



Luonnonvara- ja
biotalouden
tutkimus 68/2015

Poronhoidon tuottavuus ja ekonomia erilaisissa laidun- ja ympäristöolosuhteissa

Yhteenveto tutkimushankkeesta

Jouko Kumpula, Antti-Juhani Pekkarinen, Olli Tahvonen ja
Sirpa Rasmus

Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 68/2015

Poronhoidon tuottavuus ja ekonomia erilaisissa laidun- ja ympäristöolosuhteissa

Yhteenveto tutkimushankkeesta

Jouko Kumpula, Antti-Juhani Pekkarinen, Olli Tahvonen ja Sirpa Rasmus

Luonnonvarakeskus, Helsinki 2015



ISBN: 978-952-326-143-3 (Painettu)

ISBN: 978-952-326-144-0 (Verkojulkaisu)

ISSN 2342-7647 (Painettu)

ISSN 2342-7639 (Verkojulkaisu)

URN: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-144-0>

Copyright: Luonnonvarakeskus (Luke)

Kirjoittajat: Jouko Kumpula, Antti-Juhani Pekkarinen, Olli Tahvonen, Sirpa Rasmus

Julkaisija ja kustantaja: Luonnonvarakeskus (Luke), Helsinki 2015

Julkaisuvuosi: 2015

Kannen kuva:

Tiivistelmä

Jouko Kumpula¹, Antti-Juhani Pekkarinen², Olli Tahvonen² ja Sirpa Rasmus³

¹Luonnonvarakeskus, Luonnonvarat ja biotuotanto, ²Helsingin yliopisto, metsätieteiden laitos ja

³Jyväskylän yliopisto, bio- ja ympäristötieteiden laitos

Hankkeen päätavoite oli tutkia poronhoidon tuottavuutta ja kannattavuutta sekä ekologista ja taloudellista kestävyyttä bioekonomisen tutkimuksen avulla. Poronhoidon dynaamiseen systeemimalliin sisällytettiin laitumiin, laidunympäristöön, porokantaan ja poronhoitoon liittyvät keskeiset biologiset, poronhoidolliset ja taloudelliset muuttujat sekä niiden väliset riippuvuudet. Mallin avulla analysoitiin talvilaidunten, poromäärien, porotokan rakenteen, poronhoitokäytäntöjen sekä erilaisten menojen ja tulojen vaikutusta poronhoidon tuottavuuteen ja kannattavuuteen. Samalla tarkasteltiin optimaalisia ratkaisuja ja sopeutumisprosesseja erilaisiin laidun- ja lähtötilanteisiin poronhoidossa. Hankkeen toisessa osiossa selvitettiin poronhoitoon vaikuttavia lumi- ja kaivuolosuhteita sekä analysoitiin SNOWPACK-mallin ja säähavaintoaineistojen avulla lumipeitteen rakenteen vuosivaihtelua.

Analyysit osoittavat, että tilanteessa, jossa porot saavat talviravintonsa vain jäkäläköiltä, vuoden-aikainen laidunkierto on käytössä ja diskonttokorko on 0 %, optimaalinen jäkäläbiomassa jäkälälaitumilla on noin 1200 kg/ha. Laidunkierron puuttuminen, jäkäläbiomassan tuottavuuden lasku ja diskonttokoron nousu pudottavat optimaalista jäkäläbiomassaa (pienimmillään n. 600 kg/ha) ja myös poronhoidon nettotuloja. Porojen laiduntaessa talvella jäkäläbiomassan ohella luppolaitumia optimaalinen poromäärä kasvaa ja jäkäläbiomassa pienenee, mutta poronhoidon nettotulot pysyvät suurempina kuin pelkästään jäkäläköitä laidunnettaessa. Luppolaitumet myös tasaavat laidunsystemin epävakautta ja tuottavuuden vuosivaihtelua. Optimitalassa olevilla talvilaitumilla porojen ruokinta ei ole kannattavaa nykyisillä ruokintakustannuksilla (arvioitujen kustannukset 0,4€/kg rehua). Ruokintakulujen pudotessa riittävän pieniksi ruokintaan perustuva poronhoito voi muuttua taloudellisesti kannattavaksi, jolloin jäkäläköt ylilaidunnetaan. Myös diskonttokoron nousu sekä elo- ja teurasporoille maksetut tuet edistävät porojen ruokintaan siirtymistä. Jos luontaista talviravintoa on vähän, eikä laidunten tilaa pystytä parantamaan, ruokinta on myös kannattavaa. Tällöin poronhoidon nettotulot jäävät kuitenkin pienemmäksi kuin optimitalassa olevilla talvilaitumilla. Sopeutumisprosessin pituus ja poromäärän vähentämistarve kuluneiden jäkäläbiomassan elvyttämiseksi optimitalaansa osoittautuivat suuremmiksi kuin on arvioitu. Porojen ruokinta sopeutumisprosessin alkuvaiheessa on kannattavaa.

Optimaalinen teurastus painottuu vasoihin, vaatimet teurastetaan 9,5 ja hirvaat 5,5 vuoden ikäisinä eli sen jälkeen kun niiden lisääntymisarvo ja paino alkavat pudota. Samalla hirvainta on porokarjassa porojen lisääntymisen kannalta vain vähimmäismäärä, eloporoista 93 % on naaraita ja ikäluokkarakenne sukupuolen osalta tasainen. Parhaassa lisääntymisessä olevan hirvaan taloudellinen arvo (varjohinta) on korkeampi kuin vastaavan vaatimen arvo. Mallin avulla voitiin arvioida myös jäkälälaidunhehtaarin taloudellista arvoa.

Lumi- ja kaivuolosuhteista tehdyt analyysit osoittivat, että syvä ja tiivis lumipeite, jääkerrokset sekä myöhäinen lumen sulaminen vaikeuttavat porojen ravinnon saantia ja pudottavat vasatuottoa. SNOWPACK-mallilla ennustettu lumen tiheys eri talvina korreloi merkitsevästi SYKE:n mittauslinjoilta saatuihin lumen tiheysarvoihin. SNOWPACK-malli kykeni arvioimaan suhteellisen luotettavasti myös muita poroille vaikeita lumen rakenteellisia ominaisuuksia.

Poronhoidon bioekonomisella mallilla tehdyt analyysit selventävät poronhoidossa ja laitumilla tapahtunutta kehitystä Suomessa. Ne auttavat myös hahmottamaan nykytilannetta ja siihen johtaneita syitä. Mallilla voitiin tarkastella myös niitä sopeutumisprosesseja, joita poronhoidossa olisi tehtävä, mikäli talvilaidunten tilaa ja poronhoidon kannattavuutta haluttaisiin parantaa. Hankkeen tulokset osoittivat myös, että lumen rakenteen vuosivaihtelun ennustaminen SNOWPACK-mallin avulla tuo hyödyllistä tietoa poronhoidolle.

Asiasanat: bioekonominen systeemimalli, jäkälä, luppo, optimointi, porotalous, talvilaitumet

Sisällys

1. Tausta	5
2. Tutkimuksen tarkoitus.....	7
3. Tutkimusmenetelmät	8
3.1. Poronhoidon bioekonomisen systeemimallin kokoaminen	8
3.2. Perusmalli ja sen rakenne	8
3.3. Perusmallin laajennus	9
3.4. Poronhoidon systeemimallin avulla tehdyt analyysit	12
3.5. Lumiolosuhteiden vaihtelu ja arviointi SNOWPACK-mallilla.....	13
4. Tutkimustulokset	14
4.1. Bioekonomisen mallin avulla saadut analyysitulokset	14
4.1.1. Poro-jäkälä -tasapainotilat ilman porojen teurastuksia	14
4.1.2. Optimaalinen poronhoito ja porokannan rakenne	14
4.1.3. Laidunkierron, jäkälälaidunten tuoton, loppolaidunten, ruokintakustannusten ja diskonttokoron vaikutukset optimaaliseen poronhoitoon	17
4.1.4. Poronhoidon optimaalinen sopeutuminen erilaisiin tilanteisiin	18
4.1.5. Lumi- ja kaivuolosuhteiden vaihtelu ja sen ennustaminen	21
5. Pohdinta ja johtopäätökset	23
6. Kiitokset	27
7. Kirjallisuus.....	28

1. Tausta

Viime vuosikymmenien aikana poronhoito on käynyt läpi monia merkittäviä muutoksia, joista merkittävimmät ovat tapahtuneet poronhoitomethodissa ja laidunympäristössä. Poromäärät ovat kasvaneet ja perinteisestä porojen tiivistä paimennuksesta on siirrytty vähitellen porojen vapaampaan laiduntamiseen. Samalla porojen talvinen lisäruokinta on merkittävästi lisääntynyt muodostaen nykyisin pysyvän käytännön lähes kaikissa paliskunnissa (Helle & Jaakkola 2008). Poromäärien kasvu ja laidunten käyttötavan muutokset yhdessä metsätalouden ja maankäytön aiheuttamien vaikutusten kanssa ovat johtaneet erityisesti tärkeimpien talvilaidunten (jäkälä- ja luppolaitumet) määrän vähenemiseen ja kunnan heikkenemiseen (Kumpula ym. 2009; Mattila & Mikkola 2009; Mattila 2014).

Jäkäläbiomassojen voimakas väheneminen jäkälälaitumilla johtuu useasta poronhoitoon, metsätalouteen ja maankäyttöön liittyvästä tekijästä, joiden vaikutuksen voimakkuus vaihtelee poronhoitoalueen eri osissa (Kumpula ym. 2014). Useimmissa paliskunnissa pitkäaikaiset korkeat poromäärät ja jäkälälaidunten kesäaikainen kulutus selväpiirteisen vuodenaikaisen laidunkierro puuttuessa ovat olleet poronhoidon osalta merkittävimmät syyt jäkäläköiden kulumiseen. Metsätalouden aiheuttama, laaja-alainen luonnontilaisten varttuneiden ja vanhojen metsien väheneminen ja korvaantuminen hakkuualueilla, taimikoilla ja tiheillä nuorilla kasvatusmetsillä on merkinnyt luppolaidunten määrän putoamisen ohella myös maajäkälämäärien vähenemistä laitumilla. Samaan aikaan myös eri maankäyttömuotojen ja niihin liittyvän infrastruktuurin laajeneminen on vähentänyt ja pirstonnut porolaitumia ja voimistanut mm. jäkälälaidunten kulumista.

Suuri osa porotalouden ongelmista, kuten ylilaidunnus ja maankäytön vaikutukset laitumilla sekä porotalouden heikko kannattavuus edellyttävät siten laajaa ja monipuolista tarkastelua (Pape & Löfler 2012). Näissä tarkasteluissa tulisi hallita lukuisat poroon ja poronhoitoon liittyvät yksityiskohdat, laidunten, laidunympäristön ja porokannan väliset riippuvuudet sekä poronhoidon harjoittamiseen liittyvien menojen ja tulojen vaikutukset. Myös satunnaisesti vaihtelevien ja samalla muuttumassa olevien sää- ja lumiolosuhteiden vaikutukset porojen ravinnonsaantiin ja kuntoon sekä poronhoidon tuottavuuteen pitäisi kyetä huomioimaan. Porotalouden tuottavuuteen, kannattavuuteen ja kestävyteen liittyviä kysymyksiä voidaan selvittää joko nojaamalla paliskuntien kokemusperäiseen tietoon, etsimällä tai keräämällä vastauksia yksittäisistä tutkimuksista tai yhdistämällä laaja määrä eri alojen tutkimustietoa monitieteiseksi matemaattisesti ratkaistavaksi optimointimalliksi.

Kalakantojen ja metsävarojen ekologisesti ja taloudellisesti kestävä ja tarkoituksenmukaista käyttöä on tarkasteltu jo pitkään bioekonomisessa tutkimuksessa erilaisten dynaamisten systeemimallien avulla (mm. Tahvonen 2009a ja b; Tahvonen ym. 2010 ja 2012). Näihin matemaattisiin systeemimalleihin sisällytetään keskeiset luonnonvaran kasvuun, tuottavuuteen ja hyödyntämiseen liittyvät parametrit ja riippuvuudet sekä samalla myös luonnonvaran hyödyntämiseen sisältyvät menot ja tulot. Systemimallien avulla on mahdollista tarkastella samaan aikaan sekä biologisten että elinkeinon toimintaan ja talouteen liittyvien tekijöiden keskinäisiä vaikutuksia luonnonvarojen hyödyntämisessä. Mallien avulla voidaan myös hakea pitkän ajan optimaalisia ratkaisuja luonnonvarojen hyödyntämiseen sekä tarkastella erilaisia toimenpidevaihtoehtoja ja sopeutumisprosesseja erilaisista lähtötilanteista optimitilanteeseen pääsemiseksi.

Porokarja ja laitumet voidaan ymmärtää vuorovaikutuksessa oleviksi biologisiksi pääomavaranoiksi ja erotuksissa tehdyt teurastukset pääomavarantoja koskeviksi kulutus- ja säästämis- tai investointipäätöksiksi. Toisaalta myös monet muut laidunympäristöön, porokarjaan ja poronhoitomethodiin sekä poronhoidon menoihin ja tuloihin liittyvät tekijät vaikuttavat laidunresursseihin, porokarjan tuottavuuteen ja poronhoidon kannattavuuteen. Aikaisemmin myös poronhoidosta on rakennettu muutamia erilaisia systeemimalleja, joiden tavoite on ollut löytää tasapainotila poromäärien ja käytetyn jäkälälaidunresurssin välille mitoittamalla sekä teuras- ja eloporomäärät että poronhoidosta saatu teurastulo käytössä oleviin jäkälälaitumiin nähden optimaaliseksi (Virtala 1992 ja 1996; Moxnes ym. 2001). Kyseisistä malleista puuttuu kuitenkin yksi tärkeä elementti eli porokannan ikä- ja sukupuolirakenne, joka on oleellinen tekijä niin porojen lisääntymisen ja tuottavuuden kuin myös oikein

mitoitettun ja suunnatun teurasvalinnan kannalta (Kojola & Helle 1993; Kumpula ym. 1998). Toisaalta Petersson ja Danell (1992) ja Danell ja Petersson (1994) ovat tarkastelleet kokoamiensa mallien avulla myös porokannan sukupuoli- ja ikärakenteen muutosten vaikutusta porokannan tuottavuuteen, mutta heidän mallinsa eivät kuitenkaan sisällä laitumia, porojen energiabudjettia ja optimointia. Myöhemmin Olofsson ym. (2011) ovat myös koonneet mallin, joka sisältää vuorovaikutusmekanismit jäkälälaidunten, porojen energiansaannin ja porokannan rakenteen välillä, mutta kyseisessä mallissa porokannan sukupuolirakenne ei vaikuta lisääntymiseen, eikä malli sisällä myöskään teurasstrategian optimointia.

Lumiolosuhteiden vaikutuksia poronhoitoon on tutkittu aikaisemmin melko laajasti ja siten niiden vaikutukset porojen ravinnon saantiin, kuntoon ja tuottavuuteen tunnetaankin melko hyvin (mm. Helle 1984; Helle & Tarvainen 1984; Aanes ym. 2000; Kumpula & Colpaert 2003; Helle & Kojola 2004 ja 2007). Sen sijaan talviaikaisten säätekijöiden vaihtelun vaikutuksia lumen määrään, kestoon ja rakenteeseen on tutkittu vielä verrattain vähän (mm. Rasmus ym. 2004 ja 2007), samoin kuin lumen rakenteellisten ominaisuuksien vaikutuksia porojen laidunolosuhteisiin (mm. Kohler & Aanes 2004; Vikhamar-Schuler ym. 2013). Kyseiset tutkimukset kuitenkin osoittavat, että monet eri säätekijät alkutalvesta kevääseen vaikuttavat lumen määrään, kestoon ja rakenteeseen ja että kyseisten säätekijöiden vaikutuksia lumipeitteen ominaisuuksiin ja kestoon voidaan ennustaa kohtuullisen luotettavasti sveitsiläisen SNOWPACK-mallin avulla. Käynnissä olevan ilmastonmuutoksen myötä (ks. IPCC 2007) muuttuvien lumi- ja kaivuolosuhteiden merkitys poronhoidon tuottavuuteen ja talouteen voi kasvaa ja siksi talvisten säätekijöiden muutosten vaikutuksia lumen rakenteeseen, määrään ja kestoon tulisi pystyä ennakoimaan.

Poronhoidon ekologiseen kestävytyteen ja taloudelliseen kannattavuuteen vaikuttavien tekijöiden laaja-alainen ja samanaikainen tarkasteleminen sekä erilaisten optimaalisten ratkaisuvaihtoehtojen ja sopeutumisprosessien etsiminen poronhoidossa vaatii monipuolisten dynaamisten systeemi-mallien kokoamista, hallitsemista ja käyttöä. Vain tällaisten mallien avulla voidaan analysoida yhtä aikaa laitumiin, laidunympäristöön, porokantaan ja poronhoitoon liittyvien keskeisten biologisten, poronhoidollisten ja taloudellisten tekijöiden välisiä riippuvuuksia ja niiden vaikutuksia poronhoitoon. Myös vaihtelevien ja jatkossa muuttuvien lumi- ja kaivuolosuhteiden vaikutuksia poronhoidon tuottavuuteen ja kannattavuuteen tulisi selvittää. Dynaamiset systeemimallit mahdollistavat myös porojen ravinnonsaantiin vaikuttavien vaihtelevien sää- ja lumiolosuhteiden vaikutusten arvioimisen poronhoidon tuottavuuteen ja talouteen. Toisaalta tällaiset satunnaismuuttujia sisältävät mallit ovat kuitenkin rakenteeltaan osittain erilaisia ja vaativat siten vielä pidemmälle menevää erityisosaamista.

2. Tutkimuksen tarkoitus

Tutkimushankkeen päätavoite oli tutkia vuosina 2011-2014 poronhoidon tuottavuutta ja kannattavuutta sekä ekologisesti ja taloudellisesti kestävää poronhoitoa bioekonomisessa tutkimuksessa käytettyjen menetelmien avulla. Hankkeen keskeinen tavoite oli siten koota riittävän laaja ja monipuolinen laidunten käyttöä, porojen ravinnonsaantia ja tuottavuutta sekä poronhoidon ekonomiaa kuvaava dynaaminen systeemimalli. Tavoite oli sisällyttää malliin kaikki ne keskeiset biologiset ja poronhoidolliset elementit ja niiden väliset riippuvuudet, jotka liittyvät porojen talvilaitumiin, laidunympäristöön, laidunten käyttöön ja ravinnonsaantiin, porokannan rakenteeseen ja tuottavuuteen sekä liittää samalla malliin poronhoidon menoihin ja tuloihin sisältyvät osatekijät.

Tämän jälkeen tavoite oli analysoida poronhoidon systeemimallin avulla erilaisten laidun- ja ympäristötekijöiden, poromäärien, poronhoitokäytäntöjen sekä poronhoidon menojen, tulojen ja tukien vaikutusta poronhoidon tuottavuuteen ja kannattavuuteen (nettotuloihin) sekä ekologiseen kestävyteen ja taloudelliseen kannattavuuteen. Mallin avulla oli tarkoitus tarkastella myös optimiratkaisuja poronhoidossa erilaisissa lähtötilanteissa ja laidunympäristöissä. Samalla näiden analyysien tavoitteena oli arvioida, minkä tyyppisiä ja kuinka pitkiä sopeutumisprosesseja erilaisista lähtötilanteista vaaditaan poronhoidossa optimitilanteeseen pääsemiseksi. Tarkasteltavia kysymyksiä olivat mm. optimaaliset elo- ja teurasporomäärät eri ikä- ja sukupuoliluokissa, laidunten jäkäläbiomassat ja porojen lisäruokinnan määrä erilaisissa laidunympäristöissä sopeutumisprosessin aikana ja optimitilanteeseen päästäessä. Tarkoitus oli myös vertailla poronhoidon tuottavuutta ja tuloja sopeutumisprosessin aikana ja optimitilanteessa.

Toisena hankkeen tavoitteena oli selvittää lumi- ja kaivuolosuhteiden vaihtelun vaikutuksia poronhoitoon pitkäaikaisten aikasarja-aineistojen avulla sekä testata, voidaanko havaittuja, porojen ravinnon saannin kannalta vaikeita lumi- ja kaivuolosuhteita ennustaa SNOWPACK-mallin avulla. Hankkeessa ei kuitenkaan vielä ehditty analysoida vaihtelevien lumi- ja kaivuolosuhteiden vaikutuksia poronhoidon tuottavuuteen ja talouteen dynaamisen systeemimallin avulla, sillä kyseisen analysointi olisi edellyttänyt monia muutoksia hankkeessa kootun mallin rakenteessa.

3. Tutkimusmenetelmät

3.1. Poronhoidon bioekonomisen systeemimallin kokoaminen

Tutkimushankkeessa koottiin saatavilla olevan tutkimustiedon ja käytettävissä olevien aineistojen (mm Kaamasen koetarhalla kerätty aineisto) avulla poronhoidosta bioekonominen systeemimalli. Malliin sisällytettiin tärkeimmät talvilaitumiin, porokantaan, poronhoitoon ja poronhoidon talouteen vaikuttavat tekijät sekä niiden väliset riippuvuudet. Tätä täysin dynaamista matemaattista systeemi-mallia voidaan käyttää tarkasteltaessa sitä, miten erilaiset laidun- ja ympäristötekijät, poromäärät, poronhoitokäytännöt sekä erilaiset kulut ja tulot vaikuttavat poronhoidon tuottavuuteen ja kannattavuuteen. Mallin avulla voidaan myös optimoida poronhoitoon liittyviä tekijöitä (mm. poromäärät, porokannan rakenne ja hoitokäytännöt) pyrittäessä kehittämään poronhoitoa niin ekologisesti kestävämmäksi kuin taloudellisestikin kannattavammaksi.

Malli kirjoitettiin AMPL-ohjelmointikielellä ja sillä tehdyt analyysit suoritettiin KNITRO 7.0.0-ohjelmistolla. Mallin rakentaminen tapahtui kahdessa vaiheessa. Aluksi tehtiin ns. poronhoidon perusmalli (Tahvonen ym. 2014), joka sisältää jäkälälaidunten käyttöön, porokannan rakenteeseen ja teurastuskäytäntöihin sekä poronhoidon menoihin ja tuloihin sisältyvät elementit. Sen jälkeen perusmallia laajennettiin sisällyttämällä malliin jäkälälaidunten laidunnustapaan ja tuottavuuteen, lupolaidunten määrään ja lupon saatavuuteen sekä porojen ruokintaan liittyvät osatekijät (Pekkarinen ym. 2015). Tutkimusaineistot ja menetelmät mallin rakenteen kuvauksineen on kuvattu yksityiskohtaisesti kahdessa kansainvälisessä tieteellisissä julkaisuissa (Tahvonen ym. 2014, Pekkarinen ym. 2015). Seuraavassa ne kuvataan vain yleispiirteiltään.

3.2. Perusmalli ja sen rakenne

Perusmallissa (Tahvonen ym. 2014) porot hankkivat talviravintonsa jäkälälaitumilta kaivamalla, ja kaivettavien ravintolähteiden (jäkälät ja varvut) energiasisällöt (MJ/kg) (Isotalo 1974; Salo ym. 1982) ja porojen jäkälä- ja varpuravinnon saanti (kg/vrk/poro) (Kumpula 2001a; Kumpula ym. 2004) eri kunnossa olevilla jäkälälaitumilla on sisällytetty malliin. Jäkälälaidunten laidunnus kestää marraskuun alusta huhtikuun loppuun (181 vrk). Muuna aikana porot eivät pääse jäkälälaitumille, joten perusmallissa jäkälälaitumen käyttö perustuu selvään vuodenaikaiseen laidunkiertoon. Porojen talviaikainen ravinnontarve lasketaan mallissa ikä- ja sukupuoliluokakohtaisen elopainon mukaan määräytyvänä energiantarpeena (MJ/vrk/poro) (Boertje 1985). Porojen talviaikainen energiansaanti riippuu mallissa jäkälälaidunten jäkäläbiomassasta siten, että jäkäläbiomassan pudotessa laitumilla energiansaanti jäkälästä vähenee ja varvuista kasvaa. Varvuilla porot voivat kuitenkin tyydyttää mallissa enintään hieman yli puolet energiantarpeestaan koko talven aikana. Porojen laidunnus vähentää jäkäläbiomassaa laitumilla määrän, joka riippuu eri ikä- ja sukupuoliluokissa olevista poromääristä ja niiden yhteensä kuluttamasta jäkälämäärästä. Jäkälän kulutukseen lasketaan porojen syömä jäkälämäärä ja porojen hukkaama jäkälämäärä (mallissa kulutus on yhteensä 1,3 x syöty jäkälämäärä). Talvisen laidunnuksen jälkeen jäkälämäärä kasvaa kevästä syksyyn sen määrän, jonka kyseisen jäkäläbiomassan on havaittu kykenevän varttuneissa ja vanhoissa mäntymetsissä tuottamaan yhdessä kasvukaudessa (Kumpula ym. 2000; Kumpula ym. 2014 julkaisematon aineisto).

Malli sisältää vaatimille 17 ja hirvaille 13 ikäluokkaa, joiden elopainot syksyllä vastaavat kohtalaisen hyvissä laidunolosuhteissa laiduntaneiden porojen painoja. Porojen lisääntyminen on mallissa kuvattu poron sukupuolesta ja iästä riippuvan lisääntymisarvon ja ns. modifioidun harmonisen lisääntymisfunktion avulla (ks. Caswell 2001; Bessa-Comes ym. 2010). Vaadinten ikäluokakohtainen lisääntymisarvo muodostuu siitä kevään vasontaprosentista, joka kullakin vaadinikäluokalla on havaittu tyypilliseksi suhteellisen hyvissä ravinto-olosuhteissa. Hirvaiden lisääntymisarvo riippuu puolestaan siitä vasamäärästä, jonka kuhunkin hirvasikäluokkaan kuuluvan hirvaan on havaittu keskimäärin

tuottavan kohtuullisen hyvissä laidunolosuhteissa (Røed ym. 2002; 2005 ja 2007). Keväällä syntyvien vasojen enimmäismäärä määräytyy modifioidun harmonisen lisääntymisfunktion avulla siten, että vaadinten ja hirvaiden lukusuhte sekä myös niiden ikäluokkakohtaiset lisääntymisarvot vaikuttavat vasontatulokseen.

Jäkälästä ja muusta kaivettavasta ravinnosta (pääasiassa varvut) saatu energiamäärä talven aikana vaikuttaa porojen painon putoamiseen keväeseen mennessä ja sitä kautta porojen talviaikaisen kuolleisuuteen, lopulliseen vasaprosenttiin ja syntyvien vasojen painoihin (mm. Reimers 1982, Reimers ym. 1983; Adamczewski ym. 1993; Cameron ym. 1993; Tveraa ym. 2003; Fauchald ym. 2004). Syntyneiden vasojen painoissa huomioidaan myös vaadinten ikäluokkakohtaiset vasapainot. Mallissa käytetyt riippuvuudet ja suureet perustuvat siten mahdollisimman pitkälle olemassa olevaan julkaistuun tutkimustietoon tai muihin käytettävissä oleviin aineistoihin. Pääosa porojen painoihin, kuntoon ja lisääntymiseen liittyvistä tiedoista on koottu Kaamasen koetarhan aineistoista ja siellä tehdyistä tutkimuksista.

Perusmalli sisältää myös poronhoidon menot ja tulot poronhoitovuodelta. Menoihin sisältyvät eloporoa kohti lasketut hoitokustannukset (39,54 €/eloporo) ja teurasporoa kohti lasketut teurastuskustannukset (13,35 €/teurasporo) sekä paliskunnan koon mukaan määräytyvät kiinteät kustannukset (3,8 €/km² paliskunnan maa-ala). Näiden kustannusten laskemisessa on hyödynnety Paliskuntain yhdistyksen kokoamia tuottooperustelaskelmia poronhoitoalueen paliskunnista poronhoitovuodelta 2010-2011. Poronhoidon tuloiksi on perusmallissa määritetty vain poronlihasta maksettu tuottajahinta (mallissa käytetty arvo 8,0 €/kg)

Poronhoidon bioekonomisessa mallissa voidaan vapaasti valita, minkä verran poroja teurastetaan paliskunnassa 30 eri ikä- ja sukupuoliluokassa eri vuosina siten, että maksimoidaan poronhoidon nettotulojen nykyarvo yli hyvin pitkän aikahorisontin (aikahorisontti tehdyissä mallitarkasteluissa oli yli 100 vuotta). Monia rakenteellisia osia ja riippuvuuksia sisältävä optimointimalli toimii kokonaan dynaamisena systeeminä, ja sen avulla tehtävät tarkastelut voidaan aloittaa erilaisista lähtötilanteista, joissa poromäärät ja jäkälälaidunten kunto sekä poronhoidon tuottavuus tai nettotulot voivat olla kaukana optimaalisen tasapainotilan ratkaisusta. Tämä mahdollistaa mm. optimaalisten sopeutumisratkaisujen etsimisen ylilaidunnuttujen jäkälälaidunten elvyttämiseksi mm. poromääriin kohdistuvien vähentämistarpeiden määrän ja keston osalta. Myös poronhoidon tuottavuutta ja nettotulojen kehitystä sopeutumisprosessin aikana voidaan tarkastella.

3.3. Perusmallin laajennus

Perusmallin laajennus sisältää jäkälälaidunten tuottavuuden ja laidunnustavan, luppolaidunten määrän ja lupon saatavuuden sekä porojen ruokinnan vaikutukset poronhoidon tuottavuuteen ja nettotuloihin. Perusmallissa jäkälän kasvu (kg/ha/vuosi) eri kunnossa olevilla jäkälälaitumilla on kuvattu varttuneissa ja vanhoissa mäntymetsissä, mutta jäkälän tuottavuudessa on eroja mm. hakkuualueiden, taimikoiden ja nuorten mäntymetsien sekä tunturikoivikoiden ja tunturikankaiden välillä (Kumpula ym. 2014). Jäkälän tuottokäyrää voidaan laajennetussa mallissa muuttaa näiden tuottavuuserojen perusteella. Jäkälälaidunten laidunnus voi ajoittua talvijakson ohella myös kevästä syksyyn, mikäli porot pääsevät lumettomana aikana laiduntamaan ja tallaamaan vapaasti jäkäläkoilla (Kumpula ym. 2011). Laajennettuun malliin on talvilaidunnuksen vaikutusten lisäksi sisällytetty jäkälälaidunten kevät- (toukokuu), kesä- (kesä-elokuu) ja syysaikaisen (syys-lokakuu) laidunnuksen ja tallauksen vaikutukset jäkälämääriin. Näiden laidunnusaikojen vaikutukset jäkälälaidunten kuntoon huomioidaan mallissa laiduntavien porojen määrän (myös keväällä syntyneet vasat ovat laidunnuksessa mukana syksyllä), jäkälän kulutuksen (kg/poroa/vrk) ja jäkälän tallausvaikutusten osalta (laskemalla eri kausina myös ns. hukkaantumiskerroin syödyille jäkälälle).

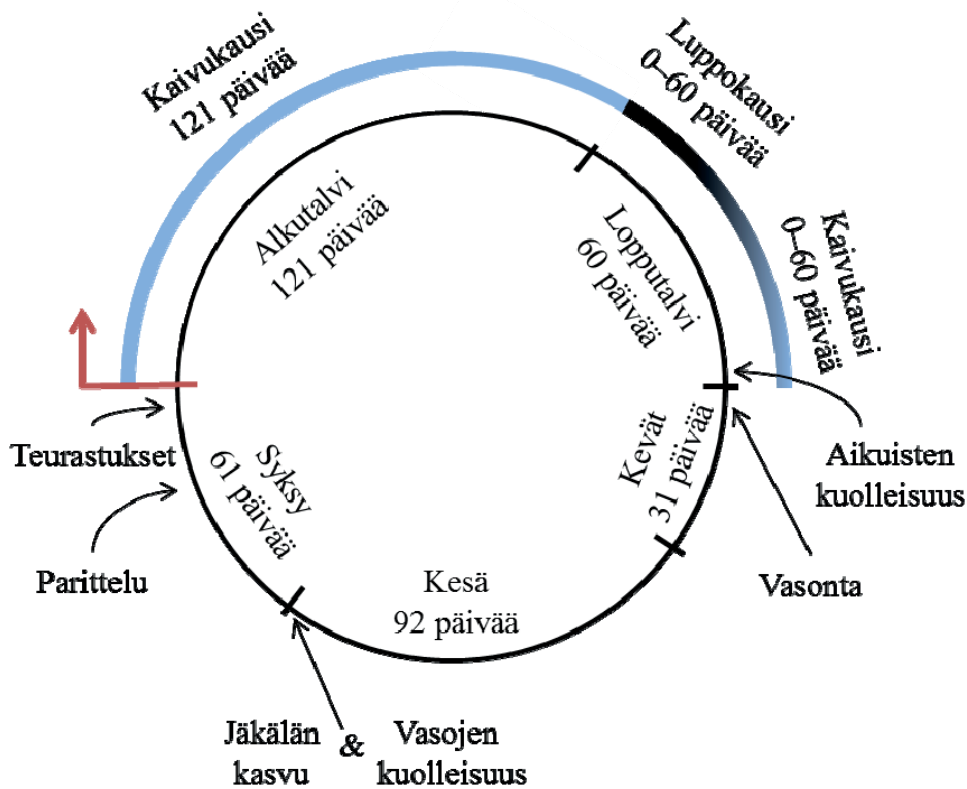
Laajennettuun malliin on myös sisällytetty porojen ravinnon saanti kevättalvella luppolaitumilta (Kumpula ym. 2007 ja 2008; Rytkönen ym.2013). Lupon laidunnusjakson pituus kevättalvella on mallissa enimmillään 60 vrk, mutta lupon lopullinen käyttöaika ja –määrä määräytyvät käytettävissä ole-

vien luppolaidunten pinta-alan (ha) ja niillä porojen saatavilla olevan lupon (kg/ha) määrillä sekä laitumilla olevien poromäärien ja muiden ravintolähteiden saatavuuden perusteella. Se, kuinka paljon ja kuinka monta päivää porot käyttävät luppoo (sekä jäkälää ja varpuja) luppolaidunnusjaksolla, määräytyy mallissa ns. optimaalisen ravinnonhankintateorian periaatteiden mukaan (Elmen 1966; MacArthur & Pianka 1966). Mallissa poro käyttää luppolaidunnusjaksolla ensi sijassa sitä ravintokohdetta, josta saatu energiamäärä on ravinnon hankintaan kulunutta aikayksikköä kohti suurin. Energian saannin nopeuden ollessa sekä lupoista että kaivettavasta ravinnosta lähes samansuuruinen, poro voi käyttää jossain määrin kumpaakin ravintokohdetta samaan aikaan. Tällöin saatu energiamäärä yhdistetystä ravinnosta on jonkin verran suurempi kuin mitä se olisi, jos poro käyttäisi saman ajan pelkästään yhtä ravintokohdetta.

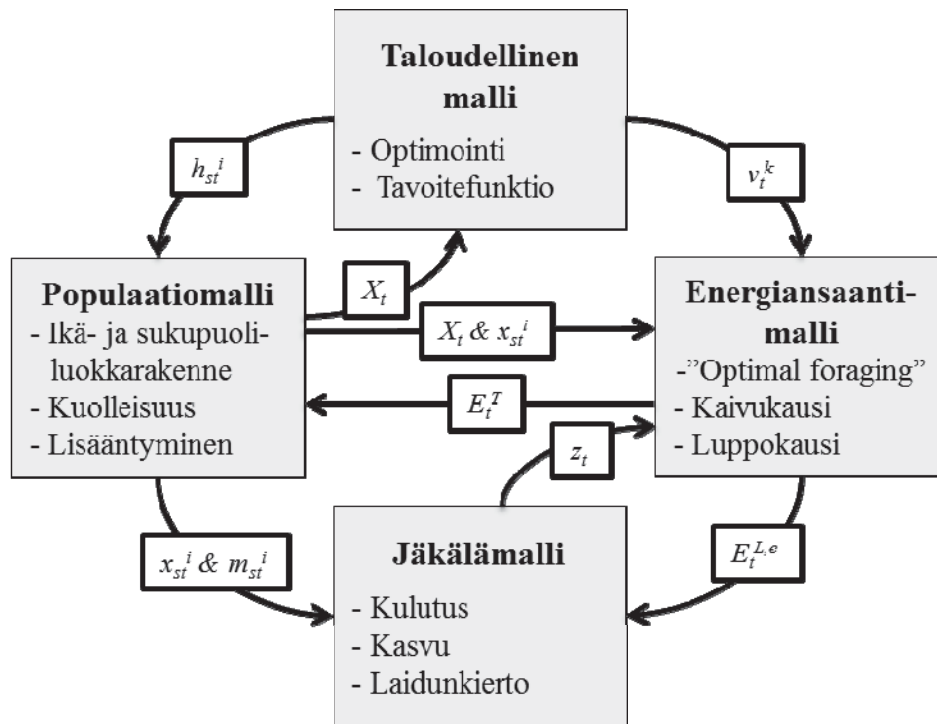
Poroille talvella annettu lisärehun määrä on liitetty laajennettuun malliin yhtenä optimoitavana muuttujana. Mallissa lisäruokinta tapahtuu maastoon ja lisärehun energiasisältö (MJ/kg), hinta ruokintakustannuksineen (€/kg) ja syöntinopeus (kg/h) tunnetaan. Se, minkä verran porot käyttävät tarjottua lisärehua laitumilla, riippuu sekä kulloinkin eri ravintolähteistä saatavilla olevista energiamääristä ravinnon hankintaan kulunutta aikayksikköä kohti että porojen preferenssistä luonnonravintoa ja rehua kohtaan. Kun luonnonlaitumet ovat heikossa kunnossa ja luontaista talviravintoa niukasti, tarjottu lisärehu syödään tarkasti, mutta jäkälän ja lupon saatavuuksien kasvaessa porot siirtyvät käyttämään entistä enemmän luonnonravintoa (Nieminen ym. 1987; Nieminen & Heiskari 1989).

Lajennetussa mallissa poronhoidon menoissa ja tuloissa käytettiin samoja arvoja kuin perusmallissa. Porojen ruokintaa käytettäessä menoihin sisällytettiin kuitenkin ruokintakustannukset, jotka olivat pääosassa analyysessä 0,4 €/kg rehua (sisältää kaikki ruokintakustannukset). Kun ruokintakustannusten vaikutuksia tutkittiin optimiratkaisuihin, ruokintakustannuksia varioitiin välillä 0,1-1,0 €/kg rehua. Analysoitaessa myös poronhoidon tukien vaikutusta optimiratkaisuihin mallitarkasteluihin sisällytettiin kahdesta eri tukimuodosta saadut lisätulot. Nämä tukimuodot olivat eloporoille maksettu tuki (28,5 €/eloporo) ja tuotetulle poronlihalle maksettu tuki (2,0 €/kg).

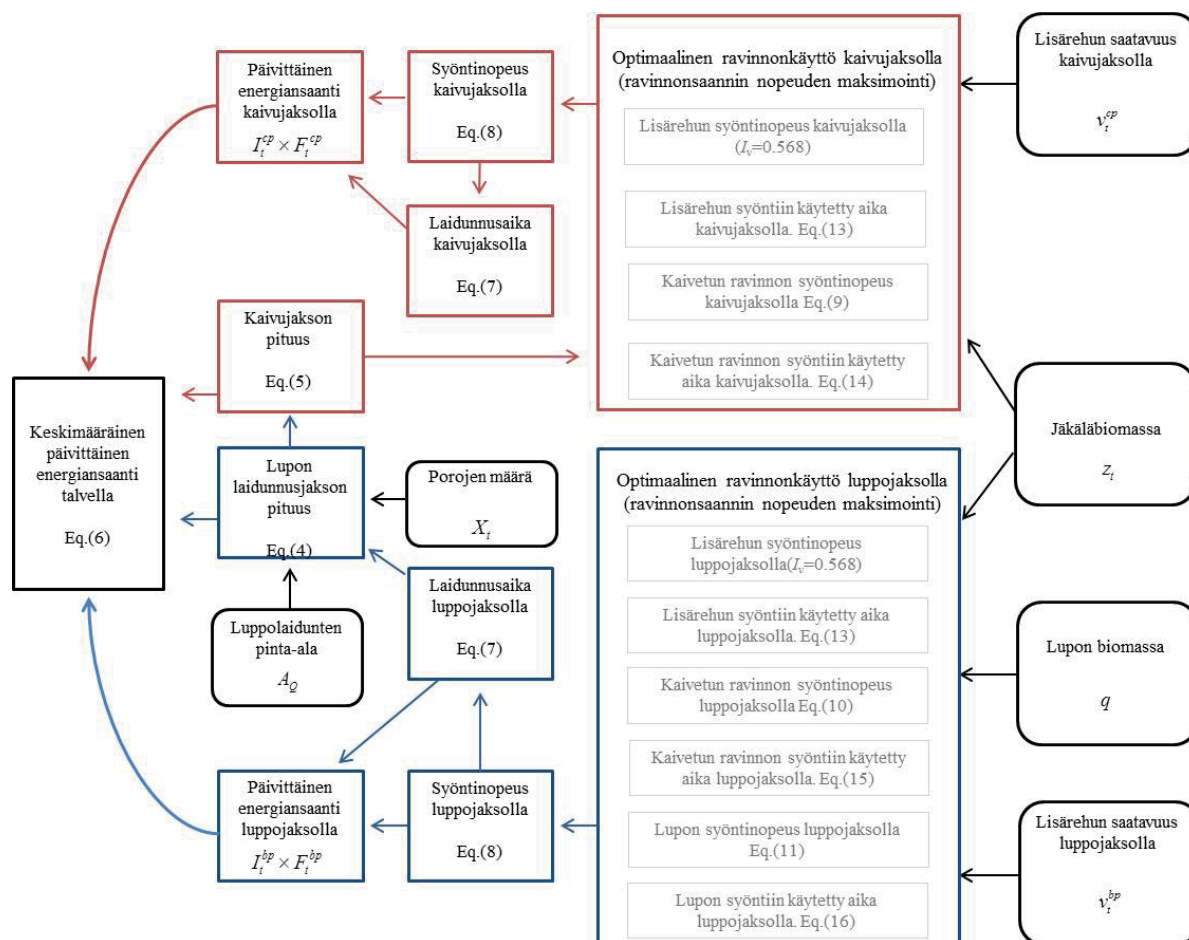
Bioekonomiseen malliin sisältyvä poronhoidon vuosisykli ja sen laidunjakso tapahtumineen on esitetty kuvassa 1. Kuvassa 2 esitetään neljä osamallia, joista laajennettu malli koostuu, sekä niiden väliset riippuvuudet. Populaatiomalli kuvaa ikä- ja sukupuoliluokkohtaisen poropopulaation kehityksen. Energiansaantimalli laskee optimaalisen ravinnonhankintateorian mukaisesti porojen saaman energiamäärän eri ravintokohteista. Kuvassa 3 on kuvattu tarkemmin porojen energiansaannin määräytyminen kaivettavan ravinnon, lupon ja lisärehun saatavuuden perusteella. Jäkälämalli sisältää jäkälän kasvuun ja kulutukseen vaikuttavat tekijät, ja taloudellinen malli kuvaa porotalouden menoja ja tuloja. Optimoinnin avulla haetaan sellaiset ikä- ja sukupuoliluokkohtaiset teurastusmäärät sekä annetun lisärehun määrät, jotka tuottavat suurimman mahdollisen nettotulojen nykyarvon yli hyvin pitkän aikahorisontin.



Kuva 1. Mallissa kuvattu poronhoidon sykli poronhoitovuoden aikana (Pekkarinen ym. 2015)



Kuva 2. Poronhoidon bioekonomiseen malliin sisältyvät malliosiot ja niiden väliset riippuvuudet. Kirjain-symbolien selitykset: eloporomäärä (X_t), porojen määrä eri luokissa (x_{st}^i), porojen kuolleisuus eri luokissa (m_{st}^i), teurastettujen porojen määrä eri luokista (h_{st}^i), annetun lisärehun määrä (v_t^k), jäkälän biomassa (z_t), energian saanti talven aikana (E_t^T), energian saanti jäkälästä ($E_t^{L,e}$) (Pekkarinen ym. 2015).



Kuva 3. Poron energiansaanti talven aikana eri ravintokohteista laajennetussa mallissa. Riippuvuudet ja symbolit on esitetty tarkemmin varsinaisessa julkaisussa (Pekkarinen ym. 2015).

3.4. Poronhoidon systeemimallin avulla tehdyt analyysit

Perusmallin avulla tehtiin analyyskejä (Tahvonon ym. 2014), joissa tarkasteltiin poronhoitoa optimaalisessa tasapainotilanteessa silloin, kun porojen talviravinto tulee vain jäkälälaitumilta. Optimitilanteessa tasapainotilassa poronhoidon nettotulot ovat korkeimmat mahdolliset yli äärettömän pitkän aikahorisontin. Jäkälälaitumia laidunnetaan mallitarkasteluissa vain marras-huhtikuun välillä (selvä vuodenaikainen laidunkierto) ja jäkälälaidunten tuottavuus on hyvä (jäkäläköt sijaitsevat varttuneissa ja vanhoissa mäntymetsissä). Kaikissa analyysseissä jäkälälaidunten pinta-ala on 1000 ha ja ne muodostavat 30 % maa-alasta.

Poromääriä, jäkälälaidunten jäkäläbiomassaa, poronhoidon tuottavuutta ja nettotuloja tarkasteltiin kyseisessä optimitilanteessa eri diskonttokoroilla. Samalla tarkasteltiin, minkälaisia sopeutumisprosesseja eri lähtötilanteissa poronhoidolta vaaditaan, jotta optimaaliseen tasapainotilaan päästään ja minkälainen sopeutumisprosessi optimitilanteen saavuttamiseksi on taloudellisesti järkevin. Myös optimaalisia teuraskäytäntöjä ja siitosporokannan rakennetta selvitettiin. Mallin avulla laskettiin myös siitosvaadintien ja -hirsaiden sekä jäkälälaidunten nettonykyarvoja.

Laajennetun mallin avulla (Pekkarinen ym. 2015) edellisiä analyyskejä vietiin eteenpäin ottamalla mukaan jäkälälaidunten laidunnustavan ja tuottavuuden erojen, luppulaidunten määrän ja lupon saatavuuden sekä lisäruokinnan vaikutukset poromääriin ja jäkälälaidunten kuntoon sekä poronhoidon tuottavuuteen ja nettotuloihin. Näiden osatekijöiden ollessa mukana laajennetussa mallissa po-

ronhoidon optimiratkaisuja tarkasteltiin erilaisista laidun- ja lähtötilanteista. Lopuksi myös diskonttokoron ja ruokintakustannusten sekä elo- ja teurasporoista maksettavan tuen vaikutuksia optimiratkaisuihin ja porojen ruokinnan kannattavuuteen tarkasteltiin.

Diskonttokoron suuruus ilmaisee sen, kuinka paljon esim. elinkeinon harjoittaja painottaa tai suosii tämän hetken tulojaan verrattuna tulevien vuosien tuloihinsa. Mitä suurempaa diskonttokorkoa tuloille käytetään, sitä suurempi on tämän hetken tulojen preferenssi. Diskonttokoron suuruutena taloustieteen analyyseissä käytetään yleensä 2-5 %. Tässä tutkimuksessa tehdyissä analyyseissä diskonttokoron suuruutta kuitenkin vaihdeltiin, jotta myös sen vaikutuksia mm. optimiratkaisuihin, poronhoitomenetelmiin ja jäkäläköiden kuntoon voitiin arvioida.

3.5. Lumiolosuhteiden vaihtelu ja arviointi SNOWPACK-mallilla

Hankkeen yhtenä osiona oli arvioida lumi- ja kaivuolosuhteiden vaihtelun merkitystä poronhoidossa sekä testata, voidaanko lumiolosuhteiden kehittymistä ja vaihtelua arvioida lumen määrän ja rakenteen ennustamiseen kehitetyllä mallilla. Lumiolosuhteiden vaihtelun vaikutukset poronhoidon tuottavuuteen ja kannattavuuteen oli alun perin tarkoitus liittää myös poronhoidon bioekonomisella mallilla tehtyihin tarkasteluihin, mutta tästä tavoitteesta kuitenkin luovuttiin., Lumi- ja kaivuolosuhteiden vaikutusten arvioimiseen tarvitaan ns. stokastista mallia (malli, jolla voidaan analysoida satunnaishvaihtelun vaikutuksia), ja hankkeen aikana resurssit ja aika eivät olisi riittäneet tällaisen mallin kehittämiseen.

Lumi- ja kaivuolosuhteiden osalta hankkeessa selvitettiin aluksi, mitkä lumen ominaisuudet ovat poronhoitajien kokemusperäisen tiedon mukaan merkityksellisiä porojen ravinnonsaannille pohjoisborealisella vyöhykkeellä, ja vaikuttavatko nämä lumipeitteen ominaisuudet myös porojen lisääntymismenestykseen. Tätä varten Muonion paliskunnasta kerättiin vuosilta 1972-2010 tiedot vuotuisista vasaprosenteista, ja samalla käytiin läpi paliskunnan toimintakertomuksiin kirjatut havainnot eri talvien lumi- ja kaivuolosuhteista. Tämän jälkeen testattiin, voidaanko lumen määrää ja rakennetta kuvaavalla SNOWPACK-mallilla (Bartelt & Lehning 2002; Lehning ym. 2002a; 2002b) ennustaa luotettavasti sellaisia lumen rakenteellisia ominaisuuksia, jotka ovat olleet vuosiraporttien ja porotilastojen valossa porojen talviaikaisen ravinnonsaannin ja lisääntymisen kannalta vaikeita kyseisenä jaksona.

Työssä vertailtiin Ilmatieteen laitoksen säähavaintojen avulla laskettuja SNOWPACK-mallin ennusteita lumiolosuhteista SYKE:n seuraamien lumilinjojen mittaustuloksiin. Samalla lumiolosuhteista tehtyjä mittauksia ja SNOWPACK-mallin ennusteita lumen rakenteesta eri talvina verrattiin Muonion paliskunnan seuraavan syksyn vasaprosenttiin ja poronhoitajien vuosiraportteihin kirjaamiin havaintoihin lumiolosuhteiden vaikeudesta poroille kyseisinä talvina. Tämän työkokonaisuuden tulokset on myös julkaistu erillisenä tieteellisenä artikkelina (Rasmus ym. 2014).

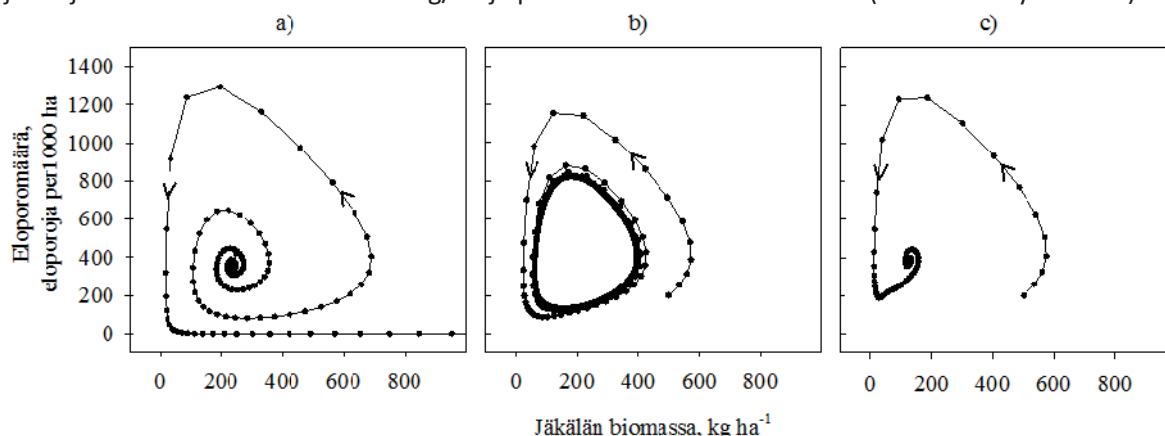
4. Tutkimustulokset

4.1. Bioekonomisen mallin avulla saadut analyysitulokset

4.1.1. Poro-jäkälä -tasapainotilat ilman porojen teurastuksia

Mallin avulla tarkasteltiin aluksi, mitä poromäärälle ja laidunten jäkäläbiomassoille tapahtuu, jos poroja ei teurasteta ollenkaan ja porojen ravinnonsaanti on riippuvainen kaivettavan ravinnon ja lupon saatavuudesta. Näissä tarkasteluissa eivät lumi- ja sääolosuhteet, pedot, sairaudet ja loiset vaikuta poro-jäkälä -tasapainotilaan, sillä ne eivät sisälly vielä malliin. Tarkastelut osoittavat, että poromäärän säätelyn puuttuessa ja porojen saadessa ravintonsa talvella vain jäkälälaitumilta, poromäärän ja jäkälälaidunten välillä vallitsee epävakaata tasapainotila, jossa jäkälämäärä on jäkäläköillä alle 300 kg/ha ja poromäärä verrattain korkea (Kuva 4a). Kyseinen tasapainotila ei kuitenkaan ole pysyvä, vaan johtaa erittäin herkästi poromäärän ja jäkälälaidunten välillä voimistuvaan sykliin, jossa poromäärä toistuvasti joko kasvaa tai putoaa samalla, kun jäkälälaitumet kuluvat tai elpyvät. Jäkäläköön yhä voimakkaamman kulumisen seurauksena porokarjan tuottavuus putoaa ja porojen kuolleisuus kasvaa entistä selvemmin, mikä puolestaan johtaa ennen pitkää poromäärän totaaliseen romahkamiseen. Poromäärän romahtaessa nollaan jäkälälaitumet kasvavat vähitellen kliimaksivaiheeseensa (Tahvonen ym. 2014).

Kun edelliseen laidunsystemiin lisätään porojen ravinnon saannissa jäkälälaitumilta hankitun kaivettavan ravinnon lisäksi porojen lupon saanti erilaisilla luppolaitumilla, optimaalinen jäkäläbiomassa jäkäläköillä pienenee, poromäärä kasvaa ja systeemi muuttuu stabiilimmaksi. Porojen saadessa luppoo kohtalaisesti luppolaitumilta tuloksena on pitkän aikavälin vakaa sykli (4b), jossa poromäärä ja jäkälälaidunten jäkäläbiomassa vaihtelevat tietyissä jaksoissa. Tässä toistuvassa syklissä poromäärän kasvaessa jäkälämäärä vähenee ja päinvastoin. Kun porojen lupon saantia lisätään laidunsystemissä riittävän suureksi, päädytään poromäärän ja jäkälälaidunten välillä vakaaseen tasapainotilaan (4c), jossa jäkälää on laitumilla alle 200 kg/ha ja poromäärä verrattain korkea (Pekkarinen ym. 2015).

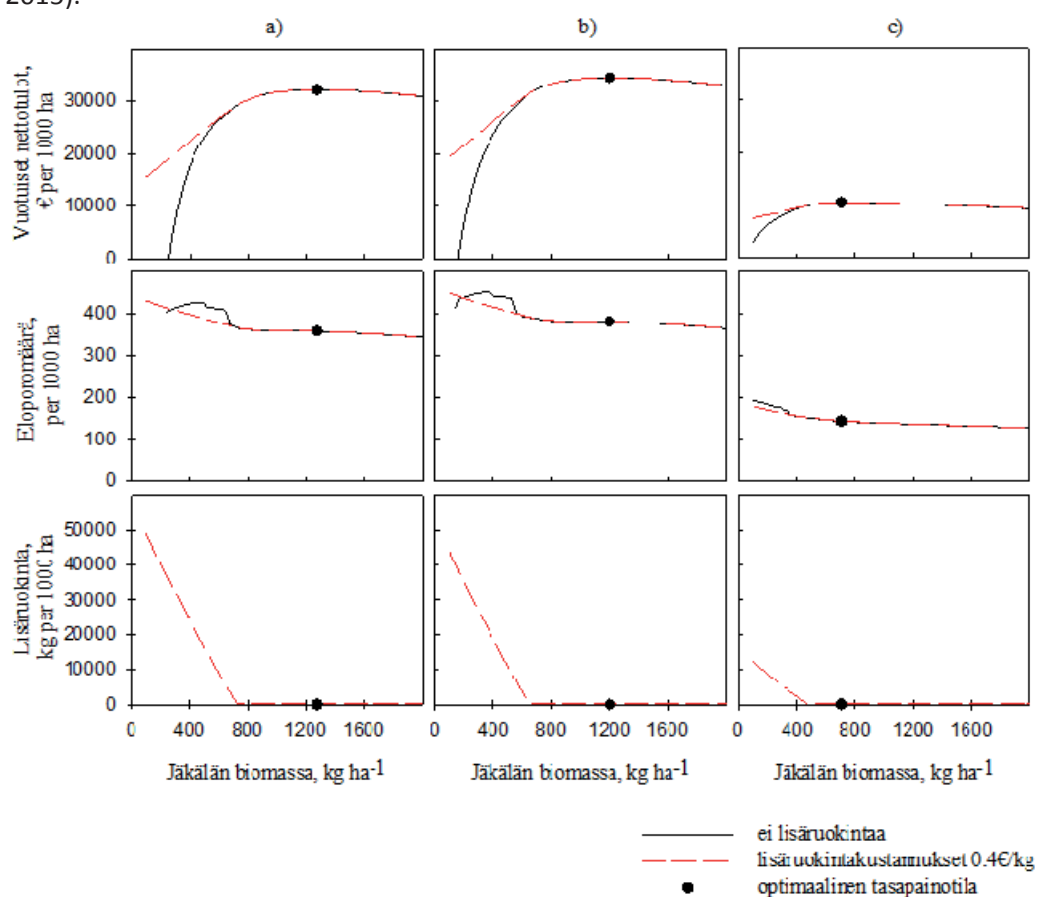


Kuva 4. Poromäärien ja laidunten jäkäläbiomassan väliset syklit tilanteissa, jossa poroja ei teurasteta ollenkaan ja porojen ravinnonsaanti on riippuvainen kaivettavan ravinnon ja lupon saatavuudesta. Kuvissa a, b ja c viivalla yhdistetyt pisteet kuvaavat porojen ja jäkälän määriä perättäisinä vuosina. Kaikissa ratkaisuissa jäkälälaitumilla on selvä vuodenaikainen laidunkierto ja jäkälällä suuri kasvunopeus, mutta lupon saatavuus vaihtelee. Lupon saatavuus: a) Ei luppolaitumia (voimistuva sykli johtaa porojen häviämiseen), b) Kohtalainen lupon saatavuus, luppoo saatavilla 5 kg/ha, luppolaitumia käytettävissä 1000 ha (ratkaisuna pitkän aikavälin vakaa sykli), c) Suuri lupon saatavuus: luppoo=10kg/ha, luppolaitumia 1000 ha (ratkaisuna pitkän aikavälin vakaa tasapainotila). (Tahvonen ym. 2014; Pekkarinen ym. 2015)

4.1.2. Optimaalinen poronhoito ja porokannan rakenne

Seuraavaksi mallilla tarkasteltiin erilaisia tilanteita poronhoidossa, joissa poroja teurastetaan optimaalisesti eri sukupuoli- ja ikäluokista ja joissa laiumilla pidettävät poromäärät vaikuttavat jäkäläköiden kuntoon. Joissain tilanteissa porot saavat talviravintoa jäkäläköiden ohella myös luppolaitumita tai lisärehusta. Myös jäkäläköiden laidunnustapa ja tuottavuus voi vaihdella eri tilanteissa.

Tilanteessa, jossa porot saavat talvella ravintonsa vain jäkälälaitumilta, käytössä on selväpiirteinen vuodenaikainen laidunkierto ja diskonttokorkeus on 0 %, optimaalinen jäkäläbiomassa jäkäläköillä on hieman yli 1200 kg/ha (Kuva 5a ja b). Tämä jäkälämäärä kyseisessä tasapainotilassa on vain noin 50 % maksimituottoisen jäkäläköiden jäkäläbiomassasta, mutta silti yli kaksi kertaa suurempi kuin mitatut jäkälämäärät niissä poronhoitoalueen pohjoisosan paliskunnissa, joissa jäkälälaitumet ovat edelleen keskimääräistä parempikuntoisia. Systemin muuttuessa siten, että porot voivat käyttää myös luppoo runsaasti, putoaa optimaalinen jäkäläbiomassa jäkäläköillä vain hieman. Sen sijaan tilanteessa, jossa jäkälän kasvunopeus putoaa, jäkälälaitumia laidunnetaan ympäri vuoden ja lupon saatavuus on suuri (Kuva 5c), optimaalinen jäkäläbiomassa jäkälälaitumilla putoaa selvästi ja on noin 700 kg/ha. Tässä tapauksessa myös laiumilla pidettävä poromäärä ja poronhoidon nettotulot ovat selvästi pienemmät kuin edellisissä tasapainotiloissa. Diskonttokorkeus ollessa 0 % lisäruokinnan käyttö ei ole kannattavaa missään edellisissä optimaalisissa tasapainotiloissa (Tahvonnen ym. 2014; Pekkarinen ym. 2015).

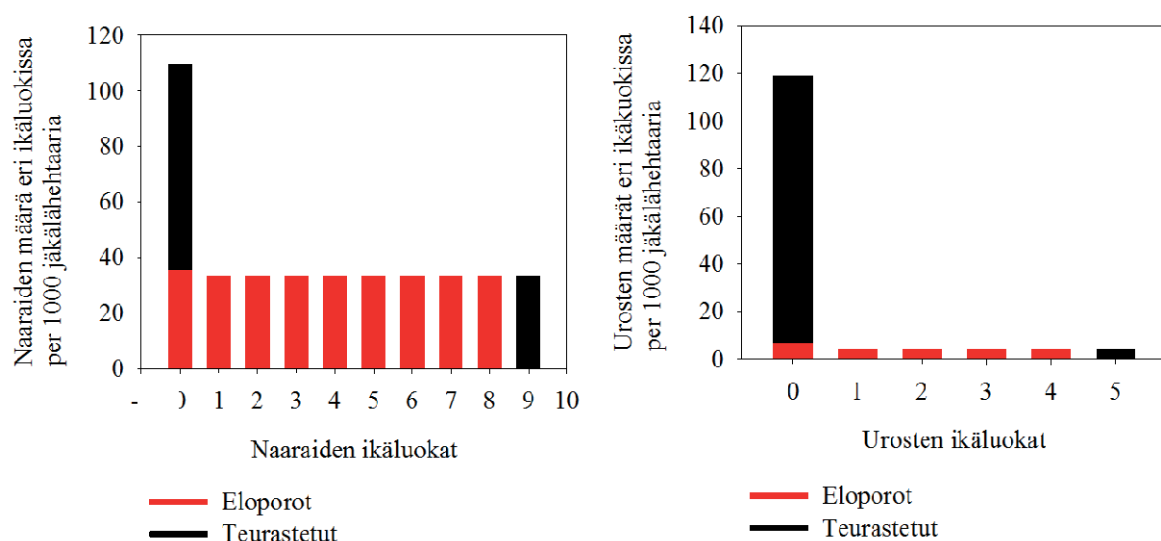


Kuva 5. Eri jäkäläbiomassoja vastaavat tasapainotilat 0 %:n diskonttokorolla. Yhtenäiset tummat viivat kuvaavat ratkaisuja, joissa lisäruokintaa ei ole mahdollista käyttää, ja punaiset katkoviivat ratkaisuja, joissa lisäruokinnan kustannukset ovat 0.4 €/kg ja sen käyttö on kuhunkin laiduntilanteeseen nähden optimaalista. Piste ilmaisee jäkäläbiomassaa optimitilanteessa, jossa pitkäaikaiset vuotuiset nettotulot ovat korkeimmat. Laitumia koskevat vaihtoehdot eri tilanteissa: a) Selvä vuodenaikainen laidunkierto ja suuri jäkälän kasvunopeus, ei luppolaitumia, b) Selvä vuodenaikainen laidunkierto, suuri jäkälän kasvunopeus ja suuri lupon saatavuus, c) Ei laidunkiertoa, alentunut jäkälän kasvunopeus ja suuri lupon saatavuus. (Pekkarinen ym. 2015)

Porojen lisäruokinta muuttuu kuitenkin kannattavaksi kaikissa niissä tilanteissa (ei optimaalisissa tasapainotiloissa), joissa jäkälämäärä on selvästi pienempi kuin edellisissä optimitilanteessa (tällöin jäkäläbiomassa on alle 650-750 kg/ha vaihtoehdoissa 5a ja 5b sekä alle 500 kg/ha vaihtoehdossa 5c). Kaikissa näissä tasapainotiloissa porojen ruokinta on sitä intensiivisempää, mitä vähemmän jäkälää jäkälälaitumilla on. Ruokinnan kompensoivasta vaikutuksesta huolimatta poronhoidon nettotulot pienenevät jäkälämäärän pienentyessä, mutta pysyvät silti ruokintaa käytettäessä selvästi positiivisina. Mikäli poroja ei ruokita jäkälämäärien ollessa laitumilla pienet, poronhoidon nettotulot alkavat pudota ja romahtavat lopulta negatiivisiksi. Porojen saadessa talviravintonsa vain luonnonlaitumilta (ruokinta ei käytössä), nettotulot muuttuvat negatiiviseksi jo silloin, kun jäkälämäärä on laitumilla noin 300 kg/ha (4a). Porojen saadessa jäkälän ohella laitumilta myös luppua (4b ja c), nettotulot muuttuvat negatiivisiksi vasta tätä selvästi pienemmällä jäkälämäärällä (Pekkarinen ym. 2015).

Optimiratkaisuissa porojen teurastus painottuu puolivuotisiin vasoihin (Kuva 6). Vaatimet on optimaalista teurastaa 9,5 vuoden ja hirvaat 5,5 vuoden ikäisinä eli pian sen jälkeen kun niiden lisääntymisarvo ja paino alkavat pudota. Koska muista ikäluokista ei teurasteta raavaita poroja, ja samalla raavaiden porojen muu kuolleisuus on mallitarkastelussa erittäin lähellä nollaa, porokarjan ikäluokkarakenne on optimitilanteessa tasainen (kaikissa ikäluokissa yhtä paljon poroja). Optimitilanteessa hirvaita on porokarjassa vain se vähimmäismäärä, jolla vasontatulos on korkea ja siten eloporoista 93 % on naaraita. Kyseisessä optimitilanteessa vasaprosentti on 76 %, ja syksyn erotuksissa teurastetaan 48 % kaikista poroista. Lihatuotto on 18 kg/eloporo ja nettotulo per eloporo on 87 €. Optimaalisen teurastuksen kohdistuessa voimakkaasti vasoihin naarasvasoista teurastetaan kunakin vuonna 69 % ja urosvasoista 96 %. Teurasporoista 76 % koostuu vasoista. Optimaalisessa tilanteessa poronhoidon vuotuiset nettotulot ovat vuodessa noin 30 € per jäkälälaidunhehtaari (Tahvonen ym. 2014).

Perusmallin avulla tehdyt tarkastelut osoittavat myös, että parhaassa lisääntymisiässä olevan hirvaan taloudellinen arvo (varjohinta) on selvästi korkeampi kuin vastaavan vaatimen arvo. Tällaisen vaatimen laskennallinen nettonykyarvo on 2 %:n diskonttokorolla noin 350 €, mutta vastaavan hirvaan yli 1400 €. Yhden jäkälälaidunhehtaarin taloudellinen arvo (varjohinta) 2 %:n diskonttokorolla on 1456 € (Tahvonen ym. 2014).



Kuva 6. Elo- ja teurasporojen määrä (poroa/ 1000 ha jäkälälaidunta) eri ikä- ja sukupuoliluokissa optimitilanteessa. Porojen määrä on ilmoitettu tuhatta jäkälälaidunhehtaaria kohti. (Tahvonen ym. 2014)

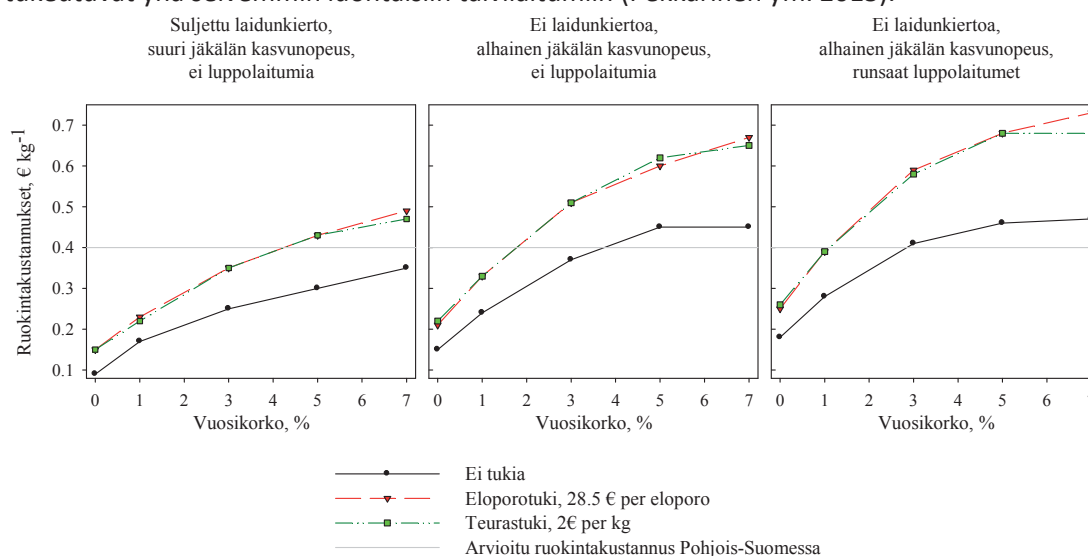
4.1.3. Laidunkierron, jäkälälaidunten tuoton, luppolaidunten, ruokintakustannusten ja diskonttokoron vaikutukset optimaaliseen poronhoitoon

Perusmallilla laskettuna jäkälän biomassa optimaalisessa tasapainotilassa 0 %:n diskonttokorolla on 1235 kg/ha. Korkeammilla koroilla optimaalinen jäkäläbiomassa on alle 1000 kg/ha (korolla 5-25 % optimaalinen jäkäläbiomassa on 570-680 kg/ha), ja samalla eloporoa kohti lasketut lihantuotto ja poronhoidon nettotulot jäävät selvästi pienemmäksi kuin 0 % korolla (Tahvonen ym. 2014).

Laajennetulla mallilla tehdyt tarkastelut osoittavat, että jäkälälaidunten tuottavuuden ollessa korkea (jäkäläköt sijaitsevat varttuneissa ja vanhoissa metsissä) optimaalisessa tasapainotilassa porojen määrä, jäkälän biomassa ja poronhoidon nettotulot ovat suuremmat kuin heikommin tuottavilla jäkäläköillä (Taulukko 1). Rungas luppolaidunten määrä ja lupon saanti nostavat jonkin verran optimaalista poromäärää ja poronhoidon nettotuloja sekä samalla pienentävät optimaalista jäkäläbiomassaa jäkälälaitumilla. Vastaavasti laidunkierrolla on suuri merkitys jäkälälaitumiin ja poronhoitoon. Kun jäkälälaitumia laidunnetaan ympäri vuoden, putoavat optimaaliset poromäärät ja jäkäläbiomassat laitumilla sekä erityisesti poronhoidon nettotulot kyseisessä laidunnussysteemissä verrattuna tilanteeseen, jossa jäkälälaitumia laidunnetaan vain talviaikana (Pekkarinen ym. 2015).

Edelleen erilaisten laiduntilanteiden tarkastelu laajennetulla mallilla osoittaa, että laitumilla pidettävä poromäärä kasvaa ja samalla laidunten jäkäläbiomassa ja poronhoidon keskimääräiset vuotuiset nettotulot pienenevät optimaalisessa tasapainotilassa diskonttokoron kasvaessa 0 %:a suuremmaksi (Taulukko 1). Joissain laiduntilanteissa 3-5 %:n tai sitä korkeammilla diskonttokoroilla on taloudellisesti kannattavaa siirtyä porojen talviruokintaan ja samalla ylilaiduntaa jäkälälaitumia voimakkaasti (Pekkarinen ym. 2015).

Kun tarkastellaan diskonttokoron, porojen ruokintakustannusten ja eloporo- sekä lihantuotannon maksettavan teurastuen vaikutuksia erikseen optimiratkaisuihin tilanteessa, jossa porot saavat ravintonsa talvella jäkälälaitumilta, havaitaan niillä kaikilla olevan merkitystä poronhoidon optimiratkaisuihin myös porojen ruokinnan osalta (Kuva 7). Diskonttokoron noustessa ja ruokintakustannusten laskiessa samalla kun eloporo- tai teurastuki on käytössä, poronhoidon pitkäaikaiset optimiratkaisut painottuvat yhä herkemmin talviruokintaan perustuvaan poronhoitoon. Mikäli taas ruokintakustannukset ovat korkeat, diskonttokorko matala ja tuet eivät ole käytössä, poronhoidon optimiratkaisut tukeutuvat yhä selvemmin luontaisiin talvilaitumiin (Pekkarinen ym. 2015).



Kuva 7. Diskonttokoron, ruokintakustannusten ja eloporo- sekä teurastuen vaikutukset ruokinnan optimaalisuuteen (Pekkarinen ym. 2015). Pisteiden ja niitä yhdistävien viivojen alapuoliset alueet ilmaisevat tilanteita, joissa intensiivinen lisäruokinta on optimaalisessa tasapainotilanteessa kannattavaa ja jäkälälaitumet ovat ylilaidunnettuja. Korkeammilla ruokintakustannuksilla (pisteiden ja viivojen yläpuolelle jäävä alue) ruokinta ei ole kannattavaa pitkän aikavälin tasapainotilassa. Vaakaviiva, 0.4 €/kg, ilmoittaa muissa analyyseissä käytetyn ruokintakustannuksen. (Pekkarinen ym. 2015)

Taulukko 1. Optimaalisia tasapainotiloja erilaisissa tilanteissa ja erilaisissa paliskunnissa (Pekkarinen ym. 2015).

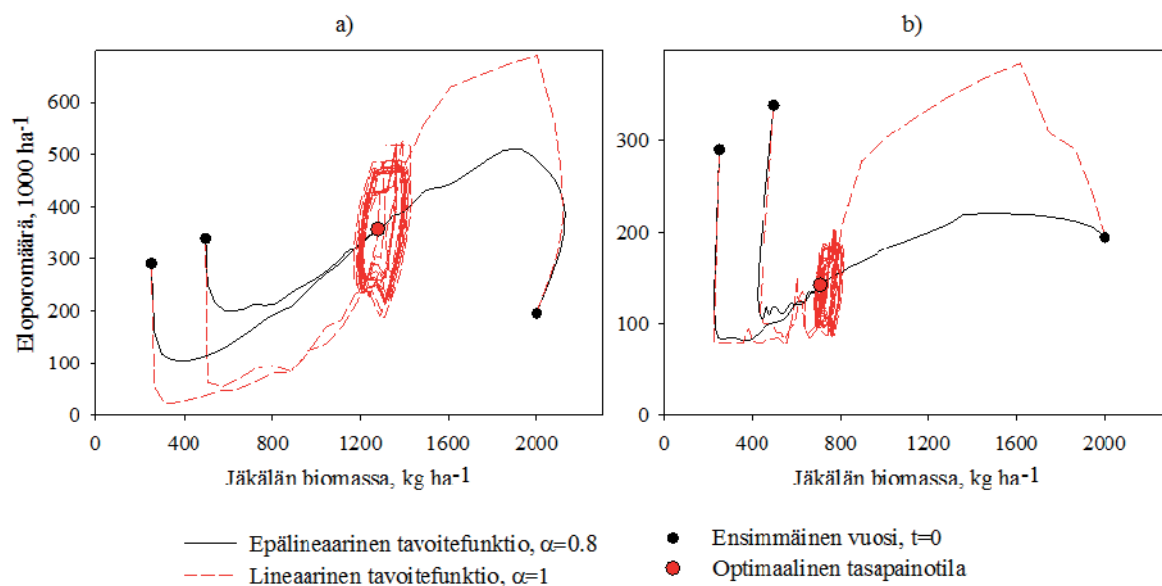
	Laidunkierto	korko	Ei luppolaitumia				Runsaat luppolaitumet, $q=10, A_Q=1000$			
			z	X	Y	v	z	X	Y	v
Jäkälälaitumet vanhoissa ja varttuneissa mäntymetsissä (kasvunopeus suuri)	kyllä	0	1278	357	32200	0	1209	381	34600	0
		1	1064	359	31900	0	983	382	34200	0
		3	850	360	30800	0	759	383	32900	0
		5	758	374	29900	0	706	386	32400	0
	ei	0	1103	186	15000	0	870	202	16470	0
		1	926	189	14900	0	729	205	16400	0
		3	802	192	14500	0	650	209	16100	0
		5	738	200	14000	0	603	211	15800	0
Jäkälälaitumet vaihtelevissa laiduntyypeissä (kasvunopeus alhainen)	kyllä	0	1215	241	20500	0	1108	265	23000	0
		1	960	244	20300	0	820	268	22600	0
		3	772	247	19400	0	665	273	21900	0
		5	100*	306	10000	113	100*	324	13900	90
	ei	0	1075	125	8900	0	709	142	10500	0
		1	858	128	8800	0	613	145	10300	0
		3	755	134	7700	0	100*	173	5900	58
		5	100*	168	3900	112	100*	173	5900	58

z = jäkälän biomassa tasapainotilassa, kg ha^{-1}
 X = eloporumäärä tasapainotilassa, poroa per 1000 ha
 Y = vuotuiset nettotulot, € per 1000 ha
 v = vuotuinen lisärehun käyttö, kg per eloporo
 q = saatavilla olevan lupon biomassa, kg ha^{-1}
 A_Q = luppolaidunten pinta-ala, ha
* jäkälän biomassan minimi rajoitettu 100 kg ha^{-1}

4.1.4. Poronhoidon optimaalinen sopeutuminen erilaisiin tilanteisiin

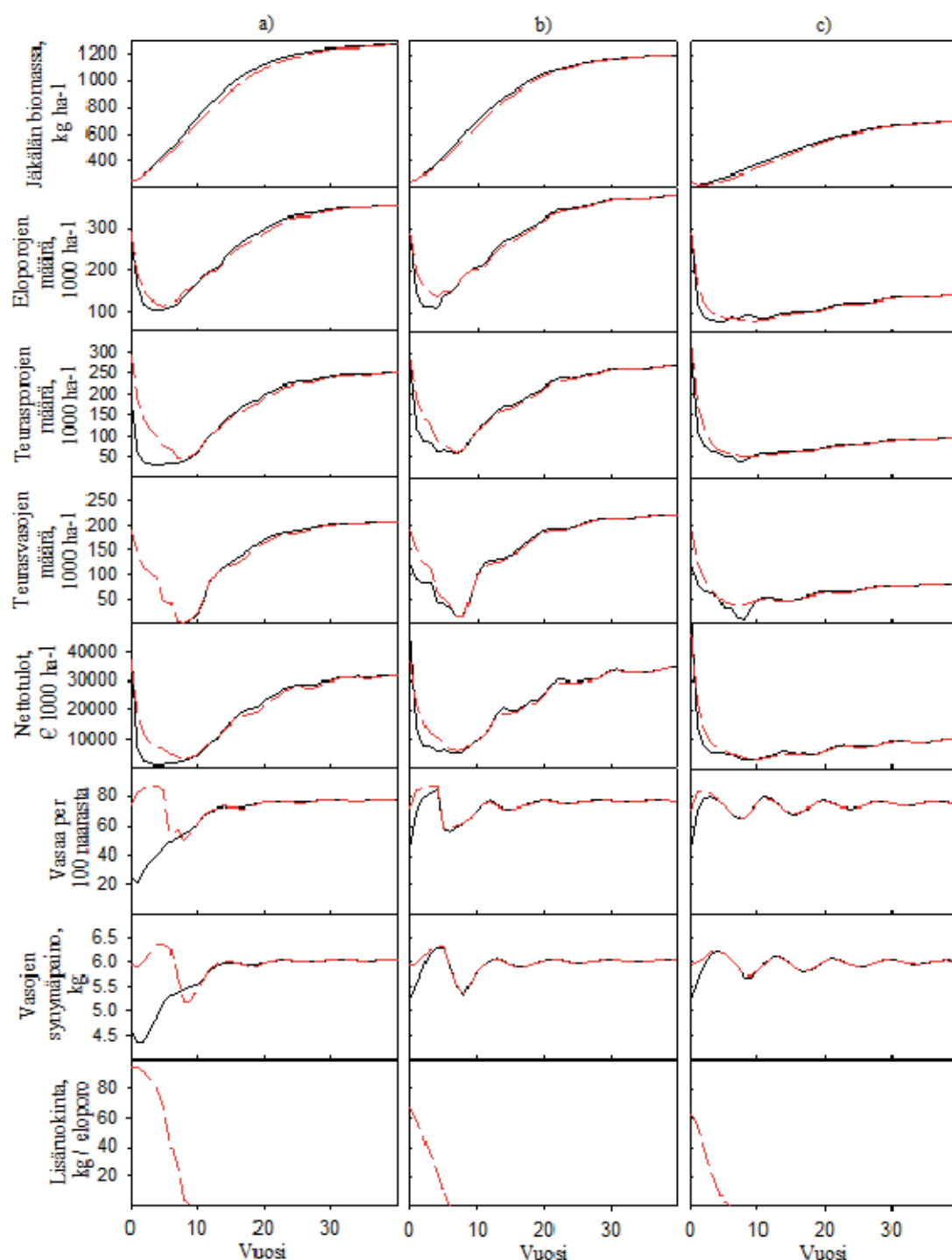
Tarkastellut dynaamiset ratkaisut poromäärän vähentämisessä ylilaidunnettujen jäkälälaidunten elvyttämiseksi poikkeavat käytössä olleista ratkaisuista osoittaen, että optimaalinen elvyttämisprosessi on pidempikestoinen kuin aikaisemmassa tutkimuksessa tai poliittisessa päätöksenteossa on arvioitu. Myös jäkäläkoiden elvyttämiseksi vaadittava poromäärän leikkaustave on varsin suuri. Kun pyrkimys on välttää nettotulojen voimakasta vaihtelua vuosien välillä (epälineaarinen tavoitefunktio), sopeutumisaika ylilaidunnettujen jäkälälaidunten elvyttämiseksi on pidempikestoinen ja poromäärien leikkaukset pienempiä kuin lyhyemmässä sopeutumisprosessissa, jossa vuosien välisiä nettotulojen vaihtelua ei yritetä tasoittaa (lineaarinen tavoitefunktio) (Kuva 8).

Pyrittäessä tasoittamaan vuosien välistä vaihtelua nettotuloissa systeemi jää sopeutumisvaiheen jälkeen myös vakaaseen optimaaliseen tasapainotilaan, jossa sekä poromäärä että jäkäläbiomassa pysyvät vakaana. Sen sijaan tilanteessa, jossa nettotulojen vuosivaihtelua ei pyritä tasoittamaan, pitkän aikavälin ratkaisussa havaitaan jatkuva sykli optimitasapainotilan ympärillä (Tahvonen ym. 2014; Pekkarinen ym. 2015). Tämä tarkoittaa sitä, että jälkimmäisessä tapauksessa, huolimatta optimitilan saavuttamisesta, sekä poromäärät että jäkälämäärät laiumilla vaihtelevat tiettyssä syklissä. Tällöin porojen teurastus on joinakin vuosina voimakkaampaa, mistä johtuen eloporumäärä vähenee ja jäkälän määrä laiumilla lisääntyy sekä päinvastoin.



Kuva 8. Optimiratkaisuja eloporumäärien säätelyssä optimaaliseen tasapainotilaan pääsemiseksi eri lähtötiloista lineaarisella ($\alpha=1$) ja epälineaarisella ($\alpha=0.8$) tavoitefunktioilla. a) Selvä vuodenaikainen laidunkierto ja kohtalaisen suuri jäkälän kasvunopeus, b) Ei laidunkiertoa, alhaisempi jäkälän kasvunopeus ja suuri lupon saatavuus. Mustat ympyrät ova lähtötilanteita ja punaiset ympyrät tavoitetilanteita. Eloporojen määrä on ilmoitettu tuhatta jäkälälaidunhehtaaria kohti. (Tahvonen ym. 2014; Pekkarinen ym. 2015)

Tarkasteltaessa optimaalista sopeutumisprosessia poronhoidossa laajemmin havaitaan, että ruokinnan mukanaolo sopeutumisprosessin alkuvaiheessa ei viivästyä oleellisesti jäkälälaidunten elpymistä, mutta nettotulot pysyvät ruokintaa käytettäessä suurempina kuin ilman ruokintaa (Kuva 9). Käytettäessä ruokintaa sopeutumisprosessin alkuvaiheessa ei eloporojen leikkaustarve ole myöskään niin suuri kuin sopeutumisprosessissa, jossa sitä ei käytetä. Käytettäessä ruokintaa sopeutumisprosessin aikana myös vasatuotto, vasojen painot, teurasporojen määrät ja poronhoidon nettotulot pysytään pitämään kaikissa laiduntilanteissa korkeampana erityisesti sopeutumisprosessin alussa verrattuna tilanteisiin, joissa ruokintaa ei käytetä. Tästä huolimatta poronhoidon nettotulot putoavat hyvin merkittävästi sopeutumisprosessin aikana. Laidunkierron puuttuminen jäkälälaitumilla johtaa pienempään jäkäläbiomassaan ja poromäärään sekä selvästi heikompaan poronhoidon tuottavuuteen ja pienempiin nettotuloihin optimitilanteessa verrattuna niihin tilanteisiin, joissa laidunkierro on käytössä (kuva 9c) (Pekkarinen ym. 2015).

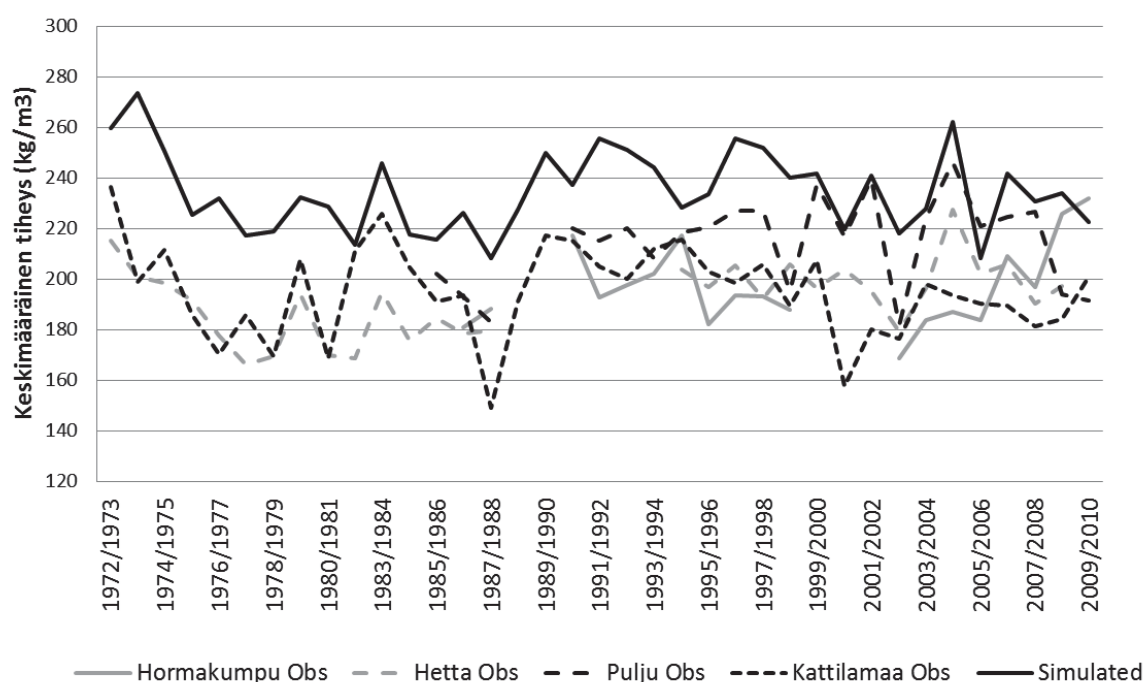


Kuva 9. Optimiratkaisuja 0 % diskonttokorolla ja epälineaarilla ($\alpha=0.8$) tavoitefunktiolla. Lähtötilanteena eri ratkaisussa on ylilaidunnustilanne. Yhtenäiset tummat viivat kuvaavat ratkaisuja, joissa lisäruokintaa ei ole mahdollista käyttää, ja punaiset katkoviivat ratkaisuja, joissa lisäruokinnan kustannukset ovat 0.4 €/kg ja ruokintaa käytetään eri tilanteissa optimaalisesti. Laitumia koskevat vaihtoehdot eri tilanteissa: a) Selvä vuodenaikainen laidunkierro ja suuri jäkälän kasvunopeus, b) Selvä vuodenaikainen laidunkierro, suuri jäkälän kasvunopeus ja suuri lupon saatavuus, c) Ei laidunkierroa, alempi jäkälän kasvunopeus ja suuri lupon saatavuus. (Pekkarinen ym. 2015)

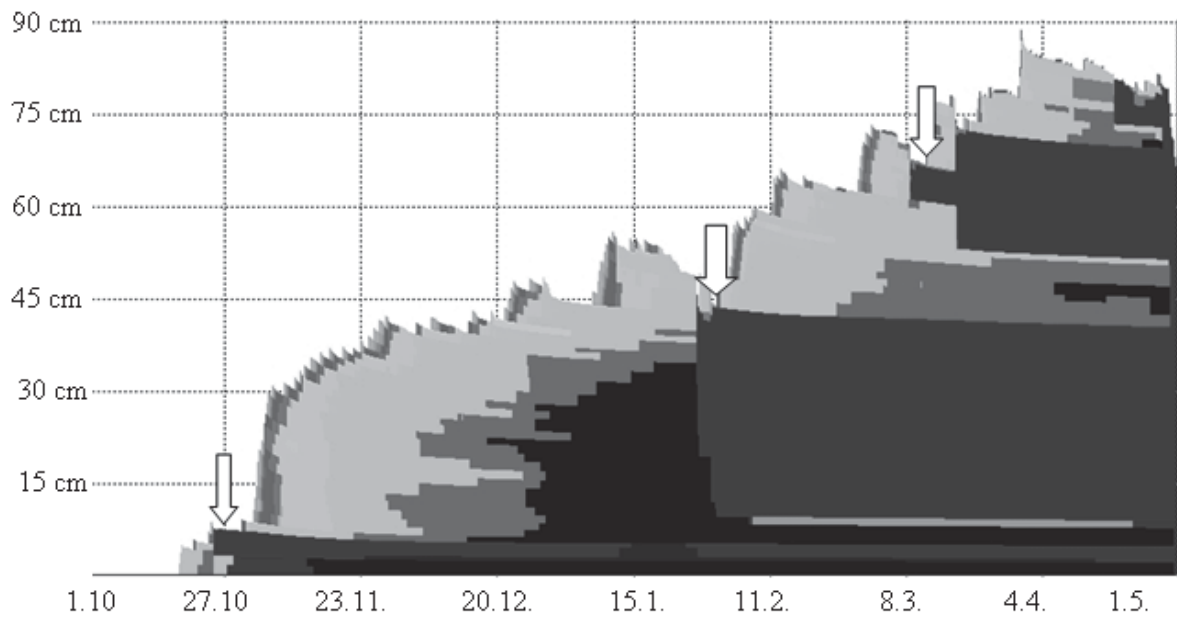
4.1.5. Lumi- ja kaivuolosuhteiden vaihtelu ja sen ennustaminen

Lumi- ja kaivuolosuhteiden vaihtelua ja vaikutuksia Muonion paliskunnan poronhoitoon selvitettiin ja samalla testattiin talvien 1972–2010 lumiolosuhteiden kehittymisen ennustamista Muonion paliskunnassa SNOWPACK-mallin avulla (Rasmus ym. 2014). Saatujen tulosten perusteella syvä lumi ja myöhäinen lumen sulaminen olivat yleisimmät raportoidut epäsuotuisat lumiolosuhteet poronhoidon kannalta. Lumen rakenteeseen liittyvät vaikeat laidunolot poronhoidossa yhdistettiin jäsiin lumikerrokseen, maajäähän tai sulaan maahan lumipeitteen alla, mikä taas johti homeiden kasvuun laitumilla. Työssä havaittiin merkitsevät negatiiviset riippuvuudet vasaprocentin kanssa talven suurimmalla lumensyvyydellä, lumipeiteajan kestolla ja lumen tiheydellä.

SNOWPACK-mallin avulla ennustettu lumen tiheys kunakin talvena korreloi myös merkitsevästi niihin lumen tiheyden mittaustuloksiin, joita SYKE on kerännyt lähialueella sijaitsevilta mittauslinjoilta vuosittain (Kuva 10). SNOWPACK-malli kykeni arvioimaan suhteellisen luotettavasti tarkastellulla jaksolla myös raportoituja, porojen ravinnonsaannille merkityksellisiä lumen rakenteellisia ominaisuuksia ja niiden kehittymistä talven aikana (Kuva 11). Mallin avulla tehtyjen analyysien avulla voitiin erottaa kolme neljästä sellaisesta talvesta, joina poronhoitajat raportoivat vaikeista lumiolosuhteista jäisen lumen tai maajään vuoksi. Myös sellaiset talvet, joiden olosuhteet mahdollistivat homeiden kasvun laitumille, pystyttiin luotettavasti erottamaan.



Kuva 10. Keskimääräiset puuttoman ympäristön lumen tiheydet talvina 1972/1973 – 2009/2010 (laskettu kuukausittaisista havainnoista) neljällä Suomen ympäristökeskuksen lumilinjalla, sekä vastaavat SNOWPACK-mallin simulaatiotulokset.



Kuva 11. Lumen rakenteen kehitys talven 1991/1992 aikana SNOWPACK-mallin simulaation mukaan. Eri sävyiset varjostukset erottavat lumikerrokset, joiden rakenne eroaa toisistaan. Vaalean harmaat kerrokset tarkoittavat suhteellisen tuoretta ja kuivaa lunta, jonka kiteet ovat sitoutuneet yhteen. Tummat kerrokset lähellä lumipeitteen pohjaa kuvaavat löyhästi toisiinsa sitoutuneita kuuramaisia kiteitä. Lumen talvenaikaiset sulamiset ja jäätymiset (jäisten kerrosten tai maajään muodostumiset) on merkitty kuvaan valkoisilla nuolilla. Alku- tai keskitalven aikana muodostuneet jäiset kerrokset on mahdollista erottaa lumipeitteessä koko talven ajan.

5. Pohdinta ja johtopäätökset

Hankkeen tuloksena syntynyt poronhoidon bioekonominen systeemimalli mukaillee hyvin pitkälle niitä poronhoitoon, laitumiin ja poronhoidon talouteen sisältyviä mekanismeja ja prosesseja, joiden perusteella jäkälälaidunten kunto ja porojen talviravinnon saanti kuin myös poronhoidon tuottavuus ja kannattavuus määräytyvät. Perusmallin (Tahvonen ym. 2014) ja sen laajennuksen (Pekkarinen ym. 2015) avulla voitiin tarkastella analyttisesti monien eri tekijöiden vaikutuksia poronhoidon tuottavuuteen ja kannattavuuteen sekä etsiä optimaalisia ratkaisuja erilaisiin laidun- ja lähtötilanteisiin poronhoidossa. Mallin avulla saadut ennusteet erilaisista tasapainotiloista jäkälälaidunten kunnan, poromäärien muutosten ja poronhoidon tuottavuuden osalta antoivat uutta tietoa ja vastasivat toisaalta monilta osin aikaisemmissa tutkimuksissa tehtyjä havaintoja, arvioita ja johtopäätöksiä.

Poronhoidon bioekonomisella mallilla tehdyt analyysit osoittivat, että voimakas vasateurastus, erityisesti urosvasojen osalta, on tuottavin ja samalla taloudellisesti kannattavin teurastusstrategia poronhoidossa (Tahvonen ym. 2014). Samalla analyysit osoittivat, että taloudellisesti optimaalinen porokannan rakenne on sellainen, jossa vaatimet muodostavat selvän enemmistön. Tällöin porokarjassa ei myöskään ole ylimääräisiä hirvaita, mutta hirvaiden määrä on silti riittävä ja ikäluokkarakenne optimaalinen vaadintien hyvän tiinehtymisen kannalta (Tahvonen ym. 2014). Nämä tulokset ovat monilta osin samansuuntaisia Suomen poronhoidossa omaksuttujen nykykäytäntöjen kanssa, mikä osoittaa poronhoidon pyrkineen optimoimaan hoitokäytännöt teurastusstrategian osalta. Toisaalta analyysit myös osoittivat, että laiduntilanteissa, jossa porojen kunto ja vasojen koko putoavat, porojen teurastaminen on kannattavinta vasta toisena ikävuotena (1,5-vuotiaina) (Pekkarinen ym. 2015). Tämän suuntaisia teurastuskäytäntöjä noudatetaan Pohjois-Norjassa, jossa porotiheydet ovat korkeammat, vasojen kunto ja painot ovat selvästi alemmat kuin Suomessa, ja jossa porojen talviruokintaa käytetään silti vielä verrattain vähän.

Analyysit osoittivat myös, että siitosporojen teurastaminen riittävän ajoissa ennen niiden tuloa ”yli-ikäisiksi” on poronhoidon nettotulojen maksimoimisessa osa optimaalista teurastusstrategiaa (Tahvonen ym. 2014). Sekä vaatimet että hirvaat kannattaa siten teurastaa silloin, kun niiden kunto ja lisääntymisarvo alkavat pudota parhaista vuosista (vaatimet 9,5-vuotiaina ja hirvaat 5,5-vuotiaina), vaikka eläinten tuottavuus olisi edelleen verrattain hyvä. Optimaalisessa tasapainotilassa eri ikäluokissa olevien vaadintien ja hirvaiden määrä on myös tasainen, jolloin parhaassa lisääntymisiässä olevia ja samalla myös tuottavimpia eläimiä on porokarjassa suhteellisesti eniten (Tahvonen ym. 2014). Mallin antamia tuloksia käytäntöön verrattaessa on kuitenkin syytä huomata, että poroja kuitenkin kuolee aina eri ikäluokissa liikenteen, petojen, sairauksien ja onnettomuuksien vuoksi, jolloin myös porojen määrä seuraavissa ikäluokissa vähenee. Tästä syystä vasoja jätetään poronhoidossa yli sen tarpeen, mikä tarvittaisiin tasaisen ikäluokkarakenteen ylläpitämiseen, silloin kun teurastuksen ohella ei juuri esiinny muuta kuolleisuutta.

Bioekonomisen mallin avulla pystyttiin arvioimaan myös siitosporojen nettohyöntejä optimitilanteessa ja poronhoidon vuotuisia nettotuloja eloporoa kohti (Tahvonen ym. 2014). Tulokset osoittivat, että porokarjan sukupuoli- ja ikärakenteen ollessa optimaalinen parhaassa lisääntymisiässä olevan hirvaan nettohyöntejä on selvästi korkeampi kuin parhaassa lisääntymisiässä olevan vaatimen. Syy hirvaiden korkeampaan arvoon on se, että niitä ei pidetä optimaalisessa tilanteessa porokarjassa enempää kuin on välttämätöntä. Siten parhaan hirvaan menettäminen pudottaa mallissa selvästi enemmän vasatuottoa kuin yhden parhaassa iässä olevan vaatimen menettäminen, vaikka yhden hirvaan menettäminen kompensoituu jossain määrin muiden hirvaiden lisääntymispanostuksen lisääntymisellä. Toisaalta käytännön poronhoidossa pelkästään hirvaiden minimimäärän ylläpitäminen voi olla riskialtista, sillä esim. ankara talvi tai pedot voivat lisätä siitokseen jätettyjen urosvasojen ja hirvaiden kuolleisuutta enemmän kuin vastaavien naarasvasojen ja vaadintien kuolleisuutta.

Tulokset osoittavat myös, että vuotuiset nettotulot ovat optimitilanteessa jäkälälaidunhehtaaria kohden kohtuullisen suuret ja jäkälälaidunhehtaarin nettohyöntejä verrattain korkea (Tahvonen ym. 2015). Tämä olisi myös syytä huomioda entistä paremmin, kun arvioidaan poronhoidon merkitystä ja

asemaa mm. metsätalouteen tai muuhun maankäyttöön nähden. Erityisesti varttuneiden ja vanhojen metsien kuivien ja karujen jäkäläkankaiden osalta tulisi kehittää ja suosia sellaisia metsänkäsittelymenetelmiä, joilla voidaan ylläpitää jatkuvasti sopivan harvaa metsänrakennetta (mm. erirakenteisen metsän hakkuu ja -harvennus), joka mahdollistaa jäkälien ja lupon hyvän uusiutumiskyvyn. Samalla näillä laiduntyypeillä tulee välttää maanmuokkausta.

Tehdyt analyysit osoittivat, että luonnonlaitumilla harjoitettava ekologisesti kestävä ja taloudellisesti kannattava poronhoito perustuu hyvin pitkälle sellaisiin poromääriin, joilla jäkälälaitumet pysyvät riittävän hyväkuntoisina (Tahvonen ym. 2014). Toisaalta laajennetun mallin avulla saadut analyysitulokset osoittivat myös, että sekä jäkälälaidunten laidunnustapa ja tuottavuus että luppolaidunten määrä ja laatu vaikuttavat oleellisesti jäkälälaidunten kuntoon, laitumiin nähden kestäviin poromääriin ja poronhoidon tuottavuuteen ja kannattavuuteen (Pekkarinen ym. 2015). Hankkeen tulokset tukevat siten osaltaan monia aikaisempia tutkimustuloksia ja arvioita riittävien jäkälä- ja luppolaidunresurssien tärkeydestä porojen talviravinnonsaannin ja poronhoidon tuottavuuden kannalta (Helle ym. 1990; Helle & Kojola 1993; Kojola ym. 1995; Kumpula ym. 1998; Kumpula 2001b). Samalla analyysit vahvistavat myös aikaisemmissa tutkimuksissa saatuja tuloksia siitä, että sekä jäkälälaidunten porotiheydet ja jäkäläköiden laidunnustapa että luppolaidunten määrä ja laatu vaikuttavat merkittävästi jäkälälaidunten kuntoon (Kojola ym. 1995; Kumpula ym. 2000 ja 2014).

Porojen jäkälälaidunten laiduntaminen ja tallaus kevästä syksyyn ulottuvalla laidunnusjaksolla voi kuluttaa jäkälälaitumia jopa enemmän kuin pidempiaikainen, lumipeitteisenä aikana tapahtuva talvilaidunnus (Kumpula ym. 2014). Tästä syystä vuodenaikaisten laidunkiertojärjestelmien suunnittelu ja toteuttaminen paliskunnissa siten, että niillä voidaan estää porojen kesäkautena tapahtuva laidunnus ja tallaus tärkeimmillä jäkälälaidunalueilla, edistää merkittävästi jäkälälaidunten pysymistä riittävän hyväkuntoisina. Runsaat luppolaitumet puolestaan täydentävät ja kompensoivat kevättalvella jäkälälaitumilta saatua talviravintoa, pitävät porot hyväkuntoisina ja mahdollistavat siten porojen selviytymisen myös biomassaltaan niukemmilla jäkälälaitumilla. Samalla ne tasapainottavat poronhoidon tuottavuuden vuosivaihteluita. Varttuneiden ja vanhojen metsien jäkälävaltaiset mäntykankaat ovat myös jäkälän kasvun ja uudistumisen kannalta parhaita elinympäristöjä. Metsätalouden tuloksena syntyneissä tiheissä taimikoissa ja nuorissa metsissä jäkälien kasvuolosuhteet kuitenkin heikkenevät ja jäkälämäärät vähenevät, minkä takia myös porojen laidunnus vaikuttaa jäkälämääriin aikaisempaa enemmän. Samalla tavalla myös muu maankäyttö voi suoraan heikentää jäkälälaidunten kuntoa paikallisesti ja samalla voimistaa jäkälälaidunten laajempaa kulumista yhtenäisten laidunalueiden pirstoutumisen välityksellä. Tämän vuoksi poronhoidon omien vaikutusten ohella myös metsätalouden ja maankäytön aiheuttamat suorat ja välilliset vaikutusmekanismit tulee huomioida pyrittäessä parantamaan talvilaidunten tilaa ja poronhoidon kannattavuutta (Kumpula ym. 2014).

Mallin avulla tehdyt analyysit osoittivat, että jäkälälaidunten ollessa voimakkaasti kuluneita korkeiden poromäärien tai laidunkierron puuttumisen vuoksi poronhoidossa edellytettäisiin eloporomäärien pitkäaikaista pudottamista ja laidunkierron kehittämistä, mikäli tavoite on parantaa niin jäkälälaidunten kuntoa kuin myös luonnonlaitumiin perustuvan poronhoidon tuottavuutta ja kannattavuutta (Tahvonen ym. 2014; Pekkarinen ym. 2015). Optimaalisessa sopeutumisprosessissa poromääriä ei kuitenkaan leikata kerralla vaan useiden vuosien aikana, minkä jälkeen laidunten elpymässä poromääriä voidaan vähitellen myös nostaa. Analyysit osoittivat myös, että erityisesti tällaisen sopeutumisprosessin alkuvaiheessa ruokinnan käyttö on taloudellisesti järkevää ja perusteltua (Pekkarinen ym. 2015).

Tämän sopeutumisprosessin tekee erityisesti poromäärien pudottamisen osalta nykyporonhoidolle vaikeaksi ja haasteelliseksi se, että poromäärien leikkaukset voivat olla mittavia ja sopeutumisprosessin kesto jopa kymmeniä vuosia. Samalla myös poronhoidon tuottavuus ja nettotulot putoavat ratkaisevasti. Tämän lisäksi metsätalous ja eri maankäyttömuodot ovat useimmissa paliskunnissa sekä suoraan että välillisesti heikentäneet, vähentäneet ja pirstoneet talvilaitumia (Kumpula ym. 2009 ja 2014). mikä vaikuttaa osaltaan talvilaitumilla pidettäviin kestäviin poromääriin ja lisää samalla poromäärien supistamistarvetta. Analyysit osoittivat kuitenkin, että pelkästään vuodenaikaisen

laidunkierron kehittämällä ja toteuttamisella parannettaisiin monissa paliskunnissa jäkälälaidunten kuntoa (Pekkarinen ym. 2015). Laidunkierron puuttuessa ja porojen päästessä myös lumettomana aikana jäkäläkoille porot kuluttavat ja tallaavat jäkälälaitumet paljon nopeammin huonoon kuntoon kuin tilanteessa, jossa porot laiduntavat jäkälälaitumia vain talvella (ks. Kumpula ym. 2011 ja 2014). Poronhoitoalueen pohjoisosissa edellytykset laidunten tilan parantamiseksi laidunkiertoa kehittämällä ja poromäärää säätelemällä ovat parhaimmat, sillä kyseisellä alueella metsätalouden ja maankäytön vaikutukset ovat pienimmät ja porotiheydet vastaavasti suurimmat.

Poronhoidon bioekonomisella mallilla tehdyt analyysit tuovat esille myös diskonttokoron, porojen ruokintakustannusten ja eloporojen vaikutukset laitumiin ja optimaalisiin poronhoitokäytäntöihin ja poronhoidon tuloihin. Diskonttokoron ollessa korkea, eli silloin kun poronhoidossa painotetaan lähivuosien tuloja selvästi enemmän kuin myöhempiä tuloja, jäkälälaitumia laidunnetaan entistä intensiivisemmin, jolloin jäkäläbiomassat laitumilla pienenevät (Tahvonen ym. 2014). Diskonttokoron nousu ei kuitenkaan yksinään voi johtaa jäkälälaidunten voimakkaaseen ylilaidunnukseen pelkästään luonnonlaitumiin perustuvassa poronhoidossa (Tahvonen ym. 2014), mutta tilanteessa, jossa myös porojen säännöllinen talviruokinta on mukana poronhoidossa ja ruokintakustannukset ovat riittävän pienet, poronhoidon on taloudellisesti kannattavaa tukeutua entistä enemmän porojen talviruokintaan ja samalla ylilaiduntaa voimakkaasti jäkälälaitumia (Pekkarinen ym. 2015). Mallin avulla tehdyt analyysit osoittavat myös, että sekä eloporoille että teurasporoille maksetut erilliset tukimuodot herkistävät poronhoitoa suuntaan, jossa poronhoidossa on taloudellisesti kannattavaa siirtyä entistä enemmän talviruokinnan varaan (Pekkarinen ym. 2015). Tämä selittyy todennäköisesti sillä, että kumpikin näistä tukimuodoista on poronhoidolle maksettua suoraa tulotukea, joka suosii enemmän tuotannon määrän nostoa kuin rakenteellisia muutoksia poronhoidossa.

Porojen ruokinnan taustoja ja syitä arvioitaessa on kuitenkin syytä muistaa porojen talviruokinnan aloittamisen johtuneen monista eri syistä. Varautuminen epäsäännöllisesti toistuviin ja samalla epäennustettaviin porojen ravinnon saannin kannalta vaikeisiin talviin on ollut yksi perussyy ruokinnan aloittamiseen ja laajenemiseen. Tämän ohella erityisesti metsätalouden vaikutukset mm. loppolaitumiin, ovat vaikuttaneet merkittävästi porojen talviruokinnan tehostumiseen erityisesti poronhoitoalueen etelä- ja keskiosissa (Helle & Jaakkola 2008). Myös maataloudesta vapautuneiden peltojen käyttäminen poroille tuotetun heinärehun viljelyyn ja heinän viljelylle maksettu peltotuki ovat tuoneet ruokinnan tehostamista. Nykyinen porojen intensiivisen talviruokinta mahdollistaa verrattain korkean ja vakaan tuottavuuden poronhoidossa myös niukoilla talvilaitumilla ja epäennustettavissa talviolosuhteissa (Helle & Kojola 1993; Kumpula ym. 1998 ja 2002). Tämän tutkimushankkeen tulosten perusteella poronhoito myös pysyy talviruokinnan avulla taloudellisesti kannattavana, vaikka luontaisia talviravintoresursseja on vähäntalvilaitumilla (Pekkarinen ym. 2015).

Edellisten syiden vuoksi porojen talviruokinta muodostaa yhden merkittävimmistä tukipilareista nykyporonhoidolle Suomessa. Haasteena on kuitenkin pitää poronhoito jatkuvasti kannattavana, sillä ruokintaan vahvasti tukeutuvassa poronhoidossa nettotulot jäävät selvästi pienemmiksi kuin tilanteessa, jossa porot saavat ravintonsa hyväkuntoisilta ja riittävältä luonnonlaitumilta (Pekkarinen ym. 2015). Myös ruokintakulujen suuruus vaikuttaa merkittävästi lisäruokinnan kannattavuuteen. Vaarana on myös joutua kierteeseen, jossa voimakkaan laidunnuksen vuoksi jatkuvasti heikkenevät talvilaitumet joudutaan kompensoimaan porojen ruokintaa yhä enemmän tehostamalla (Kumpula 2001b).

Lumi- ja kaivuolosuhteiden vaihtelu vaikuttaa merkittävästi poronhoidon tuottavuuden ja tulojen vuosivaihteluun (Kumpula & Colpaert 2003; Helle & Kojola 2004 ja 2008). Tässä tutkimushankkeessa havaittiin paksun ja tiheän lumipeitteen pudottavan vasatuottoa merkittävästi (Rasmus ym. 2014). Siten vuotuisten kaivu- ja lumiolosuhteiden sekä niissä tapahtuvien pitkäaikaisten muutosten vaikutusten ennustaminen ja arvioiminen poronhoidon toiminnan kannalta on yksi tärkeä kokonaisuus poronhoidon tuottavuuteen ja kannattavuuteen liittyvässä tutkimuksessa. Tässä tutkimushankkeessa lumi- ja kaivuolosuhteiden vaikutuksia poronhoidon tuottavuuteen ja kannattavuuteen ei vielä tarkasteltu bioekonomisen systeemimallin avulla, koska kyseinen tarkastelu vaatisi erillisen stokastisen mallin kehittämisen.

Stokastisella mallilla voidaan arvioida laitumiin liittyvän satunnaisvaihtelun merkitystä porojen ravinnonsaantiin, kuntoon ja tuottavuuteen sekä viime kädessä myös kannattavuuteen. Satunnaisvaihtelu vaikuttaa todennäköisesti myös optimi poronhoidossa niin laidunten jäkäläbiomassojen ja enimmäisporomäärien kuin myös porojen ruokinnan osalta. Tutkimushankkeessa testattiin kuitenkin poronhoidolle tärkeiden lumiolosuhteiden ennustamista SNOWPACK-mallilla, ja työ osoitti näiden analyysien tavoittavan verrattain luotettavasti monia lumi- ja kaivuolosuhteisiin liittyviä tekijöitä (Rasmus ym. 2014). Siksi myös lumi- ja kaivuolosuhteiden vaihtelun ja muutosten tarkastelua lumen määrää ja rakennetta ennustavien mallien avulla on syytä jatkaa. Jatkossa tavoitteena on myös stokastisen mallin kehittäminen poronhoitoon.

Hankkeessa tuotetun poronhoidon dynaamisen systeemimallin avulla voitiin ensimmäistä kertaa analysoida samanaikaisesti monien poronhoitoon, porokantaan, laitumiin ja poronhoidon talouteen liittyvien tekijöiden ja mekanismien vaikutuksia poronhoidon kannattavuuteen ja tuottavuuteen. Myös erilaisia optimiratkaisuja ja sopeutumisprosesseja voitiin tarkastella poronhoidossa erilaisissa laidun- ja lähtötilanteissa. Vaikka satunnaiset sää- ja lumiolosuhteiden aiheuttamat vaihtelut ja epävarmuus eivät tässä vaiheessa sisällykään malliin ja tehtyihin analyysiin, hankkeen tuloksilla on monella tavalla merkitystä sekä tutkimuksen että käytännön poronhoidon kannalta. Tehdyt analyysit ja niistä saadut ennusteet selventävät monella tavalla poronhoidossa ja laitumilla tapahtunutta kehitystä ja eri tekijöiden merkitystä tässä kehityksessä. Ne auttavat myös hahmottamaan poronhoidon nykytilannetta ja siihen johtaneita syitä. Myös erilaisia poronhoidon sopeutumisprosesseja ja niiden vaikutuksia talvilaidunten tilan ja poronhoidon kannattavuuden parantamiseksi voitiin tarkastella. Samalla malliin sisältyvät eri tekijöiden väliset riippuvuudet ja mallin avulla saadut ennusteet viitoittavat monia avoimia tai epävarmoja kysymyksiä, joihin jatkotutkimuksissa tulee saada lisätietoa. Mallin kehittäminen jatkuu ja samalla myös mallin toimivuutta käytännössä on tarkoitus arvioida testamalla sitä paliskunnista saatavilla aineistoilla.

6. Kiitokset

Tutkimushankkeeseen on ollut käytettävissä vuosina 2011-2014 Maa- ja metsätalousministeriön Makena-rahoidusta, josta ministeriölle kiitokset. Makena-rahoiduksen ohjausryhmään ovat kuuluneet puheenjohtaja Otso Suominen (Turun yliopisto) sekä jäsenet Ville Hallikainen (Metla/Luke), Kirsi Muuttoranta (MTT/Luke), Anne Ristioja (ELY-keskus), Kaija Saarni (RKTL/Luke) ja Matti Särkelä (Paliskuntain yhdistys). Tutkimuksen tekijät kiittävät ohjausryhmää monella tavalla hyödyllisestä vuorovai-
kutuksesta tutkimushankkeen aikana. Hankkeen aineistojen kokoamisessa ja käsittelyssä ovat avustaneet Luken (aikaisemmin RKTL:n) porontutkimusasemalla Kaamasessa työskentelevät Heikki Törmänen, Jukka Siitari ja Sari Siitari, josta heille kiitokset. Paliskuntain yhdistystä ja Muonion paliskuntaa kiitämme poronhoitoon liittyvien tilastojen ja raporttien luovuttamisesta tutkimusta varten.

7. Kirjallisuus

- Aanes R, Sæther B-E & Øritsland NA 2000. Fluctuations of an introduced population of Svalbard reindeer: The effects of density dependence and climatic variation. *Ecography* 23: 437-443.
- Adamczewski JZ, Hudson RJ, Gates CC 1993. Winter energy balance and activity of female caribou on Coats Island, Northwest Territories: the relative importance of foraging and body reserves. *Canadian Journal of Zoology* 71: 1221-1229.
- Bartelt P, Lehning M 2002. A physical SNOWPACK model for the Swiss avalanche warning: Part I. Numerical model. *Cold Regions Science and Technology* 35: 123-145.
- Bessa-Comes C, Legendre S, Clobert, J. 2010. Discrete two-sex models of population dynamics: on modelling the mating function. *Oecologia* 36: 439-445.
- Boertje RD 1985. An energy model for adult female caribou of the Denali herd, Alaska. *Journal of Range Management* 38: 468-473.
- Cameron RD, Smith WT, Fancy SG, Gerhart KL, White, RG 1993. Calving success of female caribou in relation to body weight. *Canadian J. of Zoology* 71: 480-486.
- Caswell H 2001. *Matrix population models: construction, analysis and interpretation*. Massachusetts, Sinauer.
- Danell Ö, Petersson JC 1994. A comprehensive transition matrix model for projecting production and resource consumption in reindeer herds. *Rangifer* 14, 99 -112.
- Emlen JM 1996. The role of time and energy in food preference. *American Naturalist*, 611-617.
- Fauchald P, Tveraa T, Henaug C, Yoccoz N. 2004. Adaptive regulation of body reserves in reindeer, *Rangifer tarandus*: a feeding experiment. *Oikos* 107: 583-581.
- Helle T 1984. Foraging behaviour of semi-domesticated reindeer (*Rangifer tarandus tarandus*) in relation to snow in Finnish Lapland. *Reports of Kevo Subarctic Research Station* 19: 35-47.
- Helle T, Tarvainen L 1984. Determination of the winter digging period of semi-domestic reindeer in relation to snow conditions and food resources. *Reports of Kevo Subarctic Research Station* 19: 49-56.
- Helle T, Kilpelä S-S, Aikio P 1990. Lichen ranges, animal densities and production in Finnish reindeer management. *Rangifer*, Special issue No. 3, 115-121.
- Helle T, Kojola I 1993. Reproduction and mortality of Finnish semi-domesticated reindeer in relation to density and management strategies. *Arctic* 46(1): 72-77.
- Helle T, Kojola I 2004. Porokantojen vaihtelut Fennoskandiassa – selitykset ja niiden arviointi. *Suomen Riista* (50): 18-32.
- Helle T, Jaakkola L 2008. Transitions in herd management of semi-domesticated reindeer in northern Finland. *Annales Zoologici Fennici* 45(2), 81-101. Holand Ø, Ims AA., Weladji RB 2010. Scale dependent effects of summer density on autumn weight mass in reindeer. *Rangifer* 30(1), 15-29.
- HelleT, Kojola I. 2008. Demographics in an alpine reindeer herd: Effects of density and winter weather. *Ecography* 31: 221-230.
- IPCC. 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment. Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. [Ed. Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt KB, Tignor M, Miller HL]. (Cambridge University Press, Cambridge and New York.)
- Isotalo A 1974. Porojen luonnonvaraisten rehujen ravintoarvoista (In Finnish: The nutritive value of natural fodder plants in reindeer feeding. *Lapin tutkimusseuran vuosikirja XII*, s. 28-45.
- Kohler J, Aanes R 2004. Effect of winter snow and ground-icing on a Svalbard Reindeer population: Results of a simple snowpack model. *Arctic, Antarctic and Alpine Research* 36: 333-341.
- Kojola I, Helle T 1993. Calf harvest and reproduction rate of reindeer in Finland. *J. of Wildlife Management* 1993; 57:451-453.
- Kojola I, Helle T, Niskanen M, Aikio P. 1995. Effects of lichen biomass on winter diet, body mass and reproduction of semi-domesticated reindeer *Rangifer t. tarandus* in Finland. *Wildlife Biology* 1(1): 33–38.
- Kumpula J 2001a. Winter grazing of reindeer in woodland lichen pasture, Effect of lichen availability on the condition of reindeer. *Small Ruminant Research* 2001; 39: 121-130.
- Kumpula J 2001b. Productivity of the semi-domesticated reindeer (*Rangifer t. tarandus* L.) stock and carrying capacity of pastures in Finland during 1960-90's (Ph.D-thesis). –*Acta Universitatis Ouluensis, A Scientiae Rerum Naturalium* 375. Oulun yliopisto, Oulu.
- Kumpula J, Colpaert A, Nieminen M. 1998. Reproduction and productivity of semidomesticated reindeer in northern Finland. *Canadian Journal of Zoology* 1998; 76: 269-277.

- Kumpula J, Colpaert A, Nieminen M. 2000. Condition, potential recovery rate, and productivity of lichen (*Cladonia* spp.) ranges in the Finnish reindeer management area. *Arctic* 53: 152-160.
- Kumpula J, Colpaert A, Nieminen M 2002. Productivity factors of the Finnish semi-domesticated reindeer (*Rangifer t. tarandus*) stock during the 1990s. *Rangifer* 22(1), 3-12.
- Kumpula J, Colpaert A 2003. Effects of weather and snow conditions on reproduction and survival of semi-domesticated reindeer (*R.t.tarandus*). *Polar Research* 22: 225-233.
- Kumpula J, Lefrère SC, Nieminen M. 2004. The use of woodland lichen pasture by reindeer in winter with easy snow conditions. *Arctic* 2004; 57: 273-278.
- Kumpula J, Colpaert A, Anttonen M 2007. Does forest harvesting and linear infrastructure change the usability value of pastureland for semi-domesticated reindeer (*Rangifer tarandus tarandus*). *Annales Zoologici Fennici* 44: 161-178.
- Kumpula J, Colpaert A, Tanskanen A 2008. Porojen laidunten valinta muuttuneessa metsä- ja maise-marakenteessa Keski-Lapissa (In Finnish with English summary: Pasture selection by semi-domesticated reindeer in the changed forest and landscape structure of central Lapland). *Suomen Riista* 54: 69-82.
- Kumpula J, Tanskanen A, Colpaert A, Anttonen M, Törmänen H, Siitari J, Siitari J 2009. Poronhoitoalueen pohjoisosan talvilaitumet vuosina 2005–2008 – Laidunten tilan muutokset 1990-luvun puolivälin jälkeen. *Riista- ja Kalatalous, Tutkimuksia* 3/2009: 1-48.
- Kumpula J, Stark S, Holand Ø 2011. Seasonal grazing effects by semi-domesticated reindeer on sub-arctic mountain birch forests. *Polar Biology* 34: 441-453, DOI 10.1007/s00300-010-0899-4
- Kumpula J, Kurkilahti M, Helle T, Colpaert A 2014. Both reindeer management and several other land use factors explain the reduction in ground lichens (*Cladonia* spp.) in pastures grazed by semi-domesticated reindeer in Finland. *Regional Environmental Change* 14: 541-559.
- Lehning M, Bartelt P, Brown B, Fierz C, Satyawali P 2002a. A physical SNOWPACK model for the Swiss avalanche warning. Part II. Snow microstructure. *Cold Regions Science and Technology* 35:147-167.
- Lehning M, Bartelt P, Brown B, Fierz C 2002b. A physical SNOWPACK model for the Swiss avalanche warning service. Part III. Meteorological forcing, thin layer formation and evaluation. *Cold Regions Science and Technology* 35: 169-184.
- MacArthur RH, Pianka ER 1966. On optimal use of a patchy environment. *American Naturalist*, 606-609.
- Mattila E 2014. Ylä-Lapin talvilaidunarviointien tuloksia, Uusimmat arviot vuodelta 2012 ja vastaavia tuloksia vuodelta 2004. *Metlan työraportteja* 282, 55 s.
- Mattila E, Mikkola K 2009. Poronhoitoalueen etelä- ja keskiosien talvilaitumet. Tila 2000-luvun alkuvuosina ja eräiden ravintokasvien esiintymisrunsauden muutokset merkkipiireissä 1970-luvulta lähtien. *Metlan työraportteja* 115, 57 s.
- Moxnes E, Danel Ö, Gaare E, Kumpula J. 2001. Optimal strategies for the use of reindeer rangelands. *Ecological Modelling* 2001; 145: 225-241.
- Nieminen M, Pokka A-S, Heiskari U 1987. Artificial feeding and nutritional status of semi-domesticated reindeer during winter. *Rangifer*; 7: 51-58.
- Nieminen, M, Heiskari U 1989. Diets of freely grazing and captive reindeer during summer and winter. *Rangifer* 9(1), 17-34.
- Olofsson A, Danell Ö, Forslund P, Åhman B, 2011. A model of herbivore-pasture dynamics for range management in reindeer husbandry. Manuscript in Olofsson A. Towards adaptive management of reindeer grazing resources. Doctoral Thesis, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala.
- Pape R, Löffler J 2012. Climate Change, Land Use Conflicts, Predation and Ecological Degradation as Challenges for Reindeer Husbandry in Northern Europe: What do We Really Know After Half a Century of Research? *Ambio* 41: 421-434.
- Pekkarinen A-J, Kumpula J, Tahvonen O 2015. Reindeer management and winter pastures in the presence of supplementary feeding and government subsidies. *Ecological Modelling* 312: 256-271. (<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2015.05.030>)
- Petersson CJ, Danell Ö 1992. Simulated production losses in reindeer herds caused by accidental death of animals. *Rangifer* 12, 143-150.
- Rasmus S, Räisänen J, Lehning M 2004. Estimating snow conditions in Finland in the late 21st century using the SNOWPACK-model with regional climate scenario data as input. *Annals of Glaciology* 38: 238-244.

- Rasmus S, Grönholm T, Lehning M, Rasmus K, Kulmala M 2007. Validation of the SNOWPACK-model in five different snow zones in Finland. *Boreal Environmental Research* 12: 467-488.
- Rasmus S, Kumpula J, Siitari J 2014. Can a snow structure model estimate snow characteristics relevant for reindeer husbandry? *Rangifer*. 34(1): 37-56.
- Reimers E. 1982. Winter mortality and population trends of reindeer on Svalbard, Norway. *Arctic and Alpine Research* 14: 295-300
- Reimers E, Klein DR, Sørungaard R 1983. Calving time growth rate, and body size of Norwegian reindeer in different ranges. *Arctic and Alpine Research* 15(1): 107-118
- Røed KH, Holand Ø, Smith ME, Gjøstein H, Kumpula J, Nieminen M. 2002. Reproductive success in reindeer males in a herd with varying sex ratio. *Molecular Ecology* 11: 1239-1243.
- Røed KH, Holand Ø, Gjøstein H, Hansen H. 2005. Variation in male reproductive success in wild population of reindeer. *Journal of Wildlife Management* 2005; 69: 1163-1170.
- Røed KH, Holand Ø, Mysterud A, Tverdal A, Kumpula J, Nieminen M 2007. Male phenotypic quality influences offspring sex ratio in a polygynous ungulate. *Proceedings of the Royal Society B* 274: 727-733
- Rytkönen A-M, Sarikoski H, Kumpula J, Hyppönen M, Hallikainen V 2013. Metsätalouden ja porotalouden väliset suhteet Ylä-Lapissa (In Finnish with English abstract: Interactions between forestry and reindeer husbandry in Upper Lapland -synthesis of research data). *Riista- ja kalatalous, Tutkimuksia ja selvityksiä* 6/2013, 39 p. (<http://www.rkti.fi/julkaisut/j/660.html>)
- Salo M-L, Tuori M, Kiiskinen T. 1982. Rehutaulukot ja ruokintanormit, märehitijär-siat-siipikarjaturkiseläimet (In Finnish, Feed tables and feeding norms, ruminants-swine-poultry-fur animals). 1982; Helsingin yliopiston monistepalvelu, Helsinki, 70 S.
- Tahvonen O 2009a. Optimal harvesting of age-structured fish populations. *Marine Resource Economics* 24: 147-169.
- Tahvonen O 2009b. Optimal choice between even- and uneven-aged forestry. *Natural Resource Modelling* 22: 289-321.
- Tahvonen O, Pukkala T, Laiho O, Lähde E, & Niinimäki S 2010. Optimal management of unevenaged Norway spruce forests. *Forest Ecology and Management* 260: 106-115.
- Tahvonen O, Quaas M, Schmidt J, Voss R 2012. Optimal harvesting of age-structured schooling fishery. *Environmental and Resource Economics* 54:21-39.
- Tahvonen O, Kumpula J, Pekkarinen, A-J 2014. Optimal harvesting of an age-structured two-sex herbivore-plant system. *Ecological Modelling* 272, 348–361.
- Tveraa T, Fauchald P, Henaug C, Yoccoz NG. 2003: An examination of a compensatory relationship between food limitation and predation in semi-domesticated reindeer. *Oecologia* 137: 370-376.
- Vikhamar-Schuler, D., Hanssen-Bauer, I., Schuler, T.V., Mathiesen, S.D. & Lehning, M. 2013. Use of a multi-layer snow model to assess grazing conditions for reindeer. *Annals of Glaciology* 54 (62): 214-226.
- Virtala M. 1992: Optimal management of a plant - herbivore system – Lichen and reindeer in Northern Finland. *Ecological Modelling* 3-4: 233-255.
- Virtala M. 1996. Harvesting a lichen – reindeer system is an uncertain environment. *Ecological Modelling* 89; 209-224.



luke.fi

Luonnonvarakeskus
Viikinkaari 4
00790 Helsinki
puh. 029 532 6000