

KALA- JA RIISTARAPORTTEJA nro 126

Jari Raitaniemi

Siian takautuva kasvun määrittäminen

Helsinki 1998



RIISTAN- JA KALANTUTKIMUS

Julkaisija

Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos

Julkaisu aika

Elokuu 1998

Tekijä(t)

Jari Raitaniemi

*Julkaisun nimi***Siian takautuva kasvun määrittäminen***Julkaisun laji*

Tutkimusraportti

Toimeksiantaja

Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos

*Toimeksiantopäivämäärä**Projektin nimi ja numero*

Siika, Suomenlahti 204031 SLAHTI; siika, Pohjanlahti 204031 PLAHTI

Tiivistelmä

Siian kasvu lasketaan yleensä takautuvasti suomista. Riistan- ja kalantutkimuksessa kasvunmäärittämisessä on käytetty pääasiallisesti vatsaevien välistä otettuja suomuja. Kalastajien saaliista saaduissa näytteissä ovat yleensä edustettuina vain ne siian kokoluokat, jotka ovat jo kalastuksen kohteena, eikä materiaalia useinkaan ole tarpeeksi, jotta siian pituuden ja suomun säteen suhteen kehitys kalan kasvaessa voitaisiin riittäväällä tarkkuudella selvittää. Kasvunmäärittäminen tulos jää siksi helposti epätarkaksi. Tässä työssä vertailtiin useita yleisesti käytettyjä takautuvan kasvunmäärittämen menetelmiä aineistolla, jossa oli 97 vaellussiikaa alle 10 cm:n mittaisista yli 50-senttisiin. Käytetyistä kaavoista Monastyrskyn kaava ja toisen asteen polynomi tuottivat tällä materiaalilla parhaan tuloksen. Operculum-luuta kokeiltiin myös Monastyrskyn kaavalla. Operculum soveltuu takautuvaan määrittämiseen niillä siikakannoilla, joiden yksilöiden luissa vuosirenkaat kyetään havaitsemaan.

Asiasanat

siika, takautuva kasvunmäärittäminen, kasvu, suomi, operculum

Sarjan nimi ja numero

Kala- ja riistaraportteja nro 126

ISBN

951-776-176-7

ISSN

1238-3325

Sivumäärä

12 s.

Kieli

Suomi

*Hinta**Luottamuksellisuus*

Julkinen

Myynti

Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos
Pukinmäenaukio 4
PL 6
00721 Helsinki

Kustantaja

Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos
Pukinmäenaukio 4
PL 6
00721 Helsinki

Puh: 0205 7511 fax 0205 751 201

Puh: 0205 7511 fax 0205 751 201

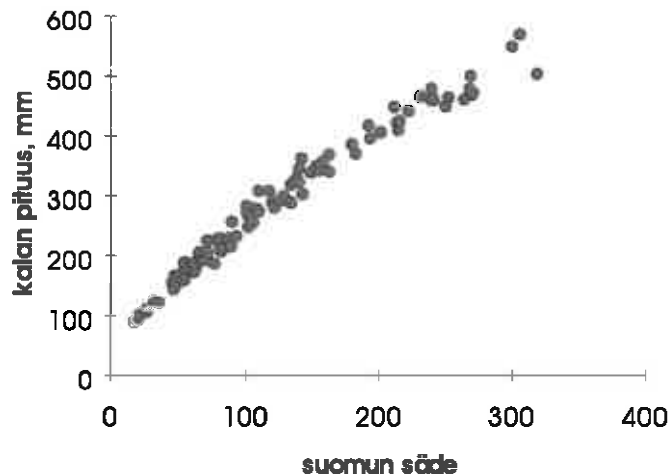
Sisällys

| | |
|--|-----------|
| 1. Johdanto | 1 |
| 2. Takautuvat kasvunmääritysmenetelmät..... | 4 |
| 2.1. Graafinen menetelmä..... | 4 |
| 2.2. Määritys matemaattisten kaavojen avulla..... | 4 |
| 2.3. Vaihteleeiko tietynpituisten kalojen suomun koko — vai suomuiltaan samankokoisten yksilöiden pituus?..... | 8 |
| 3. Määritys luista voi olla helpompaa kuin suomuista..... | 9 |
| 4. Kerran sovitettut parametrit voivat olla käyttökelpoisia jatkossakin..... | 11 |
| 5. Kirjallisuus..... | 12 |

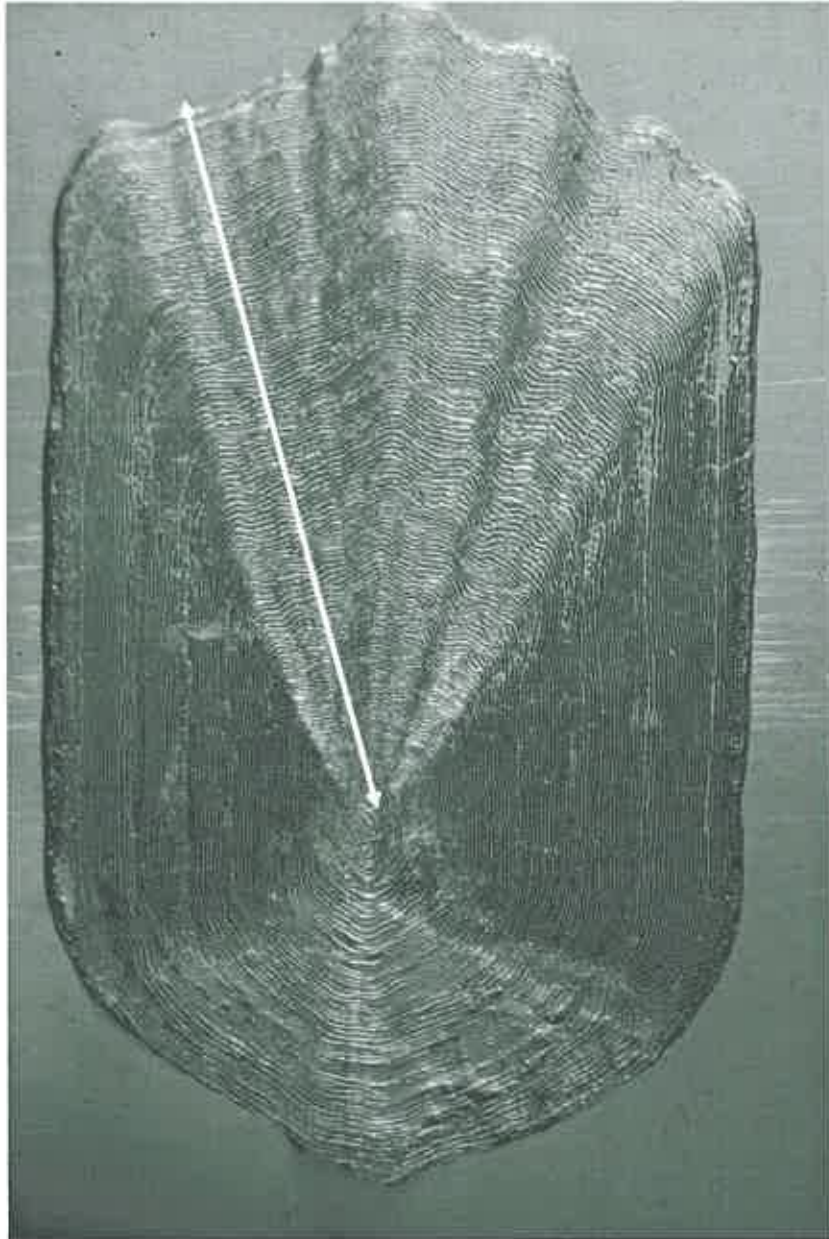
1. Johdanto

Siian takautuva kasvunmääritys on Riistan- ja kalantutkimuksessa tehty yleensä suomusta. Takautuvassa kasvunmäärityksessä kalan pituutta kunakin aiempuna ikävuonna (vuosirenkain kohti suomussa) selvitetään jälkikäteen suomun säteen ja kalan pituuden välisen suhteen avulla. Jotta menetelmää voidaan käyttää, lajista tai kannasta on oltava käytössä otos, jossa on edustettuna monenkokoisia yksilöitä. Jos suomun sädettä ja kalan pituutta kuvaavat pisteet eri yksilöistä saadaan siististi samalle käyrälle (kuva 1), käyrän avulla voidaan melko luotettavasti arvioida suomun säteen ja kalan pituuden suhteen kehitys kookkaista kaloista, joiden pituudesta varhaisempina ikävuosina ei muuten ole suoraa tietoa. Normaalessa otoksissa kalastajien saaliista siiat ovat yleensä pyyntikokoisia ja pienet pituusluokat puuttuvat. Tähän työhön valittiin noin sadan siian otos, jossa on vaellussiikoja noin kymmensenttisistä aina kuusikymmensenttisiin asti.

Takautuva määrittäminen tehdään kustakin yksilöstä erikseen, ja määritettyjä pituuksia käytetään jatkolaskelmiin, kuten ikäryhmän keskipituuden, lisäkasvun tai keskihajonnan laskemiseen. Käytännössä kannattaa pyrkiä tutkimuksen päämäärän kannalta riittävään tarkkuuteen ja mahdollisimman yksinkertaisiin ja nopeisiin tutkimusmenetelmiin.



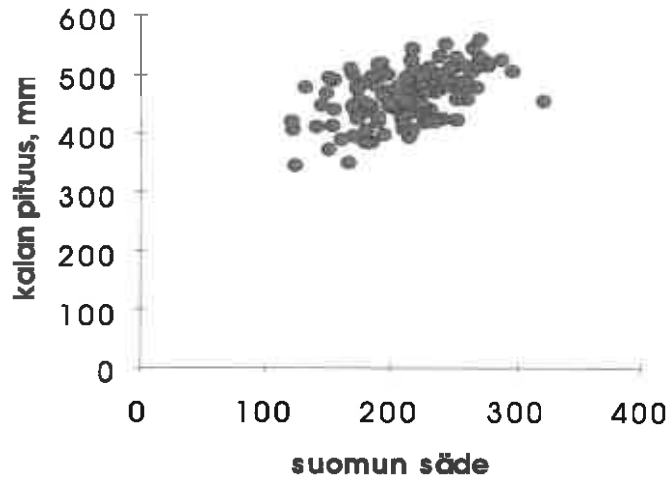
Kuva 1. Vaellussiikojen (97 kpl) pituus ja symmetrisistä vatsasuomuista samalta kohtaa mitattu säde (aineisto ja mittaukset A. Huhmarniemi).



Suomun säde on mitattu keskustasta etureunaan niin, että mittauslinja on jotakuinkin kohtisuorassa vuosirenkaisiin. Symmetrisessäkin suomussa mittauslinja kannattaa valita suuremmalta puolelta (vasen); oikealla puolella vuosirenkaissa on mitaustarkkuutta heikentävää aaltoilua.

Jotta suomun säteen ja kalan pituuden välisestä suhteesta saatavat pisteet sijoittuisivat siististi käyrälle, suomujen säteiden mittauksessa on käytettävä mahdollisimman samanmuotoisia suomuja. Teoriassa paras tilanne on se, jos jokaisesta kalasta käytetään täsmälleen samasta paikasta otettua suomua. Tämä ei kuitenkaan käytännössä ole useinkaan mahdollista. Käytettävien suomujen tulee kuitenkin olla mahdollisimman tarkasti samasta kohtaa kalaa, ja suomujen tulee olla samanmuotoisia. Hajontaa voidaan vähentää myös esim. kolmesta suomusta saatujen lukujen keskiarvoja käyttämällä. Kuvassa 1 käytetyt suomut ovat siian vatsaevien kärkien väliseltä alueelta, ja määrittämiseen on otettu vain muodoltaan symmetrisiä suomuja. Säteen mittauskulmana on käytetty "pohjoiskoillista" (mittauslinja kohtisuorassa vuosirenkaan suuntaan nähden), jos suomun etu- tai sisäreuna, ts. yleensä puhtaampi puoli on "pohjoinen". Jos

suomujen muoto tai mittauskulma vaihtelee, vuosirenkaiden keskinäiset suhteet muuttuvat, eikä yhtä tarkkaa määritystulosta kuin kuvan 1 aineistosta enää ole saatavissa. Suomun säteen ja kalan pituuden suhde jää epätarkaksi myös, jos määrittäjällä ei ole käytössään tietoa riittävän monen kokoisista kaloista (kuva 2).



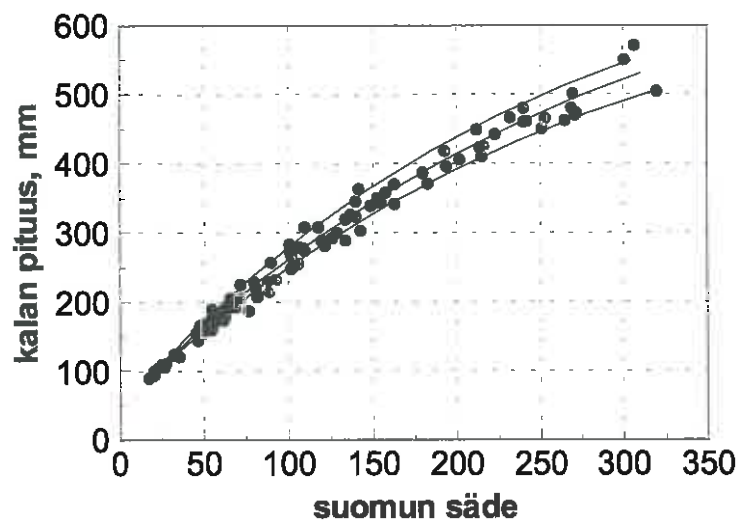
Kuva 2. Vaellussiioista mitattu pituus ja muodoltaan vaihtelevista suomuista mitattu säde.

Kasvuja voidaan vertailla myös tarkastelemalla suoraan vuosirenkaiden leveyksiä. Takautuvasti laskettujen pituuksien käytössä virhelähteenä voi olla määritettyjen pituuksien poikkeama todellisista pituuksista. Jos eroja tutkitaan tarkastelemalla lisäkasvuja suoraan vuosirenkaiden leveyksistä, takautuvan määrittämisen virhettä ei synny. Kuitenkin tässäkin tapauksessa suomuista tehtyjen mittausten vertailukelpoisuus edellyttää saman ehdon täyttymistä kuin takautuvien pituuksien käytössä, nimittäin mahdollisimman pientä hajontaa suomun säteen ja kalan pituuden suhteessa. Jos mitattavat suomut eivät ole muodoltaan jotakuinkin samanlaisia ja samankokoisia suhteessa kalan kokoon, ei vuosirenkaiden leveyksiä verrattaessa loppujen lopuksi tiedetä, mitä ollaan vertaamassa.

2. Takautuvat kasvunmääritysmenetelmät

2.1. Graafinen menetelmä

Tarkka, mutta etenkin isolla aineistolla työläs tapa takautuvaan kasvun määrittämiseen on piirtää useita pistejoukon suuntaisia käyriä, joilta suomun ja kalan pituuden suhde eri ikävuosina selvitetään graafisesti seuraamalla yksilön pistettä lähinnä olevaa käyrää (Francis 1995, kuva 3).



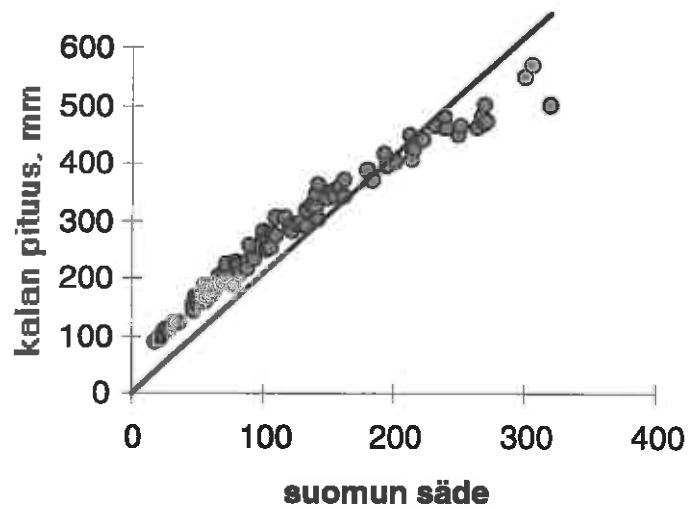
Kuva 3. Kalan pituus voidaan määrittää takautuvasti koordinaatistosta seuraamalla kalan pituuden ja suomun säteen suhdetta lähinnä olevaa käyrää.

2.2. Määritys matemaattisten kaavojen avulla

Matemaattisilla menetelmillä kasvunmääritys voidaan tehdä nopeasti. Kunkin yksilön suomun säteelle ja kalan pituudelle lasketaan oma suhteensa, käyränsä koordinaatistolle. Yksinkertaisin tapa selvittää karkeasti kalan pituus tietyn vuosirenkään kohdalla on käyttää suoraa suhdetta (kuva 4):

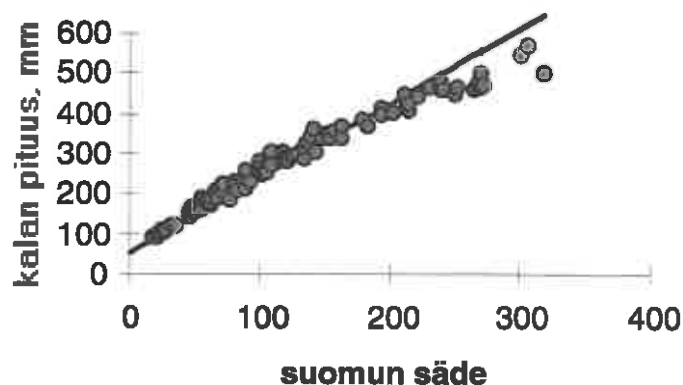
$$L_i/L = S_i/S \Rightarrow L_i = L * S_i/S,$$

missä L = kalan pituus,
 S = suomun säde,
 L_i = kalan pituus iässä i ,
 S_i = suomun säde iässä i .



Kuva 4. Laskettaessa kasvua takautuvasti suoralla suhteella ilman korjaavia vakioita tms. oletetaan, että luutuman kasvu alkaa nollasta ja että luutuma kasvaa samassa suhteessa kalan pituuden kanssa, ts. kasvu on isometristä. Tässä aineistossa $L = 2,068 \cdot S$, $R^2 = 0,816$.

Kalan pituus ja suomun säde eivät kuitenkaan läheskään aina kasva lineaarisesti nol-lapisteestä lähtevää linjaa pitkin. Virhettä on pyritty vähentämään erilaisilla tavoilla. *Fraserin* (1916) ja *Leen* (1920) kaavan oletuksena oli alunperin, että koska suomujen kasvu alkaa myöhemmin kuin kalan kasvu, lineaariseen kaavaan tulee lisätä kalan pi-tuus suomujen syntyhetkellä (vakio c). Vaikka oletus c :stä kalan pituutena suomujen syntyhetkellä todettiin piankin vääräksi (mm. Monastyrsky 1930), c :n arvon laskemi-nen regressioyhtälön $L = c + aS$ ($a =$ vakio) avulla ja lisääminen kaavaan lisää määri-tyksen tarkkuutta verrattuna nollasta alkavaan suoraan (kuva 5):



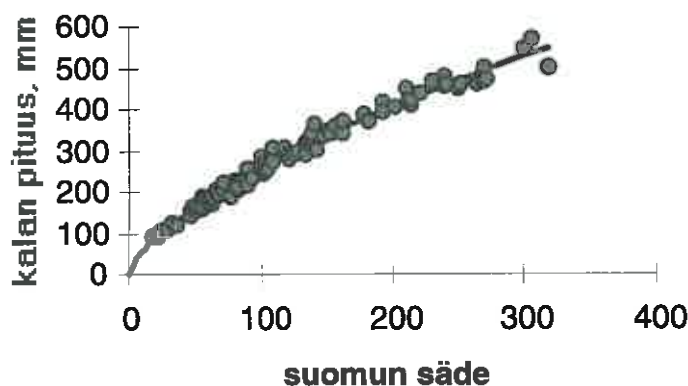
Kuva 5. Fraserin ja Leen kaavalla aineistoon sovitettu suora, kun $c = 53$ mm ja $a = 1,859$ ($R^2 = 0,971$).

$$(L_i - c)/(L - c) = S_i/S \Rightarrow L = (S_i / S) (L - c) + c$$

Monastyrskyn (1926, 1930) kaavassa on pyritty ottamaan huomioon kalan pituuden ja luutuneiden osien välisen suhteen epälineaarisuus regressiomallin avulla:

$$L = a S^b \Rightarrow \ln L = \ln a + b \ln S,$$

missä b = kasvukerroin ja a vakio (kuva 6).



Kuva 6. Monastyrskyn kaavalla aineistoon sovitettu käyrä, kun $b = 0,66$ ja $a = 12,36$ ($R^2 = 0,988$).

Pituus iässä i lasketaan:

$$L_i / L = a S_i^b / a S^b \Rightarrow L_i = (S_i / S)^b L$$

Lähes yhtä yksinkertainen kuin Fraserin ja Leen ja Monastyrskyn menetelmät on niistä *yhdistetty muunnelma*, jossa ovat mukana sekä vakio c että kasvukerroin b :

$$L = c + a S^b \Rightarrow \ln (L - c) = \ln a + b \ln S$$

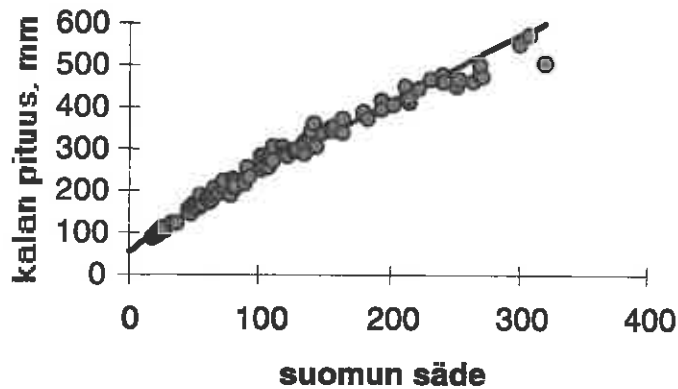
Pituus iässä i lasketaan tällöin:

$$(L_i - c) / (L - c) = (aS_i^b / aS^b) \Rightarrow$$

$$L_i - c = (S_i / S)^b (L - c) \Rightarrow$$

$$L_i = (S_i / S)^b (L - c) + c$$

Tämän kokeilun suomuaineistoon yhdistelmäkaava sopii paremmin kuin Fraserin ja Leen kaava, mutta huonommin kuin Monastyrskyn kaava, edellyttäen että pituuksia ei lasketa takautuvasti alle kymmensenttisistä kaloista (kuva 7). Jollakin muulla suomuaineistolla tai mitattaessa säteet eri kohdasta suomua voidaan päätyä toisenlaiseen tulokseen.



Kuva 6. Fraserin ja Leen kaavan ja Monastyrskyn kaavan yhdistelmällä siian suomuaineistoon sovitettu käyrä, kun $c = 53$ mm, $b = 0,891$ ja $a = 3,200$ ($R^2 = 0,984$).

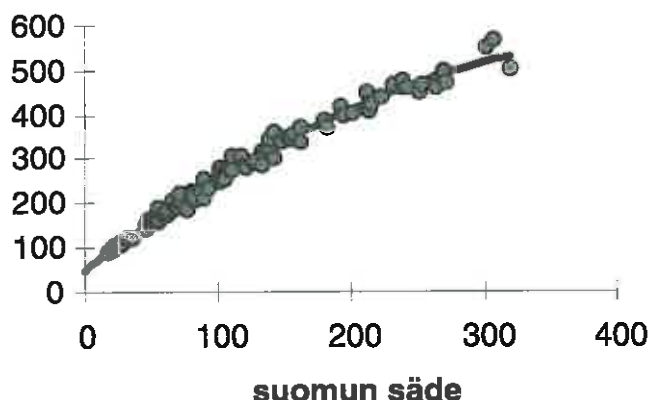
Aineistoihin voidaan sovittaa myös esim. polynomeja kuten toisen asteen yhtälöä

$$L = aS^2 + bS + c,$$

missä a , b ja c ovat vakioita (mm. Mann 1973, 1974). Esimerkkiaineistoon sovitettu toisen asteen yhtälö antaa jotakuinkin yhtä tarkat arviot takautuvista pituuksista kuin Monastyrskyn kaava (kuva 7).

Yllä olevien esimerkkien perusteella useilla kaavoilla päästään jotakuinkin samantasoiseen tulokseen. Paras vastaavuus arvioitujen takautuvien pituuksien ja todellisten pituuksien välille voidaan saada eri aineistoilla eri kaavan avulla. Jos käytössä on edustava aineisto, jossa on luutumia tarpeeksi monenkokoisista kaloista, nopea ja helppo tapa kokeilla eri kaavojen sopivuutta on Excellin trendiviiva (trendline) -toiminto. Kun luutuman säteet ja kalan pituudet on syötetty Excel-taulukkoon, niistä piirretään kuva, jossa kunkin yksilön arvot näkyvät pisteenä. Pistejoukko valitaan kuvasta ja käyrävaihtoehtoja kokeillaan Lisää Trendiviiva (Insert Trendline) -otsikoiden alta.

kalan pituus, mm



Kuva 7. Aineistoon sovitettu toisen asteen yhtälö, missä $a = 0,0025$; $b = 2,3098$; $c = 50,08$ ($R^2 = 0,987$).

2.3. Vaihtelee ko tietympituisten kalojen suomun koko — vai suomuiltaan samankokoisten yksilöiden pituus?

Otsikon kysymykseen on takautuvan kasvunmäärityksen yhteydessä kiinnitetty hyvin vähän huomiota, vaikka se voi vaikuttaa jopa senttejä takautuvasti laskettuihin ikäryhmien keskipituuksiin. Ongelman toi esille matemaatikon näkökulmasta takautuvaa kasvunmääritystä tutkinut Francis (1990), joka kritisoi sitä, että takautuvaa kasvunmääritystä tekevät eivät useinkaan täysin ymmärrä käyttämiensä kaavojen perusteita.

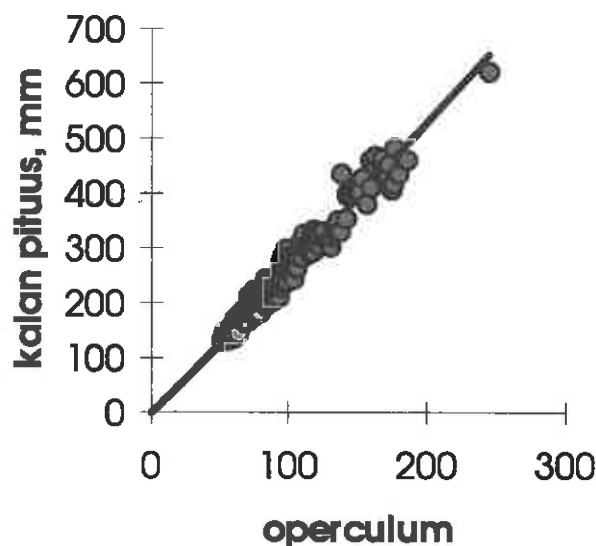
Jos takautuvassa määrityksessä käytetään Monastyrskyn menetelmää, kalojen takautuvia pituuksia lasketaan suomun säteen suhteen — tutkitaan suomuiltaan tietynkokoisten kalojen pituuden vaihtelua (BPH). Jos puolestaan lasketaan suomun säde suhteessa kalan pituuteen ($S = k L^n$, missä k ja n ovat vakioita, vertaa Monastyrskyn a ja b), ja edelleen johdetaan pituus tästä kaavasta, voidaan laskea kalan takautuva pituus suomusta, jonka säde on laskettu kalan pituuden suhteen (SPH). Takautuvan pituusarvion ero menetelmien välillä jäänee melko pieneksi, jos R^2 on riittävän korkea, esim. yli 0,95. Jos R^2 on esim. 0,8, ero voi olla jo senttejä (Francis 1990). Vesijärven operculumista mitatussa siika-aineistossa (kuva 8) menetelmistä aiheutunut ero oli 1–4 mm ikäryhmien takautuvasti lasketuissa keskipituuksissa. Pierce ym. (1996) päätyivät menetelmien vertailussaan siihen, että molemmat lähestymistavat antavat hyviä tuloksia edellyttäen, että R^2 on korkea.

Nyrkkisääntönä voidaan pitää sitä, että mitä suurempi hajonta aineistossa on ja mitä heikommin eri mittaiset kalat ovat edustettuina otoksessa (mitä pienempi R^2 -arvo), sitä suurempi ero syntyy eri lähtökohdista laskettujen takautuvien pituuksien välille ja sitä suurempi virhemahdollisuus yleensäkin takautuvassa määrityksessä on. Toistaiseksi ei ole esitetty näyttöä siitä, että Monastyrskyn menetelmästä (BPH) olisi tarvetta siirtyä SPH-perusteiseen laskentatapaan. Molempien laskutapojen käyttö rinnakkain voi helpottaa hahmottamaan takautuvan määrityksen tarkkuuden/epätarkkuuden tasoa.

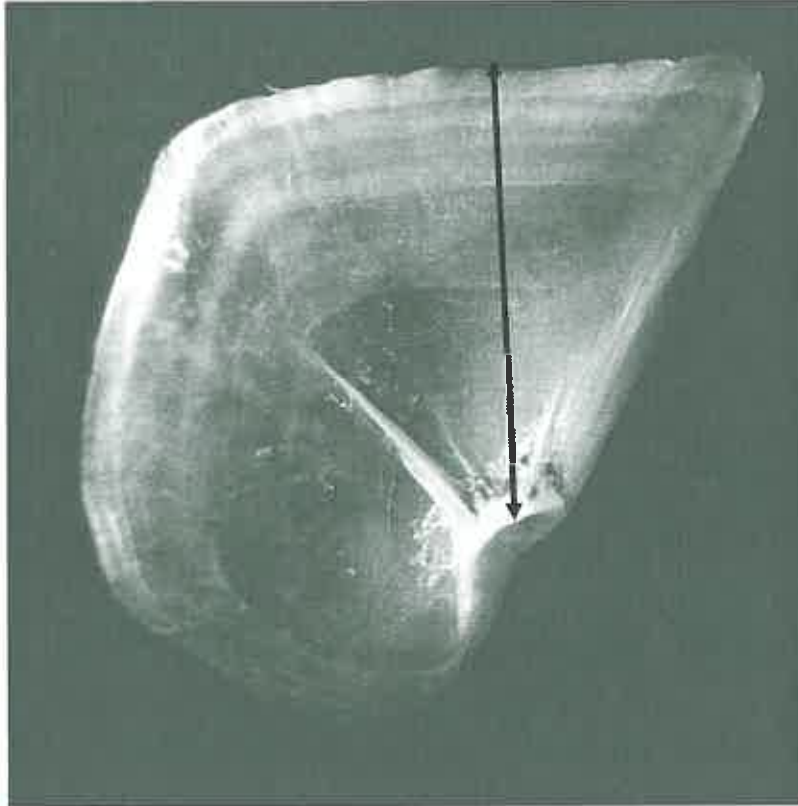
3. Määritys luista voi olla helpompaa kuin suomuista

Useilla siikakannoilla operculum on riittävän selvä iän- ja kasvunmääritykseen. Vaikka operculum on hankalampi ottaa siiasta kuin suomut, se voi paljastaa jotkut renkaat valerenkaiksi, ja takautuvassa kasvunmäärityksessä operculumin etuna on säännöllinen muoto. Siksi operculumin käyttö on määritysvaiheessa nopeampaa kuin suomujen, jotka pitää yleensä myös prässätä ja joista sopivat pitää etsiä määrittystä varten (kuva 8). Joillakin hidaskasvuisilla siikakannoilla operculumit ovat vaikeasti määritettäviä, mutta jos ne ovat selviä, kasvua voidaan seurata osasta sellaisiakin hitaan kasvun vuosia, joita suomusta ei enää erotu. Useilla muillakin lajeilla luiden käyttö takautuvassa määrittelyssä on suositeltavaa, hyviä ovat esim. operculum ahvenella, cleithrum tai metapterygoideum hauella ja cleithrum särjellä ja lahnalla.

Otoliittiakin on maailmalla käytetty kalojen takautuvaan kasvunmääritykseen, mutta edellytyksenä on tuolloin säännöllisyys otoliitin ja kalan pituuden suhteessa. Siialla otoliitti ei sovellu takautuvaan kasvunmääritykseen kuten ei monella muullakaan lajilla, koska kalojen vanhetessa ja kasvun hidastuessa otoliitin suhteellinen kasvu on usein nopeampaa kuin kalan pituuden tai suomujen kasvu (Barnes & Power 1984, Raitaniemi 1997). Takautuva kasvunmääritys otoliitista tuottanee kaikilla pitkäikäisillä kalalajeillamme saman ongelman: vanhoille kaloille määritetään olematonta kasvua viimeisille elinvuosille. Vastaavasti nuoruusvuosien kasvu määritetään todellista vähäisemmäksi. Eri yksilöillä otoliitin suhteellisen kasvun ja kalan kasvun erot syntyvät eri aikaan, joten vastaavaa suhdetta kuin esim. kuvassa 1 ei yhtä suurella tarkkuudella useinkaan ole olemassa.



Kuva 8. Vesijärven (Lahti, Hollola) yhdistettyyn järvi- ja planktonsilan operculum-aineistoon (n = 240) Monastyrskyn kaavalla sovitettu käyrä, kun $L = 0,209 * S^{1,045}$ tai $S = 4,972 * L^{0,925}$ ($R^2 = 0,966$).



Takautuvan määrityksen mittauslinjan nollakohta valitaan mahdollisimman läheltä kasvun alkamiskohtaa. Operculumissa alkupisteeksi on valittu kuvan nuolen alapäässä olevan harjanteen keskiosa. Mittauslinja luun reunaan kulkee mahdollisimman kohtisuorassa vuosirenkaisiin nähden.

4. Kerran sovitetut parametrit voivat olla käyttökelpoisia jatkossakin

Kun populaation suomu-, operculum- tai muulle näytteelle on laskettu esim. Monastyrskyn menetelmän $b:n$ arvo, arvo on todennäköisesti käyttökelpoinen tulevillakin vuosiluokilla, ellei esim. yksilöiden kasvunopeudessa tapahdu suuria muutoksia (mikä saattaisi hieman muuttaa sopivinta $b:n$ arvoa). Jotta samaa arvoa voidaan käyttää, vuosirenkaiden säteet on mitattava samasta kohdasta samanmuotoista suomua tai luuta kuin $b:n$ arvoa alunperin määritettäessä. Jos aiemmasta materiaalista laskettua $b:n$ arvoa aiotaan käyttää, sen sopivuus uuteen aineistoon on syytä tarkastaa graafisesti. Kalan pituus-luutuman säde -kuva näyttää myös sen, onko mittaukset tehty riittävän huolellisesti, ts. sijoittuvatko pisteet siististi käyrälle.

Myös toisissa saman lajin populaatioissa jo sovitettu parametriarvo lienee yleensä käyttökelpoinen. Yhdestä kannasta hyvin selvitetyn $b:n$ arvon käyttäminen on parempi vaihtoehto kuin se, että vain yhtä kokoluokkaa olevasta aineistosta laskettaisiin arvo erikseen, jolloin lopputulos olisi sattumanvarainen. Käytettäväksi aiotun parametriarvon sopivuutta aineistoon kannattaa tarkastella koordinaatistossa, ja jos populaatiosta on käytettävissä useita pituusluokkia, parametriarvot on syytä laskea itse aineistosta.

5. Kirjallisuus

- Barnes, M.A. & Power, G. 1984. A comparison of otolith and scale ages for western Labrador lake whitefish, *Coregonus clupeaformis*. *Environmental Biology of Fishes* 10, s. 297-299.
- Bagenal, T.B. & Tesch, F.W. 1978. Age and growth. Teoksessa: Bagenal, T., toim. *Methods for assessment of fish production in fresh waters*. Blackwell, Oxford. s. 101-136.
- Francis, R.I.C.C. 1990. Back-calculation of fish length: a critical review. *Journal of Fish Biology* 36, s. 883-902.
- Francis, R.I.C.C. 1995. The analysis of otolith data — a mathematician's perspective (What, precisely, is your model?). Teoksessa: Secor, D.H., Dean, J.M. & Campana S.E., toim. *Recent developments in fish otolith research*. The Belle W. Baruch Library in marine science number 19. The University of South Carolina Press. s. 81-95.
- Fraser, C.McL. 1916. Growth of the spring salmon. *Trans. Pacif. Fish. Soc. Seattle*, for 1915, s. 29-39 (ref. Bagenal & Tesch 1978).
- Lee, R.M. 1920. A review of the methods of age and growth determination by means of scales. *Fishery Invest., Lond., Ser. II*, 4, 32 s (ref. Bagenal & Tesch 1978).
- Mann, R.H.K. 1973. Observations on the age, growth, reproduction and food of the roach, *Rutilus rutilus* (L.) in two rivers in southern England. *Journal of Fish Biology* 5, s. 707-736.
- Mann, R.H.K. 1974. Observations on the age, growth, reproduction and food of the dace, *Leuciscus leuciscus* (L.) in two rivers in southern England. *Journal of Fish Biology* 6, s. 237-253.
- Monastyrsky, G.N. 1926. K. metodike opredeleniya rosta ryb po izmereniyam cheshui (Methods of determining fish growth from scale measurements). In *Sbornik statei po metodike opredeleniya vozrasta i rosta ryb*. Krasnoyarsk (ref. Bagenal & Tesch 1978).
- Monastyrsky, G.N. 1930. O metodakh opredeleniya lineinogo rosta po cheshue ryb (Methods of determining the growth of fish in length by their scales). *Trudy nauch. ryb. Khozy.* 5, s. 5-44 (ref. Bagenal & Tesch 1978).
- Pierce, C.L., Rasmussen, J.B. & Legget, W.C. 1996. Back-calculation of fish length from scales: empirical comparison of proportional methods. *Transactions of the American Fisheries Society* 125, s. 889-898.
- Raitaniemi, J. 1997. Rannikon siikojen iänmäärityksen luotettavuus. *Kalatutkimuksia — Fiskundersökningar* no. 121, 23 s.