

Porolaidunnuksen vaikutukset boreaaliseen metsäekosysteemiin Fennoskandiassa

Vilja Männistö

Maantieteen LuK-tutkielma
Maantieteen tutkimusyksikkö
Oulun yliopisto

Sisällysluettelo

1.	Johdanto	4
2.	Porolaidunnus ja -talous Fennoskandiassa.....	6
3.	Boreaalin metsäekosysteemi	9
3.1.	Metsätyyppien piirteet	9
3.2.	Kasvillisuus.....	9
3.2.1.	Jäkälät	9
3.2.2.	Sammalet.....	11
3.2.3.	Puusto.....	12
3.3.	Ilmasto.....	14
3.4.	Kasvillisuusvyöhykkeet	15
3.5.	Uhat.....	17
4.	Porolaidunnuksen vaikutukset	19
4.1.	Mekaaniset vaikutukset.....	19
4.2.	Kemialliset vaikutukset.....	20
5.	Pohdinta	22
6.	Lähdeluettelo.....	25

Tiivistelmä

Fennoskandian luonto on äärimmäisen omalaatuinen ja merkittävän suuri ja vaikutusvaltainen biomi myös koko maapallolla. Sen luonnon monimuotoisuus ja herkkyys ovat erityisiä erityisesti ilmaston muuttumisen kannalta, sillä sen ominaisuuksien muutoksesta voidaan tarkastella globaalilla tasolla tapahtuvia muutoksia varsin tarkasti. Monimuotoisuutta ja sen säilymistä kuitenkin koetellaan monesta syystä, joista tarkastelun kohteena tässä tutkimuksessa on poro (*Rangiferus tarandus*) ja sen laidunnuksesta aiheutuvat muutokset ympäristössä.

Poro on varsin laajalle Fennoskandiassa levinnyt laiduntava hirvieläinlaji, joka saa aikaan paljon tuhoa ja muutosta ympäristössään. Laidunnuksen vaikutusten arviointi on hyvin merkittävää ympäristön toiminnan ja luonnon monimuotoisuuden kannalta, sillä laidunnuspaine kohdistuu yhä laajemmalle alueella ja yhä voimakkaammin. Lisääntyvät ja kasvavat porotokkien määrät aiheuttavat ympäristöön huomattavan paineen, joista pahin kohdistuu eri jäkälälajeihin (*Cladonia*). Jäkälä on ekosysteemissä merkittävä toimija, joka vaikuttaa monimuotoisesti ravinteiden kiertoon ja muiden lajien toimintaan.

Laidunnuksen vaikutusten arviointeja on merkittävää seurata, sillä sen vaikutusten arviointi pätee koko ympäristön ja ekosysteemin toimintaan. Fennoskandian boreaalinen metsäekosysteemi on uhattuna ilmastonmuutoksen seurauksena, mutta myös sen sisäisten uhkien arviointi on tärkeää. Porojen laidunnuksesta aiheutuva paine ja sen haittojen arviointi auttaa tulkitsemaan kokonaisvaltaisesti ympäristövaikutuksia alueellisesti. Fennoskandian ollessa globaalisti merkittävä alue sen ominaisen ekosysteemin kannalta, on vaikutuksia syytä arvioida tarkasti. Alueellisesti ja paikallisesti lajien välistä kilpailua ja uhkia saadaan myös seurattua, kun huomioidaan niiden toiminnassa laidunnuksesta aiheutuva paine. Porolaidunnuksen seuraaminen on siis erittäin tärkeää koko ekosysteemin toiminnan kannalta, jotta uhkia ja vaikutuksia voidaan arvioida tarkasti.

1. Johdanto

Poro (*Rangiferus tarandus*) on arktisella alueella elävä hirvieläin laji, joka laiduntaa puolivillinä kaikissa Fennoskandian maissa sekä Venäjällä. Laji on tunnettu monesta, mutta pääasiassa se on kotieläin, jolla harjoitetaan ekonomista ja kulttuurista toimintaa, joka perustuu hyvin vahvasti saamelaiseen kulttuuriin. Porojen hoitaminen ja pitäminen kotitalouseläiminä juontaa juurensa hyvin kauas historiaan, missä se on aikanaan ollut hyvin tärkeä eläin taloudellisesta näkökulmasta. Nykypäivänä laji on edelleen merkityksellinen taloudellisen näkökulman kannalta, mutta myös kulttuurisesti poro on arvokas laji. Kuitenkin nykypäivänä lajin populaatio- ja yksilömäärän noustessa huomasti, on lajin vaikutuksia ympäristöön alettu tarkastelemaan uudenaikaisista näkökulmista. Nämä näkökulmat perustuvat vahvasti siihen, kuinka porojen laiduntaminen vaikuttaa ympäristöön ja luonnon toimintaan, huomioiden samalla myös ekologisen näkökulman. Tässä tutkielmassa porojen laiduntamista tarkastellaan ekosysteemin toimintaan vaikuttavana tekijänä, jossa porojen laidunnuksen paineet ympäristölle arvioidaan. Tutkielmassa halutaan ottaa selvälle, kuinka porojen laidunnuksen vaikutukset ilmenevät ekosysteemin toiminnassa ja vaikuttaako se ekosysteemin toimintaan tai rakenteeseen sekä aiheuttaako laidunnus muutoksia ekosysteemissä.

Porojen laidunnuksen vaikutusten arviointi on rajattu tässä tutkimuksessa otsikon mukaisesti boreaaliseen metsäekosysteemiin, tarkemmin rajattuna Fennoskandiaan. Aiheen rajausta pohjautuu porojen elinalueen määrittelyyn tietyssä ekosysteemissä, joista tarkasteluun on valittu boreaalinen metsäekosysteemi. Poro on tavanomainen ekosysteemin laji Fennoskandiassa, mutta vastaavissa elinympäristöissä esimerkiksi Pohjois-Amerikassa, poroja ei esiinny. Muilla boreaalisilla metsäekosysteemin alueilla tavataan poron alalajia, karibua, joka kuuluu *Rangiferus*-sukuun. Aiempaa tutkimusta porojen laiduntamista on tehty huomattavasti arktisen alueen puolelta, joissa tarkastellaan erityisesti porolaidunnuksen vaikutusta jäkälien ja sammalten määrään (Väre, ym. 1995). Tutkimusta on kuitenkin tehty myös metsäekosysteemeistä, sillä laidunnuksen vaikutuksia on haluttu tarkastella myös eri ekosysteemin silmin. Boreaalinen metsäekosysteemi sijoittuu siis tutkielman kohdealueeksi luontevasti, sillä se on porolle ominainen elinympäristö ja sen pinta-ala Fennoskandiassa on suuri, jopa 35% skandien alueesta (Köster, ym. 2018). Vaikutukset laidunnuksesta ovat myös erilaisia erilaisissa ekosysteemeissä. Ilmastonmuutoksen seurauksena laidunnusalueet ovat muuttuneet ja laajentuneet yhä laajemmalle, toisin sanoen yhä etelämmäs ja pohjoisemmaksi (Roturier & Bergsten, 2006).

Lajina poro on hyvin mielenkiintoinen, sillä se lasketaan kotitalouseläimeksi, mutta se ei ole domestikoitunut kotieläin, vaan poro laiduntaa puolivillinä. Porojen laidunnusalue on hyvin suuri, jonka vuoksi se koskettaa hyvin montaa ekosysteemiä ja elinympäristöä. Laidunnus ja siitä syntyvä

ympäristöllinen paine kuitenkin vaihtelevat sen mukaan, kun porojen laidunnusta säädellään ja siirretään vuodenaikojen mukaan. Muuttomatkat laitumien välillä voivat olla suuriakin, jonka vuoksi alueellinen paine vaihtelee huomattavasti. On kuitenkin tärkeää huomioida myös alueellinen sietokyky ja vaste laidunpaineeseen, jotka vaikuttavat ympäristön kykyyn sopeutua laidunnukseen. Vaikutukset laidunnuksesta ovat monipuolisia ja vaikuttavat koko ekosysteemin toimintaan (Selonen, ym., 2014 : Stark, ym. 2023). Laidunnuksen vaikutukset kohdistuvat erityisesti ympäristön maaperään ja kasvuun, esimerkiksi maaperän mineralisaatioon sekä kasvilajien esiintymiseen ja säilymiseen alueellisesti (Stark, ym. 2003). Vaikutukset maaperässä ja lajistossa johtavat aina toinen toisiinsa, jonka vuoksi yhden tekijän vaikutusten arviointi voi johtaa toisen tekijän muutoksiin, joka tekee tutkimuksesta tärkeää sekä ajankohtaista.

Ajankohtaista tutkimus on erityisesti ilmastonmuutoksen aiheuttaman paineen seurauksena. Ilmastonmuutos vaikuttaa ympäristön rakenteeseen ja monella skaalalla lajistoon alueittain, mutta myös muuttaa porojen laidunnusalueita (Stark, ym. 2023). Tutkimus siis jatkuvasti kehittyy ja muuttuu, kun ympäristö muuttuu jatkuvan muuttuvan paineen myötä. Porolaidunnus on myös jo kautta aikain aiheuttanut kiistaa maankäytöstä Turunen & muut (2020) kertovat. Alueellisten muutosten vuoksi myös laidunnusalueet muuttuvat, ja niistä saattaa syntyä kiistoja. Erityisesti kiistaa on kahden suuren maankäyttötyypin välillä: metsätalouden ja porotalouden (Turunen, ym., 2020). Laidunnus aiheuttaa muutoksia ympäristöön ja muuttuva ympäristö aiheuttaa muutoksia laidunnukseen, jolloin molempien vastakkaiset vaikutukset muuttuvat jatkuvasti. Porolaidunnuksesta puhutaankin jatkuvasti tutkimuksessa niin metsätalouden puolelta kuin myös luonnonsuojelun kannalta.

Luonnon monimuotoisuuden suojelun kannalta porolaidunnuksen vaikutusten arviointi on hyvin merkityksellistä. Laidunnus vaikuttaa luonnon toimintaan hyvin monin eri tavoin ja täten vaikuttaa myös ekosysteemin toimintaan. Laidunnuksen määrän lisääntyminen kasvavien populaatiokokojen vuoksi aiheuttaa uutta ja lisääntyvää painetta ympäristölle (Stark, ym. 2023). Ympäristöön kohdistuvan paineen tarkastelemien on luonnon toiminnan kannalta tärkeää, jotta voimme ymmärtää kuinka ekosysteemi toimii ja mikä sen ekologinen tila on. Esimerkiksi kuinka biodiversiteetti määräytyy ja mikä sen laatu on, sekä mitkä ovat ekosysteemin toiminnan kannalta avainasemassa olevia lajeja. Näiden toimijoiden perusteella voidaan määritellä alueellisen ekosysteemin toimintaa ja laatua sekä arvioida sen tulevaisuutta.

2. Porolaidunnus ja -talous Fennoskandiassa

Fennoskandiassa porolaidunnus on hyvin tyypillinen maatalouden harjoitusmuoto, jota tavallisesti pidetään alkuperäiskansojen kuten saamelaisten elinkeinona. Porot laiduntavat osittain luonnonvaraisina, eli ovat puolikesytettyjä kotitalouseläimiä, joiden laidunnusta säädellään alueellisesti. Poroja esiintyy Fennoskandiassa varsin laajasti, mutta pääosin niiden elinalueet ja laidunnusalueet ovat yhteneväisiä Saamelaisen alueen kanssa, jota havainnollistetaan kuvassa 1. Tämä yhteneväisyys elinalueiden kesken johtuu pääsääntöisesti siitä, että porotalous on alun perin, ja on yhä edelleenkin, pääasiassa Saamelaisen kulttuurin harjoitettava elinkeino. Fennoskandian luonto ja ekologinen ympäristö ovat hyvin herkkiä muutoksille, mutta toimivat samalla erinomaisesti porotalouden harjoittamiseen.

Fennoskandian alue sijaitsee Pohjois-Euroopassa ja se kattaa osakseen Norjan länsirannikolta itäiseen Venäjään ulottuvat maat, joihin lukeutuu mukaan koko Ruotsi ja Suomi. Alueen maisemat ja luonto karakterisoi monimuotoisen luonnon ja maastojen muotoja, muodostaen vuonoja ja vaaramaisemia mutta myös metsäisiä alueita. Alueen ilmasto vaihtelee laajasti eri alueiden välillä, riippuen sen topografiasta sekä maantieteellisestä sijainnista. Ilmasto vaikuttaa hyvin vahvasti alueen sijainti suhteessa mereen, sillä meren läsnäolo vaikuttaa ilmassojen kulkuun sekä energian ja lämmön sitomiseen niin maaperään kuin veteen. Muuttuva ja vaihteleva ilmasto luo alueelle hyvin ominaisen kasvillisuuden sekä eläimistön, jossa myös porotalous on hyvin ominaisessa asemassa, joka luo Fennoskandiaan ominaisen alueellisen kulttuurin ja talouden muodon (Greiser, ym. 2018). Fennoskandian maantieteellinen sijainti ja sen herkkä monimuotoinen luonto tekevät siitä erittäin tärkeän ekologisen ja kulttuurisen alueen, jolla on suuri merkitys esimerkiksi ilmastonmuutoksen tutkimuksessa (Soja, ym. 2007).

Jopa 35% koko Skandien alueesta on osa porotalouden aluetta, eli aluetta jossa porojen annetaan laiduntaa (Köster, ym., 2018). Alueellisesti porojen laidunnusalue ylittää Ruotsin ja Norjan pohjoisosista Suomen Lappiin sekä tavoittaa Venäjän pohjoisosan. Pääsääntöisesti porot laiduntavat tuntureilla ja taigametsissä, sellaisissa ekotoneissa joissa niillä on suotuisat elinolosuhteet ja ravintoa. Laidunnusalue kuitenkin vaihtelee vuodenaikojen mukaan ja porojen laidunnusta säädelläänkin vuodenaikaisen vaihtelun perusteella. Laidunnuksen vaihtelu perustuu lämpötilan muutoksiin ja ravinnon tasaisempaan saantiin. Laitumia vaihdellaan tasaisesti, jotta ympäristö pystyy sopeutumaan siihen kohdistuvaan laidunnuspaineeseen (Roturier & Bergsten, 2006). Vaihtelun tavoitteena on siirtää laiduntavat porot talvella lauhkeammalle alueelle, jotta niiden ravinnonsaanti helpottuu, kun taas kesällä niiden siirto kohdistuu viileämmille alueille (Sandström, ym., 2016). Ruotsissa ja Norjassa alueiden

välinen vaihtelu näkyy erityisesti vuoristoisen alueen hyödyntämisenä, jossa kesäisin viileämpi vuoristo toimii parempana laidunalueena poroille (Sandström, ym., 2016). Sandströmin & muiden (2016) mukaan porot vaeltavat Ruotsissa suuriakin määriä lautumien välillä, jopa 700 km matkan.

Porojen määrä Fennoskandiassa on hyvin suuri, jo pelkästään Suomessa on noin 70 000 poroa boreaalisen metsävyöhykkeen alueella (Turunen, ym., 2020). Kuitenkin koko Fennoskandian alueella poroja oletetaan olevan noin 600 000–700 000 yksilöä, ja määrä vaihtelee vuosittain ja alueittain jatkuvasti. Määrän odotetaan vain kasvavan koko alueella yhteensä, sillä porojen lisääntymispotentiaali kasvaa muun muassa ilmastonmuutoksen tuomien seurauksien takia (Soja, ym. 2007). Laiduntavat porot kulkevat tokissa, joidenka koko vaihtelee alueellisesti sekä ympäristön muutosten seurauksena. Eniten poroja elää Norjassa ja Suomessa, jotka ovatkin suurimmat porotalouden harjoittajat Fennoskandiassa Turusen & muiden (2020) mukaan. Poroja ja niiden liikkeitä seurataan useimmiten GPS (*Global Positioning System*) paikannusmenetelmien, kuten GPS-pantojen avulla. Laidunnuksen ja vaeltamisen seuraamisen lisäksi porojen määrästä pidetään kirjaa tokkien hoidon ja laskennan yhteydessä. Porojen määrään vaikuttaa vahvasti myös ympäristön tuomat haasteet ja mahdollisuudet. Esimerkiksi Valingerin & muiden (2018) mukaan ilmastonmuutos voi vaikuttaa sekä positiivisesti että negatiivisesti porojen lisääntymiseen sekä selviytymiseen luonnossa. Rankat kylmät talvet voivat verottaa porotokasta useamman yksilön kylmyyden ja ravinnonpuutteen vuoksi, kun taas kesällä kuumuus ja saattaa käydä yksilöiden kohtaloksi (Valinger, ym. 2018).

Porotalous on keskeinen osa pohjoisen alueen eli Fennoskandian kulttuuria ja taloutta, ja sen juuret juontavat vuosisatojen taakse. Talouden harjoittaminen luo monenlaisia työpaikkoja ja työllisyyttä, joita perinteisesti harjoitetaan alkuperäiskansojen kuten saamelaisien toimesta. Tavoitteena saamelaisilla on Valingerin & muiden (2018) mukaan saada aikaan kestävä taloutta niin ekonomisesti kuin ekologisesti tarkasteltuna. Porojen laiduntaminen ei ole sidoksissa maan omistajuuteen, jonka vuoksi porolaidunnus aiheuttaa paljon kiistoja ja haasteita muiden tahojen kanssa (Turunen, ym., 2020). Erityisesti kiistoja syntyy metsätalouden harjoittajien kanssa, sillä porot tuottavat laidunnuksellaan monia metsän laatua heikentäviä ominaisuuksia, jotka vaikuttavat metsätalouden harjoittamiseen (Turunen, ym., 2020). Myös kaivostoiminta ja muut rajatut alueet vaikuttavat negatiivisesti porotalouden harjoittamiseen, sillä ne rajaavat laidunalueita pois sekä heikentävät niiden laatua (Valinger, ym., 2018). Suomessa porojen laidunnusta sekä porotaloutta hallinnoidaan valtion tasolla Metsähallituksen toimesta, kertoo Turunen & muut artikkelissaan (2020).



Kartta 1 Havainnollistava karttakuva, jossa esitetään porojen laidunnusalue Suomessa suhteutettuna saamelaisten koti- tai asuinalueeseen (Lähde: Turunen, ym. 2020)

3. Boreaalinen metsäekosysteemi

3.1. Metsätyypin piirteet

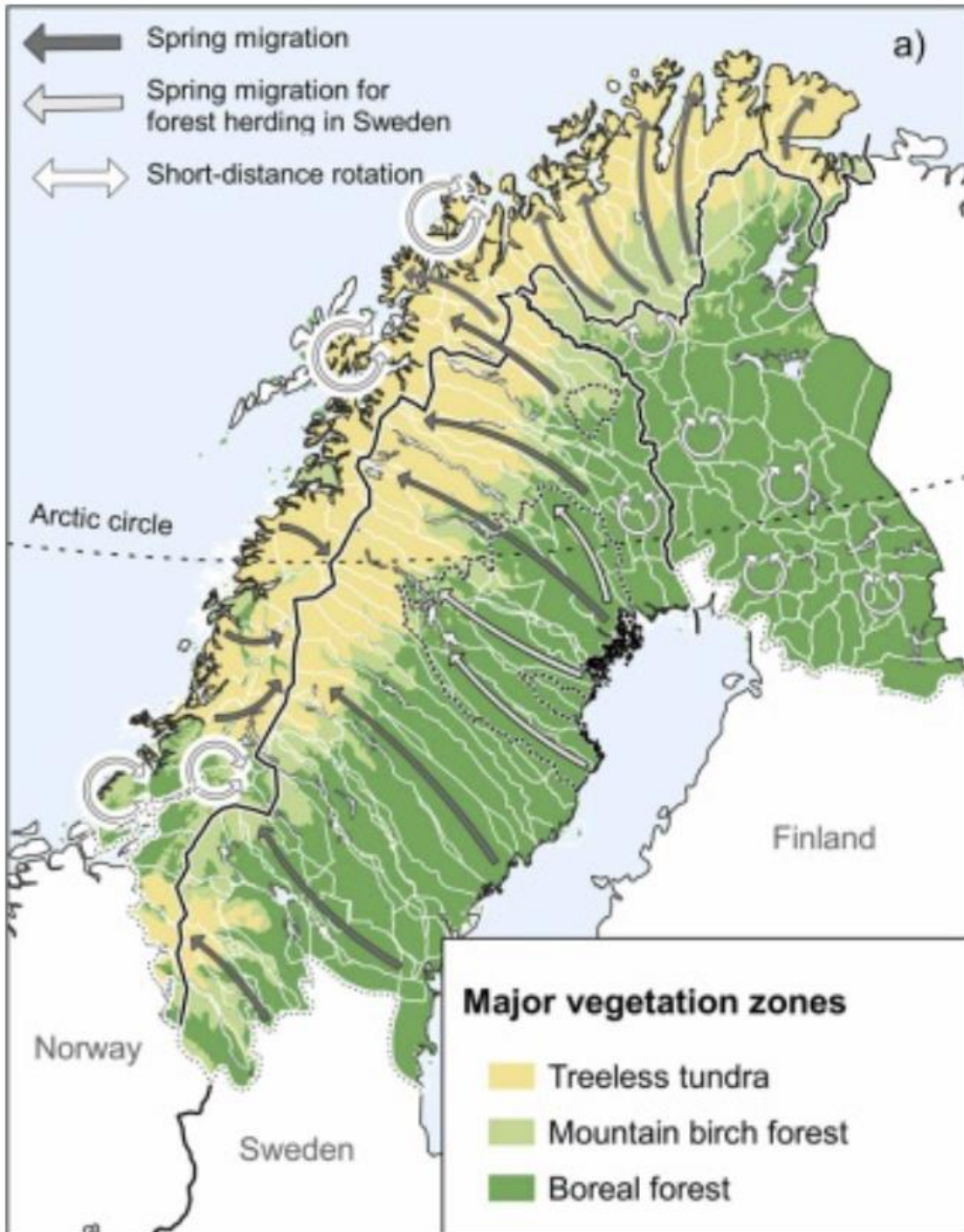
Boreaalinen metsäekosysteemi kattaa suurimman osan Fennoskandian alueesta, ollen samalla yksi maailman merkittävimmistä ja ainutlaatuisimmista ekosysteemeistä. Pohjoinen metsäekosysteemi ulottuu aina Norjan vuonoilta Venäjälle, peittäen samalla Ruotsin ja Suomen alleen (Katso kartta 2). Alueelle on ominaista sen havupuiden vallitseminen tyypillisimpänä puulajina, joista kuusi (*Picea abies*) ja mänty (*Pinus sylvestris*) ovat tuttavallisimpia näkyjä tässä metsätyypissä. Lisäksi tavallisesti boreaalissa metsäekosysteemissä tavataan myös lehtipuita kuten koivua (*Betula*). Nämä tyypillisimmät puulajit ovat tottuneet hyvin äärimmäisiin olosuhteisiin, jonka vuoksi ne muodostavatkin täysin oman kasvillisuusvyöhykkeensä. Puulajit ovat tottuneet hyvin lyhyeen kasvukauteen, karuun maaperään sekä pitkiin talviin. Siitä huolimatta ne tarjoavat erityisen elinympäristön monille muille kasvi- ja eläinlajeille, muodostaen oman elinympäristönsä.

Vaativiin olosuhteisiin tottuminen on muodostanut alueelle hyvin monimuotoisen lajiston. Kasvilajeihin lukeutuu monet erilaiset jäkälät ja sammalet sekä erilaiset pensaskasvit. Monimuotoisuutta aiheuttaa hyvin monimuotoinen maasto, eli kasvupaikkojen runsaus. Erilaisia kasvualustoja löytyy monia esimerkiksi soita, kallioisia alueita, ranta-alueita ja eri kosteuden omaavia alueita. Lisäksi metsän ikä vaikuttaa alueelliseen lajistoon (Turunen, ym. 2020). Boreaalinen metsäekosysteemis tarjoaa elinympäristön myös monille uhanalaisille eläinlajeille kuten ilvekselle (*Lynx Lynx*) ja ahmalle (*Gulo gulo*). Lajien välille muodostuu hyvin monimutkaisia vuorovaikutuksia, jotka näkyvät esimerkiksi ekolokeroiden muodostumisena (Kuuluvainen, 2002). Vuorovaikutus myös vaikuttaa lajien väliin suhteisiin, kuten peto-saalis-suhteeseen.

3.2. Kasvillisuus

3.2.1. Jäkälät

Jäkälät (*Cladina.*) tai (*Cladonia.*) eivät ole kasvilajeja, vaan symbioottisia eliöitä, jotka muodostuvat yhteyttävistä mikro-organismeista. Yleisimpiä Suomessa esiintyviä lajeja ovat *Cladonia* -suvun jäkälälajit kuten Palleroporonjäkälä (*Cladonia rangiferina*) ja Kangasjäkälät sekä Rennakkalajit (*Cladonia spp.*). Lisäksi Suomessa esiintyy runsaasti *Peltigera*-suvun lajeja eli Nahkajäkälää sekä ilmanlaadun



Kartta 2 Karttakuva, jossa esitetään boreaalisen metsäekosysteemin levinneisyysalue Fennoskandiassa (Lähde: Stark, ym, 2023)

muutoksille herkkää Naavaa (*Usnea spp.*) Monet lajeista ovat morfologialtaan hyvin erilaisia, mutta joiden tyypillisiä piirteitä ovat haarautuneet tai torvimaiset rakenteet, jotka muodostavat suuriakin mätätä. *Cladonia*-suvun lajit ovat kaikki muodostuneet sienen ja yhteyttävän levän tai syanobakterrin symbioottisesta suhteesta, joka määrittelee lajien rakenteesta samankaltaisen (Den Herder, ym, 2003).

Rakenteeltaan samankaltaiset jäkälät myös ovat väriltään hyvin samankaltaisia ja niiden värien gradientti vaihtelee valkoisesta vihertävään, riippuen lajista ja kasvuolosuhteista.

Kasvaakseen jäkälät tarvitsevat oleellisen kasvualustan itselleen. Jäkälistä monet lajit ovat sopeutuneet elämään laajalla alueella ja niistä monet esiintyvätkin lähes koko Suomessa alueittain. Lajit ovat sopeutuneet hyvin kasvamaan myös äärimmäisissä olosuhteissa, kuten tundralla, vuoristoissa ja kuivilla alueilla, pääosin kuitenkin kylmässä tai lauhkealla ilmastovyöhykkeellä globaalisti tarkasteltuna. Kasvualustan ja paikan tulee olla otollinen myös yhteyttämiselle, eli paikan tulee olla valoisa (Akujärvi, ym. 2014). Jäkälät tarvitsevat kasvaakseen huomattavan määrän valoa, jonka vuoksi jäkälää esiintyy laajasti avoimilla alueilla ja harvemmin tiheästi kasvavissa metsissä (Den Herder, ym. 2003). Näkyvää osaa jäkälästä, eli maan päällä kasvava osa kasvusta, kutsutaan Tallukseksi. Tallus on hyvin hidas kasvaja, sen huomattavaan kasvuun voi mennä vuosikymmeniä. Keskimäärin tallus kasvaa noin muutaman millimetrin vuodessa ja jäkälän kasvaminen kokonaiseksi kestää keskimäärin 30-40 vuotta (Väre, ym., 1995).

Ekologisesti jäkälä on hyvin merkityksellinen osa ekosysteemin toimintaa. Jäkälät toimivat ravintona erityisesti poroille, mutta ovat myös tärkeä osa ekosysteemin rakennetta. Maaperän rakenteeseen jäkälät vaikuttavat huomattavasti, sillä niillä on ominaisuus kerätä orgaanista ainesta ja tyypeä (N) maaperään (Väre, ym, 1995 : Stark, ym, 2000). Orgaanista ainetta, eli esimerkiksi hiiltä ja orgaanisia happoja erittyy jäkälän rihmastosta maaperään ja vaikuttaa täten maaperän ravinteiden määrään ja siten myös muiden kasvien kasvuun ja elinkiertoon. Aineenvaihduntaan vaikuttaa myös hiili-dioksidin sitominen osana yhteyttämistä (Stark, ym, 2003). Rakenteeltaan herkkä jäkälä osoittaa herkästi ympäristön muutokset, esimerkiksi ilmanlaadun muuttuminen saattaa vaikuttaa lajin esiintymiseen ja ulkonäköön (Selonen, ym, 2014). Maaperään ja sen rakenteeseen jäkälillä on huomattava positiivinen vaikutus. Jäkälän maan alla oleva rihmasto sitoo maaperää ja estää täten esimerkiksi maaperän eroosiota.

3.2.2. Sammalet

Sammalet (*Bryophyta.*) ovat yksinkertaisia kasvilajeja, joiden pääasiallinen kasvualusta on maassa ja kivikkoisilla alueilla. *Bryophyta*-sukuun kuuluu monia eri lajeja, joista Suomessa tavataan lähes kaikkia eri ekosysteemeissä ja luontotyypeissä. Esimerkiksi Karhunsammal (*Bryophyta Polytrichum*), Rantakukkasammal (*Bryophyta Hypnum*) ja Kiehkurasammal (*Beyophyta Dicranum*) ovat tuttavallisia näkyjä Suomen luonnossa. Muita tunnettuja metsäekosysteemeissä tavattavia lajeja ovat esimerkiksi Seinäsammal (*Plagiothecium Undulatum*) ja Kerrossammal (*Hypnum Cupressiforme*). Tavallisimmin

sammaliin törmää metsäekosysteemeissä, sillä ne viihtyvät kosteissa ja hapekkaissa olosuhteissa, mutta myös muissa kosteissa ja otollisissa ympäristöissä.

Morfologialtaan sammalet ovat pieniä juurettomia kasveja, joilla on solukkomainen rihmastorakenne. Niiden rakenne muodostuu lehdestä, varresta ja juurista. Varsinainen kasvusto, eli gametofyytti, toisin sanoen kasvuston näkyvä osa, koostuu monista hyvin pienistä lehtimäisistä rakenteista. Sammalet ovat rakenteeltaan hyvin yksinkertaisia eikä niissä ole putkilosolukoita, kuten monimutkaisemmissa kasveissa, vaan niissä on hydroidisoluja, jotka kuljettavat vettä. Sammalet luokitellaan rakenteensa mukaan ei-vaskulaarisiin kasveihin, sillä niiltä puuttuu putkisolukko. Tavallisesti sammalet ovat pääasiassa aina vihreän eri sävyisiä, matalia mättäiksi muodostuneita kasautumia.

Sammalilla on merkittävä ekologinen arvo metsäekosysteemeissä. Niillä on erinomainen kyky sopeutua haastavaan ilmastoon ja samalla myös ominaisuuksia vaikuttaa ympäröivään luontoon monipuolisesti. Sammalten rakenne on yksi maaperään vaikuttavista seikoista, sillä niiden rihmaston avulla niillä on kyky sitoa maaperää huomattavan tehokkaasti (Turetsky, ym., 2012: 50). Maaperän sitominen itseensä estää tehokkaasti eroosiota alueilla, joissa maaperän rakenne on hauras tai kokee paljon painetta. Osa maaperään pääsevästä vedestä kulkee sammalten rakenteen läpi, jolloin veden pääseminen ja pidättäytyminen maaperään muuttuu. Sammalien ominaisuus säädellä veden määrää maaperässä on elintärkeä ominaisuus boreaalisessa metsäekosysteemissä, jossa kuivuuden ja kosteuden tasapaino vaihtelee (Turetsky, ym., 2012: 51). Rakenne toimii kuin pesusieni, sammalet säilyttävät kosteuden maaperässä ja estää sen haihtumista. Kosteuden tasapainottaminen on monille muille kasvilajeille elintärkeä, ja samalla myös tasapainottava tekijä koko ekosysteemissä. Lisäksi sammalet myös vaikuttavat ravinteiden kiertoon maaperässä. Ne sitovat itseensä ravinteita, kuten typpeä ja fosforia, joita muut kasvilajit voivat hyvin käyttää omaan tuotantoonsa kertoo Turetsky & muut (2012) artikkelissaan. Sammalet ovat siis yksi hyvin tärkeä elementti ekologisessa kontekstissa, sillä niiden ominaisuudet vaikuttavat monien muiden lajien kasvuun ja kehitykseen.

3.2.3. Puusto

Boreaalisessa metsäekosysteemissä huomattava osa metsän biomassasta on puuta, eli puuston osuus kasvillisuudesta on merkittävä. Puustolla on ekologisesti hyvin merkittävä rooli ekosysteemissä sen merkittävän määrän lisäksi myös sen ekologisten ominaisuuksien vuoksi. Yleensä kasvusto on suhteellisen tiheää ja koostuukin useista eri puolajeista, mutta se silti identifioidaan havumetsäksi. Yleisimmät tavattavat lajit boreaalisessa metsäekosysteemissä ovat havupuut eli mänty (*Pinus sylvestris*) ja kuusi (*Picea spp.*). Yleisin lehtipuu jota esiintyy alueella on koivu (*Betula spp.*). Puut toimivat

ekosysteemin ja ekologian monimuotoisina toimijoina, jotka vaikuttavat monien muiden lajien kasvuun ja kehittymiseen. Monet puulajit toimivatkin yhteistyössä ja yhteiselossa tiettyjen lajien, kuten jäkälien ja sammalien kanssa.

Keskeisessä roolissa metsän ja erityisesti puuston kasvulle on maaperä sekä sen laatu. Maaperän laatu ja rakenne vaikuttavat monin eri tavoin vastaavasti puuston laatuun ja rakenteeseen, mutta myös sen terveyteen ja kasvupotentiaaliin (Kuuluvainen, 2002; Greiser, ym. 2018). Maaperä ei toimi vain siis kasvualustana puille ja muille kasvilajeille, se tarjoaa metsän kehitykselle välttämättömiä asioita, kuten ravinteita, vettä ja happea. Kasvualustan rakenne vaikuttaa hyvin suoraviivaisesti myös puiden juurten kasvuun. Erityisesti rakenteella on vaikutusta siihen, miten puiden juuret kasvavat ja kuinka ne pystyvät sitomaan itsensä maaperään. Fysikaaliset ominaisuudet, kuten maaperän tekstuuri vaikuttavat myös siihen, kuinka puu pystyy kasvamaan ylöspäin, eli tarjoaako maaperä tarpeeksi tukevan kasvualustan puustolle alueellisesti (Larsson & Danell, 2001). Puiden juurilla on ominaisuus sitoa maaperää, jolloin vuorovaikutus kasvin ja maaperän välillä tulee esille, kertoo Larsson & Danell (2001). Rakenteensa puolesta esimerkiksi hiekka- ja savimaat saattavat olla haastavia kasvualustoja. Hiekkainen maaperä vaatii puulta pitkälle ulottuvat juuret, sillä hiekkaisessa maaperässä vesi kulkeutuu tehokkaammin kohti kallioperää (Kuuluvainen, 2002). Kun taas savinen maa pidättää vettä tehokkaammin myös maaperän pintakerroksessa, jolloin syvälle ulottuvat juuret eivät ole kasvupaikalla niinkään eduksi. Yleisin maannos, jota borealisessa metsäekosysteemissä on, on podsoli-maannos.

Myös maaperän kemialliset ominaisuudet ovat yksi merkittävimmistä asioista, jotka vaikuttavat puuston laatuun ja kasvuun. Maaperän pH-arvon tulee olla sopiva, jotta kasvua voi tapahtua. Erityisesti pH-arvolla on vaikutusta siihen, kuinka maaperä sitoo itseensä ravinteita sekä vapauttaa niitä kasvien käyttöön (Barthelemy, ym. 2019). Merkittävimpiä ravinteita, joita maaperään sitoutuu ja siitä vapautuu ovat fosfori, typpi ja kalium. Näiden ravinteiden vaikutukset puuston kasvuun ovat lähes suoraan verrannollisia, jossa ravinneköyhä maaperä tarkoittaa myös kitukasvuista puustoa ja muuta kasvillisuutta. Myös hiilen varastointi ja kierto maaperässä vaikuttaa puiden ravinteiden saantiin ja täten myös niiden kasvuun (Greiser, ym. 2018). Hiilen kierto on monimutkainen prosessi, joka tapahtuu maaperän rakenteen ja ilmakehän välillä. Maaperän pH-arvo ja kyky sitoa itseensä ravinteita vaikuttavat siis metsän biomassaan sekä biodiversiteettiin, sillä tarjottavien ominaisuuksien määrä on suoraan verrannollinen mitattaviin määreisiin metsän ominaisuuksissa (Akujärvi, ym. 2014). Ravinteiden kertymiseen maaperässä vaikuttaa myös maaperän biologinen toiminta, kuten eläinten ja mikrobin toiminta. Mikrobit hajottavat jatkuvasti orgaanista ainesta maaperässä, jonka seurauksena maaperään vapautuu myös jatkuvasti ravinteita puiden ja muiden kasvien juurten käyttöön (Stark, ym. 2003). Mikrobitoiminnan lisäksi eläimet, kuten madot ja hyönteiset ovat osa ekologista toimintaa ja

vaikuttavat maaperään muokkaamalla sen rakennetta. Suuremmat eläimet, kuten herbivorit, vaikuttavat maaperän rakenteeseen tallomalla sitä, sekä ulostamisen ja virtsaamisen kautta maaperän ravinteiden pitoisuuksiin. Herbivorien vaikutuksia maaperään on havainnollistettu kuvassa 1, jossa esitetään lannoitus sekä ravinteiden kiertoa.

Puuston ikärakenteen määrittely perustuu puiden ikään ja kokoon liittyviin ominaisuuksiin, jotka voivat vaihdella metsän sisäisten alueiden mukaisesti (Kuuluvainen, 2002). Tavallisesti borealisessa metsäekosysteemissä puuston ikä voidaan jakaa kolmeen eri luokkaan tai ryhmään: nuori metsä, kypsä metsä ja vanha metsä. Alle 100 vuotta vanhaa puustoa omaavaa metsää kutsutaan nuoreksi metsäksi, missä puusto on osittain vielä kehitysvaiheessa. Jo täyden kasvun saavuttanut metsä on kypsä metsä, ja sen kasvu on jo vakiintunut. Vanhoiksi metsiksi luokitellaan ne metsät, joidenka puuston keski-ikä on yli 100 vuotta. Yleensä vain vanhoissa metsissä esiintyy kaatunutta ja lahonnutta puustoa, joka sittemmin lisää ekosysteemin monimuotoisuutta. Puu luokitellaan taimeksi kun sen korkeus maanpinnasta on alle 10cm, eli sen kasvukorkeuden ylittänyt kasvi lasketaan puuksi (kun kyseessä on puulaji) (Den Herder, ym. 2003). Ikärakenteella ja puuston kehityksen vaiheella on merkittäviä vaikutuksia ekosysteemin toiminnalle ja biodiversiteettiin. Nuoret ja rakenteeltaan avoimet metsät soveltuvat lajeille, jotka sopeutuvat avoimeen ympäristöön, kun taas vanhat metsät usein tarjoavat useammalle lajille elintilaa. Tämän vuoksi vanha metsä on yleensä paljon monimuotoisempi biodiversiteetiltään, sillä se sisältää paljon enemmän ekolokeroita kuin nuori metsä.

3.3. Ilmasto

Ilmasto on hyvin keskeinen tekijä boreaalisen metsäekosysteemin toiminnassa ja kehittämisessä, ja se vaikuttaakin ekosysteemin rakenteeseen, toimintaan ja elinkiertoon. Laaja havumetsävyöhyke sijaitsee pääosin lauhkealla ja subarktisella alueella, jossa toimii boreaalinen ilmastovyöhyke. Vyöhykkeelle ominaista on sen voimakas vuodenaikainen lämpötilojen vaihtelu ja vuodenaikaisuus.

Keskeisin piirre ilmastossa on sen vuodenaikaisuus, jonka vuoksi borealisella alueella on neljä selkeää ja toisistaan erotettavaa vuodenaikaa. Vuodenaikojen erottelu perustuu sademäärän ja lämpötilan seurantaan. Ominaisuuksiin kuuluu pitkät ja kylmät talvet, jolloin keskilämpötila putoaa alle -10°C. Keväisin lämpötila nousee ja lumet alkavat sulamaan, jolloin paljas maaperä alkaa imeä itseensä lämpöä sen heijastamisen sijaan. Kesät ovat leutoja, keskilämpötilan ollessa +10°C. Syksyt ovat viileitä ja sateisia.

Ilmastonmuutos on uhkana boreaalisen metsäekosysteemin ilmastolle. Uhkana ilmastonmuutos on huomattava, sillä se vaikuttaa koko ilmastovyöhykkeen toimintaan ja rakenteeseen monin

eri tavoin. Lämpötilan nousu on yleisin uhka, jota on ennustettu nousevan boreaalisilla alueilla keskiarvoa enemmän ja kesälämpötilan nousevan jopa 40% keskiarvosta (Soja, ym., 2007). Soja ja muut (2007) kertovat tulevaisuuden skenaarioiden kohdistuvan erityisesti pohjoisen pallonpuoliskon ilmastovyöhykkeisiin, joihin boreaalinen vyöhyke myös kuuluu. Kaikki ilmastovyöhykkeet ovat yhteydessä toisiinsa ja siksi globaali ilmastonmuutos ja keskilämpötilan nousu vaikuttavatkin voimakkaasti myös pienempiin ilmastovyöhykkeisiin ja ekosysteemeihin.

3.4. Kasvillisuusvyöhykkeet

Boreaalisen metsäekosysteemin kaikki kasvupaikat eivät ole samanlaisia, jonka vuoksi niitä luokitellaan niiden ominaisuuksien mukaan kasvillisuusvyöhykkeisiin. Fennoskandian boreaalinen metsäekosysteemi voidaan jakaa kasvillisuusvyöhykkeisiin eri tavoin, jotka perustuvat eri tutkijoiden tuottamiin luokitteluihin. Tunnetuimmat luokittelut ovat Cajanderin sekä Sukachevin luokittelut, jotka molemmat ovat tunnettuja erityisesti eurooppalaisessa luokittelussa (Pohjanmies, ym. 2020). Näistä kahdesta luokittelusta tarkasteluun valikoitui Cajanderin luokittelu, sillä se on kattavampi ja huomioi useamman vaikuttajan verrattuna Sukachevin luokitteluun.

Cajanderin luokittelu perustuu ensisijaisesti ympäristön eri piirteisiin ja kasvupaikan ominaisuuksien tarkasteluun. Koko Fennoskandian alueelle voidaan jakaa omat kasvillisuusvyöhykkeet niiden ominaisten piirteiden mukaisesti. Suomessa boreaalinen metsäekosysteemin luokittelu jakautuu Turusen & muiden (2020) mukaan seitsemään luokkaan, jotka on havainnollistettu kartalla 2. Kartan 2 mukaisia luokituksia on myös muille Fennoskandian valtioille niiden ominaisten piirteiden ja kasvialueiden mukaisesti. Luokittelussa otetaan huomioon myös paikallisesti kasvavat kasvilajit, jotka reflektivat kasvupaikan ominaisuuksia, jolloin näitä voidaan pitää paikallisina opaskasvilajeina. Kasvillisuusvyöhykkeen luokittelu jakautuu maaperän kosteuden, ravinteikkuuden ja ilmaston perusteella paikallisesti seuraavasti: lehto, lehtomainen kangas, tuore kangas, kuivahko kangas ja karukko kangas (Pohjanmies, ym. 2020). Maaperän kuivuudesta johtuva kasvillisuuden muutos on esitetty erinomaisesti kuvassa 1., jossa havainnollistetaan kasvillisuusvyöhykkeiden eroavaisuuksia kasvupaikan ominaisuuksien perusteella. Kuvasta 1. voidaan huomata boreaalisen metsäekosysteemin kasvillisuuden eroavaisuuksia maaperän kosteuden ja ravinteikkuuden johdosta, jossa kuiva maaperä kasvattaa voimakkaammin jäkälää, kun taas kosteampi maaperä sammalta. Kasvilajien tarkastelu tapahtuu neljällä eri tasolla, jotka perustuvat kasvillisuuden muodostaman kerroksen korkeuteen (Pohjanmies, ym., 2020). Kerrokset luokitellaan Pohjanmiehen & muiden (2020) mukaan seuraavasti: puusto, pensaskerros, kenttäkerros sekä pohjakerros. Näistä kerroksista merkityksellisimmät ovat kenttä- sekä pohjakerros.

ros, sillä niistä tarkastellaan ominaiset kasvilajit, jotka reflektioivat kasvupaikan ominaisuuksia parhaiten. Cajanderin luokittelussa tulee ottaa huomioon alueen historia, sillä sitä ei huomioida luokittelussa (Pohjanmies, ym., 2020).

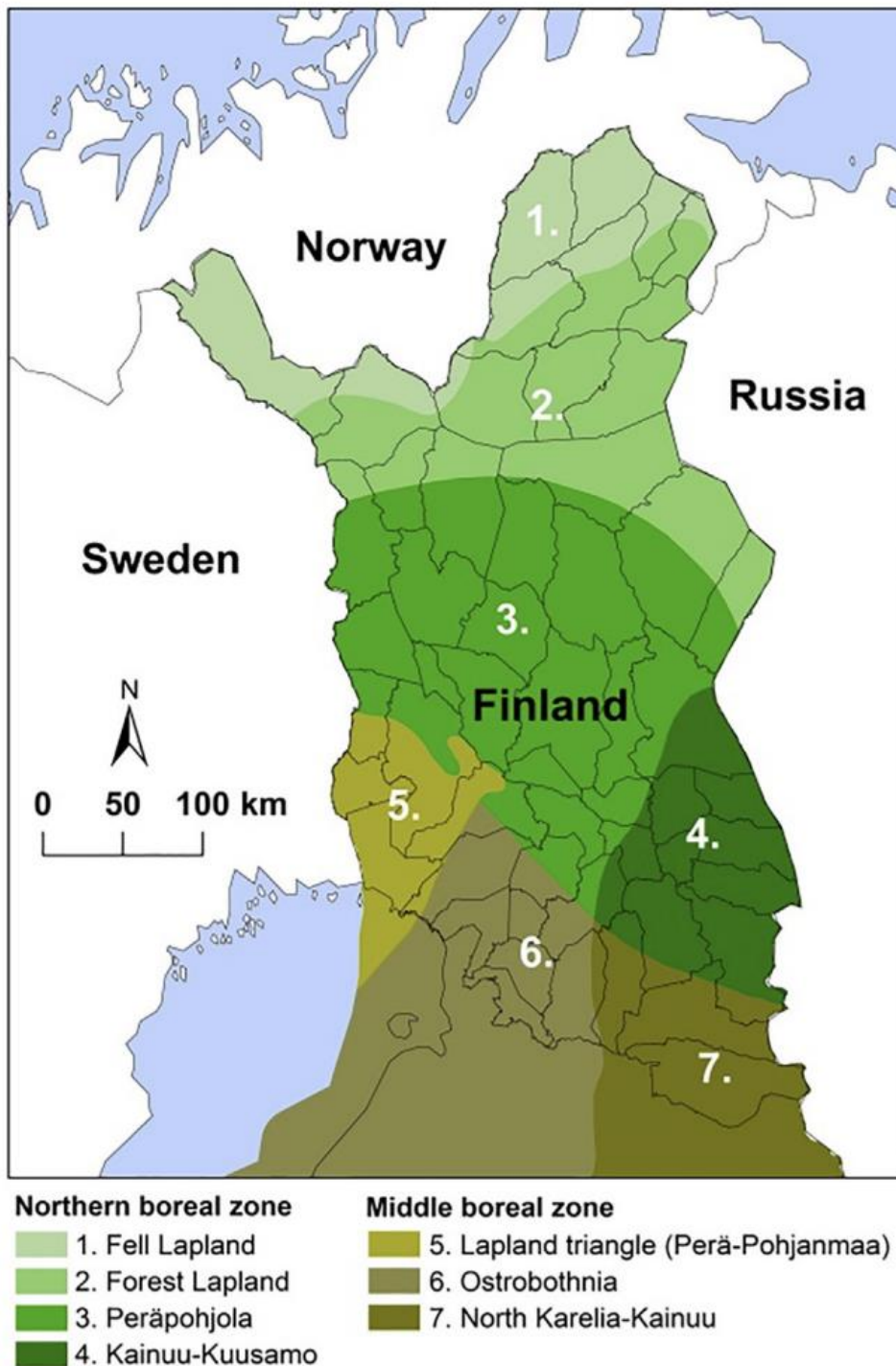
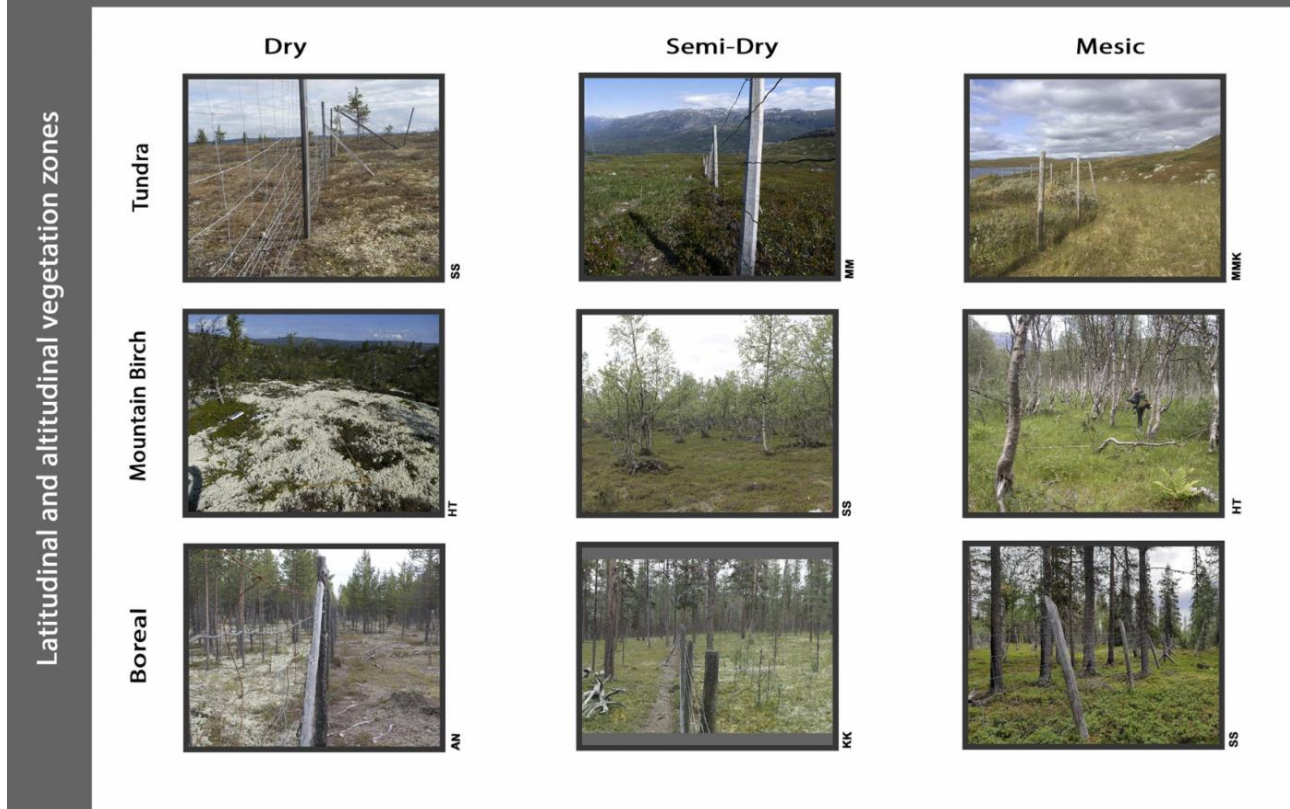


Fig. A1. Forest vegetation zones in Finland (SYKE 2018).

Kartta 3. Havainnollistava kartta Suomesta metsätyyppien alueista (Lähde: Turunen, ym, 2020)

Landscape-level heterogeneity in habitat fertility



Kuva 1. Metsän kasvillisuusvyöhykkeitä havainnollistava valokuvakollaasi, jossa metsätyypin kasvillisuutta havainnollistetaan alueen maaperän kuivuuden perusteella. Kuvakollaasiin on valittu kolme eri ekosysteemiä ja kolme eri kuivuusastetta (Lähde: Stark, ym. 2023)

3.5. Uhat

Kaikilla luonnonvaraisilla ja taloudellisilla kasvuympäristöillä ja ekosysteemeillä on omat uhkansa, jotka ovat joko paikallisia, alueellisia tai globaaleja. Globaalien muutosten ymmärtäminen auttaa myös alueellisten ja paikallisten muutosten ymmärtämistä, mutta se edellyttää spatiaalisten skaalojen ymmärtämistä sekä maiseman häiriöprosessien ymmärtämistä (Pennanen & Kuuluvainen, 2002). Häiriöprosessit tarkoittavat erilaisia uhkia, joita luonto tai maisema saattavat kohdata. Onkin siis Pennanen & Kuuluvaisen (2002) mukaan hyvin tärkeää ymmärtää prosessit ja vuorovaikutukset uhkien ja maiseman välillä.

Metsäpalot ovat ilmastonmuutoksen seurauksena lisääntyneet huomattavasti. Niillä on huomattavan suuri vaikutus ekosysteemin toimintaan ja onkin osa ekologista prosessia. Metsäpalot

kuitenkin aiheuttavat paikallisesti huomattavan määrän tuhoa ja hävitystä, mutta on osa luonnon kulkua. On kuitenkin tärkeä huomioida luonnon kantokyky ja prosessien hidas uusiutumisenopeus. Lisääntyneet metsäpalot aiheuttavat enemmän haittaa kuin hyötyä ekologiseen prosessiin (Larsson & Danell, 2001 : Pennanen & Kuuluvainen & Aakala, 2011).

Ilmastonmuutos on myös lisännyt metsien tuhoutumista ja ekologisen prosessin muuttamista myös myrskyjen vuoksi. Lisääntyneet voimakkaat myrskyt aiheuttavat puiden kaatumista ja katkeamista, joka vaikuttaa metsän ekologiaan (Larsson & Danell, 2001). Myrskyjen ja puiden kaatumisen seurauksena myös tuholaisien vaikutus on noussut esille. Myös erilaiset taudit ovat vaivaava uhka metsäekosysteemin toiminnalle.

Erityisesti metsäekosysteemin toimintaa kuitenkin haittaa metsätalous ja sen vaikutukset kasvustoon, sen rakenteeseen ja maaperään. Metsätalous vaikuttaa erityisesti puuston rakenteeseen ja ikään, jolla on merkittävä vaikutus alueellisen biodiversiteetin monimuotoisuuteen sekä ekologisen prosessin toimintaan. Metsätalous vaikuttaa myös alueiden pirstaloitumiseen ja hajoamiseen, jotka ovat erityisesti Fennoskandiassa huomattavan suuri riski ja uhka luonnon toiminnalle Larssonin & Danellin (2001) mukaan. Pirstaloituminen ja alueiden hajoaminen johtavat alueiden muuttumiseen, joka johtaa ekologian ja esimerkiksi ekolokeroiden muuttumiseen, ja täten myös lajiston selviytymiseen alueella. Lajien selviäminen ja häviäminen johtaa homogeenisempään ympäristöön ja biodiversiteetin heikkenemiseen.

Yhdeksi uhaksi erityisesti nostetaan usein herbivorien laidunnus. Herbivorit käyttävät ravintonaan kasveja ja niiden eri osia. Niiden vaikutukset näkyvät ekosysteemissä niin mekaanisina kuin kemiallisina vaikutuksina. Kemialliset vaikutukset kohdistuvat erityisesti maaperään ja kasvustoon ja näiden aineiden kiertokulkuun, kun taas mekaaniset vaikutukset kohdistuvat samoihin asioihin mutta fysikaalisemmin keinoin. Esimerkiksi maaperän tullaaminen ja sen mineralisaatio ovat osa herbivorien vaikutusta, samoin kuin lajien valikoiva käyttö ravinnoksi sekä typen mineralisaatio (Olofsson, Moen, Östlund, 2010). Herbivorit aiheuttavat myös fysikaalista haittaa kasvien rakenteelle, esimerkiksi hankaamisen seurauksena, jolloin kasvilajit ja erityisesti puut altistuvat erilaisille uhkakuville. Hankaaminen altistaa puut vaurioille ja siten myös taudeille ja tuholaisille.

4. Porolaidunnuksen vaikutukset

4.1. Mekaaniset vaikutukset

Porojen laidunnus vaikuttaa ympäristöön niin mekaanisin, kuin kemiallisin vaikutuksin. Mekaanisiksi vaikutuksiksi määrytyvät muun muassa porojen liikkumisesta ja toiminnoista seuraavat vaikutukset, jotka ovat huomattavissa ympäristössä erinäisinä rakenteellisina muutoksina. Suurin osa sekä mekaanisista että kemiallisista vaikutuksista kohdistuu kasvillisuuteen ja maaperään. Kasvillisuuteen kohdistuvat mekaaniset vaikutukset johtuvat porojen laiduntamisesta, jossa kasvien tallominen on hyvin yleistä. Jatkuva kasvien talleminen voi johtaa laaja-alaisesti kasvien häviämiseen alueellisesti, siellä missä laidunnuspaine on kova (Bugalho, ym. 2013). Kasvien häviäminen ja kuihtuminen talleamisen johdosta vaikuttaa paikallisesti kasvipeitteen laatuun ja paksuuteen, joilla on taas seurauksia maaperän toimintaan (Den Herder, ym. 2003). Sama ilmiö on havaittavissa myös muiden laiduntavien ja vaeltavien riistaeläinlajien kanssa, kuten hirven (*Alces alces*) ja peuraeläinten (*Cervus.*) kohdalla (Bugalho, ym., 2013). Ruoan valikoinnin seurauksena lähekkäin kasvavat eri kasvilajit tulevat valinnan kohteeksi ja valinnan ulkopuolelle osa lajeista joutuu porojen sorkkien tallomaksi.

Talleminen kohdistaa myös painetta maaperään ja sen rakenteeseen, aiheuttaen esimerkiksi maaperän eroosiota. Maaperään kohdistuu eroosiota erityisesti silloin kun maaperän pinta on paljas. Tässä tapauksessa kasvipeitteellä ja sen paksuudella on huomattavia merkityksiä eroosion syntymisellä ja aineiden kierrolla maaperässä. Eroosion syntyminen ja kehittyminen on erityisen herkässä tilassa niinä vuodenaikoina, kun maan pinta on esillä, esimerkiksi kesällä ja keväällä. Näinä vuodenaikoina myös kasvipeitteeseen kohdistuva paine on korkein, kun lumi tai routa ei suojaa kasvipeitettä tai maaperää siihen kohdistuvalta paineelta. Maaperän tallomisesta seuraava eroosio voi aiheuttaa maaperän köyhtymistä ravinteiden menetyksen seurauksena, joka on seurausta kasvipeitteen väheneemisestä (Olofsson, ym. 2010). Kasvien juurilla ja rihmastoilla on myös maaperää sitova ominaisuus, jolla on suuri vaikutus myös maaperän eroosion kehittymiseen, kertoo Väre ym. artikkelissaan (1995). Lisäksi maanpinnan ja maaperän lämpötilaan kasvipeitteen paksuudella on vaikutusta, sillä kasveilla on ominaisuus sitoa lämpöä itseensä (Selonen, ym. 2014). Paljas maanpinta vapauttaa enemmän lämpöä itsestään ilmakehään, kuin runsaan kasvipeitteen omaava pinta, jolloin ulossäteilyä tapahtuu vähemmän (Stark, ym., 2021). Vähenevä kasvillisuus on siis sidoksissa suoraan maaperän rakenteeseen eroosion kehittymisellä, maaperän lämpötilan muutoksilla sekä tiivistämällä maaperää paikoittain.

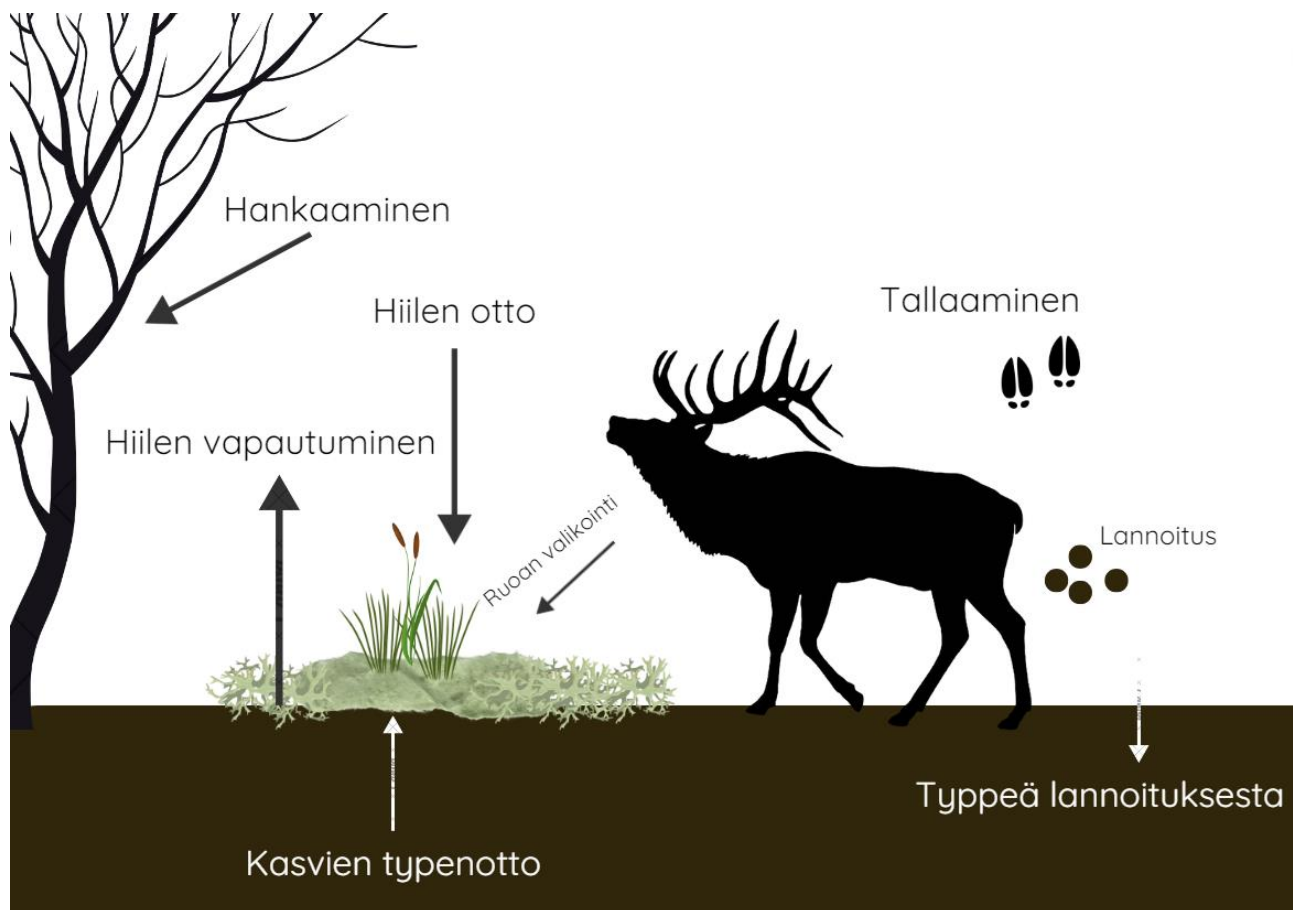
Talleminen siis johtaa maaperän eroosioon heikentämällä kasvillisuuden biomassan määrää maanpinnalla, jolloin paljas maanpinta on altis laidunnuksesta johtuvaan talleamiseen ja siten

eroosioon. Talviaikaan porojen laidunnuksen mekaaniset seuraukset ovat samankaltaisia kuin kesäaikaan. Vuodenajasta riippumatta vaikutukset kohdistuvat niin kasvillisuuteen kuin maaperään Starkin & ym. mukaan (2021). Talvella porot kaivavat maasta lumen alta ruokaa, eli jäkälää, jolloin ne aikaansaavat lumipeitteen rikkoutumista kaivamalla lumen alta. Kaivaminen aiheuttaa maaperän pinnan rikkoutumista ja myös vahingoittaa samalla lumen alla olevan biomassan hajoamista, eli maatumisprosessia kertoo Stark ym. artikkelissaan (2003). Starkin ym. (2003) mukaan biomassan hajoaminen on voimakkainta talvella, sillä sen päällä oleva lumipeite ei vapauta juurikaan lämpöä, jolloin mikrobi-toiminta on aktiivisinta biomassassa. Rikkinainen lumipeite vapauttaa maanpinnalla ja maaperässä olevaa lämpöä, jolloin maanpinnalla lumen alla olevan biomassan maatuminen hidastuu huomattavasti (Stark, ym., 2003). Hidastunut maatuminen taas vaikuttaa suoraan myös muina vuodenaikoina kasvi-peitteen ja maaperän laatuun.

Puihin ja niiden kasvuun porojen laidunnus vaikuttaa myös huomattavasti. Erityisesti vaikutukset kohdistuvat nuorten puiden alkuihin ja taimiin, mutta myös vanhempiin puihin. Talven aikana monet porot hyödyntävät puiden rungoissa olevaa jäkälää ja puiden kuoria ravintonaan, kun muu ravinto on vaikeasti tavoiteltavissa lumen alla. Tällöin porot syövät pehmeistä puista kuorta ja esimerkiksi männyissä ja kuusissa kasvavia neulasia. On huomattu porojen laiduntamisen aiheuttavan huomattavaa lehtien biomassan vähenemistä (Kumpula, Stark, Holand, 2011). Laiduntaminen kesällä vähentää Kumpulan ja muiden (2011) mukaan erityisesti nuorten koivujen, joka on yksi tavallisimista lehtipuulajeista boreaalisessa metsäekosysteemissä, alkuja. Puiden suojan tuhoaminen altistaa puut erilaisille uhille, kuten tuholaisille, jolloin laidunnuksen vaikutukset laajenevat.

4.2. Kemiaalliset vaikutukset

Laidunnuksesta seuraa myös kemiallisia vaikutuksia ympäristön ja luonnon toimintaan, nämä vaikutukset ilmenevät aineiden kiertona ja sen muutoksina maaperässä. Erityisesti typen (N) ja hiilen (C) kierto maaperän ja ilmakehän välillä ovat merkittävä osa laidunnuksen vaikutuksia ympäristöön. Typpi (N) on kemiallinen aine, joka ilmenee maaperässä eri muodoissa, kuten ammoniumina (NH_4^+) tai nitraatteina (NO_3^-). Aine tai sen olomuodot eivät hajoa tai katoa elinkiertoensa aikana, vaan muuttuaan muotoaan pääosin kasvien soluhengityksen ja rakenteensa rakennuttamisen seurauksena (Köster, ym, 2018). Typpeä vapautuu ilmakehään kasvien soluhengityksen kautta, mutta pääosin kasvit hyödyntävät typen eri muotoja sen oman rakenteen muodostamiseen, eli proteiinien ja muiden molekyylien tuottamiseen.



Kuva 2. Porojen laidunnusta ja sen aiheuttamaa kiertokulkua kuvaava kuva. Kuvassa havainnollistetaan poron tuottamaa ja aiheuttamaa seurausta, joita ovat kemialliset ja mekaaniset vaikutukset niin maaperään kuin ilmakehään, mutta myös kasvustoon. Viitteitä kuvaan lainattu Stark & muut (2023) (Tehnyt: Vilja Männistö, 2024)

Kasvit sitovat typpeä itseensä ilmakehästä lähinnä bakteerien avulla, joilla on kyky muuttaa typpi ammoniumiksi ja nitraateiksi. Hiilen kierto sen sijaan tapahtuu pääosin ilmakehässä, kun kasvit soluhengittävät fotosynteesin kautta ilmakehästä hiilidioksidia (CO_2) ja vapauttavat happea (O_2) (Köster, ym, 2018).

Porojen laidunnus aiheuttaa muutoksia kemialliseen aineiden kiertoon maaperässä ja ilmakehässä muun muassa lisäämällä typen määrää maaperässä sekä vaikuttamalla hiilen kiertoon kasveissa. Lannoituksesta, eli porojen ulosteesta ja virtsasta, vapautuu maaperään typpeä erityisesti ammoniakkin ja nitraattien muodossa (Stark, ym., 2003). Vaikka laidunnus ja sitä seuraava lannoitus ovat osa ekologista kiertokulkua, voi lisääntynyt typen määrä vaikuttaa maaperän mineralisaatioon. Maaperän mineralisaatio tarkoittaa orgaanisen aineksen muuttumista epäorgaaniseksi aineksi maaperässä. Prosessissa vapautuu monia eri ravinteita, kuten typpeä ja fosforia, joita kasvit voivat hyödyntää niitä ravinteinaan. Osa mineralisaatiota on myös maaperän pH-arvon muuttuminen maaperässä olevien ravinteiden pitoisuuksien myötä, kertoo Väre ym. artikkelissaan (1995). Väre ym. (1995) mukaan

myös laidunnuksesta aiheutuva typen määrän kasvu vaikuttaa maaperän pH-arvoon laskevasti, eli tehden maaperästä hapokkaamman.

Lannoituksesta seuraa myös maaperän mikrobistoon muutoksia, kun porojen ulosteen mukana kulkeutuu maaperään erilaisia suoliston mikrobeja (Stark, ym., 2000). Suoliston mikrobit vaikuttavat maaperän mikrobeihin monin eri tavoin, mutta pääosin mikrobit vaikuttavat maaperän hiilidioksidin tuotantoon. Stark & muut kertovat artikkelissaan (2000) hiilidioksidin tuotannon lisääntyvän maaperän karikkekerroksessa, kuitenkin samalla hidastaen sitä humuskerroksen tasolla. Näihin seikkoihin Stark & muut (2000) uskovat olevan orgaanisen aineksen laadun muuttuminen sekä maaperän mikroilmaston muutokset. Orgaanisen aineksen muutokset ovat johdannaisia kasvillisuuden käytöstä ravintona, eli esimerkiksi jonkin kasvilajin liiallinen käyttö muuttaa biomassaa ja siten orgaanisen aineksen laatua.

Ravinteiden ja aineiden kiertoa on havainnollistettu kuvassa 2.. Kuvassa esitetään, kuinka hiili siirtyy ilmakehästä biomassaan (kasveihin) soluhengityksen kautta. Hiiltä sitoutuu myös kasveihin, jolloin sitä siirtyy laidunnuksen seurauksena porojen elimistöön. Porojen ruoansulatukseen päätyy myös erilaisia mikrobeja ja aineita kuten typpeä ja fosforia, jotka päätyvät ulosteen mukana takaisin maaperään ja sitoutuu sinne. Maaperään päätenyt ulostuksesta tullut typpi kuitenkin toimii kasvien ravinteina, jolloin kasvit ottavat typpeä omaan aineenvaihduntaansa mukaan. Samalla kasveista vapautuu soluhengityksen kautta hiiltä ilmakehään.

5. Pohdinta

Tämän tutkielman tarkoituksena on tarkastella porojen laiduntamisen vaikutuksia Fennoskandian borealisessa metsäekosysteemissä ja havainnoida sen tuottamia vaikutuksia ympäristöön. Lisäksi tarkastelussa halutaan huomioida se, onko vaikutukset laidunnuksesta negatiivisia vai kenties positiivisia ympäristöön, ja millä mittasuhteilla vaikutuksia arvioidaan. Tutkimuksen perusteella on selvää, että poro (*Rangiferus tarandus*) on pohjoismaissa selvästi ympäristöön vaikuttava herbivori, joka vaikuttaa toiminta-alueeseensa monimuotoisesti. Vaikutukset ympäristöön ovat monimutkaisia prosesseja, joidenka pääasiallinen vaikutus perustuu luonnon prosessien häiriköintiin ja sen osaksi olemiseen (Penanen & Kuuluvainen, 2002). Erityisesti merkitystä porojen laidunnuksella on muihin eläin- ja kasvilajeihin ja niiden toiminnan prosesseihin, sekä täten myös koko elinympäristön ekologiseen toimintaan.

Porojen laidunnuksesta aiheutuu ympäristölle niin mekaanisia kuin kemiallisia vaikutuksia, jotka ovat toisiinsa nähden limittäisiä. Mekaaniset vaikutukset korostuvat maaperän tallomisena ja täten esimerkiksi vaikuttavat maaperän rakenteeseen ja laatuun. Tallominen aiheuttaa maaperään erityisesti lumetomaan aikaan huomattavan paineen alueellisesti, joka johtaa usein maaperän tiivistymiseen sen ollessa pehmeää rakenteeltaan, tai eroosiota, jos maaperä on kuivunut (Den Herder, ym, 2003). Maaperän eroosio ja tiivistyminen vaikuttavat paikallisesti muihin kasvilajeihin, kun kasvualustaan tulee muutoksia. Tämä vaikuttaa ekologiseen kiertoon ja kasvilajien kasvuun sekä kehittymiseen yleensä negatiivisesti, kun tallominen tuhoaa kasvilajeja ja niiden kasvualustaa. Myös porojen laidunnuksen valikoiva ravinnon hankinta vaikuttaa kasvilajien toimintaan ja kasvuun. Erityinen paine laidunnuksesta aiheutuu jäkäliin ja putkilokasveihin, mutta myös puiden taimiin ja nuoriin puihin.

Kemiallisia vaikutuksia on myös useita, ja ne perustuvat lähinnä ravinteiden kiertoon. Erityisesti porojen laidunnuksesta aiheutuva lannoitus, eli ulostaminen ja virtsaaminen, vaikuttavat maaperän ja kasvien ravinteiden kiertoon. Tärkeimmät ravinteet, joihin laidunnuspaine vaikuttaa, ovat hiili (C) ja typpi (N). Hiilen kiertoon laidunnus vaikuttaa erityisesti kasvien hiilen sitomisen ja vapauttamisen suhteen, kun jäkälien määrä vähenee laidunnuksen johdosta (Stark, ym, 2003). Jäkälät ja sammaleet sitovat itseensä huomattavan tehokkaasti hiiltä, jonka vuoksi niiden väheneminen vaikuttaa hiilen kiertoon maaperän sekä ilmakehän välillä. Lisääntynyt hiilen määrä ilmakehässä voi johtaa alueellisen mikroilmaston muuttumiseen, eli pienen skaalan ilmastonmuutokseen (Stark, ym, 2000). Sammaleet ja jäkälät ovat tehokkaita myös typen sitomisessa. Näiden väheneminen vaikuttaa maaperässä olevan typen kiertoon ja aiheuttavat maaperän typen mineralisaatiota, joka taas vaikuttaa muiden kasvilajien toimintaan ja kasvuun usein negatiivisesti (Olofsson, ym, 2010). Hiili ja typpi ovat kasvien kasvulle ominaisia aineita, jotka ilmenevät monissa eri olomuodoissa riippuen niiden elinkierron vaiheesta, tämän vuoksi niiden määrällä ja rakenteella on merkittävä vaikutus koko ekologiseen kiertoon.

Laidunnuksen seurauksena jäkälien ja sammalten välinen suhde on muutoksessa. Jäkäläien määrän on huomattu selvästi vähenevän viime vuosikymmenien aikana, sillä porojen määrän kasvaessa myös laidunnuksen paine on nousussa (Olofsson, ym, 2010). Jäkälät ovat hyvin hitaita kasvamaan ja uusiutumaan, ja ovat myös kasvupaikastaan tarkempia verrattuna sammaliin, jotka kasvavat sitkeämmin eri olosuhteissa. Ero kasvualustan vaikutuksista on selvä, jäkälät vaativat itselleen huomattavasti enemmän valoa, jonka vuoksi ne eivät esimerkiksi kasva yhtä runsaana puustoisemmilla alueilla (Akujärvi, ym, 2014). Sammaleet taas pärjäävät morfologiansa ansioista niin kuivilla kuin kosteilla alueilla, jonka vuoksi vähenevä jäkälän määrä antaa sammalille uutta kasvutilaa. Vähenevä jäkälän määrä siis lisää sammalten kasvua uusissa paikoissa ja voimistaa myös eri putkilokasvien kasvua.

Puuston rakenteeseen laiduntaminen ei vaikuta lineaarisesti. Laiduntaminen vaikuttaa puuston rakenteeseen lähinnä muiden kasvilajien kautta, esimerkiksi ekologisen rakenteen muuttumisen kautta. Porot hyödyntävät nuorten puiden runkoja sekä taimia ravintonaan ympäri vuoden, ja laidunnuksen on huomattu tekevän huomattavaa vahinkoa nuorille puille ja taimille. Taimien ja nuorten puiden syöminen vaikuttaa puiden kasvuun ja täten myös vuosittain puuston rakenteeseen, kun uutta puuta kasvaa hitaammin ja vähemmän laidunnuksen seurauksena. Fyysistä vahinkoa porot saavat aikaan myös puiden kaarnan rikkomisella, esimerkiksi hankaamisen seurauksena (Stark, ym, 2003). Hankaaminen ja rungon rakenteen rikkominen altistaa usein puut erilaisille uhille, kuten taudeille ja tuholaisille, kun kaarna on vaurioitunut (Larsson & Danell, 2001). Tuholaiset ja taudit ovat riski koko ekologiselle toiminnalle ja saattavat vaikuttaa monen eri kasvi- ja eläinlajin toimintaan negatiivisesti. Saman riskin laiduntaminen saattaa aiheuttaa, kun porot syövät puiden rungoilta jäkälää talvisin, jolloin runko saattaa vaurioitua ja altistua vaaroille. Puuston vauriot vaikuttavat koko metsän ekologiaan mutta muodostavat myös mikroekologisia vaikutuksia.

Tutkielman yhteenvedoksensa on, että porojen laidunnus vaikuttaa huomattavasti ympäristön ja maiseman rakenteeseen. Erityisesti vaikutuksen näkyvyys tulee ilmi kasvavassa porotokkien määrissä ja koissa, jotka aiheuttavat kasvavaa laidunnuspainetta ympäristöön. Merkittävin vaikutus porojen laidunnuksesta kohdistuu kasvilajeihin kuten sammaliin ja lisäksi myös jäkäliin negatiivisesti. Laidunnuksen kohteena oleva jäkälä ei kerkeä uusiutumaan laidunnuspaineen johdosta, jolloin sen häviäminen on suurempaa kuin uusiutuminen. Jäkälän ollessa yksi merkittävimmistä ekosysteemin toimijoista, sen vaikutukset typen ja hiilen kiertoon ovat monialaiset, ja pääsääntöisesti vaikuttaa negatiivisesti aineiden kiertoihin maaperässä ja ilmakehässä, aiheuttaen esimerkiksi maaperän mineralisaatiota (Selonen, ym, 2014: Olofsson, ym, 2010: Stark, ym 2000). Kilpailevassa asemassa oleva sammal ja jäkälä jatkavat kilpailua elintilasta, jossa sammalen leviäminen myös jäkälän ekolokeroon on todennäköistä sammalen optimaalisen sopeutumiskyvyn ansiosta. Lisäksi ekosysteemin tasapaino horjuu ja on altistuneena uhille, kun puuston rakenteeseen vaikutetaan laidunnuksen seurauksena. Puuston rakenteen muuttuminen vaikuttaa metsän ikärakenteeseen ja täten suoraan sen ekologiseen monimuotoisuuteen. Laidunnus rikkoo metsän ekologista rakennetta, jolloin myös metsien monimuotoisuus on uhattuna, kun vanhoja metsiä esiintyy muutenkin vähän boreaalisella alueella. On siis todettava porolaidunnuksen aiheuttavan boreaaliselle metsäekosysteemille biodiversiteetin heikkenemistä ja ympäristön rakenteellista muutosta, jolloin laidunnus on siis enemmän negatiivinen ilmiö, kuin positiivinen, joka tekee laidunnuksesta osittain ympäristölle haitallista.

6. Lähdeluettelo

- Akujärvi, A., Hallikainen, V., Hyppönen, M., Mattila, E., Mikkola, K., & Rautio, P. (2014). Effects of reindeer grazing and forestry on ground lichens in Finnish Lapland. *Silva fennica (Helsinki, Finland : 1967)*, 48(3), 1-18.
<https://doi.org/10.14214/sf.1153>
- Barthelemy, H., Dorrepaal, E., & Olofsson, J. (2019). Defoliation of a grass is mediated by the positive effect of dung deposition, moss removal and enhanced soil nutrient contents: Results from a reindeer grazing simulation experiment. *Oikos*, 128(10), 1515-1524.
<https://doi.org/10.1111/oik.06310>
- Bugalho, M. N., Ibáñez, I., & Clark, J. S. (2013). The effects of deer herbivory and forest type on tree recruitment vary with plant growth stage. *Forest ecology and management*, 308, 90-100. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.07.036>
- Den Herder, M., Kytöviita, M., & Niemelä, P. (2003). Growth of reindeer lichens and effects of reindeer grazing on ground cover vegetation in a Scots pine forest and a subarctic heathland in Finnish Lapland. *Ecography (Copenhagen)*, 26(1), 3-12.
<https://doi.org/10.1034/j.16000587.2003.03211.x>
- Greiser, C., Meineri, E., Luoto, M., Ehrlén, J., & Hylander, K. (2018). Monthly microclimate models in a managed boreal forest landscape. *Agricultural and forest meteorology*, 250-251, 147-158. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.12.252>
- Kumpula, J., Stark, S., & Holand, Ø. (2011). Seasonal grazing effects by semi-domesticated reindeer on subarctic mountain birch forests. *Polar biology*, 34(3), 441-453.
<https://doi.org/10.1007/s00300-010-0899-4>
- Kuuluvainen, T., & Aakala, T. (2011). Natural forest dynamics in boreal Fennoscandia: A review and classification. *Silva fennica (Helsinki, Finland : 1967)*, 45(5),
. <https://doi.org/10.14214/sf.73>
- Kuuluvainen, T. (2002). Natural variability of forests as a reference for restoring and managing biological diversity in boreal Fennoscandia. *Silva fennica (Helsinki, Finland : 1967)*, 36(1), . <https://doi.org/10.14214/sf.552>
- Köster, K., Köster, E., Berninger, F., Heinonsalo, J., & Pumpanen, J. (2018). Contrasting effects of reindeer grazing on CO₂, CH₄, and N₂O fluxes originating from the northern boreal forest floor. *Land degradation & development*, 29(2), 374-381.
<https://doi.org/10.1002/ldr.2868>

- Larsson, S., & Danell, K. (2001). Science and the Management of Boreal Forest Biodiversity. *Scandinavian journal of forest research*, 16(sup3), 5-9.
<https://doi.org/10.1080/028275801300090528>
- Olofsson, J., Moen, J., & Östlund, L. (2010). Effects of reindeer on boreal forest floor vegetation: Does grazing cause vegetation state transitions? *Basic and applied ecology*, 11(6), 550-557. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2010.03.004>
- Pennanen, J., & Kuuluvainen, T. (2002). A spatial simulation approach to natural forest landscape dynamics in boreal Fennoscandia. *Forest ecology and management*, 164(1), 157-175.
[https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(01\)00608-9](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(01)00608-9)
- Pohjanmies, T., Genikova, N., Hotanen, J., Ilvesniemi, H., Kryshen, A., Moshnikov, S., . . . Luonnonvarakeskus. (2020). *Site types revisited: Comparison of traditional Russian and Finnish classification systems for European boreal forests*. Blackwell Publishing.
- Roturier, S., & Bergsten, U. (2006). Influence of soil scarification on reindeer foraging and damage to planted *Pinus sylvestris* seedlings. *Scandinavian journal of forest research*, 21(3), 209-220. <https://doi.org/10.1080/02827580600759441>
- Sandström, P., Cory, N., Svensson, J., Hedenås, H., Jougda, L., & Borchert, N. (2016). On the decline of ground lichen forests in the Swedish boreal landscape: Implications for reindeer husbandry and sustainable forest management. *Ambio*, 45(4), 415-429.
<https://doi.org/10.1007/s13280-015-0759-0>
- Selonen, V., Varley, N., Paasivaara, A., Helle, P. & Kojola, I. (2014). "The role of fire, reindeer, and humans in shaping the boreal forest-tundra ecotone in Fennoscandia." *Ecosystems*, 17(1), 29–42.
- Soja, A. J., Tchebakova, N. M., French, N. H., Flannigan, M. D., Shugart, H. H., Stocks, B. J., . . . Stackhouse, P. W. (2007). Climate-induced boreal forest change: Predictions versus current observations. *Global and planetary change*, 56(3), 274-296.
<https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2006.07.028>
- Stark, S., Wardle, D. A., Ohtonen, R., Helle, T., & Yeates, G. W. (2000). The effect of reindeer grazing on decomposition, mineralization and soil biota in a dry oligotrophic Scots pine forest. *Oikos*, 90(2), 301-310.
<https://doi.org/10.1034/j.1600-0706.2000.900210.x>

- Stark, S., Tuomi, J., Strömmer, R., & Helle, T. (2003). Non-parallel changes in soil microbial carbon and nitrogen dynamics due to reindeer grazing in northern boreal forests. *Ecography (Copenhagen)*, 26(1), 51-59.
<https://doi.org/10.1034/j.1600-0587.2003.03336.x>
- Stark, S., Yläne, H., Kumpula, J., & James, J. (2021). Recent changes in mountain birch forest structure and understory vegetation depend on the seasonal timing of reindeer grazing. *The Journal of applied ecology*, 58(5), 941-952.
<https://doi.org/10.1111/1365-2664.13847>
- Stark, S., Horstkotte, T., Kumpula, J., Olofsson, J., Tømmervik, H., & Turunen, M. (2023). The ecosystem effects of reindeer (*Rangifer tarandus*) in northern Fennoscandia: Past, present and future. *Perspectives in plant ecology, evolution and systematics*, 58, 125716.
<https://doi.org/10.1016/j.ppees.2022.125716>
- Turetsky, M. R., Bond-Lamberty, B., Euskirchen, E., Talbot, J., Frohking, S., McGuire, A. D., & Tuittila, E. (2012). The resilience and functional role of moss in boreal and arctic ecosystems. *The New phytologist*, 196(1), 49-67.
<https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2012.04254.x>
- Turunen, M. T., Rasmus, S., Järvenpää, J., & Kivinen, S. (2020). Relations between forestry and reindeer husbandry in northern Finland – Perspectives of science and practice. *Forest ecology and management*, 457, 117677.
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117677>
- Valinger, E., Berg, S., & Lind, T. (2018). Reindeer husbandry in a mountain Sami village in boreal Sweden: The social and economic effect of introducing GPS collars and adaptive forest management. *Agroforestry systems*, 92(4), 933-943.
<https://doi.org/10.1007/s10457-018-0249-z>
- Väre, H., Ohtonen, R., & Oksanen, J. (1995). Effects of reindeer grazing on understorey vegetation in dry *Pinus sylvestris* forests. *Journal of vegetation science*, 6(4), 523-530.
<https://doi.org/10.2307/3236351>