

# Gm-kasvien riskinarviointi ja –hallinta

Jussi Tammisola 7.9.1998

Gm-lajikkeet ovat viljelykasveja, joten niitä koskevat tarkastelut on perustettava ja suhteutettava olemassa olevaan agronomiseen käytäntöön. Missä ollaan, ja kuinka tähän on tultu? Mikä on viljelyn ja jalostuksen olemus, historia ja geneettinen tausta? Millainen on gm-kasvien hyväksymismenettely? Mitä on riski ja riskinarviointi? Kuinka se on järjestetty, ja kuinka se tulisi järjestää? Joitakin näistä kysymyksistä käsitellään lähinnä tässä lyhennelmässä, toisia pääasiassa oheisissa kalvokopioissa.

## 1. Kasvinjalostus ja geenitekniikka

### Maatalouden ja kasvinjalostuksen historia

Suden jalostaminen koiraksi alkoi 130 000 vuotta sitten. Luomukoira ei monikaan perhe uskalla käyttää kotieläimenä. Pitkälle jalostetut rodut, moninaiset palvelu- ja lemmikkikoirat vastaavat paremmin ihmisen tarpeita. Ihmiskunnan historia kulki keräilystä ja metsästyksestä paimentolaisuuteen, ja lopulta maanviljelys alkoi noin 12 000 vuotta sitten. Maanviljelyn ansiosta muodostui kiinteä asutus. Viljelykasvien elämäntyö ohjattiin ihmisen tarpeisiin, tuloksena 'sato'. Viljelytekniikan ja viljelykasvien vuorovaikutteinen kehitys on nostanut satotasot 10-30-kertaisiksi. Ruokaa alettiin saada yli oman tarpeen, jolloin nykyaikaisten, työnjakoon ja vaihdantaan perustuvien yhteiskuntien syntyminen tuli mahdolliseksi.

Kasvinjalostus on ihmisen ohjaamaa evoluutiota - se on eettinen peruslähtökohta, joka ei ole kiertävissä. Luontoon on vuosituhansien ajan kajottu muuntamalla eräiden lajien perimää. Vehnä on kolmen eri lajin välinen, kromosomistoltaan moninkertaistunut risteytymä. Juurikkaassa ei aluksi ollut sokeria juuri ollenkaan. Maissin alkumuodolla, teosintilla, oli kynnen kokoiset, murtuvat tähkät. Maissi on kokenut viisi radikaalia ja monta pienempää mutaatioita matkallaan nykyiseen merkitykseensä maailman ravinnontuotannossa. Suomen metsäpuita ja eräitä nurmikasveja on kuitenkin jalostettu vasta niin vähän, että niitä voidaan vielä pitää oleellisesti villikasveina.

Pitkälle jalostetut viljelykasvit eivät ole luonnon vaan ihmisen kasveja; 'luonnollinen' tai 'luonnonmukainen' lajike on käsitteekummajainen. Luonto ei ole "ihmisen ystävä" eikä tarjoutu ihmisen syötäväksi.<sup>1</sup> Kasville ihminen on tuholainen siinä kuin muutkin kasvinsyöjät. Tuholaisia kasvit torjuvat myrkyillä<sup>2</sup>, epäterveellisyydellä ja vastenmielisillä ominaisuuksilla.<sup>3</sup> Manipuloinnin mestari ohittaa puolustuksen: keittää myrkkypavut, multaa perunat, ryöppää korvasienet, liottaa pellavat, puristaa öljyn, hauduttaa nauriit, jauhaa ja kuivaa maniokin. Jalostushistorian kuluessa viljelykasvien myrkyllisyys ihmiselle on vähentynyt ja ravintoarvo sekä satoisuus ihmisen kannalta parantunut. Viljelykasvit riisuttiin aseista. Rypsi myrkytettiin mutageeneilla terveysöljyn tuottajaksi.<sup>4</sup> Eliöiden 'sorpeilemattomuus' merkitsisi villin luonnon syömistä, mikä ei voisi elättää kuin murto-osan ihmiskunnasta. Kasvinviljely ja –jalostus ovat kulttuurimme perusta, eikä menneeseen ole paluuta.

Evoluutioteoria löi itsensä lopullisesti läpi 150 v. sitten Darwinin mukana. Perinnöllisyyden tieteellinen perusta selvisi samaan aikaan; Mendelin perinnöllisyyslait jäivät kuitenkin pimentoon ja jou-

<sup>1</sup> Poikkeuksena marjat ja hedelmät, joilla kasvit ovat valjastaneet eläimiä palvelukseensa siementensä levittämiseksi.

<sup>2</sup> Kasveilta tunnetaan jo 180 000 erilaista sekundaarista aineenvaihduntatuotetta, joista monilla on puolustuksellisia tehtäviä. Näillä tehoaineilla on paljon käyttöä lääkkeiden kehittämisessä ja farmakologisissa tuotteissa.

<sup>3</sup> Vrt. kampanjamainos: "Luomuruoka on mahdollisimman lähellä sitä, miksi luonto ruuan tarkoitti"

<sup>4</sup> Haitallisen erukahapon muodostuminen lopetettiin mutaatiojalostuksella.

duttiin keksimään uudelleen 100 v. sitten. Vasta 55 vuotta on tiedetty, että geenit koostuvat DNA:sta (Avery ym. 1944). Perintötekijät muistuttavat toisiaan paljon eri lajien välillä, ja esim. kaikki heinäkasvit ovat geneettisesti hyvin läheistä sukua toisilleen. Geeneissä esiintyy kuitenkin melkoisesti vaihtelua myös saman lajin sisällä.

Luonnon geneettinen diversiteetti saa pohjimmitaan kiittää spontaaneja mutaatioita. Perinnöllinen monimuotoisuus on jalostuksen perusta. Tuhansien vuosien ajan harjoitettiin pelkästään valinta-jalostusta, eli ihmiselle sopivien ”luonnonoikkujen” etsintää. Spontaaneja mutaatioita kuten katkeilematon viljan tähkä tai lihaksikas nauta<sup>5</sup>, jotka luonnon ympäristössä karsiutuisivat, otettiin meille hyödyllisinä ihmisen hoiviin. Viimeiset 300 vuotta on osattu harjoittaa risteytysjalostusta, eli löydettyjen mutaatioiden kokoamista samaan yksilöön risteytysten avulla. Mutaatiojalostusta, eli satumanvaraisten muutosten aiheuttamista eliön perimään kemiallisilla tai fysikaalisilla käsittelyillä, on harjoitettu n. 50 vuoden ajan; tuloksena yli 1500 uutta viljelykasvilajiketta. Harkittuja geenimuutoksia on voitu käyttää kasvinjalostuksessa geenitekniikan avulla vuodesta 1983 lähtien.

### Informaatio on biologian perusta

Geenit sisältävät kasvin ja sen jokaisen solun kehitystä ja toimintaa säätelevän pysyvän ohjaustiedon. Solun tila riippuu siitä, mitkä geenit solussa ovat aktiivisina. Ympäristö vaikuttaa solun elintoimintoihin sytyttämällä ja sammuttamalla solun geenejä. Geenit ovat biologiassa yhtä keskeisessä asemassa kuin informaatio ja tietojenkäsittely ovat nykyaikaisessa yhteiskunnassa. Geenitiedolla on siksi biotieteissä universaali sovellusalue, kuten muistisiruilla, tietokoneilla ja mikroprosessoreilla on uudessa teknologiassa. Geenitekniikka puolestaan on apuväline, jolla geenitieto viedään sovelluksiin.<sup>6</sup>

Geenitekniikkaa on käytetty 25 v. Tehokkaimmat, luonnonmukaisimmin vaikuttavat ja vähiten sivuvaikutuksia aiheuttavat uudet lääkkeet ja rokotteet valmistetaan geenitiedon ja -tekniikan avulla. Teollisuusmittakaavan entsyymit on jo kauan tuotettu vain geenimuunnetuilla mikrobeilla. Miten tähän on tultu, ja miksi? Perusteina ovat tuotteiden oleellisesti parempi laatu ja pienemmät tuotantokustannukset. Saanto voi vanhaan menetelmään verrattuna olla tuhatkertainen (entsyymit), ja lopputuote puhtaampaa tai helpommin eristettävissä. Uuden teknologian prosessit ovat useimmiten myös haitattomampia ympäristölle kuin vanhat menetelmät. Terveysriskit ja eettiset ongelmat vähenevät, kun vaikkapa hormoneita ei tarvitse eristää kuolleilta ihmisiltä, juuston juoksetetta valmistaa vasikan mahasta, tai kasvattaa eläviä rokotteita miljoonissa kanan sikiöissä. Tuotteita on myös turvallisempaa valmistaa hyvin tunnetuissa ja haitattomiksi osoittautuneissa teollisuusmikrobeissa (kuten hiivassa) kuin huonosti tunnetuissa tai vaaralliseksi tiedetyissä villieläimissä.

Lääketieteessä etsitään tautimikrobien aineenvaihdunnasta geenitiedon perusteella avainkohtia, jotka ovat mikrobeille elintärkeitä, mutta jotka on ihmisen aineenvaihdunnassa ratkaistu toisin. Geenitekniikan avulla voidaan sitten kehittää näihin avainkohtiin tähdättyjä torjuntakeinoja, joilla ei ole ihmiselle sivuvaikutuksia. Sama kehitys on tulossa eläin- ja kasvitautien, rikkakasvien ja tuholaisien torjuntaan.

### Geenit opitaan tuntemaan

Ihmisen kaikki 100 000 geeniä on viimeistä DNA-emästä myöten selvitetty ja viety julkiseen tietokantaan v.2005 (kansainvälinen Human Genome Project). Kilpaileva uusi hanke lupaa tärkeimmät tiedot jo vuoteen 2002 mennessä. Ensimmäinen kasvigonomi valmistuu vielä aikaisemmin. EU-

<sup>5</sup> Jopa Belgian Blue –lehmä on luonnonmutantti.

<sup>6</sup> Tavanomaisissa formaaleissa määritelmissä on kriteeriksi usein otettu, että ilmiö ei voisi tapahtua luonnossa. Sopii siis kysyä, voisiko luonto todella tehdä perinteisen maissin? Vastaus tiedetään: ei voisi, sillä se olisi vastoin populaatio-genetiikan ja evoluution peruslakeja.

vetoisessa ohjelmassa selvitetään **lituruohon kaikkien 21 000 geenin rakenne v. 2000 loppuun mennessä**. Monia muita ohjelmia on meneillään, mm. riisillä. Mikrobeilta tunnetaan koko perimä jo 21 lajilta, joukossa leivinhiiva ja monia tärkeitä tautibakteereita (mm. keuhkokuume-, tuberkuloosi ja mahahaavabakteerit). Vanhat antibiootit perustuvat kaikki yhteen tai kahteen, aikanaan satumoisin löytyneeseen geeniin. Siksi on ymmärrettävää, että yhtään oleellisesti uutta antibioottia ei ole saatu aikaan 30 vuoteen. Kun bakteerin koko perimä tunnetaan, voidaan kehittää aivan uudenlaisia antibiootteja bakteeritautien hoitoon; niitä odotetaan käyttöön kymmenen vuoden kuluessa.

Kun geenien toimintaa opitaan ymmärtämään, voidaan jalostaa viljelykasveja, jotka ovat kestävämpiä, satoisampia, selviävät vähemmällä tuotantopanoksilla (lannoitteet, torjunta-aineet, kastelu), sekä rasittavat ympäristöä nykyistä vähemmän. Luonnon geneettinen monimuotoisuus ja villilajien arvokkaat ominaisuudet ovat tällöin käytettävissä viljelykasvien jalostuksen avuksi. Viljojen kestävyden ja laadun parantamisessa voidaan nojata 10 000 heinäkasvilajin geneettiseen aarreaittaan. Sadon laadun ja terveellisyyden parantamiseen sekä funktionaalisten elintarvikkeiden kehittämiseen avautuu uudessa täsmäjalostuksessa suuria mahdollisuuksia. Kasveja voidaan nyt myös jalostaa tuottamaan rokotteita ja lääkeaineita sekä arvokkaita erityisraaka-aineita monille perinteisille ja uusille teollisuussektoreille. Rehuentsyymien tuottaminen kasveissa on yksi maailmanlaajuisesti lupaavimpia mahdollisuuksia. Sovellusten kehitystyötä tehdään jo eri puolilla maailmaa kaikilla näillä sektoreilla.

### Teknologiastrategia

Geenitekniikka on ensi vuosisadan avainteknologia (EU:n mietinnöt 1998). Olemmeko mukana vain ostajina? ”Selviämme ilmeisesti” uusinta teknologiaa ...jos Suomesta löytyy riittävästi öljylähteitä, kultaa tai timantteja. Teknologian alueella ensimmäisillä toimijoilla on etulyöntiasema, aikainen lintu nappaa madon. Suurten geenikartoitusohjelmien ja voimakkaasti kehittyvien tutkimusmenetelmien takia on kuitenkin juuri nyt menossa geenitiedon räjähdysmäinen kasvuvaihe. Lähivuosina biologisiin innovaatioihin riittää siksi mahdollisuuksia myös myöhäisheränneille ja uusille tulokkaille.

Nokian kännykät, Raision Benecol ja Cultorin rehuentsyymit osoittavat, että uuden teknologian tuotteissa pienikin maa voi olla markkinajohtaja - jos asiat hoidetaan oikein. Kokemus innovaatioiden ja asenteiden kehityksestä esim. lääketieteessä ja mikrobitekniikassa ennakoit, että geenitekniikan soveltaminen hyväksytään käytännössä varsin laajalti myös ravinnon tuotannossa jo lähivuosina (kymmenen vuoden kuluessa). Kasvinjalostuksen ja –tuotannon kehittämisessä aikajänne on pitkä, joten strategiset päätelmät on osattava tehdä lähiaikoina. Maailman valloittaa se, joka tietää, mitä ihmiset haluavat 10-15 vuoden kuluttua.

### Tietopaketti geenitekniikasta ja sen vaikutuksista maatalouteen

- Geenitekniikka Suomessa, Biotekniikan neuvottelukunta 1997, Edita, PL 800, 00043 EDITA
- Maatila-Pellervo 1-5/1998
- Elintarviketuotanto & ympäristö 3/1998 (MTT)
- Siirtogeenit tulevat kasveihin. Yleistajuinen oppikirja (Susanne Somersalo 1998), 96 s. Agrimedia, Koulukatu 6, 08100 Lohja, p. (019) 312 295
- Eduskunnan tulevaisuusvaliokunnan raportti ”Kasvigeenitekniikka ravinnontuotannossa” (Eduskunnan kanslian julkaisu 4/1998), [ulrica.gabrielsson@eduskunta.fi](mailto:ulrica.gabrielsson@eduskunta.fi), [hyvä selvitys perusteista, mutta merkitystä maataloudelle ei ole osattu yhtä hyvin eritellä]
- Europarlamentin maataloutta ja maaseudun kehittämistä käsittelevän valiokunnan mietintö (hyväksytty yksimielisesti 3.2.1998) ”Bioteknologian vaikutukset maatalouteen” (A4-0037/98)
- EU:n sosiaali- ja talouskomitean mietintö (hyväksytty 1.7.1998 äänin 145 puolesta, 2 vastaan) ”Genetically modified organisms in agriculture – impact on the Common Agricultural Policy”

(CES 967/98 F/ET/nm). Mietintö on tulostettavissa Internetistä osoitteesta  
[http://www.ces.eu.int/en/docs/docs\\_opinions/CES967-98\\_AC\\_en.DOC](http://www.ces.eu.int/en/docs/docs_opinions/CES967-98_AC_en.DOC)  
 ja suomenkielisenä (ranskan kautta käännettynä, huonoa kieltä)  
[http://www.ces.eu.int/fi/docs/docs\\_opinions/CES967-98\\_AC\\_fi.DOC](http://www.ces.eu.int/fi/docs/docs_opinions/CES967-98_AC_fi.DOC)

## 2. Gm-kasvien hyväksymismenettely EU:ssa

Eläviä gm-eliöitä käsittelevät horisontaaliset [perus]direktiivit 90/219/ETY ('suljettu käyttö', eli suljetut laboratoriot tai tuotantolaitokset) ja 90/220/ETY ('avoin käyttö' eli 'tarkoituksellinen levittäminen ympäristöön' ['deliberate release into environment']). Suomen toimivaltainen viranomainen on geenitekniikan lautakunta, ja se noudattaa Suomen geenitekniikkalakia (N:o 377/1995).

Geenitekniikkalain tavoitteena on edistää geenitekniikan turvallista käyttöä ja kehittymistä eettisesti hyväksyttävällä tavalla; sekä ehkäistä ja torjua haittoja, joita geenitekniikalla muunnettujen organismien käyttö voi aiheuttaa ihmisen terveydelle, eläimille sekä omaisuudelle ja ympäristölle.

Geenitekniikalla muunnetut kasvit hyväksytään direktiivin 90/220/ETY perusteella. Tämän lisäksi ne käyvät vielä läpi normaalit lajikeluetteloon hyväksymiseksi vaadittavat menettelyt. Gm-hyväksymismenettely on EU:ssa erittäin tiukka tuotteiden turvallisuuden varmistamiseksi. Jokainen uusi gm-kasvi tarkastellaan case-by-case-periaatteella. Riskinarviointi on loogiselta perustaltaan tapauskohtaista, sillä vain siten voidaan kulloisetkin erityispiirteet ottaa aina huomioon. Varovaisuusperiaatteen mukaisesti koetoimintaa laajennetaan vaiheittain (step-by-step-periaate). Kokeet tehdään ensin laboratoriossa, sitten kasvatuskaspeissa tai tarkoitukseen hyväksytyssä kasvihuoneessa. Seuraavaksi ovat vuorossa tutkimus- ja kehittämiskokeet kentällä. Kokeita ei saa aloittaa ennen kuin koesuunnitelma on tarkastettu ja kirjallinen hyväksymisilmoitus on saatu. Aiemman koevaiheen tulokset tarkastetaan aina ennen seuraavan vaiheen koeluvan myöntämistä. Vasta, kun kaikki nämä vaiheet on suoritettu, voidaan hakea lupaa markkinoille laskemiseen.

Gm-kasvin markkinoille laskemista koskevassa hakemuksessa tulee arvioida ihmisen terveydelle ja ympäristölle mahdollisesti koituvat riskit. Ympäristöllä tarkoitetaan sekä luontoa että viljelmiä. Hakemus jätetään jonkin EU-jäsenmaan toimivaltaiselle viranomaiselle, mutta sen käsittelee myös erikseen jokaisen jäsenmaan toimivaltainen viranomainen (meillä geenitekniikan lautakunta). Mikäli kaikki ao. viranomaiset pitävät tarpeellisten selvitysten, asiantuntijalausuntojen sekä oman asiantuntemuksensa perusteella hakemusta hyväksyttävänä, komissio (voi) antaa hakemuksen vastaanottaneelle viranomaiselle luvan gm-kasvin liikkeelle laskemiseen. Ennen päätöksensä tekemistä komissio pyytää nykyisin aina lausunnon myös EU:n tiedekomiteoilta.

### Menettelyä olisi tehostettava

Jos jokin toimivaltainen viranomainen vastustaa hyväksymistä, hakemus lähtee ns. ”pitkälle reitille” Artikla 21 –komitean kautta. Käytännössä pitkään reittiin on ajauduttu sinistä neilikkaa lukuun ottamatta jokaisessa tapauksessa. Nykyinen hyväksymismenettely on osoittautunut huonosti organisoiduksi, kankeaksi ja hitaaksi. Proseduuriin on jälkikäteen vielä ympätty direktiiviin perustumattomia 'ad hoc'-mutkia, kuten tiedekomiteat ja eksperttiryhmät sekä 'modus vivendi'-menettely europarlamentin kanssa. Siksi hakemuksen käsittelyyn kuluu EU:ssa keskimäärin 18 kk, USA:ssa ja Japanissa taas 6-8 kk, vaikka tieteelliseen riskinarviointiin käytetään kaikkialla suunnilleen saman verran aikaa. Tästä syystä kasvin viljely on muualla tavallisesti jo vauhdissa, kun hakemuksen käsittely on EU:ssa vielä kesken. Tilanne on EU:n hallinnon ja valvontajärjestelmien kannalta kiu-sallinen ja aiheuttaa jatkuvaa kauppakonfliktien vaaraa. Kertyneen kokemuksen huomioon ottamisella, eriytyneemmällä menettelyillä, paremmin organisoiduilla työkuluilla ja sopivien määräaikojen avulla voitaisiin hakemusten käsittelyä tehostaa.

## Ominaisuuden tulisi olla lähtökohtana

Perusongelmana on EU:n gm-säädösten (ja merkintöjenkin) tekniikkalähtöisyys, joka on jäänyt myös direktiivin 220 uudistusehdotukseen. Tämä ei ole tieteellisesti perusteltua ja johtaa voimavarojen kohdentamiseen turvallisuuden kannalta tehottomasti. Alan tutkijoiden keskuudessa on jo kymmenen vuoden ajan ymmärretty, että tuoteturvallisuuden ja ympäristövaikutusten kannalta keskeistä on itse *geeni* ja *ominaisuus*, jonka se kasville suo; ei reitti, jonka kautta se on kasvin perimään tuotu. Valvonnan ja arvioinnin perusteena tulisi siis olla lopputulos eikä muuntamisessa käytetty tekniikka sinänsä.

Geenitekniikan tiedetään olevan usein puhtaampi ja hallitumpi vaihtoehto kuin vastaava geneettinen muuntaminen perinteiseen tapaan kaukoristeytyksillä tai mutaatiojalostuksella. Olisi loogista suosia eikä sanktioida geenitekniikan käyttöä tuollaisissa tilanteissa; esimerkkeinä geenin sammuttaminen (kääntögeeniset kasvit, kosuppressio) sekä kestävyys- ja laatuominaisuuksien siirtäminen viljelykasviin villeistä sukulaislajeista (ainakin saman kasviheimon piirissä).

## Hyödytkin tulisi arvioida

Keskeinen puute on myös, että direktiivi ei lainkaan tunne käsitettä 'hyöty'. Vain riskit arvioidaan; ja niistäkin ainoastaan käyttöön ottamisen, ei käyttämättömyyden riskejä. Näin siitä huolimatta, että monien sovellusten käyttöön ottamisesta voisi aiheutua huomattavia hyötyjä ihmisen terveydelle ja ympäristölle. Nollariskiä ei ole olemassa millään ihmistoiminnan alueella. Milloin saavutettavissa voi olla suuria etuja, ollaan usein valmiita ottamaan vastaavasti myös jonkin verran enemmän riskejä. Päätöksen tekijän täytyy voida suhteuttaa toisiinsa erilaiset mahdolliset päätöksenteon seuraukset. Jotta asianmukaiselle päätöksenteolle luodaan edellytykset, tulisi sekä mahdolliset haitat että todennäköiset hyödyt arvioida samalla vakavuudella.

## Siirtyminen sektorilainsäädäntöön ja tuoteturvallisuus

Geneettisesti muunnetuista organismeista valmistettuja tuotteita koskevat säädökset on tarkoitus aikaa myöten rakentaa ao. sektoreita koskevaan tuotelainsäädäntöön. Direktiivin 220 vaikutusalue kapenee ajan mittaan, sillä sen on tarkoitus koskea vain sellaisia eläviä gm-organismeja sisältäviä tuotteita, joille ei ole vielä voimassa omia sektorisäädöksiä. Tuotteilla tässä tarkoitetaan esim. elintarvikkeita, rehuja ja viljelysiemeniä. Yksi tällainen sektorisäädös on jo annettu, nimittäin Euroopan parlamentin ja neuvoston ns. uuselintarvikeasetus (258/97), joka mm. koskee ihmisravinnoksi aiottuja gm-organismeja ja niistä valmistettuja tuotteita. Uusrehuja koskeva EU-direktiivi sekä siemendirektiivien uudistuspaketti ovat valmisteltavana; jälkimmäinen hyväksyttäneen neuvostossa joulukuussa.

Tuoteturvallisuuden kannalta on tärkeää, että tuotteet tutkitaan, käytöstä päätetään ja käyttö ohjeistetaan siellä, missä niistä on paras käytännön kokemus ja asiantuntemus. Siirtyminen sektorilainsäädäntöön on tässä oikeansuuntaista kehitystä. Samalla on kuitenkin huolehdittava, ettei säädösten peittävyyyteen muodostu tarkoituksettomia aukkoja, ja että eri säädösten vuorovaikutus toimii riittävän hyvin.

Uuselintarvikkeiden turvallisuus ihmisravintona tarkastetaan uuselintarvikeasetuksen mukaisissa menettelyissä, käytännössä pitkälti samaan tapaan kuin lääkkeillä. Toksisuus, mutageenisuus, allergenisuus ja ravitsemuksellinen vastaavuus analysoidaan. Mahdollinen allergeenisuus on aina merkittävä tuotteeseen, samoin kuin eettisesti arat seikat. On luonnollista, että tarkastuksesta, hyväksynnästä ja valvonnasta vastaavat ne viranomaiset, joilla on ennestään vahvin kokemus elintarviketurvallisuuden arvioinnista.

Viljelyn edistysaskeleet on aina saavutettu viljelymenetelmien ja niihin sopivien uusien lajikkeiden vuorovaikutteisena kehittämisenä. Tämän mukaisesti myös uusilla gm-lajikkeilla voi usein olla vaikutuksia viljelymenetelmien kehitykseen. Gm-kasvien oleellimmat **ympäristövaikutukset** kohdistuvatkin selvästi pellolle, ensi sijassa juuri **viljelymenetelmiin**.<sup>7</sup> Muutokset voivat olla positiivisia tai negatiivisia, sovelluksesta ja omaksuttavasta käytännöstä riippuen. Kasvinviljelyssä asiantuntemus on maataloussektorilla, joten on luonnollista, että sille siirtyisi päävastuu gm-kasvien hyväksynnästä tulevaisuudessa. Muualla ei osata riittävän realistisesti arvioida uusien lajikkeiden ja menetelmien toimivuutta tai merkitystä eikä suunnitella niiltä edellytettävää hyvää viljelykäytäntöä.

Viime aikoina on kritisoitu eräiden kestävyysominaisuuksien käsittelyn järjestämistä EU-lainsäädännössä. Kaikki geenitekniikalla muunnetut kasvit käsitellään täällä tekniikkalähtöisesti, direktiivin 220 alla. Ominaisuuden kannalta tarkasteltaessa olisi kuitenkin eräillä toksineihin perustuvilla torjuntaominaisuuksilla luonnollisin yhteys torjunta-ainesektorille. Tällaiset 'itsetorjuvat' gm-kasvit onkin USA:ssa luokiteltu ominaisuuden perusteella biopestisideihin.

### **3. Gm-kasvien riskinarviointi ja -hallinta**

"The context of risk/safety assessment is to allow the community at large to benefit maximally from the potentials of biotechnology for sustainable development. The purpose of risk/safety assessment is to provide elements for political decision making, e.g. facilitate risk/benefit analysis; risk/safety assessment is not an aim in itself" (2<sup>nd</sup> CCRO Workshop, 5.-6.3.1998).

Direktiivin 220 ja vastaavien sektorisäädösten mukaan on selvitettävä gm-eliön vaikutukset ihmisten terveyteen ja ympäristöön. Itse käytän nykyisin mieluiten selvyyden vuoksi kolmijakoa: **terveys, viljelymenetelmät ja luonto**.

Riskin käsite on valitettavasti eri aloilla ja alueilla erilainen ja kirjava, kuten kalvoistakin ilmenee. Terminologiahämmingistä huolimatta itse turvallisuuden/riskinarvioinnin yleiset periaatteet ovat kuitenkin käytännössä pitkälle samat kaikkialla biotekniikassa.

Ensin **etsitään mahdollisia uhkatekijöitä ns. pitkien listojen perusteella**. Käsittelyn järkevöittämistä tutkimuskaavan mukaisesti eteneviä vuokaavioita soveltamalla on yritetty siellä täällä, mutta yhteisymmärrykseen niiden riittävästä kattavuudesta ja soveltuvuudesta kaikkiin oleellisiin olosuhteisiin ja erityistapauksiin ei valitettavasti ole päästy.

**Ominaisuus** on riskinarvioinnissa keskeistä. Uusi kasvinjalostus poikkeaa näet aiemmasta oleellisesti vain siinä suhteessa, että nyt on mahdollista tuoda kasviin uusia, ennen käyttämättömiä ominaisuuksia.

EU:n geneettistä muuntamista koskevien direktiivien lähtökohtana on kuitenkin muuntamisen tekniikka, vastoin alan tutkijoiden jo kauan sitten kirjaamia näkemyksiä. Virheellinen perusta johtaa epäjohtonmukaisiin ja turvallisuuden tutkimisen kannalta huonosti kohdistettuihin ratkaisuihin. Perusteiden yhdenmukaistamisessa on siis sekä EU:ssa että kansainvälisellä tasolla vielä paljon tehtävää.

<sup>7</sup> Luontoon koituu tietenkin viljelymenetelmien muuttumisesta aiheutuvia, epäsuoria vaikutuksia. Sensijaan gm-kasvien suorat *geneettiset haitat* luontoon ovat pitkälle spekulatiivisia eikä sellaisista ole saatu mitään näyttöä riskitutkimuksissa, vaikka niitä on EU:ssakin jo tehty yli 10 vuoden ajan (Maurice Lex, EU:n tutkimusosasto DGXII, 17.11.1998).

Seuraavaksi suoritetaan uhkatekijöittäin vahingon **sattumistodennäköisyyden** sekä siitä aiheutuvien **haittojen vakavuuden** arviointi. Lopuksi arvioidaan kokonaisriski yli kaikkien uhkatekijöiden.

Prosessiin kuuluu myös **riskinhallinta** - *ad hoc* -määritelmäni mukaan 'ennalta ehkäisevä jälkihoito'. Toimenpiteet, joihin riskinhallinnassa päädytään mahdollisten haittojen minimoimiseksi (esim. ns. hyvälle viljelymenetelmälle asetettavat vaatimukset), voivat vaikuttaa oleellisesti prosessin kokonaisriskiin. Vaikka riskinarviointi ja -hallinta ovat kapeasti katsoen eri kysymyksiä, on niiden kesken siis käytännössä kuitenkin kiinteä vuorovaikutus. Riskien arviointiprosessiin sisältyy usein iteraatiosilmukka, jossa riskinhallintaa kehitetään riskiarvion perusteella, kunnes jäännösriski on saatu hyväksyttävälle tasolle. Kasvibioteknikassa voidaan turvallisuuden varmistamiseksi joutua esim. rajaamaan tiukemmin gm-lajikkeen käyttötarkoitusta, viljelyalueita tai -menetelmiä.

## Seuranta

Seuranta ja lupien määräaikaisuus (jotka tulevat uudistettuun direktiiviin 220) ovat riskinhallinnan täydentäviä loppuvarmistuksia. Seurantaan ollaan jo valmistautumassa - olin mukana rakentamassa ensimmäistä EU-tasosta seurantaohjelmaa (Novartiksen gm-maissi). Ekologinen tutkimustyö vaatii paljon resursseja, joten se on kohdistettava huolellisesti, jotta tärkeistä asioista saadaan kunnollista tietoa. Tuotteen laatua on kaikissa tapauksissa jatkuvasti seurattava ja valvottava, ja tiedot poikkeamista ja sivuvaikutuksista olisi kerättävä keskitettyyn, julkiseen rekisteriin.

Seurannan olisi oltava tarpeen mukaista, hyvin määriteltyä ja riskiin suhteutettua. Tuotteiden laadun valvominen on myös valmistajan oman edun mukaista. Joissakin tapauksissa yhteisöllä on suuri intressi, esim. uusien, ympäristöä säästävien kestävyysominaisuuksien säilyttämiseksi mahdollisimman pitkään käyttökelpoisina. Tavanomaista seurantaa laajempaa, perustavaa tutkimusta voidaan tuolloin järjestää EU:n tutkimusohjelmien puitteissa.

## 4. Tapauskohtaisia tarkasteluja

### Allergeenisuus

Yleisen uskomuksen mukaan siirtogeeniset kasvit aiheuttaisivat helposti allergioita. Tällaisen väitteen tueksi ei kuitenkaan ole perusteita. Hyväksytyjen uuselinarvikkeiden turvallisuus on varmistettu paremmin kuin aikaisemmin käyttöön otetuilla elintarvikkeilla. Toisin kuin vanhoilla elintarvikkeilla, uuselinarvikkeesta on tehtävä perinpohjaiset tutkimukset. Myös mahdollinen allergeenisuus aina selvitettävä ja *merkittävä tuotteeseen*. Allergikon turvallisuushan on yleisesti sen varassa, että elintarvikkeiden merkinnät ovat riittäviä ja pitävät paikkansa. Jos esim. kiivihedelmä tulisi markkinoille EU:ssa vasta nyt (siis uuselinarvikkeena), se olisi ilman muuta merkittävä allergiaa aiheuttavaksi.

Yhtään ihmisravinnoksi tarkoitettua kasvilajiketta, johon olisi siirretty jokin tunnettu allergeeni, ei ole tarjottu hyväksyttäväksi. Tällaisia sovelluksia tuskin nähdään jatkossakaan, vaikka se (merkinnoilla varustettuna) olisi periaatteessa mahdollista. Euroopan kasvinjalostustutkijoiden liitto (EUCARPIA) suositteli jo v. 1989, että viljelykasveihin ei vietäisi tunnetusti haitallisia geenejä. Esim. hernekasveista ja pähkinöistä olisi saatavissa arvokkaita proteiineja koodaavia geenejä. Niitä ei kuitenkaan oteta käyttöön proteiinjalostuksessa muilla viljelykasveilla, milloin ao. proteiini on allergiaa aiheuttava.

Perustutkimusta allergeenisilla proteiineilla on kuitenkin tehty, ja tulokset ovat olleet odotusten mukaisia. Esim. siirrettiin tunnetusti allergeenista proteiinia koodaava geeni pekaanipähkinästä soijaan sen selvittämiseksi, voidaanko syntyvä proteiini osoittaa soijasta ja olisiko se soijapavuissa-

kin allergeeninen.<sup>8</sup> Osoittautui, että proteiini oli määritettävissä soijasta tavanomaisin menetelmin ja oli sielläkin allergeeninen, aivan kuten osattiin odottaa.<sup>9</sup>

### Antibioottiresistenssi

Kun geeninsiirto tehdään kasvisoluun, tarvitaan valinnan apugeeni, ns. **selektiomarkkeri**, jonka perusteella voidaan valikoida erikseen ne (harvat) solut, joissa geeninsiirto on onnistunut eli siirto-geeni on kiinnittynyt pysyvästi kasvin genomiin (kromosomiin; tai kloroplastin tai mitokondrion DNA-rihmaan). Usein selektiomarkkerina on käytetty jotain geeniä, jonka koodaama proteiini antaa solulle vastustuskyvyn tietylle antibiootille.

Esimerkkitapauksena selektiomarkkerista käsitellään maaperän sädesienestä *Streptomyces kanamyceticus* löydettyä geeniä *nptII* (eli kan<sup>r</sup> tai aphA2). Se koodaa entsyymiä APH(3')II, joka suo solulle **resistenssin** spesifisesti **kanamysiinille**, neomysiinille ja genetisiinille mutta ei muille (etenkään uusille) aminoglykosidi-antibiooteille. Genetisiiniä käytetään vain *in vitro*. Myrkyllisyytensä ja sivuvaikutustensa vuoksi kanamysiiniä ja neomysiiniä ei enää juuri käytetä ihmislääkinnässä (mutta jonkin verran eläinlääkinnässä). Selektiomarkkeri *nptII* on yleisessä käytössä kasvigeenitekniikassa; jotta se toimisi kasvisolussa, sen eteen on liitetty mikrobiperäisen sijasta kasviperäinen geenin säätelyosa (promoottori).

Resistenssigeenin '**horizontaalinen**' **siirtyminen suolistossa**, ja mahdollisen haitan arviointi. Voiko, ja millä taajuudella, *nptII*-geeni a) siirtyä kasvista bakteerin perimään ruuansulatuselimistössä, b) muuttua bakteerissa toimintakykyiseksi, c) joutua (edelleen) patogeeniseen bakteeriin; ja d) mitä seurauksia tällä olisi antibioottien hoitotehon kannalta normaalitilanteeseen verrattuna.

Tuoreravintoa **syötäessä kasvin DNA:sta hajoaa nopeasti suurin osa** kasvin omien DNA:aasi-entsyymien vaikutuksesta solujen vahingoittuessa. DNA:n hajoaminen jatkuu tehokkaasti edelleen ruuansulatuselimistössä ruuansulatusentsyymien vaikutuksesta. Teoriassa erittäin pieni osuus DNA:sta saattaa kuitenkin olla vielä koostua *nptII*-geenin kokoisista fragmenteista suolistossa. Ruuansulatuselimistössä on noin  $10^{14}$  bakteeria, joista  $10^{12}$  ei ole resistenttejä kanamysiinille. Johonkin näistä saattaa siirtyä ja perimään kiinnittyä *nptII*-geenin sisältävä DNA-fragmentti ns. transformaation tuloksena. Parhaat mahdollisuudet tähän on ohutsuolen jälkipäässä ja pakusuolella, jossa ruoka viipty melko kauan.

**Transformaatio** on erittäin spesifinen tapahtuma, jossa tarkasti rajatussa fysiologisessa tilassa olevat (ns. kompetentit) bakteerisolot voivat ottaa sisäänsä vapaan DNA-fragmentin solun ulkopuolelta ja kiinnittää sen vastaavalle kohdalle perimäänsä. Kiinnittyminen edellyttää tiukkaa homologiaa fragmentin ja bakteerin oman DNA:n välillä. Toisin sanoen bakteeri voi korjata viallisen geeninsä ulkopuolisella materiaalilla tai korvata jonkin geeninsä saman geenin toisella muodolla (alleelilla). Sen sijaan bakteerilla ei ole juuri mahdollisuuksia hankkia itselleen transformaatiolla kokonaan uusia genejä.

Esimerkkitapauksena tarkastellaan **tomaattia, jossa on *nptII*-markkerigeeni**. "Worst case" -skenaariorissa tehdään joukko pahimman tapauksen suuntaan liioiteltuja oletuksia: kyse olisi tomaatista, jota syötäisiin 250g, siirtogeeni esiintyisi joka solussa 10 kopia, DNA ei ollenkaan pilkkoutuisi, kaikki bakteerit olisivat *E.coli*-bakteereita, niiden transformaatiofrekvenssi plasmidi-DNA:lla olisi  $10^{-6}$  (saavutettavissa laboratorioissa optimioleissa) ja lineaarisella DNA:lla 0.1% tästä. Lisäksi ole-

<sup>8</sup> Nordlee JA, Taylor SL, Townsend JA, Thomas LA, Bush RK (1996). Identification of a Brazil-nut allergen in transgenic soybeans. The New England Journal of Medicine 334: 688-692.

<sup>9</sup> Harhakäsitys gm-kasvien allergeenisuudesta näyttää pääasiassa perustuneen juuri tätä koetta koskevien väärien tietojen leviämiseen mm. mediassa.



tetaan, että fragmentti on transformaatiotapahtumassa tai sen jälkeen riittävän selektion olosuhteissa rekombinoitunut toiminnalliseksi bakteerigeeniksi, ts. kasviperäinen promoottori olisi poistunut ja korvautunut toimivalla bakteeripromoottorilla.

Normaalin (ei-patogeenisen) suolistobakteeriston kanamysiiniresistenssi voisi tuolloin **pahimmillaan lisääntyä  $2.4 \cdot 10^{-15}$  %** eli äärimmäisen vähän normaalitilanteeseen verrattuna. Tällä ei olisi kerrassaan mitään merkitystä antibioottihoitojen teholle (vaikka hoidoissa siis sivuvaikutuksista huolimatta käytettäisiin kanamysiiniä). Päätelmä olisi alusta lähtien ilmeinen jo sen tiedon valossa, että kanamysiinille resistentit bakteerit ovat erittäin yleisiä kaikkialla: niin ruuassa, juomavedessä, suolistossa, ulosteissa kuin maassa. Tuoreravintoa syötäessä on resistenttien bakteerien pitoisuus suolistossa tuhatkertainen täyskuumennettua ruokavaliota noudattaviin verrattuna. Resistenssi-markkeriksi *nptII* on siis harmiton valinta, erityisesti koska kanamysiiniä ei käytetä suun kautta annosteltuna ihmislääkinnässä juuri ollenkaan.

**Ampisilliiniresistenssiä** hyödynnettäessä tilanne ei ole ainakaan mielikuvien kannalta yhtä ongelmaton, sillä streptomysiinillä on edelleen jonkin verran käyttöä myös ihmislääketieteessä. Toisaalta myös ampisilliiniresistenssi on bakteereilla varsin yleistä. Geenitekniikalla ei ole tähän osaa eikä arpaa, eikä geenitekniikkaan kajoamalla voida sitä vähentää. Ampisilliiniresistenssin geenejä on todettu 10%:ssa ympäristön bakteereista ja 70%:ssa lehmien ja sikojen mikroflooranäytteistä. Samaten pohjavesistä ja terveiden ihmisten ulosteista on eristetty suuria määriä ampisilliiniresistentejä enterobakteereita. Tällaisessa tilanteessa ei epäsuorilla, spekulatiivisilla pikkuefekteillä ole merkitystä. Mikrobilääketieteen tutkijat ovat yksimielisiä (viimeksi Hanasaressa 19.11.1997) siitä, että resistenssin tasoa voidaan pitää kurissa ainoastaan selektiopaineeseen ja leviämiseen vaikuttamalla, siis *järkevöittämällä antibioottien käyttöä* ja ehkäisemällä sairaalainfektioita.

### Kehityslinjoja

Spekulointi selektiomarkkerien mahdollisesta siirtymisestä bakteereihin tulisi tarpeettomaksi, jos markkerigeeni pilkottaisiin osiin, joiden väliin sijoitettaisiin **introneita**. Kasvi osaa poistaa intronit lähetti-RNA:sta ja geeni toimii; bakteerit eivät taas siihen pysty, joten markkerigeeni ei voisi ollenkaan toimia bakteerissa. Jalostajan kannalta olisi toisaalta tarpeellista, että markkeri voitaisiin **poistaa kasvista jälkikäteen** tai voitaisiin löytää muunlaisia, "markkerittomia" menetelmiä. Usean uuden geenin kerääminen vaiheittain samaan kasviin ('gene stacking') tulee kovin vaikeaksi, jos jokaista geeniä varten tarvittaisiin oma uusi selektiomarkkerinsa. Käytännössä toimivia ratkaisuja etsitään, joten markkereista päästäneen eroon jo seuraavan polven gm-kasveissa. Markkinoille tulevissa lajikkeissa niitä esiintyy silti vielä muutaman vuoden ajan, sillä kasvinjalostus on vieläkin pitkän tähtäyksen toimintaa. Toisaalta kuitenkin jo melko pian tulevaisuudessa pieni **keinotekoinen kasvikromosomi** muodostunee perusratkaisuksi, jonka avulla usean geenin aineenvaihdunnallisia kokonaisuuksia voidaan siirtää ja ilmentää kasvissa hallitulla ja turvallisella tavalla.

### Epilogi

Näppäimistöä satunnaisesti takomalla apinakin voisi lopulta tuottaa romaanin - ikuisuuden perspektiivissä. Ihminen on kiireisempi, kehittää keinoja ja tahtoo tuloksia. Geenitieto ja -tekniikka ovat luku- ja kirjoitustaitoa biologiassa. Olemme juuri astumassa lukkarin kouluun. "Lauri-poika metsässä' häärii, katselevi puita väärii"... perinteinen valinta- ja mutaatiojalostaja. Eero taas pystyy jo tuottamaan lyhyen aforismin tai kaksirivisen haikun.

Tekniikkaa voidaan aina käyttää niin hyviin kuin huonoihin tarkoituksiin. Geenitekniikka on väline, jolla geenitieto viedään sovelluksiin. Joku ehkä haluaisi käyttää geenitietoa sodankäyntiin tai syrjintään. Sen avulla voidaan kuitenkin, kunhan riskit pidetään hallinnassa, myös kohentaa oleellisesti elämämme, elintarvikkeitemme ja ympäristömme laatua - mikäli niin haluamme.

Löydämmekö keinot,  
kuinka startata turvallisesti  
teknokemian aikakaudelta  
biologian vuosisadalle?

