

TARTU ÜLIKOOL
EESTI MEREINSTITUUT JA ÖKOLOOGIA JA MAATEADUSTE INSTITUUT
ZOOLOOGIA OSAKOND
LOODUSRESSURSSIDE ÕPPETOOL

Karevi Pajumets

**Luukalade vanuse määramise traditsioonilised ja
tänapäevased meetodid**

Bakalaureusetöö 12 EAP

Juhendaja: Mehis Rohtla PhD

Tartu 2024

Infoleht

Luukalade vanuse määramise traditsioonilised ja tänapäevased meetodid

Kalade vanuse teadmine aitab tagada kalavarude jätkusuutlikku kasutamist. Luukalade vanust saab määrata mitme erineva struktuuri abil ning kasutussobivus võib liigiti olla erinev. Ka vanuse määramise meetodeid on erinevaid, alustades soomustelt aastaringide lugemisest ning lõpetades sügavõppe kaasamisega otoliitidega vanuse määramisel. Käesoleva töö eesmärgiks oli anda ülevaade erinevatest luukalade vanuse määramise meetoditest ning seejärel neid võrrelda Eestis kasutatavate meetoditega. Teiseks eesmärgiks oli välja pakkuda soovituslikud vanuse määramise meetodid Eestis levinumate või majanduslikult tähtsamate taksonite puhul. Selgus, et enamasti on soovituslikuks meetodiks vanuse määramine otoliitide ehk kalade kuulmekivikeste abil.

Märksõnad: vanus, luukalad, vanuse määramise meetodid, otoliidid, soomused, Eesti

CERCS: B260 hüdrobioloogia, mere-bioloogia, veeökoloogia, limnoloogia

Traditional and modern methods for estimating the age of teleosts

Knowing the age of fish helps to ensure the sustainable use of fish stocks. There are various structures that can be used to estimate the age of bony fish, and their suitability for use may vary between species. Additionally, there are also different methods of age estimation, ranging from counting annuli from scales to incorporating deep learning when estimating the age with otoliths. The aim of this paper is to give an overview of the different methods of age estimation in teleosts and to compare them with the methods used in Estonia. The second aim was to propose recommended methods for age estimation of the most common and economically important taxa in Estonia. It turned out that in most cases the recommended method is to estimate age using otoliths.

Key words: age, teleost, age estimation methods, scales, otoliths, Estonia

CERCS: B260 Hydrobiology, marine biology, aquatic ecology, limnology

Sisukord

1. Sissejuhatus	4
2. Materjalid ja meetodika.....	5
3. Vanuse määramise meetodi valikut mõjutavad tegurid	6
4. Vanuse määramise meetodid	7
4.1 Soomused.....	7
4.2 Otoliidid.....	9
4.2.1 Otoliitide mikrokeemia	12
4.2.2 Radiosüsinik.....	13
4.3 Teised lubjastunud struktuurid	14
4.3.1 Uimekiired ja ogad.....	15
4.3.2 Lõpusekaane luu.....	16
4.3.3 Sõlgluu	16
4.3.4 Ülalõualuu	17
4.3.5 Selgrootülid.....	18
4.3.6 Alalõualuu	19
4.3.7 Tiibluu	19
4.3.8 Gulaarplaat	19
4.4 Märgistamise meetod	20
4.5 Masinõpe.....	20
5. Kalade vanuse määramine Eestis	25
6. Kalade vanuse määramise näited Eesti põhiliste taksonite näitel.....	27
7. Arutelu	31
Kokkuvõte	36
Summary.....	38
Tänuavaldused.....	40
Kasutatud allikad	41

1. Sissejuhatus

Luukalade asurkondade vanuse struktuuri teadmine on oluline informatsioon, et hinnata kalavarude seisundit. Kala vanuse määramise abil on võimalik jõuda mitmete teiste oluliste kalamajanduslike parameetriteni nagu näiteks suremus, kasvukiirus ja suguküpsus (Campana, 2001). Vanuse määramine on näiteks abiks iga-aastaste kalapüügikvootide määramisel, et tagada kalavarude jätkusuutlik kasutamine. Kala vanuse valesti määramine võib mõjutada kalamajanduslikke otsuseid ning seega kaasa tuua probleeme kalavarudega (Campana jt, 1995; Campana, 2001; Heimbrand jt, 2020).

Vanuse teada saamiseks on ajapikku välja kujunenud mitmeid erinevaid meetodeid. Peamised struktuurid vanuse määramiseks on soomused ning otoliidid. Harvematel juhtudel kasutatakse teisi lubjastunud struktuure nagu lõpusekaane luud, uimekiired, ogad, selgrootülid, lõualuud, sõlgluud, tiibluud ja luulised plaadid. Vanuse määramise struktuuride kogumise meetodid on üldjuhul invasiivsed (st eeldavad kala surmamist), kuid soomuste ja uimekiirte kogumist käsitletakse kui mitteinvasiivset meetodit kui eesmärgiks on kala pärast proovide kogumist vabastada.

Luukala vanuse määramine on reeglina aja- ning ressursinõudlik. Seetõttu proovitakse erinevate liikide puhul pidevalt leida tõhusamaid meetodeid vanuse määramiseks. Ka Eestis määratakse erinevate luukala liikide vanust igal aastal, kuid iga liigi puhul ei pruugi kasutusel olla kõige optimaalsem meetod. Antud töö proovib luukala vanuse määrajate vaeva vähendada.

Käesoleva töö eesmärk on anda ülevaade erinevatest luukalade vanuse määramise meetoditest ning seejärel võrrelda neid Eestis kasutatavate meetoditega. Teine eesmärk on pakkuda välja soovituslikud vanuse määramise meetodid Eestis levinumate või majanduslikult tähtsamate taksonite puhul.

2. Materjalid ja metoodika

Käesolevas töös on keskseteks allikateks kaks raamatut: „Manual of Fish Sclerochronology“ (Panfili ja Troadec, 2002) ning „Age and Growth of Fishes: Principles and Techniques“ (Quist jt, 2017). Raamatud käsitlevad muu hulgas erinevate meetodite detailseid kirjeldusi, ajalugu ning kasutamist. Töös kasutatud teadusartikleid leiti osaliselt eelmainitud raamatutest kui ka teadusportaalide Wiley Online Library ja ResearchGate kaudu. Eestis kasutatavate vanuse määramise meetodite kohta leidis informatsiooni raamatus „Fishes of Estonia“ (Ojaveer jt, 2003). Samuti leidsid eelmainitud teadusportaalides mõned artiklid, kus oli kirjeldatud teatud kala vanuse määramise meetodeid Eestis. Kõige värskema allikana Eesti kohta on kasutatud Mehis Rohtla suusõnalisi andmeid.

3. Vanuse määramise meetodi valikut mõjutavad tegurid

Sobiva vanuse määramise meetodi leidmine sõltub kõigepealt sellest, kas kala peab tingimata pärast proovide kogumist ellu jääma. Kala elusalt vabastamine võib olla vajalik, näiteks kui liik on ohustatud, kaitse all või kala pärineb väikese tihedusega populatsioonist (Panfili ja Troadec, 2002; Isermann jt, 2003; Quist jt, 2017). Sellistel juhtudel tuleb vanust määrata soomuste või väliste luustruktuuride nagu uimekiirte ja ogade abil. Veel mõjutab vanuse määramise meetodi valikut võimalike struktuuride puudumine. Esineb liike, kellel puuduvad soomused (nt sägalised (Panfili ja Troadec, 2002)) või need on väga väikesed (nt euroopa angerjas (*Anguilla anguilla*)). Järgmiseks tuleb vanuse määramise meetodi valimisel otsustada, millise täpsusega tulemust on vaja. Juhul, kui vanust on vaja määrata päevase täpsusega, on ainuke valik otoliidid (Panfili ja Troadec, 2002). Luukalade vanuse määrajatel tuleb kindlasti arvestada erinevate struktuuride absoluutse täpsuse (inglk: *accuracy*) ning korratavusega (inglk: *precision*) erinevate liikide puhul (Quist jt, 2017). Erinevate meetodite täpsuse ning korratavuse hindamiseks erinevate liikide puhul on pidavalt läbi viidud teadustöid. Lisaks tuleb eelnevalt teadvustada kalade arv, kelle vanus on vaja määrata, sest ajakulu erinevate meetodite kasutamisel (eemaldamine, prepareerimine, aastaringide lugemine jne) on erinev (Panfili ja Troadec, 2002; Isermann jt, 2003; Faust jt, 2013; Wellenkamp jt, 2015). Samuti mõjutab meetodi valikut nii varustuse kui ka muude ressursside olemasolu. Meetodite kasutamise täpsus, ajakulu ning ressursside vajadus võivad erineda liigiti. Eelnevalt mainitu arvesse võttes tuleb vanuse määrajatel leida kompromiss, et vanuse määramine oleks teostatav ning lõppeks edukalt.

4. Vanuse määramise meetodid

Luukala vanuse määramine, mistahes struktuuri abil, on analoogne dendrokronoloogiaga ehk puude aastaringide abil puude vanuse määramisele. Sarnaselt puudele, võib erinevate kalade lubjastunud struktuuride pealt välja lugeda aastaringe. Soomuste ja teiste struktuuride kasv toimub koos somaatilise kasvuga. See tähendab, et kui kala somaatiline kasv aeglustub, siis aeglustub ka erinevate struktuuride kasv. Kiire ja aeglane kasvuperiood moodustavad reeglina ühe aastaringi. Luukalade vanuse määramise meetodid koos eeliste ning puudustega on ülevaatlikult välja toodud tabelis 1.

4.1 Soomused

Luukalad on suurim kalade takson, mis hõlmab umbes 96% kõikidest kalaliikidest. Luukala soomuste abil vanuse määramine hakkas levima 19. sajandi lõpus, kui avastati, et soomustele moodustub aastaring kord aastas (Quist jt, 2017). Suuremat kasutust leidis soomuste abil vanuse määramine 20. sajandi algusest ning oli pikka aega peamine vanuse määramise viis. Viimasel ajal on seda meetodit hakatud paljude liikide puhul aina vähem kasutama, kuna on leitud paremaid ning usaldusväärsemaid meetodeid. Siiski on soomused endiselt laialdaselt kasutusel, kuna neid on lihtne kaladelt koguda ja hiljem vaadelda. Samuti annavad soomused võimaluse kala ellu jätta, kuna vähese arvu soomuste eemaldamine kalalt ei ole eluohtlik. Seetõttu kasutatakse soomustega vanuse määramise meetodit sageli ohustatud liikide puhul (Quist jt, 2017). Tuleb mainida, et luukaladelt soomuste eemaldamine ei ole eluohtlik, kuna puuduvad soomused kasvavad kiiresti tagasi. Kui aga ganoidsoomus hulkuimselt eemaldada, võib see tekitada neile põletiku (Glass jt, 2011).

Kasvuringid, mis tekivad soomustele pidevalt kala kasvades, hakkavad kasvupeetuse ajal tihedamalt kokku kasvama. Selliste kohtade abil saab tuvastada aastaringe (Panfili ja Troadec, 2002). Seega saab soomustelt välja lugeda aastaid ning kala vanust. Siiski võivad erinevad stressorid nagu haigused või toidupuudus mistahes aastaegadel mõjutada kalade toitumist ning metabolismi, mistõttu võivad tekkida vale-aastaringid ning seega teha vanuse määramise keerulisemaks või anda valeinfot (Quist jt, 2017). Samuti võib soomus

kahjustuse korral ära tulla, sinna asemel kasvab samasugune soomus, mis seal enne oli, kuid aastaringide tekkimine hakkab otsast peale (Neave ja Se, 1940).

Kaladel on soomused eelkõige nende endi kaitseks ning hüdrodünaamilisuse tõstmiseks (Quist jt, 2017). Soomused erinevad nii kujult kui ka struktuurilt. Luukaladel esinevad õhiksoomused, mis jagatakse omakorda ktenoidsoomusteks ning tsükloidsoomusteks. Ktenoidsoomustel ehk saagsoomustel on soomuse välisserval ogakesed (Quist jt, 2017), Eestis näiteks ahvenalistel (*Perciformes*). Tsükloidsoomustel ehk kaarsoomustel on välisserv tasane, Eestis näiteks karpkalalistel (*Cypriniformes*).

Soomustega on määratud paljude liikide vanust. Üha enam on erinevate liikide puhul aga avastatud täpsemaid ja/või suurema korratavusega meetodeid. Näiteks võrreldi Oele jt (2015) uuringus haugi (*Esox lucius*) puhul nelja vanuse määramise meetodi korratavuseid. Soomuste kasutamine andis kõige ebatäpsemad tulemused ning seetõttu soovitati soomuste kasutamist haugi vanuse määramisel vältida. Koch jt (2009) leidis, et mudakala (*Amia calva*) soomustel ei ole aastaringid tuvastatavad ning seetõttu ei saa neid kasutada mudakala vanuse määramisel. Hining jt (2000) määrasid märgistatud vikerforellide (*Oncorhynchus mykiss*) vanust otoliitide ning soomustega. Kuigi otoliidid andsid läbivalt täpsemad tulemused, siis soomustega oli võimalik määrata vanust kuni kaheaastastel isenditel, korratavusega 72%. Vanemate kalade puhul saadi korratavuseks 0%. Sarnasele järeldusele jõudsid ka Stolarski ja Hartman (2008). Isermann jt (2018) leidsid sarnased jooned eelnevalt mainitud uuringuga, määrates kollase ahvena (*Perca flavescens*) vanust soomustega, otoliitidega ning pärakuuime ogadega. Soomused andsid üldiselt samad tulemused võrreldes teiste meetoditega juhul, kui ahvenad olid vanuses 5 või vähem. Marinović jt (2016) kasutasid särje (*Rutilus rutilus*) vanuse määramisel soomuseid ning seal saadi vanuse määrajate vahel kõrge korratavus. Lisaks ei soovitata soomustega määrata musta mudila (*Gobius niger*) vanust Van ja Gumus (2021). Üldiselt on soovitatud soomuseid vanuse määramiseks kasutada nooremate kalade puhul (Quist jt, 2017).

4.2 Otoliidid

Tänapäeva üks enimkasutatud kalade vanuse määramise struktuure on otoliitid ehk kalade kuulmekivikesed. Otoliidid asuvad kalade sisekõrvas, need on välja arenenud kuulmiseks ja tasakaalu hoidmiseks. Otoliidide abil kalade vanuse määramine on laialdaselt levinud, kuid see on võrdlemisi kulukas meetod. Aastaringid otoliitidel koosnevad poolläbipaistvast ning läbipaistmatust juurdekasvust (Quist jt, 2017) (Joonis 1). Sarnaselt soomustele, on juurdekasvude teke seotud kala somaatilise kasvuga. Seega tekivad parasvöötmes kasvuringid aastaegade järgi, mis tähendab, et näiteks talvel on kalal aeglasem kasv ja otoliidile tekib juurdekasv, mis on seotud aeglase kasvuga (Quist jt, 2017). Enamasti näitab otoliitidel läbipaistmatu juurdekasv kiiret somaatilist kasvu, mis parasvöötmes toimub üldjuhul kevadel, suvel ja sügisel, ning läbipaistev juurdekasv näitab aeglast somaatilist kasvu või kasvupeetuse perioodi talvel. Näiteks lutsul (*Lota lota*) tekib läbipaistmatu juurdekasv hoopis sügisel-talvel, kuna luts toitub peamiselt sel ajal ja seetõttu on lutsul kiirem somaatiline kasv sügisel-talvel (M. Rohtla, suusõnalised andmed). Kaladel on kolme tüüpi otoliite, *sagitta*, *lapillus* ja *asteriscus*, mis erinevad suuruse ja kuju poolest. Enamasti kasutatakse *sagittat*, kuna see on tavaliselt kõige suurem. Otoliidid kasvavad kihtidena, kus kihid koosnevad valkudest ja kaltsiumkarbonaadist (Quist jt, 2017). Casselman (1990) uurimuses mainitakse, et aeglaselt kasvavate või vanade kalade puhul kasvab otoliit kiiremini kui teised struktuurid. See tähendab, et aeglaselt kasvavate ning vanade kalade puhul on otoliitidelt suurema tõenäosusega võimalik aastaringe korrektselt lugeda. Vanuse määramine ja hindamine otoliitidega toimub otoliitidel olevate juurdekasvude arvu visuaalse hindamisega. Panfili ja Troadec (2002) toovad välja neli peamist juurdekasvu otoliitide kasvumustrite vaatamisel:

- päevased juurdekasvud (Joonis 2)
- hooajalised juurdekasvud
- aastased juurdekasvud (Joonis 1)
- tõrked otoliitide kasvus, mis on tavaliselt tingitud erinevatest stressoritest, stressiolukordadest

Päevased juurdekasvud koosnevad kahest kihist, mis ladestuvad tuuma ümber, üks neist on hele ja teine tume tsoon (inglk: *L-zone*, *D-zone*) (joonis 1). Hele tsoon on rohke kaltsiumkarbonaadi sisaldusega ning tume tsoon on rohkemate valkude sisaldusega.

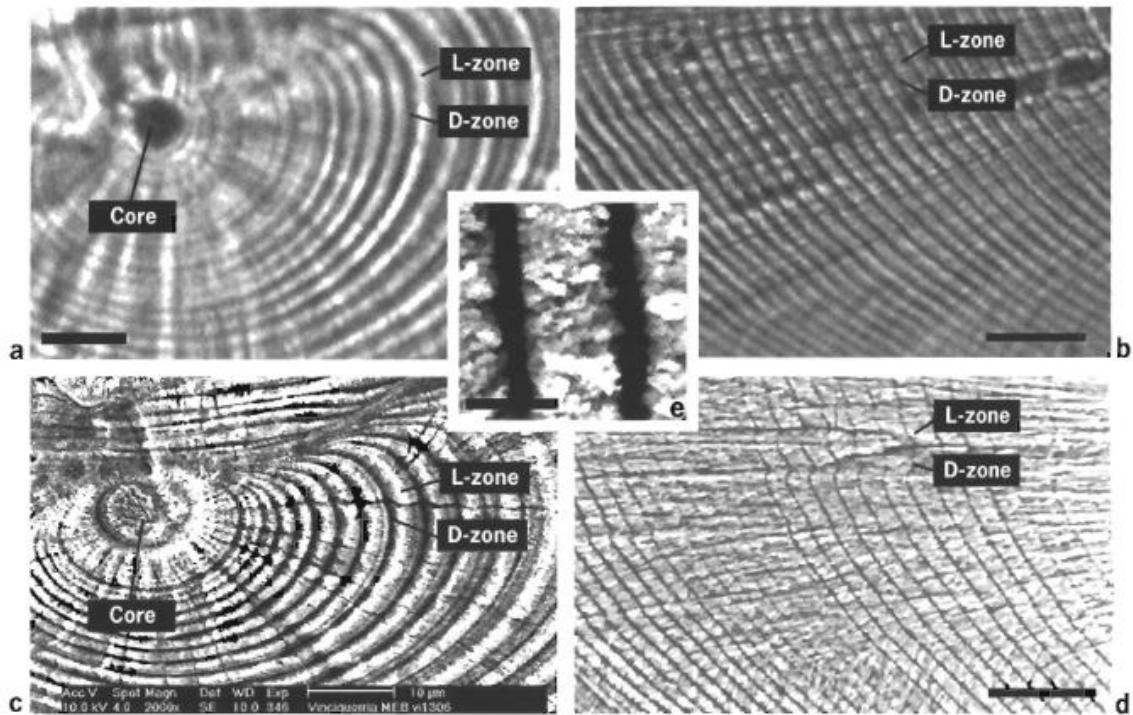
Nooremate kalade puhul on võimalik vanust määrata päevaste juurdekasvudega ehk päevase täpsusega, vanemate kalade puhul määratakse vanust aastase täpsusega, tuvastades ära läbipaistvad ning läbipaistmatud juurdekasvud (Panfili ja Troadec, 2002). Lagardère ja Troadec (1997) määrasid hariliku merikeele (*Solea solea*) vastsete vanust päevase täpsusega. Antud uuringus selgus, et päevased juurdekasvud tekkisidki keskmiselt ühe päevaga.

Enamik tänapäeva teadustöid, kus uuritakse muu hulgas kala vanust, kasutavad vanuse määramiseks otoliite. Otoliite on võimalik prepareerida erinevate meetoditega, optimaalseim prepareerimise meetod võib liigiti varieeruda. Pfenning jt (2024) uuringus kinnitati mitmel luukala liigil aastaringide ootuspärane moodustumine otoliitidel. Kalad olid eelnevalt keemiliselt märgistatud. Otoliitide uurimisel suudeti mitme liigi puhul vähemalt 95% kaladel leida õige arv aastaringe pärast märgistamist. See tähendab, et edaspidi on soovitatud nende liikide puhul kasutada vanuse määramiseks otoliite. Klein jt (2014) uuringus võrreldi mitut meetodit lutsu vanuse määramisel. Suurima korratavusega oli otoliitidega vanuse määramine, kus kahe määraja täielik nõusolek vanuse suhtes oli 90.4%. Brown jt (2004) valideeris karpkala (*Cyprinus carpio*), vanuses 0-14 aastat, otoliitide kasutuse vanuse määramisel otoliitide märgistamise meetodiga. Tuleb mainida, et karplaste (*Cyprinidae*) puhul kasutatakse enamasti *asteriscust*, sest nad on kolmest otoliitide paarist suurimad (Brown jt, 2004). Quist jt (2007) soovivad samuti mitme uuritud karpkalalise vanust määrata otoliitidega. Polat (2008) uuringus plaaniti võrrelda kilu (*Sprattus sprattus balticus*) puhul mitme struktuuri vanuse määramise korratavust, kuid pärast struktuuride prepareerimist jäeti alles vaid otoliidid, sest teised struktuurid polnud sobilikud vanuse määramiseks. Samuti soovitatakse Moore jt (2019) uuringus kasutada kilude vanuse määramiseks otoliite, antud uuringus olid kalad vanuses 0-2 ning määrajatevaheline nõusolek oli 93,3%. Peltonen jt (2002) uuringus määrati räime (*Clupea harengus membras*) vanust otoliitidega. Uuringus kasutati kahte meetodit, tervete otoliitidega vanuse määramine ning otoliidi ristlõiguga vanuse määramine, seejärel tulemusi võrreldi. Teadustöö viidi läbi, sest tervelt otoliidilt on vanemate isendite puhul raske aastaringe välja lugeda, mistõttu võib kergelt eksida. Uuringu tulemustes selgus, et keskmine räime vanus terve otoliidiga vanust määrates oli väiksem, kui otoliidi ristlõiguga vanust määrates. Florin jt (2018) uuringus võrreldi otoliitide prepareerimise meetodeid ning nende täpsust ümarmudila (*Neogobius melanostomus*) vanuse määramisel. Terve

otoliidiga vanuse määramine oli teistest meetoditest ebatäpsem. Otoliiidi ristlõike ja värvimise (inglk: *sectioned and stained*) meetod andis paremad tulemused suurema korratavusega. Dwyer jt (2003) uuringus võrreldi ruske soomuslesta (*Limanda ferruginea*) puhul terve otoliidi ning otoliidi õhiku (inglk: *thin section*) vanuse määramise täpsust. Kusjuures kalade vanus oli eelnevalt kinnitatud, kasutades vanemate kalade otoliitidel radiosüsinikmeetodit, samuti olid osad kalad varasemalt märgistatud. Tervete otoliitidega suudeti ruske soomuslesta (vanuses kuni 7 aastat) vanust määrata täpselt. Otoliiitide õhukeste lõikudega suudeti täpselt määrata kuni 13 aastaste kalade vanused. Mida vanemad olid isendid, seda tihedamalt olid aastaringid otoliitidel koos, mistõttu muutus vanuse määramine keeruliseks. Edwards jt (2011) uuringus võrreldi lutsu puhul otoliidi õhiku meetodit murdmise ning põletamise meetodiga (inglk: *cracked-and-burned method*). Parema korratavus oli õhukese lõigu meetodil. Samas võtab õhukese lõigu prepareerimine rohkem aega ning varustus selle meetodi kasutamiseks on kallim. Silm jt (2017) uuringus prepareeriti angerja otoliite murdmise ning põletamise meetodiga. Antud uuringus kannatas korratavus vanade isendite ning otoliitidel olevate võltsaastaringide tõttu. Moriarty (1983) kasutas samuti angerja puhul murdmise ning põletamise meetodit otoliitide vaatamisel. Lisaks soovitatakse Van ja Gumus (2021) uuringus kasutada musta mudila puhul otoliite.



Joonis 1. Säina (*Leuciscus idus*) otoliidi neutraalpunasega värvitud ristõige, kus on näha aastaringe. Foto: Mehis Rohtla



Joonis 2. *Vinciguerria nimbaria* otoliidi õhuke ristlõik. Pildidel ära märgitud heledad tsoonid (L-zone) ja tumedad tsoonid (D-zone). Samuti on välja toodud tuum (core).
Foto: L. Marec ja E. Debas (Panfili ja Troadec, 2002)

4.2.1 Otoliitide mikrokeemia

Otoliidid kasvavad kogu elu, lootestaadiumist surmani, seega on neil suurim potentsiaal koguda informatsiooni keskkonnast (Panfili ja Troadec, 2002). Vanuse määramine läbi otoliitide mikrokeemia tähendab otoliitide keemilise koostise uurimist. Otoliidid koosnevad peamiselt kaltsiumkarbonaadist ning orgaanilisest maatriksist. Otoliitidest on kokku leitud 31 keemilist elementi, millest suurima kontsentratsiooniga on kaltsium, hapnik ja süsinik, mis moodustavad kaltsiumkarbonaadi maatriksi (Campana, 1999). Otoliidi kasvades talletuvad erinevad elemendid otoliiti, nende elementide järgi saab tuletada, kus vetes on kala viibinud ning milliseid füsioloogilisi protsesse on ta läbinud (Heimbrand jt, 2020). Otoliitide mikrokeemia abil on võimalik tuvastada eelnevalt keemiliselt märgistatud kalu, asurkondi eristada, rändeid uurida ning üha enam proovitakse ka vanust määrata. Vanuse määramine mikrokeemiaga põhineb erinevate mikroelementide maksimaalsel ning minimaalsel sisaldusel otoliitides erinevatel aastaegadel (Heimbrand jt, 2020).

Heimbrand jt (2020) uuringus prooviti tursa (*Gadus morhua*) vanust määrata esiteks otoliitide mikrokeemiaga ning teiseks otoliitidelt aastaringide lugemisega. Seejärel tulemusi võrreldi. Selgus, et tulemused vanuse määramisel mikrokeemiaga olid suurema korratavusega. Kuna mikrokeemiaga vanuse määramine nõuab varustust ning ressursse, siis on mõttekas seda meetodit kasutada kalade puhul, kelle vanust on keeruline määrata. Samuti on võimalik otoliidi mikrokeemiaga teiste struktuuride vanuse määramise täpsust valideerida. Rittweg jt (2023) artiklis määrati haugide vanust kasutades stabiilset hapniku isotoopi $\delta^{18}\text{O}$ otoliidi aragoniidis. Selle isotoobi kasutamise eelduseks on $\delta^{18}\text{O}$ negatiivne seos temperatuuriga (Høie jt, 2004). Rittweg jt (2023) leidsidki, et otoliitide läbipaistvad juurdekasvud sobivad isotoobi $\delta^{18}\text{O}$ maksimumiga ning läbipaistmatud juurdekasvud miinimumidega. Seega on võimalik määrata otoliitidelt $\delta^{18}\text{O}$ ekstreemumid ning seeläbi vanus määrata. Kastle jt (2017) artiklis uuriti vaikse ookeani tursa (*Gadus macrocephalus*) vanust samal põhimõttel. Lisaks võrreldi otoliidi aragoniidi isotoobi $\delta^{18}\text{O}$ maksimume otoliidi pealt loetud aastaringidega. Vanused ühtisid 61% otoliitide puhul.

4.2.2 Radiosüsinik

Radiosüsinikmeetodit on võimalik kasutada hilistel 1950ndatel aset leidnud tuumapommide katsetamise tõttu. Sel ajal tõusis hüppeliselt radiosüsiniku (^{14}C) tase ning jõudis seega sel ajal kasvanud loomade ning taimede organismidesse. Campana (2001) väidab, et tegu on ühe parima vanuse määramise meetodiga pikemaajaliste kalade puhul. Meetod põhineb asjaolul, et kalad, kes on koorunud enne 1958. aastat, nende otoliidi tuum sisaldab vähesel määral radiosüsinikku ^{14}C . Kalad, kes koorusid pärast 1968. aastat, nende radiosüsinikku ^{14}C tase otoliidi tuumas on kõrgem. Kalad, kes jäävad sinna vahemikku, nende radiosüsinikku ^{14}C tase otoliidi tuumas on vahepealne (Campana, 2001).

Vanust saab määrata tänu radioaktiivsele lagunemisele. Radioaktiivne lagunemine on protsess, kus radioaktiivsed isotoobid, mis on ebastabiilsed aatomid, muunduvad aja jooksul teisteks elementideks. Lagunemiskiirust mõõdetakse poolväärtusajaga, mis tähendab, et selle aja jooksul laguneb pool isotoobist. Enim kasutatakse vanuse määramiseks süsiniku isotoopi ^{14}C , mille poolväärtusaeg on 5730 aastat. Cailliet jt (2001) uuringus tuuakse välja vanuse määramine nukliidide ^{226}Ra ja ^{210}Pb abil, mis on pärit uraani reast. ^{226}Ra poolväärtusaeg on ca 1600 aastat ning ^{210}Pb 22,26 aastat.

Rõhutatakse, et meetodi toimimiseks peab olema võimalus mõõta radioisotoopide taset

täpselt ka siis, kui radioisotoope on väikeses koguses. Mõlemaid isotoope ladestatakse otoliitidesse pidevalt. Põhjusel, et Ra226 poolväärtusaeg on väga pikk, võetakse selle taset konstantsena. Pb210 poolväärtusaeg on aga lühem ning seetõttu on võimalik võrrelda Pb210 taset erinevates eluetappides ning seeläbi arvutada kala vanus. Artikli autorid leiavad, et antud meetodit on kõige mõistlikum kasutada kalade puhul, kelle vanust on teiste meetoditega raske määrata või keda on keeruline koguda, näiteks pika elueaga kalad. Samuti tuuakse välja, et meetod nõuab palju ressursse ning laborites on meetodi läbiviimiseks vaja spetsiaalselt varustust.

4.3 Teised lubjastunud struktuurid

Luukalade vanust saab määrata ka erinevate teiste lubjastunud struktuuride abil, mille esineb aastaring. Aastaring on tuvastatav luustruktuuri vaatlusel (Quist jt, 2017). Juurdekasvud tekivad erinevatel aegadel, olenevalt vaadeldavast luustruktuurist. See erineb ka liigiti, kala vanusega, geograafilise asukohaga ning toidu olemasoluga (Casselmann, 1990). Teisi lubjastunud struktuure kasutatakse üldjuhul siis, kui otoliitide ja/või soomuste abil ei ole võimalik kala täpset vanust määrata. (Quist jt, 2017).

Teised luud (otoliidid välja arvatud), mida kasutatakse luukalade vanuse määramiseks, näiteks ogad, uimekiired, selgroog, sõlgluu, tekivad ja kasvavad osteogeneesi kaudu. Sarnaselt otoliitidele, tekivad teistel luudel läbipaistvad ning läbipaistmatud juurdekasvud, mida loetakse aastaste juurdekasvudena. Tuleb täheldada, et otoliitide ja teiste luude juurdekasvud võivad sesoonselt erineda, kus näiteks paljude magevee liikide puhul kasvab teatud aastajal otoliidile läbipaistev juurdekasv, aga teistel luudel läbipaistmatu juurdekasv (Quist jt, 2017). Kusjuures läbipaistmatu juurdekasv tähendab kiiret somaatilist kasvu ja osteogeneesi ning poolläbipaistev juurdekasv aeglast osteogeneesi (Casselmann, 1974, viidatud Quist jt, 2017 kaudu).

4.3.1 Uimekiired ja ogad

Uimekiired ja ogad on tihtipeale kasutusel juhtudel, kus näiteks soomuste või otoliitide kasv on liigi puhul vähearenenud, mis tähendab, et tuleb leida alternatiiv. Samuti võimaldab uimekiirte ja ogade kasutamine kalad ellu jätta, mis on suur põhjus, miks kasutada uimekiirte ja ogade abil vanuse määramist kaitse all olevate, vanade ja majandusliku väärtusega kalade puhul (Quist jt, 2017). Uimekiirte ja ogade eemaldamise puhul on oluline enne uurida, milliseid uimekiiri ning ogasid täpselt võtta. Valik võib erineda liigiti. Näiteks Meyer (1960) leidis, et uimekiirtega ei saa luitstuura (*Polyodon spathula*) vanust usaldusväärset määrata, sest sama kala kõrvuti olevate uimekiirte aastaringide arv varieerus. Mills ja Chalanchuk (2004) uurisid ameerika siia (*Coregonus clupeaformis*) vanuse määramist uimekiirte abil, seal võeti suuremad rinnauime kiired ning mõnel juhul ka kõhuuime kiired. Antud uuringus valideeriti aastaringide teke uimekiirtel ameerika siia puhul. Tulemused olid head nii uimekiirte kui ka otoliitidega vanuse määramisel. Samuti mainiti, et aastased juurdekasvud olid näha kõikide uimekiirte puhul, kuid esimene kiir oli alati suurema laiusega, mis tähendab, et aastaringide vahed olid suuremad ning seega lihtsam aastaringe lugeda. Samuti soovitatakse uimekiirte kasutamist ameerika siia puhul Muir jt (2008) teadustöös. Copeland jt (2007) uuringus saadi kuninglõhe (*Oncorhynchus tshawytscha*) vanuses 1-3 vanuse määramisel uimekiirtega paremad tulemused kui soomustega vanust määrates. Uzunova jt (2020) võrdlesid Peipsi järve endeemse liigi, peipsi siia (*Coregonus lavaretus maraenoides*), vanuse määramise meetodeid. Uuringus andsid parimad tulemused samuti uimekiirtega vanuse määramine. Haugi puhul soovitatakse Oele jt (2015) uuringus mitteinvasiivse meetodina kasutada pärakuuimekiiri, sest vanuse määramise korratavus oli antud teadustöös rahuldav. Lisaks soovitavad uimekiirte kasutamist vanuse määramisel Phelps jt (2007) karpkala puhul ja Quist jt (2007) mitme erineva karpkalalise puhul. Klein jt (2014) ei soovita uimekiirte kasutamist lutsu vanuse määramisel. Jackson jt (2007) soovitavad karpkala puhul kasutada selja oga, sest täielik nõusolek kahe määraja vahel vanuse suhtes oli 90,6%, võrreldes näiteks soomustega, kus tulemuseks oli 28,5%. Isermann jt (2018) ning Vandergroot jt (2008) uurisid kollase ahvena puhul muu hulgas pärakuuime ogade kasutamist vanuse määramisel. Mõlemas uuringus saadi otoliitidega ning pärakuuime ogadega sarnased ning suure korratavusega tulemused.

4.3.2 Lõpusekaane luu

Lõpusekaane luud (*operculum*) on osa luukalade kolju luustikust. Lõpusekaaned on abiks hingamisel ning toitumisel. Samuti on lõpusekaane luud ühed esimesed luud, mis luukaladel välja arenevad, näiteks ogaliku (*Gasterosteus aculeatus*) puhul on see umbes seitse päeva pärast viljastamist (Currey jt, 2008). Le Cren (1947) uuringus määrati ahvena (*Perca fluviatilis*) vanust lõpusekaante abil ning järeldati, et tegu on hea viisiga ahvenate vanust määrata. Seda toetas lõpusekaante eemaldamise ning käsitlemise lihtsus võrreldes mõne teise meetodiga, samuti võimalus näha aastaringe palja silmaga, kuigi täpsemaks vanuse määramiseks on siiski soovituslik kasutada näiteks mikroskoopi. Baker ja McComish (1998) võrdlesid kollase ahvena puhul lõpusekaantega ning soomustega vanuse määramise meetodeid. Lõpusekaante korratavus oli suurem ning nende kasutamisel on tõenäolisem määrata täpsemalt vanemate isendite (vanemad kui 4 aastat) vanust. Quist jt (2007) uuringus võrreldi korratavust otoliitide, soomuste, uimekiirte, sõlgluu ning lõpusekaante vahel. Uuritavateks kaladeks olid mitmed karpkalalised, mille hulgas kaks karplast, jäme gilaturb (*Gila robusta*) ning oja-vimpelturb (*Semotilus atromaculatus*). Lõpusekaane luu kasutamine ei andnud küll parimaid tulemusi, kuid kuni 5 aastaste kalade puhul olid tulemused sarnased otoliitidega. Phelps jt (2007) soovivad karpkala puhul otoliitide ning uimekiirte kasutust üle lõpusekaane luu, sest lõpusekaane luu korratavus antud uuringus oli madal.

4.3.3 Sõlgluu

Sõlgluu (*cleithrum*) on paarisluu kala rinnavöös ning asub lõpusekaane taga (Casselmann, 1979, viidatud Quist jt, 2017 kaudu). Sõlgluud kasutatakse kala vanuse määramiseks peamiselt pikema elueaga hauglaste (*Esocidae*) sugukonna liikide puhul. Nende hulka kuulub näiteks haug, kelle sõlgluuga vanuse määramine on andnud head tulemused (Casselmann, 1990). Oele jt (2015) uuringus saadi haugi vanuse määramisel head tulemused sõlgluuga, otoliitidega ning pärakuuime ogadega. Autorid soovivad siiski usaldusväärsete tulemuste saamiseks sõlgluu või otoliidi kasutamist. Faust jt (2013) artiklis soovitatakse haugi vanuse määramiseks sõlgluud üle otoliitide, sest sõlgluu kasutamisel ei ole vaja nii spetsialiseeritud varustust ning sõlgluu abil vanuse määramise protsess on kiirem. Samuti olid sõlgluuga vanuse määramisel algajate määrajate tulemused

sarnased ekspertide omadega. See tähendab, et seda meetodit on tõenäoliselt kerge õppida ning seega läheb vähem ressursse määraja õpetamisesse. Laine jt (1991) uuringus märgistatud haugidega selgus, et soomuste ning sõlgluu kasutamine on täpne haugidel vanuses kuni 10 aastat. Vanemate isendite puhul olid täpsemad tulemused sõlgluu kasutamisel. Quist jt (2007) teadustöös uuriti mitme karpkalaliste seltsi kuuluva kala vanuse määramist. Võrreldi viie struktuuri korratavust. Sõlgluu tulemused olid madalad, kõikide liikide peale oli sõlgluu korratavus 21-41%, parimad tulemused olid otoliitidel, nimelt 66-96%. Siiski olid sõlgluude ning otoliitide tulemused sarnased kuni viieaastaste kalade puhul. Sarnaselt otoliitidele, tuleb sõlgluu kasutamisel kala ohverdada ning seetõttu ei sobi olukordades, kus kala tuleb ellu jätta.

4.3.4 Ülalõualuu

Üldiselt on ülalõualuuga (*maxilla*) vanust määratud vähestes teadustöödes. Wellenkamp jt (2015) artiklis uuriti halli paalia (*Salvelinus namaycush*) vanuse määramist nii ülalõualuu kui ka otoliitide abil. Tulemused meetodite täpsuste kohta arvutati kalade pealt, kes olid eelnevalt märgistatud. Ülalõualuu abil määratud kalade vanuse määramise täpsus oli 59-67% ning vanuse erinevus kuni ühe aastaga oli 88-89%, otoliitide puhul olid vastavad tulemused 26-40% ning 74-79%. Ülalõualuu eelisteks kalade vanuse määramisel nimetati, et ühest ülalõualuust saab vähese vaevaga mitu erinevat osa, mille pealt saab vanust korrektselt välja lugeda. Samuti on ülalõualuu eemaldamine kalalt kiirem ja lihtsam ning prepareerimine teostatavam, nõudes vaid tavalisi kättesaadavaid tööriistu. Tähtsaks argumendiks toodi ülalõualuude kogumise lihtsus kalurilt võrreldes otoliitidega. Nimelt taheti aastal 2012 kalurilt halli paalia otoliite ning aastal 2013 ülalõualuusi. 2013 aastaga koguti 370% rohkem ülalõualuusi, kui eelneval aastal otoliite, põhjus ongi ülalõualuude eemaldamise lihtsuses ning seda saab teha ilma sisselõiketa kalasse. Rohkemate proovide saamine aitab kalavarude hindamisele positiivselt kaasa. Artiklis soovitatakse tulevikus proovida ülalõualuude abil vanuse määramist ka näiteks haugi, kollase ahvena ja ameerika siia puhul. Eelnevalt mainitud uuringu tõttu uuriti ka Murphy jt (2018) teadustöös ülalõualuu ning otoliidi täpsust halli paalia puhul. Tulemused kinnitasid, et ülalõualuuga halli paalia vanuse määramine on täpsem ning suurema korratavusega, kui otoliitidega vanuse määramine. Wellenkamp jt (2018) uurisid taas ülalõualuuga vanuse määramist halli paalia puhul. Seekord oli eesmärk teha seda mitteinvasiivse meetodina.

Kaladelt võeti kas osa ülalõualuust või kogu ülalõualuu. Seejärel lasti kalad tagasi vette ning poole aasta möödudes mõõdeti suremust. Selgus, et terve ülalõualuu või ülalõualuu osa võtmine mõjutab kala ellujäämist võrdselt, ellu jäi 97% kaladest. Vanuse määramisel oli terve ülalõualuu kasutamine täpsem kui ülalõualuu ühe osa kasutamisel. Terve ülalõualuuga määrati kuni 3 aastaste kalade vanus 100% täpsusega ning kuni 12 aastaste kalade vanus 67% täpsusega. Antud meetodi kasutamist ning uurimist soovitatakse kaaluda ohustatud või kaitsealuste liikide vanuse määramisel.

4.3.5 Selgroomülid

Selgroomülidega (*vertebrae*) kalade vanuse määramist on katsetatud mitmetes teadustöodes, kuid enamasti ei anna nad luukalade vanust määrates täpseid tulemusi. Seetõttu ei sisalda tänapäeva teadustööd enamasti selgroomülidega vanuse määramist. Polat jt (2001) uuringus võrreldi vanuse määramise meetodeid jõelesta (*Pleuronectes flesus luscus*) puhul. Kõige usaldusväärsemaks meetodiks osutusid selgroomülid, mille tõenäosus vanusega eksimiseks oli kõige väiksem. Siiski oli määrajatevaheline nõusolek vanuse suhtes vaid 38.88%. Khan ja Khan (2009) teadustöös võrreldi lõpusekaante, otoliitide, selgroomülide, seljauimekiirte ning soomuste vanuse määramise täpsuseid kolme kala peal, milleks olid rohunarmasmokk (*Labeo rohita*), hiidkarp (*Catla catla*) ning hiid-madupea (*Channa marulius*). Selgroomülid ei saavutanud ühegi kala puhul parimaid tulemusi. Eelmainitud kalade ja paljude teiste liikide puhul ei ole aastaringid piisavalt selgelt nähtavad, mistõttu eelistatakse pigem teisi meetodeid. Samuti kasutatakse teisi meetodeid, kui kala on vaja ellu jätta. Phelps jt (2007) määrasid karpkala vanust mitme erineva struktuuriga. Kõikide struktuuride tulemusi võrreldi otoliitide tulemustega. Selgroomülid eksisid vanuse suhtes võrreldes otoliitidega kõige rohkem (15,4%). Van ja Gumus (2021) proovisid musta mudila vanust määrata erinevate meetoditega, sealhulgas selgroomülidega. Tulemused olid küll rahuldavad, kuid otoliitide kasutamisel oli märkimisväärselt suurem täpsus.

4.3.6 Alalõualuu

Alalõualuud (*dentary*) hakati vanuse määramise meetodina vaatama pärast (Adams, 1931, viidatud Quist jt, 2017 kaudu) uuringut, kus avastati aastaringid alalõualuu ristlõigul luitstuura puhul. Sellest ajast alates on alalõualuu olnud peamiseks meetodiks luitstuura vanuse määramisel. Scarnecchia jt (2006) uuringus mõõdeti alalõualuu vanuse määramise täpsust luitstuurade puhul kalade märgistamise abil. Aastate eest märgistatud kalad püüti mõne aasta vahemikus kinni, määrati vanus ning seejärel võrreldi tulemusi. Tulemusteks saadi, et luitstuurade puhul, kes olid vanuses kümme või vähem, määrati vanus õigesti 25 luitstuural 30st ning ülejäänutel erines tulemus ühe aastaga. Luitstuuradel, kes olid vanemad kui kümme aastat, saadi 93% kalade puhul vanuseks eeldatav minimaalne vanus. Seega soovitatakse luitstuurade puhul ka edaspidi vanuse määramiseks kasutada alalõualuud. Siiski soovitatakse meetodi toimimise kinnituseks läbi viia sarnaseid uuringuid luitstuuradega ka teistes populatsioonides.

4.3.7 Tiibluu

Tiibluuga (*metapterygoid*) on määratud peamiselt haugi vanust. Sharma ja Borgstrøm (2007) valideerisid haugide puhul märgistamise abiga tiibluul aastaringide tekkimise. Selles teadustöös ei tuvastatud vale-aastaringe tiibluude puhul. Blackwell jt (2016) uurisid erinevate struktuuride korratavust haugi vanuse määramisel. Selles uuringus soovitati haugi vanuse määramisel kasutada lisaks otoliitidele ja sõlgluule ka tiibluu kasutamist, kuna kõigi kolme struktuuri korratavus oli üsna sarnane. Siiski märgiti, et osadel tiibluudel oli aastaringide tuvastamine keeruline.

4.3.8 Gulaarplaat

Gulaarplaat (inglk: *gular plate*) on luustikuline plaat, mis asub kolju ventraalsel pinnal ja paikneb kahe alumise lõualuu vahel. Gulaarplaat puudub enamikul tänapäeva luukaladel. Seetõttu on uuringuid läbi viidud vähe ning peamiselt mudakala vanuse määramiseks. Näiteks on pärast gulaarplaadi eemaldamist ning puhastamist võimalik palja silmaga sellelt vanust määrata (Quist jt, 2017). Koch jt (2009) uuringus uuriti mudakala ning tema

võimalikke vanuse määramise meetodeid. Mudakala puhul ei olnud näiteks otoliitide ning soomuste põhjal võimalik vanust määrata, kuna aastaringid polnud nähtavad. Vanuse määramine gulaarplaadi pealt oli võimalik. Määrajatevaheline nõusolek vanuse suhtes oli 45,5%-48% ning nõusolek, kus vanus erines ühe aasta võrra, oli 78-81,3%. Siiski olid selle uuringu puhul tulemused palju paremad rinnauimede kiirte abil vanuse määramisel.

4.4 Märgistamise meetod

Selle meetodiga saab kala täpset vanust määrata siis, kui kala on elu alguses märgistatud. Üldiselt kasutatakse märgistamist aastaringide tekkimise valideerimiseks erinevatel struktuuridel. Selle meetodi põhimõte seisneb kala kinnipüüdmisses, märgistamises, vabastamises ning hilisemas tagasipüügis. Kalade märgistamise viise on palju ning märgised võivad olla nii sisemised kui välised. Panfili ja Troadec (2002) toovad välja näiteks luude, enamasti otoliitide, märgistamise võimalustena fluorestsentsmärgised, temperatuuriga tekitatud märgised, radioisotoopidega märgistamise strontsiumiga Sr85. Samuti kasutatakse erinevaid väliseid märgiseid, kinnitades need kala külge, märgisel on enamasti teatud kood, mille järgi saab teada märgistamise aja. Mills ja Chalanchuk (2004) märgistasid mitmes järves ameerika siigasid, võttes neilt samal ajal uimekiiri, et teatud aja möödudes märgistatud kalad uuesti kinni püüda ning uuesti uimekiired ning otoliidid võtta. Hiljem määrati vanust mõlemaga meetodiga ning võrreldi tulemusi. Antud teadustööga valideeriti uimekiirtel aastaringide tekkimine ameerika siia puhul. See tähendab, et uimekiirtega kasutamine peaks selle liigi puhul andma täpsed tulemused.

4.5 Masinõpe

Nende meetodite puhul, kus luukalade vanuse määramine toimub erinevatelt struktuuridelt, on aluseks teadlase/inimese tõlgendus aastaringidest. See võib mõnel määral kaasa tuua subjektiivsust ning tulemused võivad olla kallutatud, tingitud teadlase kogemusest vanuse määramises ja bioloogiaalastest teadmistest. Seega on vajalik kaasata vanuse määramise protsessidesse objektiivsust ning seda arvutite ning programmide toel (Panfili ja Troadec, 2002). Masinaõppe eesmärk on etteantud informatsiooni ja sisendandmete põhjal ehk

masina treenimisega ning erinevate algoritmide abil leida tulemus või vastus. Läbi ülesannete kordamise õpib masin edasi ja kohaneb ning seega peaksid tulemused aina täpsemaks muutuma (El Naqa ja Murphy, 2015). Luukalade vanuse määramisel on masinõpe võimeline tuvastama mustrid ehk aastaringid ning seeläbi leidma kala vanuse. Tänapäeval mainitakse luukalade vanuse määramisel enamasti vanuse määramist sügavõppe ehk süvaõppe abil. Sügavõpe on osa masinõppest, kuid erisusega, et masin suudab tehisnärvivõrkude abil ise avastada uusi mustreid ja struktuure (LeCun jt, 2015). Enamasti kasutatakse masinõppes vanuse määramisel otoliitide fotosid.

Programmi, mis töötaks igas laboris ning annaks täpseid tulemusi vanuse määramisel, ei ole veel välja töötatud. Siiski on läbi viidud suures mahus uuringuid, et kunagi oleks see võimalik. Uuringutes kasutatakse erinevaid programme erinevate lähenemistega ning mõõdetakse nende täpsust. Politikos jt (2021) uuringus määrati sügavõppe abil meripoisurite (*Mullus barbatus*) vanust. Uuringu tulemuseks saadi 64,4% täpsus vanuse määramisel. Probleeme tekitasid vanemad kalad, kelle otoliitidelt on raskem aastaringe välja lugeda ning vanemate kalade harv esinemine, mistõttu on sisendandmed nende põhjal puudulikud. Seega soovitatakse artiklis edaspidiste uuringute jaoks rohkem vanemate kalade otoliitide fotosid hankida, et saaks piisavad sisendandmed. Ordoñez jt (2022) uuringu eesmärgiks oli ühe labori sisendandmete põhjal määrata teises laboris kalade vanust otoliitide fotode pealt (inglk: *domain adaption*). Katsetati erinevate lähenemistega ning tulemustest selgus, et täpsemate tulemuste saamiseks on vaja andmestikku ning fotosid modifitseerida. Peamine probleem seisneski kahe andmestiku erinevustes, kus näiteks fotodel olid erinevad omadused. Treenides uut süsteemi manuaalselt, saadi paremad tulemused, näiteks koosnesid esimese labori puhul fotod nii paremast kui ka vasakust otoliidist, teise labori puhul ainult parempoolsetest. Seega, paremate tulemuste saamiseks, lõigati fotodelt vasakpoolne otoliit välja ning jätkati vaid fotodega parempoolsetest otoliitidest. Benson jt (2023) uuringus kasutati sügavõppet koos Fourieri lähi-infrapuna-spektroskoopiaga (FT-NIR). Meetodi põhimõte on leida kala vanus nii, et treenitud mudelil on kasutada spektroskoopia andmed otoliidist ning andmed kalade kohta. Sisendandmeteks anti kalade bioloogilised andmed nagu kala pikkus, kaal ja sugu ning georuumilised andmed nagu laiuskraadid. Otoliidi vaatlusel suutis sügavõppe algoritm ise vajaliku informatsiooni eraldada ning kasutas seda vanuse määramisel. Enim mõju vanuse määramisel oli kalade pikkusel. Uuringu tulemused olid sama täpsed või isegi täpsemad kui mikroskoobi abil vanuse määramine ekspertide poolt. Kusjuures masina puhul olid

vanemate kalade vanuse määramise tulemused täpsemad (kallutatus oli väiksem). Antud meetodit hinnati keskmiselt kümme korda kiiremaks, kui traditsioonilist mikroskoobi abil vanuse määramist otoliitidega. Ordoñez jt (2022) toovad välja põhjuseid, miks seni pole välja töötatud universaalset sügavõppe mudelit. Esiteks võib erinevates laborites süsteem toimida erineva täpsusega, kuna sisendandmed varieeruvad ja seega kannatavad tulemused. Andmete erinevustel võib olla mitmeid põhjuseid, näiteks mõned laborid kasutavad otoliite, millelt on aastaringide välja lugemine raskem kui teistelt otoliitidelt. See tuleneb kalade elukeskkonnast ja aastaajast, millal kala püüti. Samuti kasutavad mõned laborid ainult õhikuid otoliidist, samas kui teised laborid vaatavad tervet otoliiti. Lisaks võivad otoliitide ettevalmistamise ja hoiustamise erinevused mõjutada otoliidilt loetavaid aastaringe. Veel tuuakse võimalike erinevuste põhjustajatena välja erineva kvaliteediga varustus nagu kaamera ning valgustus.

Tabel 1. Ülevaatlük tabel vanuse määramise meetoditest

Meetod	Invasiivne või mitteinvasiivne	Eelised	Puudused
Soomused	Mitteinvasiivne	Lihtne koguda ja vaadelda; palju uuritud; odav	Enamasti ebatäpsem, kui teised meetodid, eriti vanemate kalade puhul; kõik aastaringid ei pruugi peal olla, resorbeerumise oht
Otoliidid	Invasiivne	Päevase täpsusega vanuse määramine; palju uuritud üldiselt kõige usaldusväärsem	Olenevalt prepareerimisest võib olla kallis, ajakulukas
Otoliidi mikrokeemia	Invasiivne	Saab kasutada liikide puhul, kelle vanust on raske määrata; saab kasutada teiste meetodite valideerimiseks	Nõuab aega, ressursse, erivarustust
Radiosüsink (otoliitidega)	Invasiivne	Vanade kalade vanuse väga täpselt määramine	Nõuab aega, ressursse, erivarustust
Uimekiired ja ogad	Mitteinvasiivne	Kiire ja lihtne kogumine ja prepareerimine; odav	Kõik aastaringid ei pruugi peal olla, resorbeerumise oht
Lõpusekaane luu	Invasiivne	Lihtne koguda ning vaadelda; odav	Kõik aastaringid ei pruugi peal olla, resorbeerumise oht

Sõlgluu	Invasiivne	Esineb liik(e), kelle puhul täpne; odav	Paljude liikide puhul ebatäpne; Vähe uuritud
Ülalõualuu	Invasiivne (ühes uuringus mitteinvasiivne)	Ühest luust saab mitu osa, millelt määrata; lihtne koguda ja prepareerida	Vähe uuritud
Selgrootülid	Invasiivne	-	Enamasti ebatäpne
alalõualuu	Invasiivne	Esineb liik(e), kelle puhul täpne	Vähe uuritud
Gulaar plaat	Invasiivne	Lihtne prepareerida ja vaadelda	Vähe uuritud
Tiibluu	Invasiivne	Esineb liik(e), kelle puhul täpne	Vähe uuritud
Masinõpe (otoliitidega)	Invasiivne	Objektiivne hinnang; kiirus	Pole kindlat mudelit, mis igas laboris töötaks; vajab teatud tehnika olemasolu; vajab veel uurimist

5. Kalade vanuse määramine Eestis

Ojaveer jt (2003) on koostanud ülevaate Eestis elavatest kaladest, kus muuhulgas käsitletakse ka erinevate liikide vanuseid ja kasvukiirusi. Tuleb mainida, et vanuse määramise meetod ei ole nimetatud ülevaates iga kalaliigi puhul välja toodud. Otolitiide kasutamist kala vanuse määramisel on mainitud räime, kilu, angerja, hingu (*Cobitis taenia*), lutsu ning nolguse (*Myoxocephalus scorpius*) puhul. Lõpusekaane luud on kasutatud ahvena, ogaliku ning kiisa (*Gymnocephalus cernua*) puhul. Enim leidub raamatus kalade vanuse määramist soomuste abil, mainitud on seda erinevate karplaste, jõforelli (*Salmo trutta fario*), merisiia (*Coregonus lavaretus lavaretus*), peipsi siia, haugi, hingu, vingerja (*Misgurnus fossilis*), trullingu (*Barbatula barbatula*) ning ahvena puhul. Lisaks on mainitud tiibluu kasutamist vanuse määramisel haugi puhul. Lõhi (*Salmo salar*) puhul on mainitud märgistamist. Siiski tuleb märkida, et Ojaveer jt (2003) ülevaade on juba rohkem kui 20 aastat vana ning seega ei peegelda täielikult tänapäeval Eestis ja mujal maailmas kasutatavaid meetodeid.

M. Rohtla suusõnaliste andmete kohaselt kasutatakse tänapäeval soomuseid vanuse määramisel näiteks meriforelli (*Salmo trutta trutta*), lõhi, merisiia, räime, kilu ning räabise (*Coregonus albula*) puhul. Lõpusekaane luud kasutatakse ka koha vanuse määramisel. Haugi vanuse määramisel kasutatakse nii tiibluud, sõlgluud kui ka selgrootülisid. Samuti toob ta välja, et lestaliste (*Pleuronectidae*) puhul kasutatakse otoliitide murdmise või ristlõike tegemise meetodit. Masinõppe, otoliitide mikrokeemia ja radiosüsiniku meetodit pole teadaolevalt Eestis senimaani kasutatud.

Eesti kaladest on avaldatud ka tänapäevaseid teadustöid, kus muuhulgas on mainitud uuringus kasutatud kala vanuse määramise meetodit. Otoliiite on kasutatud vanuse määramisel lutsu (Rohtla jt, 2014), säina (Rohtla jt, 2015), kiisa (Svirgsden jt, 2015), lepamaimu (*Phoxinus phoxinus*) (Svirgsden jt, 2018), meriforelli (Taal jt, 2018), angerja (Silm jt, 2017), ümarmudila (Järv jt, 2017) ning jõelesta (Drevs, 1999; Drevs jt, 1999) puhul. Soomuseid on kasutatud jõelesta puhul (Drevs, 1999). Haugi puhul on kasutatud tiibluud, sõlgluud ja selgrootülisid (Reilent, 2016). Tabelis 2 on ülevaatlikult välja toodud Eestis kasutatud vanuse määramise struktuurid ning liigid, kelle vanust antud struktuuriga on määratud.

Tabel 2. Eestis seni kasutatud vanuse määramise meetodid. Ühel real olevad kalaliigid on samast sugukonnast.

Vanuse määramise struktuur	Liigid
Soomused	kõik Eesti karplased jõeforell; merisiig; peipsi siig, lõhi ahven haug jõelest hink; vingerjas trulling
Otoliidid	räim; kilu angerjas meriforell luts säinas; lepamaim jõelest kiisk ümarmudil hink noligus
Lõpusekaane luu	ahven; koha ogalik
Tiibluu, sõlgluu, selgrootülid	haug

6. Kalade vanuse määramise näited Eesti põhiliste taksonite näitel

Käesolevas peatükis käsitletakse teaduskirjanduse näitel Eesti jaoks olulisemate liikide ja taksonite vanuse määramist. Välja tuuakse erinevad meetodid, nende usaldusväärsus ning võimalusel ka teiste autorite hinnangud erinevatele vanuse määramise meetoditele.

Lõhilased

Eestis määratakse lõhilaste (*Salmonidae*) vanust peamiselt soomuste abil (Ojaveer jt, 2003; M. Rohtla, suusõnalised andmed). Teadustöodes aga täheldatakse, et üle kahe aasta vanade lõhilaste vanuse määramine soomustega on keeruline (Hining jt, 2000; Stolarski ja Hartman, 2008). **Pärislõhelaste** alamsugukonna (*Salmoninae*) puhul on saadud usaldusväärsemaid tulemusi otoliitidega vanust määrates (Hining jt, 2000; Stolarski ja Hartman, 2008; Gallagher jt, 2021). Copeland jt (2007) uuringus saadi kuninglõhe (vanuses 1-3) vanuse määramisel paremaid tulemusi uimekiirtega kui soomustega. Seevastu Stolarski ja Hartman (2008) hindasid soomustega vanuse määramist tõhusamaks kiirema määramisprotsessi ning paremate tulemuste tõttu. Wellenkamp jt (2015) uurisid võimalust kasutada ülalõualuud halli paalia vanuse määramisel. Antud uuringus oli vanuse määramine ülalõualuuga täpsem kui otoliitidega. Wellenkamp jt (2018) uurisid taaskord ülalõualuu kasutamist halli paalia vanuse määramisel, kuid sellel korral katsetati seda mitteinvasiivse meetodina. Kaladelt eemaldati osa ülalõualuust või kogu ülalõualuu. Kuue kuu möödudes oli elus 97% kaladest. Kuni 3 aastaste kalade vanus määrati 100% täpsusega ning kuni 12 aastaste kalade vanus määrati 67% täpsusega. **Siiglaste** alamsugukonna (*Coregoninae*) puhul määratakse vanust enamasti soomustega, uimekiirtega ning otoliitidega (Mills ja Chalanchuk, 2004; Muir jt, 2008; Uzunova jt, 2020). Kõik eelmainitud teadustööd soovivad uimekiirte kasutamist, sest nende abil jõutakse peaaegu alati täpseimate tulemusteni suure korratavusega ning nendega töötamine on kiire ja odav.

Ahvenlased

Enim on ahvenlaste (*Percidae*) vanust määratud soomustega (Baker ja McComish, 1998; Vandergrout jt, 2008; Isermann jt, 2018;), otoliitidega (Vandergrout jt, 2008; Isermann jt, 2018;), pärakuuime ogadega (Vandergrout jt, 2008; Isermann jt, 2018;) ning lõpusekaantega (Le Cren, 1947; Baker ja McComish, 1998). Eestis on senimaani ahvenlaste vanust määratud soomustega ning lõpusekaantega (Ojaveer jt, 2003; M. Rohtla, suusõnalised andmed). Kiisa puhul on kasutatud ka otoliite (Svirgsden jt, 2015).

Lõpusekaantega ahvena vanuse määramise eelistest kirjutas varakult Le Cren (1947), kus eelised otoliitide ees seisnesid lõpusekaante eemaldamise ning prepareerimise lihtsuses ning kiiruses. Baker ja McComish (1998) võrdlesid kollase ahvena puhul lõpusekaantega ning soomustega vanuse määramise meetodeid. Lõpusekaante korratavus oli suurem ning nende kasutamisel on tõenäolisem määrata täpsemalt vanemate isendite (vanemad kui 4 aastat) vanust. Seevastu Isermann jt (2018) leidsid, et soomused annavad kollase ahvena puhul teiste meetoditega sarnased tulemused, kui kalad on vanuses 5 või vähem.

Karplased

Sarnaselt teistele kaladele on karplaste vanuse määramise peamiseks meetodiks olnud soomused (Jackson, 2007; Jackson jt, 2007; Phelps jt, 2007; Koch jt, 2009; Marinović jt, 2016; Vilizzi, 2018; Kyritsi ja Kokkinakis, 2020). Lisaks on karplaste vanuse määramisel kasutatud ka otoliite (Brown jt, 2004; Phelps jt, 2007; Quist jt, 2007), selgrootülisid (Phelps jt, 2007), uimekiiri (Phelps jt, 2007; Quist jt, 2007), lõpusekaasi (Phelps jt, 2007; Quist jt, 2007), sõlguid (Quist jt, 2007) ning karpkala puhul seljauime oga (Jackson jt, 2007). Eestis on Ojaveer jt (2003) välja toonud, et karplaste puhul kasutatakse vanuse määramisel ainult soomuseid. Svirgsden jt (2018) uurisid lepamaimude vanuse määramist otoliitide abil. Brown jt (2004) valideerisid otoliitide abil vanuse määramise 0-14-aastaste karpkalade puhul. Phelps jt (2007) võrdlesid oma uuringus otoliitide tulemusi soomuste, selgrootülide, lõpusekaante ja kõhuuime kiirtega, võttes aluseks eelnevalt mainitud teadustöö. Täpsemad tulemused andsid uimekiired, mille tulemused olid väga lähedal otoliitidele (vanuses 0-13). Teiste meetodite tulemused olid märgatavalt halvemad. Jackson jt (2007) uuringus saadi karpkala puhul soomustega vanuse määramisel korratavuseks 28,5% ning selja ogaga 90,6%. Marinović jt (2016) kasutasid särje vanuse määramisel soomuseid ning seal saadi vanuse määrajate vahel kõrge korratavus.

Heeringlased

Kilu ja räime vanust määratakse peamiselt otoliitidega (Peltonen jt, 2002; Ojaveer jt, 2003; Torstensen jt, 2004; Polat, 2008; Moore jt, 2019). Samuti on Eestis määratud kilu ja räime vanust soomustega (M. Rohtla, suusõnalised andmed). Polat (2008) uuringus plaaniti võrrelda kilu puhul mitme struktuuri vanuse määramise korratavust, kuid pärast struktuuride prepareerimist jäeti alles vaid otoliidid, sest teised struktuurid polnud sobilikud vanuse määramiseks. Moore jt (2019) teadustöös uuriti kilude vanust, kasutades otoliite. Kilud olid vanuses 0-2 ning tulemused vanuse määramisel olid head. Nõusolek määrajate vahel oli 93,3%. Peltonen jt (2002) määrasid räime vanust nii tervete otoliitidega kui ka otoliidi ristlõikega. Keskmine räime vanus oli väiksem, kui määrata vanust tervete otoliitidega.

Lestlased

Lestlaste vanust määratakse peamiselt otoliitidega (Beaumont ja Mann, 1984; Dwyer jt, 2003; Masubuchi jt, 2024). Eestis on lestlaste vanust määratud soomustega (Drevs, 1999) ning otoliitidega (Drevs, 1999; Drevs jt, 1999). Dwyer jt (2003) uuringus saadi valideeritud ruske soomuslesta puhul täpsemad tulemused otoliitide õhikutega, millega suudeti täpselt määrata kuni 13 aastaste kalade vanus. Terve otoliidiga suudeti täpselt määrata kuni 7 aastaste kalade vanus. Täiskasvanud lestade puhul on Eestis rutiinselt kasutusel nn maatriks-lõike meetod, kus üheaegselt valatakse epoksiidi kümneid otoliite (M. Rohtla, suusõnalised andmed).

Mudillased

Ümarmudila vanust on määratud otoliitidega (Florin jt, 2018; Rybczyk jt, 2020; Aydın, 2021) ning soomustega (Rybczyk jt, 2020). Eestis on ümarmudila vanust määratud otoliitidega (Järv jt, 2017). Van ja Gumus (2021) uurisid musta mudila puhul otoliitide, selgoolülide ning soomuste korratavust. Parimad tulemused saadi otoliitidega ja kõige madalamad tulemused olid soomustega. Florin jt (2018) võrdlesid ümarmudila puhul terve otoliidi ning otoliidi ristlõike ja värvimise meetodeid. Terve otoliidiga vanuse määramine osutus ebatäpsemaks.

Haug

Haugi vanuse määramiseks on kasutatud soomuseid (Casselman, 1990; Laine jt, 1991; Oele jt, 2015), sõlgluud (Casselman, 1990; Laine jt, 1991; Faust jt, 2013; Oele jt, 2015), otoliite (Casselman, 1990; Faust jt, 2013), uimekiiri (Oele jt, 2015) ja tiibluud (Sharma ja Borgstrøm, 2007; Blackwell jt, 2016). Üldiselt soovitatakse haugi puhul vanuse määramiseks kasutada sõlgluud (Casselman, 1990; Laine jt, 1991; Faust jt, 2013; Oele jt, 2015), kuna see annab kõige täpsemad tulemused, ei vaja spetsiaalset varustust ja vanuse määramise protsess on otoliitidest kiirem (Faust jt, 2013). Lisaks sobib haugi vanuse määramiseks ka tiibluu (Sharma ja Borgstrøm, 2007; Blackwell jt, 2016). Kui kala tuleb ellu jätta, soovitatakse võimalusel kasutada pärakuuime kiiri (Oele jt, 2015). Samas andsid soomused Laine jt (1991) teadustöös noorte haugide (kuni 10 aastased) puhul täpsed tulemused. Eestis kasutatakse Matsalu lahe haugi vanuse määramisel samaaegselt tiibluud, sõlgluud ja selgroolüli, sest nimetatud struktuuride loetavus võib ühe isendi puhul erineda (M. Rohtla, suusõnalised andmed).

Luts

Eestis on lutsu vanust määratud otoliitidega (Ojaveer jt, 2003; Rohtla jt, 2014). Mujal maailmas on samuti enamasti kasutatud otoliite (Stapanian jt, 2007; Edwards jt, 2011; Klein jt, 2014). Edwards jt (2011) uuringus võrreldi otoliidi õhiku meetodit murdmise ning põletamise meetodiga. Parem korratavus oli õhiku meetodil. Klein jt (2014) võrdlesid vanuse määramise täpsust otoliitide ning erinevate uimekiirte vahel. Kõikide uimekiirte tulemused olid ebatäpsed, mistõttu nende kasutamist ei soovitatud.

Euroopa angerjas

Angerjate vanust määratakse otoliitidega (Paulovits ja Biró, 1986; Melià jt, 2006; Simon, 2015). Ka Eestis on kasutatud otoliitidega angerja vanuse määramist (Ojaveer jt, 2003; Silm jt, 2017). Silm jt (2017) uuringus prepareeriti otoliite murdmise ning põletamise meetodiga. Antud uuringus kannatas kordustäpsus vanade isendite ning otoliitidel olevate võltsaastaringide tõttu. Moriarty (1983) kasutas samuti murdmise ning põletamise meetodit otoliitide vaatamisel.

7. Arutelu

Soomustega luukalade vanuse määramine on küll levinud, kuid paljude allikate põhjal annavad soomused kalade vanuse kohta ebatäpseid tulemusi (Koch jt, 2009; Van ja Gumus, 2021). Siiski on mitmel puhul täheldatud, et noorte isendite puhul on soomustega luukalade vanust võimalik täpselt määrata (Hining jt, 2000; Stolarski ja Hartman, 2008). Soomustega vanuse määramisel on siiski mitmeid eeliseid nagu kogumise kiirus, prepareerimise lihtsus ning samuti on see mitteinvasiivne. Kuna teadustöodes on kindel hulk ressursse, siis on mõistetav, et vanuse määramise meetodi valik võib langeda soomuste kasuks. Puudulike ressursside tõttu jääb soomustega vanuse määramine alati oluliseks meetodiks.

Otoliitidega luukalade vanuse määramine annab paljude liikide puhul täpsemad tulemused. Juba pikemat aega on enamus vanuse määramise uuringutes kasutatud otoliite. Otoliidid talletavad endas tohutult informatsiooni, mis võimaldab nende peal kasutada mikrokeemiat ning radiosüsinikmeetodit. Samuti kasutatakse masinõppega vanuse määramisel otoliitide fotosid. Lisaks pakuvad otoliidid ainulaadset võimalust määrata kala vanust päevase täpsusega.

Teisi vanuse määramise meetodeid on vähem kasutatud. Enim nendest määratakse vanust erinevate uimede kiirtega, sest see meetod on mitteinvasiivne ning kogumine ja prepareerimine on kiire. Ülejäänud vanuse määramise struktuure on vähem uuritud ning mitmel puhul saab teatud struktuuriga täpset vanust määrata vaid üksikute liikide puhul. Näiteks sõlgluud ja tiibluud kasutatakse peamiselt haugi vanuse määramisel. Kõige kiiremini arenev vanuse määramise meetod on tõenäoliselt masinõpe. Masinõppega on võimalik vanuse määramise protsessi kordades kiirendada ning seega teha määrajate töö kergemaks. Ka Eestis oleks soovituslik proovida mõne liigi otoliitide fotodega masinat treenida ning seeläbi vanust määrata.

Lõhilaste sugukonnast on Eestis esindatud liigid nagu näiteks meriforell, merisiig ja räabis, kes kõik omavad kõrget kalanduslikku väärtust. Eestis määratakse lõhilaste vanust peamiselt soomuste abil (Ojaveer jt, 2003; M. Rohtla, suusõnalised andmed).

Pärislõhelaste vanust tuleks ka Eestis vanemate isendite puhul määrata otoliitide abil. Ka nooremate isendite puhul tuleks võimalusel kasutada otoliite, kuid soomused ning uimekiired peaksid samuti andma võrdlemisi täpsed tulemused (Copeland jt, 2007;

Stolarski ja Hartman, 2008). Kaaluda võib ka igas vanuseklassis kalade ülalõualuu kasutust, kuna Wellenkamp jt (2015) uuringus saadi ülalõualuuga täpsemad tulemused kui otoliitidega. Siiski oleks vaja rohkem teadustööd ülalõualuuga vanuse määramisel, et selle meetodi usaldusväärsust testida. Juhul, kui kala ei saa surmata, tuleks jätkata harjumuspäraselt soomustega vanuse määramist. Samuti on väheste ressursside olemasolul soovitatavaks meetodiks soomuste abil vanuse määramine. Üldiselt vajavad mitteinvasiivsed meetodid, nagu uimekiirtega vanuse määramine, rohkem uurimist, et vanemate isendite puhul saaks usaldusväärsed tulemused (Gallagher jt, 2021). Wellenkamp jt (2018) teadustöö põhjal tuleks edasi uurida ülalõualuu kasutamist mitteinvasiivse meetodina, kuna antud uuringu tulemused olid väga positiivsed. Uurida võiks selle meetodi tõhusust nii teiste lõhilaste kui ka teiste taksonite puhul. **Siiglaste** puhul on soovitatav usaldusväärsemate tulemuste saamiseks soomuste asemel kasutada uimekiiri või otoliite. Kuigi uimekiirte ning otoliitide kasutamine annab sarnased tulemused, siis uimekiirte kasutamisel on võimalus kala ellu jätta ning uimekiirtega töötamine on reeglina odavam ja kiirem. Seetõttu on praeguste teadmiste juures siiglaste puhul kõige optimaalsem vanust määrata uimekiiri kasutades.

Ahvenlaste sugukonnast esineb Eestis kolm liiki, ahven, koha ning kiisk. Ahvenat ja koha püütakse ka töönduslikel eesmärkidel. Ahven on koos haugiga enim levinud liik Eesti järvedes (Pihu, 1993, viidatud Ojaveer jt, 2003 kaudu). Usaldusväärsemate tulemuste saamiseks tuleks võimalusel eelistada ahvenlaste vanuse määramisel otoliite. Kiirema ning odavama alternatiivina võib kaaluda lõpusekaante kasutamist nagu seda ka Eestis enamasti tehakse. Mitteinvasiivse meetodi kasutamise vajadusel võib kaaluda nii pärakuuime ogade kui ka soomuste kasutamist.

Karplased ehk karpkalalased on liigirikkaim kalade sugukond nii maailmas (Fricke jt, 2024) kui ka Eestis (Ojaveer jt, 2003). Kuigi vanuse määramise meetodite täpsus võib liigiti erineda, soovitatakse karplaste puhul usaldusväärsete tulemuste saamiseks võimalusel kasutada otoliite. Kiirema alternatiivina tuleks kaaluda uimekiirte kasutamist. Mitteinvasiivse meetodi vajadusel on soovituslik kasutada uimekiiri, sest need on soomustest mitme uuringu põhjal usaldusväärsemate tulemustega. Soomuste kasutamine õigustaks ennast noorte kalade vanuste määramise puhul.

Heeringlaste (*Clupeidae*) sugukonnast esineb Eestis räim, kilu ning vinträim (*Alosa fallax*). Nendest esimesed kaks on ajalooliselt olnud ühed tähtsaimad püügikalad

Läänemeres. Kõik allikad viitavad sellele, et kilu ja räime vanuse määramisel tuleks usaldusväärsete tulemuste saamiseks kasutada otoliite. Kusjuures tuleb kaaluda erinevaid prepareerimismeetodeid. Kiirem ning ainus alternatiiv on vanuse määramine soomustega. Kuna tavaliselt on uuritavate heeringlaste hulk väga suur, siis tuleks kaaluda masinõppe kaasamist vanuse määramisse. See aitaks suure arvu kalade vanust määrata automatiseeritult ning pikas perspektiivis määrajate vaeva vähendada ja protsessi kiirendada.

Lestlaste sugukonnast esineb Läänemeres läänemere lest (*Platichthys solemdali*), euroopa jõelest (*Platichthys flesus*) ning merilest (*Pleuronectes platessa*). Neist kaks esimest on ka töenduslikult olulised, merilest on Läänemeres vähearvukas. Lestlaste puhul on usaldusväärsete tulemuste saamiseks mõttekas kasutada otoliitidega vanuse määramist. Rõhku tuleks panna otoliitide prepareerimismeetoditele. Terve otoliidi kasutamine on kiirem ning nõuab vähem ressursse, kui teised prepareerimismeetodid. Otoliitide õhikute kasutamine nõuab rohkem ressursse, kuid suudab vanemate isendite vanust täpsemalt määrata. Täiskasvanud lestade puhul on Eestis rutiinselt kasutusel nn maatriks-lõike meetod, kus üheaegselt valatakse epoksiidi kümneid otoliite (M. Rohtla, suusõnalised andmed). Noorte isendite vanust võib siiski määrata tervete otoliitidega, et ressursse kokku hoida.

Mudillaste (*Gobiidae*) sugukonnast elab Eesti vetes mitmeid liike. Nende hulgas on ka ümarmudil, kes on Eestis võõrliik. Tema arvukus Läänemeres on paarikümne aastaga hüppeliselt tõusnud ning praeguseks püütakse teda töenduslikult ka Eestis. Võrreldes teiste sugukondadega, on mudillaste vanuse määramise meetodite kohta vähem uuringuid. Üldiselt saab öelda, et otoliitidega vanuse määramine on mudillaste puhul tõhusaim vanuse määramise meetod. Alternatiivsete meetodite vajadusel võib katsetada meetodeid, mis on soovitatud ahvenlaste sugukonna puhul, sest nii mudillaste kui ahvenlaste sugukond kuulub ahvenaliste seltsi. Kuna mudillaste vanuse määramist on vähem uuritud, siis tuleks kaaluda teiste vanuse määramise meetodite valideerimist otoliitide mikrokeemia abiga.

Haug on Eestis laialt levinud ja omab suurt majanduslikku tähtsust. Haugi vanust on soovituslik määrata eelkõige sõlgluuga, kuid alternatiividena on otoliidid ja tiibluu samuti usaldusväärsed meetodid. Eestis kasutatakse Matsalu lahe haugi vanuse määramisel samaaegselt tiibluud, sõlgluud ja selgrootüli, sest nimetatud struktuuride loetavus võib ühe isendi puhul erineda (M. Rohtla, suusõnalised andmed). Tõenäoliselt on mõistlik

eelmainitud rutiiniga jätkata. Mitteinvasiivse meetodina on välja pakutud pärakuuime kiired (Oele jt, 2015). Noorte kalade puhul võib vanust määrata ka soomustega.

Luts kuulub lutslaste (*Lotidae*) sugukonda ning on Eestis teisejärguline töenduslikult püütav kala (Ojaveer jt, 2003). Paljude allikate põhjal on otoliidid lutsu vanuse määramisel ainsaks usaldusväärseks struktuuriks. Lutsu vanuse määramisel otoliitidega tuleb siiski arvestada, et prepareerimiseks on mitmeid võimalusi, mille täpsus ja ressursside nõudlus erinevad üksteisest. Klein jt (2014) proovisid leida lutsu vanuse määramiseks mitteinvasiivset meetodit, kuid sealses uuringus kasutatud struktuure (erinevate uimede kiired) ei soovitatud.

Euroopa angerja püük Eestis on olnud pikka aega töendusliku tähtsusega, kuid seoses angerjavaru kokkukukkumisega tänapäeval enam mitte (v.a. Võrtsjärv, kuhu angerjat ümberasustatakse). Angerja vanuse määramiseks kasutatakse alati otoliite, mis on ka tõhusaim meetod. Siiski tuleb otsus teha otoliidi prepareerimise meetodi valimisel.

Tavapärase meetod, mida on ka Eestis praktiseeritud, on otoliidi murdmise ja põletamise meetod. Parima tulemuse saab siiski otoliidi ristlõike tegemisel ja selle värvimisel neutraalpunase või toludiin sinisega (M. Rohtla, suusõnalised andmed).

Vanuse määramise meetodite valik toetub enamasti läbi viidud teadustöödele, kus on mõne meetodi täpsus valideeritud või korratavus arvatud. Meetodite valideerimisi esineb harvem, sest see nõuab tihtipeale palju aega. Esineb palju liike, kelle puhul pole vanuse määramise meetodite täpsuseid hinnatud või on seda tehtud ebapiisavalt. Kui uuritava liigi puhul pole meetodite täpsust hinnatud, tuleks esimesel võimalusel vaadata sarnaseid liike, näiteks samast perekonnast või sugukonnast. Samuti on igal juhul kasulik määrata kala vanust mitme meetodiga samal ajal, et kokku saada võimalikult täpsed andmed, kuid see nõuab rohkem aega ja ressursse. Kõikide käsitletud kalade puhul on otoliitidega vanuse määramine kas soovituslik või hea alternatiiv. Masinõpet ei ole teadaolevalt veel Eestis praktiseeritud, kuid tulevikus tasub masinõppe kaasamist kindlasti kaaluda, sest sealäbi saab vanuse protsessi kiiremaks ning määrajate töö kergemaks. Samuti tuleks kaaluda mõne liigi puhul vanuse määramise meetodite valideerimist otoliitide mikrokeemia abiga. Ülevaatlilikult on käsitletud taksonid ning nende puhul soovitatavad meetodid välja toodud Tabelis 3.

Tabel 3. Ülevaatluk tabel kaladest erinevatest taksonitest Eestis ning nende puhul soovitatavatest vanuse määramise meetoditest. Sugukond (S), alamsugukond (A), liik (L). Soovitatav meetod on suurima täpsusega (kõige usaldusväärsem). Alternatiivsed meetodid on võrreldes soovitatava meetodiga kas väiksema täpsusega, vähem ressursse nõudvamad või mitteinvasiivsed meetodid. *Noorte kalade puhul

Takson	Soovitatav meetod	Alternatiivsed meetodid
Pärislõhelased (A)	otoliidid; ülalõualuu	soomused*; uimekiired*
Siiglased (A)	uimekiired	otoliidid
Ahvenlased (S)	otoliidid	lõpusekaane luu; pärauuime ogad; soomused
Karplased (S)	otoliidid	uimekiired, soomused*
Heeringlased (S)	otoliidid	soomused; masinõpe
Lestlased (S)	otoliidid	-
Mudillased (S)	otoliidid	otoliitide mikrokeemia
Haug (L)	sõlgluu	uimekiired; otoliidid, tiibluu; soomused*
Luts (L)	otoliidid	-
Angerjas (L)	otoliidid	-

Kokkuvõte

Luukalade vanuse teadmine on oluline kalavarude jätkusuutliku majandamise seisukohast. Kala vanuse teadmine võimaldab arvutada mitmeid olulisi kalamajanduslikke parameetreid nagu suremus, kasvukiirus ja suguküpsus. Kala vanusega eksimine võib mõjutada kalamajanduslikke otsuseid ning seega ohustada kalavarusid.

Käesolevas töös on esitatud peamised meetodid luukalade vanuse määramiseks, alustades soomuste aastaringide lugemisest ja lõpetades sügavõppe kaasamisega otoliitidega vanuse määramisel. Meetodi valik sõltub suuresti vanuse määramise eesmärgist, vanuse määraja pädevusest ning olemasolevast varustusest ning ressurssidest. Samuti sõltub meetodi valik uuritava liigi kaitsestaatuselt ja asurkonna seisundist, kuna enamike vanuseliste struktuuride kasutamine eeldab kala surmamist.

Eestis on seni luukalade vanuse määramisel kasutatud soomuseid ning otoliite, harvem on kasutatud lõpusekaasi (ahven, ogalik, kiisk) ning haugi puhul ka tiibluud, sõlgluud ning selgrootülisid (Tabel 2). Lisaks eelmainitule, on mujal maailmas luukalade vanust määratud otoliitide mikrokeemiaga, radiosüsinikmeetodiga, uimekiirtega, ogadega, üla- ning alalõualuuga, gulaarplaadiga ja masinõppega. Tabelis 1 on ülevaetlikult esitatud kõikide meetodite eelised ning puudused.

Arutelus on välja toodud Eestis levinumate ning majanduslikult tähtsamate luukalade taksonite puhul kasutatavad vanuse määramise meetodid ning nende tõhusus. Selle abil on võimalik võrrelda Eestis kasutatavaid vanuse määramise meetodeid mujal maailmas kasutatavate meetoditega. Võimalusel on soovitatud seni Eestis kasutatavatele meetoditele alternatiive, et kala vanuse määramise tulemused oleksid võimalikult usaldusväärsed. Pärislõhelaste puhul selgus, et vanust on soovitatav määrata otoliitide abil, kuid kaaluda võib ka ülalõualuu, soomuste ning uimekiirte kasutust. Siiglaste vanust tuleks Eestis määrata soomuste asemel uimekiirtega või otoliitidega. Haugi vanust on võimalik täpselt määrata otoliidiga, sõlgluuga ning tiibluuga. Ahvenlaste puhul saab usaldusväärseimad tulemused otoliitide vanust määrares, kuid lõpusekaante kasutamine on hea alternatiiv. Karplaste puhul saab täpse vanust otoliitide abil, alternatiivina on välja toodud uimekiirte kasutamine. Heeringlaste vanust tuleks määrata otoliitidega, ainus alternatiiv on soomustega vanuse määramine, samuti tuleks kaaluda masinõppe kaasamist heeringlaste vanuse määramisel. Mudillaste, lestlaste, lutsu ning euroopa angerja vanust peab

usaldusväärsete andmete saamiseks määrama otoliitidega, sest teised meetodid on ebatäpsed või neid meetodeid ei ole piisavalt uuritud. Üldiselt saab Eesti kalade puhul täpsed tulemused otoliitidega vanust määrates, kuid tulenevalt erinevatest teguritest ei pruugi täpseima meetodiga vanuse määramine olla kõige optimaalsem valik. Seetõttu on käesolevas töös välja pakutud ka alternatiivseid meetodeid vanuse määramiseks (Tabel 3).

Summary

Knowledge of the age of bony fish is essential for the sustainable management of fish stocks. Knowing the age of fish allows to calculate important fisheries parameters, such as mortality, growth rate and sexual maturity. Errors in the estimated age of fish may affect fisheries' decisions and therefore endanger fish stocks.

This paper presents the main methods used to estimate the age of teleosts, from counting annuli from scales to incorporating deep learning into age estimation using otoliths. The choice of method depends largely on the purpose of the age estimate, the competence of the age determiner and the equipment and resources available. The choice of method also depends on the conservation status of the test species and the status of the population, as most age structures require the killing of fish.

In Estonia, the age of bony fishes has so far been determined by using scales and otoliths. Operculum (perch, pikeperch, ruffe) has been used less frequently. In estimating the age of pike cleithrum, metapterygoid bones and vertebrae are used (Table 2). In addition to the above, the age of bony fishes in other parts of the world has been determined by otolith microchemistry, radiocarbon method, fin rays, spines, upper and lower jaws, gular plate and machine learning. Table 1 gives an overview of the advantages and disadvantages of each method.

The discussion presents the methods used to determine the age of bony fish taxa, which are more common and economically important in Estonia. This enables a comparison of the age determination methods used in Estonia with those used in other parts of the world.

Where possible, alternatives to the methods used so far in Estonia have been recommended in order to ensure that the results of determining the age of fish are as reliable as possible.

In the case of Salmoninae, it appeared that it is recommended to use otoliths to determine age, but the use of the upper jaw, scales and fin rays may also be considered. The age of Coregoninae in Estonia should be determined by fin rays or otoliths instead of scales. The age of pike can be precisely determined with otoliths, cleithrum and metapterygoid bones. For perch, the most reliable results can be obtained by determining the age using otoliths, but the use of the operculum is a good alternative. In the case of Cyprinidae, the exact age can be obtained with otoliths, alternatively, the use of fin rays is indicated. The age of Clupeidae should be determined by otoliths, the only alternative is age determination with

scales. The inclusion of machine learning in the age determination of Clupeidae should also be considered. The age of Pleuronectidae, Gobiidae, burbot and European eels must be determined by otoliths in order to obtain reliable data, as other methods are inaccurate or have not been sufficiently studied. In general, for Estonian bony fishes, accurate results can be obtained by determining the age with otoliths, but due to various factors, age determination using the most accurate method may not always be the most optimal option. Therefore, alternative methods for age determination have also been proposed in this work (Table 3).

Tänuavaldused

Autor soovib tänada eelkõige juhendajat Mehis Rohtlat, kes aitas tööd hoida õigel kursil, jagas näpunäiteid ning andis ülevaate tänapäeval Eestis kasutatavatest vanuse määramise meetoditest. Samuti tuleb tänada lähedasi, kelle toetus mängis suurt rolli selle töö valmimisel.

Kasutatud allikad

(viidatud APA järgi)

- Adams, L. A. (1931). Determination of age in fishes. *Transactions of the Illinois Academy of Science*, 23, 219-226.
- Aydın, M. (2021). Age, Growth and Reproduction of *Neogobius melanostomus* (Pallas 1814) (Perciformes: Gobiidae) in the Southern Black Sea. *Marine Science and Technology Bulletin*, 10, Article 2. <https://doi.org/10.33714/masteb.784015>
- Baker, E. A., & McComish, T. S. (1998). Precision of Ages Determined from Scales and Opercles for Yellow Perch *Perca flavescens*. *Journal of Great Lakes Research*, 24, 658–665. [https://doi.org/10.1016/S0380-1330\(98\)70852-4](https://doi.org/10.1016/S0380-1330(98)70852-4)
- Beaumont, W. R. C., & Mann, R. H. K. (1984). The age, growth and diet of a freshwater population of the flounder, *Platichthys flesus* (L.), in southern England. *Journal of Fish Biology*, 25, 607–616. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1984.tb04907.x>
- Benson, I. M., Helsler, T. E., Marchetti, G., & Barnett, B. K. (2023). The future of fish age estimation: Deep machine learning coupled with Fourier transform near-infrared spectroscopy of otoliths. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 80, 1482–1494. <https://doi.org/10.1139/cjfas-2023-0045>
- Blackwell, B. G., Kaufman, T. M., & Moos, T. S. (2016). An Assessment of Calcified Structures for Estimating Northern Pike Ages. *North American Journal of Fisheries Management*, 36, 964–974. <https://doi.org/10.1080/02755947.2016.1176971>
- Brown, P., Green, C., Sivakumaran, K. P., Stoessel, D., & Giles, A. (2004). Validating Otolith Annuli for Annual Age Determination of Common Carp. *Transactions of the American Fisheries Society*, 133, 190–196. <https://doi.org/10.1577/T02-148>
- Cailliet, G. M., Andrews, A. H., Burton, E. J., Watters, D. L., Kline, D. E., & Ferry-Graham, L. A. (2001). Age determination and validation studies of marine fishes:

- Do deep-dwellers live longer? *Experimental Gerontology*, 36, 739–764.
[https://doi.org/10.1016/S0531-5565\(00\)00239-4](https://doi.org/10.1016/S0531-5565(00)00239-4)
- Campana, S. (1999). Chemistry and composition of fish otoliths: pathways, mechanisms and applications. *Marine Ecology Progress Series*, 188, 263–297.
<https://doi.org/10.3354/meps188263>
- Campana, S. E. (2001). Accuracy, precision and quality control in age determination, including a review of the use and abuse of age validation methods. *Journal of Fish Biology*, 59, 197–242. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2001.tb00127.x>
- Campana, S. E., Annand, M. C., & McMillan, J. I. (1995). Graphical and Statistical Methods for Determining the Consistency of Age Determinations. *Transactions of the American Fisheries Society*, 124, 131–138. [https://doi.org/10.1577/1548-8659\(1995\)124<0131:GASMFD>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8659(1995)124<0131:GASMFD>2.3.CO;2)
- Casselman, J. M. (1974). Analysis of hard tissue of pike *Esox lucius* L. with special reference to age and growth.
- Casselman, J. M. (1990). Growth and Relative Size of Calcified Structures of Fish. *Transactions of the American Fisheries Society*, 119, 673–688.
[https://doi.org/10.1577/1548-8659\(1990\)119<0673:GARSOC>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8659(1990)119<0673:GARSOC>2.3.CO;2)
- Copeland, T., Hyatt, M. W., & Johnson, J. (2007). Comparison of Methods Used to Age Spring–Summer Chinook Salmon in Idaho: Validation and Simulated Effects on Estimated Age Composition. *North American Journal of Fisheries Management*, 27, 1393–1401. <https://doi.org/10.1577/M06-080.1>
- Currey, M., Cresko, W., Aguirre, W., Kimmel, C., & Ullmann, B. (2008). Allometric change accompanies opercular shape evolution in Alaskan threespine sticklebacks. *Behaviour*, 145, 669–691. <https://doi.org/10.1163/156853908792451395>

- Drevs, T. (1999). POPULATION DYNAMICS OF FLOUNDER (*Platichthys flesus*) IN ESTONIAN WATERS. *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences. Biology. Ecology*, 48, 310. <https://doi.org/10.3176/biol.ecol.1999.4.05>
- Drevs, T., Kadakas, V., Lang, T., & Møllergaard, S. (1999). Geographical variation in the age/length relationship in Baltic flounder (*Platichthys flesus*). *ICES Journal of Marine Science*, 56, 134–137. <https://doi.org/10.1006/jmsc.1999.0460>
- Dwyer, K. S., Walsh, S. J., & Campana, S. E. (2003). Age determination, validation and growth of Grand Bank yellowtail flounder (*Limanda ferruginea*). *ICES Journal of Marine Science*, 60, 1123–1138. [https://doi.org/10.1016/S1054-3139\(03\)00125-5](https://doi.org/10.1016/S1054-3139(03)00125-5)
- Edwards, W. H., Stapanian, M. A., & Stoneman, A. T. (2011). Precision of two methods for estimating age from burbot otoliths. *Journal of Applied Ichthyology*, 27, 43–48. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2011.01842.x>
- El Naqa, I., & Murphy, M. J. (2015). What Is Machine Learning? I. El Naqa, R. Li, & M. J. Murphy (Toim), *Machine Learning in Radiation Oncology* (1k 3–11). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-18305-3_1
- Faust, M. D., Breeggemann, J. J., Bahr, S., & Graeb, B. D. S. (2013). Precision and Bias of Cleithra and Sagittal Otoliths Used to Estimate Ages of Northern Pike. *Journal of Fish and Wildlife Management*, 4, 332–341. <https://doi.org/10.3996/062013-JFWM-041>
- Florin, A.-B., Hüseyin, K., Blass, M., Oesterwind, D., Puntilla, R., Ustups, D., Albrecht, C., Heimbrand, Y., Knospina, E., Koszarowski, K., & Odelström, A. (2018). How old are you—Evaluation of age reading methods for the invasive round goby (*Neogobius melanostomus*, Pallas 1814). *Journal of Applied Ichthyology*, 34, 653–658. <https://doi.org/10.1111/jai.13596>

Fricke, R., Eschmeyer, W. & van der Laan, R. (eds) (2024) Eschmeyer's catalog of fishes: genera, species, references. Available from:

<https://researcharchive.calacademy.org/research/ichthyology/catalog/SpeciesByFamily.asp#Cyprinidae> (Kasutatud 21.05.2024)

Gallagher, C. P., Wastle, R. J., Marentette, J. R., Chavarie, L., & Howland, K. L. (2021).

Age estimation comparison between whole and thin-sectioned otoliths and pelvic fin-ray sections of long-lived lake trout, *Salvelinus namaycush*, from Great Bear Lake, Northwest Territories, Canada. *Polar Biology*, *44*, 1765–1779.

<https://doi.org/10.1007/s00300-021-02901-9>

Glass, W. R., Corkum, L. D., & Mandrak, N. E. (2011). Pectoral fin ray aging: An evaluation of a non-lethal method for aging gars and its application to a population of the threatened Spotted Gar. *Environmental Biology of Fishes*, *90*, 235–242.

<https://doi.org/10.1007/s10641-010-9735-5>

Heimbrand, Y., Limburg, K. E., Hüsey, K., Casini, M., Sjöberg, R., Palmén Bratt, A.,

Levinsky, S., Karpushevskaya, A., Radtke, K., & Öhlund, J. (2020). Seeking the true time: Exploring otolith chemistry as an age-determination tool. *Journal of Fish Biology*, *97*, 552–565. <https://doi.org/10.1111/jfb.14422>

Hining, K. J., West, J. L., Kulp, M. A., & Neubauer, A. D. (2000). Validation of Scales and Otoliths for Estimating Age of Rainbow Trout from Southern Appalachian Streams.

North American Journal of Fisheries Management, *20*, 978–985.

[https://doi.org/10.1577/1548-8675\(2000\)020<0978:VOSAOF>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8675(2000)020<0978:VOSAOF>2.0.CO;2)

Høie, H., Otterlei, E., & Folkvord, A. (2004). Temperature-dependent fractionation of

stable oxygen isotopes in otoliths of juvenile cod (*Gadus morhua* L.). *ICES Journal of Marine Science*, *61*, 243–251. <https://doi.org/10.1016/j.icesjms.2003.11.006>

- Isermann, D. A., Breeggemann, J. J., & Paoli, T. J. (2018). Evaluation of anal fin spines, otoliths, and scales for estimating age and back-calculated lengths of yellow perch in southern Green Bay. *Journal of Great Lakes Research*, *44*, 979–989.
<https://doi.org/10.1016/j.jglr.2018.06.002>
- Isermann, D., Meerbeek, J., Scholten, G., & Willis, D. (2003). Evaluation of Three Different Structures Used for Walleye Age Estimation with Emphasis on Removal and Processing Times. *North American Journal of Fisheries Management*, *23*, 625–631. [https://doi.org/10.1577/1548-8675\(2003\)023<0625:EOTDSU>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8675(2003)023<0625:EOTDSU>2.0.CO;2)
- Jackson, J. R. (2007). Earliest References to Age Determination of Fishes and Their Early Application to the Study of Fisheries. *Fisheries*, *32*, 321–328.
[https://doi.org/10.1577/1548-8446\(2007\)32\[321:ERTADO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8446(2007)32[321:ERTADO]2.0.CO;2)
- Jackson, Z. J., Quist, M. C., Larscheid, J. G., Thelen, E. C., & Hawkins, M. J. (2007). Precision of Scales and Dorsal Spines for Estimating Age of Common Carp. *Journal of Freshwater Ecology*, *22*, 231–239.
<https://doi.org/10.1080/02705060.2007.9665042>
- Järv, L., Raid, T., Nurkse, K., & Rätsep, M. (2017). *Round goby Neogobius melanostomus—The insight into recent changes in Estonian coastal fishery*.
- Kastelle, C. R., Helser, T. E., McKay, J. L., Johnston, C. G., Anderl, D. M., Matta, M. E., & Nichol, D. G. (2017). Age validation of Pacific cod (*Gadus macrocephalus*) using high-resolution stable oxygen isotope ($\delta^{18}\text{O}$) chronologies in otoliths. *Fisheries Research*, *185*, 43–53. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2016.09.024>
- Khan, M. A., & Khan, S. (2009). Comparison of age estimates from scale, opercular bone, otolith, vertebrae and dorsal fin ray in *Labeo rohita* (Hamilton), *Catla catla* (Hamilton) and *Channa marulius* (Hamilton). *Fisheries Research*, *100*, 255–259.
<https://doi.org/10.1016/j.fishres.2009.08.005>

- Klein, Z. B., Terrazas, M. M., & Quist, M. C. (2014). Age Estimation of Burbot Using Pectoral Fin Rays, Branchiostegal Rays and Otoliths. *Intermountain Journal of Sciences*, *20*, Article 4
- Koch, J. D., Quist, M. C., & Hansen, K. A. (2009). Precision of Hard Structures Used to Estimate Age of Bowfin in the Upper Mississippi River. *North American Journal of Fisheries Management*, *29*, 506–511. <https://doi.org/10.1577/M08-132.1>
- Kyritsi, S., & Kokkinakis, A. K. (2020). Age, Growth, Reproduction and Fecundity of Roach *Rutilus rutilus* from Volvi Lake, Northern Greece. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, *20*, 717–726. https://doi.org/10.4194/1303-2712-v20_10_01
- Lagardère, F., & Troadec, H. (1997). Age estimation in common sole *Solea solea* larvae: validation of daily increments and evaluation of a pattern recognition technique. *Marine Ecology Progress Series*, *155*, 223–237. <https://doi.org/10.3354/meps155223>
- Laine, A. O., Momot, W. T., & Ryan, P. A. (1991). Accuracy of Using Scales and Cleithra for Aging Northern Pike from an Oligotrophic Ontario Lake. *North American Journal of Fisheries Management*, *11*, 220–225. [https://doi.org/10.1577/1548-8675\(1991\)011<0220:AOUSAC>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8675(1991)011<0220:AOUSAC>2.3.CO;2)
- Le Cren, E. D. (1947). The Determination of the Age and Growth of the Perch (*Perca fluviatilis*) from the Opercular Bone. *Journal of Animal Ecology*, *16*, 188–204. <https://doi.org/10.2307/1494>
- LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep learning. *Nature*, *521*(7553), 436–444. <https://doi.org/10.1038/nature14539>
- Marinović, Z., Lujčić, J., Bolić-Trivunović, V., & Marković, G. (2016). Comparative study of growth in *Carassius gibelio* (Bloch, 1782) and *Rutilus rutilus* (L., 1758) from

- two Serbian reservoirs: Multi-model analysis and inferences. *Fisheries Research*, 173, 11–19. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2015.04.003>
- Masubuchi, T., Kawano, M., Shimose, T., Yagi, Y., & Kanaiwa, M. (2024). Age, growth, and estimation of the age-length key for Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* in the southwestern Sea of Japan. *Fisheries Science*, 90, 379–395. <https://doi.org/10.1007/s12562-024-01765-2>
- Melià, P., Bevacqua, D., Crivelli, A. J., De Leo, G. A., Panfili, J., & Gatto, M. (2006). Age and growth of *Anguilla anguilla* in the Camargue lagoons. *Journal of Fish Biology*, 68, 876–890. <https://doi.org/10.1111/j.0022-1112.2006.00975.x>
- Meyer, F. P. (1960). *Life history of Marsipometra hastata and the biology of its host, Polyodon spathula*. Iowa State University.
- Mills, K. H., & Chalanchuk, S. M. (2004). The fin-ray method of aging lake whitefish. *Annales Zoologici Fennici*, 41, 215–223.
- Moore, C., Lynch, D., Clarke, M., Officer, R., Mills, J., Louis-Defour, J., & Brophy, D. (2019). Age verification of north Atlantic sprat. *Fisheries Research*, 213, 144–150. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2019.01.018>
- Moriarty, C. (1983). Age determination and growth rate of eels, *Anguilla anguilla* (L). *Journal of Fish Biology*, 23, 257–264. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1983.tb02903.x>
- Muir, A. M., Sutton, T. M., Peeters, P. J., Claramunt, R. M., & Kinnunen, R. E. (2008). An Evaluation of Age Estimation Structures for Lake Whitefish in Lake Michigan: Selecting an Aging Method Based on Precision and a Decision Analysis. *North American Journal of Fisheries Management*, 28, 1928–1940. <https://doi.org/10.1577/M08-014.1>

- Murphy, E. W., Smith, M. L., He, J. X., Wellenkamp, W., Barr, E., Downey, P. C., Miller, K. M., & Meyer, K. A. (2018). Revised fish aging techniques improve fish contaminant trend analyses in the face of changing Great Lakes food webs. *Journal of Great Lakes Research*, *44*, 725–734. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2018.05.006>
- Neave, F., & Se, M. (1940). On the Histology and Regeneration of the Teleost Scale.
- Oele, D. L., Lawson, Z. J., & McIntyre, P. B. (2015). Precision and Bias in Aging Northern Pike: Comparisons among Four Calcified Structures. *North American Journal of Fisheries Management*, *35*, 1177–1184. <https://doi.org/10.1080/02755947.2015.1099579>
- Ojaveer, E., Pihu, E., & Saat, T. (2003). *Fishes of Estonia*. Estonian Academy Pub.
- Ordoñez, A., Eikvil, L., Salberg, A.-B., Harbitz, A., & Elvarsson, B. Þ. (2022). Automatic Fish Age Determination across Different Otolith Image Labs Using Domain Adaptation. *Fishes*, *7*, Article 2. <https://doi.org/10.3390/fishes7020071>
- Panfili, J., & Troadec, H. (Toim). (2002). *Manual of fish sclerochronology*. Ifremer. https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/2022-03/010043026.pdf
- Paulovits, G., & Biró, P. (1986). Age determination and growth of eel, *Anguilla anguilla* (L.), in lake Fertő; Hungary. *Fisheries Research*, *4*, 101–110. [https://doi.org/10.1016/0165-7836\(86\)90036-6](https://doi.org/10.1016/0165-7836(86)90036-6)
- Peltonen, H., Raitaniemi, J., Parmanne, R., Eklund, J., Nyberg, K., & Halling, F. (2002). Age determination of Baltic herring from whole otoliths and from neutral red stained otolith cross sections. *ICES Journal of Marine Science*, *59*, 323–332. <https://doi.org/10.1006/jmsc.2001.1156>
- Pfennig, M. B., Crane, D. P., Smith, N. G., & Buckmeier, D. L. (2024). Age estimation and validation in otoliths, spines, and fin rays from four central Texas fishes. *North*

American Journal of Fisheries Management, 00, 1–

1. <https://doi.org/10.1002/nafm.10997>

Phelps, Q. E., Edwards, K. R., & Willis, D. W. (2007). Precision of Five Structures for Estimating Age of Common Carp. *North American Journal of Fisheries Management*, 27, 103–105. <https://doi.org/10.1577/M06-045.1>

Pihu, E. (1993). Distribution of fish species in Estonian lakes. In *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences, Ecology* (Vol. 3, No. 4, pp. 181-186).

Polat, N. (2008). Age determination with some bony structures and length-frequency method of sprat (*Sprattus sprattus* L., 1758) in the Black Sea. *Journal of FisheriesSciences.com*. <https://doi.org/10.3153/jfsc.com.2008014>

Polat, N., BOSTANCI, D., & YILMAZ, S. (2001). Comparable Age Determination in Different Bony Structures of *Pleuronectes flesus luscus* Pallas, 1811 Inhabiting the Black Sea. *Turkish Journal of Zoology*, 25, 441–446. <https://doi.org/>

Politikos, D. V., Petasis, G., Chatzisprou, A., Mytilineou, C., & Anastasopoulou, A. (2021). Automating fish age estimation combining otolith images and deep learning: The role of multitask learning. *Fisheries Research*, 242, 106033. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2021.106033>

Quist, M. C., Isermann, D. A., & American Fisheries Society (Toim). (2017). *Age and growth of fishes: Principles and techniques*. American Fisheries Society.

Quist, M. C., Jackson, Z. J., Bower, M. R., & Hubert, W. A. (2007). Precision of Hard Structures Used to Estimate Age of Riverine Catostomids and Cyprinids in the Upper Colorado River Basin. *North American Journal of Fisheries Management*, 27, 643–649. <https://doi.org/10.1577/M06-170.1>

- Reilent, A. (2016). Anadroomse ja magevee haugi (*Esox lucius*) marjaparametrite võrdlus. Tartu Ülikool. <https://dspace.ut.ee/server/api/core/bitstreams/fe93bcd3-71af-43d4-a329-a079f91603f5/content>
- Rittweg, T. D., Trueman, C., Ehrlich, E., Wiedenbeck, M., & Arlinghaus, R. (2023). *Corroborating age with oxygen isotope profiles in otoliths: Consequences for estimation of growth, productivity and management reference points in northern pike (Esox lucius) in the southern Baltic Sea.* <https://doi.org/10.1101/2023.02.01.526588>
- Rohtla, M., Svirgsden, R., Taal, I., Saks, L., Eschbaum, R., & Vetemaa, M. (2015). Life-history characteristics of the *Leuciscus idus* in the Eastern Baltic Sea. *Fisheries Management and Ecology*, 22, 239–248. <https://doi.org/10.1111/fme.12120>
- Rohtla, M., Vetemaa, M., Taal, I., Svirgsden, R., Urtson, K., Saks, L., Verliin, A., Kesler, M., & Saat, T. (2014). Life history of anadromous burbot (*Lota lota*, Linnaeus) in the brackish Baltic Sea inferred from otolith microchemistry. *Ecology of Freshwater Fish*, 23, 141–148. <https://doi.org/10.1111/eff.12057>
- Rybczyk, A., Czerniejewski, P., Keszka, S., Janowicz, M., Brysiewicz, A., & Wawrzyniak, W. (2020). First data of age, condition, growth rate and diet of invasive *Neogobius melanostomus* (Pallas, 1814) in the Pomeranian Bay, Poland. *Journal of Water and Land Development*. <https://doi.org/10.24425/jwld.2020.135041>
- Scarnecchia, D. L., Ryckman, L. F., Lim, Y., Power, G., Schmitz, B., & Riggs, V. (2006). A Long-Term Program for Validation and Verification of Dentaries for Age Estimation in the Yellowstone–Sakakawea Paddlefish Stock. *Transactions of the American Fisheries Society*, 135, 1086–1094. <https://doi.org/10.1577/T05-081.1>

- Sharma, C. M., & Borgström, R. (2007). Age determination and backcalculation of pike length through use of the metapterygoid bone. *Journal of Fish Biology*, *70*, 1636–1641. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2007.01435.x>
- Silm, M., Bernotas, P., Haldna, M., Järvalt, A., & Nõges, T. (2017). Age and growth of European eel, *Anguilla Anguilla* (Linnaeus, 1758), in Estonian lakes. *Journal of Applied Ichthyology*, *33*, 236–241. <https://doi.org/10.1111/jai.13314>
- Simon, J. (2015). Age and growth of European eels (*Anguilla anguilla*) in the Elbe River system in Germany. *Fisheries Research*, *164*, 278–285. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2014.12.005>
- Stapanian, M. A., Madenjian, C. P., & Tost, J. (2007). Regional Differences in Size-at-age of the Recovering Burbot (*Lota lota*) Population in Lake Erie. *Journal of Great Lakes Research*, *33*, 91–102. [https://doi.org/10.3394/0380-1330\(2007\)33\[91:RDISOT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.3394/0380-1330(2007)33[91:RDISOT]2.0.CO;2)
- Stolarski, J. T., & Hartman, K. J. (2008). An Evaluation of the Precision of Fin Ray, Otolith, and Scale Age Determinations for Brook Trout. *North American Journal of Fisheries Management*, *28*, 1790–1795. <https://doi.org/10.1577/M07-187.1>
- Svirgsden, R., Albert, A., Rohtla, M., Taal, I., Saks, L., Verliin, A., Kesler, M., Hubel, K., Vetemaa, M., & Saat, T. (2015). Variations in egg characteristics of ruffe *Gymnocephalus cernua* inhabiting brackish and freshwater environments. *Helgoland Marine Research*, *69*, 273–283. <https://doi.org/10.1007/s10152-015-0436-5>
- Svirgsden, R., Rohtla, M., Albert, A., Taal, I., Saks, L., Verliin, A., & Vetemaa, M. (2018). Do Eurasian minnows (*Phoxinus phoxinus* L.) inhabiting brackish water enter fresh water to reproduce: Evidence from a study on otolith microchemistry. *Ecology of Freshwater Fish*, *27*, 89–97. <https://doi.org/10.1111/eff.12326>

- Taal, I., Rohtla, M., Saks, L., Kesler, M., Jürgens, K., Svirgsden, R., Matetski, L., Verliin, A., Paiste, P., & Vetemaa, M. (2018). Parr dispersal between streams *via* a marine environment: A novel mechanism behind straying for anadromous brown trout? *Ecology of Freshwater Fish*, 27, 209–215. <https://doi.org/10.1111/eff.12338>
- Torstensen, E., Eltink, A. T. G. W., M. Casini, McCurdy, W. J., & Worsøe Clausen, L. (2004). *Report of the workshop on age estimation of sprat* [Report]. ICES External Publications Database. https://iceslibrary.figshare.com/articles/report/Report_of_the_workshop_on_age_estimation_of_sprat/21806088/1
- Uzunova, E., Ignatov, K., & Petrova, R. (2020). Comparison of age estimates from scales, fin rays, and otoliths of the introduced Peipsi whitefish, *Coregonus maraenoides* (Actinopterygii: Salmoniformes: Salmonidae), collected from the Iskar Reservoir (Danube River Basin). *Acta Ichthyologica et Piscatoria*, 50, 13–21. <https://doi.org/10.3750/AIEP/02521>
- Van, A., & Gumus, A. (2021). *Age, growth and mortality of black goby *Gobius niger* Linnaeus, 1758 (Family: Gobiidae) from the south-eastern Black Sea.*
- Vandergoot, C. S., Bur, M. T., & Powell, K. A. (2008). Lake Erie Yellow Perch Age Estimation Based on Three Structures: Precision, Processing Times, and Management Implications. *North American Journal of Fisheries Management*, 28, 563–571. <https://doi.org/10.1577/M07-064.1>
- Vilizzi, L. (2018). Age determination in common carp *Cyprinus carpio*: History, relative utility of ageing structures, precision and accuracy. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 28, 461–484. <https://doi.org/10.1007/s11160-018-9514-5>

Wellenkamp, W., He, J. X., & Vercnocke, D. (2015). Using Maxillae to Estimate Ages of Lake Trout. *North American Journal of Fisheries Management*, 35, 296–301.

<https://doi.org/10.1080/02755947.2014.1001045>

Wellenkamp, W., Sitar, S. P., & Aho, J. (2018). Evaluation of Partial and Whole Maxillary Bone Excision as a Nonlethal Age Estimation Structure in Lake Trout. *North American Journal of Fisheries Management*, 38, 1375–1380.

<https://doi.org/10.1002/nafm.10239>

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Karevi Pajumets

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) minu loodud teose

„Luukalade vanuse määramise traditsioonilised ja tänapäevased meetodid“,

mille juhendaja on Mehis Rohtla,

reprodutseerimiseks eesmärgiga seda säilitada, sealhulgas lisada digitaalarhiivi DSpace kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.

2. Annan Tartu Ülikoolile loa teha punktis 1 nimetatud teos üldsusele kättesaadavaks Tartu Ülikooli veebikeskkonna, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace kaudu Creative Commons'i litsentsiga CC BY NC ND 4.0, mis lubab autorile viidates teost reprodutseerida, levitada ja üldsusele suunata ning keelab luua tuletatud teost ja kasutada teost ärieesmärgil, kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.
3. Olen teadlik, et punktides 1 ja 2 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
4. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei riku ma teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse õigusaktidest tulenevaid õigusi.

Karevi Pajumets

27.05.2024