Helsingin yliopisto

Taloustieteen laitos

Ympäristöekonomia

Schäfer-Gordon malli

YE12.1 Numeeriset mallit ympäristö- ja luonnonvarataloustieteessä kurssin harjoitustyö

Laura Kontiala

Mirja Jämsen

Kevät 2012

Sisällysluettelo

[Johdanto 3](#_Toc325750200)

[Matemaattinen malli 4](#_Toc325750201)

[Biologinen optimointi (MSY) 4](#_Toc325750202)

[Taloudellinen optimointi 5](#_Toc325750203)

[Vapaa kalastusoikeus 6](#_Toc325750204)

[Numeerinen osuus 7](#_Toc325750205)

[Johtopäätökset 13](#_Toc325750211)

[Lähteet 14](#_Toc325750212)

[LIITE 1 Kuvaajien piirtäminen 15](#_Toc325750213)

[LIITE 2 Biologisesti optimaalisen saaliin ja kannan laskeminen 16](#_Toc325750214)

[LIITE 3 Biologisesti optimaalisen panoksen ja voiton sekä taloudellisesti optimaalisen panoksen, voiton, saaliin ja kannan laskenta 17](#_Toc325750215)

[LIITE 4 Vapaan kalastusoikeuden panoksen, kannan ja saaliin laskeminen 18](#_Toc325750216)

# Johdanto

Schäfer-Gordon malli on staatinen bioekonominen kalatalousmalli. Malli perustuu Scott Gordonin artikkeliin, jossa hän osoittaa vapaan kalastusoikeuden johtavan optimaalista suurempaan kalastuspanoksen käyttöön ja että saaliin maksimointi ei tuota maksimaalista voittoa (Kahn 2010, 383). Mallin pohjana on luonnonvaran kasvuun vaikuttavat biologiset tekijät, kuten kannan koko, ikärakenne, ravinto ja mahdolliset saalistajat (Lindroos 2011).

Malli sopii kuvaamaan uusiutuvaa biologisen resurssin käyttöä. Resurssin hyödyntäminen on siis teoriassa mahdollista ikuisesti, mikäli sitä ei hyödynnetä liikaa. Mallissa pyritään löytämään uusiutuvan luonnonvaran käytön kestävä taso biologisesti ja taloudellisesti ja vertaamaan näiden tasojen eroja. Lisäksi tarkastellaan vapaan kalastusoikeuden seurauksia ja toiminnan aiheuttamia ulkoisvaikutuksia. (Lindroos 2011.) Mallin yksinkertaistamiseksi kalan hinta ja kalastuspanoksen rajakustannus oletetaan vakioiksi, jolloin kustannusfunktio on lineaarinen (Kahn 2010, 385).

Harjoitustyön tavoitteena on tarkastella Schäfer-Gordon mallia Matlab -ohjelman avulla ja tehdä herkkyysanalyysiä tulosten uskottavuuden arvioimiseksi. Harjoitustyön toteutus, kuvat ja laskutoimitukset, tehtiin kokonaan Matlab –ohjelmalla. Matlab-tiedostot löytyvät harjoitustyön liitteistä.

# Matemaattinen malli

Biologinen optimointi (MSY)

Biologisessa optimoinnissa tavoitteena on maksimoida kalakannan tuotantoa. Malli perustuu logistiseen kasvufunktioon, jonka parametreina ovat kannan kyky lisääntyä, eli kasvuparametri R, kannan koko x ja luonnon ekosysteemin kantokyky K.

Maksimikasvu löytyy kannan koon suhteen otetun derivaatan nollakohdasta:





Kalakannan maksimikasvu saadaan sijoittamalla saatu x:n arvo kasvufunktioon:



Saalistusfunktio on: 

Siinä q on saalistettavuuskerroin, joka kuvaa kalastusvälineen teknologiaa ja E kuvaa kalastuspanosta. Kalastuspanoksen määrittämiseksi ei kuitenkaan ole yhtä selkää tapaa, vaan se voi olla työn yksikköjä kuten tunteja tai pääomaa kuten kalastusaluksia. Lisäksi erilaisten panosten yhteenlaskenta yhdeksi yksiköksi voi olla hankalaa.

Biologisessa optimoinnissa kestävällä saalistuksella tarkoitetaan, että kalakannan taso ei muutu ajan myötä. Tällöin saaliin määrä on sama kuin kannan kasvu, eli F(x) = h.

Kestävä kalakanta saadaan, kun merkitään logistinen kasvufunktio yhtä suureksi saalistusfunktion kanssa.





Tästä saadaan kalakannan yhtälöksi:



Tästä nähdään, että kalastuspanoksen kasvaessa kestävän kalakannan koko pienenee.

Vastaavasti biologisesti kestävä saalis saadaan sijoittamalla kalakannan yhtälö saalistusfunktioon.

 (Lindroos, 2011.)

Taloudellinen optimointi

Taloudellisessa mallissa biologiseen malliin lisätään kalan hinta p ja kalastuskustannukset c.

Maksimoidaan kestävää voittoa kalastuspanoksen suhteen.

max

Mallissa oletetaan hinnan olevan vakio. Hinta on esimekiksi maailmanmarkkinahinta ja kalastajat ovat niin pieniä toimijoita, että he eivät pysty vaikuttamaan hintaan. Myös kalastuspanoksen yksikkökustannus c on mallissa vakio. Mallissa oletetaan myös, että kalastusta hoitaa yksi toimija esimerkiksi valtio, joka omistaa kalakannan.

Ensimmäisen kertaluvun ehdosta saadaan:



Taloudellisesti optimaalinen kalastuspanos, on pienenmpi kuin MSY kalastuspanos. Vain kalastuskustannusten ollessa nolla taloudellinen optimi on yhtä suuri kuin MSY. Taloudellisesti optimaalinen kalakanta on myös suurempi kuin biologisesti optimaalinen kalakanta. (Lindroos, 2011)

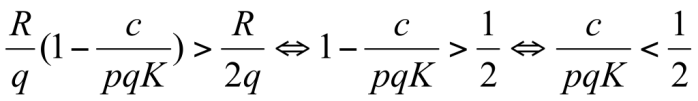
Vapaa kalastusoikeus

Vapaan kalastusoikeiuden tilanteessa kalastusta ei säädellä mitenkään ja kaikilla on vapaa pääsy kalastamaan. Tällöin positiiviset voitot houkuttelevat alalle uusia kalastajia niin kauan kunnes voitot menevät nollaan.

Vapaan kalastusoikeuden kalastuspanos on kaksinkertainen verrattuna taloudellisesti optimaaliseen kalastuspanokseen. Eli vapaa kalastusoikeus tuo alalle liikaa kapasiteettia ja koska voitot ovat nollassa, vapaa kalastusoikeus on aina taloudellisesti tehoton.

Vapaa kalastusoikeus on myös biologisesti tehoton, jos kalakanta on pienempi kuin biologisessa optimissa.





Taloudelliset tekijät c, p, q ja K määrittävät johtaako vapaa kalastusoikeus liikakalastukseen. Jos kustannukset ovat alhaiset ja hinta, saalistettavuus tai kantokyky on korkea, on vapaa kalastusoikeus biologisesti tehoton. (Lindroos, 2011.)

# Numeerinen osuus

Harjoitustyön laskut ja kuvaajat tehtiin Matlabilla.

Alkuarvoina käytettiin:

* luonnon kantokyky K=10
* kasvuparametri R=1
* saalistettavuuskerroin q=0,5
* kalastuskustannukset c=1
* kalan hinta p=1

Matemaattisessa mallissa osa laskuista perustuu logistiseen kasvufunktioon ja saalistusfunktioon. Tätä varten niistä piirrettiin kuvaajat. Kalakannan kasvu kuvattiin logistisella kasvufunktiolla ja samaan kuvaan tehtiin käyrä kalastuskustannuksista kalakannan koon mukaan. Kuvaajan x-akselin arvot ovat 0-20, koska E:lle laskettiin m-filessa arvoja 1-20, jotka jaettiin kymmenellä.



Kuva 1 Kasvufunktio ja kustannukset kannan koon mukaan

Toiseen kuvaan piirrettiin saalistusfunktio ja kalastuskustannusfunktio kalastuspanoksen suhteen.



Kuva 2 saalistusfunktio ja kustannukset kalastuspanoksen suhteen

Kuvaajien tekemiseen käytetty m-file on liitteessä 1. Kuvaajia varten tehtiin funktioista for - end -silmukat. Kasvufunktiolle ja kustannusfunktiolle kalakannan koon mukaan silmukka kierrettiin kymmenen kertaa x:n arvoilla alkaen yhdestä. Vastaavasti tehtiin saalistusfunktion ja kustannusfunktion kalastuspanoksen suhteen. Siinä silmukka kierrettiin kaksikymmentä kertaa eri E:n arvoilla. Käyrät saatiin samaan kuvaan käyttäen Matlabin hold on - hold off -komentoa. Käyrät pyrittiin saaman kuvissa alkamaan mahdollisimman läheltä nollaa. Kuvaajassa kalastuspanoksen suhteen tämä tehtiin for -silmukassa jakamalla E:n arvot kymmenellä.

M-file biologisen optimoinnin laskuista on liitteissä 2 ja 3. Biologinen optimi saatiin kasvufunktion maksimista. Tätä varten tehtiin vektori, jossa oli kasvufunktio oli tavoitefunktiona ja kannan arvoja optimoitiin. Vektorin arvoja laskettiin for - end -silmukassa eri kannan arvoilla. Saaduista vektorin arvoista star -komennoilla haettiin suurin arvo biologisesti optimaaliselle saaliille, Pstar ja kalakannalle xstar. Vastaavasti tehtiin vektori, jossa tavoitefunktiona oli saalistusfunktio ja kalastuspanoksen arvoja optimoitiin. Tässä for - end -silmukassa laskettiin vektorin eri arvoja muuttamalla kalastuspanoksen arvoa. Vektorin arvoista haettiin star -komennolla maksimiarvo kalastuspanokselle, estar. Optimivoitto laskettiin sijoittamalla saadut arvot voittofunktioon P(i).

M-filet taloudellisen optimoinnin laskuista ovat liitteessä 3. Taloudellisessa optimissa voitto saadaan saalisfunktion ja kustannusten erotuksen maksimikohdasta. Matlabilla tämä tehtiin vektorin avulla. Vektorissa tavoitefunktiona oli voittojen maksimi, jolle laskettiin eri arvoja muuttamalla kalastuspanosta for - end -silmukassa. Maksimiarvot voitolle ja kalastuspanokselle haettiin star -komennolla, Pstar ja eestar. Taloudellisesti optimaalinen saalis, muuttujana S, laskettiin sijoittamalla saatu kalastuspanoksen arvo saalisfunktioon. Kalakannan arvo saatiin asettamalla kasvufunktio yhtä suureksi saaliin kanssa.

M-filet vapaaseen kalastusoikeuteen liittyvistä laskuista ovat liitteessä 4. Kalastuspanoksen arvo saatiin saalis- ja kustannusfunktion leikkauspisteestä eli kohdasta, jossa funktioiden erotus oli nolla. Tämä tehtiin Matlabilla leikkaus -komennolla, eleikkaus. Saatu symbolinen arvo leikkauspisteelle muutettiin numeeriseksi double -komennolla. Vastaavasti laskettiin kalakanta kasvu- ja kustannusfunktion leikkauspisteestä eli kannan arvo, jolla funktioiden erotus oli nolla. Matlabissa tässä käytettiin eeleikkaus -muuttujaa. Vapaassa kalastusoikeudessa voitto on aina nolla, joten sitä ei laskettu erikseen.

Saadut tulokset yhteenvetona:

| Optimointi | Kalastuspanos | Kalakanta | Saalis | Voitto |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Biologinen | 1 | 5 | 2,5 | 1,5 |
| Taloudellinen | 0,8 | 6 | 2,4 | 1,6 |
| Vapaa kalastus | 1,6 | 2 | 1,6 | 0 |

Tuloksista nähdään, että suurin voitto saadaan taloudellisen optimoinnin mallilla, jossa myös kalakanta on suurin ja kalastuspanos pienin. Toisaalta suurin saalis saadaan biologisen mallin mukaan, jossa voitto ja kalakanta jäävät vain hieman taloudellista mallia pienemmäksi. Vapaassa kalastusoikeudessa voitot menevät nollaan, koska alalle tulee uusia kalastusyrityksiä niin pitkään kuin kalastuksesta on saatavilla voittoja.

Mallin rakentamisen jälkeen tuloksien luotettavuutta arvioitiin herkkyysanalyysin avulla. Herkkyysanalyysin tarkoituksena on testata kuinka herkkiä mallin tulokset ovat lähtöarvoissa tapahtuville muutoksille. Lähtöarvojen epävarmuutta aiheuttaa muun muassa mittaamisen vaikeus, mittausvirheet tai muutokset olosuhteissa. Herkkyysanalyysissä tarkasteltiin miten muuttujien K ja c lähtöarvojen muutokset vaikuttavat tuloksiin.

Muuttuja K kuvaa ekosysteemin kantokykyä. Kantokyvyllä tarkoitetaan populaation syntyvyyden ja kuolleisuuden suhdetta. Mallissa ekosysteemin kantokyvyn lähtöarvo oli K=10. Jos ekosysteemin kantokyky oletetaan arvioitua suuremmaksi K=20, muuttuvat arvot seuraavasti.

| Optimointi | Kalastuspanos | Kalakanta | Saalis | Voitto |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Biologinen | 1 | 9,9 | 5 | 4 |
| Taloudellinen | 0,9 | 11 | 5 | 4,1 |
| Vapaa kalastus | 1,8 | 2 | 1,8 | 0 |

Biologisen optimin tilanteessa panoksen koko säilyy ennallaan. Kalakannan koko kasvaa 59,9, saalis 2,55 ja voitto 1,54. Taloudellisesti optimaalisessa tilanteessa kalastuspanos kasvaa hieman 0,80,9, kalakannan koko kasvaa 611 saalis 2,45 ja voitto 1,64,1. Vapaan kalastusoikeuden tilanteessa kalastuspanoksen käyttö kasvaa 1,6 1,8, kalakannan koko säilyy ennallaan ja saalis kasvaa 1,61,8.

Jos ekosysteemin kantokyky oletetaan arvioitua pienemmäksi K=5, muuttuvat arvot seuraavasti.

| Optimointi | Kalastuspanos | Kalakanta | Saalis | Voitto |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Biologinen | 1 | 2,5 | 1,25 | 0,25 |
| Taloudellinen | 0,6 | 3,5 | 1,1 | 0,45 |
| Vapaa kalastus | 1,2 | 2 | 1,2 | 0 |

Biologisen optimin tilanteessa kalastuspanoksen koko ei muutu, mutta kalakanta pienenee 52,5, saalis 2,51,25 ja voitto 1,50,25. Taloudellisesti optimaalisessa tilanteessa kalastuspanoksen käyttö laskee 0,80,6, kalakanta 63,5, saalis 2,41,1 ja voitto 1,60,45. Vapaan kalastusoikeuden tilanteessa kalakannan koko säilyy ennallaan ja kalastuspanoksen käyttö ja saalis laskevat 1,61,2.

Ekosysteemin kantokyvyn arvon muuttuessa vapaan kalastusoikeuden tapauksessa ei tapahdu suuria muutoksia saaduissa arvoissa. Biologisen optimin tapauksessa kalastuspanoksen koko säilyy ennallaan ja taloudellisen optimin tapauksessa kalastuspanoksessa tapahtuu vain pientä muutosta. Sekä biologisen että taloudellisen optimoinnin tapauksessa kalakannan, saaliin ja voittojen suuruudessa tapahtuu puolestaan melko suuria muutoksia. Kantokyvylle valittu arvo vaikuttaa siis merkittävästi näistä saatuihin tuloksiin ja lähtöarvon arvioinnissa tapahtunut virhe vääristää saatua tulosta.

Muuttuja c kuvaa kalastuksen kustannuksia. Kustannuksissa voi tapahtua muutoksia esimerkiksi tuotantopanosten hintojen muuttuessa tai jos yhteiskunta asettaa ohjauskeinoja tai rajoituksia toiminnan harjoittamiselle. Mallissa kalastuksen kustannusten lähtöarvo oli c=1.

Jos kustannukset oletetaan kaksinkertaisiksi c=2, muuttuvat arvot seuraavasti.

| Optimointi | Kalastuspanos | Kalakanta | Saalis | Voitto |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Biologinen | 1 | 5 | 2,5 | 0,5 |
| Taloudellinen | 0,6 | 7 | 2,1 | 0,9 |
| Vapaa kalastus | 1,2 | 4 | 2,4 | 0 |

Biologisen optimin tilanteessa panoksen koko, kalakanta ja saalis säilyvät ennallaan ja vain voitto heikkenee 1,50,5. Taloudellisesti optimaalisessa tilanteessa kalastuspanoksen käyttö pienenee hieman 0,80,6, saalis 2,42,1 ja voitto 1,60,9 ja kalakanta kasvaa 67. Vapaan kalastusoikeuden tilanteessa kalastuspanoksen käyttö laskee 1,6 1,2, kalakanta kasvaa 24 ja saalis 1,62,4.

Jos kustannukset pienenevät c=0,5, muuttuvat arvot seuraavasti.

| Optimointi | Kalastuspanos | Kalakanta | Saalis | Voitto |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Biologinen | 1 | 5 | 2,5 | 2 |
| Taloudellinen | 0,9 | 5,5 | 2,5 | 2 |
| Vapaa kalastus | 1,8 | 1 | 0,9 | 0 |

Lähtöarvoihin verrattuna biologisen optimin tilanteessa panoksen, kalakannan ja saaliin koot eivät muutu, mutta voitto kasvaa 1,52. Taloudellisesti optimaalisessa tilanteessa kalastuspanos kasvaa hieman 0,80,9, samoin saalis 2,42,5ja voitto 1,62. Kalakannan koko pienenee 65,5. Vapaan kalastusoikeuden tilanteessa kalastuspanoksen käyttö kasvaa 1,61,8 ja kalakannan koko pienenee 21 ja samoin saaliin 1,60,9.

Kalastuksen kustannusten muuttuessa biologisen optimin tapauksessa kalastuspanoksen, kalakannan ja saaliin arvot säilyvät ennallaan ja vain voitossa tapahtuu muutoksia. Taloudellisen optimin tapauksessa kalastuspanoksen, kalakannan, saaliin ja voiton arvot muuttuvat, mutta muutokset ovat melko vähäisiä. Vapaan kalastusoikeuden tapauksessa kalastuspanoksen käytössä tapahtuu pientä muutosta, mutta kalakannan ja saaliin koko vaihtelee merkittävämmin.

# Johtopäätökset

Schäfer-Gordon malli tuo hyvin esiin vapaan kalastusoikeuden ongelmat havainnollistamalla kantojen hupenemisen jos kalastusta ei rajoiteta. Lisäksi malli osoittaa, että saaliin maksimointi ei tuota maksimaalista voittoa. Saatujen tulosten soveltaminen käytäntöön voi kuitenkin osoittauta vaikeaksi. Kalastuspanoksen optimaalisen tason toteutuminen käytännössä ei ole realistista kalakantojen vapaan käytön vuoksi (Kahn 2010, 383-385).

Kahn kritisoi Schäfer-Gordon mallia myös siitä, että siinä kalakanta nähdään itsenäisenä irrallaan ympäröivistä tekijöistä. Lisäksi staattisena malli rajoittuu yhteen periodiin eikä huomioi korkotasoa eikä kuluttajien ja tuottajien ylijäämää. Näiden puutteiden vuoksi Kahnin mielestä mallia on hankala käyttää empiirisesti. (Kahn 2010, 390.)

Aiheena Schäfer-Gordon malli oli hyvä harjoitustyön tarkoitukseen. Se oli riittävän selkeä, mutta antoi myös haasteita toteutuksessa. Tutun mallin avulla voitiin keskittyä Matlab -ohjelman käyttämiseen ja ongelmien ratkomiseen ohjelmiston avulla. Matlab –ohjelma soveltui hyvin mallin toteutukseen. Tehdyt kuvaajat auttoivat ymmärtämään laskujen perusteet. Mallilla saatiin helposti tutkittua eri muuttujien arvojen muutoksen vaikutusta tuloksiin. Näistä nähtiin, että käytettyjen alkuarvojen oikeellisuus on merkittävää, kun mallia sovelletaan käytännössä.

# Lähteet

Kahn, J. 2010. The Economic Approach to Environmental and Natural Resources. Mason, Ohio: Thomson/South-Western, cop. 2010.

Lindroos, M. 2011. YE4 Luonnonvarataloustieteen jatkokurssi. Kalastuksen taloustiede. Helsingin yliopisto.