

SLAKTING AV OPPDRETTSFISK

SVAR PÅ SPØRSMÅL FRA MATTILSYNET KNYTTET
TIL FISKEVELFERD I SLAKTEPROSSESSEN

Erik Slinde, Endre Grimsbø og Tore S Kristiansen



HAVFORSKNINGSINSTITUTTET
INSTITUTE OF MARINE RESEARCH

BESTILLING AV FORVALTNINGSSTØTTE FISKEVELFERD VED SLAKTERI

Vi viser til møte 21.11.12 med Erik Slinde og Gry Aletta Bjørlykke der følgende bestilling ble diskutert. Mattilsynet er i ferd med å lage retningslinjer for tilsyn med velferd hos fisk ved fiskeslakterier. I den forbindelse har vi behov for forvaltningsstøtte knyttet til å vurdere velferdsmessig aspekter ved sedering og bedøvelse, fortrinnsvis hos laks og regnbueørret. Mattilsynet ønsker med basis i gjeldene kunnskap svar på konkrete spørsmål så langt kunnskapen rekker. Vi ønsker også tilbakemelding mht eventuell mangelfull kunnskap eller kunnskapshull. Dersom det foreligger kunnskap om andre aktuelle arter, herunder arter for innlandsoppdrett (ørret, røye), torsk, kveite og piggvar, ønskes også innspill om dette, men dette har ikke hovedprioritet i denne omgang.

I. Spørsmål knyttet til sedering:

1. Levendekjøling

- Hvor lave temperaturer er forsvarlig ved levendekjøling?
- Hvor rask temperaturendring (intervall) er forsvarlig ved nedkjøling?
- Kan svarene som gis på a) og b) også benyttes ved nedkjøling i brønnbåt?
- Kan tilsynspersonell ved observasjon av fisken eller ved bruk av målemetoder vurdere om metoden er forsvarlig i praksis, og i så fall hvordan?

2. Bruk av CO² ved sedering

- Er det mulig å sedere fisk med CO² på en velferdsmessig forsvarlig måte?
- Hvordan kan i så fall dette gjennomføres (konsentrasjon, eksponeringstid etc)?
- Kan tilsynspersonell ved observasjon av fisken eller ved bruk av målemetoder vurdere om metoden er forsvarlig i praksis, og i så fall hvordan?

3. Vannkvalitet i sederingstank

- Det er et grunnleggende krav om forsvarlig vannkvalitet ved sedering. Dette betyr at tilgjengelig oksygen, pH og forurensende stoffer (slim, blod mm) skal være på et forsvarlig nivå hele tiden. MT ønsker forslag til hvordan vannkvaliteten kan vurderes i praksis, herunder:
 - aktuelle måleparametere, velferdsmessig forsvarlig verdier, utstyr og metodikk for å overvåke og føre tilsyn med dette, eventuelle kriterier for visuell vurdering.
- Kan det settes noen rammer for hvor lenge det er forsvarlig å holde fisken i sederingstank?
- Kan tilsynspersonell ved observasjon av fisken eller ved bruk av målemetoder vurdere om metoden er forsvarlig i praksis, og i så fall hvordan?

4. Andre spørsmål

- Er det andre aktuelle metoder for sedering av fisk?
- Med basis i ovenstående ønskes en vurdering av hvorvidt det anses som mulig å gjennomføre velferdsmessig forsvarlig sedering av fisk innenfor dagens metodikk.

II. Spørsmål knyttet til bedøvelse

For å vurdere de velferdsmessige aspektene knytte til elektrisk bedøvelse i praksis, samt oppdage svikt i systemer eller bedøvelseseffekt, kreves det grunnleggende forståelse for biologiske og fysiske prinsipper som ligger til grunn for metoden.

Mattilsynet ber derfor om:

- En innføring i grunnleggende prinsipper for elektrisk bedøvelse, herunder forholdet mellom spenning (V), strømstyrke (amper), frekvens (Hz) og eksponeringstid, og hvordan disse verdiene kan vurderes.
- Tallfesting av verdier som er nødvendig for å oppnå umiddelbart bevissthetstap med tilstrekkelig lang varighet (med basis i punkt a), og råd for hvordan disse verdiene kan kontrolleres.
- Innspill til hvordan effekt kan kontrolleres i praksis, herunder vurdering av hvorvidt fisk kan immobiliseres uten å bli bedøvet, og hvordan kan en i så fall oppdage dette.

- Innspill til viktige tilsynspunkt mht kontroll og vedlikehold av anlegg.
- Vil fisk bedøves dersom strømførende pol ikke er i berøring med hodet (første to lameller fjernet slik at lamell treffer haleparti mens hele fisken ligger på båndet)?

6. Metoder for bedøvelse av fisk

- Finnes det andre metoder for bedøvelse enn slag og elektrisitet som er egnet ut fra hensynet til fiskevelferd og som kan være aktuelt å benytte på slakteri?
- I så fall ønskes en generell beskrivelse av slik(e) metode(r).om metoden er forsvarlig i praksis, og i så fall hvordan?

I. Spørsmål knyttet til sedering:

1. Levendekjøling

Et mål med levendekjøling er å roe ned (sedere) fisken før bedøving og bløgging, men kanskje det viktigste er å bedre kvaliteten ved at mindre aktivitet gir færre slagskader, mindre laktatproduksjon, mindre pH-fall, lengre holdbarhet, mindre filetgaping, og lengre tidsrom til å filetere fisken før dødsstivheten inntreer (Skjervold et al. 2002, Hansen et al. 2011). Levende fisk blir raskere nedkjølt enn død fisk ved at blodet kjøles ned over gjellene og transporteres ut i kroppen. Ved pakking av allerede nedkjølt fisk trenger en også mindre is i kassene (mindre unødig vekt). I Norge er det flere slakterier som praktiserer levendekjøling ved at fisk pumpes fra brønnbåt til resirkuleringstank (RSW) hvor temperaturen er ca. 1 °C. Brønnbåter (i Skottland) kjøler fisk ca. én grad hver time på vei til slakteriet, hvor fisken så pumpes direkte til slaktning.

Kuldesjokk eller raske temperaturfall ned mot fiskens toleransegrenser kan utløse sterke stressresponser og dødelighet (Donaldson et al. 2008). Forsøk med levendekjøling av laks har imidlertid vist at overføring fra høy til lav temperatur ikke øker stressnivået i forhold til trenging og håndteringsstresset i seg selv hvis ikke temperaturspranget er for stort eller sluttemperaturen er for lav. Foss et al. (2012) viste at direkte overføring fra 16-4 °C ikke ga mer stress enn overføring til samme temperatur, mens direkte overføring fra 16-0 °C førte til tap av likevekt og dødelighet, samt forhøyet cortisol og laktatnivå og svekket osmoregulering (økt Na⁺ i plasma). Gradvis nedkjøling av laks fra 16-0 °C over 5 timer ga relativt lav stressrespons, mens nedkjøling fra 16 til 0 °C i løpet av 1 time ga sterke stressresponser og problemer med respirasjon og osmoregulering (Foss et al. 2012). Det rimelig å tro at det er temperaturoppet og ikke tiden ved lav temperatur som har størst betydning, siden villaks som står igjen i elver og vann etter gyting kan oppholde seg i ferskvann på rundt 0 °C om vinteren. Undersøkelser av effekter av kombinasjon av direkte levendekjøling fra 12 til 2 °C og moderat tilsetning av CO₂ (37-80 mg/l) i et RSW-anlegg i slakteri, viste at fisken ble rolig etter 2-3 minutter og ikke ble påført påvisbart ekstra stress (Eriksson et al. 2006).

Det er ingen grunn til å tro at nedkjøling av laks i brønnbåt eller i tank på land skulle gi forskjellige resultater, men på grunn av prosesseringshastigheten i slakteriene antar vi at nedkjølingen må foregå raskere i slakteriene. Regelen om én grad per time som er satt i Skottland, skyldes at dette er den generelle kjølekapasitet som RSW-anleggene i brønnbåter har. Ved direkte overføring til fra 9 til 1 °C i avkjølingstanken tar det mer enn én time før muskeltemperaturen er nede på 2 °C (Skjervold et al. 2002), så dette er en relativt langsom prosess. For å unngå at fisken blir stresset, indikerer resultatene fra Foss et al. (2012) at nedkjølingen bør foregå gradvis over 2-5 timer. Det vil bli gjennomført forsøk ved Havforskningsinstituttet i 2013 for bl.a. å verifisere dette og få svar på laksens sine stressfysiologiske reaksjoner og respirasjon ved kuldesjokk (A. Mangor-Jensen, HI, pers. kom).

Siden dette er fisk som skal dø, er det et diskusjonsspørsmål hva som er dyrevelferdsmessig akseptabelt. Slakteprosessen vil uansett være litt stressende og medføre noe ubehag. En vurdering må baseres på at dyrene ikke skal lide i utrengsmål. Her har vi vurdert belastninger som fører til høyt stressnivå og risiko for død før planlagt avlivning som unødig belastning, siden en ved moderat reduksjon i temperaturopp kan redusere stressnivået betydelig.

Anbefalinger (svar på spørsmål):

a) **Hvor lave temperaturer er forsvarlig ved levendekjøling?**

For å unngå sterke stressresponser ved direkte overføring til kaldt vann anbefales 2 °C som nedre grense for levendekjøling. Publiserte undersøkelser har vist at lavere temperaturer kan føre til høyt stressnivå, tap av balanse og dødelighet. For lavere temperaturer (1-0 °C) må kjølingen foregå gradvis over flere timer. Dette vil føre til lengre opphold i kjøletanken, og er derfor best egnet for brønnbåter som leverer direkte til slakteriet.

b) **Hvor rask temperaturendring (intervall) er forsvarlig ved nedkjøling?**

Temperatursprang fra 16-4 °C og 12-2 °C gir moderate stressresponser og kan tolereres (Foss et al. 2012), men mer dokumentasjon er nødvendig for temperatursprang fra 16-2 °C eller fra enda høyere temperaturer.

- a) Kan svarene som gis på a) og b) også benyttes ved nedkjøling i brønnbåt?
Siden nedkjølingshastigheten i brønnbåt er langsommere enn i kjøletanker i slakterier, vil anbefalingene over også gjelde brønnbåt. Brønnbåter kan trolig kjøle til lavere temperaturer, da de kan bruke lang tid på nedkjølingen.
- b) Kan tilsynspersonell ved observasjon av fisken eller ved bruk av målemetoder vurdere om metoden er forsvarlig i praksis, og i så fall hvordan?
Hvis fisken trenges og pumpes inn til kjøletanken, vil det være vanskelig å skille stress grunnet håndtering fra ekstra nedkjølingsstress. Alternative mer skånsomme metoder bør finnes ("fiskeheis", Skjervold et al. 2002). Tilsynspersonell kan registrere fiskens atferd (fluktreaksjoner ved overføring, svømmeatferd, tap av likevekt/balanse), og dødelighet, samt at slakteriet må dokumentere logging av temperatur, oksygen og vannkvalitet i kjøletanken.

2. Bruk av CO₂ ved sedering

Selv om det i dag er forbudt å benytte karbondioksid til bedøvelse av fisk, er det mulig at en kan benytte seg av de installasjonene man har til sedering. Karbondioksid som bedøvningsmetode før bløgging ble forbudt, da dette ga tidlig flukt-/panikkatferd og andre stressresponser hos laks, men mye av dette kan skyldes svært høye konsentrasjoner av CO₂ og medfølgende stort fall i pH, samt lave oksygenverdier. I forsøk hvor saltsyre ble tilsatt for å gi et tilsvarende pH-nivå, viste laksen tydelige flukt- og stressymptomer (E. Slinde, pers. obs.). Dersom en kontrollerer surhetsgraden og oksygentilførselen (f.eks. 80/20-blanding CO₂/O₂, A. Mangor-Jensen, pers. kom.) synes det som om karbondioksid kan benyttes som et sederingsmiddel, og praktiske erfaringer med moderat tilsetning av CO₂ og nedkjøling ga lite ekstra stress (Erikson et al. 2006). Bjørn Roth, NOFIMA, har også nylig gjennomført forsøk som viser at kontrollert tilførsel av CO₂ i kombinasjon med oksygenering, sederer fisken med akseptabelt stressnivå, og Roth hevder at laks sedert på denne måten tåler brå nedkjøling fra 16 til 0,5 °C (<http://www.forskning.no/artikler/2012/oktober/336153>). Dette vil bli bedre dokumentert i forsøk ved Havforskningsinstituttet i 2013 (A. Mangor-Jensen, B. Roth, pers. kom.). En utfordring er her å dokumentere god korrelasjon mellom velferd og immobilitet.

- a) Er det mulig å sedere fisk med CO₂ på en velferdsmessig forsvarlig måte?
Sedering ved en kombinasjon mellom nedkjøling og moderat tilsetning av CO₂ og O₂-blanding kan trolig gjøres på en velferdsmessig forsvarlig måte, men dette må dokumenteres vitenskapelig.
- b) Hvordan kan i så fall dette gjennomføres (konsentrasjon, eksponeringstid etc.)?
Flere forsøk må gjennomføres for å klarlegge optimal konsentrasjon, eksponeringstid etc.
- c) Kan tilsynspersonell ved observasjon av fisken eller ved bruk av målemetoder vurdere om metoden er forsvarlig i praksis, og i så fall hvordan?
Observasjoner av fiskens atferd og måling av temperatur, pH (eller pCO₂) og O₂ kan gjøres av tilsynspersonell, og det må kontrolleres at verdiene er innenfor anbefalte grenser (men de mangler fortsatt). Prosedyrer for hvordan dette skal gjøres må trolig utvikles for hver enkelt anleggstype, og må ses i sammenheng med hele prosessen (trenging, pumping, osv.) og anleggets utforming (tankstørrelser, tilstand på fisk inni sederingstank, osv.).

3. Vannkvalitet i sederingstank

Sedering av fisk krever god vannkvalitet for at prosessen ikke skal være stressende, men mye vannutskifting og rensing vil være kostnadskrevende dersom en skal holde temperaturen i tanken lav og holde forbruket av CO₂ på et akseptabelt nivå. Dette er likevel et spørsmål om skalering av filter og kjølings- og resirkuleringsteknologi, og hvor kravene settes. Ved høye tettheter og liten vannutskifting vil oksygen og pH synke, og fisken vil avgi slim og skjell, blod fra småskader, og andre stoffer som forurenser vannet og trolig stresser fisken, men her er det lite dokumentert kunnskap om hvor mye tilleggsstress dette påfører fisken. Dersom en oksygenerer i sederingstanken kan en holde gode oksygennivåer og lav temperatur, men risikerer redusert pH og økt ammonium og CO₂. Fisken har et høyt stressnivå og er ofte utmattet når den ankommer sederingstanken etter trenging og pumping gjennom fiskepumpe og lange rør, og den har et stort oksygenkonsum. Kaldt vann reduserer imidlertid oksygenforbruket og øker løseligheten av oksygen i vannet. Aktuelle måleparametre som kan måles relativt enkelt med forholdsvis rimelig utstyr er oksygen, pH og turbiditet. Hvor lenge fisken kan

oppholde seg i sederingstanken er avhengig av vannutskiftingsgrad, oksygenering, vannkvalitet, tetthet og atferden til fisken. Slakteprosessen bør generelt være kort, og en bør ha som retningslinje at fisken bedøves og avlives så snart som mulig etter sedering. Levendekjøling i sederingstanken vil forlenge slakteperioden. Fisken bør leveres puljevis, og tanken tømmes mellom hver pulje for å unngå at enkeltfisk blir gående lenge i tanken. En fremtidig løsning bør finnes for å bedøve fisken ved ventemerden i en mest mulig ustresset tilstand før den pumpes/transporteres videre til pakking eller filetering.

Spørsmål fra Mattilsynet:

- Det er et grunnleggende krav om forsvarlig vannkvalitet ved sedering. Dette betyr at tilgjengelig oksygen, pH og forurensende stoffer (slim, blod m.m.) skal være på et forsvarlig nivå hele tiden. MT ønsker forslag til hvordan vannkvaliteten kan vurderes i praksis, herunder:
- aktuelle måleparametere, velferdsmessig forsvarlige verdier, utstyr og metodikk for å overvåke og føre tilsyn med dette, eventuelle kriterier for visuell vurdering.
- Kan det settes noen rammer for hvor lenge det er forsvarlig å holde fisken i sederingstank?
- Kan tilsynspersonell ved observasjon av fisken eller ved bruk av målemetoder vurdere om metoden er forsvarlig i praksis, og i så fall hvordan?

Tilsynspersonell kan måle vannkvalitet (oksygen, pH/CO₂, turbiditet, m.m.) og se på fiskens atferd, og måle oppholdstid i tanken ved å merke enkeltfisk. Med dagens kunnskapsnivå har vi ikke grunnlag for å anbefale hvilke kriterier og måleverdier som er velferdsmessig akseptable, og anbefaler mer forskning rundt dette. Det bør også settes kriterier på hva som er velferdsmessig akseptabelt i dialog med involverte grupper.

4. Andre aktuelle metoder for sedering av fisk

Forsøk med karbonmonoksid (CO) viser at denne gassen sederer laks i løpet av 5-10 minutter og at død inntreffer etter 15-20 minutter (Bjørlykke et al. 2011). Karbonmonoksid fjerner oksygen (binder seg til hemoglobinet) i muskel (myoglobinet), i oksygenlageret i *Saccus vasculosus*, og oksygen bundet til neuroglobin i hjerne og nervevev. Bruk av CO representerer en mulig fremtidig effektiv sedering og bedøvelsesmetode, men fortsatt er det flere uløste spørsmål knyttet til bruk av karbonmonoksid (Bjørlykke et al. 2012). Metoden har så langt bare vært brukt i forskningssammenheng.

Sedering med AQUI-S (isoeugenol, nellikolje) er dokumentert å være en god metode både til sedering og bedøving, men er ikke aktuell i Europa på grunn av lang tilbakeholdelsestid og lukt (Eriksson 2011). Eriksson (2011) evaluerte ulike bedøvelsesmetoder og oppvåking hos oppdrettslaks: isoeugenol, nitrogenbobling og tre nivå av karbondioksid. Bare isoeugenol tilfredstilte de fire velferdskriteriene som ble satt: lite aversjonsatferd, evne til å gjøre fisken bevisstløs, ingen oppvåking etter 10 minutter, minimal påvirkning av muskelaktivitet.

Med basis i ovenstående ønskes en vurdering av hvorvidt det anses som mulig å gjennomføre velferdsmessig forsvarlig sedering av fisk innenfor dagens metodikk.

Sedering, i betydning å roe ned fisken før bedøvelse, med bobling av riktig CO₂ og O₂-blanding, ev. sammen med nedkjøling, bør kunne gjøres på en velferdsmessig forsvarlig måte (se ovenfor). Et hinder for dette er imidlertid mange stressende og mulig skremmende og smertefulle hendelser i prosessen før sedering inntreffer. Slakteprosessen medfører trenging i ventemerd/brønnbåt, vakumpumping, lufteksponering ved avsiling av vann og trenging i sederingstank. Det er viktig at alle ledd i prosessen har fokus på fiskevelferd og at unødige skader eller stress unngås. Dvs. å unngå for hard trenging, for lang tid i trengt tilstand, for høy sugehøyde under pumping, unngå skarpe bend og kanter i pumper og rør, passe mengde fisk levert til sederingskar og bedøver, at fisken kommer med hode først til bedøver, osv. Her trengs det bedre metodiske og tekniske løsninger. Selve bedøvelsesmetodene (elektrisk bedøvelse og slag) gir bevisstløshet innen ett sekund og må sies å være gode metoder hvis fisken kommer riktig inn i bedøveren og den fungerer som den skal. For at fisken skal svømme riktig inn i innsvømmings-rettvendene før slagmaskin, må fisken være passe sedert og ikke for utmattet etter trenging og pumping, noe som kan være en utfordring. Slakteprosessen er fortsatt ikke optimal og det er fortsatt store muligheter for feil der en liten prosent, men stort antall fisk, skades eller blir ikke bedøvet og avlivet riktig. Stressende håndtering fører også til kortere prerigor tid og redusert kvalitet, og at en ikke greier å hente ut kvalitetsgevinsten av effektive bedøvelsesmetoder.

II. Spørsmål knyttet til bedøvelse

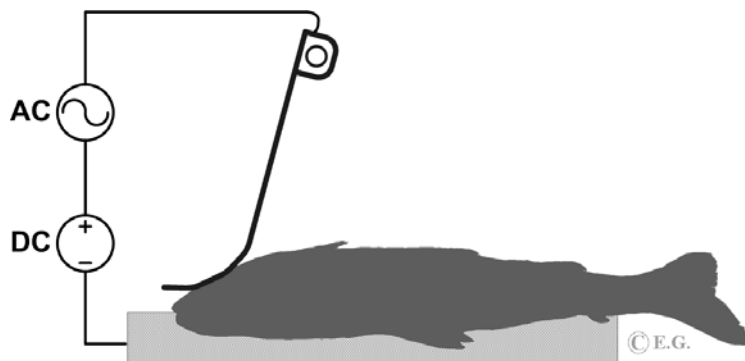
For å vurdere de velferdsmessige aspektene knyttet til elektrisk bedøvelse i praksis, samt oppdage svikt i systemer eller bedøvelseseffekt, kreves det grunnleggende forståelse for biologiske og fysiske prinsipper som ligger til grunn for metoden.

Mattilsynet ber derfor om:

- en innføring i grunnleggende prinsipper for elektrisk bedøvelse, herunder forholdet mellom spenning (V), strømstyrke (amper), frekvens (Hz) og eksponeringstid, og hvordan disse verdiene kan vurderes.
- tallfesting av verdier som er nødvendig for å oppnå umiddelbart bevissthetstap med tilstrekkelig lang varighet (med basis i punkt a), og råd for hvordan disse verdiene kan kontrolleres.
- innspill til hvordan effekt kan kontrolleres i praksis, herunder vurdering av hvorvidt fisk kan immobiliseres uten å bli bedøvet, og hvordan kan en i så fall oppdage dette.

Her beskrives de velferdsmessige aspektene knyttet til elektrisk bedøvelse i praksis, samt svikt i systemer eller bedøvelseseffekt. Beskrivelsen omfatter utelukkende tørr elektrobedøvelse av fisk. I den grad våt bedøvelse, altså fisk i vann, skal vurderes, må det utformes særskilte regler for dette. Beskrivelsen gir en grunnleggende forståelse for biologiske og fysiske prinsipper som ligger til grunn for elektrobedøvelse som metode. Tallfesting av verdier som er nødvendig for å oppnå umiddelbart bevissthetstap med tilstrekkelig lang varighet gis, og råd for hvordan disse verdiene kan kontrolleres. Det gis også innspill til hvordan effekt kan kontrolleres i praksis, herunder vurdering av hvorvidt fisk kan immobiliseres uten å bli bedøvet, og hvordan en kan oppdage dette. Videre gis det forslag til viktige tilsynspunkt mht. kontroll og vedlikehold av anlegg samt vurdering av betydningen at den strømførende pol kommer først i berøring med hodet.

Ved elektrobedøvelse blir fiskens hjerne utsatt for elektrisk strøm, og fisken blir på den måten gjort bevisstløs. For å oppnå en effektiv elektrobedøvelse må den elektriske strømgjennomgangen utløse en respons, kalt aksjonspotensial, i et tilstrekkelig antall nerveceller i hjernen som igjen etterfølges av midlertidig opphør av hjerneaktivitet. Hjerneaktiviteten ved elektrobedøvelse kan måles ved bruk av EEG (electroencephalography) og innledes ved en tonic, med etterfølgende clonic-fase, før minimal aktivitet inntreffer (Lambooj et al. 2010).



Figur 1: Skjematisk oppsett for elektrobedøvelse av fisk.

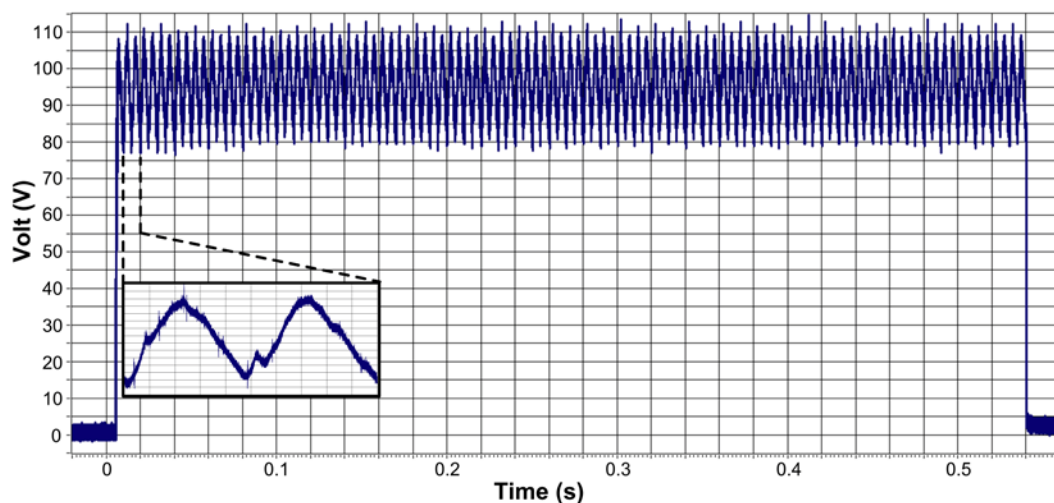
Et vanlig oppsett ved elektrobedøvelse er at fisken ved hjelp av et elektrisk ledende transportbånd blir ført under en såkalt sko eller finger som er spenningsførende. Oppsettet kan dermed defineres som en elektrisk krets (Figur 1.). De grunnleggende begrepene i forhold til å kunne definere en elektrisk krets er elektrisk spenning, strøm og motstand, eller resistans (R) om man vil, som henholdsvis er uttrykt med følgende måleenheter Volt, Ampere og Ohm (Ω). Når fisken kommer mellom transportbåndet og sko, blir kretsen sluttet og det går elektrisk strøm gjennom fisken. Når fisken har kontakt med både transportbånd og sko, blir den en del av en elektrisk strømkrets, der en elektrisk kilde leverer den elektriske strømmen, markert som AC og DC i Figur 1. I praksis vil det skjematiske forsøksoppsettet presentert i Figur 1 kunne se ut som i Figur 2.



Figur 2: Praktisk småskala forsøksoppsett ved elektrobedøving. Det brukes isolerende plastrør for å heve sko/fingre som ikke brukes, merk også plassering av tilkoblingsklemmer for måling av spenning.

Bruk av isolerende plastrør eller plaststenger kan med fordel brukes også ute på det enkelte anlegg når elektrobedøverens momentaneffekt skal testes. Når elektrobedøveren sin momentaneffekt testes ved at bare en rekke med sko/fingre er i kontakt med fisken, kan øvrige sko/fingre vipres opp ved bruk av plastrør slik som vist i Figur 2. Merk at elektrobedøveren må være avslått og ikke spenningsførende når sko/fingre vipres opp og plastrør plasseres!

Ved elektrobedøving kan der enten benyttes likestrøm, betegnet som DC (direct current, går en vei), vekselstrøm AC (alternating current) eller en kombinasjon av dem begge (pulserende likestrøm) slik som vist i Figur 1. Når det elektriske signalet man bedøver fisken med, består av både en AC- og DC-komponent, definerer man dette som et koblet AC/DC-signal (også kalt pulserende likestrøm). Det er også mulig å se på DC-komponenten i signalet som en offset-verdi som hever AC-komponenten fra nullnivå. Et koblet AC- og DC-signal vil kunne se ut slik som vist i Figur 3.

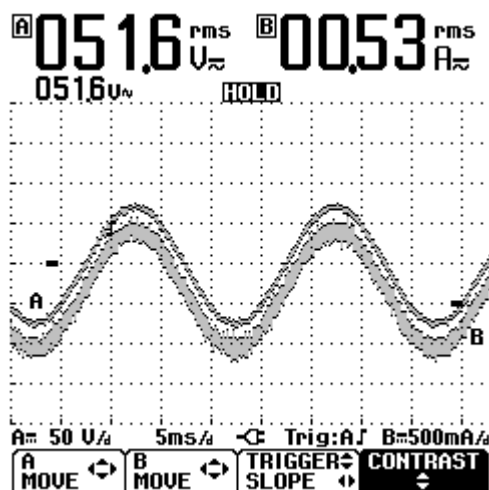


Figur 3: Et koblet AC- og DC-signal brukt ved $\approx 0,5$ sekunders elektrobedøving. Utsnitt viser AC-signalet sin form.

Voltsignalet som er vist i Figur 3 er fra et forsøk der man elektrobedøvde fisken i $\approx 0,5$ sekund ved hjelp av et koblet AC/DC-signal (Lambooj *et al.* 2010). DC-komponenten i signalet vist i Figur 2 utgjør ca. 95 V. AC-komponenten vil da variere omkring DC-nivået slik som vist i figuren. AC-signalets maksimum- og minimumsverdi blir definert som en voltverdi, målt pik til pik (peak to peak) eller bare p.p. Det er viktig å merke seg at AC-delen av signalet i Figur 2, også vist i utsnitt, ikke er en ren sinuskurve.

Vanligvis er man ikke så interessert i p.p.-verdien, men det som kalles RMS-verdi (Root Mean Square), også kalt effektverdi. Ved å beregne RMS-verdien til AC-signalets spenning og strøm vil verdiene være ekvivalente med tilsvarende DC-verdier, dette forenkler videre beregninger og gjør verdiene mer sammenlignbare.

Det er mulig å kunne måle RMS-verdier direkte, og aktuelle måleinstrument til dette kan være oscilloskop eller multimeter. Det er viktig å være oppmerksom på at måling og beregning av RMS-verdi er avhengig av signalets form og frekvens, altså hvor mange ganger strømmen veksler per sekund, oppgitt i Hz. En del instrumenter er bare beregnet for å måle RMS ved 50 Hz sinus, altså vanlig lysnett, noe som ikke vil være tilstrekkelig for måling av utstyr for elektrobedøvelse. For å få riktige målinger, uavhengig av frekvens og signaltipe, må man bruke instrumenter som er oppgitt til å levere sann-RMS (true RMS). Det er viktig å merke seg at enkelte instrumenter blir oppgitt til å kunne måle sann-RMS uten at dette nødvendigvis er tilfelle, så her må måleutstyret verifiseres før man kan gå ut fra at verdiene er korrekte. Figur 4 viser et typisk skjermbilde fra et digitalt oscilloskop satt opp for måling av RMS-verdier.



Figur 4: Skjermbilde fra oscilloskop som viser måling av RMS-verdier for volt og ampere ved 50 Hz sinus.

En sinuskurve slik den som er vist i Figur 4 er periodisk, det vil si at den gjentas med en fast frekvens. Avstanden fra en toppverdi til neste defineres da som en periode. Siden det langs X-aksen på Figur 4 er 5 millisekund per rute (ms/d), er perioden for signalet 20 ms. Videre vil der da være 50 perioder per sekund, noe som da gir 50 Hz. Ut fra spennings-signalet som er vist som A i Figur 4, kan vi se at pik til pik-verdi, altså potensialforskjellen mellom topp- og bunnpunkt på kurven, er omtrent 146 V, siden det langs X-aksen er 50 V per rute (V/d). Dersom man deler p.p.-verdien på to, får man sinuskurven sitt maksimale utslag fra middelpunktet som kalles for amplituden, og som i dette tilfellet er ca. 73 V.

Sinuskurvens middelpunkt er vist som en tykk svart strek over bokstaven A. Ved 50 Hz vil RMS-verdien til et rent sinussignal, som vist i Figur 4, være amplitudeverdi ganget med 0,707, altså ≈ 52 V. Det vil derfor være tilstrekkelig for en vanlig elektriker som utelukkende jobber med 50 Hz sinus fra lysnettet å bruke 0.707 som en konstant i sine RMS-beregninger, noe som ikke vil være tilstrekkelig for målinger av utstyr for elektrobedøving av fisk.

Ved måling av RMS-verdier for volt og ampere må man også ta hensyn til at måleutstyret må være tilpasset karakteristikken til det signalet man skal måle. Måler man ren AC eller DC, må utstyret være innstilt for dette. Måler man et signal bestående av både AC og DC, så må måleutstyret være beregnet for og innstilt for denne type måling. Det er ikke tilstrekkelig å måle komponentene hver for seg, de må måles samtidig, noe som krever måleinstrument med mulighet for å måle AC+DC.

For å sikre at måleutstyr som brukes er av tilstrekkelig kvalitet til å kunne gjøre relevante målinger, er det viktig at det i anbudsdokument ved innkjøp stilles tilstrekkelige krav. Det må stilles krav om at utstyret som leveres må kunne måle sann RMS-verdi for volt og ampere i et elektrisk signal bestående av både AC og DC, slik som vist i Figur 3. Instrumentet må kunne måle sann RMS-verdi av alle komponenter i signalet samtidig innenfor et måleområde som er relevant for elektrobedøving av fisk. For rent praktisk å kunne evaluere de ulike

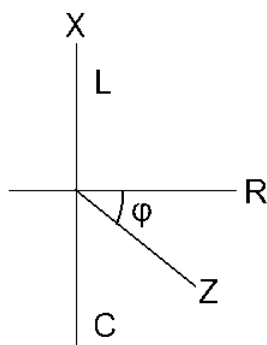
instrumenter som tilbys, bør det kreves at leverandør dokumenterer at instrumentet måler korrekte verdier av sann-RMS for volt og ampere for følgende tre signaltyper sinus, firkant og trekantbølge. For samtlige tre signaltyper må målt sann-RMS være korrekt selv med ulik offset og varierende "duty cycle" ved alle frekvenser fra 0-20 kHz. Det er derimot mer uklart hvilke krav det bør stilles til målenøyaktighet i et anbudsdokument, så dette er noe man bør komme tilbake til slik at relevante verdier kan defineres for de ulike instrumenttyper. For mer omfattende målinger av volt og ampereverdier anbefales det å bruke håndholdt oscilloskop med strømtang tilpasset den kabeldiameter som skal måles. For enklere målinger av voltverdier er det tilstrekkelig med et håndholdt multimeter som tilfredsstillen ovenfor nevnte krav.

De fleste har et forhold til og forståelse av Ohms lov der de tre mest grunnleggende elementene i en elektrisk krets er spenning, strøm og motstand, definert slik at de er lineært avhengige av hverandre. Når det gjelder DC-kretser bestående av vanlige elektriske ledere, og motstander med lineær karakteristik, er det likefrem å gjøre kalkulasjoner av kretsen basert på Ohms lov. Når det gjelder kretser der strømkilden har AC-egenskaper, vil man til en viss grad kunne gjøre tilsvarende enkle beregninger ved å benytte RMS-verdier, men man må da ta hensyn til at de fleste AC-kretser er frekvensavhengige.

En elektrisk motstand vil i DC-sammenheng blir betraktet som en ren resistans og benevnt som R. Rent teoretisk kan man betrakte en ren resistans som et reelt tall, og man kan da tenke seg at alle verdier for en ren resistans kan plasseres langs en rett linje. Når det gjelder elektrisk resistans for vekselstrøm, kalles denne for impedans (Z). Z er et komplekst tall som i tillegg til den rene resistansen R også består av en imaginær del (j) som blir kalt reaktans (X) og kan uttrykkes på følgende form:

$$Z = R + j \cdot X \quad (1)$$

Måleenheten til den elektriske impedansen er i likhet med elektrisk resistans ohm (Ω). For måleinstrumenter som gir målt elektrisk motstand i ohm er det viktig å vite om det da dreier seg om ren resistans eller impedans. Det er vanlig å betrakte den rene resistansen i en impedans som en verdi plassert langs x-aksen i et koordinatsystem, der reaktansen representerer y-akse slik som Figur 5 viser.



Figur 5: Den elektriske vekselstrømmotstand, impedans, fremstilt som en vektor Z med negativ fasevinkel ϕ .

Impedansen vil i et koordinatsystem framstå som en vektor som strekker seg fra origo til et punkt definert av den aktuelle R- og X-verdi. En positiv reaktans, altså X-verdi, kalles induktans (L) og negativ verdi kalles kapasitans (C). Målinger av induktans og kapasitans bruker henholdsvis måleenhetene Henry (H) og Farad (F). Som oftest vil en induktans være en spole, og rent praktisk vil for eksempel en elektrisk leder som er kveilet opp representere en induktans som kan påvirke det elektriske signalet fisken blir bedøvd med. En ren kapasitans vil ikke være elektrisk ledende for DC-strøm, men i praksis vil kapasitanser i forbindelse med elektrobedøving oftest være en del av en impedans som også inneholder en ren resistans komponent. Det er viktig å merke seg at belegg på elektrobedøver-utstyr slik som biofilm, vil kan gi endringer i systemets kapasitans i tillegg til resistans.

Som vist i Figur 5 er der en vinkel mellom vektoren som representerer impedansen og den positive delen av x-aksen som representerer R. Denne vinkelen kalles fasevinkel (ϕ). De to sinuskurvene i Figur 4 representerer henholdsvis volt og ampere, og de har sammenfallende amplitude. Når sinuskurven for både volt og ampere er sammenfallende, er fasevinkelen på 0° og kretsen er å betrakte som en ren resistans, det vil da ikke være noen reaktans i kretsen. Dersom $\phi = \pm 90^\circ$ er kurvene for volt og ampere maksimalt ulike, og kretsen består da av en ren reaktans. Dersom fasevinkel er negativ har vi med å gjøre en krets som er kapasitiv, er fasevinkel positiv, så er det en induktiv krets. Fasevinkelen er avgjørende for å kunne bedømme de elektriske egenskapene til en krets i forhold til AC, også når denne består av biologisk materie som fisk. Ekstra vanskelig og komplisert blir det å

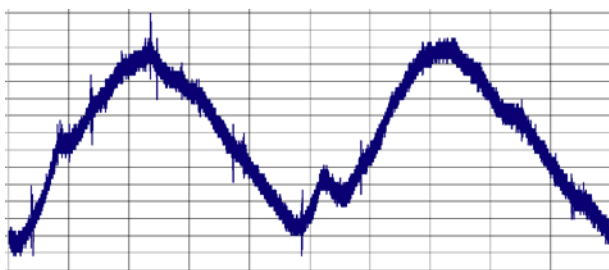
forstå den elektriske strømmen sin gjennomgang i fisken når de ulike vevstyper som fisken er bygd opp av, har ulike elektriske egenskaper.

Den elektriske motstanden i en ren resistans er ikke frekvensavhengig, det er derimot induktansen og kapasitansen. En induktans vil ha økende elektrisk motstand ved økende frekvens. For kapasitansens vedkommende vil den gi avtagende elektrisk resistans ved økende frekvens. Når man så måler impedans ved flere ulike frekvenser, og lager et plot av dette, vil vi få et frekvensspekter som viser kretsen sin karakteristikk.

Målingene av impedansspekter for laks ved svært lav elektrisk spenning er gjort for å klarlegge sammenhengen mellom impedans og optimal frekvens for elektrobedøving (upublisert Grimsbø et al.). Målingene representerte impedansen til både fisk og elektrobedøver uten strømkilde. Den elektriske karakteristikken til biologisk materiale er vesentlig mer kompleks enn for kretser bestående av ordinære elektriske komponenter. Elektrisk impedans i biologisk vev, slik som fisk, avhenger av det som blir definert som "dispersion-soner", hvor vevet sin impedans er særlig frekvensavhengig (Schwan 1963). Innenfor det frekvensområdet som er av viktighet for elektrobedøving er det særlig α -dispersion, men også muligens β -dispersion som antas å ha betydning. Det er da også særlig over 1 kHz at man forventer å ha størst innvirkning av α -dispersion, selv om denne også har innvirkning ved lavere frekvenser (Martinsen et al. 2000). Ut fra resultatene av forsøket for impedansspektrum for laks kunne man konkludere at optimal frekvens for elektrobedøving ligger fra 60-400 Hz, et frekvensområde som også er i samsvar med tidligere forsøk (Lines et al. 2003; Roth 2003; Roth et al. 2004; Lambooij et al. 2010). Kurven for målt impedans viste også innvirkningen til α -dispersion i det optimale område for elektrobedøving. Selv om elektrisk strøm, alt fra ren DC til noe over 1 kHz, har vist seg å ha effekt i forbindelse med elektrobedøving, er bedøvingstid på $\approx 0,5$ sek for laks bare dokumentert på en sammenfallende frekvens med resultatet fra forsøket med impedansspektrum (Lambooij et al. 2010). At en optimal frekvens for elektrobedøving ligger innenfor 60-400 Hz er også i samsvar med verdier som blir brukt innenfor medisin der man bruker 100 Hz til cranial electrotherapy stimulation (CES) på menneske (Kirsch and Smith 2004).

Biologisk materiale, slik som fisk, som blir utsatt for tilstrekkelig høy elektrisk spenning over tid, vil få permanent endret elektrisk impedans, altså vevsskade i form av at den rett og slett blir kokt. Det vil derfor være uheldig for kvaliteten på ferdig produkt om man utfører elektrobedøving med unødvendig høy spenning, eller at fisken er i elektrobedøveren unødvendig lenge.

Ser vi litt nærmere på AC-delen av signalet vist i Figur 3, så ser vi at dette ikke har en ren sinusform, det inneholder også flere frekvenskomponenter inklusiv spikes, slik som vist i Figur 6.



Figur 6: Vekselstrømsdelen av at elektrobedøvingssignal.

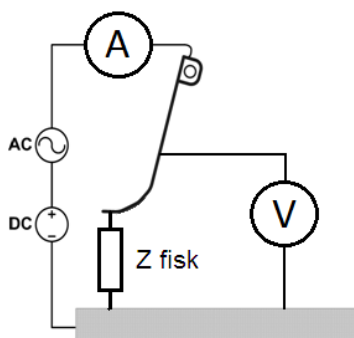
Et signal som inneholder både en AC- og DC-komponent og der AC-delen inneholder flere frekvenskomponenter, er krevende å måle, da særlig med tanke på å kunne identifisere de ulike komponentene i signalet.

I både Figur 3, 4 og 6 er elektrobedøvingssignalet vist som funksjon av tid, altså voltstyrke mot tid. Et signal som er plottet per tidsenhet vil man betegne som et resultat av en funksjon som befinner seg i et tidsdomene. For å kunne identifisere de ulike frekvenskomponentene i signalet, må vi flytte dette fra tidsdomenet over i det man kaller frekvensdomene, dette gjøres ved bruk av Fast Fourier Transformasjon (FFT). Det er viktig å merke seg at selv om man ved bruk av vanlige digitale oscilloskop tilsynelatende har mulighet til å bruke en FFT-analyse, har denne vist seg ikke å være helt etterrettelig. Det er derfor nødvendig med mer avanserte instrumenter slik som PXI-enheter og analyser utført ved hjelp av FFT algoritme. Den dominerende frekvensen i spekteret blir ofte kalt "fundamental frequency". De andre frekvenskomponentene, ofte kalt overharmoniske svingninger, er relativt ubetydelige, men har likevel vist seg å ha en gunstig virkning i forhold til skade. I et forsøk hvor man fjernet det meste av de overharmoniske svingningene fikk man økt skade i form

av bloduttredelse i filet (upublisert Grimsbø *et al.*). Tidligere forøkte man å øke frekvensen som ble benyttet ved elektrobedøving, ofte opp i grenseland for hva som gir akseptabel elektrobedøving, for å begrense skade. Sett ut fra et dyrevelferdsmessig perspektiv er det trolig bedre å bruke et elektrobedøvingssignal med en dominerende frekvens som gir optimal elektrobedøving, men som også inneholder tilstrekkelig overharmoniske svingninger til at skade begrenses.

Et viktig resultat er at fisk som ble bedøvd med et signal inneholdende overharmoniske svingninger våknet opp igjen, mens fisk bedøvd uten overharmoniske svingninger ikke våknet opp igjen. En må derfor anta at dersom de overharmoniske svingninger utgjorde en tilstrekkelig del av signalet, ville man ikke ha oppnådd en tilstrekkelig bedøving. Forsøk har vist at det utstyret som i dag finnes på markedet, med overharmoniske svingninger i avgitt signal som bergenser skade, har et gunstig forhold mellom dominerende frekvens og overharmoniske svingninger. Det må allikevel påpekes at en grenseverdi for hvor stor del av elektrobedøvingssignalet de overharmoniske svingningene kan utgjøre ikke eksisterer.

Viktige faktorer for å oppnå en effektiv elektrobedøving er den volt- og amperestyrke som fiskens hjerne utsettes for. Det er viktig at der er en tilfredsstillende strømgjennomgang for å oppnå en effektiv bedøvelse, noe som lettes ivaretas ved å sikre en stabil spenning over fisken, altså spenning målt mellom transportbånd og sko med fisk i elektrobedøveren, Figur 7.



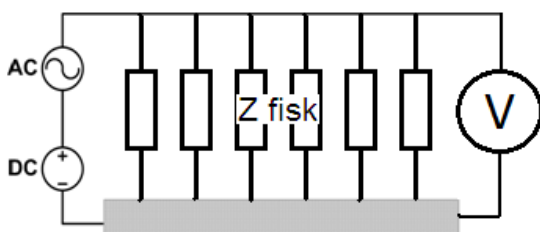
Figur 7: Måling av spenning V og strøm A med fisk, vist som impedansen Z , i elektrobedøveren.

Figur 7 viser prinsippet for måling av volt og ampere, til forskjell fra Figur 1 er fisken her vist med symbolet for impedans. Uavhengig av hvor i kretsen man kobler seg på med amperemeter for måling av strømstyrke vil man få samme måling, forutsatt at der ikke er krepstrømmer som går utenom fisken.

For måling av voltstyrke er det viktig at dette foregår så nærme fisken som praktisk mulig, siden spenningsfall i kabler og koblinger kan føre til redusert spenningsnivå. Ved å bruke RMS-verdier kan man i et slikt måleoppsett, forutsatt lik frekvens, bruke ohms lov. Den vil da kunne utledes til å bli som følger:

$$V = A \cdot Z \quad (2)$$

Vi ser at fra formel 2 er ampere avhengig av påtrykt spenning målt i volt og fiskens elektriske motstand Z . For elektrobedøving av andre arter er det ofte definert en minimum ampere-styrke på den elektriske strømmen gjennom dyrets hjerne, noe som for så vidt kan gjøres også for fisk. Men på grunn av de kommersielle elektrobedøvere sin utforming vil det ofte bli vanskelig å måle den aktuelle strømstyrken som går gjennom fiskens hjerne, særlig når der er flere fisk i elektrobedøveren samtidig slik Figur 8 viser.



Figur 8: Skjematisk oppsett av elektrobedøver med flere fisk samtidig i bedøveren.

Om man måler den totale ampere som blir brukt i et oppsett som vist i Figur 8, er det vanskelig å si noe sikkert om hvor mye som går gjennom hver enkelt fisk. For å sikre en effektiv bedøvelse vil det være enklere å definere et minimumsnivå for påtrykt spenning som gir tilfredsstillende bedøving, selv for den fisken med høyest elektrisk motstand. Variasjon i Z er derfor kritisk, og det har vært utført forsøk for å klargjøre om det var en sammenheng mellom den ampere som går gjennom fisken og størrelsen, noe det ikke har vært mulig å påvise (Grimsbø *et al.* 2011). Ut fra det vi vet i dag ser det

derfor ikke ut til å være nødvendig å differensiere mellom størrelse på fisk og hvor stor amper som kreves for å sikre en effektiv bedøving.

Det ekstreme er når en elektrobedøver i industrien kjøres på en slik måte at fisken blir liggende lagvis og dermed ikke blir skikkelig bedøvd. Tar vi utgangspunkt i Figur 8 vil en situasjon der to fisk ligger oppå hverandre bli å anse som to impedanser i serie, da vil impedansen være det dobbelte av de andre fiskene som befinner seg i elektrobedøveren. Siden strømmen tar letteste vei, vil fiskene som ligger dobbelt ikke få en tilstrekkelig strømgjennomgang. Det vil også oppstå en spenningsdeling mellom de to fiskene i serie, og de vil da ikke bli utsatt for det som er målt driftsspenning i anlegget og dermed ikke få en tilfredsstillende bedøvelse.

Det er større usikkerhet omkring endringer i elektrisk ledningsevne knyttet årstidsvariasjoner, og om fettinnhold påvirker fiskens elektriske ledningsevne (Grimsbø 2007) i forbindelse med elektrobedøving. Siden en generell endring i Z som følge av årstidsvariasjoner, må antas å endre impedansen i all fisk i samme merd likt, vil oppsettet vist i Figur 8 ikke bli endret slik at enkeltfisk får endret strømgjennomgang. Hvilke fysiologiske forhold som har betydning for fiskens elektriske ledningsevne og strømgjennomgang er i liten grad klarlagt.

Ulike spenningsnivåer har vært testet, og en løsning med koblet AC og DC, også inneholdende overharmoniske svingninger med $\approx 107V$ RMS, har vist seg å være en gunstig kombinasjon (Lambooij et al. 2010). Den omtalte løsning har godt resultat både med hensyn til effektiv bedøvelse og skade på filet. For å sikre en rask bedøvelse kan det derfor se ut til at det er hensiktsmessig å innføre et krav om en innstilt verdi på minimum 110V RMS for industrielle elektrobedøvere.

I laboratorieforsøk er det vanlig å bedøve én fisk om gangen, noe som gir en mer begrenset belastning av elektrobedøverens elektriske kilde enn det som ofte vil være tilfelle i industrien. Dersom man betrakter en fisk som en elektrisk forbruker, og den elektriske strøm som kreves for å bedøve denne, blir da strømstyrken i ampere det denne forbrukeren trekker. Når det da havner flere fisk i elektrobedøveren samtidig, slik som vist i Figur 8, vil de hver representere en forbruker som trekker strøm og dermed belaster den elektriske kilden, samt kabler og koblinger. Dersom belastningen på elektrobedøveren blir tilstrekkelig stor vil den ikke lenger greie å opprettholde det innstilte spenningsnivået, og den elektriske spenning målt over hver fisk vil da gå ned. Siden antall fisk i elektrobedøveren varierer, vil det kunne oppstå variasjoner i spenningsnivået over tid og dermed varierende effektivitet hva bedøvingseffekt angår. Hvor stor variasjon i elektrobedøverens spenning som oppstår under belastning, avhenger både av bedøveren sin karakteristikk, spenningsfall i kabler og hvor mye fisk som kommer inn i den samtidig. Ideelt sett bør det ikke oppstå noe fall i spenningsnivå i forhold til innstilt verdi. I praksis vil allikevel dette skje, og det bør da innføres en grenseverdi for hvor stort fall som er akseptabelt. Det ville trolig være enklest å definere et slikt krav med utgangspunkt i en RMS-verdi, siden det er gjort mange forsøk for å finne ut hvilke verdier som gir tilfredsstillende bedøving. Ut fra at man ønsker å oppnå en rask bedøving, bør kravet settes til 90V RMS, det er likevel noe usikkert om dette er et akseptabelt avvik sammenlignet med den voltstyrke som er brukt i tidligere forsøk. En annen løsning kunne være å sette kravet til 80 % av innstilt spenning, men da vil anlegg der man har en underdimensjonert elektrobedøver ikke kunne kompensere for dette ved å øke spenningen. Der eksisterer imidlertid ingen forsøk som viser hvilke fall i målt RMS spenningsverdi man kan forvente seg ute i industrien, ei heller hvilke nivå som er akseptable.

Noe av problematikken omkring dette med raskt å oppnå stabile spenningsverdier over fiskens hjerne er faktisk knyttet opp til kontaktkapasitansen som oppstår mellom fiskens kontaktflate mot transportbånd og sko/finger (elektroder). I forhold til en koblet kilde vil det gå en stor DC-strøm målt i ampere for å lade opp kontaktkapasitansen. Kontaktkapasitansen mellom fisk og elektroder gir en relativt stor øyeblikksbelastning som kan føre til et fall i spenningsnivå. Rent praktisk vil renhold, men også fiskens mukus, kunne ha en betydning for kontaktkapasitansen.

Etter at variasjonen i amperenivå grunnet kontaktkapasitansen har stabilisert seg, vil man ofte observere en svak stigning i målt ampere. Dette er den tidligere omtalte endringen i det biologiske vevet sine elektriske egenskaper som følge av spenningsnivået, også kalt "dielektrisk breakdown". Det som er særlig interessant å merke seg i forhold til å oppnå en så rask elektrobedøving som mulig, er at målinger viser at det tar ca. 0,3 sekund før man oppnår en stabil strømgjennomgang i fisken. Det eksisterer liten og ingen kunnskap om elektrodegeometrien og

kontaktkapasitansen sin innvirkning på elektrobedøvingen. Selv om det har vært utført eksperimenter som viser at det er mulig å elektrobedøve fisk på 0,5 sekunder (Lambooij et al. 2010), bør man allikevel være forsiktig med å definere dette som et krav så lenge man ikke har avklart elektrodegeometrien, kontaktkapasitansens og fiskens øvrige elektriske egenskaper sin innvirkning på elektrobedøvingen.

Det å kunne styre den elektriske strømmen slik at den mest mulig effektivt går gjennom fisken sin hjerne er et annet viktig moment i forhold til å oppnå effektiv elektrobedøving. Det har vist seg at sko, eller fingeren om man vil, sin utforming er avgjørende for hvordan fisken blir eksponert for elektrisk strøm. I løpet av den tiden fisken er i kontakt med sko i elektrobedøveren, utsettes hodet for strøm i et forholdsvis lenger tidsintervall enn hva den prosentvise del av fiskens lengde skulle tilsi. For å oppnå denne gunstige eksponeringen av hode, er det viktig at fisken kommer riktig vei inn i elektrobedøveren, noe som tidligere var et problem. Nyere tekniske løsninger har i stor grad løst problemet med rettvending av fisk, selv om en del fisk fremdeles ikke kommer rett vei inn i bedøveren.

Vil fisk bedøves dersom strømførende pol ikke er i berøring med hodet (første to lameller fjernet slik at lamell treffer haleparti mens hele fisken ligger på båndet)?

Siden strømmen tar korteste vei fra "fingeren" til båndet, vil strømmen gå tvers gjennom fisken og det vil ikke hjelpe om hele fisken ligger på båndet. Det virker fornuftig å innføre et krav om at utstyr for elektrobedøving skal fokusere strømmen omkring fiskens hode, noe som er oppfylt med dagens utstyr hvis fisken kommer med hodet først inn på båndet. Det bør derfor stilles krav om at fisken skal rettvendes slik at hodet kommer først inn i elektrobedøveren. Alternativet til rettvendig er at det lages andre tekniske løsninger som sørger for at det er fiskens hode og hjerne som først utsettes for elektrisk strøm. Siden man vet lite om den elektriske strømmen sin gang gjennom fisken, er det mer usikkert hvilke krav som bør settes til feil i forhold til rettvendig, altså fisk som går inn i elektrobedøveren uten å ha hodet først. Siden alle forsøk der man har evaluert dagens elektrobedøving har foregått ved at man forutsetter et oppsett slik vist i figur 1, altså at den elektriske strømmen går via finger, gjennom fisken og ned i transportbånd, er det ikke uten videre greit å endre dette oppsettet. Innfører man en løsning for å bedre ivareta elektrobedøvelsen av fisk som er feil vendt, der for eksempel annenhver sko/finger har vekslende polaritet, så endrer man den elektriske strømmen sin gang gjennom fisken. En løsning med vekslende polaritet er heller ikke en løsning som er verifisert ved bruk av EEG. Siden strømmen tar korteste vei vil det heller ikke være en løsning å beholde transportbåndet som strømførende for så å endre polaritet til de første to rekkene av sko/fingrer. Man har i dag ikke en elektrisk modell som beskriver strømgjennomgangen i fisk, noe som er en forutsetning for å kunne finne optimale løsninger i forhold til endringer i elektrode-konfigurasjon.

Forsøk ved bruk av isvann har vist at man hindrer at fisken våkner opp etter elektrobedøving (upublisert Grimsbø et al.). Ved vurdering av oppvåkning etter elektrobedøving er det derfor viktig at det brukes samme vanntemperatur som i utblødningskaret brukt på anlegget. Det er derimot ikke avklart hvilke andre faktorer enn utblødningstid som påvirker fiskens evne til å gjenvinne bevissthet etter bedøving. Det er i denne sammenheng verdt å nevne muligheten for at *Saccus vauculosus* fungerer som ekstra oksygenreserve for hjernen, men dette er ikke avklart.

- Tallfesting av verdier som er nødvendig for å oppnå umiddelbart bevissthetstap med tilstrekkelig lang varighet (med basis i punkt a), og råd for hvordan disse verdiene kan kontrolleres.
- Innspill til hvordan effekt kan kontrolleres i praksis, herunder vurdering av hvorvidt fisk kan immobiliseres uten å bli bedøvet, og hvordan kan en i så fall oppdage dette.
- Innspill til viktige tilsynspunkt mht kontroll og vedlikehold av anlegg

Våre forslag:

- Produsenter av utstyr til elektrobedøving av fisk må dokumentere at metode og teknisk løsning faktisk gir en bedøvelse av fisken. Stabil gjennomgang av elektrisk strøm i fiskens hode skal oppnås i løpet av 0,5 sekund. Elektrisk strøm med en dominerende frekvens på opptil 400 Hz kan brukes til elektrobedøving. Ønsker man å bruke tekniske løsninger med høyere dominerende frekvens må effekten av bedøvelsen dokumenteres ved bruk av EEG og EKG.
- Innstilt spenningsnivå på utstyr for elektrobedøvelse av fisk skal være minimum 110V RMS. (Det bør vurderes om der skal innføres overgangsordninger for anlegg med eldre elektrobedøvere).
- Under drift skal driftsspenning ikke synke under 90V RMS. Dersom driftsspenning synker under dette nivå skal elektrobedøveren automatisk stoppe. Det er viktig at elektrobedøveren driftes slik at kravet til minimum driftsspenning blir opprettholdt for hver enkelt fisk som bedøves.
- Der skal daglig gjøres målinger, volt RMS, av innstilt spenningsnivå og elektrobedøverens driftsspenning. Målingene skal loggføres eller aller best at utstyret logger data automatisk. Ved inspeksjon fra Mattilsynet kan da logg gjennomgås, kontrollmålinger av innstilt frekvens, spenningsnivå og fall i spenningsnivå under drift foretas. Elektrobedøveren skal være utformet slik at den elektriske strømmen konsentreres omkring fiskens hode og driftet slik at første elektriske kontakt mellom fisk og elektrobedøver skal skje via fiskens hode, og skal vedvare til bevisstløshet er oppnådd.
- Utstyr for elektrobedøving, montert på det enkelte slakteri, må godkjennes og sertifiseres av produsent. Modifikasjoner skal være i samsvar med anvisning fra produsent slik at man sikrer at utstyret er i samsvar med regelverket.
- På det enkelte slakteri skal det føres regelmessig, dokumentert, tilsyn og vedlikehold av elektrobedøvingsutstyret.
- Mattilsynet kan i forbindelse med elektrobedøving visuelt teste at oppvåkningstid til bedøvd fisk er i samsvar med punkt for testing av bedøvelse, definert ovenfor.
 - *Testing av sedering:* Dette kan gjøres ved å ta ti vilkårlige fisker og overføre dem til et kar med det vannet som fisken kom fra. All fisk skal da vise normal svømmeadferd etter 10 minutter.
 - *Testing av bedøvelse:* Dette gjøres ved å ta ti vilkårlige fisker og overføre dem til et kar som inneholder tilsvarende vann som det en har i utblødningstanken (samme temperatur). Midling et al. 2007 har satt opp at følgende syv kriterier kan benyttes til å vurdere bedøvelse: 1) Likevekt 2) Svømming 3) Håndtering 4) Pusting 5) Øye-rulling 6) Stikk 7) Elektrisitet. En oversikt over kriterier for "bevissthetstilstand" finnes også i Roth et al. 2004. Generelt gjelder det at ingen fisk skal vise tegn til bevissthet, slik som øyerulling eller bevegelse av gjellelokk etter 10 minutter.
 - For å teste elektrobedøverens momentaneffekt foreslås det at man kjører elektrobedøveren med bare én rekke sko/fingre, de andre kan heves slik at fisken ikke kommer i kontakt med disse, for så umiddelbart etterpå visuelt å teste om fisken er bevisstløs. Det bør på det enkelte anlegg utarbeides en prosedyre for utføring av denne kontrollen slik at hensynet til helse, miljø og sikkerhet ivaretas.

Bedøvelse med slag

Et alternativ til elektrobedøving er slagmaskiner som slår fisken bevisstløs med en pneumatisk drevet bolt (Mejdell et al. 2010). Dette utstyret er installert ved en rekke slakterier (17 høsten 2012), ofte i kombinasjon med automatisk bløgging (Tobiassen et al. 2012). Fisken svømmer selv eller blir ført inn i en renne som leder til slagmaskinen og holder fisken rettvendt. Bedøvelse med slag forutsetter at slagstykket treffer hjernen på fisken med tilstrekkelig kraft (Roth et al. 2007). Utforming av slagstykket og kraften som brukes vil variere fra konstruksjon til konstruksjon. Det brukes trykkluft for å drive et flatt stempel mot fiskens hode, og et vanlig trykk er 5 og 8 bar (Seafood Innovations/Stranda Prolog).

Ved slag er det slagenergien som betyr noe for bedøvingseffekten og bestemmes av boltens masse x (hastighet)² (Mejdell et al. 2010). Dermed kan man ikke direkte sammenlikne ulike slagsystemer, for eksempel si hvor mange bar trykket skal være uavhengig av system. Lett bolt må ha større hastighet. Slaget bør ikke gi fraktur, for da absorberes en del av slagenergien i stedet for å sette hjernen i bevegelse. Hjernen «slår av seg selv» pga. tregheten, og det er blødningene på motsatt side av der bolten treffer som skal ramme de vitale hjernesentrene. (Prinsippet er det samme ved penetrerende og ikke penetrerende bolt.) En større flate på ikke-penetrerende bolt gir mindre risiko for feil treff på hodet enn ved en mindre slagflate.

Slagmaskinen må innstilles etter fiskestørrelse, og sortering av fisk før bedøvelse er nødvendig for å sikre at slaget treffer riktig. Rettvending av fisken må kontrolleres. Videre kan slagkraft måles og kontrolleres. Slagmaskinene rapporteres å fungere godt når ting gjøres riktig (Mejdell et al. 2010), men har en forholdsvis stor risiko for feil bruk, da rettvending og riktig fiskestørrelse er avgjørende for god bedøving (Tobiassen et al. 2012).

Iki jime

Det finnes slagmaskiner med slagbolter som penetrerer hjernen med en bolt eller pigg (såkalt "Iki jime"), som blir brukt på andre dyr. Den fører til øyeblikkelig død, men krever større nøyaktighet på treffsted. Metoden er så langt ikke godkjent i Norge (Mejdell et al. 2009).

6. Metoder for bedøvelse av fisk

- Finnes det andre metoder for bedøvelse enn slag og elektrisitet som er egnet ut fra hensynet til fiskevelferd og som kan være aktuelt å benytte på slakteri?
- I så fall ønskes en generell beskrivelse av slik(e) metode(r). Om metoden er forsvarlig i praksis, og i så fall hvordan?

Ingen andre kjente metoder finnes som både tilfredsstillende krav til fiskevelferd og mattrygghet. Overdose med anestesimidler ville vært dyrevelferdsmessig forsvarlig, men også disse utløser stressreaksjoner og rester av disse kjemikaliene er ikke akseptable i mat (Zahl et al).

Tema relatert til elektrobedøving som må avklares ved videre forskning:

- Det bør gjennomføres forsøk og teoretiske simuleringer med tanke på å etablere en modell som klargjør hvordan elektrisk strøm passerer gjennom fisken ved elektrobedøving. Det er da særlig viktig å få klargjort om det er sesongmessige eller fysiologiske faktorer som påvirker fiskens elektriske ledningsevne.
- For å kunne redusere tiden det tar for å gjøre fisken bevisstløs er trolig elektrodegeometri og kontaktkapasitans viktig, noe det i dag eksisterer svært lite kunnskap om. Det er nødvendig at det i gangsettes forsøk og teoretiske simuleringer med tanke på å avklare hvilke faktorer som påvirker elektrodegeometrien og kontaktkapasitansen ved elektrobedøving av fisk.

- Det bør utføres forsøk der man bruker høye spenningsnivåer ved måling av impedansspekter for fisk, siden impedansen i biologisk materiale endrer seg ved ulike spenningsnivåer. Dette for å få verifisert den elektriske impedansen sin innvirkning på optimalt frekvensområde for elektrobedøving.
- Vi har i dag ikke tilstrekkelig kunnskap til å kunne definere en grenseverdi for innhold av overharmoniske svinginger i et elektrobedøvingssignal, det må derfor gjennomføres forskning med tanke på å etablere en slik grenseverdi.
- Det må klargjøres ved hjelp av praktiske forsøk hva som er et rimelig krav til feilmargin i forhold til rettvending, det er i denne sammenheng også viktig at man har fått klarlagt gangen til den elektriske strømmen gjennom fisken.
- Der bør gjennomføres forskning med tanke på å avklare *Saccus vasculosus* sin betydning som oksygenlager i forbindelse med avliving og velferd.
- Teoretisk bakgrunn for elektrobedøving av fisk: Når det gjelder evaluering og godkjenning av utstyr til elektrobedøving er visuelle observasjoner av fiskens bevissthet en nyttig metode å bruke i felt, men ikke tilstrekkelig i forhold til en fullstendig evaluering av fiskens bevissthet. Forsøk har vist at selv om man rent visuelt antar at en fisk er bevisstløs, kan man i enkelte tilfeller allikevel måle hjerneaktivitet ved hjelp av EEG (Lambooi et al. 2010). Det er derfor viktig at EEG i kombinasjon med elektrokardiogram (EKG) av dyrevelferdsmessige årsaker innføres som en standard prosedyre i forbindelse med dokumentasjon av utstyr som skal brukes til elektrobedøving av fisk. Der bør også etableres et fagmiljø i Norge for måling av EEG på fisk. Slik metoden for måling av EEG på fisk i dag brukes, er det respons på smerte som måles, samt analyse av tonic/clonic fase.

Referanser:

- Bjørlykke, G.A., Roth, B., Sørheim, O., Kvamme, B.O., Slinde, E. (2011) Sedation, anesthetization and killing of Atlantic salmon (*Salmo salar*, L) using carbon monoxide. *Food Chemistry*, 127, 1706-1711.
- Bjørlykke, G. A., Kvamme, B.O., Slinde, E., Raae, A.J. (2012a) Cloning, expression and purification of Atlantic salmon (*Salmo salar*, L.) neuroglobin. *Protein Expression and Purification* 86, 151–156.
- Bjørlykke, G.A., Kvamme, B.O., Slinde, E., Sørheim, O. (2012b) Use of carbon monoxide in slaughtering, processing and packaging of muscle foods. Ed. Taylor, J.C. In: *Advances in Chemistry Research*, Volume 14. Nova Science Publishers, pp. 159-180.
- Donaldson, M. R., Cooke, S. J., Patterson, D. a., & Macdonald, J. S. (2008). Cold shock and fish. *Journal of Fish Biology*, 73(7), 1491–1530. doi:10.1111/j.1095-8649.2008.02061.x.
- Erikson, U., Hultmann, L., & Eriksteen, J. (2006). Live chilling of Atlantic salmon (*Salmo salar*) combined with mild carbon dioxide anaesthesia. Establishing a method for large-scale processing of farmed fish. *Aquaculture*, 252(2-4), 183–198. doi:10.1016/j.aquaculture.2005.05.013.
- Foss, A., Grimsbø, E., Vikingstad, E., Nortvedt, R., Slinde, E., Roth, B. (2012) Live chilling of Atlantic salmon: physiological response to handling and temperature decrease on welfare. *Fish Physiol. Biochem.* (2012) 38:565–571.
- Grimsbø, E. (2007) Instrumentation of swim tunnels and conductivity measurement of fish. Master degree thesis in measurement science and instrumentation. University of Bergen, Department of Physics and Technology.
- Grimsbø, E., Roth, B., Nortvedt, R. (2011) Electro Stunning of Atlantic Salmon (*Salmo salar* L.): Factors That Affect The Stunning Current. HSA Centenary International Symposium: Recent Advances in the Welfare of Livestock at Slaughter; 2011-06-30 - 2011-07-01.

- Hansen, A. Å., Rødbotten, M., Eie, T., Lea, P., Rudi, K., & Mørkøre, T. (2012). The effect of crowding stress on bacterial growth and sensory properties of chilled Atlantic salmon fillets. *Journal of food science*, 77(1), S84–90. doi:10.1111/j.1750-3841.2011.02513.x.
- Kirsch, D.L., Smith, R.B. (2004) Cranial Electrotherapy Stimulation for Anxiety, Depression, Insomnia, Cognitive Dysfunction, and Pain: A Review and Meta-Analyses. In: Bioelectromag. Med. Rosch, P.J., Markov, M.S., (Eds) Marcel Dekker, Inc., New York.
- Lines, J.A., Robb, D.H., Kestin, S.C., Crook, S.C., Benson, T. (2003) Electric stunning: a humane slaughter method for trout. *Aquac. Eng.* 28, 141-154.
- Lambooij, 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. *Aquac.* 300, 107–112.
- Martinsen, Ø. G., Grimnes, S., Mirtaheri, P. (2000) Non-invasive measurements of post-mortem changes in dielectric properties of haddock muscle – a pilot study. *J. Food Eng.* 43. 189-192.
- Mejdell, C.M., Erikson, U., Slinde, E., Midling, K., 2010 Bedøvningsmetoder ved slakting av laksefisk. *Norsk Veterinærtidsskrift* 2/2010: 83–90.
- Mejdell, C.M., Erikson, U., Slinde, E., Evensen, T.H. Midling, K. 2009 Slaktesystemer for laksefisk i 2008 – fiskevelferd og kvalitet. *Veterinærinstituttets rapportserie*. Nr 1-2009.
- Mejdell, C.M., Stenevik, I.H., Erikson, U., Akse, L., Midling, K., Robertsen, R. Behandling av laks – viktige momenter relatert til slakting og prerigor produksjon. *FHL–Rapport*.
- Midling, K.Ø., Akse, L., Mejdell, C., Tobiassen, T., Sæther, B-S., Aas, K. (2007) Evaluering av elektrisk bedøvelse til oppdrettsfisk, *Fiskeriforskning*, rapport konfidensiell.
- Midling, K.Ø., Mejdell, C., Olsen, T.T. Aas-Hansen, Ø., Aas, K, Harris, S., Oppedal, K. Femsteinvik, Å. (2008) Slakting av oppdrettslaks på båt, direkte fra oppdrettsmerd, *Nofima*, rapport 6/2008.
- Roth, B. (2003) Electrical Stunning of Atlantic salmon (*Salmo salar*). Dr.scient. thesis, Dep. of Fisheries and Marine Biology, Univ. of Bergen, Norway.
- Roth, B., Møller, D., 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. *N. Am. J. of Aquac.* 66, 208–216.
- Roth, B., Slinde, E., Robb, DHF. (2007) Percussive stunning of Atlantic salmon (*Salmo salar*) and the relation between force and stunning. *Aquacultural Engineering*, 36, 192–197.
- Schwan H.P. 1963. Determination of biological impedances. In: Nastuk W.L. (Eds.) *Physical Techniques in Biological Research*. Ch 6. pp.323-407.
- 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.
- Tobiassen, T. m.fl. 2012. Bedøvelse av laksefisk – status i forhold til forskrift og produktfeil. *Nofima Rapport* 32/2012.
- Zahl, I. H., Kiessling, A., Samuelsen, O.B., & Olsen, R.E. (2010). Anesthesia induces stress in Atlantic salmon (*Salmo salar*), Atlantic cod (*Gadus morhua*) and Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*). *Fish physiology and biochemistry*, 36(3), 719–30. doi:10.1007/s10695-009-9346-2.