

Yttrande från SLUs vetenskapliga råd för djurskydd om bedövning vid slakt av fisk

Syfte och målgrupp

Detta yttrande är skrivet på uppdrag av Jordbruksverket i syfte att sammanställa aktuell forskning och ge en tydlig bild av det vetenskapliga läget på området bedövning vid slakt av fisk, samt belysa om det finns kunskapsluckor på området.

Det vetenskapliga rådet består av:

- Lotta Berg, ordförande, professor, Institutionen för husdjurens miljö och hälsa
- Helena Hansson, professor, Institutionen för ekonomi
- Anders Herlin, docent, universitetslektor, Institutionen för biosystem och teknologi
- Jan Hultgren, docent, universitetslektor, Institutionen för husdjurens miljö och hälsa
- Magdalena Jacobson, professor, Institutionen för kliniska vetenskaper
- Anna Jarmar, jurist, ledningskansliet SLU
- Linda Keeling, professor, Institutionen för husdjurens miljö och hälsa
- Lotta Rydhmer, professor, Institutionen för husdjursgenetik
- Eva Sandberg, universitetslektor, Institutionen för anatomi, fysiologi och biokemi
- Margareta Steen, docent, biträdande föreståndare Nationellt centrum för djurvälstånd
- Helena Wall, professor, Institutionen för husdjurens utfodring och vård
- Frida Lundmark Hedman, Fil Dr, adjunkt, Institutionen för husdjurens miljö och hälsa

Rådet vill uttrycka sin tacksamhet till expertgruppens medlemmar som utarbetat detta yttrande: Michael Axelsson, professor, Institutionen för biologi och miljövetenskap vid Göteborgs universitet, Albin Gräns, forskare, Institutionen för husdjurens miljö och hälsa vid SLU, Helena Hansson, professor, Institutionen för ekonomi vid SLU och Elina Åsbjer, kvalificerad handläggare, Nationellt centrum för djurvälstånd (SCAW) vid SLU, samt Jan Hultgren och Eva Sandberg från Rådet och Margareta Steen för handläggning. Dessutom har Erika Sundell, MSc och Jennifer Bowman, MSc, båda vid Institutionen för husdjurens miljö och hälsa vid SLU hjälpt till med genomgång och sammanfattning av litteratur.

Sammanfattning

I Sverige produceras cirka 11 100 ton matfisk per år, varav ungefär 89 % regnbåge, 11 % fjällröding och en mycket liten andel övrig fisk. Huvuddelen av den svenska matfiskproduktionen sker i s.k. kassodling d.v.s. flytande nätkassar. Bedövning, strupskärning och avblodning sker som regel på den plats där fisken hållits. Majoriteten av all matfisk från svenska producenter bedövas med koldioxid medan en dryg tredjedel bedövas med elektricitet, räknat per vikt. Endast en mindre del bedövas mekaniskt, även om manuell klubbning är en vanlig metod i småskalig produktion. Bedövning med kemiska metoder, eller med nedkylning, förekommer sannolikt inte. Bedövningsmetoden sammanhänger i viss mån med andra steg i slaktprocessen som då också behöver beaktas vid jämförelse av olika bedövningsmetoder.

Samhällets ökande krav på god djurvälstånd gäller även fiskproduktion och näringen försöker möta dessa krav. Fiskar är en heterogen grupp och det går inte att definiera välfärdsfaktorer generellt utan dessa måste vara artspecifika. Ny teknik gör det dock möjligt att studera välfärdsfaktorer även hos fisk och under alla delar av uppfödningen, inklusive slaktprocessen. Detta kan leda fram till artspecifika rekommendationer och på sikt öka välfärden för odlad fisk.

Synliga indikatorer på medvetande, såsom beteendemässiga reaktioner, kan användas för att under praktiska förhållanden avgöra om en bedövning har misslyckats, men avsaknaden av sådana reaktioner är inte bevis på att fisken är medvetslös. I brist på vetenskapligt utvärderade och praktiskt tillämpbara indikatorer för att med säkerhet avgöra att en bedövning har lyckats, d.v.s. att fisken är medvetslös, krävs i dagsläget mätningar av hjärnaktivitet, vilket hittills endast har kunnat utföras under försöksmässiga betingelser.

Det saknas studier som visar att gas är lämplig för bedövning av laxfiskar och sådan bedövning bör därför tills vidare undvikas. Induktionstiden är alltid flera minuter lång. Koldioxidexponering orsakar kramper, flyktbeteende och fysiologisk stress hos laxfiskar, oavsett koncentration och kombination med andra gaser. Placering i kar med vattenlösning av koldioxid är därför inte en etiskt acceptabel metod för bedövning eller avlivning. Trots detta bedövas majoriteten av all svenskproducerad matfisk med koldioxid. Information om hur exponering för kvävgas och kolmonoxid påverkar fiskarna är knapphändig och motstridande. Dessutom är det oklart hur gasbedövning med kvävgas och kolmonoxid påverkar medvetandet hos fisk, varför det inte går att avgöra om gaserna har potential att ge en effektiv bedövning eller ej. Fler studier av hur kvävgas och kolmonoxid påverkar fiskarnas välfärd fordras innan lämpligheten hos någon av dessa gaser kan bedömas. Kolmonoxid är också farlig för de personer som hanterar gasen och är därför olämplig ur ett arbetsmiljöperspektiv.

Baserat på de få mätningar av medvetande som gjorts i samband elektrisk bedövning av fisk kan den inte rekommenderas som ensam bedövnings- eller avlivningsmetod om man samtidigt vill bibehålla en hög köttkvalitet, vilket är relevant om produkten ska säljas. Trots detta bedövas drygt en tredjedel av all svenskproducerad matfisk med enbart elektricitet. Däremot kan elektricitet eventuellt användas för att kortvarigt förbedöva fisken så att den blir mer hanterbar under efterföljande bedövning och avlivning. Det förutsätter dock att elbehandlingen sker på ett sätt så att inte köttkvaliteten försämras.

Mekanisk bedövning är en av de få nu använda bedövningsmetoderna för fisk (dock ej i bruk vid storskalig kommersiell slakt av laxfisk i Sverige) som genererar omedelbar och irreversibel medvetslöshet. För att lyckas med bedövningen behövs kunskap om fiskens anatomi och att kraften i slaget är tillräckligt stor. Eventuellt kan större precision erhållas genom att använda en handhållen tryckluftspistol eller automatiserad slagmaskin, jämfört med en manuell klubba. För att underlätta hanteringen, maximera slagprecisionen och minimera fiskarnas stress inför bedövning skulle dessutom möjligen förbehandling med ett lugnande kemiskt bedövningsmedel kunna användas.

Nejlikolja och dess aktiva komponenter euginol och isoeuginol tycks kunna sänka fiskens stressnivå. Informationen om hur dessa substanser kan användas i fiskuppfödning är knapphändig och ibland motsägelsefull. Det saknas kunskap om huruvida de faktiskt inducerar medvetslöshet, liksom hur de skulle kunna användas för att reducera fiskens stress. Det saknas också information om hur vattentemperaturen påverkar substansens effektivitet.

Den vetenskapliga litteraturen är mycket sparsam när det gäller bedövningsmetodernas påverkan ur ett hållbarhets- och konkurrensperspektiv. Den samlade kunskapen är för liten för att tydliga slutsatser ska kunna dras. Möjligen skulle de lokala förutsättningarna för en relativt småskalig svensk fiskproduktion kunna skapa konkurrensfördelar på den internationella marknaden, om en djurvälståndsmässigt acceptabel bedövning i samband med slakt kan uppnås utan alltför stora investeringar i utrustning och kompetens, samt om mervärdena från en sådan produktion kan realiseras genom påverkan på efterfrågan eller betalningsviljan. Dessa effekter har dock inte studerats vetenskapligt. Utveckling av bedövningsmetoder som kan bidra till en hållbar och konkurrenskraftig svensk matfiskproduktion kräver sannolikt samarbete mellan forskare och fiskproducenter.

Slutsatser

Det har inte gått att finna tillfredsställande vetenskapliga belägg för att någon av de tillgängliga bedövningsmetoderna är djurskyddsmässigt acceptabel för regnbåge eller fjällröding. Rådet ser, baserat på nuvarande kunskap, inte någon framtid för bedövning med gas. Däremot skulle elektrisk eller mekanisk bedövning, eller kombinationen av en elektrisk reversibel bedövning följt av en irreversibel mekanisk bedövning, efter ytterligare utveckling kunna bli djurskyddsmässigt godtagbart. Kunskapen är otillräcklig för att bedöma om kemisk bedövning är ett utvecklingsbart alternativ.

För att i framtiden säkerställa att fiskar bedövas före avlivning vid slakt på ett djurskyddsmässigt acceptabelt och långsiktigt hållbart sätt krävs artspecifika vetenskapliga studier, som i samarbete mellan forskare och företag leder till utveckling av lämplig utrustning och metodik. Framtida forskning bör säkerställa att (1) bedövningen leder till medvetslöshet och att medvetandet inte återkommer under avlivningen, (2) bedövningsmetoden inte kräver någon form av hantering som utsätter fiskarna för avsevärt lidande, samt (3) bedövningen har önskad effekt oberoende av luft- och vattentemperaturer, inom de temperaturspann som är relevanta för svenska förhållanden. Forskningen bör i första hand inriktas på följande frågor:

- Hur bedövning med kvävgas eller kolmonoxid påverkar välfärden hos regnbåge och fjällröding samt, i det fall kolmonoxid framstår som en djurvälståndsmässigt acceptabel och praktiskt användbar metod, hur arbetsmiljöriskerna med denna gas kan bemästras.
- Om elektricitet inducerar medvetslöshet hos regnbåge och fjällröding eller bara immobiliserar fiskarna.
- Om euginol och isoeuginol inducerar medvetslöshet hos regnbåge och fjällröding eller om substanserna skulle kunna användas för att reducera fiskarnas stress vid slakt samt, i det fall användning av substanserna framstår som djurvälståndsmässigt acceptabel, hur miljö-, livsmedelssäkerhets- och arbetsmiljöriskerna med metoden kan bemästras.
- Hur djurvälståndsmässigt acceptabel bedövning i samband med slakt kan skapa konkurrensfördelar på den internationella marknaden och om mervärden från en sådan produktion kan realiseras genom påverkan på efterfrågan.
- Hur en djurvälståndsmässigt acceptabel bedövning i samband med slakt kan uppnås utan alltför stora investeringar i utrustning och kompetens.

Innehåll

1	Definitioner	6
2	Inledning.....	7
2.1	Uppdraget	7
2.2	Bakgrund och förutsättningar	7
2.3	Litteratur	8
3	Vattenbruk i världen och produktion av laxfiskar i Sverige.....	9
4	Välfärd hos fisk	11
5	Medvetande hos fiskar.....	12
6	Gasbedövning.....	14
6.1	Allmänt	14
6.2	Koldioxid (CO ₂).....	15
6.3	Kvävgas (N ₂)	16
6.4	Kolmonoxid (CO).....	16
6.5	Sammanfattande bedömning	17
7	Elektrisk bedövning.....	17
8	Mekanisk bedövning	19
9	Kemisk bedövning.....	21
10	Bedövning genom nedkylning.....	23
11	Hållbarhets- och konkurrensperspektiv	24
11.1	Hållbarhet	24
11.2	Konkurrenskraft	25
11.3	Sammanfattande bedömning	26
12	Referenser.....	26

1 Definitioner

Anestesi – bedövning (i allmän betydelse); sövning eller narkos

Avlivning – avsiktligt framkallad process som leder till att ett djur dör

Balansreflex – fiskens förmåga att orientera kroppen i vattnet

Bedövning – avsiktligt framkallad process som leder till att ett djur förlorar medvetandet och förmågan att känna smärta; ska föregå avlivning vid slakt

Effektivvärde – medelvärde över tid av t.ex. elektrisk spänning; betecknas på engelska 'root mean square, RMS' och beräknas som kvadratroten ur tidsmedelvärdet av de kvadrerade värdena; effektivvärdet av en växelspanning (V_{RMS}) är lika med den spänning som med likström i samma krets skulle ge samma effekt

Elektriskt fält – en egenskap i rummet mellan två elektroder med en viss elektrisk potentialskillnad; i varje punkt är fältets riktning och styrka den kraft som skulle utövas på en positiv testladdning placerad i punkten; fältstyrkan uttrycks i enheten V/m eller för tidsvarierande elektriska fält i V_{RMS}/m (se definitionen av effektivvärde)

Elektroencefalografi (EEG) – metod för att registrera hjärnans elektriska aktivitet

Färskvikt – vikten av hel levande eller avlivad fisk

'*Ikejime*' – ursprungligen japansk metod för slakt av fisk i avsikt att bibehålla kvaliteten på köttet; en bult eller syl förs snabbt in i bakhjärnan, vanligtvis belägen något bakom och över ögonen, vilket anses orsaka omedelbar hjärndöd

Kasse – stora eller mindre nätkassar för uppfödning av fisk

Konduktivitet – elektrisk ledningsförmåga; uttrycks i Siemens per meter, S/m

Odlad fisk – fisk som hålls för livsmedelsproduktion, utsättning eller avel inför någon av dessa verksamheter

Recirkulerande akvatiskt system ('Recirculationg Aquarium System, RAS') – slutet eller halvslutet landbaserat system för att odla fisk eller andra vattenlevande organismer

Slakt – avlivning av djur avsedda att användas som livsmedel, inklusive hela processen från bedövningen och själva avlivningen genom avblodning till urtagningen och beredningen av det avlivade djuret till livsmedel

Visually Evoked Response (VER), Visually Evoked Potential (VEP) – mätbara förändringar av elektrisk potential i hjärnan som svar på en visuell stimulans, oftast ett blinkande ljus

2 Inledning

2.1 Uppdraget

SLU:s vetenskapliga råd för djurskydd (nedan kallat Rådet) har fått i uppdrag av Jordbruksverket att sammanställa aktuell forskning och ge en tydlig bild av det vetenskapliga läget vad gäller bedövningsmetoder vid slakt av odlad fisk, samt belysa om det finns kunskapsluckor på området. Mer specifikt omfattade uppdraget:

- Laxfiskar med fokus på arterna regnbåge (*Oncorhynchus mykiss*) och fjällröding (*Salvelinus alpinus*).
- Att bedöma vilka bedövningsmetoder vid slakt som är mest lämpade ur ett djurskyddsperspektiv, inklusive en belysning av metoderna och en redogörelse för hur och varför Rådet bedömer de olika metoderna.
- Att belysa hållbarhets- och konkurrensperspektiv utifrån nationella förutsättningar för fiskodling i Sverige om det finns vetenskapligt underlag för att göra detta.

Yttrandet omfattar förutsättningar för bedövning vid slakt för svenska förhållanden. Då forskningen är begränsad har Rådet i de fall det funnits skäl inkluderat forskning även på andra fiskarter än regnbåge och fjällröding.

I yttrandet används begreppet ”djurskydd” när det handlar om människans handlingar och ansvar; vad den gör, inte gör eller borde göra för djuren. Ordet ”djurvälstånd” används när det gäller det individuella djurets upplevelse och hur väl det kan hantera sin situation. Mer specifikt används den definition av djurvälstånd som Världsoorganisationen för djurhälsa (OIE) antagit för landlevande djur, som anger att ”Djurvälstånd syftar på det fysiska och mentala tillståndet hos ett djur i relation till de omständigheter under vilka det lever och dör” (OIE, 2019b). Yttrandet fokuserar på vetenskapliga rön om djurs välfärd och i viss utsträckning djurskydd, men det har också bedömts vara nödvändigt att väga djurens intressen mot t.ex. människans intressen eller olika miljöaspekter inom ramen för uppdraget.

2.2 Bakgrund och förutsättningar

Huruvida fiskar kan känna smärta och lidande eller ej har varit en fråga för forskning och diskussion, bland annat för att fiskars hjärnor, kommunikation och förmåga att uttrycka smärta och lidande skiljer sig från däggdjuren, vilket försvårar bedömningen av deras upplevelser. Att vetenskapen har svårt att bedöma fiskars känslor och upplevelser är dock ett mycket tveksamt argument för att fiskar skulle sakna just dessa egenskaper och försiktighetsprincipen bör därför råda till fiskarnas fördel. Detta gäller även vid slakt och annan avlivning. En human hantering med fullgod bedövning är nödvändigt för att skydda varje enskild fisk mot smärta, stress och lidande vid tiden för slakt.

Detaljerade regler för hantering av fisk vid bedövning och slakt saknas, mest beroende på att kunskapsunderlaget har ansetts vara otillräckligt och att tekniken vid slakt av fisk har varit i behov av att utvecklas. Djurskyddslagen (2018:1192) anger att varje djur som slaktas ska skonas från onödigt lidande och obehag samt att varje djur som slaktas eller i annat fall avlivs genom avblodning ska vara bedövat. Jordbruksverkets föreskrifter och allmänna råd (SJVFS 2019:8) om slakt och annan avlivning gäller dock inte slakt av odlad fisk, utan endast akut

avlivning av andra skäl än slakt för konsumtion, t.ex. vid sjukdomsutbrott. Detaljerade regler för slakt av fisk ingår inte heller i Rådets förordning (EG) nr 1099/2009 om skydd av djur vid tidpunkten för avlivning. Enligt förordningen bör särskilda standarder införas för skydd av fisk vid avlivning. Av förordningens artikel 1 och 3.1 framgår dock att djur ska "förskonas från all smärta, plåga eller lidande som kan undvikas vid tidpunkten för avlivning och därmed sammanhängande verksamhet".

Bedövning är tänkt att inducera omedelbar eller snabb medvetslöshet (European Food Safety Authority, EFSA, 2009c) som ska kvarstå till dess att djuret har dött (djurskyddsförordningen, 2019:66). För att kunna avgöra bedövningens effekt måste medvetslöshet kunna fastställas korrekt av dem som bedövar djuren, vilket förutsätter att det finns tillförlitliga och praktiskt användbara indikatorer för medvetslöshet för de bedövningsmetoder som används på respektive djurslag.

Fiskars välfärd i samband med slakt påverkas inte bara av själva bedövningen utan även av de arbetsmoment som hänger samman med respektive bedövningsmetod, såsom eventuell trängning, håvning, pumpning, luftexponering och manuell hantering inför bedövningen, liksom tiden från bedövningen fram tills djuret är dött, urtagning på slakteri och bedövningens fullständighet under denna tid. Delar av slaktprocessen som rör andra moment än själva bedövningen kan därför behöva inkluderas i utvärderingen av respektive bedövningsmetod.

Bedövning vid fiskslakt har varit föremål för flera vetenskapliga utredningar och yttranden från expertgrupper. Brännäs *et al.* (2007) redogjorde för de olika slaktmetoderna av fisk och möjliga framtida slaktmetoder för svenska förhållanden. EFSA har publicerat flera rapporter om djurvälfärd vid bedövning och avlivning av olika fiskarter. Mekanisk bedövning samt elektrisk bedövning ansågs vara de mest tillförlitliga metoderna för regnbåge (EFSA, 2009c), medan koldioxidbedövning eller kvävning med is inte är förenlig med en god djurvälfärd, eftersom koldioxid är obehagsframkallande och kan ge en stark beteendemässig och fysiologisk reaktion under flera minuter, samt att metodernas bedövande effekt på fiskarna är oklar. Den brittiska Farm Animal Welfare Committee (FAWC, 2014) gav råd om olika bedövningsmetoder, baserat på forskning. OIE anger i sin Aquatic Animal Health Code (OIE, 2019a) att andra bedövningsmetoder än mekaniska eller elektriska har resulterat i välfärdspåverkan för fiskarna.

2.3 Litteratur

En systematisk litteratursökning gjordes i Web of Science Core Collection, CAB Abstracts® och Scopus från alla tillgängliga publikationsår. Följande söksträng användes: ("*rainbow trout*" OR "*oncorhynchus mykiss*" OR "*arctic char*" OR "*salvelinus alpinus*" OR *salmon* OR "*salmo salar*" OR *salmonid**) AND (*slaughter** OR *stun** OR *harvest**) AND ("*animal welfare*" OR *wellbeing* OR *well-being* OR *stress** OR *suffer** OR *humane**). Sökningen resulterade i c:a 544 referenser efter borttagning av dubletter. Från dessa valdes relevanta referenser som kunde användas i yttrandet. De kompletterades med referenser från tidigare sökningar och litteraturlistor.

3 Vattenbruk i världen och produktion av laxfiskar i Sverige

Enligt FN:s fackorgan för jordbruk, skogsbruk och fiske (Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO, 2018) får ca 3 miljarder människor en stor del av sitt dagliga intag av protein från fisk och under de senaste 70 åren har världens fiskkonsumtion mer än sexfaldigats. I en tid då 90 % av de kommersiellt viktiga fiskbestånden utarmas har denna enorma ökning möjliggjorts genom ökad produktion av matfisk i fångenskap. Vattenbruk är idag den snabbast växande sektorn inom livsmedelsindustrin och årligen avlivas mellan 48 och 160 miljarder fiskar inom vattenbruk (Mood & Brooke, 2012). Den stora osäkerheten beror på att fiskar till skillnad från andra produktionsdjur brukar räknas i vikt och inte antal individer.

Statistik från Statistiska centralbyrån (SCB, 2019) över den rapporterade svenska produktion av matfisk 2018 visade att det i Sverige producerades cirka 11 100 ton matfisk (färskvikt) varav 9586 ton regnbåge, vilket var en minskning från året innan med 16 %. Statistik över mängden fjällröding och övrig matfisk saknas för år 2018, men under 2017 producerades 1310 ton fjällröding och 57 ton övrig matfisk, där atlantlax, öring, tilapia och abborre ingick (SCB, 2018). Mängden producerad ål uppgick till 99 ton 2018 (SCB, 2019). Produktionen av matfisk har ökat från strax under 7000 ton 2008, men sedan 2016 har den minskat något.

Antalet producenter av matfisk minskade mellan 2010 och 2018 (SCB, 2019). Totalt fanns 59 aktiva producenter 2018, varav 45 födde upp regnbåge och 8 fjällröding. Av producenterna fanns 28 i Värmlands län, Dalarnas län, Gävleborgs län eller längre norrut och 31 i landets sydligare delar. Sett till mängden matfisk stod de nordliga länen (Värmland, Dalarna, Gävleborg, Västernorrland, Jämtland, Västerbotten och Norrbotten) för 97 % av all produktion, genom att anläggningarna var större än i sydligare landsdelar.

Ungefär 70 % av regnbågsproduktionen sker i sötvatten och resterande 30 % i Östersjöns bräckvatten. All produktion av fjällröding, ål och övrig matfisk sker i sötvatten. Den vanligaste produktionsformen av matfisk är vad som kallas flytande odling (SCB, 2019), vilket innebär att fiskarna hålls i större eller mindre nätkassar. Denna metod används både i söt- och saltvatten och totalt uppskattades antalet kassar 2018 till 612 stycken med en total volym på 758 000 m³ eller i genomsnitt cirka 1240 m³ per kasse. Fisken kan även hållas i dammar samt i bassänger och så kallade recirkulerande system (RAS) på land. Antalet dammar har minskat de senaste åren medan uppfödning i bassänger och RAS har ökat. Antalet bassänger skattades 2018 till 237 stycken med en total volym på 7000 kubikmeter och antalet RAS skattades till 72 stycken med en total volym på 5000 kubikmeter. Mer information om olika former för uppfödning av fisk går att finna på Sveriges vattenbruksföretagares webbportal (Jordbruksverket, 2019).

EU-kommissionen (2017) konstaterade att elektrisk bedövning eller kvävning med is är de vanligaste sätten att bedöva och avliva regnbåge inom EU. Man konstaterade också att kostnaderna för att investera i en förbättrad välfärd vid slakt av regnbåge ur ett europeiskt perspektiv är relativt låga och att sådana investeringar till och med kan leda till kostnadsbesparingar för stora producenter. Eftersom Sverige generellt har mindre produktionsvolym och mer småskaliga fiskodlingsanläggningar än många andra länder i

Europa kan man utifrån detta inte dra några säkra slutsatser om förbättringar i djurväl-färden skulle påverka svenska fiskproduktionsföretag.

Majoriteten av all matfisk från svenska producenter med bedövas koldioxid medan en dryg tredjedel bedövas med elektricitet, räknat per vikt (Jordbruksverket, 2019). Enligt samma källa bedövar ingen storskalig uppfödare mekaniskt, d.v.s. med klubba eller slagmaskin. Kemisk bedövning och bedövning genom nedkylning förekommer sannolikt inte heller.

På grund av stora avstånd mellan relativt små produktionsanläggningar i Sverige sker bedövning, strupskärning och avblodning som regel på den plats där fisken hållits. Urtagningen och den fortsatta slaktprocessen sker däremot på centralt belägna slakterier, vanligtvis i Finland eller Åland, även om det finns enstaka slakterier i Sverige (Kiessling *et al.*, 2013). Några mer småskaliga svenska produktionsanläggningar bereder den slaktade fisken själva för en lokal marknad (Kiessling *et al.*, 2013).

Även om det finns viss variation mellan produktionsanläggningarna, kan slaktprocessen vid produktion i kasse normalt delas in i ett antal steg (Kiessling *et al.*, 2013): svält, transport till kaj, trängning, överföring till bedövning, bedövning, avblodning, transport till slakteri och urtagning. Fiskens fastas före slakt för att sänka dess ämnesomsättning och syreförbrukning samt minska risken för att avföring eller uppkastningar irriterar fiskens gälar och kontaminerar fiskköttet. Fasteperioden anpassas efter vattentemperaturen men enligt EFSA (2009b) bör fastan inte överstiga 50 dygnsgrader (vattentemperatur i grader Celsius x antal dagar). Transporten till kaj sker vanligtvis genom bogsering med båt av en hel kasse i låg hastighet för att undvika stress hos fisken, och kan ta upp till flera timmar beroende på de lokala förhållandena. Den bogserade kassen kan bli lämnad vid kaj i flera timmar eller över natt. Strax före överföringen till bedövning är det nödvändigt att tränga ihop fisken för att kunna föra den vidare. Detta görs genom att kassen (eller ett nät inuti i kassen) lyfts upp så att fisken trycks mot ytan. I Sverige är det vanligast att fisken överförs till bedövning genom håvning, vilket kan ske med hjälp av kran på större odlingar eller en manuell håv på mindre. Det förekommer också att fisken överförs genom pumpning. Efter bedövning och avblodning genom strupskärning transporteras de döda fiskarna som regel på is eller i isvatten med bil till slakteri, vilket kan ta från någon enstaka timme till ett och ett halvt dygn (Kiessling *et al.*, 2013).

Bedövningsmetoden sammanhänger i viss mån med andra steg i slaktprocessen. Således innebär t.ex. bedövning med koldioxid efter uppfödning i kasse, som dominerar den svenska produktionen, att fisken måste håvas eller eventuellt pumpas till ett koldioxidkar och för att kunna göra detta krävs att kassen först har bogserats till kaj och att fisken har trängts i kassen. Vid slakt under vinterförhållanden i kallt klimat kan luftexponering innebära frysskador på gälarna, med direkta negativa konsekvenser för djurväl-färden (Bieber *et al.*, 2019). Eftersom transporten till slakteri kan ta lång tid kan också en ofullständig bedövning eller avblodning få stora konsekvenser för djurväl-färden. Andra bedövningsmetoder och produktionsförhållanden kan innebära andra utmaningar för djurväl-färden.

Sammanfattningsvis konstateras att det i Sverige producerades cirka 11 100 ton matfisk per år, varav ungefär 89 % regnbåge, 11 % fjällröding och en mycket liten andel övrig fisk.

Majoriteten av all matfisk från svenska producenter bedövas med koldioxid och cirka 36 % med elektricitet, räknat per vikt, medan sannolikt ingen bedövar med mekaniska eller kemiska metoder. Huvuddelen av den svenska laxfisken föds upp till slakt i s.k. kassodling d.v.s. flytande nätkassar. Bedövning, strupskärning och avblodning sker som regel på den plats där fisken hållits. Urtagningen och den fortsatta slaktprocessen sker däremot på centralt belägna slakterier, varav flera belägna i Finland eller på Åland. Transporten dit kan ta upp till ett och ett halvt dygn. Bedövningsmetoden sammanhänger i viss mån med andra steg i slaktprocessen som då också behöver beaktas vid jämförelse av olika bedövningsmetoder.

4 Välfärd hos fisk

Fiskar är till skillnad från däggdjur och fåglar växelvarma (ektoterma) djur vilket innebär att de inte spenderar energi på att hålla en stabil kroppstemperatur. Detta gör generellt att deras syreförbrukning är ca en tiondel jämfört med ett däggdjur eller en fågel av samma storlek vid samma temperatur. Vattentemperaturen styr deras kroppstemperatur och när vattentemperaturen går ner sjunker också deras metabolism och ämnesomsättning. Detta försvårar bedövning och avlivning av fiskar avsevärt då hjärnans syrebehov är lågt. Till exempel måste bedövningseffekten i samband med avlivning kvarstå under en längre tid i jämförelse med däggdjur och fåglar, eftersom många fiskar kan bevara hjärnfunktion (och därmed medvetandet) långt efter det att syretillförseln till hjärnan på ett eller annat sätt avstannat (Van De Vis *et al.*, 2003). Temperaturkänsligheten hos fisk skapar också problem vid utveckling och verifiering av bedövningsmetoder, eftersom både induktionstiden och den erforderade verkanstiden ofta påverkas av omgivningstemperaturen.

Baserat på studier av sensoriska system, hjärnans struktur och funktionalitet, smärta, rädsla och ångest ansåg EFSA (2009a) att det finns bevis för känslor hos vissa fiskarter, men att vår kunskap och förståelse för manifestationer av upplevelser hos fisk är begränsad. EFSA menade vidare att begreppet ”välfärd” har samma innebörd oavsett om det tillämpas på däggdjur, fåglar eller fiskar, men att det inte har studerats i samma utsträckning hos fiskar som hos övriga djurslag, samt att metoderna för att bedöma välfärd hos fisk måste vara artspecifika beroende på den stora variationen mellan olika fiskarter. Nationellt centrum för djurvälfärd sammanfattade på uppdrag av Jordbruksverket kunskapsläget och konstaterade att det finns bevis för att fiskar kan känna, uppleva och anpassa sitt beteende efter olika situationer och att det därför finns goda skäl för att behandla fisk med hänsyn till dessa förmågor (Jalmlöv *et al.*, 2010).

Ett stort antal nationella och internationella utredningar visar att välfärden hos fisk inom vattenbruk i många aspekter är undermålig (Ashley, 2007; Conte, 2004; EFSA, 2004; EU-kommissionen, 2012; Huntingford *et al.*, 2006; Kiessling *et al.*, 2013; Lines & Spence, 2012; Martins *et al.*, 2012; Van De Vis *et al.*, 2003). Detta beror bl.a. på en kombination av att vi inte har samma tradition av att hålla stora mängder fisk som lantbruksdjur, samt att det är svårt att bedöma fiskars välfärd då de saknar många av de observerbara beteenden som hos andra djurslag signalerar obehag, smärta och lidande. Att fiskar lever i vatten och därmed inte är lätta att observera i sin naturliga miljö, i kombination med att vi saknar förmågan att direkt tolka välfärdsindikatorer hos fisk, gör det svårt att använda forskningsmetoder för

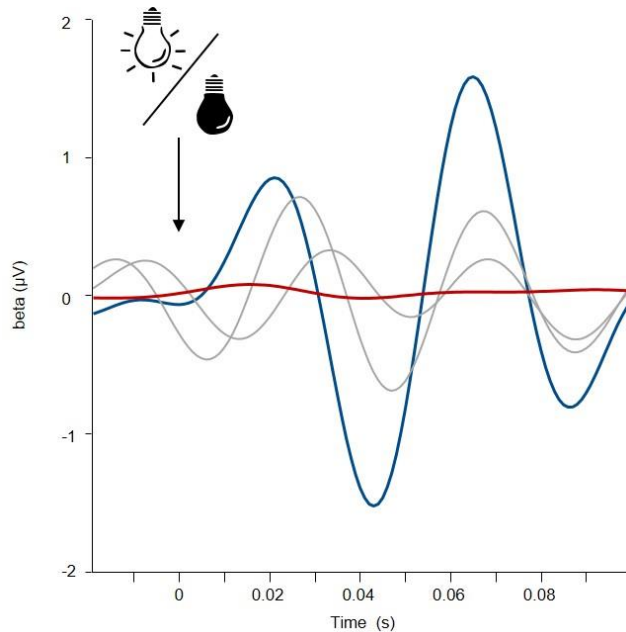
välferdsstudier från andra produktionsdjur, där arbetet med djurvälferd har kommit längre. Nya metoder för välfärdsstudier behöver därför både tas fram och valideras.

Sammanfattningsvis konstateras att samhällets ökande krav på god djurvälferd gäller även för fisk och att näringen försöker möta detta ökade krav. Fiskar är en heterogen grupp och det går inte att definiera välfärds-kriterier generellt utan dessa måste vara artspecifika. Ny teknik gör det dock möjligt att studera välfärdsfaktorer även hos fisk under alla delar av uppfödningen inklusive slaktprocessen. Detta kan leda fram till artspecifika rekommendationer och på sikt öka välfärden för odlad fisk.

5 Medvetande hos fiskar

Syftet med bedövning, att göra fisken medvetslös, är att eliminera risken för att djuret annars känner smärta och ångest i samband med strupskärning, avblodning och vidare hantering. Bedövningen ska vara så djup att fisken inte kan känna smärta eller ta emot andra impulser utifrån, och så långvarig att den varar till djuret blir irreversibelt medvetslöst eller dör av avblodningen (om det inte dör av själva bedövningen), utan att riskera att återfå medvetandet däremellan. För bedömning av bedövningskvalitet används i dag framförallt olika synliga indikatorer på medvetande eller brist på sådant, t.ex. att fisken förlorar balansförmågan och vänder buken uppåt, att andningen (gälrörelserna) upphör eller att ögonreflex saknas. Tyvärr har flera studier visat att dessa synliga tecken på medvetande är väldigt svåra att bedöma, inte minst när ett stort antal djur bedövas samtidigt, och att förlust av synliga tecken på medvetande inte alltid är pålitliga tecken på medvetslöshet (Bowman *et al.*, 2019; Lambooij *et al.*, 2010; Robb & Kestin, 2002; Robb *et al.* 2000). Det finns en risk att felaktigt utförd bedövning endast paralyserar fiskarna så att synliga tecken på medvetande försvinner, trots att djuren likväl inte är medvetslösa. Detta innebär att bedömningen ger en falsk säkerhet.

En mer pålitlig metod för att bedöma övergången till medvetslöshet hos fisk är att registrera hjärnaktivitet med hjälp av elektroencefalografi (EEG). Man kan analysera EEG-signalerna genom att dela upp dem i olika frekvensband (hög- och lågfrekventa hjärnvågor). En övergång från en stor andel högfrekventa hjärnvågor, alfa och beta, till mer lågfrekventa vågor (delta och teta) indikerar att medvetandet gått förlorat. Metoden har använts på en rad olika fiskarter, inklusive atlantlax (Lambooij *et al.*, 2010). Ett annat sätt att utvärdera övergången från medvetande till medvetslöshet med hjälp av EEG är att framkalla ett svar i fiskens EEG-signal på någon form av stimulering. S.k. 'Visually Evoked Response' (VER) eller 'Visually Evoked Potential' (VEP) är mätbara förändringar av elektrisk potential i hjärnan som svar på en visuell stimulans, oftast ett blinkande ljus. Medan fisken är medveten och utsatt för ljusstimulering kan man urskilja distinkta vågformationer i framförallt beta-frekvensbandet i EEG-signalen inom millisekunder efter det att ljuset slagits på. När medvetandet gradvis försvinner, minskar signalen i styrka tills den inte längre går att urskilja från baslinjen (Figur 1). VER har använts framgångsrikt för att mäta förändringar i medvetande hos regnbåge (Bowman *et al.*, 2019; Kestin *et al.*, 1991; Kestin *et al.*, 1995) och atlantlax (Robb & Roth, 2003; Robb *et al.*, 2000).



Figur 1. Förlust av hjärnaktivitet i regnbåge under exponering för sövningsmedlet MS-222. Den blå linjen visar ett visuellt framkallat svar (VER) i fiskens EEG i en helt medveten regnbåge. Den vertikala pilen visar tiden när ett stroboskopljus slås på för att trigga VER. Under MS-222-exponeringen förlorar fisken gradvis medvetandet (grå linjer). När fisken blivit medvetslös kan inte längre någon VER urskiljas i EEG-signalen (röda linjen). Varje linje representerar medelvärdet av elektrisk hjärnaktivitet från 120 stroboskopimpulser.

Tidigare har man kirurgiskt implanterat elektroder för mätning av EEG hos fisk, vilket är en utmaning eftersom det är ett kirurgiskt ingrepp som kräver narkos, men också för att mätningarna kan påverkas av kirurgin och den postoperativa återhämtningen. Helt nyligen har en ny metod utvecklats där en kopp, innehållande elektroder, sugts fast på fiskens huvud med hjälp av en vakuumpump (Figur 2). Metoden innebär att man nu kan mäta EEG utan några föregående kirurgiska ingrepp (Bowman *et al.*, 2019).



Figur 2. En nyligen utvecklad metod för att mäta EEG på fisk med hjälp av elektroder inrymda i en sugkopp som sugts fast på fiskens huvud.

Behovet att med hjälp av forskning tillhandahålla faktabaserad information om hur de olika bedövningsmetoderna som används för regnbåge och fjällröding påverkar förlusten av medvetande, samt vikten av att detta görs vid alla aktuella temperaturer har påtalats av EFSA (2009c). Därefter har vikten av att frångå användningen av synliga indikatorer på medvetande vid utveckling och verifiering av olika bedövningsmetoder belysts i studier av regnbåge (Bowman *et al.*, 2019), fjällröding (Gräns *et al.*, 2016; Sandblom *et al.*, 2012) och atlantlax (Lambooj *et al.*, 2010). I litteratursammanställningen har vi trots detta valt att inkludera även studier som endast undersökt visuella tecken på medvetande men vi vill vara tydliga med att dessa metoder endast kan användas för att identifiera huruvida en undersökt metod inte uppfyller kraven på en etiskt försvarbar avlivningsprocedur, inte för att bevisa att en metod faktiskt fungerar.

Sammanfattningsvis konstateras att synliga indikatorer på medvetande, såsom beteendemässiga reaktioner, kan användas för att under praktiska förhållanden avgöra att en bedövning har misslyckats, medan avsaknaden av sådana reaktioner inte är något bevis på att fisken är medvetslös. För att avgöra om en bedövning har lyckats, d.v.s. att fisken är medvetslös, krävs med nuvarande kunskap om indikatorer på medvetslöshet hos fisk mätningar av hjärnaktivitet, vilket hittills endast har kunnat utföras under försöksmässiga betingelser.

6 Gasbedövning

6.1 Allmänt

Bedövning av fisk med hjälp av olika typer av gaser används fortfarande trots att effektiviteten och den negativa påverkan på fisken länge har diskuterats. En fördel med gasbedövning, som ofta lyfts fram, är att fisken inte behöver hanteras av operatörer utan kan exponeras för gasen

direkt i vattnet. Dock sker gasbedövning i själva verket sällan i vattnet där fisken föds upp eller förvaras före slakt. Inte heller vill man blanda bedövningsvattnet med fiskevattnet eftersom bedövningseffektiviteten då försämras p.g.a. utspädning. Detta innebär i praktiken att fiskarna alltid hanteras och exponeras för luft, även före gasbedövning. En nackdel med gasbedövning är att det kan vara svårt att bedöma gaskoncentrationen i vattnet. Detta eftersom det kräver specialutrustning, då gasernas löslighet i vatten påverkas av yttre faktorer så som temperatur och lufttryck. Det kan också vara svårt att jämföra olika studier då gaskoncentration i vattnet uttrycks på olika sätt (t.ex. som g/L, %, atmosfärer, mm Hg, bar, psi), eller i vissa fall endast indirekt (t.ex. som pH eller tid som vattnet bubblats med gas).

6.2 Koldioxid (CO₂)

Den överlägset vanligaste metoden för gasbedövning är att exponera fiskarna för vatten innehållande förhöjda halter av koldioxid (CO₂) löst i vatten, d.v.s. kolsyra (H₂CO₃). Eftersom kolsyra sänker vattnets pH är det vanligt att vattnets pH-värde används som en praktisk indikator för koncentrationen av CO₂. Robb *et al.* (2000) exponerade atlantlax för vatten bubblat med CO₂ (pH c:a 5) under 4 min och noterade tydliga flykt- och stressbeteenden under de första 2 minuterna, följt av att de flesta fiskarna blev orörliga under de sista 2 minuterna. Analyser av hjärnaktivitet med hjälp av VER, d.v.s. mätbara förändringar av elektrisk potential i hjärnan som svar på en visuell stimulans, visade dock att ingen av fiskarna förlorade medvetandet under den 4 min långa exponeringen. Efter 4 min exponering togs fiskarna upp ur vattnet, strupskars och avblodades i luft. Total avsaknad av VER uppnåddes först efter 5-10 min, vilket innebar att fiskarna inte var medvetlösa utan endast paralyserade när de strupskars (Robb *et al.*, 2002). Varken 40 min CO₂-exponering (pH 5,5–5,7) i kombination med nedkylning (Roth *et al.*, 2006), eller 10 min CO₂-exponering i pH 5,6, 6,0 eller 6,4 (Erikson, 2011) räckte för att atlantlax skulle förlora medvetandet.

Även regnbåge och fjällröding reagerar med flykt- och stressbeteenden när de exponeras för koldioxid. Kestin *et al.* (1995) visade genom mätningar av VER att det tar c:a 4,5 min för regnbåge att förlora medvetandet vid CO₂-exponering (vid okänd gaskoncentration och temperatur) medan Marx *et al.* (1997) rapporterade att alla visuella tecken på medvetande var försvunna efter 3,2 min vid exponering av 2,5 g CO₂/L vid 8–14°C. Bernier och Randall (1998) jämförde effekten av lågt, medelhögt och högt partialtryck av CO₂ (36,5, 77,9 och 124,8 mm Hg) på tiden det tog för regnbågar att förlora sin balansreflex (förmågan att stå upprätt i vattnet). Författarna såg att det tog längre tid för fisken att förlora balansreflexen vid låg jämfört med medelhög koncentration av CO₂, men att hög koncentration inte förkortade tiden ytterligare. Man såg också att initialt stressade fiskar förlorade balansreflexen tidigare än mindre stressade fiskar vid låg koncentration, medan ingen skillnad mellan stressad och lugn fisk observerades vid medelhög koncentration. För fjällröding finns inga studier där man bedömt medvetande genom mätningar av hjärnaktivitet (VER) men observationsstudier rapporterar att det tar 2–4 min för fiskarna att förlora synliga tecken på medvetande vid exponering i CO₂-mättat vatten vid 4–10°C (Gräns *et al.* 2016; Seth *et al.* 2013). Seth *et al.* (2013) studerade även kombinationen av CO₂-exponering och nedkylning och fann att det tog cirka 3 min för fiskarna att förlora balansreflexen vid såväl 10 som 0,25 °C. Dock visade kompletterande mätningar av stresshormonet kortisol i plasman att den nedkylda gruppen hade en kraftigare stressrespons jämfört med fiskarna i den högre temperaturen vilket författarna tolkade som tecken på en kumulativ stress-effekt (Seth *et al.*, 2013).

Gemensamt för alla ovan nämnda studier om koldioxidbedövning är att de rapporterar tecken på starkt obehag hos fiskarna, såsom flyktbeteende, vilket av författarna beskrivs som oacceptabelt ur ett välfärdsperspektiv. Dessutom visade Robb *et al.* (2002) att fiskarna paralyseras långt innan de förlorar medvetandet, vilket antyder att studier som bara använder sig av synliga tecken på medvetande troligtvis underskattar tiden det tar för bedövningsmetoden att ha effekt. Användning av CO₂ har förbjudits som bedövnings- och avlivningsmetod för laxfiskar i Norge och man har sedermera studerat effekterna av både kolmonoxid och kvävgas i syfte att hitta alternativa gaser som förbättrar fiskvälfärden (se avsnitt 6.3 *Kvävgas (N₂)* och 6.4 *Kolmonoxid (CO)*).

Med hjälp av bland annat riskbedömning baserat på expertkunskap kom Kiessling *et al.* (2013) fram till att bedövning med koldioxid bör bytas ut mot alternativa bedövningsmetoder och att automatiseringen av bedövning och avblodning bör öka när mängden fisk som slaktas vid ett och samma tillfälle ökar. Åtgärder för att minska luftexponering bör enligt författarna också vidtas.

6.3 *Kvävgas (N₂)*

Exponering av atlantlax i vatten bubblat med kvävgas (N₂) (syremättnadsgrad 5 %) resulterade i flyktbeteende och tydligt obehag under de första 3 minuterna och förlust av balansreflex mellan 3 och 4 min, men efter 10 min exponeringstid var fiskarna fortfarande vid medvetande (Erikson, 2011). Man konstaterade i denna studie att atlantlaxen betedde sig ännu mer stressat än vid bedövning med CO₂. För regnbåge tog det 6–8 min att förlora balansreflexen i vatten som bubblats med kvävgas tills syrekoncentrationen var lägre än 1 mg/L (Wills *et al.*, 2006). Till skillnad från effekten på atlantlax syntes inga tydliga stress- och flyktbeteenden när regnbåge utsattes för bedövning med N₂. Författarnas slutsats var att bedövning med N₂ skulle kunna vara ett framtida alternativ för regnbåge men att ytterligare studier krävs (Wills *et al.*, 2006).

6.4 *Kolmonoxid (CO)*

För atlantlax har två olika typer av försök med kolmonoxid (CO) gjorts. I den ena studien exponerade man fiskar i vatten samtidigt som man adderade CO under antingen 8 eller 20 min, vilket resulterade i en slutkoncentration av antingen 0,1 eller 0,6 % kolmonoxid (Concollato *et al.*, 2014). I den andra studien tillsatte man CO till vatten under antingen 60 eller 120 min (koncentrationerna okända) innan fisken exponerades i totalt 30 min (Bjørlykke *et al.*, 2013). När fiskarna utsattes för en gradvis höjning av koncentrationen av CO observerades inga avvikande beteenden under de första 7 minuterna. Efter 8 min började fiskarna simma oregelbundet och okontrollerade kramper förekom, varefter försöket med gruppen som exponerades för 0,1 % kolmonoxid avbröts. Efter 10 min låg kvarvarande fiskar på botten med långsam ventilation och små simrörelser, och efter 20 min hade alla fiskar förlorat synliga tecken på medvetande (Concollato *et al.*, 2014). Till skillnad från fiskarna som gradvis exponerades så uppvisade fiskar som akut exponerades tydliga tecken på stress genom starka flyktbeteenden och ökade halter av stresshormonet kortisol (Bjørlykke *et al.*, 2013). För regnbåge och fjällröding är informationen om bedövning med CO knapphändig men en studie på regnbåge visade att det krävdes nästan 50 min för avlivning (Concollato *et al.*, 2016).

6.5 Sammanfattande bedömning

Bedövning med hjälp av gas vid slakt av laxfiskar har hittills inte visat sig effektiv och bör därför undvikas till dess att studier eventuellt kan styrka metodens lämplighet. Induktionstiden är alltid flera minuter lång. Koldioxidexponering orsakar kramper, flyktbeteende och fysiologisk stress hos laxfiskar, oavsett koncentration och kombination med andra gaser. Placering i ett kar med en vattenlösning av koldioxid är därför inte en etiskt acceptabel metod för bedövning eller avlivning av laxfiskar. Information om hur exponering för kvävgas och kolmonoxid påverkar fiskarna är knapphändig och motstridande. Dessutom är det oklart hur gasbedövning med kvävgas och kolmonoxid påverkar medvetandet hos fisk, vilket är nödvändigt att veta för att avgöra om gaserna har potentialen att ge en effektiv bedövning eller ej. Fler studier av hur kvävgas och kolmonoxid påverkar fiskarnas välfärd fordras innan någon av dessa gaser kan bedömas som godtagbara bedövningsmetoder. Kolmonoxid är också farlig för de personer som hanterar gasen och är därför olämplig ur ett arbetsmiljöperspektiv.

7 Elektrisk bedövning

Elektrisk bedövning innebär att man ger fisken en elchock som leder till medvetslöshet. Antingen tas fisken upp ur vattnet (s.k. torr-el) vid bedövningen eller också är den kvar i vattnet (blöt-el). Studier av fjällröding har visat att det troligen är andningsstopp som orsakar döden, snarare än hjärtstopp (Sandblom *et al.*, 2012) i de fall då bedövningen är irreversibel, d.v.s. när fisken inte vaknar upp även om den inte skulle avblodas. Elektricitet används endast sällan för avlivning (eller irreversibel bedövning) av laxfisk då höga strömstyrkor och låga elektriska frekvenser anses orsaka en försämring av köttets kvalitet hos dessa arter. Vanligare är kortvarig (reversibel) bedövning för att underlätta efterföljande hantering och avlivning. Det råder dock osäkerhet huruvida de olika typerna av elbedövning som används faktiskt resulterar i att fiskarna förlorar medvetandet och inte bara blir paralyserade, samt om medvetandet riskerar att återkomma under den efterföljande avlivningsprocessen innan fisken är död (Gräns *et al.*, 2016; Robb & Kestin, 2002; Sandblom *et al.*, 2012). Osäkerheten beror på svårigheten att visuellt bedöma om och när en fisk förlorar medvetandet.

Elektrisk bedövning utförs genom att en elektrisk ström skickas genom fisken. Ström som passerar genom hjärnan inducerar ett omedelbart men icke-dödligt epilepsiliknande anfall under vilket fisken är medvetslös (Lambooj *et al.* 2010). En fungerande elbedövning är snabb och det går att bedöva många fiskar samtidigt eller en i taget i snabb takt. En fördel med blöt-el, åtminstone teoretiskt, är att fisken inte behöver hanteras av operatörer utan kan exponeras för elektriciteten direkt i vattnet. I praktiken sker elbedövning sällan i vattnet där fiskarna förvaras före slakt, vilket innebär att de även vid användning av blöt-el hanteras och exponeras för luft i anslutning till elbedövningen. Exponering för luft är ett välfärdproblem eftersom fiskar inte kan ta upp syre i luft (utan kvävs) och riskerar frysskador om lufttemperaturen är under nollpunkten.

Vid elbedövning samverkar många faktorer (t.ex. spänning, strömstyrka, frekvens, likström/växelström, vattnets elektriska ledningsförmåga, vattenvolym, storlek på elektroderna och antal fiskar i behållaren) som påverkar resultatet. Till exempel krävs att vattnet har en viss ledningsförmåga för att framgångsrikt el-bedöva fisk i vatten, men en alltför stor

ledningsförmåga försämrar verkningsgraden eftersom strömmen tenderar att gå runt fisken snarare än genom den. Olika individer kan exponeras olika mycket, vilket kan resultera i att några fiskar förlorar medvetande medan andra får en lägre exponering och bibehåller medvetandet. En nackdel med elbedövning är att man i varje enskilt fall måste ta hänsyn till de olika parametrarna och optimera systemet för bästa resultat, vilket gör det svårt att standardisera metoden.

Torr-el eliminerar många av de problem som beskrivits för blöt-el eftersom varje fisk exponeras individuellt, vilket resulterar i en säkrare bedövning av varje enskild fisk. Nackdelar med torr-el är att fisken kan behöva hanteras betydligt mer av operatörer, måste luftexponeras, samt att den kan komma in felvänd eller samtidigt med andra fiskar i maskinen, vilket kan leda till lägre el-exponering och en utebliven eller fördröjd bedövningseffekt.

De flesta vetenskapliga undersökningarna av medvetande efter elbedövning av atlantlax har varit observationsstudier. Man har visuellt observerat tecken som ventilation, kroppsrörelser och ögonreflexer och baserat på detta avgjort om och när fisken är vid medvetande eller inte. Baserat på dessa observationer har man kommit fram till att den optimala frekvensen för att bedöva (blöt-el) atlantlaxar som väger 1,20–8,25 kg är 50–100 Hz (Grimsbø *et al.*, 2015; Roth *et al.*, 2004). Baserat på observationsstudier har man sett att en lägre frekvens ger en effektivare bedövning, men risken för fler och större skador ökar också. Bedövningseffekten och skadorna på skelett och kött påverkas också av styrkan på det elektriska fältet och av exponeringstiden. Roth *et al.* (2004) visade att elbedövning inom det ”optimala” frekvensintervallet med ett elektriskt fält av styrkan $25 V_{RMS}/m$ (’root mean square voltage per metre’, effektivvärdet av den elektriska fältstyrkan) ger förlust av synliga tecken på medvetande efter 10 s exponering, men att det bara krävs 3 s exponering vid $50 V_{RMS}/m$. Om man kortar ner exponeringstiden till under 1,5 s minskar skadorna på fisken, men då krävs ett elektriskt fält starkare än $125 V_{RMS}/m$ för att fisken ska förlora synliga tecken på medvetande (Roth *et al.*, 2003). Robb och Roth (2002) försökte elbedöva atlantlax med olika fältstyrkor och exponeringstider ($25 V_{RMS}/m$ under 12 s, $50 V_{RMS}/m$ under 3 s och $200 V_{RMS}/m$ under 1 s) och mätte fiskens hjärnaktivitet (EEG) genom analyser av VERs före och efter el-exponering. Alla fiskar i alla behandlingar förlorade VER direkt efter el-exponeringen. Dock återfick fiskarna exponerade för $25 V_{RMS}/m$ under 12 s och $200 V_{RMS}/m$ under 1 s medvetandet snabbare än de fiskar som exponerats för $50 V_{RMS}/m$ under 3 s. Det indikerar att ett elektriskt fält på $25 V_{RMS}/m$ är för svagt och att en exponeringstid på 1 s är för kort (Robb & Roth, 2003). I en annan studie analyserade Lambooj *et al.* (2010) VER hos atlantlax före och efter el-bedövning med torr-el. Resultaten visade att endast 30–40 % av laxfiskarna blev medvetlösa vid exponering med antingen 200 V under 0,5 s eller med 107 V under 5 s. I det försöket ingick endast tre fiskar varav en återhämtade sig så snabbt att den var vid medvetande vid avblodningen.

Liksom hos atlantlax har man visat att lägre frekvenser ger effektivare bedövning (igen baserat på visuella tecken på medvetande) men också att köttkvaliteten påverkas hos regnbåge. Hos både atlantlax och regnbåge kräver framgångsrik bedövning med elektricitet också starkare elektriska fält eller längre exponeringstid ju högre frekvenser som används (Lines *et al.*, 2003; Robb *et al.*, 2002). Baserat på observationsstudier har man kunnat konstatera att blöt-el med ett elektriskt fält på $250 V_{RMS}/m$ vid 50 Hz kan bedöva regnbåge på cirka 1 s men att fiskarna

återhämtar sig efter cirka 25–60 s (Lines *et al.*, 2003). För att bedövningen ska vara längre eller bli irreversibel så att fisken hinner avlivas utan att återhämta sig måste man öka exponeringstiden eller fältstyrkan. Till exempel fann man ingen återhämtning av synliga tecken på medvetande vid 250 V_{RMS}/m vid 50 Hz under 30 s (Lines *et al.*, 2003), och inte heller vid 128 V_{RMS}/m vid 50 Hz under 30 s (Robb *et al.*, 2002).

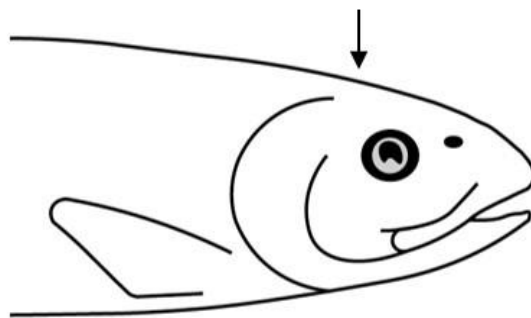
Det finns bara en studie som har mätt hjärnaktivitet med EEG i regnbåge under exponering med blöt-el (Kestin *et al.*, 1995). Den studien visade att strömstyrkor mellan 250 och 500 mA gjorde fisken medvetslös inom 1 s och att medvetlösheten höll i sig i ungefär 3,5 min. Strömstyrkor över 500 mA förlängde medvetlösheten till över 10 min. Hos fjällröding har man bara jämfört elektriska frekvenser på 125 och 1000 Hz, och kommit fram till att 125 Hz är mycket mer effektivt för att bedöva fisken (Lines & Spence, 2008). Baserat på en observationsstudie har elektriska fält på mellan 300 och 510 V_{RMS}/m vid en vattenkonduktivitet på 250–5000 µS/cm rekommenderats för fjällröding (Lines & Spence, 2008). Vattenkonduktiviteter mellan 300 och 1000 µS/cm har använts för regnbåge (Lines *et al.*, 2003).

Sammanfattningsvis konstateras att baserat på de få mätningar av medvetande som gjorts i samband med exponering av fiskar för elektricitet kan sådan inte rekommenderas som bedövnings- eller avlivningsmetod om man samtidigt vill bibehålla en hög köttkvalitet för att uppnå en god säljbarhet hos produkten. Däremot kan elektricitet eventuellt användas för kortvarig reversibel bedövning som gör fisken mer hanterbar under efterföljande bedövning och avlivning, under förutsättning att elbehandlingen sker på ett sätt så att inte köttkvaliteten försämras.

8 Mekanisk bedövning

Mekanisk bedövning innebär att fisken görs medvetslös genom ett slag mot huvudet med klubba eller tjock pinne (ibland kallad ”präst”), bultpistol eller liknande, eller att skallbenet och hjärnan penetreras med hjälp av en bult eller syl, s.k. ’ikejime’. Mekanisk bedövning av fisk har förekommit länge, i synnerhet i form av manuell klubbning. Ofta har en träpinne använts för att slå fisken i huvudet. Ett sådant slag skapar vibrationer i hjärnan som gör fisken medvetslös. I praktiken dödas fisken ofta av slaget, troligen på grund av hjärnblödningar. På mindre fiskar kan slaget också vara dödande genom att skalltaget går sönder och hjärnan förstörs. Numera finns mer sofistikerade metoder för mekanisk bedövning, i form av automatiserade slagmaskiner och tryckluftsdrivna bultpistoler. I automatiserade slagmaskiner utlöses slaget av fiskens position. Slagmaskiner och tryckluftsdrivna bultpistoler innehåller bultar som skjuts ut med hjälp av tryckluft eller en krutladdning. Bultarna kan vara antingen cylindriska och generera vibrationer i hjärnan, precis som vid manuell klubbning, eller koniska/spikformade och då istället penetrera skallbenet för att orsaka direkt fysisk skada på hjärnan. Eftersom hjärnan är relativt liten hos fisk i jämförelse med tama däggdjur, krävs det en hög precision för att skada hjärnan effektivt med en penetrerande bult, varför en icke-penetrerande cylindrisk bult som genererar vibrationer är att föredra (Roth *et al.*, 2007).

Förutsatt att slaget placeras korrekt och med tillräcklig kraft är den stora fördelen med mekanisk bedövning att fisken blir medvetslös direkt. En annan fördel är att ett korrekt slag/skott ofta är dödande och därför kan fungera som en kombinerad bedövnings- och avlivningsmetod. Kraften eller trycket i slaget avgör om fisken bara bedövas eller avlivas. En nackdel med mekanisk bedövning är att fisken ofta får skallfrakturer, att ögonen pressas ut ur ögonhålorna och att brott på käkbenet uppkommer, vilket kan försämra försäljningsvärdet på fisken. För att framgångsrikt utföra mekanisk bedövning måste slaget ske med precision och kunskap om fiskens anatomi. Slaget bör placeras där hjärnan ligger närmast huden och skallbenet är förhållandevis tunt. För laxfiskar är det precis bakom och ovanför ögonen (Figur 3).



Figur 3. Pilen indikerar korrekt position för slag för att uppnå effektiv bedövning av laxfiskar.

Nackdelar med manuell klubbning är att den medför luftexponering och att fisken behöver hanteras manuellt och därför måste vara hanterbar när slaget ska utdelas, att det är svårt att bedöva stora mängder fisk manuellt, att slaget behöver ha en viss kraft och utdelas med precision, samt att operatören utsätts för en viss risk för handskador. EFSA (2009b) påpekade att halvautomatisk mekanisk bedövning kan medföra välfärdsproblem eftersom fiskarna då måste hanteras ovan vattnet under sekunder till minuter vilket utsätter dem för kvävning. Luftryckspistol innebär att risken för skador på operatören minskar och att kraften blir mer likformig än vid manuell klubbning. Automatiserade slagmaskiner eliminerar risken för handskador hos operatören, ger konstant slagkraft och minskar behovet av manuell hantering av fisken. Dessutom blir det lättare att bedöva stora mängder fisk. För storskalig bedövning eller avlivning kan även någon form av förbehandling rekommenderas för att minimera stressen hos fisken och andelen misslyckade slag. Även för småskalig bedövning/avlivning med manuell klubbning eller bedövning med handhållen luftryckspistol kan förbehandling vara att rekommendera då det underlättar hanteringen av fisken, möjliggör större precision i slaget och minskar risken för handskador hos operatören. För stora uppfödningssystem finns idag mer avancerade slagmaskiner som också har en funktion för direkt strupskärning.

Robb *et al.* (2000) använde en tryckluftdriven pistol för bedövning av atlantlax. Ett väl placerat slag resulterade i lätt muskelkramp innan fisken immobiliserades, samt att fisken omedelbart förlorade VER, vilket indikerade medvetslöshet. Ett sämre placerat slag resulterade däremot i en tydlig fördröjning innan VER upphörde, om de alls gjorde det, och i många fall även till kraftigare rörelser hos fisken. Metoden var alltså beroende av hög precision hos operatören. Luftrycket (och därmed slagkraften) specificerades inte. Lambooj

et al. (2010) bedömde medvetandegrad hos atlantlax (med en vikt runt 1,5 kg) med hjälp av EEG efter mekanisk bedövning i en automatisk slagmaskin med rundad bult (40 mm i diameter) under ett tryck av 7–10 bar (0,7–1 MPa). EEG mättes under 30 s före och 5 min efter den mekaniska bedövningen. Vid 7 bar reagerade sju av åtta fiskar på taktilt stimulus (skrapande med nål på huden) efter skottet, och inga fiskar förlorade medvetandet enligt EEG-mätningarna. Vid 8,1–10 bar förlorade fiskarna däremot medvetandet direkt och inga fiskar reagerade på taktilt stimulus. Fiskarna blev ofta immobiliserade innan de förlorade medvetandet, vilket visar att observationer av synliga indikationer på medvetande (orörlighet) inte räcker för att avgöra om fiskarna är vid medvetande eller inte. Hjärnblödningar observerades hos 15 av 17, bruten käke hos 9 av 17 och spräckta ögon hos 8 av 17 fiskar. Slutprodukten, filéerna, var dock alltid av bra kvalitet.

Mekanisk bedövning av fjällröding har inte undersökts, men ett fåtal studier har gjorts på regnbåge. De flesta av dessa fokuserade dock på andra bedövningsmetoder och använde mekanisk bedövning (manuell klubbning) som kontroll. Manuell klubbning visades generellt omedelbar förlust av synliga tecken på medvetande (Marx *et al.*, 1997; Wills *et al.*, 2006). Kestin *et al.* (1995) fann dessutom att fiskarna förlorade VER direkt efter ett korrekt utfört slag, medan ett felaktigt slag resulterade i bibehållna VER. Detta understryker, precis som för atlantlax, vikten av att utföra slaget med tillräcklig kraft och med stor precision. En metod för att göra fisken mer lätthanterlig och på så sätt öka precisionen vid en mekanisk bedövning, och som idag används på atlantlax i Norge, är en kombinationsbedövning där fiskarna först reversibelt bedövas med elbedövning för att sedan irreversibelt bedövas med mekanisk bedövning. Detta skulle kunna vara en möjlig lösning även i Sverige, men då krävs först vetenskapliga studier som säkerställer att elbedövning har önskad effekt och inte bara paralyserar fiskarna och därigenom utsätter dem för lidande fram till den mekaniska bedövningen.

Sammanfattningsvis konstateras att mekanisk bedövning är en av de få nu använda bedövningsmetoderna för fisk som genererar omedelbar och irreversibel medvetlöshet. För att lyckas med bedövningen behövs kunskap om fiskens anatomi och att kraften i slaget är tillräckligt stor. Eventuellt kan ännu större precision erhållas genom att använda handhållen lufttryckspistol eller automatiserad slagmaskin. För att underlätta hanteringen, maximera slagprecisionen och minimera fiskarnas stress före bedövning skulle dessutom möjligen förbehandling med ett lugnande kemiskt bedövningsmedel kunna användas.

9 Kemisk bedövning

Slaktmoment för fisk innebär flera steg som inducerar stress, så som transport, trängning och olika situationer av hantering. För att minimera den upplevda stressen hos fisken, och således öka välfärden, har man diskuterat appliceringen av kemiska sövningsmedel för bedövning och/eller stressreducering. En stor fördel med kemisk bedövning är att exponeringen kan ske direkt i vattnet, så att fisken inte behöver luftexponeras och hanteras innan den har bedövats, vilket borde resultera i minskad upplevd stress. Nackdelen med kemisk bedövning är att fisken andas in och tar upp kemikalierna, vilket kan påverka både smaken på matfisk och hälsan hos människan vid och efter konsumtion. Idag används en rad olika kemikalier för sövning av fisk

inom olika discipliner, exempelvis av veterinärer och inom forskning, där några vanliga kemikalier är MS-222 (trikainmetansulfonat), metomidat, bensokain, euginol och isoeuginol. För att säkerställa arbetsmiljön vid användning av kemiska substanser i samband med bedövning av fisk är det viktigt att alla som hanterar eller kommer i kontakt med kemikalierna tar del av säkerhetsdatablad och att en riskbedömning görs.

Isoeuginol är även den aktiva komponenten i Aqui-s, som är ett kommersiellt framtaget medel för sövning av laxfiskar. Euginol och isoeuginol är två strukturellt lika ämnen som båda kommer från nejljolja. På grund av de strukturella och funktionella likheterna mellan euginol och isoeuginol används namnet isoeuginol i resten av detta yttrande. Isoeuginol är det enda kemiska bedövningsmedlet som blivit godkänt i samband med slakt av matfisk utan någon karantänperiod. Sövningsmedlet vars aktiva ämne anses ofarligt för människor är godkänt i Australien, Nya Zeeland, Chile, Costa Rica och Korea, men har ännu inte godkänts i något europeiskt land eller i Nordamerika. Följande avsnitt om kemisk bedövning kommer främst att handla om effekten av isoeuginol och till stor del utelämna information om övriga sövningsmedel som idag aldrig appliceras i fiskodling i direkt anslutning till slakt. Isoeuginol finns naturligt i nejljolja och har en sövande effekt genom att påverka nervsystemet hos fisk. Hos kungslax (*Oncorhynchus tshawytscha*) har man bland annat sett att fysiologiska effekter av isoeuginol innefattar en dämpad kardiovaskulär aktivitet i form av minskad hjärtminutvolym, sänkt hjärtfrekvens och blodtryck, samt sänkt ventilationsfrekvens (Hill & Forster, 2004; Hill *et al.*, 2002). Andra studier har undersökt potentialen av isoeuginol som bedövningsmedel och stressreducerande medel genom att visuellt bedöma graden av bedövning och mäta kortisolnivån efter isoeuginolexponering. Dock saknas kvantitativa studier av potentialen att inducera medvetslöshet med isoeuginol, samt om och hur isoeuginol faktiskt reducerar den av fisken upplevda stressen vid slakten.

I en observationsstudie av Erikson (2011) rapporterades att det tog minst 30 min för atlantlax att förlora synliga tecken på medvetande när de exponeras för 17 mg/L Aqui-s. Aqui-s innehåller 50 % av den aktiva komponenten isoeuginol vilket ger koncentrationen 9.5 mg/L isoeuginol. Trots att detta är en relativt lång sövningstid, ansåg författaren att isoeuginol uppfyllde studiens fyra kriterier för god välfärd hos atlantlax: induktion av medvetslöshet, minimerat obehag vid exponering, ingen återhämtning av synliga tecken på medvetande inom 10 min efter bedövning och minimal muskelaktivitet. Iversen *et al.* (2003) fann att det tog 2,2–8,1 min vid 5,4 °C att söva atlantlax med 30 mg/L Aqui-s, och att atlantlaxen dog vid 100 mg/L Aqui-s, vilket tyder på att koncentrationer över 15 mg/L isoeuginol är nödvändiga för att söva atlantlax snabbt.

Iversen och Eliassen. (2009) mätte även kortisolnivåer upp till 7 dagar efter en 2 timmar lång transport och dessa var signifikant högre hos obehandlade atlantlaxar än atlantlaxar behandlade med 20 mg/L eller mer Aqui-s. Atlantlax som exponerades för 5 mg/L Aqui-s hade lägre kortisolnivåer jämfört med en obehandlad kontrollgrupp under trängning och transport (Iversen & Eliassen, 2009). Likaså hade atlantlaxar exponerade för 2,0–2,5 mg/L isoeuginol/L Aqui-s lägre kortisolnivåer än obehandlade fiskar vid trängning (Speilberg *et al.*, 2018). Det verkar således som koncentrationer runt 2,5–10 mg/L kan räcka för att reducera stressen hos atlantlax vid trängning och transport medan över 10 mg/L isoeuginol behövs för att möjligen bedöva den.

Hos regnbåge orsakade 17 mg/L Aqui-s (8,5 mg/L isoeuginol) förlust av balansreflexen efter 8–10 min, men effekten var reversibel och alla de undersökta fiskarna återhämtade sig efter 30 min i vatten utan Aqui-s (Davidson *et al.*, 2000). Stehly och Gingerich (1999) fann att det med 20 mg/L Aqui-s tog i genomsnitt 2,3 min för regnbåge att förlora synliga tecken på medvetande och c:a 3,5 min för fisken att återhämta sig i vatten, medan det tog 1,4 min och 20 min för återhämtning när fiskarna hade exponerats för 50 mg/L Aqui-s. Induktionstiden är alltså kortare och tiden det tar för fisken att återhämta sig längre ju högre koncentration av Aqui-s som används. Varken Davidson *et al.* (2000) eller Stehly och Gingerich (1999) mätte dock medvetande hos fiskarna, varför det inte går att säga hur användbart Aqui-s är som bedövningsmedel för denna art. Däremot är det tydligt att varken 17, 20 eller 50 mg/L Aqui-s resulterar i irreversibel bedövning eftersom alla fiskarna återhämtade sig. Det är också tydligt att 17 mg/L Aqui-s inte är tillräckligt för att förhindra stress vid slakt av regnbåge.

Sammanfattningsvis konstateras att nejljolja och dess aktiva komponent isoeuginol tycks kunna sänka fiskens stressnivå. Informationen om hur denna substans kan användas i fiskuppfödning är knapphändig och ibland motsägelsefull. Det saknas kunskap om huruvida substansen faktiskt inducerar medvetslöshet, liksom om hur den skulle kunna användas för att reducera fiskens stress i samband med slakt. Det saknas också information om hur vattentemperaturen påverkar substansens effektivitet.

10 Bedövning genom nedkylning

Det är inte tillåtet att lägga fiskar på is eller i isbad, enligt 3 kap. 16 § Statens jordbruksverks föreskrifter (SJVFS 2019:6) om odling av fisk. I andra länder är det dock en vanlig metod för att lugna, ”bedöva” eller avliva fisk (Robb & Kestin, 2002). En anledning till metodens utbredning är, förutom att den gör fiskarna lättare att hantera, att den påverkar köttkvaliteten positivt. Fiskarna måste dock inte kylas levande för att bibehålla kvaliteten utan det verkar fungera lika bra att kyla dem snabbt efter avlivning.

Att beskriva generella effekter av nedkylning hos regnbåge, fjällröding och atlantlax är svårt eftersom temperaturen som djuren fötts upp i är helt avgörande för hur de påverkas av en sänkt kroppstemperatur i samband med nedkylning. Studier har visat att regnbåge kan uppfatta temperaturvariationer på 0,03–0,1 °C (Bull, 1936) och det verkar vara just temperaturskillnaden som bestämmer graden av stressrespons. Det finns inga vetenskapliga studier av om regnbåge eller fjällröding förlorar medvetandet när de läggs på is eller i isbad, eller hur lång tid det i så fall tar. Däremot har man sett att regnbåge och fjällröding som under minst 2 mån acklimatiserats till 0 °C avlider om de exponeras för -0,75 respektive -0,79 °C (Fletcher *et al.*, 1988).

Försök på både fjällröding och atlantlax har gjorts för att se om nedkylning kan användas för att minska stressen under andra arbetsmoment, eftersom fiskar efter en tid i isbad har uppfattats som ”lugna”. Nedkylning i kombination med både koldioxid och trängning ledde dock till motsatsen, eftersom nedkylningen ökade stresseffekten hos fjällröding (Seth *et al.*, 2013) och atlantlax (Skjervold *et al.*, 2001). Det är välkänt att en sänkt kroppstemperatur resulterar i förlust av både synliga tecken på medvetande och flyktbeteende hos fisk, medan

den fysiologiska responsen tyder på att de fortfarande upplever situationen som obehaglig (Robb & Kestin, 2002). Fenomenet har beskrivits hos både fjällröding (Seth *et al.*, 2013) och atlantlax (Skjervold *et al.*, 2001; Roth *et al.*, 2006). Många fysiologiska processer påverkas av kroppstemperaturen, och en sänkt kroppstemperatur sänker med all sannolikhet hastigheten för frisättning av stresshormoner till blodet, vilket kan leda till att de mätbara tecknen på stress försvagas även om fiskens upplevelse av situationen är oförändrad. Jämförelser av stressnivåer vid olika temperaturer är därför svåra att göra.

Sammanfattningsvis konstateras att det är svårt att beskriva generella effekter av nedkylning hos regnbåge, fjällröding och atlantlax eftersom temperaturen som djuren fötts upp i är helt avgörande för hur de påverkas av en sänkt kroppstemperatur i samband med nedkylning. Det finns inga vetenskapliga studier av om regnbåge eller fjällröding förlorar medvetandet när de läggs på is eller i isbad, eller hur lång tid det i så fall tar. Jämförelser av stressnivåer vid olika temperaturer är svåra att göra, eftersom de mätbara tecknen på stress kan försvagas av kyla även om fiskens upplevelse av situationen är densamma. Nedkylning kan, mot bakgrund av ovanstående, inte anses vara en bedövningsmetod för regnbåge eller fjällröding.

11 Hållbarhets- och konkurrensperspektiv

11.1 Hållbarhet

Hållbarhetsbegreppet har tre dimensioner: miljömässig, ekonomisk och social hållbarhet. Hansson *et al.* (2019) definierade utifrån litteraturen hållbarhetsdimensionerna i förhållande till animalieproduktion (alla produktionsdjur under svenska förhållanden). Var och en av de tre hållbarhetsdimensionerna har en mängd olika delkomponenter.

Miljömässig hållbarhet handlar om skadliga produkter och utsläpp från produktionen. Dessa är t.ex. utsläpp av växthusgaser och näringsläckage. Vidare innefattar begreppet miljömässig hållbarhet överanvändning av naturresurser och de negativa miljömässiga effekterna som följer av detta (van Zanten *et al.*, 2016).

Ekonomisk hållbarhet bedöms i allmänhet baserat på produktionens förmåga att generera inkomster stora nog för produktionens överlevnad samt förmågan att generera arbetstillfällen (Hansson *et al.*, 2019). Det råder dock inte enighet om hur denna dimension av hållbarhet bäst mäts (Montiel & Delgado-Ceballos, 2014). Hansson *et al.* (2019) lyfter fram två perspektiv. Det ena utgår från hållbarhetsredovisningen, vilken vanligen utgår ifrån riktlinjer framtagna av Global Reporting Initiative (GRI) (Global Strategic Alliances, 2019) och som betonar ekonomiska mått som vinst, kostnader, intäkter och investeringar. Det andra utgår ifrån ett mer nationalekonomiskt perspektiv med fokus på det ekonomiska systemets tillväxt och bevarande av investerat kapital (ekonomiskt såväl som i termer av naturresurser) (Ayres *et al.*, 2001; van den Bergh, 2010).

Social hållbarhet i animalieproduktionen rör t.ex. arbetsmiljö, hälsorisker hos människor i produktionen, smittspridning och hälsorisker kopplade till användning av antibiotika och påverkan på kringliggande samhälle (Hansson *et al.*, 2019). Djurvälstånd, folkhälsa och etiska överväganden är specifika delar av hållbarhetsbegreppet i animalieproduktionen (Stern *et al.*,

2005), vilka hänger samman med samhällets acceptans av produktionen (Hansson *et al.*, 2019).

Valet av bedövningsmetod vid fiskslakt kan framförallt relateras till etiska aspekter och samhällets acceptans av produktionen, alltså den sociala hållbarheten. Tinarwo (2006) betonade betydelsen av att förstå slaktmetodernas påverkan på djurvälstånd hos fisk som ett led i att avgöra vad som är en etiskt acceptabel fiskproduktion. Sorensen *et al.* (2004) undersökte sensoriska effekter av bedövningsmetoder men fann inga skillnader. Eftersom sådana effekter handlar om konsumenternas upplevelse av produkten kan de vara en del av den sociala hållbarheten. Bedövningsmetoder har också kunnat kopplas till köttkvalitet i en del studier (se avsnitt 7 *Elektrisk bedövning*, 8 *Mekanisk bedövning* och 9 *Kemisk bedövning*), men det är oklart om detta sedan påverkar konsumenternas ätupplevelse (Poli, 2009). Vidare kan bedövningsmetoderna kopplas till den ekonomiska dimensionen av hållbar utveckling om de innebär skillnader i kostnader eller intäkter för producenterna.

När det gäller den miljömässiga dimensionen av hållbarhet torde stark koncentration av stora produktionsanläggningar öka riskerna för utsläpp. Detta är dock inte nödvändigtvis kopplat till valet av bedövningsmetod. De miljömässiga konsekvenserna beror sannolikt på lokala förhållanden vad gäller hydrologin, vattendragens bottenkaraktär och förekomsten av vild flora och fauna i området. Koldioxidbedövning medför visserligen utsläpp av koldioxid men dess miljöpåverkan kan anses vara försumbar. Vidare innebär elbedövning användning av elektricitet, men även detta kan anses innebära en försumbar miljöbelastning och kan knappast påverka valet av energikälla. Kemisk bedövning kan medföra utsläpp av det använda ämnet i närmiljön, vilket kan ha negativa effekter på lokal flora och fauna och kan kräva tillståndsprövning. Den vetenskapliga litteraturen om hållbarhetsaspekter av bedövningsmetoder vid slakt av fisk är mycket sparsam, varför det inte är möjligt att dra slutsatser om metoderna ur ett bredare hållbarhetsperspektiv där samtliga dimensioner av hållbar utveckling beaktas.

11.2 Konkurrenskraft

Konkurrenskraft handlar om företagens möjlighet att generera vinst och överleva i konkurrens med andra företag på marknaden. Rent allmänt kan olika bedövningsmetoder innebära olika stora totala kostnader för fiskproduktionsföretagen, vilket kan påverka sektorns konkurrenskraft. Det finns dock inga vetenskapliga studier som undersöker sådana skillnader. Det är också möjligt att skillnader i bedövningsmetoder kan påverka konsumenternas acceptans och betalningsvilja för produkterna, i synnerhet om metoderna bidrar till en mer eller mindre djurvänlig och etiskt acceptabel produktion och detta kommuniceras till konsumenterna. Inte heller detta är undersökt vetenskapligt. Däremot har forskning visat på en ökad betalningsvilja för fisk och fiskprodukter med hållbarhetsmärkning (Jaffry *et al.*, 2016; Sogn-Grundvag *et al.*, 2014; Bronnmann & Asche, 2017) samt för eko- och djurvälståndsmärkning hos laxprodukter (Olesen *et al.* 2010). Realisering av mervärden kopplade till mer etiska bedövningsmetoder är dock möjligt endast så länge metoderna inte sprids. Detta innebär för svenska producenter att när metoderna spridits utanför landets gränser kan inte längre mervärdet realiseras av endast svenska producenter, vilket leder till en utbudsökning som pressar ner priserna. Exempelvis är det svårt för svenska matfiskproducenter att konkurrera med ett förbud mot koldioxidbedövning eller ett införande

av elektrisk förbehandling före mekanisk bedövning om dessa metoder redan tillämpas i Norge. Från djurens perspektiv är det naturligtvis bra med en mer utbredd användning av djurvälståndsmässigt överlägsna metoder, även om det från konkurrensperspektiv inte innebär några fördelar när sådana metoder blir allmänt etablerade.

Lax från Norge, Skottland, Chile och ett fåtal andra länder dominerar den internationella marknaden och stora fiskproducenter i dessa länder kan antas ha betydligt större utrymme för investeringar i t.ex. bedövningsutrustning, än de jämförelsevis små svenska producenterna av laxfisk. Ökade intäkter genom exploatering av mervärden som god djurvälstånd, småskalig produktion eller hantverksmässighet kan ha potential att förbättra de svenska företagens lönsamhet. Exempelvis har fiskproducenter på Åland marknadsfört sina produktionsmetoder som positiva för fiskens välfärd (Nordic Trout, 2019).

Realiserandet av mervärden i form av förbättrad djurvälstånd vid slakt förutsätter att bedövningen kan utföras på ett acceptabelt sätt under de rådande förhållandena på svenska anläggningar. Som framkommit ovan framstår mekanisk bedövning som en utvecklingsbar metod. Om metoden introduceras i större skala blir möjligheterna att tillämpa den utan investeringar i kostsam utrustning avgörande för de svenska företagens konkurrenskraft. En kostsam slagmaskin, kanske i kombination med kortvarig förbedövning med elektricitet med hjälp av en likaledes kostsam utrustning, liksom därmed sammanhängande nödvändiga åtgärder för att höja kompetensen hos anställd personal, kan ligga utom räckhåll för småskaliga producenter. Betydelsen av krav på effektiv och tillförlitlig bedövningsutrustning för de småskaliga företagens konkurrenskraft har hittills inte varit föremål för någon forskning.

11.3 Sammanfattande bedömning

Den vetenskapliga litteraturen är mycket sparsam när det gäller bedövningsmetodernas påverkan ur ett hållbarhets- och konkurrensperspektiv. Den samlade kunskapen är för liten för att tydliga slutsatser ska kunna dras. Möjligen skulle de lokala förutsättningarna för en relativt småskalig svensk fiskproduktion kunna skapa konkurrensfördelar på den internationella marknaden, om en djurvälståndsmässigt acceptabel bedövning i samband med slakt kan uppnås utan alltför stora investeringar i utrustning och kompetens, samt om mervärdena från en sådan produktion kan realiseras genom påverkan på efterfrågan. Dessa effekter har dock inte studerats vetenskapligt. Utveckling av bedövningsmetoder som kan bidra till en hållbar och konkurrenskraftig svensk matfiskproduktion kräver sannolikt samarbete mellan forskare och fiskproducenter.

12 Referenser

- Ashley, P.J. 2007. Fish welfare: Current issues in aquaculture. *Applied Animal Behaviour Science*, 104: 199–235.
- Ayres, R.U., van den Bergh, J.C.J.M. & Gowdy, J.M. 2001. Strong versus weak sustainability: economics, natural sciences and 'consilience'. *Environmental Ethics*, 23: 155–168.

- Bernier, N.J. & Randall, D.J. 1998. Carbon dioxide anaesthesia in rainbow trout: effects of hypercapnic level and stress on induction and recovery from anaesthetic treatment. *Journal of Fish Biology*, 52: 621–637.
- Bieber, J.F., Louison, M.J., Stein, J.A. & Suski, C.D. 2019. Impact of ice-angling and handling on swimming performance in bluegill and largemouth bass. *North American Journal of Fisheries Management*, 1548-8675, doi: 10.1002/nafm.10366.
- Bjørlykke, G.A., Kvamme, B.O., Raae, A.J., Roth, B. & Slinde, E. 2013. Slaughter of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in the presence of carbon monoxide. *Fish Physiology and Biochemistry*, 39: 871–879.
- Bowman, J., Hjelmstedt, P. & Gräns, A. 2019. Non-invasive recording of brain function in rainbow trout: Evaluations of the effects of MS-222 anaesthesia induction. *Aquaculture Research*, 50: 3420–3428.
- Bronnmann, J. & Asche, F. 2017. Sustainable seafood from aquaculture and wild fisheries: Insights from a discrete choice experiment in Germany. *Ecological Economics*, 142:113–119.
- Brännäs, E., Kiessling, A., Algers, B. & Eriksson, L.-O. 2007. Underlag för praxis vid hantering av odlad fisk i samband med slakt. Institutionen för vilt, fisk och miljö, SLU, Umeå. Rapport 58.
https://www.northernperiphery.eu/files/archive/Downloads/Project_Publications/4/fiskslakt.pdf, använd 2019-12-07.
- Bull, H.O. 1936. Studies on conditioned responses in fishes. Part VII. Temperature perception in teleosts. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 21: 1–27.
- Concollato, A., Parisi, G., Olsen, R.E., Kvamme, B.O., Slinde, E. & Dalle Zotte, A. 2014. Effect of carbon monoxide for Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) slaughtering on stress response and fillet shelf life. *Aquaculture*, 433: 13–18.
- Concollato, A., Olsen, R.E., Vargas, S.C., Bonelli, A., Cullere, M. & Parisi, G. 2016. Effects of slaughtering in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) from death until rigor mortis resolution. *Aquaculture*, 464: 74–79.
- Conte, F.S. 2004. Stress and the welfare of cultured fish. *Applied Animal Behaviour Science*, 86: 205–223.
- Davidson, G.W., Davie, P.S., Young, G. & Fowler, R.T. 2000. Physiological responses of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* to crowding and anesthesia with AQUI-S. *Journal of the World Aquaculture Society*. 31: 105–114.
- Djurskyddslag (2018:1192).
- Djurskyddsförordning (2019:66).
- EFSA. 2004. Opinion of the Scientific Panel on Animal Health and Welfare on a request from the European Commission on related to welfare aspects of the main systems of stunning and killing the main commercial species of animals. European Food Safety Authority, Parma, Italien. *The EFSA Journal*, 45: 1–29.
<https://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/45>, använd 2019-11-24.
- EFSA. 2009a. General approach to fish welfare and to the concept of sentience in fish. Scientific Opinion of the Panel on Animal Health and Welfare. European Food Safety Authority, Parma, Italien. *The EFSA Journal*, 954: 1–27.
<https://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/954>, använd 2019-11-24.

- EFSA. 2009b. Species-specific welfare aspects of the main systems of stunning and killing of farmed Atlantic salmon. Scientific Opinion of the Panel on Animal Health and Welfare. European Food Safety Authority, Parma, Italien. The EFSA Journal, 2012, 1–77. <https://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/1011>, använd 2019-11-26.
- EFSA. 2009c. Species-specific welfare aspects of the main systems of stunning and killing of farmed rainbow trout. Scientific Opinion of the Panel on Animal Health and Welfare. European Food Safety Authority, Parma, Italien. The EFSA Journal, 2013, 1–55. <https://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/1012>, använd 2019-11-26.
- EU-kommissionen. 2012. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council and the European Economic and Social Committee on the European Union strategy for the protection and welfare of animals 2012-2015. European Commission, Bryssel, Belgien. COM(2012) 6 final/2. https://ec.europa.eu/food/animals/welfare/strategy_en, använd 2019-11-24.
- EU-kommissionen. 2017. Welfare of farmed fish: Common practices during transport and at slaughter: executive summary. European Commission, Directorate-General for Health and Food Safety, Bryssel, Belgien. Rapport. <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/59cfd558-cda5-11e7-a5d5-01aa75ed71a1/language-en/format-PDF/source-search>, 2019-11-24.
- Erikson, U. 2011. Assessment of different stunning methods and recovery of farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*): isoeugenol, nitrogen and three levels of carbon dioxide. Animal welfare, 20: 365–375.
- FAO. 2018. The State of World Fisheries and Aquaculture 2018 – Meeting the sustainable development goals. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rom, Italien. Rapport. <http://www.fao.org/3/i9540en/i9540en.pdf>, använd 2019-12-07.
- FAWC. 2014. Opinion on the Welfare of Farmed Fish at the Time of Killing. Farm Animal Welfare Committee, London, Storbritannien. Rapport. https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/319331/Opinion_on_the_welfare_of_farmed_fish_at_the_time_of_killing.pdf, använd 2019-12-07.
- Fletcher, G.L., Kao, M.H. & Dempson, J.B. 1988. Lethal freezing temperatures of Arctic char and other salmonids in the presence of ice. Aquaculture, 71: 369–378.
- Global Strategic Alliances 2019. Global Reporting Initiative. Hemsida. Amsterdam, Nederländerna. <https://www.globalreporting.org/standards/>, använd 2019-12-07.
- Grimsbø, E., Nortvedt, R., Hjertaker, B.T., Hammer, E. & Roth, B. (2015). Optimal AC frequency range for electro-stunning of Atlantic salmon (*Salmo salar*). Aquaculture, 451: 283–288.
- Gräns, A., Niklasson, L., Sandblom, E., Sundell, K., Algiers, B., Berg, C., Lundh, T., Axelsson, M., Sundh, H. & Kiessling, A. 2016. Stunning fish with CO₂ or electricity: contradictory results on behavioral and physiological stress responses. Animal, 10: 294–301.
- Hansson, H., Arvidsson Segerkvist, K., Sonesson, U. & Gunnarsson, S. 2019. Sustainability in animal food production – a systematic literature map to identify knowledge gaps. I: (Vinnari, E. & Vinnari, M., red.) Sustainable governance and management of food systems. Ethical perspectives, Wageningen Academic Publishers, Nederländerna, s. 47–52.

- Hill, J.V. & Forster, M.E. 2004. Cardiovascular responses of Chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) during rapid anaesthetic induction and recovery. *Comparative Biochemistry and Physiology, C. Toxicology*, 137: 167–177.
- Hill, J.V., Davison, W. & Forster, M.E. 2002. The effects of fish anaesthetics (MS222, metomidate and AQUI-S) on heart ventricle, the cardiac vagus and branchial vessels from Chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*). *Fish Physiology and Biochemistry*, 27: 19–28.
- Huntingford, F.A., Adams, C., Braithwaite, V.A., Kadri, S., Pottinger, T.G., Sandoe, P. & Turnbull, J.F. 2006. Current issues in fish welfare. *Journal of Fish Biology*, 68: 332–372.
- Iversen, M. & Eliassen, R.A. 2009. The effect of AQUI-S sedation on primary, secondary, and tertiary stress responses during salmon smolt, *Salmo salar* L., transport and transfer to sea. *Journal of the World Aquaculture Society*. 40: 216–225.
- Iversen, M., Finstad, B., McKinley, R.S. & Eliassen, R.A. 2003. The efficacy of metomidate, clove oil, AQUI-S and Benzoak as anaesthetics in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) smolts, and their potential stress-reducing capacity. *Aquaculture*, 221: 549–566.
- Jaffry, S., Glenn, H., Ghulam, Y., Willis, T. & Delanbanque, C. 2016. Are expectations being met? Consumer preferences and rewards for sustainably certified fisheries. *Marine Policy*, 73: 77–91.
- Jalmlöv, M., Stéen, M. & Röcklinsberg, H. 2010. Kan fiskar känna smärta och/eller uppleva lidande? Nationellt centrum för djurvälstånd, SLU, Uppsala. Rapport. <https://www.slu.se/centrumbildningar-och-projekt/nationellt-centrum-for-djurvalfard/om/rapporter/>, använd 2019-11-24.
- Jordbruksverket. 2019. Svenskt vattenbruk. Hemsida. Internet: www.svenskvattenbruk.se (besökt 2019-11-24).
- Jordbruksverkets föreskrifter och allmänna råd (SJVFS 2019:8) om slakt och annan avlivning, saknr. L22.
- Kestin, S.C., Wotton, S.B. & Gregory, N.G. 1991. Effect of slaughter by removal from water on visual evoked activity in the brain and reflex movement of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Veterinary Record*, 128: 443–446.
- Kestin, S.C., Wotton, S. & Adams, D. 1995. The effect of CO₂, concussion or electrical stunning of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) on fish welfare. Special Publication No. 23. Aquaculture Europe '95, Trondheim, Norge 9–12 augusti 1995. European Aquaculture Society, s. 380. Poster.
- Kiessling, A., Hultgren, J., Pettersson A. & Brännäs E. 2013. Riskbedömning av slakt av odlad fisk i Sverige. Projektrapport, projekt: 31-4568/11. <http://www.svenskvattenbruk.se/download/18.23f3563314184096e0d117b/1381226350340/Rapport+riskbed%C3%B6mning+av+slakt+av+odlad+fisk.pdf>, använd 2019-11-26.
- Lamboij, E., Grimsbø, E., van de Vis, J.W., Reimert, H.G.M., Nortvedt, R. & Roth, B. 2010. Percussion and electrical stunning of Atlantic salmon (*Salmo salar*) after dewatering and subsequent effect on brain and heart activities. *Aquaculture*, 300: 107–112.
- Lines, J.A., Robb, D.H., Kestin, S.C., Crook, S.C. & Benson, T. 2003. Electric stunning: a humane slaughter method for trout. *Aquaculture Engineering*, 28: 141–154.
- Lines, J. & Spence, J. 2008. Humane slaughter of farmed Arctic char. Report on COST-STSM-867-3312 and COST-STSM-867-3473. Institutionen för vilt, fisk och miljö, SLU, Umeå. Rapport.

- https://www.northernperiphery.eu/files/archive/Downloads/Project_Publications/4/Klart_humane_slaughter_Charr%20report.pdf, använd 2019-12-07.
- Lines, J.A., & Spence, J. 2012. Safeguarding the welfare of farmed fish at harvest. *Fish Physiology and Biochemistry*, 38: 153–162.
- Martins, C.I.M., Galhardo, L., Noble, C., Damsgard, B., Spedicato, M.T., Zupa, W., Beauchaud, M., Kulczykowska E., Massabuau, J.C., Carter, T., Planellas, S.R. & Kristiansen T. 2012. Behavioural indicators of welfare in farmed fish. *Fish Physiology and Biochemistry*, 38: 17–41.
- Marx, H., Brunner, B., Weinzierl, W., Hoffmann, R. & Stolle, A. 1997. Methods of stunning freshwater fish: impact on meat quality and aspects of animal welfare. *Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung und -Forschung A*. 204: 282–286.
- Montiel, I. & Delgado-Ceballos, J. 2014. Defining and measuring corporate sustainability: Are we there yet? *Organization & Environment*, 27:113–139.
- Mood, A. & Brooke, P. 2012. Estimating the number of farmed fish killed in global aquaculture each year. *Fishcount*, Storbritannien. Rapport. <http://fishcount.org.uk/published/std/fishcountstudy2.pdf>, använd 2019-12-07.
- Nordic Trout. 2019. Fiskhälsa och djurskydd. Nordic Trout Ab, Föglö, Åland, Finland. Hemsida. <https://nordictROUT.com/sv/vart-ansvar/fiskhalsa-och-djurskydd/>, använd 2019-11-29.
- OIE. 2019a. Aquatic Animal Health Code, kapitel 7.3 Welfare aspects of stunning and killing of farmed fish for human consumption. Världsoorganisationen för djurhälsa, Paris, Frankrike. https://www.oie.int/index.php?id=171&L=0&htmfile=chapitre_welfare_stunning_killing.htm, använd 2019-11-23.
- OIE. 2019b. Terrestrial Animal Health Code, volym 1, kapitel 7.1 Introduction to the recommendations for animal welfare. Världsoorganisationen för djurhälsa, Paris, Frankrike. https://www.oie.int/index.php?id=169&L=0&htmfile=chapitre_aw_introduction.htm, använd 2019-09-02.
- Olesen, I., Alfnes, F., Bense Røra, M. & Kolstad, K. 2010. Eliciting consumers' willingness to pay for organic and welfare-labelled salmon in a non-hypothetical choice experiment. *Livestock Science*, 127: 218–226.
- Poli, B.M. 2009. Farmed fish welfare-suffering assessment and impact on product quality. *Italian Journal of Animal Science*, 8: 139-160.
- Robb, D.H.F., Wotton, S.B., McKinstry, J.L., Sorensen, N.K. & Kestin, S.C. 2000. Commercial slaughter methods used on Atlantic salmon: determination of the onset of brain failure by electroencephalography. *Veterinary Record*, 147: 298–303.
- Robb, D.H.F. & Kestin, S.C. 2002. Methods used to kill fish: field observations and literature reviewed. *Animal welfare*, 11: 269–282.
- Robb, D.H.F. & Roth, B. 2003. Brain activity of Atlantic salmon (*Salmo salar*) following electrical stunning using various field strengths and pulse durations. *Aquaculture*, 216: 363–369.
- Roth, B., Imsland, A., Moeller, S. & Slinde, E. (2003). Effect of electric field strength and current duration on stunning and injuries in market-sized Atlantic salmon held in seawater. *North American Journal of Aquaculture*, 65: 8–13.

- Roth, B., Moeller, S. & Slinde, E. 2004. Ability of electric field strength, frequency, and current duration to stun farmed Atlantic salmon and pollock and relations to observed injuries using sinusoidal and square wave alternating current. *North American Journal of Aquaculture*, 66: 208–216.
- Roth, B., Slinde, E. & Robb, D.H. 2006. Field evaluation of live chilling with CO₂ on stunning Atlantic salmon (*Salmo salar*) and the subsequent effect on quality. *Aquaculture research*, 37: 799-804.
- Roth, B., Slinde, E. & Robb, D.H.F. 2007. Percussive stunning of Atlantic salmon (*Salmo salar*) and the relation between force and stunning. *Aquacultural Engineering*, 36: 192–197.
- Rådets förordning (EG) nr 1099/2009 av den 24 September 2009 om skydd av djur vid tidpunkten för avlivning.
- Sandblom, E., Djordjevic, B., Sundh, H., Seth, H., Sundell, K., Lines, J. & Kiessling, A. 2012. Effects of electric field exposure on blood pressure, cardioventilatory activity and the physiological stress response in Arctic char, *Salvelinus alpinus* L. *Aquaculture*, 344–349: 135–140.
- SCB. 2018. Vattenbruk 2017. Sveriges officiella statistik, statistiska meddelanden. JO 60 SM 1801. SCB, Örebro. Rapport.
https://www.scb.se/contentassets/5b627981d8bb40b29d0d1ee7c2a533f6/jo1201_2017a01_sm_jo60sm1801.pdf, använd 2019-12-07.
- SCB. 2019. Vattenbruk 2018. Sveriges officiella statistik, statistiska meddelanden. JO 60 SM 1901. SCB, Örebro. Rapport.
https://www.scb.se/contentassets/cef2fb103630496bb532e76c98f747e6/jo1201_2018a01_sm_jo60sm1901.pdf, använd 2019-12-07.
- Seth, H., Axelsson, M., Sundh, H., Sundell, K., Kiessling, A. & Sandblom, E. 2013. Physiological responses and welfare implications of rapid hypothermia and immobilization with high levels of CO₂ at two temperatures in Arctic char (*Salvelinus alpinus*). *Aquaculture*, 402–403: 146–151.
- Skjervold, P.O., Fjæra, S.O., Østby, P.B., & Einen, O. 2001. Live-chilling and crowding stress before slaughter of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture*, 192: 265-280.
- Sogn-Grundvag, G., Larsen, T.A. & Young, J.A. 2014. Product differentiation with credence attributes and private labels: The case of whitefish in UK supermarkets. *Journal of Agricultural Economics*, 65: 368–382.
- Sorensen, N.K., Tobiassen, T. & Carlehoeg, M. 2004. How do handling and killing methods affect ethical and sensory quality of farmed Atlantic salmon? I: (Sakaguchi, M., red.) *More Efficient Utilization of Fish and Fisheries Products. Developments in Food Science*, 42: 301–307.
- Speilberg, L.A., Nordøy, K., Kaurstad, O.K. & Erdal, J.I. 2018. Stress and stress mitigation during crowding of Atlantic salmon in net-pens. *Norsk vetenskapstidsskrift*. 8: 494–498.
- Stehly, G.R. & Gingerich, W.H. 1999. Evaluation of AQUI-S (efficacy and minimum toxic concentrations) as a fish anaesthetic/sedative for public aquaculture in the United States. *Aquaculture Research*, 30: 365–372.
- Stern, S., Sonesson, U., Gunnarsson, S., Öborn, I., Kumm, K.-I. & Nybrant, T. 2005. Sustainable development of food production: A case study on scenarios for pig production. *Ambio* 34: 402–407.

- Tinarwo, A. 2006. The ethical slaughter of farmed fish. I: (Kaiser, M. & Lien, M.E., red.) Ethics and the Politics of Food. Wageningen Academic Publishers, Nederländerna, s. 457–463.
- Van De Vis, H., Kestin, S., Robb, D., Oehlenschläger, J., Lambooij, B., Münkner, W., Kuhlmann, H., Kloosterboer, K., Tejada, M., Huidobro, A., Otterå, H., Roth, B., Sørensen, N.K. Akse, L., Byrne, H. & Nesvadba, P. 2003. Is humane slaughter of fish possible for industry?. *Aquaculture Research*, 34: 211–220.
- van den Bergh, J.C.J.M. 2010. Externality or sustainability economics? *Ecological Economics* 69: 2047–2052.
- van Zanten, H.H.E., Mollenhorst, H., Klootwijk, C.W., van Middelaar, C.E. & de Boer, I.J.M. 2016. Global food supply: land use efficiency of livestock systems. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 21: 747–758.
- Wills, C.C., Zampacavallo, G., Poli, B., Proctor, M.R.M. & Henahan, G.T.M. 2006. Nitrogen stunning of rainbow trout. *International Journal of Food Science and Technology*, 41: 395–398.