

## Katsaus viimeaikaisiin tutkimuksiin mustakuusen (*Picea mariana*) kasvatuksesta Pohjois-Ontarion turvemilla

Recent studies on black spruce management on peatlands in northern Ontario. A literature review

Hannu Hökkä & Art Groot

*Hannu Hökkä, Metsäntutkimuslaitos, Rovaniemen tutkimusasema, PL 16, FIN-96301 Rovaniemi, Finland (e-mail: hannu.hokka@metla.fi)*

*Art Groot, Canadian Forest Service, Great Lakes Forestry Centre, Box 490, Sault Ste. Marie, ON, P6A 5M7, Canada (e-mail: agroot@NRCan.gc.ca)*

Black spruce (*Picea mariana*, (Mill.) B.S.P.) has been traditionally managed as evenaged stands with artificial or natural regeneration on peatlands of northern Ontario Clay Belt region. However, lack of resources to make artificial regeneration on all clear-cuts and harvest methods unfavorable for natural regeneration often resulted in unsatisfactory regeneration. As a consequence, alternative management methods have been introduced for peatland black spruce, and this literature review discusses studies of these methods. In natural stands, both evenaged and uneven-aged structures may be found, while the second-growth stands originating from old horse-logging are mostly uneven-aged, with abundant advance growth. Currently, mechanized harvest with regeneration protection has been shown to sufficiently preserve residual trees and subsequently produce stands that are heterogeneous with respect to the size structure. In second-growth stands, uneven-aged management can be implemented with minimum diameter limits determined from stand structure and cut-to-length harvesting. Such management perpetuates a stand structure appropriate for uneven-aged management. Simulation study has been made to estimate black spruce yield under uneven-aged management with varying cutting cycle and minimum diameter limit. It seems that in some peatland sites uneven-aged management is a possibility to manage black spruce.

Key words: peatlands, *Picea mariana*, regeneration, stand management, stand structure, succession

### TAUSTAA

Mustakuusi (*Picea mariana*, (Mill.) B.S.P.) on tärkein kaupallinen puulaji Pohjois-Ontarion Clay Belt -alueella (Ketcheson & Jeglum 1972). Viime

jääkauden loppuvaiheissa syntynyt Clay Belt on topografialtaan lähes tasainen käsittäen laajoja savi- ja hiesupohjaisia vedevaivaa tasankoja (Bonner 1952). Alueella on vain muutamia järviä, satunnaisesti joitakin kukkuloita ja harjujaksoja,

sekä runsaasti pikkujokia (Jeglum 1974). Kesä on lyhyt, lämmin ja runsassateinen (esim. Iroquois Falls; keskilämpötila toukokuusta syyskuuhun 13,3°C, sademäärä keskimäärin 838 mm vuodessa, 406 mm toukokuusta syyskuuhun, Rowe (1972)) ja talvi runsasluminen (Brumelis & Carleton 1988). Humidinen ilmasto ja tasainen, tiivis maaperä ovat yhdessä syynä siihen, että alue on erittäin runsassoista, paikoin yli 60% maa-alasta on soiden peitossa (Ketcheson & Jeglum 1972).

Valtaosa mustakuusikoista kasvaa soilla, sillä kivennäismailla muut puulajit ovat mustakuusta kilpailukykyisempiä. Puulaji on hidaskasvuinen, mutta toisaalta ainut kaupallisesti merkittävä soilla kasvavista puulajeista. Pitkäkuituinen, hitaasti kasvanut havupuu on paperin raaka-aineena ihanteellista. Hidasta kasvua kompensoi mustakuusivaltaisten metsien laajuus, n. 35 400 km<sup>2</sup> (Smith ym. 1987). Clay Belt -alueen turvemaiden mustakuusikoiden kaupalliset hakkuut aloitettiin 1910–1920 -lukuilla.

Hakkuukypsien mustakuusikoiden tavanomaisin uudistamismenetelmä turvemaidella on ollut avohakkuu. Se on verrattavissa luontaiseen totaaliseseen häiriöön, jonka jälkeen alueelle kehittyvä suhteellisen tasaikäinen uusi puusukupolvi. Viimeisen kymmenen vuoden aikana on esitetty avohakkuuden vaihtoehtoiksi mm. kaistalehakkuuta sekä päätehakkuun tekemistä siten, että mahdollisimman paljon luontaista alikasvosta säilyisi. Syy vaihtoehtojen etsinnälle on avohakattujen alojen epätäydellinen metsittyminen, koska vain osa hakkuualoista uudistetaan viljellen, ja luontaisesti uudistumaan jätetyistä osalla tulos ei ole ollut tyydyttävä (Virgo 1975, Jeglum & Kennington 1993). Jos voidaan käyttää hyväksi luontaista alikasvosta uuden metsikön perustamisen pohjana, metsikkö katsotaan uudistetuksi heti hakkuun jälkeen. Kehittyvä metsikkö on rakenteeltaan heterogeeninen (Groot & Horton 1994), ja säilyttää tämän piirteensä vuosikymmeniä. Alikasvokseen tukeutuva uudistaminen tuottaa eri-ikäisrakenteisia metsiköitä, mutta niiden kasvusta ja käsittelystä on paljon tietoa. Tästä syystä viime vuosina on alettu tutkia mustakuusikoiden kasvattamista eri-ikäisrakenteisina (Groot 1994).

Alikasvokseen perustuvassa uudistamisessa ja eri-ikäisen metsikön kasvatuksessa pyritään välttämään metsänviljelyä ja lyhentämään metsikön hakkuukiertoa. Eri-ikäisen metsikön kasvatukses-

sa ne rungot, jotka eivät ole hakkuuhetkellä kaupallista kokoa, on tarkoitus hyödyntää seuraavassa hakkuussa, joka tapahtuisi aiemmin kuin esim. tasaikäisen viljelymetsikön avohakkuu. Mustakuusikon alikasvoksen säilyttäviä hakkuutapoja on tutkittu 1980-luvun lopulta lähtien. Tutkimusta on nyttemmin suunnattu myös näin uudistettujen metsiköiden kasvattamiseen. Tässä artikkelissa on lyhyt yhteenveto näistä tutkimuksista.

## MUSTAKUUSIKOIDEN EKOLOGIA JA SUKKESSIO SOILLA

Mustakuusikoiden uudistumisekologiaan luonnonmetsissä kuuluvat metsäpalot, myrskyt, hyönteistuhot ja sienitaudit, mutta soilla on merkitystä lähinnä kahdella ensimmäisellä (Groot & Horton 1994). Palon jälkeen mustakuusi uudistuu siemenistä. Puissa on yhtäaikaaisesti useita käpyvuosikertoja ja puoliserotiiniset kävyt tuottavat siementä useana vuonna vuotuisen keskimääräisen siemensadon ollessa n. 500 000 kpl ha<sup>-1</sup> (Haavisto 1975). Metsikkö syntyy paloalalle erittäin tiheänä ja tiheys säilyy hyvin pitkään. Esimerkiksi luontaisesti syntyneessä 90-vuotiaassa metsikössä runkoluku on keskimäärin 3 000–4 000 kpl ha<sup>-1</sup> (Plonski 1974). Uusia taimia voi syntyä vielä 20 vuotta palon jälkeen (Arnup ym. 1988). Mustakuusen taimien alkukehitys yhden metrin pituuteen saakka on hyvin hidasta (12–15 cm a<sup>-1</sup>, Groot & Adams (1994)), mistä syystä se jää helposti tappiolle kilpailussa muiden puulajien kanssa. Ravinteisilla kasvupaikoilla mustakuusikoissa kasvaa sekapuuna valkokuusta (*Picea glauca* (Moench) Voss), palsamikuusta (*Abies balsamea* (L.) Mill.), banksin mäntyä (*Pinus banksiana* Lamb.), Kanadan lehtikuusta (*Larix laricina* (Du Roi) K. Koch), haapaa (*Populus tremuloides* Michx.), palsamioppelia (*Populus balsamifera* L.) ja koivua (*Betula papyrifera* Marsh) (Whynot & Penner 1992). Karuimmilla kasvupaikoilla metsiköt ovat lähes puhtaita mustakuusikoita.

Mustakuusi uudistuu myös kasvullisesti. Isojen puiden alaoksien jäädessä rakkasammalen alle ne juurtuvat ja eriytyvät itsenäisiksi puiksi (ns. *layering*) (Stanek 1961). Varttuneissa metsiköissä alikasvos (ns. *advance growth*) voi olla pääasiallisesti, jopa 80-prosenttisesti, tällä tavalla syntynyt (Groot 1984, Brumelis & Carleton 1988). Osit-

taisten luontaisten häiriöiden (esim. lievät myrskytuhot) seurauksena uudistunut metsikkö voi siten koostua paljolti edellisten puuyksilöiden kloonesta. Kasvullisesti syntyneiden taimien määrää rajoittavat kasvupaikan laatu ja vallitsevan latvuskerroksen tiheys, mutta karuilla, märillä kasvupaikoilla 0–2,5 m:n mittaisia taimia on 20 000–40 000 kpl ha<sup>-1</sup> (Groot 1984). Vaihtuvasta taimiaineksesta suuri osa kuolee alle 10 cm:n pituisena (Groot 1994), mutta koska mustakuusi sietää varjostusta, eivät vakiintuneet alikasvospuut helposti kuole, vaan kasvavat vain äärimmäisen hitaasti (Groot 1984). Pohjapinta-alan ylittäessä n. 30 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> metsikön tiheys on kuitenkin jo niin suuri, että alikasvoksen määrä alkaa pienetä voimakkaasti (Groot 1997).

Laaja-alaisen totaalisen häiriön jälkeen uudistuneet metsiköt ovat useimmiten tasaikäisiä, jolloin pääosa puista on 20 vuoden ikävaihtelun sisällä (Morin & Gagnon 1992, Groot & Horton 1994). Häiriön jälkeen mustakuusikko kasvaa luonnontilaisilla soilla 150 vuodessa 8–21 m:n pituuteen kasvupaikan laadusta riippuen (Payandeh 1990). Tilavuuskehitys kulminoituu kuitenkin 75–125 vuoden iässä, minkä jälkeen metsikön puuston määrä saattaa iän kasvaessa romahtaa luonnonpoistuman vuoksi (Whynot & Penner 1992), joskus jopa puoleen 10 vuodessa (Arnup ym. 1988). Tähän on arveltu olevan syynä pisimpien puiden saavuttama kriittinen pituus 20–21 metriä, jonka jälkeen puut altistuvat tuulituhoille ja kaatuvat, koska eivät enään saa riittävästi tukea pinnallisesta juuristostaan (Smith ym. 1987, Whynot & Penner 1992). Jotta välttyttäisiin merkittävilta tuotostappioilta, turvemaiden mustakuusikot suositellaan uudistettavan ennen tätä romahdusta (Smith ym. 1987, Whynot & Penner 1992). Yli-ikäiset metsiköt pysyvät myöhemmin suhteellisen aukkoisina, kunnes uudistuvat totaalihäiriön kautta (Carleton & Maycock 1978, Whynot & Penner 1992).

Koska laaja-alaisen, voimakkaiden metsäpalojen todennäköisyys on soilla paljon pienempi kuin kivennäismailla, Groot & Horton (1994) arvioivat, että osa turvemaiden mustakuusikoista voisi kehittyä osittaisten häiriöiden ja uudistumisen tuloksena eri-ikäisrakenteisiksi. He totesivat, että useissa yli 160 vuotta vanhoissa luontaisissa mustakuusimetsiköissä oli erittäin laaja ikäluokkajakauma. Puiden korvautuminen perustui alikasvospuiden kasvun elpymiseen epätäydellisen häiriön

synnyttämissä aukoissa. Koska metsiköistä ei löytynyt merkkejä selvästä uudistumishetkestä, Groot & Horton (1994) päättelivät eri-ikäisrakenteen säilyneen metsiköissä hyvin pitkään (200–300 vuotta).

Hakkuut ovat luontaisten tekijöiden ohella uusi ihmisen aiheuttama 'häiriö', joka vaikuttaa nykyisten metsien kehitykseen. Hakkuun aiheuttama häiriö voi olla osittainen tai täydellinen. Varhaisimmissa käsisahalla ja hevosella tehdyissä hakkuissa korjattiin vain markkinakelpoinen puu, ja jäljelle jäi epätasainen ja erikokoinen alikasvospuusto säännöllisten hevosajourien väliin (Koroleff 1948). Tämäntapainen hakkuu, jossa suurin osa vallitsevan latvuskerroksen puista poistuu, on rinnastettu myrskytuhoon (Groot & Horton 1994). Myrskytuhoissa tosin tuulenaakat jäävät lahoamaan kasvupaikalle. 1950-luvun on alussa siirrytty mekanisoiituihin hakkuumenetelmiin ja ympärivuotiseen puunkorjuuseen, jolloin alikasvospuusto yleensä tuhoutui koneiden alle, vaikka sitä ei olisi hakattukaan (Groot 1984). Uusi metsikkö syntyi suhteellisen tasaikäisenä, ja uudistumistulos oli samankaltainen kuin luontaisen laaja-alaisen häiriön jälkeen.

## MUSTAKUUSIMETSIKÖIDEN KASVATUS ERI-IKÄISINÄ

### Biologiset edellytykset

Eri-ikäisrakenteen säilyvyyteen joillakin kasvupaikoilla antavat viitteitä tutkimustulokset, joiden mukaan vanhoissa luontaisesti syntyneissä metsiköissä puiden ikäluokkajakauma on laaja (Groot & Horton 1994). Jos kasvupaikka on riittävän niukkaravinteinen, sille kehittyä erittäin runsas alikasvos. Tällöin samassa metsikössä voi kasvaa hyvin eri-ikäisiä puita. Puuston kokorakenne on kuitenkin iäkkäimmissä metsiköissä suhteellisen tasainen tai jopa normaalijakaumaa muistuttava (Groot & Horton 1994), poiketen tasapainoista eri-ikäisrakenteisesta metsikköä kuvaavasta negatiivisesta eksponenttijakaumasta (Smith 1986).

Toisaalta myös mies- ja hevostyönä tehtyjen hakkuiden jäljille syntyneet, nykyisin 50–70-vuotiaat metsiköt (nk. *second-growth* -metsiköt, jotka ovat syntyneet ihmisen aiheuttaman häiriön jälkeen) osoittavat eri-ikäisrakenteisuuden piirteitä



Kuva 1. Kun uudistamishakkuu tehdään mustakuusen alikasvosta varoen, samansuuntaisten ajourien väliin jää lähes kaikki markkinakokoa pienempi puu kasvamaan.

*Fig. 1. Harvest with regeneration protection preserves unmerchantable black spruce advance growth between parallel equipment trails.*

(Groot & Horton 1994). Niissä läpimittajakauma on laskeva ja yleensä metsiköissä on kaiken kokoisia puita, vaikka yksi ikäluokka saattaakin olla vallitseva. Osa *second growth* -metsistä on jo hakkuukypsiä kaupalliset mitat täyttävän puustonsa puolesta ja voitaisiin siten jälleen hakata.

Varjoa sietävien puulajien tapaan mustakuusi sopeutuu valon muutoksiin ja voi lisätä kasvuaan pitkänkin alikasvosvaiheen jälkeen. Hakkuun jälkeen alikasvospuiden kasvun on todettu lisääntyneen voimakkaasti ja välittömästi (Groot & Matice 1995, Pothier ym. 1995). Hakkuuhetkellä 1–4 m:n pituisten puiden kasvu elpyi vapauttamisen jälkeen voimakkaimmin. Puiden pituuskasvu hakkuun jälkeen riippui kasvupaikan lisäksi puiden koosta pienimpien puiden lisäessä kasvuaan eniten (Pothier ym. 1995). Silti suurimmat puut kehittyivät valtaiksi. Koko metsikön tuotos oli suurempi metsiköissä, joissa alikasvos hakkuun jälkeen oli ollut kookasta (Pothier ym. 1995). Nykyisissä *second-growth* -metsiköissä 80% rungoista on syntynyt jo ennen hakkuuta ja ne muodostavat 90% puuston tilavuudesta (Groot & Matice 1995).

Stanek (1968) totesi, että hakkuukypsissä luonnonmetsissä *layering*-syntyisten puiden pituuskasvu oli yhtä nopeaa kuin siemensyntyisillä puilla ja että puiden muoto oli hyvä.

### Hakkuumenetelmät alikasvokseen tukeutuvasa uudistamisessa

Merkittävä kysymys on, miten puunkorjuuteknologia mukautuu hakkuumenetelmään, jossa pyritään säästämään elinkelpoinen alikasvos mahdollisimman hyvin. Viimeisen 20 vuoden aikana onkin tässä tarkoituksessa merkittävästi parannettu hakkuutekniikkaa ja koneita. Alikasvoksen säästämiseen pyrkiviä hakkuuta tehdään nykyään Pohjois-Ontariossa kaato-kasauskoneilla, mutta hakkuukone tuhoaa edelleen suuren osan alikasvoksesta.

MacDonell ja Groot (1997) ovat vertailleet jäävälle puustolle ja kasvupaikalle aiheutuneita vaurioita käytettäessä vaihtoehtoisia tavanomaisia korjuumenetelmiä: kokopuukorjuu, kokorunkona korjuu kaato-kasauskoneella ja puiden katkonta määrämittaan yksiotehakuukoneella. Lisäksi vertailtiin hakkuujälkiä sekä kesä- että talviolloissa. Määrämittaan katkonta jätti muita korjuumenetelmiä merkitsevästi enemmän sekä pieniä (alle 1,3 m) että suuria alikasvospuita, aiheutti vähemmän vaurioita jäävälle puustolle, ja vähemmän vaurioita kasvupaikalle. Kuitenkin jos alikasvosta on ennen hakkuuta runsaasti, jää sitä myös kaato-kasauskoneen jäljiltä riittävä määrä uuden metsikön kasvattamiseen (Kuva 1); varsinkin talvella pienet puut (< 1,3 m pitkät) säästyivät korjuuvau-

rioilta yhtä hyvin kuin määrämittaista puutavaraa tehtäessä. Kohteilla, missä alikasvosta on niukanlaisesti tulisi hakkuu tehdä yksiotehakkuukoneella, koska se joustavampana on ylivoimainen jäävän puuston suojaamisessa vaurioilta. Samoin jäävän puuston koko on keskimäärin suurempi, jolloin taimikon tilavuuskehitys on nopeampaa, mikä kompensoi suurempia korjuukustannuksia. Menetelmästä ja vuodenaajasta riippuen 32–56% alle 1,3 m:n alikasvoksen runkoluvusta säilyy hakkuussa (Groot 1995, 1996).

Jäävän puuston määrän ja kunnan kehitystä hakkuun jälkeen ovat tutkineet Groot (1995, 1996) ja Ruel ym. (1995). Puita kuoli heti hakkuun jälkeisenä vuonna, mutta ei tämän jälkeen. Puiden kuoleminen johtui useimmiten hakkuun aiheuttamista mekaanisista vaurioista (Groot 1995, 1996). Kuolleisuus oli sitä suurempi, mitä lyhempiä alikasvospuut olivat, mitä heikompi oli niiden edeltävä pituuskasvu, mitä pienempi oli latvussuhde, tai mitä suurempi vaurioiden määrä (Ruel ym. 1995). Taimien kokonaismäärä alkoi hieman lisääntyä vuoden kuluttua hakkuusta uusien taimien syntymisen vuoksi (Groot 1996).

Kesäkorjuussa kasvupaikka kärsii vaurioita, jotka säilyvät useita vuosia. Groot (1998) havaitsi, että keskimääräinen pohjavesipinnan taso oli hieman noussut ja turpeen pintakerros selvästi tiivistynyt koealoilla, joilla korjuukoneet olivat ajaneet useaan kertaan. Hakkuun jälkeen syntyneiden taimien kasvu oli toisaalta parempi alueilla, joilla oli kasvupaikkavaurioita enemmän, koska kasvualustaan oli sekoittunut alempien turvekerrosten ravinteikkaampaa ja maatuneempaa turvetta (Groot 1996). Rahkasamal, sarat ja ruohot lisääntyivät voimakkaasti kohdissa, joissa maanpinta oli rikkoutunut.

### Eri-ikäisen metsikön kasvatushakkuu

Eri-ikäisen metsikön kasvatus on metsänhoitomenetelmä, josta on lukuisa määrä erilaisia tulkintoja (Smith 1986). Se perustuu yksinkertaisimmillaan minimiläpimittarajaan, jota suuremmat puut poistetaan hakkuussa (n.s. *selection method*). Tavoitteena on ylläpitää läpimittajakaumaa, jolla kasvu, hakkuupoistuma ja uudistuminen olisivat tasapai-

nossa ja kasvavan puuston määrä suhteellisen tasainen (Smith 1986). Tasapainoisen eri-ikäisen metsikön hakkuu voitaisiin toistaa sopivalla hakkuukierrolla loputtomasti ilman määrättyä kiertoaika ja sen lopussa tehtävää uudistamista. Edellytyksenä on, että kasvatettava puulaji luontaisesti kehityy eri-ikäisenä (esim. useat vaahteralajit). Äärimmäinen, ja esim. Kanadan itäosissa vielä 1960-luvulla sangen yleinen tulkinta menetelmästä oli ns. *selective method* (myös *high-grading*, vrt. määrämittaharsinta), jossa vain suurimmat ja arvokkaimmat puuyksilöt korjattiin välittämättä lainkaan metsikön tulevista hakkuumahdollisuuksista (Groot, suull.).

Mustakuusikoihin sovellettuna eri-ikäiskasvatuksessa on todennäköisesti tarpeen joustaa minimiläpimittarajasta kumpaankin suuntaan, jotta voidaan harventaa tiheikköjä ja jättää suurempia puita alikasvoksen säilyttämiseksi (MacDonell & Groot 1996). Tämän lisäksi avattavilta ajourilta poistetaan kaikki puut.

MacDonell ja Groot (1996) tutkivat kuinka alikasvoksesta kehittyneessä eri-ikäisessä *second-growth* -metsikössä voidaan toteuttaa kasvatushakkuu, jolla tavoitellaan eri-ikäisrakenteen säilyttämistä ja vastaavanlaisen hakkuun toistamismahdollisuutta tulevaisuudessa. Hakkuu tehtiin yksiotehakkuukoneella ja määrämittainen puutavara kuljetettiin kuormatraktorilla. Ajourit sijoitettiin joustavasti jäävää puustoa varoen. Hakkuuvoimakkuudet olivat: lievä (minimiläpimitta 18 cm, 20% pohjapinta-alasta urien välillä poistettiin), keskimääräinen (15 cm ja 40% pohjapinta-alasta poistettiin) ja voimakas (10 cm ja kaikki markkinakokoinen puusto poistettiin urien väliltä). Puuston kokonaistilavuus ennen hakkuuta oli keskimäärin n. 130 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. Hakkuupoistumat olivat 50, 45 ja 85 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ja puuston määrä hakkuun jälkeen 23–54 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. Kaikilla hakkuuvoimakkuuksilla puuston läpimittajakauman laskeva muoto säilyi. Hakkuussa alikasvoksesta tuhoutui 38–53% runkoluvusta. Voimakas hakkuu tuhosi eniten alikasvosta. Läpimitaltaan alle 10 cm:n rungoista oli säilynyt 60–67%. Jääviä puita oli jokaisella käsittelyllä yli 3500 kpl ha<sup>-1</sup>, mitä pidettiin riittävänä kasvatuskelpoiselle metsikölle. Voimakkaan hakkuun jälkeen metsikön tilavuus ja puuston määrä oli kuitenkin niin pieni, että seuraava hakkuu edellyttää 60–80 vuoden kasvujaksoa (MacDonell & Groot 1996).

### Eri-ikäiskasvatuksen tuotos ja kannattavuus

Luonnontilaisissa mustakuusikoissa vuotuisen tilavuuskasvun kulminaatio on vajaan 100 vuoden iällä (Plonski 1974), joka vastaisi tilavuustuotoksen maksimoivaa kiertoaikaa. Koska *second-growth* –metsikoissa hakkuunjälkeinen puustopääoma on suurempi kuin avohakatuissa tai luontaisesti palon jälkeen uudistuneissa metsikoissa ja koska niiden kasvunopeus hakkuun jälkeen on verrattavissa luonnontilaisten metsiköiden kasvuun (Morin & Gagnon 1992 ja Pothier ym. 1996), *second-growth* -metsiköt kehittyvät kaupalliseen mittaan nopeammin kuin luonnontilaiset tai avohakatut metsiköt.

MacDonell & Groot (1996) arvioivat karkeasti, että metsiköt, joiden hakkuussa säästettiin vain alle 1,3 m:n alikasvos (kokopuuna korjuu kaato-kasauskoneella), kehittyvät todennäköisesti tasikäisinä, jolloin vuotuisen tilavuuskasvun kulminaation (Plonski 1974) perusteella laskettu kiertoaika olisi sama kuin luontaisesti palon jälkeen syntyneilläkin, eli kasvupaikasta riippuen 85–105 vuotta. Metsiköt, joissa myös suurempia puita varrottiin, kuten vuosisadan alun hevoshakkuissa, kehittyvät todennäköisesti eri-ikäisiksi, ja saavuttavat kaupalliset mitat 60 – 80 vuoden kuluttua hakkuusta.

Groot (1997a) on simuloinut eri-ikäisrakenne turvemaan mustakuusikon kasvua ja tuotosta erilaisilla minimiläpimitta- ja hakkuukierto-kombinaatioilla. Simulointi perustui uudistumisdynamiikan malleihin ja puutason kasvumalliin. Uudistumisdynamiikan mallit käsittivät pienten puiden (< 2,5 m pitkät) pituuskasvumallin, sekä kuolemismallin ja kokonaisrunkolukumallin (Groot 1997a). Käytetty kasvumalli oli tasikäisille mustakuusikoille tehty puutason kasvumalli (Miner ym. 1987), joka oli kalibroitu turvemaiden tuotostaulukoiden (Plonski 1974) perusteella. Laskennassa otettiin huomioon, mm. että ajourat vievät n. 28% pinta-alasta ja että osa alikasvoksesta tuhoutuu myös ajourien välissä. Läpimittarajaa muuttamalla voitiin muuttaa jäävän puuston määrää.

Simuloinnin tulosten mukaan suurin kestävä keskimääräinen hakattava tilavuus laskettuna vuotta ja hehtaaria kohden saatiin kasvupaikkaluokalle 2 (Plonski 1974) yhdistelmällä, jossa hakkuukierto oli 40 vuotta ja minimiläpimittaraja 10 cm (Groot 1997a). Tämä kuitenkin johti siihen,

että hakattujen puiden keskimääräinen koko jäi alle 0,1 m<sup>3</sup>:iin. Suurempi minimiläpimitta taas pienensi keskimääräistä tilavuuskertymää, joten suuri tilavuustuotos ja suuri keskimääräinen korjattavien puiden koko eivät olleet yhteensovitettavissa. Maksimaalinen keskimääräinen tilavuustuotos 2,3 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> v<sup>-1</sup> oli hieman korkeampi kuin tasikäiselle metsikölle laskettu (2,0 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> v<sup>-1</sup>) (Groot 1997a). Jos kuitenkin halutaan korjattavien puiden keskikoon olevan suurempi, eri-ikäiskasvatuksesta tulee todennäköisesti tuotostappioita suhteessa tasaikäisenä kasvatukseen.

Minimiläpimittaraja vaikuttaa myös hakkuun kustannuksiin, sillä yksiotehakkuukoneen tuottavuus laskee puiden koon pienetessä (Plamondon 1995). Toisaalta pinta-alaa kohti laskettu korjuukertymä pienenee, jos läpimittarajaa nostetaan, jolloin puunkorjuun kustannukset nousevat tienrakennustarpeen lisääntyessä. Kaato-kasauskoneella ei toistaiseksi voida tehdä hakkuuta, joissa jäisi riittävä puustopääoma ja alikasvos metsikön edelleenkasvattamiseksi.

### ARVIOITA ERI-ikäISKASVATUKSEN SOPIVUUDESTA JA TUTKIMUSTARPEISTA

Turvemaan mustakuusikon eri-ikäisenä kasvataminen näyttäisi soveltuvan metsiköihin, joissa jo on erikokoisrakenne, eli n.s. *second-growth* -metsiköt ja tietyt luonnonmetsiköt. Niukkaravinteisillä kasvupaikoilla on riittävä alikasvos, jonka varaan voi perustaa seuraavan puusukupolven käyttäessä varovaista uudistamishakkuuta. Mustakuusi kykenee sopeuttamaan kasvunsa pitkänkin alikasvosvaiheen jälkeen uusiin oloihin. Valmiiksi erirakenteisessa metsikössä voidaan tavaralajimentelmällä hakata suurimmat puut, joilloin metsikön rakenne säilyy ja riittävä puustopääoma jää kasvamaan seuraavaan hakkuuseen. Kasvupaikan niukkaravinteisuuden vuoksi ei myöskään ole vaaraa puulajin vaihtumisesta enemmän varjoa sietävään palsamipihtaan (MacDonell & Groot 1996). Myöskään puiden laadussa ei ole havaittu puutteita, vaikka metsikkö perustuu edellisen metsikön pienimpiin puihin (Stanek 1968).

Sen sijaan ei ole selvää, sopiiko eri-ikäiskasvatus metsien sukkessiodynamiikkaan, joka Pohjois-Amerikassa perustuu laaja-alaisiin häiriöihin, kuten metsäpaloihin tai myrskyihin (Groot 1997b). Pysyväle ajouraverkostolle ei myöskään

ole selvää ekologista perustetta. Lisäksi korjuukustannukset tulevat perinteisiä menetelmiä suuremmiksi ja uutta kalustoa jouduttaisiin hankkimaan. Toisaalta eri-ikäiskasvatuksessa voitaisiin ottaa hakkuukäyttöön alueita, joilla avohakkuita ei voida tehdä. Tasaikäiskasvatukseen verrattuna metsä todennäköisesti tarjoaa monimuotoisemman elinympäristön riistalle ja suuremmat virkistyskäytön arvot.

Analyysi eri-ikäisen metsikön kasvatuksen tuotoksesta (Groot 1997a) perustuu simulointeihin, koska vastaavasti käsitellyistä metsistä ei ole vielä olemassa koeaineistoa (vrt. MacDonell & Groot 1996). Simuloinnin puutteena voidaan pitää sitä, että käytetty kasvumalli on aikanaan laadittu tasaikäisille metsikoille toiselle maantieteelliselle alueelle ja maapohjalle. Kalibrointi tuotostaulukoihin parantaa mallin ennusteen realistisuutta, mutta ei ole varmuutta siitä, miten malli pystyy kuvaamaan *second-growth*-metsiköiden kasvun dynamiikkaa soilla. Simuloinnin luotettavuutta voidaan parantaa korvaamalla kasvumalli *second-growth*-metsiköistä laaditulla puutason kasvumallilla (Hökkä & Groot, käsikirjoitus). Koska hakkuunjälkeiset metsiköt ovat hyvin heterogeenisiä sekä tila- että kokojakaumaltaan, on mahdollista, että yksittäisen puun kilpailuympäristö ja sen muutos tulisi tarkemmin ottaa huomioon käyttämällä joko kilpailuindeksejä tai prosessimallien tapaista lähestymistapaa, jossa pääasiallinen vaikuttava tekijä olisi valon saatavuus (Groot 1997a). Tätä varten tarvitaan järjestetyistä koikeista mitattua tietoa puiden kasvureaktiosta kasvuolojen muutokseen.

## KIITOKSET

Suomen Akatemia ja Metsämisen säätiö ovat tukeneet tätä tutkimusta.

## KIRJALLISUUS

- Arup, R. W., Campbell, B. A., Raper, R. P. Squires, M. F. Virgo, K. D., Wearn, V. H. & White, R. G. 1988. A silvicultural guide for the spruce working group in Ontario. Ontario Ministry of Natural Resources, Toronto, Ontario. OMNR Science & Technology Series V.4. 100 pp.
- Bonner, E. 1952. Establishment of spruce pulpwood lands in Northern Ontario. *New York Forester* IX(2).
- Brumelis, G. & Carleton, T. J. 1988. The vegetation of post-logged black spruce lowlands in Central Canada. I. Trees and shrubs. *Canadian Journal of Forest Research* 18: 1470–1478.
- Carleton T. J. & Maycock, P. F. 1978. Dynamics of the boreal forest south of James Bay. *Canadian Journal of Botany* 56: 1157–1173.
- Groot, A. 1984. Stand and site conditions associated with abundance of black spruce advance growth in the Northern Clay section of Ontario. Canadian Forestry Service, Great Lakes Forest Research Centre, Sault Ste. Marie. Canadian Forestry Service Information Reports, O-X-358. 15 pp.
- Groot, A. 1994. Silvicultural systems for Black spruce ecosystems. Teoksessa: Bamsey, C. (toim.) Proceedings: Innovative Silviculture Systems in Boreal Forests, a symposium held in Edmonton, Alberta, Canada. Oct. 2–8, 1994. Clear Lake Ltd. Edmonton, Alberta: 47–51.
- Groot, A. 1995. Harvesting methods affects survival of black spruce advance growth. *Northern Journal of Applied Forestry*. 12(1): 8–11.
- Groot, A. 1996. Regeneration and surface condition trends following forest harvesting on peatlands. Natural Resources Canada, Canadian Forest Service, Great Lakes Forestry Centre, Sault Ste. Marie. NODA/NFP Technical Report. TR-26. 12 pp.
- Groot, A. 1997a. Modelling growth and yield associated with uneven-aged management of *Picea mariana*. A paper presented at the 'Empirical and Process-based Models For Forest Tree and Stand Growth Simulation', Oenias, Portugal, 21–27 Sept. 1997. (In Press)
- Groot, A. 1997b. Uneven-aged silviculture for peatland Black spruce. A paper presented at the 'Interdisciplinary Uneven-aged Silviculture Symposium' 15–19 September, Corvallis, Oregon, USA. (In Press)
- Groot, A. 1998. Physical effects of site disturbance on peatlands. *Canadian Journal of Soil Science*. 78: 45–50.
- Groot, A. & Adams, M. J. 1994. Direct seeding black spruce on peatlands: fifth-year results. *Forestry Chronicle*. 70: 585–592.
- Groot, A. & Horton, B. 1994. Age and size structure of natural and second-growth peatland *Picea mariana* stands. *Canadian Journal of Forest Research* 24: 225–233.
- Groot, A. & Mattice, C. R. 1995. Second-growth black spruce stands provide lessons for current silviculture. Natural Resources Canada, Canadian Forest Service, Great Lakes Forestry Centre, Sault Ste. Marie, Ontario, Frontline Technical Note No. 62. 4 pp.
- Haavisto, F. 1975. Peatland black spruce seed production and dispersal in northeastern Ontario. Teoksessa: Black spruce symposium. Thunder Bay, Ontario. Sept. 23–25, 1975. Symposium Proceedings O-P-4. Canadian Forestry Service, Great Lakes Forestry Centre, Sault Ste. Marie, Ontario: 250–264.
- Jeglum, J. K. 1974. Relative influences of moisture-aeration and nutrients on vegetation and Black spruce growth on northern Ontario. *Canadian Journal of Forest Research* 4: 114–126.
- Jeglum, J. K. & Kennington, D. J. 1993. Strip clearcutting

- in black spruce: a guide for the practicing forester. Forestry Canada, Ontario Region. Great Lakes Forestry Centre. 102 pp.
- Ketcheson, R. S. & Jeglum, J. K. 1972. Estimates of black spruce and peatland areas in Ontario. Canadian Forest Service, Sault Ste. Marie, Ontario, Information Report. O-X-172. 29 pp.
- Koroleff, A. 1948. Pulpwood cutting: efficiency of technique. Canadian Pulp Paper Association, Montreal, Quebec. Woodlands Section Index No. 630 (B-7-a). 122 pp.
- MacDonell, M. R. & Groot, A. 1996. Uneven-aged silviculture for peatland second-growth black spruce: Biological feasibility. Natural Resources Canada, Canadian Forest Service, Great Lakes Forestry Centre, Sault Ste. Marie, Ontario. NODA/NFP Technical Report. TR-36. 14 pp.
- MacDonell, M. R. & Groot, A. 1997. Harvesting peatland black spruce: impacts on advance growth and site disturbance. Forestry Chronicle 73: 249–255.
- Miner, C. L., Walters, N. R. & Belli, M. L. 1987. A guide to the TWIGS program for the North Central United States. North Central Forest Experiment Station, St. Paul, Minnesota. USDA Forest Service General Technical Report. NC-125. 105 pp.
- Morin, H. & Gagnon, R. 1992. Comparative growth and yield of layer- and seed-origin black spruce (*Picea mariana*) stands in Quebec. Canadian Journal of Forest Research 22: 465–473.
- Payandeh, B. 1990. Preliminary yield functions and tables for peatland black spruce in Ontario. Forestry Canada, Ontario Region, Sault Ste. Marie, Ontario, Information Report. O-X-405. 10 p. + app.
- Plamondon, J. A. 1995. Productivity and cost of a shortwood system in partial cutting of black spruce forest. Forest Engineering Research Institute of Canada, Pointe-Claire, Quebec. Field note No.: Partial Cutting-7. 2 pp.
- Pionski, W. L. 1974. Normal yield tables (metric) for major forest species of Ontario. Ontario Ministry of Natural Resources, Division of Forests. Toronto, Ontario. 40 pp.
- Pothier, D., Doucet, R. & Boily, J. 1995. The effect of advance regeneration height on future yield of black spruce stands. Canadian Journal of Forest Research 25: 536–544.
- Rowe, J. S. 1972. Forest Regions of Canada. Canadian Department of Environment, Canadian Forest Service, Ottawa, Ontario. Publication No. 1300. 172 pp.
- Ruel, J.-C., Doucet, R. & Boily, J. 1995. Mortality of balsam fir and black spruce advance growth 3 years after clear-cutting. Canadian Journal of Forest Research 25: 1528–1537.
- Smith, D. M. 1986. The practice of silviculture. John Wiley and Sons, Toronto, Ontario. 527 pp.
- Smith, V. G., Watts, M. & James, D. F. 1987. Mechanical stability of black spruce in the clay belt region of northern Ontario. Canadian Journal of Forest Research 17: 1080–1091.
- Stanek, W. 1961. Natural layering of black spruce in northern Ontario. Forestry Chronicle 37: 245–258.
- Stanek, W. 1968. Development of black spruce layers in Quebec and Ontario. Forestry Chronicle 44: 25–28.
- Whynot, T. W. & Penner, M. 1992. Growth and yield of black spruce ecosystems in the Ontario Clay Belt: Implications for forest management. Petawawa National Forestry Institute. Publications Distribution Centre, Chalk River, Ontario. Information Report PI-X-99. 37 pp.

## SUMMARY

### Recent studies on black spruce management on peatlands in northern Ontario. A literature review

As a result of flat, poorly drained soils and humid climate, extensive peatlands dominate the landscape of Clay Belt area in northern Ontario (Bonner 1952). Black spruce (*Picea mariana*, (Mill.) B.S.P.) is the most common tree species on peatland sites, and is also the most important commercially in the Clay Belt area (Ketcheson & Jeglum 1972). This slowly growing species has been utilized since 1910–20 as a raw material for high quality pulp and paper. At the beginning, logging of merchantable trees was done with hand-saw and horse. Later, even-aged management with mechanized clearcut and artificial or natural regeneration has been applied to peatland black

spruce. Due to problems in regeneration, alternative management, like strip cutting, harvest with regeneration protection, and uneven-aged management have been introduced (Jeglum & Kennington 1993, Groot 1994). Studies focusing on the two last-mentioned methods are reviewed in this article.

In natural conditions, black spruce regenerates mainly through total disturbances, such as forest fires and wind storms (Groot & Horton 1994). After a fire, an even-aged stand will be established. Typically, the early growth of seedlings is slow and stand density is high. High density is characteristic throughout stand develop-



ment, e.g., at age 90, 3 000–4 000 stems ha<sup>-1</sup> may be found (Plonski 1974). In peatland sites, even-aged natural stands reach 8–21 m dominant height in 150 years (Payandeh 1990), but their volume will usually collapse before that, at age 75–125 (Smith et al. 1987, Whynot & Penner 1992). As the dominant trees attain a critical height 20–21 m, they become susceptible to wind throw and fall down (Smith et al. 1987).

As stand age increases, some stands may develop uneven-sized structure through partial disturbances (Groot & Horton 1994). Abundance of advance growth increases as stand density decreases, and in many stands sufficient advance growth is present to provide a basis for the next tree generation (Groot 1984). Mostly these new trees are vegetatively regenerated layers growing in small openings created by wind throw.

Timber harvest is a new man-made disturbance affecting the present forests. Harvesting may cause partial disturbance, like horse-logging or total disturbance like mechanized clear-cutting. Harvest with regeneration protection is now the most widespread form of harvest on peatlands.

The naturally wide range in tree age in old stands, and the uneven structure of the present second-growth stands suggest that uneven-aged management may be an option in peatland black spruce (MacDonell & Groot 1996). The species is moderately tolerant to shade: it may survive in suppressed conditions, and growth responds to changes in light conditions. It has shown good growth response to removal of the overstorey (Groot & Mattice 1995, Pothier et al. 1995).

New techniques have been developed to better protect advance growth in the harvest. If advance growth is abundant, harvest using feller-buncher is suitable (Fig. 1), if not, a single-grip harvester is superior in protecting most residual trees (MacDonell & Groot 1997). Mortality occurs mainly during the first year after harvest, with a subsequent slight increase in density as new seedlings establish (Ruel et al. 1995, Groot 1996).

Under uneven-aged management, harvesting of uneven-aged stand with varying intensity, i.e.,

with varying minimum diameter limits, and simultaneous maintenance of the stand structure is possible if flexible and manoeuvrable machinery are available to protect the residual stand (MacDonell & Groot 1996). Within a wide range of minimum diameter limits, a sufficient number of trees can be retained to perpetuate a well-stocked stand in the future (MacDonell & Groot 1996).

Advance growth protected during harvest will reach merchantable size more quickly than planted or naturally regenerated trees. Depending on the size distribution of the retained trees, the stand will develop as even-aged or uneven-aged (MacDonell & Groot 1996). On the basis of the culmination of mean annual increment in natural stands, the corresponding rotation period for the even-aged stand would be 85–105 yr. The uneven-aged stand would be merchantable in 60–80 yr. after harvest (MacDonell & Groot 1996). Preliminary simulation of black spruce uneven-aged management, incorporating a regeneration dynamics model and an individual-tree growth model, showed optimum volume production when the cutting cycle and the diameter limit were 40 yr. and 10 cm, respectively (Groot 1997a). There was a trade-off between the volume production and average size of the harvested trees.

Uneven-aged management appears to be feasible on poor wet sites, where there is abundant advance growth and stands may naturally develop an uneven-sized structure (Groot & Horton 1994, MacDonell & Groot 1996). However, the method is not consistent with the natural succession dynamics of much of the boreal forests, where periodic total disturbances typically occur. Uneven-aged management is currently economically unattractive, since harvest costs may be higher and new harvest equipment is required. The growth and yield of uneven-structured black spruce needs to be analyzed using specific growth models constructed for this kind of stands. A process-based model approach may be beneficial. Furthermore, data from permanent experimental stands are needed to better understand the stand response to partial cutting.