



Jyrki Hytönen



Anna Saarsalmi

Jyrki Hytönen ja Anna Saarsalmi

Harmaaleppä energiapuuna

Hytönen, J. & Saarsalmi, A. 2015. Harmaaleppä energiapuuna. Metsätieteen aikakauskirja 3/2015: 153–164.

Lyhyisiin kiertoaikoihin, vesoviin puulajeihin ja suuriin kasvatustiheyksiin perustuvia energiapuun tuotantomenetelmiä on tutkittu eri puolilla maailmaa. Harmaaleppä (*Alnus incana* (L.) Moench.) on boreaalisen ilmastovyöhykkeen nopeakasvuinen pioneeripuulaji, joka on yksi mielenkiintoisimmista energiapuukasvatukseen soveltuvista puulajeista. Leppää pidetään maabiologisesti arvokkaana puulajina typensidontakykynsä ansiosta. Harmaalepikoiden vuosittain sitoman typen määrän on arvioitu olevan 42–150 kg ha⁻¹. Typpilannoitus ei olekaan lisännyt leppä tuotosta. Harmaalepikot voidaan uudistaa vesomalla, sillä leppä tekee runsaasti sekä juuri- että kantovesoja. Luontaisesti syntyneiden yli 10 vuoden ikäisten harmaalepikoiden lehdetön keskimääräinen vuotuinen biomassatuotos on samantasoinen kuin tiheissä hieskoivikossa (noin 3–4 t ha⁻¹). Optimaalista kiertoaikaa ei tarkoin tunneta, mutta se lienee noin 15–20 vuotta.

Avainsanat: harmaaleppä, typensidonta, bioenergia, lämpöarvo, biomassatuotos

Yhteystiedot: Luonnonvarakeskus, Kannus ja Vantaa

Sähköposti: jyrki.hytonen@luke.fi, anna.saarsalmi@luke.fi

Hyväksytty 6.7.2015

Saatavana <http://www.luke.fi/aikakauskirja/full/ff15/ff153153.pdf>

I Johdanto

Harmaaleppä (*Alnus incana* (L.) Moench.) on pohjoisen havumetsävyöhykkeen ja lauhkean lehtimetsävyöhykkeen puu, mutta sen levinneisyysalue kattaa lähes koko Euroopan (Salmi 1993, Rytter 1996). Suomessa harmaaleppää tavataan lähes koko maassa. Suomen oloissa leppävaltaisia metsiä on suhteellisesti eniten viljavilla kasvupaikoilla (Hakkila 1970). Harmaaleppä alkoi yleistyä kaskiviljelyn myötä, erityisesti Itä-Suomessa (Miettinen 1932). Vielä 1920-luvun alussa harmaaleppävaltaisia metsiköitä oli koko maassa 1,5 % ja Itä-Suomessa jopa 6–15 % kasvullisen metsämaan pinta-alasta (Miettinen 1932). Harmaaleppää pidettiin metsätaloudessa jopa roskapuuna (Salmi 1993). Myös metsänhoitosuosituksissa harmaaleppä on yleensä pidetty vajaatuottoisina metsiköinä, koska harmaaleppä on nähty taloudellisesti vähäarvoisena tai kasvupaikalle puuntuotannollisesti sopimattomana puulajina (Metsänhoitosuosituksien 1989, Hyvän metsänhoidon suosituksien 2001, 2006, Äijälä ym. 2014). Siksi lepikoita uudistettiin toisen maailmansodan jälkeen määrätietoisesti havupuulle (esim. Raulo 1972), minkä seurauksena leppävaltaisten metsien osuus on käynyt vähäiseksi. Edelleenkin harmaaleppää on eniten Itä-Suomessa, jossa kaskeaminen jatkui pisimpään. Valtakunnan metsien 9. inventoinnin (1996–2000) tulosten mukaan leppävaltaisia metsiä oli Etelä-Suomessa enää 0,6 % metsäpinta-alasta (Peltola 2001). Myöhemmissä inventoinneissa harmaaleppäkoivien osuus on yhdistetty muihin lehtipuihin.

Leppää on ajoittain käytetty kuitupuuna muiden lehtipuiden seassa sekä lastulevyn raaka-aineeksi (Salmi 1993). Huonekalu- ja puusepänteollisuus on kiinnostunut lepästä. Harmaaleppä suosio on kasvanut mm. saunan lauteiden ja paneelien valmistuksessa (Kärki 1997). Harmaaleppää käytetään kuitenkin pääasiassa polttopuiksi.

Energiapuun käyttöä on edistetty viime vuosina voimakkaasti. Tavoitteena on mm. hillitä ilmastonmuutosta, turvata energian toimitusvarmuutta, monipuolistaa energian hankintaa sekä edistää työllisyyttä ja alueellista kehitystä. EU:n tavoitteena on kasvattaa uusiutuvan energian osuus 20 %:iin vuoteen 2020 mennessä. Suomessa tavoitteeksi on asetettu lisätä metsähakkeen vuotuinen käyttö ny-

kyisestä 8,3 milj. m³:stä (v. 2014, ks. Ylitalo 2015) 13,5 milj. m³:iin vuoteen 2020 mennessä (Työ- ja Elinkeinoministeriö 2010).

Nykyisin energiapuuta korjataan lähinnä pienpuuna harvennuselementeistä ja päätehakkuaaloilta hakkuutähteenä ja kantoina. Käytön lisääntyessä metsähakkeen raaka-aineesta voikin tulla paikoin pula (Anttila ym. 2014). Siten energiapuun kasvatus saattaa tulla pian ajankohtaiseksi, ja se voi olla jopa kannattavaa (Jylhä ym. 2015). Lyhyisiin kiertoaikoihin, vesoviin puulajeihin ja suuriin kasvatustiheyksiin perustuvia energiapuun tuotantomenetelmiä on tutkittu eri puolilla maailmaa. Esimerkiksi Ruotsissa on yli 10 000 ha energiapajuviiljelmiä. Suomessa voitaisiin kokeilla energiatuotannossa myös kotimaisia lehtipuulajeja. Harmaaleppä on boreaalisen ilmasto-työhykkeen nopeakasvuinen pioneeripuulaji, joka on yksi mielenkiintoisimmista energiapuukasvatukseen soveltuvista puulajeista.

2 Harmaaleppä maan parantajana

Leppää pidetään maabiologisesti arvokkaana puulajina typensidontakykynsä ansiosta (Virtanen 1957, Mikola 1966, Palmgren ym. 1985, Aosaar ym. 2013, Uri ym. 2014). Harmaaleppällä on juurissaan nystyröitä, jotka aiheuttaa kasvin symbioosi *Frankia*-bakteerin (ent. sädesieni) kanssa (kuva 1). Näiden juurinystryöiden ansiosta leppä on omavarainen typen suhteen.

Arviot eri leppälajien vuosittain sitomasta typen määrästä vaihtelevat suuresti mm. puiden iän, metsikön tiheyden ja kasvuolojen mukaan. Harmaaleppäkoivien vuosittain sitoman typen määrän on arvioitu olevan 42–150 kg ha⁻¹ (Johnsrud 1978, Rytter ym. 1990, Uri ym. 2011, 2014). Lepikoissa maan pintakerroksen pH on usein yllättävän matala, minkä arvellaan johtuvan typensidonnan, karikkeen hajoamisen sekä nitrifikaation happamoittavasta vaikutuksesta (Tarrant ja Trappe 1971, Borman ja DeBell 1981).

Osa *Frankia*-bakteerin ilmakehästä sitomasta typestä voi siirtyä maahan suoraan lepän juuristosta (Virtanen 1957, Aosaar ym. 2013, Uri ym. 2014).

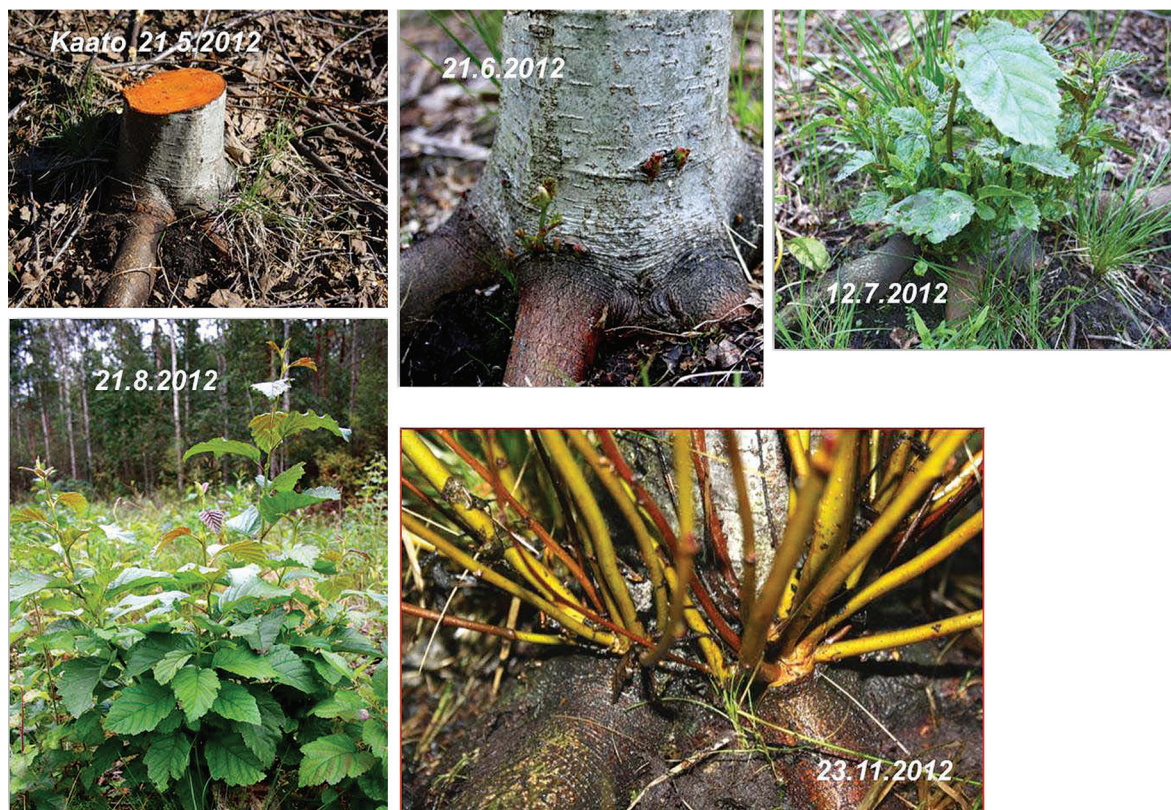


Kuva 1. Lepän juurinyströitä. Kuva: Erkki Oksanen.

Suurempi määrä siirtyy kuitenkin lehtikarikkeen mukana (Mikola 1958, 1966). Viro (1955) osoitti, että lehdistä kulkeutuu typpeä pois ennen niiden varisemista huomattavasti vähemmän lepällä kuin muilla lehtipuilla. Lepän lehtikarike sisältääkin typpeä 2–3 % eli kaksi tai kolme kertaa enemmän kuin muiden lehtipuiden karike Euroopassa (Mikola 1954, 1966, Viro 1955, Saarsalmi ym. 1985, Saarsalmi ja Mälkönen 1989). Harmaaleppän karikkeissa tulee vuosittain maahan typpeä 50–100 kg ha⁻¹ (Mikola 1966, Saarsalmi ym. 1985, Saarsalmi ja Mälkönen 1989). Korkean typpipitoisuutensa ja matalan ligniinipitoisuutensa takia lepän karike on helposti hajoavaa (Mikola 1958). Siksi lepällä on maata parantava vaikutus (Viro 1955, Virtanen 1957, Mikola 1958 ja 1966, Schalin 1966).

3 Vesominen

Harmaaleppä tekee runsaasti sekä juuri- että kantovesoja (kuvat 2 ja 3) (Heikinheimo 1915, 1917, Turunen 1953, Paukkonen ym. 1992). Juurisilmut sijaitsevat usein juurten mutkissa (Paukkonen ym. 1992). Emopuun kaataminen tai kituminen eivät ole välttämättömiä edellytyksiä lepän juurivesojen syntymiselle, vaan hyvinkin elinvoimaiset puut voivat muodostaa juurivesoja (Heikinheimo 1915). Esimerkiksi 8-vuotias siemensyntyinen leppä oli tehnyt jo 12 juurivesaa ja uusia oli kehittymässä silmuista. Harmaaleppän on todettu uudistuvan myös palon (kaskeamisen) jälkeen hyvin kantovesoista (Heikinheimo 1915, 1917). Nuoriin harmaaleppiin syntyy tyvileposilmuja, jotka kuitenkin kasvavat huonosti pituutta ja hautautuvat usein puun kasvaessa kuoren sisään (Paukkonen ym. 1992). Harmaaleppälle syntyykin yleensä vain vähän kantovesoja tyvileposilmuista. Pääosa harmaaleppän kantovesoista syntyy



Kuva 2. Lepän kantovesojen kehittyminen yhden kasvukauden aikana Limingan Hirvinevalla. Sama kanto kuvattuna eri ajankohtina. Kuvat: Jorma Issakainen.

kannon reunaan syntyvistä adventiivisista silmuista. Leppien silmujen määrä lisääntyy toistuvan vesotamisen seurauksena, mikä on lyhytkiertoviljelyssä toivottava ominaisuus (Paukkonen ym. 1992). Saattaa olla, että leppä myös säätelee syntyvien kantovesojen määrää, sillä niitä syntyy harvoin yli 10 kpl kantoa kohti, vaikka silmuja olisi runsaasti (Saarsalmi ym. 1991, Paukkonen ym. 1992). Harmaaleppä uudistuu palon (kaskeamisen) jälkeen hyvin juurivesoista (Heikinheimo 1915, 1917). Vaikka alue kaskeamisen jälkeen kynnettiin, se ei haitannut vesomista (Heikinheimo 1915).

Kaikkiin harmaalepän kantoihin ei synny vesoja kaadon jälkeen. Vesomattomien kantojen osuus voi olla noin 15 % (Ali-Alha 1987). Kaatoajankohta voi myös vaikuttaa vesojen syntyyn ja pituuskasvuun. Kasvukauden aikana tehty kaato tuotti vähemmän vesoja kuin sen jälkeen tehty kaato (Ali-Alha 1987).

Heikinheimon (1930) tutkimuksessa ero kaatoajankohtien välillä oli kuitenkin varsin pieni (5 %). Vesojen keskipituus oli kuitenkin 4–5 vuoden kuluttua, keväällä ja alkukesällä tehtyjen kaatojen jälkeen 30 cm (20 %) lyhyempi kuin muina aikoina kaadetuilla lepillä (Heikinheimo 1930). Ali-Alhan (1987) mukaan kaatoajankohta ei kuitenkaan vaikuttanut vesoneiden harmaaleppien kantovesojen valtapituu-teen. Lepän kantovesojen määrä kuitenkin kasvoi kannon koon kasvaessa (Ali-Alha 1987). Rossin ja Rikalan (1992) tutkimuksessa lepän vesojen lukumäärä ja pituus kasvoivat kannon läpimitan kasvaessa tutkimuksen suurimpaan läpimittaluokkaan, 11 cm:iin asti. Hyvin lyhyiden lepän kantojen on havaittu vesovan heikommin kuin pitkien (Rossi ja Rikala 1992). Myös rehevä pintakasvillisuus ja sen aiheuttama varjostus vähentävät lepän kantovesojen määrää (Ali-Alha 1987).



Kuva 3. Lepän kanto- ja juurivesoja Juuassa avohakkuun jälkeen. Kuva: Jorma Issakainen.

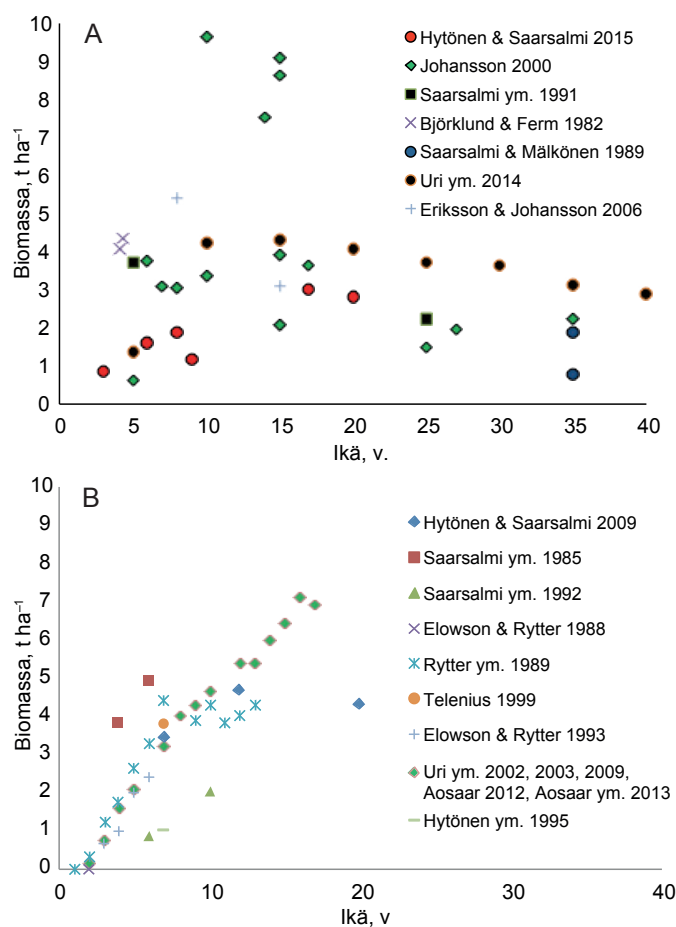
4 Harmaaleppän kasvu ja biomassatuotos

Hyvillä kasvupaikoilla harmaalepikoiden vuotuinen runkokuun tilavuuskasvu voi olla jo viiden vuoden ikään mennessä $5 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ (Miettinen 1932). Suotuisissa olosuhteissa harmaaleppä voi Suomessa saavuttaa 20 m pituuden. Harmaaleppän vuotuinen keskikasvu näyttää kulminoituvan 15–20 vuoden iässä (Miettinen 1932, Aosaar 2012, Aosaar ym. 2012), mutta joissakin tapauksissa vielä yli 20-vuotiaiden harmaalepikoiden biomassan tuotos voi olla suuri (Uri ym. 2014). Yli 40-vuotiaat harmaalepät ovat usein lahovikaisia. Harmaaleppää kasvattamalla voidaan saada suurempi runkokuun tuotos kuin männyllä, kuusella ja koivulla, jos harmaalepikon kiertoaika pidetään suhteellisen lyhyenä (Miettinen 1932, Aosaar ym. 2012, Uri ym. 2014). Harmaaleppä on ilmastollisesti kestävä ja kelpaa huonosti hirville, myyrille ja jäniksille. Toisaalta lepän tyypipitoiset lehdet ovat haluttua ravintoa kasvinsyöjähyönteisille. Lepän lehdillä elää suuret määrät perhosia, sahapistiäisiä, kovakuoriaisia ja äkämänmuodostajia (Niemelä 2010).

Harmaaleppän kasvatusta energiapuuksi on tutkittu luonnonlepikoissa, leppäviljelmillä ja vesasyntyisissä lepikoissa (Björklund ja Ferm 1982, Saarsalmi ym. 1985, 1991, 1992, Saarsalmi ja Mälkönen 1989, Rytter ym 1989, Slapokas ja Granhall 1989, Rytter 1995, 1996, Hytönen ym. 1995, Hytönen ja Saarsalmi 2009, 2015, Johansson 2000, Uri ym. 2002, 2003, 2014, Aosaar 2012, Aosaar ym. 2012, 2013).

Luontaisesti syntyneiden harmaalepikoiden biomassan tuotos voi olla suuri, mutta energiapuukasvatusta ajatellen ne eivät kuitenkaan näytä soveltuvan kasvatettavaksi 10–15 vuotta lyhemmillä kiertajoilla. Johanssonin (1999) mukaan luontaisesti syntyneissä harmaalepikoissa voidaan saada 4–6 t ha^{-1} keskimääräinen lehdetön maanpäällinen vuotuinen kuiva-ainetuotos. Todennäköisesti lehdetön keskimääräinen vuotuinen biomassatuotos on kuitenkin yli 10 vuoden iässä hieman pienempi (3–4 t ha^{-1}) (kuva 4), eli samaa suuruusluokkaa kuin on Suomessa mitattu tiheistä harventamattomista hieskoivikoista (2,5–5,3 t ha^{-1} , Björklund ja Ferm 1982, Ferm 1990, Hytönen ja Aro 2012, Niemistö 2013).

Viljeltyjen lehtien harmaalepikoiden keskimääräinen lehdetön vuotuinen biomassatuotos voi olla 4–5 t ha^{-1} noin kymmenen vuoden iällä (kuva 4).



Kuva 4. Tiheiden luontaisesti syntyneiden (siemen- ja vesasyntyiset) (A) ja istutettujen (B) lepikoiden keskimääräinen lehdetön maanpäällinen vuotuinen kuiva-ainetuotos Pohjoismaissa ja Baltian maissa.

Virossa on mitattu huomattavasti tätäkin suurempi biomassatuotos (kuva 4). Entisellä peltomaalla kasvatetunharmaaleppäviljelmän lehdetön biomassan tuotos oli suomalaisessa tutkimuksessa 5 vuoden jälkeen 29 t ha^{-1} (kuva 5) ja virolaisen tutkimuksen mukaan niin ikään entisellä peltomaalla 17 vuoden jälkeen 105 t ha^{-1} (Aosaar ym. 2013). Entisellä suonpohjalla harmaaleppäviljelmän biomassatuotos oli suomalaisen tutkimuksen mukaan 19 vuoden jälkeen 85 t ha^{-1} (Hytönen ja Saarsalmi 2009).

5 Harmaalepän kasvatusta

Maataloudesta vapautuneet kivennäismaapellot soveltuvat harmaalepän kasvatukseen hyvin (Saarsalmi ym. 1985, Uri ym. 2002, 2003, 2009, Aosaar ym. 2013). Myös turvemilla ja suonpohjilla on lepän kasvatuksesta tiheinä viljelminä saatu hyviä tuloksia (Rytter ym. 1989, Rytter 1995, Hytönen ja Saarsalmi 2009). Pallekyntö, kuten pellon metsityksessä ennen istutusta, ja sen jälkeen tehtävä heinäntorjunta voi olla lepän taimien menestymisen turvaamiseksi peltomaalla tarpeen, sillä rikkakasvit voivat haitata lepän kasvatusta ensimmäisenä vuonna, kun taimet

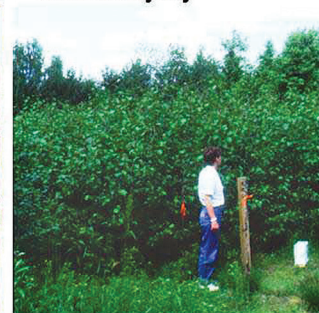
Istutus keväällä peltomaalle



Ensimmäinen syksy



Kolmas syksy



Toinen syksy



Juurinystyröitä, neljäs vuosi



Kuva 5. Viljeltyjen leppikoiden kasvatusta ja biomassatuotosta on tutkittu vasta vähän. Tämä kenttäkoe perustettiin karkeahietaiselle peltomaalle keväällä 1979 istuttamalla leppän taimia $40\,000\text{ kpl ha}^{-1}$ (Saarsalmi ym. 1985). Harmaaleppikko tuotti lehdetöntä kuivamassaa 3 vuodessa 15 t ha^{-1} ja 5 vuodessa 29 t ha^{-1} . Kuvat: Kristina Palmgren ja Anna Saarsalmi.

ovat pieniä. Herbisidien käyttöä ei suositella, koska niiden vaikutusta leppän typensidonnassa välttämättömän *Frankia*-bakteerin toimintaan ei tunneta. Suuren tuotoksen saavuttaminen lyhyehköllä kiertoaajalla edellyttää suurta puuston tiheyttä. Aikaisemmissa tutkimuksissa leppäviljelmien istutustiheys on ollut $14\,000\text{--}40\,000$ tainta hehtaarille. Viljelmän vanheksassa istutustiheyden merkitys kuitenkin vähenee. Käytännön viljelmiä perustettaessa istutustiheys voinee olla pienempi, sillä tiheissä leppikoissa runkoluku vähenee itseharvenemisen myötä nopeasti. Vaikka leppän biomassakasvatuksen optimaalista kiertoaikaa ei vielä tarkoin tunnetakaan, näyttää siltä että se on noin 15–20 vuotta (esim. Aosaar ym. 2012).

Typpiomavaraisuudestaan huolimatta leppä ei tule toimeen aivan typettömällä kasvualustalla, sil-

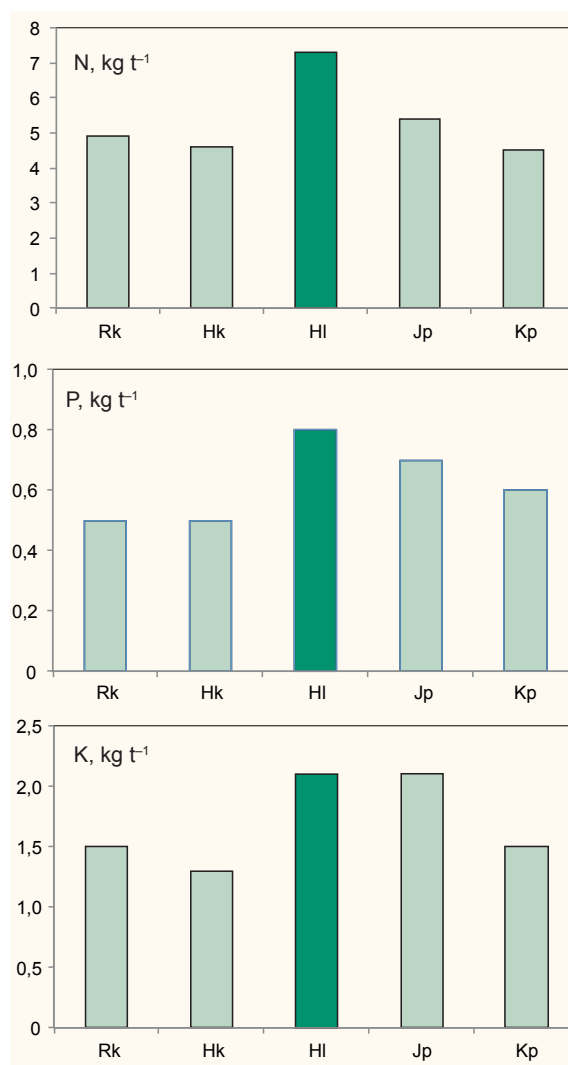
lä tietty määrä typpeä maassa edistää leppän nystyröintiä ja tehostaa typen sidontaa (Zavitkovski ja Newton 1968). Erittäin typpipitoinen kasvualusta näyttää puolestaan vähentävän nystyröiden määrää ja typen sidontaa (Ingestad 1980, Palmgren ym. 1985). Typpilannoitus ei ole lisännyt leppän tuotosta (Saarsalmi ym. 1985, Hytönen ja Saarsalmi 2015). Typpilannoitus voi jopa lisätä leppän kuolleisuutta ja siten vaikuttaa leppikon tuotokseen jopa haitallisesti (Kaunisto ja Viitamäki 1991, Saarsalmi ym. 1992).

Fosforilla on molybdeenin ohella keskeinen merkitys typensidonnassa johtuen lähinnä typensidontaprosessissa energiaa tuottavien yhdisteiden (ATP) suuresta fosforipitoisuudesta (Sprent 1979). Punalepällä (*Alnus rubra* Bong) kasvualustan pieni fosforipitoisuus on heikentänyt juurten ja nystyröi-

den kehitystä ja vaikeuttanut näin tyyden sidontaa (DeBell ja Radwan 1984). Kangasmaalle ja entisille peltomaille perustetuilla harmaaleppäviljelmillä on ollut fosforia leppän kasvatuksen kannalta riittävästi, eikä fosforilannoituksella ole ollut vaikutusta biomassatuotokseen (Saarsalmi ym. 1985, 1992, Hytönen ja Saarsalmi 2015). Suonpohjilla on turpeessa yleensä niukasti fosforia (Aro ym. 1997), ja paksuturpeisilla kohteilla fosforilannoitus onkin lisännyt harmaaleppän biomassan tuotosta (Hytönen ym. 1995, Hytönen ja Saarsalmi 2009). Ohutturpeisella turvemaalla fosforilannoituksella ei ollut vaikutusta vesasyntyisen harmaaleppikon kasvuun (Hytönen ja Saarsalmi 2015). Toisaalta fosforilannoitus on kuitenkin lisännyt vesasyntyisen harmaaleppikon biomassan tuotosta myös kangasmaalla, kun emopuusto on korjattu kokopuuna (Saarsalmi ym. 1991). Ilmeistä on, että leppikossa niin turvemailla kuin kangasmailla on odotettavissa fosforilannoitustarvetta, kun biomassaa korjataan toistuvasti. Fosforilannoitteiden sijasta voitaisiin käyttää puutuhkaa.

Leppän kykyä sitoa tyypeä ja parantaa maan ominaisuuksia voitaisiin hyödyntää kasvattamalla sitä sekapuuna muiden puulajien kanssa. Leppäsekoitus on lisännyt mm. männyn kasvua (Schalin 1966, Mikola 1975, Kaunisto ja Viitamäki 1991). Sekakasvatus on kuitenkin ongelmallista, koska harmaaleppä nopeakasvuisena puulajina varjostaa helposti muita puulajeja (Saarsalmi ym. 1992, Hytönen ym. 1995). Sekakasvatuksessa tulisikin kiinnittää huomiota puulajien kasvudynamiikkaan. Harmaaleppän kanssa kasvatettavan puulajin tulee olla joko hyvin nopeakasvuinen tai varjoa sietävä, tai leppä tulisi istuttaa myöhemmin.

Hytönen ja Saarsalmi (2009) ovat tarkastelleet energiatuotannosta vapautuneella suonpohjalla 10–11-vuotiaiden, tiheinä viljelminä kasvatettujen hies- ja rauduskoivujen, harmaaleppän ja kotimaisten pajulajien (jokipaju ja kiiltolehtipaju) ravinteiden käyttöä. Tuotettua biomassayksikköä kohti harmaaleppät sitoivat enemmän fosforia, kaliumia, kalsiumia ja magnesiumia kuin koivut, mutta vähemmän kuin pajut (kuva 6). Tyypeä harmaaleppät käyttivät biomassayksikköä kohti enemmän kuin koivut ja pajut. Ingestad (1981) on puolestaan vesiviljelmäkokein osoittanut, että harmaaleppän fosforin tarve olisi suurempi, mutta kaliumin tarve pienempi kuin rauduskoivun.



Kuva 6. Nuoriin (10–11 v.) tiheinä viljelminä kasvatettuihin lehtipuihin sitoutuneiden ravinteiden määrä tuotettua lehdetöntä kuiva-ainetonnia kohti. Rk = rauduskoivu, Hk = hieskoivu, HI = harmaaleppä, Jp = jokipaju, Kp = kiiltolehtipaju (Hytönen ja Saarsalmi 2009).

6 Polttoaineominaisuudet

Puun arvoon polttoaineena vaikuttavat etenkin kosteus, lämpöarvo ja tiheys. Tuhka pienentää palavan aineen osuutta poltossa ja runsaana esiintyessä se aiheuttaa teknisiä vaikeuksia (Hakkila 1978). Lepän tuhkapitoisuus on korkeampi kuin hies- ja rauduskoivulla, mutta huomattavasti pienempi kuin pajuilla (Hytönen ja Nurmi 2015). Harmaaleppä kuoren tuhkapitoisuus on huomattavasti korkeampi kuin puuaineen. Lyhyellä kiertoajalla kasvatettujen puiden lämpöarvo ja eri tekijöiden vaikutus siihen tunnetaan vielä huonosti. Lepän lämpöarvo kuivamassaa kohti oli hieman korkeampi kuin hies- tai rauduskoivun (Hytönen ja Nurmi 2015). Hytönen ja Nurmen (2015) tutkimuksessa nuoren harmaaleppä kuoren lämpöarvo kuivamassaa kohti oli 9–10 % korkeampi kuin puuaineen, eikä PK-lannoitus vaikuttanut lämpöarvoon.

Harmaaleppä runkojen puuaineen kuivatuoretiheys ($350\text{--}361\text{ kg m}^{-3}$) on selvästi pienempi kuin koivulla, männyllä tai kuusella (Hakkila 1970, Björklund ja Ferm 1982, Johansson 2005). Virossa on harmaaleppä puuaineelle mitattu selvästi korkeampi tiheys (396 kg m^{-3}) (Aosaar ym. 2011). Koivun koivun kuorellinen kuiva-tuoretiheys oli Björklundin ja Fermin (1982) tutkimuksessa n. 100 kg m^{-3} suurempi kuin harmaaleppällä. Siksi harmaaleppä kiintokuutiometrin lämpöarvo (MJ m^{-3}) on selvästi huonompi kuin koivun (Hakkila 1978).

7 Johtopäätöksiä

Typpiomavaraisuuden ohella lepän hyvä kyky uudistua kanto- ja juurivesojen avulla, nopea kasvu nuorella iällä ja vähäinen riski nisäkästuhoilta ovat energiapuukasvatuksessa etuja moniin muihin puulajeihin verrattuna. Koivuun verrattuna lepän vesojen riski joutua jänisten, hirvien tai porojen syömäksi on pieni. Luontaisesti syntyneiden yli 10 vuoden ikäisten harmaaleppikoiden lehdetön keskimääräinen vuotuinen biomassatuotos on samantasoinen kuin tiheissä hieskoivikossa (noin $3\text{--}4\text{ t ha}^{-1}$). Biomassakasvatuksessa lepän kiertoaika lienee 15–20 vuotta. Lepän lämpöarvo kuivamassaa kohti voi olla hieman

korkeampi kuin koivulla, mutta koska harmaaleppä tiheys on selvästi pienempi, se on polttoaineominaisuuksiltaan koivua huonompi tarkasteltaessa kiintotilavuusyksikön lämpöarvoa. Pienpuun korjuumenetelmien kehittymisen myötä harmaaleppä hyödyntämismahdollisuudet ovat parantuneet. Harmaaleppä kasvatusta, kasvatuksen kannattavuutta ja lepän biomassan tuotosta sekä ravinteiden käyttöä sekä pelloilla että suonpohjilla pitäisikin tutkia lisää. Suomeen olisikin perustettava koeviljelmia, joilla testattaisiin harmaaleppää energiapuun tuotannossa.

Lähteet

- Ali-Alha, T. 1987. Kaatoajankohdan vaikutus lehtipuiden vesomiseen. Metsänhoitotieteen pro gradu-työ. Helsingin yliopisto. 87 s.
- Anttila, P., Nivala, M., Laitila, J., Flyktman, M., Salminen, O. & Nivala, J. 2014. Metsähakkeen alueellinen korjuupotentiaali ja käyttö vuonna 2020. Metsäntutkimuslaitoksen työraportteja 313. 55 s.
- Aosaar, J. 2012. The development and biomass production of grey alder stand on abandoned agricultural land in relation to nitrogen and carbon dynamics. Estonian University of Agricultural Sciences. Thesis. Tartu. 155 s.
- , Varik, M., Löhmus, K. & Uri, V. 2011. Stemwood density in young grey alder (*Alnus Incana* (L.) Moench) and hybrid alder (*Alnus hybrida* A.Br) stands growing on abandoned agricultural land. *Baltic Forestry* 17(2): 256–261.
- , Varik, M. & Uri, V. 2012. Biomass production potential of grey alder (*Alnus incana* (L.) Moench.) in Scandinavia and Eastern Europe: a review. *Biomass & Bioenergy* 45: 11–26.
- , Varik, M., Löhmus, K., Ostonen, I., Becker, H. & Uri, V. 2013. Long-term study of above- and below-ground biomass production in relation to nitrogen and carbon accumulation dynamics in a grey alder (*Alnus incana* (L.) Moench) plantation on former agricultural land. *European Journal of Forest Research* 132(5): 737–749.
- Aro, L., Kaunisto, S. & Saarinen, M. 1997. Suopohjien metsitys. Hankeraportti 1986–1995. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 634. 51 s.
- Björklund, T. & Ferm, A. 1982. Pienikokoisen koivun ja harmaaleppä biomassan ja tekniset ominaisuudet. *Folia*

- Forestalia 500. 37 s.
- Bormann, B.T. & De Bell, D.S. 1981. Nitrogen content and other soil properties related to age of red alder stands. *Soil Science Society of American Journal* 45: 428–432.
- DeBell, D.S. & Radwan, M.A. 1984. Foliar chemical concentrations in red alder stands of various ages. *Plant and Soil* 77(2–3): 391–394.
- Elowson, S. & Rytter, L. 1988. Dynamics of leaf minerals, leaf area and biomass from hardwoods intensively grown on a peat bog. *Trees* 2: 84–91.
- & Rytter, L. 1993. Spatial distribution of roots and root nodules and total biomass production in a grey alder plantation on sandy soil. *Biomass & Bioenergy* 5: 127–135.
- Eriksson, E. & Johansson, T. 2006. Effects of rotation period on biomass production and atmospheric CO₂ emissions from broadleaved stands growing on abandoned farmland. *Silva Fennica* 40(4): 603–613.
- Ferm, A. 1990. Coppicing, aboveground woody biomass production and nutritional aspects of birch with specific reference to *Betula pubescens*. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja – Finnish Forest Research Institute, Research Reports* 348. 35 s.
- Hakkila, P. 1970. Basic density, bark percentage and dry matter content of grey alder (*Alnus incana*). *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 71(5). 33 s.
- 1978. Pienpuun korjuu polttoaineksi. *Folia Forestalia* 342. 38 s.
- Heikinheimo, O. 1915. Kaskiviljelyksen vaikutus Suomen metsiin. *Acta Forestalia Fennica* 4. 264 s.
- 1917. Metsien uudistuminen vesojen avulla. I. Suomen Metsänhoitoyhdistys Tapion julkaisema Aikakauskirja 10(2): 33–38.
- 1930. Kaatoajan vaikutus lehtipuiden vesojen syntyyn ja kasvuun. *Tapio*. s. 113–117.
- Hytönen, J. & Aro, L. 2012. Biomass and nutrition of naturally regenerated and coppiced birch on cut-away peatland during 37 years. *Silva Fennica* 46(3): 377–394.
- & Nurmi, J. 2015. Heating value and ash content of intensively managed stands. *Wood Research* 60(1): 71–82.
- & Saarsalmi, A. 2009. Long-term biomass production and nutrient uptake of birch, alder and willow plantations on cut-away peatland. *Biomass & Bioenergy* 33(9): 1197–1211.
- & Saarsalmi, A. 2015. Biomass production of coppiced grey alder and the effect of fertilization. *Silva Fennica* 49(1). 16 s.
- , Saarsalmi, A. & Rossi, P. 1995. Biomass production and nutrient uptake of short-rotation plantations. *Silva Fennica* 29(2): 117–139.
- Hyvän metsänhoidon suosituksset. 2001. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. 95 s.
- Hyvän metsänhoidon suosituksset. 2006. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. Julkaisusarja 22/2006. 100 s.
- Ingestad, T. 1980. Growth, nutrition and nitrogen fixation in grey alder at varied rate of nitrogen addition. *Physiologia Plantarum* 50: 353–364.
- 1981. Nutrition and growth of birch and grey alder seedlings in low conductivity solutions at varied relative rates of nitrogen addition. *Physiologia Plantarum* 52: 454–466.
- Johansson, T. 1999. Dry matter amounts and increment in 21- to 91-year-old common alder and grey alder and some practical implications. *Canadian Journal of Forest Research* 29: 1679–1690.
- 2000. Biomass equations for determining fractions of common and grey alders growing on abandoned farmland and some practical implications. *Biomass & Bioenergy* 18(2): 147–159.
- 2005. Stem volume equations and basic density for grey alder and common alder in Sweden. *Forestry* 78(39): 249–262.
- Johnsrud, S.C. 1978. Nitrogen fixation by root nodules of *Alnus incana* in a Norwegian forest ecosystem. *Oikos* 30(3): 475–479.
- Jylhä, P., Hytönen, J. & Ahtikoski, A. 2015. Profitability of short-rotation biomass production on downy birch stands on cut-away peatlands in northern Finland. *Biomass and Bioenergy* 75: 272–281.
- Kaunisto, S. & Viinämäki, T. 1991. Lannoituksen ja leppäsekoituksen vaikutus mäntytaimikon kehitykseen ja suonpohjaturpeen ominaisuuksiin Aitonevalla. *Suo* 42: 1–12.
- Kärki, T. 1997. Sahauskelpoisen erikoispuun laatuvaatimukset ja käyttö Savo-Karjalan alueella. *Metsätieteen aikakauskirja – Folia Forestalia* 1/1997: 37–48.
- Metsänhoitosuosituksset. 1989. Keskusmetsälautakunta Tapio. 55 s.
- Miettinen, L. 1932. Tutkimuksia harmaalepikoiden kasvusta. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 18(1). 86 s.
- Mikola, P. 1954. Kokeellisia tutkimuksia metsäkarikkeiden hajaantumisnopeudesta. *Communicationes Insti-*

- tuti *Forestalis Fenniae* 43(1). 50 s.
- 1958. Liberation of nitrogen from alder leaf litter. *Acta Forestalia Fennica* 67 (1). 10 s.
- 1966. The value of alder in adding nitrogen in forest soil. Final report of research conducted under grant authorized by U.P. Public Law 480. Library of Forestry, University of Helsinki, Finland. 95 s.
- 1975. Afforestation of bogs after industrial exploitation of peat. *Silva Fennica* 9(2): 101–115.
- Niemelä, P. 2010. Lepän merkitys metsäekosysteemin toiminnassa ja biologisessa monimuotoisuudessa. Julkaisussa: Elban luontopolun kehittäminen Kokkolassa. Seloste *Alnus*-työpajasta 6.9. 2010. M. Palo (toim.). s. 13–14. http://files.kotisivukone.com/vipustin.kotisivukone.com/Alnus_ry/Esitelmat/Alnus-tyopaja/alnustypajaloppuraporttimp20102010_2.pdf
- Niemistö, P. 2013. Effect of growing density on biomass and stem volume growth of downy birch stands on peatland in Western and Northern Finland. *Silva Fennica* 47(4) 24 s.
- Palmgren, K., Saarsalmi, A. & Weber, A. 1985. Nitrogen fixation and biomass production in some alder clones. A greenhouse experiment. *Silva Fennica* 19(4): 407–420.
- Paukkonen K. Kauppi, A. & Ferm, A. 1992. Root and stump sprouts as structural faculties for reinvigoration in *Alnus incana* (L.) MOENCH. *Flora* 187(5–6): 353–367.
- Peltola, A. 2001. Metsätilastollinen vuosikirja. 2001. 372 s.
- Raulo, J. 1972. Lepikot tuottaviksi sekametsiköiksi. *Metsä ja Puu* 6–7: 16–17.
- Rossi, P. & Rikala, R. 1992. Lehtipuiden kantojen vesominen lannoituksen jälkeen. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 425. 22 s.
- Rytter L. 1995. Effects of thinning on the obtainable biomass, stand density, and tree diameters of intensively grown grey alder plantations. *Forest Ecology and Management* 73: 133–43.
- 1996. Grey alder in forestry. A review. *Norwegian Journal of Agricultural Sciences. Supplement* 24: 65–84.
- , Slapokas, T. & Granhall U. 1989. Woody biomass and litter production of fertilized grey alder plantations on a lowhumidified peat bog. *Forest Ecology and Management* 28(3–4): 161–176.
- , Arveby, A.S. & Granhall, U. 1990. Dinitrogen fixation in relation to nitrogen fertilization of grey alder plantations on a peat bog. *Biology and Fertility of Soils* 10(4): 233–240.
- Saarsalmi, A. & Mälkönen, E. 1989. Harmaaleppikon biomassan tuotos ja ravinteiden käyttö. *Folia Forestalia* 728. 16 s.
- , Palmgren, K. & Levula, T. 1985. Leppäviljelmän biomassan tuotos sekä ravinteiden ja veden käyttö. *Folia Forestalia* 628. 24 s.
- , Palmgren, K. & Levula, T. 1991. Harmaaleppän vesojen biomassan tuotos ja ravinteiden käyttö. *Folia Forestalia* 768. 25 s.
- , Palmgren, K. & Levula, T. 1992. Harmaaleppän ja rauduskoivun biomassan tuotos ja ravinteiden käyttö energiapuuviljelmällä. *Folia Forestalia* 797. 29 s.
- Salmi, J. 1993. Harmaaleppän (*Alnus incana*) ominaisuudet ja käyttö. *Sorbifolia* 24(3): 138–142.
- Schalin, I. 1966. Harmaaleppän merkityksestä käytännön metsätaloudessa. *Metsätaloudellinen Aikauslehti* 83(9): 362–366.
- Slapokas T. & Granhall U. 1989. Woody biomass and litter production of fertilized grey alder plantations on a lowhumidified peat bog. *Forest Ecology and Management* 28(3–4): 161–176.
- Sprent, J.I. 1979. The biology of nitrogen fixing organisms. McGraw-Hill Company, London. 196 s.
- Tarrant, R.F. & Trappe, J.H. 1971. The role of *Alnus* improving the forest environment. *Plant and Soil (Special volume)*: 335–348.
- Telenius, B.F. 1999. Stand growth of deciduous pioneer tree species on fertile agricultural land in southern Sweden. *Biomass and Bioenergy* 16: 13–23.
- Turunen, J. 1953. Huomioita harmaaleppän juuristosta ja juuriäkämistä. *Metsätaloudellinen aikauslehti* 83(9): 362–366.
- Työ- ja Elinkeinoministeriö 2010. Suomen kansallinen toimintasuunnitelma uusiutuvista energialähteistä peräisin olevan energian edistämisestä direktiivin 2009/28/EY mukaisesti. 10 s.
- Uri, V., Tullus, H. & Löhmus K. 2002. Biomass production and nutrient accumulation in short-rotation grey alder (*Alnus incana* (L.) Moench) plantation on abandoned agricultural land. *Forest Ecology and Management* 161(1–3): 169–79.
- , Tullus, H. & Löhmus K. 2003. Nutrient allocation, accumulation and above-ground biomass in grey alder and hybrid alder plantations. *Silva Fennica* 37(3): 301–11.
- , Löhmus K., Kiviste, A. & Aosaar, J. 2009. The dy-

- namics of biomass production in relation to foliar and root traits in a grey alder (*Alnus incana* (L.) Moench) plantation on abandoned agricultural land. *Forestry* 82: 61–74.
- , Lõhmus K., Mander, U. Ostonen, I., Aosaar, J., Maddison, M., Helmisaari, H-S. & Augustin, J. 2011. Long-term effects on the nitrogen budget of a short-rotation grey alder (*Alnus incana* (L.) Moench) forest on abandoned agricultural land. *Ecological Engineering* 37(6): 920–930.
- , Aosaar, J., Varik, M., Becker, H., Ligi, K., Padari, A., Kanal, A. & Lõhmus, K. 2014. The dynamics of biomass production, carbon and nitrogen accumulation in grey alder (*Alnus incana* (L.) Moench) chronosequence stands in Estonia. *Forest Ecology and Management* 327: 106–117.
- Viro, P.J. 1955. Investigations on forest litter. *Seloste: Metsäkariketutkimuksia. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 67(7). 49 s.
- Virtanen, A.J. 1957. Investigations on nitrogen fixation by the alder II. Associated culture of spruce and inoculated alder without combined nitrogen. *Physiologia Plantarum* 10: 164–169.
- Ylitalo, E. 2015. Puun energiäkäyttö 2014. Ennakkotieto. Luonnonvarakeskus.
- Zavitkovski, J.R. & Newton, M. 1968. Effect of organic matter and combined nitrogen on nodulation and nitrogen fixation in red alder. In: Trappe, J.M., Franklin, J.F. & Hansen, G.M. (eds.). *Biology of alder*. USDA Forest Service. PNW, Forest and Range Experimental Station. Portland, OR. p. 209–223.
- Äijälä, O., Koistinen, A., Sved, J. Vanhatalo, K. & Väisänen, P (Eds). 2014. *Metsänhoidon suositukset. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion julkaisuja*. 179 s.

74 viitettä