HELSINGIN YLIOPISTO

Lintujen kevätmuuton aikaistuminen ilmastonmuutoksen seurauksena

Biologian kandiohjelma

Kandidaatintutkielma

Helsingin yliopisto

Laatija:

Peetri Joki

Ohjaaja:

PhD Aleksi Lehikoinen

12.10.2026

Helsinki

Tiedekunta: Bio- ja ympäristötieteellinen tiedekunta

Koulutusohjelma: Biologian kandiohjelma

Tekijä: Peetri Joki

Työn nimi: Lintujen kevätmuuton aikaistuminen ilmastonmuutoksen seurauksena
Työn laji: Kandidaatin tutkielma

Kuukausi ja vuosi: lokakuu 2026

Sivumäärä: 21

Avainsanat: ilmastonmuutos, kevätmuutto, fenologia, muuttolinnut, fenologinen epäsuhta, populaatiot, vuosikierto

Ohjaaja tai ohjaajat: PhD Aleksi Lehikoinen

Säilytyspaikka: Bio- ja ympäristötieteellinen tiedekunta

Tiivistelmä: Tässä kandidaatintutkielmassani tarkastelen lintujen kevätmuuton aikaistumista ilmastonmuutoksen seurauksena. Työ on kirjallisuuskatsaus, jossa käsittelen ilmastonmuutoksen vaikutuksia ekosysteemien fenologiaan, lintujen kevätmuuton biologista säätelyä sekä sitä, miten eri muuttostrategiat vaikuttavat lajien kykyyn reagoida lämpenevään ilmastoon. Kirjallisuuden perusteella kevätmuutto on aikaistunut useilla lintulajeilla Euroopassa ja Pohjois-Amerikassa. Muutosten voimakkuus kuitenkin vaihtelee lajien välillä. Pitkänmatkan muuttajilla muuton ajoitukseen vaikuttavat pesimäalueiden olosuhteiden lisäksi talvehtimisalueiden ja muuttoreitin ympäristöolosuhteet. aikaisemmissa tutkimuksissa populaatioiden taantumista on yhdistetty fenologiseen epäsuhtaan, jossa lintujen ja ravinnon saatavuuden huippu ajoittuvat eri aikaan. Uudempi tutkimus on kuitenkin osoittanut, ettei fenologisen epäsuhdan vaikutusta populaatioiden vähenemiseen voida pitää yksiselitteisenä. Myöhäinen saapuminen ja populaatioiden taantuminen voivat ennemminkin liittyä talvehtimisalueiden ja muuttoreitin epäedullisiin olosuhteisiin.

Tutkielmassani tarkastelen tämän vuoksi muuttolintujen kevätmuuttoa koko vuosikierron näkökulmasta sekä arvioin vaihtoehtoisia selityksiä muuttolintupopulaatioiden muutoksille.

Tekoäly: Työssä on käytetty apuna chatgpt tekoälyä kirjoitus- ja kielioppivirheiden korjauksessa sekä tekstin sujuvuuden tarkastamisessa.

Sisällys

1 Johdanto 5

2 Tutkimuksen tavoitteet 7

3 Ilmastonmuutos 8

3.1 Ilmastonmuutos pohjoisella pallonpuoliskolla 8

3.2 Ilmastonmuutoksen vaikutukset ekosysteemeihin 9

4 Lintujen kevätmuutto 10

4.1 Kevätmuuton ajoitus 10

4.2 Lintujen muuttokäyttäytyminen 10

4.3 Pitkän ja lyhyen matkan muuttajat 11

5 ilmastonmuutoksen vaikutukset lintujen kevätmuuttoon 13

5.1 Kevätmuuttoon vaikuttavat tekijät ja lajien väliset erot 14

5.2 Mahdollisia syitä populaatioiden taantumiselle 15

5.3 Tutkimuksen rajoitukset ja tulevaisuuden tutkimustarpeet 16

6 Johtopäätökset 18

Lähteet 19

1 Johdanto

Ilmastonmuutos on yksi merkittävimmistä ihmisen aiheuttamista ympäristömuutoksista, ja vaikutukset ulottuvat lähes kaikkiin maapallon ekosysteemeihin. Ilmakehän kasvihuonepäästöjen lisääntymisen seurauksena (Walther ym., 2002; Parmesan, 2006), maapallon keskilämpötila on noussut nopeasti erityisesti viimeisen sadan vuoden aikana, mikä on muuttanut vuoden aikojen ajoittumista, kasvukauden pituutta sekä monien eliölajien elinkiertoa. Erityisen herkästi ilmastonmuutokseen reagoivat eliöiden fenologiset tapahtumat eli vuodenaikoihin sidoksissa olevat elinkierronvaiheet, kuten kasvien kukinta, hyönteisten kuorinta sekä lintujen muutto.

Lintujen muuttokäyttäytyminen (Cotton, 2003; Gordo, 2007), on yksi tutkituimmista fenologisista ilmiöistä, sillä muuttolinnuista on kerätty pitkäaikaisia havaintosarjoja useilla mantereilla. Muuttolinnut reagoivat ympäristön muutoksiin nopeasti, minkä vuoksi niiden kevätmuuton ajoittumisen muutokset tarjoavat arvokasta tietoa ilmaston muutoksen vaikutuksista luonnon ekosysteemeihin. Kevätmuutto on muuttolintujen elinkierrossa ratkaiseva vaihe, sillä pesimäalueille saapumisen ajankohta vaikuttaa ravinnon saatavuuteen, pesimäpaikkojen valintaa sekä lisääntymismenestykseen.

Viimeisten vuosikymmenien aikana useissa Euroopassa ja Pohjois-Amerikassa tehdyissä tutkimuksissa (Jonzén ym., 2006; Lehikoinen ym., 2019; Zaifman ym., 2017), on havaittu lintujen kevätmuuton aikaistuneen. Ilmiö on todettu sekä pitkissä havaintosarjoissa että useita lajeja käsittelevissä tutkimuksissa, mikä osoittaa sen olevan laajamittaista eikä vain yksittäisiä alueita ja lajeja koskevaa. Vaikka kevätmuuton aikaistuminen on havaittu lähes kaikkialla, sen voimakkuus vaihtelee huomattavasti lajien, muuttostrategioiden ja maantieteellisten alueiden välillä.

Kevätmuuton ajoittumiseen vaikuttavat useat toisiinsa kytkeytyneet tekijät (Gordo, 2007; Haest ym., 2020), sen käynnistymistä säätelevät lintujen sisäiset biologiset rytmit, joita ohjaavat erityisesti päivän pituus ja hormonitoiminta. Samanaikaiset ympäristötekijät, kuten lämpötila, tuuliolosuhteet, sademäärä sekä ravinnonsaatavuus, vaikuttavat siihen, milloin muutto käynnistyy ja kuinka nopeasti se etenee.

Lyhyenmatkan muuttajien kevätmuutto on havaittu monissa tutkimuksissa (Bitterlin ja Van Buskirk 2014), aikaistuneen enemmän kuin pitkänmatkan muuttajien, laajassa vertailussa todettiin muuton aikaistumisen olevan heikompaa pitkänmatkan muuttajilla. (Végvári ym. 2010), havaitsivat ensimmäisten saapumispäivien aikaistuneen enemmän lyhyen matkan muuttajilla. Muuttomatkan pituus on siten yksi lajien fenologiseen vasteeseen vaikuttavista tekijöistä.

Ilmastonmuutoksen vaikutukset eivät rajoitu pelkästään kevätmuuton aikaistumiseen (Walther ym., 2002; Parmesan, 2006), vaan samaan aikaan kasvien kasvun alkaminen ja hyönteisten kehitys ovat aikaistuneet, mikä voi muuttaa ravinnon saatavuutta pesimäalueilla. Jos lintujen pesintä ei aikaistu samassa tahdissa niiden ravintolajien fenologian kanssa voi syntyä epäsuhtaa. Aiemmissa tutkimuksissa (Both & Visser, 2001; Saino ym., 2010), tällaista, on pidetty yhtenä mahdollisena selityksenä joidenkin lintupopulaatioiden taantumiselle.

Fenologisen epäsuhdan populaatiovaikutukset eivät kuitenkaan ole niin yksiselitteisiä kuin aikaisempien tutkimuksien perusteella on oletettu (Franks ym. 2018) havaitsivat, että suhteellisen myöhään pesivät lajit olivat usein myös taantuvia. mutta populaatioiden kehitystä ei voinut suoraan selittää epäsuhdan aiheuttamalla heikentyneellä lisääntymistuotolla.

Muuttolintujen populaatioihin ja kevätmuuton ajoittumiseen voivat vaikuttaa ennemmin talvehtimisalueiden ja muuttoreitin olosuhteet. Esimerkiksi kuivuus Afrikassa (Tøttrup ym., 2012), voi viivästyttää muuttoa ja siten pesimäalueille saapumista. Tämän vuoksi kevätmuuton ajoituksen ja populaatiokehityksen välistä yhteyttä on tarkasteltava monen tekijän summana.

2 Tutkimuksen tavoitteet

Tämän kandidaatintutkielman tavoitteena on koota yhteen tutkimustieto lintujen kevätmuuton aikaistumisesta ja tarkastella, miten ilmaston lämpeneminen on vaikuttanut lintujen kevätmuuton ajoittumiseen. Työssä pyrin muodostamaan kokonaiskuvan siitä, millaisia muutoksia tutkimuksissa on havaittu, kuinka yhteneväisiä ne ovat sekä mitkä biologiset ja ekologiset tekijät selittävät eri lajien välisiä eroja ilmastonmuutokseen sopeutumisessa.

Tarkastelen sekä Euroopassa että Pohjois-Amerikassa tehtyjä tutkimuksia (Lehikoinen ym., 2019; Zaifman ym., 2017), sillä nämä muodostavat yhdessä laajan pitkäaikaisen tutkimusaineiston lintujen muuttofenologiasta. Samalla arvioin, kuinka hyvin tutkimustulokset tukevat käsitystä siitä, että ilmastonmuutos on tärkeä kevätmuuton ajoittumista muuttava tekijä.

Erityistä huomiota kiinnitän pitkän ja lyhyenmatkan muuttajien välisiin eroihin, sillä aiemmissa tutkimuksissa (Bitterlin & Van Buskirk, 2014; Végvári ym., 2010) kevätmuutto on lyhyenmatka muuttajilla aikaistunut enemmän, vaikkakin lajien välillä esiintyykin huomattavaa vaihtelua.

Tutkimuskysymykset ovat:

1) Miten ilmaston muutos on vaikuttanut lintujen kevätmuuton aikaistumiseen?

2) Mitkä biologiset ja ekologiset tekijät selittävät lajien välisiä eroja kevätmuuton aikaistumisen eroissa?

3) Eroaako pitkän ja lyhyenmatkan muuttajien reagointi ilmastonmuutokseen toisiinsa?

4) Millaisia ekologisia seurauksia kevätmuuton aikaistumisella on lintujen lisääntymismenestykselle ja populaatioille?

3 Ilmastonmuutos

Ilmastonmuutoksella tarkoitetaan maapallon ilmastojärjestelmässä tapahtuvaa pitkäaikaista muutosta (Walther ym., 2002), jonka tärkeimpänä syynä pidetään ihmisen toiminnasta aiheutunutta kasvihuonekaasujen lisääntymistä ilmakehässä. Fossiilisten polttoaineidenkäyttö, metsien hävittäminen ja maatalous ovat lisänneet erityisesti hiilidioksidin, metaanin ja dityppioksidin pitoisuuksia, mikä on voimistanut luonnollista kasvihuoneilmiötä ja nostanut maapallon ilmaston keskilämpötilaa.

3.1 Ilmastonmuutos pohjoisella pallonpuoliskolla

Ilmaston lämpeneminen ei ole maapallolla alueellisesti tasaista (Walther ym., 2002), vaan sen voimakkuus vaihtelee huomattavasti eri maanosien ja ilmastovyöhykkeiden välillä. Erityisesti pohjoinen pallonpuolisko on lämmennyt viime vuosikymmeninä maailmanlaajuista keskiarvoa nopeammin. Voimakkainta lämpeneminen on ollut arktisilla alueilla missä lumen ja jään väheneminen kiihdyttää lämpenemistä pienentämällä maanpinnan heijastuskykyä.

Pohjoisella pallonpuoliskolla lämpeneminen näkyy erityisesti kevätkauden muutoksina (Parmesan, 2006). Keskimääräiset kevätlämpötilat ovat nousseet monilla alueilla mikä on aikaistanut kasvukauden alkamista. Samalla kasvien lehtien puhkeaminen, kukinta ja monien hyönteisten kehitys on siirtynyt aikaisempaan ajankohtaan.

Euroopassa ilmastonmuutoksen vaikutuksia on voitu seurata poikkeuksellisen pitkien havaintosarjojen avulla (Lehikoinen ym., 2019). Lintuasemien, rengastustoiminnan sekä järjestelmällisen linnustonseurannan ansiosta tutkijoilla on käytettävissään aineistoja, jotka kattavat useita vuosikymmeniä. Näiden perusteella kevätmuuton on havaittu aikaistuneen lähes koko Euroopan alueella, vaikkakin muutoksen voimakkuus vaihtelee maantieteellisesti sekä lajien välillä.

Pohjois-Amerikassa vastaavia muutoksia on havaittu erityisesti pohjoisilla alueilla (Zaifman ym. 2017), jossa verrattiin lintujen kevätmuuttoa Alaskassa, Mainessa ja Etelä-Carolinassa, joissa lämpeneminen tapahtuu eri nopeudella. Kevätmuuton

ajoittumisen havaittiin muuttuneen kaikilla tutkimusalueilla, mikä osoittaa, ettei ilmastonmuutoksen vaikutukset rajoitu pelkästään yksittäisiin ilmastovyöhykkeisiin.

3.2 Ilmastonmuutoksen vaikutukset ekosysteemeihin

Ilmaston lämpeneminen vaikuttaa myös lajien maantieteelliseen levinneisyyteen (Walther ym., 2002; Parmesan, 2006). Monet kasvi ja eläinlajit ovat siirtyneet kohti pohjoista tai korkeammalla sijaitseville alueille, joissa ilmasto vastaa niiden aikaisempia elinympäristöjä. Samalla lämpimänpään ilmastoon sopeutuneet ovat laajentaneet elinalueitaan uusille elinalueille.

Ilmastonmuutoksen vaikutukset korostuvat erityisesti ravintoverkoissa (Gordo, 2007). Kasvien tuottama biomassa muodostaa perustan useimpien maaekosysteemien ravintoketjuille. Kun kasvien kehitys aikaistuu, seuraavat monet kasvinsyöjähyönteiset tätä muutosta nopeasti. Sen sijaan hyönteisiä ravintonaan käyttävien muuttolintujen kevätmuutto ei välttämättä aikaistu samassa tahdissa, koska lintujen muuttokäyttäytymistä säätelevät myös päivänpituus, hormonitoiminta sekä muuttoreitin sääolosuhteet.

Ilmastonmuutoksen vaikutukset näkyvät myös ekosysteemien vakaudessa (Walther ym., 2002). Lajien väliset suhteet ovat kehittyneet pitkän evoluution aikana, ja monet ekologisetvuorovaikutukset perustuvat tarkkaan vuodenaikaiseen ajoittumiseen. Kun eri lajit reagoivat lämpenemiseen eri nopeudella, koko ekosysteemin toiminta voi muuttua

4 Lintujen kevätmuutto

Lintujen kevätmuutto on yksi näyttävimmistä ja samalla monimutkaisimmista eliökunnan käyttäytymisilmiöistä (Cotton, 2003). Muuttokäyttäytyminen on kehittynyt evoluution aikana mahdollistamaan lisääntyminen alueilla, joilla kesä tarjoaa runsaasti ravintoa ja pitkän valoisanajan vuorokaudessa, mutta joissa talviolosuhteet eivät mahdollista ympärivuotista elämää. Kevätmuutto on lintujen elinelinkierrossa ratkaiseva vaihe, sillä sen onnistuminen vaikuttaa suoraan pesinnän ajoittumiseen, poikastuottoon ja yksilön lisääntymismenestykseen.

Muuttolintujen on saavuttava pesimäalueilleen riittävän aikaisin (Cotton, 2003), voidakseen varata parhaat reviirit ja aloittaa pesintä mahdollisimman suotuisissa olosuhteissa. Samalla liian aikainen saapuminen voi altistaa kevään kylmille jaksoille tai ravinnon puutteelle ja liian myöhäinen saapuminen reviirien ja pesäpaikkojen menetykseen.

4.1 Kevätmuuton ajoitus

Tärkein ympäristötekijä on päivän pituus eli fotoperiodi (Gordo, 2007). Päivän pidentyminen keväällä käynnistää hormonaalisia muutoksia, jotka valmistavat lintuja muuttoon ja lisääntymiseen. Päivän pituus toimii luotettavana vuodenaikaissignaalina, joka ei vaihtele vuosittain yhtä paljon kuin sääolosuhteet.

Vaikka päivänpituus käynnistää muuttovalmiuden, ympäristötekijät säätelevät muutontarkkaa ajoittumista (Cotton, 2003; Gordo 2007). Kevätlämpötilat, lumen sulaminen, ravinnon saatavuus sekä tuuliolosuhteet voivat joko nopeuttaa tai viivästyttää muuton alkamista.

Kevätmuuton ajoittumiseen vaikuttavat myös muuttoreitin aikaiset sääolosuhteet (Haest ym., 2020). Myötätuulet voivat nopeuttaa muuttomatkaa huomattavasti ja vähentää energiankulutusta, kun taas vastatuulet ja voimakkaat sateet voivat pakottaa linnut keskeyttämään muuttomatkansa tai viivästyttää sen aloittamista.

4.2 Lintujen muuttokäyttäytyminen

Lintujen muuttokäyttäytyminen on monimutkainen biologinen ilmiö (Gordo, 2007), jossa yhdistyvät perinnölliset ominaisuudet, fysiologiset muutokset sekä

ympäristötekijöiden vaikutus. Muutto ei ole pelkästään siirtymistä talvehtimisalueilta pesimäalueelle, vaan siihen kuuluu useita vaiheita, kuten energiavarastojen kerääminen, muuttoreitin valinta, levähdykset sekä pesimäalueille saapuminen. Kevät muutto käynnistyy yleensä silloin (Cotton, 2003), kun lintujen sisäinen vuosirytmi katsoo sen ajankohtaiseksi ja ympäristön olosuhteet ovat sille suotuisat.

Sääolosuhteet vaikuttavat muuttokäyttäytymiseen koko muuttomatkan ajan (Haest ym., 2020). Muuttoreitin valinta vaikuttaa ratkaisevasti muuttomatkan onnistumiseen. Monet Euroopan muuttolinnuista ylittävät Saharan ja Välimeren samoja muuttokäytäviä pitkin, jolloin reitillä olevien levähdyspaikkojen laatu ja niiden alueella olevat sääolosuhteet voivat vaikuttaa merkittävästi pesimäalueille saapumiseen.

Muuttokäyttäytymisessä esiintyy huomattavaa vaihtelua (Lehikoinen ym., 2019) myös saman lajin yksilöiden välillä. Osa linnuista aloittaa kevät muuton aikaisemmin ja etenee nopeasti pesimäalueille, osa taas muuttaa hitaammin ja käyttää enemmän aikaa levähdysalueilla. Tämä yksilöiden välinen vaihtelu lisää populaation joustavuutta vaihtelevissa ympäristöolosuhteissa.

4.3 Pitkän ja lyhyen matkan muuttajat

Muuttolinnut voidaan jakaa muuttomatkansa pituuden perusteella lyhyen ja pitkän matkan muuttajiin (Bitterlin & Van Buskirk, 2014). Euroopassa lyhyen matkan muuttajat talvehtivat yleensä Euroopassa tai Välimeren alueella suhteellisen lähellä pesimäalueitaan, kun taas pitkän matkan muuttajat viettävät talvet pääosin Saharan eteläpuolisessa Afrikassa tai muilla trooppisilla alueilla. Muuttomatkan pituus vaikuttaa merkittävästi lintujen muuttokäyttäytymiseen, energian kulutukseen sekä kykyyn reagoida muuttuneisiin ympäristöolosuhteisiin.

Pitkänmatkan muuttajat aloittavat kevätmuuttonsa usein tuhansien kilometrien päässä pesimäalueiltaa (Végvári ym., 2010). Niiden fenologinen vaste on keskimäärin ollut heikompaa kuin lyhyenmatkan muuttajilla, vaikka lajien välillä esiintyy huomattavaa vaihtelua. Talvehtimisalueiden ja muuttoreittien sääolosuhteet (Haest, 2020), voivat lisäksi vaikuttaa voimakkaasti muuton alkamiseen ja etenemiseen.

Lyhyen matkan muuttajien muuttoa ohjaavat voimakkaasti paikalliset sääolosuhteet (Gordo, 2007; Bitterlin & Van Buskirk, 2014). Koska niiden talvehtimisalueet sijaitsevat suhteelisen lähellä pesimäalueita, ne voivat seurata kevään etenemistä lähes koko muuttomatkansa ajan. Tämä tekee niiden muuttokäyttäytymisestä joustavampaa kuin pitkän matkan muuttajilla.

Pohjois-Amerikassa havaittiin (Butler, 2003), että ilmaston lämpeneminen vaikutti erityisen voimakkaasti lyhyenmatkan muuttajien saapumispäiviin. tämä tukee käsitystä siitä, että lyhyen matkan muuttajat kykenevät hyödyntämään paikallista ilmastotietoa tehokkaammin kuin pitkän matkan muuttajat.

Pitkän ja lyhyen matkan muuttajien erot näkyvät myös populaatiotason seurauksissa (Saino ym., 2010; Møller ym., 2008). Useissa tutkimuksissa juuri pitkän matkan muuttajien kannankehitys on ollut keskimäärin heikompaa kuin lyhyen matkan muuttajien. Yhtenä mahdollisena selityksenä pidetään sitä, että pitkän matkan muuttajien on vaikeampi sopeuttaa muuttokäyttäytymistään nopeasti etenevään ilmastonmuutokseen.

5 ilmastonmuutoksen vaikutukset lintujen kevätmuuttoon

muuttajien on vaikeampi sopeuttaa muuttokäyttäytymistään nopeasti etenevään ilmastonmuutokseen.

Muuttolintujen ja ilmastonmuutoksen välisiä suhteita tutkittaessa (Knudsen ym. 2011), on vältettävä liian yksinkertaisia johtopäätöksiä. Muuttomatkan pituus on tärkeä tekijä, mutta sen lisäksi on tutkimuksissa otettava huomioon aineistojen laatu, lajien ekologia, muuttoreittien erot ja tutkimusmenetelmien vaikutus tuloksiin.

Iso-Britanniassa yli 30 vuoden havaintoaineistoa tarkastelu (Cotton, 2003), osoitti useiden muuttolintujen saapuvan pesimäalueille keskimäärin aikaisemmin kuin tutkimusjakson alussa. Tutkimus oli ensimmäisiä, joka liitti kevätmuuton muutokset suoraan ilmaston lämpenemiseen.

Jonzén ym. (2006) osoittivat että kevätmuuton aikaistuminen oli havaittavissa laajasti eri muuttolintu lajeilla ja että lämpimät kevät olivat yhteydessä aikaisempaan saapumiseen pesimäalueille. Tutkimuksessa korostettiin, että kaikki lajit eivät reagoineet lämpenemiseen samalla tavalla.

Ruotsissa tarkasteltiin 140 vuoden havaintoaineistoa (Kullberg ym., 2019) ja havaittiin että muuttolintujen kevätsaapuminen on siirtynyt aikaisemmaksi. Pitkä tutkimusjakso tekee aineistosta erittäin hyödyllisen koska se mahdollistaa ilmastonmuutokseen liittyvien pitkäaikaisten muutosten erottamisen lyhytaikaisesta vuosittaisesta vaihtelusta.

(Lehikoinen ym., 2019) vertasivat lintujen kevätmuuton fenologiaa Euroopassa ja Pohjois-Amerikassa. Tutkimuksessa havaittiin kevät muuton aikaistuneen molemmilla mantereilla. Erityisen mielenkiintoista oli, että muuttokauden alku aikaistui voimakkaammin kuin muuttokauden loppu, minkä seurauksena koko kevät muuttokausi piteni.

Kevätmuuton ajoittumista tarkasteltiin (Zaifman ym., 2017) kolmessa ilmastoltaan erilaisessa Yhdysvaltojen osavaltiossa. Tutkimuksessa havaittiin kevät muuton muuttuneen kaikilla tutkimusalueilla riippumatta siitä, kuinka nopeasti paikallinen ilmasto oli lämmennyt.

Bitterlin ja Van Buskirk (2014) tekivät laajan meta-analyysin lähes 400 lintulajista Euroopasta ja Pohjois-Amerikasta. Saatujen tulosten mukaan kevätmuuton ensimmäiset havainnot aikaistuivat keskimäärin nopeammin kuin muuttokauden mediaani, mikä osoittaa, että eri fenologiset mittarit voivat antaa erilaisen kuvan kevätmuuton muutoksista.

Pohjois-Amerikan pohjoisilla ruohostomailla havaittiin (TøttrupVégvárVégvárs ym., 2015) muuttolintujen saapumispäivän muuttuneen pitkällä aikavälillä. Tutkimus täydentää eurooppalaisia aineistoja osoittamalla, että kevätmuuton muutoksia voidaan havaita myös alueilla, joiden ilmasto, elinympäristöt ja muuttoreitit eroavat eurooppalaisista tutkimusalueista.

Laaja fylogeneettinen meta-analyysi (Usui ym., 2017) kevätmuuton ajoittumisen muutoksista osoitti että lämpötilaherkkyys ja fenologisten muutosten voimakkuus vaihtelevat lajien välillä. Lisäksi korostettiin että fylogeneettisen taustan huomioiminen on tärkeää kun lajien välistä vaihtelua tulkitaan.

5.1 Kevätmuuttoon vaikuttavat tekijät ja lajien väliset erot

Lajien ravinnonkäyttö vaikuttaa myös merkittävästi kevätmuuton ajoittumiseen (Végvári ym. 2010). Havaittiin että generalistit eli monipuolista ravintoa käyttävät lajit ovat aikaistaneet kevätmuuttoaan keskimäärin enemmän kuin tiettyyn ravintoon erikoistuneet lajit. Monipuolisen ravinnon käyttäminen mahdollistaa joustavamman reagoinnin ravinnon saatavuuden vaihteluun.

Kevätmuuton ajoittumiseen vaikuttavat ratkaisevasti myös talvehtimisalueiden ja muuttoreittien sääolosuhteet (Haest ym., 2020). Erityisesti Afro-palearktisen alueen muuttajilla talvehtimisalueiden lämpötila sekä Pohjois-Afrikan ja Välimeren alueen tuuliolosuhteet selittävät suuren osan kevätmuuton vuosittaisesta vaihtelusta.

Kevätmuuton aikaistumisen havaittiin olevan heikompaa (Bitterlin ja Van Buskirk, 2014) pitkänmatkan muuttajilla ja pohjoisilla alueilla. Heidän tekemässä analyysissä ruumiinkoon, sulkasadon ja ravinnonkäytön yhteydet näkyivät selvemmin syysmuuton kuin kevätmuuton ajoituksen muutoksissa. Kevät ja syysmuuton muutoksia eivät siten välttämättä selitä samat lajien ominaisuudet.

(Knudsen ym. 2011) painottivat, että tutkimustulosten tulkinnassa on huomioitava myös aineistojen ja menetelmien erot. Ensimmäiset havaintopäivät, muuttokauden mediaani ja yksilöseuranta kuvaavat eri asioita ja niiden perusteella tehdyt johtopäätökset eivät ole aina suoraan vertailukelpoisia.

Kokonaisuutena tarkasteltuna tutkimukset osoittavat, että kevätmuuton aikaistumisen taustalla ei ole yhtä yksittäistä selittävää tekijää. Lajien biologiset ominaisuudet, muuttomatkan pituus, ravinnonkäyttö, lisääntymisstrategia sekä muuttoreitin sääolosuhteet muodostavat kokonaisuuden, joka määrittää kunkin lajin kyvyn reagoida ilmaston lämpenemiseen.

5.2 Mahdollisia syitä populaatioiden taantumiselle

Kevätmuuton aikaistuminen ei välttämättä tarkoita, että muuttolinnut pystyisivät seuraamaan kaikkia ilmastonmuutoksen aiheuttamia muutoksia. Kasvien ja hyönteisten fenologia voi muuttua eri nopeudella kuin lintujen muutto ja pesintä. Tällöin poikasten suuri ravinnontarve ja ravinnon runsaushuippu voivat ajoittua eri aikaan. Tätä sanotaan fenologiseksi tai trofiseksi epäsuhdaksi. Fenologinen epäsuhta nousi 2000-luvun alussa keskeiseksi selitykseksi (Both ja Wisser, 2001) sille, miksi erityisesti pitkänmatkanmuuttajien populaatiot olivat taantuneet.

Muuttolintulajit, jotka eivät olleet aikaistaneet kevätmuuttoaan (Møller ym. 2008) ilmaston lämmetessä, olivat keskimäärin taantuneet enemmän kuin lajit, joiden muuttofenologia oli muuttunut. (Saino ym. 2010) tutkivat 117 eurooppalaista muuttolintulajia ja havaitsivat että erityisesti Saharan eteläpuolisessa Afrikassa talvehtivien lajien saapuminen oli myöhästynyt suhteessa kevään etenemiseen. Suurempi suhteellinen viive saapumisessa oli yhteydessä populaatioiden vähenemiseen. Tällaiset tulokset tukivat käsitystä siitä, että puutteellinen fenologinen vaste ilmastonmuutokseen voisi olla yhteydessä populaatioiden vähenemiseen.

Myöhempi tutkimus on kuitenkin osoittanut havaittua yhteyttä voi tulkita yksinkertaiseksi syy-seuraussuhteeksi. Tutkittaessa (Franks ym., 2018) 21 brittiläisen lintulajin pesinnän ajoittumista suhteessa kasvien ja hyönteisten kevätfenologiaan, lajit, joiden pesinnän ajoitus oli muuttunut vähiten, olivat usein myös voimakkaammin taantuneita. Lämpiminä keväinä lintujen ja muun kevätfenologian välinen epäsuhta kasvoi, mutta sen vaikutus vuosittaiseen lisääntymistuotantoon oli

vain vähäinen. Tutkimus ei siten tukenut ajatusta siitä, että havaittu populaatioiden taantuminen johtuisi suoraan fenologisen epäsuhdan aiheuttamasta lisääntymistuoton heikkenemisestä. Fenologinen epäsuhta voi sen sijaan olla merkki siitä, että tietyt lajit ovat herkkiä myös muille ympäristön muutoksille.

Vaihtoehtoinen selitys liittyy muuttolintujen vuosikiertoon Pesimäalueelle saapumisen ajankohta ei määräydy ainoastaan pesimäalueen kevään etenemisen perusteella, vaan siihen vaikuttavat myös talvehtimisalueiden ja muuttoreittien olosuhteet. Pitkänmatkan muuttaja voi saapua pesimäalueelleen myöhään mutta syy voi olla tuhansien kilometrien päässä pesimäalueesta.

Tämä osoitettiin (Tøttrup ym. 2012), seuraamalla yksittäisiä pikkulepinkäisiä *(Lanius collurio)* ja satakieliä *(Luscinia luscinia)* niiden kevätmuutolla Afrikasta Pohjois-Eurooppaan. Vuonna 2011, useiden Saharan eteläpuolella talvehtivien lajien saapuminen Luoteis-Eurooppaan oli poikkeuksellisen myöhäistä. Seurattujen lintujen myöhästyminen liittyi Afrikan sarven alueen voimakkaaseen kuivuuteen, joka pidensi lintujen pysähdystä muuttomatkan aikana. Tutkimus osoitti suoraan yhteyden muuttoreitin paikallisten ilmasto olosuhteiden ja tuhansien kilometrien päässä sijaitsevalle pesimäalueelle saapumisen välillä.

Talvehtimisalueiden olosuhteet voivat vaikuttaa lintuihin vielä pesimäkaudella (Norris ym., 2004) tutkivat Pohjois-Amerikassa loistokerttulia *(Setophaga ruticilla)* ja osoittivat talvehtimisympäristön laadun olevan yhteydessä pesimäalueelle saapumisen ajankohtaan ja lisääntymismenestykseen. Hyvänlaatuisesta talvehtimisympäristöstä saapuneet yksilöt saapuivat aikaisemmin pesimäalueille, ja sillä oli positiivista vaikutusta lisääntymismenestykseen.

5.3 Tutkimuksen rajoitukset ja tulevaisuuden tutkimustarpeet

Lintujen kevät muuttoa on tutkittu runsaasti ja tutkimustulokset tukevat käsitystä siitä, että ilmaston lämpeneminen on muuttanut kevätmuuton ajoitusta. Tulosten tulkintaan liittyy kuitenkin epävarmuustekijöitä (Lehikoinen ym., 2019; Gordo, 2007), kuten aineistojen laatu, tutkimusmenetelmien erot ja muuttolintujen monimutkainen elinkierto.

Yksi yleisimmistä käytetyistä muuttujista (Lehikoinen ym., 2019), on kevään ensimmäinen havaintopäivä Ensihavaintojen käyttö mahdollistaa pitkien havaintosarjojen hyödyntämisen, mutta ensimmäinen havainto voi perustua yksittäiseen varhain saapuneeseen lintuun eikä välttämättä kuvaa koko populaation muuttokäyttäytymistä. Tämän vuoksi uudemmissa tutkimuksissa on tarkasteltu muuttokauden mediaania ti koko muuttokauden jakaumaa.

Kansalaistieteeseen perustuvan aineiston käyttäminen (Zaifman ym., 2017) mahdollistaa erittäin laajojen havaintoaineiston hyödyntämisen, mutta havaintojen alueellinen tai ajallinen jakautuminen ei ole täysin tasainen. Tämä voi vaikuttaa joidenkin lajien muuton arviointiin, erityisesti alueilla, joilla tehdään vähän havaintoja.

Useimmissa tutkimuksissa (Haest ym., 2020) muuttokäyttäytymistä tarkastellaan pesimäalueiden näkökulmasta. Nykyisin kuitenkin tiedetään, että kevät muuttoon vaikuttavat ratkaisevasti talvehtimisalueiden ja muuttoreittien olosuhteet.

Yksi tutkimuksellinen haaste liittyy syy-seuraussuhteiden erottamiseen (Norris ym., 2004; Tøttrup ym., 2012). Jos myöhään saapuvat lajit samalla taantuvat se ei vielä osoita, että myöhään saapuminen tai fenologinen epäsuhta olisi populaation taantumisen varsinainen syy, vaan molemmat voivat olla seurausta jostain kolmannesta asiasta kuten talvehtimisalueiden elinympäristön heikkenemisestä tai muuttoreittien epäedullisista sääolosuhteista.

Tulevaisuuden tutkimuksissa olisi tärkeää yhdistää pesimäalueidenpitkäaikaisseurannat yksilöiden vuosikierron seurantaan. Talvehtimisalueiden, levähdysalueiden ja pesimäalueiden olosuhteiden tarkastelu yhdessä mahdollistaisi arvioimisen missä vaiheessa vuosikiertoa populaatioihin vaikuttavat tekijät syntyvät.

Olisi myös tärkeää selvittää missä määrin kevätmuuton aikaistuminen perustuu eri lajien käyttäytymisen plastisuuteen (Pulido & Widmer, 2005), ja missä määrin evolutiiviseen sopeutumiseen. Plastisuus mahdollistaa nopean reagoinnin ympäristönmuutoksiin, mutta ilmaston lämpenemisen jatkuessa myös perinnöllisten muutosten merkitys voi kasvaa.

6 Johtopäätökset

Tarkasteltujen tutkimuksien perusteella ilmaston lämpeneminen on aikaistanut lintujen kevätmuuttoa laajasti, sekä Euroopassa että Pohjois-Amerikassa. Tämä muutoksen voimakkuus kuitenkin vaihtelee lajien ja niiden muuttostrategioiden välillä. Lyhyenmatkan muuttajat ovat keskimäärin aikaistaneet kevätmuuttoaan enemmän kuin pitkänmatkan muuttajat, mutta muuttomatkan pituus ei yksin selitä lajien välisiä eroja. Muuton ajoittumiseen vaikuttavat myös lajien ekologiset ominaisuudet sekä sääolosuhteet talvehtimisalueilla ja muuttoreittien varrella.

Muuttolintujen reagointia ilmastonmuutokseen tulisikin tarkastella koko vuosikierron näkökulmasta. Talvehtimisalueiden ja muuttoreitin olosuhteet voivat vaikuttaa sekä myöhempään saapumisen ajankohtaan että lisääntymismenestykseen. tämän vuoksi pesimäalueilla havaittuja muutoksia ei voida selittää pelkästään pesimäalueiden ilmaston perusteella.

Kevätmuuton aikaistuminen on selkeä ilmastonmuutokseen liittyvä fenologinen muutos, mutta lajien vasteet muodostuvat useiden tekijöiden summasta. Tulevaisuudessa pitkäaikaiset muutonseurannat tulisi yhdistää koko vuosikierron seurantaan, jotta voidaan paremmin ymmärtää missä vaiheessa vuosikiertoa ja miten ilmastonmuutos vaikuttaa muuttolintuihin ja niiden populaatioihin.

Lähteet

Bitterlin, L. R., & Van Buskirk, J. (2014). Ecological and life history correlates of changes in avian migration timing in response to climate change. Climate Research, 61(2), 109–121. https://doi.org/10.3354/cr01238

Both, C., & Visser, M. E. (2001). Adjustment to climate change is constrained by arrival date in a long-distance migrant bird. Nature, 411(6835), 296–298. https://doi.org/10.1038/35077063

Butler, C. J. (2003). The disproportionate effect of global warming on the arrival dates of short-distance migratory birds in North America. Ibis, 145(3), 484–495. https://doi.org/10.1046/j.1474-919X.2003.00193.x

Cotton, P. A. (2003). Avian migration phenology and global climate change. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 100(21), 12219–12222. https://doi.org/10.1073/pnas.1930548100

Franks, S. E., Pearce-Higgins, J. W., Atkinson, S., Bell, J. R., Botham, M. S., Brereton, T. M., Harrington, R., & Leech, D. I. (2018). The sensitivity of breeding songbirds to changes in seasonal timing is linked to population change but cannot be directly attributed to the effects of trophic asynchrony on productivity. Global Change Biology, 24(3), 957–971. https://doi.org/10.1111/gcb.13960

Gordo, O. (2007). Why are bird migration dates shifting? A review of weather and climate effects on avian migratory phenology. Climate Research, 35, 37–58. https://doi.org/10.3354/cr00713

Haest, B., Hüppop, O., & Bairlein, F. (2020). Weather at the winter and stopover areas determines spring migration onset, progress, and advancements in Afro-Palearctic migrant birds. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 117(29), 17056–17062. https://doi.org/10.1073/pnas.1920448117

Jonzén, N., Lindén, A., Ergon, T., Knudsen, E., Vik, J. O., Rubolini, D., Piacentini, D., Brinch, C., Spina, F., Karlsson, L., Stervander, M., Andersson, A., Waldenström, J., Lehikoinen, A., Edvardsen, E., Solvang, R., & Stenseth, N. C. (2006). Rapid advance of spring arrival dates in long-distance migratory birds. Science, 312(5782), 1959–1961. https://doi.org/10.1126/science.1126119

Knudsen, E., Lindén, A., Ergon, T., Jonzén, N., Vik, J. O., Knape, J., Røer, J. E., & Stenseth, N. C. (2011). Challenging claims in the study of migratory birds and climate change. Biological Reviews, 86(4), 928–946. https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.2011.00179.x

Kullberg, C., Fransson, T., Hedlund, J., Jonzén, N., Langvall, O., Nilsson, J., & Bolmgren, K. (2015). Change in spring arrival of migratory birds under an era of climate change, Swedish data from the last 140 years. Ambio, 44(Suppl. 1), S69–S77. https://doi.org/10.1007/s13280-014-0600-1

Lehikoinen, A., Lindén, A., Karlsson, M., Andersson, A., Crewe, T. L., Dunn, E. H., Gregory, G., Karlsson, L., Kristiansen, V., Mackenzie, S., Newman, S., Røer, J. E., Sharpe, C., Sokolov, L. V., Steinholtz, Å., Stervander, M., Tirri, I.-S., & Tjørnløv, R. S. (2019). Phenology of the avian spring migratory passage in Europe and North America: Asymmetric advancement in time and increase in duration. Ecological Indicators, 101, 985–991. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.01.083

Møller, A. P., Rubolini, D., & Lehikoinen, E. (2008). Populations of migratory bird species that did not show a phenological response to climate change are declining. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 105(42), 16195–16200. https://doi.org/10.1073/pnas.0803825105

Norris, D. R., Marra, P. P., Kyser, T. K., Sherry, T. W., & Ratcliffe, L. M. (2004). Tropical winter habitat limits reproductive success on the temperate breeding grounds in a migratory bird. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, 271(1534), 59–64. https://doi.org/10.1098/rspb.2003.2569

Parmesan, C. (2006). Ecological and evolutionary responses to recent climate change. Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics, 37, 637–669. https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.37.091305.110100

Pulido, F., & Widmer, M. (2005). Are long-distance migrants constrained in their evolutionary response to environmental change? Causes of variation in the timing of autumn migration in a blackcap (Sylvia atricapilla) and two garden warbler (Sylvia borin) populations. Annals of the New York Academy of Sciences, 1046, 228–241. https://doi.org/10.1196/annals.1343.020

Saino, N., Ambrosini, R., Rubolini, D., von Hardenberg, J., Provenzale, A., Hüppop, K., Hüppop, O., Lehikoinen, A., Lehikoinen, E., Rainio, K., Romano, M., & Sokolov, L. V. (2010). Climate warming, ecological mismatch at arrival and population decline in migratory birds. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, 278(1707), 835–842. https://doi.org/10.1098/rspb.2010.1778

Travers, S. E., Marquardt, B., Zerr, N. J., Finch, J. B., Boche, M. J., Wilk, R., & Burdick, S. C. (2015). Climate change and shifting arrival date of migratory birds over a century in the northern Great Plains. The Wilson Journal of Ornithology, 127(1), 43–51. https://doi.org/10.1676/14-033.1

Tøttrup, A. P., Klaassen, R. H. G., Kristensen, M. W., Strandberg, R., Vardanis, Y., Lindström, Å., Rahbek, C., Alerstam, T., & Thorup, K. (2012). Drought in Africa caused delayed arrival of European songbirds. Science, 338(6112), 1307. https://doi.org/10.1126/science.1227548

Usui, T., Butchart, S. H. M., & Phillimore, A. B. (2017). Temporal shifts and temperature sensitivity of avian spring migratory phenology: A phylogenetic meta-analysis. Journal of Animal Ecology, 86(2), 250–261. https://doi.org/10.1111/1365-2656.12612

Végvári, Z., Bókony, V., Barta, Z., & Kovács, G. (2010). Life history predicts advancement of avian spring migration in response to climate change. Global Change Biology, 16(1), 1–11. https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2009.01876.x

Walther, G.-R., Post, E., Convey, P., Menzel, A., Parmesan, C., Beebee, T. J. C., Fromentin, J.-M., Hoegh-Guldberg, O., & Bairlein, F. (2002). Ecological responses to recent climate change. Nature, 416(6879), 389–395. https://doi.org/10.1038/416389a

Zaifman, J., Shan, D., Ay, A., & Jimenez, A. G. (2017). Shifts in bird migration timing in North American long-distance and short-distance migrants are associated with climate change. International Journal of Zoology, 2017, Article 6025646. https://doi.org/10.1155/2017/6025646