Paldiski lahes Paldiski pump-hüdroakumulatsioonijaama (PHAJ) projekti keskkonnamõju hindamise raames kahe suure merevee tarbimisega Läänemere äärse ettevõtte veevõtu lahenduste uuringu läbiviimine

Koostajad: Markus Vetemaa ja Liivika Näks

Töö ülesanne:

Teostada avaldatud teaduskirjanduse ja kõikvõimalike kättesaadavate raportite ja aruannete alusel analüüs, kuidas on senini lahendatud suurte tööstusettevõtete (rõhuasetusega Läänemere ääres paiknevatele ja geograafiliselt võimalikult lähedal asuvatele) poolt protsessis kasutatava suurte koguste merevee sissevõtuga seotud keskkonnaprobleemide lahendamine. Teema taust on see, et PHAJ tööprotsess hõlmab väga suures koguses merevee sisse ja välja pumpamist ning seega võib kujutada ohtu merevees leiduvatele elusolenditele. Peamine tähelepanu tuleb pöörata sellele, milliseid tehnilisi lahendusi on senini kasutatud minimeerimaks kalade sattumist süsteemi. Töö peab sisaldama teaduskirjandusele toetuvat eksperthinnangut, kuidas minimeerida vee sissevõtuga seotud negatiivset mõju kalastikule.

Paldiski lahe kalastikust.

Ohustatud või kaitsealustest liikidest on Paldiski lahest püütud merisiiga, võldast ja lõhet. Nii katsepüükide kui kalurite saakidesse satub rohkem merekalu nagu lest, meritint, räim ja ümarmudil, aga ka magevee liike nagu ahven, luts, säinas, särg ja haug. Olulisematest siirdekaladest püütakse merisiiga, meriforelli, vähem lõhet ja meritinti. Paldiski lahte suubuvatest jõgedest koeb meriforell Kloostri ja Vasalemma jões ning viimases koeb ka lõhe. Valdav enamus Eesti põhja- ja lääneranniku püütavatest merisiigadest käib Eesti rannikul vaid toitumas ja kudema lahkutakse taas teisele poole Soome lahte. Kohaliku ohustatud merisiia kõrgem arvukus piirkonnas näitab tänapäeval toimiva koelmuala paiknemist Paldiski lahe lõunaosas (Vetemaa et.al 2020). Meritindi koelmud lähemas piirkonnas puuduvad. Paldiski laht ei ole eriti tähtis kudeala mageveeliikidele, sest tööndusliku olulisemaid liike, nagu ahven ja haug püütakse siit rohkem väljaspool kudeaega - suve teisel poolel ja sügisel. See näitab, et laht võib olla mageveeliikidele tähtsam toitumisaladena, kuhu rändavad toituma ka kaugemal kudevad kalad. Üldse on nimetatud piirkonnas erinevatesse püünistesse sattunud 46 liigi esindajaid (tabel 1) (Echbaum et al. 2013).

Tabel 1. Paldiski lahe piirkonnas esinevad kalaliigid

Jõesilm, Lampern, river lamprey, Lampetra fluviatilis (L.)
Räim, Baltic herring, Clupea harengus membras L.
Kilu, Sprat, Sprattus sprattus balticus (Schn.)
Vinträim, Twaite shad, Alosa fallax (Lacépede)
Lõhe, Salmon, Salmo salar L.

Meriforell, Sea trout, Salmo trutta L.
Vikerforell, Rainbow trout, Onchorhynchus mykiss (Walbaum)
Merisiig, European whitefish, Coregonus lavaretus (L.) s.l. Baltic Sea forms
Meritint, Smelt, Osmerus eperlanus (L.)
Haug, Pike, Esox lucius L.
Angerjas, Eel, Anguilla anguilla (L.)
Särg, Roach, Rutilus rutilus (L.)
Roosärg, Rudd, Scardinius erythrophthalmus (L.)
Säinas, Ide, Leuciscus idus (L.)
Lepamaim, Minnow, Phoxinus phoxinus (L.)
Linask, Tench, Tinca tinca (L.)
Rünt, Gudgeon, Gobio gobio (L.)
Viidikas, Bleak, Alburnus alburnus (L.)
Latikas, Bream, Abramis brama (L.)
Vimb, Vimba bream, Vimba vimba (L.)
(Kuld)koger, Crucian carp, Carassius carassius (L.)
Hõbekoger, Gibel carp, Carassius gibelio (Bloch)
Karpkala (sasaan), Carp, Cyprinus carpio L.
Hink, Spined loach, Cobitis taenia L.
Tuulehaug, Garfish, Belone belone (L.)
Tursk, Baltic cod, Gadus morhua callarias (L.)
Luts, Burbot, Lota lota (L.)
Ogalik, Three-spined stickleback, Gasterosteus aculeatus L.
Luukarits, Nine-spined stickleback, Pungitius pungitius (L.)
Madunõel, Straight-nosed pipefish, Nerophis ophidion (L.)
Ahven, Perch, Perca fluviatilis L.
Koha, Pikeperch, Sander lucioperca (L.)
Kiisk, Ruffe, Gymnocephalus cernuus (L.)
Emakala, Eelpout, Zoarces viviparus (L.)
Väiketobias, Common sand eel, Ammodytes tobianus L.
Suurtobias, Greater sand eel, Hyperoplus lanceolatus (Le Sauvage)
Must mudil, Black goby, Gobius niger L.
Väikemudil, Sand goby, Pomatoschistus minutus (Pallas)
Pisimudilake, Common goby, Pomatoschistus microps (Kröyer)
Ümarmudil, Round goby, Neogobius melanostomus (Pallas)
Võldas, Bullhead, Cottus gobio L.
Nolgus, Bull-rout (shorthorn sculpin), Myoxocephalus scorpius (L.)
Meripühvel, Sea scorpion, Taurulus bubalis (Euphrasén)
Merivarblane, Lumpsucker, Cyclopterus lumpus L.
Lest, Flounder, Platichthys flesus trachurus (Duncker)
Kammeljas, Turbot, Scophthalmus maximus (L.)

Töö käigus kogutud informatsioon:

Kõige olulisemad Lääneremere ääres paiknevad suurtes kogustes merevett vajavad tööstusettevõtted on tuumaelektrijaamad, mille jahutusvee vajadus on suurusjärgus 50-200 m3/s. Seetõttu pöörati peamine tähelepanu tuumaelektrijaamadele Rootsis ja Soomes (joonis 1). Rootsis on pärast Barsebäcki reaktorite sulgemist kolm töötavat jaama, mis kasutavad jahutusveena merevett: Forsmark, Oskarshamn ja Ringhals (viimane asetseb ICES alade mõttes küll Läänemeres, kuid tegemist on Kattegattiga, mida võib vaadelda ka omaette mereosana).

Joonis 1. Tuumajaamade paiknemine Läänemere ääres.

Soomes on kaks töötavat jaama – Olkiluoto ja Loviisa – mis samamoodi jahutusveena tarbivad suures koguses merevett. Lisaks kahele töötavale jaamale kavandatakse Soomes ka kolmandat (Hanhikivi), mille ehitamine on aga siiani väga küsitav.

Veevõtu puhastamine erinevate filtritega

Rootsi

Merevesi sisaldab palju elusorganisme. Jahutusvesi kannab palju erinevaid elusorganisme (fütoplankton, taimeosad, meduusid, kalamari, kalad) elektrijaama jahutusvee sisselaskeavasse, mille ees on filtreerimisjaamad, mis sorteerivad välja kõik suuremad osakesed kui paar millimeetrit. Kalamari ja kalavastsed on rõhumuutuste ja mehaaniliste mõjude suhtes tundlikumad kui taimsed osad ja zooplankton. Väiksemõõtmeliste

elusorganismide suremus on tõenäoliselt kõrge, peamiselt vastsete puhul, kui neid imetakse läbi vee sissevõtuavade. Seega ei ole väiksemate objektide filtreerimise eesmärk neid säästa, kuna see ei ole nagunii võimalik. Eesmärgiks on vältida biomaterjali sattumist süsteemi torustikesse kus need temperatuuride ja rõhkude muutumise mõjul nagunii hukkuvad.

Ringhalsis võetakse jahutusvesi kuni 10 m sügavuselt ja kiirusega kuni 165 m3/s. See liigub läbi kahekordse filtreerimissüsteemi, mille esimene osa on laiemate varbade vahega (joonis 2) ja lõppfiltreerimine toimub ’sõelkardinatega’, mille võrede vahe on 4 mm.

Joonis 2. Ringhalsi jaama esimene veepuhastusfilter – nn kraapimismasinaga, mis puhastab võresid. Foto: Forsmarks Kraftgrupp AB

Joonis 3. Osa Forsmarki sõelumisjaamast. Foto: Forsmarks Kraftgrupp AB

Oskarshamni tuumajaam võtab jahutusvee kahes osas – kuni 6 m sügavuselt 55 m³/s ja 18 m sügavuselt. Viimane asub kaldast veidi üle kolmesaja meetri kaugusel ning tarbib 60 m³/s. Kasutatakse sorteerimisvõret 2 mm.

Forsmarki jahutusvee sissevõtuavad on kuni 6 m sügavusel ja veemahud 43 - 49 m³/s, peenfiltreerimine toimub 2 mm silmasuurusega trummel-sorteerimisvõrega (joonis 3).

Kalastikule avalduvat negatiivset mõju peetakse Rootsis vähemalt osade huvigruppide poolt üldse kõige suuremaks ökoloogiliseks ja majanduslikuks merevee kasutamisega seotud probleemiks. Tuumajaamade tehnoloogilise protsessi vaatevinklist vaadates on see samuti probleem, sest sorteerimissõeladele sattuva bioloogilise materjali hulk muutub kohati nii suureks, et sõelad kipuvad ummistuma.

Rootsis läbi viidud uuringute tulemusena võib öelda, et väiksemates sügavustes (madalas meres) paiknevates veevõtukohtades on räim ülekaalukalt kõige levinum vee sissevõttu sattuv liik. Samas on räime kalanduslik suremus paljude suurusjärkude võrra suurem, mistõttu seda ei saa pidada oluliseks negatiivseks mõjuks ei keskkonnale ega kalandusele. Koguseliselt on tähtsuselt järgnevad ahven ja lest (tabel 2). Suurem osa kadudest leiab aset kevadised kudeajal kui kala liigub kaldapiirkonda sigima. Aastane angerja hukkumine on olnud suurusjärgus seitsesada isendit, mis on kalade hulka arvestades küllalt väike number. Samas on tegu looduskaitseliselt väga olulise liigiga, kelle arvukus on mitmetel põhjustel viimastel aastakümnetel olnud pidevas languses. Seetõttu on vaja angerjale pöörata kõrgendatud tähelepanu. Kuna tegu on ka kalaga millel on väga kõrge kokkuostuhind, siis on tegu ka kalamajandusliku probleemiga. Kokkuvõtteks, muudele liikidele peale angerjate tekitatud kahju ei hinnata Rootsis kuigi oluliseks, sest teiste liikide isendeid sattus sõeladele suhteliselt vähe – kui hinnata kala koguseid lähtudes kalade kaubanduslikust väärtusest.

Tabel 2. Kalade suremus isendites Oskarshamni sõelumisjaamades O1 ja O2 aastatel 2006–2008.

	2006		2007		2008	
	O 1	O 2	O 1	O 2	O 1	O 2
Räim/heeringas	3 049	14 941	758	2 379	3 279	926
Ahven	3 757	5 756	1 388	1 597	4 965	1 730
Lest	4 611	8 602	5 569	4 543	6 736	2 266
Särg	814	992	1 871	797	3 790	1125
Angerjas<40 cm	151	792	457	343	335	283
Angerjas>40 cm	0	328	241	344	146	35

Minimeerimaks kalade kadu võetakse Oskarshamni jaamas jahutusvesi kolmandasse (viimasena valminud) reaktorisse umbes 18 m sügavusel põhjas asetseva sisselaskeava kaudu, mis asub rannast veidi üle kolmesaja meetri kaugusel. Sorteerimisjaamas on kasutusel peen võre, mida puhastatakse masinaga ja kogutud materjal juhitakse merre tagasi jämeda toru kaudu. Osa sellest on veel eluvõimeline kala, mis satub tagasi merre koos loputusveega. Surnud kalad ja muu materjal settib süvendi põhja.

Sisselaskeava kontrollimine on näidanud, et hukkunud kalu leidub, ent nende arv on olnud suhteliselt väike. Enamik kontrolle on teostatud talvel ja kevadel. Kõige tavalisem kala oli räim. Hinnangulised kogused ei ületanud kunagi rohkem kui paar tuhat isendit, domineeris noorem kala. Muude vaadeldud liikide hulka kuulusid tursk, särg, siig, lest ja angerjas.

Ehlin ja kaasautorid (2009) järeldasid, et kokkuvõttes on sügavalt võetav jahutusvesi väga väikeseks kalandusliku kao põhjustajaks. Samuti võib öelda, et peenfiltreerimise põhjuseks ei ole mitte vajadus väikesemõõtmelisi elusolendeid säästa (nad hukkuvad valdavalt niikuinii), vaid kaitsta tempreatuuri tõusu ja rõhu muutuste tõttu surevaid organisme jahutusvee süsteemi settimast, kust neid on raske eemaldada.

Soome

Olkiluoto tuumajaamas juhitakse merevesi mööda maa-alust jahutusveetunnelit kiirusega 57 m3/s OL3 pumbajaama. Enne tunnelisse sisenemist filtreeritakse suuremad lisandid koos mereveega välja jämedate ekraanidega. Pumbajaamas juhitakse vesi läbi nelja filtreerimisliini mereveepumpadesse. Filtreerimisliinid sisaldavad peent ekraani ja korvfiltrite ketti väiksemate lisandite eemaldamiseks mereveest. Link infole:

(https://www.tvo.fi/uploads/julkaisut/tiedostot/ydinvoimalayks_OL3_ENG.pdf)

Loviisa elektrijaama jahutusvee maht on keskmiselt 44 m3/s ning vesi võetakse kuni 5 m sügavuselt. Jahutusvee maksimaalne kogus võetakse suve lõpus, kui vee temperatuur on kõige kõrgem. Kõrgema temperatuuriga vett on vaja enam kui külma vett. Suvel ajal võib jahutusvee vajadus tõusta kuni umbes 55 m3/s. Kalad, vetikad ja muu koos jahutusveega elektrijaama viidud materjal eemaldatakse veest jämeda võre ja peene sõelekraaniga ning täiendav filtreerimine viiakse läbi korvfiltrite abil. Link infole:
(https://www.fortum.com/sites/default/files/documents/yva_english_final.pdf)

Fortumi keskkonnaprojektide spetsialisti Liisa Kopisto info kohaselt eemaldatakse Loviisa jaamas suuremad lisandid ja võõrkehad jahutusveest juhtides seda läbi umbes 10 cm laiuste vahedega jämedatest varrastest ekraani, mis asub jahutusvee sisselaskestruktuuri suudmes. Pärast seda juhitakse jahutusvesi läbi peenema ekraani (ava laius 1,6 cm) ja lõpuks läbi liikuvate ribaekraanide, mille võrgusilma suurus on 1 mm^2 ja need eemaldavad veel vette jäänud peenosakesed. Ekraanidelt filtreeritud materjal kogutakse ja töödeldakse biojäätmetena.

Rootsi ja Soome jaamade aruannetes ei ole vee sissevõtu voolukiirust märgitud. Liisa Kopistolt saadud info kohaselt ei ületa see aga 0,15 m/s, mis on paljudes materjalides ära toodud kui rahvusvaheliselt aktsepteeritav voolukiirus. Arvatakse, et sellise voolu kiiruse juures on enamus kalu võimelised takistusest eemale ujuma (Bromley et al., 2011).

Töö käigus koguti infot ka mõnede teiste maailmas tegutsevate suuremahulise veevõtuvajadusega ettevõtete kohta, mida siin detailselt ei refereerita. Kõikjal on peamiseks põhimõtteks vältida elusorganismide ja muu mittevajaliku materjali sattumist jaamadesse, sest

lihtsam ja kuluefektiivsem on vesi sissevõtul filtreerida, kui pärast puhastada vesiehituslikke objekte, milles organismid on hukkunud kas temperatuurimuutuste või surveteguri te tõttu.

Elusorganismide peletamise võimalustest veevõtukohtade juures

Autoritele kättesaadavate materjalide põhjal Läänemeres ükski tuumaelektrijaam mingeid hirmutamis- või peletamismeetodeid ei kasuta. Sellist infot ei õnnestunud leida ka teiste suures koguses vett tarbivate tööstusrajatiste kohta lähi piirkonnas, kus mereelustik on Eestiga sarnane. Samas tuleb nentida, et PHAJ esimesest ja ainukesest sõelumisest (planeeritav varbade vahe 6 cm) läbi pääsevad kalad satuvad paratamatult süsteemi, kus toimuva rõhumuutuse ja generaatori labade mehaanilise häiringu tõttu on suremus ilmselt peaaegu täielik. Samas, tuumaelektrijaamades on siiski võimalik kalade elusana kõrvale juhtimine sõelumissüsteemi tõttu, kuigi pole päris selge, milline on selle efekt erinevate liikide lõikes. Seetõttu tuleks PHAJ projekteerimisel kindlasti rakendada kalasid eemale peletavaid lahendusi.

Rootsis 1999. aastal läbi viidud merisiia Coregonus lavaretus uuringud näitasid nii laborikatsetel akvaariumis kui avavees, et stroboskoopilist (pulseerivat/vilkuvat) valgust võib kasutada, et takistada kala ujumist kindlasse kohta või suunda. Katsed viidi läbi 20 W, 0,1 sekundilise strobovalgusega, vilkumis sagedusega kolm korda sekundis (Königson et al., 2002). Samuti on teiste riikide teaduskirjanduses märgitud, et kokkupuude stroboskoopilise valgusega põhjustab tugevaid vältimisreaktsioone näiteks suursuu-forellahvenal (Sullivan et al. 2016), vikertindil (*Osmerus mordax*), kollase ahvenal (*Perca flavescens*) ja lõhelistel (*Oncorhynchus kisutch*, *Salmo salar*) (Nemeth ja Anderson 1992; Richards jt 2007; Hamel jt 2008; Mesquita jt 2008). Niisiis näib selge, et stroboskoobitulesid võib potentsiaalselt kasutada kui efektiivset mittefüüsilist tõket, eriti selliste invasiivsete liikide nagu harilik karpkala peletamiseks (viimane ei ole oluline Paldiski PHAJ kontekstis). Lisaks on mõned teised uuringud näidanud, et valguse kombineerimine muude tõketega, nagu heli ja/või mullikardin, võib olla veelgi tõhusam mittefüüsiline tõke (Ruebush et al., 2012; Zielinski et al., 2014; Vetter et al., 2015).

Vibratsiooni ja strobotulede kasutamist on hinnatud mõjusaks Californias erinevate jaamade sissevõttudel, kus veekiirus on samuti umbes 0,15m/s, mis vastab USAs kehtestatud regulatsioonidele. Strobotuled on näidanud ka teiste kalade puhul peletavat efekti, kui nad ujuvad suurtes, väikese voolukiirusega veekogudes. Pimedas on täheldatud strobotulede tõrjuvat efekti ka lõhe noorjärkudele järvedes (Maiolie et al., 2001) ja Atlandi ookeanis (Johnson et al., 2001). Viimane on oluline ka Paldiski arenduse kontekstis, sest lõhelised on Soome lahe kalastikus väga tähtsad. Viimaste hulka kuulub ju ka Paldiski lahe lõunaosas kudev ja viimastel aastakümnetel üha haruldasemaks jääv meres kudev merisiig *Coregonus widegreni* (Malmgren 1863), kes on eriti Soome lahes ja üldse Eestis märksa haruldasem kui jõgedes ning mageveelistes jõesuudmetes sigiv anadroomne siirdesiig *Coregonus maraena* (Bloch 1779). Viimase uurimiseks viidi 2019 aastal läbi iseseisev projekt, mistõttu käesolevas aruandes teemat pikemalt ei puudutata. Lühidalt võib aga siiski ära tuua, et merekudeva siia noorjärke esineb arenduse piirkonnas vaid väga juhuslikult ja väga väikesel arvul ning nendega seotud probleeme lahendaks vee sissevõtmine sügavalt. Osad kudealadele siirduvad täiskasvanud

siiad kahtlemata satuvad PHAJ veevõtu piirkonda ning nendega seotud ohud peabki lahendama peletamise süsteem.

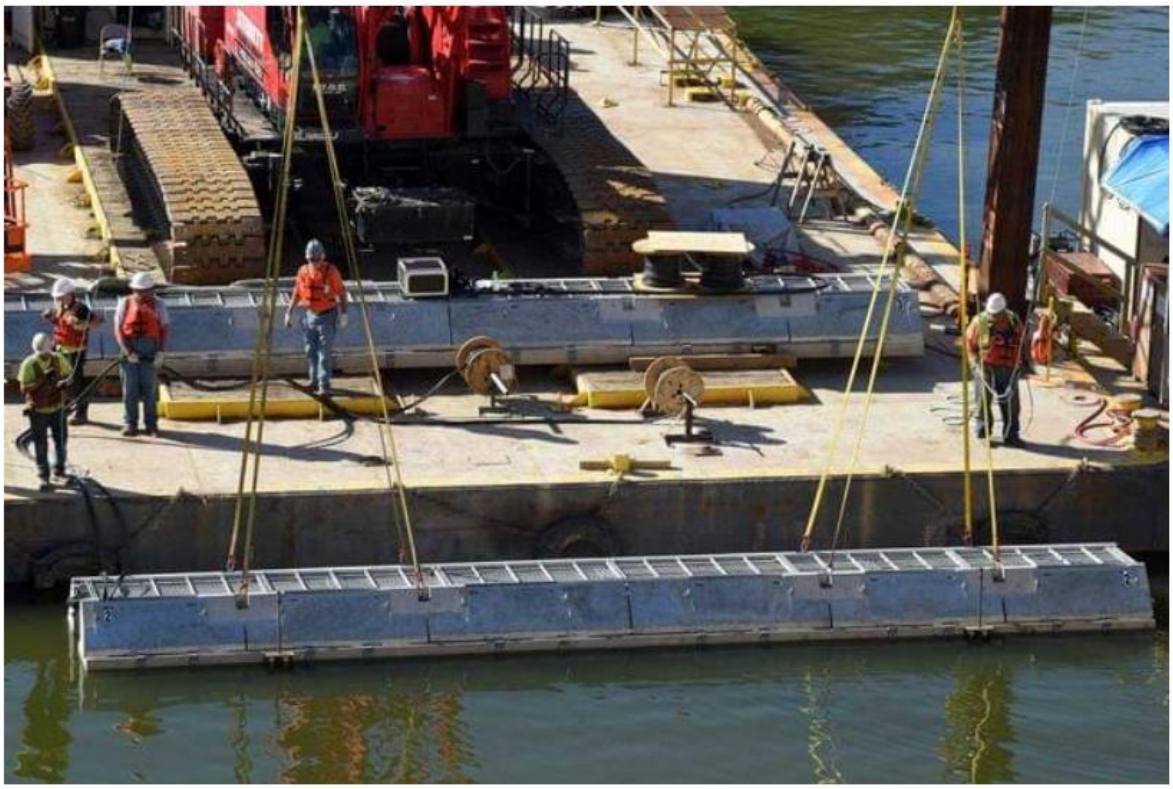
Great Northern Paper Company nimeline ettevõte Weldoni tammil katsetas eelmisel sajandil veealust strobovalgust ja töötas välja tehnilised meetmed, mis võimaldavad pikaajalist ja tõhusat süsteemi tööd. Ligi kümne aasta jooksul tehtud katsetustest on selgelt välja loetav peletav mõju märgistatud kaladele, eriti lõheliste liikumisele tammi lähedusse paigutatud strobotulede piirkonnas (Brown 2000).

Karpkalaliste uuringutel on täheldatud, et SBSLB-tehnoloogiaid (heli – õhumullid – valgustõke) saab edukalt kasutada kalade tõrjumiseks eemale mingist paigast, kuid neid meetodeid ei saa siiski kasutada absoluutse efektiivsusega tõkkena – näiteks võõrliikide levila laiendamise vältimiseks (Ruebush 2012). Aasia karpkala on edukalt tõrjutud Barkley järvel Kentucky osariigis (USA), kus eksperimentaalprojekti eesmärk oli takistada sissetungivad Aasia karpkalade isendeid Cumberlandi jõel ülesvoolu liikumast (joonis 4). https://www.fws.gov/southeast/news/2019/11/bio-acoustic-fish-fence-now-operational-at-lake-barkley/

Paldiski PHAJ kontekstis tuleb aga silmas pidada seda, et täielikult peletavat kaitset ei olegi vaja. Kui juba üksikud tõkkest mööda pääsevad võõrliigid võivad uuel asualal anda elujõulisi populatsioone ja seega ei ole nende eemale hoidmine näiteks isegi 99% isenditele mõjuva meetodiga tulemuslik, siis antud käitise puhul tuleb lihtsalt minimeerida kalade hukkumist.

Suunamaks kohalikke potamodroomselt rändavaid liike püünistest eemale, uuriti Ibeeria meres kolme kalaliigi – meriforelli *Salmo trutta* ja karplaste *Pseudochondrostoma duriense* ja *Luciobarbus bocagei* puhul akustilise peletamise mõju. Testiti kahe helisageduse – pideva kuni 2 kHz ja katkendliku 140 Hz signaali mõju. Endeemsed karplased *P. duriense* ja *L. bocagei* näitasid tugevat põgenemisreaktsiooni pideva kõrge heli korral. Meriforelli puhul oli reaktsioon nõrgem. Seevastu sagedusega 140 Hz signaal ei muutnud ühegi uuritud liigi käitumist.
16 Hz infraheli katsetati Norras Borrevanni järves ja Belgias Meuse jões karplaste peletamiseks veehaaretest. Borrevanni järvel vaadeldi kolme järjestikuse 30 s infraheli simulatsiooni, mida korratai iga 2–3 minuti järel, toimunud kalade reaktsiooni. Vaatluste tulemus näitas, et võrreldes ajaga kui heliseade oli väljalülitatud (90% sorteerimisvõreni liikunud kaladest olid karplased), jõudis pärast heli sisse lülitamist 0- 12m kaugusel võrest vaid alla 20% kalu. Pealegi ei täheldatud ei Borrevani järves ega Meuse jões karplaste harjumist madala helisagedusega (Sonny et al. 2006). Kahe nimetatud uuringu tulemuse alusel võib väita, et karplased väldivad nii madalaid kui väga kõrgeid helisid. Samuti on peletavamaks katkendlik, mitte pidev heli.
Mitmed uuringud näidanud on lõhe ja angerja noorjärkude tugevat vältimisreaktsiooni madalsageduslikule (ligi 10 Hz) helile (Sand et. al. 2001. Knudsen et al. 1992, 1994). samas katsetati aastatel 1998 –2002 Inglismaa lõunarannikul Southamptonis kalapeletamis süsteeme kus sagedusi vahemikus 20–600 Hz korrati iga 0,2 sekundi järel. Eriti tugev oli mõju räimele ja kilule, nende sattumine veehaardesse vähenes 85 – 96%. Tugev mõju oli ka ahvenale ja kohale, keda oli sissevoolus vastavalt 51% ja 70% vähem (Maes et al. 2004).

Nimetatud andmed näitavad, et põhimõtteliselt võivad õige sageduse ja tugevusega akustilised signaalid olla selge peletava mõjuga, aga samuti ka seda, et akustiline peletamine on liigispetsiifiline. Paldiski PHAJ kontekstis tuleb silmas pidada, et seal esinevad kalad on erineva kuuldelävega. Madalama sagedusega helisid tajub enamik kalu, Paldiski lahe kaladest siis särg, säinas, linask, latikas, vimb, koger, rünt, viidikas ja lepamaim samuti lõheliste noorjärgud.
Kuid kõige kõrgemaid kaladele tajutavaid sagedusi (ca 8 kHz) tajuvad heeringalased – Paldiski ümbruse kaladest siis räim ja kilu.



Joonis 4. Bioakustilise kalatõkke paigaldamine eesmärgiga takistada sissetungiva karpkala levikut USAs.

David Seageri uuringus jälgiti strobotulede ja mullikardina (vette pumbatav õhk) ning nende kombinatsioonide võimalikku rakendamist jõgede suudmealade kalade käitumist mõjutava tegurina. Ahvenaliste *Morone americana* ja *Leiostomus xanthurus* ja Atlandi ookeani menhadeni *Brevoortia tyrannus* puhul saavutati strobovalguse ja mullikardina kombinatsioonidega vältimisreaktsiooni kuni 85%. Samas, valgus ja mullikardin eraldi võetuna oli märksa vähem efektiivne. Samuti vähenes mõju oluliselt veevoolu kiiruse suurenedes üle 0,2 m/s ja strobotulede välkumiskiirusel 300 min^{-1} või rohkem (Seager at al., 1987).

Ühe võimalusena kalade ja muude suuremate mõõtmetega ning parema ujumisvõimega loomade eemale hoidmiseks vee sissevõtuavade juurest võiks teoreetiliselt kasutada elektrilisi tõkkeid. Samas, näiteks magevetes tulemuslikult läbi viidav elektrikahvaga teaduspüük ei ole võimalik soolases vees (isegi mitte väga madala soolsusega riimvees), sest merevesi juhib

elektrit paremini kui elus bioloogiline kude. Siiski on teada, et ka merekalad on tundlikud elektromagnetväljade suhtes – sellega tuleb arvestada näiteks tuuleparkide merepõhjas asetsevaid kaableid projekteerides. Selliste kaablite mõju põhjalähedase eluviisiga liikide (nagu lestalised ja angerjas) rännetele ja muudele liikumistele meres on ammu teada. Niisiis võiks kavandada elektromagnetvälja rakendavaid tõkkeid. Paraku ei õnnestunud käesoleva ülevaate autoritel leida infot meres sellise meetodi senise rakendamise kohta.

Magevees on kasutatud Geiger'i elektrilist kala tõrjumis-immobiliseerimissüsteemi (joonis 5), mis koosneb mitmest osast. Esimene osa ehk elektriline kala tõrjumissüsteem asub sisselaskekanali ümber. Elektroodid loovad nõrkade impulsside abil tõrjetsooni. Enamik kalu tunnetab neid elektrilisi impulsse nõrga lihastõmblusena, mis annab ohusignaali ja peletab kalade eemale. Nende isendite puhul, kes ikkagi läbi ujuvad ja sisenevad sõelumisruumi, võib elektriline immobiliseerimissüsteem elumust märkimisväärselt suurendada, kuna kalad muudetakse elektriimpulsside abil lühiajaliselt liikumatuks, mis aitab vältida vigastusi. Veevool viib liikumisvõimetud kalad suhteliselt laia varbade vahega sõelpaneelist läbi ja edasi satuvad nad pöörleval ekraanil olevasse „kalaämbrite süsteemi", kus nad transporditakse spetsiaalse torustiku abil tagasi veekogusse. Koos Geiger MultiDisc® ekraanide ja Geiger® sisse-välja liikuvate ribaekraanidega saavutatakse parim ellujäämus. Kalatõrjesüsteemid ja kalade kogumis- / tagasi saatmissüsteemid peaksid olema alaliselt aktiivsed, samas kui kalade immobiliseerimissüsteemid aktiveeritakse tavaliselt ainult paar korda päevas. Kala kogumise ja sõelumise süsteemid on projekteeritud kanalitele lausega 1,0 – 3,5 m, sügavusega 1,2 - 25 m ja neid paigaldatakse vooluga risti (90°). Sõelade liikumiskiirus on keskmiselt 0,12 – 0,24 m/s, sõela silmasuurus/diagonaal 500 µm - 10 mm. Läbivoolu maht kuni 50000 m3/h.

Lingid infole:
https://youtu.be/WgKGCurfFkE
https://www.aqseptence.com/app/en/products/geiger-electric-fish-immobilisation-system/

Uuenduslikud Geiger® sõelumisseadmed on paigaldatud Mississippi jõel New Orleansis asuvas Waterfordi tuumaelektrijaamas ja Omaani Sultanaadi suurimas merevee magestamise jaamas (Barka magestusjaama 4. etapp sissevooludele; Barka IWP).

Niisiis, kuigi elektrilisi süsteeme on (magevees) edukalt kasutatud ei ole ülal detailselt kirjeldatud meetodi täpne kopeerimine Paldiskis kindlasti võimalik, sest sisse liikuvad vee massid on liiga suured, et seal midagi „ämbersüsteemiga" välja tõsta. Süsteemi esimese osa – peletamisreaktsiooni tekitavate elektroodide – tööpõhimõtte kohta tuleks aga siiski koguda täpsemaid andmeid, et uurida elektri rakendatavust Paldiski PHAJ kontekstis.
Elektriliste tõkete oluline piirang on see, et elektrivool mõjutab väiksemaid kalu üldiselt vähem kui suuremaid kalu (Edwards ja Higgins 1973). Väikesed kalad väldivad aga teadaolevalt õhumullkardinaid (Stewart 1981). Rääkides invasiivsetest kaladest ja nende leviku piiramisest võib kokku võtta, et teoreetiliselt lähenedes tuleks kombineerida elektritõkkeid mullitõkkega – kui eesmärgiks on võimalikult tõhusalt piirata võõrliikide, sealhulgas nende noorjärkude liikumist. Link infole:
https://bioone-org.ezproxy.utlib.ut.ee/journals/journal-of-great-lakes-research/volume-32/issue-1/0380-1330(2006)32[40:UOEOBB]2.0.CO;2/Use-of-Electric-or-Bubble-Barriers-

to-Limit-the-Movement/10.3394/0380-1330(2006)32[40:UOEOBB]2.0.CO;2.full#i0380-1330-32-1-40-b21

Joonis 5. Avatud kanaliga veevõtusüsteem, mille sissevoolude ette on paigutatud elektripiirded koos Geigeri sõelumisjaamaga.

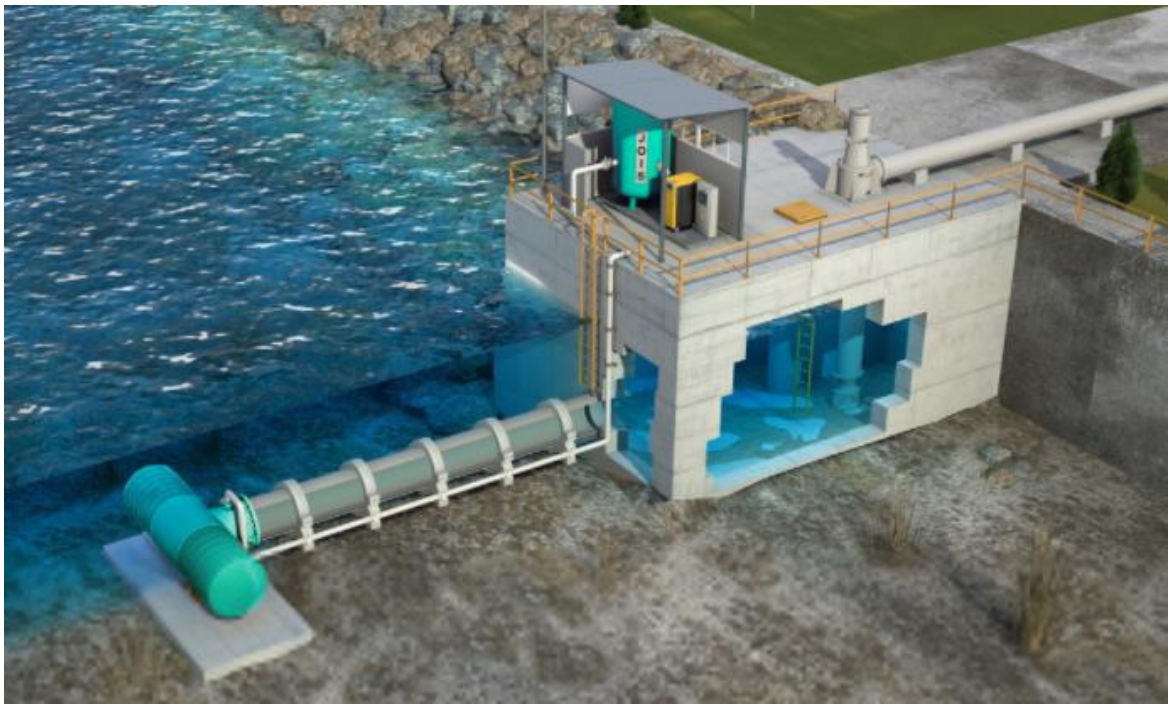


Foto 5. Johnsoni passiivne vee sissevõtujaam

Üheks teoreetiliseks võimaluseks takistada veeorganismidel süsteemidesse sisenemist on ka nn Johnsoni passiivne sissevõtujaam (foto 5), mida on tänaseks paigaldatud hinnanguliselt juba üle 4000 kogu maailmas. See sobib vooluhulkadele kuni 100 000 m³ päevas ja voolukiirusega mitte üle 0,15 m/s. Rakendatakse pilu laiuse vahemikuga 1–10 mm (kõige tavalisem on 3 mm). Katsed näitavad, et madalate voolukiiruste puhul on sellega varustatud rajatiste negatiivne mõju elusloodusele suhteliselt väike. Ekraanide puhastamine toimub nn Hydroburst™ süsteemi abil 3-5 sekundi jooksul, kasutades 'õhulööki', mis väljub ekraani põhjast ning piki ekraani liikudes haarab kaasa ja viib ära ekraanile takerdunud prahi, niimoodi seda regulaarselt puhastades. Link infole:

https://www.aqseptence.com/app/en/products/johnson-passive-intake-screens/

Paraku tuleb ka selle meetodi puhul nentida, et 'läbi sõelumist' nõudvad veemassid on Paldiski PHAJ puhul märgatavalt suuremad. Päevase maksimaalse veevõtuna märgitud 100 000 m³ saavutatakse näiteks 100 m³/s puhul (tuumaelektrijaamade ja Paldiski PHAJ veevõtu suurusjärk) ju umbes veerand tunniga.

Kokkuvõte:

Uuringu „*Paldiski lahes Paldiski pump-hüdroakumulatsioonijaama (PHAJ) projekti keskkonnamõju hindamise raames kahe suure merevee tarbimisega Läänemere äärse ettevõtte veevõtu lahenduste uuringu läbiviimine*" käigus analüüsitud kirjanduse põhjal võib järeldada, et projekt on looduskaitselisest seisukohast vaadeldes teostatav. Kuna 'peensõelumise' eesmärk Soome ja Rootsi tuumaelektrijaamades, kus on sarnane merekeskkond ja kalastik, ei ole mitte väikesemõõtmeliste elusolendite säästmine (see ei ole nagunii võimalik), vaid lihtsalt nende jahutusvee süsteemidesse sattumise vältimine, siis ei ole 'peensõelumist' vaja Paldiski PHAJ tingimustes rakendada. Kindlasti on muidugi nii süsteemi enda töökindluse, üldise tööohutuse ja ka keskkonna huvides vaja takistada suuremõõtmeliste objektide sissevoolu sattumist. Seda tuleb läbi viia varbadega, mille maksimaalne kaugus teineteisest on 60 mm. Kuna niisugune vahe ei taga enamike väiksemate kalade 'väljasõelumist', siis tuleb kindlasti kasutusele võtta erinevad peletusmeetodid, mille kombineerimisel (tabel 3) on võimalik saavutada kõrge kasutegur.

Lisaks varbade süsteemile ja erinevate peletusmeetodite rakendamisele on väga oluline veevõtu sügavus. Uuringud näitavad, et kõige kahjulikum on pinnalähedase vee kasutamine, sest just seal asub suurem hulk kaladest, eriti nende planktontoidulistest noorjärkudest. Kui täiskasvanud kalad suudavad peletamise korral eemale ujuda, siis väga väikeste kehamõõtmetega vastsed seda ei suuda, vaid kantakse passiivselt vooluga kaasa. Üks selliseid ohustatud kalasid on merisiig, kelle koelmud asuvad Paldiski lahe lõunaotsas. Kuigi eelnvate uuringute põhjal on teada, et siiavastsete arvukus planeeritava objekti lähedal ei ole kõrge (Vetemaa et al., 2020) tuleb siiski kindlasti vältida selliste veekihtide kasutamist, kus vastseid leidub arvukamalt, mis tähendab, et Paldiski PHAJ peab kasutama vaid sügavamalt kui 10 m sisse võetavat vett.

Kuigi erinevate peletusmeetodite efektiivsus kaladele on teada, on iga objekt siiski ainulaadne. Tagamaks looduskeskkonna maksimaalset kaitset, tuleks projekteerides näha ette proovide võtmise võimalus süsteemi selles osas, kus vee vool on juba kiire. Sisuliselt tähendab see võimalust lasta vette 'kurna' või 'sõela' tüüpi instrumenti, millesse jäänud materjali analüüsides saaks kvantifitseerida süsteemi sattuvate erinevate väiksemõõtmeliste objektide (sealhulgas kala) kogust. Niisugune seiremeetod võimaldaks anda tagasisidet peletusmeetodite efektiivsuse kohta ja peletussüsteeme ning nende töö detaile vajadusel ka muuta.

Tabel 3. Paldiski lahes enam saakidesse sattuvad kalaliigid ja nende peletusviis. Kuigi angerjas on saakides väga harv, on ta tabelisse lisatud kõrge looduskaitselise tähtsuse tõttu. (Võimalikud kasutatavad peletusviisid: 1 – võre, vahede laius maksimaalselt 60 mm; 2 – strobovalgus; 3 – infraheli (10 - 600Hz või kõrgem kui 2kHz)).

Kalaliik	**Peletusviis**
Ahven	3
Angerjas	2
Emakala	2 / 3
Kammeljas	3
Kiisk	3
Koha	3
Lest	1 / 3
Lõhi	1/ 2 / 3
Meriforell	1/ 2 /3
Merisiig	2 / 3
Meritint	3
Räim	3
Tursk	1
Viidikas	3
Ümarmudil	3

Kasutatud materjalid

Ehlin,U., Lindahl S., Neuman, E., Sandström,O. Svensson, J - Miljöeffekter av stora kylvattenutsläpp, Erfarenheter från de svenska kärnkraftverken. Elforsk rapport nr 09:79 (Jahutusvee kasutamise suured keskkonnamõjud. Kogemused Rootsi tuumaelektrijaamades. Elforski aruanne nr 09:79). pp253,2009

R. Bromley, S. Coyle, K. Hawley, K. Anderson & A. W. H. Turnpenny UK Best Practice fish screening trials study. Jacobs Engineering UK Ltd, UK https://www.witpress.com/Secure/elibrary/papers/9781845648497/9781845648497008FU1.pdf

Brown R. The potential of strobe lighting as a cost-effective means for reducing impingement and entrainment, September 2000, Environmental Science & Policy 3:405-416

https://www.researchgate.net/publication/248515984_The_potential_of_strobe_lighting_as_a_cost-effective_means_for_reducing_impingement_and_entrainment

Hamel MJ, Brown ML, Chipps SR (2008) Behavioral responses ofrainbow smelt to in situ strobe lights. N Am J Fish Manag 28:394–401
https://www.researchgate.net/publication/233036864_Behavioral_Responses_of_Rainbow_Smelt_to_in_situ_Strobe_Lights

Jaewoo Kim, J, Mandrak N Effects of strobe lights on the behaviour offreshwater Environmental Biology of Fishes ISSN 0378-1909 Environ Biol FishDOI 10.1007/s10641-017-0653-7
https://www.researchgate.net/publication/319083339_Effects_of_strobe_lights_on_the_behaviour_of_freshwater_fishes

Joaquim Jesus J, Amorim M, Fonseca P, Teixeira A, Natário S, Carrola J, Varandas S, Pereira L, Cortes R. (2018) Acoustic barriers as an acoustic deterrent for native potamodromous migratory fish species.
https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/jfb.13769

Knudsen FR, Enger P S & Sand O. (1992). Awareness reactions and avoidance responses to sound in juvenile Atlantic salmon, Salmo salar L. Journal of Fish Biology 40, 523–534.
Wiley Online Library Web of Science®Google Scholar
https://onlinelibrary-wiley-com.ezproxy.utlib.ut.ee/doi/10.1111/j.1095-8649.1992.tb02602.x

Knudsen FR, Enger PS & Sand, O. (1994). Avoidance responses to low frequency sound in downstream migrating Atlantic salmon smolts, Salmo salar L. Journal of Fish Biology 45, 227–233. doi: 10.1111/j.1095-8649.1994.tb01302.x
https://onlinelibrary-wiley-com.ezproxy.utlib.ut.ee/doi/10.1111/j.1095-8649.1994.tb01302.x

Königson S, Fjälling A, Lunneryd SG (2002) Reactions in individual fish to strobe light. Field and aquariumexperiments performed on whitefish (Coregonus lavaretus). Hydrobiologia 483: 39–44.
https://www.academia.edu/3009155/Reactions_in_individual_fish_to_strobe_light_Field_and_aquarium_experiments_performed_on_whitefish_Coregonus_lavaretus_

Maes J, Turnpenny AWH, Lambert DR, Nedwell JR, Parmentier A, Ollevier F.(2004)
Field evaluation of a sound system to reduce estuarine fish intake rates at a power plant cooling water inlet
https://onlinelibrary-wiley-com.ezproxy.utlib.ut.ee/doi/10.1111/j.1095-8649.2004.00360.x

Mussen T, Cech J (2018) Assessing the use of vibrations and strobe lights at fish screens as enhanced deterrents for two estuarine fishes
Journal of FishBiologi ; Received: 24 March 2018 Accepted: 9 August 2018
DOI: 10.1111/jfb.13776
https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/jfb.13776

Nemeth RS, Anderson JJ (1992) Response of juvenile coho and Chinook salmon to strobe and mercury vapor lights. N Am J Fish Manag 12:684–692
https://www.researchgate.net/publication/236317028_Response_of_Juvenile_Coho_and_Chinook_Salmon_to_Strobe_and_Mercury_Vapor_Lights

Richards NS, Chipps SR, Brown ML (2007) Stress re-sponse and avoidance behaviour of fishes as influencedby high-frequency strobe lights. N Am J Fish Manag27:1310–1315
https://www.researchgate.net/publication/233207967_Stress_Response_and_Avoidance_Behavior_of_Fishes_as_Influenced_by_High-Frequency_Strobe_Lights

Ruebush BC, Sass GG, Chick JH, Stafford JD (2012) In-situ tests of sound-bubble-strobe light barrier technol-ogies to prevent range expansions of Asian carp.Aquat Invasions 7:37–48
https://www.researchgate.net/publication/267895946_In-Situ_Tests_of_Sound-Bubble-Strobe_Light_Barrier_Technologies_to_Prevent_Range_Expansions_of_Asian_Carp

Sager D, Hocutt C., Stauffer J. (1987) Estuarine fish responses to strobe light, bubble curtains and strobe light/bubble-curtain combinations as influenced by water flow rate and flash frequencies. Fisheries Research Volume 5, Issue 4, August 1987, Pages 383-399
https://www-sciencedirect-com.ezproxy.utlib.ut.ee/science/article/abs/pii/0165783687900543?via%3Dihub

Sand O, Enger PS, Karlsen HE, Knudsen FR (2001) Detection of infrasound in fish and behavioral responses to intense infrasound in juvenile salmonids and European silver eels: A minireview.
https://www.researchgate.net/publication/279907160_Detection_of_infrasound_in_fish_and_behavioral_responses_to_intense_infrasound_in_Juvenile_Salmonids_and_European_Silver_Eels_a_minireview

Sullivan BG, Wilson ADM, Gutowsky LFG, Patrick PH, Sills M,Cooke SJ (2016) The behavioral responses of a warm water teleost to different spectra of light-emitting diodes. N Am J Fish Manag 36:1000–1005
https://www.researchgate.net/publication/306528874_The_Behavioral_Responses_of_a_Warmwater_Teleost_to_Different_Spectra_of_Light-Emitting_Diodes

Vetemaa MV (vastutav täitja) (2020). Kalastiku uuring Paldiski lahes PHAJ projekti keskkonnamõju hindamise raames: mõju kohaliku merisiia populatsioonile. Tartu Ülikooli Eesti Mereinstituut, töövõtuleping nr 2019_68_AT-2.

Vetter BJ, Cupp AR, FredricksKT GMP, Mesinger AF (2015)Acoustical deterrence of silver carp (Hypophthalmichthysmolitrix). Biol Invasions 17:3383–3392
https://link.springer.com/article/10.1007/s10530-015-0964-6

Zielinski DP, Voller VR, Svendsen JC, Hondzo M, Mensinger AF,Sorensen P (2014) Laboratory experiments demonstrate that bubble curtains can effectively inhibit movement of common carp. Ecol Eng 67:95–130
https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925857414000639