

Liite

esitelmään "Biotekniikan uusia ja kehittyviä sovelluksia – haasteet, mahdollisuudet ja taloudelliset vaikutukset Euroopan maataloudessa"

Jussi Tammisola Euroopan parlamentissa 10.10.2006

(Raakakäännös suomeksi 16.10.2006/J.T.)

Viljelykasvit ja kasvinjalostus – edistyksen eturivissä kivikaudelta vihreälle aikakaudelle

10.10.2006 Jussi Tammisola, MMT, kasvinjalostuksen dosentti, Helsingin yliopisto

- ensimmäinen kasvigeeniteknikan julkinen kriitikko Suomessa (1980-luvulla)
- 35 vuotta kasvinjalostuksen luentoja ja perustutkimusta julkisella sektorilla
- kirjoittajana maailmanpankin kansainvälisessä IAASTD-maatalousselvityksessä (International Assessment of Agricultural Science and Technology for Development)

1. Kasvit, kasvintuhoojat ja ravitseminen

Useimmat villit kasvilajit *eivät ole ”tarkoitaneet” itseään ihmisen syötäväksi* (poikkeuksena eräät hedelmät ja jotkut marjat, joiden siemeniä kelpaamme levittämään). Päinvastoin, kasvien kannalta ihmistä voi mainiosti pitää tuhoajana.

Niinpä kasvit puolustautuvat meitä vastaan monin keinoin, varsinkin myrkyllisten aineenvaihdunta-
tuotteiden avulla. Kasveista tunnetaan jo yli 200 000 pienimolekyylisiä ”sekundaarimetaboliittia”
(ns. toissijaisen aineenvaihdunnan tuotetta), ja niistä useimmat osallistuvat kasvin puolustukseen.

2. Viljelykasvien kehittäminen

Ensimmäiset viljelykasvit (noin 11 000 vuotta sitten) olivat vielä ominaisuuksiltaan hyvin paljon villien esivanhempiansa kaltaisia. On *vaadittu paljon työtä*, jotta kasveista on saatu kehitetyksi sopivampia viljelykäyttöön ja ihmisten tarpeisiin.

Monien tärkeiden viljelykasvien sadot ovat nousseet 10–30-kertaisiksi viljelyn ja kasvinjalostuksen vuosituhansina. (Tästä noin puolet katsotaan kasvinjalostuksen ansioksi).

Lisäksi monista epäterveellisistä tai myrkyllisistä villikasveista on pystytty kasvinjalostuksen avulla kehittämään terveellistä ruokaa ja ravitsevaa rehua.

Villit kassavat sisälsivät tappavia määriä sinihappoa, ja villiperunat olivat liian myrkyllisiä ihmisravinnoksi. Rypsi- ja rapsiöljyn vahingollista erukahappoa söimme haitaksemme 4 500 vuoden ajan. Se poistettiin rypsiä ja rapsista vasta 1960-luvulla, mutaatiojalostuksen avulla, ja niiden öljystä tuli oliiviöljyn kanssa kilpaileva terveystuote.

Luonnon- ja viljelykasvien kehityksessä *lajien risteytyminen sekä kromosomiston moninkertaistuminen* (polyploidia) ovat olleet hyvin yleisiä ja tärkeitä, toisin kuin eläinkunnassa. Esimerkiksi puutarhamansikka syntyi eurooppalaisen ja amerikkalaisen mansikkalajin risteytymänä, joka on kromosomiluvultaan kahdeksankertainen eli oktoploidi (sillä on soluissaan mansikoiden peruskromosomisto kahdeksaan kertaan). Ja ruisvenhä on kaikkiaan neljän eri heinälajin risteytymä.

3. Jalostaminen perinteisellä massavalinnalla (11 000 vuotta)

Massavalinnassa viljeltävän kasvipopulaation ominaisuuksia parannetaan valitsemalla seuraavan kasvisukupolven kylvöön käytettävät siemenet vain viljelmän parhaista kasviyksilöistä.

Massavalinta on vanhin jalostusmenetelmä, ja sitä käyttivät jo kivikauden ”vaistonvaraiset kasvinjalostajat”. Menetelmä voi olla melko tehokas vielä nykyisinkin, jos sitä sovelletaan sellaisilla uusilla, vasta vähän jalostetuilla kasvilajeilla, joilla perinnöllistä vaihtelua esiintyy runsaasti. Useimmilla tärkeillä ravintokasveilla massavalinta on käynyt tehottomaksi jo kauan sitten.

Valinta sinänsä säilyy jalostustyön osana kaikissa jalostusmenetelmissä tulevaisuudessakin, myös geeniteknikkaa sovellettaessa.

4. Risteytysjalostus (noin 300 vuotta)

Kasvien tarkoituksellinen risteyttäminen tuli mahdolliseksi vasta 1600-luvun lopussa, kun kasvien seksuaalisuus havaittiin.

Perinteisessä risteytyksessä kummankin risteytysvanhemman genotyyppi (yksilöllinen perintötekijöiden yhdistelmä) menetetään jälkeläistössä.

*Ristisiihto*isilla kasvilajeilla lajike usein tarkoittaa vain yhtä yksilöä, jolla on ainutkertainen perimä, hyvin heterotsygoottinen (kirjava) eri perintötekijöiden yhdistelmä. Tämä ”onnenkantamoinen” on sitten monistettu kasvullisesti jopa miljooniksi yksilöiksi. Tällaisia kasvuklooneja ovat esimerkiksi perunan, monien muiden juurikasvien, banaanin, mansikan, herukoiden, useimpien hedelmäpuiden ja viinirypäleen lajikkeet.

Tällainen lajike on valittu jopa satojen tuhansien (risteytys)jälkeläisten joukosta vuosikausia vieneiden kenttäkokeiden kuluessa. Samaa onnekasta sattumaa ei saada toistumaan enää koskaan. Lajikkeen ainutkertaista geeniyhdistelmää ei siksi kannattaisi päästää taas peruuttamattomasti hajoamaan, kuten väistämättä käy lajiketta edelleen risteytettäessä.

Vakiintuneita ja suosittuja omena-, mansikka- tai perunalajikkeita jne ei siksi voida säilyttää ja vain parantaa niiden pullonkauloja perinteisellä jalostuksella, vaan ne joudutaan korvaamaan aina erilaisilla, uusilla lajikkeilla (joiden pääsy ihmisten suosioon on jälleen epävarmaa). Tämä merkitsee, että suunnaton määrä työtä ja valmiita saavutuksia joutuu aina uudelleen hukkaan (tarinan tuntee liiankin hyvin antiikin luuseri, kuningas Sisyfos).

Toivottu uusi geeni voidaan sitä vastoin jalostaa valmiiseen kasvilajikkeeseen ilman risteytyksiä, jos työ tehdään *geeniteknikalla*. Niin ollen suositun lajikkeen ainutkertainen geeniyhdistelmä voidaan säilyttää käytännössä koskemattomana, ja tarvittava parannus vain lisätään kasvin ominaisuuksiin.

Jalostuksen mahdollisia esimerkkejä: Amerikan suosikkiperuna (Burbank) voidaan jalostaa kestäväksi perunaruttoa vastaan, ja Royal Gala -omena jalostaa vastustuskykyiseksi tulipoltetaudille. Kaupoista 50 vuotta sitten poistunut laatubanaanin Gros Michel saataisiin takaisin käyttöön jalostamalla se kestäväksi tuhoisia sienitauteja vastaan.

Itsepölytteisillä kasveilla, kuten ohra ja vehnä, lajikkeet ovat usein homotsygoottisia ”puhtaita linjoja”. Tällaisten lajikkeiden genotyypin voidaan usein käytännössä palauttaa (lähes) ennalleen risteytyksen jälkeen tekemällä lisäksi kymmenien sukupolvien ajan takaisinristeytyksiä. Paljon aikaa ja työtä tosin kuluu, mutta lopulta saadaan perinteisilläkin keinoilla usein siis aikaan alkuperäisen lajikkeen parannettu versio, jossa toivottu geenimuoto on lisätty lajikkeen muutoin sopivaan geneettiseen pohjaan.

Myös *geenitekniisessä jalostuksessa* joudutaan yleensä *seulomaan* läpi kymmeniä tai satoja koekasveja. Kuinka hyvin geenin toiminta vastaa toiveita, riippuu nimittäin osaksi myös sen kiinnittymispaikasta kasvin kromosomissa. (Kasvin perimässä on joka tapauksessa tuhansia paikkoja, joissa jalostettu geeni pystyy toimimaan hyvin).

Näin ollen tuhat kertaa vähemmän koekasveja tarvitsee käydä läpi kuin jos jouduttaisiin turvautumaan klassillisiin risteytyksiin ja sattumanvaraiseen geenien uudelleen järjestäytymiseen (rekombinaatio).

Kasvinjalostuksen pitkä menestystarina lähes ilman lipsahduksia perustuu kuitenkin paljolti sen ”sisäänrakennettuun” käytäntöön, jossa aina vain parhaat huippuyksilöt kelpuutetaan jatkokinjalostuksen vaiheessa.

5. Perinteiset kaukoristeytykset (yli 100 vuotta)

Kaukoristeytykseksi kutsutaan perinteistä menetelmää, jossa käyttökelpoinen ominaisuus – vaikkapa taudinkestävyys – tuodaan kaukaiselta sukulaiselta (sukulaislajista tai primitiivisestä kasvilinjasta) viljeltäviin lajikkeisiin risteyttämällä.

Toivotun geenin (tai geenien) lisäksi kasviin siirtyy samalla *tuhansia tuntemattomia ja ei-toivottuja genejä* peukalokyytiläisinä. Käytännössä monet niistä voivat osoittautua haitallisiksi ja aiheuttaa myrkyllisten tai allergiaa aiheuttavien aineiden muodostumista satoon tai heikentää kasvin viljelyominaisuuksia.

Jalostusesimerkki: rutonkestävä peruna.

Monet peukalokyytiläisistä saattavat ”laimentua” pois jälkeläiskasveista, kun niitä risteytetään kymmenien sukupolvien ajan takaisin viljelykasviin päin. Tämä karsiutumisen ei kuitenkaan ole varmaa vaan luonteeltaan vain tilastollista. Perimään saattaa silti jäää jopa satoja vieraita genejä, varsinkin jos toivottu geeni sattuu sijaitsemaan lähellä kromosomin ns. sentromeerialuetta.

Tuollaisten geeniparvioiden mahdollisia piileviä haittaominaisuuksia (esim. kykyä aiheuttaa allergiaa) ei voida käytännössä selvittää. Sen vuoksi perinteisessä jalostuksessa tuollaisia yksityiskohtaisia tutkimuksia ei vaadita eikä tehdä.

Kun jalostetaan *geenitekniikan avulla*, kasviin siirretään vain yksi (tai muutama), hyvin tunnettu geeni puhdistettuna (ilman salamatkustajia). Niille voidaan silloin tehdä (ja aina tehdäänkin) kohdistettuja turvallisuustutkimuksia. Siksi tämän molekyylibiologisen jalostuksen arvioidaan usein olevan esim. allergiakysymysten suhteen turvallisempaa kuin vanhan kasvinjalostuksen (esim. Saksan Tiedeakatemioiden Liitto 2004).

http://geenit.fi/SaksanTdAkatLiitto1104memorandum_green_biotechnology.pdf

Perinteiset kaukoristeytykset laukaisevat myös *kaoottista geneettistä muuntelua* perimässä.

Jopa 40 prosenttia kasvin perimästä voi koostua hyppivistä geneeistä, jotka ovat "rauhottuneet" ja asettuneet pysyvästi paikoilleen. Kaukoristeytyksen tuloksena nämä hyppivät geenit voivat aktiivitua ja alkavat uudelleen hyppiä toisiin paikkoihin kromosomeissa, aiheuttaen joukoittain satunnaisia mutaatioita kasvin perimään.

Kaukoristeytyksissä myös geenien hiljentymisessä tapahtuu laajoja muutoksia. Normaalisti suuri osa kasvien geneeistä on pysyvästi sammuneessa tilassa. Näiden toimimattomina piilevien geenien dna-emäksiin on kiinnittynyt metyyliiryhmiä, jotka vaimentavat geenin toimintaa eräänlaisina sordiinoina - ja runsaasti esiintyessään sulkevat geenin kokonaan.

Kaukoristeytyksissä nämä "sordiinot" irtoavat, jolloin piileviä geneejä käynnistyy. Myöhemmin metyyliiryhmiä kiinnittyy uudelleen - satunnaisiin paikkoihin kromosomeissa - ja voi sammuttaa tärkeitä toimivia geneejä.

Kaiken lisäksi kaukoristeytysten tuloksena kasvullisissa kasvisoluissa kiihtyy perimän suvuton uudelleenjärjestäytyminen (*somaattinen rekombinaatio*). Tämän seurauksena kasvissa syntyy uusia perintötekijöiden yhdistelmiä myös ilman suvullista lisääntymistä.

Toisaalta tietenkin kaikki tällaiset satunnaisilmiöt synnyttävät uutta perinnöllistä vaihtelua, joka on perusedellytyksenä niin luonnolliselle kuin ihmisen ohjaamalle evoluutiolle (kasvinjalostus). Kun on kyse vuosituhansien työllä jalostetuista viljelykasveista, uuden geneettisen vaihtelun tulisi kuitenkin olla mahdollisimman hallittua. Muutoin palataan aina liian kauas taaksepäin ja joudutaan kehittämään pyörää uudelleen.

Tuollaiset kaoottiset ilmiöt voidaan ehkäistä tuomalla toivottu geeni kasviin aina puhdistettuna, geenitekniikan avulla.



Kuva 1. **Karukka** on karviaisen ja mustaherukan risteytymä. Perinteisesti kasvinjalostuksessa saadaan vapaasti yhdistää lajikkeeseen kahden eri kasvilajin kaikki tuhannet geenit. Niin myös nykyisin. Jos taas kasviin tuodaan tuosta geenipuurosta puhdistettuna vain yksi, tarkasti tunnettu geeni (nykyaikaisten, paremmin hallittavien menetelmien avulla), laukeavat lainsäädännön raskaat ja kalliit vaatimukset.

J. Tammisola©

Klassillinen mutaatiojalostus (60 vuotta)

Luonnollisia mutaatioita syntyy kasvigeeneihin harvakseltaan (esimerkiksi taajuudella 10^{-6}), kun perimän dna vahingoittuu muun muassa solun toimintavirheiden, kosmisen säteilyn, luonnon haitallisten kemikaalien ja virusten takia. Mutaatiot ovat olleet kaiken evoluution perusedellytys sekä luonnossa että kasvinjalostuksessa.

Uutta geneettistä muuntelua on saatu syntymään perinnejalostuksessa lisäämällä mutaatiotaajuutta tilapäisesti esimerkiksi *gamma- tai röntgensäteilyn* tai *mutaatioita aiheuttavien kemikaalien* avulla. Parhaaseen mutaatiiosaaliiseen pääsemiseksi käytetään usein annostusta, joka tappaa noin puolet siemenistä.

Satunnainen mutageneesi on kuitenkin sekä arvaamatonta että tehotonta perimän parantamisessa. Jokaista toivottua muutosta kohden kasvin perimässä syntyy satojatuhansia ei-toivottuja mutaatioita. Ja tämän päätteeksi saavutettu parannus on todennäköisesti varsin kaukana parhaasta mahdollisesta, sillä satunnaiset muutokset ovat aivan liian karkeita ja täysin hallitsemattomia.

Geenitekniikan avulla geenin ja sen toimintaa ohjaavien säätelyalueiden hienorakennetta voidaan sitä vastoin säätää ja optimoida yksityiskohtaisesti. Geeni voidaan eristää ja muokata sen rakennetta molekyylibiologian keinoin. Erilaisten geenimuotojen toimivuutta ja suotuisuutta voidaan sitten testata ennakkoon laboratoriossa. Ainoastaan lupaavimmat geenimuodot valitaan lopulta jatkotutkimuksiin jalostusohjelmassa.

7. Kasvinjalostuksen lipsahduksia

Kasvinjalostuksessa on tapahtunut vain vähän lipsahduksia, vaikka sitä on harjoitettu vuosittain yrityksen ja erehdyksen menetelmällä. Joidenkin perunalajikkeiden havaittiin tuottavan liian paljon luontaisia myrkkyaaineita (solaniini, chakoniini) - joskin pitoisuudet jäivät silti paljon pienemmiksi kuin villiperunoilla. Tällaiset lajikkeet vedettiin pois markkinoilta.

Kesäkurpitsan vanhaa maatiaislajiketta ylläpidettiin omatoimisesti luomuviljelyssä Uudessa Seelannissa. Vuonna 2002 tuhohyönteiset hyökkäsivät sen kimppuun ankarasti (kunnollisen torjunnan puuttuessa), ja kasvi tuotti hedelmiinsä vaarallisen paljon myrkyllistä cucurbitasiinia (tämä kitkerä glykosidi on kurkkukasvien oma, luonnollinen torjunta-aine kasvintuhoojia vastaan). Kaikkiaan 16 ihmistä joutui viikoksi tiputukseen teho-osastolle syötyään myrkyllistä kesäkurpitsaa. Uusista kesäkurpitsalajikkeista tämä taipumus liialliseen myrkyntymiseen on poistettu kasvinjalostuksella.

Uuden, luomuviljelyyn jalostetun sellerilajikkeen havaittiin tuottavan liian paljon psoraleenia. Tämä on sarjakukkaiskasvien luonnollinen hyönteistorjunta-aine, joka aiheuttaa ihoon pitkäaikaisia valopolttamia - ongelmaan on päästy tutustumaan erityisesti luontoon karanneista jättiputkista. Sellerin korjuuväki sai käsiinsä ihovaurioita, joten lajike vedettiin välittömästi pois käytöstä.

8. Tarkoittamattomat ja odottamattomat muutokset

Geenien yhdistelmillä voi olla odottamattomia vaikutuksia. Jo Gregor Mendel (1866) tunsi tällaiset *geneettiset yhdysvaikutukset*, joita hän kutsui 'epistasiaksi'. Geenien yhdysvaikutukset ovat nousseet tärkeään asemaan jalostuksen kvantitatiivisessa teoriassa jo 1920–30-luvuilta lähtien.

Perinteisessä kasvinjalostuksessa hyödynnetään laajasti geenien hyödyllisiä yhdysvaikutuksia. Ne ovat avainasemassa erityisesti kehitettäessä ns. hybridilajikkeita, jotka ovat nousseet suosioon

kaikkialla maailmassa (myös kehitysmaissa) elinvoimaisuutensa, tuottoisuutensa ja tasalaatuisen satonsa vuoksi. Vastaavasti kasvilinjat, joissa ilmenee epäedullisia geneettisiä yhdysvaikutuksia, karsitaan säännöllisesti pois jalostusohjelmista.

Perinteisessä risteytyksessä voi periaatteessa esiintyä suunnaton määrä geneettisiä yhdysvaikutuksia. Jos geeni sitä vastoin tuodaan lajikkeeseen *geenitekniikan avulla*, niin yhdysvaikutuksia voi teoriassakin esiintyä vain pieni murto-osa (20 000 kertaa vähemmän).

Itse asiassa yhä kasvava määrä kasvien aineenvaihduntatutkimuksia (*metabolomiikka*) osoittaa, että geenitekniikalla jalostetuissa kasveissa on paljon vähemmän odottamattomia muutoksia kuin perinteisesti jalostetuissa kasvilajikkeissa.

Perinteisessä risteytyksessä kasviin siirtyy tyypillisesti 20 000 tarkoittamatonta ja tuntematonta geeniä sekä miljoona kertaa enemmän vierasta dna:ta kuin jos toivottu geeni tuotaisiin kasviin puhdistetussa muodossa, geenitekniikan avulla.

9. Geenivirta kukkakasvien välillä (270 000 000 vuotta)

Kasvit ovat vaihtaneet geneejään siitepölyn välityksellä luonnossa jo hamasta muinaisuudesta asti.

Maatalouden aikakaudella (11 000 vuotta) hieman geenivirtaa on esiintynyt myös viljelykasveista niiden villisukulaisiin. Kasveihin jalostetut ominaisuudet on kuitenkin tarkoitettu tuomaan hyötyä ihmiselle. Niinpä ne vain hyvin harvoin suovat etua itse kasville vaan päinvastoin heikentävät sen mahdollisuuksia selviytyä luonnossa. Siksi jalostusominaisuudet eivät ole vallanneet luonnon-esiintymiä, vaan ne ovat tehokkaasti karsiutuneet pois kasveista luonnonvalinnassa.

Viljelykasvien lajikkeet eivät ole uusia kasvilajeja vaan vastaavat vanhempiaan läheisesti kaikissa suhteissa, juuri jalostettua ominaisuuttaan lukuun ottamatta.

Tulokaskasvit ovat sitä vastoin alueelle ennestään "vieraita" kasvilajeja, joista pienellä osalla saat-
taa olla kykyjä asettua kasvamaan seudulle vakituisina esiintyminä tai - vielä harvemmin - jopa lisääntymään haitallisen tehokkaasti paikallisessa luonnossa. Tuhansia vieraita kasvilajeja on tästä huolimatta saatu vapaasti tuoda puutarhoihin perinteisesti kaikkialla Euroopassa.

10. Biologisesti perusteltuun lainsäädäntöön

1) Kasvibiologian tiedeyhteisössä vallitsee laaja yhteisymmärrys siitä, että sovelletun genetiikan tuotteita koskevan lainsäädännön tulisi perustua lopputulokseen – kasviin jalostettuun ominaisuuteen – eikä jalostuksessa käytettyihin menetelmiin.

Tämän periaatteen kirjasi Euroopan Kasvinjalostustukijoiden Liitto (EUCARPIA) päätöslauselmaansa jo vuonna 1989.

Kanadassa alan lainsäädäntö rakentuu tälle biologisesti päteväälle periaatteelle ("Kasvit, joissa on uusia ominaisuuksia"). Esimerkiksi lajikkeen herbisidinkestävyys – jos se on kyseiselle viljelykasville uusi ominaisuus – laukaisee lain vaatimukset [mm. turvallisuutta on selvitettävä] – riippumatta siitä, käytettiinkö ominaisuuden jalostamiseen vanhaa vai tämän päivän teknologiaa. Kanadassa perinteisin menetelmin jalostettu imidatsolinonia kestävä rapsi ei sitä vastoin laukaise EU:ssa (jalostusmenetelmään pohjautuvaa) gm-lainsäädäntöä.

2) Kasvin luontaisen haittageenin sammuttaminen (esimerkiksi myrkyin tuotannon katkaiseminen) on ekologisesti turvallista, joten tällaiselta jalostukselta tulisi poistaa vaatimus ympäristöriskien arvioinnista. Se voidaan tehdä esimerkiksi tarkentamalla direktiivin 2001/18/EY ja asetuksen (EY) 8029/2003 soveltamisalaa.

Luonto on jo testannut minkä tahansa sellaisen geenin sammutusta kasvissa tuhansia, ellei miljoona kertaa joka vuosi, tuhansien tai miljoonien vuosien aikana – ilman menestystä evoluutiossa. Muutokset, jotka poistavat kasvin luontaisia (usein puolustusellisia) kykyjä eivät suinkaan paranna vaan heikentävät kasvin kuntoisuutta (fitness) ja kilpailukykyä luonnossa.

3) Kasvin ravitsemuksellisen koostumuksen parantaminen ravinto- tai rehukäytön kannalta täytyisi myös vapauttaa ympäristöriskien arvioimisen vaatimuksesta lainsäädännössä. Tällainen muutos näet heikentää kasvin kuntoisuutta ja leviämiskykyä luonnossa. Näin muutetuilla kasveilla on vielä vähemmän mahdollisuuksia aiheuttaa haitallisia ekologisia vaikutuksia kuin perinnejalostuksen tavanomaisilla kasvilinjoilla.

4) Kun viljelykasviin jalostetaan toivottuja genejä geneettisesti kaukaisilta sukulaisilta tai myrkylisistä tai villoista kasveista, se voidaan turvallisimmin tehdä tuomalla geeni kasviin puhdistetussa muodossa, geenitekniikan avulla. Tätä jalostustapaa tulisi siksi suosia vanhojen menetelmien sijasta, ja EU:n gm-lainsäädäntöön tulisi tehdä tarvittavat muutokset.

■ **Yksityiskohtaisempaa tietoa jalostuksen teknisistä ja biologisista kysymyksistä**

on saatavissa tieteellisten asiantuntijoiden yksimielisestä raportista:

"Muuntogeenisten viljelykasvien ja luonnonmukaisen maataloustuotannon rinnakkaiselon mahdollistaminen Suomessa. Väliraportti". Työryhmämuistio MMM 2005:9,
http://wwwb.mmm.fi/julkaisut/tyoryhmuistiot/2005/trm2005_9.pdf

[*Geenitekniikkaa ja muuntogeenisiä viljelykasveja* käsitellään sivuilla 15–20 & 73–84; *Kirjallisuusluettelo* on sivuilla 62–72]

■ **Tämä liite** on ladattavissa internetistä englanniksi osoitteesta <http://geenit.fi/EP101006App.pdf> ja **suomeksi** osoitteesta <http://geenit.fi/EP101006Liite.pdf> .

■ **Itse esitelmä** (57 PowerPoint-kalvoa pdf-muodossa) on saatavilla englanniksi sivulta <http://geenit.fi/EP101006.pdf> ja **suomeksi** osoitteesta <http://geenit.fi/EP101006suom.pdf> .