelintensitet enligt Margolis m fl (1982). En relativ intensitet av parasitinfektionen för en försöksgrupp användes för att jämföra resultaten mellan olika försökskombinationer. Den beräknades på följande sätt:

$$(\text{Intensiteten för den enskilda individen i en försökskombination}) * 100 / (\text{medelintensiteten för försökskombinationen en vecka efter infektion})$$

Wilcoxon rank-sum test användes för att jämföra resultaten mellan olika tillfällen. Tamhanes test användes som ett posthoc test i en GLM för att jämföra relativa infektionsintensiteter. I testet förutsätts inte att variationen är lika stor inom olika försöksgrupper (SPSS 11.0).

5. RESULTAT

Vattenkemi

Den vattenkemiska sammansättningen i Oslo, Södra Bullaresjön och i Enningdalsälven i början och mot slutet av försöken framgår av Tabell 1. Skillnaden mellan Enningdalsälven och ingående vatten i försöksanläggningen var liten för de flesta parametrarna. Halterna av humusämnen var låg med $\text{TOC} < 10 \text{ mg/l}$ och även fosforhalterna var relativt låga. Halten av labilt aluminium i Enningdalsälven och försöksanläggningen i Södra Bullaresjön var anmärkningsvärt hög, 0,065-0,068 mg/l. Samtidigt var även pH-värdet högt med värden över 6,3 och kalciumhalten låg i intervallet 3,1-3,5 mg/l. Halten av labilt aluminium i Oslo låg under gränsen för detekterbarhet (mindre än 0,002 mg/l).

Södra Bullaresjön

Vattentemperaturen i försöksanläggningen varierade avsevärt mellan olika perioder av försöket (Tabell 2). Efter en inledande period (period 1) med låg temperatur steg vattentemperaturen under period 2 till ett medelvärde av ca $14,6^\circ\text{C}$ och ett maximum av ca 17°C under några dagar. Båda dessa värden är dock osäkra. Efter en justering av vattenintaget sjönk vattentemperaturen ned till ett medelvärde strax under 12°C under period 3. Dygnsvariationen var vanligen drygt 1°C med lägst temperatur på morgon och högst temperatur på eftermiddag-kväll. Genomsnittstemperaturen över hela infektionsförsöket, dvs period 2 och 3 tillsammans, var ca 12°C .

En översikt av de använda försökskombinationerna ges i Tabell 3. Försöken pågick i 10 veckor med samtliga fiskgrupper förutom den från Enningdal S (från Långevallsälven, Sverige) som testades i 9 veckor. Dödligheten var relativt olika i de olika bassängerna. I bassäng 3 utbröt en akut svampinfektion 2-3 veckor efter försöksstart, sannolikt till följd av alltför hög vattentemperatur. Fyra fiskar överlevde sedan vattengenomströmningen ökat och vattentemperaturen sjunkit. På grund av att gruppen var så liten undersöktes infektionsintensiteten endast vid avslutningen av försöket.

Infektionsintensiteten i de olika grupperna redovisas i Tabell 4 samt Figur 2. Resultaten för fisk i bassäng 3 redovisas bara i tabellen. För samtliga grupper skedde en kraftig uppgång i infektionen under de första veckorna. I bassäng 3 var 2 av 10 undersökta laxungar och i bassäng 4 var 1 av 10 fiskar inte infekterade en vecka efter försöksstarten. Däremot var samtliga undersökta laxungar infekterade en vecka senare. Fiskgruppen Enningdal N (från Berby, Norge) fick en avsevärt högre initialinfektion än de andra fiskgrupperna. Förökningen av antalet parasiter under vecka 1-4 i denna grupp skedde i likartad takt som i övriga grupper om hänsyn togs till initialinfektionen (Figur 3). Uppgången i parasitantal slutade 5-6 veckor efter infektionen. Istället minskade infektionsintensiteten i samtliga grupper utom Enningdal S. Vid slutet av försöksperioden var den totala nedgången av infektionen starkast för Gullspångslax, där en del av fisken saknade parasiter vecka 9-10. För fisk i bassäng 4 var prevalensen 90% vecka 9 och 57% vecka 10. Fisken i bassäng 3 visade samma utveckling och endast 1 av de 4 överlevande individerna var infekterad vecka 10 (prevalens 25%). För fisken från Rolfsån skedde först en stark ökning och därefter en snabb nedgång, prevalensen var fortfarande 100% vid slutet av försöket.

De båda grupperna av fisk från Enningdalsälven (N och S) hade en dödlighet i intervallet 45,5-50% av andra orsaker än olyckor, Tabell 5. Denna dödlighet skedde nästan uteslutande mot slutet av försöksperioden (Figur 4). För Enningdal N startade dödligheten under den period då infektionen började minska och för Enningdal S påbörjades den i samband med att infektionsintensiteten inte längre tilltog efter ca 45 dagar. För andra fiskgrupper var dödligheten i intervallet 7,4-12,5 % (om den akuta svampinfektionen i bassäng 3 inte räknades med). Dessutom var dödligheten i dessa bassänger inte koncentrerad mot slutet av försöksperioden. En del av dödligheten som drabbade Enningdalslax föreföll vara selektiv så att fisk med högt antal parasiter dog i högre utsträckning än de med lågt antal parasiter. Detta var dock svårt att belägga utom i de fall då det vid en veckogenomgång av fisken noterades att fisk med högt antal parasiter var döende. För lax från Enningdal S fanns en svag tendens till ökning av spridning och maximumvärde för antalet parasiter även mot slutet av den nio veckor långa försöksperioden. Samtidigt föreföll andra individer i de båda grupperna med Enningdalslax framgångsrikt kunna bekämpa parasiten, eftersom minimiantalet parasiter på laxungarna minskade. Hos fisk i båda grupperna förekom en mycket stark slemutsöndring mot slutet av försöksperioden och den direkta dödsorsaken var ofta svamprelaterad (sannolikt *Saprolegnia* sp.).

Veterinärinstitutet, Oslo

En översikt av försökskombinationerna ges i Tabell 3. Resultaten för fisk i grupper redovisas i Tabell 6 och Figur 4. Försöken med Enningdalslax måste på grund av svampangrepp (sannolikt *Saprolegnia* sp.) med delvis stor dödlighet avbrytas tidigare än planerat. Även försöken med lax från Drammenselva avslutades innan resultaten var helt klara på grund av mycket höga infektionsintensiteter som gjorde det omöjligt att ta fram säkra data. Detta gäller även för lax från Rolfsån.

Smittoöverföringen gav en prevalens på 100 % i alla försökskombinationer av laxstammar och *G. salaris*-stammar. Alla kombinationer visade en ökning av antalet parasiter per fisk från första räkningen. Tre kombinationer visade ett förlopp med en nedgång i parasitantalet efter en ökning i 4-7 veckor. För Gullspångslax med *G. salaris* från regnbåglax började den efter 4 veckor, Gullspångslax med parasit från Lårdalselva efter 7 veckor och Enningdalslax med parasit från regnbåglax efter 5 veckor. Av dessa var bara nedgången för Gullspångslax statistiskt signifikant (Wilcoxon Rank-sum test, $P < 0,05$).

I försöken med isolerad fisk visade tre individer av lax från Enningdalsälven med *G. salaris* från regnbågslax, som de enda i hela försöket, en nedgång i antalet parasiter från första räkningen (Figur 6). Efter en period av ca 20 dagar tilltog emellertid infektion hos alla tre individerna, något som fortsatte till försökets slut. Ingen av de isolerade fiskarna blev fri från parasiten till slutet av försöket och inte heller förekom någon klar nedåtgående trend i någon av grupperna. Den relativa infektionsintensiteten, där resultaten kompenserats för initialinfektionen, visade att tillväxten var jämförbar för fiskgrupper och isolerade individer (Figur 7). Endast resultaten för Gullspångslax avvek från mönstret genom att infektionsintensiteten sjönk under senare delen av försöket.

Vid en jämförelse av tillväxten av den relativa infektionsintensiteten vecka 4 för samtliga försökskombinationer (utom nr 3) föreföll nr 1-5 från Södra Bullaresjön att ha något större intensitetsökning än de i Oslo (Figur 8). Det fanns signifikanta skillnader i ökningstakten (Tabell 7). Den snabbaste ökningen av parasitantalet skedde på båda platserna för försökskombinationerna med Rolfsålx, nr 5 och 16, trots att laxstammen testades mot två olika *G. salaris*-stammar.

En detaljerad översikt av dödligheten för försökskombinationer som hölls i grupper ges i Tabell 8. Det gjordes inget försök att bestämma dödsorsak under försöken. Vid många tillfällen föreföll svampinfektioner vara en viktig orsak. Det var svårt att bedöma om svampinfektionen var en sekundär effekt av *G. Salaris*-infektionen.

6. DISKUSSION

Försöksresultaten

Försöken visade att regnbågslaxens speciella form av *G. salaris* smittar lax och att den massförökar sig på laxungar. Detta är i överensstämmelse med tidigare erfarenheter av parasitformens förmåga att infektera lax (Mo 1991). Vid båda försöksplatserna blev samtliga laxungar från de fyra undersökta laxstammarna infekterade. Den snabba överföringen av parasiter visar hur effektivt *G. salaris* kan spridas under experimentella förhållanden (Bakke m fl 1992a). Även de andra två undersökta stammarna av *G. salaris* infekterade laxungar och under de första fyra veckorna efter infektionen steg antalet parasiter på de undersökta laxungarna. Slutsatsen blir därför att ingen av de undersökta laxpopulationerna hade en inneboende initial resistens mot parasiten under de förhållanden som rådde i försöken. Dessa resultat är i överensstämmelse med tidigare studier, där Atlantisk lax från olika populationer i skilda geografiska regioner smittats av parasiten (Bakke m fl 1990, Bakke och MacKenzie 1993). Lax från populationer i Östersjö-området anses ofta vara resistenta mot parasiten, men även dessa blir initialt infekterade i smittförsök (Bakke m fl 1990, Malmberg och Malmberg 1991, Bakke och Harris 1998). I de försök som redovisas här var den initiala infektionsintensiteten vanligen avsevärt lägre i försöksgrupper som smittats med parasiter från regnbågslax. Det kan ha berott på att regnbågslaxen hade en lägre infektionsintensitet än de laxungar som användes som donatorer eller att *G. salaris* från regnbågslax hade mindre benägenhet att smitta laxungar.

I jämförande studier har det framkommit att överföring av parasiter sker snabbare om fisken exponeras för död än för levande värdfisk (Bakke m fl 1991, Bakke m fl 1992a). Anledningen är att då värdfisken dör ändrar *G. salaris* beteende och utvecklar en mycket karakteristisk och effektiv sökaktivitet i syfte att leta efter en ny värd (Harris 1980 i Bakke m fl 1992a). Under naturliga förhållanden i vattendrag anses direkt överföring från fisk till fisk ofta vara den huvudsakliga överföringsmetoden för parasiten (Bakke m fl 1992a). Troligen kan fria

parasiter som transporteras med vattnet eller som finns i bottenstruktatet också utgöra en viktig smittkälla (Mo 1992).

Efter initialinfektionen i de här genomförda försöken ökade den relativa infektionsintensiteten, där en korrektion för initialinfektionen utförts, i likartad takt i grupperna oberoende av *G. salaris*-stam. Inte heller påverkades resultaten av om fisken hölls isolerad eller i grupp. Fisk som ingår i grupper utsätts för ett högre smittryck än isolerade individer och det kan i vissa fall påverka utvecklingen av en parasitinfektion (Bakke och MacKenzie 1993). För fisk från Lierelva i Norge, belägen nära Drammenselva, och laxungar från två skotska laxstammar, minskade *G. salaris*-infektionen för många isolerade individer efter 30-40 dagar. För fisk i grupper fanns inte denna tendens till minskning, men försöken avslutades tidigt på grund av dödlighet. Likartade skillnader mellan isolerade individer och fiskgrupper har också noterats bland annat i infektionsförsök med röding *Salvelinus alpinus* (Bakke m fl 1996) och guppy *Poecilia reticulata* (Scott och Anderson 1984). I andra studier har infektionen på isolerade fiskar och fisk i grupper utvecklats på likartat sätt (Soleng och Bakke 2001), vilket överensstämmer med resultaten i Oslo i denna undersökning.

En nedgång noterades för en grupp av Enningdalslax vid Södra Bullaresjön, men inte i den andra gruppen. I båda grupperna skedde en selektiv dödlighet bland de mest infekterade individerna. Selektiv dödlighet kan snedvrider resultaten (Lester 1984, Mo 1992, Bakke och Mackenzie 1993). Den direkta dödsorsaken var ofta svamprelaterad (sannolikt *Saprolegnia*). Detta liknar förhållanden i norska vattendrag där *G. salaris*-infektioner av laxbeståndet ofta följs av infektion av sekundära patogener som *Saprolegnia* (Johnsen 1978). Det finns indikationer på att detta beror på att *G. salaris*-infektionen förorsakar förändringar i fiskens epidermis som kan bereda vägen för en senare svampinfektion, även om detta inte kunnat verifieras i fält (Appleby m fl 1997, Sterud m fl 1998). Även i försöken i Oslo inträffade en hög dödlighet, men det var svårt att avgöra om den var kopplad till parasitinfektionen. Nedan diskuteras några av de tänkbara orsakerna till skillnaderna mellan de båda försöksplatserna:

- Flera av försöken i Oslo avslutades 6-7 veckor efter infektionen, till större delen motiverat av hög dödlighet. Detta kan ha medfört att den nedgång i intensitet som noterades för lax vid Södra Bullaresjön inte hunnit sätta in då försöken i Oslo avslutades, ens om infektionen utvecklats med likartad hastighet vid de båda platserna. En jämförelse kan göras med den klassiska infektionsstudien av Bakke m fl (1990), där laxungar från två norska vattendrag, Alta och Lone, påvisades sakna immunitet mot *G. salaris* under 5 veckor långa försök. Lax från Neva i Östersjö-området reagerade däremot framgångsrikt på parasiten och infektionen gick ned. Då försöken senare upprepades, men med längre varaktighet, så visade det sig att mer än 50% av individuellt isolerade laxungar från Alta kunde kontrollera infektionen av *G. salaris* (Bakke m fl 1999). I infektionsförsök med engelsk sjötunga, *Parophrys vetulus* Girard, nådde infektionsintensiteten ett maximum efter 9 veckor för att sedan avta (Kamiso och Olson 1986). Bakke m fl (2002) antyder att ju svagare reaktion mot *G. salaris* en laxpopulation har, desto längre tid tar det för responsen att utvecklas i ett infektionsförsök. Detta indikerar att det finns en risk att försök avbryts alltför tidigt, speciellt i fall där världens immunförsvar reagerar långsamt på infektionen.
- Försöken i Oslo genomfördes vid en temperatur av 7,5-8°, medan temperaturen vid Södra Bullaresjön i genomsnitt var ca 12°. Då en infektion av en fisk inträffar och det sker en initial ökning av infektionsintensiteten som senare följs av en minskning, så bestämmer vattentemperaturen tiden när maximuminfektionen inträffar (Gelnar 1987). En population

av *G. salaris* har experimentellt uppskattats ha förmåga att dubblas på 4 dagar vid 13.0° och 12 dagar vid 6,5°C (Jansen och Bakke 1991). Även om det fanns en svag tendens att infektionsintensiteten ökade snabbare vid Södra Bullaresjön, så var skillnaden långt ifrån den som kunde förväntas på grund av temperaturskillnaden. På båda platserna var det den enda försöksgruppen med laxungar från Rolfsån som visade den i särklass snabbaste tillväxten av infektionsintensiteten i början av försöket. Det indikerar att parasitvärden kan påverka det tidiga infektionsförloppet och att Rolfsåfiskens tydliga gynnade en snabb initial ökning av infektionen vid jämförelse med de andra undersökta laxstammarna. Fiskens immunförsvar reagerar snabbare vid en högre temperatur, under förutsättning att temperaturen inte är så hög att fisken stressas (Bakke och Harris 1998). Även av den anledningen kunde en reaktion förväntas ske snabbare i Södra Bullaresjön än i Oslo.

- Både vild och odlad fisk användes i försöken. Vild fisk blir lättare stressad än odlad fisk och stress ökar halten av cortisol i blodet vilket påverkar fiskens immunförsvar negativt och kan göra den mer mottaglig för sjukdomar (Woodward och Strange 1987, Pickering och Pottinger 1989). Det är därför möjligt att vild fisk har sämre förmåga att reagera på *G. salaris*-infektioner under experimentella förhållanden. Resultat från andra infektionsförsök indikerar att responsen för vilda och odlade laxungar vanligen inte skiljer sig åt, men några direkta jämförande försök har så vitt känt inte genomförts. På båda försöksplatserna utfodrades de använda odlade laxungarna med pellets. Den vilda fisken utfodrades med naturlig föda (driftfauna) vid Södra Bullaresjön, men någon utfodring av vildfisken med naturlig föda var inte möjlig att arrangera i Oslo. Svält kan inducera stress och därigenom undertrycka immunförsvaret (Blazer 1992). Denna skillnad kan medverka till olika respons av fisken.
- En viktig anledning till att försök utfördes vid Södra Bullaresjön var att vattenkemin i försöken skulle ansluta så nära som möjligt till förhållandena i Enningdalsälven. Totalhalten av aluminium var avsevärt högre i Södra Bullaresjön än vid Veterinärinstitutet i Oslo, men framförallt var halten av labilt aluminium så hög som 0,065-0,068 mg/l. Det är numera välkänt att labilt aluminium utgör en väsentlig orsak till den toxiska effekten av surt vatten på biota (Wilander 1999). Halter av labilt aluminium som ligger i intervallet 0,025-0,075 mg/l har i norska fältstudier gett upphov till toxiska effekter (Rosseland m fl 1990). *G. salaris* förefaller vara känsligare än laxungar för aluminium. Laxungar desinficeras från *G. salaris* om vatten med ett pH av 5,8 tillförs 0,05 mg aluminium per liter (Soleng m fl 1999). Även vid ett pH-värde av 6,4 kan laxungar bli parasitfria snabbt, men då krävs en halt av 0,4 mg aluminium per liter (Grimsmo m fl 2000). Nyligen genomförda försök antyder att även vid de högre pH-värden som förekom vid Södra Bullaresjön kan de uppmätta halterna av aluminium ha haft en negativ inverkan på *G. salaris* (försök i projektgruppen Gyro-Met, T. A. Mo). Sambandet mellan de nivåer där aluminiumhalter blir toxiska och andra vattenkemiska parametrar som alkalinitet, pH-värde och mängden chelerande ämnen, främst humusämnen, är komplicerat och förefaller variera inom ett brett intervall (Wilander 1999). Av den anledningen kan man inte vara säker på om vattenkemin påverkat försöksutfallet eller inte.

Om de faktorer som diskuteras ovan beaktas, kan skillnaderna i resultat mellan Oslo och Södra Bullaresjön betraktas som måttliga. Det förefaller rimligt att hela infektionsförloppet inklusive värdens reaktion på infektionen utvecklades långsammare i Oslo. Detta påverkade dock inte resultaten från försöken med Gullspångslax som kunde bekämpa parasiten i samtliga försökskombinationer.

Ekologiska implikationer

Resultaten av de första infektionsförsöken som genomfördes med kombinationen laxungar - *G. salaris* var entydiga. Lax från en Östersjö-stam (Neva) reagerade på parasiten och infektionsintensiteten minskade snabbt, medan lax från två norska laxstammar dukade under för parasiten (Bakke m fl 1990). En viss motståndskraft mot parasiten fanns också hos lax från Indalsälven i Östersjön (Bakke m fl 1992b). Detta anses bero på att parasiten är nyintroducerad i norska vattendrag, medan den funnits i Östersjö-området sedan tidigare vilket lett till att det där finns en balans mellan fiskvärden och parasiten (Johnsen och Jensen 1986). I de flesta *Gyrodactylus*-fiskvärd interaktioner begränsas tillväxten av parasitpopulationen av en värdrespons som leder till att många parasitindivider elimineras (Sterud m fl 1998). Hittills har bara tre laxstammar från Östersjön testats. Det kan därför vara för tidigt att dra slutsatsen att lax i samtliga 60-70 laxförande vattendrag i Östersjön har samma resistens mot *G. salaris* (Anon. 2002b).

Det har också visat sig att laxungar överlever i större utsträckning i några av de *G. salaris*-infekterade vattendragen i Norge (Johnsen och Jensen 1991, Mo 1992, Jansen och Bakke 1993a, b). Utvecklingen i den lilla Lierelva i sydöstra Norge är av speciellt intresse för de resultat som redovisas i denna rapport. Lierelva, som har ett nederbördsområde av 310 km², infekterades 1987 samtidigt som den angränsande Drammenselva (Eken och Garnås 1990). Effekten i de båda vattendragen har varit relativt olika. I Drammenselva har nedgången av laxbeståndet varit mycket kraftig, medan den varit mindre uttalad i Lierelva (Garnås och Moresi 2000). En årlig kontroll av tätheten av laxungar görs genom elfiske i de båda vattendragen. Vid Hellefossen i Drammenselva samt i Lierelva har den genomsnittliga tätheten av 1- och 2-åriga laxungar under åren 1990-2001 varit ca 10 % respektive 34 % av tätheten under perioden före infektionen, det vill säga under åren 1986-89 (beräknat från tätheter vid Hellefossen och i Lierelva som återges i Anon. 2002a). Fältstudier som utfördes i Lierelva av Jansen och Bakke (1993a, b) visade att det fanns en individuell heterogenitet hos fisken i utveckling av *G. salaris*-infektionen. Även i infektionsförsök i laboriemiljö hade en del av de isolerade individerna en förmåga att bekämpa parasiten (Bakke och MacKenzie 1993). I detta fall finns alltså en samstämmighet mellan resultaten från fältstudier och infektionsförsök.

De blandade resultaten från infektionen av laxungar från Rolfsån och Enningdalsälven kan jämföras med situationen för laxstammen från Lierelva. Framförallt för lax från Enningdalsälven förefaller det som om endast vissa individer kan utveckla en respons mot parasiten. Resultaten vid Södra Bullaresjön kan vara mer relevanta än resultaten från Oslo för en tänkt infektion av det vilda laxbeståndet i Enningdalsälven. De resultat som framkommit indikerar att det finns en stor risk att en spridning av parasitformen från regnbågslax till det vilda laxbeståndet i Enningdalsälven skulle förorsaka dödlighet av laxungar. Hur stor nedgången av beståndet skulle bli går inte att förutse, eftersom alltför många faktorer skiljer mellan experimenten och förhållandena i naturen (Karlsson och Kollberg 2002).

De analyser som genomförts av status för de vilda laxbestånden på svenska västkusten ger varierande grader av belägg för att *G. salaris* har negativt inflytande (Alenäs m fl 1998, Degerman 1998). Enligt en analys som inkluderade monitoringresultat av vilda laxbestånd till och med 2001 har de bestånd där *G. salaris* inte påträffats haft en signifikant mer positiv utveckling än infekterade bestånd (L. Karlsson opublicerat). Resultaten från infektionsförsöken med Rolfsålxax är också svårbedömda. De belyser den mellanställning som laxbestånden på västkusten sannolikt har beträffande känslighet för *G. salaris*. Baserat på resultaten i Södra Bullaresjön föreföll laxstammen ha en större förmåga till respons mot

parasiten än fisk från Enningdalsälven. Om Rolfsåfisker skulle infekteras med Ätran-formen av *G. salaris*, skulle den däremot, enligt försöken i Oslo, inte vara motståndskraftig mot den. En alternativ förklaring är att skillnader i vattenkemi förorsakar skillnaden i resultat.

I en preliminär rapport angående de svenska infektionsförsöken gjorde Karlsson och Kollberg (2002) bedömningen att det fanns en ökande känslighet för parasiten från söder mot norr längs västkusten. Det baserades på den lägre känsligheten hos Rolfsålaxen vid jämförelse med fisk från Enningdalsälven, men argumentet är inte speciellt övertygande. Ett motargument är till exempel att lax från Drammenselva och Lierelva i sydöstra Norge är olika känsliga för parasiten, trots att vattendragen mynnar i samma fjord (Anon. 2002a, Bakke och McKenzie 1993). Parasitinfektionens styrka i de infekterade vattendragen på den svenska västkusten varierar också på ett sätt som inte är direkt relaterat till vattendragets läge i en nord-sydlig riktning (Degerman 1998). Även i detta fall kan naturligtvis variationer i vattenkemi bidra till att utvecklingen i vattendragen skiljer sig åt.

De genetiska studier som genomförts av lax från Väner-området har visat att den har en mellanställning mellan laxbestånden i Östersjön och Nord-Atlanten (Nilsson m fl 2001). Det har förstärkt farhågor att *G. salaris* kan få negativ inverkan på de svaga vilda laxstammarna i området, om den sprider sig till området. Det är inte möjligt att bedöma om Gullspångslaxen reagerade med likartad styrka på parasiten som Östersjölax av Neva-stam påvisats göra i tidigare infektionsförsök (Bakke m fl 1990). De enhetliga resultaten på båda försöksplatserna visade dock att Gullspångslax hade större förmåga än de andra tre testade laxstammarna att mobilisera sitt immunförsvar mot parasitinfektionen. Det tyder på Gullspångslaxen åtminstone i det här avseendet är närmare släkt med laxbestånden i Östersjön än bestånd från Nord-Atlanten. Risken för att en *G. salaris*-infektion av Vänerna ska medföra drastiska negativa konsekvenser på de vilda laxbestånden är därför mindre än vad som tidigare befarats.

7. SAMMANFATTNING

Parasiten *G. salaris* påvisades på regnbåglax i en fiskodling i Enningdalsälven, gränsälven mellan Sverige och Norge, under senhösten 2001. Det bestämdes att infektionsförsök skulle utföras för att ge underlag för en riskbedömning i samband med en eventuell nedsmittning av älvens vilda laxbestånd. Infektionsförsök med *G. salaris* genomfördes våren-sommaren 2002 vid Veterinärinstitutet i Oslo och vid en fältstation vid Södra Bullaresjön, Enningdalsälven, i Sverige för att undersöka känsligheten hos laxungar från fyra olika laxstammar vid infektion med tre olika typer av *G. salaris*.

Den stam av parasiten *G. salaris* som förekom på regnbåglax i fiskodlingen vid Södra Bullaresjön infekterade all försöksfisk. Lax från Enningdalsälven hade en intermediär känslighet för *G. salaris*, som kan jämföras med den hos några norska laxstammar där vissa individer kan bekämpa parasiten. I försök vid Södra Bullaresjön antingen minskade eller höll sig den genomsnittliga infektionsintensiteten konstant vid slutet av försöken, delvis till följd av dödlighet bland kraftigt infekterade fiskar. Andra individer reagerade på parasiten, vilket medförde att infektionen på dessa fiskar minskade. I Osloförsöken ökade infektionen till dess att försöken avslutades, vilket skedde något tidigare än i Södra Bullaresjön.

Gullspångslax (från Vänerområdet) reagerade kraftigt på parasiten och i samtliga försök med den, både i Oslo och vid Södra Bullaresjön, minskade infektionen avsevärt mot slutet av försöken. Det tyder på att Gullspångslax beträffande känslighet för *G. salaris* mer liknar lax från Östersjöpopulationer än bestånden i Nord-Atlanten. Även hos laxungar från Rolfsån

avtog infektionsintensiteten avsevärt mot slutet av försöken vid Södra Bullaresjön, utan att fiskdödlighet förekom. Laxen från Rolfsån föreföll därför vara mindre känslig för parasiten än lax från Enningdalsälven.

Försöken i Oslo genomfördes vid lägre vattentemperatur än de vid Södra Bullaresjön, 7,5-8° respektive 12°C. Det bör ha medfört att infektionen och eventuell värdrespons utvecklades långsammare i Oslo än i Sverige. Under försöken i Oslo utvecklade lax från den norska Drammenselva, Enningdalsälven eller Rolfsån ingen reaktion på parasiten. Det är oklart om det endast berodde på lägre vattentemperatur i Oslo eller om andra faktorer, som skillnader i vattenkemi mellan försöksplatserna, också påverkade infektionsutvecklingen.

Det fanns endast svaga belägg för att den norska stammen av *G. salaris* (från Lärdalselva) var mer aggressiv än stammen från regnbågslax. Den enda indikationen var att nedgången i infektionsintensitet för Gullspångslax skedde senare med den norska parasiten. För Ätran-stammen av *G. salaris* var läget oklart, eftersom den bara användes i en försöksgrupp med lax från Rolfsån i Oslo och infektionsintensiteten ökade till slutet av försöken.

Med ledning av försöksresultaten förefaller det rimligt att en Gyrodactylusinfektion av laxbeståndet i Enningdalsälven skulle medföra dödlighet bland vildfischen. Skillnaden mellan den naturliga miljön och försöksmiljön är emellertid alltför stor för att någon slutsats ska kunna dras om hur stor nedgången av laxbeståndet skulle bli.

8. ERKÄNNANDEN

Ett tack till Roland Jansson och hans medarbetare vid sågverket i Östad för möjlighet att bedriva försöken där! De och Reinert Långstad assisterade också under försöken. Ett tack till Naturbruksgymnasiet i Dingle för assistans med utrustning och annan hjälp. Till Rustan Lindqvist, Svensk Regnbågslax i Sverige AB, för att han bidragit med regnbågslax och viss utrustning. Per-Erik Jacobsen, Sportfiskarna, samt Leif Roger Karlsen, Fylkesmannen Östfold, för hjälp med insamling av laxungar. Ingvar Olofsson, Tanums kommun, för hjälp med val av försöksplats, vattenkemiska analyser mm.

Försöken är delfinansierade av Länsstyrelsen i Halland (kontaktperson Peter Norell). Huvudfinansiären Fiskeriverket har anslagit pengar av de statliga fiskevårdsmedlen till projektet.

9. REFERENSER

- Alenäs, I., Malmberg, G. och Carlstrand, H. 1998. Undersökningar av *Gyrodactylus salaris* på lax i Ätrans vattensystem, Falkenbergs kommun under fem år 1991-1995. Miljö- och hälsoskyddskontoret, Falkenbergs Kommun. Rapport 1998:1. 25 sidor.
- Anon. 1999. Västkustens laxår. Fiskeriverket Information 1999:9. 156 sidor.
- Anon. 2002a. Websida. Fylkesmannen.no/buskerud/miljøstatus/laks.
- Anon. 2002b. Report of the Baltic Salmon and Trout Assessment Working Group. ICES CM 2002/ACFM:13.
- Appleby, C., Mo, T.A. och Aase, I.-L. 1997. The effect of *Gyrodactylus salaris* (Monogenea) on the epiderms of Atlantic salmon, *Salmo salar*, parr in the river Batnfjordselva, Norway. Journal of Parasitology 83:1173-74.
- Bakke, T.A. och Harris, P.D. 1998. Diseases and parasites in wild Atlantic salmon (*Salmo salar*) populations. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 55:247-266.

- Bakke, T.A. och MacKenzie, K. 1993. Comparative susceptibility of native Scottish and Norwegian stocks of Atlantic salmon, *Salmo salar* L., to *Gyrodactylus salaris* Malmberg: laboratory experiments. *Fisheries Research* 17:69-85.
- Bakke, T.A., Jansen, P.A., Hansen, L.P. 1990. Differences in the host resistance of Atlantic salmon, *Salmo salar* L., stocks to the monogenean *Gyrodactylus salaris* Malmberg, 1957. *Journal of Fish Biology* 37:577-587.
- Bakke, T.A., Jansen, P.A. Hansen, L.P. 1991. Experimental transmission of *Gyrodactylus salaris* Malmberg (Platyhelminthes, Monogenea) from the Atlantic salmon (*Salmo salar*) to the European eel (*Anguilla anguilla*). *Canadian Journal of Zoology* 69:733-737.
- Bakke, T.A., Harris, P.D., Hansen, L.P. och Jansen, P.A. 1992a. Host specificity and dispersal strategy in gyrodactylid monogenans, with special reference to *Gyrodactylus salaris* (Platyhelminthes, Monogenea). *Diseases of Aquatic Organisms* 13:63-74.
- Bakke, T.A., Harris, P.D., Janen, P.A., Hansen, L.P. 1992b. The susceptibility of a Swedish Baltic salmon stock (*Salmo salar*) to Norwegian *Gyrodactylus salaris*; Monogenea). *Proceedings of the EMOP VI, 1992, The Hague, The Netherlands*, sida 58.
- Bakke, T.A, Jansen, P.A. och Harris, P.D. 1996. Differences in susceptibility of anadromous and resident stocks of Arctic charr to infections of *Gyrodactylus salaris* under experimental conditions. *Journal of Fish Biology* 49:341-351.
- Bakke, T.A., Soleng, A. och Harris, P.D. 1999. The susceptibility of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) x brown trout (*Salmo trutta* L.) hybrids to *Gyrodactylus salaris* Malmberg and *Gyrodactylus derjavini* Mikailov. *Parasitology* 119:467-481.
- Bakke, T.A., P.D. och Cable, J. 2002. Host specificity dynamics: observations on gyrodactylid monogeneans. *International Journal for Parasitology* 32:281-308.
- Blazer, V.S. 1992. Nutrition and disease resistance in fish. *Annual Review of Fish Diseases* 2:309-323.
- Degerman, E. 1998. *Gyrodactylus salaris* – påverkas västkustlaxen? PM 1998, 22 sidor.
- Degerman, E., Niskakoski, K. och Sers, B. 1997. Betydelsen av minimivattenföring sommartid för lax (*Salmo salar*) och öring (*Salmo trutta*) på västkusten. *Information från Sötvattenslaboratoriet* 1:41-54.
- Dickson, W. 1983. Liming toxicity of aluminium to fish. *Vatten* 39:400-404.
- Eken, M. och Garnås, E. 1990. Övervakning av lakseparasiten *Gyrodactylus salaris* på Østlandet 1989. Fylkesmannen i Buskerud, Miljøvernveddelningen Rapport nr 7, 1990.
- Garnås, E. och Moresi, C.L. 2000. Övervakning av lakseparasiten *Gyrodactylus salaris* på Østlandet, og status for laks og sjørret i Buskerud 1999. Fylkesmannen i Buskerud, Miljøvernveddelningen Rapport nr 3, 2000.
- Gelnar, M. 1987. Experimental verification of the effect of water temperature on micropopulation growth of *Gyrodactylus katharineri* Malmberg, 1964 (Monogenea) paraziting carp fry (*Cyprinus carpio* L.). *Folia Parasitologica* 34:19-23.
- Grimsmo, H., Mo, T.A. och Poleo, A.B.S. 2000. Aqueous aluminium has a positive effect on Atlantic salmon infected by the devastating ectoparasite *Gyrodactylus salaris*. Poster at the 6th International Conferene on Acidic Deposition –Acid Rain 2000, Tsukuba, Japan 10-16 December 2000.
- Harris, P.D. 1980. The behaviour of *Gyrodactylus* on living hosts. *Proceedings of 3rd European Multicolloquium of Parasitology, Cambridge 1980. Abstract of papers delivered at colloquia and seminars*. Sida 97.
- Harris, P.D., Soleng, A. och Bakke, T.A. 2000. Increased susceptibility of salmonids to the monogenan *Gyrodactylus salaris* following administration of hydrocortisone acetate. *Parasitology* 120:57-64.

- Jansson, H. 1997. Genetiska skillnader mellan lax från halländska vattendrag. Laxforskningsinstitutet rapport 970821. 8 sidor.
- Jansen, P.A. och Bakke, T.A. 1991. Temperature-dependent reproduction and survival of *Gyrodactylus salaris* Malmberg, 1957 (Platyhelminthes: Monogenea) on Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). Parasitology 102:105-112.
- Jansen, P.A. och Bakke, T.A. 1993a. Regulatory processes in the monogenean *Gyrodactylus salaris* Malmberg –Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) association. I. Field studies in southeast Norway. Fisheries Research 17:87-101.
- Jansen, P.A. och Bakke, T.A. 1993b. Regulatory processes in the monogenean *Gyrodactylus salaris* Malmberg –Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) association. II. Experimental studies. Fisheries Research 17:103-114.
- Johnsen, B. 1978. The effect of an attack by the parasite *Gyrodactylus salaris* on the population of salmon parr in the river Lakselva, Misvaer in Northern Norway. Astarte 11:7-9.
- Johnsen, B. och Jensen, A.J. 1986. Infestations of Atlantic salmon, *Salmo salar*, by *Gyrodactylus salaris* in Norwegian rivers. Journal of Fish Biology 29:233-241.
- Johnsen, B. och Jensen, A. 1991. The *Gyrodactylus* story in Norway. Aquaculture 98:289-302.
- Kamiso, H.N. och Olson, R.E. 1986. Host-parasite relationships between *Gyrodactylus stellatus* (Monogenea: Gyrodactylidae) and *Parophrys vetulus* (Pleuronectidae-English sole) from the coastal waters of Oregon. Journal of Parasitology 72:125-129.
- Karlsson, L. 2001a. Monitoringprogram för *Gyrodactylus salaris* på västkustlax. PM daterat 2001-04-18. 15 sidor.
- Karlsson, L. 2001b. *G. salaris* i Sverige –Lever baltisk laks och *G. salaris* i skjønn harmoni. Ur: Direktoratet for naturforvaltning, 2002. Villaksseminariet 2001. Notat 2002-02.
- Karlsson, L. och Kollberg, S. 2002. Preliminär rapport angående Enningdalsälvlaxens känslighet för parasiten *Gyrodactylus salaris* i laboratorieförsök. PM daterad 2002-08-11. 11 sidor.
- Koski, P. och Malmberg, G. 1995. Occurrence of *Gyrodactylus* (Monogenea) on salmon and rainbow trout in fish farms in northern Finland. Bulletin of the Scandinavian Society for Parasitology 5:76-88.
- Lester, R.J.G. 1984. A review of methods for estimating mortality due to parasites in wild fish populations. Helgoländer Meeresuntersuchungen 37:53-64.
- Lindenström, T. och Buchmann, K. 1998. Dexamethasone treatment increases susceptibility of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum), to infections with *Gyrodactylus derjavini* Mikailov. Journal of Fish Diseases 21:29-38.
- Malmberg, G. 1957. Om förekomsten av *Gyrodactylus* på svenska fiskar. Skrifter utgivna av Södra Sveriges Fiskeriförening. Årsskrift 1956:19-76.
- Malmberg, G. 1988. *Gyrodactylus salaris* –infektioner, laxfisktransporter och odling i Norden. Vattenbruk 2:22-29.
- Malmberg, G. och Malmberg, M. 1991. Undersökningar angående *Gyrodactylus* på laxfisk i fria vatten och odlingar under åren 1951-72 och 1986-maj 1991. Information från Sötvattenslaboratoriet, Drottningholm 1991 2:1-130.
- Margolis, L., Esch, G.W., Holmes, J.C., Kuris, A.M. och Schad, G.A. 1982. The use of ecological terms in parasitology (rapport av en ad hoc committee av American Society of Parasitologists). Journal of Parasitology 68:131-133.
- Mo, T.A. 1991. Variations of opisthaptor hard parts of *Gyrodactylus salaris* Malmberg, 1957 (Monogenea: Gyrodactylidae) on rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792) in a fish farm, with comments on the spreading of the parasite in south-eastern Norway. Systematic Parasitology 20:1-9.

- Mo, T.A. 1992. Seasonal variations in the prevalence and infestation intensity of *Gyrodactylus salaris* Malmberg, 1957 (Monogenea: Gyrodactilidae) on Atlantic salmon parr, *Salmo salar* L., in the River Batnfjordselva, Norway. *Journal of Fish Biology* 41:697-707.
- Mo, T.A. och Perä, I. 2002. *Gyrodactylus salaris* –undersökelse av laksunger fra svensk side av Torneälvvassdraget i 2001.
- Nilsson, J., Gross, R., Asplund, T., Dove, O., Jansson, H., Kelloniemi, J., Kohlmann, K., Loeytynoja, A., Nielsen, E.E., Paaver, T., Primmer, R.C., Titov, S., Vasemagi, A., Veselov, A., Oest, T. och Lumme, J. 2001. Matrilinear phylogeography of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in Europe and postglacial colonization of the Baltic Sea area. *Molecular Ecology* 10:89-102.
- Nyberg, P. 1997. Hur står det egentligen till med Vänerns skyddsvärda lax- och öringbestånd? PM daterat 1997-03-02. 8 sidor.
- Pickering, A.D. och Pottinger, R.H. 1989. Stress responses and disease resistance in salmonid fishes: effects of chronic elevations of plasma cortisol. *Fish Physiology and Biochemistry* 7:253-258.
- Poleo, A.B.S. 2001. Løyer tilsetjing av metall alle problem? Redder verten, men kva med parasitten –utrydding eller redusert smittepress. Ur: Direktoratet for naturforvaltning, 2002. Villaksseminariet 2001. Notat 2002-02.
- Rintamäki, P. 1989. *Gyrodactylus salaris* at a fish farm in northern Finland. Ur: O.N. Bauer (red.). *Parasites of Freshwater Fishes of North-west Europe*. Institute of Biology, U.S.S.R Academy of Sciences. Karelian Branch, Petrozavodsk. Sidor 123-130.
- Rintamäki-Kinnunen, P. och Valtonen, E.T. 1996. Finnish salmon resistant to *Gyrodactylus salaris*: a long-term study at fish farms. *International Journal of Parasitology* 26:723-732.
- Rosseland, B.O., Eldhuset, T.D. och Staurnes, M. 1990. Environmental aspects of aluminium. *Environmental Geochemistry* 12:17-27.
- Saltveit, S.J. 1998. Kartlegging av gytebestand og naturlig rekruttering hos laks i Enningdalselva, Østfold. Laboratorium för Ferskvannsökologi og innlandsfiske, Oslo. Rapport 173. 20 sidor.
- Saltveit, S.J. 2002. Tetthet, vekst och naturlig rekruttering hos laks i Enningdalselva, Østfold. Laboratorium för Ferskvannsökologi og innlandsfiske, Oslo. Rapport 214. 17 sidor.
- Scott, M.A. och Anderson, R.M. 1984. The population dynamics of *Gyrodactylus bullaturudis* within laboratory populations of the fish host *Poecilia reticulata*. *Parasitology* 89:221-229.
- Sinderman, C.J. 1983. An examination of some relationships between pollution and disease. *Rapp. P.-V. Reun. Cons. Int. Explor. Mer* 182:37-43.
- Soleng, A., Poleo, A.B.S., Alstad, N.E.W., Bakke, T.A. 1999. Aqueous aluminium eliminates *Gyrodactylus salaris* (Platyhelminthes, Monogenea) infections in Atlantic salmon. *Parasitology* 119:19-26.
- Sterud, E., Harris, P.D. och Bakke, T.A. 1998. The influence of *Gyrodactylus salaris* Malmberg, 1957 (Monogenea) on the epidermis of Atlantic salmon, *Salmo salar* L., and brook trout, *Salvelinus fontinalis* (Mitchill): experimental studies. *Journal of Fish Diseases* 21:257-263.
- Sterud, E., Mo, T.A., Collins, C.M. och Cunningham, C.O. 2002. The use of host specificity, pathogenicity and molecular markers to differentiate between *Gyrodactylus salaris* Malmberg, 1957 and *G. thymalli* Zitnan, 1960 (Monogenea: Gyrodactilidae). *Parasitology* 24:203-213.
- Wilander, A. 1999. Surhet/förurning. 1. Ekologisk och miljömässig relevans. –Ur: T. Wiederholm (Red.). *Bedömningsgrunder för miljö kvalitet –Sjöar och vattendrag*.

Bakgrundsrapport 1 –Kemiska och fysikaliska parametrar. Naturvårdsverket Rapport 4920.

Woodward, C.C. och Strange, R.J. 1987. Physiological stress responses in wild and hatchery-reared rainbow trout. Transactions of American Fisheries Society 116:574-579.

Tabell 1. Vattenkemi för Enningdalsälven samt ingående vatten vid de båda försöksplatserna, Oslo och Södra Bullaresjön. Prover togs vid försöksstart samt vid avslutning av försöken.

Parameter	Försöksstart			Avslutning försök		
	Oslo	Södra Bullaresjö	Enningdals-älven	Oslo	Södra Bullaresjö	Enningdals-älven
	05-07	05-06	05-06	08-05	06-25	06-24
pH	6,7	6,9	6,8	6,6	6,9	6,8
Alkalinitet (mekv/l)	0,05	0,11	0,07	0,05	0,08	0,07
Konduktivitet (mS/m)	3,5	6,9	6,4	3,1	6,7	6,5
Turbiditet (FNU)	0,61	2,1	2,2	0,3	6,1	2,7
TOC (mg/l)	4,5	8,6	8,1	5,2	7,8	9,3
Totalfosfor (mg/l)	0,005	0,011	0,011	0,008	0,011	0,013
Totalkväve (mg/l)	0,43	0,48	0,55	0,33	0,55	0,49
Nitrat (mg/l)	0,26	0,27	0,32	0,23	0,31	0,22
Nitrit (mg/l)	0,007	0,003	0,003	0,007	0,004	0,003
Klorid (mg/l)	2,0	6,5	6,8	1,9	6,5	6,7
Sulfat (mg/l)	2,4	3,6	3,7	2,9	3,4	3,2
Totalaluminium (mg/l)	0,13	0,22	0,27	0,13	0,26	0,14
Totalaluminium (mg/l) ¹	0,095	0,188	0,242			
Labilt aluminium (mg/l) ¹	<0,002	0,065	0,068			
Jonbytt aluminium (mg/l) ¹	0,095	0,123	0,174			
Järn (mg/l)	0,033	0,19	0,19	0,037	0,28	0,12
Kalium (mg/l)	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Kalcium (mg/l)	2,4	3,5	3	2,7	3,5	3,1
Magnesium (mg/l)	<0,5	0,93	1,0	<0,5	1,0	1,0
Natrium (mg/l)	1,6	5,1	5,2	1,8	5,3	5,4
Koppar (mg/l)	0,0011	0,0011	<0,001	0,0019	0,001	<0,001
Zink (mg/l)	0,0081	<0,005	<0,005	0,012	<0,005	<0,005
Mangan (mg/l)	0,0088	0,013	0,013	0,012	0,032	0,01

1. Mängden labilt och jonbytt aluminium analyserades vid försöksstarten. En andra analys av totalaluminium gjordes samtidigt.

Tabell 2. Vattentemperatur i försöksbassänger vid Södra Bullaresjön under tre perioder.

Period	Vattentemperatur (°C)		
	Medel	Maximum	Minimum
04-25--05-09	9,0	12,0	8,0
05-10--05-22	14,6	17,0	13,0
05-23--07-16	11,6	14,0	10,3

Tabell 3. Försöksgrupper i infektionsförsöken med *G. salaris* vid Södra Bullaresjön och i Oslo maj-juli 2002.

Försöks- komb. nr	Försöks- plats	Bass. nr	Laxstam	Grupp/ isolerad fisk	<i>G. salaris</i> - stam	Infektions- datum	Fisk vid försöksstart efter infektion, N	Fiskens medel- längd (mm)	Avslutn. försök	Antal försöks- veckor	Total dödligh. (N)	% dödligh.	Kommentar
1	Södra Bullares.	1	Enningdal, Långevalsälven Sverige	Grupp	Regnbågs- lax	05-13--15	34	102	07-16	9	17	50	Dödligh. vecka 7-9
2	Södra Bullares.	2	Enningdal, från Berby, Norge	Grupp	Regnbågs- lax	05-06--08	16	95	07-16	10	9	56	Dödligh. vecka 5-10
3	Södra Bullares.	3	Gullspång	Grupp	Regnbågs- lax	05-06--08	26	113	07-15	10	22	85	Akut svampinf. vecka 3 kopplad till hög vattentemp.
4	Södra Bullares.	4	Gullspång	Grupp	Regnbågs- lax	05-06--08	27	113	07-15	10	6	22	
5	Södra Bullares.	5	Rolfså	Grupp	Regnbågs- lax	05-06--08	31	92	07-15	10	6	19	
6, 7	Oslo	6	Enningdal, från Berby, Norge	Grupp + isolerad	Regnbågs- lax	05-07--08	18	95	06-24	7	2	11	Alla döda på en natt
8, 9	Oslo	7	Enningdal, från Berby, Norge	Grupp + isolerad	Lärdals- elva	05-07--08	18	95	06-17	6	9	50	
10, 11	Oslo	8	Drammenselva	Grupp + isolerad	Regnbågs- lax	05-15--16	38	100	07-19	9	28	74	
12, 13	Oslo	9	Drammenselva	Grupp + isolerad	Lärdals- elva	05-15--16	38	100	07-19	9	13	34	Dödligh. vecka 4, 5, 6 och 7
14	Oslo	10	Gullspång	Grupp	Regnbågs- lax	05-14--15	50	115	07-19	9	3	6	Hög dödligh. vecka 5, 6, 7 och 8
15	Oslo	11	Gullspång	Grupp	Lärdals- elva	05-14--15	53	115	07-19	9	42	79	
16	Oslo	12	Rolfså	Grupp	Ätran	05-14--15	29	90	07-15	9	18	62	

Tabell 4. Utveckling av infektionsintensiteten i försöksgrupper vid Södra Bullaresjön. Medelvärde, median, min, max, SD och N anges. Enningdal S är fisk från Långevalsälven, Sverige. Enningdal N är fisk från Berby, Norge.

Vecka efter infektion	Enningdal, S, försökskomb. 1						Enningdal, N, försökskomb. 2						Gullspång, försökskomb. 3					
	Medel	Median	Min	Max	SD	N	Medel	Median	Min	Max	SD	N	Medel	Median	Min	Max	SD	N
1	14	8	2	57	16.6	10	291	278	62	656	190.8	8	12.2	5.5	0	35	13.3	10
2	23	21	6	53	13.4	10	594	516	214	1232	304.6	8						
3	51	39	23	142	34.4	10	620	553	256	1444	364.7	8						
4	67	68	24	109	25.6	10	981	812	585	1590	387.5	7						
5	117	134.5	61	172	37.1	10	841	902	380	1120	239.9	8						
6	121	113.5	39	239	58.2	10	906	680	232	2184	682.9	8						
7	124	125	16	198	69.6	10	682	571.5	126	1519	512.5	8						
8	154	182	44	247	80.7	10	556	491	96	1129	385.3	8						
9	131	105	24	332	84.6	17	209	111	14	607	226.8	10						
10							92	44	21	360	120.2	7	1	0	0	4	2.0	4

Vecka efter infektion	Gullspång, försökskomb. 4						Rolfså, försökskomb. 5					
	Medel	Median	Min	Max	SD	N	Medel	Median	Min	Max	SD	N
1	14	17.5	0	23	8.1	10	18	19	3	34	8.9	10
2	46	42.5	8	118	34.0	10	73	67	25	184	48.1	10
3	36	39	15	58	13.1	10	97	103	25	173	52.7	10
4	49	51	18	92	26.1	10	205	193	103	365	82.5	10
5	89	82	45	143	33.7	10	221	221	160	348	55.0	10
6	91	90	49	150	33.1	10	211	197	66	424	117.7	10
7	56	58	19	92	24.8	10	181	151	74	349	100.9	10
8	28	22	12	62	16.7	10	70	45	11	199	66.6	10
9	11	10	0	37	10.9	10	48	34.5	14	185	52.8	10
10	2	1	0	14	3.5	21	24	15	1	92	23.9	25

Tabell 5. Översikt av dödlighet i försöksgrupper vid Södra Bullaresjön. Med termen "övriga döda" avses dödlighet som inte kan relateras till olyckor. Enningd. S är fisk från Långevallsälven, Sverige, och med Enningd. N avses fisk från Berby, Norge.

Laxstam	Försöks-komb.	Datum	Olycka döda N	Övriga döda N	Döda totalt, N	Orsak	Kvar i försök, N	Kum. % övr. döda
Enningd. S	1	Start 05-15					34	0.0
		05-15	2	1	3		31	3.0
		06-10		1	1	Slö, togs bort	30	6.1
		06-30		1	1		29	9.1
		07-02		1	1		28	12.1
		07-06		1	1	Svamp	27	15.2
		07-07		1	1		26	18.2
		07-09		1	1		25	21.2
		07-11		2	2		23	27.3
		07-13		2	2		21	33.3
		07-14		1	1		20	36.4
		07-15		2	2		18	42.4
		07-16		1	1	Svamp och mucus	17	45.5
		Slut 07-16	2	15	17		17	45.5
Enningd. N	2	Start 05-08					16	0.0
		05-21	1		1		15	0.0
		06-14		1	1		14	7.1
		06-16		1	1	Svamp, smolt	13	14.3
		06-20		1	1		12	21.4
		06-24		1	1	Svamp	11	28.6
		07-06		1	1	Svamp	10	35.7
		07-09	1		1	Hoppade ut	9	35.7
		07-09		1	1	Hudepitel borta	8	42.9
		07-14		1	1		7	50.0
		Slut 07-16	2	7	9		7	50.0
Gullspång	3	Start 05-08					26	0.0
		05-20--26		22	22	Akut svampinf. Hög v-temp.	4	84.6
		Slut 07-15	0	22	22		4	84.6
Gullspång	4	Start 05-08					27	0.0
		05-13	2		2		25	0.0
		05-20	1		1		24	0.0
		05-22		1	1	Svamp Borttagen, dålig	23	4.2
		05-24		1	1		22	8.3
		05-26		1	1		21	12.5
		Slut 07-15	3	3	6		21	12.5
Rolfså	5	Start 05-08					31	0.0
		05-20	1		1	Hoppat ut	30	0.0
		06-09		1	1	Svamp	29	3.7
		06-10	2		2	Dog vid genomgång	27	3.7
		06-17	1		1		26	3.7
		06-23		1	1		25	7.4
		Slut 07-15	4	2	6		25	7.4

Tabell 6. Utveckling av infektionsintensiteten för de försökskombinationer i Oslo som hölls i grupper. Medelvärde, median, minimum, maximum, SD och N anges för varje räkningstillfälle.

Vecka efter infektion	Enningdal N / <i>G. salaris</i> regnb.						Enningdal N / <i>G. salaris</i> Lärdalselva						Drammenselva / <i>G. salaris</i> regnb.						Drammenselva / <i>G. salaris</i>					
	Medel	Median	Min	Max	SD	N	Medel	Median	Min	Max	SD	N	Medel	Median	Min	Max	SD	N	Medel	Median	Min	Max	SD	N
0	10	7	1	28	8.0	17	72	63	11	209	62	17	128	78	40	316	82	14	52	45	15	154	39	12
1	20	11	1	87	26	10	154	137	32	452	119	10	239	222	102	563	132	10	135	153	64	237	58	10
2	23	16	5	64	18	10	231	202	60	633	172	10	503	467	203	940	241	10	270	216	117	725	186	10
3	35	24	12	107	28	10	358	348	136	739	194	10	736	744	392	1341	264	10	312	265	195	534	124	10
4	53	37	18	149	42	10	485	446	248	915	190	10	955	918	519	1528	257	10	447	428	301	679	116	10
5	76	69	25	143	35	10	645	584	373	931	228	10	1601	1752	952	2208	469	10	691	642	491	1177	202	10
6	121	105	29	235	70	10	851	939	539	1090	248	6	2122	2060	1405	2910	538	5	953	913	536	1380	238	10
7	92	99	18	203	55	10																		

Vecka efter infektion	Gullspång / <i>G. salaris</i> regnb.						Gullspång / <i>G. salaris</i> Lärdalselva						Rolfså / <i>G. salaris</i> Ätran					
	Medel	Median	Min	Max	SD	N	Medel	Median	Min	Max	SD	N	Medel	Median	Min	Max	SD	N
0	21	21	11	31	7.2	10	5	4	1	14	4.1	10	27	22	10	76	19	10
1	40	38	15	63	14	10	25	12	4	141	41	10	67	56	17	218	55	10
2	60	49	39	133	28	10	40	35	16	94	22	10	98	77	53	194	45	10
3	77	79	30	105	20	10	69	38	20	273	78	10	189	185	97	299	66	10
4	105	97	65	194	37	10	54	51	36	72	13	10	352	347	188	554	110	10
5	125	95	62	392	98	10	111	102	41	275	64	10	530	502	350	731	122	10
6	56	53	22	109	25	10	135	135	82	172	27	10	680	699	345	1020	195	10
7	76	57	18	242	66	10	199	187	97	296	62	10	1258	1213	724	1912	384	10
8	47	31	5	149	44	10	280	258	212	372	58	10						
9	25	18	1	71	26	10	157	142	108	245	51	10						
10							92	83	36	191	45	9						

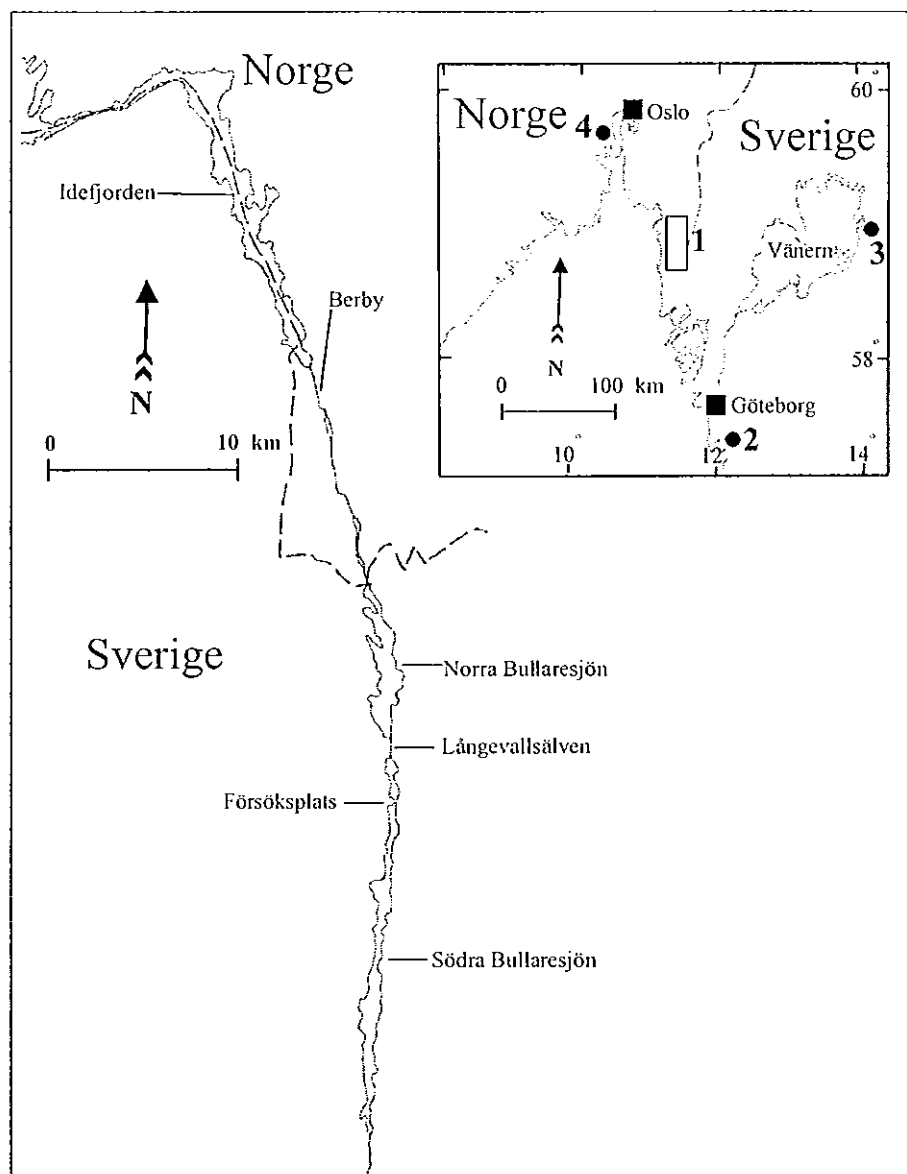
Tabell 7. Skillnad i relativ infektionsintensitet mellan försökskombinationer vecka 4 (Tabell 3).

Grupper som inte förenas av en gemensam linje är signifikant skilda (Tamhanes test, $p < 0.05$).

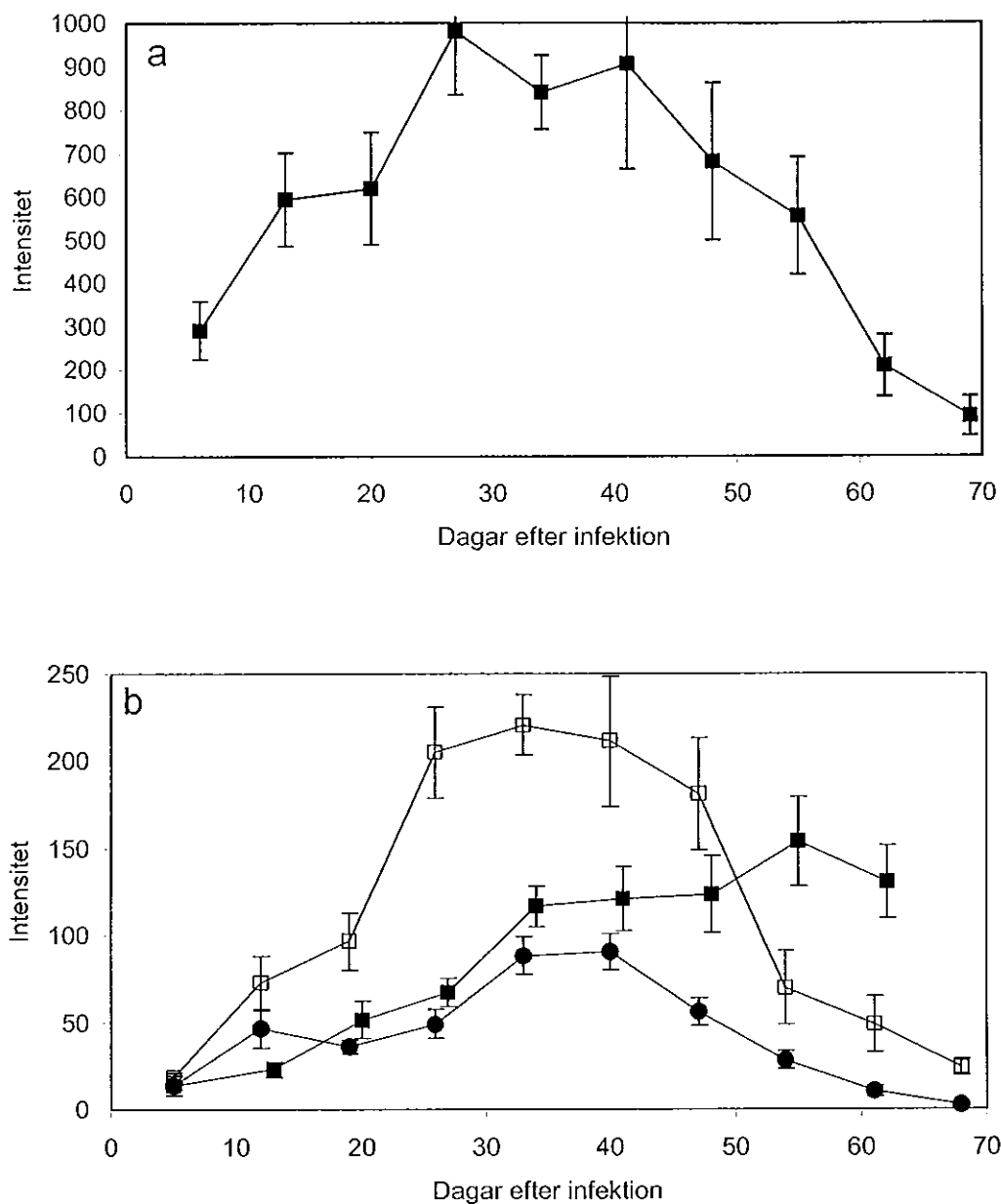
Försökskombination														
14	13	15	12	10	11	6	2	4	9	7	1	8	16	5

Tabell 8. Översikt av dödligheten för de försökskombinationer i Oslo som hölls i grupper.

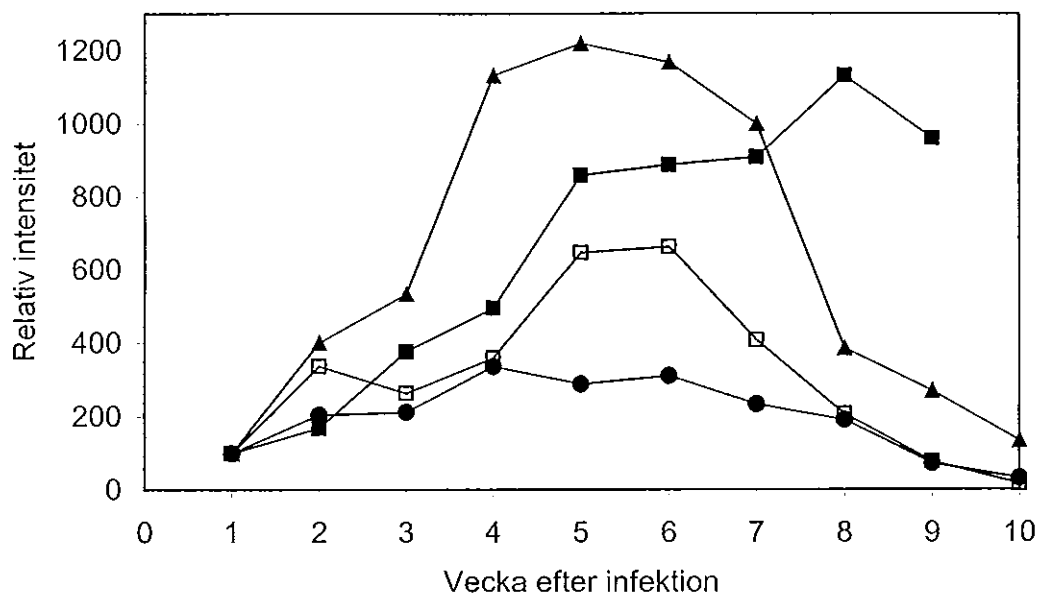
Laxstam	G. salaris- stam	Datum	Döda N	Kvar i försök N	Kum. % döda	Laxstam	G. salaris- stam	Datum	Döda N	Kvar i försök N	Kum. % döda
Enningd.	Regnb.	Start 05-08		18	0.0	Rolfså	Ätran	Start 05-15		29	0.0
N		05-10	1	17	5.6			05-31	1	28	3.4
		05-28	1	16	11.1			06-18	1	27	6.9
		Slut 06-24	2	16	11.1			06-20	3	24	17.2
Enningd.	Lärdals-	Start 05-08		18	0.0			07-02	1	23	20.7
N	elva	05-28	1	17	5.6			07-03	3	20	31.0
		06-17	8	9	50.0			07-04	1	19	34.5
		Slut 06-17	9	9	50.0			07-09	5	14	51.7
Drammens-	Regnb.	Start 05-16		38	0.0			07-12	3	11	62.1
elva		05-30	3	35	7.9			Slut 07-15	18	11	62.1
		05-31	2	33	13.2						
		06-05	1	32	15.8						
		06-19	4	28	26.3						
		06-26	3	25	34.2						
		06-28	3	22	42.1						
		07-03	2	20	47.4						
		07-04	2	18	52.6						
		07-10	3	15	60.5						
		07-11	4	11	71.1						
		07-12	1	10	73.7						
		Slut 07-19	28	10	73.7						
Drammens-	Lärdals-	Start 05-16		38	0.0						
elva	elva	05-31	2	36	5.3						
		06-06	1	35	7.9						
		07-03	2	33	13.2						
		07-10	3	30	21.1						
		07-11	3	27	28.9						
		07-12	2	25	34.2						
		Slut 07-19	13	25	34.2						
Gullspång	Regnb.	Start 05-15		50	0.0						
		06-28	1	49	2.0						
		07-09	1	48	4.0						
		07-16	1	47	6.0						
		Slut 07-19	3	47	6.0						
Gullspång	Lärdals-	Start 05-15		53	0.0						
	elva	06-20	1	52	1.9						
		06-24	8	44	17.0						
		06-25	2	42	20.8						
		06-28	4	38	28.3						
		07-01	4	34	35.8						
		07-02	1	33	37.7						
		07-03	2	31	41.5						
		07-04	1	30	43.4						
		07-09	8	22	58.5						
		07-10	4	18	66.0						
		07-12	2	16	69.8						
		07-15	3	13	75.5						
		07-16	2	11	79.2						
		Slut 07-19	42	11	79.2						



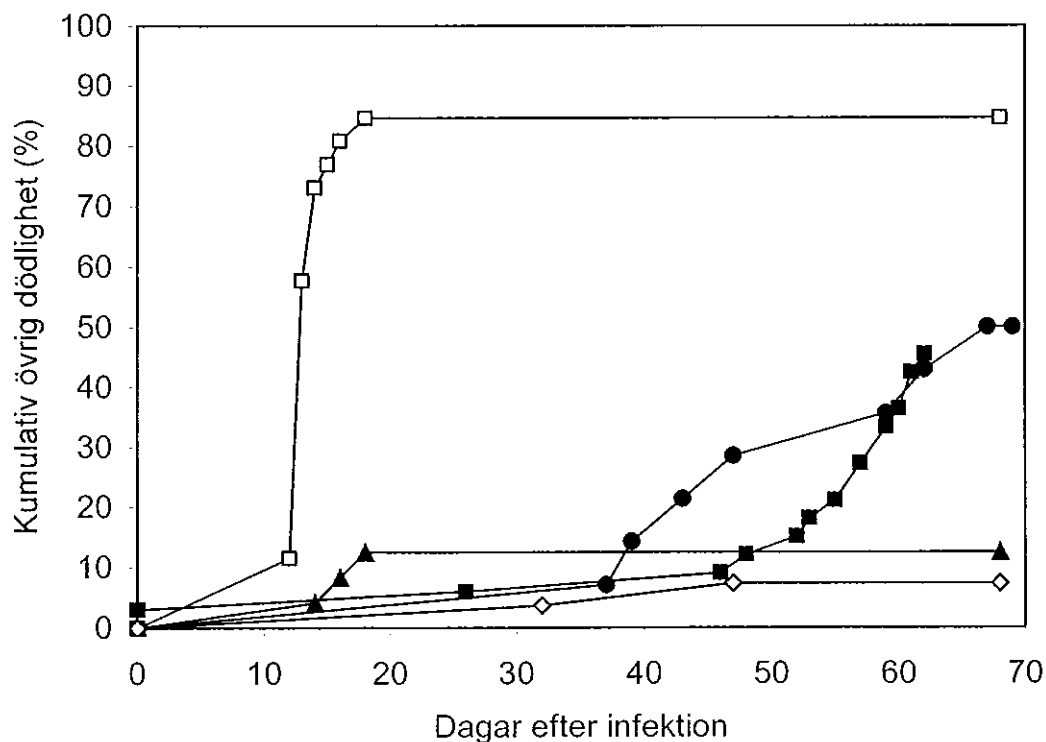
Figur 1. Karta över platser som nämns i texten. Numren i översiktskartan indikerar ursprung för laxstammar: 1, Skuggat område motsvarar Enningdalsälvens avrinningsområde i stora kartan; 2, Rolfsån; 3, Gullspångsälven, 4, Drammenselva. I den detaljerade kartan visas Långevallsälven och Berby i egentliga Enningdalsälven där försöksfisk hämtades samt försöksplatsen vid Södra Bullaresjön.



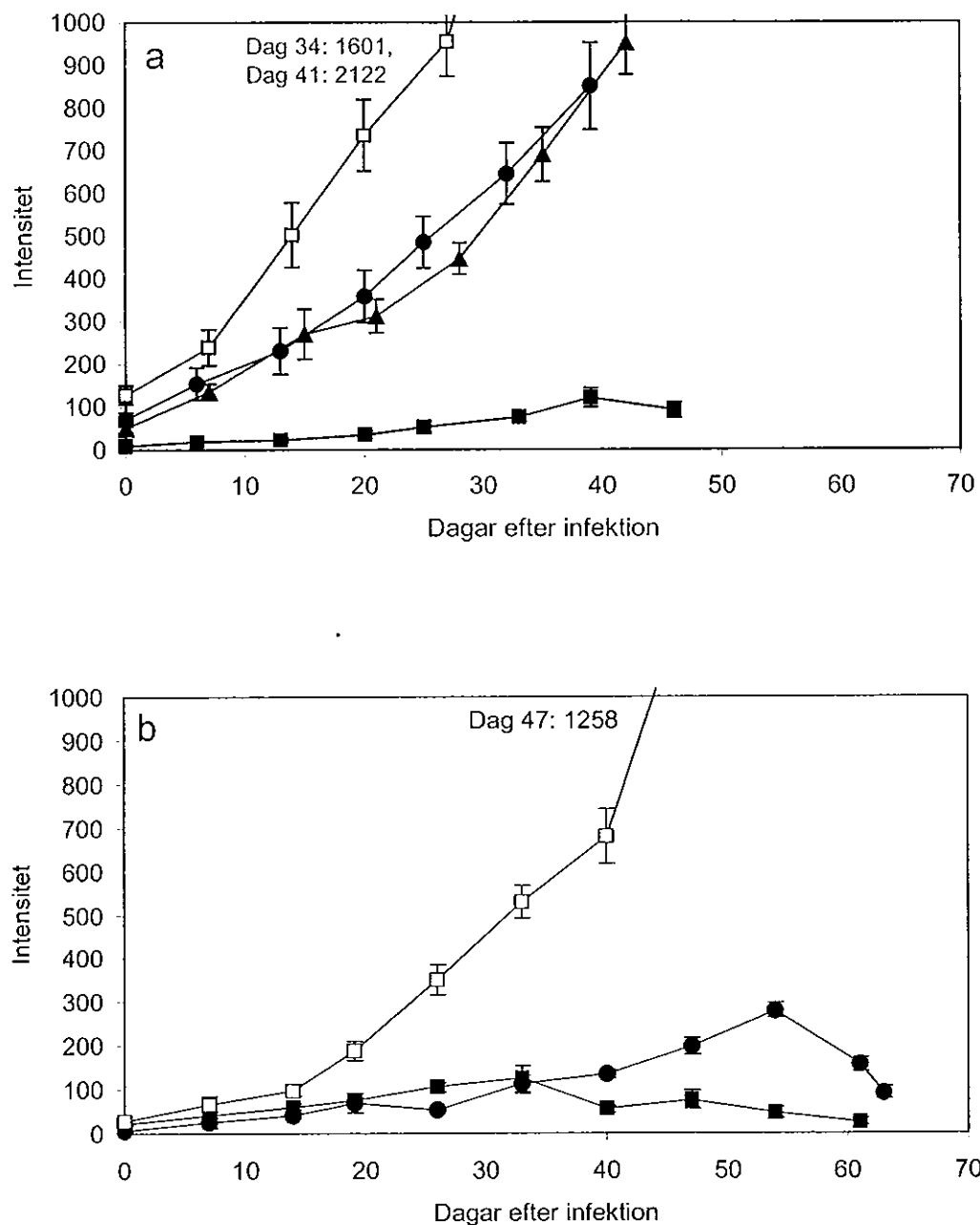
Figur 2. Utveckling av infektionsintensitet för försöksgrupper vid Södra Bullaresjön. Medelvärden och SE anges. a: Lax från Enningdalsälven, Berby, Norge, försökskomb. 2. b: ■ Lax från Enningdalsälven, Långevallsälven, Sverige, försökskomb. 1; ● Gullspångsälven, försökskomb. 4; ▲ Rolfsån, försökskomb. 5. Observera att den vertikala skalan är olika i a och b.



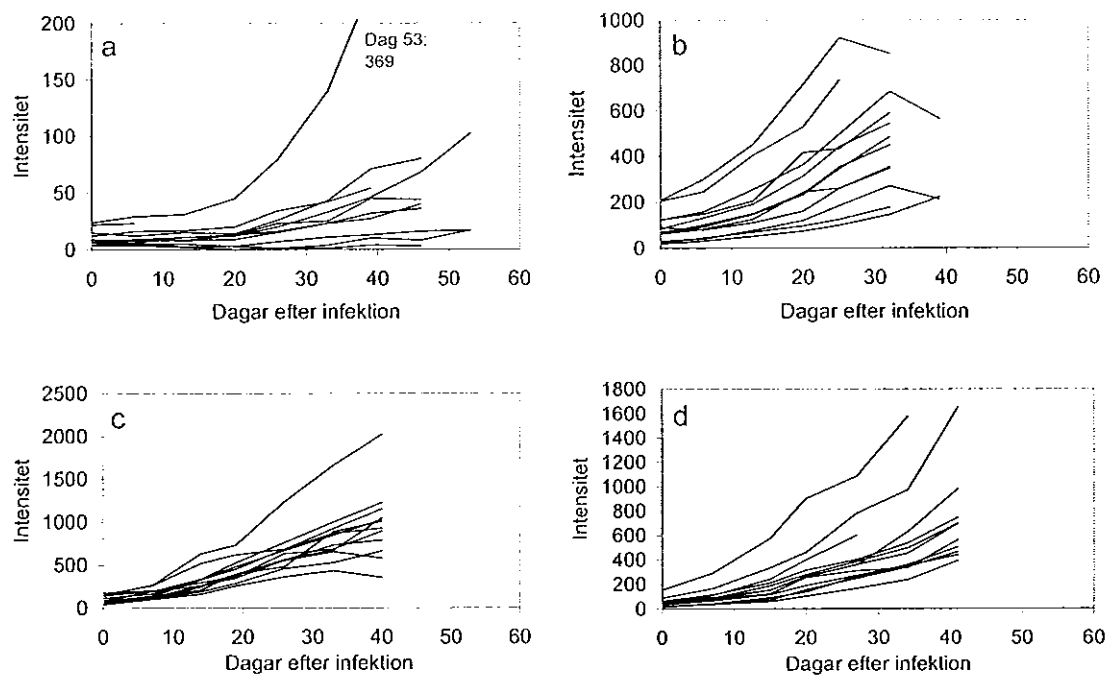
Figur 3. Utveckling av relativ infektionsintensitet för försöksgrupper vid Södra Bullaresjön. Se förklaring i texten. Medelvärde per vecka anges. ■ Lax från Enningdalsälven, Långevallsälven, Sverige, försökskomb. 1; ● Enningdalsälven, Berby, Norge, försökskomb. 2; □ Gullspångsälven, försökskomb. 4; ▲ Rolfsån, försökskomb. 5.



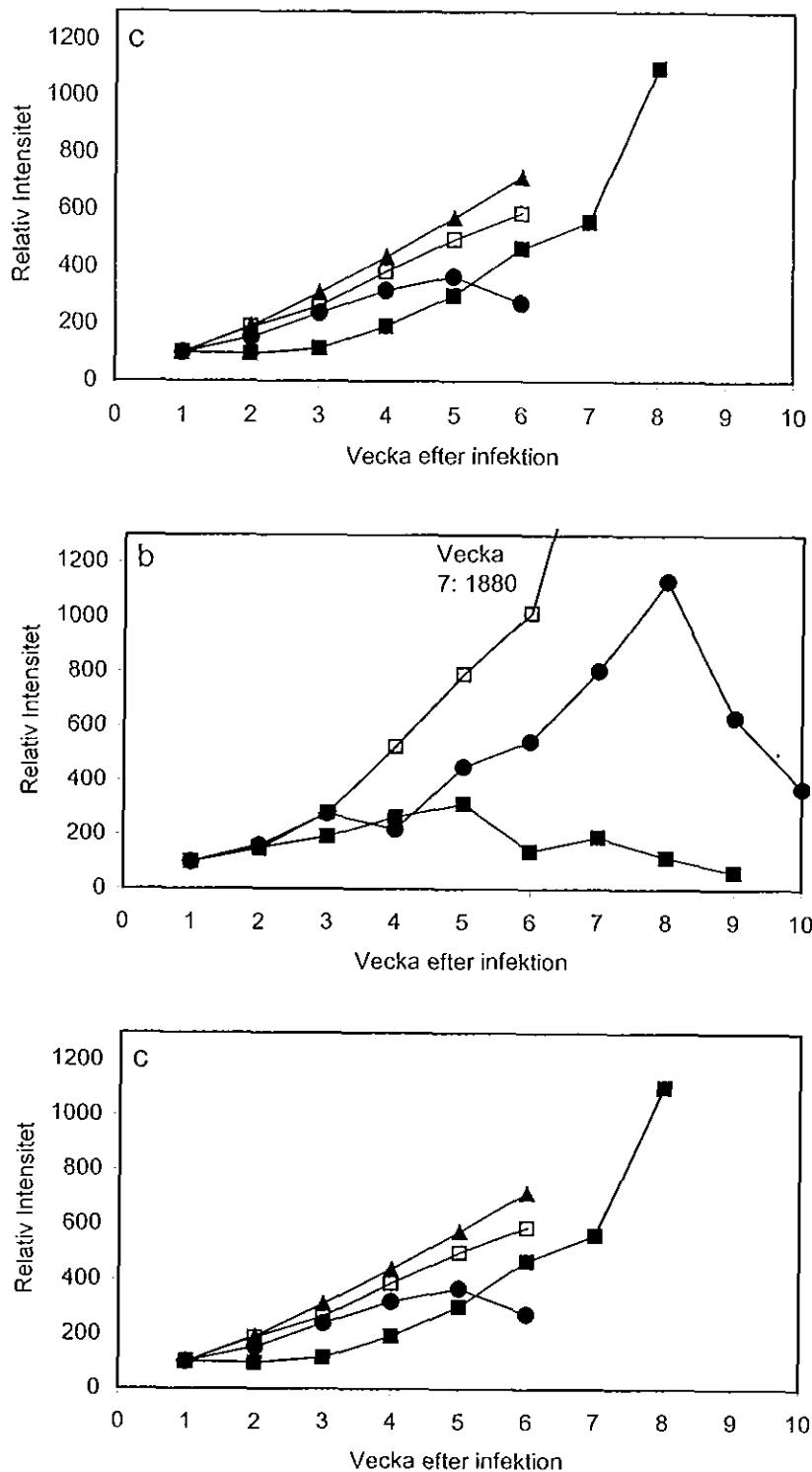
Figur 4. Kumulativ övrig dödlighet i % för försöksgrupper vid Södra Bullaresjön. Med "övrig" menas dödlighet som inte kan relateras till olyckor. ■ Lax från Enningdalsälven, Långevallsälven, Sverige, försökskomb. 1; ● Enningdalsälven, Berby, Norge, försökskomb. 2; □ Gullspångsälven, försökskomb. 3; ▲ Gullspångsälven, försökskomb. 4; ◇ Rolfsån, försökskomb. 5.



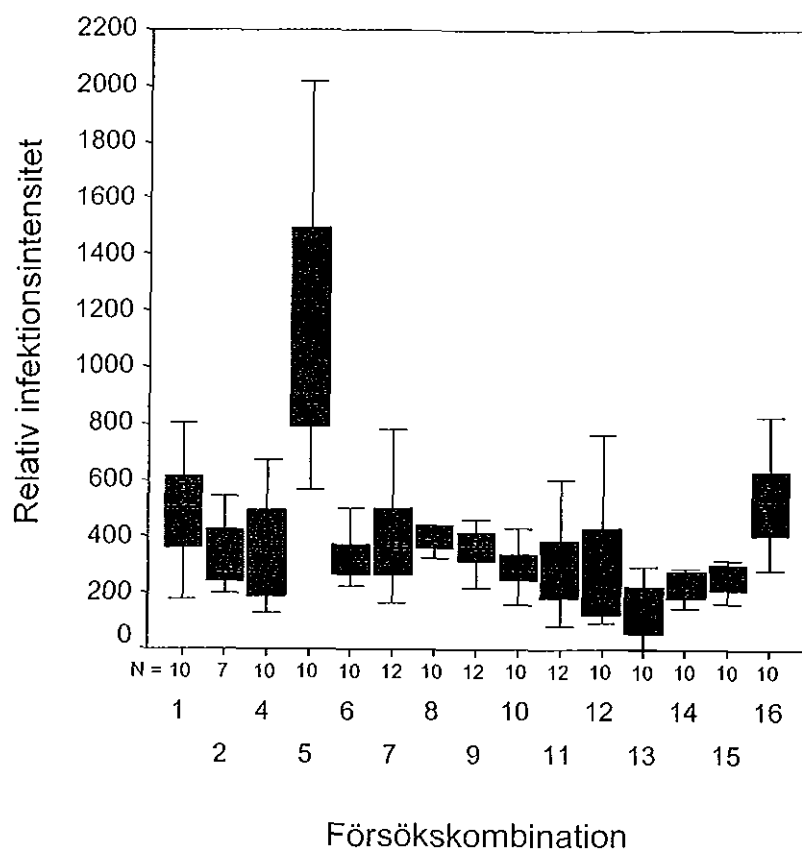
Figur 5. Utveckling av infektionsintensitet för försökskombinationer i Oslo som är i grupper. Medelvärden och SE anges. a. ■ Lax från Enningdalsälven Norge / *G. salaris* regnbågslax; ● Enningdal Norge / *G. salaris* Lärdalselva; □ Drammenselva / *G. salaris* regnbågslax; ▲ Drammenselva / *G. salaris* Lärdalselva; b. ■ Gullspång / *G. salaris* regnbågslax; ● Gullspång / *G. salaris* Lärdalselva; □ Rolfså / *G. salaris* Ätran.



Figur 6. Utveckling av infektionsintensitet för försökskombinationer i Oslo som är isolerade. Intensitet för individer anges. a: Lax från Enningdal Norge / *G. salaris* regnbågslax; b: Enningdal Norge / *G. salaris* Lärdalselva; c: Drammenselva / *G. salaris* regnbågslax. d: Drammenselva / *G. salaris* Lärdalselva. Observera olika skalor på vertikala axeln i a till d.



Figur 7. Relativ infektionsintensitet för samtliga försöksgrupper i Oslo. Medelvärde per försökskomb. anges. a: Grupper av fisk. ■ Lax Enningdal Norge / *G. salaris* regnbågslax; ● Enningdal Norge / *G. salaris* Lördalselva; □ Drammenselva / *G. salaris* regnbågslax; ▲ Drammenselva / *G. salaris* Lördalselva. b: ■ Gullspång / *G. salaris* regnbågslax; ● Gullspång / *G. salaris* Lördalselva; □ Rolfså / *G. salaris* Ätran; c: Isolerade individer. ■ Enningdal Norge / *G. salaris* regnbågslax; ● Enningdal Norge / *G. salaris* Lördalselva; □ Drammenselva / *G. salaris* regnbågslax; ▲ Drammenselva / *G. salaris* Lördalselva.



Figur 8. Boxplot över relativ infektionsintensitet fyra veckor efter infektionen för försökskombinationerna (Tabell 3) (fet linje, median; box, 25-75 percentiler; outliers och extremvärden mer än 1,5 boxlängd från 25 eller 75 percentilen visas ej).