

Tunturimittarituhotutkimus Käsivarren alueella 2004–2007

Liisa Kopisto, Tarmo Virtanen, Katja Pekkanen,
Kari Mikkola ja Heikki Kauhanen

Metlan työraportteja / Working Papers of the Finnish Forest Research Institute -sarjassa julkaistaan tutkimusten ennakkotuloksia ja ennakkotulosten luonteisia selvityksiä. Sarjassa voidaan julkaista myös esitelmiä ja kokouskoosteita yms.

Sarjassa ei käytetä tieteellistä tarkastusmenettelyä. Kirjoitukset luokitellaan Metlan julkaisuiminnassa samaan ryhmään monisteiden kanssa.

Sarjan julkaisut ovat saatavissa pdf-muodossa sarjan Internet-sivuilta.

<http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/>
ISSN 1795-150X

Toimitus

Unioninkatu 40 A
00170 Helsinki
puh. 010 2111
faksi 010 211 2101
sähköposti julkaisutoimitus@metla.fi

Julkaisija

Metsäntutkimuslaitos
Unioninkatu 40 A
00170 Helsinki
puh. 010 2111
faksi 010 211 2101
sähköposti info@metla.fi
<http://www.metla.fi/>

Tekijät			
Kopisto, Liisa, Virtanen, Tarmo, Pekkanen, Katja, Mikkola, Kari & Kauhanen, Heikki			
Nimeke			
Tunturimittarituhotutkimus Käsivarren alueella 2004–2007			
Vuosi	Sivumäärä	ISBN	ISSN
2007	24	978-951-40-2090-2 (PDF)	1795-150X
Yksikkö / Tutkimusohjelma / Hankkeet			
Kolarin toimintayksikkö			
Hyväksynyt			
Huhta Esa, yksikönjohtaja, 1.4.2008			
Tiivistelmä			
<p>Viime vuosien tunturimittarituhon Käsivarren alueella on ollut laajin Suomessa vuosikausiin. Kesällä 2003 oli nähtävissä ensimmäisiä tuhon merkkejä Suomen puolella. Vuosina 2004 ja 2005 tuhot olivat laajoja, tuhojen laajuutta edistivät leudot talvet. Kesällä 2004 mittaritoukat söivät lehdeksi tutkimusalueena olleen Käsivarren Lapin koivikoista vähän vajaa puolet ja kesällä 2005 hieman yli puolet. Kesällä 2005 tuhoalue laajeni edellisen kesän tuhoalueista, jolloin mittaritoukat aiheuttivat tuhoa myös alavammilla alueilla sekä kaukana puurajan yläpuolella. Kesällä 2006 toukkien määrä romahti ja kesän 2007 tutkimuksissa toukkia ei ollut enää kuin aivan muutama. Mittarituholla on erittäin merkittävä vaikutus tunturikoivuekosysteemin tilaan sekä toimintaan. Tunturikoivikot ovat selvästi kärsineet tuhosta. Tutkimusalueen maastokoealojen koivujen lehtimäärä oli vuosina 2006 ja 2007 vain noin puolet verrattuna ”normaaliin” tilanteeseen. Tämä aiheuttaa kasvutappioita. Keskimäärin mittarituhon takia rungoista on kesään 2007 mennessä kuollut noin viidennes ja oksista kolmasosa. Tuhot olivat voimakkaampia rehevämmissä koivikoissa, ja puustokuolleisuutta esiintyi enemmän korkeammilla paikoilla. Kenttäkerroksessa varvikko taantui ja heinät lisääntyivät jo vuonna 2006, kenttäkerroksen jatkokehitys jää nähtäväksi. Kaikki tuhon vaikutukset eivät ole vielä näkyvillä, sillä muutosprosessi koivikoissa on käynnissä vielä vuosia. Tuho lopulliset seuraukset näkyvät vasta vuosien päästä. Vaikka Käsivarren osalta tuhot ovat tältä erää ohi, jatkuvat tuhot edelleen Utsjoen itäosissa ja laajasti Norjassa.</p>			
Asiasanat			
tunturimittari, tuhot, Kilpisjärvi, kaukokartoitus, Epirrita autumnata			
Julkaisun verkko-osoite			
http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2008/mwp076.htm			
Tämä julkaisu korvaa julkaisun			
Tämä julkaisu on korvattu julkaisulla			
Yhteydenotot			
Heikki Kauhanen, Muoniontie 21, 95900 Kolari. Sähköposti heikki.kauhanen@metla.fi			
Muita tietoja			
<p>Tämän raportin tutkimukset on tehty yhteistyössä Metsäntutkimuslaitoksen ja Helsingin yliopiston kanssa. Metsäntutkimuslaitokselta tutkimusta on ollut tekemässä Heikki Kauhanen ja Hannu Herva (Kolarin tutkimusasema) sekä Kari Mikkola (Rovaniemen tutkimusasema) ja Helsingin yliopiston Bio- ja ympäristötieteiden laitokselta tutkimusta on ollut tekemässä Tarmo Virtanen, Katja Pekkanen ja Liisa Kopisto. Tämän raportin pääkirjoittajana toimi Liisa Kopisto yhdessä Tarmo Virtasen kanssa. Huhtikuussa 2006 Metsäntutkimuslaitoksen, Paliskuntain yhdistyksen sekä Maa- ja metsätalousministeriön järjestämässä ”Tunturimittarin vaikutus Käsivarren luontoon ja porotalouteen”-seminaarissa päätettiin perustaa seurantaryhmä arvioimaan tutkimustarpeita sekä koordinoimaan aiheeseen liittyvää tutkimusta. Tämä raportti pyrkii vastaamaan ainakin osaan edellä mainitun seurantaryhmän asettamista kysymyksistä, vaikka haluamallamme ja tarvittavalla laajuudella emme vähäisen rahoituksen vuoksi aihetta päässeetkään tutkimaan.</p>			

Sisällysluettelo

1 Johdanto	5
1.1 Tunturikoivikot ja metsänraja	6
1.2 Tunturimittari	6
2 Aineisto ja menetelmät	7
2.1 Maastotyöt	7
2.2 Satelliittikuvat	8
2.3 Lämpötilamittaukset	9
3 Tulokset	9
3.1 Käsivarren maastokoealat	9
3.1.1 Vuodet 2004–2005	9
3.1.2 Vuodet 2006–2007	12
3.2 Saanan ja Mallan seurantanäytealat	18
4 Tulosten tulkinta ja johtopäätökset	21
Kiitokset	22
Kirjallisuus	23



Kuva: Tarmo Virtanen.

Kuva 1. Heinäkuista koivikkoa tuhon jälkeen.



Kuva: Tarmo Virtanen.

Kuva 2. Tunturimittarin toukkia.

1 Johdanto

Tunturimittari (*Epirrita autumnata*) on aiheuttanut Suomen Lapissa ja muualla Fennoskandiasa laajoja puustokuolemia jo vuosikymmenien ajan. Tunturimittaria esiintyy koko holarktisella alueella, mutta sen säännöllisiä massaesiintymiä ilmenee vain pohjoisen Fennoskandian tunturikoivikoissa tietyin väliajoin (Nuorteva 1963). Tunturimittaritoukkien massaesiintymät voivat tuhota tunturikoivuja (*Betula pubescens* ssp. *czerepanovii*) jopa tuhansien neliökilometrien laajuudelta. Tunturimittarikanta runsastuu säännöllisesti noin kerran vuosikymmenessä, suurta tuhoa ilmenee noin 40 vuoden välein. Tunturimittarien yksittäinen esiintymä kestää yleensä 2–3 vuoden ajan ja yleensä esiintymä ilmenee rajoitetulla alueella (Ruohomäki ym. 1997). Jos tunturimittareita tulee massaesiintymäksi asti, syövät ne laajat alueet täysin lehdettömiksi, kuten Pohjois-Ruotsin Abiskon laaksossa vuosina 1954–56 (Tenow 1975), Utsjoella vuosina 1965–66 (Kallio & Lehtonen 1973) ja nyt viime vuosina Käsivarren Lapissa. Tuhoilla on erittäin merkittävä vaikutus tunturikoivuekosysteemin tilaan ja toimintaan (Kallio & Lehtonen 1973). Tuhot vaikuttavat osaltaan myös poronhoitoon, sillä tunturikoivujen lehdet ovat porojen tärkeä ravinnonlähde kesäaikana (Helle 2001). Tunturikoivikkojen toipuminen mittarituhosta voi olla hidasta. Esimerkiksi Utsjoen koivukuolema-alueista puolet ei ole vielä edes toipunut, vaan alueet ovat muuttuneet puuttomaksi paljakaksi (Sihvo 2002).

Tällä vuosikymmenellä Käsivarren alueella on ollut laajin tunturimittaritoukkien massaesiintymä jopa kokonaiseen vuosisataan. Norjan puolella Tenon laaksossa laajoilla alueilla koivikoita ja valtaosa kenttäkerroksen kasvillisuudesta syötiin lehdettömäksi jo vuonna 2002. Tuhoja havaittiin ensimmäisen kerran Suomen puolella kesällä 2003, jolloin toukat söivät koivikot lehdettömiksi Ropinsalmen ympäristössä. Vuosina 2004 ja 2005 tuhot olivat todella laajoja, johtuen leudoista talvista. Vuonna 2004 tuho laajeni aina Kilpisjärven alueelle, pohjoisessa syönti ulottui pitkälle Norjan puolelle ja etelässä yli pohjoisimman Ruotsin Torniojärven eteläpuolelle. Tuhoalue oli siis yli 200 km pohjois-eteläsuunnassa. Vuonna 2005 tuhoalue laajeni edelleen ja myös useat

matalammalla sijaitsevat alueet syötiin lehdettömiksi. Kesällä 2006 tuhon havaittiin olevan ohi, mittaritoukkia löytyi mainittavampia määriä vain aivan alueen läntisimmistä osista. Kesän 2007 maastotutkimuksissa ei havaittu enää juurikaan toukkia.

1.1 Tunturikoivikot ja metsänraja

Tunturikoivu muodostaa metsänrajan Fennoskandiassa (Wielgolaski 2001), jossa metsänrajan sijaintiin vaikuttavat etenkin ilmasto, laidunnus ja koivujen lehtiä syövien hyönteisten esiintymät (Nuorteva 1963, Wielgolaski & Sonesson 2001). Ilmastollisista tekijöistä tärkeimmät ovat lämpötila, kosteus- ja valo-olosuhteet (Wielgolaski & Sonesson 2001). Laidunnuksen takia metsänraja on joillain alueilla alempana kuin mitä se luontaisesti voisi olla, myös Suomen Lapissa porojen laidunnus on vaikuttanut metsänrajan sijaintiin (Oksanen ym. 1995, Wielgolaski & Sonesson 2001). Fennoskandiassa metsänrajaan vaikuttavat vielä etenkin kahden mittarilajin säännölliset massaesiintymät, tunturimittarin ja hallamittarin (*Operophtera brumata*). Hallamittaria esiintyy enemmän mereisillä alueilla, tunturimittaria taas enemmän mantereisilla alueilla (Tenow ym. 2001). Alueilla, joissa molemmat mittarilajit esiintyvät, suosii tunturimittari enemmän korkeampia alueita, kun taas hallamittari suosii enemmän tunturien alaosien ja keskivaiheen koivikoita (Hagvar 1972).

1.2 Tunturimittari

Tunturimittarin toukat kuoriutuvat keväällä samaan aikaan kuin tunturikoivut puhkeavat lehteen. Noin kuukauden ajan toukat syövät muun muassa koivujen lehtiä käyden läpi eri toukkavaiheita (Tenow 1975). Toukat koteloituvat kasvettuaan ja ensimmäiset aikuiset ilmaantuvat elokuun lopussa. Aikuisia tunturimittareita lentää aina myöhäiseen syyskuuhun tai jopa lokakuun puoliväliin saakka (Tenow 1975). Naaraat laskevat munansa tunturikoivujen silmujen tyvelle ja silmusuomujen väliin koivun latvuksessa (Jalkanen 2005). Munat jäävät talvehtimaan koivuihin kunnes taas seuraavana keväänä uusi toukkasukupolvi kuoriutuu (Tenow 1975).

Toukkien kuoriutumisen ajankohta on hyvin tärkeä tunturimittarin elinkierrossa, ja sillä on suuri merkitys toukkien selviytymiseen. Jos toukat kuoriutuvat munista edes muutamaa päivää ennen kuin koivuihin puhkeaa lehdet, on toukilla suuri riski kuolla nälkään (Tuomi ym. 1989). Jos taas toukat kuoriutuvat liian myöhään, koivujen lehdet eivät ole enää laadultaan parasta mahdollista ravintoa toukille (Virtanen & Neuvonen 1999).

Lämpötila on tekijä, joka rajoittaa eniten tunturimittarien määrää. Talvella liian kovat pakkaset saavat aikaan munien jäätyneen ja kuumina kesinä koivuilla on parempi vastustuskyky tunturimittareita ja muita kasvinsyöjiä vastaan (Niemelä 1980). Syksyn ja kevään lämpötilat taas vaikuttavat merkittävästi munien laskemisen ja kuoriutumisen ajoitukseen (Kaitaniemi & Ruohomäki 1999). Tunturimittarien munien kylmyyden kestävyyttä on tutkittu sekä laboratoriossa että luonnontilassa, ja tulokset osoittavat, että munat kuolevat -34°C – $-37,5^{\circ}\text{C}$ lämpötilassa (Niemelä 1979, Virtanen ym. 1998). Tunturimittarien massaesiintymien syntyyn tarvitaan muutama menestyksekkäs vuosi, jotta matalan tiheyden populaatiokoko ehtii kasvaa tuhoa aiheuttavan suureksi (Haukioja ym. 1988). Jos lämpötilat ja muut tekijät suosivat tunturimittareita, voi niitä lopulta ilmaantua massaesiintymäksi asti. Jotta tietyllä alueella saavutettaisiin tuhotiheys, ei talvipakkaskuolleisuutta saisi muutamaa peräkkäiseen talveen tapahtua (Virtanen ym. 2006). Yleensä alhaalla laaksoissa lämpötila laskee talvisin helpommin lämpötilainversion takia kuin ympäröivillä korkeammilla alueilla. Kylmä ilma kerääntyy talvella alaville paikoille, laaksonpohjiin ja jokivarsiin (Virtanen

ym. 1998). Tällöin laaksoissa munat eivät selviydy pakkasista ja koivikot säilyttävät lehtensä. Korkeammilla alueilla puut taas ovat täysin lehdettömiä. Tämän takia tuhotuntureilla on nähtävissä selvä raja alavien alueiden ja korkeampien alueiden välillä, jossa ei ole talvella ollut kovimpia pakkasia. Kesälämpötilat vaikuttavat myös tuhoista toipumiseen. Lämpiminä kesinä puut voivat vielä pystyä tuottamaan uudet lehdet syötyjen tilalle ja lämpimämmällä säällä tunturimittaritoukien loispistiäisten aktiivisuus voi olla myös suurempaa (Virtanen & Neuvonen 1999).

Tämän raportin tavoitteena on selvittää, mitä tutkimuksia Käsivarren tunturimittarituoalueilla on tehty vuosina 2004–2007 ja mitä tuloksia näistä tutkimuksista on saatu. Tarkoituksena on ollut selvittää, miten mittarituo on edennyt tutkimusalueella ja miten tämä tuho on vaikuttanut alueen tunturikoivikoihin.

2 Aineisto ja menetelmät

2.1 Maastotyöt

Maastotöitä on hankkeen aikana tehty kahdenlaisia; Saanan ja Mallan rinteillä on tutkittu seurantanäytealoja sekä eripuolella Käsivarren aluetta on tutkittu maastokoealoja. Tuhoasteen alustavaa inventointia tehtiin Mallan ja Saanan koivikoissa kesällä 2004. Seurantanäytealat Saanan lounaisrinteelle perustettiin kolmelle gradienttilinjalle syksyllä 2004. Tällöin perustettiin siis yhteensä yhdeksän ympyränäytealaa, joista alimmat sijoitettiin alarinteen koivikkoon, keskimmäiset keskirinteen pahoin syötyyn koivikkoon ja ylimmät lievästi syödyille ylärinteelle. Vastaavankaltaiset näytealat perustettiin kesällä 2005 Mallan luonnonpuistoon, jossa neljälle gradienttilinjalle perustettiin yhteensä 12 näytealaa. Perustamisen yhteydessä mitattiin näytealojen puuston pituus ja läpimitta, myös tuhoaste luokiteltiin puukohtaisesti. Lehvästön syönti inventoitiin Saanalla neljänä vuotena eli vuosina 2004–2007 ja Mallalla kolmena vuotena vuosina 2005–2007. Näytealojen seurannalla haluttiin selvittää, miten koivut eri korkeuksilla ovat tuhossa kärsineet ja kuinka niiden toipuminen tuhosta on alkanut.

Tuhon laajuuden selvittämiseksi ja tuhointensiteetin tutkimusta varten maastotöitä tehtiin Lätäs-enolta Kilpisjärven alueelle ulottuvalla osalla. Maastotöillä haluttiin saada tietoa tunturikoivumetsistä, kasvillisuuden peittävydestä ja tunturimittarin aiheuttamista tuhoista. Tarkoituksena oli myös kerätä tarpeeksi maastotukiaineistoa, jolla voitiin tukea satelliittikuva-analyyysien antamaa tietoa. Kesällä 2005 perustettiin 138 maastokoealaa tuhokoivikoihin ja säästyneisiin vertailukoivikoihin topografisesti erilaisiin paikkoihin ja eri-ikäisiin koivikoihin (Pekkanen 2006). Ympyräkoealoilta mitattiin ja arvioitiin puuston ja kenttäkerroksen peittävyys, lajisto, puuston pohjapinta-ala, keskipituus sekä lehtisyönnin määrä. Myös oksa- ja runkokuolleisuus arvioitiin ja laskettiin toukkien määrää kuvaava indeksi (Ruohomäki & Haukioja 1992). Tuhokoivikoiden toipumisen seuranta aloitettiin kesällä 2006, jolloin maastokoealoista käytiin noin 50 läpi. Kesällä 2007 seurantaa jatkettiin ja silloin maastokoealoista inventoitiin 106.

Maastokoealoilla tunturikoivuista arvioitiin runkojen korkeus, läpimitta ja runkoluku 5 metrin säteellä. Koealoilta arvioitiin kasvillisuuden yleispeittoprosentit, tätä tietoa tarvittiin tukemaan satelliittikuvien analysointia. Koska saatavilla olleiden satelliittikuvien solukoko on 30 metriä, niistä ei ole mahdollista yksityiskohtaisesti luokitella kasvillisuutta. Siksi koealoilta arvioitiin karkeasti tunturikoivun, katajan, vaivaiskoivun, pajujen, varpukasvien, sammalien, jäkälien, ruohovartisten kasvien sekä paljaan maan ja kallion peittävyudet.

Tunturimittarien tuhoja ja toukkien määrää mitattiin arvioimalla tunturimittarien toukkien tiheys ja syötyjen lehtien määrä sekä laskemalla kuolleiden koivujen oksa- ja runkomäärä. Koivujen vointia arvioitiin tutkimalla runko- ja oksakuolleisuutta sekä defoliaatiota, eli sitä kuinka suuri osuus puun lehdistä puuttui. Runkojen ja oksien arvioitiin olevan kuolleita, jos ne eivät olleet keväällä tuottaneet silmuja ja lehtiä (Pekkanen 2006).

Kesän 2007 tutkimuksissa tehtiin myös tarkempaa kenttäkerroksen kasvillisuuden analysointia tekemällä joka koealalla kasvillisuusruudut, joista määritettiin kasvilajit tai -ryhmät. Tarkoituksena oli selvittää, miten kenttäkerroksen kasvillisuus eroaa eri tuhointensiteetin koivikoissa. Haluttiin selvittää, onko ruohovartisten kasvien osuus kasvanut tuhokoivikoissa verrattuna koivikoihin, joissa tuhoa ei ole ollut tai sitä on ollut vain vähän.

Eri vuosien maastoaineistoa verrattiin keskenään, jotta saatiin selville muun muassa kuinka suuri osa puista on kuollut, paljonko puissa on ilmennyt defoliaatiota ja miten tuhoalue on laajentunut vuosien 2004 ja 2005 välillä. Lisäksi pyrittiin selvittää, onko kenttäkerroksen kasvillisuudessa tapahtunut muutoksia tuhon vaikutuksesta ja onko eri tuhointensiteettien välillä tapahtunut erilaisia kenttäkerroksen muutoksia. Haluttiin myös selvittää, onko tuhointensiteetin määrä erilainen eri korkeusgradienteilla. Lisäksi selvitettiin, minkä tyyppiset koivikot ovat olleet pahimman tuhon kohteena.

2.2 Satelliittikuvat

Landsat-satelliittikuvat hankittiin vuosilta 2000, 2004, 2005 ja 2006, ja niiden avulla analysoitiin tunturimittarituhojen laajuutta sekä voimakkuutta. Vuosien 2004 ja 2005 kuvat antoivat tietoa tuhojen laajuudesta, vuoden 2000 kuva toimi kontrollina eli siitä ilmeni millainen tilanne oli tutkimusalueella ennen tuhoa. Muiden vuosien kuvia verrattiin vuoden 2000 kuvaan. Vuoden 2006 kuvasta saatiin tietoa siitä, miten tuho on vaikuttanut koivikoihin. Joka vuoden kuvasta laskettiin kasvillisuusindeksi-arvot (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI). Indeksiksi lasketaan satelliittikuvan lähi-infrakanavan (NIR) ja punaisen kanavan (RED) avulla seuraavasti:

$$\text{NDVI} = \frac{(\text{NIR} - \text{RED})}{(\text{NIR} + \text{RED})}$$

Kanavasuhde-indeksi kuvaa vihreän, terveen kasvillisuuden määrää ja sitä on yleisesti käytetty tämänkaltaisissa tutkimuksissa (Tømmervik ym. 2001). Tuhoalueet analysoitiin erotusanalyysillä eli tutkittiin kuinka paljon kasvillisuusindeksi-arvot olivat vähentyneet verrattuna tilanteeseen ennen tuhoa, siis kesän 2000 tilanteeseen (Virtanen ym. 2006).

Johtuen Landsat 7 ETM+-sensorissa kesästä 2003 alkaen olleesta viasta, vuoden 2004 ja 2005 kuvissa on reunoja kohti kasvavia raitoja joilla ei ole arvoja, joten nämä alueet jäivät aina analyysistä pois. Lisäksi kasvillisuusmuutosanalyysiä varten kuvissa olevat muutamat pilvet ja vesitöt luokiteltiin analyysialueen ulkopuolelle. Tutkimusalueen kokonaismaapinta-ala on 3095 km², josta analyysin ulkopuolelle edellä mainituista syistä jäi 10,5 % vuonna 2004 ja 13,9 % vuonna 2005 (Virtanen ym. 2006).

2.3 Lämpötilamittaukset

Jotta tuhojen sijoittumista voitaisiin selittää, kerättiin tietoa talven minimilämpötiloista Kilpisjärven sääaseman mittauksista (vuodet 2001–2005) sekä kahtena talvena (2004/05 ja 2005/06) dataloggereilla kahdelta korkeusgradientilta. Loggerit sijoitettiin kolmelle korkeustasolle Saanan ja Lammasoavien rinteille. Lisäksi yksi loggeri sijoitettiin Saanan rantakoivikkoon, jotta lyhytkes- toisetkin inversiot saataisiin selvitettyä. Lämpötila-aineistoa saatiin myös Ilmatieteen laitokselta, Kilpisjärven sääasemalta sekä Tiehallinnolta (Pekkanen 2006). Useamman talven lämpötilatieto- ja hyödynnettiin tulosten tulkitsemisessä.

3 Tulokset

3.1 Käsivarren maastokoealat

3.1.1 Vuodet 2004–2005

Kesällä 2004 mittaritoukat söivät lehdeettömäksi tutkimusalueen koivikoista vähän vajaa puolet eli 44,3 % ja kesällä 2005 hieman yli puolet eli 54,4 % (taulukko 1). Osa vuoden 2004 tuhoalueista säästyivät kesällä 2005 voimakkaalta syönniltä, mutta kesällä 2005 tuhot levittyivät myös kokonaan uusille alueille. Kokonaistuhon alue kasvoi reilulla 200 km²:llä vuodesta 2004 vuoteen 2005. Uusia voimakkaan tuhon kohteeksi joutuneita alueita oli etenkin Lätäsenon varrella. Myös muilla jokivarsilla ja tunturinrinteillä tuhot siirtyivät alemmaksi. Lisäksi kesällä 2005 tuhoalue levittyi tunturikankaille kauaskin koivumetsärajasta (taulukko 2). Pahimmat tuhot osuivat molempina vuosina koivikkoihin, jotka sijaitsivat korkeusvälillä 450–500 m.

Taulukko 1. Tuhopinta-alat (km²) vuosina 2004 ja 2005.

Vuosi	Analyysi- alue (km ²)	Kokonais- tuho (km ²)	Tuho koivikoissa (km ²)	Koivikoista tuhoutunut (%)
2004	2769,7	605,7	512,4	44,3
2005	2665,5	863,2	583,5	54,4

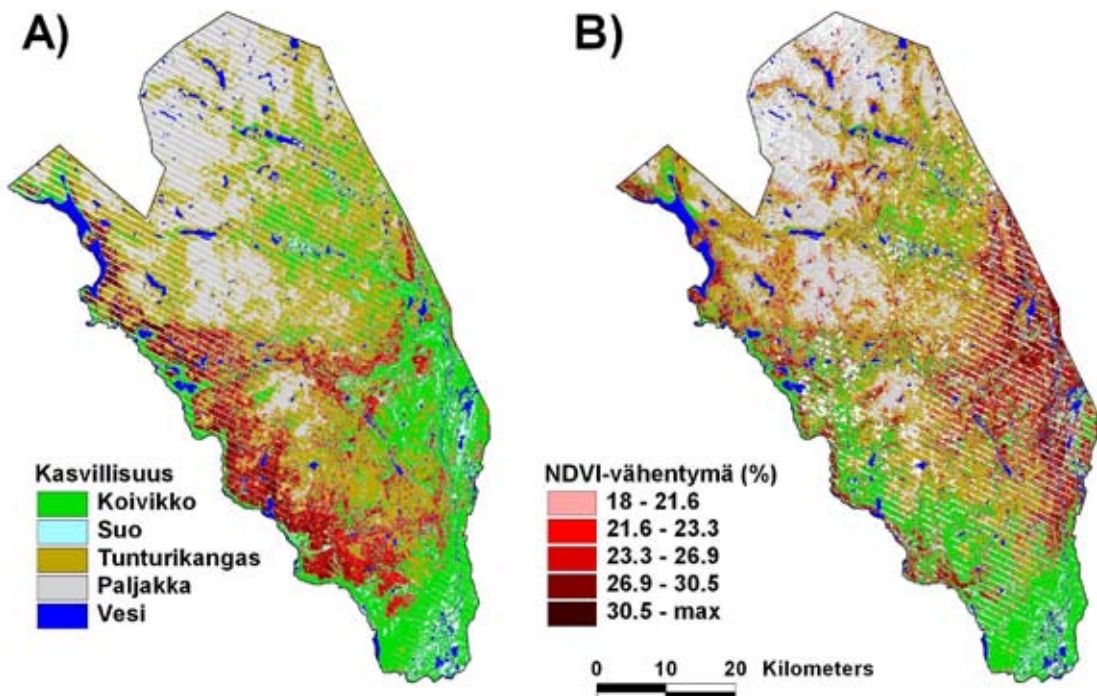
Taulukko 2. Tuhoalueiden pinta-alat suhteessa korkeusvyöhykkeeseen (%).

Korkeus (m)	2004			2005		
	Osuus alueesta	Vyöhykkeestä tuhoutunut	Josta koivikkoa	Osuus alueesta	Vyöhykkeestä tuhoutunut	Josta koivikkoa
< 400	4,87	2,24	90,41	5,40	13,99	82,61
400–450	8,29	29,87	95,37	8,05	51,01	86,99
450–500	11,79	42,09	95,37	11,18	57,77	88,68
500–600	28,00	38,69	86,30	27,08	44,05	75,57
> 600	47,04	6,99	55,44	48,29	17,35	31,60

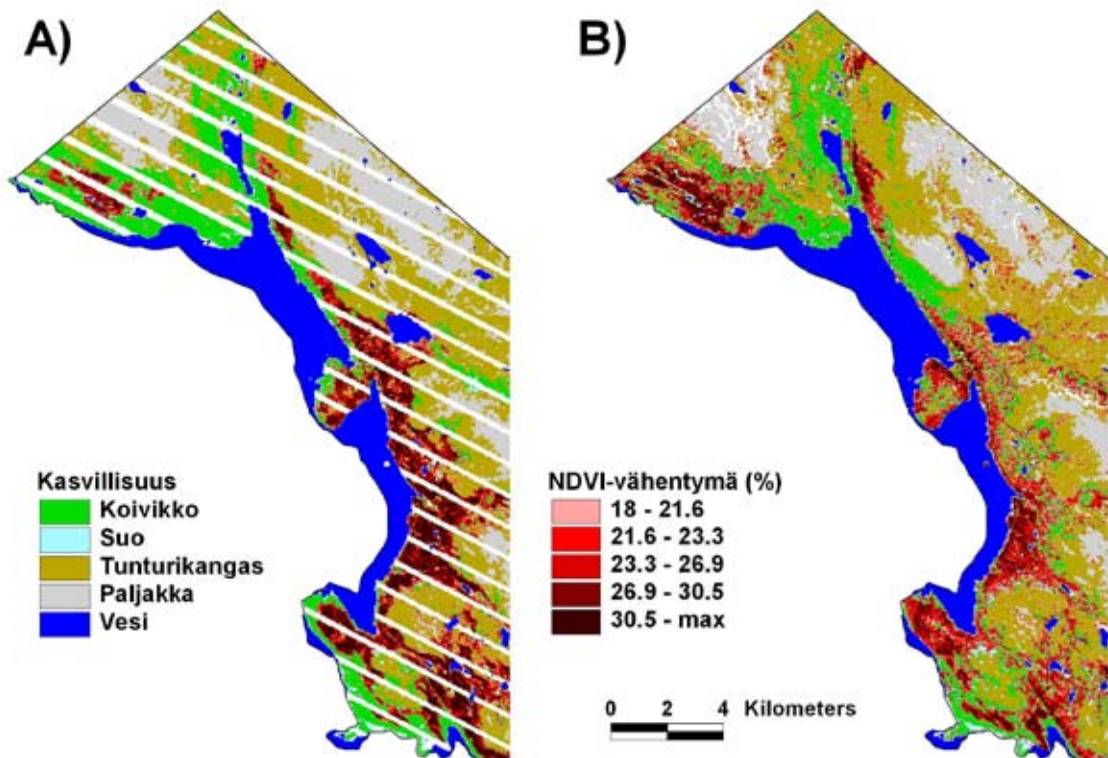
Kesän 2005 maastokoetutkimuksissa voitiin arvioida myös kesän 2004 tuhoa tunturikoivuihin puhjenneiden silmujen määrästä, sillä vuoden 2004 paljaaksi syönnistä johtuen koivuihin puhjenneiden silmujen ja siten myös lehtien määrä oli monin paikoin huomattavan alhainen. Koivujen defoliaatio oli yli 95 % runsaassa viidenneksessä kesän 2005 maastokoealoista. Kaikkien koealojen keskimääräinen defoliaatio oli 71 %. Koealoista 70 % sijaitsi ns. tuhokoivikoissa, kun

tuhokoivikoiksi luokiteltiin alueet, joissa samana kesänä lehtipinta-alasta oli syöty yli 33 %. Tuhokoivikoiksi luokiteltiin myös alueet joissa kumulatiivinen totaalidefoliaatio, eli edelliskesästä johtuva harsuuntuminen yhdistettynä tämän kesän syöntiin, oli yli 60 %. Nämä raja-arvot vastaavat suunnilleen tuhorajana käytettyä 18 % NDVI-vähentymää. Satelliittikuva-analyysistä saadut arvot ovat tosin tulosta kasvillisuuden kokonaisheijasteesta, joten NDVI-arvot osaltaan riippuvat myös kenttäkerroksen syönnistä ja sen vehreydestä. Analyysialueen NDVI-arvot muuttuivat huomattavasti tuhon seurauksena, vihreän kasvillisuuden määrä väheni alueella selvästi. Kontrollin eli vuoden 2000 NDVI-keskiarvo on 0,340 kun taas vuoden 2004 keskiarvo on 0,247 ja vuoden 2005 0,209. Myös NDVI-erotusarvoissa on huomattavissa vähentyminen molempien vuosien kohdalla verrattaessa vuoteen 2000. Vuoden 2004 vähentymä vuodesta 2000 on 10,2 % ja vuoden 2005 vähentymä vuodesta 2000 on 14,2 % (Virtanen ym. 2006). Tutkimusalueen vuoden 2004 kuvasta voidaan nähdä miten pahimmat NDVI-vähentymät sijoittuvat eri alueille kuin vuoden 2005 kuvassa (kuva 3). Saman voi huomata myös Kilpisjärven alueen lähikuvasta (kuva 4).

Tuhopinta-alaksi luokitellun alueen koko riippuu suuresti valitusta NDVI-vähentymän raja-arvosta. Käytetty 18 % arvo rajaa tuhoalueen hyvin tiukasti. Jos raja-arvoksi olisi asetettu 15 %, kokonaistuhopinta-alat olisivat nousseet melkein 30 %:lla. Maastoaineiston perusteella 15 % NDVI-vähentymä vastaisi suunnilleen tilannetta, jossa yli 25 % kesän 2005 lehtipinta-alasta olisi syöty tai jossa totaalidefoliaatio olisi yli 50 %. Tällöin joitakin pikseleitä, joissa tuhoa ei ole ollut, olisi saattanut luokitella tuhoalueeksi, joten 18 % on siten tarkempi raja-arvo (Virtanen ym. 2006).



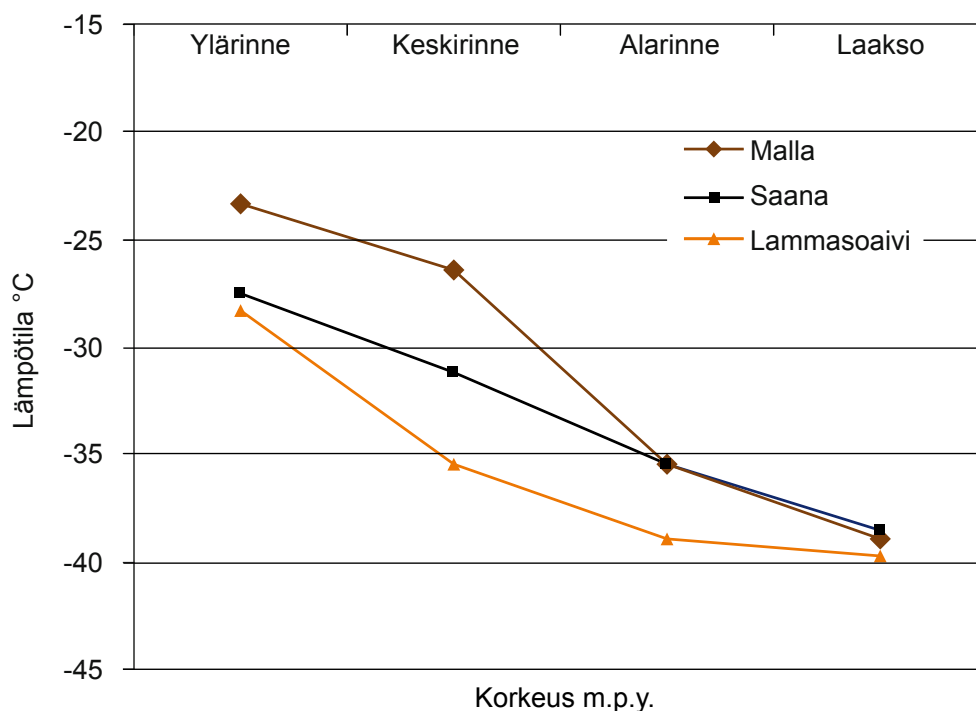
Kuva 3. Kasvillisuus- ja maanpeittoluokat sekä tuholuokitus a) kesällä 2004 ja b) kesällä 2005.



Kuva 4. Lähinäköä Kilpisjärven lähiympäristöön a) kesällä 2004 ja b) kesällä 2005.

Voimakkaamman tuhon alueilla toukat olivat kesällä 2005 laskeutuneet jo aikaisessa vaiheessa maahan, jolloin myös kenttäkerroksen kasvillisuus oli hyvin intensiivisesti syöty jo kesäkuun lopulla. Etenkin vaivaiskoivut olivat monilta paikoin syöty aivan lehdettömiksi. Näillä alueilla useat toukat varmastikin nälkiintyivät eivätkä selviytyneet koteloitumisvaiheeseen saakka. Täysikasvuiseksi ehtineistä toukistakin lähes kaikki vaikuttivat loisituilta, mutta alhaisemman tiheyden paikoilla oli jonkin verran terveenoiloisia toukkia. Lämpimistä säistä johtuen toukat alkoivat olla täysikasvuisia jo heinäkuun ensimmäisellä viikolla. Osa koivuista alkoi tehdä uusia lehtiä jo heinäkuun puolenvälin jälkeen. Esimerkiksi Mallan luonnonpuiston lehdettömäksi syöty ja kesäkuun lopulla maisemassa ruskeana näkyvä koivikko, oli uusien lehtien ansiosta kuukautta myöhemmin vihreä. Syötyjen puiden lähempi tarkastelu osoitti kuitenkin, että uusia lehtiä ja lehtiryhmiä oli puhjennut sen verran harvakseltaan, että ne korvasivat vain osan syönnissä menetetyistä lehtipinta-alasta. Nämä uudetkin lehdet ehtivät valtaosin saada ruskaväriytyksen, tosin syömättömiä koivuja myöhemmin (Virtanen ym. 2006).

Kilpisjärven sääasemalla talven minimilämpötilat ovat olleet seuraavat: 2001/02: $-35,8^{\circ}\text{C}$, 2002/03: $-39,2^{\circ}\text{C}$, 2003/04: $-34,7^{\circ}\text{C}$, 2004/05: $-32,8^{\circ}\text{C}$. Sääasema sijaitsee melko alavalla paikalla. Kesän 2004 laajaa massaesiintymää edelsi siis kohtalaisen leuto talvi, mutta sitä vuotta aiemmin talvella 2002/03 munat ovat varmasti kuolleet laajasti alavilta alueilta. Nämä talvilämpötilat selittänevät sen, miksi alavat alueet säästyvät melko hyvin tuholta kesällä 2004. Talvi 2004/05 oli alueella vielä edellistä leudompi. Mitatuilla Saanan ja Lammasoavin linjoilla ainoastaan Saanajärven rannassa mitattiin 16.3. -35°C , muilla paikoilla talven minimilämpötilat vaihtelivat välillä -32°C – $-24,8^{\circ}\text{C}$. Saanan linja kulki rantakoivikosta 484 metristä aina 544 metriin ja Lammasoavin linja 454 metristä 525 metriin. Tämä selittääkin sitä, miksi tuhot kesällä 2005 levittäytyivät jokivarsissa ja muilla alavammilla alueilla kesää 2004 alemmaksi. Talvella 2005/06 lämpötilat laskivat taas alle -36°C , joten tunturimittarien munat kuolivat ainakin laaksoista ja alavammilta alueilta (kuva 5). Saanan linjalla maaliskuun minimilämpötila oli tällöin $-38,5^{\circ}\text{C}$ ja Lammasoavilla $-39,7^{\circ}\text{C}$.



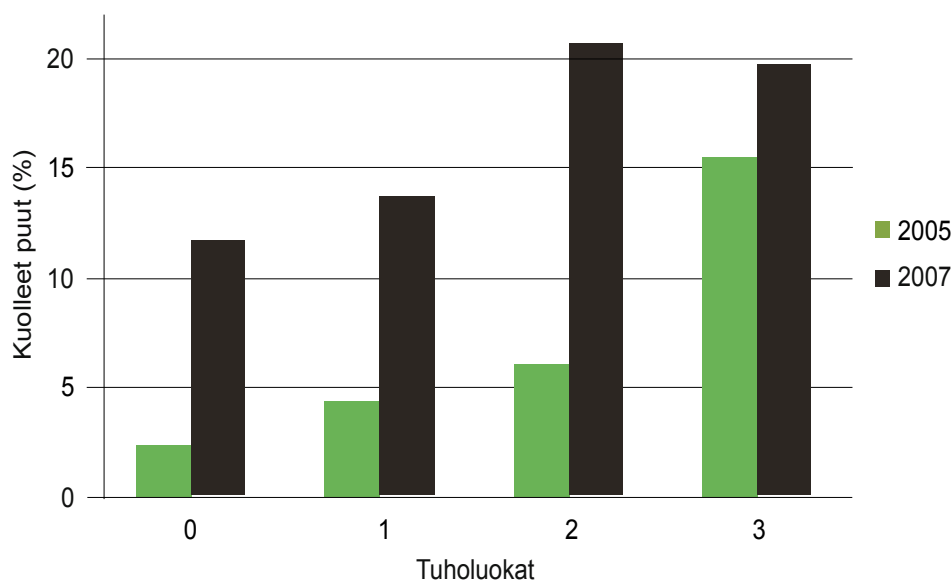
Kuva 5. Talven 2005–2006 alimmat lämpötilat eri korkeuksilla Mallan, Saanan ja Lammasoivin tunturikoivikoissa.

3.1.2 Vuodet 2006–2007

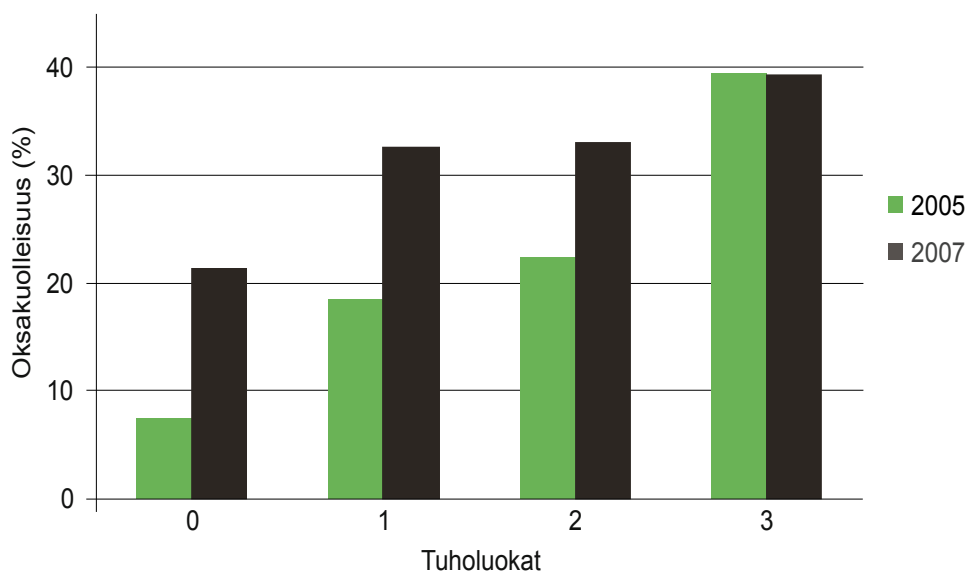
Kesän 2006 kartoituksissa ei enää juurikaan löytynyt merkkejä uusista tuhoista. Vain tutkimusalueen läntisimmässä osassa havaittiin hieman hallamittarin aiheuttamaa defoliaatiota. Muualla tutkituista koealoista toukkia ei ollut lainkaan tai niitä oli vain muutama. Mittarituhon Käsivarren alueella näytti jo tällöin olevan lopussa. Kesän 2007 maastomittauksissa tämä asia vahvistui. Kesän 2007 kartoituksissa läpikäydyiltä koealoilta löytyi vain muutama hallamittarin ja vain yksi tunturimittarin toukka, mutta uusien toukkien aiheuttamaa defoliaatiota ei käytännössä ollut huomattavissa ollenkaan. Vuosien 2006 ja 2007 tulokset antavat täten tietoa mittarituhon toipumisen ensivaiheista.

Maastokoealojen keskimääräinen defoliaatio oli vuonna 2006 49 % ja vuonna 2007 se oli 50 %. Koivuissa oli molempina vuosina vain noin puolet lehdistä verrattuna ”normaaliin” tilanteeseen. Vuoden 2006 satelliittikuvasta laskettu NDVI-keskiarvo on 0,392 mikä on jopa suurempi kuin vuoden 2000 kuvasta laskettu NDVI-keskiarvo. Tulokset viittaavat siihen, että yleinen vehreys tutkimusalueella on kasvanut vuoden 2005 tilanteesta. Vuoden 2006 satelliittikuvassa tunturikoivikot eivät erottuneet enää samalla lailla, vaan NDVI-arvot olivat hyvin samansuuruisia analyysialueen kaikissa pisteissä. Joten ainakin osa tunturikoivikoista on ollut lehdessä kesällä 2006, mutta NDVI-arvot eivät kuvasta vain tunturikoivuja vaan kaikkea vihreää kasvillisuutta. Tuloksissa on siis mukana myös kenttäkerroksen kasvillisuus. Etenkin ruohovartiset kasvien vaikutus näkyy vuoden 2006 NDVI-tuloksissa. Maastotyöt tukevat tätä selitystä, sillä tutkitut koivikot eivät olleet täydessä lehdessä ja hyvinvoivia. Ruohovartiset kasvit taas olivat lisääntyneet koealoilla. Voidaan siis todeta, että vuoden 2006 satelliittikuvan kasvillisuusindeksi-arvot kertovat yleisen vehreyden tutkimusalueella kasvaneen.

Kesällä 2007 maastosta kerätyn aineiston perusteella selvisi, että koealojen koivikoiden runkokuolleisuuden keskiarvo on $18,08 \pm 12,19$ %. Hajontaa koealojen kesken oli, sillä suurimmillaan runkokuolleisuus oli jopa 80 % eräällä Kalkkkoaivin koealalla ja muutamalla koealalla puita ei taas ollut kuollut yhtään. Koivikot jaettiin eri tuholuokkiin sen mukaan kuinka voimakasta defoliaatio oli vuonna 2005 ollut ja kuinka suuri osa lehdistä oli tällöin syöty (0 = lievä tuho, 1 = kohtalainen tuho, 2 = voimakas tuho, 3 = erittäin voimakas tuho). Kuolleiden puiden osuus on kasvanut vuoden 2005 mittauksista selkeästi (kuva 6). Kuolleiden puiden osuus on myös sitä suurempi, mitä pahempi tuho koivikossa on ollut. Oksakuolleisuuden keskiarvo on 34,01 % ja suurimmillaan sekin oli 80 %. Myös oksakuolleisuus oli vuonna 2007 keskimäärin suurempaa kuin vuonna 2005 ja oksakuolleisuus oli sitä suurempaa, mitä voimakkaampaa tuho oli ollut (kuva 7).



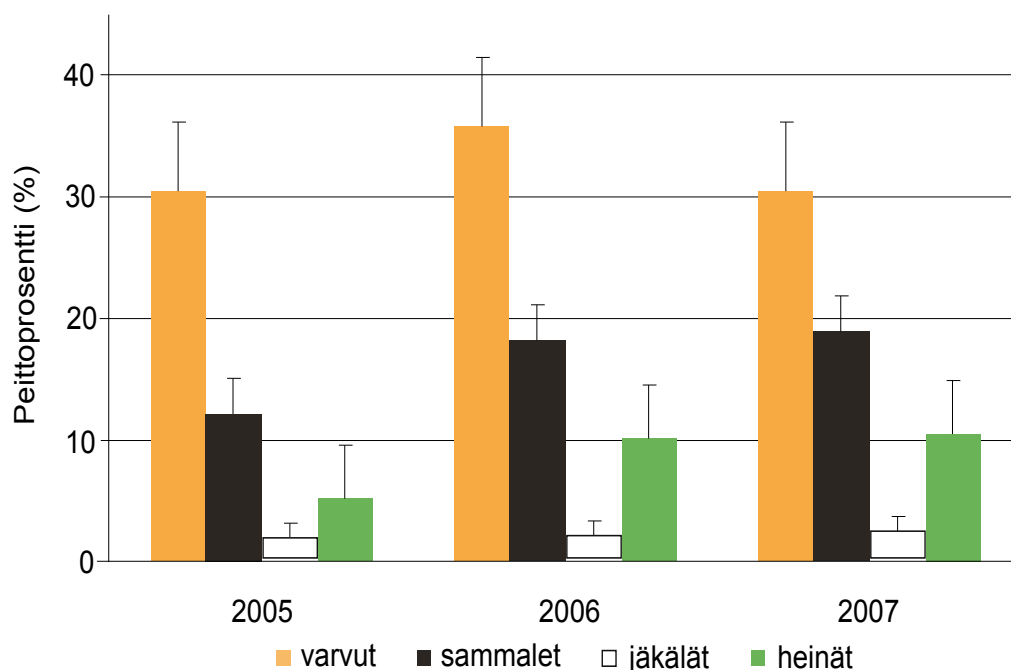
Kuva 6. Kuolleiden puiden osuus (%) tuholuokittain vuosina 2005 ja 2007.
0 = lievä tuho, 1 = kohtalainen tuho, 2 = voimakas tuho, 3 = erittäin voimakas tuho



Kuva 7. Oksakuolleisuus (%) tuholuokittain vuosina 2005 ja 2007.

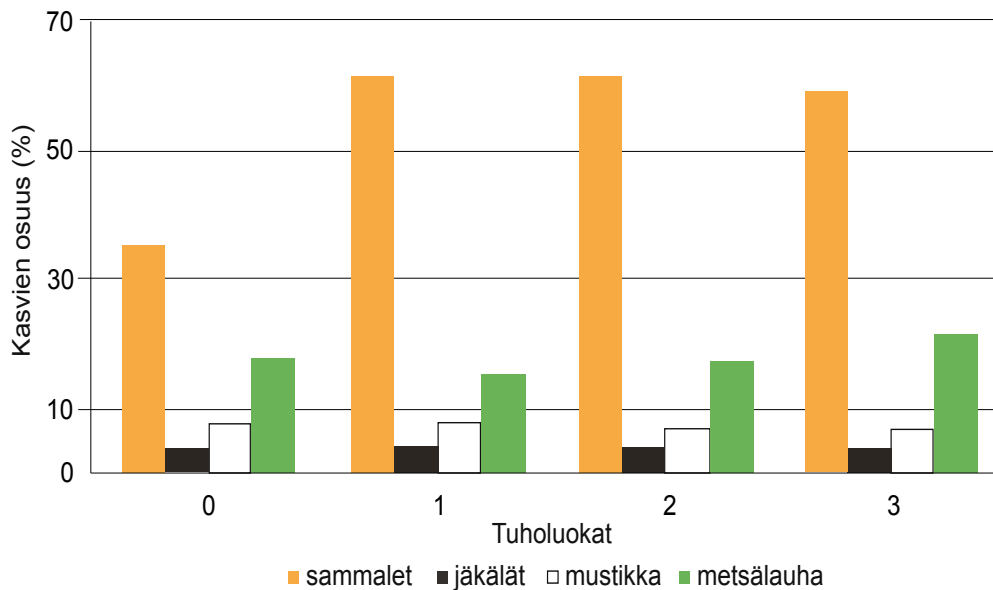
Kesän 2007 tuloksia tarkasteltaessa ilmeni, että koivujen runkokuolleisuus korreloi korkeuden kanssa (p -arvo $< 0,05$). Eli runkokuolleisuus on merkittävästi sitä suurempaa mitä korkeammalle koivikoissa mennään. Myös oksakuolleisuuden ja korkeuden välillä on positiivinen korrelaatio (p -arvo $< 0,05$), joten oksakuolleisuus on suurempaa korkeammalla sijaitsevilla koivikoissa.

Kenttäkerroksen kasvillisuudessa on ollut huomattavissa joitakin muutoksia. Koealojen kasvillisuuden yleispeittoprosenteissa tapahtuneiden muutosten mukaan heinien ja muiden ruohovartisten kasvien ($3,6 \pm 7,1$ %) sekä sammalien ($8,1 \pm 6,4$ %) peittävyden osuudet ovat kasvaneet vuodesta 2005 vuoteen 2007. Heinittyminen maastokoealoilla oli suhteellisen runsasta jo heti kesällä 2006, seuraavana kesänä ruohovartisten kasvien määrä oli suunnilleen sama (kuva 8). Muuten kasvillisuuden yleispeittävydessä koealoilla ei ollut tapahtunut suuria muutoksia vuosien 2005–2007 välillä.



Kuva 8. Maastokoealojen varpujen, sammalien, jäkälien ja heinien yleispeittoprosentit vuosina 2005, 2006 ja 2007.

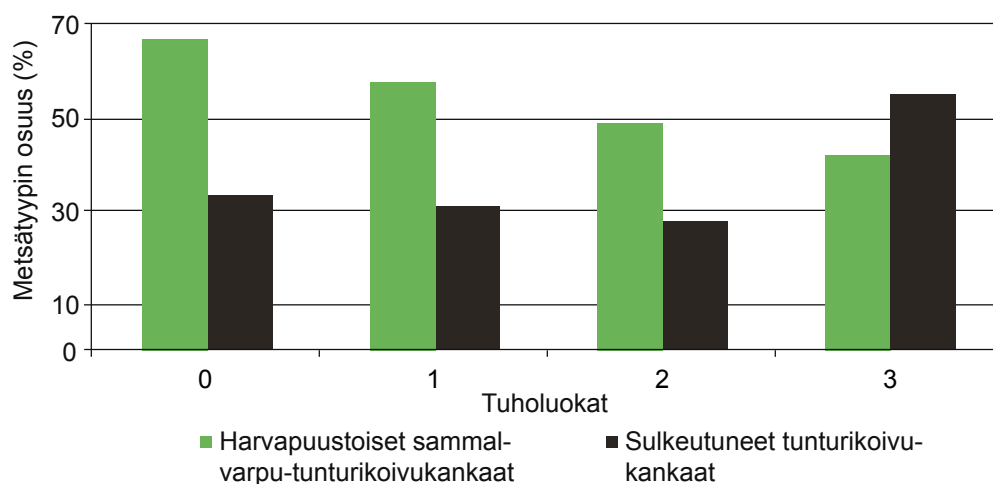
Tarkempia kenttäkerroksen kasvillisuuden muutoksia tarkasteltiin maastokoealojen kasvillisuusruuduista kesällä 2007. Kiinnostavimmat kasvit tai kasviryhmät olivat sammalet, jäkälät, mustikka ja metsälauha. Sammalien, jäkälien ja mustikan osuuksien arveltiin olevan sitä pienemmät mitä voimakkaampi tuho on ollut, metsälauhan ja muiden ruohovartisten kasvien osuuden arveltiin taas kasvaneen. Maastoaineistosta saatujen tuloksien mukaan jäkälien ja mustikan osuudet kenttäkerroksessa olivat suunnilleen samat kaikissa tuholuokissa (kuva 9). Myös metsälauhan osuudet olivat suunnilleen samat, vain pahimmassa tuholuokassa on huomattavissa pientä kasvua. Sammalien osuus kenttäkerroksessa on taas kasvanut tuholuokasta 0 (lievä tuho) tuholuokkiin 1 (kohtalainen tuho), 2 (voimakas tuho) ja 3 (erittäin voimakas tuho). Tätä selittää se, että voimakkaamman tuhon alueella myös varvut joutuivat tuhon kohteiksi, jolloin niiden osuus on pienentynyt ja sammalien prosenttiosuus on tällöin vastaavasti kasvanut.



Kuva 9. Sammalien, jäkälän, mustikan ja metsälauhan osuudet kenttäkerroksen kasvillisuudesta tuholuokittain kesällä 2007.

Metsähallituksen kuviotietokannan (Sihvo 2002) avulla tutkittiin, minkä tyyppisiä metsiä Käsi-varren alueella on tunturimittarituhouissa tuhoutunut. Metsähallituksen aineistossa on mukana vain valtion omistamat maat, joten se ei kata koko tutkimusalueetta. Esimerkiksi Kilpisjärven aluetta ei ole luokituksessa lainkaan mukana. Metsähallituksen aineiston avulla selvitettiin, minkälaisia metsiä tutkimillamme maastokoealoilla oli. Maastokoealojen tuholuokituksen kautta taas ilmeni, minkä tyyppiset metsät olivat pahiten tuhoutuneet. Maastokoealat luokiteltiin kuviotietokannan tiedon perusteella yhdeksään eri metsätyyppiin, joista kaksi kattoi yhteensä melkein 90 % kaikista koealoista. Yleisin metsätyyppi oli harvapuustoinen sammal-varpu-tunturikoivukangas, 50 % koealoista oli tätä metsätyyppiä. Toiseksi yleisin metsätyyppi oli sulkeutunut tunturikoivukangas, koealoista 36 % edusti tätä metsätyyppiä. Muiden seitsemän metsätyyppien prosenttiosuudet olivat vain muutaman prosenttiyksikön luokkaa. Harvapuustoiset sammal-varpu-tunturikoivukankaat ja sulkeutuneet tunturikoivukankaat olivat niiden yleisyyden takia myös yleisimpiä tuhon kohteita. Nämä analyysialueen yleisimmät metsätypit edustavat molemmat reheviä tunturikoivikoita, kun taas alueen muut metsätypit edustivat kaikki niukkaravinteisiä koivikoita. Tuholuokissa 0 (lievä tuho), 1 (kohtalainen tuho) ja 2 (voimakas tuho) harvapuustoinen sammal-varpu-tunturikoivukangas oli yleisin metsätyyppi, tuholuokassa 3 (erittäin voimakas tuho) taas sulkeutunut tunturikoivukangas oli yleisin metsätyyppi (kuva 10).

Metsähallituksen tekemän biotooppiluokituksen (Tuominen ym. 2001, Sihvo 2002) avulla tutkimusalueen tuhoalueet luokiteltiin seitsemään eri luokkaan: sulkeutuneet tunturikoivumetsät, jäkälätyyppin tunturikoivikot, sammal-tyypin tunturikoivikot, lehtomaiset tunturikoivikot, karut tunturikankaat, rehevät tunturikankaat ja suot. Jokaisen biotooppityypin pinta-ala määritettiin Metsähallituksen luokituksen avulla, samoin vuosina 2004 ja 2005 tuhoutuneiden pinta-alojen osuudet sekä kunkin biotooppityypin tuhointensiteetit (taulukko 3). Tuhointensiteetti oli suurin sulkeutuneissa tunturikoivumetsissä sekä sammal-tyypin ja lehtomaisissa tunturikoivikoissa. Kaiken kaikkiaan voidaan todeta, että rehevämmissä tunturikoivikoissa mittarituhot olivat intensiivisempiä kuin niukkaravinteisemmissä ja harvemmissä koivikoissa.



Kuva 10. Harvapuustoisten sammal-varpu-tunturikoivukankaiden ja sulkeutuneiden tunturikoivu-kankaiden osuudet maastokoealoista tuholuokittain.

Taulukko 3. Tutkimusalueen eri biotooppien pinta-alat, tuhoprosentit, tuhointensiteetit ja tuhointensiteettien keskiarvot vuosilta 2004 ja 2005.

Metsätyyppi	Vuosi	Kokonais-pinta-ala (km ²)	Tuho-prosentti	Tuho-intensiteetti (%)	Vuosien tuhointensiteetin keskiarvo (%)
Sulkeutunut koivumetsä	2004	155	53.5	57.3	56.2
	2005	148	52.0	55.0	
Jäkälätyypin koivikko	2004	24	32.2	33.5	40.5
	2005	22	59.1	47.4	
Sammaltyypin koivikko	2004	374	54.8	50.3	51.6
	2005	340	57.1	52.8	
Lehtomainen koivikko	2004	12	41.7	58.3	55.1
	2005	11	54.5	51.9	
Muut tuhoalueet					
Karu tunturikangas	2004	774	11.2	33.2	35.2
	2005	756	23.7	37.3	
Rehevä tunturikangas	2004	185	29.2	35.5	37.2
	2005	174	38.5	38.8	
Suot	2004	288	24.0	38.9	41.0
	2005	272	46.7	43.2	

Valokuvia Käsivarren tunturimittarituhoista:



Kuva: Tarmo Virtanen.

Kuva 11. Maisema vuodelta 2005 tuhon aikana. Koivikkoa tuhoutunut ylemmiltä alueilta, inversion takia säästynyt alemmilla alueilta.



Kuva: Tarmo Virtanen.

Kuva 12. Tunturikoivikko ennen mittarituhoa.



Kuva: Tarmo Virtanen.

Kuva 13. Koivikko tuhon aikana vuonna 2005.

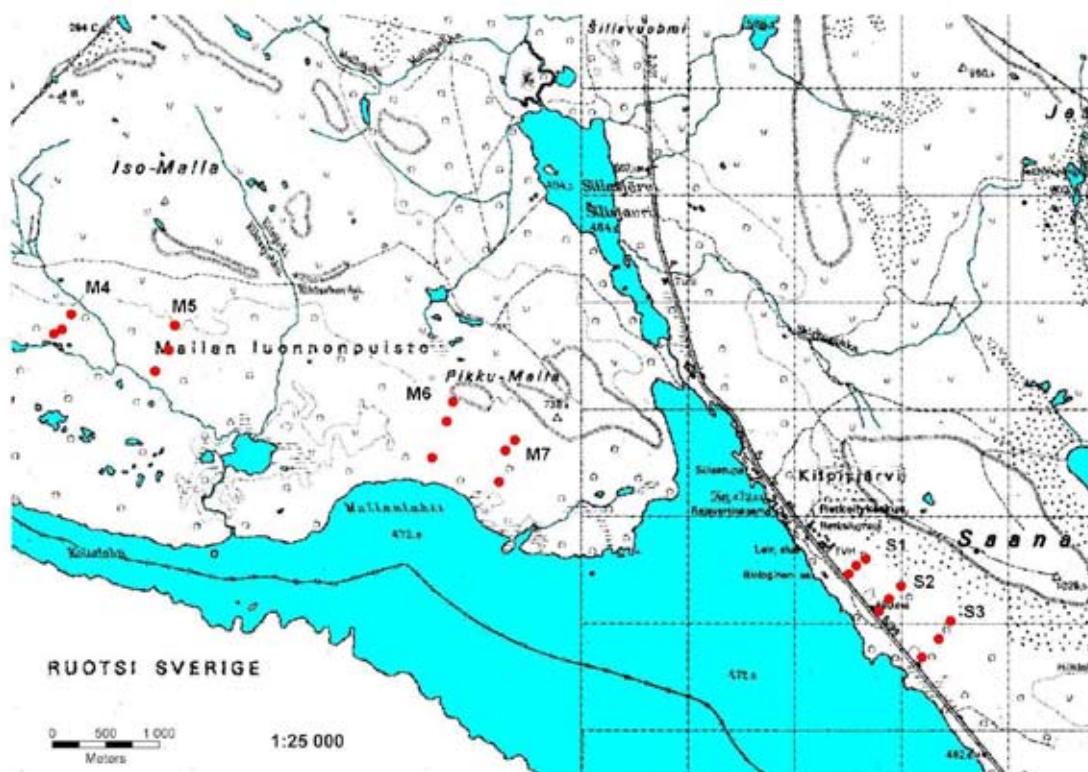


Kuva: Tarmo Virtanen.

Kuva 14. Koivikko tuhon jälkeen vuonna 2006. Koivut harsuuntuneita ja kenttäkerroksessa on huomattavissa selvää heinittymistä.

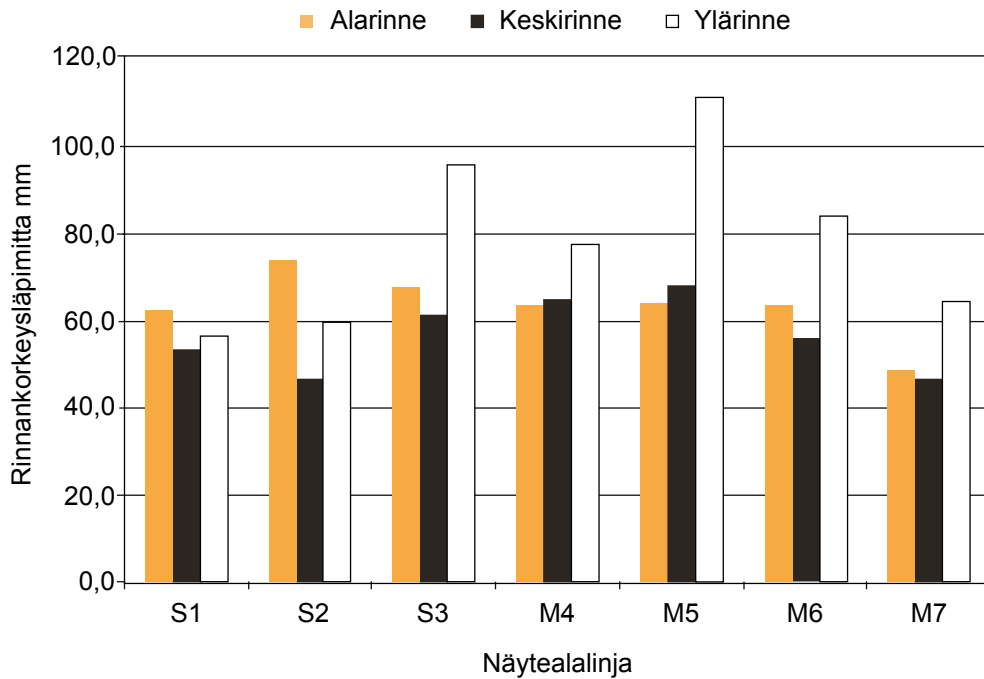
3.2 Saanan ja Mallan seurantanäytealat

Saanan lounaisrinteen koivikossa seurantanäytealat olivat kolmella linjalla ja Mallan luonnonpuiston alueella neljällä linjalla (kuva 15). Saanan näytealoilla koivun lehtiensyöntiä ja toipumista seurattiin neljänä ja Mallalla kolmena vuonna.

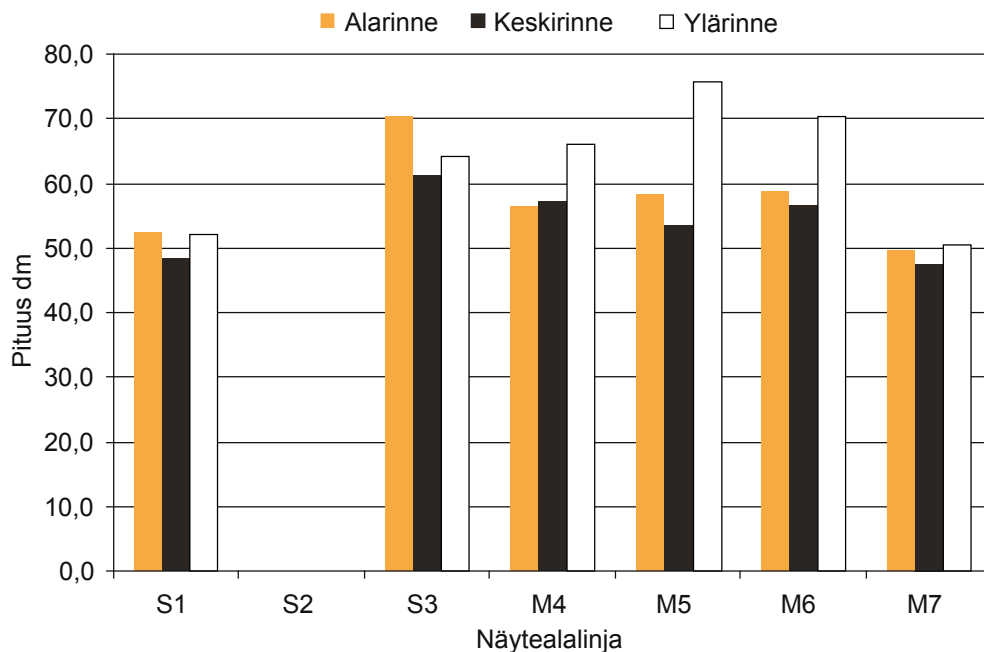


Kuva 15. Käsivarren mittarituhon seurantanäytealat Mallalla ja Saanalla. Linjat 1–3 (vasemmalta oikealle) sijaitsevat Saanalla ja linjat 4–7 (vasemmalta oikealle) Mallalla.

Tunturialueilla puiden pituus ja läpimitta vähenevät yleensä maaston korkeuden lisääntyessä. Saanan itäisimmällä linjalla (S3) ja kaikilla Mallan linjoilla (M4–M7) läpimitaltaan suurimmat tunturikoivut kasvavat kuitenkin ylärinteellä (kuva 16). Jälkimmäisellä alueella, itäisintä linjaa lukuun ottamatta (M7), myös pisimmät koivut kasvavat ylärinteellä (kuva 17). Tämä johtunee sekä alueelle ominaisesta kalkkivaikutuksesta että ihmisen vaikutuksesta. Mallan ja Saanan koivikot eivät ole täysin luonnontilaisia, sillä Kilpisjärven alueelle asettuneet saksalaissotilaat hakkasivat 1940-luvulla järeimmät koivut korsujen rakennustarpeiksi ja polttopuiksi. On todennäköistä, että ylärinteet säilyivät silloin koskemattomampina kuin alempana kasvavat koivikot.



Kuva 16. Tunturikoivun keskiläpimitta Saanan kolmen (S1–S3) ja Mallan neljän (M4–M7) alarinteeltä ylärinteen koivikkoon ulottuvan linjan näytealoilla.

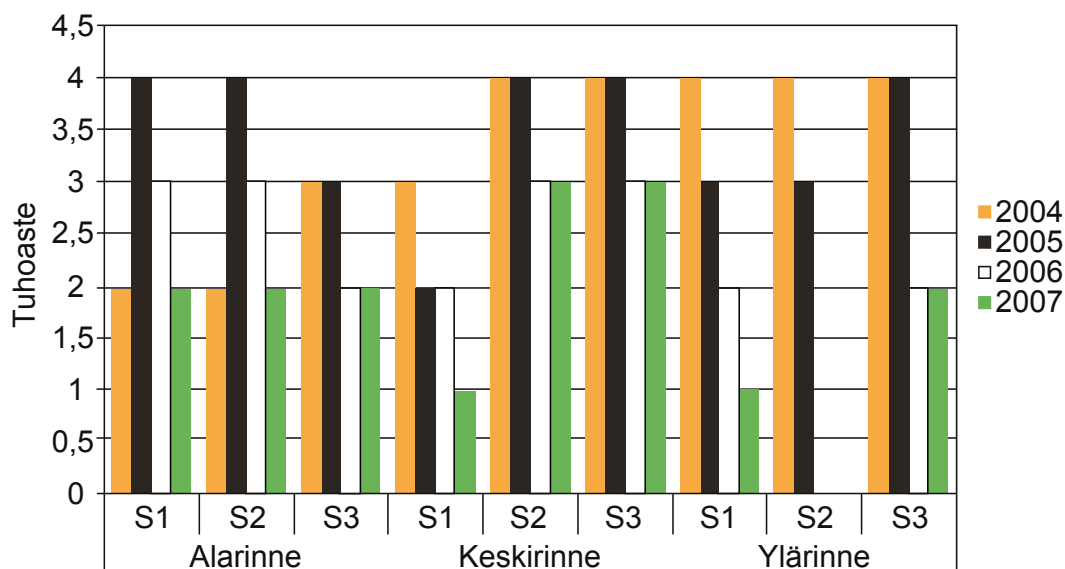


Kuva 17. Näytealapuiden keskipituus Saanan (S1–S3) ja Mallan (M4–M7) näytealoilla.

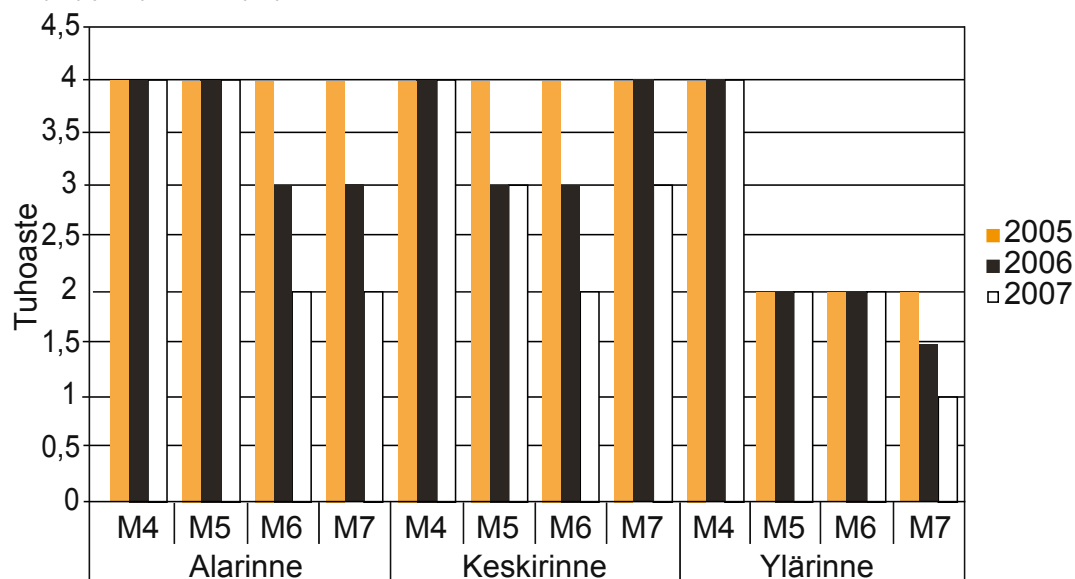
Kesällä 2004 tunturikoivut olivat lehdettämiä lähes koko heinäkuun ajan. Kilpisjärven alueella syöntejä jatkui vielä kesällä 2005, sillä edellisenä talvena ei esiintynyt tunturimittarin talvehtimiselle kriittisiä (alle -36°C) lämpötiloja. Ensimmäisenä syöntikesänä eli vuonna 2004 alarinteiden koivut olivat Saanan näytealoilla lievemmin syöntyneitä kuin keski- ja ylärinteellä, mutta toisena kesänä voimakas syöntejä levisi alarinteellekin (kuva 18). Tuhon laajenemista lienee edesauttanut kesää edeltänyt leuto talvi, jolloin ei laaksossa esiintynyt inversion seurauksena tunturimittarille kriittisiä lämpötiloja. Kesällä 2006 Saanan koivikoissa ei enää esiintynyt syöntejä, mutta aikaisempien kesien syönnin vaikutus ilmeni alentuneena lehtimassana. Mittarikannan romahtaminen ke-

sän 2005 jälkeen lienee kyseisenä kesänä runsain määrin esiintyneiden loisten ja seuraavan talven letaalien lämpötilojen yhteisvaikutusta. Koivujen toipuminen vuosina 2006 ja 2007 näkyy erityisesti alarinteen koivikoissa sekä keski- ja ylärinteellä läntisimmän linjan (S1) alueella (kuva 18).

Mallalla mittarituhon ei edennyt aivan samassa tahdissa kuin Saanalla. Erityisesti luonnonpuiston länsiosassa (M4) syönteä oli kaikilla korkeuksilla hyvin voimakasta vielä 2005, jonka jäljiltä toipuminen on ollut vähäistä (kuva 19). Ylärinteellä tuho jäi läntisintä linjaa lukuun ottamatta lievemmäksi kuin alempana.



Kuva 18. Tunturikoivun tuhoaste Saanan näytealoilla vuosina 2004–2007. Tuhoaste on arvioitu syötyjen lehtien osuutena seuraavaa luokitusta käyttäen: 0 ei syöntiä, 1 alle 10 % syöty, 2 11–50 % syöty, 3 51–90 % syöty ja 4 yli 90 % syöty.



Kuva 19. Tunturikoivun tuhoaste Mallan näytealoilla vuosina 2005–2007. Tuhoaste on arvioitu syötyjen lehtien osuutena seuraavaa luokitusta käyttäen: 0 ei syöntiä, 1 alle 10 % syöty, 2 11–50 % syöty, 3 51–90 % syöty ja 4 yli 90 % syöty.

4 Tulosten tulkinta ja johtopäätökset

Käsivarren alueen tunturimittarituho on ollut laajin vuosikymmeniin Suomessa. Leudot talvet 2000-luvun alkupuoliskolla mahdollistivat mittaripopulaation kasvun riittävän suureksi ja toukkien massaesiintymisen. Erityisen leuto talvi oli 2004/05, jolloin tunturimittarien munat selvisivät myös laaksoissa ja muilla alavilla alueilla, jonka seurauksena tuhoalue laajeni entisestään. Kokonaistuhoalue oli vuonna 2004 noin 606 km² ja noin 863 km² vuonna 2005. Pahiten tuhossa kärsivät koivikot, jotka olivat 400–600 m korkeudella. Nämä koivikot tuhoutuivat pahoin sekä kesällä 2004 että kesällä 2005. Vuonna 2005 tuhoalue laajeni sekä alavammille alueille että puurajan yläpuolelle. Kesien 2006 ja 2007 tulokset antavat tietoa siitä, miten koivikot ovat selvinneet voimakkaasta tunturimittarituhosta. Kesän 2007 mittauksissa ilmeni, että koivuja tulee mitä todennäköisimmin kuolemaan vielä tulevina vuosina lisää tuhojen seurauksena. Osa koealojen koivuista, jotka olivat elossa, olivat hyvin heikossa kunnossa. Oksakuolleisuus voi olla myös hieman aliarvioitua joissain tapauksissa, sillä osa oksista oli pudonnut puista maahan. Koivikot ovat selvästi kärsineet tuhosta, puita on kuollut tuhon takia ja kasvutappioita on koivikoissa myös ilmennyt. Keskimäärin on koivujen rungoista kesään 2007 mennessä kuollut noin viidennes. Ilman mittarituhoakin tunturikoivikoissa on hieman kuolleita runkoja, mutta tuho on moninkertaistanut niiden määrän tutkimusalueellamme. Koivujen defoliaatio on johtanut siihen, että myös koivikoiden kenttäkerroksessa on tapahtunut muutoksia, esimerkiksi heinittyminen koealoilla ja muualla koivikoissa on lisääntynyt. Tuho ei kuitenkaan ole ollut niin paha kuin mitä se pahimmillaan olisi voinut olla. Koivut ovat melko hyvin kyenneet palautumaan tuhoista. Tätä ovat varmasti auttaneet lämpimät kesät. Tätä selitystä tukee myös se havaintomme, että ylempänä tuntureilla missä kesäläkin on viileämpää, koivut eivät ole toipuneet yhtä hyvin kuin alemmilla alueilla. Kaikki tuhon vaikutukset eivät ole vielä näkyvillä, sillä muutosprosessi koivikoissa on käynnissä vielä vuosia. Tuhon lopulliset seuraukset näkyvät vasta vuosien päästä.

Koivikoiden uusiutumiseen voi vaikuttaa myös porojen laidunnus. Pahimmat tunturimittarituhot sijoittuvat suuremmilta osin tunturien ylempien osien koivikoihin, jotka ovat myös tärkeimpiä porojen kesälaidunnuskoivikoita (Helle 2001). Porot vaikeuttavat tuhokoivikoiden tilaa syömällä niistä viimeisetkin lehdet. Koivikoiden uusiutuminen hankaloituu myös siksi, että porot syövät lehdet myös koivujen pienistä taimista. Osassa Utsjoen 1960-luvun tuhoalueista tunturimittarien ja porojen yhteisvaikutukset johtivat siihen, että koivikot muuttuivat puuttomaksi paljakaksi ja metsänraja laski alemmaksi. Hyönteisten aiheuttamilla tuhoilla ja porojen laidunnuksella on yhteys, sillä porojen laidunnus ainakin hidastaa tai jopa estää tunturimittarituhoissa tuhoutuneiden tunturikoivikoiden uusiutumista (den Herder & Niemelä 2003). On vielä vaikea ennustaa, voiko Käsivarren tuhoalueilla tapahtua laajempialaisia koivukuolemia, tämän selvittämiseen tarvitaan jatkotutkimuksia. Mittarituhojen aiheuttama muutos koivikoissa on erittäin merkittävä myös poronhoidon kannalta, joten jatkotutkimuksia tarvitaan myös tällä saralla.

Ilmaston lämpeneminen voi tulevaisuudessa vaikuttaa tunturimittarituhojen yleistymiseen ja kenttien tuhojen pahenemiseen. Sekä lämpötilan että sademäärän on arvioitu kasvavan ilmastonmuutoksen myötä (Neuvonen ym. 2005)). Kun ilmasto lämpenee, on odotettavissa, että myös tunturikoivun metsänraja voi muuttua. Tunturikoivikot voivat levitä pohjoisemmaksi ja korkeammalle tuntureille. Mutta jos talvet ovat tulevaisuudessa leudompia, kylmyys ei enää kykene rajoittamaan tunturimittarien aiheuttamia koivutuhvoja (Tenow 1996, Virtanen ym. 1998). Tällöin tuhoja voi olla useammin kuin nyt, ja ne voivat olla pahempia ja laajempia. Mutta toisaalta jos myös kesät lämpenevät, voi koivutuhojen vaikutusten voimakkuus lieventyä etenkin koivujen paran-

tuneen toipumiskyvyn sekä mahdollisesti tunturimittarin kantoja säätelevien loishyönteisten paremman toimintakyvyn ja muiden saalistajien lisääntymisen ansiosta (Kallio & Lehtonen 1973, Virtanen & Neuvonen 1999).

Käsivarren osalta mittarituhot ovat ainakin tältä erää ohi, mutta tuhot jatkuvat muualla. Viime vuosina Norjassa on ollut laajojakin mittarituhoja. Siellä hallamittari on ollut tunturimittaria merkittävämpi tuhonaiheuttaja myös alueilla, joilla aiemmin on esiintynyt vain tunturimittarin tuhoja (Jepsen ym. 2008). Tämä lienee seurausta erityisesti talvien lämpenemisestä. Tuhoja on ollut jo vuodesta 2003 laajalti Tromssasta Varanginvuonolle. Suomen päälaen Lapista koilliseen Tenon ja Varangerbotnin alueella on ilmennyt viime vuosina Käsivarren Lappia huomattavampia koivu-kuolemia ja suurempia muutoksia kenttäkerroksen kasvillisuudessa. Tässä tuhossa tunturimittari-ripopulaatiot romahtivat jo vuonna 2005 ja uusimpien tuhojen aiheuttajana on ollut hallamittari (Klemola ym. 2008). Kesällä 2006 tuhoja ilmeni myös Nuorgamissa ja Pulmankijärven alueella, kesällä 2007 tuhoalue laajeni edelleen Suomen puolella. Nämä tuhot olivat hallamittarin aiheuttamia, sielläkään tämän lajin aiheuttamia tuhoja ei ole aiemmin havaittu. Tromssan alueella on ilmennyt myös uusia tuhoja, niitä on aiheuttanut pohjoisessa uusi ja Suomessa vielä hyvin eteläinen ruskamittari (*Agriopsis aurantiaria*). Muuttuvassa ilmastossa voi siis uusia ja yllättäviäkin koivutuhota hyvinkin olla tulossa.

Kiitokset

Esa Huhdalle ja Heikki Henttoselle resurssien järjestämisestä. Yrjö Norokorvelle ja Juha Sihvolle mahdollisuudesta käyttää metsähallituksen aineistoa. Seppo Neuvoselle, Tero Klemolalle ja muille tutkijoille asiantuntija-avusta.

Kirjallisuus

- Hagvar, S. 1972. Altitudinal zonation of Geometrid larvae (Lep.) during a mass occurrence on birch at Sogndal, Western Norway, 1967. *Entomologica Scandinavica* 3: 69–74.
- Haukioja, E., Neuvonen, S., Hanhimäki, S. & Niemelä, P. 1988. The autumnal moth in Fennoscandia. Julkaisussa: Berryman, A.A. (toim.), Dynamics of forest insect populations. Patterns, causes, implications: 163–178. Plenum press, New York. 624 s.
- Helle, T. (2001). Mountain birch forests and reindeer husbandry. Julkaisussa: Wielgolaski, F.E. (toim.), Nordic mountain birch ecosystems: 279–291. Butler and Tanner Ltd. Frome and London, UK. 390 s.
- den Herder, M. & Niemelä, P. (2003). Effects of reindeer on the re-establishment of *Betula pubescens* subsp. *czerepanovii* and *Salix phylicifolia* in a subarctic meadow. *Rangifer*, 23 (1): 3–13.
- Jalkanen, R. 2005. Kestääkö Yliperän koivu tunturimittarin. *Metsä-Lappi* 6/2005.
- Jepsen, J.U., Hagen, S.B., Ims, R.A & Yoccoz, N.G. 2008. Climate change and outbreaks of the geometrids *Operophtera brumata* and *Epirrita autumnata* in subarctic birch forest: evidence of a recent outbreak range expansion. *Journal of Animal Ecology*, 77: 257–264.
- Kaitaniemi, P. & Ruohomäki, K. 1999. Effects of autumn temperature and oviposition date on timing of larval development and risk of parasitism in a spring folivore. *Oikos* 84: 435–442.
- Kallio, P. & Lehtonen, J. 1973. Birch forest damage caused by *Oporinia autumnata* (Bkh.) in 1965–66 in Utsjoki, N Finland. Reports from the Kevo Subarctic Research Station 10: 55–69.
- Klemola, T., Andersson, T. & Ruohomäki, K. 2008. Fecundity of the autumnal moth depends on pooled geometrid abundance without a time lag: implications for cyclic population dynamics. *Journal of Animal Ecology*, 77: 597–604.
- Neuvonen, S., Bylund, H. & Tømmervik, H. 2005. Forest defoliation risks in birch forests by insects under different climate and land use scenarios in northern Europe. Julkaisussa: Wielgolaski, F.E (toim.), Karlsson, P.S., Neuvonen, S., and Thannheiser, D. (ed.board), Plant Ecology, Herbivory and Human Impact in Nordic Mountain Birch Forests: 125–138. Springer-Verlag. Berlin, Heidelberg. 365 s.
- Niemelä, P. 1979. Topographical delimitation of *Oporinia* damages: experimental evidence of the effect of winter temperature. Reports from the Kevo Subarctic Research Station 15: 33–36.
- Niemelä, P. 1980. Dependence of *Oporinia autumnata* (Lep., Geometridae) outbreaks on summer temperature. Reports from the Kevo Subarctic Research Station 16: 27–30.
- Nuorteva, P. 1963. The influence of *Oporinia autumnata* (Bkh.) (Lep., Geometridae) on the timber-line in subarctic conditions. *Annales Entomologici Fennici* 29: 270–277.
- Oksanen, L., Moen, J. & Helle, T. 1995. Timberline patterns in northernmost Fennoscandia. Relative importance of climate and grazing. *Acta Botanica Fennica* 153: 93–105.
- Pekkanen, K. 2006. The autumnal moth outbreak near Kilpisjärvi 2004–2005: Geographical distribution, damage occurrence on different landscapes, and effects on regional carbon stock. Pro gradu. Helsingin yliopisto, Bio- ja ympäristötieteiden laitos. 81 s.
- Ruohomäki, K. & Haukioja, E. 1992. Interpopulation differences in pupal size and fecundity are not associated with occurrence of outbreaks in *Epirrita autumnata* (Lep., Geometridae). *Ecological Entomology* 17: 69–75.
- Ruohomäki, K., Virtanen, T., Kaitaniemi, P. & Tammaru, T. 1997. Old mountain birches at high altitudes are prone to outbreaks of *Epirrita autumnata* (Lepidoptera: Geometridae). *Environmental Entomology* 26: 1096–1104.
- Sihvo, J. 2002. Ylä-Lapin luonnonhoitoalueen ja Urho Kekkosen kansallispuiston luontokartoitus, loppuraportti osa 2: Ylä-Lapin luontotyypit. Metsähallituksen luonnonuojelujulkaisuja sarja A: 137. Oy Edita Ab, Helsinki. 92 s.
- Tenow, O. 1975. Topographical dependence of an outbreak of *Oporinia autumnata* Bkh. (Lep. Geometridae) in a mountain birch forest in northern Sweden. *Zoon* 3(2): 85–110.
- Tenow, O. 1996. Hazards to a mountain birch forest – Abisko in perspective. *Ecological Bulletins* 45: 104–114.

- Tenow, O., Bylund, H. & Holmgren, B. 2001. Impact on mountain birch forests in the past and the future of outbreaks of two geometrid insects. Julkaisussa: Wielgolaski, F.E. (toim.), Nordic Mountain Birch Ecosystems: 223–239. Butler and Tanner Ltd. Frome and London, UK. 390 s.
- Tuomi, J., Niemelä, P., Jussila, I., Vuorisalo, T. & Jormalainen V. 1989. Delayed budbreak: a defensive response of mountain birch to early season defoliation? *Oikos* 54: 87–91.
- Tuominen, S., Eeronheimo, H. & Toivonen, H. (toim.) 2001. Yleispiirteinen biotooppiluokitus. Metsähallituksen luonnonsuojelujulkaisuja, Sarja B, No 57. 60 s.
- Tømmervik, H., Høgda, K.A. & Karlsen, S.R. 2001. Using remote sensing to detect caterpillar outbreaks in mountain birch forests – a new approach. Julkaisussa: Wielgolaski, F.E. (toim.) Nordic mountain birch ecosystems. s. 241–249. Butler and Tanner Ltd., Frome and London, UK.
- Virtanen, T., Neuvonen, S. & Nikula, A. 1998. Modelling topoclimatic patterns of egg mortality of *Epirrita autumnata* (Lepidoptera: Geometridae) with a Geographical Information System: predictions for current climate and warmer climate scenarios. *Journal of Applied Ecology* 35: 311–322.
- Virtanen, T. & Neuvonen, S. 1999. Performance of moth larvae on birch in relation to altitude, climate, host quality and parasitoids. *Oecologia* 120: 92–101.
- Virtanen, T., Pekkanen, K., Mikkola, K. & Kauhanen, H. 2006. Käsivarren tunturimittarituhot vuosina 2004 ja 2005. Julkaisussa: Nikula, A. & Varmola, M. (toim.), Ilmastonmuutos Lapissa – näkyvätkö muutokset – sopeutuuko luonto? Metlan työraportteja 25: 33–41. 58 s.
- Wielgolaski, F.E. 2001. Vegetation sections in northern fennoscandian mountain birch forests. Julkaisussa: Wielgolaski, F.E. (toim.), Nordic Mountain Birch Ecosystems: 23–33. Butler and Tanner Ltd. Frome and London, UK. 390 s.
- Wielgolaski, F.E. & Sonesson, M. 2001. Nordic mountain birch ecosystems – a conceptual overview. Julkaisussa: Wielgolaski, F.E. (toim.), Nordic Mountain Birch Ecosystems: 377–384. Butler and Tanner Ltd. Frome and London, UK. 390 s.