



**Suomen elinkeinokalatalouden
toimintaohjelma
2007-2013**

Loppuraportti

Hyljedetektor

**– selvitystyö automaattisen hyljehavaintimen kehittämisen
mahdollisuuksista**

Peimarin koulutuskuntayhtymä / Kalatalous- ja ympäristöopisto

Hankekoordinaattori Janne Antila

9.2.2015

TIIVISTELMÄ

Kalastajien pyydysten luona kaivattaisiin tekniikkaa, joka havaitsisi hylkeen ja käynnistäisi karkottimet automaattisesti. Hankkeen tarkoituksena oli selvittää tähän soveltuvaa tekniikkaa. Hankkeessa selvitettiin laajasti mahdollisuuksia hylkeen automaattiseksi havaitsemiseksi pinnan alla tai päällä. Soveltuvuusselvityksen alla olivat mm. erilaiset optiset, akustiset, kemialliset ja kaikuluotaustekniset menetelmät. Useimmat kuviteltavissa olevat detektorimenetelmät osoittautuivat nykytekniikalla joko täysin mahdottomiksi tai käytännön tasolla käyttökelvottomiksi. Joitakin sovellettavissa olevia, kehittämiskelpoisia ja tulevaisuudessa kokeiltavia menetelmiä hylkeiden automaattiseksi havaitsemiseksi pyydysten läheltä kuitenkin löytyi. Hanke saavutti tavoitteensa erinomaisesti ja loi pohjan ammattikalastuksen hyljeongelman mahdolliseksi lievittämiseksi tulevaisuudessa.

Vesi on ympäristönä haasteellinen tarkkailtava ja hylje haluaa olla huomaamaton. Tästä huolimatta hylkeen automaattinen tunnistus voi olla toteutettavissa kohtuullisen kustannustehokkaasti. Lupaavin menetelmä, kustannustehokkuus ja käyttötarve huomioiden, olisi kehittää erikoisvalmisteinen yläpaula – kaikupaula – jossa on integroituna pieniä, edullisia piezoelementtejä (”kaikuluotaimia”). Hylkeen kaiku käynnistäisi automaattiset karkotustoimet, mutta kalat tms. eivät. Menetelmää voitaisiin käyttää muuallakin kuin verkoissa. Tällainen ”kaikupaula” olisi ehdottomasti kehittämisen ja kokeilun arvoinen, vaatien rinnalleen soveltuvan ohjelmiston. Projektikoordinaattori ehdottaa menetelmän kehittämiseksi hanketta, yhteistyössä esim. Tampereen teknillisen yliopiston kanssa. Prototyypin kehittäminen voisi tapahtua diplomityönä.



Sisältö

| | |
|---|-----------|
| 1. Hankkeen tausta ja tarve | 4 |
| 2. Hankkeen tavoite..... | 4 |
| 3. Hankkeen rahoitus | 4 |
| 4. Hankkeen toteutus ja tavoitteiden saavuttaminen | 4 |
| 5. Hyljedetektorin kehittämistä maailmalla | 5 |
| 6. Selvitetyt detektoritekniikat ja huomioita niihin liittyen | 5 |
| 6.1. Optinen tunnistus | 5 |
| 6.1.1. Kuvaus vedessä | 5 |
| 6.1.2. Kuvaus pinnalla..... | 6 |
| 6.1.3. Lämpökuvaus | 6 |
| 6.2. Tutka | 6 |
| 6.3. Magneettinen tunnistus | 7 |
| 6.4. Kemiallinen tunnistus..... | 7 |
| 6.5. Akustinen tunnistus..... | 7 |
| 6.5.1. Hylkeen ääntely..... | 7 |
| 6.5.2. Hylkeen sykkeen ääni..... | 8 |
| 6.5.3. Hylkeen uimisesta syntyvät äänet | 8 |
| 6.5.4. Puhalluksesta syntyvä pulputusääni | 8 |
| 6.5.5. Verkon repimisen ääni..... | 8 |
| 6.5.6. Tulevaisuudessa nanoteknologiaa kuunteluun..... | 9 |
| 6.6. Kaikuluotaus..... | 9 |
| 6.6.1. Perinteinen kaikuluotaus..... | 9 |
| 6.6.2. CHIRP -kaikuluotaus | 9 |
| 6.6.3. Imaging -kaikuluotaus | 9 |
| 6.6.4. DIDSON -kaikuluotaus | 10 |
| 6.6.5. Diver Detection Sonar -kaikuluotaus | 10 |
| 6.7. Pyydykseen integroitavat detektorit..... | 10 |
| 6.7.1. Pietsoelementit | 10 |
| 6.7.2. Resistanssijohtimet..... | 11 |
| 7. Toimenpidesuositukset | 11 |
| 8. Sekalaista faktaa hylkeistä detektorin kehittämisessä huomioon otettavaksi..... | 11 |
| 9. Karkottamiseen liittyviä huomioita | 12 |
| 9.1. Paukkukarkotin | 12 |
| 9.2. Startle reflex | 12 |
| 9.3. Muita irtoajatuksia | 12 |
| LÄHTEET | 13 |

1. HANKKEEN TAUSTA JA TARVE

Hylkeet ovat tällä hetkellä ammattikalastuksen suurin ongelma merialueella. Hylkeet aiheuttavat mittavia vahinkoja myös vesiviljelylle. Kalastajat voivat osittain suojata rysäpyydyksiä käyttämällä pyydyksen kalapesässä hylkeenkestäviä materiaaleja ja hyljekalteria, mutta verkkoja tai rysien avoimia osia ei voi suojata mitenkään.

Mikäli hylkeet pystyttäisiin havaitsemaan vedessä, olisi mahdollista kehittää ja käyttää automaattista ”täsmäteknikkaa” hylkeiden karkottamiseksi kalastajan pyyntialueelta ja kalankasvatustiluksilta ennen kuin ne pääsevät kosketukseen pyydyksen tai kalankasvatuskassien ja niissä olevien kalojen kanssa. Jos hyljekarkottimet ovat päällä jatkuvasti, hylje tottuu niihin ja karkottimien teho heikkenee. Tästä syystä detektorin olemassaolo ja karkottimen automaattinen käynnistyminen juuri hylkeen lähestyessä olisi toivottavaa.

Toimiessaan vastaavaa tekniikkaa voisi käyttää laajemminkin, esimerkiksi saimaannorpan esiintymisalueella, jossa norppakannan suojelemiseksi asetetut verkkokalastuskiellot aiheuttavat konfliktia kalastajien ja suojelejojen välillä.

2. HANKKEEN TAVOITE

Hankkeen tavoitteena oli 1.12.2014–31.1.2015 välisenä aikana tehdä kattava selvitys siitä, mitä tekniikkaa maailmalla on keksitty / käytössä hylkeen (tai muiden merinisäkkäiden) havaitsemiseksi vedessä, tai mikä olemassa oleva tekniikka saattaisi mahdollisesti tähän soveltua. Jos toimivia tai sovellettavissa olevia detektoritekniikoita ilmenee, pyritään tarkastelemaan näiden kustannustehokkuutta.

3. HANKKEEN RAHOITUS

Koska hankkeen tulokset ovat hyödynnettävissä hyvin laajasti sekä ammattikalastajien että vesiviljelijöiden parissa Suomen koko merialueella ja Saimaalla, hankkeelle myönnettiin 100 % (8840 €) julkinen rahoitus ja se on osittain Euroopan kalatalousrahaston (EKTR) rahoittama.

4. HANKKEEN TOTEUTUS JA TAVOITTEIDEN SAAVUTTAMINEN

Hankkeen hakijana toimi Peimarin koulutuskuntayhtymän Kalatalous- ja ympäristöopisto. Hankkeen käytännön toteutuksesta vastaavaksi hankekoordinaattoriksi valittiin biologi Janne Antila.

Hankkeessa selvitettiin laajasti mahdollisuuksia hylkeen automaattiseksi havaitsemiseksi pinnan alla tai päällä. Soveltuvuusselvityksen alla olivat useat optiset, akustiset, kemialliset, magneettiset, elektromagneettiset ja kaikuluotaustekniset menetelmät. Hanke olikin monitieteellinen, vaati laajasti mm. biologis-ekologista ja teknillis-fysikaalista osaamista ja näkemystä. Hankekoordinaattori pyrki käyttämään apunaan eri alojen asiantuntijoiden näkemystä monien kysymysten ratkaisemisessa.

Useimmat kuviteltavissa olevat detektorimenetelmät osoittautuivat nykytekniikalla joko täysin mahdottomiksi tai käytännön tasolla käyttökelvottomiksi. Joitakin sovellettavissa olevia, kehittämiskelpoisia ja tulevaisuudessa kokeiltavia menetelmiä hylkeiden automaattiseksi havaitsemiseksi pyydysten läheltä kuitenkin löytyi.

Hanke saavutti tavoitteensa erinomaisesti ja loi pohjan ammattikalastuksen hyljeongelman mahdolliseksi lievittämiseksi tulevaisuudessa.

5. HYLJEDETEKTORIN KEHITTÄMISTÄ MAAILMALLA

En löytänyt maailmalta käytössä yhtään hylkeiden tai muiden merinisäkkäiden automaattiseen havaitsemiseen kehitettyä valmista laitetta. Kuuntelulaitteita käytetään ääntelevien eläinten, esimerkiksi pyöriäisten, elinalueiden kartoittamisessa. Nämä laitteet tarjoavat kuitenkin vain äänen jota ihminen kuuntelee, reaaliaikaisesti tai nauhoituksesta jälkikäteen. Sama pätee kameroihin ja muihinkin tekniikkoihin – soveltuva automatiikka ei löytynyt vaan homma työllistää aina ihmisen.

Ocean Tools Aquaculture (Otaq) on kehittänyt karkottimia (SealFENCE) hylkeille. Heillä on myös menossa hyljehavaintimen (SealSENSE) kehitystyö, jotta heidän karkottimensa saataisiin toimimaan automatisoidusti hylkeen lähestyessä. Laite perustuu ultraääneen (eli ilmeisesti kaikuluotaukseen) ja kuulemma toimii hyvin, mutta he joutuvat vielä kehittämään laitetta pohjan ja pinnan läheisyydessä olevien hylkeiden havaitsemisen parantamiseksi. Tällä hetkellä he yrittävät varmistaa tähän jatkokehittämiseen tarvittavaa rahoitusta. Yhtiöstä ei osattukaan sanoa, kauanko tuotteen varsinainen markkinoille tuleminen vielä voi kestää. Tuotteesta olisi joka tapauksessa tarkoitus tulla realistisen hintainen. Yhtiön fokus on vesiviljelyssä, mutta laitteet ovat jossain määrin sovellettavissa kalastajienkin tarkoituksiin. Yhtiölle on viestitty, että olisimme halukkaita ottamaan laitteita kokeiluun, jos he haluavat saada laitteelle kenttäkokemusta Suomen rannikon / saariston olosuhteista. Vaikuttivat kiinnostuneilta yhteistyöstä ja ottanevat yhteyttä, kun tuote hieman kehittyy. Maria Saarisen (Livia, kalatalous- ja ympäristöopisto) ja Petri Rannikon (Vakka-Suomen kalatalousryhmä) yhteystiedot on välitetty heille tätä tarkoitusta varten.

6. SELVITETYT DETEKTORITEKNIIKAT JA HUOMIOITA NIIHIN LIITTYEN

Maan päällä voidaan käyttää jos jonkin sortin valoon perustuvia optisia havaintimia, liiketunnistimia, hahmontunnistusohjelmia yms., mutta vesiympäristössä homma muuttuu haastavammaksi. Lisähaastetta luo vielä se, että virtalähteenä vesillä toimii yleensä rajallinen akku. Halusin kuitenkin selvittää kaikki vaihtoehdot teknikat, riippumatta siitä kuinka paljon virtaa ne syövät, sillä osa kalavesistä sentään on sähköistetyissäkin rannoissa.

6.1. Optinen tunnistus

6.1.1. Kuvaus vedessä

Nykyaikainen kamerateknikka periaatteessa mahdollistaisi hylkeen havaitsemisen optisesti. Veden alla valon eri aallonpituudet kuitenkin suodattuvat pois nopeasti (myös ultravioletin ja infrapunon eri aallonpituudet, joita ihmissilmä ei havaitse). Parhaimmillaan Suomen rannikolla vedenalainen näkyvyys on useita metrejä, huonoimmillaan puhutaan muutamista senttimetreistä. Vedenalainen, valoon perustuva havainnointi onkin käytännössä toimimaton vaihtoehto. Varsinkin kun hylkeet ovat aktiivisia myös hämärässä ja joskus yölläkin.

6.1.2. Kuvaus pinnalla

Hylje pitää hengitystaukoja sukellusten välillä, ollen pää pinnalla. Tällöin sen voisi havaita pinnan yläpuolisella kameratekniikalla hahmontunnistusohjelmiston avulla. Jos ihminen itse tunnistaa hylkeen pään videokuvasta, voisi automaattikkakin sen tehdä, mutta ei ihan yhtä hyvin kuin ihminen. Liikkuva aallokko on ongelma, mutta sen eliminoiminen joillakin taustanpoistomenetelmillä saattaisi ehkä olla mahdollisuuksien rajoissa – liikkuvia puiden lehtiä on taustanpoiston avulla onnistuttu kuvasta poistamaan ja täten on mahdollistettu hahmontunnistusta tällaisissa olosuhteissa¹.

Lisähaastetta tuo vielä se, että kamera tulisi saada suhteellisen stabiilisti paikalleen, sillä poijun nokassa aallokossa pahasti heiluva kamera ei toimi toivotusti. Kameran tulisi myös useissa kohteissa pyöriä 360 astetta, ellei ole varaa sijoittaa useita kameroita. Yhden kameran tapauksessa on mahdollista, että hylje pääsee huomaamatta livahtamaan ”selän takaa”.

Hämärän tai viimeistään pimeän myötä perinteinen kamera muuttuu hyödyttömäksi. Myös likaantuminen on ilmeinen ongelma optisten laitteiden suorituskyvyn kannalta – sade, suolavesipärskeet ja muu likaantuminen aiheuttavat vaadetta erityiselle ennalta suojaamiselle ja jatkuvalle ylläpidolle, tai laite ei enää täytä tarkoitustaan.

Edellä mainituista seikoista johtuen pinnan yläpuolinen optinen havainnointi hahmontunnistuksen kera toimisi korkeintaan kohtuullisissa valaistusolosuhteissa ”alustavana havaitsimena”, jolloin ihminen itse voisi varmistaa tunnistuksen.

6.1.3. Lämpökuvaus

Lämpökamera tai -skanneri olisi (viimeistäänkin pimeässä) houkutteleva vaihtoehto. Lämpökamera on laite, joka muodostaa kuvan esineen tai olennon pintalämpötilasta sen lähettämän lämpö- eli infrapunasäteilyn perusteella, samaan tapaan kuin tavallinen kamera muodostaa kuvan näkyvän valon perusteella.

Hylkeen iho ei paksun traanikerroksen vuoksi juurikaan vuoda lämpösäteilyä muualta kuin hieman kuonosta ja silmien alueelta². Hylkeen pitkien sukellusten vuoksi pinnanpäällinen havainnointi tulisi kuitenkin pystyä tekemään kaukaa, mielellään ainakin 100 m päästä. Näillä etäisyyksillä parhaidenkaan (ja yli 10 000 € maksavien) lämpökameroiden / -skannerien kuvaerottelutarkkuus ei riitä – hylkeen pää näkyisi noin yhden pikselin kokoisena lämpöpilkuna^{3,4,5}), kuten myös linnut yms. lämpimät kohteet, eikä mitään hahmontunnistusta täten voisi suorittaa. Myös automaattinen tarkentaminen luo haasteita – lämpökamerat on aina tarkennettava halutulle etäisyydelle. Laajan alueen tarkkailu ja kameran automaattinen tarkentaminen ympäristöönsä lämpimämpään pisteeseen ei ainakaan Fluke Oy:n edustajan mukaan onnistu.

Hylkeen sisälämpötila on n. 35–37 C° ja sen hengitys on lämmintä kuten ihmiselläkin. Näiden lämpimien uloshengityspulssien havaitseminen lämpökameralla tuntui houkuttelevalta ajatukselta, mutta valitettavasti lämpökameroilla ei pysty mittaamaan kaasujen säteilemää lämpösäteilyä⁶. Uloshengitysilman lämpöpulssien havainnointi ei täten onnistu lämpökameratekniikalla.

6.2. Tutka

Tutka eli ilmassa radio- tai mikroaaltojen taajuudella toimiva ”luotain” omaa hyvän kantaman, ei häiriinny merkittävästi esim. sateesta tai sumusta, mutta se ei myöskään

kykene aallokosta poimimaan hylkeen päätä tai erottamaan sitä tyynellä säällä esim. uivista linnuista.

6.3. Magneettinen tunnistus

Hylkeellä on moninkertainen veren hemoglobiinitaso ja lihasten myoglobiinitaso ihmiseen verrattuna. Näihin on sitoutuneena rautaa. Tällainen kehossa oleva rauta on kuitenkin ns. atomimuodossaan eikä ole täten mitenkään magneettisesti havaittavissa⁷.

6.4. Kemiallinen tunnistus

Hylkeestä erittyviä kemiallisia aineita voisi yrittää havaita ilmasta (esim. hengitysilman hiilidioksidi) tai vedestä (virtsa-aineet, ulosteet, rauhaseritteet). Ulostamisen ja virtsaamisen lisäksi, hylkeistä vain urosnorpat erittävät kuonossa olevista rauhaista jotain eritettä ja vain kiima-aikaan⁸. Karvoja irtoaa hyvin vähän. Nopealla tutkimisella ei selvinnyt DNA:n lisäksi yhtään vain hylkeelle ominaista kemiallista ainetta. Sellaisia saattaisi kuitenkin mahdollisesti löytyä esim. erilaisten rasvahappojen muodossa.

Aiheeseen ei syvennytty tarkemmin, sillä hylkeelle ominaisten kemiallisten yhdisteiden havaitseminen vedestä olisi kuitenkin todella haasteellista, käytännössä tarvitsisi vedestä aistia yksittäisiä molekyylejä. Esimerkiksi DNA-molekyylin tunnistaminen vaatii ensin sen monistamista ym. ja tämä vaatisi vähintään kelluvan, jatkuvatoimisen ”pienoislaboration” eikä se toimisi reaaliaikaisesti vaan reilulla viiveellä. Lisäksi tuuli ja virtaus käyvät yhdellä ajanhetkellä vain yhteen suuntaan ja voivat vaihdella nopeastikin. Poimittava kemiallinen signaali ei siis välttämättä kulkeudu anturille ellei antureita ole valvottavan alueen joka reunalla. Toisaalta virtausten mukana kaukaa ajautuvat yhdisteet voisivat aiheuttaa väärän hälytyksen. Jos taas havaittava aine olisi ulosteessa ja hylje ulostaa anturin lähelle, uloste voi liueta hitaasti ja pitkään, tuottaen jatkuvaa tai ajoittaista signaalia, vaikka eläin olisi jo kaukana poissa. Toisaalta hylje ei välttämättä ulosta lainkaan pyydyksen lähellä, jolloin se jäisi kokonaan huomaamatta.

6.5. Akustinen tunnistus

Veteen tuotettu ääni kulkee veden alla joka suuntaan, nopeasti ja pitkälle. Hydrofoneja eli vedenalaisia kuuntelulaitteita on olemassa ja ne ovat kohtuullisen edullisia. Tämä tekee ääneen perustuvan tunnistamisen houkuttelevaksi vaihtoehdoksi. Tarvittaisiin kuitenkin kohinasta (kohina = muut ympäristöstä tulevat äänet ja kuuntelulaitteesta itsestään aiheutuva sähköinen kohina) erottuva äänisignaali poimittavaksi. Signaalinkäsittelyssä käytettävät algoritmit eivät ole kovin monimutkaisia, eli jos signaali on liian lähellä kohinatasoa, niin mikään ei auta⁷.

6.5.1. Hylkeen ääntely

Hylkeet voivat äännellä usein eri tavoin niin pinnalla kuin vedessäkin. Vedessä hylje voi äännellä mm. naksauttelemalla yksittäisiä naksauksia tai naksaussarjoja. Hylkeiden äänet ovat vaihtelevia ja siksi eri lähteistä löytyy äänistä erilaista tietoa. Hallilla yksittäisten naksauksien kesto on 5–20 ms⁹ ja saimaan- / laatokannorpalla 6–8 ms¹⁰, naksaussarjojen nopeus on n. 60–80 naksauksia sekunnissa¹¹ ja taajuusalue hyvin laaja, n. 200 Hz – 30 KHz^{11,12,13,14}, Soikkelin & Keräsen⁹ mukaan jopa 30–100 kHz (näin korkeita arvoja en muista julkaisuista tavannut). Ennen uskottiin, että hylje käyttää tätä naksauttelua saaliin paikantamiseen kaikuluotauksen tavoin (kuten esim. delfiinit). Sitten hylkeiden kaikuluotaukskyvyyn on kuitenkin todettu olevan parhaassakin tapauksessa hyvin heikko¹⁵. Nykytiedon mukaan hylje saalistaa pimeissä vesissä lähinnä herkän viiksikarva-aistinsa turvin ja tutuissa vesissä myös muistilla lienee viiksikarva-aistin toimintaa tukeva vaikutus.

Satunnainen naksauttelu lisääntyy valon vähetessä (eli syvällä, sameassa tai yöllä) tai kun hylkeelle asetetaan side silmille. Se ei silti sokkonakaan käytä naksauksia läheskään joka sukelluksella.

Hylkeen ääntelyn on todettu painottuvan lisääntymiskauteen ja hylkeidenvälisiin sosiaalisiin tilanteisiin¹¹. Saalistussukelluksillaan rannikkovesissä hylje on usein yksin ja tyypillisesti hiljainen, vain satunnaisesti naksautellen veden alla. Täten hylkeen ääntelyyn yksistään ei voi luottaa havainnoinnissa. Lisäksi hylkeiden käyttämien naksahduksien äänitaajuudet vaihtelevat niin laajalla skaalalla, että kuuntelulaitteelle tulisi luultavasti hyvin paljon ihmisperäisiä tai muita ei-hylkeisiin liittyviä häiriöääniä samalle taajuusalueelle (esim. metalli–metalli -kilahdus)⁸. Laajan taajuusalueen kuuntelu myös huonontaa signaali–kohina -suhdetta, jolloin signaalin poimiminen kohinasta vaikeutuu⁷.

6.5.2. Hylkeen sykkeen ääni

Erityisen herkäät hydrofonit pystyisivät aistimaan hylkeen sykkeestä syntyvät paineaallot joltakin etäisyydeltä. Tämä toimii kuitenkin käytännössä vain hallituissa laboratorio-olosuhteissa. Luonnonvesissä tuskin onnistuisi edes ihan hylkeen vierestä. Aallokko, virtaukset ja kaikki mahdolliset paineet ja äänet tuottavat niin paljon taustakohinaa, että eläimen sykkeen poimiminen tästä on käytännössä mahdotonta. Signaali–kohina -suhde on liian huono⁷. Lisähaastetta tuo vielä se, että sukelluksessa hylkeen syke laskee noin 4–5 lyöntiin minuutissa²¹, joskus jopa alle¹⁶. Syke kuuluu siis n. kerran 15 sekunnissa eikä ole täten edes jatkuvasti kuunneltavissa. Pintahengityksen aikana harmaahylkeen syke on luokkaa 119 lyöntiä / min¹⁶.

Merinisäkkäiden sykettä on kuunneltu erinäisissä tutkimuksissa, mutta käytettävät laitteet on aina kiinnitetty tutkittavaan eläimeen.

6.5.3. Hylkeen uimisesta syntyvät äänet

Myös hylkeen sukeltamisesta / liikkumisesta aiheutuvat paineaallot olisi mittaustilanteiden herkkyyden puolesta mahdollista havaita, mutta huonon signaali–kohina -suhteen vuoksi sen poimiminen on käytännössä mahdotonta⁷.

6.5.4. Puhalluksesta syntyvä pulputusääni

Hylje sukeltaa tyhjin keuhkoin eli se puhalttaa ulos ennen sukellusta. Yleensä hylje puhalttaa ulos jo pinnan päällä ollessaan jolloin mitään kuplia / pulputusta ei veden alle tule. Joskus kuitenkin viimeinen silaus puhalluksesta tapahtuu pintakalvon alla, jolloin tästä syntyy ääni. Saalistussukelluksillaan hylkeen intresseissä on olla mahdollisimman hiljainen ja nämä äänet lienevät niin vähälukuisia, että niitä ei voi käytännössä käyttää signaalina hylkeen läsnäolosta. Tällaisen äänen poimiminen luultavasti onnistuisi vielä muutamien metrien säteellä, mutta kymmenien metrien päästä sekin jo katoaisi kohinaan⁷.

6.5.5. Verkon repimisen ääni

Yksi hylkeiden aiheuttamista ongelmista verkkokalastukselle on hylkeiden taipumus repiä verkkoja rikki. Suuret kalatkin voivat verkossa rimpuillessaan katkaista yksittäisiä lankoja, mutta varsinainen repiminen on selkeä signaali hylkeen läsnäolosta. Verkon liinan monofiilisäikeiden napsumisesta aiheutuvat repeämistä äänet voisivat olla taajuudeltaan sen verran vakioja / rajattuja, että hydrofonilla voitaisiin keskittyä kuuntelemaan melko kapeaa äänitaajuusalueella. Tämä parantaa signaali–kohina -suhdetta ja lisää äänen poimimisen mahdollisuuksia⁷. Miltä etäisyydeltä tämä ääni voitaisiin näin tunnistaa, on epäselvää. Mitään tietoa tällaisten äänten laadusta ei löytynyt. Jos repimistä äänen perustuvan

hydrofonipohjaisen tunnistusmenetelmän haluaa kehittää, niin lienee parasta suorittaa kokeellisia tutkimuksia. Tämän tekniikan käyttöalue rajoittuisi verkkokalastukseen ja toimisi vasta verkon jo hieman vahingoituttua. Toisaalta hylkeet eivät aina revi verkkoja vaan voivat syödä saaliin ”näitimmin”.

6.5.6. Tulevaisuudessa nanoteknologiaa kuunteluun

Joskus tulevaisuudessa äänen kuuntelu voi olla tuloksekkaampaa kuin nyt. Singaporelaisen A*STAR tutkimuslaitoksen tutkijat ovat kehittäneet herkän nanosähkömekaanisen paineanturin, jonka tunnistinelementtinä on nanolankainen kenttävaikutustransistori (NWFET). Tällä voi havaita hyvin pieniä äänenpaineita, perinteistä menetelmää paremmilla signaali–kohina -suhteilla¹⁷.

6.6. Kaikuluotaus

Kaikuluotaus perustuu veteen lähetettävään korkeataajuiseen (ultraääni) äänipulssiin ja sen heijastumiseen takaisin vedessä olevista kohteista. Heijastuneen kaiun kulkeman ajan perusteella voidaan määrittää kohteen etäisyys ja kaiun voimakkuus antaa viitettä kohteen koosta. Kaiun aiheuttavan kappaleen tiheys ero veteen nähden vaikuttaa kaiun voimakkuuteen vahvasti. Esimerkiksi kaloista suurin osa kaiusta tulee ilmarakosta ja jonkin verran luustosta, lihasten ollessa kaikuluotaimelle lähes ”näkyttömiä”. Ääni etenee vedessä hyvin, pimeys, sameus tai muut näkyvyystekijät eivät estä toimintaa ja kaikuluotainten virrankulutus on melko pientä. 2000-luvulla kaikuluotausteknologia on ottanut suuria harppauksia eteenpäin, vanhankin tekniikan ollessa edelleen käyttökelpoista.

6.6.1. Perinteinen kaikuluotaus

Perinteinen kaikuluotain lähettää yhden pulssin, yhdellä taajuudella, tietyn laajuudessa kulmassa, joka etenee vedessä kartiomaisesti laajeten, kunnes kimpoaa kohteesta takaisin. 20 m etäisyydellä lähetys-vastaanotinanturista kaikukeila voi olla halkaisijaltaan esim. 15 m. Perinteinen kaikuluotain ei tiedä tuleeko kohteen paluukaiku keilan keskeltä vai jostakin reuna-alueelta, joten kohteesta saadaan tietoon vain etäisyys ja että sijainti on 7,5 m tarkkuudella keilan keskeltä. Kohteiden erottelutarkkuus on perinteisellä menetelmällä melko heikko – kaksi päällekkäistä kalaa sulautuu yhteen, pohjan läheinen kohde piiryy pohjaan kiinni, kalaparvi on yksi möykky jne.

6.6.2. CHIRP -kaikuluotaus

CHIRP-tekniikka lähettää yhtäaikaaisesti eri äänitaajuuksia ja saa näitä tulkitsemalla aikaan hieman paremman erottelukyvyn kuin perinteinen menetelmä.

6.6.3. Imaging -kaikuluotaus

DOWN IMAGING ja SIDE IMAGING (Hummingbird-yhtiön käyttämä nimitys – vastaavat laitteet löytyvät myös muilta valmistajilta, mutta hieman eri nimillä) piirtävät hienoa, ikään kuin 3D rakennekuvaa pohjasta, veneen alta ja sivulta, mutta vaativat liikettä toimiakseen. Imaging-tekniikat perustuvat siihen, että lähetettävä pulssi ei olekaan kartiomainen vaan ohut ”siivu”. Näitä vedenalaisia kuvasiivuja laitetaan vieriviereen veneen edetessä, jolloin saadaan luotua maisemakuva pohjasta kaikkine rakennelmineen. 360 IMAGING on vastaava tekniikka, mutta veneen ei tarvitse liikkua vaan anturi pyörii hitaasti 360 astetta, muodostaen näkymän anturin ympäriltä, ikään kuin tutka, mutta hyvällä kuvalla. Periaatteessa tällainen 360 IMAGING luotain voisi toimia hyljedetektorinakin, ainakin jollain etäisyydellä, mutta ohjelmisto pitäisi modifioida tarkoitusta varten. Navico Finland (Navico on ainakin Lowrance ja Simrad merkkisten

luotainten emoyhtiö) ei vastannut lukuisista soitoista ja sähköpostista huolimatta, joten firman halukkuutta lähteä tällaiseen kehitystyöhön ei saatu kysyttyä.

6.6.4. DIDSON -kaikuluotaus

Dual Frequency Identification Sonar eli DIDSON. Tällä edistyneellä, mutta vielä toistaiseksi kalliilla tekniikalla saadaan lähes videokuvan laatuista liikkuvaa kuvaa veden alta, pimeydestä tai sameudesta huolimatta. Näistä ”videoista” voi nähdä kalojen uinnin pyrstön lyöntejä myöten ja vaikkapa hylkeen saalistavan kaloja. Tällaisia DIDSON-luotaimia (≈75 000 \$ US) käytetään mm. lohijoilla nousulohien laskennoissa. Toimintasäde on enintään 100 metriä. Näiden luotainten käyttö hyljedetektorina olisi mahdollista, jos ohjelmisto muokattaisiin hylkeiden tunnistusta varten ja luotain laitettaisiin pyörimään hitaasti 360 astetta ympäri. Ohjelma ilmoittaa kaiun koon neliösenttimetreinä¹⁸ eli koon perusteella lienee mahdollista saada kohtuullisen varma hyljetunnistus. Miten käy, jos hylkeen kokoinen tiivis kalaparvi tulee kohdalle? Ohjelmisto ei varmaankaan sellaisenaan osaisi tilannetta automaattisesti tulkita, mutta toisaalta silakat eivät parveudu täällä yhtä tiiviiksi parviksi kuin Pohjanmerellä¹⁸. Juha Liljan raportista¹⁹ löytyy hyvä suomenkielinen selostus DIDSON-luotaimen toimintaperiaatteesta, havainnollistavien kuvien kera.

6.6.5. Diver Detection Sonar -kaikuluotaus

Sotalaivasto-, satama- ja alusturvallisuuspuolella käytössä olevat sukeltajien seurantalaitteet (Diver Detection Sonar) voivat havaita ja seurata laitesukeltajan liikkeitä jopa useiden satojen metrien päästä, ja ainakin jotkut 360 astetta. On automaattista hälytystä ym. ja valmiit käyttöohjelmistot. Näitä saa siviilikäyttöönkin, mutta hinta vain on satoja tuhansia. Kaksi eri yhtiöltä saatua hinta-arviota olivat hieman alle 150 000 € ja n. 300 000 €. Leasing on ainakin halvemman kohdalla mahdollista. Pienellä algoritmien hienosäädöllä (yhtiö voi tehdä) laite toimisi hyvin hylkeen havaitsimena ja hylkeen liikkeiden seurantakin olisi mahdollista. Näillä on hinnan lisäksi haittapuolena kova virrantarve – akkukäyttöä ei voi edes harkita. Hintansa ja sähkönkulutuksensa vuoksi tällainen laite olisi korkeintaan massiivisen kalankasvattamokompleksin harkittavissa oleva hankinta. Tällaisia laitteita tarjoavat ainakin Atlas Elektronik, Teledyne-Reson, Marine Electronics, Far Sounder, DSIT, Kongsberg Maritime ja Hydroacoustics Inc.

6.7. Pyydykseen integroitavat detektorit

Yhdestä kohdasta käsin suoritettavassa hyljevalvonnassa on heikkoutensa. Aluetta valvova sensori sijoitetaan luonnollisesti valvottavan alueen keskeiselle paikalle, mutta alueen reunat ovat kaukana valvontapisteestä, varsinkin verkkokalastuksen tapauksessa. Lisäksi ”näkö”esteiden (luodot, karikot, rysät ym.) taakse voi jäädä katvealueita ja sensorin kattaman alueen rajallisuus rajoittaa myös pyydysten vapaata sijoittamista. Laajan vedenalaisen alueen valvominen luotettavasti yhdestä pisteestä käsin asettaa laitteelle niin kovat suoritus- ja tehovaatimukset, että laitteesta tulee helposti kallis ja mahdollisesti virtaa paljon kuluttava. Olisikin hienoa, jos valvovat sensorit olisivat integroituna itse pyydyksiin. Tällöin ne olisivat automaattisesti siellä missä pyydyskin ja valvottavan alueen laajuuden ei tarvitsisi olla kuin vaikkapa ihan muutamia metrejä pyydyksen ympäriltä.

6.7.1. Pietsoelementit

Pyydykseen integroinnin haasteeseen saattaisi löytyä vastaus edullisista pietsoelementeistä (tästedes pietso). Pietso on oleellinen osa tavallisenkin kaikuluotaimen anturia. Pietsoon johdetaan lyhyesti vaihtovirtaa joka saa pietson värähtelemään tietyllä taajuudella (näin syntyy kaikuluotaimen korkeataajuuksinen äänipulssi). Kun virta

katkaistaan, pietso lakkaa värähtelemästä (kaikuluotain siirtyy ”kuunteluun”). Kun äänipulssi heijastuu takaisin kohteesta, se saa pietson taas värähtelemään ja värähtely puolestaan synnyttää sähkövirtaa, josta tietokone tulkitsee kaikukohteen ominaisuuksia (etäisyys, voimakkuus). Pietsoelementit ovat hyvin edullisia – eri ominaisuuksista riippuen pietson hinta voi olla vain muutamia senttejä tai euroja. Pietsoja (esim. ympärisäteileviä, sylinterimäisiä, noin AAA-sormipariston kokoisia) voisi integroida vaikkapa verkon yläpaulaan säännöllisin välimatkoin. Verkko olisi näin varustettu pienillä ”kaikuluotaimilla”. Tämä erikoispaula yhdistettäisiin virtalähteeseen ja tarkoitusta varten kehitettyyn ohjelmistoon joka tulkitsee kaikua tuottavien kohteiden kokoa. Hylkeen kaiku käynnistäisi automaattiset karkotustoimet, mutta kalat tms. eivät. Verkon lisäksi tällaista tekniikkaa voisi käyttää myös rysän tai kalankasvatuskassin rakenteissa tai ”pelkkänä naruna”, jonka voisi laskea veteen haluamansa kohteen ympärille. Elementit ovat kestäviä, kuluttavat vähän virtaa, uudelleenpauloitus olisi mahdollista, tällaiset erikoisverkot voisi ehkä liittää toisiinsa pitemmiksi jadoiksi ja pieni levittyminen tai likaantuminen ei haitanne toimintaa merkittävästi. Rysä- tai kasvatuskassisovelluksissa voitaisiin käyttää sektoroituja pietsoja, jolloin rysän / kassin sisältöä ei tarvitse luodata⁷. Yläpaula lienee paras vaihtoehto pietsojen sijoittamiselle verkon käsiteltävyyden vuoksi ja siksi, että useimmiten alapaula on pohjassa. Ihan pintaverkoksi tämä ei soveltuisi aallokon vaikutuksen vuoksi (ellei ominaisuus tällöin olisi alapaulassa tai vaikka pystyriimuissa?).

Pietsoelementtejä käytetään myös hydrofoneissa. Jos paula olisikin varustettu akustisilla kuuntelusensoreilla, voisi hylkeen saaliin pureskelusta, verkon repimisestä tms. kuuluvan äänen saadakin poimittua, koska hylje on niin lähellä sensoria? Idea tuli vasta loppuraportin kirjoittamisen loppuvaiheessa eikä tämän menetelmän teknistä toteutusmahdollisuutta ole kunnolla arvioitu. Kaikuluotaus pietsojen avulla vaikuttaa kuitenkin lupaavammalta. Näiden tekniikoiden yhdistäminen / vuorottelu lienee mahdollista.

6.7.2. Resistanssijohtimet

Toinen verkkoon integroitava menetelmä olisi punoa verkon havaksen sekaan ohuita johtimia joiden resistanssia mitataan. Kun hylje repii tämän poikki, hälytys tulee⁷. Näitä pitäisi kuitenkin olla tiheässä, sillä repimiskohtaa ei etukäteen tiedä. Ei välttämättä kovin käytännöllinen vaihtoehto johtimien korjauksen kannalta. Hylje ei myöskään aina revi verkkoja vaan voi syödä saaliinsa verkosta muutenkin.

7. TOIMENPIDESUOSITUKSET

Pietsotekniikkaan perustuva ”kaikupaula” olisi ehdottomasti jatkokehittämisen arvoinen, vaatien rinnalleen soveltuvan ohjelmiston joka suorittaa automaattista valvontaa ja josta käsin haluttavia asetusmuutoksia voidaan tehdä. Projektikoordinaattori suosittaa tämän kehittämiseksi hanketta yhteistyössä esim. Tampereen teknillisen yliopiston kanssa, josta alkuperäinen ajatuskin on saatu. Prototyypin kehittäminen voisi tapahtua vaikkapa diplomityönä, kun asiasta innostuva diplomi-insinöörikelas löytyy.

8. SEKALAISTA FAKTAA HYLKEISTÄ DETEKTORIN KEHITTÄMISESSÄ HUOMIOON OTETTAVAKSI

RKTL pyydysti rannikkoalueilta loukuttavilla ponttonirysillä vuosina 2007–2011 yhteensä 41 eri-ikäistä hallia – kaikki olivat uroksia. Myös Ruotsin havainnot tukevat

voimakasta sukupuolivinoumaa pyydyksissä vierailevien hallien suhteen. Sen sijaan itämerennorpista myös naaraat käyvät vannerysissä, ainakin Perämerellä²⁰.

Halliurokset ovat tyypillisesti naaraita kookkaampia. Halliuoksen keskipituus on 2,0 m ja keskipaino 230 kg. Norppanaaras on keskimäärin 1,4 m ja 60 kg²¹. Detektorin hälytyskynnyksen voisi siis yrittää asettaa esim. 1,3 m pitkän norpan tienoille.

Hallien sukellusten kuukausittaiset keskimääräiset kestot vaihtelivat välillä 1,4 ja 4,4 minuuttia. Selviä eroja kuukausien välillä ei ollut havaittavissa²². Tyypillisin sukelluksen kesto raportista arvioituna on noin 2 min 40 s.

Avovesikaudella hallit tyypillisesti tekevät makuupaikoiltaan keskimäärin 50–100 km:n päähän ulottuvia matkoja keskeisille ruokailualueille. Tämä käyttäytyminen oli erityisesti tyypillistä halleille, jotka vierailivat myös rysäalueilla²⁰.

9. KARKOTTAMISEEN LIITTYVIÄ HUOMIOITA

Hankkeen tarkoitus oli keskittyä detektorin mahdollistavan tekniikan etsimiseen eikä karkotusmenetelmien tutkimiseen. Hankkeen aikana kuitenkin väistämättä tuli vastaan karkotukseenkin liittyviä asioita ja irtoajatuksia, jotka koen mielekkääksi tuoda esiin tässä yhteydessä.

9.1. Paukkukarkotin

Hydroacoustics Inc. (HAI) myös tarjoaa vesiviljelypuolelle hyljetorjuntaa. Lisäksi heillä on sukeltajien (ihmisten) pintaan pakottamiseksi tarkoitettu laite²³ tarjolla. Tämä saa varmasti kalatkin säikähtämään, mutta voisi ehkä olla se viimeinen keino, jos ultraäänikarkottimet eivät tunnu hyljettä pitelevän.

9.2. Startle reflex

Hankekoordinaattorin tiedossa ei ole erilaisten Suomessa kokeiltujen karkottimien ääniominaisuuksia, mutta jos hyljekarkottimien tehoa halutaan parantaa, voi tästä harmaahylkeillä tehdystä tutkimuksesta²⁴ ehkä olla hyötyä. Tutkimuksen keskeisin huomio on, että riittävän äänitason vaatimuksen lisäksi karkottimen äänenpaineen tulee nousta huippuunsa todella nopeasti (kokeessa käytettiin 5 ms), jotta se saa hylkeillä aikaan refleksinomaisen hätkähdys- / pelästymisreaktion. Nopea äänitason nousu sai kokeessa aikaan paniikinomaisen pako- ja pelkoreaktion ja äänilähteen voimakasta välttämistä (vaikka äänilähde oli koealueen ruokinta-automaatti). Vastaavalla äänienergialla hitaampi äänen nousu (100 ms) ei aiheuta vastaavaa reaktiota ja johtaa nopeaan tottumiseen. Karkottimen äänen ensimmäiset millisekunnit ovat siis tärkeitä. Kokeessa karkotusääni oli kestoltaan vain 200 ms kestävä pulssi – mitään pitkästi melua aiheuttavaa ”sireeniä” ei siis käytetty.

9.3. Muita irtoajatuksia

Voisiko karkottimena käyttää jotain sopivan taajuista ”bassoväriä”, joka estäisi hylkeen viiksikarva-aistin käytön saaliin paikannuksessa? Vaikutukset kaloihin?

Karkotuksen tehostus jollain hylkeen ”tuska- / varoitusäänellä”?

Hylkeen houkuttelu karkottimen lähelle ennen karkotusta, jotta karkotukseen vaadittava äänenpaine saadaan riittäväksi pienemmällä laitemäärällä?

LÄHTEET

- ¹ Markus Koskela, Helsingin yliopisto, Tietojenkäsittelytieteen laitos (ja Suomen hahmontunnistustutkimuksen seura ry), suullinen tiedonanto.
- ² Ero Helle (1983). *Hylkeiden elämää*. 171 s.
- ³ Pekka Erkintalo, Fluke Oy, suullinen tiedonanto.
- ⁴ Fluke Oy, näkökenttälaskuri, http://download.fluke.com/OnlineTools/FOV_calc.htm
- ⁵ Aulis Paavola, Raytek Oy, suullinen tiedonanto.
- ⁶ Marko Mononen (2014). *Lämpökamera fysiikan opetuksen välineenä*. Pro Gradu, Helsingin yliopisto, Fysiikan laitos. 70 s.
- ⁷ Jukka Leikkala, Tampereen teknillinen yliopisto, Systemiteknikan laitoksen johtaja, suullinen tiedonanto.
- ⁸ Mervi Kunnasranta, Itä-Suomen yliopisto / Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos, suullinen tiedonanto.
- ⁹ Seppo Keränen & Martti Soikkeli (1989). *Ajojäällä syntynyt*. 127 s.
- ¹⁰ Mervi Kunnasranta (2001). Behavioural biology of two ringed seal (*Phoca hispida*) subspecies in the large European lakes Saimaa and Ladoga. University of Joensuu, PhD Dissertations in Biology, No: 7.
- ¹¹ Ronald J. Schusterman, Richard F. Balliet & Stanley St. John (1970). Vocal displays under water by the gray seal, the harbor seal, and the stellar sea lion. *Psychon. Sci.* Vol. 18 (5).
- ¹² Sylvie Asselin, Mike O. Hammill & Cyrille Barrette (1993). Underwater vocalizations of ice breeding grey seals. *Canadian Journal of Zoology*, 1993, 71(11): 2211-2219. Abstrakti.
- ¹³ Łukasz Nowak, Piotr Pawłowski, Michal Penkowski, Monika Kosecka & Krzysztof E. Skora. *The "bionic sonar" project, phase one: Initial research on marine mammal acoustics*.
- ¹⁴ Andreas Ruser, Michael Dähne, Janne Sundermeyer, Klaus Lucke, Dorian S. Houser, James J. Finneran, Jörg Driver, Iwona Pawliczka, Tanja Rosenberger & Ursula Siebert (2014). In-Air Evoked Potential Audiometry of Grey Seals (*Halichoerus grypus*) from the North and Baltic Seas. *PLoS One*. 2014; 9(3).
- ¹⁵ Heikki Hyvärinen, Tero Sipilä ja Pertti Tyni (1984). Saimaannorpan biologiaa. Teoksessa: Becker P., Helle E., Hyvärinen H., Kilkki V., Kuosmanen J., Lappalainen V., Marttinen K., Sipilä T., Taskinen J., Tyni P. & Veijonen R. *Saimaannorppa*, 58–75.
- ¹⁶ David Thompson & Michael A. Fedak. Cardiac responses of grey seals during diving at sea. *J. exp. Biol.* 174, 139–164 (1993).

-
- ¹⁷ Nanobittejä-sivusto. <http://www.nanobitteja.fi/12>
- ¹⁸ Juha Lilja, Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos, suullinen tiedonanto.
- ¹⁹ <http://www.ymparisto.fi/download/noname/%7B57B03BE7-B4FA-4812-B805-900076BE391B%7D/99282>
- ²⁰ Esa Lehtonen, Sari Oksanen, Markus Ahola, Nina Aalto, Nina Peuhkuri & Mervi Kunnasranta. Rysillä Suomenlahdelta pyydystettyjen hallien satelliittiseuranta vuosina 2010–2012. *Riista- ja kalatalous tutkimuksia ja selvityksiä*, 1/2013.
- ²¹ David Miller (2001). *Hylkeet*. 72 s.
- ²² Esa Lehtonen, Sari Oksanen, Nina Aalto, Antti Lappalainen, Nina Peuhkuri & Mervi Kunnasranta. Rysillä Selkämereltä pyydystettyjen hallien satelliittiseuranta vuosina 2008–2009. *Riista- ja kalatalous tutkimuksia ja selvityksiä*, 2/2012.
- ²³ https://www.youtube.com/watch?feature=player_embedded&v=8IDwgbJd1ZA
- ²⁴ Götz & Janik (2011). Repeated elicitation of the acoustic startle reflex leads to sensitisation in subsequent avoidance behaviour and induces fear conditioning. *BMC Neuroscience*, 12:30.