

**METSÄHALLITUS KEHITTÄMISYKSIKKÖ TIEDOTE 5/1994**

# **Tuli pohjoisissa havumetsissä ja metsänhoidollinen kulutus**

**Juhani Karjalainen**



# Sisällys

Johdanto.....	3
Tulen merkitys metsien kehityksessä .....	3
Metsäpalot boreaalisessa vyöhykkeessä .....	4
Metsäpalojen toistuminen ja yleisyys.....	4
Metsäpalot Suomessa ennen 1800-lukua .....	4
Metsäpalot valtion mailla vuoden 1865 jälkeen.....	5
Metsäpalojen esiintyminen ja luonne .....	5
Metsäpaloalueiden metsittyminen.....	6
Kulotuksen vaikutukset metsäekosysteemissä.....	6
Happamuus.....	6
Orgaanisen aineen määrä.....	7
Typpi.....	7
Kivennäisravinteet.....	7
Mikrobit .....	8
Lämpötilat kulotuksessa.....	9
Kulotus Pohjois-Amerikassa .....	9
Kulotuksen tavoitteet .....	9
Kulotuksen suunnittelu.....	9
Polttotekniikat.....	9
Sytytysmenetelmät.....	15
Kulotuskoe Alaskassa .....	17
Tulen hallinta ja sammutus.....	17
Kastelulaitteet.....	17
Veden ominaisuuksien muuttaminen .....	18
Palamista ehkäisevät aineet .....	18
Kulotuksen tulevaisuus Metsähallituksessa .....	19
Kirjallisuutta .....	20
Liite 1 Kulojen lukumäärä, kpl/maa-alan 100 000 ha ja keskikoko, ha valtionmetsissä v. 1865–1920 (Saari 1923).....	23

# Johdanto

Metsäpalot ovat kuuluneet Pohjoisen havumetsävyöhykkeen luontaiseen kehityskiertoon koko jääkauden jälkeisen ajan. Jo A. K. Cajander (Saari 1923) sanoi: "Vanhoina aikoina on varsinkin kulojen merkitys ollut erittäin suuri. Huoleti voinee väittää, että Suomessa tuskin on sitä metsäalaa, jota kulot eivät olisi koskaan polttaneet ja lukemattomia metsäaloja ovat kulot kerran toisensa jälkeen korventaneet."

Kulutuksen avulla metsäekosysteemin kehitys saadaan palautettua luonnonmukaiseen alkupisteeseen. Maaperän happamuus vähenee vuosikymmeniksi, ja humukseen sitoutuneita ravinteita vapautuu uuden metsän käyttöön. Metsäekosysteemin toiminnan ja metsänuudistamisen kannalta kulotuksen vaikutukset ovat sekä lyhyellä että pitkällä aikavälillä lähes poikkeuksetta myönteisiä.

Eri puolilla maailmaa alueita kulotetaan eri syistä; metsäpalojen torjumiseksi, kasvillisuuden rajoittamiseksi, kasvijäänteiden ja muiden jätteiden hävittämiseksi, ekosysteemin luonteen muuttamiseksi, riistan elinympäristön parantamiseksi, tautien torjumiseksi sekä metsänhoidollisten tavoitteiden saavuttamiseksi. Pohjoisella havumetsävyöhykkeellä on kulotettu lähinnä metsänuudistamisen varmistamiseksi. Suomessa kulotus alkoi ylimetsänhoitaja Arvid Borgin laajamittaisilla kulotuskokeilla vuonna 1913 (Kulotustoimikunnan mietintö 1980). Ensimmäinen kulotuksen huippukausi oli 1930-luvulla, jolloin kulotettiin noin 8 000 ha vuodessa. Kulotuksen toinen tuleminen ajoittui 1950- ja 1960-luvuille. Silloin kulotettiin jopa 30 000 ha/v. Metsähallituksen maita kulotettiin 1950-luvun loppupuolella 15 000–17 000 ha vuodessa. Vielä 1980-luvun lopullakin vuosittaiset kulotusmäärät olivat n. 2 000–3 000 ha, mutta vuonna 1993 enää 220 ha. Vuoden 1994 kulotustavoite Metsähallituksessa on 1 200 ha.

Kulutuksen kehittäminen on ollut viime vuosikymmenien aikana Suomessa hyvin vähäistä. Työmäärien vähenemisen myötä käytännön kokemus ja taito ovat häviämässä. Tämän selvityksen tavoitteena on ollut koota tietoa tulen ekologisista vaikutuksista sekä uusista kulotusmenetelmistä ja tekniikoista.

## Tulen merkitys metsien kehityksessä

Tuli on luonnollinen metsänuudistaja. Se on ollut yksi tärkeimmistä epäsuorasti ilmastosta riippuvista boreaalisten metsäekosysteemien kehitystä säätelevistä tekijöistä. Metsäalueella tuli aiheuttaa paikallisesti ja ajallisesti metsiköiden ja kasvillisuuden mosaiikkimaista kehittymistä, jolloin alueella esiintyvät kasviyhdyskunnat edustavat alueen kasvillisuuden koko palokierron aikaista kehityskirjoa. Boreaalinen metsä on nuori ja koko ajan kehittyvä ekosysteemien suurilmastoalueellinen yhdistelmä. Suurimmalla osalla pohjoista havumetsävyöhykettä on viimeisestä jääkaudesta kulunut alle 10 000 vuotta.

Luonnonkulojen jäljiltä metsään jää sekä kuollutta että elävää puuta, varsinkin kosteisiin painanteisiin. Sukkession alkuvaiheessa pioneirilajit valtaavat alueen. Puulajeista lehtipuut ja mänty muodostavat primaarivaiheen metsiköitä. Kuusi työntyy vähitellen alikasvokseksi ja

myöhemmin karuimpia kasvupaikkoja lukuun ottamatta myös metsikön vallitsevaksi latvuskerrokseksi. Sirenin (1955) mukaan primaarimetsikön kliimaksvaihe ajoittuu 220–240 vuoden päähän sukkession alkupisteestä. Mikäli tuli tai muu häiriötekijä ei katkaise kehitystä ja aloita sukkessiota alusta, eli ei tapahdu niin sanottua suurta kiertoa, alkaa vanhan metsän sisällä pieni kierto. Puita alkaa kuolla vanhuuttaan muodostaen metsään pienialaisia aukkoja, jotka uudistuvat vähitellen. Metsikön rakenteessa tapahtuu vähittäisiä pienialaisia muutoksia.

Suomalaisen metsäluonnon monimuotoisuuden säilyttämisessä ja tarkoituksenmukaisessa lisäämisessä ovat aarniometsä-, palanut metsä- ja nuori lehtimetsäsuknessiovaiheet erityisen tärkeitä.

## **Metsäpalot boreaalisessa vyöhykkeessä**

### **Metsäpalojen toistuminen ja yleisyys**

Pohjois-Amerikan boreaalisissa metsissä keskimääräinen luontainen palokierto on ollut noin 150 vuotta (Wein ja Maclean 1983). Eteläboreaalisissa metsissä kierto on ollut noin 130 vuotta ja keskiboreaalisissa havumetsissä alle 100 vuotta. Vyöhykkeen pohjoisosien jäkäläkuusimetsissä palot ovat toistuneet noin sadan vuoden välein. Metsätundran eteläosissa palokierto on ollut keskimäärin 180 vuotta, kun se pohjoisosissa on ollut lähes 1 500 vuotta ja varsinaisella tundralla useita tuhansia vuosia.

Ruotsalaisten tutkijoiden (Angelstam ja Rosenberg 1993) mukaan 95 % metsäpinta-alasta on joskus palanut. Tuoreet metsät, joiden osuus on 15 %, palavat vain harvoin, 70 % metsistä palaa silloin tällöin ja 10 % usein. Pohjois-Ruotsissa kuivien hiekka- ja sorakankaiden metsät ovat palaneet keskimäärin 50 vuoden välein. Tuoreilla moreenimailla palokierto on ollut keskimäärin 120 vuotta.

### **Metsäpalot Suomessa ennen 1800-lukua**

Luonnonkulot ovat kuuluneet Suomen luontoon koko jääkauden jälkeisen ajan. Pohjois-Karjalasta on suokerrostumia tutkimalla voitu ajoittaa vanhin palo tapahtuneeksi noin 9500 eKr. (Wein ja Maclean 1983).

Eteläsuomalaisen Ahvenisen järven 2,5 metrin vahvuisesta pohjasedimentistä on pystytty erottamaan 6 200 vuosilustoa. Järven valuma-alue on alle 8 ha. Piilevä-, siitepöly- ja hiilimäärityksillä on selvitetty mm. järven valuma-alueella sattuneet metsäpalot. Vanhimmat merkit ihmisen vaikutuksista ulottuvat yli 5 000 vuoden päähän. Voimakkain kaskikulttuurin kausi ajoittuu kuitenkin 1200–1700-lukujen väliseen aikaan. Tällä ajanjaksolla mm. pohjalietteen sedimentoitumisnopeus kasvoi 2–3-kertaiseksi aikaisempiin vuosituhansiin verrattuna.

Ahvenisen järven valuma-alueen vanhimmat palot ajoittuvat noin 6 000 vuoden päähän. Ennen ihmisen voimakasta vaikutusta alueen tuoreet kuusivaltaiset metsät olivat palaneet keskimäärin vähän yli 200 vuoden välein. Pronssi- ja rautakaudella ihmisen vaikutus alkoi jo nä-

kyä, ja palokierto lyheni 75–125 vuoteen. Intensiivisen kaskikulttuurin vaikutuksesta palokierto lyheni koko ajan ollen 1500–1700-lukujen vaiheilla vain noin 20–40 vuotta. Useiden vuosisatojen ajan metsien luontainen kehittyminen katkesi toistuviiin kaskeamisiin.

Pohjois-Karjalassa sijaitsevan Laukunlammen pohjasedimenttitutkimukset osoittavat valuma-alueen mäntyvaltaisten metsien palaneen "luonnontilassa" keskimäärin 78 vuoden välein.

## **Metsäpalot valtion mailla vuoden 1865 jälkeen**

Valtion metsissä syttyi vuosina 1865–1900 keskimäärin 124 metsäpaloa vuodessa. Vuosittainen paloala oli hieman alle 10 000 hehtaaria. Pinta-ala vaihteli kuitenkin voimakkaasti, alle 200 hehtaarista yli 64 000 hehtaariin. Keskimäärin paloalan koko oli 78 hehtaaria. Maa-alasta paloi vuosittain keskimäärin 0,9 promillea. Nykyiselle Metsähallituksen hallinnassa olevalle pinta-alalle laskettuna se merkitsisi yli 7 500 hehtaarin vuotuista paloalaa.

Etelä-Suomen valtionmailla salama sytytti 1910-luvulla noin 15 % metsäpaloista. (Saari 1923). Vastaava osuus Pohjois-Suomessa oli 42 % ja Lapin hoitoalueissa 54 %, joten siellä ihmisen osuus kulojen sytyttäjänä oli selvästi pienempi kuin Etelä-Suomessa. Pohjois-Suomessa syttyi kuloja vuosittain kuitenkin vain 0,5 kpl maa-alan 100 000 hehtaaria kohti. Etelä-Suomessa vastaava luku oli kahdeksankertainen.

Pohjois-Suomen valtionmailla metsäpalojen keskikoko oli 1910-luvulla lähes 40 hehtaaria. Etelä-Suomen valtion mailla vastaava luku oli 18 hehtaaria. Paloalojen keskikoko vaihteli suuresti myös eri hoitoalueissa. Rovaniemen hoitoalueessa se oli 193 hehtaaria ja Iin hoitoalueessa 2 hehtaaria. Joissakin eteläisissä hoitoalueissa paloalan keskikoko jäi jopa alle hehtaariin. Palojen voimakkuus oli yleensä niin suuri, että myös puusto vaurioitui. Etelä-Suomessa paloalasta vain 5 % oli puhdasta maapaloa, jolloin puusto säilyi vahingoittumattomana. Pohjois-Suomen kuloissa vastaava osuus oli 12 %.

Metsähallituksen mailla syttyi 1920–1950-luvuilla keskimäärin 105 paloa vuodessa. Saman jakson keskimääräinen paloala oli 5 500 hehtaaria vuodessa, joten metsäpalojen keskikooksi muodostui noin 52 hehtaaria. (Palolain tarkistuskomiteanmietintö 1972). Metsäpalojen lukumäärä riippuu paljolti kesän sääoloista, paloala puolestaan tähytys- ja sammutustoiminnan tehokkuudesta. Palojen lukumäärä oli 1960–1970-luvuilla 10–210 tapausta vuodessa (Salo 1985). Tehostuneen tähytyksen ja sammutustoiminnan ansiosta metsäpalojen keskikoko oli 1970-luvulla enää vain 1,4 hehtaaria.

## **Metsäpalojen esiintyminen ja luonne**

Vuosina 1911–1914 valtionmaiden metsäpaloista 2/3 oli kuivilla ja kuivahkoilla kankailla. Tuoreiden kivennäismaiden osuus oli noin 1/5, ja suopaloja oli alle 10 % lukumäärästä. Korpia paloi vain 25 hehtaaria koko neljän vuoden ajanjakson 15 000 hehtaarin paloalasta. Paloista 2/3 syttyi puhtaissa männiköissä ja vain alle 3 % puhtaissa kuusikoissa. Syttymisvaara oli suurin puhtaissa männiköissä, mutta suurin tulen leviämiskaava oli mänty-kuusisekametsässä. Laajuudeltaan pienimmiksi metsäpalot jäivät lehdoissa ja lehtomaisissa metsissä. Lehtipuus-



ton osuuden lisääntyessä metsikössä sen paloherkkyys pienenee. Erityisesti tuoreet ja kosteakot painanteet, joissa kasvaa kuusta ja koivua, säästyvät monesti kuloilta. Ainakin niissä olevat männyt säilyvät elossa, millä on suuri merkitys palon jälkeisessä metsän uudistumisessa.

Yksittäisen kulon laajuuteen vaikuttavat mm. sammutustoiminnan tehokkuus, soiden ja vesistöjen sijainti ja määrä, pintakasvillisuuden ja metsikön tulenarkuus sekä säätila.

## **Metsäpaloalueiden metsittyminen**

Kuloalat siementyvät yleensä ensimmäisenä palon jälkeisenä siemenvuonna. Ilvessalon (1917) mukaan kuloala uudistuu Etelä-Suomessa 5–20 vuodessa, hyvillä metsätyypeillä yleensä lyhemmässä ajassa kuin huonoilla. Pohjois-Suomessa uudistuminen kestää 20–30 vuotta.

Herttuainen (1981) havaitsi tutkimuksessaan Sodankylän Tankavaarassa sijaitsevien kulotettujen alojen taimettuneen erittäin hyvin. Läkkeitä männyn siemenpuut eivät näyttäneet juuri kärsivän kulotuksesta. Kulotetuilla kuivan kankaan siemenpuualoilla oli miltei 13 000 männyn tainta/ha ja kulotetulla avohakkuualalla vastaavasti 9 000 tainta/ha. Kulottamattomilla aloilla oli alle 3 000 tainta/ha. Kulotuksesta oli kulunut 28 vuotta. Kulotetuilla aloilla reunametsän siemennys ulottui taimettumisen kannalta riittävänä jopa 100 metrin päähän reunametsästä.

Samanaikaisesti kulotuksella oli selvästi myönteinen vaikutus taimien pituuskehitykseen. Kuivien kankaiden kulotetuilla aloilla taimet kasvoivat yhtä hyvin kuin taimet kuivahkojen kankaiden kulottamattomilla aloilla. Kulotus paransi maan kasvukuntoa yhdellä kasvupaikkaluokalla. Kulotuksen vaikutus näyttäisi Metsä-Lapin oloissa kestävän ainakin 30 vuotta. Ruotsalaisen (Lundmark 1988) tutkimuksen mukaan kulotetun alueen männikkö tuotti 63 vuodessa 30 % enemmän puuta kuin kulottamaton vertailualue, ja viimeisen kuusivuotiskauden tilavuuskasvu oli vastaavasti 1,8-kertainen. Kuusi ei sopeudu kulotuksen jälkeisiin olosuhteisiin yhtä hyvin kuin mänty. Kulotusalan kuusikon tilavuuskasvu 42 vuodessa oli vain puolet kulottamattomaan verrattuna.

Alavien kankaiden paloaloilla pohjaveden pinnan nousu aiheuttaa soistumista. Tällaiset alueet uudistuvat herkästi siemensyntyisiksi koivikoiksi.

## **Kulotuksen vaikutukset metsäekosysteemissä**

### **Happamuus**

Orgaanisen aineen palaessa sen sisältämät kivennäisravinteet vapautuvat pääasiassa oksideina ja karbonaateina. Tällöin happamuus vähenee selvästi humuskerroksessa ja lievästi myös kivennäismaassa. Happamuuden väheneminen on tutkimusten mukaan ollut yleensä 0,5–2,0 pH-yksikköä, ja sen kesto aika vaihdellut muutamasta vuodesta useisiin kymmeneen vuosiin. Happamuuden vähenemiseen vaikuttavat lähinnä maaperän ominaisuudet sekä tuhkan laatu ja määrä. Mervi Puustisen (1994) tutkimuksessa Kiannan hoitoalueen Riuskan Isolehdon kulotuskokeessa kesällä 1992 humuksen pH-luku nousi kulotuksen jälkeen pH 4:stä pH 5:een.

## Orgaanisen aineen määrä

Hakkuutähteiden, humuksen ja karikkeen palaminen kulotuksessa riippuu ensisijaisesti polton onnistumisesta ja tulen voimakkuudesta. Tulen voimakkuus riippuu puolestaan humuksen kosteudesta ja palavan aineen määrästä ja laadusta. Alaskassa tehdyissä (Zasada & Norum 1986) kokeissa humuskerros oheni noin puoleen. Viron (1969) tutkimuksissa humuskerroksen paino väheni kulotuksessa neljänneksellä ja sen palautuminen paloa edeltäneeseen tilaan kesti noin 50 vuotta.

Riuskan kokeessa hakattu puumäärä oli noin 170 m<sup>3</sup>/ha, josta mäntyä 20 %, kuusta 70 % ja koivua 10 %. Hakkuutähteitä kertyi noin 23 tn/ha, ja pintakasvillisuuden, karikkeen ja humuksen määrä oli noin 54 tn/ha. Kulotuksessa hakkuutähteistä paloi 89 % sekä humuksesta ja pintakasvillisuudesta 63 %.

## Typpi

Riuskan kokeessa hakkuutähteet sisälsivät ennen kulotusta typpeä 66 kg/ha ja pintakasvillisuus, karikkeet ja humus yhteensä 490 kg/ha. Palamisessa vapautuu orgaanisiin rakenteisiin sitoutunutta typpeä kasvillisuudesta, hakkuutähteistä sekä karike- ja humuskerroksesta. Typen häviö riippuu suoraviivaisesti palaneen orgaanisen aineen laadusta ja määrästä sekä lämpötilasta. Kivennäismaassa muutokset ovat olleet vaihtelevia, mutta yleensä vähäisiä. Voimakas palo vähentää myös kivennäismaakerroksen kokonaistyppeä, mutta lisää kasveille käyttökelpoista typpeä. USA:ssa Kaskadeilla tehdyissä tutkimuksissa on palamisen aikana pinta- maasta haihtuneen typen havaittu korvautuneen typen sidonnan ansiosta 25 vuodessa kulotuksen jälkeen.

Käyttökelpoisen typen määrä palon jälkeen lisääntyy aluksi fysikaalis-kemiallisten reaktioiden kautta ja myöhemmin mikrobiaktiivisuuden kautta. Kubinin (1984b) kokeissa humuksen ammoniumtyppipitoisuus nousi selvästi ja nitraattityppipitoisuuskin hieman. Saman suuntaisia havaintoja tehtiin myös Viron (1969) tutkimuksissa ja Sepposen (1987) Pisavaaran luonnonpuiston metsäpalotutkimuksissa. Samoin Riuskan kokeessa kulotus nosti ammoniumtyppipitoisuuden kulotuskesänä kolminkertaiseksi verrattuna avohakkuualan arvoihin. Avohakkuu puolestaan kohotti ammoniumtyppipitoisuuden yli kaksinkertaiseksi hakkaamattomaan vaihtoehtoon verrattuna. Yleensä nitrifikaation on havaittu hyötyvän kulotuksesta varsinkin, jos palaminen on lievää. Riuskan kulotuksessa nitraattityppipitoisuus ei kulotuskesänä kohonnut merkittävästi avohakkuuseen verrattuna. Toisena kesänä nitrifikaatio voimistui selvästi (suull. Fritze 1994).

## Kivennäisravinteet

Kasvien rakenteisiin sitoutuneet kivennäisravinteet vapautuvat palamisessa ja tulevat tuhkana maahan. Tuhkaa muodostuu avohakkuun ja kulotuksen seurauksena kuusikoissa noin 1 000 kg/ha ja männiköissä noin 500 kg/ha.

Kalium, kalsium ja magnesium ovat tuhkassa pääasiassa oksideina ja karbonaatteina ja osittain myös fosfaatteina. Fosfori esiintyy vesiliukoisena emäksisenä fosfaattina. Hakkuutähteiden

ja sammaleen sisältämät ravinteet tulevat tuhassa humuskerrokseen, joten humuskerroksen kokonaisravinnepitoisuudet ja vaihtuvat eli liukoiset ravinnepitoisuudet kasvavat. Kalsium ja magnesium sitoutuvat humukseen tiukemmin kuin kalium, natrium ja fosfori.

Kokonaisfosforipitoisuudet kasvavat humuksessa palon voimakkuuden myötä. Kubinin (1984b) tutkimusten mukaan kulotuksen jälkeen ravinteiden liukoiset pitoisuudet kohosivat 2–5 kertaisiksi polttoa edeltäneeseen tilanteeseen verrattuna. Eniten kohosi liukoisen fosforin pitoisuus. Neljä kuukautta kulotuksen jälkeen pitoisuudet laskivat lähes poikkeuksetta varsin selvästi, mikä on pääasiassa seurausta ravinteiden huuhtoutumisesta maaprofiilissa alaspäin.

**Kubinin** (1984a) mukaan kulotus vähentää lievästi hakkuutähteiden ja humuksen kivennäisravinteiden kokonaismääriä.

Kulotustutkimuksissa on havaittu kivennäisravinteiden kohonneita liukoisia pitoisuuksia mineraalimaan pintaosissa. Vaikutuksen suuruus riippuu palamisen voimakkuudesta. Viron (1969) mukaan kalsium ja magnesium pidättyvät hyvin kivennäismaahan ja niiden käyttökelpoiset määrät pysyvät kauan suurina. Myös fosfori ja kalium sitoutuvat kivennäismaahan paremmin kuin humukseen. Kulotuksen vaikutus kivennäismaan ravinteisiin on lyhytaikaisempi kuin kasvillisuuteen ja humuskerrokseen.

## Mikrobit

Maamikrobeilla on tärkeä osa kasvien ravinteiden otossa. Siksi on tärkeää tietää kulotuksen vaikutus mikrobien määrään ja toimintaan.

Evolla tehdyissä kulotuksissa ja Patvinsuolla tehdyssä kokeessa, missä jäljiteltiin metsäpaloa, tutkittiin palamisen vaikutuksia humuksen mikrobeihin (Pietikäinen ja Fritze 1993). Humuksen vahvuus oli kulotetulla alueella 42 % ja metsäpaloalueella 68 % kulottamattoman vertailualueen humuksen vahvuudesta. Tavanomaisen kulotuksen jälkeen mikrobien hiilenä mitattu massa oli 40 % pienempi kuin kulottamattomalla vertailualueella. Metsäpaloalueella mikrobit vähenivät vastaavasti 20 %. Arvot laskettiin kolmen vuoden tutkimusjakson vuotuisista keskiarvoista. Mikrobeihin sitoutunut tyyppi väheni kulotusalueella 48 % vertailualueen arvoista, mutta metsäpaloa jäljittelevässä käsittelyssä ainoastaan 5 %. Sienirihmastojen pituus humuksessa väheni kulotuksessa keskimäärin 48 % ja metsäpalossa 26 %. Metsäpaloalueella sienirihmaston pituus ja mikrobeihin sitoutuneen tyypin määrä saavuttivat vertailualueen tason tutkimusjakson aikana.

Mikrobiston massan alenemisen lisäksi kulotus ilmeisesti vaikuttaa humuksen mikrobilajiston koostumukseen ja sitä kautta myös muutoksiin maahengityksessä. Lisäksi palon aikana syntyy yhdisteitä, jotka ehkäisevät hengitystä (suull. Fritze 1994). Maahengitys väheni kulotuksen jälkeen keskimäärin kolmen vuoden keskiarvona kulotuksessa 32 % ja jäljitellyssä metsäpalossa 22 %. Kulotusalueen humuskerros oli kuivempaa kuin jäljitellyn metsäpaloalueen humuskerros. Lajisto ja kasvualustan olosuhteet vakiintuvat noin viidessä vuodessa (Fritze, ym. 1993). Havumetsissä mikrobisto koostuu valtaosin sienistä, joiden toivuttua mikrobiston määrä ja toiminta saavuttaa tasapainotilan noin 12 vuodessa kulotuksesta.



## Lämpötilat kulotuksessa

Ruotsalaisissa (Ugglan 1957) kulotustutkimuksissa korkeimmat mitatut lämpötilat olivat jopa 1150 °C liekkien ollessa 1–2 metriä korkeita. Maanpinnassa mitattiin noin 400–500 °C lämpötiloja. Humuskerros on hyvä lämmön eristäjä. Jo kolmen senttimetrin syvyydessä lämpötila saattoi olla jopa yli 400 °C alhaisempi kuin maan pinnalla.

Eräissä testissä lämpötila kolmen metrin korkeudella kohosi 220 asteeseen, 6 ja 9 metrin korkeudella vastaavat lämpötilat olivat 150 ja 45 astetta. Siemenpuiden vahingoittumisen kannalta kellanruskea–musta savu on erityisen vaarallista, koska se epätäydellisen palamisen tuloksena sisältää orgaanisia aineksia, jotka voivat leimahtaa tuleen. Valkoharmaa savu sisältää lähinnä vesihöyryä, eikä äkillistä lämpötilan nousua tapahdu. Amerikkalaisten (Mobley 1978) tutkimusten mukaan lämpötila kolme metriä liekin yläpuolella oli noin 300 °C ja 6 metrin korkeudella enää 90 °C.

Männyn neulasen kestävyys 54 °C lämpötilaa noin viisi minuuttia, mutta 63 asteen kuumuutta vain muutamia sekunteja. Sopiva tuuli estää lämpöä kohoamasta siemenpuiden latvuksiin, ja se myös viilentää säteilylämmön kuumentamia latvuksia.

## Kulotus Pohjois-Amerikassa

### Kulotuksen tavoitteet

Yhdysvalloissa ja Kanadassa käytetään tulta luonnonvarojen hoidossa monien tavoitteiden saavuttamiseksi. Erityisesti etelävaltioissa kulotetaan metsäpalovaaran vähentämiseksi, tautien ja aluskasvillisuuden kontrolloimiseksi, kulkukelpoisuuden ja näkyvyyden parantamiseksi sekä maisemanhoidollisista syistä. Kulottamalla parannetaan karjan laitumia ja riistan elinympäristöjä. Metsänhoidollista kulotusta viljelyn tai luontaisen uudistamisen edistämiseksi tehdään monissa osavaltioissa, Kanadassa erityisesti Ontariossa ja Brittiläisessä Kolumbiassa.

### Kulotuksen suunnittelu

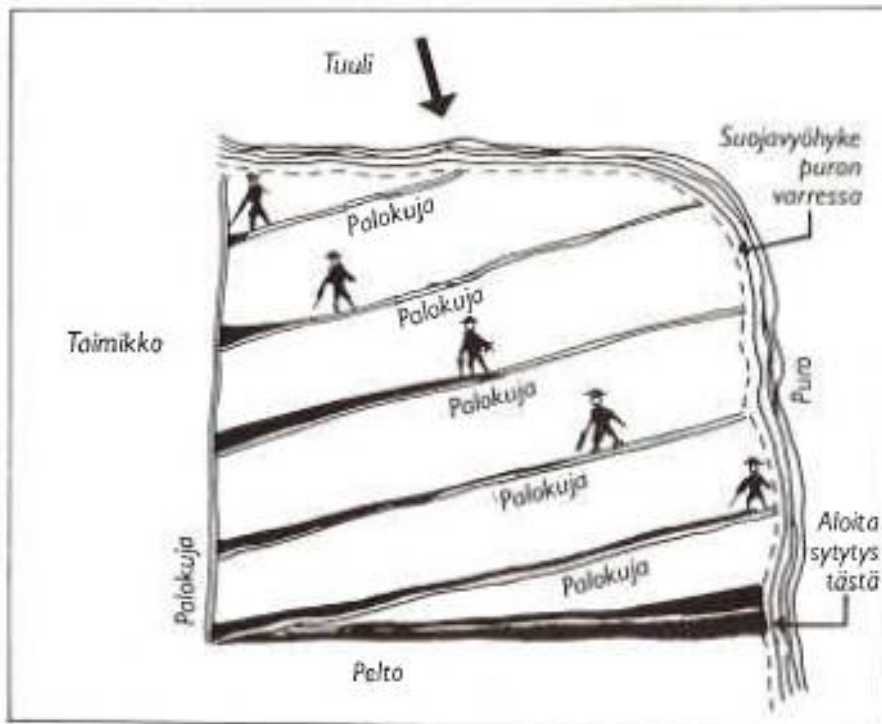
Kulotuksen suunnittelusta ja toteutuksesta on hyvin tarkat ja yksityiskohtaiset oppaat ja ohjeet. Aluksi määritellään kulotuksen tavoite, sitten suunnitellaan ja toteutetaan kulotus siten, että tavoitteisiin päästään tehokkaasti ja turvallisesti. Kulotuksen suunnittelussa ja toteutuksessa käytetään apuvälineinä erilaisia järjestelmiä, mm. tietokoneohjelmia, joilla ennustetaan polton vaikutuksia ja verrataan niitä kulotuksen tavoitteisiin. Ennustemalleissa ovat muuttujina palavan materiaalin määrä ja kosteus sekä säätä ja kulotettavaa aluetta kuvaavat tekijät.

### Polttotekniikat

Käytettävää polttotekniikkaa valittaessa otetaan huomioon kulotettavan alueen ominaisuudet, palavan materiaalin määrä ja laatu sekä sääolosuhteet. Kulotuksen tavoitteisiin pyritään minimoimalla polttoaika ja kustannukset sekä estämällä mahdollisimman tehokkaasti ympäristöön kohdistuvat haitalliset vaikutukset.

## Vastasytytys

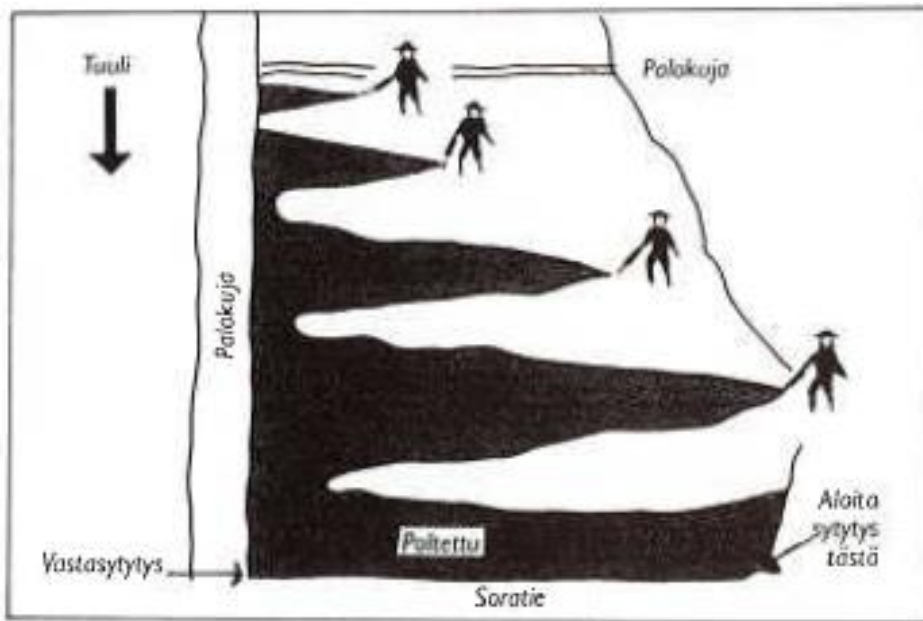
Tuli sytytetään tuulen alta kulotettavan alueen reunaan raivatulta palokujalta. Tuli etenee hitaasti vastatuuleen. Tuulen nopeuden vaihtelulla ei ole suurta merkitystä tulen etenemisnopeuteen. Suositeltava tuulen nopeus on 2–5 m/sek. Menetelmän etuina ovat helppous ja turvallisuus. Tekniikalle on ominaista polton hitaus ja alhainen tulen voimakkuus, mikä vähentää puuston kärventymisvaaraa. Menetelmän haittoina voidaan pitää korkeita kustannuksia ja savun pysymistä maanpinnassa. Tämä tekniikka edellyttää, että palava materiaali on kuivaa ja sitä on kauttaaltaan kulotettavalla alueella.



Kuva 1. Vastasytytystekniikassa poltto etenee vastatuuleen (Mobley 1978).

## Kaistalemyötäsytitys

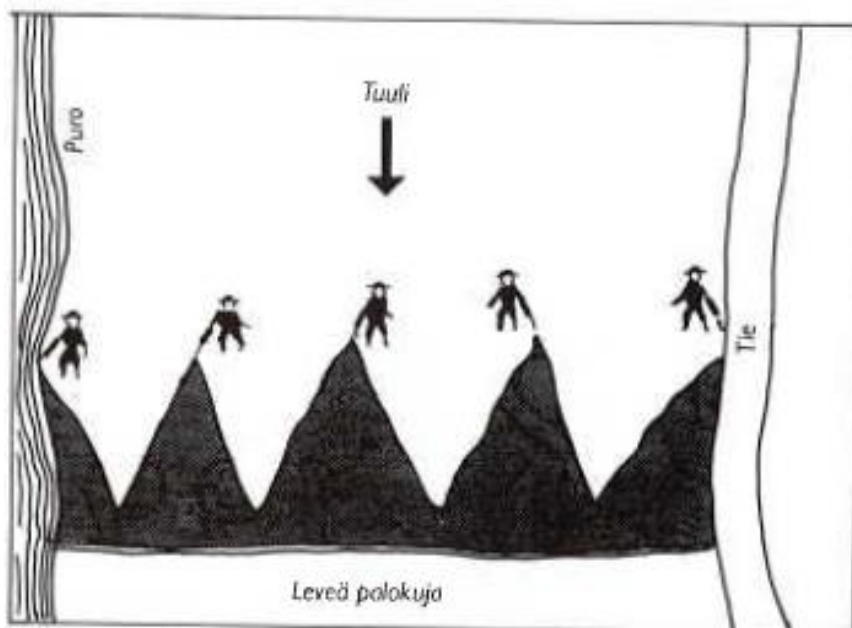
Ensimmäinen kaista poltetaan vastatuuleen, jonka jälkeen alue poltetaan kaistoittain myötätuuleen. Kaistojen leveys on yleensä 20–60 metriä. Menetelmän etuina ovat nopea poltto, hyvä savun hälveneminen ja tulen voimakkuuden säätelymahdollisuus kaistojen leveyttä muuttamalla. Polton aikana voidaan joustavasti reagoida tuulen suunnan mahdollisiin muutoksiin. Optimi tuulen nopeus on 1–2 m/sek. Menetelmä sallii melko alhaisen ilman lämpötilan ja suuren suhteellisen kosteuden (40–60 %) sekä palavan materiaalin suhteellisen suuren kosteuden (10–20 %). Kaistalemyötäsytitysmenetelmä on kustannuksiltaan edullisempi kuin vastasytytysmenetelmä. Ongelmana voi olla tulen liiallinen voima. Liekit voivat nousta liian suuriksi kaistojen liekkirintamien yhtyessä, mikä lisää jäävän puuston kärventymisen mahdollisuutta.



Kuva 2. Kaistalemyötäsytöksessä poltto aloitetaan vastasytytyksenä tuulen alta, minkä jälkeen alue poltetaan kaistoittain myötätuuleen (Mobley 1978).

### Sivustasytytys, Sivutulitekniikka

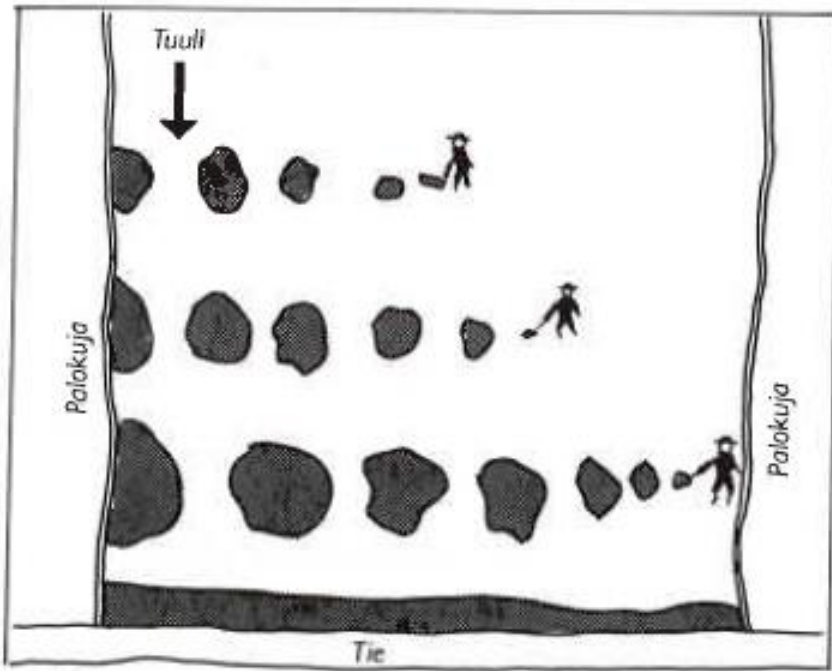
Sivutulitekniikassa alue poltetaan linjoittain vastatuuleen. Menettelyllä varmistetaan yleensä kulotusalueen reunat käyttäessä muita polttotekniikoita. Menetelmä on kustannuksiltaan melko edullinen ja sopiva polttotapa pienille ja vähän palavaa materiaalia sisältäville alueille. Haittapuoloina voidaan pitää herkkyyttä tuulen suunnan muutoksille ja vaatimusta tarkkaan koordinaatioon ja yhteydenpitoon kulottajien kesken.



Kuva 3. Sivutulitekniikassa alue poltetaan linjoittain vastatuuleen (Mobley 1978).

## Laikkusytytys

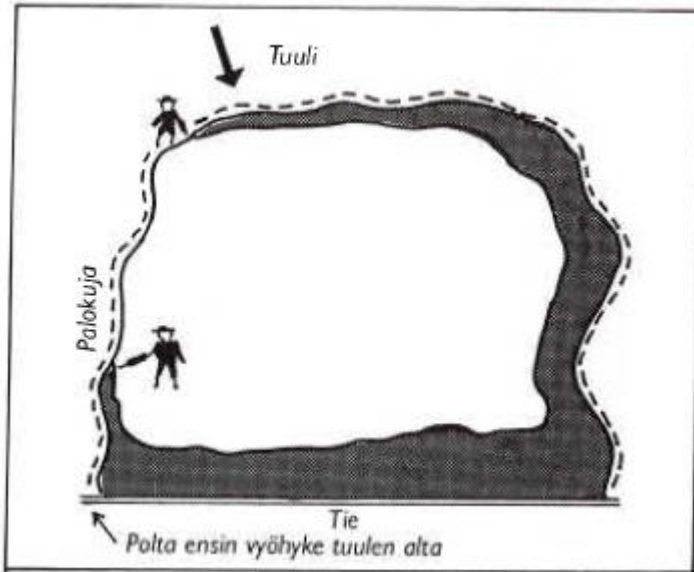
Laikkusytytys on kokemusta ja erityisen suurta huolellisuutta vaativa menetelmä. Ensin poltetaan vyöhyke vastatuuleen, jonka jälkeen sytytetään sarja pieniä pistepaloja, jotka lopulta yhtyvät. Sopiva sytytyspisteiden väli on 40–60 metriä. Palavan materiaalin on oltava melko tasaisesti jakaantunut. Tuuli voi olla kevyt ja suunnaltaan vaihtelevakin. Koko alue rajataan palokujilla. Laikkusytytys sallii nopean sytytyksen, joka voidaan tehdä ilmastakin. Tällä tekniikalla kokenut kulutusryhmä voi käsitellä laajan alueen lyhyessä ajassa, minkä vuoksi se on kustannuksiltaan kohtuullinen.



Kuva 4. Laikkusytytystekniikassa poltetaan ensin vyöhyke vastasytytyksenä tuulen alta, minkä jälkeen sytytetään linjoittaisia pistepaloja (Mobley 1978).

## Ympyräsytytys

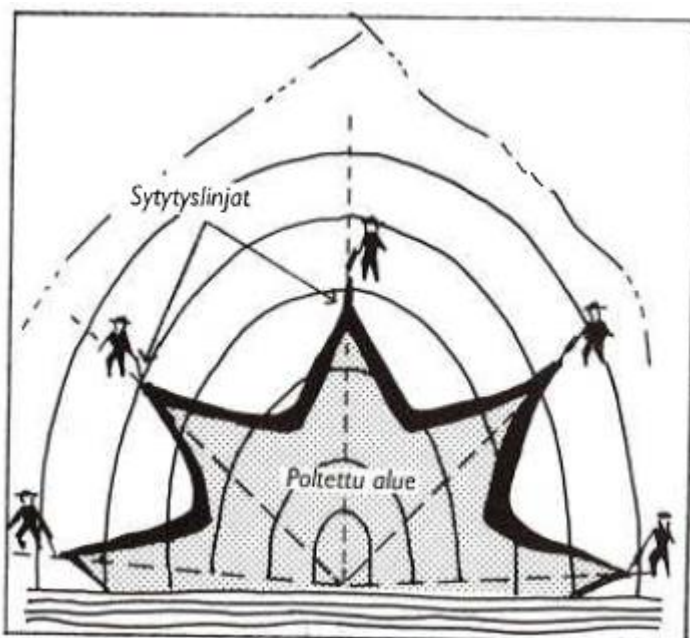
Ympyräsytytysmenetelmässä poltetaan ensin vyöhyke tuulen alapuolelle, jonka jälkeen alue sytytetään reunoja pitkin kiertäen. Menetelmä soveltuu avohakkuualueiden kulotukseen, missä halutaan käyttää suhteellisen voimakasta polttoa. Poltto voi aiheuttaa voimakkaita ilmavirtauksia ja kipinöintiä sekä tulen leviämiskaavan. Etuna on polton nopeus ja nopea savun häviö. Polttoa voidaan vielä tehostaa sytyttämällä pistepaloja alueen keskelle, jotka vetävät tulirintamia keskustaa kohti. Suomessa käytetään lähes yksinomaan ympyräsytytystekniikkaa.



Kuva 5. Ympyräsytytyksessä poltetaan ensin vyöhyke vastasytytyksenä tuulen alta, minkä jälkeen sytytetään alueen reunat (Mobley 1978).

### Säteittäinen sytytys

Tämä tekniikka on suunniteltu käytettäväksi mäkisessä maastossa. Sytytys aloitetaan alueen korkeimmalta kohdalta ja edetään linjoittain alaspäin. Tekniikka on eräs sivustasytytyksen muunnos, jossa sytytyslinjat eivät ole yhdensuuntaisia, vaan loittonevat alkupisteestä säteittäisesti.



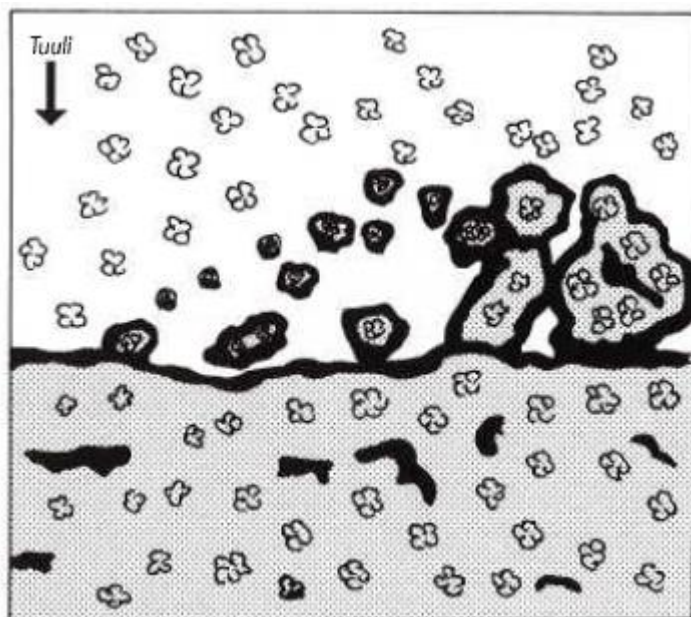
Kuva 6. Säteittäisessä sytytystekniikassa sytytys aloitetaan maaston korkeimmasta kohdasta. Poltto etenee säteittäin rinnettä alas alueen reunoja kohti (Mobley 1978).

## Kasoihin polttaminen

Jos hakkuutähteitä on hyvin paljon, ne voidaan polttaa kasoissa. Kasat sytytetään ympärikiertämällä, mikä aiheuttaa kasoissa korkeita palamislämpötiloja. Hapen puutteen seurauksena voi olla voimakasta savun muodostusta. Kasoihin poltolla voidaan tehokkaasti ja turvallisesti polttaa suuria määriä hakkuutähteitä. Ongelmana ovat palamisen ja kytemisen pitkä kesto ja sammuttamisen vaikeus.

## Puukeskinen laikkusytytys

Puukeskinen sytytys on eräs laikkusytytyksen muoto, jota käytetään siemenpuualueiden kullotuksessa yleensä yhdessä vastasytytyksen ja kaistalemyötäsyttytyksen kanssa. Tätä sytytystekniikkaa käytettäessä voidaan siemenpuiden ja muiden jättöpuiden vaurioitumisriskiä pienentää huomattavasti. Sytytettäessä tuli siemenpuun lähellä liekin pituus ja tulen voimakkuus eivät ehdi nousta puun lähellä liian suuriksi, eikä rungon kärventymistä ja kuoren palamista ehdi tapahtua. Latvusten liiallinen kuumentuminen voidaan välttää, kun tulirintamat yhtyvät puiden ja puuryhmien välisissä avoimissa paikoissa. Myös liekkien vaikutusaika runkojen pinnalla on havaittu olevan hieman lyhempi kuin käytettäessä muita polttotekniikoita, Menetelmän etujen saavuttamiseksi tuulen nopeus polton aikana ei saa olla kovin suuri.



Kuva 7. Puukeskisessä polttotekniikassa sytytys aloitetaan vastasytytyksenä tuulen alta, mikä jälkeen sytytetään pistepaloja siemenpuita keskipisteenä käyttäen. Palot yhtyvät jäävien puiden välisissä aukoissa. Kuvassa harmaarasteroitu on palanutta aluetta ja mustalla on merkitty liekkirintamat (Weatherspoon 1989).



## Sytytysmenetelmät

Sytytysmenetelmän valintaan vaikuttavat mm. valittu polttotekniikka, palavan materiaalin ja kasvillisuuden laatu ja määrä sekä poltettavan alueen koko. Pohjois-Amerikassa sytytys tehdään joko maasta tai ilmasta.

### Käsi­käyt­toiset sytytysvälineet

Yksinkertaisimpia sytytysvälineitä ovat tulitikut, sytytystikut ja erilaiset sähkö- ja kaasusytyttimet. Niiden etuina ovat halpuus ja keveys. Haittana on sytytysvaiheen hitaus.

Syttymisvaihetta voidaan tehostaa käyttämällä erilaisia sytytysaineita, esimerkiksi muovipussiin pakattua hyytelöityä polttoöljyä. Kuvassa 8 on tippakannu, jolla pudotellaan palavia bensiini-dieselöljypisaroita poltettavan aineksen päälle. Suositeltava seossuhde on 1:4. Tämän menetelmän etuina ovat halpuus, helppokäyttöisyys, varmuus ja sytyttämisen nopeus.



Kuva 8. Tippakannu (Heikkilä 1993).

Edellistä tehokkaampi on selässä kannettava paineistettu säiliö, joka on täytetty dieselöljyllä. Palava dieselöljy leviää 6 metrin etäisyydelle. Täytenä säiliö painaa 14 kg.

Nestekaasupoltin antaa hyvin kuumaa liekkiä. Se yltää noin metrin päähän suuttimesta. Säiliötä voidaan kantaa selässä tai kädessä.

Kaikkein tehokkaimpia ovat isot liekinheitinyksiköt. Ne on usein rakennettu lavapakettiauton tai erillisen perävaunun päälle. Polttoaineena käytetään hyytelöityä dieselöljyä ja nestekaasua. Liekin ulottuvuus on jopa 45 metriä. Haittapuoloina ovat kalleus, huono maastokelpoisuus ja vaarallisuus.

## Käsi­käyt­toiset laukaisimet

”Rakettikynällä” ja merkkipistoolilla voidaan ampua pieniä sytytyspanoksia noin 45–60 metrin päähän. Sytytyspanos sisältää strontiumnitraattia ja kaliumperkloraaattia ja palaa 4–15 sekuntia. Se soveltuu tilanteisiin, joissa palava materiaali on kuivaa. Etuina ovat pieni koko ja keveys sekä mahdollisuus kaukosytytykseen. Menetelmä vaatii käyttäjältään ampuma-asekoulutusta. Laitteiden käyttövarmuus ja turvallisuus ovat kyseenalaisia.

Sytytyspanoksia voidaan ampua myös paineilmalla toimivalla laukaisimella jopa 180 metrin päähän. Panokset palavat kuumalla liekillä n. 20 minuuttia. Laukaisimen käyttö sytytyksessä vähentää selvästi tarvittavan henkilöstön määrää ja kulkemistarvetta kulotettavalla alueella, mutta vaatii harjoittelua ja käyttökokemusta.

Kaukosytytyksessä käytetään myös kaliumpermanganaatilla täytettyjä pingispallon kokoisia muovipalloja, joihin ruiskutetaan juuri ennen laukaisua etyleeniglykolia (pakkasnestettä). Palloja voidaan ampua ”ritsalla”, jonka kantomatka on jopa 45 metriä. Kemiallinen reaktio sytyttää pallot 20–40 sekuntia pakkasnesteen ruiskuttamisen jälkeen. Ne palavat noin 15 cm:n korkuisella liekillä 2–3 minuuttia. Menetelmä vaatii kahden miehen sytytysryhmän ja tietoa käytettävien aineiden ominaisuuksista. Käytettävät välineet ja aineet ovat halpoja.

Kehitteillä on ilmanpaineella toimiva laukaisin, jolla voidaan ampua sahanpurusta, parafiinista ja kaliumpermanganaatista puristettuja ammuksia. Hieman ennen laukaisua ammuksien ruiskutetaan etyleeniglykolia. Ammusten lentomatka on jopa 270 metriä. Etuna on ammusten myrkyttömyys ja räjähtämättömyys. Laite ei ole vielä kaupallisessa käytössä.

## Sähkö- ja lasersytytys

Vaikeakulkuisilla paljon hakkuutähteitä sisältävillä kulotusalueilla käytetään menetelmää, jossa alueelle asetetaan hyytelöityä bensiiniä sisältäviä muovipakkauksia tai napalmsäiliöitä. Sytytyslanka kääritään pakkausten ja säiliöiden ympärille. Räjäytys tehdään sähkösytytyksellä tai lasersäteellä. Lasertunnistin voidaan aktivoida jopa 800 metrin etäisyydeltä. Menetelmä on kallis, mutta nopea ja tehokas, eikä se vaadi henkilöstön läsnäoloa sytytettävällä alueella.

## Helisoihtu

Uudessa-Seelannissa kehitettyä Helisoihtu-sytytysjärjestelmää pidetään luotettavana ja turvallisenä. Laitteisto, joka koostuu 180 litran säiliöstä, sytytynyksiköstä, pumpusta ja sammu­ tusjärjestelmästä, roikkuu kaapeleista helikopterin alla. Helikopterin ohjaaja säätää polttoai­ neen virtausta ja syttymistä. Polttoaineena käytetään esimerkiksi alumiinistearaatilla hyytelöi­ tyä bensiiniä. Se sytytetään ulostulosuuttimessa sytytystulpan antamalla kipinällä. Järjestel­ mään kuuluu hiilidioksidisammutin, jolla suuttimeen mahdollisesti jäänyt tuli sammutetaan. Palavien, saostettujen bensiinipisaroiden koko ja paloaika ovat riippuvaisia polttoai­ neen syö­ töstä, lentonopeudesta ja -korkeudesta. Pesarat ovat yleensä golfpallon tai enintään pesäpal­ lon kokoisia ja niiden paloaika on 8–17 minuuttia.

## Muovipallojen lentolevitin

Alun perin Australiassa 1960-luvulla kehitetty menetelmä sai USDA Forest Servicen hyväksymisen jatkokehittelyjen ja testausten jälkeen vuonna 1986 (Lunsford 1986). Levitin on noin 45 kg painava helikopteriin tai lentokoneeseen kiinnitettävä polystyreenipallojen levittämiseen tarkoitettu laite. Pallojen läpimitta on noin 3 cm ja ne sisältävät 3 g kaliumpermanganaattia. Laite suihkuttaa etyleeniglykolia jokaiseen palloon ennen sen pudottamista. Lentonopeutta ja pallojen levitysnopeutta säätelämällä voidaan sytytyspisteiden väli maastossa valita 7–60 metriin. Onnistuneeseen kulotukseen tarvitaan 7–10 palolaikkua/ha.

## Kulotuskoe Alaskassa

Vuonna 1983 suoritettiin Alaskassa kaksi kulotusta olosuhteissa, joissa aiemmin ei oltu juuri kulotettu (Zasada & Norum 1986). Alue sijaitsi Tananajoen laaksossa Fairbanksissa (64° 50' N, 148° W). Pinta-alaltaan hakkuualueet olivat 3 ja 12 ha. Puusto oli 125–130-vuotiasta ja kuumiomäärä hehtaarilla oli 215 m<sup>3</sup> ja 185 m<sup>3</sup>. Pääpuulaji oli valkokuusi ja sekapuuna noin 20 % koivua.

Kulotuksen tavoitteena oli polttaa hakkuutähteistä 75 % ja paljastaa kivennäismaata 30–40 % pinta-alasta. Tavoitteiden saavuttamiseksi määriteltiin olosuhteet, joissa kulotus voitaisiin menestyksellisesti toteuttaa. Pienen, läpimitaltaan alle 0,6 cm hakkuutähteen kosteuden piti olla 12–15 % ja humuksen yläosan kosteuden alle 90 %. Ilman suhteellinen kosteus piti olla 30–50 %, sytytysajankohdan lämpötila alle +24 °C ja tuulen nopeus alle 4,4 m/sek.

Palokujat tehtiin talvella, jolloin oli lunta 46 cm. Polttoajankohtana esiintyi vielä paikoitellen routaa. Palavan materiaalin kokonaismäärät näillä aloilla olivat 48 tn/ha ja 38 tn/ha. Orgaanisen aineksen vahvuus oli keskimäärin 13 cm.

Alue poltettiin iltapäivällä kaistalemyötäsytytyksenä. Polttaminen aloitettiin tuulen alta. Liekit levisivät tasaisesti ja koko alue paloi. Hakkuutähteistä paloi 67 % ja 81 %, mikä johtui pieniläpimittaisen hakkuutähteen alhaisesta kosteuspitoisuudesta (8,3–14,2 %). Humuksesta ja karrikkeesta paloi 43–55 %. Polton jälkeen orgaanisen kerroksen vahvuus vaihteli 6,4–7,4 cm. Kivennäismaata paljastui vain 8–13 % pinta-alasta, mikä johtui humuskerroksen yläosan ja karrikkeen suuresta kosteudesta (133–143 %).

Kulotuksessa onnistuttiin vähentämään hyvin hakkuutähteen määrää ja luomaan optimaaliset olosuhteet mekaaniselle muokkaukselle.

## Tulen hallinta ja sammutus

### Kastelulaitteet

Tavoitteiden mukaisen lopputuloksen saavuttamiseksi kulotuksessa vaaditaan tilanteeseen sopivan sytytysmenetelmän ja polttotekniikan lisäksi tehokas tulen hallinta ja sammutus. Perinteisesti kulotuksessa on käytetty paljon ihmistyövoimaa vaativia välineitä, kuten hosia, ämpäreitä ja reppuruiskuja.

Nykyisin käytettävissä on erilaisia kannettavia ja traktorikäyttöisiä paloruiskuja ja pumppuja (Herranen ja Tiuraniemi 1989). Niiden avulla voidaan vettä siirtää letkuilla tehokkaasti jopa kilometrin etäisyydeltä. Lisäksi käytössä on maatalous- ja metsätraktoriin asennettuja ruiskuyksiköitä, joissa on 4–6 m<sup>3</sup>:n vesisäiliö.

Paloruiskujen lisäksi kulotettavan alueen reunojen ja säästettävien kohteiden kasteluun soveltuu helikopterikäyttöinen sammutussäiliö. Helikopterin koosta riippuen säiliön koko voi vaihdella 500–2 400 litraan. Säiliön täyttö kestää vain 3–5 sekuntia ja tyhjennys 2–3 sekuntia. Pohjaluukkujen avautumiskulman sekä lentokorkeuden ja nopeuden säätelyllä saadaan pudotuskuvio kuhunkin tilanteeseen parhaiten sopivaksi. Vedenottoaikan tulisi olla alle kilometrin etäisyydellä, kooltaan vähintään 5 x 5 metriä ja syvyydeltään 1,5 m. Suomessa helikopterin käyttöä kulotuksessa on rajoittanut käytön suhteellisen korkeat kustannukset.

## Veden ominaisuuksien muuttaminen

Veden kasteluominaisuuksia voidaan parantaa pintajännitystä alentavilla lisäaineilla. Veden pisarakoko pienenee ja sen tunkeutuminen sammutettavaan tai suojattavaan kohteeseen paranee ja vaikutusaika pitenee sekä vedenkulutus vähenee. Kun käytetään veden pehmenysaineita, pumpun kapasiteetti kasvaa ja veden virtausnopeus suurenee 20–100 % (Maukonen 1984).

Uusi luontoystävällinen veden pinta-aktiivisuutta alentava aine on Oulu Firestop 165. Se on Forchem Oy:n kehittämä mäntyöljypohjainen, alkalinen ja nestemäinen, täysin veteenliukeneva kemikaali. Jo 0,5-prosenttinen seos riittää alentamaan pintajännityksen puoleen ja lisäämään imeytymisnopeuden yli kolminkertaiseksi verrattuna käsittelemättömään veteen.

Veden pehmenysaineet voidaan lisätä suoraan vedenottokaivantoon tai välisekoittajalla suoraan letkustoon, ruiskutusyksikön säiliöön tai automaattisella annostelijalla esimerkiksi helikopterin sammutussäiliöön.

Vaahdotusaineilla vesiseoksen tilavuus saadaan kasvamaan 50–200-kertaiseksi. Vaahto säilyy kohteessa jopa 30 minuuttia. Vaahdotaminen voidaan tehdä joko kemiallisesti tai mekaanisesti. Mekaanisessa menetelmässä veteen sekoitetaan vaahdotinlaitteella ilmaa ja proteiineja, esimerkiksi gelatiinia. Vaahdotettavuutta parantaa pintajännitystä alentavan aineen samanaikainen käyttö. Vaahto soveltuu esimerkiksi kulotettavan alueen reunojen ja erikoiskohteiden suojaamiseen.

## Palamista ehkäisevät aineet

Amerikkalainen Fire Safe -niminen nestemäinen fosforihappopohjainen kemikaali muodostaa kuumetessaan tyypeä ja hiilidioksidia ja siten ehkäisee palon etenemistä. Aine on kehitetty puurakenteiden paloturvallisuuden parantamiseen. Litralta ainetta voidaan suojata esimerkiksi 10 m<sup>2</sup> puuseinää. Kulotuksessa sitä voisi käyttää säästettävien siemenpuiden runkojen suojaamiseen. Suomessa ainetta ei ole käytetty kulotuksessa. Aine on suhteellisen kallista.

# Kulotuksen tulevaisuus Metsähallituksessa

Tuli kuuluu kiistatta boreaaliseen havumetsäekosysteemiin. Metsäluonnon biologisen monimuotoisuuden säilyttämisen ja lisäämisen kannalta tulen käyttö metsässä on välttämätöntä. Tulella on monia myönteisiä vaikutuksia ekosysteemin tasapainoiseen toimintaan, metsän uudistumiseen ja taimikon kehitykseen. Kulotusta onkin käytetty metsänuudistamisessa menestyksellisesti koko tämän vuosisadan. Maankunnostustyöryhmän raportin (1988) mukaan potentiaalinen kulotuspinta-ala on Metsähallituksen mailla 6 000–10 000 ha/v eli lähes puolet uudistamisalasta. Viime vuosina kulotuspinta-alat ovat vähentyneet huomattavasti. Vähentymisen syynä ovat mm. kulotuksen suuri riippuvuus sääoloista, suuri työvoiman tarve, kullottamisen hallitsevan henkilöstön vähäisyys, pelko tulen karkaamisesta, kulotustekniikan kehittymättömyys ja kulotuksen korkeat kustannukset.

Kauan pysähdyksissä ollutta kulotuksen kehittämistä tulisi jatkaa. Kulotussuunnitelmaa on mahdollista tarkentaa esimerkiksi määrittelemällä nykyistä tarkemmin kulotuksen tavoitteet ja selvittämällä riittävän tarkasti kulotettavan alueen ominaisuudet.

Yhdysvalloissa ja Kanadassa on kehitetty kulotuksen suunnittelun ja toteutuksen tueksi tietokoneohjelmia. Ne helpottavat päätöksentekoa, kun pyritään saavuttamaan asetetut tavoitteet ja minimoimaan kulotuksen haitalliset ympäristövaikutukset. Esimerkiksi USDA Forest Servicein kehittämä Consume-tietokoneohjelma (Ottmar ym. 1993) ennustaa polton onnistumista mm. säätietojen sekä palavan materiaalin määrän ja kosteuden perusteella.

Suomen ilmatieteen laitoksella tehdään paraikaa mallia, jolla pyritään selvittämään humuskerroksen kuivuminen. Humuksen kuivumisastetta voidaan käyttää hyväksi, kun päätetään kulotusajankohdasta. Metsähallitus kerää mallin testaamiseen tarvittavat maastonäytteet.

Nykyaikaisilla kulotusmenetelmillä ja -välineillä on mahdollista tehostaa kulotuksen toteutusta ja jälkivartiointia. Esimerkiksi lentokoneen ja helikopterin käyttömahdollisuudet on syytä selvittää. Kulotuksen suunnittelun ja toteutuksen tehostamiseksi henkilöstölle on järjestettävä tarpeellinen koulutus.

Paloekologista metsänuudistamista on Suomessa tutkittu melko vähän. Tulen käytöstä metsänuudistamisessa ja siihen liittyvistä uudistamismenetelmistä tarvitaan lisää tietoa. Uudistamistutkimustulosten ohella voitaisiin hankkia tietoa eri vaihtoehtojen ympäristövaikutuksista. Tällainen perustutkimus sopii lähinnä Metsäntutkimuslaitokselle. Metsähallitus voi osallistua tutkimukseen tarjoamalla sopivia tutkimuskohteita.

# Kirjallisuutta

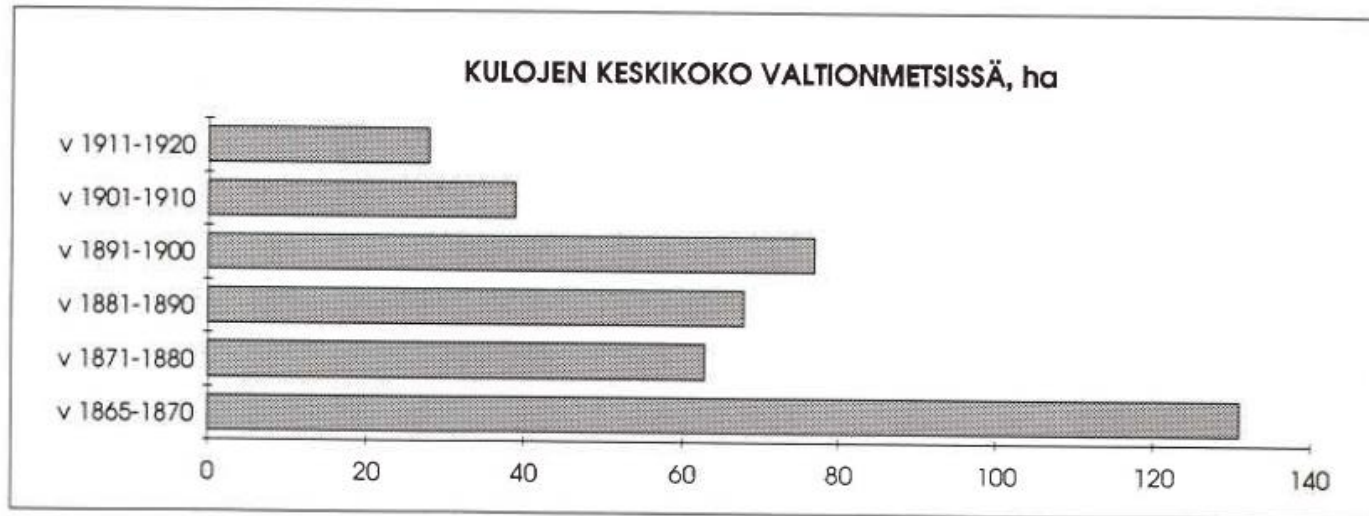
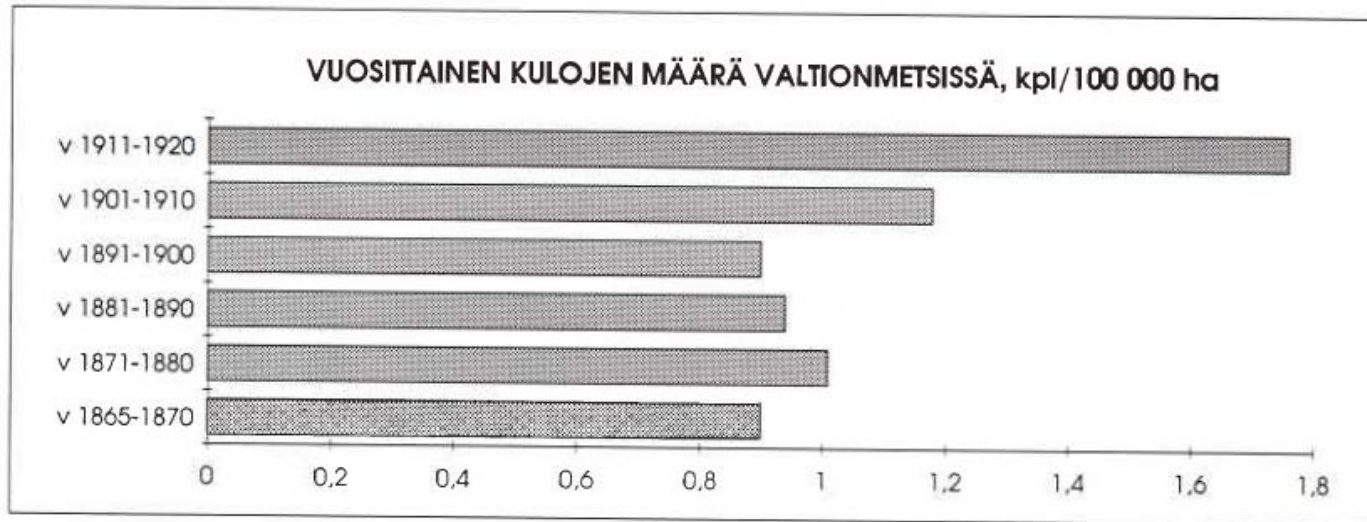
- Angelstam, P. ja Rosenberg, P. 1993. Aldrig Sällan Ibland Ofta. Skog & Forskning 1/93. Sveriges Skogsvårdsförbund s. 34-41.
- Bradshaw, S. 1993. Ground Ignition Systems: An Equipment Guide for Prescribed and Wild Fires. USDA For. Serv. Technology & Development Program. 72 s.
- Fire Management Action Plan, 1993. USDA For. Serv., Superior National Forest. 28 s.
- Fritze, H. 1994. Suullinen haastattelu 16.3.1994.
- Fritze, H., Pennanen, T. ja Pietikäinen, J. 1993. Recovery of soil microbial biomass and activity from prescribed burning. Can. J. For. Res. 23 (7): 1286-1290.
- Heikkilä, T. V., Grönqvist, R. ja Jurvelius, M. 1993. Handbook on forest fire control, A guide for trainers. Forestry training programme publication 21, National Board of Education of the Government of Finland, Helsinki 1993. 239 s.
- Heino, E. E. 1985. Kulotuksen käytön lisääminen ja kehittäminen Metsähallituksen metsien uudistusalojen maankunnostamisessa. Metsähallitus, Metsänhoito-osasto, Muistio 15.4.1985. 4 s.
- Herranen, T. ja Tiuraniemi, K. 1989. Kulotus- ja paloruiskut, Metsähallitus, Kehittämisaosto, Seloste 10/89. 8 s.
- Herttuainen, E. 1981. Männyn luontainen uudistuminen kulotetulla kankaalla Metsä-Lapissa. Metsänhoitotieteen laudaturtyö. Helsingin yliopisto, Maatalousmetsätieteellinen tiedekunta. Helsinki 1981. 79 s.
- Hildreth, G. W. 1985. Aerial Ignition Device. Fire Management Notes Vol. 46, no 3, USDA. For. Serv. s. 22-23.
- Härkönen, K. 1986. Kulotuksesta Pohjois-Amerikassa. Metsähallitus, Metsänhoito-osasto, moniste. 32 s.
- Ilvessalo, L. 1917. Tutkimuksia mäntymetsien uudistumisvuosista Etelä- ja Keski-Suomessa. Acta Forest. Fenn. 6,2. Helsinki.
- Kubin, E. 1984a. Kulotuksen ja metsämaan aurauksen vaikutuksesta maaperän ravinteisiin. Jyväskylän yliopiston biologian laitoksen tiedonantoja 40: 60-67.
- Kubin, E. 1984b. Kulotuksen välitön vaikutus kangashumuksen liukoisten ravinteiden määrään. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 158: 10-21.
- Kulotustoimikunnan mietintö. 1980. Komiteamietintö 1980:1, 80 s.
- Levula, T. 1988. Kulotus ja muokkaus maankunnostusmenetelminä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 300:15-30.



- Lindholm, T. toim. 1992. Sukkessiotutkimusten tuloksia Suomen ja SNTL:N luonnonsuojelualueilla. Vesi- ja Ympäristöhallituksen julkaisu-sarja A 112: 26-36.
- Loikkanen, J. 1993. Humuskerroksen ravinnetaloudesta kahdella vanhalla kulotusalueella. Metsämaatieman syventävien opintojen tutkielma. Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta. Joensuu 1993. 61 s.
- Lundmark, J-E. 1988. Skogsmarkens ekologi, Ståndortanpassad skogsbruk, Del 2-Tillämpning. 319 s.
- Lunsford, J.D. 1986. The Plastic Sphere Dispenser Aerial Ignition System. Fire Management Notes Voi. 47, no. 3. USDA, For. Serv. s. 8-9.
- Maankunnostustyöryhmän raportti, 1988. (toim. K. Pelkonen) Metsähallitus 21.10.1988. 47 s.
- Maukonen, A. 1984. Kulotusteknologian kehittäminen. Metsäntutkimuslaitoksen Tiedonantoja 142. Suonenjoen tutkimusasema. 26 s.
- Mobley, H. E., ym. 1978. A guide for prescribed fire in southern forests. USDA For. Serv., SE Area State and Private For., GA. 40 s.
- Ottmar, R. D., Burns, M. F., Hall, J. N. and Hanson, A. D. 1993. CONSUME Users Guide. USDA, For. Serv. Pacific Northwest Research Station. Jan. 1993. 118 s.
- Palolain tarkistuskomitean mietintö, 1972. Komiteamietintö 1972: B 98. 85 s.
- Payette, S. 1992. Fire as a controlling process in the North American boreal forest. teoksessa: A Systems Analysis of the Global Boreal Forest. toim. Shugart, H., Leemans, R. ja Bonan, G. B. s. 144-169.
- Pietikäinen, J. ja Fritze, H. 1993. Microbial biomass and activity in the humus layer following burning: Short term effects of two different fires. Can. J. For. Res. 23 (7): 1275-1285.
- Piri, E. toim. 1993. Tuli metsän ekologisessa kierrossa. Metsäntutkimuslaitoksen 75-vuotisjuhla-aretkeily Kolilla 7.-8.6.1993. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 462. 31 s.
- Puustinen, M. 1994. Avohakkuun ja kulotuksen vaikutus humuksen ja hakkutähteiden määrään sekä ravinteisiin, kasvillisuuteen ja mikroilmastoon. Tutkielma. Oulun yliopisto, Kasvitieteen laitos, 21.1.1994.
- Roberts, J. E. 1985. Protection of Archeological Sites and Special Areas During Prescribed Burning. Fire Management Notes Vol. 46, no 3. USDA For. Serv. s. 9-10.
- Saari, E. 1923. Kuloista etupäässä Suomen valtionmetsiä silmällä pitäen. Acta Forest. Fenn. 26(5):1-155.
- Salo, T. 1985. Metsähallitus 125 vuotta, 1859-1984. Huhmari 1985. 88 s.
- Sarvas, R. 1937. Kuloalojen luontaisesta metsittymisestä. Acta Forest. Fenn. 46(1): 1-146.

- Sepponen, P. 1987. Pisavaaran luonnonpuiston metsäpalotutkimus. *Folia For.* 736:80-85.
- Siren, G. 1955. The development of spruce forest on raw humus sites in northern Finland and its ecology. *Acta Forest. Fenn.* 62,4.
- Tolonen, M. 1992. Varve-dated paleoecology of a small lake in the Lammi area, S. Finland - a review. *Geological Survey of Finland, Special Paper 14.* 16 s.
- Uggla, E. 1957. Mark och lufttemperaturer vid hygges - bränning samt eldens inverkan på humustäcke. *Norrlands Skogsvårdsförbund tidskrift 4:* 443-500.
- Weatherspoon, C. P., Almond, G. A. ja Skinner, C. N. 1989. Tree-Centered Spot Firing - A technique for Prescribed Burning Beneath Standing Trees. *Western Journal of Applied Forestry, Vol.4, no. 1, Jan. 1989.* S. 29-31.
- Wein, R. ja Maclean D. toim. 1983. The role of Fire in Northern Circumpolar Ecosystems. *SCOPE;* 18,
- Wickström, R. 1983. Hyggesbränning med helikopter. *Forskningsstiftelsen Skogsarbeten Nr 1,* 1983. 4 s.
- Viro, P. J. 1969. Prescribed burning in forestry. *Commun. Inst. For. Fenn.* 67 (7): 1-49.
- Zasada, J. ja Norum, R. 1986. Prescribed Burning White Spruce Slash in Interior Alaska. *Northern Journal of Applied Forestry, Voi. 3 no 1. Mar. 1986.* s. 16-18.

**Liite 1 Kulojen lukumäärä, kpl/maa-alan 100 000 ha ja keskikoko, ha valtionmetsissä v. 1865–1920 (Saari 1923)**



ISSN 0785-5311