

Ilmaston lämpenemisen vaikutus boreaalisen ja arktisen vyöhykkeen kasvillisuuteen

Elli Närhi

LuK-tutkielma

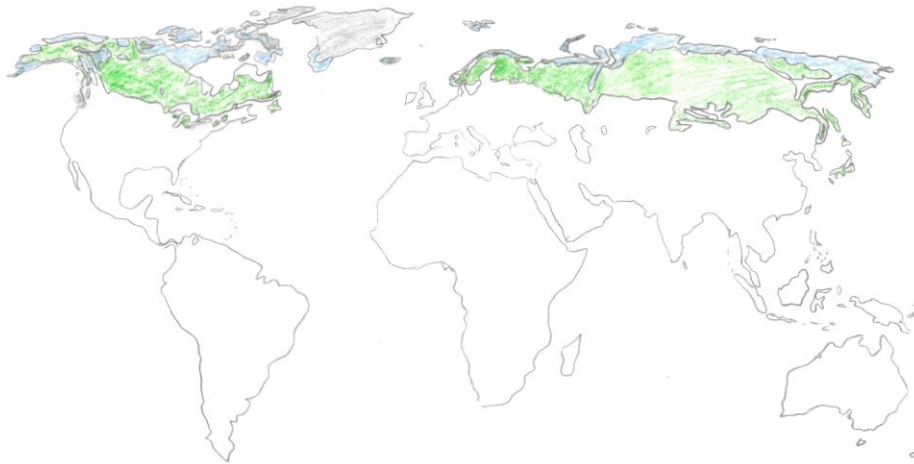
Biologian tutkinto-ohjelma,
ekologia

Oulun yliopisto

Toukokuu 2018

Sisällysluettelo

1. Johdanto
2. Ilmaston lämpeneminen
 - 2.1. Ilmaston lämpeneminen pohjoisella alueella
3. Pohjoisen kasvit
 - 3.1. Arktisen ja boreaalisen vyöhykkeen pääpiirteet
 - 3.2. Valoympäristö
 - 3.3. Sopeutummat pohjoisiin oloihin
4. Lämpenemisen vaikutukset kasvillisuuteen
 - 4.1. Kasvillisuusvyöhykkeiden siirtyminen
 - 4.2. Biomassa lisääntyminen
 - 4.3. Pohjoisten kasvien tulevaisuus
5. Johtopäätökset
6. Lähteet



Kuva 1. Vihreä: boreaalinen vyöhyke, sininen: tundra ja harmaa: polaariaavikko

1. Johdanto

Ilmasto lämpeneminen on tutkimuksien mukaan väistämätön tosiasia. Lämpeneminen johtuu ihmisen toiminnasta ja tulevan ilmastonmuutoksen suuruus on kiinni siitä, miten hyvin päästöjä onnistutaan rajoittamaan (ACIA 2004). Kasvit ovat ekosysteemien perusta. Niiden tulevaisuus heijastuu koko pohjoiseen biomiin. Kun ilmasto ennusteiden mukaan lämpenee, vaikuttaa se erityisesti pohjoisiin alueisiin. Arktinen alue toisaalta vihertyy ja biomassa kasvaa, toisaalta on havaittu tundran ruskettumista (Phoenix & Bjerke 2016). Tundra tulee ehkä häviämään kapeimmilta kohdilta. Havumetsät siirtyvät tundran alueelle, lauhkean vyöhykkeen metsä siirtyy havumetsien tilalle vyöhykkeen eteläosassa. Metsien biomassan odotetaan kasvavan, toisaalta myös häiriöt lisääntyvät. Lajien välinen kilpailu muuttuu, kun vallitsevat olosuhteet muuttuvat suotuisammiksi kaikille kasveille (Garamvölgyi & Hufnagel 2013). Pohjoisessa elinympäristössä on toisaalta tekijöitä, jotka vaikeuttavat

eteläisempien lajien leviämistä. Näitä tekijöitä ovat pohjoisen valoympäristön erityisyys, maaperän karuus ja vesiolosuhteet.

Se, mitä pohjoisissa kasviyhteisöissä loppujen lopuksi tapahtuu, on vielä arvoitus. Suuntaviivoja löytyy tutkimuksista, mutta muutos on niin monien tekijöiden summa, ettei kukaan pysty sanomaan mikä on lopputulos. Seuraavassa on tarkoitus tarkastella, mitä tiedetään siitä, mitä pohjoiselle kasvillisuudelle on tapahtumassa ilmaston lämmetessä.

2. Ilmaston lämpeneminen

Maapallon ilmasto on tutkimuksien mukaan lämmennyt ja lämpenee kiihtyvällä vauhdilla. Laajan tieteellisen rintaman mukaan lämpenemisen aiheuttaa ihminen. Ilmasto on jo lämmennyt teollisen vallankumouksen jälkeen arviolta 0,6 °C (ACIA 2004). Lämpenemistä ei voi enää pysäyttää, korkeintaan sitä voidaan pyrkiä hidastamaan. Lämpeneminen jatkuu ennusteiden mukaan kiihtyvällä vauhdilla, vaikka päästöjä alettaisiin rajoittaa. Se, miten suuri ilmastonmuutos tulee olemaan, riippuu siitä, kuinka paljon päästöjä saadaan rajoitettua.

IPCC:n (The Intergovernmental Panel on Climate Change) mukaan lämpeneminen johtuu ilmakehän lisääntyneestä hiilidioksidista ja muista kasvihuonekaasuista sekä maankäytön muutoksista. Kasvihuonekaasut päätyvät ilmakehään valtaosin fossiilisten polttoaineiden käytön johdosta. Suurin osa lämmöstä on varastoitunut valtameriin. IPCC raportoi, että jäätiköt sulavat ja lumipeite pienenee, ikirouta on sulamassa. Sademäärä on lisääntynyt. Sään ääri-ilmiöt ovat lisääntyneet. Meriveden pinta on noussut.

Lämpötila tulee nousemaan arviolta 1.4-5.8 °C tämän vuosisadan aikana (ACIA 2004) keskimääräisen skenaarion mukaan. Jos päästöjä ei pystytä hillitsemään tarpeeksi, voi lämpötila nousta enemmän. Maltillisienkin ennusteiden mukaan ilmasto lämpenee kaksinkertaisesti tällä vuosisadalla verrattuna viime vuosisataan.

Ilmasto on niin monimutkainen systeemi, että myös arvaamattomat vaihtelut ovat mahdollisia. IPCC:n mukaan on mahdollista, että tapahtuu äkillisiä muutoksia. On

viitteitä siitä, että menneisydessäkin näitä on tapahtunut. Kun lämpötila tai sademäärä ylittää tietyn kynnyksen, voi siitä seurata tapahtumaketju, joka esimerkiksi muuttaa merivirtoja ja sitä kautta vaikuttaa merkittävästi ilmastoon. Sademäärän lisääntyminen vähentää pintaveden suolaisuutta ja pintaveden lämmitessä, voi painavamman veden vajoaminen lakata. Jos tämä termohaliinikierron muuttuminen vaikuttaa merivirtoihin, voi tapahtua hyvinkin äkillisiä muutoksia. Esimerkiksi Golfvirta vaikuttaa voimakkaasti Pohjois-Euroopan ilmastoon lämmittäen sitä. Jos Golfvirta hiipuu, viilenee ilmasto sen vaikutuksen piirissä olevilla alueilla.

2.1. Ilmaston lämpeneminen pohjoisella alueella

Arktisen alueen lämpötila on noussut noin kaksinkertaisesti verrattuna muuhun maailmaan (ACIA 2004). Arkisen alueen lämpötila nousee nopeammin kuin muun maailman, muun muassa koska ilmakehä on ohuempi, jään sulaessa paljastuu maata ja merta, joihin imeytyy lämpöä heijastumisen sijaan.

Jäätiköiden ja ikeiroudan sulaminen vaikuttavat myös muuhun maailmaan. Muun muassa valtamerien pinta nousee. Ikiiroudan etelärajan odotetaan siirtyvän pohjoiseen usean sadan kilometrin verran seuraavan sadan vuoden aikana (ACIA 2004). Jää heijastaa auringon säteilyä ja sen sulaessa, paljastuu maata, joka imee lämpöä. Kun fossiilisia polttoaineita poltetaan, syntyy nokea, mikä vähentää auringonsäteilyn heijastumista ja lisää lämpenemistä.

Jäätiköiden sulaessa, lisääntyy makean veden määrä, mikä voi muuttaa merivirtauksia. Myös merijään sulaminen lisää lämmön imeytymistä meriveteen, joka puolestaan lämmittää talvia. Talvet erityisesti lämpenevät arktisella alueella. Lumipeite vähenee. Se on jo vähentynyt noin 10%:lla, ennen vuosisadan loppua se tulee vähenemään toiset 10-20% (ACIA 2004). Lumipeitteen rakenne muuttuu sen sulaessa ja jäätyessä uudestaan, mikä muuttaa sen ominaisuuksia eristäjänä. Lumen merkitys eristäjänä on suuri monelle pohjoisessa kasvavalle kasville.

Ennusteiden mukaan, jos päästöt kasvavat maltillisesti, arktisen alueen lämpötila nousee 3-5 °C, merten lämpötila jopa 7 °C (ACIA 2004). Talvilämpötilat nousevat eniten, 4-7 °C maa-alueilla ja 7-10 °C merissä. On arvioitu, että sademäärä lisääntyy

jopa 20% arktisella alueella. Etenkin talvella sateet lisääntyvät. Merijään odotetaan vähenevän 10-50%, kesällä 50%:sta aina kaiken jään häviämiseen asti, tämän vuosisadan loppuun mennessä.

3. Pohjoisen kasvit

Olosuhteet pohjoisessa ovat karut, vaihtelut lämpötilassa, sademäärässä ja auringonsäteilyn määrässä ovat suuria (Forbes 2015). Kasvit ovat sopeutuneet pitkään talveen ja lyhyeen kasvukauteen. Ravinteiden saatavuus on huono, routa, ravinteiden huuhtoutuminen ja maan happamuus vaikeuttavat ravinteiden saatavuutta. Pohjoisten olosuhteiden ollessa karut, ovat siellä kasvavat kasvit erikoistuneet näihin oloihin, eteläisemmät lajit eivät ole kyenneet kilpailemaan vallitsevissa olosuhteissa. Kun ilmasto lämpenee, muuttuvat olosuhteet. Kasvukausi pitenee ja maa sulaa, eteläisemmät kasvit voivat kilpailla pohjoisten kanssa.

3.1. Arktisen ja boreaalisen vyöhykkeen pääpiirteet

Boreaalista vyöhykettä hallitsevat havumetsät. Vyöhykkeen havumetsissä kasvaa kuusta (*Picea* sp.), mäntyä (*Pinus* sp.) ja lehtikuusta (*Larix* sp.). Seassa on myös lehtipuita kuten koivu (*Betula* sp.), leppä (*Alnus* sp.), haapa (*Populus* sp.) ja pajut (*Salix* sp.). Kenttäkerroksessa esiintyy tyypillisesti mustikkaa (*Vaccinium myrtillus*) ja puolukkaa (*Vaccinium vitis-idaea*) (Verkkosivusto 1, Walter 1985).

Boreaalinen vyöhyke voidaan jakaa pohjoisboreaaliseen, keskiboreaaliseen ja eteläboreaaliseen vyöhykkeeseen (Verkkosivusto 1). Metsätyyppejä on alueella useita. Suomessa metsät on luokiteltu karuista kankaista reheviin lehtoihin. Siperian laajaa havumetsävyöhykettä kutsutaan taigaksi. Yleisesti aluetta voidaan kuvailla havumetsävyöhykkeeksi. Soita esiintyy runsaasti tällä vyöhykkeellä vähäisen haihdunnan vuoksi.

Boreaalisen vyöhykkeen ja arktisen vyöhykkeen rajalla on metsä-tundra. Pohjoista kohti mentäessä, ikiroudan alue lisääntyy, joten aktiivinen maakerros ohenee. Puut

käyvät sen myötä harvinaisemmiksi ja pienemmiksi. Metsä-tundralla kasvaa mereisyydestä tai mantereisuudesta riippuen koivua (*Betula* sp), lehtikuusta (*Larix* sp), tai kuusta (*Picea* sp) (Chapin 1992).

Varsinainen tundra on puurajan pohjoispuolella. Tundra sijaitsee kapealla vyöhykkeellä Pohjoisen jäämeren laidoilla. Biodiversiteetti alueella on matala. Kasvien lajikoostumus on varsin monotoninen verrattuna eteläisempiin alueisiin. Ala-arktinen koostuu soista, sara-rahkasammal-tundrasta sekä kuivemmillä paikoilla pensastundrasta. Pensaskerroksessa on lajeja kuten lepät (*Alnus* sp), koivut (*Betula* sp) ja pajut (*Salix* sp) sekä matalampia sianpuolukka (*Arctostaphylos uva-ursi*), variksenmarja (*Empetrum nigrum*) ja mustikka (*Vaccinium myrtillus*). Joillakin alueilla pensaskerroksessa hallitsee vaivaiskoivu (*Betula nana*) ja pajulajit kuten tunturipaju (*Salix glauca*) (Walter 1985). Tundralla kasvaa tyypillisesti paljon sammalia ja jäkäliä. Varputundra, "keskitundra", on hieman matalampaa kasvillisuutta kuten suopursua (*Ledum palustre*) ja puolukkaa (*Vaccinium vitis-idaea*) kasvava. Alueella on myös mätästundraa ja soita kuten sara-rahkaturvesoita, joilla kasvaa muun muassa tupasvillaa (*Eriophorum vaginatum*) ja saroja (*Carex* sp). Sammalia ja jäkäliä on paljon. Niiden diversiteetti on suurempi kuin missään muualla (Chapin 1992, Walter1985). Tuuli on kovaa, joistain paikoin se vie lumen mukanaan ja kasaa toisiin.

Korkea-arktinen koostuu polaariaavikosta ja puoliaavikosta. Siellä kasvaa hajanaisia laikkuja patjamaisesti kasvavia putkilokasveja kuten rikot (*Saxifraga* sp) ja lapinvuokot (*Dryas* sp) ja uuvana (*Diapensia lapponica*). Alueella kasvaa eniten sammalia ja jäkäliä, joiden lajikirjo on suuri. (Forbes 2015). Tundralla on laajoja soita, haihduntaa on vähän, maa on roudassa ohuen kerroksen alla, joten vesi ei pääse mihinkään (Verkkosivusto 1). Polaariaavikolla ei kasva enää juuri mitään, maa on paljas lukuun ottamatta siellä täällä kasvavia sammalia, jäkäliä tai patjamaisesti kasvavia putkilokasveja (Walter 1985).

3.2. Valoympäristö

Valoympäristö pohjoisessa on haastava. Osa vuodesta on kaamosta, jolloin valoa ei tule lainkaan, kesällä taas valoa on ympäri vuorokauden. Kasvit saavat kuitenkin vähemmän säteilyä, kuin etelässä. Pohjoisessa aurinko paistaa matalalta, sen tulokulma aiheuttaa sen, että kasvit saavat vain osan säteilystä. Valo sisältää vähemmän fotosynteettisesti aktiivista säteilyä (PAR) (Taulavuori ym. 2010). Vaikka kesällä aurinko paistaa vuorokauden ympäri, on kesäyön valonlaatu kasvin kannalta erilaista kuin päivänvalo. Yöllä valo sisältää paljon sinistä aallonpituutta, mikä hidastaa kasvua. Pohjoisessa kasvit ovat sopeutuneet alhaisempaan "punainen/pitkä punainen" valon aallonpituuden suhteeseen. Se vastaa varjokasvien olosuhteita. Valojaksoisuus (fotoperiodismi) auttaa kasveja selviämään (Saikkonen ym. 2012). Valo on luotettavin vihje kasville alkaa valmistautua talveen, lämpötila voi vaihdella. Syksyllä kasvi alkaa karaistua talven kylmyyttä varten päivän lyhetyssä, keväällä taas lämpö on se joka herättää. Siksi kevään ja talven lämpeneminen ovat suurempia riskejä pohjoisille kasveille (Arora & Taulavuori 2016). Kun keväällä lämpösumma ylittyy, silmut alkavat kehittyä, tietyn pisteen jälkeen se on peruuttamatonta. Jos tämän jälkeen tulee pakkasia, kasvit vaurioituvat.

3.3. Sopeutumet pohjoisiin oloihin

Ravinteiden huonosta saatavuudesta johtuen kaikilla pohjoisen puilla on mykorritsa. Symbioosi sienijuuren kanssa auttaa kasveja saamaan tarvitsemansa ravinteet karusta maaperästä (Markkola ym. 2015). Pohjoisen puilla on paljon biomassaa juuristossa, tarvitaan paljon pinta-alaa haalimaan ravinteet, sienijuuri on avuksi tässä.

Kasvukauden ollessa lyhyt, täytyy kasvin lyhyessä ajassa kyetä hyödyntämään saatavilla olevat resurssit. Kasvin täytyy lyhyen ja viileän kasvukauden aikana kyetä varastoimaan tarvitsemansa resurssit ja lisääntyä. Etenkin yksivuotisilla kasveilla on kiire lyhyen kasvukauden aikana ehtiä kasvaa ja lisääntyä (Taulavuori 2013).

Pohjoisen kasvit ovat sopeutuneet valoympäristöönsä. Vähäinen säteilyn määrä kasvukaudella ja pitkä kaamos vaativat sopeutumia (Taulavuori 2013). Kaamoksen kasvit yleensä viettävät lepotilassa. Valojaksoisuus auttaa kasvia pysymään hengissä, päivän lyheneminen on merkki kasville alkaa valmistautua talveen. Pohjoiset kasvit

ovat sopeutuneet vähäiseen säteilyyn. Niiden valosaturaatiopiste on alhaisempi kuin eteläisemmillä leveysasteilla kasvavilla kasveilla.

Osa kasveista selviytyy talvesta lumen suojissa. Lumi on hyvä eriste ja lumen alla kasvit ovat suojassa pakkasilta. Korkeammat kasvit kuten puut ovat lumen yläpuolella. Niillä on mekanisminsa, joilla jäätyminen tapahtuu solun ulkopuolella, eikä vahingoita näin soluja (Taulavuori ym. 2010). Arktisella alueella lämpötila voi laskea alle 40 °C:n joten alijäähtyminen ei riitä suojaamaan pakkasvaurioilta.

Keväällä lämpö on se tekijä, joka saa kasvin heräämään kasvuun (Taulavuori 2013). Jos kasvi lähtee kasvuun liian aikaisin, voivat yöpakkaset vahingoittaa silmuja. Deaklimaatio tapahtuu keväällä, kun lämpösumma ylittyy. Eri kasveilla lämpösumma on erisuuruinen. Tietyissä pisteissä deaklimaatio on peruuttamaton, jos sen jälkeen tulee pakkasjaksoja, ovat vauriot väistämättömiä (Arora & Taulavuori 2016). Toisaalta, pitkä kasvukausi olisi edullinen. Kasvi joutuu tasapainoilemaan kasvukauden pituuden ja liian varhaisen deaklimaation välillä.

Puurajan sijaintia säätelee lämpötila. Havupuiden raja sijaitsee sillä kohtaa, missä havupuut eivät enää kykene lisääntymään. Pohjoisemmassa ne kykenevät kasvamaan, mutta eivät enää tuottamaan siemeniä. Esimerkiksi Suomessa havupuiden raja tulee aiemmin vastaan, siitä pohjoisempaan kasvaa vielä tunturikoivua. Tunturikoivun siemen pystyy itämään alhaisemmassa lämpötilassa kuin havupuiden ja siksi se muodostaa puurajan Skandinaviassa (Taulavuori 2013).

4. Lämpenemisen vaikutukset kasvisillisuuteen

On spekuloitu sillä, tuleeko lämpeneminen vaikuttamaan merivirtoihin. Jos Golfvirta hiipuu, tulee pohjoinen pallonpuolisko viilenemään, mutta koska kyseessä on puhdas spekulatio, ovat tutkimukset keskittyneet lämpenemisen vaikutuksiin (Garamvölgyi & Hufnagel 2013). Skandinaviaan Golfvirralla on merkittävä lämmittävä vaikutus.

Kasvillisuuden levinneisyyden tärkein määräävä tekijä on lämpötila (Taulavuori 2013). Kasvillisuusrajat tulevat ennusteiden mukaan siirtymään, kun lämpötila nousee. Pohjoisella alueella on muitakin rajoittavia tekijöitä, kuten veden saatavuus.

Pohjoisen valoympäristö voi rajoittaa kasvien leviämistä (Saikkonen ym. 2012). Jos kasvi ei ole sopeutunut talvehtimaan päivän lyhetessä, on sen vaikea selvitä talvesta. Myös valon laadun ollessa erilaista, voi olla, etteivät eteläiset kasvit pärjää pienemmällä PAR-säteilyn määrällä. Voi olla, että eteläisempien kasvien fotosynteesin saturaatiopiste jää saavuttamatta. Riippuu kasvin plastisuudesta, pystyykö se sopeutumaan näihin haasteisiin, piirteet ovat periytyviä, eivätkä muutu siten nopeasti.

Erilaiset häiriöt lisääntyvät. Metsäpalot tulevat lisääntymään kuivuuden lisääntyessä. Kun haihdunta lisääntyy, kasvava sademäärä ei riitä korvaamaan sitä. Metsäpalojen määrä ja laajuus tulevat moninkertaistumaan (ACIA 2004). Hyönteistuhot tulevat lämpenevässä ilmastossa lisääntymään.

4.1. Kasvillisuusvyöhykkeiden siirtyminen

Kasvillisuusvyöhykkeet tulevat ennusteiden mukaan siirtymään pohjoisemmaksi. On esitetty, että kasvien levinneisyysrajat siirtyvät jopa 1000 km pohjoisemmaksi (ACIA 2004). Näyttää kuitenkin siltä, ettei leviäminen ole niin nopeaa ja selkeää, kuin on odotettu. Se on niin monen tekijän summa, että tapahtuma ei ole lineaarinen, vaan tapahtuu eri alueilla eri vauhtia (Garamvölgyi & Hufnagel 2013)

On todennäköistä, että eteläisemmissä vyöhykkeissä nykyisin kasvavat kasvit levittäytyvät pohjoisemmaksi, lauhkean vyöhykkeen lehtimetsien lajeja levittäytyy boreaalisen vyöhykkeen havupuumetsien alueelle ja boreaalisen vyöhykkeen oletetaan levenevän tundran alueelle (ACIA 2004, Hufnagel 2013, Taulavuori 2013). Tundran kasvillisuutta leviää polaariaavikolle.

Metsärajan oletetaan siirtyvän pohjoisemmaksi. Havupuiden levinneisyysraja noudattaa lämpötiloja (Taulavuori ym. 2010). Raja noudattaa lisääntymiskyvyn säilymisen lämpötilarajaa. On kuitenkin huomattu, ettei etenemistä tapahdu kaikilla alueilla niin suurella vauhdilla kuin on laskelmoitu (Forbes 2015, Epstein ym. 2013). Todennäköisesti joillakin alueilla veden saatavuus estää puurajan siirtymistä. Myös maaperän laatu vaikuttaa. Pohjoisen puilla on symbioosi sienijuuren kanssa helpottamassa ravinteiden saantia (Markkola ym. 2015). Jotta eteläisemmät lajit

kykenisivät siirtymään pohjoisemmaksi, tulisi niiden sopeutua paikalliseen mykorrhizasakantaan. Sitä ei vielä tiedetä, miten tämä tulee vaikuttamaan kilpailutilanteeseen. Jo olemassa oleva kasvillisuus voi estää puiden etenemistä tundralle, tundrakasvillisuus voi estää siementen itämisen. Metsäpalot tulevat todennäköisesti joillain alueilla lisääntymään merkittäväsi. Siirtyminen on siis alueesta riippuen laikuittaista.

Tundraa on vaihtelevan levyisellä kaistaleella Pohjoisen jäämeren ja boreaalisen metsän välissä. Joissakin kohdin kaistale on niin kapea, että todennäköisesti tundra tulee häviämään niiltä kohdin. (Forbes 2015). Kun merenpinta nousee, vie se tundran alaa toisesta suunnasta.

On mahdollista, että ekologisten yhteisöjen rakenne tulee muuttumaan (Garamvölgyi & Hufnagel 2013). Voi olla, etteivät yhteisöt ole tulevaisuudessa samanlaisia kuin nyt. Kenties ilmaantuu aivan uudenlaisia yhteisöjä Muutoksia tulee tapahtumaan sekä yksittäisten lajien, yhteisöjen ja ekosysteemien tasolla.

4.2 Biomassa lisäänty

Puhutaan "tundran vihertymisestä". Tundrakasvillisuuden biomassan on todettu kasvaneen (Epstein ym. 2013). Biomassa on lisääntynyt kaikissa kasviryhmissä, mutta eniten ovat lisääntyneet pensaat. Pensaat erityisesti valtaavat alaa ja ovat korkeampia. Kasviyhteisöjen rakenne muuttuu. Biomassan lisääntyminen myös lämmittää edelleen ilmastoa, muun muassa heijastusvaikutuksen vähentyessä.

Toisaalta on havaittu tundran "ruskettumista" (Phoenix & Bjerke 2016). On raportoitu jopa, että satelliittien avulla määritetty "vihreysindeksi" (NDVI) on pienempi kuin 33 vuoden keskiarvo. Ruskettuminen on alueellista, sitä ei tapahdu koko tundran alueella. On useita ehdotuksia, mistä tämä voisi johtua. Äärimmäiset säänvaihtelut ja talven lämpeneminen ovat mahdollisia aiheuttajia. Tundrapalot ja termokarstit, eli maahan roudan sulaessa muodostuneiden notkelmien täyttyminen vedellä voivat aiheuttaa alueellista tuhoa. Talvien lämpeneminen aiheuttaa liian varhaista deaklimaatiota, mistä seuraa pakkasvaurioita. Jään muodostuminen, kun vettä sataa lumen päälle, ja pakkaskuivuminen lumen puuttuessa ovat myös mahdollisia.

Kaiken kaikkiaan tapahtuu siis yhtä aikaa sekä "vihertymistä", että "ruskettumista", se kumpi tulee hallitsemaan on vielä asia, jota ei osata ennustaa (Phoenix & Bjerke 2016). "Ruskettuminen" on alueellista, kun taas "vihertymistä" tapahtuu joka tasolla ja joka puolella. Suurin osa tutkimuksista tukee kuitenkin sitä, että kokonaisuudessaan biomassaa tulee kasvamaan ilmaston lämmitessä pohjoisilla alueilla.

4.3. Pohjoisten kasvien tulevaisuus

On vielä mahdotonta ennustaa, miten käy pohjoisten lajien. On varsin monimutkainen kuvio, mitkä lajit tulevat menestymään, mitkä eivät. Lajien välisessä kilpailussa vaikuttavat monet tekijät (Garamvölgyi & Hufnagel 2013). Voi olla, että kasviyhteisöt tulevat olemaan täysin erilaisia kuin nyt.

Ravinteiden huono saatavuus pohjoisen maaperästä voi muuttua. Kun maa lämpenee, typen mineralisaatio lisääntyy ja siten ravinteiden saatavuus helpottuu (Markkola ym. 2015). Tämä voi helpottaa eteläisten kasvien leviämistä pohjoiseen ja lisätä kilpailua. Eteläisten kasvien leviämistä pohjoiseen voi rajoittaa valoympäristö (Saikkonen ym. 2012). Osa lajeista pystyy sopeutumaan pohjoiseen valoympäristöön, osalle se voi olla rajoittava tekijä. Valoympäristöön sopeutuminen on osin geneettistä, joten muutokset ovat hitaita.

Pohjoisen kasvit ovat sopeutuneet pitkään kylmään jaksoon, lämpeneminen voi haitata talvesta selviytymistä. Keväällä kasvin kasvuun lähtöön tarvitsema lämpösumma voi ylittyä, jolloin se on altis pakkasvaurioille (Taulavuori 2013). Lämpötilan vaihtelu keväällä on vaaraksi. Esimerkiksi mustikan on todettu taantuvan ja muiden lajien saavan alaa (Garamvölgyi & Hufnagel 2013)

Jos vahvat kilpailijat valtaavat alaa, tulee diversiteetti kärsimään. Todennäköisesti boreaalisen alueen kasvit valtaavat tundraa. Näyttää kuitenkin siltä, että tundra pysyy avoimena, se ei ole otollinen alusta puille (Vuorinen & Oksanen ym. 2016).

Voi olla, että etelästä leviää invasiivisia tulokkaita. Jos ne kykenevät kilpailemaan pohjoisessa valoympäristössä, ovat ne uhka pohjoisille kasveille (Taulavuori 2013).

Ihmiset tuovat tulokaslajeja, jotka voivat olla tuhoisia alkuperäiskasvistolle. Esimerkiksi jättipalsami (*Impatiens glandulifera*) on hyvin kilpailukykyinen tulokaslaji. Se on levinnyt Suomessa Lappia myöten. Ihminen myös nopeuttaa metsien muuttumista, suosissaan taloudellisesti tuottavampien lajien viljelyä (Markkola ym. 2015). Ilmaston lämmitessä myös viljely muuttuu kannattavammaksi pohjoisessa ja se muuttaa maankäyttöä.

5. Johtopäätökset

On vaikea ennustaa pohjoisten kasvien tulevaisuutta. Asiaa on tutkittu, mutta on niin monen tekijän summa, mitä tulee tapahtumaan, että lopputulos on vielä arvoitus. Pohjoisessa on erityisiä olosuhteita, joten eteläisemmät kasvit eivät välttämättä suoraan tule valtaamaan alaa. Tarvitaan lisää tutkimusta, jotta tiedettäisiin miten käy pohjoisten ekosysteemien.

Yhteenveto:

- Ilmasto lämpenee kiihtyvällä vauhdilla
 - Erityisesti arktinen alue lämpenee
- Biomassa lisääntyy sekä boreaalisella, että arktisella vyöhykkeellä
 - Metsien biomassa kasvaa
 - Toisaalta metsäpalot ja hyönteistuhot lisääntyvät
 - Tundra vihertyy
 - Erityisesti pensaat lisääntyvät
 - Joillakin alueilla tundra ruskettuu
- Kasvillisuusrajat siirtyvät pohjoisemmaksi
 - Lanhkeaa vyöhyke boreaalisen vyöhykkeen alueelle
 - Boreaalinen vyöhyke tundralle
 - Tundra polaariaavikolle
- Häiriöt lisääntyvät

- Pakkasvauriot ym.
- Metsäpalot
- Hyönteistuhot
- Tulokaslajit
- Kilpailu lisääntyy pohjoisella alueella
 - Pohjoisen erityisolot hillitsevät
 - Valoympäristö
 - Maaperän karuus -> mykorritsasienen tärkeys
 - Vesiolosuhteet
- Lopputulos ei tiedossa
 - Kasviyhteisöt saattavat muuttua nykyisistä

6. Lähteet

Arora, R., Taulavuori, K. 2016: Increased risk of freeze damage in woody perennials vis-à-vis climate change: Importance of deacclimation and dormancy response. --- *Frontiers in Environmental Science* 4:44. Saatavilla (29.3.2018): <https://doi.org/10.3389/fenvs.2016.00044>

Chapin, F. 1992: Arctic ecosystems in a changing climate: An ecophysiological perspective. --- Academic Press, San Diego, 469 s.

Epstein, H., Myers-Smith, I., & Walker, D. 2013: Recent dynamics of arctic and subarctic vegetation. --- *Environmental Research Letters* 8: 015040.

Forbes, B.C. 2015: Arctic Vegetation Cover: Patterns, Processes and Expected Change. --- Teoksessa: Evengård B., Nymand Larsen J., Paasche Ø. (toim.): *The New Arctic*. Springer, Switzerland, s. 117-129. Saatavilla (10.4.2018): DOI https://doi-org.pc124152 oulu.fi:9443/10.1007/978-3-319-17602-4_9

Hassol, S. 2004: Impacts of a warming arctic: Arctic Climate Impact Assessment (ACIA). --- Cambridge University Press.

Hufnagel, L. & Garamvölgyi, Á. 2013: Impacts on vegetation distribution no. 1: Climate change induced vegetation shifts in the palearctic region. --- Applied ecology and environmental research 11(1): 79-122.

IPCC 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. --- Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Saatavilla (29.3.2018): [10013/epic.45156.d001](https://doi.org/10.1017/epic.45156.d001)

Markkola, A.M., Saravesi, K., Aikio, S., Taulavuori, E., Taulavuori, K. 2015: Light-driven host-symbiont interactions under hosts range shifts caused by global warming: A review. --- Environmental and Experimental Botany 121:48-55.

Phoenix, G. & Bjerke, J. 2016: Arctic browning: extreme events and trends reversing arctic greening.---Global change biology 22:2960-2962. Saatavilla (15.4.2018): DOI: 10.1111/gcb.13261.

Saikkonen, K., Taulavuori, K., Hyvönen, T., Gundel, P., Hamilton, C., Vänninen, I., Nissinen, A., Helander M. 2012: Climate change-driven species' range shifts filtered by photoperiodism. --- Nature climate change 2:239-241. DOI: 10.1038/NCLIMATE 1430

Taulavuori K., Sarala M., Taulavuori E. 2010: Growth Responses of Trees to Arctic Light Environment. ---Teoksessa: Lüttge U., Beyschlag W., Büdel B., Francis D. (toim.) Progress in Botany 71. Springer, Berlin, Heidelberg s. 157-167. DOI 10.1007/978-3-642-02167-1_6

Taulavuori, K 2013: Vegetation at northern high latitudes under global warming. --- Teoksessa: Causes, Impacts and Solutions to Global Warming. Springer, New York s. 3-16. DOI: https://doi-org.pc124152.oulu.fi:9443/10.1007/978-1-4614-7588-0_1

Verkkosivusto 1: Havas, Paavo 1999: Pohjoinen luontomme. Saatavilla (28.3.2018): <http://www.oulu.fi/northnature/finnish/Suomi/koti.html>

Vuorinen, K., Oksanen, L., Oksanen, T., Pyykönen, A., Olofsson, J. & Virtanen, R. 2016: Open tundra persists, but arctic features decline. --- Vegetation changes in the warming Fennoscandian tundra. - Global Change Biology 23:3794-3807. Saatavilla (28.3.2018): <https://doi-org.pc124152.oulu.fi:9443/10.1111/gcb.13710>

Walter, Heinrich 1985: Vegetation fo the Earth and Ecological Systems of the Geobiosphere. --- Springer, Berlin, 318 s.