



Arktisten habitaattien kutistuminen tundraeläimille –
esimerkkilajeina tunturisopuli, naali ja tunturipöllö

LuK-seminaari ja -tutkielma 790351A
Taru Rikkonen
Maantieteen tutkimusyksikkö
Oulun Yliopisto
22.11.2017

Sisällys

1. Johdanto	3
1. Teoreettinen viitekehys	6
2.1 Arktinen alue.....	6
2.2 Tundra.....	8
2.3 Habitaatti.....	11
2. Arktisten habitaattien vähenemiseen vaikuttavat tekijät	11
3.1 Ilmastonmuutoksen vaikutus.....	13
3.2 Vieraslajien leviäminen	13
3.3 Ihmistoiminnan vaikutus.....	14
3.4 Muut tekijät.....	15
4. Tundraeläinten habitaattien väheneminen.....	16
4.1 Sopeumat arktisiin olosuhteisiin ja niiden luomat ongelmat.....	17
4.2 Tundraeläinten vuorovaikutussuhteiden merkitys	18
5. Esimerkkilajit	19
5.1 Tunturisopuli.....	19
5.2 Naali.....	21
5.3 Tunturipöllö.....	23
6. Pohdinta	25
Lähteet.....	30

1. Johdanto

Kun puhutaan arktisen alueen kohtaamista riskeistä, tulee useimmalle mieleen kuva yksinäisellä jäälautalla viruvasta jääkarhusta. Arktisen alueen kokemat riskit vaikuttavat meitä lähempänäkin, ja suojelua on tärkeä osata kohdentaa jopa jokaiseen lajiin, sillä arktisen alueen jokainen yksilö on merkityksellinen. Arktinen alue kokee suuria muutoksia, ja alueen lämpeneminen vaikuttaa pitkälle yli arktisen alueen rajojen. Alueen haasteet, riskit ja mahdollisuudet ovat tärkeää tuntea, jotta voitaisiin ymmärtää ja ehkäistä niiden todelliset vaikutukset sekä jokaiselle yksilölle, että koko maapallolle.

Jotkut tieteilijät ovat väittäneet, että olemme siirtyneet Antroposeenille, nykyiselle geologiselle ajanjaksolle, jossa ihmiskunnan vaikutus ilmastoon ja ympäristöön on vallitsevaa (Bock 2017:34). Vaikka maapallollamme on aina tapahtunut ilmaston lämpenemisiä ja viilentymisiä, on lämpeneminen arktisella alueella tällä hetkellä kuitenkin kaksi kertaa nopeampaa kuin muualla maapallolla. Arktinen alue kärsii ilmastonmuutoksesta kaikista eniten (Callaghan 2005:11). Arktinen alue on maailmalle erityisen tärkeä, ja sen lämpeneminen vaikuttaa pitkälle yli alueen rajojen, vaikuttaen koko maailman toimintaan. Ekosysteemit joutuvat tulevaisuudessa nopean muutoksen kohteeksi, mikä uhkaa sekä elinympäristöjä että eliölajeja (Kansallinen ilmastonmuutokseen... 2014). Nopeat muutokset ovat suuri uhka varsinkin arktisille ekosysteemeille, sillä ne ovat erityisen haavoittuvia ympäristön muutoksille. Ilmasto lämpenee tällä hetkellä niin voimakkaasti, että muutokset ympäristössä ovat havaittavissa vain yhden eliniän aikana. Pohjoisen eliöstöllä on jo kiire sopeutua muuttuvaan ympäristöön, häiriötekijöihin ja uusiin kilpailijoihin. Sopeutumista hidastaa nopea ympäristönmuutos, sekä etelästä tundraa ylöspäin puskeva puuraja, ja pohjoisessa leviämistä estävä Jäämeri. Pohjoinen luonto on ahtaalla jo nyt, eivätkä lajit voi paeta loputtomasti pohjoisemmaksi (Lovejoy & Hannah 2005; Marjankangas 2011).

Lämpenemisen ohella myös muut tekijät edesauttavat habitaattien kutistumista Arktisessa. Iso osa maapallon maaperästä on maankäytön muutosten takia muutettu ihmistoi-

minnan hyväksi täysin erilaisiksi, alkuperäiselle eliöstölle sopimattomiksi, alueiksi (Morrison ym. 2015: 157). Lajien diversiteettikadon taso on suurempi, kuin milloinkaan muulloin ihmisen historiassa, ja suurilta osin se johtuu habitaattien heikentymisestä. Vieraslajien leviäminen, teollistuminen, UV-B-säteilyn muutokset ja saasteet sekä muut ennalta-arvaamattomat muuttajat tulevat vaikeuttamaan arktisten lajien selviytymistä. Maapallo kärsii tällä hetkellä monista häiriötekijöistä, joten muutokset tulevat olemaan tulevaisuudessa vielä vakavampia kuin menneisyydessä, ja pahimmassa tapauksessa arktisen lajistoa voi kuolla sukupuuttoon. Callaghanin (2005) mukaan tulevaisuudessa tapahtuvia muutoksia voidaan reflektoida menneisyydestä, mutta todellisia vaikutuksia on kuitenkin mahdotonta ennustaa, kun ilmastonmuutoksen ja ihmistoiminnan aiheuttamien häiriötekijöiden yhteisvaikutuksia ei voida ennakoita.

Tutkimuksia arktisesta alueesta ja tundran lämpenemisestä on tehty melko paljon. Arktisen neuvoston kaksi eri työryhmää (AMAP ja CAFF) ovat muun muassa tehneet paljon työtä kartoittaakseen arktisen alueen tilannetta, ja pohtiakseen keinoja vastata ilmastonmuutoksen kasvavaan haasteeseen (Callaghan 2005). Pääpainot arktisen alueen ja tundran tutkimisessa ovat olleet kuitenkin usein vain kasvillisuudessa, eikä niinkään eläimistöissä. Levinneisyysalueiden muutoksia on tutkittu paljon varsinkin Pohjois-Euroopan maissa, joissa tutkimuksia on tehty linnuille, perhosille, kasveille ja puille jopa 1700-luvulta lähtien (Parmesan 2006).

Käsittelen tutkielmassani koko arktisen alueen kohtaamia riskejä, mutta näkökulmakseni olen valinnut maanpäälliset ekosysteemit, erityisesti tundraeläimet. Tutkielmassa käytän hieman joustavampaa määrittelyä arktisesta alueesta, ottaen huomioon myös esimerkiksi arktisen alueen ja subarktisen vaihettumisvyöhykkeen alueita, jotka ovat tiiviisti yhteydessä arktisen alueen ilmastojärjestelmään. Tundraa esiintyy sekä Napapiirin pohjoispuolella, että vuoristojen puurajojen yläpuolella (Hu & Bliss 2017), mutta tässä tutkimuksessa keskityn juuri Napapiirin pohjoispuolisen arktisen alueen tundra-alueisiin. Tutkimuskysymykseni ovat: Mitkä tekijät kutistavat arktisen alueen habitaatteja? Miten habitaattien kutistuminen vaikuttaa tundraeläimiin tulevaisuudessa? Esimerkkilajini ovat tunturipopuli, naali ja tunturipöllö, joten pääpaino tutkielmassani on näissä kolmessa lajissa. Oletan aikaisempiin tutkimuksiin ja uutisointiin vedoten tundraeläinten mahdollisuuksien

kapenevan tulevaisuudessa. Lisäksi hypoteesinani on, että tundraeläimille suotuisat habitaatit tulevat kapenemaan, ja näihin tapahtumiin pääasiallisena tekijänä oletan olevan ilmastomuutos.

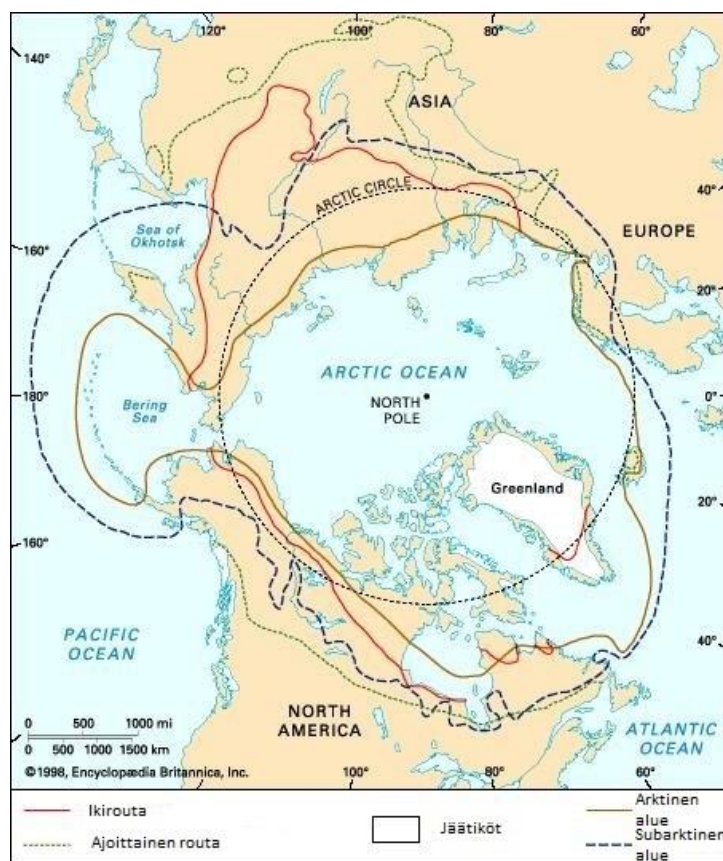
1. Teoreettinen viitekehys

2.1 Arktinen alue

Arktinen alue voidaan määritellä useilla tavoin. Erot määrittelyssä voivat tapahtua siinä, määritelläänkö arktinen alue ympäristöllisten, maantieteellisten (kuten napapiirin) tai esimerkiksi poliittisten rajojen mukaan. Turner ja Marshall (2011:1) määrittelevät arktisen alueen kattavan Venäjän ja Pohjois-Amerikan pohjoisosat, Skandinavian, Grönlannin ja Jäämeren, sekä sen lukuisat saaret (Kuva 1). Arktinen alue on McBeanin (2005) mukaan globaalin ilmastojärjestelmän pohjoisin osa, ja se on monella tapaa vuorovaikutuksessa globaaliin ilmastojärjestelmään (McBean 2005). Arktinen jaetaan yleensä kahteen suureen vyöhykkeeseen, arktiseen ja subarktiseen (Dunbar ym. 2017). Subarktinen, ja varsinkin sen pohjoisosat, mielletään usein arktisen alueen vaihettumisvyöhykkeeksi. Subarktiseen alueeseen kuuluvat boreaalisen metsän pohjoisosat. Arktisen alueen ja subarktisen rajana pidetään puurajaa. Luonnonmaantieteessä Arktista aluetta ei voida määritellä maantieteellisten leveyspiirien tai poliittisten rajojen mukaan. Muun muassa merivirrat vaikuttavat eri alueisiin, esimerkiksi viilentäen Grönlantia ja Itä-Kanadaa, ja sitä vastoin lämmittäen Eurooppaa. Itä-Kanadassa 51°N esiintyy tundraa ja jääkarhuja, kun taas Norjassa 69°N harjoitetaan maataloutta (Huntington & Weller 2005).

Maan kallistuskulman ja alueen pohjoisen sijainnin vuoksi koko arktiselle alueelle tyypillistä ovat suuret lämpötilavaihtelut vuodenaikojen välillä, ja ilmasto vaihtelee alueen leveyspiirin, korkeuden ja topografian mukaan (Dunbar ym. 2017). Kesäisin arktinen alue saa runsaasti auringon valoa, mutta talvisin valoa tulee alueelle vähän (McBean 2005). Arktinen vyöhyke tarjoaa maisemallisesti hyvin suuriakin vaihteluja. Maisemat vaihtelevat sekä meri- että mannermaisemallisesti, muuttuen sekä jäätikkö- että tundra-alueista kosteikkoihin sekä suuriin jokiin (Huntington & Weller 2005). Meri ja merijää ovat arktisen alueen yksi merkittävimmistä tekijöistä, ja ne vaikuttavat koko vyöhykkeen meteorologiaan ja oseanografiaan (Turner & Marshall 2011:1). Vaikka alue on hyvin laaja, on sen jokaiselle alueelle tyypillistä ainakin jonkinasteiset jäätymis- ja sulamisprosessit (Turner & Marshall 2011:1). Dunbarin ym. (2017) mukaan ikiroutamaat ovat yksi arktisen alueen määrittävistä piirteistä, mutta todellisuudessa noin kolme viidesosaa alueen

maa-alueesta on ikirouta-alueen ulkopuolella. Köppen (1931) määritteli tunnetussa ilmastoluokittelussaan arktiseksi ilmastovyöhykkeeksi alueen, jonka vuoden lämpimimmän kuukauden keskilämpötila on alle 10°C. Todellisuudessa alueen ilmasto vaihtelee runsaasti maantieteellisestä sijainnista ja vuodenaikasta riippuen, ja keskilämpötilat voivat vaihdella suuresti (Huntington & Weller 2005). Lumi- ja jääalueiden herkkyydet pienillekin lämpötilan tai meren suolapitoisuuden vaihteluille ovat prosesseja, jotka voivat vaikuttaa ratkaisevasti arktisen laajaan ja nopeaan ilmaston muutokseen (Huntington & Weller 2005).



Kuva 1. Arktiset ja subarktiset alueet, ikirouta ja jäätiköt (Dunbar ym. 1998):

Kuva 1 pienin muutoksin kirjoittajan uudelleen muotoilemana.

Arktisen alueen sisälle kuuluu kolme erilaista ekosysteemiä: maanpäälliset, merelliset ja makean veden ekosysteemit, sekä niiden vaihettumisalueet (Huntington & Weller 2005:11-15). Ekosysteemit luovat suuren kirjon erilaisia habitaatteja eri eliöille ympäri

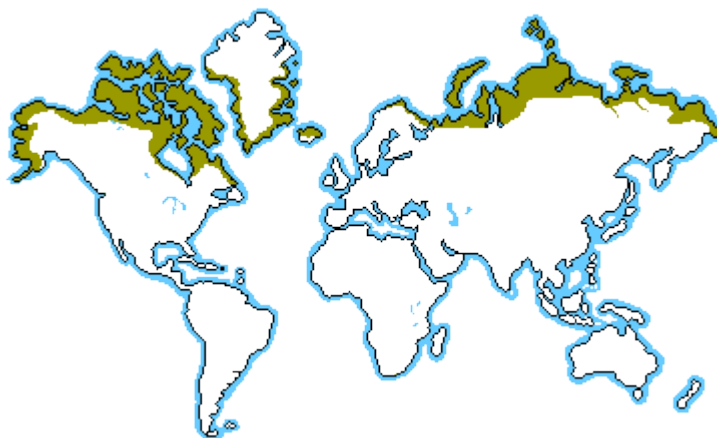
arktista aluetta, mutta maanpäällisten ekosysteemien lajien monimuotoisuus arktisella on melko alhainen, sen vähentyessä mitä pohjoisemmasta alueesta on kyse. Yksilömäärä on alueella kuitenkin suuri. Arktisen alueen ensisijainen kasvillisuustyyppi on tundra, mutta esimerkiksi suomaat ja muut kosteikot ovat tyypillisiä alueelle (Turner & Marshall 2011). Etelämpänä kasvillisuus vaihtuu puustoisemmaksi tundran vaihtumisvyöhykkeeksi, jossa esiintyy muun muassa koivua, ja vielä etelämpänä, subarktisella, havupuita (Baily 1996).

Taloudellisesta näkökulmasta arktinen alue on tärkeä luonnonvarojen lähdealue (Huntington & Weller 2005:11-15), ja ihminen on asuttanut aluetta sen takia jo pitkään (Callaghan 2005). Ihmisen vaikutus arktisiin ekosysteemeihin on ollut suurta jo kauan aikaa muun muassa porotalouden, kalastuksen ja metsästyksen johdosta (Rosswall & Heal 1975). Riista- ja kalalajien tuoman taloudellisen hyödyn lisäksi alueen mineraalivarat ovat luoneet markkinarakoja. Arktisen alueen tärkeimmät luonnonvarat ovat öljy ja kaasu, kalat, sekä mineraalit. Alueelle perustetut sotilastukikohdat ja matkailun lisääntyminen ovat luoneet arktiselle alueelle uusia työpaikkoja, mutta myös vaikuttaneet alueen ympäristöön. Nykyinen moderni yhteiskunta aiheuttaa yhä radikaalimpia ja peruuttamattomampia muutoksia arktisissa ekosysteemeissä, kun sen tarjoamia luonnonvaroja liika-ikäytetään.

2.2 Tundra

Subarktisen yläpuolella sijaitsee puuton, arktinen tundra (Turner & Marshall 2011). Lomolino ym. (2010) määrittelee tundran olevan puuton biomi, jossa vallitsevat rankat ympäristölliset olot. Tundra on arktisen alueen merkittävin ja suurin maanpäällinen ekosysteemialue (Kuva 2), kattaen Hu ja Bliss:n (2017) mukaan noin 10 prosenttia koko maapallon pinta-alasta. Tundran etelärajana pidetään havumetsävyöhykkeen pohjoisreunaa, ja Callaghanin (2005) mukaan tundravyöhyke vaihtelee Kanadan 51:n leveysasteen ja Grönlannin 84:n leveysasteenvälillä. Tundralle tunnettuja piirteitä ovat talvinen lumikerros ja maaperän jäätyminen vähintään talvisin, osalle alueista myös ikirouta (Callaghan 2005). Kevään tullen tundran lumipeite sulaa ja ruokkii monia jokia, joista makea vesi

kulkeutuu Jäämereen. Vyöhykkeen sademäärä on vähäinen, mutta alhaisen haihtumisen seurauksena ilmasto on silti kosteahko.



Kuva 2. Tundra-alueet. (Blue Planet Biomes 2002).

Geomorfologiset prosessit ovat muokanneet tundran maisemaa, ja siksi alueen maasto on hyvin vaihtelevaa. Jatkuva maaperän jäätyminen ja sulaminen rouhivat ja lajittelevat tundran maa-ainesta erilaisiksi maalajeiksi ja kerrostumiksi. Nämä toiminnot vaikuttavat maaperän partikkeleiden irtoamiseen ja siten alueelle tyypillisten turvekerrosten ja soiden syntyyn, jotka tarjoavat alueen kasvillisuudelle kosteutta (Callaghan 2005; Turner & Marshall 2011:3-10). Tundran maaperä on lisäksi kuivaa ja hapanta, ja maaperässä on usein eritasoisia lahoamattomia orgaanisia kerroksia (Dunbar ym. 2017). Orgaaninen kerros on hyvin ohut, usein maksimissaan 10 cm paksu. Kylmyyden ja hitaan hajoamisen seurauksena tundran maaperässä on hyvin vähän ravinteita, joten puiden on mahdotonta juurtua tundralle. Biomassan tuotanto tundra-alueilla on pienempi kuin lähes millään muulla maanpäällisellä biomilla (Callaghan 2005).

Sijaintinsa vuoksi tundra-alueet kokevat valon määrän ja lämpötilan johdosta äärimmäisiä oloja koko vuoden ympäri. Lämpötilojen vaihdellessa vuodenaikaisesti tundran eliöitten täytyy olla sopeutuneita äärimmäisten valo- ja lämpötilaolosuhteiden lisäksi ankariin tuuliolosuhteisiin ja pitkiin talviin. Tundran kasvillisuutta ovat pääasiassa sellaiset kasvit, jotka selviytyvät ympäristössä, jossa kasvukausi on lyhyt. Tällaisia kasveja ovat muun

muassa matalat varvut, sammalet ja jäkälät. Kasvilajisto on alueella kuitenkin kokonaisuudessaan melko vähäinen. Tundran kasvit ovat sopeutuneet kylmään ilmastoon. Ne ovat kompakteja, säästävät vettä ja osaavat estää jäätymistä (The Arctic Environment 2017). Muita tunnettuja ominaisuuksia tundralle ovat laajat osat paljasta maata, kivikot ja kosteikot (Hu & Bliss 2017). Bailyn (1996) mukaan tundran kasvillisuus vaihtuu etelämpänä puustoisemmaksi vaihtumisvyöhykkeeksi, jolle ovat tyypillistä tunturikoivikot ja -paljakat.

Tundran ainutlaatuinen kasvillisuus ja maaperä luovat habitaatteja tundran omintakeiselle eläinlajistolle (Callaghan 2005; Hu & Bliss 2017). Eläinlajiston diversiteetti alueella ei ole kovin suuri, mutta primitiiviset lajit, esimerkiksi tunturisopuli, ovat siellä yleisiä ja suurilukuisia. Huntingtonin ja Wellerin (2005:11-15) mukaan eläinlajiston väheneminen leveysasteen kasvaessa on tundralla erityisen voimakasta. Huomattava tekijä arktisen eläinlajistossa ovat ylivoimaisen vallitsevat lajit, kuten sopulit, joilla on suuri merkitys ekosysteemien prosesseille. Alueen kasvillisuus, kasvinsyöjät ja pedot muodostavat tiiviin, ekologisen ja omavaraisen verkoston (Dunbar ym. 2017).

Tundran eläimistön on täytynyt sopeutua alueeseen, jossa talven ja kesän olosuhteet poikkeavat toisistaan radikaalisti (The Arctic Environment 2017). Tundran eläimistöön kuuluvat isona osana sorkka- ja karioeläimet, kuten poro, karibu ja myskihärkä, jotka laiduntavat kasvukauden aikana kasvaneen tuotannon käytännössä pois (Lomolino ym. 2010). Muita alueen tärkeitä kasvinsyöjiä ovat muun muassa hanhet ja riekko, sekä pienet jyrsijät, kuten tunturisopuli, joiden populaatiot vaihtelevat dramaattisesti saalistajien ja kasvivyhteisöjen vuorovaikutusten mukaan. Tundran petoeläimiä ovat muun muassa ahma, naali ja tunturipöllö.

Ekosysteemien häiriöt ovat tyypillisiä tundralle. Häiriöt voivat olla mekaanisia, kuten eroosio, lumen kerrostuminen, tulvat ja jäätymis-sulamis-prosessit. Biologisia häiriöitä ovat esimerkiksi tuholaishyönteisten aallot, kasvinsyöjäpopulaatioiden äkillinen nousu ja metsäpalot. Nämä häiriöt voivat tapahtua monilla eri spatiaalisilla ja temporaalisilla skaaloilla ja täten voivat vaikuttaa eliöiden leviämiseen ja selviytymiseen, sekä koko ekosysteemin kehitykseen (Callaghan 2005).

2.3 Habitaatti

Habitaatti on yksinkertaisesti paikka, missä organismi tai yhteisö asuu (Habitat 2017). Habitaatti sisältää elinympäristön kaikki elolliset ja elottomat tekijät sekä olosuhteet. Habitaatti on siis resurssien ja ympäristöllisten olojen rajaama alue, jotka kattavat yksilön elämisen, selviytymisen ja lisääntymisen siellä (Morrison ym. 2015). Habitaatti on lajikohtainen, ja jollekin lajille sopiva habitaatti, on toiselle kelpaamaton. Pieni lampi on jollekin kalalajille habitaatti yhtä lailla, kuin isäntäeliö on habitaatti loiseläimelle. Ilman oikeanlaisten habitaattien olemassaoloa, luonnonjärjestelmiä ei olisi olemassa.

Maankäytön muutosten takia habitaatit ovat vaarassa pirstoutua ja hävitä (Morrison ym. 2015). Jotta habitaatteja voitaisiin suojella, on tärkeää ymmärtää habitaattien ja organismien vuorovaikutussuhteet, ja se, miten tulevaisuuden tuomat muutokset tulevat vaikuttamaan habitaatteihin ja niiden lajeihin. Habitaattien suojeleminen ja entisöiminen ovat lajien turvaamisen perusta.

2. Arktisten habitaattien vähenemiseen vaikuttavat tekijät

Arktisella alueella elää noin kaksi prosenttia maapallon eläimistöä, mutta alue on koko maapallon biodiversiteetille elintärkeä (Callaghan 2005). Arktinen alue kattaa noin puolet koko maapallon kosteikoista, ja kosteikot sisältävät yli puolet maailman rannikkolinuista. Kosteikot ovat taas yksi maapallon tärkeimmistä muuttolintujen pesimäalueista. Arktisen alueen eliöstön monimuotoisuuden väheneminen tapahtuu kutakuinkin viilenevän ilmaston mukaan, väheten kohti pohjoista. Ilmastonmuutos uhkaa nopeuttaa koko maapallon biodiversiteetin katoa muiden ihmistoiminnasta johtuvien stressitekijöiden, kuten habitaattien pirstoutumisen ohella.

Vaikka arktisen alueen eliöstön monimuotoisuuden määrä vähenee pohjoiseen mentäessä, luo alue joillekin lajeille parempia mahdollisuuksia, kuin muualla maailmassa (Callaghan 2005). Boreaalisen vyöhykkeen pohjoispuolella esiintyy muutama laji, joita ei muualla maailmassa havaita (Forsström 2016). Arktisen eliölajeja on uhan alla, vaikka tuottavuus ja lajimäärä tulevat alueella mitä todennäköisemmin kasvamaan (Parmesan

2006). Marjakangas (2011:15) väittää, että mitä pohjoisempi lajin levinneisyys on, sitä todennäköisemmin se tulee häviämään. Toisaalta jotkin eteläiset lajit ovat hävinneet siksi, etteivät ne ole pystyneet leviämään pohjoisemmaksi, tai maantieteellinen este on estänyt leviämisen (Parmesan, 2006).

Kaikista näkyvämpiä muutoksia ovat fyysiset muutokset ympäristössä, kuten kohoavat lämpötilat ja merijään sulaminen (Bock 2017). Fyysiset muutokset ympäristössä vaikuttavat muun muassa ekosysteemien ja habitaattien toimintaan, lajeihin, ja saasteiden kulkeutumiseen. Ekologiset vaikutukset ympäristöön ja habitaatteihin ovat vaikeampia huomata, mutta ne ovat sitäkin merkittävämpiä. Esimerkiksi eri stressitekijät voivat kasaantua yhteen, aiheuttaen vieläkin vakavampia vahinkoja ekosysteemeille. Arktisen alueen kasvilajit ovat osoittautuneet olevan hyvin herkkiä ilmastollisille vaihteluille, ja kasvillisuudella on merkittävä vaikutus veden ja energian siirtoon (Callaghan 2005:11). Siksi tulevat muutokset kasvillisuustyypeissä voivat muuttaa osaltaan paikallista ilmastoa ja habitaatteja (Huntington & Weller 2005). Parmesanin tutkimuksen (2006) mukaan lähes kaikki arktiset ekosysteemit ovat osoittaneet paikan vaihdoksia. Muutokset arktisissa ekosysteemeissä voivat lisätä kasvihuonekaasujen pääsemistä ilmakehään, ja täten edistää ilmastonmuutosta edelleen (Huntington & Weller 2005).

Lumen ja jään vähenemisellä on voimakkaita vaikutuksia niistä riippuvaiseen eliölajistoon, ja lumiajan pituus ja paksuus ovat elintärkeitä Arktisen eliöstölle (Bock 2017). Ennustettu ilmaston lämpeneminen tarkoittaa selviä muutoksia muun muassa lumeen ja jäähän, kun lämpötilat vaihtuvat pakkasesta plussan puolelle. Lumen ja jään sulaminen vähentää Maan albedoa ja edistää siten lämpenemistä edelleen. Aikaisempi ja nopeampi lumen sulaminen muuttaa virtausten ajoitusta ja määrää, jotka tulevat todennäköisesti muuttamaan arktisia habitaatteja. Virtausten määrä ja ajoitus voivat myös johtaa alueellisiin kuivumisiin ja metsäpaloihin, kuten Alaskassa on tapahtunut (Turner & Marshall 2011:12-14). Ikiroudan ja lumipeitteen jatkuva sulaminen tulevat muuttamaan arktisia ekosysteemejä ja habitaatteja muun muassa tuhoamalla boreaalista metsää, ja lisäten kosteikkojen määrää. Arktisen alueen kohtaamat muutokset tulevat aiheuttamaan muutoksia alueen eliöstössä, jotka joutuvat joko muuttamaan, muuttamaan tai häviämään.

3.1 Ilmastonmuutoksen vaikutus

Ilmastonmuutos on merkittävin arktisia ekosysteemejä muuttava tekijä, mutta sen habitaatteja muuttaa runsaasti myös maankäytön muutokset (Callaghan 2005). Nykyään on selviä todisteita siitä, että moderni ilmastonmuutos sekoittaa ja muuttaa lajien luonnollisia maantieteellisiä levinneisyyksiä globaalisti (Parmesan & Yohe 2003). Kalliolan (1973) mukaan ilmaston lämpeneminen siirtää puurajaa ylemmäksi noin 100 metriä jokaista 0,6 asteen lämpötilan nousua kohden, siirtäen samalla habitaatteja. Tundramaan lämpeneminen ja kuivuminen tulevat edistämään kasvihuonekaasujen pääsemistä ilmakehään, ja nousevien lämpötilojen mukana nousevat myös ilmastovyöhykkeet. Ilmastovyöhykkeiden mukana nousevat pohjoisemmaksi myös boreaalinen havumetsävyöhyke sekä puuraja (Turner & Marshall 2011:12-14). Tundran korvautuminen metsällä tulee vaikuttamaan merkittävästi ekosysteemien rakenteisiin, ja johtamaan arktisten ekosysteemien ja habitaattien muuttumiseen sekä siirtymiseen (Huntington & Weller 2005). Puiden lisäksi varpukasvillisuus on vallannut tundraa, ja varvuilla on usein kilpailuetu muihin tundrakasveihin verrattuna (Parmesan 2006). Tundraa vallatessaan varpukasvit voivat aiheuttaa suuria muutoksia tundraekosysteemille, ja koko maailman hiilenkierrolle (Myers-Smith ym. 2011). Se, onko varpukasvien lisääntymisellä positiivinen vai negatiivinen vaikutus ilmaston lämpenemiseen, on vielä osittain epäselvää.

Monet lajit ovat jo nyt kärsineet pienentyneistä habitaateista ja niiden muutoksista ilmastonmuutoksen seurauksena (Parmesan, 2006). Kenttätyöt, tutkimukset ja mallintamiset ovat osoittaneet eliöyhteisöjen siirtymisen olevan selkeästi yhteydessä lämpenevään ilmastoon ja lisääntyneeseen maaperän mikrobitoimintaan. Myös jääpeitteen sulaminen on vaikuttanut pohjoisessa, johtaen habitaattien pienenemiseen, sekä siellä elävien eläinlajien ravinnon katoamiseen.

3.2 Vieraslajien leviäminen

Leudommat olosuhteet houkuttelevat eteläisiä tulokaslajeja leviämään arktiselle alueelle, jolloin uudet lajit valtaavat alkuperäisten lajien habitaatteja. Vieraslajien leviämisen lisäksi ilmastonmuutoksen ennustetaan voimistavan vieraslajien mahdollisuuksia muodos-

taa elinkelpoisia populaatioita uusilla alueilla ja aiheuttavan merkittäviä haittoja alkuperäiselle lajistolle. Vieraslajien etuna on se, ettei niillä ole luontaisia vihollisia tai kilpailijoita alueella, ja vieraslajit yleensä voittavat alkuperäiset lajit kilpailussa. Vieraslajit ovat kasvava uhkatekijä tundran alkuperäisille lajistolle ja habitaateille, ja alkuperäiseen luonnon monimuotoisuuteen kohdistuneet haitat ovat vieraslajien levitessä merkittäviä (Marjakangas 2011; Heikkinen ym. 2012).

Heikkisen ym. (2012) mukaan vieraslajien esiintymät ja haittavaikutukset tulevat kasvaamaan ilmastonmuutoksen, ihmistoiminnan lisääntymisen ja kasvavan teollistumisen seurauksena arktisella alueella. Samalla täysin uusien vieraslajien leviäminen tulee ottaa huomioon. Lämpenevä ilmasto luo uusia mahdollisuuksia myös tuholaisille, jotka voivat runsastuessaan hävittää kokonaisia habitaatteja (Bock 2017:36). Tästä esimerkkinä ovat Ylä-Lapissa tapahtuneet tunturi- ja hallamittarien invaasiot, jotka ovat tuhonneet kokonaisia tunturikoivikoita, ja täten muuttaneet alueen ympäristöä perusteellisesti (Torvinen 2009). Risteyvät ja loiseläimet sekä taudinaiheuttajat leviävät vieraslajien ohella lämpenemisen seurauksena yhä pohjoisemmaksi, ja näiden tekijöiden kokonaisvaikutusta on hankala ennustaa (Callaghan 2005:269). Ihmistoiminnan kasvaessa arktisella alueella, joudutaan sinne perustamaan uusia kulkureittejä, jotka luovat vieraslajeille uusia mahdollisuuksia levittäytyä. Vieraslajien mukana pohjoiseen voi saapua myös monia uusia sairauksia, joilta alkuperäisen lajiston on vaikea selviytyä (Bock 2017:46).

3.3 Ihmistoiminnan vaikutus

Teollistumisen myötä tapahtuva habitaattien pirstoutuminen on maailmanlaajuisesti biodiversiteetin suurin uhka, ja erityisesti maankäytön muutokset hajottavat habitaatteja (Bock 2017). Ihminen hävittää ja hajottaa arktisen habitaatteja varsinkin sub-arktisella alueella, jossa ihmistoimintaa on suhteessa eniten verrattuna muuhun arktiseen alueeseen. Habitaatteja katoaa muun muassa teiden, rakennusten, putkistojen, kaivosten ja muun infrastruktuurin tieltä. Habitaattien hajoaminen ja pirstoutuminen muuttavat arktisen alueen kasvillisuutta ja hydrologiaa. Arktisen alueen maaperässä on paljon maaöljyä ja mineraaleja, ja ne ovat tärkeä osa koko maapallon resursseja, siksi myös kaivostoiminta hajottaa

arktisen alueen habitaatteja (Callaghan 2005). Maaperän hyödyntäminen tulee aiheuttamaan tulevaisuudessa yhä enemmän riskejä arktisen alueen eliöstölle ja vieraslajien leviämislle. Maankäytön muutosten lisäksi myös saasteiden lisääntynyt määrä arktisella alueella, ja sen luomat ongelmat voivat tulevaisuudessa olla suuri riskitekijä arktisille eliöille. Kaiken lisäksi arktinen alue kerää saasteita ilmakehäänsä myös maapallon muilta osilta. Todisteita on myös siitä, että teollistuneen maailman saasteet kulkeutuvat arktisiin ruokaverkkoihin (Klein 2005:598).

Arktisen alueen karun ilmaston takia ihmistoimintaa on alueella vielä vähän (Bock 2017). Tulevaisuudessa ihmistoiminta pohjoisessa tulee kuitenkin lisääntymään, kun maailmanlaajuinen tarve alueen resursseille kasvaa. Teknologian kehitys ja ilmaston lämpeneminen avaavat arktiselle alueelle uusia reittiä, jolloin alueen saavutettavuus tulee parantumaan. Ihmistoiminnan lisääntyminen tarkoittaa myös sitä, että arktiselle alueelle saapuu enemmän ihmisiä kasvattamaan ympäristöön kohdistuvaa painetta ja heikentämään habitaatteja entisestään (Callaghan 2005:328).

3.4 Muut tekijät

Oman haasteensa arktiselle alueelle ovat luoneet alueen lyhyet lisääntymisajat (Callaghan 2005:279-282). Lajien vuosirytmii voi riippua lämpötilan lisäksi myös lumen sulamisesta tai valon määrästä, ja ongelmia syntyy kun ravintoverkon eri tasoilla reagoidaan muuttuvaan ympäristöön eri tahdissa (Forsström 2016). Varhaisempi lumen sulaminen aikaistaa lajien pesintää, ja sopivaa ravintoa ei ehkä olekaan tarjolla poikasten syntyessä.

Poronhoidon harjoittamisen leviäminen Euraasian arktisella alueella on osaltaan johtanut villieläinten, kuten suden, ilveksen ja ahmojen merkittävään heikentymiseen (Klein 2005:598). Porotalouden aikaansaama runsas laidunnus, yhdessä maankäytön muutoksiin ja maaperän liikakäyttöön, ovat muuttaneet arktisen alueen kasvillisuuden rakennetta ja vähentäneet villieläinten habitaatteja. Myös villieläinten metsästäminen ruoaksi ja turkiksi ovat aiheuttaneet huomattavia tuhoja arktisen alueen eläimistöön (Klein 2005:598). Metsästäminen voimistui osittain jopa ylikulutukseksi, jolloin osa merieläimistä ja –lin-

nuista kuoli sukupuuttoon. Esimerkiksi pöllön munien kerääminen on aiheuttanut merkittäviä tuhoja tunturipöllökantoihin, ja metsästämisestä vaikutukset ovat huomattavissa esimerkiksi Fennoskandian naalipopulaatioissa (Kaikusalo & Henttonen 2002).

4. Tundraeläinten habitaattien väheneminen

Arktisen alueen eläinlajiston habitaatit ovat tällä hetkellä laajoja ja monipuolisia, mutta tilanne tulee Bockin (2017) mukaan muuttamaan tulevaisuudessa. Ilmastonmuutos, teollistuminen, saasteet ja häiriötekijät sekä vieraslajit vahingoittavat aluetta koko ajan ja vaikutukset tulevat laajenemaan.

Arktinen alue on hyvin suuri, ja se vaihtelee alueittain. Arktisen eläimistön moninaisen levinneisyyden takia on vaikeaa arvioida, miten eri lajit reagoivat ilmaston lämpenemiseen (Callaghan 2005). Jotkin alueet kokevat suuria ja nopeita muutoksia, toisaalla muutokset voivat tapahtua välillisesti ja hitaasti. Muutokset ja lajien reaktionopeudet muutoksiin eivät ole yhteneväisiä yhden lajinkaan sisällä. Esimerkiksi Euroopassa naali on vähentynyt, mutta Pohjois-Amerikan naalipopulaatiot ovat pysyneet suhteellisen vakaana.

Ilmaston vaikutukset lajeihin vaihtelevat niiden ominaisuuksien, ja esimerkiksi iän ja evoluution mukaan. Yksilöt reagoivat muutokseen muun muassa biokemiallisesti, fysiologisesti ja käyttäytymisellään (Callaghan 2005:11). Arktisilla alueilla elävät eliöt reagoivat ilmastonmuutokseen ennemmin vaihtamalla elinaluetta, kuin sopeutumalla uusiin olosuhteisiin (Parmesan 2006). Lajien mahdollisuudet elinalueiden vaihtamiselle vaihtelevat lisäksi muun muassa sijainnin ja maantieteellisten esteiden mukaan. Boreaaliset metsät nousevat pohjoisemmaksi muun muassa tundran kustannuksella, jolloin tundraeläimet joutuvat ahdinkoon, kun niiden elinalueet kapenevat. Leviäminen pohjoisemmaksi käy mahdottomaksi, jos pohjoisempana odottaa enää Jäämeri (Alo & Wang 2008). Tutkimusten mukaan isoin levinneisyysalueita muuttava tekijä tällä hetkellä on ilmastonmuutos ja levinneisyysalueiden odotetaan muuttuvan lämpenevillä alueilla kohti napoja ja ylöspäin korkeudessa (Parmesan 2006).

Vaikka arktinen alue kärsii lajien katoamisesta, tulee lajien siirtyminen kohti pohjoista kuitenkin kasvattamaan alueen lajimäärää ja monimuotoisuutta tulevaisuudessa. Syynä

tähän on tutkimusten mukaan tundran primaarisen tuotannon kasvu tulevaisuudessa muun muassa lämpenemisen seurauksena. Toisaalta joillekin arktisiin oloihin sopeutuneille lajeille ilmastonmuutos tulee olemaan kuolettava (Callaghan 2005; Bock 2017).

4.1 Sopeumat arktisiin olosuhteisiin ja niiden luomat ongelmat

Arktisen ekosysteemit ovat suhteellisen yksinkertaisia, ja ravintoverkot koostuvat vain muutamista tasoista, lajien lukumäärän ollessa pieni kullakin tasolla (Forsström 2016). Sen takia pohjoisen eläimistölle on kehittynyt vain vähän sellaisia piirteitä, jotka hyödyttävät niitä muuttuvassa ympäristössä, estämään saaliiksi joutumista, pärjäämään lisääntyvässä kilpailussa, tai selviytymään tuhoeläimiltä ja sairauksilta. Eteläisillä lajeilla näitä piirteitä löytyy paljon enemmän. Arktiset lajit, jotka ovat sopeutuneet arktiseen ilmastoon, ovat kaikista haavoittuvaisimpia muutoksille (Callaghan 2005). Yksinkertaisten ravintoverkkojen takia pohjoisessa jokainen laji on koko ekosysteemin toiminnan kannalta tärkeä, eivätkä lajit ole korvattavissa.

Arktisen alueen lajistolle tyypillistä on niiden sopeutuminen karuun ja kylmään ilmastoon (Callaghan 2005: 11). Eläimet ovat evoluution myötä adaptoituneet sietämään arktista ilmastoa eri keinoin, muun muassa energiaa säästämällä. Sopeumia ovat esimerkiksi lämmin turkki tai höyhenpeite, joka osalla lajeista muuttuu valkeaksi talvella suojatakseen saalistajilta. Muita keinoja kylmän karttamiseen ovat muun muassa rasva- ja ruokavarastot sekä eläimen metaboliset vaihtelut. Myös pienet ulokkeet, esimerkiksi pienikokoiset korvat, auttavat niitä selviytymään talven pakkasista. Suurin osa talvella aktiivisista eläimistä on sopeutunut lumessa liikkumiseen, jonka mahdollistavat esimerkiksi leveät käpälät tai pitkät jalat. Pienet jyrsijät, kuten tunturisopulit, pitävät kylmän poissa pysyttelemällä lumen alla suojassa (Callaghan 2005: 279-282). Näin tekevät myös pienet linnut ja nisäkkäät, kuten riekko ja metsäjänis, jotka kaivautuvat lumen alle lepäämään ja suojaan. Osa tundran eläinlajeista vaipuu horrokseen talven ajaksi, mutta suurin osa lajeista on aktiivisia vuoden ympäri. Osa selkärangaisista lajeista, kuten muuttolinnut, muuttaa ilmastollisesti suotuisampaan paikkaan talven ajaksi. Lentokykyisten lintujen on helppo hakeutua suotuisampiin oloihin ympäristön muuttuessa, verrattuna selkärangaisiin. Alkuperäisten lintulajien esiintymisalueet ovat siirtyneet pohjoiseen keskimäärin puolitoista

kilometriä vuodessa, ja niiden kannat ovat muuttuneet yhä harvalukuisimmiksi (Forsström 2016; Kaikusalo & Henttonen 2002).

Arktisen lumipeitteen laajuus on pienentynyt, ja lumiaika on lyhentynyt keskimäärin neljä päivää viimeisten vuosikymmenten aikana (Forsström 2016). Muutokset lumipeitteessä muuttavat arktisen alueen eliöstön ekologiaa. Tällöin lumeen sopeutuneet eläimet ovat heikommassa asemassa eteläisimpiä lajeja vastaan (Bock 2017:36). Kohonneet lämpötilat arktisella alueella ovat lisänneet veden satamista lumen päälle, johtaen jääkerrosten syntymiseen lumeen (Bock 2017). Lumesta riippuvaisten eläinten on vaikea elää jäisessä lumessa, tai saada ravintoa sen alta. Aikaisempi lumen sulaminen voi lisäksi johtaa habitaatteja tuhoavaan kuivuuteen ja metsäpaloihin. Lyhyempi lumiaika tarkoittaa pidempää kasvuaikaa, joka taas vaikuttaa eläinten ruoansaantiin ja vuorovaikutussuhteisiin. Tutkijat ennustavat, että arktisten lajien elinalueet tulevat pienenemään, ja kaikista eniten vaarassa ovat alueet, joissa esimerkiksi tundra-alue on hyvin kapea.

Muutokset lumiolosuhteissa luovat ongelmia joidenkin arktisten lajien talvikarvan värin takia (Marjakangas 2011). Osalla lajeista karvanvaihto ei riipu lämpötiloista tai lumioloista, vaan osalla sen määrää päivän pituus. Ilmaston lämmitessä lumentulo viivästyy ja lumen sulaminen aikaistuu, joten valkeat eläimet näkyvät lumetonta maata vasten herkemmin, ja joutuvat saaliiksi. Lisäksi vähäinen lumipeite helpottaa petojen liikkumista maalla, jolloin saaliseläimet eivät ehdi niiltä karkuun.

4.2 Tundraeläinten vuorovaikutussuhteiden merkitys

Tundralajien väliset monimutkaiset vuorovaikutussuhteet ovat merkittävä tekijä lajien levinneisyysalueiden kannalta. Alueella lajimäärä on erityisen pieni, jolloin jokainen laji ja niiden väliset suhteet määräävät selviytymisen alueella (Forsström 2016). Lajien menestymiseen ei riitä pelkästään sen pärjääminen tietyissä oloissa, vaan ravinnoksi käytettävien kasvien tai eläinten on pärjättävä samoissa olosuhteissa. Esimerkiksi kasvinsyöjien levinneisyys voi muuttua syömänsä kasvin mukana, ja petojen levinneisyys saaliseläimen levinneisyysalueen mukana (Parmesan 2006).

Ilmastonmuutos tulee vaikuttamaan petoeläinpopulaatioihin myös epäsuorasti, kun pedot ovat vuorovaikutuksissa lajien kanssa, jotka taas reagoivat muutoksiin suorasti (Gilg ym. 2009). Jyrsijöistä riippuvaiset tundraeläimet elävät jyrsijöiden armoilla. Jos sopuleita ja myyriä on tarpeeksi niitä syöville eläimille, kuten tunturipöllölle ja naalille, jäävät pedot pesimään alueelle. Jos jyrsijäpopulaatio romahtaa, muuttavat niitä syövät pedot vastaavasti pois alueelta ja etsivät syötävää muualta. Ilmastonmuutos tulee Gilgin ym. (2009) tutkimuksen mukaan vaikuttamaan petojen pesimismenestymiseen, varsinkin jos muutokset aiheuttavat sopulipopulaatioiden huippujen katoamisen. Tutkimusten mukaan ilmastonmuutos voi lisäksi sopukantojen syklisyyden vähentymistä, ja tämä voi johtaa petojen sukupuuttoon paikallisesti. Sopulien syklisyys vaikuttaa moniin tundrapetoihin, ja petojen kannat vaihtelevat sopulikantojen mukaan (Leonard 2015).

Tundralajien heikentyessä levittäytyvät generalistipedot, kuten punakettu (*Vulpes vulpes*), yhä pohjoisemmaksi. Kun eliöiden pitäisi muuttaa elinalueitaan ympäristön muuttuessa, ovat generalistit etulyöntiasemassa spesialisteihin, kuten naaliin, verrattuna (Callaghan 2005:287-288). Vieraslajipetoeläinten levittäytyminen arktiselle alueelle voi muuttaa merkittävästi herkkien ruokaketjujen dynamiikkaa ja rakennetta. Tundraeläinten ruokaketjut ovat tällaisille muutoksilla kaikista haavoittuvaisimpia (Hersteinsson & MacDonald 1992; Henttonen & Wallgren 2001).

5. Esimerkkilajit

5.1 Tunturisopuli

Sopulit ja myyrät ovat suhteellisen yleisiä tundralla (Stenseth & Ims 1993), ja ne ovat maaekosysteemin yksi tärkeimmistä ravinnonlähteistä useille petoeläimille (Marjakangas 2011). Tundralla esiintyy muutama eri sopulisuku ja -laji, yksi niistä on suomalaisillekin tuttu tunturisopuli (*Lemmus Lemmus*). Tunturisopuli on Fennoskandian ainoa endeeminen nisäkäslaji. Poikkeuksellisen ulkonäkönsä lisäksi tunturisopuli eroaa muista myyrälajeista myös elintapojensa suhteen. Joillakin alueilla, kuten Fennoskandiassa, nimenomaan tunturisopulin runsaus ratkaisee, kannattaako tundran petojen lähteä pesimään alueelle.

Sopulit vaeltavat keväisin ja syksyisin, ja syynä siihen ovat ilmeisesti elinympäristöjen vaihto vuodenaikojen mukaan (Forsström 2016). Sopulipopulaatioiden huippuvuosina tunturisopulien vuodenaikaiset habitaattien muutokset voivat johtaa pitkänmatkan vaelukseen, jolloin niitä voi nähdä vaeltavan suurina massoina tunturien rinteiltä alas, satoja kilometrejä pois tavallisilta elinalueiltaan (Henttonen & Kaikusalo 1993). Norjassa vuonna 1970 tunturisopuleiden kanta oli niin suuri, että auton alle jääneitä sopuleita jouduttiin siirtämään pois autoteiltä lumiaurojen avulla (Coulson & Malo, 2008).

Tunturisopulien kannoille on tyypillistä niiden syklisyys. Kun sopuleita on paljon, tundrapetojen kannat nousevat ja pedot saalistavat sopulikannat melko nopeasti alas. Kun sopuleita on vähemmän seuraavana keväänä, vaikuttaa se taas vastaisesti tunturisopuleita syövien tundrapetoeläinten kantaan negatiivisesti. Tämä aiheuttaa petojen vähenemisen, jolloin sopulikannat pääsevät jälleen nousemaan, ja kierros voi alkaa alusta. Sopulipopulaatioiden huiput eivät kestä kauan, sillä kannan suuruuden vuoksi ravinto alkaa loppua, ja pedot saalistavat suuret sopulikannat alhaisiksi (Ermala ym. 1997; Forsström 2016).

Tunturisopulit ovat aktiivisia vuoden ympäri, myös pitkän talven aikana. Paksu lumipeite on tunturisopuleille elintärkeä, joten ne ovat riippuvaisia pitkästä ja kylmästä talvesta. Lumipeitteen alla lämpötila pysyy usein noin nollassa, mikä on elintärkeää muun muassa sopulin talvilisääntymiselle. Talvilisääntyminen on edellytyksenä sopulikantojen nopealle nousulle, ja lumen määrällä on siten yhteys sopulien kannanvaihteluihin. Lumen pitää olla lisäksi laadullisesti sellaista, että sopuli pystyy elämään sen alla. Talven keskellä esiintyvillä lämpimillä ajanjaksoilla, on huomattu olevan negatiivinen vaikutus tunturisopulien määrään. Esimerkiksi vesisateet talvella ovat erittäin vahingollisia sopuleille, sillä silloin maanpintaan syntyy jääkuori, jonka läpi sopuli ei kykene ruokailemaan. Jotkut tutkimukset ovat osoittaneet, että alueilla joissa talvi on lyhyt ja lumipeite on ohut, tulee tunturisopuleiden kanta heikkenemään seuraavana keväänä (Ermala ym. 1997; Forsström 2016).

Koska pitkät, lumiset ja kylmät talvet ovat edellytyksiä sopulikannoille ja kantojen huipuille, tunturisopuleita pidetään yhtenä herkimmistä pohjoisen lajeista ympäristön muutoksille. Myyräsyklien ja ankarien talvien on tutkimusten mukaan ennustettu harvinaistuvan arktisella alueella, ja tällä on varmasti yhteys tundraeläinten selviytymiseen.

5.2 Naali

Naali eli napakettu (*Vulpes lagopus*) kuuluu isona osana tundraekosysteemiin, ja se on yksi parhaiten sopeutuneista selkärangkaisista pohjoisilla leveysasteilla (Fuglei ym. 2003). Naalia tavataan kaikkialla maailmassa arktisella tundra-alueilla, ja sen levinneisyys kattaa pohjoisten napa-alueiden ympäröivät saaret ja maa-alueet. Naalit ovat napaseuduilla paikoin yleisiä, mutta Fennoskandiassa se luokitellaan jo äärimmäisen uhanalaiseksi (McGavin 2007:56). Suomessa naali on määritelty maamme uhanalaisimmaksi nisäkkääksi (Kaikusalo & Henttonen 2002).

Eteläisimpien naalipopulaatioiden habitaattien kutistumiseen vaikuttaa tundran häviäminen boreaalisen metsän tieltä ilmaston lämmetessä (Forsström 2016). Havumetsäinen ympäristö ei sovellu naaleille. Pohjoisessa merijäästä riippuvaiset naalipopulaatiot ovat uhanalla jääalueiden vähentyessä. Pohjoisimmat naalikannat käyttävät hyväksi jääkarhujen jälkeen jättämiä haaskoja, varsinkin silloin jos ravintoa ei ole tarpeeksi saatavilla maalla. Merijään häviäminen heikentää jääkarhujen selviytymistä, jolla on taas negatiivisia vaikutuksia naaleihin. Naalit käyttävät jäätä myös siirtyäkseen paikasta toiseen, löytääkseen ravintoa ja voidakseen pesiä. Jos jääpeitteen luomat yhteydet populaatioiden välillä häviävät, voi tuloksena syntyä, erityisesti pienten saarten naalipopulaatioiden sisällä, sisäsiittoisuutta ja geneettisen monimuotoisuuden vähenemistä.

Ratkaisevimmin naalin esiintyminen on riippuvainen tarjolla olevasta ravinnosta (Ermala ym. 1997). Naalin populaatiodynamiikka vaihtelee tunturisopulin tavoin sykleittäin (Fuglei ym. 2003). Sisämaalla elävän naalin ruokavalio koostuu pääasiassa vain sopleista, ja sen kannanvaihtelut kulkevat luonnollisesti sopulien kanssa syklissä. Sopulipopulaatioiden huippuvuosina naali oli yleensä runsas, mutta nykyään jopa myyrähuippujenkin aikana naalikannat ovat pysyneet vähälukuisina (Kaikusalo & Henttonen 2002:8-15). Rannikoilla elävät naalit saavat ravintonsa merestä, esimerkiksi merilintuja ja merinisäkkäiden raatoja syömällä.

Inkley ym. (2017) mukaan naalien tärkein ravinto, tunturisopuli, on alkanut vähentyä Fennoskandiassa rajoittaen myös naalin mahdollisuuksia. Alun perin naali väheni alueelta metsästyksen takia, mutta nykyään syyksi väitetään muun muassa ketun leviämistä naalin elinalueille. Hersteinssonin ja MacDonaldin Pohjois-Kanadassa järjestetyn tutkimuksen

(1992) mukaan punakettu on levittäytynyt yhä pohjoisemmaksi yli 80 vuoden ajan. Samassa tutkimuksessa huomattiin, että ketun leviäminen pohjoiseen johtuu pääasiassa lämpenemistrendeistä, joka johtaa lisäksi naalin vetäytymiseen kohti Jäämerta. Kettuja on aina elänyt naalien elinalueilla, mutta ne ovat yleensä lisääntyneet puurajan alapuolella.

Nykyään kettu on levinnyt yhä ylemmäksi tunturiin, naalin elinalueille, kilpailemaan naalin kanssa ravinnosta ja pesäkoloista. Suurikokoisempana kettu voittaa naalin kilpailussa, ja myös naalin poikaset kelpaavat ketulle. Naalilla on kuitenkin vielä hieman etumatkaa, sillä sen selviytymistaktiikkana on elää alueella, jossa suurikokoisempi kettu ei tule toimeen. Naalin pieni koko on eduksi kylmässä ja karussa tundrassa, jossa ketun energiatarve on suurempi. Naalin ja ketun ravinto on samankaltainen, mutta isokokoisempana kettu tarvitsee enemmän ravintoa (Forsström 2016).

Naalin vähenemiseen Fennoskandiassa on epäilty ketun leviämisen lisäksi muun muassa suurpetojen tappamien porohaaskojen vähenemistä, joita naalit käyttävät mielellään ravinnokseen (Kaikusalo & Henttonen 2002). Ihminen on osaltaan edistänyt ketun leviämistä, sillä porotaloudessa lisääntynyt talviaikainen toiminta pohjoisessa tarjoaa ihmisten läheisyydessä viihtyvälle ketulle lisäravintoa myös runsaslumisina talvina (Forsström 2016). Kettukantojen nousuun on pidetty myös sitä, että aikoinaan kettua metsästettiin arvokkaan turkkinsa takia (Kaikusalo & Henttonen 2002). Nykyään pyynti on erittäin vähäistä verrattuna esimerkiksi 1960-lukuun. Kettujen ympäristöolot ovat parantuneet samanaikaisesti: asutuksen lisääntyessä pohjoisessa liikenteessä kuolleiden eläinten määrä on kasvanut, ja kaatopaikkojen tarjonta on lisääntynyt, jotka ovat suoneet ketuille parempia mahdollisuuksia. Joidenkin tutkimusten mukaan kettujen runsastumisen syynä ovat lisäksi tasaantuneet myyräkannat, jolloin myyräravintoa on varmemmin tarjolla koko ajan.

Fennoskandian naalikantojen pelastamiseksi on käynnistetty useita suojelutoimia, jotka ovat sisältäneet muun muassa ketun metsästystä ja lisäruokintaa (Forsström 2016). Ruotsin ja Norjan korkeimmilla tunturialueilla, kettujen ulottumattomissa, naalin pesintä on viimeisen vuosikymmenen sopulihuippujen turvin onnistunut hyvin (Kaikusalo & Henttonen 2002). Naalikantojen elvyttämiseksi kokeiltu keinoruokinta hyödytti Kaikusalon ja Henttosen (2002) mukaan naalia alusta alkaen. Ermala ym. (1997) väittää sen sijaan, että

keinoruokinta lisäsi ketun mahdollisuuksia, syrjäyttäen naalia entisestään. Kaikusalo & Henttonen (2002) kiistävät tämän väitteen, vaikka kettu levisikin pohjoisemmaksi samaan aikaan naalien keinoruokintakokeilun kanssa. Keinoruokinta oli lopulta lopetettava, kun ketut valtasivat levitessään kaikki naalien tärkeimmät pesäkolot.

Ims & Fuglei (2005) mukaan nykyisenään jatkuva ilmastonmuutos voi hävittää naalin pois Fennoskandian lisäksi laajoilta alueilta koko Arktisen alueen tundraa muutaman vuosikymmenen kuluessa. Lisää tutkimusta ja resursseja naalin suojelemiseksi kuitenkin tarvitaan, jotta sen säilyminen voidaan maapallollamme turvata.

5.3 Tunturipöllö

Tunturipöllö (*Bubo Scandiacus*) on tundran suurikokoisin saalistava lintu (Potapov & Sale 2012: 224). Tunturipöllön levinneisyys kattaa koko pohjoisnavan ympäröivän alueen. Laji pesii Fennoskandiassa, Pohjois-Venäjällä, Grönlannissa, sekä Pohjois-Amerikan pohjoisosissa (Sale, 2006: 283-285). Tunturipöllö suosii alavaa tundraa, usein lähellä merenrantoja, ja laji on yleisesti paikallinen, mutta osittain muuttava vaeltelija. Tunturipöllöpopulaatiot ja niiden levinneisyys ovat enimmäkseen riippuvaisia saalismääristä. Tunturipöllö on suojeltu kaikissa maissa, mihin sen levinneisyysalue kattaa, ja Suomessa se on luokiteltu uhanalaiseksi (Potapov & Sale 2012: 251; Forsström 2016).

Tundran petolinnut, kuten tunturipöllö, ovat naalin tavoin riippuvaisia alueen tarjoamista pienistä jyrsijöistä, jolloin jyrsijöiden kannanvaihtelut vaikuttavat petolintuihin (Ims & Fuglei 2005). Tunturipöllön pääravintoa ovat sopulit ja siksi sopulikantojen syklisyys vaikuttaa tunturipöllöihin erityisen voimakkaasti, kantojen vaihdellessa äkillisesti sopulikantojen mukaan. Tunturipöllö on ainoa petolintu, joka pysyy tundralla vuoden ympäri. Se ei kuitenkaan jää pesimään alueelle, jos kevään sopulikanta on heikko. Jos ilmastonmuutos vähentää sopulien määrää, vaikuttaa se tunturipöllöön samalla tapaa.

Suurikokoisena tunturipöllö ei pelkää muita tundran saalistajia, vaan se ajaa ne pois alueelta, tai voi jopa tappaa ne (Potapov & Sale 2012: 224-225). Tunturipöllöllä on hyvä asema tundralla. Laji kohtaa kuitenkin paljon kilpailua, sillä tundran saaliseläinlajeja ei ole paljon. Varsinkin alueilla, joilla eri petolajien levinneisyydet menevät päällekkäin,

tunturipöllö kohtaa kilpailua muun muassa muita pöllölajeja, kihuja, naaleja ja lisääntyvissä määrin myös kettuja vastaan. Samaa lajia saalistavat tunturipöllön kilpailijat elävät kuitenkin eri ekologisissa lokeroissa, joten tunturipöllölle riittää ravintoa. Laji esimerkiksi saalistaa jyrsijöitä myös lumen alta poiketen muista petolinnuista. Lisäksi eri lajien pesimäalueet eroavat toisistaan.

Erityisesti tunturipöllöjen habitaattien pirstaloituminen on suureksi vaaraksi lajille. Habitaattien hajotessa tunturipöllöt tulevat pesimään alueelle harvemmin ja epäsäännöllisemmin (Potapov & Sale 2012: 254-256). Habitaattien suurta pirstaloitumista aiheuttaa Potapovin ja Salen (2012: 150-251) mukaan erityisesti sekä lajin pesimä- että talvehtimisalueilla tapahtuva lisääntynyt teollistuminen, joka on yksi suurimmista uhkista tunturipöllölle. Tällöin on mahdollista olettaa, että tunturipöllö jää pesimään vain pohjoisimmille saarille, joilla habitaatit pysyvät koskemattomina, ja olot ovat tunturipöllön pesinnälle suotuisat. Lisäksi pesimisen uhkana on Fennoskandiassa huomattu olevan yli-innokkaat lintuharrastajat sekä turistit.

Se, miten tunturipöllö tulee reagoimaan ilmastonmuutokseen, on vielä täysin epävarmaa, mutta joitain arvioita voidaan tehdä (Leonard 2015). Ilmastonmuutoksen mukana pohjoiseen vetäytyvä tundra on tehnyt tunturipöllöjen vanhoista habitaateista niille nykyään kelpaamattomia (Potapov & Sale 2012: 254-256). Lisäksi varpukasvillisuuden leviäminen tunturipöllön elinalueille voi muuttaa lumioloja, joka voi estää tunturipöllöjen pesimistä alueella. Samalla ilmastonmuutos vähentää sopulipopulaatioiden huippujen määrää, joka tietää välillisesti negatiivisia vaikutuksia tunturipöllöille. Lajin harvinaisuuteen liittyy Kaikusalon ja Henttosen (2002) mukaan myös tunturipöllön munien kerääminen vuosikymmeniä sitten.

Tunturipöllöistä on melko hankalaa tehdä tutkimusta, sillä niiden muuttoliikkeet ovat ennustamattomia ja niin laajoja, että samaa yksilöä on hankala tutkia (Leonard 2015). Samalla aikuisten tunturipöllöjen kiinnisaaminen on haastavaa, ja siksi niistä ei ole olemassa paljoa dataa.

6. Pohdinta

Arktisen alueen tundralajit ovat ahdingossa, kun niiden habitaatit kutistuvat muun muassa ilmastonmuutoksen ja maankäytön muutosten johdosta. Boreaalinen metsä valtaa alueita etelästä pakottaen osan lajeista muuttamaan pohjoisemmaksi, mutta kaikille tämä ei ole mahdollista. Jotkin lajit eivät edes pääse paljoa pohjoisemmaksi Jäämeren tullessa vastaan. Ilmastonmuutos uhkaa luontotyyppejä ja lajeja pakottamalla ne muuttumaan luontaista kehitysvauhtiaan nopeammin. Tundralajien on joko muutettava elinympäristöjään tai sopeuduttava sietämään uusia oloja, muuten niitä odottaa sukupuutto.

Hypoteesini mukaan arktisen alueen habitaatteja kutistaa isona osana ilmastonmuutos. Tutkielmassani selvisi lisäksi, että merkittäviä habitaatteja kutistavia tekijöitä ovat ihmisen aiheuttamat maankäytön muutokset. Maankäytön muutokset hajottavat ja tuhoavat eliöiden habitaatteja runsaasti, kun maaperää käytetään esimerkiksi maatalouden ja teollisuuden hyväksi. Ilmastonmuutos taas pienentää arktisten eliöiden habitaatteja muun muassa siirtämällä puurajaa ylemmäksi tai muuttamalla ilmastoa, jolloin eliöiden suosimat elinalueet pienenevät. Ilmaston lämpeneminen aiheuttaa myös esimerkiksi kylmien talvien ja lumen vähentyessä vaikeuksia monille arktiseen ilmastoon sopeutuneille eläimille, jotka eivät enää välttämättä pärjää alkuperäisillä elinalueillaan. Esimerkiksi tunturisopulin ennustetaan vähenevän tulevaisuudessa lumiolojen huonontuessa.

Alkuperäisen lajiston heikkeneminen antaa mahdollisuuksia vieraslajeille, jotka saapuvat kilpailemaan alkuperäisen lajiston kanssa elinympäristöistä. Esimerkiksi ketun leviäminen naalin elinalueille pienentää naalin mahdollisuuksia selvitä. Tutkielmani mukaan alkuperäinen lajisto on vähentymässä, mutta uudet tulokaslajit pitävät lajimäärät suhteellisen vakaina. Ilmastonmuutoksen todellisia vaikutuksia habitaatteihin ja eliöihin on vaikea ennustaa, ja ennustamista vaikeuttavat muun muassa eri häiriötekijöiden, kuten saasteiden ja maankäytön muutosten luomat ennustamattomat yhteisvaikutukset.

Tundran säilyminen on merkityksellistä tundralajien selviytymiselle ravinnonsaannin lisäksi. Tutkielmani yksi tärkeimmistä johtopäätöksistä on se, että tundra-alueet ovat vaarassa vähentyä ilmastonmuutoksen ja maankäytön muutosten takia. Toisaalta joidenkin

tutkimusten mukaan tundra voi itseasiassa laajeta. Esimerkiksi vuonna 1995 tehdyssä tutkimuksessa tundran arvioitiin kasvavan 33-66 % (Lovejoy & Hannah 2005). Tässä tutkimuksessa otettiin tosin huomioon vain hiilidioksidipitoisuuksien lisääntyminen, eikä esimerkiksi kasvien kasvua ja ekosysteemien muutoksia. Jollain alueilla, kuten Alaskassa, ilmaston lämpeneminen on aiheuttanut sellaista kuivumista, ettei puuraja olekaan voinut nousta ylemmäksi. Toisenlainen lähtökohta tundran lisääntymiselle ovat halla- ja tunturimittarien tekemät tuhot Ylä-Lapissa viime vuosikymmenten aikana (Torvinen 2009). Noin kaksi kolmasosaa Utsjoen koivikoista on tuhoutunut mittarien toimesta, eikä uutta koivikkoa ehdi kasvamaan ylisuuren porokannan syödessä puuntaimet pois. Tunturikoivikot eivät ehdi palautua tuholaisten invaasiosta, ja pikkuhiljaa alueelle saattaa jäädä vain tundraa. Tunturikoivikkojen tuho on hyvä esimerkki siitä, miten ilmastonmuutoksen, tuholaisten ja kasvinsyöjien yhteisvaikutuksella voi olla merkittäviä seurauksia. Myös kokonaisvaltaisten biomien muutosten vaikuttaessa esimerkiksi merivirtoihin, voi tuloksena olla alueellinen viileneminen, joka voi johtaa tundraeläimille suotuisten elinalueiden kasvuun.

Toisaalta tundran vähenemisellä voi olla positiivisiakin vaikutuksia, vaikka se luultavasti tuleekin vaikeuttamaan tundraluontoon sopeutuneiden eläinten elämää. Tundran korvautuminen metsällä ja kosteikoilla tuo uusia lajeja alueelle, ja samalla lisääntyvät kosteikot luovat uusia elintärkeitä pesimisympäristöjä esimerkiksi muuttolinnuille. Kokonaisuudessa arktisen alueen biodiversiteetti tulee siis kasvamaan, vaikka todellisuudessa lajien kuollessa sukupuuttoon globaali lajien biodiversiteetti tulee laskemaan. Boreaalisen metsän tuottavuuden kasvu ja levittäytyminen laajemmalle alueelle voi hyödyttää myös ihmistä, tuomalla esimerkiksi lisää työpaikkoja ja resursseja arktiselle alueelle.

Suurilta osin tutkielmani johtopäätös on, että tundraeläinten kannat ja habitaatit tulevat heikkenemään tundran myötä tulevaisuudessa. Todellisia tapahtumia on silti mahdotonta ennustaa, ja jotkin teoriat ennustavat tundralajien päinvastoin hyötyvän lämpenemisestä. Erään teorian mukaan esimerkiksi naalit voivat jopa hyötyä lämpimämmistä talvista, jolloin lumeen muodostuvat jääkerrokset voivat vaikeuttaa laiduntavien eläimien ravinnonsaantia, ja lisätä täten haaskoja naalille. Näin on tapahtunut esimerkiksi Huippuvuorilla (Ims & Fuglei 2005). Toisaalta voimakas lämpeneminen voi kadottaa lumen kokonaan,

joka taas helpottaa kasvinsyöjiä ja esimerkiksi ketun leviämistä enemmän. Jotkin tutkimukset ennustavat myös tunturipöllön lisääntyvän maailmanalajuisesti, mutta suurin osa arvioista ennustavat määrien tipahtavan moninkertaisesti nykyisistä määristä.

Tunturipöllön on siivellisenä helpompi muuttaa alueelta toisaalle ravinnon perässä, kuin naalin. Naalille siirtyminen ei ole niin yksinkertaista. Pohjoisimmat naalipopulaatiot käyttävät merijäätä hyväksi siirtyessään paikasta toiseen esimerkiksi pesiäkseen tai ravintoa etsiäkseen. Pohjoisten naalipopulaatioiden vaarana on tällöin myös merijään sulaminen, jolloin siirtyminen paikasta toiseen estyy. Tulevaisuudessa yhä suuremmat habitaattien pirstoutumiset ja siihen johtaneet maankäytön muutokset tulevat hajottamaan habitaatteja yhä enemmän, jolloin paikasta toiseen siirtyminen käy entistä hankalammaksi, ja ravinnon saatavuus tietyllä alueella pienemmäksi. Tunturisopulit elävät yleensä niin pienillä alueilla, että niillä habitaattien kutistumisen vaara ei luultavasti ole niin suuri kuin isokokoisimmilla tundraeläimillä.

Tutkielmani kolmen esimerkkieläimen vasteet tulevaisuudessa odotettaville muutoksille ovat kutakuinkin samat: sekä tunturisopuli, naali ja tunturipöllö ovat vaarassa hävitä koko arktiselta alueelta. Naali ja tunturipöllö osoittautuivat suhteellisen samantyyppisiksi lajeiksi, kun pohditaan niiden vasteita habitaattisille muutoksille. Molemmat lajit ovat melko yleisiä koko arktisella alueella, mutta Fennoskandiassa ne ovat uhanalaisia. Molempien lajien selviytyminen alueella on riippuvainen tunturisopulipopulaatioista, ja sopulipopulaatioiden koko ratkaisee, jääkö tunturipöllö tai naali pesimään alueelle. Tunturisopuli on esimerkkilajeistani ainoa, joka kaikissa tutkimissani lähteissä on ennustettu vähenevän tulevaisuudessa talvien lämmitessä. Lumen laadun heikentyessä vaarantuu sopulien talvilisääntyminen, joka on merkitsevä tekijä kannan säilymiselle.

Yksi tärkeimmistä seikoista arktisten ekosysteemien toiminnassa ovat nimenomaan lajien väliset vuorovaikutussuhteet. Tunturisopulin heikkeneminen on välillisesti yhteydessä tundraeläinten heikentymiseen varsinkin Fennoskandiassa, ja sen heikentyminen voisi vaikuttaa dramaattisesti koko tundraekosysteemin toimintaan alueella. Talvien lämpenemisestä johtuvien sopulipopulaatiodynamiikan muutoksilla on jo nyt ollut vaikutuksia petoeläimiin, perustuen varsinkin Kilpisjärvellä jo vuosikymmeniä tehtyihin tutkimuksiin (Kaikusalo & Henttonen 2002). Naali- ja tunturipöllökannat ovat selvästi heikentyneet

Fennoskandiassa viimeisten vuosikymmenten aikana, mutta muualla arktisella alueella kannat ovat pysyneet suhteellisen vakaina vielä toistaiseksi.

Koska sopulipopulaatioiden syklit ovat yksi tärkeimmistä tekijöistä tundralla, voimmekin olettaa, että ilmaston muuttuessa koko tundraekosysteemin dynamiikka tulee muuttumaan melko dramaattisesti. Ilmaston ei itse asiassa tarvitsisi muuttua edes paljon, ja sillä olisi jo suuria vaikutuksia ekosysteemeihin ja habitaatteihin (Aars & Ims 2002). Tutkijat arvioivat, että jos talvella esiintyy vain muutama sellainen päivä lisää, jolloin lämpötila on yli nollan, olisi sillä jo suuria vaikutuksia sopulipopulaatioihin, ja sitä kautta muidenkin tundraeläinten populaatiodynamiikkaan. Sopulien menestyminen liittyy myös välillisesti maaeläinten ja lintujen, esimerkiksi riekkojen, pesimämenestykseen. Sopulien huippuvuosina petolinnut jättävät linnunpoikaset rauhaan, kun taas myyräkantojen romahdettua poikaset joutuvat petojen saaliiksi herkemmin, kun muuta ravintoa on vähemmän tarjolla. Pitkällä aikavälillä myyrien huippuvuosien harvinaistuminen voi siis johtaa myös lintupopulaatioiden laskuun, vaikkei kyseinen laji itse käyttäisikään pikkunisäkkäitä ravintonaan.

Nykyään kysymykseen ovat tulleet myös ihmisen aiheuttamat habitaattikadot ilman, että itse ympäristöä vahingoitetaan. Tällä tarkoitetaan ihmisen aiheuttamia häiriöitä eliöille esimerkiksi lisääntyneen asutuksen vuoksi, jolloin eliölajit menettävät elinalueitaan, ei habitaattien itsessään heikentymisen, vaan lajeja karkottavien toimien vuoksi (Morrison ym. 2015: 51). Ihmistoiminnan ja teollistumisen vuoksi lisääntynyt melu ja esimerkiksi kaupunkien yöaikainen valaistus voivat karkottaa osan lajeista pois luontaisilta elinalueiltaan, vaikka muuten alue sopisi niille. Lisäksi esimerkiksi lisääntyneen luontoaktiivisuuden vuoksi muun muassa moottorikelkat ja veneliikenne sekä lisääntynyt turismi voivat karkottaa lajeja pois elinalueiltaan. Toisaalta osa lajeista voi sopeutua ihmistoiminnan haittoihin.

Habitaattien suojelemiseksi ja entisöimiseksi on olemassa keinoja, jotka voivat varsinkin tulevaisuudessa olla ensiarvoisen tärkeitä lajien biodiversiteetin ylläpitämiseksi. Luontaisten habitaattien entisöinti on merkittävä tapa suojella alkuperäistä lajistoa. Habitaattien entisöinnillä tarkoitetaan lähinnä ekosysteemin toimivuuden palauttamista alueelle,

jossa sen toiminta on kärsinyt (Morrison ym. 2015: 158). Entisöintiä on tehty maailmanlaajuisesti jo melko paljon, mutta mielestäni tärkeämpää olisi järjestää asiat niin, ettei habitaatteja alun perinkään tuhottaisi. Toinen vaihtoehto habitaattien pirstoutumisen aiheuttamille haitoille ovat ekologiset käytävät, jotka voivat auttaa habitaattien pirstoutumisilta kärsiviä eliölajeja. Ekologiset käytävät ovat reittejä, joita pitkin yksi tai useampi laji voi liikkua kahden habitaatin välillä (Morrison ym. 2015: 86). Käytävät voivat olla joko luontaisia, tai varta vasten rakennettuja reittejä. Ekologisten käytävien on osoitettu toimivan käytännössä, mutta se ei välttämättä toimi kaikille lajeille.

Lajien kehittyminen ja häviäminen ovat luonnollinen elämän historian osa. Sukupuutot eivät ole aina negatiivinen asia, sillä juuri ne ovat aiheuttaneet nykyisen lajien biodiversiteetin. Arktisen alueen ravintoverkot ovat kuitenkin pieniä, ja jokainen alueen laji on ensiarvoisen tärkeä ekosysteemien toiminnan kannalta, eivätkä lajit ole korvattavissa. Biodiversiteetin suojelemiseen ja sen kestävään käyttöön sijoitetut resurssit ovat vain pieni osa siitä, kuinka paljon resursseja sijoitetaan esimerkiksi infrastruktuurin ja teollisuuden kehittämiseen. Usein biodiversiteetin suojeleminen unohdetaan, kun tällaisia kehitystöitä suunnitellaan.

Tundraeläinten kohtalo tulevaisuudessa on joka tapauksessa hyvin epäselvää, ja koskaan ei voida ennustaa varmasti kaikkien eri muuttujien aiheuttamia yhteisvaikutuksia. Tutkimusta ja tietoa tarvittaisiin vielä hyvin runsaasti, jotta arktisten eliöiden tulevaisuus ja monimuotoisuus voitaisiin turvata mahdollisimman hyvin. Suurin osa arktisen alueen tutkimuksista on tehty kasvillisuudesta, ja huomattavaa on se, että iso osa tutkimuksista on suoritettu kesäaikaan. Tutkimuksia pitäisi nimenomaan kohdentaa talveen ja talven muutokseen, sillä talvi on kaikille tundraeläimille erittäin merkityksellinen selviytymisen kannalta. Uusien tutkimusten ja tiedon vaatimat resurssit ovat kuitenkin niin kalliita ja aikaa vieviä, että todellisuudessa ilmastonmuutoksen hillitsemisen lisäksi voimme vain odottaa, mitä tuleman pitää.

Lähteet

Kirjalliset lähteet

- Aars J., & R. A. Ims (2002). Climatic and intrinsic determinants of population demography: The winter dynamics of tundra vole populations. *Ecology* 83: 3449–3456
- Alo, C. A. & G. L. Wang (2008). Potential future changes of the terrestrial ecosystem based on climate projections by eight general circulation models. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences* 113:8.
- Baily, R. G. (1996). *Ecosystem Geography*. 251s. Springer-Verlag, New York.
- Bock, N. (2017). *The Arctic environment – European perspectives on a changing Arctic*. European Environment Agency, Luxemburg.
- Callaghan, T. (2005). Arctic Tundra and Polar Ecosystems. *Teoksessa* Symon, C. (toim.): *Arctic Climate Impact Assessment*, 243-352. Cambridge University Press, New York.
- Coulson, T. & A. Malo (2008). Population biology: Case of the absent lemmings. *Nature* 456: 43-44.
- Dunbar, M., M. J. Dunbar, T. Ingold, W. Barr, J. B. Bird, D. E. Dumont, & T. Armstrong (2017). Arctic. Encyclopedia Britannica. inc. <<https://www.britannica.com/place/Arctic>>. 19.10.2017
- Ermala, A., J. Lokki & P. Nieminen (1997). *Suomen luonto – Eläimet – Nisäkkäät*. WSOY-yhtymä Weilin+Göös Oy, Porvoo.
- Forsström, L. (2016). *Jäähyväiset? Raportti ilmastonmuutoksen vaikutuksista Suomen arktiseen eläinlajistoon*. WWF Suomen raportteja nro 35. WWF Suomi, Helsinki.
- Fuglei E, N. A, Øritsland & P. Prestrud (2003). *Local variation in arctic fox abundance on Svalbard, Norway*. *Polar Biology* 26: 93–98.
- Gilg, O., B. Sittler & I. Hanski. (2009). Climate change and cyclic predator-prey population dynamics in the high Arctic. *Global Change Biology*: 15:11.
- Heikkinen, R., J. Pöyry, S. Fronzek & N. Leikola (2012). *Ilmastonmuutos ja vieraslajien leviäminen Suomeen – Tutkimustiedon synteesi ja suurilmastollinen vertailu*. Suomen ympäristökeskus, Helsinki.
- Hersteinsson, P. & D. W. MacDonald (1992). Interspecific competition and the geographical distribution of red and arctic foxes *Vulpes vulpes* and *Alopex lagopus*. *Oikos* 64: 505-515
- Henttonen H. & H. Wallgren (2001). Small rodent dynamics and communities in the birch forest zone of northern Fennoscandia. *Teoksessa* Wielgolaski F. E. (toim.): *Nordic Mountain Birch Ecosystems*, 261-278. Pathenon, New York.
- Hu, F.S. & L. C. Bliss (2017). Tundra ecosystem. Britannica Academic. <<http://academic.eb.com/levels/collegiate/article/tundra/73759>>. 19.10.2017
- Huntington H., & G. Weller (2005). An Introduction to the Arctic Climate Impact Assessment. *Teoksessa* Symon, C. (toim.): *Arctic Climate Impact Assessment*, 1-20. Cambridge University Press, New York.
- Ims R. A & E. Fuglei (2005). Trophic Interaction Cycles in Tundra Ecosystems and the Impact of Climate Change. *BioScience* 55: 311-322.
- Inkley, D., T. Losoff & L. Anderson. (2017). Big Climate Challenges – Facing Small Mammals. National Wildlife Federation, Marrifield. <https://www.nwf.org/~media/PDFs/Global-Warming/Reports/2016%20Climate%20Reports/Small_Mammals_Face_Big_Climate_Challenges_FINAL.ashx>. 20.10.2017
- Leonard, P. (2015). At Home on the Alaskan Tundra With Snowy Owl Researcher Denver Holt. Cornell University, Ithaca. <<https://www.allaboutbirds.org/at-home-with-snowy-owls/>>. 27.10.2017

- Lovejoy, T. E. & L. Hannah (2005). *Climate Change and Biodiversity*. 418 s. Yale University Press, New Haven & London.
- Kaikusalo A. & H. Henttonen (2002). *Katoavan naalin jäljillä*. 25s. WWF. Wsoy, Vantaa.
- Kalliola, R. (1973). *Suomen kasvimaantiede*. 308 s. WSOY, Porvoo-Helsinki.
- Kansallinen ilmastonmuutokseen sopeutumissuunnitelma 2022 (2014). Maa- ja metsätalousministeriö, Helsinki. <http://mmm.fi/documents/1410837/1516663/2014_5_ilmastonmuutos.pdf/1716aa76-8005-4626-bae0-b91f3b0c6396>. 27.9.2017
- Klein, D. R. (2005). Management and Conservation of Wildlife in a Changing Arctic Environment. *Teoksessa* Symon, C. (toim.): *Arctic Climate Impact Assessment*, 243-352. Cambridge University Press, New York.
- Köppen, W. (1931). *Grundriss der Klimakunde*. 388 s. Walter de Gruyter & Co.
- Lomolino, M. V., B. R. Riddle, R. J. Whittaker, J. H. Brown. (2010). *Biogeography*. Fourth edition. 624 s. Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts.
- McGavin, G. (2007). *Lajinsa viimeiset – maailman uhanalaisia eläimiä*. 192s. Otava, Helsinki.
- Marjakangas, A. (2011). *Ilmastonmuutos lähiluonnossamme*. Mediapinta, Tampere.
- McBean, G. (2005). Arctic Climate: Past and Present. *Teoksessa* Symon, C. (toim.): *Arctic Climate Impact Assessment*, 21-60. Cambridge University Press, New York.
- Morrison M, L. Mathewson & A. Heather (2015). *Wildlife Habitat Conservation: Concepts, Challenges, and Solutions*. John Hopkins University Press, Baltimore.
- Myers-Smith I. H., B. C. Forbes, M. Wilking, M. Hallinger, T. Lantz, D. Blok, K. D. Tape, M. Macias-Fauria, U. Sass-Klaassen, E. Lévesque, S. Boudreau, P. Ropars, L. Hermanutz, A. Trant, L. Siegwart Collier, S. Weijers, J. Rozema, S. A. Rayback, N. M. Schmidt, G. Schaepman-Strub, S. Wipf, C. Rixen, C. B. Ménard, S. Venn, S. Goetz, L. Andreu-Hayles, S. Elmendorf, V. Ravolainen, J. Welker, P. Grogan, H. E. Epstein & D. S. Hik (2011). Shrub expansion in tundra ecosystems: dynamics, impacts and research priorities. *Environmental Research Letters* 6:4. IOP Publishing.
- Parmesan, C. (2006). Ecological and evolutionary responses to recent climate change. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 37:637-669.
- Parmesan, C. & G. Yohe (2003). A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature*: 421:37-42.
- Potapov E. & R. Sale (2012). *The Snowy Owl*. 304 s. TD&AD Poyser, Lontoo.
- Raunio, A., A. Schulman & T. Kontula (2008) (toim.): *Suomen luontotyypin uhanalaisuus*. Osa 1. 264 s. Suomen ympäristökeskus, Helsinki.
- Rosswall, T., O. W. Heal. (1975). *Structure and funktion of tundra ecosystems*. Ecological Bulletins. 450 s. Swedish Natural Science Research Council, Tukholma.
- Sale, R. (2006). *A Complete Guide to Arctic Wildlife*. 464s. Firefly Books Inc. New York.
- Stenseth N.C., R. A. Ims (1993). *The Biology of Lemmings*. 704 s. Academic Press, London.
- The Arctic Environment. (2017). National Wildlife Federation, Marrisonfield. <https://nieonline.com/downloads/national_wildlife/ecosystems/arctic_environment.pdf>. 20.10.2017
- Torvinen, M. (2009). Ylä-Lapissa kytee ekokatastrofi. Yle Uutiset. 25.8.2009 <<https://yle.fi/uutiset/3-5868931>>. 6.11.2017
- Turner J. & G. J. Marshall (2011). *Climate Change in the Polar Regions*. 434 s. Cambridge University Press, New York.

Muut lähteet

- Kuva 1: Arctic. (1998). Encyclopedia Britannica. <<https://www.britannica.com/place/Arctic>>. 19.10.2017
- Kuva 2: Tundra (2002). Blue Planet Biomes. <<http://www.blueplanetbiomes.org/tundra.htm>>. 19.10.2017