

# **Fennoskandian tunturisoiden ekologiaa**

Essi Lyytinen

LuK-tutkielma  
Biologian tutkinto-ohjelma  
Oulun yliopisto  
Maaliskuu 2023

## Sisällys

<b>Tiivistelmä</b> .....	<b>3</b>
<b>Johdanto</b> .....	<b>4</b>
<b>1. Suoluokittelu Fennoskandiassa</b> .....	<b>5</b>
1.1. Kasvillisuusluokittelu suoluokittelun taustalla.....	<b>5</b>
1.2. Suoluokittelu ja suotyypit.....	<b>7</b>
<b>2. Fennoskandian tunturisuot</b> .....	<b>8</b>
2.1. Fennoskandian tunturisoiden ominaispiirteitä.....	<b>8</b>
2.2. Tunturien suoyhdistymät suokasvillisuusvyöhykkeittäin .....	<b>10</b>
2.2.1. Oroarkkinen suovyöhyke.....	<b>10</b>
2.2.2. Hemioroarkkinen suovyöhyke.....	<b>11</b>
2.2.3. Boreaalinen suovyöhyke.....	<b>12</b>
<b>3. Tunturisoiden monimuotoisuus</b> .....	<b>13</b>
<b>4. Tunturisoita muuttavat tekijät</b> .....	<b>14</b>
4.1. Laiduntajat.....	<b>14</b>
4.2. Ilmastonmuutos .....	<b>15</b>
4.3. Muu ihmistoiminta .....	<b>17</b>
<b>5. Uhanalaisuus</b> .....	<b>17</b>
5.1. Elinympäristöjen uhanalaisuus.....	<b>17</b>
5.2. Lajien uhanalaisuus .....	<b>18</b>
<b>6. Suojelu</b> .....	<b>19</b>
<b>7. Pohdinta</b> .....	<b>20</b>
<b>Lähteet</b> .....	<b>22</b>

## Tiivistelmä

Suot ovat kosteikkoympäristöjä, joille ominaista ovat korkea kosteuspitoisuus ja matala happipitoisuus sekä epätäydellisen hajotustoiminnan johdosta syntyvä turve. Soita tavataan eniten pohjoisella pallonpuoliskolla, jossa ilmasto-olosuhteet, kuten runsas sadanta ja alhainen lämpötila, edesauttavat niiden muodostumista. Ilmaston lisäksi paikalliset ympäristöolosuhteet säätelevät soiden ominaisuuksia, ja monien eri tekijöiden yhteisvaikutuksessa syntyy rakenteeltaan, vedenvirtausominaisuuksiltaan ja kasvillisuudeltaan erilaisia suoympäristöjä.

Euroopan pohjoisosassa Fennoskandiassa soita ja suokasvillisuutta esiintyy aina merenpinnan tasolta hemiborealisesta metsäkasvillisuusvyöhykkeestä tunturien ja vuorien ylimpien osien arktiseen ja alpiiniseen kasvillisuusvyöhykkeeseen asti. Tunturisoiden ominaisuudet määrittyvät ensisijaisesti niiden korkeussijainnin perustella, lisäksi muun muassa maa- ja kallioperän laatu, lumipeitteen paksuus, rinteiden kaltevuus sekä ilmansuunta vaikuttavat soiden rakenteeseen. Suokasvillisuuden monimuotoisuus vähenee kohti pohjoista ja merenpinnasta ylöspäin siirryttäessä vaativien ympäristöolosuhteiden vuoksi.

Ympäristötekijöiden lisäksi tunturisoita muokkaavat ihmistoimintaan liittyvät tekijät kuten ilmastonmuutos, porolaidunnus, rakentaminen ja maastoliikenne. Ilmaston lämpenemisen johdosta tuntureilla kasvukausi pitenee, kosteus lisääntyy ja lumipeitteen ominaisuudet muuttuvat. Ihmistoimintojen muut vaikutukset ovat tavallisesti laajuudeltaan paikallisia, kulumisen kaltaisia muutoksia. Ihmistoiminnan seurauksena tunturisoiden vedenkierto, rakenne ja kasvillisuus voivat muuttua ja vaikuttaa tunturisoiden ekologiseen tilaan ja laatuun. Vaikutukset voivat olla myös toisensa kumoavia, jolloin esimerkiksi porolaidunnus voi hillitä ilmastonmuutoksen vaikutuksia tunturisoilla.

Fennoskandian tunturien suoluontotyypit ovat lajistoltaan suhteellisen niukkoja, mutta ne lisäävät tunturielinympäristöjen ekosysteemitason monimuotoisuutta, ylläpitävät lajistollista monimuotoisuutta tarjoamalla elinympäristöjä erilaisille eliöryhmille ja mahdollistavat routavaikutteisten elinympäristöjen synnyn sekä vaikuttavat myös läheisiin elinympäristöihin vedenkierron kautta. Tunturisoiden hiilivarasto on boreaalisia soita pienempi ohuesta turvekerroksesta johtuen, mutta niillä voi olla kasvava merkitys globaalissa hiilensidonnassa ilmaston muuttuessa.

## Johdanto

Suot (engl. *peatlands*) ovat turvetta muodostavia ekosysteemejä, joita esiintyy maapallon eri ilmastoalueilla tropiikista arktiselle alueelle. Maapallon soiden pinta-ala on 4,2 miljoonaa neliökilometriä, joka on noin 2,8 % maapallon maa-alasta. Suoekosysteemit muotoutuvat maantieteellisen sijainnin ja ympäristöolosuhteiden mukaan käsittäen laajan kirjon kasvillisuudeltaan, kosteudeltaan, happamuudeltaan ja rakenteeltaan erilaisia soita, jotka toimivat elinympäristöinä lukuisille eliöille (Rydin & Jeglum, 2015).

Soilla muodostuu turvetta kuolleiden kasvinosien epätäydellisen hajoamisen seurauksena johtuen suoympäristöjen korkeasta kosteudesta, happamuudesta ja alhaisesta happipitoisuudesta (Rydin & Jeglum, 2015). Turpeeseen varastoituu energiaa, kosteutta ja mineraaleja sekä orgaanisia yhdisteitä, kuten hiiltä (Ahti ym., 1968; Rydin & Jeglum, 2015). Soiden korkean hiilensidontakyvyn vuoksi ne toimivat ilmaston hiilinieluinä (IPCC, 2019). Soiden toiminnasta vapautuu ilmakehään muun muassa hiilidioksidia (CO<sub>2</sub>) (Yu ym., 2010) ja metaania (CH<sub>4</sub>) (Neef ym., 2010). Suoekosysteemit ovat yhteydessä metsä- ja vesiekosysteemeihin vedenvirtauksen ja kasvillisuuden kautta (Minayeva ym., 2017), ja suoveden virtauksen mukana liikkuu ravinteita, mineraaleja ja muita yhdisteitä myös viereisille kasvupaikoille (Jeglum ym., 2011).

Suoympäristöjen laajamittainen hyödyntäminen, kuten kuivatus maa- ja metsätalouden tarpeisiin sekä turpeenotto soilta, ovat eniten soiden pinta-alaa ja laatua alentanut tekijä Euroopassa, jonka vuoksi yli puolet Euroopan soista sijaitsee suojelualueilla (Tanneberger ym., 2021). Muokkaus ja kuivuminen aiheuttavat häiriöitä suon luonnolliseen toimintaan johtaen suoympäristöjen biodiversiteetin vähenemiseen ja hiilidioksidipäästöjen lisääntymiseen (IPCC, 2019). Lisäksi ilmastonmuutos, joka lämmittää pohjoisia alueita jopa kolme kertaa keskimääräistä voimakkaammin, aiheuttaa muutoksia soiden ominaisuuksiin sekä lisää soiden kasvihuonekaasupäästöjä (AMAP, 2021). Ilmakehän hiilidioksidi (CO<sub>2</sub>) ja metaani (CH<sub>4</sub>) ovat voimakkaasti lämpenemistä kiihdyttäviä kasvihuonekaasuja (IPCC, 2021), mikä asettaa suot merkittävään rooliin ilmastonmuutoksen torjunnassa.

Soiden laajamittaisesta hyödyntämisestä johtuen suoympäristöjen esiintyminen Euroopassa painottuu pohjoisimpiin osiin (IPCC, 2019; Tanneberger ym., 2021). Fennoskandian niemimaa

Euroopan koillisosassa sijaitsee Pohjois-Atlantin lämpimän merivirran, Euraasian manneralueen sekä Siperian laajan ja tasaisen tundran risteyskohdassa (Niskanen ym., 2019). Fennoskandian jakaa lounais-koillisuunnassa Skandien vuoristo, joka kulkee Ruotsin ja Norjan läpi ulottuen vanhimmilta osiltaan Suomen pohjoisimmille tuntureille (Euroola, 1968). Skandien vuoristo jakaa Fennoskandian ilmastollisesti mantereisiin ja mereisiin alueisiin, ja pohjoisen sijainnin sekä vaihtelevien ympäristöolojen vuoksi alueelle on muodostunut monimuotoisia suoympäristöjä aina merenpinnan tasosta tunturien ja vuorien huipuille saakka (Minayeva ym., 2017).

Tutkielmassani tarkastelen Fennoskandian tunturisoita ja niiden ekologiaa sekä merkitystä pohjoiselle luonnolle ja monimuotoisuudelle pohjoismaisen suoluokittelun pohjalta. Käsittelen myös tunturisoita muuttavia tekijöitä sekä tunturisoiden uhanalaisuutta ja suojelua. Jatkossa tunturi -termillä viitataan kaikkiin Fennoskandian vuoriin, tuntureihin ja maanpinnan muodostumiin, joiden kasvillisuudessa ilmenee vyöhykkeisyyttä korkeuden mukaan ja joiden puuttomalla lakialueella, paljakalla, esiintyy arktista tai alpiinista kasvillisuutta (Kaakinen ym., 2018a). Tunturisuo -termillä viitataan suoekosysteemeihin, jotka sijaitsevat tuntureilla boreaalisen havumetsävyöhykkeen pohjois- ja yläpuolella hemioroarktisella tai oroarkisella suokasvillisuusvyöhykkeellä.

## **1. Suoluokittelu Fennoskandiassa**

### **1.1. Kasvillisuusluokittelu suoluokittelun taustalla**

Soiden luokittelun taustalla on perinteinen kasvitieteellinen, kasviyhteisöjen koostumukseen pohjautuva luokittelu (Euroola ym., 2015). Maapallon kasvillisuusvyöhykkeet muodostuvat ilmastollisten tekijöiden mukaan, joista tärkein on kasvukauden pituutta ja kosteusolosuhteita säätelevä lämpötila (Ahti ym., 1968). Kasvillisuusvyöhykkeet ovat pääpiirteittäin leveyspiirien suuntaisia (Euroola, 1968), ja ne voidaan jakaa edelleen pohjois-, keski- ja etelävyöhykkeisiin sekä niiden alavyöhykkeisiin (Euroola, 1968). Erityisesti Fennoskandian kasvillisuutta muokkaava ilmastollinen tekijä, mereisyys ja mantereisuus -vaihtelu, jakaa kasvillisuusvyöhykkeet lisäksi pituuspiirien suuntaisesti lohkoihin niin, että kasvillisuus vaihtuu Atlantin ja Länsi-Norjan rannikkoalueen mereisestä lohkoista (O1-3) Skandien vuoriston itäpuolella indifferenttiin (OC) ja edelleen mantereiseen (C1) lohkkoon (Ahti ym., 1968; Oksanen & Virtanen, 1995). Mereisyys (engl. *oceanicity*) ja mantereisuus (engl.

*continentality*) kuvaavat meren läheisyyttä ja sen kosteuden ja lämmön vaikutusta manneralueen ilmastoon ja ekologiaan (Ahti ym., 1968). Mereisen ilmaston vuoden keskilämpötila on suhteellisesti korkeampi ja sadanta sekä kosteus runsaampaa, jonka vuoksi mereisellä alueella talviaikainen maan routiminen on vähäisempää ja kasvukausi pidempi, ja myös osittain sen vuoksi mereiset alueet ovat mantereisiä alueita tuottavampia kasvillisuudeltaan (Crawford, 2000). Vastaavasti mantereiseen ilmastoon liittyvät ilmanlämpötilan suurempi vuodenaikavaihtelu, alempi ilmankosteus ja runsaammat kesäaikaiset sademäärät (Crawford, 2000; Pääkkö ym., 2018; Ross ym., 2019).

Tuntureilla kasvillisuusvyöhykkeiden sijainti korkeussuunnassa määräytyy ensisijaisesti maantieteellisen sijainnin eli leveyspiirin sekä tunturin korkeuden mukaan, joiden perusteella alueellinen sadanta ja lämpötila määrittyvät (Darmody ym., 2004). Paikallisesti muun muassa maaperän laatu, lumipeite, ilmansuunta, rinteiden kaltevuus ja varjostus sekä ihmistoiminta vaikuttavat kasvillisuuden esiintymiseen (Ahti ym., 1968; Darmody ym., 2004). Kasvillisuusvyöhykkeen korkeusuuntaista sijaintia voidaan osoittaa oro -etuliitteellä (Ahti ym., 1968; Eurola, 1968), jolloin Fennoskandian tunturien kasvillisuusvyöhykkeet korkeussuunnassa alhaalta ylöspäin ovat metsäkasvillisuuden luonnehtima pohjoinen oroboreaalinen vyöhyke, sen yläpuolella puurajan muodostava hemioroarktinen vyöhyke sekä oroarktisen paljakan osat alaoroarktinen vyöhyke (alapaljakka), keskioroarktinen vyöhyke (keskipaljakka) ja tunturin lakiosa eli yläoroarktinen vyöhyke (yläpaljakka) (Ahti ym., 1968; Eurola, 1968). Norjan eteläisemmissä osissa oroarktisen vyöhykkeen sijasta voidaan puurajan yläpuolista kasvillisuusvyöhykettä kutsua sen kasvillisuuden perusteella alpiiniseksi vyöhykkeeksi (Moen ym., 2010).

Suokasvillisuusvyöhykkeet myötäilevät pääpiireittäin kasvillisuusvyöhykkeitä, mutta mantereisuus ja mereisyys muokkaavat voimakkaammin suokasvillisuutta kuin metsäkasvillisuutta (Eurola, 1968). Ahdin (1968) mukaan soilla kosteuden merkitys on lämpötilaa suurempi turpeen muodostumisen vuoksi. Tunturin korkeus merenpinnasta ja mereisyys ja mantereisuus vaikuttavat merkittävästi suokasvillisuusvyöhykkeiden korkeussijaintiin tuntureilla (Eurola, 1968). Esimerkiksi yläoroarktisen vyöhykkeen kasvillisuutta esiintyy yleisesti Skandien korkeimmilla huipuilla Norjassa ja Ruotsissa, mutta vain harvinaisena Suomen käsivarren suurtuntureilla (Ahti ym., 1968; Eurola & Virtanen, 1991). Fennoskandian tunturien suokasvillisuusvyöhykkeet ovat tunturien alaosissa sijaitseva pohjoisboreaalinen suokasvillisuusvyöhyke, tunturien keskiosissa tunturikoivun (*Betula*

*pubescens ssp. czerepanovii*) luonnehtima hemioroarkkinen suovyöhyke sekä tunturien paljakka-alueiden oroarkkinen suovyöhyke (Eurola, 1968).

## 1.2. Suoluokittelu ja suotyypit

Pohjoismainen suoluokittelu pohjautuu perinteiseen kasvitieteelliseen luokitteluun ja suokasvillisuusyhteisöjen koostumukseen (Eurola ym., 2015). Suokasvillisuus muodostuu paikallisten ympäristöolosuhteiden mukaan, jolloin suokasvillisuusyhteisöt ilmentävät erilaisia ekologisia vaihtelusuuntia (Eurola ym., 2015). Pohjoismaisen suoluokittelun pohjana on kolme keskeistä ympäristöolojen vaihtelusuuntaa: reuna-keskusta -vaikutus, ravinteisuus- eli trofiataso sekä vedenpinnan taso (Persson, 1962). Reuna ja keskustavaikutus ilmentävät suoveden ravinteiden kulkeutumissuuntaa (Eurola ym., 2015). Reunavaikutteinen suo saa valuvan veden mukana ravinnelisiä viereisiltä kasvupaikoilta (Eurola ym., 2015.). Reunavaikutteisella suolla pintavedestä, kuten tulva- ja lumensulamisedestä peräisin oleva ravinnelisiä ilmenee luhtaisuutena eli luhtakasvillisuuden vallitsevuutena, pohjavedestä peräisin oleva ravinnelisiä lähteisyytenä eli lähdekasvillisuutena sekä mineraalimaasta liunneet ravinteet korpisuutena eli korpikasvillisuutena (Kaakinen ym., 2018b, 2018a). Keskustavaikutteinen suo saa vettä ja ravinteita vain suolle sataneesta sade- tai lumensulamisedestä, ja veden alhainen ravinnetaso näkyy vastaavasti suokasvillisuudessa nevaisuutena, lettoisuutena tai rämeisyytenä (Kaakinen ym., 2018b, 2018a). Ravinteisuus- eli trofiatasot, joita ovat ombro-, oligo-, meso- tai eutrofia, ilmenevät ensisijaisesti indikaattorikasvillisuuden kautta, mutta trofiatasot voidaan erottaa toisistaan myös suoveden pH:n, johtokyvyn ja kalsiumpitoisuuden avulla (Eurola ym., 2015). Pohjoismaisessa suotutkimuksessa ravinteisuutta ei kuvata typpi- ja fosfori -pitoisuuden ja biomassan tuotannon kautta kuten vesiekosysteemeissä (Eurola ym., 2015), vaan ravinteisuustaso selittyy pääasiassa suoveden happamuuden (pH) perusteella (Tahvanainen, 2004). Suoveden happamuus muodostuu veteen liuenneiden orgaanisten happojen ja mineraalimaasta peräisin olevien happoja puskuroivien bikarbonaatti-ionien vaihtelun perusteella (Eurola ym., 2015). Kolmas päävaihtelusuunta, suopinnan taso, tarkoittaa suoveden korkeutta suon pinnan suhteen, ja se ilmenee vallitsevan suokasvillisuuden kautta (Laitinen ym., 2008). Suopinnantaso voi olla varpukasvien luonnehtimaa mätäspintaa, sarakasvivaltaista välipintaa tai kosteata, maksasammaleista rimpipintaa (Eurola ym., 2015). Vedenkorkeus on yhteydessä muun muassa suoveden happamuuteen, happipitoisuuteen sekä ravinteiden saatavuuteen (Eurola ym., 2015; Kaakinen ym., 2018b). Päägradienttien lisäksi voidaan erottaa muitakin suoekologiaan

vaikuttavia tekijöitä, kuten maankäyttö (Wheeler & Proctor, 2000) ja vedenpinnantason vaihtelu (Zoltai & Vitt, 1995).

Paikalliset suokasvillisuusyhteisöt rakentuvat edellä mainittujen päävaihtelusuuntien mukaan muodostaen lajistoltaan yhtenäisiä suokasvillisuuskokonaisuuksia, suotyyppejä (Eurola ym., 2015). Suoekosysteemien kuusi päätyyppiä ovat korvet, rämeet, nevat, letot, luhdet ja lähdesuot (Eurola 2015). Luokittelun käyttötarkoituksesta riippuen luhdet ja lähteet voidaan myös sisällyttää vesiekosysteemeihin kuuluvaksi (Kaakinen ym., 2018a). Kahden päätyypin kasvillisuuden esiintyessä yhdessä mosaiikkimaisesti puhutaan suoyhdistelmistä (Eurola ym., 2015). Eri suotyypin esiintyessä yhdessä laajana, toisiinsa kytkeytyneenä maisematason suoekosysteeminä muodostuu alueellinen, rakenteeltaan ja vedenvirtausominaisuuksiltaan yhtenäinen suoalue, suoyhdistymä (Eurola ym., 2015). Suoyhdistymätyypit, keidassuot, aapasuot, paikalliset suoyhdistymät ja paljakkasuot, syntyvät alueellisten ilmastotekijöiden, kuten kosteuden, vuodenaikaisen lämpösumman, haihdunnan ja kasvukauden pituuden mukaan, ja ne esiintyvät Fennoskandiassa pohjois-eteläsuuntaisesti, aapasoiden painottuessa pohjoisiin ja keidassoiden eteläisiin osiin (Eurola ym., 2015).

## **2. Fennoskandian tunturisuot**

### **2.1. Fennoskandian tunturisoiden ominaispiirteitä**

Fennoskandian tuntureilla ilmasto on voimakkaimmin ympäristöä ja kasvillisuutta muovaava tekijä (Ahti 1968). Skandien vuoristo on viimeisimmän jääkauden muovaamaa prekambrista ylityöntölaattaa (Ebbing ym., 2012), jonka karuhkossa kallioperässä esiintyy paikoitellen ravinnepitöisiä sedimenttikiviä (Ahti ym., 1968; Eurola ym., 2003; Pääkkö ym., 2018). Skandien eteläisin osa on maastoltaan jyrkempää ja siellä sijaitsevat vuorijonon korkeimmat huiput (Niskanen ym., 2019). Pohjoisosa on topografialtaan loivempaa ja matalampaa karua peruskalliota (Oksanen & Virtanen, 1995). Ilmastolliset olosuhteet muokkaavat maanpinnan muotoja ja maa- ja kallioperää luoden paikallista vaihtelua ympäristöön ja siten kasvillisuusyhteisöihin (Ahti 1968, Niskanen ym., 2019). Fennoskandian tuntureilla suoyhdistymien koko on tavallisesti yhdestä hehtaarista yli 50 hehtaariin, mutta myös usean sadan hehtaarin laajuisia tunturisoita tunnetaan (Kaakinen ym., 2018a). Ravinnetaso tunturisoilla on karuhkosta oligo-mesotrofiasta lettoiseen eurtofiaan (Pääkkö ym., 2018).



Tunturisoiden kasvupaikkaolosuhteista on niukasti tutkimuksia, mutta Perssonin (1961a, s. 126–127) mukaan keskeisiä ympäristöoloja määrittäviä tekijöitä ovat tunturien korkeussuuntainen ilmastovyöhykkeisyys, lumiolosuhteet ja kasvukauden lämpötila. Myös Oksasen ja Virtasen (1995) mukaan oroarktisen kasvillisuuden esiintymistä ja esiintymiskorkeutta säätelevät ennen kaikkea kesälämpötilat ja lumen syvyys. Vuodenaikaiset matalat lämpötilat rajoittavat kasvukauden pituutta, ja tuuli sekä lumikuorma estävät puiden kasvua (Wielgolaski & Karlsen, 2007). Tuntureilla kasvukausi lyhenee kasvupaikan korkeuden kasvaessa ja vastaavasti lumipeitteinen aika pitenee (Persson, 1961). Korkeuden vaikutus näkyy myös suokasvillisuusyhteisöjen rakenteessa. Korkeuden lisääntyminen merkitsee lähde- ja sulamisvesivaikutuksen yleistymistä ja räme-, neva- ja lettokasvillisuuden suhteellista vähenemistä (Kaakinen ym., 2018a).

Fennoskandian tunturisoille ominaista ovat jatkuva pohjavesivaikutus eli lähteisyys, lumen ja jään sulamisvesien vaikutus ja ohutturpeisuus (Eurola & Virtanen, 1991) sekä mereisillä soilla rimpi- ja välipintakasvillisuuden vallitsevuus (Eurola, 1968). Lähteisyys eli pohjaveden vaikutus tekee suovedestä muuta ympäristöä kylmempää ja ravinteisempää, meso-eutrofista (Eurola ym., 2015). Lähteisyys kohottaa suoveden happipitoisuutta ja redox-potentiaalia, jolloin nitraatin muodostus on mahdollista (Persson, 1962). Lähteisyys on erityisen tyypillistä paljakan suotyypeille (Eurola ym., 2015; Eurola & Virtanen, 1991).

Lumipeite ja siitä syntyvä sulamisvesi ovat toinen tunturialuiden soita keskeisesti määrittävistä tekijöistä (Persson, 1961). Lumipeitteen paksuus, joka riippuu muun muassa paikan korkeussijainnista, lämpötilasta, lämpötilavaihteluista ja ekspositiosta eli ilmansuunnan ja kaltevuuden altistavasta vaikutuksesta esimerkiksi tuulelle ja auringolle, määrittää kasvukauden pituuden (Persson, 1961). Lumipeitteen paksuus on myös sidoksissa mereisyysgradienttiin, sillä mereisille alueille muodostuu paksumpi lumikerros runsaamman sadannan johdosta (Oksanen, 1980). Fennoskandian mereisillä alueilla lyhyt kesä ja pitkä talvi runsaine lumikerroksineen ylläpitävät pohjaveden korkeaa tasoa kasvukaudella, mikä mahdollistaa rannesoiden muodostumisen tunturien kalteville pinnoille (Tanneberger ym., 2021). Paikallista vaihtelua lumipeitteen paksuuteen syntyy maanpinnan muotojen mukaan (Oksanen, 1980). Tunturien paljakkaluonnetta alueilla, kuten harjanteilla, lumipeite on ohut ja kuiva ja lumen suojaava vaikutus puuttuu ympäristöstä (Oksanen, 1980). Ohut lumipeite edistää pakkasrapautumista ja routimista, ja suojavaikutuksen puuttuessa kasviyhteisöistä tulee näillä paikoin karumpia (Eurola ym., 2003). Tunturien painanteet ja

notkot vastaavasti keräävät tuulen kuljettamaa lunta, jolloin niihin syntyy paksumpi lumipeite (Oksanen, 1980). Paksu lumipeite suojaa kasvillisuutta talven kylmiltä lämpötiloilta ja roudan kasvillisuudelle haitallisilta vaikutuksilta, ja esimerkiksi pajuvaltaiset suot voivat olla paksusta lumipeitteestä riippuvaisia (Persson, 1961). Paljakalla lunta kerääviin painanteisiin voi syntyä myös lumenviipyymiä tai -pysymiä (Björk & Molau, 2007). Lumenviipymillä lumen sulaminen on hidastunut ympäristötekijöistä johtuen ja kasvukausi on erityisen lyhyt (Persson, 1961). Tunturisuot vaihtuvat usein vähittäin lumenviipymäkasvillisuuteen tai lumenviipyymiä voi muodostua tunturialueen soille (Persson, 1961).

Tunturisoiden ohutturpeisuus liittyy suon reunavaikutteiseen ravinnelisiin, jossa suo saa ravinteita mineraalimaasta rapautumisen ja routimisen seurauksena tai pintavedestä, kuten lumen sulamisvedestä (Persson, 1961). Ohut lumipeite, joka on tyypillinen mantereisilla alueilla talviaikaisen alhaisen lämpötilan ja vähäisen sadannan vuoksi, altistaa kallioperän routimiselle ja rapautumiselle (Eurola ym., 2003). Rapautuminen vapauttaa ravinnemineraaleja kallioperästä ja nostaa muutoin ravinneköyhän arktisen ympäristön ravinteisuutta (Oksanen & Virtanen, 1995; Xu ym., 2018). Ravinnelisin myötä perustuotanto ja hajotus suolla lisääntyvät, jolloin turvetta ei kerry ja suon turvekerros jää ohueksi (Persson, 1961). Perssonin (1961 s.127) mukaan turpeen muodostusta estävät myös routakuohunta eli routimisen aiheuttama maa-aineskerrosten sekoittuminen vertikaalisuunnassa ja solifluktio eli maa-ainesten massaliikunto kaltevalla pinnalla sekä veden virtauksen aiheuttama eroosio. Tunturien rinnesoilla turpeen vähyys liittyy ennen kaikkea pinnanmuotojen kaltevuuteen, sillä veden virtauksen aiheuttama eroosio estää turpeen muodostumista; turvekerros on sitä ohuempi mitä kaltevampi rinne on (Persson, 1961). Ohut turvekerros sitoo vettä heikommin (Oksanen, 1980) ja vaikuttaa myös suon rakenteeseen. Korkeat turvemättäät eli pounikot muodostuvat kun suon ohutturpeiset rimpiosat jäätyessään kohottavat suon pintaa ja mahdollistavat tulvaherkkien sammalten kasvun (Eurola, 1968).

## **2.2. Tunturien suoyhdistymät suokasvillisuusvyöhykkeittäin**

### **2.2.1. Oroarkkinen suovyöhyke**

Tunturien lakiosan oroarktisessa suovyöhykkeessä soiden esiintyminen painottuu alaoroarktiseen osaan (Eurola, 1968), ja soiden osuus pinta-alasta pienenee kohti yläpaljakkaa, sillä korkeuden kasvaessa maasto jyrkkenee ja soistumiselle sopivat laakeat alueet vähenevät (Eurola ym., 2003; Kaakinen ym., 2018a). Oroarkkinen suovyöhyke jakautuu mereisyyden ja

mantereisuuden mukaan, sillä mereisillä alueilla rimpi- ja välipintakasvillisuus vallitsevat runsaamman kosteuden vuoksi (Eurola, 1968). Oroarktisessa vyöhykkeessä suoyhdistymät ovat paljakkasoita eli tunturien lähdesoita (Eurola ym., 2015). Paljakkasuoit sijaitsevat tunturien laaksoissa tai moreenikumpujen väleissä (Eurola ym., 2015), ja niitä muodostuu myös kohtiin, joihin valuu sulamisvettä lumenviipymiltä (Pääkkö ym., 2018). Paljakkasoille on tyypillistä lähdevaikutteisuus, ja lähdepurkaumat ja niiden keskiosat usein koostuvat lähdekasvillisuudesta (Eurola, 1968; Eurola ym., 2015). Turvekerros on ohut, rimpipinnat matalia ja paljakkasoiden reunaosissa voi olla korkeamättäistä pounikkaa (Eurola ym., 2015). Kasvillisuudessa ruskosammalet (heimo *Amblystegiaceae*) ovat vallitsevampia kuin rahkasammalet (suku *Sphagnum*), lisäksi yleisiä ovat sarakasvit (*Carex sp.*, *Trichophorum cespitosum*, *Eriophorum angustifolium*) ja mätäskasvillisuutta on niukalti (Eurola, 1968). Paljakan soilla suokasvillisuuden lisäksi tavallisia ovat pohjoiset lajit sekä tunturilajit, joita esiintyy yleisesti välipinta- ja rimpiletoilla (Eurola ym., 2015). Alaoroarktisessa vyöhykkeessä on paljakkasoiden lisäksi paikallisia piensoita (nevoja ja lettoja) sekä rinesoita (Eurola ym., 2015). Paljakan suot vaihettuvat vähittäisesti rinne-, aapa- ja palsasoihin sekä kosteisiin tunturikankaisiin ja niittymäisiin lumenviipymiin (Kaakinen ym., 2018a).

### 2.2.2. Hemioroarkkinen suovyöhyke

Hemioroarkkinen suovyöhyke eli tunturikoivuvyöhyke sijaitsee oroarktisen vyöhykkeen alapuolella ja sen korkeussijainti tunturilla määrittyy tunturin maantieteellisen sijainnin, pääasiassa leveyspiirien mukaan (Eurola, 1968). Skandien eteläosassa tunturikoivuvyöhykkeen raja voi sijaita jopa 1200 metrin korkeudessa merenpinnasta (Hallang ym., 2022), kun pohjoisosissa se rajautuu merenpinnan tasoon (Eurola & Virtanen, 1991). Eurolan (1968) mukaan hemioroarktisen suovyöhykkeen sijainti voidaan määrittää Fennoskandian eteläosissa tunturikoivuvyöhykkeen alarajan mukaan ja pohjoisessa rajaus voidaan tehdä suokasvillisuuden perusteella. Myös mereisyys ja mantereisuus vaikuttavat puurajan sijaintiin; mereisillä alueilla puuraja sijaitsee lähempänä merenpintaa kuin mantereisilla, koska mereisyyden tuoma kosteus aiheuttaa solifluktiota eli maan pintakerrosten liikuntaa, joka katkoo puiden juuria estäen niiden kasvua (Wielgolaski & Karlsen, 2007).

Hemioroarktisessa suovyöhykkeessä suokasvillisuus muistuttaa alempien metsävyöhykkeiden puuttomien soiden, nevojen, lettojen ja rämeiden kasvillisuutta (Kaakinen ym., 2018a). Mätäspinnan ja rahkasammalten (*Sphagnum*) osuus kasvaa ja pajuja (*Salix*) esiintyy

runsaammin kuin oroarktisessa vyöhykkeessä (Eurola, 1968; Kaakinen ym., 2018a). Myös *Carex* -suvun sarakasveja tavataan enemmän verrattuna oroarktiseen vyöhykkeeseen ja suursaranevoja esiintyy (Eurola, 1968). Nevakasvillisuutta, kuten sara- ja rimpinevoja, tavataan hemioroarktisessa vyöhykkeessä niiden esiintymiskorkeuden ylärajoilla (Kaakinen ym., 2018a). Tunturikoivumetsiä esiintyy tuulelta suojassa olevilla paikoilla, jolloin niihin kerääntyy talviaikaan enemmän lunta (Darmody 2004).

Mereisyys ja mantereisuus luovat eroja myös hemioroarktisten soiden rakenteeseen (Eurola, 1968). Hemioroarktisen vyöhykkeen mantereisilla alueilla puurajan molemmin puolin tavataan aapasuo yhdistymiin kuuluvia palsasoita (Eurola, 1968). Fennoskandiassa palsasuoalue käsittää pohjoisimmat mantereiset osat Skandeilla sekä Venäjällä Kuolan suolohkon (Ahti ym., 1968; Eurola, 1968; Tanneberger ym., 2021). Palsasoilla suurikokoiset, ikiroutaiset mätäspinnat, palsat, muodostuvat mantereisen kylmän ja kuivan ilmaston vaikutuksesta, kun vuoden keskilämpötila on alle  $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Eurola ym., 2015). Palsamättäillä voi esiintyä arktista kasvillisuutta varsinaisen esiintymisalueensa eteläpuolella ankarien ilmasto-olosuhteiden vuoksi (Eurola ym., 2015). Palsasoilla on palsojen lisäksi pounikoita, rimpikasvillisuutta ja soiden reunamilla reunavaikutteista kasvillisuutta (Eurola, 1968).

Hemioroarktisen suokasvillisuusvyöhykkeen mereisillä alueilla, pääasiassa Norjassa, rинnesuot ovat yleisiä (Eurola, 1968; Tanneberger ym., 2021). Rinnesuot ovat rakenteeltaan aapasoita ja niille on ominaista lähteisyys sekä meso- ja eutrofinen kasvillisuus (Eurola, 1968; Kaakinen ym., 2018a). Rinnesoilla tavataan boreaalisia ja pohjoisia lajeja, joiden esiintyminen liittyy mereisyyden tuomaan kosteuteen (Kaakinen ym., 2018b). Norjassa rинnesoita esiintyy alpiiniseen vyöhykkeeseen, yli 1000 metriä merenpinnan yläpuolelle saakka (Moen ym., 2010). Rinnesuot vaihettuvat vähittäin tunturisoihin ja palsasoihin sekä rinteiden alaosissa aapasoihin ja boreaalisiin piensoihin, erityisesti lähde- ja korpisoihin (Kaakinen ym., 2018a).

### 2.2.3. Boreaalinen suovyöhyke

Tunturien alimmat osat varsinaisen tunturisualueen alapuolella kuuluvat pohjoisboreaalisen suokasvillisuusvyöhykkeen, joka kattaa suurimman osan Fennoskandiasta (Ahti ym., 1968). Tunturien rinteiden alaosien pohjoisboreaalisen suovyöhykkeen aapasuot ovat eteläisempiä tyyppisiä vähäravinteisempia (Eurola ym., 2015; Lindholm & Heikkilä, 2006) ja mantereisia, mikä ilmenee suon rakenteessa mätäspinnan ja leveiden jänteiden esiintymisenä, sekä

keskeisiltä osiltaan keskustavaikutteisia ja rimpikasvillisuusvaltaisia (Eurola, 1968; Eurola 2015). Rahkasammalet ja havupuut ovat vallitsevia (Eurola, 1968). Norjan rannikon mereisillä osilla havupuuston korvaavat lehtipuut (Eurola, 1968). Myös pohjoisborealisessa suovyöhykkeessä esiintyy yleisesti rinnesoita (Eurola, 1968).

### **3. Tunturisoiden monimuotoisuus**

Suoekosysteemien biologista monimuotoisuutta voidaan arvioida monimuotoisuuden kaikilla tasoilla; maiseman eli ekosysteemitason ja kasvillisuusyhteisöjen sekä lajistollisen monimuotoisuuden avulla (Minayeva ym., 2017). Monimuotoisuuden tasoja voidaan käyttää avuksi esimerkiksi maankäytön suunnittelussa, suojelussa, ympäristöhallinnossa ja elinympäristöjen ennallistamisessa (Minayeva ym., 2017). Minayevan (2017) mukaan suurimpia uhkia monimuotoisuudelle ovat toiminnat, jotka johtavat maisematason muutoksiin eli kokonaisten suoyhdistymien muutoksiin.

Kasvillisuuden monimuotoisuus vähenee globaalilla tasolla kohti napa-alueita siirryttäessä (Testolin ym., 2021). Testolin ym. (2021) vertailivat tutkimuksessaan alpiinisen putkilokasvillisuuden monimuotoisuutta eri leveyspiireillä ja havaitsivat kaikista tutkituista kohteista alhaisimman monimuotoisuuden Pohjois-Skandeilla, alpiinisen kasvillisuusvyöhykkeen pohjoisrajalla sijainneella tutkimusalueella (Testolin ym., 2021). Skandien suppean monimuotoisuuden he arvioivat pääosin alueen suurilmastosta johtuvaksi, mutta myös viimeisimmällä jääkaudella oli vaikutusta. Fennoskandian tunturisoiden monimuotoisuudesta antavat viitteitä myös Eurolan ym. (2003) paljakkakasvillisuustutkimukset Suomen Käsivarren suurtuntureilla. Paljakkakasvillisuuden monimuotoisuus kasvoi Eurolan ym. (2003) mukaan paikoissa, joiden kallioperässä esiintyi sedimenttikivilajeja, ja eutrofista eli kalkkivaikutteista kasvillisuutta esiintyi lähinnä soilla. Suohabitaatit lisäsivät kasvupaikkadiversiteettia keski- ja alaoaroktisessa vyöhykkeessä, sillä ne korvasivat yläoroarktista niitty- ja lumenviipymäkasvillisuutta (Eurola ym., 2003). Eurolan ym. (2003) mukaan tunturisuot voivat siten lisätä muutoin karun ja vähälajisen pohjoisen paljakkaka-alueen kasvillisuuden maisemallista ja lajistollista monimuotoisuutta

## 4. Tunturisoita muuttavat tekijät

Suoekosysteemit muodostuvat useiden eri tekijöiden, kuten ilmaston, vedenvirtauksen, turpeen, eliöyhteisöjen, kasvillisuuden sekä kallioperän yhteisvaikutuksessa (Minayeva ym., 2017). Tekijät, jotka muuttuvat suoekosysteemia ja sen rakennetta, kasvillisuutta tai toimintaa voivat esimerkiksi johtaa suon tuottavuuden, elinympäristöjen tai eliöyhteisöjen muutoksiin tai vieraslajien invasioihin ja edelleen monimuotoisuuden vähenemiseen (Minayeva ym., 2017). Vaikutukset voivat olla suoria tai välillisiä ja laajuudeltaan pienimuotoisista, paikallisista muutoksista laajamittaisiin ja alueellisiin muutoksiin ja suoekosysteemin osien kytketytymisen kautta seuraukset voivat laajeta esimerkiksi kasvillisuuden tai vedenvirtauskuvioiden kautta suon eri osiin tai muihin läheisiin elinympäristöihin (Kolari ym., 2019, Minayeva ym., 2017). Muutosten vaikutuksia arvioitaessa mittarina voidaan käyttää suojelunäkökulmaa ja monimuotoisuuden vähenemistä suoympäristössä (Minayeva ym., 2017).

Soiden tilaa voivat muuttaa säävaihteluiden kaltaiset luonnolliset tekijät tai ihmistoimintaan liittyvät tekijät (Minayeva ym., 2017). Tanneberger ym. (2021) mukaan arktisia soita uhkaavat etenkin ihmistoiminta, kuten rakentaminen, ajoneuvoliikenne ja ilmastonmuutos. Viimeisimmässä Suomen luontotyypin uhanalaisuusarvioinnissa vuonna 2018 Suomen tunturisoiden tilaan vaikuttaviksi tekijöiksi todettiin ilmastonmuutoksen lisäksi maastoliikenne ja porolaidunnus (Kaakinen ym., 2018a). Myös tunturialueen luonnollisen laiduntajan, tunturimittarin (*Epirrita autumnata*) tunturikoivulle aiheuttamien tuhojen todettiin muuttavan hemioroarktisen tunturikoivuvyöhykkeen tunturisoita (Kaakinen ym., 2018a).

### 4.1. Laiduntajat

Porolaidunnus on merkittävimpiä pohjoisia kasvillisuusyhteisöjä ja ekosysteemejä säätelevä tekijä (Kolari ym., 2019). Porojen (*Rangifer tarandus tarandus*) laidunnuksesta johtuva maaperän kulumisen ja kasvillisuuden laidunnus sekä tallonta muuttavat paikallisesti suoluonnon laatua (Kaakinen ym., 2018a), mutta laajimmillaan koko tunturisuon valuma-alueen kattava ylilaidunnus voi johtaa maisematason muutoksiin ja merkittävään monimuotoisuuden vähenemiseen (Minayeva ym., 2017). Kumpulan & Turusen (2018) mukaan kasvillisuudelle haitallisempaa on kesälaidunnus, sillä sen seurauksena kasvien runsaussuhteet eri kasvillisuuskerroksissa muuttuvat. Oksasen ja Virtasen (1995) havaintojen mukaan porolaidunnuksen kohdistuminen vahvimmin pysty- ja puuvartisiin kasveihin vähensi

kasvien välistä kilpailua ja saattoi hyödyttää matalakasvuisia ja pienikokoisia ruohokasveja. Lisäksi porojen tallonnan seurauksena sammalten peittävyys väheni johtaen lajimonimuotoisuuden lisääntymiseen (Oksanen & Virtanen, 1995). Myös Kolarin ym. (2019) tutkimus poronlaidunnuksen vaikutuksista tunturisoihin antoi samankaltaisia havaintoja. Laidunnus alensi sammalten peittävyttä ja pohjanpajun (*Salix lapponum*) runsautta, korkeutta ja kukintaa sekä lisäsi pohjanpajun lehtien typpipitoisuutta. Kasvillisuuden muutoksista huolimatta he arvioivat, että tunturisoiden kasviyhteisöt eivät ole muutosherkkiä porojen laiduntamisen suhteen (Kolari ym., 2019). Virtasen ym. (2003) kasvillisuuden pitkäaikaistutkimus lajistollisesti monimuotoisella alpiinisella tunturisuolla Keski-Norjassa osoitti jäkälien vähentyneen ja joidenkin putkilokasvien ja sammalten hyötyneen porolaidunnuksesta, mutta harvinaisten kasvien määrän pysyneen muuttumattomana (Virtanen ym., 2003). Oksanen & Virtasen (1995) mukaan porolaidunnuksen intensiteettiä säätelee myös tunturipaljakan karu kasvillisuus.

Tunturimittarin voimakas laidunnus tuhoaa tunturikoivikkoa ja aiheuttaa tunturikoivuvyöhykkeen muuttumisen niin kutsutuksi sekundääriseksi paljakaksi (Kaakinen ym., 2018b), mutta *Suomen luontotyyppeiden uhanalaisuus 2018* -arvioinnin mukaan tunturikoivujen häviämisen merkitystä tunturisoille ei tunneta (Kaakinen ym., 2018a).

## 4.2. Ilmastonmuutos

Ilmastonmuutoksen eli ilman ja maanpinnan lämpenemisen seurauksena arktisilla ja alpiinisilla maa-alueilla muun muassa keväisen lumen määrä vähenee, ilmastovyöhykkeet siirtyvät pohjoisemmaksi ja kasvukausi pitenee sekä kuumat ääriolosuhteet ja rankkasateet lisääntyvät (IPCC, 2021). Arktisen alueen napajään sulaminen lisää ilmastokosteutta ja sadantaa (Cohen ym., 2012), joka voi lähitulevaisuudessa talviaikaisten lämpötilojen pysyessä matalina merkitä runsaita lumisateita Pohjois-Euroopassa (Bailey ym., 2021). Suot ovat herkkiä ilmastonmuutokselle, koska ne ovat riippuvaisia kosteista ja kylmistä ilmasto-olosuhteista (Essl ym., 2012). Ilmastonmuutos ja sään ääri-ilmiöt voivat suoraan muuttaa soiden kasvillisuutta tai vedenvirtauskuviota (Minayeva ym., 2017) sekä johtaa pohjoisten lajien ja tunturilajien taantumiseen ja häviämiseen (Hyvärinen ym., 2019).

Lämpeneminen lisää maaperän mikrobien hajotustoimintaa, jolloin soiden turvekerros ohenee ja turpeen määrä vähenee (Jeglum ym., 2011). Hajotustoiminnan kiihtymisen seurauksena

myös soiden hiilidioksidipäästöt lisääntyvät ja kasvillisuus runsastuu (Hallinger ym., 2010), kun orgaanisen aineksen maatuessa ravinnetaso turpeessa nousee ja kasvillisuudella on enemmän ravinteita käytettävissä (Volkova ym., 2021). Ravinnetason nousu ja kasvukauden pidentyminen voivat johtaa kasvillisuusyhteisöjen muuttumiseen ja edelleen eliöyhteisöjen ja elämänmuotojen muutoksiin (Volkova ym., 2021). Tuntureilla lämpenemisen seurauksena puuraja ja sen yläpuolinen pensasraja nousevat korkeammalle (Hallinger ym., 2010) ja sammalten kasvu lisääntyy sekä jäkälien kasvu heikkenee (Hyvärinen ym., 2019). Skandeilla on lämpenemisen seurauksena havaittu puurajan nousseen rinteillä useita satoja metrejä 1950-luvulta lähtien (Kullman, 2002), ja puuvartisten kasvien kuten vaivaiskoivun ja pajujen määrän runsastuneen (Wielgolaski & Karlsen, 2007). *Suomen luontotyyppien uhanalaisuus 2018* -arvioinin mukaan myös lämpenemistä seuraava metsänrajan nousu tuntureilla ja männyn (*Pinus sylvestris*) leviäminen tunturikoivuvyöhykkeeseen heikentävät tunturisoiden laatua ja vähentävät niiden määrää (Kaakinen ym., 2018a). Sulamisvesivaikutteisten paljakkasoiden laatuun vaikuttavat etenkin lämpötilan nousu, lumisen ajan lyheneminen ja maaperän kuivuminen (Kaakinen ym., 2018a). Lämpeneminen ja kasvukauden pidentyminen muuttavat myös routavaikutteisia palsasoita ja soiden pounikoita, kun pysyvä routa sulaa (Kaakinen ym., 2018a). Pysyvän roudan vähetessä kosteus lisääntyy (Volkova ym., 2021), mikä heikentää routavaikutteisten soiden laatua (Kaakinen ym., 2018a; Moen ym., 2010). Lämpeneminen voi vaikuttaa myös tunturisuoympäristöjä lisäävästi, jos tunturien muut routavaikutteiset luontotyypit sulaessaan soistuvat (Kaakinen ym., 2018b).

Lumen määrän lisääntyminen voi myös nostaa soiden ravinnetasoa. Paksu lumikerros toimii sekä talvehtivan kasvillisuuden suojana voimakkailta tuuilta ja pakkaselta että eristää maaperää kylmiltä lämpötiloilta (Hallinger ym., 2010). Maaperän lämpötilan pysyminen korkeana talvella voi edistää hajotustoimintaa ja siten ravinteiden saatavuutta (Hallinger ym., 2010). Hallinger ym. (2010) kuitenkin huomauttavat, että paksu lumipeite myös toisaalta lyhentää kesän kasvukauden pituutta.

Niskasen (2019) kasvillisuustutkimuksen mukaan arktisalpiinisten lajien vaste lämpenemiseen määräytyy paikallisen topografian lisäksi myös niiden biogeografisen kehityshistorian mukaan. Ilmaston lämpenemisen seurauksena arktisten ja alpiinisten putkilokasvien esiintymät siirtyvät Skandeilla kohti pohjoista tai tuntureilla rinnettä ylöspäin, mutta joillain alpiinisilla lajeilla siirtymä voi suuntautua myös Skandien eteläosien korkeimpien ja laajimpien vuoristoalueiden



kasvupaikkoja kohti. Siirtymä etelää kohti eristää populaatioita toisistaan ja niiden pääesiintymisalueelta (Niskanen ym., 2019).

### **4.3. Muu ihmistoiminta**

Muita ihmistoimintoja, jotka voivat vaikuttaa tunturisoiden tilaan, ovat esimerkiksi rakennukset ja tiet, kaivannaistoiminta, metsänhakkuu ja ojitus, turpeenotto, maastoliikenne tai vapaa-ajan toiminnat kuten turismi ja metsästys (Minayeva ym., 2017; Volkova ym., 2021). Ihmistoiminnan seurauksena suon luontainen vesitalous, rakenne tai kasvillisuus voivat muuttua (Kaakinen ym., 2018a; Minayeva ym., 2017), suon tila voi heiketä eriasteisesti tai koko elinympäristö voi hävitä toiminnan laajuudesta ja voimakkuudesta riippuen (Kaakinen ym., 2018a; Minayeva ym., 2017). Esimerkiksi rakentaminen rinteisiin muuttaa suoveden virtausta ja heikentää rannesoiden laatua (Kaakinen ym., 2018b). Grootjans ym. (2010) osoittivat, kuinka suon valuma-alueen läpi rakennettu tie ja oja muuttivat ja kavensivat suon pintaveden kulkureittiä ja lisäsivät tulvintaa suoympäristössä veden kerääntyessä aiempaa kapeammalle alalle. Myös suokasvillisuus muuttui, kun tulvinta kasvatti veden eroosivoimaa ja johti puiden ja metsäalueiden kuolemiin suon reunaosissa (Grootjans ym., 2010). Teiden ja kulkureittien rakentaminen myös hävittää kokonaisia osia luontoympäristöistä, kuten Norjan ja Ruotsin pohjoisosaan rakennettu rautatie, joka pienensi tunturikoivumetsän kokoa (Darmody, 2004). Tanneberger ym. (2021) mukaan tierakennelmien merkitys on pieni laajassa mittakaavassa, mutta paikallisesti vaikutukset voivat olla merkittäviä, varsinkin yhdessä muiden tekijöiden kanssa.

## **5. Uhanalaisuus**

### **5.1. Elinympäristöjen uhanalaisuus**

Suomen soiden uhanalaisuutta arvioitiin *Soiden luontotyyppien ja luontotyyppiyhdistelmien luokittelu uhanalaisuuden arvioinnissa* sekä suotyyppi- että suoyhdistymätyyppitasolla (Kaakinen ym., 2018a). Suomessa soiden uhanalaisuus on määrällisesti painottunut Etelä-Suomeen, ja Pohjois-Suomen soista 26 % on uhanalaisia. Suoluontotyypeistä erittäin uhanalaisia (EN) olivat palsarämeet ja välipintakoivuletot, välipintaletot ja kalkkiletot (Kaakinen ym., 2018b). Luontotyyppiyhdistelmätasolla koko maan soista 63 % oli uhanalaisia ja pohjoisen soista ainoastaan palsasuoit arvioitiin uhanalaiseksi (VU), syynä ilmastonmuutos (Kaakinen ym., 2018b). Palsasoiden tilaa heikentävät etenkin korkeammat talviaikaiset

lämpötilat ja samanaikainen lumisuojan lisääntyminen, sillä molemmat edistävät roudan sulamista (Ruuhijärvi ym., 2022). Koko Fennoskandian palsasoista vain pieni osa sijaitsee suojelualueilla ja niihin kohdistuu ilmastonmuutoksen lisäksi niukalti ihmistoimintaa (Tanneberger ym., 2021). Suomen tunturisuot (paljakkasuot) arvioitiin säilyväksi luontotyypiksi (LC).

## **5.2. Lajien uhanalaisuus**

*Suomen lajien uhanalaisuus – Punainen kirja 2019* -arvioinnissa tunturipaljakan suot (engl. *alpine mires*) sisällytettiin tunturipaljakoiden elinympäristöiksi suoelinympäristöjen sijaan (Hyvärinen ym., 2019). Tunturipaljakan soilta arvioitiin 48 lajia, joista 22 lajia sai punaisen listan uhanalaisuusstatuksen RE, CR, EN, VU, NT tai DD. Tunturipaljakan soiden uhanalaisten lajien osuus kaikista tunturipaljakan uhanalaisista lajeista oli 4 % ja tunturipaljakan suot arvioitiin ensisijaiseksi elinympäristöksi 8:lle lajille. Yleisesti ensisijaiseksi syyksi tunturipaljakan lajien uhanalaisuudelle mainittiin kuluminen, joka on seurausta pääosin porolaidunnuksesta. Lisäksi kulumista aiheuttavat matkailu ja siihen liittyvä rakentaminen. Muita merkittäviä syitä uhanalaisuuteen ovat satunnaistekijät, johtuen tunturialueen populaatioiden pienestä koosta ja elinympäristövaatimuksista sekä ilmastonmuutos. Tunturipaljakan soita ensisijaisena elinympäristönä käytävillä uhanalaisilla lajeilla, joihin kuului lajeja useista eliöryhmistä (maksasammalet, putkilokasvit, hämähäkit, nivelkärsäiset, kovakuoriaiset, perhoset, kaksisiipiset ja linnut), uhanalaisuuden muita syitä olivat lisäksi vesirakentaminen ja tuntemattomat syyt sekä lintulajeilla muutokset Suomen ulkopuolella, kilpailu ja pyynti (Hyvärinen ym., 2019).

## 6. Suojelu

Tunturisoiden suojelu voidaan perustella niiden merkityksellä tunturiluonnon monimuotoisuutta lisäävänä ja ylläpitävänä tekijänä (Minayeva ym., 2017). Minayeva ym. (2017) mukaan suoekosysteemien sijainti maa- ja vesiympäristöjen rajalla tekee niistä arvokkaita suojelukohteita, ja niiden arvo tulisi tunnistaa ja erottaa muista elinympäristöistä suojelun suunnittelussa. Kansainvälisesti sekä paikallisesti soidensuojeluun tulisi valita harvinaisia luontotyyppejä edustavat soita, koska niillä on korkein suojellinen arvo, ja suojelu tulisi kohdistaa nimenomaan suoympäristöihin, sillä usein suot sisällytetään muihin suojeltuihin elinympäristöihin ja sen vuoksi suojelutoimet voivat olla riittämättömiä ja tehottomia suoelinympäristöjen suojeluun (Tanneberger ym. 2021). Tanneberger ym. (2021) mukaan suon laatua voi alentaa pienikin muutos vedenpinnan tasossa, jonka vuoksi suon hydrologia tulisi turvata suojelemalla kokonaisia suoekosysteemeja ja sisällyttämällä suojeluun myös suon valuma-alue (Tanneberger ym. 2021). Hydrologisesti muuttumattomat suot ovat myös vastustuskykyisempiä ilmastonmuutokselle (Essl ym., 2012). Soiden ja niiden hydrologian suojelussa tulisi myös huomioida elinympäristöjen kytkeytyminen, esimerkkinä lähteiden ja lähdesoiden eli vesi- ja suoympäristöjen yhteys (Tanneberger ym., 2021).

Elinympäristöjä suojelemalla suojellaan myös uhanalaisia tai uhanalaistuvia lajeja (Minayeva ym., 2017). Uhanalaisten lajien aseman parantamiseksi ja uhanalaistumisen pysäyttämiseksi soveltuvat muun muassa lajien ja elinympäristöjen alueellisten suojelutoimien priorisointi, lajien huomioiminen paremmin maankäytössä ja lupaprosesseissa, elinympäristöjen ennallistamis- ja hoitotoimet sekä riittävän tutkimustiedon ja ajantasaisten seurantatietojen merkityksen korostaminen, kuten *Suomen lajien uhanalaisuus – Punainen kirja 2019* -arvioinnin ohjausryhmä ehdottaa (Hyvärinen ym., 2019). Tunturipaljakan lajiston uhanalaistumisen pysäyttämiseksi tulisi määrittää myös kestävä porolaidunnuksen taso, etenkin lajistollisesti arvokkailla alueilla ja seurata ilmastonmuutoksen vaikutuksia, sillä esimerkiksi ennallistamisen ja hoidon avulla tunturipaljakan lajiston tilannetta ei voida parantaa (Hyvärinen ym. 2019)

## 7. Pohdinta

Fennoskandian tunturisuot muodostuvat ilmaston ja paikallisten ympäristötekijöiden summana. Luonnollisten tekijöiden lisäksi ilmastonmuutos ja muu ihmistoiminta vaikuttavat yhdessä tunturialueen soiden rakenteeseen, vedenkiertoon, toimintaan ja eliöyhteisöihin sekä tunturisoiden ekologiseen laatuun ja tulevaisuuden kehityssuuntaan. Näiden tekijöiden voimakkuus ja yhteisvaikutusten seuraukset vaihtelevat paikallisesti, jolloin eri osissa Fennoskandian tunturisuolinympäristöjen kehityssuunta voi poiketa toisistaan huomattavasti. Tulevaisuudessa tunturiympäristöihin voi kohdistua myös uusia muutostekijöitä kun ilmastonmuutos etenee, energiantarve kasvaa ja uusia energiantuotantomuotoja etsitään.

Ilmastonmuutos vaikuttaa kaikkiin tunturien ympäristöihin maantieteellisestä sijainnista riippumatta johtaen monimuotoisuuden muutoksiin ja kaventumiseen sen kaikilla tasoilla. Lämpeneminen vaikuttaa voimakkaimmin lumesta ja roudasta riippuvaisiin pienialaisiin elinympäristöihin, kuten palsasoihin, joiden vähenemistä on havaittu jo korkeimmillakin tuntureilla, sekä tunturilajeihin, joilla ei enää ole mahdollisuutta siirtyä ylöspäin sopiville kasvupaikoille (Hyvärinen ym., 2019; Kumpula & Turunen, 2018; Ruuhijärvi ym., 2022). Roudan väheneminen muuttaa yksittäisten, routavaikutteisten tunturisoiden rakennetta, mutta myös laajemmassa mittakaavassa koko tunturimaisemaa, kun palsojen kaltaiset korkeat pinnanmuodot häviävät ja kasvillisuusyhteisöt muuttuvat. Sadannan ja lumisuojan lisääntyminen johtavat ravinteisuuden muutoksiin, ja jos routimisen ja rapautumisen aikaansaama ravinteisuusvaihtelu heikkenee ja maaperän hajotustoiminta kiihtyy, voi seurauksena olla paikallisen maisemallisen vaihtelun väheneminen, kasvillisuusyhteisöjen yksipuolistuminen ja monimuotoisuuden muutokset.

Vanderpuye ym. (2002) mukaan ilmastonmuutoksen aiheuttamat biologiset vasteet suokasvillisuudessa ulottuvat kasvien tuottaavuuden muutoksista metaboliatasolle asti vaikuttaen hajotustoimintaan ja turpeen kertymiseen tai vähenemiseen suolla. Suot ovat merkittäviä hiilensitojia maailmanlaajuisesti (Essl ym., 2012), mutta Fennoskandian tunturisoiden merkitys alueellisessa hiilensidonnassa lienee kokonaisuudessaan vähäinen tunturisoiden suhteellisen pienen pinta-alan ja ohuen turvekerroksen vuoksi.

Kasvillisuuden ja turpeen väliset sekä trofiatasolta toiselle ulottuvat vuorovaikutukset, eri tekijöiden linkittyminen toisiinsa ja monien tekijöiden yhteisvaikutukset voivat olla vaikeasti

ennustettavissa. Eri tekijöiden vaikutukset voivat kumuloitua, esimerkiksi eroosion lisääntyminen sekä porolaidunnuksen että runsaan sadannan myötä, tai ne voivat olla toisiaan hillitseviä, esimerkiksi porolaidunnuksen hidastaessa lämpenemisestä johtuvaa pensoitumista ja puurajan ylöspäin nousemista tuntureilla (Wielgolaski & Karlsen, 2007).

Tunnettujen tekijöiden intensiteetti ja merkitys voivat muuttua tulevaisuudessa ja lisäksi myös uusia tunturisoihin vaikuttavia tekijöitä voi ilmetä, kuten ihmistoiminnasta aiheutuva typpilaskeuma ja sen tuoma ravinnelisyys (Bobbink et al., 1998). Tutkimuksia Fennoskandian tunturisoiden ekologiasta, ominaisuuksista ja merkityksestä pohjoisen luonnon monimuotoisuudelle sekä tulevaisuuden kehityssuunnasta muuttuvan ilmaston ja ihmistoiminnan näkökulmasta on vain vähän, ja kaikkia ilmastonmuutoksen vaikutuksia tunturisoiden kasvillisuuteen ja lajistoon ei vielä tunneta tai tulevien muutosten arviointi on vaikeaa (Kaakinen ym., 2018a), jolloin seurannan ja tutkimuksen merkitys korostuu tulevaisuudessa.

Monimuotoisuudeltaan Fennoskandian tunturisuot ovat suhteellisen niukkoja elinympäristöjä, mutta ne lisäävät tunturiluonnon monimuotoisuutta ekosysteemitasolla ja tarjoavat elinympäristöjä sekä ylläpitävät lajistollista monimuotoisuutta. Suojelun lisääminen voi turvata ympäristöjen säilymistä (Ruuhijärvi ym., 2022), vaikka kaikkiin muutostekijöihin ei voida vaikuttaa. Tunturisoiden säilyminen ja kytkeytyminen mahdollistavat niistä riippuvaisten lajien dispersaalin ja siten vaikuttavat myös geneettisen monimuotoisuuden säilymiseen. Tulevaisuudessa tunturisuoympäristöt voivat tarjota myös vaihtoehtoisia, korvaavia elinympäristöjä ilmastonmuutoksen vuoksi siirtyville eliöille.

## Lähteet

- Ahti, T., Hämet-Ahti, L., & Jalas, J. (1968). Vegetation zones and their sections in northwestern Europe. *Annales Botanici Fennici*, 5(3), 169–211. <https://www.jstor.org/stable/23724233>
- AMAP. (2021). *Arctic Climate Change Update 2021: Key Trends and Impacts. Summary for Policy-makers*. 1–16.
- Björk, R. G., & Molau, U. (2007). Ecology of alpine snowbeds and the impact of global change. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 39(1), 34–43. [https://doi.org/10.1657/1523-0430\(2007\)39\[34:EOASAT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1657/1523-0430(2007)39[34:EOASAT]2.0.CO;2)
- Bobbink, R., Hornung, M., & Roelofs, J. G. M. (1998). The effects of air-borne nitrogen pollutants on species diversity in natural and semi-natural European vegetation. *Journal of Ecology*, 86(5), 717–738. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2745.1998.8650717.x>
- Cohen, J. L., Furtado, J. C., Barlow, M. A., Alexeev, V. A., & Cherry, J. E. (2012). Arctic warming, increasing snow cover and widespread boreal winter cooling. *Environmental Research Letters*, 7(1). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/7/1/014007>
- Crawford, R. M. M. (2000). Ecological hazards of oceanic environments. *New Phytologist*, 147(2), 257–281. <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2000.00705.x>
- Darmody, R. G., Thorn, C. E., Schlyter, P., & Dixon, J. C. (2004). Relationship of vegetation distribution to soil properties in Kärkevage, Swedish Lapland. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 36(1), 21–32. [https://doi.org/10.1657/1523-0430\(2004\)036\[0021:ROVDTS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1657/1523-0430(2004)036[0021:ROVDTS]2.0.CO;2)
- Ebbing, J., England, R. W., Korja, T., Lauritsen, T., Olesen, O., Stratford, W., & Weidle, C. (2012). Structure of the Scandes lithosphere from surface to depth. *Tectonophysics*, 536–537, 1–24. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2012.02.016>
- Essl, F., Dullinger, S., Moser, D., Rabitsch, W., & Kleinbauer, I. (2012). Vulnerability of mires under climate change: implications for nature conservation and climate change adaptation. *Biodiversity and Conservation*, 21(3), 655–669. <https://doi.org/10.1007/s10531-011-0206-x>
- Eurola, S. (1968). Luoteis-Euroopan suokasvillisuusvyöhykkeistä sekä niiden rinnastamisesta paljakkaj- ja metsäkasvillisuusvyöhykkeisiin. *Luonnon Tutkija*, 72(1–2), 1–22.
- Eurola, S., Huttunen, A., Kaakinen, E., Saari, V., Salonen, V., & Kukko-oja, K. (2015). *Sata suotyyppeä: opas Suomen suokasvillisuuden tuntemiseen*. Oulun yliopisto, Thule-instituutti.
- Eurola, S., Huttunen, S., & Welling, P. (2003). Enontekiön suurunturien paljakkakasvillisuus - Vegetation of the Fjelds of Northwestern Enontekiö. *Kilpisjärvi Notes*, 17, 3–27.
- Eurolawsq, S., & Virtanen, R. (1991). Key to the vegetation of northern Fennoscandian fjelds. *Kilpisjärvi Notes*, 12, 1–32.
- Grootjans, A., Iturraspe, R., Lanting, A., Fritz, C., & Joosten, H. (2010). Ecohydrological features of some contrasting mires in Tierra del Fuego, Argentina. *Mires and Peat*, 6, 1–15.
- Hallang, H., Froyd, C. A., Hiemstra, J. F., & Los, S. O. (2022). Tree line shifts, changing vegetation assemblages and permafrost dynamics on Galdhøpiggen (Jotunheimen,

- Norway) over the past ~4400 years. *Holocene*, 32(4), 308–320.  
<https://doi.org/10.1177/09596836211066591>
- Hallinger, M., Manthey, M., & Wilmsking, M. (2010). Establishing a missing link: warm summers and winter snow cover promote shrub expansion into alpine tundra in Scandinavia. *New Phytologist*, 186(4), 890–899.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2010.03223.x>
- Hyvärinen, E., Juslén, A., Kemppainen, E., Uddström, A., & Liukko, U.-M. (Toim.). (2019). *Suomen lajien uhanalaisuus – Punainen kirja 2019*. Ympäristöministeriö & Suomen ympäristökeskus.
- IPCC. (2019). *Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems: Vol. In press* (P. R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson-Delmotte, H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. van Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J. Portugal Pereira, P. Vyas, E. Huntley, ... J. Malley (Toim.)).
- IPCC. (2021). *Climate Change 2021 – The Physical Science Basis: Summary for Policymaker* (S. Solomon, D. Qin, M. Manning, K. Averyt, & M. Marquis (Toim.)). Cambridge Univ. Press,.
- Jeglum, J., Sandring, S., Christensen, P., Glimskär, A., Allard, A., Nilsson, L., & Svensson, J. (2011). *Main Ecosystem Characteristics and Distribution of Wetlands in Boreal and Alpine Landscapes in Northern Sweden Under Climate Change*.  
<https://doi.org/10.5772/25066>
- Kaakinen, E., Kokko, A., Aapala, K., Autio, O., Eurola, S., Hotanen, J.-P., Kondelin, H., Lindholm, T., Nousiainen, H., Rehell, S., Ruuhijärvi, R., Sallantausta, T., Salminen, P., Tahvanainen, T., Tuominen, S., Turunen, J., Vasander, H., & Virtanen, K. (2018a). Suot. Teoksessa T. Kontula & A. Raunio (Toim.) *Suomen luontotyyppien uhanalaisuus 2018. Luontotyyppien punainen kirja Osa 1: tulokset ja arvioinnin perusteet*. Suomen ympäristökeskus ja ympäristöministeriö. Suomen ympäristö 5/2018, 117–170.  
<http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-11-4816-3>
- Kaakinen, E., Kokko, A., Aapala, K., Autio, O., Eurola, S., Hotanen, J.-P., Kondelin, H., Lindholm, T., Nousiainen, H., Rehell, S., Ruuhijärvi, R., Sallantausta, T., Salminen, P., Tahvanainen, T., Tuominen, S., Turunen, J., Vasander, H., & Virtanen, K. (2018b). Suot 2. Teoksessa T. Kontula & A. Raunio (Toim.) *Suomen luontotyyppien uhanalaisuus 2018 : Luontotyyppien punainen kirja. Osa 2: Luontotyyppien kuvaukset*. Suomen ympäristökeskus ja Ympäristöministeriö. Suomen ympäristö 5/2018, 327–474.  
<http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-11-4819-4>
- Kolari, T. H., Kumpula, T., Verdonen, M., Forbes, B. C., & Tahvanainen, T. (2019). Reindeer grazing controls willows but has only minor effects on plant communities in Fennoscandian oroarctic mires. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 51(1), 506-520.
- Kullman, L. (2002). Rapid recent range-margin rise of tree and shrub species in the Swedish Scandes. *Journal of Ecology*, 90(1), 68–77. <https://doi.org/10.1046/j.0022-0477.2001.00630.x>
- Kumpula, J., & Turunen, M. (2018). Porojen laidunnus ja laidunten kunto tunturialueella . *Suomen Luontotyyppien Uhanalaisuus 2018 : Luontotyyppien Punainen Kirja. Osa 1: Tulokset Ja Arvioinnin Perusteet*, 283–287.
- Laitinen, J., Kukko-Oja, K., & Huttunen, A. (2008). Stability of the water regime forms a vegetation gradient in minerotrophic mire expanse vegetation of a boreal aapa mire. *Annales Botanici Fennici*, 45(5), 342–358. <https://doi.org/10.5735/085.045.0502>

- Lindholm, T., & Heikkilä, R. (2006). Geobotany of Finnish forests and mires: the Finnish approach. In T. Lindholm & R. Heikkilä (Toim.), *Finland-land of mires* (pp. 95–103). Finnish Environment Institute.
- Minayeva, T. Y., Bragg, O. M., & Sirin, A. A. (2017). Towards ecosystem-based restoration of peatland biodiversity. *Mires and Peat*, 19. <https://doi.org/10.19189/MaP.2013.OMB.150>
- Moen, A., Dolmen, D., Hassel, K., & Ødegaard, F. (2010). Mires, springs and flood plains. In J. A. Kålås, S. Henriksen, & S. V. Å. Skjelseth (Toim.), *Environmental conditions and impacts for Red List species* (s. 51–66). Norwegian Biodiversity Information Centre. <https://www.researchgate.net/publication/303550728>
- Neef, L., Van Weele, M., & Van Velthoven, P. (2010). Optimal estimation of the present-day global methane budget. *Global Biogeochemical Cycles*, 24(4). <https://doi.org/10.1029/2009GB003661>
- Niskanen, A. K. J., Niittynen, P., Aalto, J., Väre, H., & Luoto, M. (2019). Lost at high latitudes: Arctic and endemic plants under threat as climate warms. *Diversity and Distributions*, 25(5), 809–821. <https://doi.org/10.1111/ddi.12889>
- Oksanen, L. (1980). Abundance relationships between competitive and grazing-tolerant plants in productivity gradients on Fennoscandian mountains. *Annales Botanici Fennici*, 17(4), 410–429. <http://www.jstor.org.pc124152.oulu.fi:8080/stable/23726068>
- Oksanen, L., & Virtanen, R. (1995). Topographic, altitudinal and regional patterns in continental and suboceanic heath vegetation of northern Fennoscandia. *Acta Botanica Fennica*, 153, 1–80.
- Pääkkö, E., Mäkelä, K., Saikkonen, A., Tynys, S., Anttonen, M., Johansson, P., Kumpula, J., Mikkola, K., Norokorpi, Y., Suominen, O., Turunen, M., Virtanen, R., & Väre, H. (2018). Tunturit. Teoksessa T. Kontula & A. Raunio (Toim.) *Suomen luontotyyppien uhanalaisuus 2018 : Luontotyyppien punainen kirja. Osa 2: Luontotyyppien kuvaukset*. Suomen ympäristökeskus ja Ympäristöministeriö. Suomen ympäristö 5/2018, 759–878. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-11-4819-4>
- Persson, Å. (1961). Mire and spring vegetation in an area north of Lake Torneträsk, Torne Lappmark, Sweden. I. Description of the vegetation. *Opera Botanica*, 6 (1), 1–187.
- Persson, Å. (1962). Mire and spring vegetation in an area north of Lake Torneträsk, Torne Lappmark, Sweden. II. Habitat conditions. *Opera Botanica*, 6 (3), 1–100.
- Ross, L. C., Speed, J. D. M., Øien, D.-I., Grygoruk, M., Hassel, K., Lyngstad, A., & Moen, A. (2019). Can mowing restore boreal rich-fen vegetation in the face of climate change? *PLoS ONE*, 14(2). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0211272>
- Ruuhijärvi, R., Salminen, P., & Tuominen, S. (2022). Palsasoiden levinneisyys, rakennetyypit ja tila Suomessa 2010-luvulla - Distribution range, morphological types and state of palsa mires in Finland in the 2010s. *Suo*, 73(1), 1–32.
- Rydin, H., & Jeglum, J. K. (2015). The Biology of Peatlands. In *The Biology of Peatlands*. <https://doi.org/10.1093/acprof:osobl/9780199602995.001.0001>
- Tahvanainen, T. (2004). Water chemistry of mires in relation to the poor-rich vegetation gradient and contrasting geochemical zones of the north-eastern fennoscandian shield. *Folia Geobotanica*, 39(4), 353–369. <https://doi.org/10.1007/BF02803208>
- Tanneberger, F., Moen, A., Barthelmes, A., Lewis, E., Miles, L., Sirin, A., Tegetmeyer, C., & Joosten, H. (2021). Mires in Europe—regional diversity, condition and protection. *Diversity*, 13(8). <https://doi.org/10.3390/D13080381>



- Testolin, R., Attorre, F., Borchardt, P., Brand, R. F., Bruelheide, H., Chytrý, M., De Sanctis, M., Dolezal, J., Finckh, M., Haider, S., Zibzeev, E. G., & Jiménez-Alfaro, B. (2021). Global patterns and drivers of alpine plant species richness. *Global Ecology and Biogeography*, *30*(6), 1218–1231. <https://doi.org/10.1111/geb.13297>
- Vanderpuyeu, A. W., Elvebakk, A., & Nilsen, L. (2002). Plant communities along environmental gradients of high-arctic mires in Sassendalen, Svalbard. *Journal of Vegetation Science*, *13*(6), 875–884. <https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2002.tb02117.x>
- Virtanen, R., Eskelinen, A., & Gaare, E. (2003). Long-Term Changes in Alpine Plant Communities in Norway and Finland. In L. Nagy, G. Grabherr, C. Körner, & D. Thompson (Toim.), *Alpine biodiversity in Europe* (pp. 411–422). Springer.
- Volkova, I. I., Callaghan, T. V., Volkov, I. V., Chernova, N. A., & Volkova, A. I. (2021). South-Siberian mountain mires: Perspectives on a potentially vulnerable remote source of biodiversity. *Ambio*, *50*(11), 1975–1990. <https://doi.org/10.1007/s13280-021-01596-w>
- Wheeler, B. D., & Proctor, M. C. F. (2000). Ecological gradients, subdivisions and terminology of north-west European mires. *Journal of Ecology*, *88*(2), 187–203. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2745.2000.00455.x>
- Wielgolaski, F. E., & Karlsen, S. R. (2007). Some views on plants in polar and alpine regions. In *Life in Extreme Environments* (Vol. 9781402062). [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6285-8\\_15](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6285-8_15)
- Xu, Jiren & Morris, Paul & Liu, Junguo & Holden, Joseph. (2018). PEATMAP: Refining estimates of global peatland distribution based on a meta-analysis. *Catena*. 160. 134-140. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.09.010>
- Yu, Z., Loisel, J., Brosseau, D. P., Beilman, D. W., & Hunt, S. J. (2010). Global peatland dynamics since the Last Glacial Maximum. *Geophysical Research Letters*, *37*(13). <https://doi.org/10.1029/2010GL043584>
- Zoltai, S. C., & Vitt, D. H. (1995). Canadian wetlands: Environmental gradients and classification. *Vegetatio*, *118*(1), 131–137. <https://doi.org/10.1007/BF00045195>