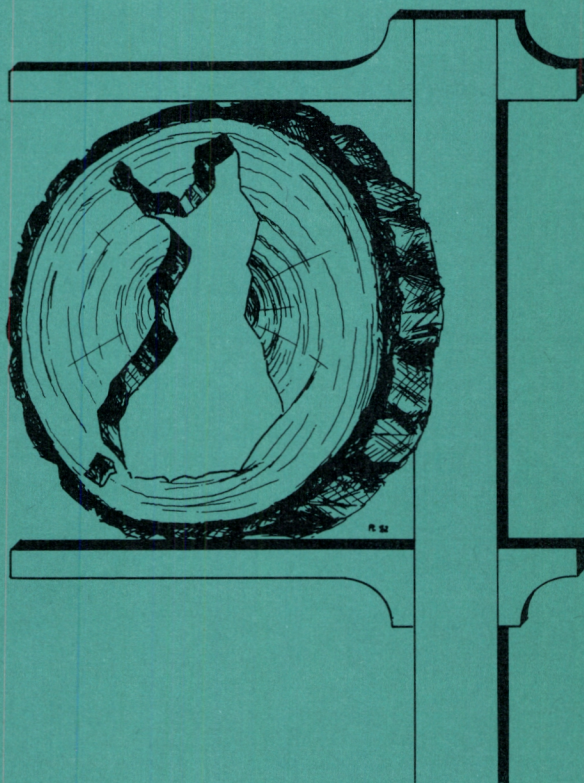


METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN
TIEDONANTOJA 173

METSÄNARVIOIMISEN TUTKIMUSOSASTO
METSÄNINVENTOINNIN TUTKIMUSSUUNTA



METSÄEKOSYSTEEMI TUTKITTAESSA
YMPÄRISTÖNMUUTOKSIA

KULLERVO KUUSELA

HELSINKI 1985

METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN TIEDONANTOJA 173

METSÄNARVIOIMISEN TUTKIMUSOSASTO

METSÄNINVENTOINNIN TUTKIMUSSUUNTA

METSÄEKOSYSTEEMI TUTKITTAESSA YMPÄRISTÖNMUUTOKSIA

KULLERVO KUUSELA

SISÄLLYS

ALKUSANAT	2
JOHDANTO	3
KÄSITTEITÄ	4
KASVIYHDYSKUNTIEN SYNTYMINEN, SUKSESSIOT JA KLII- MAKSIT	8
MAAN RAVINNEJÄRJESTELMÄ	13
MAANNOSTYYPPI POHJOISESSA HAVUMETSÄSSÄ	16
RAVINNEKIERTO	19
JÄTEPÄÄSTÖT, NIIDEN LASKEUMAT JA ILMAKEHÄN KOKOO- MUKSEN MUUTTAMINEN	22
METSÄTUHOJEN KOKONAISUUS	27
KIRJALLISUUS	34

ISSN 0358-4283

ISBN 951-40-0930-4

VALTION PAINATUSKESKUS / Monistus 1985

ALKUSANAT

Sysäyksen käsillä olevan tiedonannon kirjoittamiseen antoi havainto, että metsätuhoista keskusteltaessa kiinnitetään huomio usein yhteen tai muutamaan tuhoaiheuttajaan silloinkin, kun aiheuttajia on monia. Näin menetellen harhapäätelmät ovat väistämättömiä.

Ottamatta kantaa muiden metsätieteiden tutkijoiden perustietoihin on ilmeistä, että metsänarvioinnin ja puuntuotannon suunnittelun tutkijat eivät tunne riittävästi metsäekosysteemin ja metsätuhojen aiheuttajien kokonaisuutta. Tiedonanto on yritys korjata tätä puutetta.

Käsikirjoituksen ensimmäisen luonnoksen ovat lukeneet tri Pertti Hari ja professorit Paavo Havas, Tauno Kallio ja Eino Mälkönen. Kiitän heitä arvostelusta ja ehdotuksista korjauksiksi. Ne ovat olleet korvaamaton tuki kirjoittaa aiheesta oman varsinaisen tehtäväni ulkopuolelta. Jos kirjoitukseen on jäänyt vielä virheitä, olen niistä yksin vastuussa.

Helsinki, tammikuussa 1985

Kullervo Kuusela

JOHDANTO

Metsäekosysteemi on suomalaisessa metsänhoidossa ja -tutkimuksessa käsitetty usein niin kuin se olisi pelkkä kasviyhdyiskunta, vaikka onkin tiedetty, että siinä on kasvien lisäksi monia muita osia. Tämä johdetaan ainakin osaksi metsä- ja suotyyppiteorian hallitsevasta asemasta. Kun metsämaan puuntuotoskyvyn arvioiminen ja metsänhoidon menetelmien valinta perustuvat kasviyhdyiskuntiin, kasvilajien esiintymiseen ja lajien määrä- sekä elinvoimaisuussuhteisiin, muut kasvupaikkatekijät jäävät vähäisemmän huomion kohteeksi. Äärimmäistapauksissa toimitaan niin kuin puuntuotannon menetelmiä valittaessa voitaisiin selvittää pelkääntään kasviyhdyiskuntien tuntemuksella.

Metsätyyppiteoriaan liittyy tavallisesti olettaus kasvupaikan muuttumattomuudesta. Jos ilmasto ja maan ominaisuudet eivät muutu, niin kasviyhdyiskunta ilmaisee välillisesti kasvupaikan laadun ja puuntuotoskyvyn. Vaikka ilmaston ja maan tiedettäisiinkin muuttuvan, muutos oletetaan niin hitaaksi, ettei sitä tarvitse pitää ihmisen aikajänteiden kannalta merkityksellisenä. Näin on erityisesti silloin, kun metsätalous on luonnon kasvattaman puusadon korjaamista, ja kun uudet metsiköt siementyvät luontaisesti.

Tuotannon voimaperäistyessä peltoviljelyyn kuuluvien tai niitä lähestyvien menetelmien käyttöön ottaminen on heikentänyt kasviyhdyiskunnan hallitsevaa asemaa metsän ja maan luokittelun sekä menetelmien valinnan perustana. Kun soita ja veden vaivaamia kankaita ojitetetaan, maata muokataan ja lannoitetaan, puita kylvetään sekä istutetaan, ja kun puun korjuussa, metsäkuljetuksessa ja metsänhoidossa käytetään koneita, niin haluttujen tulosten saavuttaminen edellyttää myös maan ominaisuuksien tuntemista.

Teollisen tuotannon ja liikenteen jätteiden kulkeutuminen ilmakehään, metsään ja maahan järkyttää vääjäämättömästi uskoa kasvupaikan muuttumattomuuteen. Ympäristömuutosten ja niiden vaikutuksen tutkiminen ja haitallisten vaikutusten torjuminen eivät ole mahdollisia, ellei metsäekosysteemin kaikkia osia ja systeemiä kokonaisuutena tunneta.

Ajankohtana, jolloin metsäntutkimusta ollaan kohdistamassa ympäristömuutosten vaikutuksiin metsissä ja puiden tuhoihin, näyttää tarpeelliselta saada tutkijoiden käyttöön yleiskuva metsäekosysteemistä ja sen luontaisista kehitystapahtumista. Tietous on tosin löydettävissä alan oppi- ja käsikirjoista sekä tutkimuksista, mutta niihin perehtyminen ei ehkä ole tarkoituksenmukaista kaikille metsäekosysteemin seurantaan osallistuville, joista itsekukin pyrkii keskittymään omaan erityisalaansa. Tietyt vähimmäistiedot ovat myös tarpeen tehtäessä yksittäistutkimusten tuloksista koko ekosysteemiä koskevia päätelmiä. Kokeuksen mukaan harhapäätelmien riski on ilmeinen, ellei tunneta riittävästi metsäekosysteemin monitahoista kokonaisuutta.

KÄSITTEITÄ

Metsäekosysteemi on maan, ilmaston, kasvien ja eläinten keskinäisessä vuorovaikutuksessa kehittynyt, itseään ylläpitävä ja muuttava järjestelmä. Kehittyminen on alkanut tai alkaa paljaasta maasta. Se jatkuu suksessioiksi sanottuina vaiheina kohden kliimaksia, joka on asianomaisissa olosuhteissa pysyvä tai hyvin hitaasti muuttuva ekosysteemin tila. Suksessioita ja kliimaksia kuvataan usein kasviyhdyskuntana. Niiden vaiheet koskevat kuitenkin samalla tavalla maata, mikroilmastoa, eläimistöä ja mikrobistoa.

Maankamara koostuu kallioperästä ja siitä rapautumalla syntyneistä maalajeista. Ne ovat ekosysteemin elottomia lähtöaineiksi. Makroilmasto, so. paikan yleinen ilmasto on toinen ekosysteemin lähtötekijä. Se rapauttaa kallioperän maalajeiksi, joista ensimmäiset paikalle tulevat kasvit saavat mineraaliset ravinteensa. Ilmakehästä kasvit saavat vettä, hiilidioksidia ja typpeä. Lehtivihreälliset kasvit yhteyttävät auringon säteilyenergialla ravinteista sokereita ja valmistavat niistä rakennusaineensa. Lahottajat (lehtivihreättömät kasvit) ja eläimet saavat ravintonsa ja energiansa lehtivihreällisistä kasveista.

Kasvien ja eläinten jätteistä muodostuu eloperäisiä maalajeja, humusta ja turvetta. Kasvit, eläimet ja mikrobit nopeuttavat kallioperän ja maalajien rapautumista sekä sekoittavat eloperäisiä ja mineraalimaan aineksia toisiinsa. Ne valmistavat ja kehittävät maata kasvupaikkana ja ravinteiden lähteenä. Mikroilmasto on osaksi kasvi- ja eläinyhteisön aikaansaama ja edellytys kulloisenkin ekosysteemin olemassaololle.

Humus koostuu kasvi-, eläin- ja mikrobijätteiden lahoamisasteista. Se sekoittuu mineraalimaan ylimmän kerroksen kanssa kasvualustaksi ja ravinteiden antajaksi. Pääosa kasvien juurista on mineraalimaan ja humuksen seoksessa. Maaeläimet sekoittavat kivennäis- ja eloperäisiä maalajeja, mikä parantaa maan viljavuutta. Maaperän rapautuminen täydentää jatkuvasti ravinnevarantoa. Osa juurista tunkeutuu myös kivennäismaahan nostaen sieltä ravinteita.

Kasvien ja koko ekosysteemin ravinnevaranto saadaan ilmakehästä ja maaperän rapautumistuloksista. Pääosa kasvien käyttämistä ravinteista sisältyy niiden biomassaan ja humukseen. Ne ovat jakuvassa kierrossa maasta kasveihin ja takaisin maahan. Ravinteiden kier-

ron toimivuus on perusta kasvupaikan viljavuudelle.

Kasvupaikan puuntuotoskyvyn tärkeimpänä tekijänä pidetään ilmastoa. Äärimmilleen viety ilmaston merkityksen korostaminen johtaa olettamukseen, että maan tyyppi, maannostuminen ja kasvupaikan viljavuus ovat yksinomaan ilmastosta riippuvaisia (Eyre 1979, s. 38, Paterson 1956). Patersonin ilmastoindeksi ja sen käyttäminen puunkasvun potentiaalia arvioitaessa perustuvat ajatukselle, että jos alueella on vallinnut sama ilmasto riittävän kauan, niin maan puuntuotoskyky on sama riippumatta alkuperäisestä maankamarasta. Vaikka oletamus ei ilmeisestikään vastaa todellisuutta, niin ilmaston keskeistä merkitystä osoittaa, että Patersonin indeksillä saadaan suuralueen puuntuotannon mahdollisuuksista luotettavampaa tietoa kuin mitä ovat olleet monen Euroopan maan viralliset arviot niiden puun kasvusta (Kuusela 1984).

Tapahtuminen selittyy parhaiten, kun kasvupaikan laadun sanotaan olevan tulos ilmastosta ja maankamarasta syntyneistä maalajeista. Kasviyhdyksunnan merkitystä havainnollistaa ajatus, että maankamara on raaka-ainetta, josta kasvit valmistavat kasvualustan ja muokkaavat sen laadun, ja että ilmasto on kuin rasva koneistossa määräten maan kehittymisen nopeuden (Eyre mt.). Kasviyhdyksunnan merkitys tulee esille erityisesti silloin, kun kasviyhdyksuntaa muutetaan olosuhteissa, joissa maan, ilmaston ja kasvillisuuden muodostaman ravinnejärjestelmän tasapaino on herkkä. Riittävän suuresta kasviyhdyksunnan muuttumisesta seurauksena maan, mikroilmaston, ravinnejärjestelmän ja kasviyhdyksunnan muuttuminen pysyvästi toisenlaiseksi kuin ne alunperin ovat olleet. Näin on tapahtunut esim. Välimeren alueella.

Maannostuminen on kasvua ylläpitävän maan pintaosan jakautumista veden liikkeiden aiheuttaman maanaines-

ten huuhtoutumisen ja rikastumisen vaikutuksesta ulkonnäöltään ja koostumukseltaan erilaisiksi kerroksiksi. Kosteassa ja viileässä (humidissa) ilmastossa vesi liikkuu pääasiassa pinnalta alaspäin. Maannostumisen laji on podsolia, jossa lähinnä pintaa on huuhtoutumis- ja sen alla rikastumiskerros. Kuivassa ja lämpimässä (aridissa) ilmastossa vettä nousee alhaalta ylöspäin ja veteen liuenneet ainekset rikastuvat maan pintaan. Vaikka ilmasto hallitseekin maannostumista, on siinä myös kasvillisuudella osuutensa.

Kasviyhteiskunnat pyrkivät kehittymään suksessioiden kautta kohden pysyväisluontoista ilmastollista kliimaksia. Luonnonoloissa kulot, hyönteisten ja sienien aiheuttamat suurтуhot, maanjäristykset, tulivuorien purkaukset, maanvyöryt, maan pinnan korkeuden muutokset suhteessa vesistöjen pintaan ja ilmaston muutokset muuttavat kulloisissakin olosuhteissa mahdollisten kliimaksien rakennetta ja aloittavat suksessioita kohden alkuperäistä tai muuttunutta kliimaksia.

Ihminen ja hänen toimintansa, niihin kuuluen myös luonnontuotteiden keräily, metsästys ja laiduntaminen ovat olleet pitkään kasviyhdyskuntia muuttava, suksessioita aiheuttava ja kliimakseja muuttava tekijä. Pääosalla ihmisen asuttamaa maapalloa metsän raivaaminen pelloksi ja laitumeksi sekä muiksi maankäytön muodoiksi, luonnon kasvattaman puusadon korjaaminen ja metsänhoitoon perustuva puuntuotanto ovat hävittäneet tai muuttaneet miltei kaikki alkuperäiset ilmastolliset kliimaksit. Monilla alueilla kuten Keski- ja Etelä-Euroopassa, Etelä-Aasiassa, jne. laajoilla alueilla ei edes tarkasti tiedetä, minkälaisia alkuperäiset kliimaksit ovat olleet.

Teollisen tuotannon ja liikenteen valtava kasvu sekä jättepäästöjen lisääntyminen ovat aiheuttaneet niin

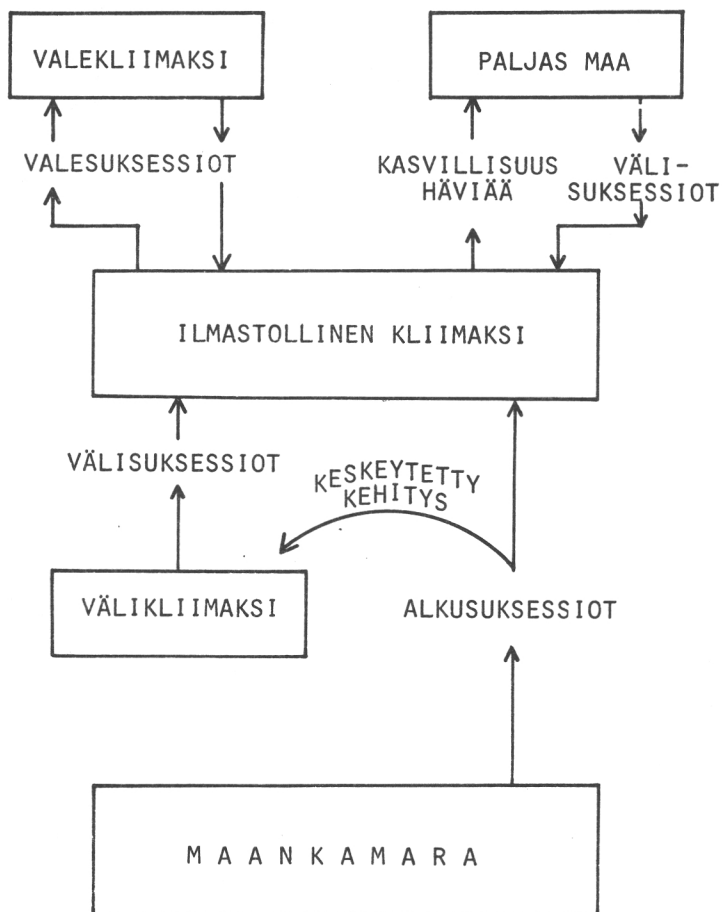
suuria maailmanlaajuisia kasvuolosuhteiden muutoksia, että niiden seurauksena on tapahtunut ja tulee tapahtumaan suuria muutoksia kasviyhdyskunnissa. Ilmakehän hiilidioksidipitoisuuden lisääntymisen ennustetaan aiheuttavan keskilämpötilan nousua ja sademäärän suuralueittaista muuttumista. Jätepäästöt ja niiden laskeumat tuulien ja sateiden mukana voivat muuttaa niin paljon olosuhteita, että kasvi- ja eläinyhteisöjen lajikokoomus muuttuu, syntyy uusia ilmastollisia kliimakseja, nykyiset kasvi- ja eläinyhteisöt häviävät ja alkaa laaja-alaisia suksessioita, jotka päättyvät uusiin kliimakseihin.

KASVIYHDYSKUNTIEN SYNTYMINEN, SUKSESSIOT JA KLIIMAKSIT

Kasviyhdyskunnan ja metsäekosysteemien kehittyminen alkaa mineraalisella maankamaralla. Suomen nykyisten kasviyhdyskuntien kehittyminen alkoi viimeisen jääkauden väistyessä ja maan paljastuessa veden alta. Osa trooppisista sademetsistä on syntynyt miljoonia vuosia aikaisemmin.

Kasviyhdyskunnan syntymisen ja kehittymisen tärkeimpien vaiheiden kuvaamiseksi otetaan perustaksi Etelä-Suomen olosuhteet ja teoreettinen asetelma, jossa ilmasto säilyy muuttumattomana (kuva 1).

Kasvittoman ja eloperäisiä osia sisältämättömän mineraalimaan paljastuessa veden alta tai maansiirron jälkeen sille tulee tuulen kuljettamana itiöitä, siemeniä ja mikrobeja. Alussa on käyttökelpoisia ravinteita vähän, mistä syystä ensimmäiset lajit ovat karuissa oloissa auringon säteilyn, sateen, lumen, tuulen ja lämpötilan vaihteluiden välittömän vaikutuksen alaisena toimeen tulevia. Paljaan kalliopinnan ensimmäisiä valtaajia ovat jäkälät.



Kuva 1. Kaavio kasvittomalle maankamaralle syntyvistä kasviyhdyksien sukse-
sioista ja kliimakseista.

Kasvit nopeuttavat kallio- ja maaperän rapautumista sekä ravinteiden vapautumista. Biomassa ja sen lahoamisjätteet pidättävät vettä ja parantavat veden saantia. Kasvijätteistä alkaa humuksen muodostuminen. Humus ja mineraalimaa sekoittuvat, maan ravinne- ja vesiolosuhteet kehittyvät ja kasvupaikalle ilmaantuu aste asteelta vaateliaampia lajeja. Jäkälät, sammalet, karun maan sarat, heinät ja ruohot sekä pensaat ja pensastavat puut muodostavat ensimmäisten varsinaisten kasviyhdykskuntien suksessioita. Mikrobisto ja eläimistö osallistuvat kasvien kanssa maan rakentamiseen.

Hajoavista kasvi- ja eläinjätteistä muodostuva humuskerros ja humuksen sekä mineraalimaan sekainen kerros paksuuntuvat, ravinteiden määrä lisääntyy ja kasvillisuuden sisään muodostuu mikroilmasto, jossa makroilmaston äärevyys tasoittuu. Kasvupaikalle tulee yhä vaateliaampia lajeja.

Sen jälkeen kun paikalle ilmaantuu vartevista ja latvustoltaan sulkeutuvista puista metsiköitä, voidaan puhua varsinaisesta metsäekosysteemistä, jolla on oma mikroilmastonsa, ravinnejärjestelmänsä ja eläimistönsä. Ensimmäisten metsäkasviyhdykskuntien puut ovat pioneerilajeja kuten koivuja, leppää ja haapaa, jotka leviävät keveillä tuulen kuljettamalla siemenillä sekä uusiutuvat vesoista, ja joiden taimet kasvavat parhaiten ilman niitä korkeampien kasvien varjostusta. Jos siementävää mäntyä on riittävän lähellä, se on myös ensimmäisiä metsäkasviyhdykskuntia muodostavia lajeja.

Karuilla kasvupaikoilla, joilla lehtipuut ovat pensastavia ja puumaisinakin lyhyitä, mänty on ilmastollisen (perusmuoto-) kliimaksin vallitseva puulaji. Se kasvaa muita puulajeja paremmin ja on niitä pitempi sekä pitkäikäisempi. Kuivilla ja karukkokankailla kliimaksimetsiköt ovat lähes puhtaita männiköitä.

Maan viljavuuden ja veden saatavuuden parantuessa kuusen kilpailukyky suhteessa mäntyyn paranee. Kuusen kilpailuetuna muihin puulajeihin verrattuna on sen taimien varjonkestävyys ja kyky kasvaa muiden puulajien alla sekä lehtipuihin verrattuna pitkäikäisyys. Näiden etujensa ansiosta kuusi metsittää osittain kuivahkosta ja kokonaan tuoreesta kankaasta alkaen ravinteisimmat kasvupaikat nousten alikasvoksesta vallitsevaksi puulajiksi. Lehtipuiden kuoltua ja männyn uudistumisen estyessä kuusikosta tulee sille sopivilla kasvupaikoilla kliimaksimetsikkö.

Paljaalle mineraalimaalle syntyviä ensimmäisiä kasviyhdyskuntia voidaan sanoa alkusukseksioksi, jotka päättyvät ko. kasvuolosuhteiden ilmastolliseksi kliimaksiksi. Sukseksioiden kesto-aika on vähäravinteisillä mailla suhteellisen lyhyt. Ravinteisillä mailla niiden vaihe kestää niin kauan, kunnes pioneeripuulajit ovat väistyneet ja kuusi on vallannut kasvupaikan.

Valtaosalla Suomen metsiköiden kasvupaikoista männikkö ja kuusikko ovat ilmastollisia metsäkliimakseja. Nekin voivat olla yksinkertaistuksia, sillä pitkällä aikavälillä kliimaksimetsikkökin muuttuu eikä samanlaisissa kasvuoloissa muodostu aina täsmälleen samanlaisia kliimakseja.

Metsäekosysteemin suksessioiden sarjaa ja kliimakseja kuvataan tavallisesti vastaavina kasviyhdyskuntina. Tämä on tarkoituksenmukaista sen vuoksi, että yhteyttävät kasvit ovat systeemin perusta ja sen näkyvin osa. Periaatteessa kehitys paljaasta mineraalimaasta suksessioiden kautta kliimaksiksi voitaisiin yhtä hyvin kuvata ravinnejärjestelmänä, mikroilmastona tai eläinyhteisönä.

Samalla kun kasvit ja eläimet kehittävät ja ylläpitävät ekosysteemin ominaisuuksia, tapahtuu niissä itses-

sään lajien kehittymistä ja uusien lajien syntymistä. Kilpailukykyisimmissä lajeissa vahvistuvat ne ominaisuudet, joilla ne pystyvät syrjäyttämään muita lajeja ja tulemaan toimeen uusissa ja muuttuvissa olosuhteissa. Osa menestyvän lajin ominaisuuksista on sellaisia, joilla se voittaa kilpailijat, ja osa ominaisuuksista auttaa lajia sopeutumaan toisiin lajeihin ja käyttämään niitä hyväkseen. Lajit kehittyvät kuitenkin luonnossa niin hitaasti, että niillä ei ole mitään mahdollisuuksia sopeutua lajikehityksen keinoilla ihmisen aiheuttamiin ympäristön muutoksiin. Jos muutokset ovat riittävän suuria, lajeja häviää ja aikaisemmat ekosysteemit korvautuvat toisilla. Sen sijaan lajien alueellisella siirtämisellä ja kasvinjalostuksella voidaan saada tietyissä ja muuttuvissakin olosuhteissa toimeentulevia ja hyvin kasvavia puita.

Osalla lajeja taimettuminen muilta lajeilta vapautuvalle kasvutilalle, uudistuminen kasvullisesti vesoista, taimettuminen toisten lajien ja oman lajin yksilöiden alle ja varjossa sekä runsas jokavuotinen siemensato ovat kilpailukykyä ylläpitäviä tekijöitä. Nopea pituuskasvu ja mahdollisimman pitkä runko sekä suuri rungon, oksien ja lehvien muodostama biomassa sekä pitkä ikä ovat tärkeimpiä taimettumisen jälkeisen ajan kilpailuetuja. Niitä ovat myös kestävyys ilmaston vaihteluita ja tuhoja vastaan puuyksilöiden ja metsiköiden kaikissa kehitysvaiheissa.

Kun kasvupaikat ovat niitä vastaavien ilmastollisten kliimaksimetsiköiden hallussa, suksessioiden uudelleen alkaminen edellyttää luonnonoloissa metsäpaloa tai myrskyn, hyönteisten, sienien tai muiden syiden aiheuttamaa suurтуhoa ja kasvutilan vapautumista pioneeripuulajeille.

Jos kasvuolosuhteissa tapahtuu tilapäinen muutos kesken alkusuksessioiden vaihetta, esim. pohjaveden pin-

ta nousee, keskeytyy kehitys kohden alkuperäistä kliimaksia ja päättyy välikliimaksiin (kuva 1). Kun keskeytyksen aiheuttanut tekijä poistuu, kasvivyhdyskunta jatkaa kehittymistä kohden alkuperäistä päätevaihetta.

Ihminen voi toimenpiteillään muuttaa olosuhteita niin paljon, että ilmastollinen kliimaksi muuttuu valesuksessioiden kautta valekliimaksiksi. Esimerkkinä tällaisesta on puusadon korjaaminen tai kaskeaminen sekä senjälkeinen laiduntaminen. Puiden harventamisen, poistamisen tai kaskeamisen jälkeen suksessiot kehittyvät valekliimaksiksi, joka on mahdollinen laiduntamisen olosuhteissa. Erityisesti lampaiden ja vuohien laiduntaminen on ylläpitänyt alkuperäisestä paljon poikkeavia valekliimakseja. Sellaisia ovat myös voimakkaasti poroilla laidunnetut alueet metsänrajan läheisyydessä. Siellä on lyhyeksi syötyä jäkälää vähän ja puut kasvavat sekä uudistuvat ryhmittäin.

Valekliimaksia ylläpitävän tekijän poistuttua alkaa kehitys kohden alkuperäistä ilmastollista kliimaksia. Ennen tätä voi kasvupaikalla tapahtua niin suuria muutoksia, että vaikka ne aikaansaanut tekijä poistuisikin, niin paluuta alkuperäiseen kliimaksiin ei ole tai se tapahtuu hyvin hitaasti. Suomessa tällaisia olosuhteita on hyvin vähän. Uusina ilmastollisina kliimakseina voidaan pitää nummetuneita ulkomeren saaria, joilta ihminen tai voimakas kulo on hävittänyt metsän.

Metsänhoidon menetelmillä ylläpidetty puuntuotantometsä on tällä hetkellä yleisin valekliimaksi. Sen puulajisuhteet ja puusukupolvien kierto ovat erilaiset kuin varsinaisessa ilmastollisessa kliimaksissa. Mitä enemmän puuntuotantometsän kliimaksi poikkeaa alkuperäisestä ilmastollisesta kliimaksista, sitä enemmän kustannuksia vaativia toimenpiteitä tarvitaan valekliimaksin ylläpitämiseen. Pohjois-Suomen vaaroilla

ja lakimaillla on alueita, joilla kuusivaltainen luontainen ekosysteemi on niin vahva, että mäntyvaltaisen ekosysteemin ylläpitäminen on kannattamattoman kallista tai biologisesti mahdotonta.

Metsäpalo ja metsän uudistamisessa käytetyt paljaak-sihakkuu, kulottaminen ja maan muokkaus johtavat puutomaan maahan. Tällaisella alueella alkaa Suomen olosuhteissa kehitys välisuksessioiden kautta ilmastolliseksi kliimaksi. Jos kasvupaikan ravinnejärjestelmän tasapaino on järkkövä tai maalajit ovat laatunsa ja maan topografisten muotojen vuoksi eroosiolle alttiita, voi alkuperäinen ilmastollinen kliimaksi muuttua uudeksi ja kokonaan toisenlaiseksi kliimaksi.

MAAN RAVINNEJÄRJESTELMÄ

Metsäekosysteemin elollinen osa on riippuvainen ravinteiden saatavuudesta. Niistä vesi (H_2O) on myös muiden ravinteiden kuljettaja. Veden saatavuus ja riittävyys riippuvat sademäärästä ja sen jakaantumisesta vuodenaikojen osalle, ilman lämpötilasta, sademäärän ja haihdunnan suhteesta sekä maan rakenteesta ja sen pinnan topografiasta. Mitä ravinteisempi kasvupaikka on ja mitä runsaampaa kasvillisuutta se kykenee ylläpitämään, sitä enemmän tarvitaan vettä. Suuren biommassan tuotoksen edellytyksenä on riittävä määrä vettä, jolla kasvi kuljettaa ravinteet maasta osiinsa. Kasvien hiilidioksidin oton edellytyksenä on veden haihtuminen lehdistä ja neulasista. Metsä on eniten vettä haihduttavia kasviyhdykskuntia.

Hiilidioksidia (CO_2) on ilmakehässä kaikkialla lähes yhtä paljon. Ennen teollistunutta tuotantoa sen osuus ilmakehästä oli likimain muuttumaton ihmisen aikajän-teellä mitattuna. Hiilidioksidin lisääntyminen lisää

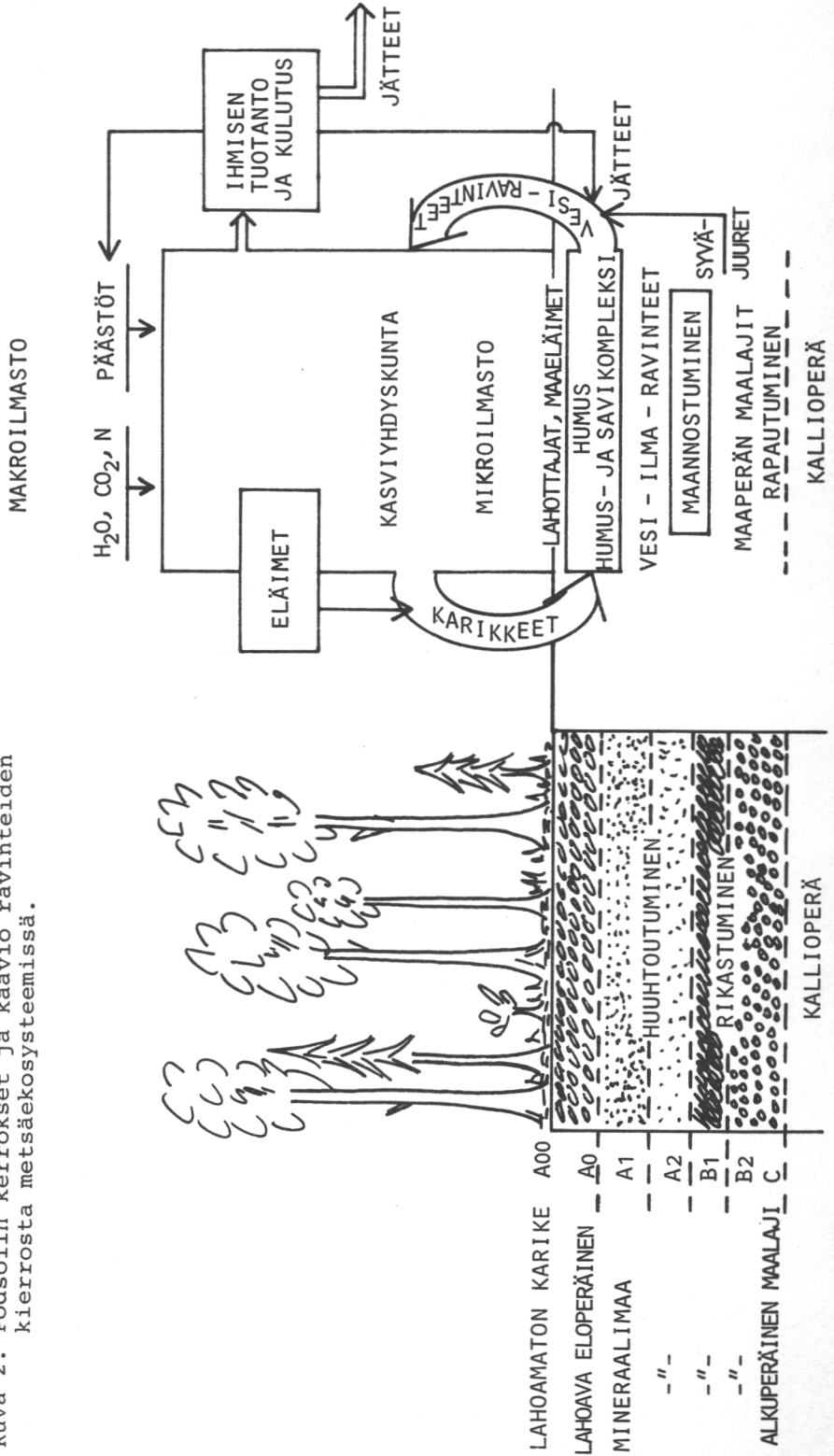
kasvien biomassan tuotantoa, mikäli muut kasvupaikkatekijät eivät rajoita lisäystä.

Kasvien pääravinteita ja rakennusaineita ovat hiili (C), vety (H) ja happi (O), jotka saadaan ilmakehästä ja vedestä, typpi (N), jota saadaan maahan ilmakehästä typen oksideina ja typensitojakasvien (esim. leppä) ottamana sekä kasvi- ja eläinjätteistä.

Tärkeimmät mineraaliset ravinteet ovat kalium (K), kalsium (Ca), fosfori (P), rikki (S) ja magnesium (Mg). Lisäksi tarvitaan useita hivenravinteita kuten rautaa (Fe), mangaania (Mn), kuparia (Cu), sinkkiä (Zn), molybdeeniä (Mo), booria (B), klooria (Cl) jne. Niitä saadaan maankamaraan rapautumistuloksena.

Maan ravinteisuus riippuu maankamaraan ravinnealkuainien määrästä, rapautumisen nopeudesta, maan rakenteesta veden liikkuvuuden kannalta, ilmastosta, huuhtoutumisesta, maannostyypistä ja kasvi- sekä eläinyhdyskunnasta. Kasvien juurien ulottuville tulee ravinteita ilmasta, maankamaraan rapautumisesta ja kasvi- sekä eläinjätteiden hajoamisesta. Niitä poistuu kasvupaikalta veden mukana huuhtoutuen, eroosiona ja korjattaessa satona kasveja, niiden osia ja eläimiä. Pääosa käyttökelpoisista ravinteista kiertää ekosysteemissä (kuva 2). Kasvit ottavat ne maasta. Ravinteita on kasveissa ja eläimissä, joista ne palaavat maahan karikkeiden ja kuolleiden kasvien sekä eläinten hajoessa uudelleen käytettäväksi. Osittain lahonneessa humuksessa, jota on paksuina kerroksina pohjoisessa metsässä, voi olla paljon ravinteita kasveille käytelvottomassa muodossa. Kasvupaikan tuotoskyvyn säilymisen tärkeimpiä edellytyksiä on kasvien ja eläinten jätteiden nopea hajaantuminen ja tehokas ravinteiden kierto.

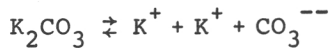
Kuva 2. Podsolin kerrokset ja kaavio ravinteiden kierrosta metsäekosysteemissä.



Vaikka maankamaran rapautuessa vapautuisikin paljon ravinteita, niin ellei maa pidättäisi niitä kasveille saatavassa muodossa, ne huuhtoutuisivat kasvupaikalta. Maasta tulee kasvupaikka vain siten, että sen pintakerrokseen muodostuu ravinnekemiallisesti aktiivinen, kolloidinen savi - humus - kompleksi, joka eroaa karkeajakoisten aineiden muodostamasta maan rungosta (kuva 3).

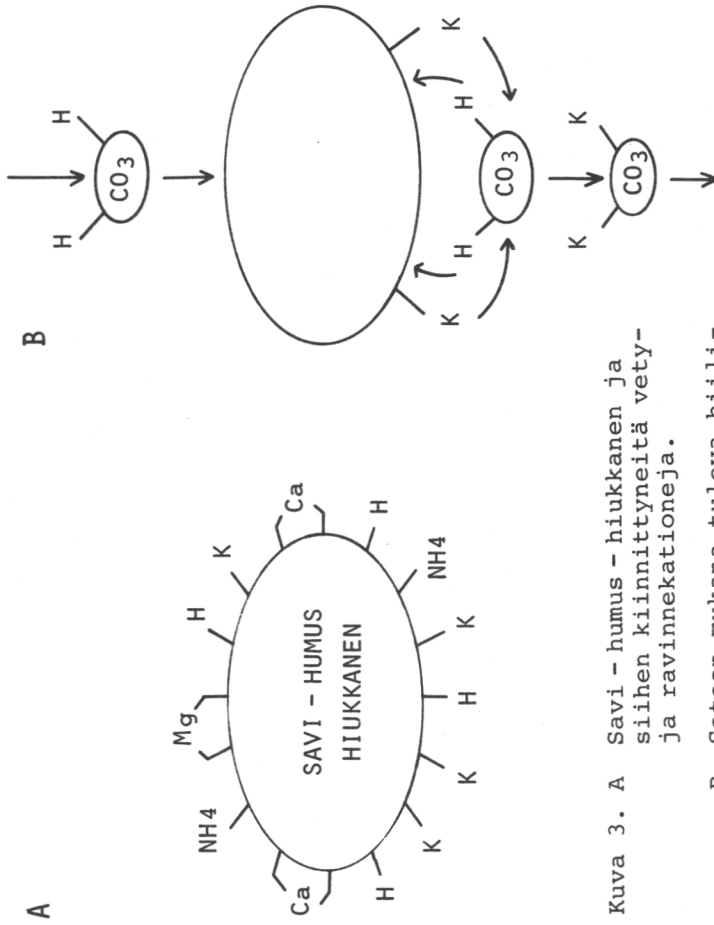
Savi- ja humushiukkaset ovat yhteydessä toisiinsa ja ne "kiinnittävät" itseensä ravinnealkuaineita kasveille saatavassa muodossa. Näin estyy ravinteiden huuhtoutuminen veden mukana.

Liuetessaan veteen mineraaliset yhdisteet ionisoituvat, esim. kaliumkarbonaatti kalium- ja karbonaatti-ioneiksi:



Positiivisesti latautuneet kaliumkationit voivat kiinnittyä karbonaatti- tai muihin negatiivisesti latautuneisiin ioneihin tai maahiukkasiin. Sama koskee muita ravinnealkuaineiden kationeja, joita kasvit voivat ottaa käyttöönsä savi - humus - kompleksista.

Sadevedellä on maan ravinnejärjestelmän kehittymisen ja säilymisen kannalta merkittävä ominaisuus irroittaa ravinekationeja maahiukkasista ja korvata niitä vetykationeilla. Luonnon sadevedessä on aina jonkin verran rikki- ja typpihappoa. Esim. rikkihappo ionisoituu vety- ja sulfaatti-ioneiksi, vety korvaa ravinekationin maahiukkasessa ja ravinne huuhtoutuu. Jos tätä jatkuu kyllin kauan, maahiukkaset kyllästyvät vetykationeista ja maa menettää ravinteisuutensa.



Kuva 3. A Savi - humus - hiukkanen ja siihen kiinnittyneitä vety- ja ravinnekationeja.

B Sateen mukana tuleva hiilihappo hajaantuu, hiilihapon vety vaihtuu maahiukkasen kaliumin kanssa ja kaliumkarbonaatti huuhtoutuu. Maahiukkasen vety lisääntyy.

Sadevesi on mieto hiilihapon (H_2CO_3) liuos. Kun humidissa ilmastossa vesi liikkuu maakerroksessa ylhäältä alaspäin, niin hiilihapon vety korvaa ravinnekationeja, jotka huuhtoutuvat veden mukana. Ellei järjestelmään tulisi jatkuvasti uusia ravinteita, kyllästyisivät maahiukkaset vetyioneilla ja maa happamoituisi. Kun happamuus on kyllin suuri, alumiini-ioneja vapautuu alumiinihydroksideista ja -oksidoista.

Ravinnevaranto voidaan määritellä kasveille käyttökelpoisten ja saatavissa olevien ravinnekationien määräksi. Se on käsitteenä selvä, mutta sitä on vaikea määrittää käytännössä. Ravinnevarannon tunnuksena on käytetty pH-luvulla ilmaistua happamuutta, joka ilmoittaa vetyionien aktiivisuuden maanesteessä. Kun maanesteen pH pienenee yhden yksikön, kasvaa happamuus kymmenkertaiseksi.

Kunakin ajankohtana maassa on vapaana tietty määrä vaihtokelpoisia ioneja. Mitä suurempi osa niistä on vetyioneja, sitä enemmän niitä on maanesteessä ja sitä vähemmän nesteessä on ravinnekationeja.

Tietyn maan osalta pH-luvun muutokset osoittavat suuntaa-antavasti käyttökelpoisten ravinteiden määrän muutoksia. Jos maan laatu ja rakenne muuttuvat, pH-luku on huono ravinteisuuden erojen ilmaisin. Mitä enemmän maassa on savi-humushiukkasia suhteessa runkoainekseen, sitä enemmän siinä on käyttökelpoisia ravinteita, vaikka pH-luku olisi sama.

MAANNOSTYYPPI POHJOISESSA HAVUMETSÄSSÄ

Pohjoisen havumetsän alueella vuotuinen sademäärä on 350 - 550 mm ja lähes aina alle 1 000 mm. Sadetta saadaan suhteellisen runsaasti kasvukauden aikana. Lämpötila on alhainen ja veden virtaaminen sekä haihdunta

ovat suhteellisen vähäisiä pitkän talven aikana. Sademäärän ja haihdunnan suhteen perusteella ilmasto on humidi. Kasvupaikka on harvoin jos koskaan niin kuiva, että vesi liikkuisi maassa alhaalta ylöspäin. Puuston peittämällä maanpinnalla on lämpimänäkin aikana viileätä ja haihtuminen vähäistä. Sade- ja lumensulamisesien liikkuminen pinnasta alaspäin aiheuttaa ravinteiden ja maahiukkasten huuhtoutumista sekä podsoli-
maannoksen muodostumista (kuva 2).

Tyypillisintä podsolia tavataan karuilla lajittuneilla maalajeilla, joilla männikkö on ilmastollinen kliimaksi. Havupuiden ravinteiden tarve vaihtelee lajista riippuen ja se on yleensä pienempi kuin lehtipuilla. Mänty tarvitsee erityisen vähän mineraalisia ravinteita. Niitä on vähän myös männyn karikkeissa, jotka muodostavat yhdessä muiden maanainesten kanssa hapanta kangashumusta. Kun vielä lajittuneiden maalajien vedenpidätyskyky on heikko, on näille kasvupaikoille ominaista jatkuva huuhtoutuminen ja happamuuden lisääntyminen sekä siitä seurauksena savimineraalien liikkuvuus.

Savihiukkaset liikkuvat maassa alaspäin joko kemiallisesti muuttumattomina tai hajoten. Rapautumisessa irttoa erityisesti alumiinin (Al) ja raudan (Fe) seskvioksideja (Al_2O_3 , Fe_2O_3), joita huuhtoutuu pintakerroksesta. Lähelle maanpintaa kangashumuksen alle muodostuu tuhkanharmaa huuhtoutumiskerros (valkoomaa), josta lähteneet seskvioksidit ja piihapon kolloidiset yhdisteet pysähtyvät rikastumiskerrokseen. Sen alla on vaa-
leampi ja vähiten muuttunut maaperän osa. Syitä rikastumiskerrokseen ei täysin tunneta. Yhtenä syynä pidetään happamuuden vähenemistä huuhtoutumiskerroksen alapuolella.

Rikastumiskerroksessa on tavallisesti kaksi osaa.

Ylempi kerros on usein väriltään tumman ruskea tai mustahko, mikä johtuu rikastuneista humuksen yhdisteistä ja seskvioksideista. Alempi kerros vaihtelee väriltään tummasta ja punertavan ruskeasta vaalean kellertävään riippuen alkuaineiden suhteellisista määristä.

Ylinnä maanpinnalla on kolme eloperäisistä aineksista muodostunutta kerrosta:

A_{000} : karikekerros
 A_{00} : multautumiskerros
 A_0 : humuskerros

Ylimmässä kerroksessa kasvijätteet ovat lahoamattomia. Multautumiskerroksessa jätteet ovat osaksi hajonneet, mutta kasvijätteiden alkuperä on vielä tunnistettavissa. Humuskerroksessa jätteiden alkuperää ei enää voida tunnistaa. Sienet ovat kasvijätteiden pääasiallisia hajottajia.

Kivennäismaassa erotetaan kolme kerrosta:

A : huuhtoutumiskerros
 B : rikastumis "
 C : perusmaa "

Huuhtoutumiskerroksen ylimmälle osalle A_1 antavat humuksen ainekset ja kasvien lahonneet juuret tummia värisävyjä. Kerros vaalenee alaspäin ja sen A_2 -osa on väriltään harmaanvaalea. Eloperäisistä aineksista muodostuneiden kerrosten lisäksi myös mineraalimaan huuhtoutumiskerroksessa ja varsinkin sen pintaa lähinnä olevissa osissa on käyttökelpoisia ravinteita.

Rikastumiskerroksen ylimmän osan B_1 raja suhteessa huuhtoutumiskerrokseen on usein hyvin selvä. Ylin osa muuttuu asteittain osaksi B_2 ja tämä perusmaakerrokseksi, joka koostuu osaksi rapautuneista maalajeista.

Edellä sanottu koskee lähinnä mäntyä kasvavia, laihoja ja helposti vettä läpäiseviä maita. Ravinteisemmillä mailla, joilla kuusi on ilmastollisen kliimaksin puulaji, maa ja maannostuminen ovat jossain määrässä erilaisia. Kuusen karikkeet ovat varsin happamia, mutta ne sisältävät enemmän ravinteita kuin männyn karikkeet. Vesi liikkuu maan raekokoomuksesta johtuen hitaammin alaspäin ja huuhtoutuminen on vähäisempää.

Pohjoisen havumetsän podsolimaat jäivät ilman pysyväälle peltoviljelylle perustuvaa asutusta aina siihen asti, jolloin peltoja alettiin ojittaa, syvämuokata ja lannoittaa, ja jolloin konevoima korvasi lihasvoiman. Ennen konevoimaa pohjoinen havumetsä säilyi lähes asu-mattomana lukuunottamatta metsästystä, kalastusta ja paimentolaisuutta harjoittavaa väestöä, kaskiviljelijöitä, puutavaran korjaajia ja kaivannaisteollisuuden harjoittajia. Ilman tehokasta muokkausta, ojitusta ja lannoitusta podsolimaat olivat liian laihoja ja vaikeasti muokattavia ylläpitämään pysyvää, maata viljelevää väestöä.

RAVINNEKIERTO

Kasviyhdykskunnan ravinnejärjestelmän osia ovat ravinteiden lähteet, niiden kierto maasta kasveihin ja takaisin maahan ja ravinteiden huuhtoutuminen tai muulla tavalla häviäminen kasvupaikalta.

Ravinteiden lähteitä ovat rapautuminen maaperästä ja kiinnittyminen maahiukkasiin, virtaus ilmakehästä ja ekosysteemin biologisesta kierrosta saatavat ravinteet. Ilmakehästä saadaan hiilidioksidi yhteyttämiseen, typpeä ja sieltä tulevat myös jättepäästöjen laskeumat joko sateen mukana tai kiinteässä (kuivana) muodossa. Ihmisen harjoittamassa kasvituotannossa lisätään ravinteita lannoitteina myös metsään (kuva 2).

Valtaosa ravinteista on biologisessa kierrossa ja sitoutuneena humukseen. Ekosysteemin tuotoskyvyn kannalta on keskeisen tärkeätä, että ekosysteemin sisäinen ravinnekierto toimii ja että kasvi- sekä eläinjätteisissä maahan tulevat ravinteet vapautuvat nopeasti ja tehokkaasti uudelleen käytettäväksi.

Keinot nopeuttaa karikkeiden ja humuksen hajoamista ovat samalla keinoja ekosysteemin tuotoskyvyn lisäämiseksi. Sellaisia ovat luonnonoloissa metsäpalo ja sen ylläpitämä pioneeri- ja kliimaksvaiheiden kierto. Tuli jo sinänsä hajottaa humusta. Kasvillisuuden osittaisen tai kokonaan palamisen jälkeen lämpötila maanpinnalla on korkeampi kuin kasvillisuuden alla, mikä myös edistää humuksen hajoamista. Voimakkaassa palossa toisaalta häviää maan typpivarjoja, mutta kasvien kannalta on yleensä suurempi merkitys niille käyttökelpoisena vapautuvalla typpellä kuin typen osittaisella häviämisellä. Metsäpalo ja lämpötilan vaihtelu nopeuttavat myös maaperän rapautumista.

Oikein tehty lannoitus lisää merkittävästi tuotosta. Yleisimpiä virheitä on ollut muutaman pääravinteen niin suuri lisäys, että osasta ravinteita ja ennen muuta hivenaineista tulee puute. Seurauksena on kasvuhäiriöitä. Maan muokkaus edistää myös humuksen ja maaperän hajoamista. Humuksen ja mineraalimaan sekoittuminen lisää ravinteita. Metsän puuston uudistamisvaiheessa pintakasvillisuus ja lehtipuiden vesat sekä siementaimet lisääntyvät, mikä kaikki tehostaa ravinteiden kiertoa.

Esimerkkinä pohjoisen havumetsän ravinnejärjestelmästä ovat tiedot kuusamolaisen seinäsamalkuusikon kliimaksvaiheesta (Havas, 1977) ja sen orgaanisen typen varannosta. Elävissä kasveissa on typpeä noin 400 kg/ha ja humuksessa todennäköisesti jonkin verran enem-

män. Yhteensä typpivarat ovat noin 1 000 kg/ha. Lähes kaikki humuksen tyypeistä on kasveille käyttökelpottomassa muodossa.

Vanhassa harvassa kuusikossa on suhteellisesti paljon tilaa pintakasvillisuudelle, jonka biomassasta merkittävä osa on juurissa ja paksun raakahumuskerroksen sisällä olevissa kasvien osissa. Elävien kasvien tyypeistä on noin 125 kg/ha pintakasvillisuudessa ja noin 275 kg/ha puustossa.

Vuotuinen typen tarve on noin 35 kg/ha, josta pintakasvillisuuden osuus on 15 ja puiden osuus 20 kg/ha. Vuotuinen kariketuoanto on noin 3 t/ha. Siinä on tyypeä noin 20 kg/ha, josta puuston osuuden arvio on 12 ja pintakasvillisuuden 10 kg/ha. Maassa on karikkeista vapautuvan lisäksi hyvin vähän käyttökelpoista tyypeä. Ilmakehästä arvioidaan saatavan vuodessa tyypeä noin 5 kg/ha. Samanaikaisesti kasvupaikalta huuhtoutuu ja poistuu tyypeä ilmakehään. Numerollisessa typen kierron taseessa on vaje, jonka oletetaan täyttyvän siten, että vanhoissa kasvinosissa sekä vastaavasti karikkeissa on vähemmän tyypeä kuin uusissa kasvinosissa. Ts. kasvit "siirtävät" vanhenevista ja kuolevista osistaan tyypeä uusiin osiin, mikä vähentää maasta tarvittavaa tyypeä biomassatuotoksen aikaansaamiseksi.

Vaikka esimerkki edustaakin äärimuotoa pohjoisesta havumetsästä, niin siitä saadaan kaksi merkittävää havaintoa. Raakahumuksessa on erittäin paljon kasville käyttökelpotonta tyypeä ja sen mobilisoiminen käyttökelpoiseksi lisääisi ravinteita ja tuotosta. Pintakasvillisuus on tärkeä ravinteista kilpailija puiden kanssa. Jos tavoitteena on suuri runkopuun tuotos, niin sen saavuttamiseksi metsikön puusto on pidettävä runkopuun tuotoksen tärkeissä vaiheissa täysitiheänä, mikä vähentää pintakasvillisuutta ja sen kilpailua ravinteista.

JÄTEPÄÄSTÖT, NIIDEN LASKEUMAT JA ILMAKEHÄN KOKOOMUKSEN MUUTTAMINEN

Luonnontilassa ilmakehään tulee elollisesta ja elottomasta luonnosta päästöinä alkuaineita ja niiden yhdisteitä (kuva 2). Elollinen luonto ottaa osan ilmakehän aineksista ravinnokseen ja elintoimintojensa ylläpitämiseen; osa tulee laskeumina maahan, veteen ja kasvien pinnoille. Laskeumissakin on ravinteita. Vaikka luonnontapahtumisen päästöt saattavat olla äkillisiä ja suuria, kuten esim. tulivuoren purkauksissa, niin niiden aiheuttamat muutokset ilmakehän kokoomuksessa, ekosysteemien ravinnekierrossa ja yleisissä kasvuolosuhteissa ovat paikallisia luonnonmullistuksia lukuunottamatta vähäisiä ja hitaita. Ihmisen aikajänneiden näkökulmasta katsottuna yleiset olosuhteet ja ekosysteemit ovat pysyvässä tasapainossa. Pitkällä aikavälillä taas luonnon muutokset ovat olleet ja tulevat olemaan suuria ja ne muuttavat perin pohjin ekosysteemejä.

Kasvavan ihmiskunnan toiminnot ja niistä johtuvat jättepäästöt ovat lisääntyneet niin suuriksi kuluvalle vuosisadalla, että olosuhteiden ja ekosysteemien tasapaino näyttää järkkyvän. Muutosten seuraamukset saattavat olla myös ihmiselle kohtalokkaita. Ilmakehän kokoomus on jo merkittävästi muuttunut ja jättepäästöjen laskeumat muuttavat ekosysteemejä.

Vaikuttavimmat jättepäästöt ovat lähtöisin fossiilisten polttoaineiden käytöstä energian tuotannossa. Niiden sisältämien hiilen ja hiilivetyjen palaessa syntyy lämpöä. Hiilen palamistulos on hiilidioksidi (CO_2), joka on ilmakehän osa ja välttämätön ravinto kasveille. Energian tuotanto on lisännyt merkittävästi ilman hiilidioksidipitoisuutta.

Polttoaineissa on erilaisia sivuaineita, joista rikki on ympäristön kannalta tärkein. Rikkidioksidi (SO_2) syntyy rikin yhtyessä happeen ja ellei polttokaasuja puhdisteta, se joutuu ilmakehään ja sieltä laskeutuu maahan.

Toisen merkittävän päästön muodostavat typen oksidit (NO ja NO_2), joita syntyy ilmakehän tyyppisestä korkeassa palamislämpötilassa. Typpiyhdisteitä syntyy polttomoottoreissa ja lämpölaitoksissa poltettaessa energian raaka-aineita, myös maakaasua.

Muita jätepäästöjä ovat hiilimonoksidi (CO) ja lentotuhka. Niiden päästöt ovat vähentyneet energiatuotannon yksiköiden kasvaessa. Teollisen tuotannon päästöihin sisältyy lisäksi raskasmetalleja, muita alkuaineita ja niiden yhdisteitä.

Ilmakehän hiilidioksidipitoisuus oli noin 290 ppm (miljoonasosaa) v. 1900, 315 ppm v. 1958 ja tällä hetkellä noin 345 ppm. Pitoisuus on lisääntynyt kuluvalle vuosisadalle noin 20 %. Energiatuotannon kasvaessa sen ennustetaan kaksinkertaistuvan aikana 1980 - 2020.

Koska hiilidioksidi on ravintoa, sen lisääntymisen tulisi lisätä kasvien tuotosta samalla tavalla kuin hiilidioksidi-"lannoitus" kasvihuoneissa. Pitoisuuden kasvun arvioidaan myös lisäävän ilmakehän lämpötilaa. Yleisesti pidetään luotettavina niitä malleilla saatuja tuloksia, joiden mukaan hiilidioksidipitoisuuden kaksinkertaistuminen lisää maapallon keskilämpötilaa $1,5 - 4,5 \text{ }^\circ\text{C}$. Tästä olisi seurauksena kasvituotannon lisäys niillä alueilla, missä sademäärä on riittävä, ja tuotannon väheneminen kuivan ilmaston alueilla. Suomi kuuluu todennäköisesti lisääntyvän kasvituotannon alueeseen.

Kohtalokkain seuraus lämpötilan noususta on ennustettu napajäätiköiden sulaminen, mistä seuraa merien pinnan kohoaminen niin paljon, että suuria alueita ihmisen asuttamaa maata jää veden alle.

Ilman rikkidioksidipitoisuus Suomessa oli 5 - 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 1970-luvulla. Rikkipäästöjen määrä on noin 600 000 tonnia vuodessa ja niiden vuotuinen lisäys on ollut 6 %. Kokonaislaskeuman määrä puhtaana rikkinä on noin 300 000 tonnia vuodessa. Laskeuma on noin 20 kg/ha Etelä-Suomessa ja tätä pienempi Pohjois-Suomessa.

Typpiyhdisteiden päästöt alkoivat merkittävinä vasta 1900-luvun alussa. Tällä hetkellä niiden määrä Suomessa on noin 200 000 tonnia vuodessa. Päästöjen vuotuinen kasvu on ollut 5 %. Typen vuotuiseksi laskeumaksi arvioidaan noin 10 kg/ha Etelä-Suomessa ja 1-2 kg/ha Pohjois-Suomessa. Jälkimmäinen vastaa likimain luontaista laskeumaa.

Rikin ja typen laskeumasta on noin yksi kolmannes kotimaista alkuperää. Toinen kolmannes tulee tuulen ja sateiden mukana lännestä ja lounaasta sekä kolmas kolmannes etelästä ja kaakosta. Paikallisesti laskeuma on suurin suurimpien tehtaiden ja asutuskeskusten läheisyydessä.

Rikki ja typpi vaikuttavat kasvillisuuteen välittömästi ja välillisesti. Vaikutus voi olla kasveille vahingollinen tai niiden kasvua lisäävä.

Puiden lehdille ja neulasille tulevat rikkiyhdisteet vaurioittavat niitä. Yhtä suuri laskeuma on pahempi havu- kuin lehtipuille sen vuoksi, että neulaset ovat monivuotisia, kun taas lehdet yksivuotisia. Rikki aiheuttaa kasvuhäiriöitä ja lisää alttiutta muille tuhoille ja kylmyydelle. Kokeissa on todettu hyvin suu-

ren ilman rikkidioksidipitoisuuden vähentävän yhteyttä. Suomessa pitoisuudet ovat olleet niin vähäisiä, ettei niillä ole voinut olla haitallista vaikutusta yhteyttämiseen.

Poikkeuksellisen suuret ja välittömästi vaikuttavat tyypipäästöt tappavat kasveja. Koska tyyppi on pohjoisessa havumetsässä yleisesti minimiravinne, ovat sen laskeumat kasvua lisäävää lannoitetta. Mahdolliset haitalliset vaikutukset ilmaantuvat silloin, jos laskeumat alkavat lisätä maan happamuutta.

Rikin ja typen oksidien haitallisen, välillisen vaikutuksen arvioidaan johtuvan siitä, että ne muodostavat ilmakehässä veden kanssa happoja. Laskeuma ns. happosateena lisää maanesteen H^+ -ioneja ja happamuutta sekä vaikuttaa useisiin kemiallisiin reaktioihin, ennen muuta ionivaihtoon ja rapautumiseen. Podsoloitumisen vaikutusta sinänsä pidetään merkityksettömänä. Podsolissa laskeumilla on aluksi suuri merkitys ionivaihdolle ja niiden lisääntyessä rapautumiselle.

Happokuormituksen aiheuttamat maan muutokset ovat hitaita ja riippuvaisia maan kokoomuksesta. Kuormituksen lisääntyessä ja saavutettua tietyn vähimmäismäärän käynnistyy sarja muutoksia, jotka ovat aluksi ionivaihtoa maanesteen ja maahiukkasten välillä, myöhemmin myös nopeutuvaa rapautumista. Ionit maanesteessä lisääntyvät, kationipitoisuus nousee ja huuhtoutuminen lisääntyy. Ravinnevarannon alkaessa ehtyä vetyionikonsentraatio kohoaa nopeasti ja nopeutuvassa rapautumisessa vapautuu alumiinia, Al^{+3} -ioneja, joiden suurina pitoisuuksina arvioidaan vaikuttavan myrkyllisesti kasveihin.

Tähänastisen tiedon vähäisyyden vuoksi tapahtumista on tutkittu enemmän tai vähemmän teoreettisilla malleilla. Tulosten mukaan laskeumien ja ilman hiilidi-

oksidipitoisuuden kasvun on arvioitu lisänneen puuston kasvupotentiaalia Suomessa noin 30 % kuluvalle vuosisadalla.

Useat kasvun arviot, esim. valtakunnan metsien inventointien kasvunmittaukset kuivahkojen kankaiden männiköissä, osoittavat puuston kasvun lisääntyneen 1950-1980 niin paljon ja siten, että metsän tunnusten muutokset ja tehty metsänparannus eivät selitä kaikkea lisääntymistä.

Happaman laskeuman ja metsätuhojen syy-yhteydelle perustuvan olettamuksen lisäksi on esitetty olettaus, jonka mukaan lisääntynyt otsoni olisi pääsyy puiden sairauksiin. Valon vaikutuksesta irtoaa typpioksidista happiatomi, joka sitoutuu ilman happeen otsoniksi. Tapahtumista edistävät korkea lämpötila, tyyppi sää ja vuoristoiset olosuhteet.

Olettamuksen mukaan otsoni aiheuttaa lehtien ja neulasten pintakelmun rappeutumista ja solukkovaurioita sekä yhdessä happaman sumun ja sateen kanssa ravinteiden huuhtoutumista. Ravinteiden puutos aiheuttaa aineenvaihduntahäiriöitä, mistä seurauksena lehdet ja neulaset ovat lisääntyvässä määrässä taipuvaisia aurion valon aiheuttamille vaurioille, koska lehtivihreän tarvitsemia suojayhdisteitä ei synny riittävästi. Heikentyneestä yhteyttämistehosta on seurauksena ravinnetalouden häiriintyminen ja juuriston vahingoittuminen.

Tiedot Keski-Euroopan metsätuhojen syistä osoittavat, että suurien, välittömästi vaikuttavien päästöjen aiheuttamaa puiden kuolemista lukuunottamatta puiden sairastumiset ja kuolemat ovat monitahoinen ja tällä hetkellä puutteellisesti tunnettu tapahtuma. Selitysteorioita on useita. Niissä korostetaan rikin, typen,

raskaiden metallien, otsonin tai jonkin muun tekijän merkitystä. Hämmäntävänä koetaan tuhojen "satunnainen laikuttaisuus", jossa tuhojen ja laskeumien määrän väliset suhteet eivät ole johdonmukaisia.

Jos jätepäästöt ja laskeumat lisääntyvät yhtä paljon kuin mikä on energiatuotannon ennustettu kasvu, niin malleilla saatujen tulosten mukaan puuston kasvu Suomessa lisääntyy 1990-luvulle asti ja alkaa sen jälkeen selvästi pienetä. Nykyisellä tiedon tasolla tehtyjen mallien päämerkitys on tarjota kehikko uusille tutkimuksille. Ne osoittavat alueita, joilla tarvitaan erityisesti luotettavaa tietoa.

METSÄTUHOJEN KOKONAISUUS

Kun tutkitaan jätepäästöjen tai minkä tahansa muun tekijän vaikutuksia metsäekosysteemiin, on lähtökohdaksi otettava ekosysteemin osien ja niiden välisten vaikutusten monitahoinen kokonaisuus. Jos osia tutkitaan irrallisina, ovat niiden merkitystä koskevat päätelmät suurella todennäköisyydellä harhaisia ja virheellisiä.

Tämä koskee aivan erityisesti metsätuhoja aiheuttavia yksityisiä tekijöitä, esim. rikkilaskeumaa. Sen vaikutusta ja merkitystä arvioitaessa on kiinnitettävä huomiota myös kaikkiin mahdollisiin muihin tekijöihin. Ellei tehdä näin, voidaan rikkilaskeuman tilille panna tapahtumista, johon sillä ei ole mitään osuutta tai vain osaosuus (kuva 4).

Tuhoja tutkittaessa on hylättävä "iloinen usko puun ikuiseen elämään". Puut syntyvät, kasvavat, niiden elinvoima heikkenee, ne sairastuvat ja lopulta kuolevat. Monet tuhojen aiheuttajat iskevät vasta ikänsä puolesta heikentyviin ja kuoleviin puihin. Samanlais-

ta luonnonlakien vääjäämättömyydellä tapahtuvaa puiden heikkenemistä, sairastumista ja kuolemista on myös ylitieheissä metsiköissä. Kun metsikön ikä ja tiheys ovat ensisijaisia puiden kuolemista aiheuttavia tekijöitä, ja kun seurannaistekijät kuten hyönteiset ja sienet tappavat puut lopullisesti toimimalla eräänlaisena ekosysteemin puhtaanapitolaitoksena, niin päätelmät ovat auttamattomasti virheellisiä, jos hyönteisiä ja sieniä pidetään ensisijaisina tuhojen aiheuttajina. Virhe tulee myös kalliiksi, jos tällaisissa tapauksissa yritetään välttää tuhoja torjumalla seurannaisaiheuttajia.

Ensisijainen metsätuhon aiheuttaja on tekijä, jonka vaikutuksesta siihen asti terve ja hyvin kasvanut puu menettää elinvoimaansa ja lopulta kuolee. Seurannaisaiheuttajat, yleensä hyönteiset ja sienet jouduttavat puiden kuolemista. Tietyissä olosuhteissa ne voivat olla myös ensisijaisia aiheuttajia.

Toinen näkökohta on kiinnittää huomiota metsän historiasta ja sen nykyisestä rakenteesta ja tilasta aiheutuvaan muuttumiseen. Tässä ei ole tarpeen kuvata metsien muuttumista yksityiskohtaisesti. Riittää, kun käsitellään muutamia esimerkkejä asian havainnollistamiseksi.

Laajoilla alueilla ennen muuta Etelä-Suomessa on vielä kaskikauden jälkeen syntyneitä, pioneeripuulajien kuten lepän, koivujen ja osaksi myös männyn metsiköitä muuttumassa kuusen vallitsemiksi kliimakseiksi. Ellei viimeisiä pioneerilajien puita korjata ihmisen toimesta, ne kuolevat korkean ikänsä ja kuusen niiltä vähentämän kasvutilan vuoksi.

Aikana, jolloin vain tukilla oli säännöllinen kysyntä, markkina- ja myös rakennuspuuta korjattiin harsimalla

suurimpia puita. Seurauksena oli kuusen vallitsevia harvoja ja vanhoja jätemetsiä, jotka kasvoivat usein kuuselle liian karuilla mailla. Vaikka niistä pääosa onkin uudistettu männiköiksi, on niitä vielä jäljellä Pohjois-Suomessa. Niistä vanhimmissa ovat lahoavat ja kuolevat puut yleisiä.

Sen jälkeen kun metsäpalot on saatu pinta-alaltaan pieniksi, ja kun ne eivät enää uudista metsää, jäljellä olevat ja uudistushakkuiden ulkopuolelle jääneet erämaametsät ovat vanhentuneet yli-ikäisiksi. Pohjoisimmassa Suomessa kuolee, keloutuu, lahoaa ja raunioituu puustoa sadoilla tuhansilla hehtaareilla. Sama on tilanne suuressa osassa Ahvenanmaata, missä metsiä on harvennettu liian vähän, ja missä metsiköiden yleinen ikä on 100-140 vuotta. Yli-ikäisyyden ensimmäiset seuraukset ovat vähenevä ja laadultaan huononeva tukkisaato, kuitupuun laadun aleneminen ja metsätähteen lisääntyminen. Myöhemmässä vaiheessa osa puusatoa lahoaa metsään. Etelä-Suomen rannikkomaakunnissa kuusen juurakko- ja tyvilaho pienentää tukkisaatoa noin 2 milj. hehtaarin alueella. Maannousemasieni heikentää myös puiden elinvoimaa ja lisää niiden alttiutta muille tuhoille.

Pääosalla sitä aluetta, jolla kaskeaminen ja tervanpoltto jatkuivat pisimpään, puusto on suhteellisen nuorta ja tervettä. Jos nykyiset harvennushakkuiden määrät jäävät pysyviksi, näitä metsiköitä uhkaa yli-tiheytyminen ja seuraustuhot.

Kaskeamisen, laiduntamisen ja pioneeripuulajien, erityisesti lepän muodostamien metsiköiden jälkeen maassa on paljon ravinteita ja etenkin tyypeä. Tällaisille kasvupaikoille on syntynyt luontaisesti ja istuttamalla kuusikoita, jotka kasvavat aluksi erittäin hyvin. Osassa kasvupaikkoja mineraalimaan ravinteisuus on suh-

teellisen vähäinen, ja kun niiden "ylimääräinen" ravinnevaranto on käytetty loppuun, kuusen kasvu heikkenee ja puusto alkaa rappeutua ennen ohjekiertojen saavuttamista.

Viimeisten 40 vuoden aikana on hakkuissa ja uusien metsiköiden perustamisessa ohjattu määrätietoisesti eri puulajeja niille sopiville kasvupaikoille. Uusista metsiköistä, yhteensä noin 7 milj. ha, on suurin osa männiköitä ja ne on perustettu karuimmille maille ja pohjoisimmille kasvupaikoille, joilla mänty on muita puulajeja paremmin kasvava ja arvokkaampi. Kuu-sivaltaisista metsiköistä on taas keskitetty parhaille maille ja etelään. Tavoitteena on myös ollut rauduskoivikoiden perustaminen niille sopiville hyvälle maille korvaamaan väheneviä kaskikoivikoita. Tässä ei ole kuitenkaan onnistuttu hirvituhojen yleisyyden vuoksi.

Yleisessä keskustelussa on sanottu mäntyä viljellyn liian hyvälle maille korkealaatuisen tukin kasvattamista silmällä pitäen. Nämä viljelyt käsittävät kuitenkin muutaman kymmenen tuhatta hehtaaria ja niistäkin on suuri osa metsityksiä pelloille, joille ei ole voitu istuttaa rauduskoivua hirvituhojen eikä kuusta hallan vaaran vuoksi. Vaikka näille kasvupaikoille olisikin yritetty viljellä kuusta ja koivua, ei sillä olisi parannettu tulevaisuuden mäntytukin laatua.

Turvemaan pelloilla ja paksuturpeisilla ojitetuilla soilla esiintyy puiden kasvun häiriöitä ja niihin liittyviä muita tuhoja, joiden ensisijainen syy on todennäköisesti ravinteiden keskinäisissä epäsuhteissa ja hivenravinteiden vähäisyydessä.

Suomen puuntuotanto on joutunut 1970-luvun alusta lähtien vaiheeseen, jossa hakkuumäärä on jäänyt lisäänty-

vässä määrässä puuston kasvua pienemmäksi. Nykyinen suhdannevaihteluista tasoitettu hakkuumäärä on noin 20 % kasvua pienempi. Harvennushakkuuta tehdään vain noin puolet, lähitulevaisuudessa ehkä vain noin kolmannes määrästä, jota hyvä metsänhoito edellyttää. Laajoilla alueilla metsää uudistetaan liian vähän. Tästä kaikesta seurauksena puusto vanhenee ja tiheyytyy, puista osan elinvoima heikkenee, ne altistuvat tuhoille, niitä kuolee ja runkopuuta lahoaa metsään suurenevia määriä.

Puiden ja metsiköiden vanheneminen puulajista ja kasvuolosuhteista riippuvan tietyn iän yli on ensisijainen puiden elinvoiman heikentäjä ja niiden altistaja seurannaistuhonille. Viimeaikaisessa keskustelussa on sanottu, että koska on olemassa esim. yksittäisiä 300 vuotta vanhoja ja ainakin näennäisesti terveitä mäntyjä, on virheellistä sanoa Etelä-Suomessa 140-vuotista ja Perä-Lapissa 200-vuotista männikköä yli-ikäiseksi.

Näin ajateltaessa jätetään ottamatta huomioon, että metsikkö on aina poikkeuksellisen pitkäikäisiä yksittäispuita nuorempana yli-ikäinen. Etelä-Suomessa rauduskoivikkoon tulee lahovikoja juurakkoon ja runkoon ja metsikkö altistuu myrskytuhoille 80-90 vuotiaana. Kuusikko tulee samaan vaiheeseen noin 110 vuotiaana ja alkaa sen jälkeen raunioitua nopeasti. Männikköä voidaan kasvattaa vanhemmaksi etenkin karuimmilla mailla, joskin sen runkotilavuuden kasvu pienenee selvästi 110-120 vuoden iän jälkeen. Perä-Lapissa tukki-tuotokseen tähtäävä männikön kiertoaika voi olla 160-180 vuotta. Kun näissäkin olosuhteissa männikkö ylittää 200 vuoden iän, niin puiden kuoleamisen aiheuttama runkotilavuuden väheneminen ylittää kasvun ja puusto alkaa pienetä. Puuston raunioitumisen alkamista voidaan lykätä korjaamalla sairaita ja kuolevia puita harvennuksissa.

Metsikön ylitiheyden merkitys puiden ensisijaisena tappajana tulee hyvin esille tarkasteltaessa luonnon-tilaisten harventamattomien metsiköiden runkoluvun kehittymistä. Etelä-Suomen mustikkatyypin männikössä on 20 vuoden iällä noin 8 000 elävää puuta ja 100 vuoden iällä enää noin 700. Saman metsätyypin kuusikossa vastaavien iänkohtien runkoluvut ovat 15 000 ja 1 500. Ylitiheässä metsikössä puiden elävä latvus on pieni ja tupsumainen. Rungot ovat ohuita. Tällainen metsikkö on alttiimpi hyönteistuhoilille ja erityisesti lumenmurroille kuin hoidettu ja harvennettu metsikkö. Jos lumenmurto vaurioittaa harventamattoman metsikön ja jättää vieressä kasvavan harvennetun metsikön vaurioittamatta, on johdonmukaista pitää ylitiheyttä ensisijaisena syynä tuhoon.

Puulajin ja kasvupaikan yhteensopimattomuus on ensisijainen sairauksien ja kuoleamisen aiheuttaja esim. silloin, kun puun siemen on siirretty kasvupaikalle liian erilaisesta ilmastosta. Alkuperäalueen ja kasvupaikan erilaisuuden tuhoja aiheuttavasta vaikutuksesta löytyy hyviä esimerkkejä ulkolaispuulajien viljelykokeista ja taimikoista, joita viljeltäessä siemen on siirretty Etelä-Suomesta Lappiin.

Puun korjuun menetelmät ja kalusto, jotka vaurioittavat puiden juuria ja runkoja, ovat ensisijaisia tuhojen aiheuttajia, vaikka sienet ja hyönteiset olisivatkin puiden lopullisia tappajia. Myrskytuhopuiden ja kuorellisen puutavaran jättäminen metsään yli kevään ja alkukesän voi lisätä kaarnakuoriaisia niin paljon, että ne tappavat eläviä puita. Tällöin kuorellisen runkopuun metsään jättäminen on ensisijainen syy tuhoon ja tuhon torjunta on aloitettava siitä eikä kaarnakuoriaisista. Samalla tavalla puiden elinvoiman heikentäminen kasvattamalla metsikkö liian vanhaksi ja ylitiheäksi altistaa puita kaarnakuoriaisille ja on jälleen ensisijainen tuhon aiheuttaja.

Muita puiden elinvoiman heikentäjiä ovat keskimääräistä suuremmat lämpötilan vaihtelut varsinkin lähellä metsänrajaa, poikkeuksellisen kuivat kesät, jotka myös vaurioittavat puiden hiusjuuria, puiden juuria ja runkoja vaurioittava rakentaminen ja rakentamisesta sekä maansiirrosta aiheutuvat pohjavesisuhteiden muutokset.

Metsään kulkeutuvat jättepäästöt ovat etenkin suurina määrinä ensisijainen tuhon aiheuttaja. Sitä on myös hapan laskeuma silloin, kun se huonontaa maan ravinejärjestelmää. Puun neulasille ja lehdille tulevan laskeuman haitallinen vaikutus on sitä suurempi, mitä heikompi on puiden elinvoima, mikä taas puolestaan voi johtua monista muista syistä, kuten edellä on todettu. Jos laskeuma tai mikä tahansa muu tekijä tappaa puita vanhassa, ylitiheässä ja hoitamattomassa metsässä enemmän kuin hoidetussa ja ikärakenteeltaan hyvässä metsässä, on huono metsänhoito ensisijainen ja laskeuma täydentävä tuhojen aiheuttaja. Pelkkä laskeuman poistaminen ei tällaisessa tapauksessa lopeta tuhoja.

Esitetyn perusteella on välttämätöntä, että tutkittaessa laskeumien vaikutusta ja tehtäessä havaintoja puiden terveydentilasta pyritään selvittämään jokaisen puun elinvoiman heikkenemisen, sairauden ja kuoleman ensisijainen, seurannais- ja täydentävä aiheuttaja. Vain näin menettelemällä kyetään arvioimaan erilaisten mahdollisten tuhonaiheuttajien merkitys ja toteuttamaan haluttuun tulokseen johtavaa tuhojen torjuntaa.

KIRJALLISUUS

- Arovaara, H., Hari, P. & Kuusela, K. 1984. Possible effect of changes in atmospheric composition and acid rain on tree growth. *Seloste: Ilmakehän ominaisuuksien muutosten ja happaman laskeuman mahdollinen vaikutus puuston kasvuun. Commun.Inst.For.Fenn. 122:1-16.*
- Energiantuotannosta peräisin olevien ilman epäpuhtauksien vaikutus metsän tuotokseen. Helsingin yliopiston metsänhoitotieteen laitoksen tiedonantoja N:o 44. 1983.
- Eyre, S.R. 1979. *Vegetation and soils. A World Picture.* Edward Arnold.
- Havas, P. 1977. Lapin kuusikot - esimerkki metsän ekologisista ulottuvuuksista. *Academia Scientiarum Fennica. Vuosikirja - Year Book 1977, s. 143-153.*
- Kubin, E. 1984. Organic matter and nutrients in a spruce forest and the effect of clear cutting upon nutrient status. *Acta Universitatis Ouluensis. Series A. Scientiae Rerum Naturalium No. 159. Biologica No. 23.*
- Kuusela, K. 1984. Euroopan metsävarat ja niiden käyttö. Suomen itsenäisyyden juhluvuoden 1967 rahasto (SITRA). Sarja B, Nro. 75: 1-75.
- Mälkönen, E. 1982. Metsämaatieteen perusteita. Tiedonantoja n:o 19. Helsingin yliopisto, Metsänhoitotieteen laitos.
- Paterson, S.S. 1956. The forest area of the world and its potential productivity. *Meddelande från Göteborgs Universitets Geografiska Institution 51.*
- Prinz, B., Krause, G.H.M. ja Jung, K-D. 1984. Metsäkuolema potentiaalisista syistä. Energiapäivä 84:llä pidetty esitelmä. Suomen Voimalaitosyhdistys r.y.

ISBN 951-40-0930-4
ISSN 0358-4283