

Michael M. Müller, Tuula Piri ja Jarkko Hantula

Ilmaston lämpeneminen haastaa nykyistä tehokkaampaan juurikäävän torjuntaan

Juurikäävät ovat boreaalisten havumetsien taloudellisesti vahingollisimpia taudinaiheuttajia. Suomessa tautia kutsuttiin aiemmin maannousemaksi ja sen aiheuttajaksi on jo pitkään tiedetty juurikääpäsieni. Sieni tunnetaan jo 1800-luvulta ja se on levinnyt koko pohjoisen pallonpuoliskon havumetsäalueelle ja muutamille alueille eteläisellekin pallonpuoliskolle. Nykyään tunnetaan kymmenen juurikääpäälajia, joista Suomessa esiintyy kaksi, männyn- ja kuusenjuurikääpä. Männyllä juurikäävän aiheuttamaa tautia kutsutaan tyvitervastaudiksi ja kuusella kuusentyvilahoksi. Juurikääpien aiheuttamien taloudellisten menetysten arvioidaan olevan maassamme kuusella 40 miljoonaa ja männyllä 5 miljoonaa euroa vuosittain. Juurikääpä on hyötynyt metsätaloudesta ja esiintyy talousmetsissä runsaammin kuin luonnonmetsissä. Tuore kantopinta ja hakkuissa syntyvät vauriot kasvaviin puihin tarjoavat hyvän leviämistien juurikäävälle, joka yli 0°C:n lämpötilassa tuottaa runsaasti ilmavirtausten mukana leviäviä itiöitä. Talviaikaiset hakkuut ovat juurikäävän suhteen turvallisia, koska pakkasessa ei itiöitä muodostu ja kevätauringon kuivattama kantopinta ei enää ole otollinen kasvualusta itiöille. Metsiköissä, joihin juurikääpä jo on asettunut, sieni leviää myös kasvullisesti juuristosta toiseen.

Kansainvälisen ilmastopaneelin ennusteen mukaan talvet lyhenevät tämän vuosisadan aikana merkittävästi ja varsinkin talviaikaiset sateet lisääntyvät. Talvien lyheneminen ja talviaikaisten sademäärien kasvaminen sekä kasvukauden lämpötilan nousu

ilmastopaneelin ennustamassa määrin muuttavat oleellisesti sekä taudinaiheuttajien että puiden elinolosuhteita. Metsien kasvun on ennustettu paranevan Suomessa mutta lämpötilan nousu ja talviaikaisten sateiden lisääntyminen edistävät epäilemättä myös monien taudinaiheuttajien kuten juurikääpien leviämistä ja elinmahdollisuuksia. Muutoksen ennakoiminen on tärkeää, jotta torjuntatoimia voidaan ajoissa tehostaa ja kohdentaa niin, etteivät juurikäävän aiheuttamat taloudelliset menetykset enää nykyisestä kasva, vaan pikemminkin saadaan laskuun.

Talvien lyheneminen edistää juurikääpien leviämistä

Sulan maan aikaisilla metsänhakuilla on oleellinen merkitys juurikäävän leviämiselle. Jos kaikki hakkuut tapahtuisivat talvisin, kun itiöitä ei esiinny ja lumi sekä routa suojaavat kasvamaan jäävien puiden juuristoa ja runkoa, ei juurikääpä pääsisi juuri lainkaan leviämään uusiin metsiköihin. Juuri tästä syystä juurikääpä on vielä pahempi lahottaja Suomessa eteläisemmillä alueilla kuten Baltian maissa ja Etelä-Ruotsissa. Myös juurikäävän itiöintiaika sekä rihmaston kasvuaika pitenevät talvien lyhentyessä. Siksi vaikuttaa hyvin todennäköiseltä, että talvien lyheneminen ilmastonmuutoksen myötä tulee edistämään juurikäävän leviämistä edelleen Suomessa.

Talven lauhtuminen ja routa-ajan lyheneminen edistävät juurikäävän leviämistä myös lisääntyvien

tuulituhojen vuoksi. Roudattoman ajan lyhentyessä, suurempi osa kovista tuulista (yli 11 m sekunnissa) ajoittuu ajalle, jona routa ei ankkuroi puiden juuria tukevasti maahan. Nykyään 55% kovista tuulista ajoittuu Etelä-Suomessa roudattomaan aikaan, mutta tulevaisuudessa, jos 4–5 kuukauden routa-aika kutistuu 2–3 kuukauteen, peräti 80% kovista tuulista tapahtuu roudattomaan aikaan. Vastaavasti Pohjois-Suomessa kovien tuulien osuus roudattomana aikana kasvaisi nykyisestä 40%:sta 50%:iin. Myrskyn aiheuttamat katkoskohdat rungoissa ja juurissa ovat hyviä infektiokohtia juurikäävän itiöille yhtä lailla kuin korjuuvauriot ja paljaat kantopinnat hakkuiden jälkeen. Toisaalta tyvilahot puut kaatuvat terveitä herkemmin, joten tuulituhot edistävät juurikäävän leviämistä ja juurikäävän leviäminen puolestaan tuulituhoja. Kovien tuulien määrän ja voimakkuuden ei siis tarvitse kasvaa, vaan pelkkä talvien lyheneminen lisää tuulituhoja ilmastonmuutoksen myötä. Jos kesät pitenevät ja lämpenevät ennustetulla tavalla, saadaan tähän noidankehään kolmaskin tekijä; kirjanpainajat ehtivät tuottaa kaksi sukupolvea kesässä, mikä lisää merkittävästi tämän kaarnakuoriaisen lisääntymistehoa. Tuulituhot edistävät edelleen kaarnakuoriaistuhoja ja kaarnakuoriaisten myötä pääsee terveisiin puihin monia lahottajia, jotka vähentävät puiden tuulenkestävyyttä.

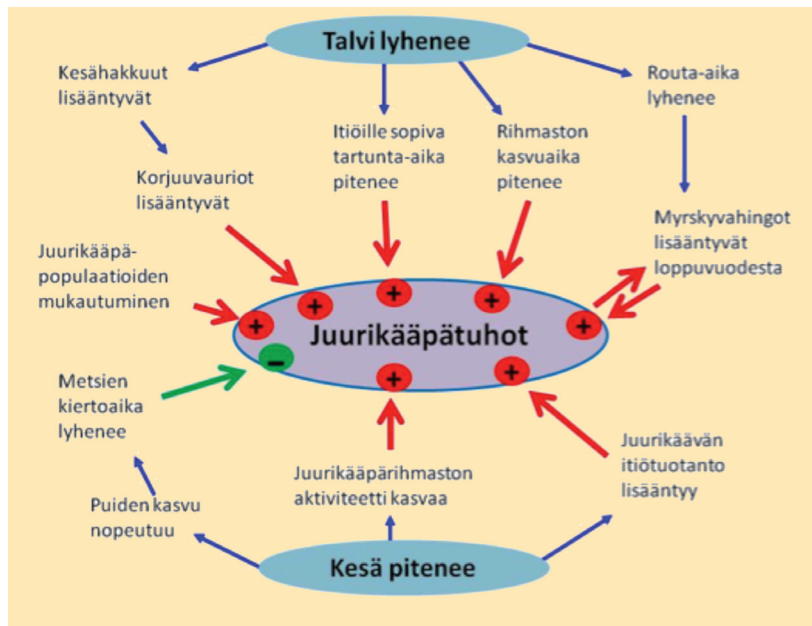
Lämpötilan nousu edistää Etelä-Suomessa juurikäävän aktiviteettia enemmän kuin puiden kasvua

Vuotuinen keskilämpötila nousee Suomessa kansainvälisen ilmastopaneelin A2-skenaarion mukaan 5°C:lla vuosisadan loppuun mennessä. Tällöin kuusenjuurikäävän vuotuisen kokonaisaktiviteetin arvioidaan juuristossa kasvavan Etelä-Suomessa yli 50%:lla ja Pohjois-Suomessa yli 90%:lla. Kellomäki ym. ovat arvioineet puiden kasvun lisääntymisen vastaavasti 12% ja 109%:lla. Etelä-Suomessa juurikäävän aktiviteetti siis nousisi tulevaisuudessa huomattavasti puiden kasvua enemmän. Etelä- ja Keski-Suomessa veden puutteen uskotaan rajoittavan tulevaisuudessa puiden kasvua monin paikoin, koska lämpötilan nousu lisää todennäköisesti haihduntaa sademäärän kasvua enemmän. Juurikääpiä kesien kuivuusjaksot tuskin haittaavat, koska sieni

ei kasva rihmastona maassa, vaan lähes ainoastaan puuaineksessa. Elävän puun juurissa kosteutta on aina riittävästi patogeeniselle sienelle, ja koska juurikääpien optimilämpötila 22–28°C on huomattavasti korkeampi kuin maaperän lämpötila-alue, ei lämpötilan nousu tule rajoittamaan niitä hellejaksoina. Pohjoisessa veden puutteen ei arvioida rajoittavan puiden kasvua tulevaisuudessakaan ja siellä lämpötilan nousun aiheuttama juurikäävän aktiviteetin lisääntyminen jäänee puiden kasvun lisäystä vähäisemmäksi. Nyt juurikääpiä on Pohjois-Suomessa hyvin vähän, mutta talvien lyheneminen edistää sen leviämistä ja siksi tuhot voivat sielläkin lisääntyä.

Juurikäävät todennäköisesti mukautuvat muuttuviin olosuhteisiin puita paremmin

Ympäristöolojen muuttuessa ovat mikrobit sekä hyönteiset vahvoilla puihin verrattuna niiden nopean sukupolven kierron takia. Niiden populaatioiden rakenne kykenee muuttumaan nopeasti, kun suvullisessa lisääntymisessä tapahtuva ominaisuuksien rekombinaatio tuottaa lyhyessä ajassa valtavasti erilaisia yksilöitä, joista yhdenkin puusukupolven aikana ehtii valikoitua muuttuviin olosuhteisiin paremmin sopeutuva populaatio. Juurikäävät eivät ole patogeenisten sienten joukossa niitä lyhytikäisimpiä ja sama rihmasto voinee tuottaa uusia itiömiä monena vuonna, jopa vuosikymmeniä. Aiheesta ei ole tutkimustuloksia, mutta parhaimmillaan juurikääpien sukupolvenkierto lienee vain muutamia vuosia ja on joka tapauksessa lyhyempi kuin kuusen ja männyn. Paikallisten juurikääpöpopulaatioiden mukautumiskykyyn vaikuttaa myös kaukokulkeutuvien itiöiden aiheuttama geenivirta. Vaikka juurikääpiä tiedetään pääosin laskeutuvan sadan metrin säteellä itiöemästä, pieni osa voi otollisten ilmavirtauksien mukana lentää kymmeniä, jopa satoja kilometrejä. Metlassa tehtyjen tutkimuksien mukaan suomalainen kuusenjuurikääpöpopulaatio eroaa hyvin vähän keskieurooppalaisista populaatioista DNA-merkkisekvenssien perusteella, mikä viittaa merkittävään geenivirtaan. Geenivirran ansiosta siis esimerkiksi keskieurooppalaisia geenejä on tarjolla juurikääpöyksilöiden väliseen kilpailuun meilläkin. Kaukokulkeutuvien geenien tarjonta lisää omalta osaltaan populaation mukautumiskykyä.



Kuva 1. Ilmastonmuutoksen vaikutus juurikääpätuhoihin talvien lyhentymisen ja kesien pitenemisen seurauksena. Kahdeksasta juurikääpätuhoihin vaikuttavasta tekijästä seitsemän lisää (+) ja yksi (-) vähentää tuhoja.

Torjuntatoimien merkitys kasvaa

Juurikäävän leviämisenbiologian perustiedon mukaan ilmastonmuutoksen voidaan arvioida vaikuttavan juurikääpätuhoihin vähintään kahdeksan eri tekijän kautta (kuva 1). Seitsemän näistä tekijöistä todennäköisesti edistää ja vain yksi vähentää tuhoja alle sadan vuoden aikajännteellä. Pidemmällä aikavälillä toki puutkin voivat adaptoitua rekombinaation, geenivirran ja yksilövalinnan kautta, mutta huomattavasti hitaammin kuin juurikääpäpopulaatio. On siis todennäköistä, että juurikääpien aiheuttamat taloudelliset tappiot tulevat kasvamaan ilmastonmuutoksen myötä nykyisestä huomattavasti tämän vuosisadan aikana ellei torjuntatoimissa onnistuta. Juurikäävät myös levinnevät nykyistä pohjoisemmaksi.

Juurikäävän leviämistä uusille aiemmin ”puhtaille” alueille voidaan estää *kantokäsittelyllä* (Rotstop® tai urea) kesäaikaisten hakkuiden yhteydessä. Kantokäsittely on erityisen tärkeää alueilla, joilla juurikääpää ei vielä ole, ja tämä toimii tulisikin ulottaa koko maahan pohjoisinta Lappia lukuunottamatta. Kantokäsittely on jo rutiinitoimenpide ainespuuhak-

kuissa, mutta yhtä tärkeää olisi käsitellä kannot myös energiapuuharvennuksissa. Kesäaikaan painottuvat energiapuuharvennuksiset ovat riski etenkin tyvitervastaudin leviämisen nuoriin männiköihin. Tyvitervastauti on selvästi yleistymässä Etelä-Suomessa ja kantokäsittelystä huolehtiminen on ainoa käytävissä oleva keino rajoittaa taudin leviämistä. Jos kantokäsittely tehdään energiapuuharvennuksissa tai muissa kesähakkuissa puutteellisesti tai jätetään kokonaan tekemättä, kasvupaikan tuottavuus voi alentua vuosikymmenien ajaksi. Männynjuurikääpä lahottaa männyn ohella sekä kuusta, lehtikuusta että sekapuuna kasvavaa koivua, joten mahdollisuudet uuden terveen puusukupolven kasvattamiseen ovat vielä pienemmät kuin kuusenjuurikäävän saastuttamalla kasvupaikalla.

Juurikäävän valtaamalla alueilla *kantojen korjuusta* on toivottu apua lahon torjuntaan. Juurikääpärihmasto säilyy kuitenkin erittäin sitkeästi, jopa yli seitsemän vuotta, hyvin pienissäkin juuren palasissa (läpimitta yli 1,5 cm) ja pystyy leviämään niistä edelleen seuraavan puusukupolven taimiin. Kantoja nostettaessa lahot juuret katkeavat helposti ja jää-

vät maaperään tartuntalähteiksi. Lisäksi juurikäävän lahottama puuaines voi levitä kantojen kasaamisen, metsäkuljetuksen ja muokkauksen seurauksena, jolloin alun perin pienelle alueelle rajoittunut juurikäätartunta laajenee korjuualueen terveisiin osiin. Kantojen nosto ei myöskään kokonaan korvaa kantokäsittelyä. Uusia juurikäätartuntoja syntyy kannonnostokohteelle silloin, kun päätehakkuu tehdään kesällä eikä nostamatta jätettäviä havupuiden kantoja käsitellä torjunta-aineella itiötartuntojen estämiseksi. Käsittelemättömät kannot toimivat seuraavan puusukupolven tartuntalähteinä. Myös lahojen kantojen pitempiaikainen varastointi lisää juurikäävän leviämiskäyttäytymistä. Varastoauaman alaosaan kannot eivät kuivu maasta nousevan kosteuden vuoksi pitkänkään varastoinnin aikana, ja olosuhteet ovat suotuisat juurikäävän itiöemien eli kääpien kasvuun. Varastokasasta leviää juurikäävän itiöitä etenkin varastoaluetta ympäröiviin lähimetsiin, missä kantojen tartuntariski kesähakkuissa kasvaa normaalia suuremmaksi. Korkea itiömäärä asettaa tavallista kovemmat haasteet kantokäsittelyn onnistumiselle.

Paras keino juurikäävän hävittämiseksi saastuneesta metsiköstä on uudistaa saastunut metsikkö lehtipuulle. Lehtipuusukupolven aikana juurikäävän määrä kasvupaikalla vähenee tehokkaasti. Myös männynjuurikääpä vähenee, koska se ei menesty puhtaassa lehtimetsässä. Lehtipuukierron käytön houkuttelevuutta vähentävät kuitenkin hirvivahinkojen suuri riski, lehtipuiden havupuuta merkittävästi alhaisempi taloudellinen tuotto ja usein rauduskoi-vulle/haavalle soveltumaton kasvupaikka. Merkittävin este lehtipuukierron käytölle juurikäävän torjumiseksi on hirvieläinten aiheuttama uudistamisen riski. Juurikäävän torjunnan kannalta hirvieläinten kantoja pitäisikin vähentää huomattavasti niillä alueilla, joilla tämä tauti on yleinen.

Koska juurikääpien aiheuttamat tappiot ovat merkittäviä, ja koska ne suurella todennäköisyydellä kasvavat ilmastonmuutoksen myötä edelleen, on perusteltua tehostaa uusien torjuntakeinojen tutkimusta maassamme.

Kirjallisuus

- Kellomäki, S., Peltola, H., Nuutinen T., Korhonen, K.T. & Strandman, H. 2008. Sensitivity of managed boreal forests in Finland to climate change, with implications for adaptive management. *Philosophical Transactions of the Royal Society B, Biological Sciences* 363: 2341–2351.
- Korhonen, K. & Stenlid, J. 1998. Biology of *Heterobasidion annosum*. Julkaisussa: *Heterobasidion annosum: biology, ecology, impact and control* (toim. Woodward, S., Stenlid, J., Karjalainen, R., Hüttermann), CAB International, Wallingford, UK. s. 43–70.
- Kurkela, T., Nikkanen, O. & Kukkonen, H. 1978. Tyviter-vaksen (maannousemasiinen) aiheuttamat kasvutappiot männiköissä. *Metsä ja Puu* 10: 33–35.
- Otrosina W.J. & Garbelotto, M. 2009. *Heterobasidion occidentale* sp. Nov. and *Heterobasidion irregulare* nom. nov.: A disposition of North American *Heterobasidion* biological species. *Mycological Research* 114: 16–25.
- Peltola, H., Kellomäki, S. & Väisänen, H. 1999. Model computations on the impact of climatic change on the windthrow risk of trees. *Climatic Change* 41: 17–36.
- Penttilä, R., Siitonen, J. & Kuusinen, M. 2004. Polypore diversity in managed and old-growth boreal *Picea abies* forests in southern Finland. *Biological Conservation* 117: 271–283.
- Strid, Y. 2012. Bark beetles facilitate the establishment of wood decay fungi. Väitöskirja. *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae* 2012:72. Ruotsin Maatalousyliopisto, SLU, Uppsala.

■ Michael M. Müller, Tuula Piri ja Jarkko Hantula
Metla, Vantaa, PL 18, 01301 Vantaa
Sähköposti michael.mueller@metla.fi