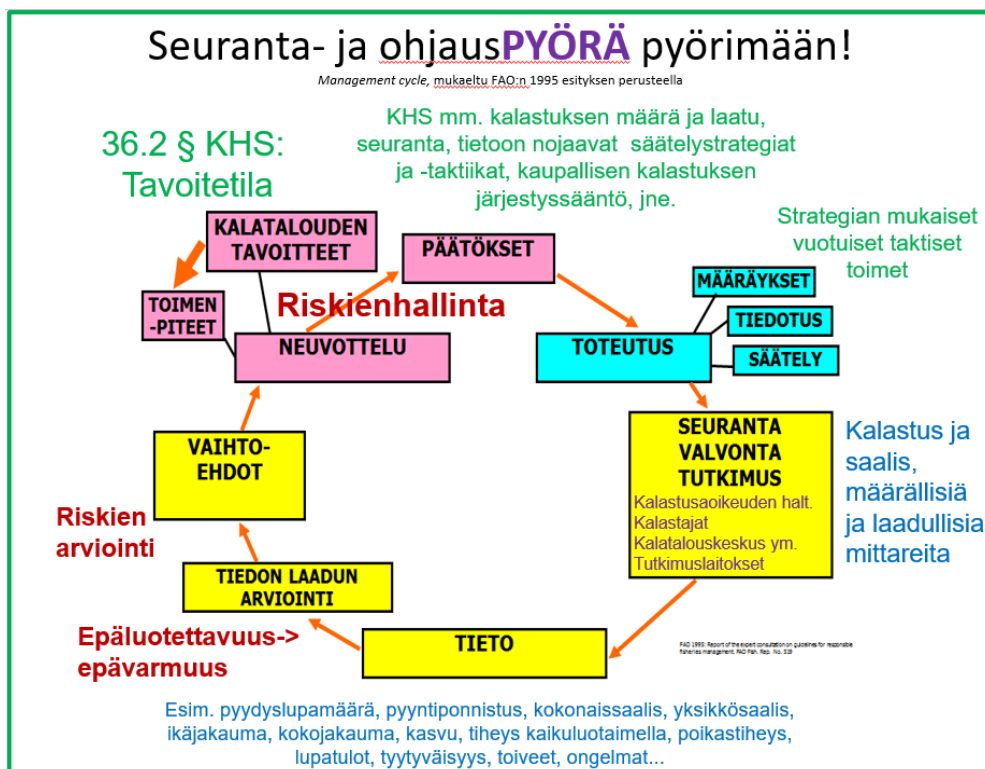


Marjomäki Timo J.¹, Kytölä Antti¹, Väänänen Tuula¹ & Karjalainen Juha¹

¹University of Jyväskylä, Department of Biological and Environmental Science, PO BOX 35 40014 University of Jyväskylä, Finland,

Saarijärven Pyhäjärven ekologisesti kestävä kaupallinen muikunpyynti

Alustava arvio Etelä-Konneveden ja Puulan muikkututkimusten perusteella



Jyväskylän yliopiston bio- ja ympäristötieteiden laitoksen tiedonantoja /
Proceedings of the Department of Biological and Environmental Science,
University of Jyväskylä

Toimittaja / Editor: Timo J. Marjomäki



Euroopan unioni

Kansikuva: Timo J. Marjomäki

ISBN 978-951-39-9917-9

ISSN 2669-8986

Julkaisun pysyvä osoite / Permanent address to this publication:

<http://urn.fi/URN:ISBN:978-951-39-9917-9>

Jyväskylä 2023

ABSTRACT

Marjomäki, Timo J., Kytölä, Antti, Väänänen, Tuula & Karjalainen, Juha
Ecologically sustainable vendace fishing in Lake Pyhäjärvi, Saarijärvi
Preliminary assessment based on monitoring in Etelä-Konnevesi and Puula
Jyväskylä: University of Jyväskylä, 2023, 34 p. + 1 appendix.
Proceedings of the department of biological and environmental science,
University of Jyväskylä 4/2023
ISSN 2669-8986
ISBN 978-951-39-9917-9

In the programme for partnership between research and fishermen, the European Maritime and Fisheries Fund, the University of Jyväskylä is developing the assessment and management of commercial fishing in Lake Pyhäjärvi, Saarijärvi, in cooperation with fishermen and fishing right holders. The level of commercial exploitation of vendace in Pyhäjärvi is low, although the population has been abundant recently based on local knowledge. Since data for the Pyhäjärvi vendace stock assessment are scarce, the boundary conditions for ecologically sustainable fishing are roughly estimated based on the data from the long-term monitoring of Etelä Konnevesi and Puula.

Lake Pyhäjärvi is similar to the comparison lakes in terms of morphometry and water quality, but much smaller. The year-class fluctuations of vendace stock have been strong and synchronous with the reference lakes. As fishing mortality increases, the spawning population decreases and upper limit of fishing mortality from the point of view of ecological sustainability is set by the maintenance of a spawning stock at a sufficient level for normal reproduction. From the point of view of economic sustainability, the upper limit of fishing mortality is determined by the decreasing limit (marginal) catch. The upper limit of the instantaneous fishing mortality of the average year class is of the order of magnitude 0.4–0.7. Fishing mortality of vendace with mini-trawl and winter seine was estimated based on the area swept by the gear, catchability and the typical residence area of vendace. Fishing mortality of a mini-trawl or 1–2 commercial winter seines is unlikely to rise above an ecologically sustainable level.

In practice, harvest control is primarily based on the number of fishing licenses set at a sustainable level. When the spawning stock abundance is close to the minimum level required for normal reproduction and an there is no abundant year class developing, the fishing effort must be regulated. This requires, at a minimum, monitoring of the vendace stock based on commercial fishing records and catch samples. In order to develop the commercial fishing of vendace, it is recommended that the fisheries associations in the area form a unified fishing license area and harvest control rules. As information accumulates, the accuracy and precision of regulation is developed.

Keywords: catch per swept area; *Coregonus albula*; overfishing.

TIIVISTELMÄ

Marjomäki, Timo J., Kytölä, Antti, Väänänen, Tuula & Karjalainen, Juha
Saarijärven Pyhäjärven ekologisesti kestävä kaupallinen muikunpyynti
Alustava arvio Etelä-Konneveden ja Puulan muikkututkimusten perusteella
Jyväskylä: Jyväskylän yliopisto, 2023, 34 s. ja 1 liite.
Jyväskylän yliopiston bio- ja ympäristötieteiden laitoksen tiedonantoja 4/2023
ISSN 2669-8986
ISBN 978-951-39-9917-9

Euroopan meri- ja kalatalousrahaston rahoittamassa Tutkimuksen ja kalastajien välinen kumppanuus -ohjelmassa Jyväskylän yliopisto kehittää sisävesien kaupallisen kalastuksen tietopohjaista seuranta- ja ohjausjärjestelmää yhteistyössä kalastajien ja kalastusoikeuden haltijoiden kanssa. Kehittämisen mallikohteeksi valittiin Saarijärven Pyhäjärven kaupallinen muikunpyynti. Pyhäjärven muikun kaupallinen hyödyntäminen on vähäistä, vaikka muikkukanta on paikallistiedon perusteella ollut viime aikoina runsas. Koska muikkukannan runsauden ja tuotannon arvioimiseksi ei ole juurikaan tutkimustietoa, Pyhäjärven muikkukannan ekologisesti kestävä kalastuksen reunaehto arvioidaan karkeasti Etelä-Konneveden ja Puulan seurannasta saatujen tietojen avulla.

Pyhäjärvi on morfometrialtaan ja vedenlaadultaan vertailujärvien tyyppinen, mutta huomattavasti pienempi. Muikun vuosiluokkavaihtelu on ollut vertailujärvien tapaan voimakasta ja samarytmistä vertailujärvien kanssa. Sopivan kalastuskuolevuuden ylärajan määrää ekologisen kestävyuden näkökulmasta normaaliin lisääntymiseen riittävän kutukannan säilyminen. Kalastuskuolevuuden kasvaessa kutukanta pienenee. Taloudellisen kestävyuden näkökulmasta kalastuskuolevuuden ylärajan määrää pienenevä raja(marginaali)saalis. Keskimääräisen vuosiluokan hetkellisen kalastuskuolevuuden yläraja on suuruusluokkaa 0,4-0,7. Muikun kalastuskuolevuutta pienoistroolilla ja talvinuotalla arvioitiin pyydysten pyyhkäisyalan, pyytävyyden ja muikun tyypillisen oleskelualueen perusteella. Pienoistroolin tai 1-2 kaupallisen talvinuotan kalastuskuolevuus ei todennäköisesti nouse ekologisesti kestävä tason yläpuolelle.

Kalastuksen ohjaus perustuu käytännössä ensisijaisesti kestävä tasolla asetettuun kalastuslupamäärään. Kun kutukannan runsaus on lähellä normaaliin lisääntymiseen vaadittavaa minimitasoa eikä runsasta vuosiluokkaa ole kehittymässä, pyyntiponnistusta rajoitetaan. Tämä ohjaus edellyttää vähintään kaupallisen kalastuksen kirjanpitoon ja saalisnäytteisiin perustuvaa muikkukannan seurantaa. Kaupallisen muikunpyynnin kehittämiseksi suositellaan, että alueen osakaskunnat muodostavat yhtenäislupa-alueen ja sille järjestyssäännön. Tiedon karttuessa säätelyn tarkkuutta ja täsmällisyyttä kehitetään.

Hakusanat: kalastuksen säätely; kalastuksen seuranta; pyyhkäisyala.

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO.....	7
2	JÄRVIEN MORFOMETRIA JA VEDENLAATU.....	8
3	MUIKKUPOPULAATION RUNSAUDEN AJALLINEN VAIHTELU	11
4	MUIKUN KASVUNOPEUS	16
5	KALASTUSKUOLEVUUS, SAALIS JA SAALISKAPASITEETTI.....	18
6	ARVIO TROOLAUKSEN JA TALVINUOTTAUSKEN AIHEUTTAMASTA KALASTUSKUOLEVUUDESTA SAARIJÄRVEN PYHÄJÄRVELLÄ.....	23
	6.1 Laskentamalli	23
	6.2 Tulokset.....	26
	6.3 Päätelemät ja suositukset.....	30
	LÄHDELUETTELO.....	32

Liite 1. Rickerin (1975) tuotantomalli ja laskelmissa käytetyt parametriarvot

1 JOHDANTO

Euroopan meri- ja kalatalousrahaston rahoittamassa Tutkimuksen ja kalastajien välinen kumppanuus -ohjelmassa Jyväskylän yliopiston tehtävänä on kehittää sisävesien kaupallisen kalastuksen tietopohjaista seuranta- ja ohjausjärjestelmää yhteistyössä kalastajien ja kalastusoikeuden haltijoiden kanssa. Yhdeksi kehittämisen mallikohteeksi valittiin Saarijärven Pyhäjärven kaupallinen muikunpyynti.

Tällä hetkellä Pyhäjärven muikun kaupallinen hyödyntäminen on hyvin vähäistä, vaikka muikkukanta on paikallistiedon perusteella ollut viime aikoina runsas. Saarijärven reitin kalataloudellisessa käyttö- ja hoitosuunnitelmassa (KHS) jaksolle 2021–2030 kaupalliseen kalastukseen hyvin soveltuvaksi alueeksi on määritelty koko järvi (KHS:n liite 3) ja erityisesti pientroolille soveltuvaksi alueeksi järven keskiosassa sijaitseva yhtenäinen yli 10 m syvä alue (KHS:n liite 4). Pienoistrooli on määritelty KHS:ssa seuraavasti:

”Pituus maksimi 60 m. (Troolin yläpaulan siipien ja suuaukon yläpaulan yhteenlaskettu pituus). Korkeus maksimi 15 m. Troolin tulee olla varustettu toimivaksi todetulla troolisäleiköllä tms. rakenteella, joka mahdollistaa taimenien ja järvilohien vapautumisen vahingoittumattomina troolista.”

KHS:n mukaan kaupalliseen kalastukseen hyvin soveltuvalla alueella saisi kalastaa yhdellä pienostroolilla ja lisäksi mm. viidellä nuotalla ja kahdeksalla isorysällä/paunetilla.

Koska Pyhäjärven muikkukannan runsauden ja tuotannon arvioimiseksi ei ole juurikaan aiempaa tutkimustietoa, tämän selvityksen tarkoituksena on arvioida karkeasti Pyhäjärven muikkukannan ekologisesti kestävä kalastuksen reunaehtoja käyttäen hyväksi Etelä-Konneveden ja Puulan pitkäaikaisesta ja intensiivisestä seurannasta saatua tietoa. Etelä-Konnevesi ja Puula soveltuvat hyvin tähän tarkoitukseen, koska ne ovat monin tavoin Pyhäjärven kaltaisia. Jos Pyhäjärven muikkukannan seuranta ja kaupallinen kalastus käynnistyvät, näitä alustavia arvioita tarkennetaan kertyvän järvikohtaisen tiedon perusteella.

2 JÄRVIEN MORFOMETRIA JA VEDENLAATU

Saarijärven Pyhäjärvi (14.681.1.001) sijaitsee Keski-Suomessa Kymijoen vesistön yläosassa (Kuva 1). Konnevesi (14.711.1.001) on Rautalammin reitin keskusallas ja sijaitsee Keski-Suomen ja Pohjois-Savon rajalla Kymijoen vesistössä. Tässä tutkimuksessa käsitellään vain sen eteläistä osa-aluetta, Etelä-Konnevettä. Kymijoen vesistön Mäntyharjun reitin keskusjärvi Puula (14.923.1.001) sijaitsee Etelä-Savossa noin 100 km etelämpänä kuin Pyhäjärvi.

Pyhäjärven pinta-ala on n. 59 km² (Taulukko 1). Vertailujärvistä Puula on suurempi, pinta-alaltaan noin viisinkertainen Pyhäjärveen verrattuna. Etelä-Konnevesi on alaltaan Pyhäjärveen verrattuna noin kaksinkertainen. Järvien keskisyvyys on samaa suuruusluokkaa.

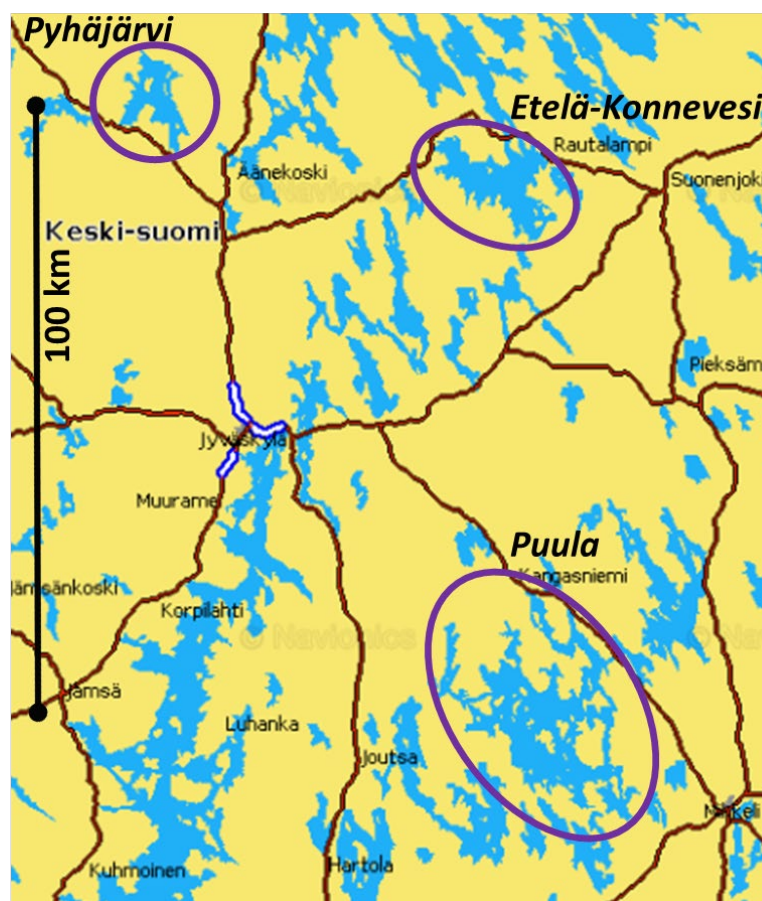
Muikku oleskelee kirkasvetisissä järvissä avovesikaudella kevättä ja myöhäissyksyä lukuun ottamatta pääsääntöisesti yli 10–15 m syvyisellä alueella. Myös pyynti saartopyydyksillä (nuotat, trooli) keskittyy kutuaikaa lukuun ottamatta näille alueille. Pyhäjärvessä yli 10 m syvyistä vettä on n. 19 km² ja yli 20 m syvyistä n. 6 km² (Taulukko 1). Yli 10 m ja yli 20 m syvyisen veden suhteellinen osuus järven pinta-alasta on Pyhäjärvessä ja Puulassa samaa suuruusluokkaa, mutta Etelä-Konnevedellä syvän veden osuus on jonkin verran näitä suurempi. Puulan muikkua koskevat tutkimukset on kuitenkin tehty järven alaltaan 200 km² keskusaltaalla, joka on syvyysuhteiltaan hyvin lähellä Etelä-Konnevettä.

Pyhäjärvi on Puulan ja Etelä-Konneveden tapaan hyvin karu ja melko kirkasvetinen järvi (Taulukko 2). Kokonaisfosforipitoisuus vaikuttaa järviekosysteemin tuotantokykyyn säätelemällä kasviplanktonin perustuotantoa. Fosforipitoisuuden perusteella Pyhäjärven ja Puulan tuotantokyky on samaa suuruusluokkaa. Etelä-Konnevedenkin fosforipitoisuus on matala, mutta hieman edellisiä korkeampi, joten myös sen perustuotantokyky lienee jonkin verran suurempi.

Pyhäjärvellä kemiallinen hapenkulutus ja sähkönjohtavuus ovat Puulaa ja Etelä-Konnevettä pienempiä. Pyhäjärven veteen liunneen orgaanisen aineksen ja suolojen pitoisuus on siis pienempi. Tämä viittaa siihen, että ihmistoiminnan vaikutus ja sitä kautta orgaanisen aineen ja suolojen huuhtoutuminen Pyhäjärven valuma-alueelta on vähäisempää kuin vertailujärvien valuma-alueilta.

TAULUKKO 1. Saarijärven Pyhäjärven, Puulan ja Etelä-Konneveden pinta-ala ja syvyyssuhteet.
Lähteet: HERTTA-tietokanta ja omat määritykset syvyyskartoista.

	Pyhäjärvi	Puula	E-Konnevesi
Pinta-ala, km ²	59	331	121
Keskisyvyys, m	10	9	12
Suurin syvyys, m	43	69	57
Syvyys vähintään 10 m, % pinta-alasta	33	36	50
Syvyys vähintään 20 m, % pinta-alasta	10	11	19
Syvyys vähintään 10 m, km ²	19	119	61
Syvyys vähintään 20 m, km ²	6	36	23



KUVA 1 Saarijärven Pyhäjärven, Etelä-Konneveden ja Puulan sijainti. Karttapohjan lähde: Navionics ChartViewer.

TAULUKKO 2. Saarijärven Pyhäjärven, Puulan ja Etelä-Konneveden vedenlaatu talvella välivedessä taulukokossa mainituilta syvänehavaintopaikoilla. Lähde: HERTTA-tietokanta.

Paikka jakso	Pyhäjärvi 257, 20 m 2016, 2019, 2022		Puula 85, 25 m 2018–2022		E-Konnevesi 64, 25 m 2018–2022	
	keskiarvo	keski- hajonta	keskiarvo	keski- hajonta	keskiarvo	keski- hajonta
Hapen kyllästysaste %	81	6	86	6	85	4
Kok.fosforipitoisuus µg/l	3,7	1,3	3,7	0,9	5,3	1
Väriluku mg Pt/l	28	2	29	2	27	2
Kem. hapenkulutus mg/l	6,7	0,5	7,9	0,5	7,3	0,3
pH	7,0	0,1	6,9	0,1	7,0	0,1
Sähkönjohtavuus mS/m	3,3	0,3	4,4	0,1	4,2	0,1

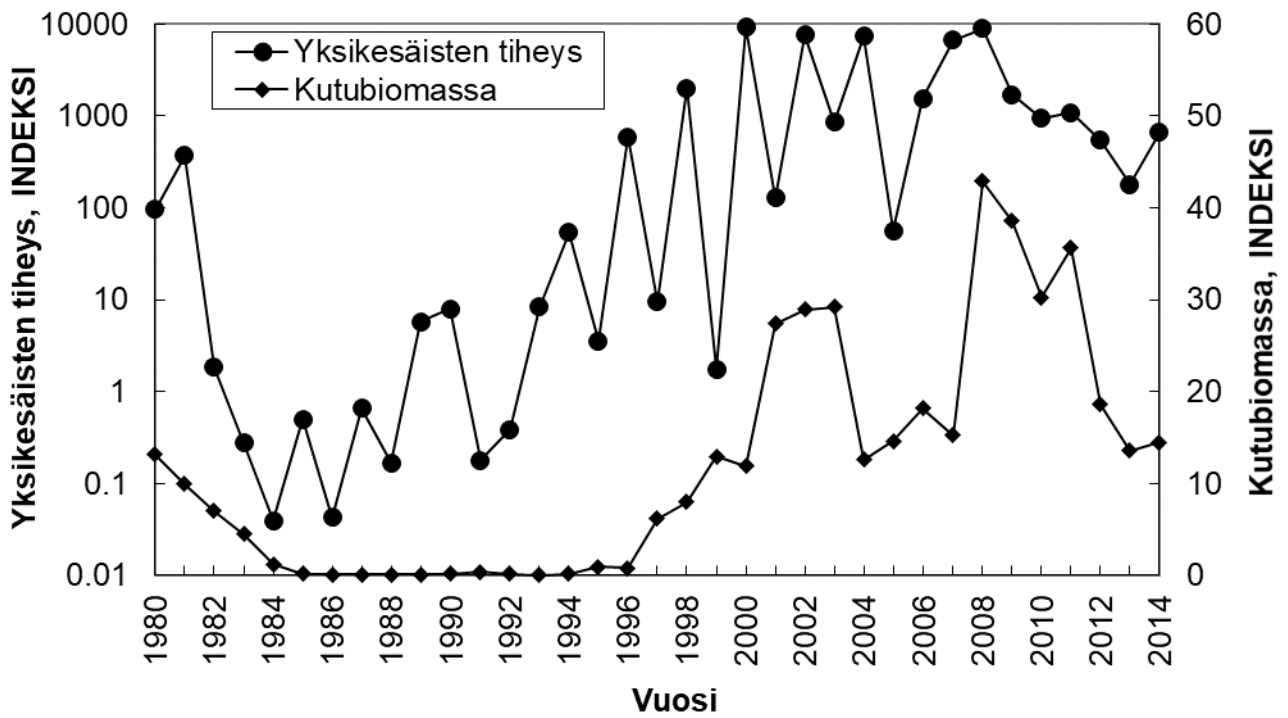
3 MUIKKUPOPULAATION RUNSAUDEN AJALLINEN VAIHTELU

Sekä Etelä-Konneveden että Puulan 200 km² tutkimusalueen muikkupopulaation runsaus on vaihdellut voimakkaasti. Etelä-Konnevedellä nuotan yksikkösaaliiseen perustuva kutukannan indeksi oli 1980-luvun alussa runsaan kannan tasolla (Kuva 2). Jaksolla 1982–1993 muikkuvuosiluokat olivat kuitenkin erittäin heikkoja, joten kutukanta romahti muutamassa vuodessa ja oli erittäin pieni yli 10 vuotta, 1984–1996. Muikkukadon todennäköisimpänä aiheuttajana tai ainakin kadon pitkittäjänä pidetään erittäin runsasta ahvenkanta kyseisellä jaksolla (Valkeajärvi & Marjomäki 2004). Ahvenkannan pienentyttyä 1990-luvun puolivälissä muikun lisääntyminen tehostui ja kutukanta runsastui nopeasti. 2000-luvulla muikkukanta on ollut runsas tai erittäin runsas.

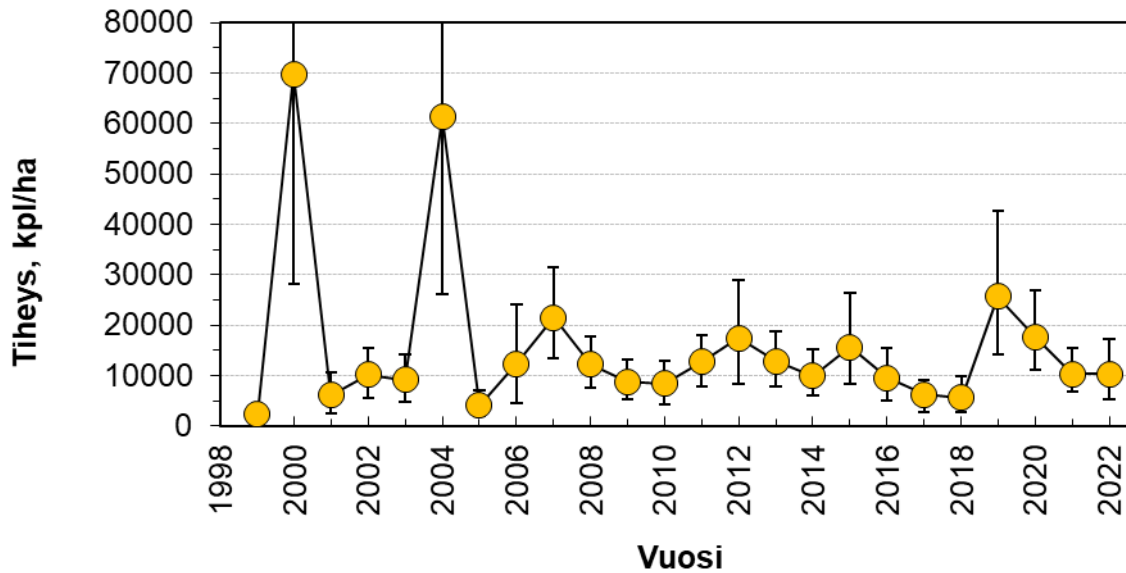
Konnevedellä on esiintynyt muikkukatoja aiemminkin, mm. 1930-luvulla ja jaksolla 1975–1978 (Valkeajärvi 1983a). Valkeajärvi toteaaakin, että ajoittaiset muikkukatot kuuluvat olennaisesti muikkukantojen vaihteluun.

Yksikesäisten muikkujen runsauden vuosien välinen vaihtelu on ollut hyvin voimakasta jaksolla 1980–2014. Vaihtelukerroin (keskihajonta/aritmeettinen keskiarvo) oli 190 %. Vuosiluokan runsaus oli keskimäärin 0,06- tai 17-kestainen edellisen viiden vuoden keskimääräiseen vuosiluokkarunsauteen verrattuna. Vuosiluokan runsautta ei siis voi ennustaa edellisten havaintojen perusteella käytännössä ollenkaan.

Muikun vastakuoriutuneiden poikasten tiheys (Kuva 3), joka Etelä-Konnevedellä ilmentää myös jossain määrin edellisen syksyn kutukannan runsautta (Marjomäki ym. 2021a), on ollut suuri ja hyvin vaihteleva koko poikastutkimusjakson 1999–2022. Poikastiheyden perusteella voidaan karkeasti ennakoita vuosiluokan runsautta yksikesäisenä. Mikäli poikastiheys on ollut vain muutamia tuhansia yksilöitä/ha, vuosiluokasta ei ole tullut runsasta. Suuresta poikastiheydestä voi seurata runsas vuosiluokka. Suuri tiheys ei kuitenkaan takaa runsasta vuosiluokkaa, koska ensimmäisen kesän kuolevuus vaihtelee voimakkaasti.



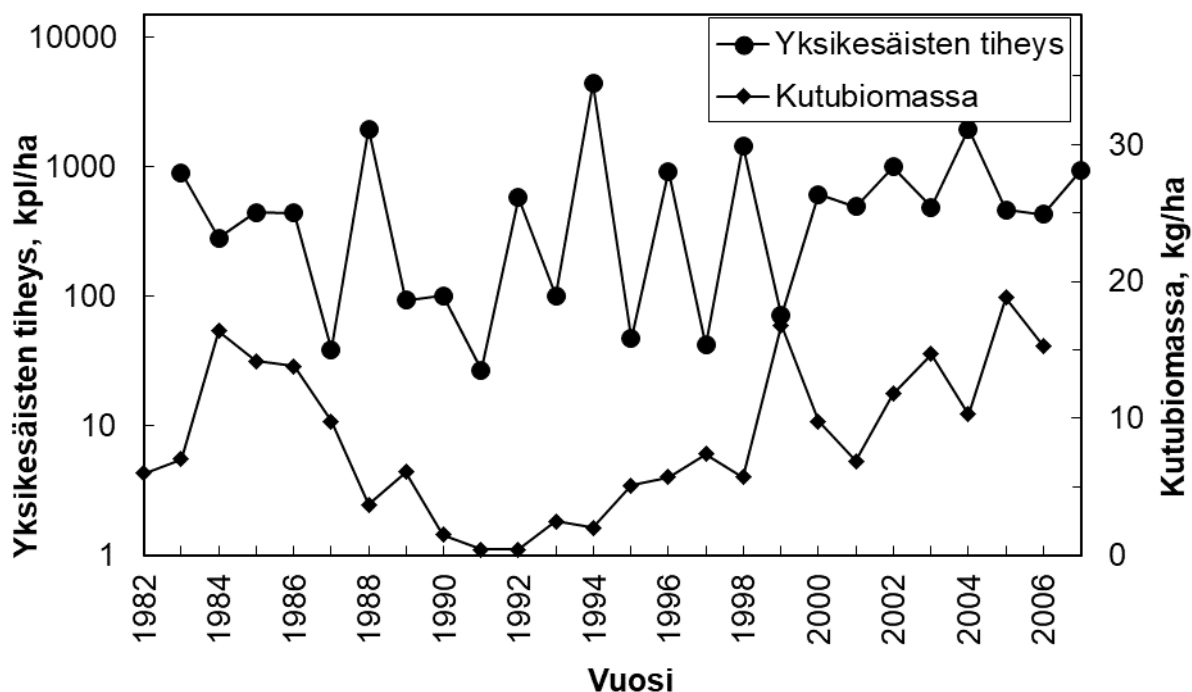
KUVA 2. Nuotan yksikkösaaliiseen (kg/veto) perustuva yksikesäisten muikkujen tiheysindeksi (huom. logaritminen asteikko) ja kutubiomassan indeksi ja Etelä-Konnevedellä jaksolla 1980–2014. Aineisto: Marjomäki ym. 2021a.



KUVA 3. Vastakuoriutuneiden muikunpoikasten tiheys (kpl/ha, jana = 95 % luotettavuusväli) Etelä-Konnevedellä 1999–2022. Aineisto: Karjalainen & Marjomäki, julkaisematon aineisto.

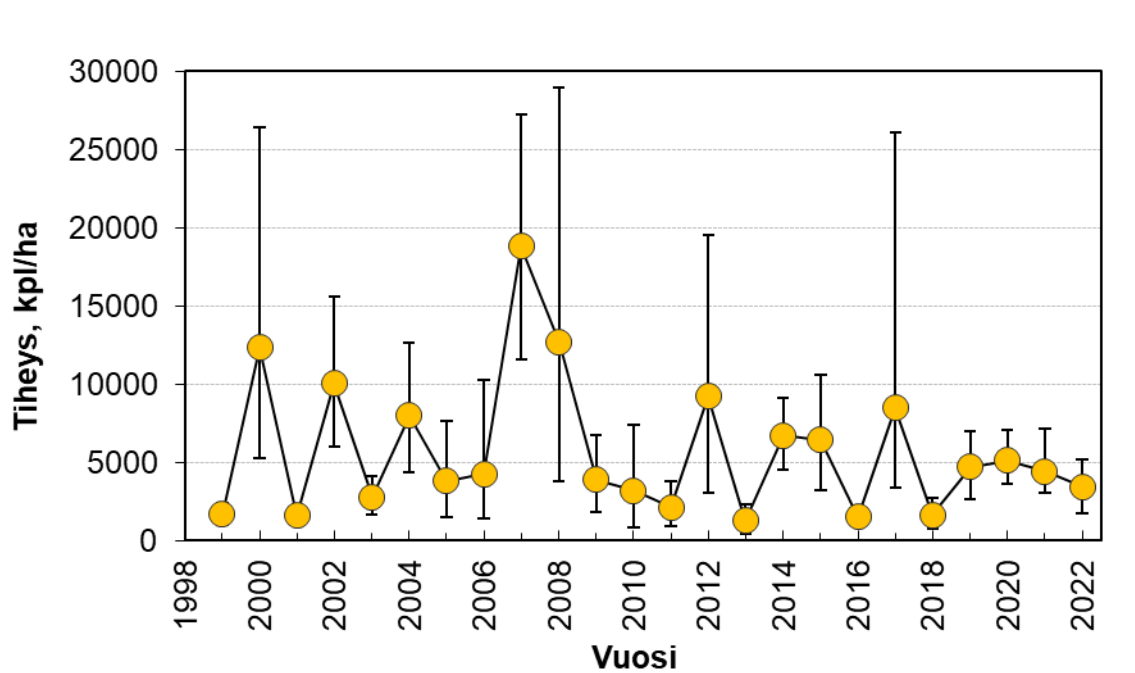
Puulan muikkupopulaatio oli runsas 1980-luvulla (Kuva 4). Vuosien 1989–1991 kolmen peräkkäisestä heikon vuosiluokan myötä kutukanta kuitenkin pieneni siinä määrin, että Puulallakin koettiin lyhyt muikkukato vuosina 1990–1992. Puulan 1990-luvun alun katojakso osuu yksiin koko Järvi-Suomen alueen muikkukadon (Valkeajärvi ym. 2002) kanssa kuten myös Puulalla 1930-luvulla koettu syvä ja pitkä muikkukato (Manninen 1935, Laakso 1938). Vuodesta 1992 alkaen Puulan muikkuvuosiluokat olivat taas keskimäärin runsaita ja kutukanta kasvoi nopeasti. 2000-luvulla Puulan muikkukanta on ollut jatkuvasti runsas.

Yksikesäisten muikkujen tiheyden vaihtelu on Puulallakin ollut hyvin voimakasta. Vaihtelukerroin oli 130 %. Vuosiluokan runsaus oli keskimäärin 0,16- tai 6-kestainen edellisen viiden vuoden keskimääräiseen vuosiluokkarunsauteen verrattuna. Puulallakaan ei siis voi ennustaa tulevan vuosiluokan runsautta edellisten perusteella. Vuosiluokan runsaus on kuitenkin jossakin määrin ennustettavissa edellisen syksyn kutukannan runsauden, edellisen vuosiluokan runsauden ja poikasten kuoriutumista seuraavan kuukauden tuuliolosuhteiden perusteella: pieni kutukanta, runsas edellinen vuosiluokka ja voimakkaat tuulet jäänlähdon (poikasten kuoriutuminen) jälkeisen kuukauden jaksolla ennakoivat heikkoa vuosiluokkaa (Marjomäki ym. 2014). Näistä taustatekijöistä matemaattisella tilastollisella mallilla laskettu vuosiluokan runsausarvio on kuitenkin epätarkka: todellinen runsausarvio on keskimäärin 0,33- tai 3-kertainen laskettuun ”ennusteeseen” verrattuna. Puulan aineiston perusteella siis tiedetään, mitkä tekijät ainakin vuosiluokan runsautta selittävät, mutta suuri osa säätelevistä tekijöistä on tuntemattomia ja todennäköisesti epäennustettavasti vaihtelevia.



KUVA 4. Yksikesäisten muikkujen tiheys (huom. logaritminen asteikko) ja kutukannan biomassa Puulalla 1982–2007. Lähde: Marjomäki ym. 2014.

Myös Puulalla muikunpoikastiheys (Kuva 5) on ollut suuri ja hyvin vaihteleva aivan viimeisiin havaintoihin saakka.



KUVA 5. Vastakuoriutuneiden muikunpoikasten tiheys (jana = 95 % luotettavuusväli) Puulalla 1999–2022. Lähde: Karjalainen & Marjomäki, julkaisematon aineisto.

Erillisten järvien muikkukantojen vaihtelun samarytmisyys (Marjomäki ym. 2004), mm. muikkukantojen ja toisaalta poikkeuksellisten runsaiden vuosiluokkien esiintymisen samanaikaisuus eri järvillä, kertoo siitä, että vaihtelun merkittävänä aiheuttajana ovat laajalla alueella samaan aikaan samaan suuntaan vaikuttavat ympäristötekijät, esim. epäedulliset säät poikasten kuoriutumisen jälkeisellä jaksolla.

Sekä Etelä-Konneveden että Puulan muikun vuosiluokkavaihtelussa on havaittu taipumusta kaksivuotisrytmiin (Marjomäki ym. 2014, Marjomäki ym. 2021b): runsasta vuosiluokkaa seuraavana vuonna kehittyä hyvin todennäköisesti heikko vuosiluokka ja päinvastoin. Ilmiön syytä ei tarkasti tunneta. Taipumus kaksivuotivaihteluun kasvaa kutukannan pienentyessä esimerkiksi useamman heikon vuosiluokan seurauksena tai voimakkaan kalastuskuolevuuden vuoksi (Marjomäki ym. 2014), mutta kaksivuotisrytmi ilmenee sekä Etelä-Konnevedellä että Puulalla myös runsaan kutupopulaation jaksolla (Marjomäki ym. 2021b).

Saarijärven Pyhäjärven muikun kannanvaihtelusta ei ole kerätty yksikkösaaliiseen perustuvaa seuranta-aineistoa. Kansallisen muikkutyöryhmän ja myöhemmin Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitoksen paikallistietoon perustuvan kyselytutkimuksen (1988–2017) mukaan Pyhäjärven muikkukanta oli keskimääräistä heikompi 1990-luvun alussa ja kasvoi sitten 1990-luvun loppua kohden. 2000-luvulla kanta on ollut runsas tai keskinkertainen. Kovasen (2004) mukaan Pyhäjärvellä havaittiin 1980–1990-luvuilla usean vuoden mittainen keskimääräistä heikomman muikkukannan jakso ja pahin katovaihe osui vuosikymmenten taitteeseen. Kato päättyi, kun vuonna 1994 saatiin runsas vuosiluokka. Myös vuoden 2000 vuosiluokka oli runsas. Etelä-Konnevedellä nämä

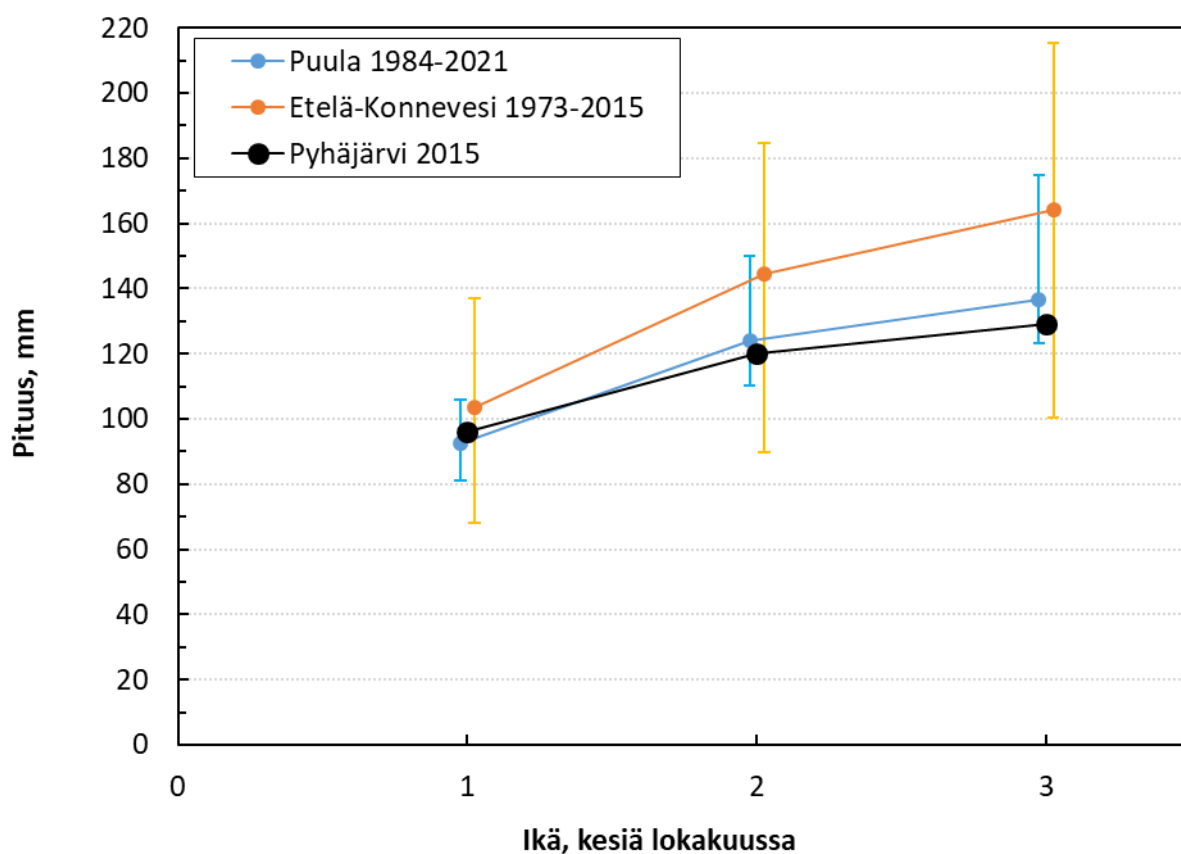
vuosiluokat olivat tavallista runsampia. Myös Puulalla vuosiluokka 1994 oli koko seurantajakson runsain.

Pyhjärven muikkukanta on siis vaihdellut voimakkaasti ja samarytmisesti vertailujärvien kanssa, mikä korostaa muikun kannanvaihtelun riippuvuutta epäennustettavista säätekijöistä joko suoraan tai välillisesti petokalakantojen runsauden vaihtelun kautta (Marjomäki ym. 2004, Valkeajärvi & Marjomäki 2004).

4 MUIKUN KASVUNOPEUS

Muikun kasvu riippuu negatiivisesti populaation tiheydestä (esim. Järvi 1919, Marjomäki & Kirjasniemi 1995). Tiheässä populaatiossa kalojen kasvu on siis hidasta ja harvassa populaatiossa nopeaa. Populaatioiden voimakkaan runsaudenvaihtelun seurauksen muikun kasvunopeus siis vaihtelee huomattavasti. Erittäin voimakasta ikäryhmäkohtaisen keskipituuden vaihtelu on ollut Etelä-Konnevedessä (Kuva 6), jossa on ollut sekä poikkeuksellisen pitkä ja syvä muikkukatojakso että myös erittäin tiheän populaation jakso. Etelä-Konnevedellä yksikesäisen muikun keskipituus on syksyllä ollut pienimmillään alle 70 mm ja suurimmillaan yli 130 mm. Puulalla muikkupopulaation runsaudenvaihtelu on ollut hieman vähäisempää, joten ikäryhmäkohtaisen keskipituuden vuosien välinen vaihteluvälikään ei ole aivan yhtä suuri kuin Etelä-Konnevedellä (Kuva 6).

Pyhäjärven muikun ikäryhmäkohtainen keskipituus oli syksyllä 2015 samaa suuruusluokkaa kuin Etelä-Konnevedellä ja Puulalla havaitut keskipituudet tiheän kannan aikana (Kuva 6). Edelleen vuoden 2021 lokakuun lopun verkkosaalisnäytteessä (pyytänyt Juha Piilola) kolmikesäisten muikkujen keskipituus oli 133 mm eli samaa suuruusluokkaa kuin vuoden 2015 näytteessä.



KUVA 6. Muikun keskimääräinen ikäryhmäkohtainen pituus (kokonaispituus kuonon kärjestä yhteen puristetun pyrstön kärkeen) sekä pienin ja suurin vuotuinen keskiarvo (jana) Puulalla 1984-2021 (Marjomäki, julkaisematon aineisto) ja Etelä-Konnevedellä 1973-2015 (Marjomäki ym. 2021a) sekä ikäryhmäkohtainen keskipituus Pyhäjärveltä otetussa nuottanäytteessä syksyllä 2015 (Puranen & Marjomäki 2015).

5 KALASTUSKUOLEVUUS, SAALIS JA SAALIS-KAPASITEETTI

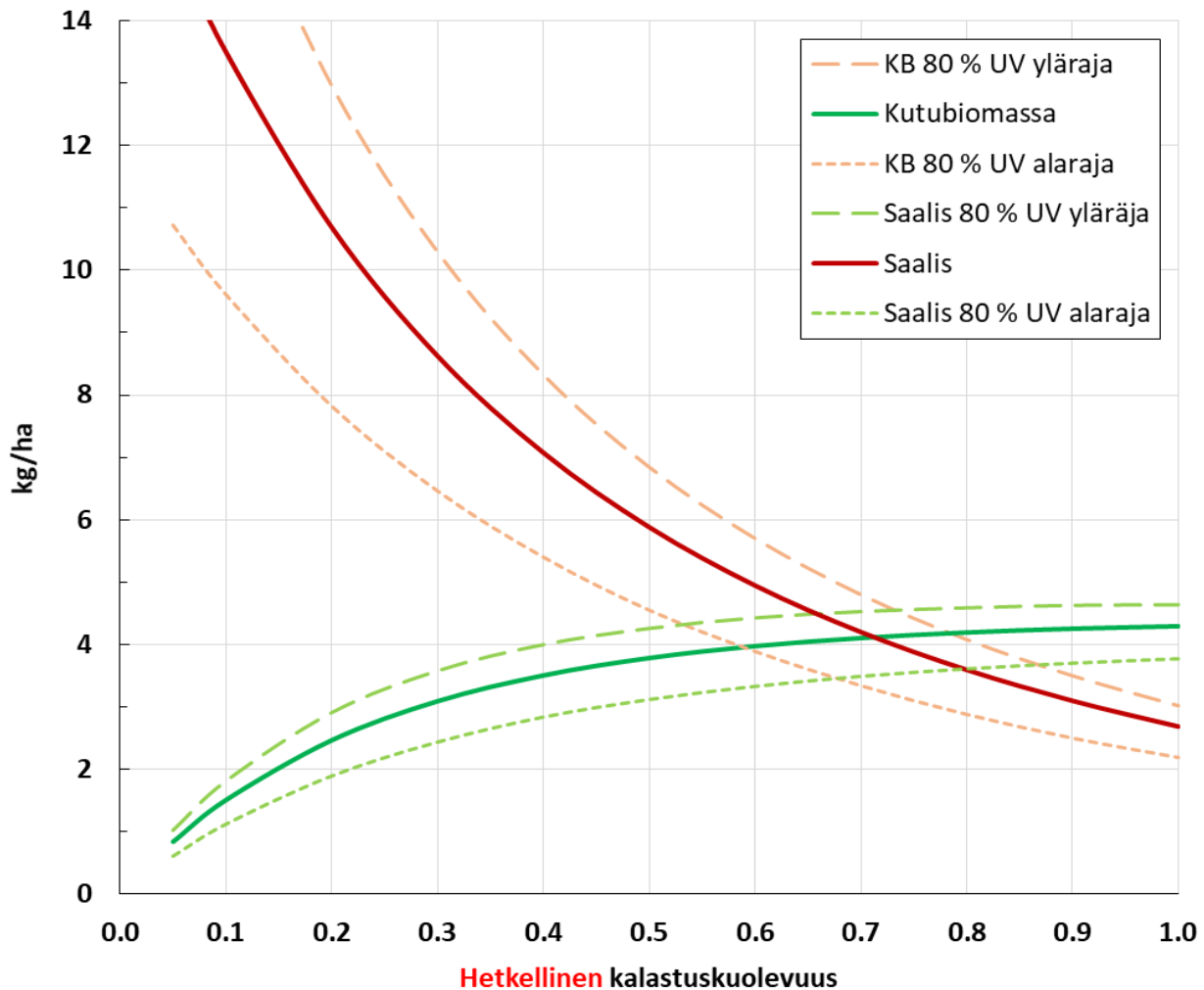
Rickerin (1975) tuotantomallilla (Liite 1) arvioitu keskimääräisen muikkuvuosiluokan elinaikanaan tuottama saalis kasvaa kalastuskuolevuuden funktiona, mutta saaliin kasvunopeus hidastuu jatkuvasti ja saalis saattaa jopa pienentyä maksimisaaliista hyvin korkeilla kuolevuuden arvoilla. Kalastuskuolevuuden kasvaessa vuosiluokan biomassa ja kutubiomassa pienenevät jatkuvasti (muikun osalta yleisesti esim. Marjomäki ym. 2016).

Puulan muikulla nämä säännöt ilmenevät siten, että keskimääräisen vuosiluokan saaliin kasvu on hyvin vähäistä hetkellisestä kalastuskuolevuudesta $F = 0,4-0,5$ eteenpäin (Kuva 7). Kun kalastuskuolevuus kasvaa 25 % arvosta 0,4 arvoon 0,5, vuosiluokan saalis kasvaa alle 10 %, mutta vuosiluokan tuottama kutubiomassa pienenee 17 % ja kokonaisbiomassa 14 %. Kutubiomassan muutos on likimäärin verrannollinen muikun yksikkösaaliin (esim. kg/troolin vetotunti) muutokseen, joten siis myös työn yksikkötuottavuus pienenee suurin piirtein yksikkösaaliin pienenemistä vastaavasti.

Puulan 200 km² tutkimusalueen hetkellisen kalastuskuolevuuden on arvioitu vaihdelleen jaksolla 2019–2021 välillä n. 0,5–0,1/vuosi.

Puulan tutkimusalueen vuotuinen muikkusaalis on vaihdellut jaksolla 1984–2021 välillä n. 1–6 kg/ha (Marjomäki & Huolila 1995a, Marjomäki julkaisematon aineisto). Pienimmillään saalis oli lyhyen muikkukadon aikaan 1990-luvun alussa. 1980-luvulla saalis pyydettiin pääasiassa nuotilla ja verkoilla. Troolaus alkoi vuonna 1987, ja nykyään valtaosa muikkusaaliista pyydetään trooleilla. Puulan keskimääräisen vuosiluokan saaliskapasiteetti on suuruusluokkaa 4–5 kg/ha (Kuva 7). Runsaimpien vuosiluokkien saaliskapasiteetti voi olla huomattavasti suurempi. Tutkimusjakson runsaimman vuosiluokan 1994 tiheyden yksikesäisenä arvioitiin olevan n. 4000 kpl/ha (Marjomäki ym. 2014), mutta Puulalla runsasta vuosiluokkaa on aina seurannut harva, joten esim. viiden vuoden runsaan kannan jakson keskimääräinen yksikesäisten muikkujen tiheys on ollut vain suuruusluokkaa 1000 kpl/ha. Hitaan kasvun vuoksi runsaiden vuosiluokkien tuotanto yksilöä kohden on pieni ja luonnollinen kuolevuus voi olla keskimääräistä suurempi, koska pedot, esim. ahven, taimen ja lohi, pystyvät syömään hidaskasvuista muikkua tavallista pidemmän ajan. Populaation saaliskapasiteetti ei siis välttämättä ole tiheän muikkukannan jaksolla juurikaan keskimääräistä suurempi. Käytännössä Puulan runsaiden vuosiluokkien tehokasta hyödyntämistä on rajoittanut vähäinen pienen kalan kysyntä ja alhainen hinta (esim. Marjomäki ym. 1995).

Puulan harvalukuisimpien vuosiluokkien jaksolla (esim. 1989–1991 Puulalla keskimäärin 180 yksikesäistä/ha) teoreettinen saaliskapasiteetti oli korkeintaan suuruusluokkaa 1 kg/ha. Vähäinenkin kalastus ja luonnollinen kuolevuus painoivat kutukannan kuitenkin tällöin hyvin matalalle tasolle (Kuva 4) ja kaupallinen kalastus loppui kannattamattomana (Marjomäki ym. 1995).



KUVA 7. Puulan keskimääräisen muikkuvuosiluokan (732 kpl/ha, keskiarvon keskihajonta 190 kpl/ha) saalis ja kutukannan biomassa hetkellisen kalastuskuolevuuden funktiona Rickerin (1975) mallilla arvioituna sekä arvioiden 80 % uskottavuusvälin (UV) ala- ja yläraja (10 % - 90 % desiiliväli). Mallin parametrit liitteessä 1.

Koska muikun vuosiluokkavaihtelu on erittäin voimakasta ja epäennustettavaa (ks. luku 3) eikä menneiden vuosien aikasarja ennusta tulevaa edes keskimäärin ympäristön muuttuessa (ilmaston lämpiäminen), mitään keskimääräiseen saaliskapasiteettiin perustuvaa vakioitua saaliskiintiötä ei siis voi käyttää muikunpyynnin säätelyyn. Runsaan kannan aikana vakioitu kiintiö olisi ehkä vain pieni osa tuotannosta, mutta saattaisi olla huomattavasti koko muikkukantaa ja sen tuotantoa suurempi katovaiheessa. Korkeintaan voidaan laadukkaan seurantatiedon perusteella karkeasti ennakoida 1–2 seuraavan vuoden tuottavuutta ja saalisvaroja. Jos nyt on runsaasti muikkua, viiden vuoden kuluttua voi olla muikkukato (Kuva 4 jakso 1986–1992) tai päinvastoin (jakso 1994–2000).

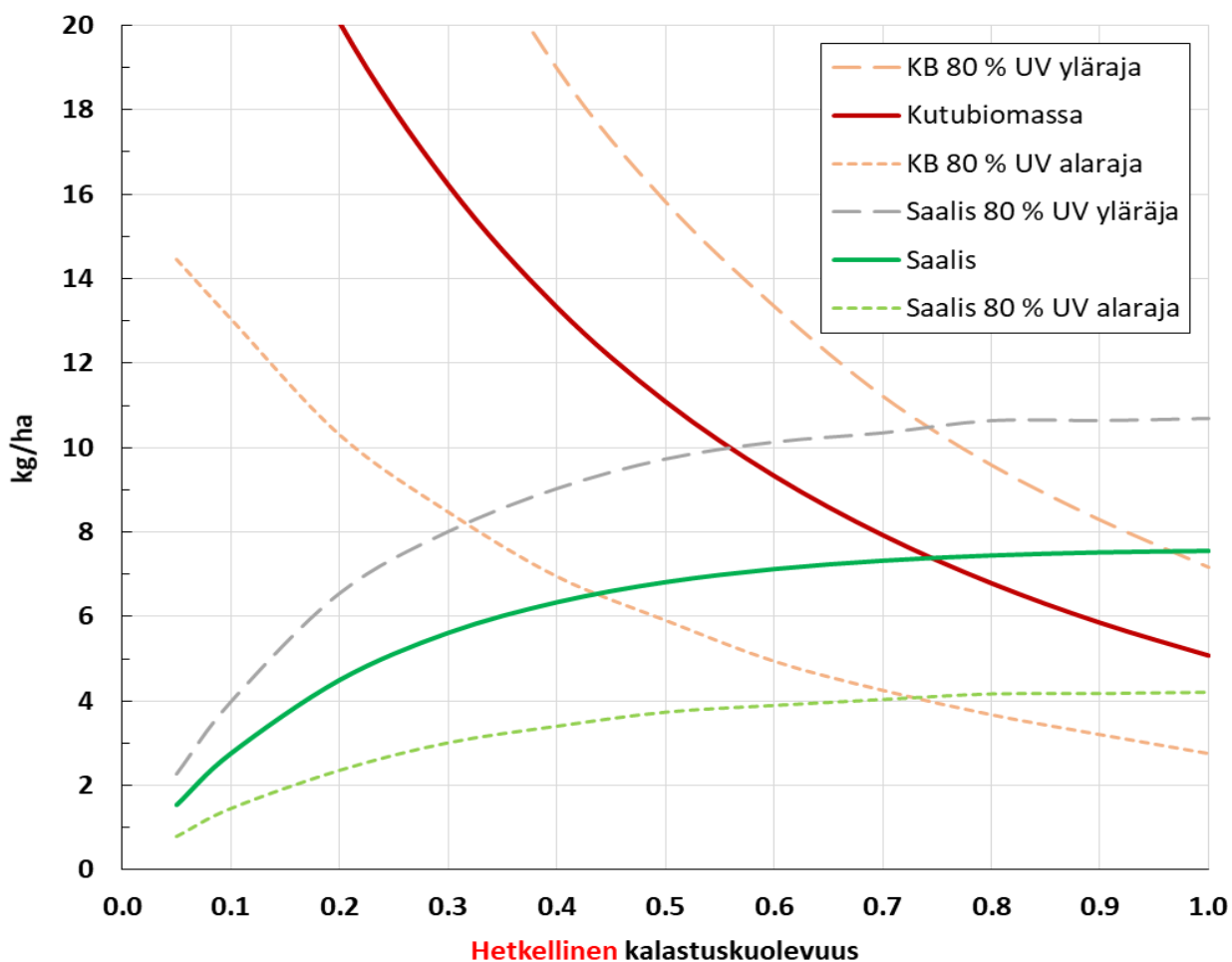
Muikun kalastuskuolevuuden ylärajan määrää ekologisen kestävyuden näkökulmasta viime kädessä kutukannan (vähintään kaksikesäisten muikkujen biomassassa) riittävyys. Puulalla kutubiomassa 2–3 kg/ha kykeni tuottamaan runsaan vuosiluokan hyvien olosuhteiden vallitessa (Marjomäki 2004, Marjomäki ym. 2014). Kuitenkin esim. 5 kg/ha kutubiomassa tuotti keskimäärin 20 % – 50 % suurempia vuosiluokkia kuin 2–3 kg/ha kutukanta. Tasaan n. 5 kg/ha suuremmalla kutubiomassalla vuosiluokan runsaus ei enää keskimäärin merkittävästi kasvanut kutubiomassan kasvaessa. Puulavedellä keskimääräistä kutubiomassaa 5 kg/ha vastaa keskimääräisen vuosiluokan tapauksessa kalastuskuolevuuden arvo n. 0,6. (Kuva 7). Tutkimusjakson suurimmat kutubiomassat ovat Puulalla olleet lähes 20 kg/ha (Marjomäki ym. 2014).

Etelä-Konnevedellä pätevät samat lainalaisuudet kuin Puulalla. Etelä-Konneveden muikkupopulaation runsautta ei tunneta yhtä tarkasti ja täsmällisesti kuin Puulalla, joten myös keskimääräisen vuosiluokan tuotantoarviot ovat karkeita suuruusluokka-arvioita. Poikastiheysarvioiden ja muikun hyvin hitaan kasvun perusteella Etelä-Konnevedellä vuosiluokat ovat olleet ainakin 2000-luvulla ollut runsaampia kuin Puulalla. Konnevedellä muikun keskimääräinen kasvu on ollut Puulaa nopeampaa. Tämä johtuu paljolti muikun erittäin nopeasta kasvusta pitkän muikkukatovaiheen aikana. Kaiken kaikkiaan Etelä-Konneveden muikkupopulaation ja kutukannan biomassat lienevät olleet keskimäärin Puulan arvoja suurempia.

Keskimääräisen vuosiluokan saalis ei Etelä-Konnevedelläkään kasva kalastuskuolevuuden funktiona juurikaan enää hetkellistä kalastuskuolevuutta 0,4–0,5 suuremmilla arvoilla (Kuva 8). Vuosina 1978–1980 muikun kalastuskuolevuuden arvioitiin eri vuosina olleen suuruusluokkaa 0,4–0,6/vuosi (Valkeajärvi 1983b). Valkeajärvi (1983b) arvioi poikkeuksellisen runsaan vuosiluokan 1979 (n. 8000 yksikesäistä/ha) saalikapasiteetiksi jopa n. 40 kg/ha.

Etelä-Konneveden vuotuinen muikkusaalis jaksolla 1969–1981 oli keskimäärin 8 kg/ha, vaihteluväli 3–14 kg/ha (Valkeajärvi 1983b). Saalis oli suurimmillaan juuri ennen muikkukadon alkua vuosina 1980–1981. Muikkukadon jälkeiseltä ajalta Etelä-Konneveden muikkusaaliista ei ole julkaistu kattavaa tilastoa, mutta jakson 2004–2007 keskimääräisen vuosisaaliin arvioitiin olevan n. 3 kg/ha (Karjalainen ym. 2016).

Myöskään kutukannan ja siitä seuraavan vuosiluokan välistä riippuvuutta ei Etelä-Konnevedellä tunneta kvantitatiivisesti niin hyvin kuin Puulalla, joten kutubiomassan runsauden ekologisesti kestävää minimitasoa ei voida määrittää. Tilastojen perusteella Konnevedelläkin pieni kutukanta (n. alle 30 % maksimikutukannasta) tuotti keskimäärin heikompia vuosiluokkia kuin runsas kutukanta (Marjomäki ym. 2021a). Kutukannan runsaus siis säätelee jälkeläistuotantoa selvästi myös Konnevedellä. Kutukannan päätyminen matalalle tasolle voi aiheuttaa alttiutta pitkäkestoiseen muikkukatoon, jos ahvenia on runsaasti (Valkeajärvi & Marjomäki 2004). Valkeajärven (1983b), Karjalaisen ym. (2016, 2021) ja Marjomäen ym. (2021a) tilastojen perusteella voidaan karkeasti arvioida, että keskimäärin hyvän lisääntymismenestyksen tuottava kutukanta on suuruusluokaltaan vähintään 5 kg/ha.



KUVA 8. Etelä-Konneveden keskimääräisen muikkuvuosiluokan (900 kpl/ha, keskiarvon keskihajonta 300 kpl/ha) saalis ja kutukannan biomassa hetkellisen kalastuskuolevuuden funktiona Rickerin (1975) mallilla arvioituna sekä arvioiden 80 % uskottavuusvälin (UV) ala- ja yläraja (10 % - 90 % desiiliväli). Mallin parametrit liitteessä 1.

Elinkiertoanalyysin (engl. *life table*) perusteella (Marjomäki ym. 2021c) voidaan karkeasti arvioida, että keskimäärin Etelä-Konneveden muikkupopulaatio kestäisi maksimikasvunopeuden tilanteessa (= harva muikkukanta) ja keskimääräisellä varhaiskuolevuudella (varhaisjakso = jakso hedelmöitymisestä yksikesäiseksi) n. 60 % - 70 % vuotuista postrekryyttikuolevuutta (postrekryyttijakso = jakso yhden kesän iästä eteenpäin, kun muikku on potentiaalisesti kalastuksen kohteena), hetkellinen kokonaiskuolevuus $Z = 0,9-1,2$ /vuosi. Silloin hetkellinen kalastuskuolevuus F voisi olla suurimmillaan keskimäärin suuruusluokkaa 0,4-0,7 olettaen, että hetkellinen luonnollinen kuolevuus M on suuruusluokkaa 0,5.

Jaksolla 1978-1980 Etelä-Konneveden muikun hetkellinen kokonaiskuolevuus (Z) oli n. 1-1,3/vuosi (Valkeajärvi 1983b) eli suhteellinen vuotuinen kokonaiskuolevuus oli edellä mainitun n. 60 % - 70 % maksimaalisen postrekryyttikuolevuuden luokkaa keskimääräisen varhaiskuolevuuden tapauksessa. Kyseisellä jaksolla runsaan vuosiluokan muikkujen kasvu ei kuitenkaan ollut maksimitasolla, joten populaation lisääntymiskyky ei ollut suurimmillaan. Jaksolla 2004-2007 hetkellisen kokonaiskuolevuuden arvioitiin

olevan suuruusluokkaa 0,7 ja suhteellisen vuotuisen kokonaiskuolevuuden n. 50 % (Karjalainen ym. 2016).

Yllä oleva mallitarkastelu (Kuvat 7 ja 8) perustuu keskiarvoihin. Muikkupopulaation runsauden pienentyessä, esim. kalastuskuolevuuden kasvun seurauksena, kalojen kasvu nopeutuu ja varhaiskuolevuus voi pienentyä, mikä kompensoi jossain määrin postrekryyttikuolevuuden kasvua. Tuottavuus muikkuyksilöä kohden siis todennäköisesti kasvaa tiheyden pienentyessä ja kutubiomassa ja yksikkösaalis pienenevät kalastuskuolevuuden kasvaessa hitaammin kuin kuvissa 7 ja 8 on arvioitu.

Hyvin karussa järvessä kalojen kasvu ei kuitenkaan välttämättä merkittävästi parane keskimääräistä tiheyttä harventamalla. Voimakkaasti kalastetussa populaatiossa nimittäin kaksivuotisvaihtelun todennäköisyys näyttää kasvavan tiheyden pienenemisen myötä (Marjomäki ym. 2014, Marjomäki ym. 2021b). Tällöin joka toinen vuosiluokka voi olla hyvin tiheä ja vuosiluokan sisäisen kilpailun vuoksi erittäin hidaskasvuinen ja samalla väliin jäävä harva vuosiluokkakin kärsii vahvan vuosiluokan kilpailusta. Esim. eräissä Etelä-Lapin karuissa järvissä ja Puruvedessä (Saimaa) oli 1960–1970-luvulla voimakas talvinuottakalastuskuolevuus, mutta kalat kasvoivat jatkuvasti erittäin hitaasti ja vuosiluokkavaihtelussa oli selvä kaksivuotisrytmi (esim. Nissinen 1972, Hanski & Lind 1979). Tällainen muikkukanta saattaa kyllä tarjota runsaita saalisvaroja, mutta kalan keskikoko on jatkuvasti pieni ja kala olisi siksi nykyään käytännössä markkinoille kelpaamatonta. Vasta erittäin voimakas heti muikun ensimmäisestä talvesta lähtien tapahtuva kalastus voi pitää sekä kutukannan että nuorten kalojen määrän niin pienenä, että kalojen kasvunopeus säilyy suurena. Säskylän Pyhäjärvi tarjoaa hyvän esimerkin tällaisesta kalastuksesta (Sarvala ym. 1998). Siellä vuosiluokasta päätyi ensimmäisenä talvena saaliiksi jopa reilusti yli 90 % (Sarvala ym. 2020). Säskylän Pyhäjärvi on kuitenkin erikoistapaus muikun kasvun suhteen rehevyytensä vuoksi ja kalastuksen tehokkuuden suhteen mataluutensa ja laajojen tasasyvyisten alueiden vuoksi. Tällainen kalastustapa ei olisi käytännössä mahdollinen Puulalla, Etelä-Konnevedellä tai Saarijärven Pyhäjärvellä, vaan voimakas kalastus johtaisi niissä todennäköisesti kaksivuotisrytmillä vaihtelevaan hidaskasvuiseen muikkukantaan. Säskylän Pyhäjärvellä em. kalastustapa johti lopulta kutukannan romahdukseen ja muikkukatoon 1990-luvun alkupuolella (Sarvala ym. 2020).

Suuri kalastuskuolevuus johtaa populaation keski-ikänsä nuorenmiseen. Tehokkaasti kalastetussa järvessä muikun kutukanta koostuu suurelta osin yhdestä vuosiluokasta kerrallaan ja yksi vuosiluokka osallistuu merkittävästi lisääntymiseen vain korkeintaan parina vuonna. Jos tällaisessa populaatiossa sattuu lisääntymishäiriö esim. säätekijöiden vuoksi muutamana vuonna peräkkäin, kutukanta voi nopeasti pienentyä niin paljon, että populaation lisääntymisteho pienenee ainakin tilapäisesti. Jos silloin petokaloja on runsaasti, esim. ahventa, kalayhteisön rakenne voi muuttua siten, että ahvenen nuoriin muikkuihin kohdistuva saalistus voi aiheuttaa pitkäaikaisen muikkukadon (Valkeajärvi & Marjomäki 2004, Marjomäki ym. 2021c).

Taloudellisesti kestävä kalastuskuolevuuden ylärajan määräävät pyynnin kustannukset ja saaliin hinta. Kustannuksiin vaikuttavat mm. pyyntikalusto, polttoaineen hinta, pyyntipaikan ja markkinoiden etäisyys ja palkat. Saaliin hinta vaihtelee vuosittain tarjonnan ja kalan koon mukaan. Tarjonnan kasvaessa hinta laskee ja kalan koon kasvaessa nousee (Marjomäki ym. 2016).

6 ARVIO TROOLAUKSEN JA TALVINUOTTAUSKEN AIHEUTTAMASTA KALASTUSKUOLEVUUDESTA SAARIJÄRVEN PYHÄJÄRVELLÄ

6.1 Laskentamalli

Kalastuskuolevuuteen vaikuttavat ensisijaisesti (Marjomäki ym. 2005):

Pyynti-intensiteetti (PI):

Troolin pyyhkäisyala hehtaareina järvihehtaaria kohden arvioitiin kaavalla

$$PI = (\text{vetotunnit} * \text{troolin nopeus} * \text{troolin leveys}) / \text{järven pinta-ala}$$

Laskelmassa troolin nopeutena käytettiin muikkutroolaukselle tyypillistä arvoa n. 1 m/s = 3,6 km/ha ja troolin vetoleveytenä 20 m, jolloin

$$PI/\text{vetotunti} = ((3600 \text{ m} * 20 \text{ m})/10000 \text{ m/ha})/5900 \text{ ha} = 0,00122 \text{ (ha/ha)/tunti.}$$

Yhdessä tunnissa 20 m leveä trooli siis pyyhkäisee n. 0,12 % järven pinta-alasta (huom. kokonaispinta-ala, ei pelkkä syväne).

Mikäli käytetään leveämpää troolia, kalastuskuolevuus kasvaa todennäköisesti lähes suoraan verrannollisesti suhteessa troolin leveyteen. Jos siis laskennallisesti 20 m troolilla yhden troolaustunnin pyynti-intensiteetti on 0,12 % järven pinta-alasta, silloin 30 m leveällä troolilla intensiteetti on suuruusluokkaa 0,18 % (30 m / 20 m = 0,18 % / 0,12 %).

Talvinuotanvedon pyynti-intensiteetti arvioitiin kaavalla

$$PI = (\text{vetokerrat} * \text{nuotta-apajan pituus} * \text{nuotan leveys}) / \text{järven pinta-ala}$$

Kalastuskuolevuuden ja pyynti-intensiteetin oletetaan siis muuttuvan suoraan verrannollisesti vetoleveyteen ja vedon pituuteen nähden.

Vetoleveydellä tarkoitetaan nuotan todellista leveyttä vedossa eikä yläpaulan pituutta. Talvinuotan leveytenä käytettiin 250 m ja vedon pituutena 600 m. Silloin yhden vedon pyyhkäisyala = 15 ha ja pyynti-intensiteetti 0,00254, eli 0,254 % järven pinta-alasta.

Pyödyksen pyytävyyys (q): pyödyksen ottama osuus pyyhkäisyalan pyyntikokoisista kaloista

Puulavedellä on kaikuluotaamalla määritettyyn muikkutiheyteen ja yksikkösaaliiseen perustuen karkeasti arvioitu, että pieni trooli pyytää n. 50–60 % pyyhkäisyalan pyyntikokoisista muikuista (Marjomäki & Huolila 1995b). Pyytävyys riippuu troolin leveyden lisäksi sen korkeudesta. Havaitessaan troolin kalat tekevät hätäsukelluksen, joten troolin alimman 2–4 m alueella oleskelevat kalat ehtivät todennäköisesti sukeltaa pyyntisyvyyden alapuolelle. Tässä laskelmassa oletetaan, että trooli on niin korkea (n. yli 10 m, kun pyydetään illalla päällysveteen noussutta kalaa), että troolin korkeudella ei ole merkittävää vaikutusta kalastuskuolevuuteen.

Epävarmuuden ilmentämiseksi laskennassa käytettiin pyytävyydelle seuraavia arvoja: minimi = 40 %, todennäköisin arvo = 60 %, maksimi = 90 %.

Talvinuotan pyytävyydeksi arvioitiin 70 %, minimi = 47 %, maksimi = 105 %. Yli 100 % pyytävyyys voi toteutua silloin, kun pyynti tapahtuu oleskelualueen sisällä sellaisilla apajilla, joilla kalatiheys on erityisen suuri.

Pyödyksen valikoivuus p

Troolin peräverkon solmuväli ja havaksen asento (neliösilmä, vinoneliösilmä) vaikuttavat keskeisesti siihen, minkä kokoisia kaloja pyödyks pyytää. Myös saaliin suuruudella on vaikutusta: saaliin kasvaessa valikoivuus vähenee (esim. Suuronen ym. 1991, Suuronen & Millar 1992). Pyödyksen valikoivuutta voidaan säädellä myös lajittelusäleiköillä (esim. Tschernij & Aho 2006). Hidaskasvuista muikkua troolatessaan Etelä-Konneveden ja Puulan kalastajat ovat omatoimisesti päätyneet käyttämään yleensä solmuväliltään 12–14 mm neliösilmäperää alle 12 cm pituisen muikku- ja kuoresaaliin vähentämiseksi. Silmäkooltaan (engl. *stretched whole mesh length*) 24 mm neliösilmäverkon (reiän sivun pituus n. 12 mm) valikoivuus (p) on 25 % 84 mm pituisista, 50 % 96 mm pituisista ja 75 % 108 mm pituisista muikuista (Suuronen ym. 1995: "T. Turunen & P. Suuronen, julkaisematon aineisto").

Tässä laskelmassa kalastuskuolevuus arvioidaan pyödykseen täysin rekrytoituneiden ikäryhmien/kokoluokkien osalta (p = 100 %). Osittain rekrytoituneiden (p = X < 100 %) ryhmien kalastuskuolevuus saadaan kertomalla tässä laskelmassa esitetty hetkellinen kalastuskuolevuus ryhmän valikoivuuskertoimella p.

Kalojen kertyminen pyyntialueelle (K)

Kalat eivät ole vesialueen syvyyden suhteen tasaisesti jakautuneet järvessä. Jos kaikki järven kalat oleskelevat esim. vesialueella, jonka syvyys on yli 20 m ja alueen osuus on esim. $1/5 = 20\%$ järven alasta, ja pyynti tapahtuu vain tällä alueella, kertymisestä johtuva pyyntiteho on $1/(1/5) =$ viisinkertainen verrattuna tilanteeseen, jossa kalat ja/tai pyynti olisivat tasaisesti tai satunnaisesti jakautuneet koko järven alueelle.

Muikkujen oleskelualueen osuutena (K) (Taulukko 3) käytettiin laskennassa arvoja, jotka perustuvat arvioon muikun käyttäytymisestä suhteessa lämpötilaan ja valoon. Koska arvio on epätarkka, tuloksia ei laskettu käyttäen yhtä arvoa vaan arvoja todennäköiseksi katsotulta väliltä $K * A$, jossa A:n minimi = $2/3$, todennäköisin arvo = 1 ja maksimi = $3/2$ (Taulukko 3). Yhdessä laskennassa käytettiin kaikille kuukausille aina samaa A:n arvoa.

Pyynnin oletetaan tässä laskelmassa tapahtuvan kalojen esiintymisalueella satunnaisesti suhteessa alueen sisäiseen kalatiheysjakaumaan. Jos kalatiheys kuitenkin esim. yli 20 m syvällä alueella on suuri jollakin osa-alueella ja pyynti kohdistuu kyseiselle osa-alueelle, tämä laskelma aliarvioi kalastuskuolevuuden kertymisen vaikutuksen osalta.

TAULUKKO 3. Laskelmissa käytetty arvioitu pyyntikokoisten muikkujen oleskelualueen osuus (K) Pyhäjärven pinta-alasta eri kuukausina.

Kuukausi	minimi	todennäköisin	maksimi
tammi	20 %	30 %	45 %
helmi	20 %	30 %	45 %
maalis	20 %	30 %	45 %
huhti	20 %	30 %	45 %
touko	20 %	30 %	45 %
kesä	17 %	25 %	38 %
heinä	13 %	20 %	30 %
elo	13 %	20 %	30 %
syys	17 %	25 %	38 %
loka	17 %	25 %	38 %
marras	20 %	30 %	45 %
joulu	20 %	30 %	45 %

Kun tunnetaan em. muuttujien arvot, voidaan arvioida kuukausittainen hetkellinen kalastuskuolevuus

$$F = PI * q * p / K$$

Vuotuinen hetkellinen kalastuskuolevuus on kuukausikohtaisten arvojen summa. Hetkellinen kokonaiskuolevuus (Z) saadaan, kun kalastuskuolevuuteen lisätään hetkellinen luonnollinen kuolevuus (M) ja muiden pyydysten kalastuskuolevuus (F_{muu}). Todennäköisimmäksi hetkelliseksi luonnolliseksi kuolevuudeksi arvioitiin Etelä-Konneveden (Marjomäki ym. 2021c) ja Puulan (Marjomäki, julkaisematon) arvojen perusteella $M = 0,5/\text{vuosi}$, laskelmissa käytetty minimi = 0,333 ja maksimi = 0,75. Tarkemman tiedon puuttuessa luonnollisen kuolevuuden arvioitiin jakautuvan tasaisesti kaikille kuukausille. Muikun muuksi kalastuskuolevuudeksi (F_{muu}) arvioitiin syys-, loka- ja marraskuulle arvot 0,025, 0,05 ja 0,025, yhteensä 0,1.

Kaupallista muikun verkkopyyntiä ja rysäpyyntiä ei näissä alustavissa laskelmissa huomioitu ollenkaan, koska niiden pyyntimuotojen soveltuvuudesta merkittäviksi kaupallisiksi pyyntitavoiksi Pyhäjärvellä ei ole tietoa. Vertailujärvillä ei pyydetä muikkua verkoilla tai rysillä kaupallisesti juuri ollenkaan. Arvioita päivitetään näiltä osin järviokohtaisen tiedon perusteella jatkossa tarvittaessa.

Tuloksiin liittyvien epävarmuuksien ilmentämiseksi muuttujien q , K ja M arvot poimittiin kalastuskuolevuutta (F) laskettaessa satunnaisesti tiheysjakaumasta

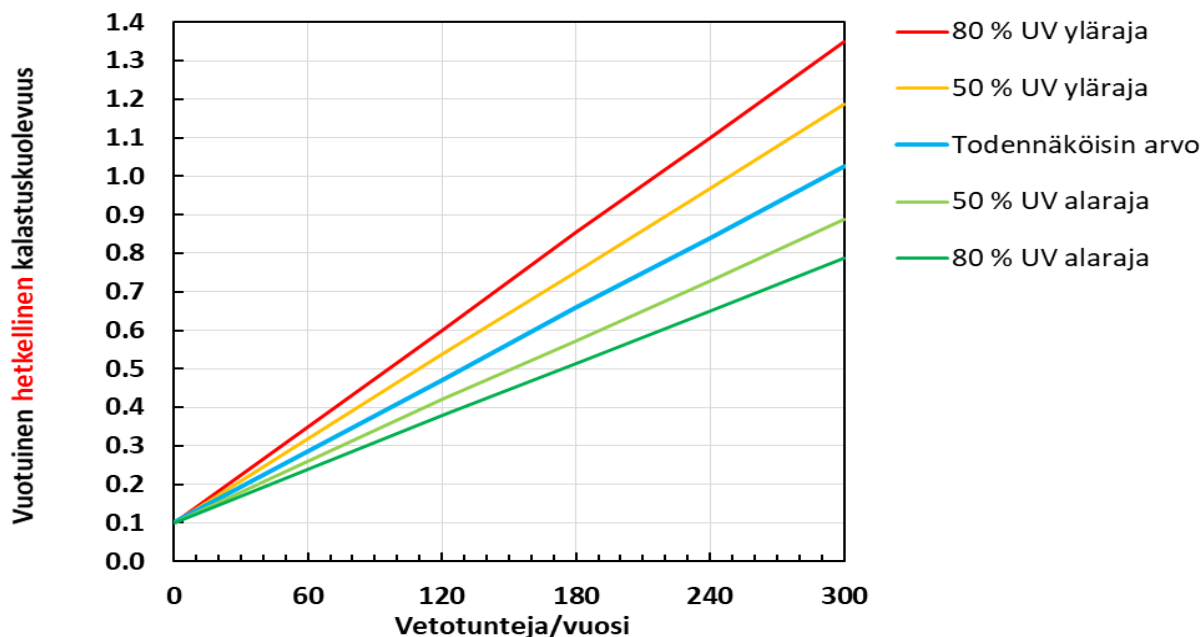
~ *triangle*(minimi, todennäköisin arvo, maksimi)

ja tulokset laskettiin 5000 kertaa @RISK-sovelluksen (Palisade) avulla. Todennäköisimmiksi arvioiduilla muuttujien arvoilla laskettujen tuloksien lisäksi esitetään myös epävarmuutta kuvaavat tulosten 50 % ja 80 % uskottavuusvälit (25 % - 75 % kvartiiliväli ja 10 % - 90 % desiiliväli) 5000 tuloksen jakauman perustella.

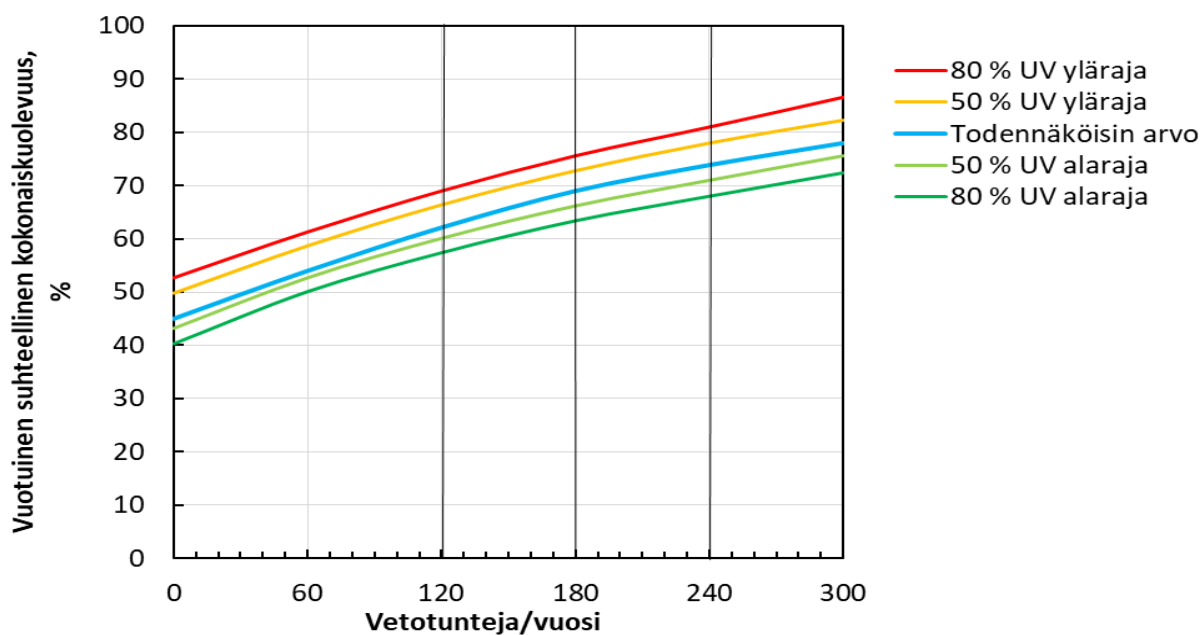
6.2 Tulokset

Saarijärven Pyhäjärvellä 20 m leveän troolin 120 tunnin vuotuisen troolipyntiponnistuksen (= 20 h/kk jaksolla kesäkuu-marraskuu, pyynti-intensiteetti = 0,15 ha/ha) ja vähäisen syyskalastuksen ($F_{\text{muu}} = 0,1$) yhdessä aiheuttaman hetkellisen kalastuskuolevuuden arvioidaan olevan $F = 0,47$ (80 % uskottavuusväli 0,38-0,60) (Kuva 9). Todennäköisin kalastuskuolevuusarvio 180 tunnin troolauksella (= 30 h/kk kesäkuu-marraskuu, pyynti-intensiteetti = 0,22 ha/ha) on $F = 0,66$ (80 % uskottavuusväli 0,51-0,85) ja 240 tunnin troolauksella (= 40 h/kk jaksolla kesäkuu-marraskuu, pyynti-intensiteetti = 0,29) kalastuskuolevuusarvio on 0,84 (80 % uskottavuusväli 0,65-0,97).

Puulan ja Etelä-Konneveden arvioiden perusteella (Kuvat 7 ja 8) Pyhäjärvellä troolipyntiponnistus n. 180 h/vuosi (20 m leveä trooli) aiheuttaa kalastuskuolevuuden, jolla kalastuksen lisääminen ei enää kasvata saalista juurikaan keskimääräisen vuosiluokan tapauksessa. Mikäli kalastuksen määrä kasvaa tästä, kutukantakin saattaa keskimääräisen vuosiluokan tapauksessa laskea tasolle, joka ei enää tuota keskimäärin runsasta vuosiluokkaa. Myös postrekryyttivaiheen (yli 1-vuotiaat kalat) suhteellinen kokonaiskuolevuus on tällöin hyvin todennäköisesti yli 70 % (Kuva 10), mitä Konnevedellä pidettiin tasapainossa olevan populaation postrekryyttikuolevuuden todennäköisenä ylärajana.



KUVA 9. Arvioitu vuotuinen hetkellinen kalastuskuolevuus ja sen 50 % ja 80 % uskottavuusväli Saarijärven Pyhäjärvellä vuotuisten troolaustuntien funktiona. Troolin leveys 20 m, vakio vetotuntien määrä/kk jaksolla kesäkuu-marraskuu. Kuolevuuteen sisältyy arvioitu muiden pyydysten aiheuttama kalastuskuolevuus 0,1 jaksolla syys-marraskuu.



KUVA 10. Arvioitu vuotuinen suhteellinen kokonaiskuolevuus ja sen 50 % ja 80 % uskottavuusväli Saarijärven Pyhäjärvellä vuotuisten troolaustuntien funktiona. Troolin leveys 20 m, vakio vetotuntien määrä/kk jaksolla kesäkuu-marraskuu. Kuolevuuteen sisältyy arvioitu muiden pyydysten aiheuttama hetkellinen kalastuskuolevuus 0,1 jaksolla syys-marraskuu ja hetkellinen luonnollinen kuolevuus $M = 0,5/\text{vuosi}$ (minimi = 0,333, maksimi = 0,75).

Mikäli kalastus kohdistetaan vähintään yksikesäisten kalojen sijasta pääasiassa yli kaksikesäisiin muikkuihin, koko postrekryyttivaiheen kalastuskuolevuus ja kokonaiskuolevuus olisivat tietenkin jonkin verran pienempiä. Troolin valikoivuutta voidaan säädellä peräverkkojen harvuutta säätelemällä tai lajitteluosaleikillä. Osa trooliverkon läpi pakenevista pienistä muikuista kuitenkin kuolee (Suuronen ym. 1995). Nuoria kaloja (ikäryhmät 0+ ja 1+) voi väistää välttämällä pintavetoa keskikesän aikana.

On huomattava, että edellä esitetyt arviot kalastuksen vaikutuksesta kutukantaan koskevat pitkän ajan keskiarvolukuja. Edellä todettiin, että muikkukanta kuitenkin vaihtelee voimakkaasti, mikä täytyy ottaa huomioon kalastuksen säätelyssä käytännössä. Kun muikkukanta on hyvin runsas ja kalat kääpiöityneitä, pyyntiponnistuksen rajoittamiseen ei ole tarvetta. Kutukanta tuskin laskee yhden pyyntikauden pyyntiponnistuksella liian pieneksi ja harvennuksen aiheuttama kasvun paraneminen ja mahdollisesti myös luonnollisen kuolevuuden pieneneminen voivat kompensoida harvennuksen vaikutusta. Pienellä kalalla ei kuitenkaan yleensä ole kysyntää ja yksikkösaalis (kg/vetotunti) on suuri, joten kalastajat todennäköisemmin vähentävät kuin lisäävät pyyntiä tällaisessa tilanteessa (Marjomäki ym. 1995, Marjomäki 2003). Sen sijaan päivittäistä pyyntiaikaa on tarve lisätä silloin, kun muikkukanta harvenee. Silloin saalismuikku on suurikokoisempaa, joten markkinatilanne on parempi. Yksikkösaalis (kg/vetotunti) on kuitenkin huomattavasti pienempi, joten kalastajat voivat joutua kalastamaan päivittäin huomattavasti kauemmin sopivan saaliin saamiseksi, esim. 2 * 1,5 vetotuntia/ilta, kun tiheän kannan aikana voi riittää jopa yksi alle 1,5 h veto. Nimenomaan tässä harvahkon kannan tilanteessa pyynnin rajoittamiselle voi olla tarvetta riittävän kutukannan turvaamiseksi. Tulevan vuoden pyynnin rajoittamisen tarve voidaan arvioida edellisen syyskesän (yleensä elo-syyskuu) yksikkösaaliin ja syksyn yksikesäisen muikun runsausarvion perusteella. Vaikka yksikkösaaliiseen perustuva kutukanta-arvio olisi pienehkö, kalastusta voisi seuraavanakin vuonna jatkaa rajoituksetta, jos yksikesäistä kalaa on syksyllä hyvin runsaasti. Yksikesäistä vanhemman muikun tiheyden ei ole missään raportoitu romahtavaan äkillisesti luonnollisen kuolevuuden vuoksi.

Pyyntituntien jakautuminen eri kuukausille avovesikauden aikana ei vaikuta vuotuisen kalastuskuolevuuteen kovin paljon eikä siksi myöskään merkittävästi siihen, kuinka suuri kutukanta lokakuun lopussa on jäljellä. Kaupallisen kalastajan on siis syytä antaa itse säädellä pyynnin jakautumista markkinatilanteen ja kannattavuuden mukaan, mikäli hän pystyy välttämään pienen muikun joutumista trooliin lämpimän veden kaudella. Markkinoiden kannalta voi olla tarpeen pitää kalaa tarjolla jatkuvasti. Kannattavaa voi toisaalta olla pyyntituntien säästäminen lokakuulle, jolloin kalat ovat painavimmillaan ja kaloista voi erotella mädin.

Kaupallisen talvinuottakalastuksen (laskennassa 10 + 20 + 20 +10 vetoa tammi-huhtikuu, pyynti-intensiteetti = 0,15) aiheuttama kalastuskuolevuus on samaa suuruusluokkaa kuin 120 tunnin vuotuisen troolipyynnin 20 m leveällä troolilla (Taulukko 4). Siten yksi kaupallinen talvinuotta ja 120 tunnin troolaus aiheuttaisivat yhdessä arviolta n. 240 h troolausta vastaavan n. 70 % kokonaiskuolevuuden (Kuva 10). Troolaus (120 h vuodessa) ja kaupallinen talvinuottaus yhdellä nuotalla (60 vetoa) olisi siis todennäköisesti kestävästi mahdollista tiheän muikkukannan tilanteessa. Käyttö- ja hoitosuunnitelmassa Pyhäjärvelle esitettyä viiden kaupallisen nuotan maksimilupamäärää voidaan tässä valossa pitää keskimäärin ylimitoitettuna muikunpyynnin ekologisen ja taloudellisen kestävyuden näkökulmasta, mikäli pyydyksiä käytettäisiin päätoimiseen kaupalliseen

kalastukseen. Troolin (20 h/kk) ja viiden nuotan (60 vetoa/talvi), muun kalastuskuolevuuden ($F_{\text{muu}} = 0,1$) ja hetkellisen luonnollisen kuolevuuden ($M = 0,5$) aiheuttama suhteellinen vuotuinen kokonaiskuolevuus olisi tällöin todennäköisesti 90 % suuruusluokkaa.

TAULUKKO 4. Arvioita kaupallisen troolauksen ja talvinuottauksen aiheuttamasta muikun kuolevuudesta sekä kokonaiskuolevuudesta ja säilyvyydestä (= elossa säilyvien osuus vuodessa). Prosenttipisteet 10 % ja 90 % kuvaavat 80 % uskottavuusvälin ala- ja ylärajaa ja prosenttipisteet 25 % ja 75 % vastaavasti 50 % uskottavuusvälin rajoja. Kokonaiskuolevuuteen ja säilyvyyteen sisältyy muiden pyydysten aiheuttama kalastuskuolevuus $F_{\text{muu}} = 0,1$ sekä luonnollinen kuolevuus $M = 0,5$ /vuosi (minimi = 0,333, maksimi = 0,75).

	Todennäköisin arvo	Prosenttipiste			
		10 % 80% UV	25 % 50 % UV	75 % 50 % UV	90 % 80 % UV
A) Troolaus 20 h/kk kesä-marraskuu, 120 h					
Ft hetkellinen troolikalastuskuolevuus	0,37	0,28	0,32	0,44	0,5
ut suhteellinen troolikalastuskuolevuus, %	24	18	20	27	30
Z hetkellinen kokonaiskuolevuus	0,97	0,85	0,92	1,09	1,17
A suhteellinen kokonaiskuolevuus, %	62	57,4	60,1	66,4	69
S säilyvyys, %	38	29	33	40	43
B) Troolaus 40 h/kk kesä-marraskuu, 240 h					
Ft hetkellinen troolikalastuskuolevuus	0,74	0,55	0,63	0,87	1,00
ut suhteellinen troolikalastuskuolevuus, %	41	32	36	45	50
Z hetkellinen kokonaiskuolevuus	1,34	1,15	1,25	1,51	1,65
A suhteellinen kokonaiskuolevuus, %	74	68,4	71,2	78	80,9
S säilyvyys, %	26	19	22	29	32
C) Talvinuottoaus, 1 nuotta10, 20, 20, 10 vetoa tammi-huhtikuu					
Fn hetkellinen nuottakalastuskuolevuus	0,36	0,26	0,3	0,42	0,48
un suhteellinen nuottakalastuskuolevuus, %	23	17	20	26	29
Z hetkellinen kokonaiskuolevuus	0,96	0,84	0,9	1,07	1,16
A suhteellinen kokonaiskuolevuus, %	62	57	60	66	69
S säilyvyys, %	38	31	34	40	43
D) Troolaus ja talvinuottoaus, A + C					
Ftn hetkellinen kalastuskuol. trooli + nuotta	0,73	0,53	0,62	0,86	0,98
utn suht. kalastuskuol. trooli + nuotta, %	40	31	35	45	50
Z hetkellinen kokonaiskuolevuus	1,33	1,16	1,25	1,49	1,6
A suhteellinen kokonaiskuolevuus, %	73	69	71	77	80
S säilyvyys, %	27	20	23	29	31

6.3 Päätelmät ja suositukset

Kaupallinen muikunpyynti Saarijärven Pyhäjärven selkävesillä on suurella todennäköisyydellä ekologisesti kestävää käyttö- ja hoitosuunnitelmassa mainitulla pientroolilla ja/tai muutamalla nuotalla, mikäli troolin vuotuisten pyyntituntien ja nuottalupien tai nuotanvetojen määrää rajoitetaan tarvittaessa muikkukannan runsausarvion perusteella ja huolehditaan siitä, että sivusaaliina ei pyydetä runsaasti huonommin kalastuskuolevuutta sietäviä lajeja (esim. siika, kuha). Lisäksi on pyrittävä minimoimaan troolin peräverkosta läpi menevän muikun määrä ja kuolevuus pyydyksen rakenteellisilla ratkaisulla ja vetoaikoja ja -paikkoja säätelemällä erityisesti lämpimän veden aikana.

Kalastuksen taloudellinen kannattavuus riippuu troolin koon ohella mm. vetotavasta (yksi vai kaksi vetovenettä ja työntekijää), troolin perän harvuudesta, kuljetuskustannuksista, pyydetävän kalan koosta ja kalan hinnasta. Sosiaalinen kestävyys riippuu siitä, miten muut kalastajaryhmät kokevat kaupallisen kalastuksen kilpailijana saaliista tai uhkana kalakantojen kestävyydelle. Myös kaupallisen kalastuksen aiheuttama melu- ym. -haitta muiden järven rannoilla tai järvellä oleskeleville voi rajoittaa kaupallisen kalastuksen sietämistä. Tässä selvityksessä ei arvioitu Pyhäjärven kaupallisen kalastuksen taloudellista tai sosiaalista kestävyyttä.

Mikäli Saarijärven Pyhäjärvellä aloitetaan kaupallinen troolaus tai nuottaus, järvelle suositellaan perustettavaksi yhtenäislupa-alue ja sille kalastuksen järjestyssääntö, jonka mukaan lupaehdot määrätään.

Muikun kalastuksen säätely edellyttää vähintään seuraavia seurantamenetelmiä (Marjomäki ym. 2021a):

- 1) päivittäinen kalastuskirjanpito, josta saadaan
 - a. pyyntiponnistus
 - b. yksikkösaalisindeksi kutukannan runsauden ja yksikesäisen kalan runsauden arvioimiseksi
- 2) valikoimattomat troolisaalisnäytteet syyskesän–syksyn pyynnistä, esim. 3 * 2 kg, joista arvioidaan
 - a. saaliin ikäjakauma
 - b. kalojen ikäryhmäkohtainen keskipituus ja -paino
- 3) nuotan saalisnäytteet, mikäli järvellä nuotataan. Nuotasta saadaan troolinäytteitä täsmällisempi kuva populaation ikäjakaumasta ja kasvusta, koska nuotassa käytetään yleensä tiheää (solmuväli 8–10 mm) peräverkko.

Näiden seurantatietojen perusteella voidaan arvioida pyyntikauden lopussa muikkupopulaation runsaus sekä ikä- ja kokorakenne ja määrätä järjestyssäännön lupaehdoissa ennalta sovitulla tavalla tulevan pyyntikauden maksimipyyntiponnistus (esim. troolaustuntien ja talvinuotanvetojen määrä).

Kaupallista pyyntiä aloitettaessa järjestyssääntö voidaan laatia edellä esitettyjen Etelä-Konneveden ja Puulan muikkua koskevien tietojen perusteella

varovaisuusperiaatetta noudattaen. Pyhäjärven muikkua koskevan tiedon karttuessa järjestyssääntöä on syytä kehittää jatkuvasti järvikohtaisesti tarkemmaksi ja täsmällisemmäksi.

Tarvittaessa voidaan harkita lisätutkimuksina kaikuluotaukseen perustuvaa muikkukanta-arviota, poikastiheysarviota (edellisen syksyn kutukannan ja tulevan vuosiluokan indeksi) tai mäitiheysarviota (kutupopulaation indeksi, Karjalainen ym. 2021). Nämä menetelmät ovat hyödyllisiä erityisesti silloin, jos kalastuskirjanpitoa ja saalisnäytteitä ei ole käytettävissä kalastuksen keskeyttämisen vuoksi tai jos eri asianosaistahoilla on ristiriitaisen seurantatiedon ja/tai omien havaintojensa perusteella hyvin erilainen käsitys muikkukannan tilasta.

Seuranta- ja ohjausjärjestelmäluonnoksen kuvaus tarkemmin esim.

https://merijakalatalous.fi/wp-content/documents/Jyvaskylan_yliopisto_-_Sisavesi-ja_rannikkokalastuksen_seuranta-ja_ohjausjarjestelma_SeOs_II_jatkohanke_.pdf

ks. Liite 1 s. 79-

LÄHDELUETTELO

- Hanski K. & Lind E.A. 1979. *Koon ja ikäluokkarakenteen vaihtelu eräissä Suomen muikkupopulaatioissa talvella 1977-1978*. Oulun yliopisto.
- Järvi T.H. 1919: Muikku ja muikkukannat (*Coregonus albula* L.) eräissä Suomen järvissä. 1. Keitele. *Suomen Kalatalous* 5: 1-284.
- Karjalainen J., Tuloisela M., Nyholm K. & Marjomäki T. J. 2021. Vendace (*Coregonus albula*) disperse their eggs widely during spawning. *Ann. Zool. Fennici* 58: 141-153.
- Karjalainen J., Urpanen O., Keskinen T., Huuskonen H., Sarvala J., Valkeajärvi P. & Marjomäki T.J. 2016. Phenotypic plasticity in growth and fecundity induced by strong population fluctuation affects reproductive traits of female fish. *Ecol. Evolut.* 6: 779-790.
- Kovanen J. 2004. *Mahtisiiosta kuningaslohiin*. Teoksessa: Honkanen V., Laitinen K. & Meriläinen J. (toim.), Saarijärven mahtava Pyhäjärvi. Saarijärven kaupunki, ympäristönsuojelutoimi.
- Laakso U. 1938. Tilanne nykyisin entisillä hyvillä muikkuvesillä. *Suomen Kalastuslehti* 45: 30-31.
- Manninen V. 1935. Puulaveden muikkukanta vähätuottoinen viime syksynä. *Suomen Kalastuslehti* 42: 135.
- Marjomäki T.J. 2004. Analysis of the spawning stock-recruitment relationship of vendace (*Coregonus albula* (L.)) with evaluation of alternative models, additional variables, biases and errors. *Ecol. Freshw. Fish* 13:46-60.
- Marjomäki T.J. & Huolila M. 1995a. Puula. Suomen Virallinen Tilasto, *Ympäristö* 1995 (12): 95-98.
- Marjomäki T.J. & Huolila M. 1995b. Monitoring the density of Lake Puulavesi vendace (*Coregonus albula* (L.)) by hydroacoustics, catch per unit effort, virtual population and catch per swept area. *Arch. Hydrobiol. Spec. Issues Advanc. Limnol.* 46: 267-276.
- Marjomäki T.J. & Kirjasniemi J. 1995. Density dependent growth of vendace (*Coregonus albula* (L.)): a modelling analysis. *Arch. Hydrobiol. Spec. Issues Advanc. Limnol.* 46: 89-96.
- Marjomäki T.J., Keskinen T. & Karjalainen J. 2016. The potential ecologically sustainable yield of vendace (*Coregonus albula*) from large Finnish lakes. *Hydrobiologia* 780: 125-134.
- Marjomäki T.J., Kirjasniemi J. & Huolila M. 1995. The response of fisheries to decline in the vendace (*Coregonus albula* (L.)) stock of Lake Puulavesi, Finland. *Arch. Hydrobiol. Spec. Issues: Adv. Limnol.* 46: 421-428.
- Marjomäki T.J., Urpanen O. & Karjalainen J. 2014. Two-year cyclicity in recruitment of a fish population is driven by an inter-stage effect. *Popul. Ecol.* 56: 513-526. DOI 10.1007/s10144-014-0439-0
- Marjomäki T.J., Valkeajärvi P. & Karjalainen J. 2021c. Lifting the vendace, *Coregonus albula*, on the life table: survival, growth and reproduction in different life-stages during very high and low abundance regimes. *Ann. Zool. Fennici* 58: 177-189.

- Marjomäki T.J., Muje K., Nykänen M. & Urpanen O. 2005. Pyydysyksiköt ja sisävesikalastuksen säätely. *Maa- ja metsätalousministeriö. Kala- ja riistahallinnon julkaisuja* 76/2005: 1–32.
- Marjomäki T.J., Auvinen H., Helminen H., Huusko A., Sarvala J., Valkeajärvi P., Viljanen M. & Karjalainen J. 2004. Spatial synchrony in the inter-annual population variation of vendace (*Coregonus albula* (L.)) in Finnish lakes. *Ann. Zool. Fennici* 41: 225–240.
- Marjomäki T.J., Valkeajärvi P., Keskinen T., Muje K., Urpanen O. & Karjalainen J. 2021a. Towards sustainable commercial vendace fisheries in Finland: lessons learned from educating stakeholders for management decision-making based on imprecise monitoring data. *Advanc. Limnol.* 66: 25–46.
- Marjomäki T.J., Auvinen H., Helminen H., Huusko A., Huuskonen H., Hyvärinen P., Jurvelius J., Sarvala J., Valkeajärvi P., Viljanen M. & Karjalainen J. 2021b. Occurrence of two-year cyclicality, “saw-blade fluctuation”, in vendace populations in Finland. *Ann. Zool. Fennici* 58: 215–229.
- Nissinen T. 1972. Mätitiheys ja mädin eloonjääminen muikun (*Coregonus albula* L.) kutupaikoilla Puruvedessä ja Oulujärvessä. *Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitoksen kalantutkimusosaston tiedonantoja* 1: 1–114.
- Puranen M. & Marjomäki T.J. 2015. *Saarijärven Pyhäjärven muikun kasvu*. Jyväskylän yliopisto Bio- ja ympäristötieteiden laitos, moniste, 6 s.
- Ricker W.E. 1975. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. *Bull. Fish. Res. Board. Can.* 191: 1–382.
- Sarvala J., Helminen H. & Auvinen H. 1998. Portrait of a flourishing freshwater fishery: Pyhäjärvi, a lake in SW-Finland. *Boreal Env. Res.* 3: 329–345.
- Sarvala J., Helminen H. & Ventelä A.-M. 2020. Overfishing of a small planktivorous freshwater fish, vendace (*Coregonus albula*), in the boreal lake Pyhäjärvi (SW Finland), and the recovery of the population. *Fish. Res.* 230, 105664.
- Suuronen P. & Millar R.B. 1992. Size-selectivity of diamond and square mesh codends in pelagic herring trawls. only small herring will notice the difference. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 49: 2109–2117.
- Suuronen P., Millar R.B. & Järvik A. 1991. Selectivity of diamond and hexagonal mesh codends in pelagic herring trawls: evidence of a catch size effect. *Finnish Fish. Res.* 12: 143–156.
- Suuronen P., Turunen T., Kiviniemi M. & Karjalainen J. 1995. Survival of vendace (*Coregonus albula*) escaping from a trawl cod end. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 52: 2527–2533.
- Tschernij V. & Aho T. 2006. *Ett ristsorteringsssystem för bottentrålarna i Norrbotten. ”En utgallring anpassad för siklöjan och ändamålsenlig för fisket*. Moniste.
- Valkeajärvi P. 1983a. Muikun kalastus ja kannanvaihtelut Konnevedessä (On the fishing and fluctuations of vendace stocks (*Coregonus albula* L.) in Lake Konnevesi, Central Finland.). *Jyväskylän yliopiston Biologian laitoksen Tiedonantoja* 33: 7–38. (in Finnish, English summary)
- Valkeajärvi P. 1983b. Muikun kuolevuus ja saalisvarat Konnevedessä (Mortality and stock assessments of vendace (*Coregonus albula* L.) in Lake Konnevesi, Central Finland). *Jyväskylän yliopiston Biologian laitoksen Tiedonantoja* 33: 55–81. (in Finnish, English summary)

- Valkeajärvi P. & Marjomäki T.J. 2004. Perch (*Perca fluviatilis*) as a factor in recruitment variations of vendace (*Coregonus albula*) in Lake Konnevesi, Finland. *Ann. Zool. Fennici* 41: 329–338.
- Valkeajärvi P., Auvinen H., Riikonen R. & Salmi P. 2002. Monitoring of vendace stocks in Finland. *Adv. Limnol.* 57: 677–685.

Liite 1. Rickerin (1975) tuotantomalli ja laskelmissa käytetyt parametriarvot

Vuosiluokan saalis (Y , kg/ha) pyyntiin rekrytoitumisikästä (r) ikään (n) on

$$Y = \sum_{i=r}^n F_{i-i+1} B_i [\exp(G_{i-i+1} - F_{i-i+1} - M_{i-i+1}) - 1] / (G_{i-i+1} - F_{i-i+1} - M_{i-i+1})$$

jossa

F_{i-i+1} = hetkellinen kalastuskuolevuus jaksolla $i - i+1$

B_i = vuosiluokan biomassa (kg/ha) i vuoden ikäisenä

G_{i-i+1} = hetkellinen kasvunopeus jaksolla $i - i+1$

M_{i-i+1} = hetkellinen luonnollinen kuolevuus jaksolla $i - i+1$

Yksivuotiaiden muikkujen biomassa on

$$B_1 = D_1 w_1$$

jossa

D_1 = yksikesäisten muikkujen tiheys

w_1 = yksikesäisten muikkujen keskipaino

Biomassa $i+1$ -ikäisenä on

$$B_{i+1} = B_i \exp(G_{i-i+1} - F_{i-i+1} - M_{i-i+1})$$

ja hetkellinen kasvunopeus jaksolla $i - i+1$ on

$$G_{i-i+1} = \ln(w_{i+1} / w_i)$$

jossa

w = ikäryhmän keskipaino.

Puulalla ja Etelä-Konnevedellä käytettiin seuraavia todennäköisimpinä pidettyjä parametriarvoja:

Parametri	Puula	Etelä-Konnevesi
D_1 , yksikesäisten tiheys, kpl/ha	734	900
w_1 , yksikesäisten keskipaino, g	5,2	6,5
Hetkellinen luonnollinen kuolevuus M/vuosi	0,5	0,5
Hetkellinen kasvunopeus G jaksolla 1-2 vuotta	0,80	1,00
2-3 v	0,35	0,36
3-4 v	0,17	0,15
4-5 v	0,09	0,07
5-6 v	0,04	0,03
6-7 v	0,02	0,01
7-8 v	0,01	0,01

Tuloksiin liittyvien epävarmuuksien ilmentämiseksi muuttujien D_1 = yksikesäisten tiheys, kpl/ha arvot poimittiin satunnaisesti tiheysjakaumasta

$$\text{Puula} \quad D_1 \sim N(732, 190^2),$$

jossa 732 on aineistosta (Marjomäki ym. 2014) laskettu keskimääräinen vuosiluokan tiheys ja 190 keskiarvoestimaatin keskihajonta.

$$\text{Etelä-Konnevesi} \quad D_1 \sim N(900, 300^2)$$

Etelä-Konnevedellä vuosiluokan runsaus ja sen keskiarvo tunnetaan epätarkemmin ja epätäsmällisemmin kuin Puulalla. Parametrit on arvioitu karkeasti Valkeajärven (1983b) runsausarvioiden, suhteellisen vuosiluokan runsausaineiston (Marjomäki ym. 2021a) sekä 2000-luvun poikastiheysaineistojen (Kuvat 3 ja 5) suhteiden perusteella.

Keskimääräisen vuosiluokan hetkellisen luonnollisen kuolevuuden (M) uskottavuusjakauma arvioitiin Valkeajärven (1983b), Marjomäen ym. (2021c) ja Puulan saalisnäytteiden ikäjakaumien (julkaisematon aineisto) perusteella

$$M \sim \text{triangle}(0,333, 0,5, 0,75).$$

Muikun keskimääräinen kasvunopeus ja sen myötä ikäryhmäkohtaiset G -arvot tunnetaan kummassakin järvessä huomattavasti tarkemmin kuin N_1 ja M , joten ne eivät aiheuta merkittävää epävarmuutta tuloksiin. G -arvoina käytettiin kaikissa arvioissa em. todennäköisimpiä arvioita.

Rickerin mallin tuottamat tulokset laskettiin 5000 kertaa @RISK-sovelluksen (Palisade) avulla. Todennäköisimmiksi arvioiduilla muuttujien arvoilla laskettujen tuloksen lisäksi esitetään myös epävarmuutta kuvaavat tulosten 80 % uskottavuusvälit (10 % - 90 % desiiliväli) 5000 tuloksen jakauman perustella.