



YMPÄRISTÖN-
SUOJELU

Anu Kemppinen, Jyrki Pitkäjärvi ja Marja Ruohonen-Lehto

Geenitekniikalla muunnettujen organismien ympäristövaikutusten seuranta



Anu Kemppinen, Jyrki Pitkälä ja Marja Ruuhonen-Lehto

Geenitekniikalla
muunnettujen organismien
ympäristövaikutusten
seuranta

HELSINKI 2003

*Julkaisua on saatavana myös Internetistä
<http://www.ymparisto.fi/julkaisut>*

ISBN 952-11-1384-7 (nid.)
ISBN 952-11-1385-5 (PDF)
ISSN 1238-7312

Kansikuva: Luonnonvarainen koivikko Keski-Suomessa,
Esko Kuusisto

Edita Prima Oy, Helsinki 2003

Alkusanat

Seurannalla tarkoitetaan määrättyjen muuttujien tai prosessien systemaattista mittamista säännöllisin väliajoin tiettyjen odotusten toteutumisen varmistamiseksi tai johonkin perustilanteeseen nähden tapahtuvien muutosten havaitsemiseksi. Geenitekniikalla muunneltujen organismien (GMO) vaikutusten seuranta voi kohdistua esimerkiksi terveys- tai ympäristövaikutuksiin. GMO:en tarkoituksellista levittämistä ympäristöön koskeva direktiivi 2001/18/EY velvoittaa markkinoille saattamistarkoituksessa levitettävien GMO:en kohdalla ilmoittajaa mm. laatimaan seurantasuunnitelman ja vastaamaan seurannasta riskinarvioinnissa tunnistettujen terveys- ja ympäristövaikutusten sekä ennakoimattomien vaikutusten havaitsemiseksi. Seurantasuunnitelma vaaditaan myös kenttäkokeiden kohdalla. Uusi direktiivi tuli saattaa jäsenvaltioissa osaksi kansallista lainsäädäntöä 17.10.2002 mennessä. Uusittu geenitekniikkalaki saataneen Suomessa voimaan kuitenkin vasta vuoden 2004 alussa.

Tämän julkaisun taustalla oli tarve tuottaa tietopaketti, jota viranomaiset ja toiminnanharjoittajat voisivat käyttää apunaan GMO:en ympäristövaikutusten seurantaan kehitettäessä ja suunniteltaessa. Julkaisun pääkirjoittajana on toiminut FM Anu Kemppinen. Tietoa ja aineistoa on hankittu useista eri lähteistä. EU:ssa käynnissä olevasta seurannasta tai seurantaan liittyvästä tutkimuksesta koottiin tietoa kansallisille viranomaisille lähetetyn sähköpostikyselyn avulla. Valitettavasti vastanneiden osuus jäi pieneksi, mikä toisaalta kertonee myös siitä, ettei ympäristövaikutuksia tähän mennessä ole juurikaan seurattu. Myös seurantaveloitteeseen valmistautumiseen sekä seurannan kehittämiseen liittyvä tutkimus ja projektit ovat EU-maissa vielä alkutekijöissään. Eriyksen kimurantiksi osoittautui USA:ssa edellytettävän ja tapahtuvan GMO:en ympäristövaikutusten seurannan selvittäminen. Joihinkin kysymyksiin on saatu vastauksia Environmental Protection Agency (EPA) asiantuntijoilta ja lisäksi viranomaisten verkosivujen kautta on löytynyt runsaasti materiaalia. Suuri osa käytetystä lähdeaineistosta onkin saatavissa Internetistä. Osoitteet on annettu tekstissä tai viiteluettelossa.

Julkaisussa tarkastellaan lähinnä markkinoille saattamistarkoituksessa ympäristöön levitettävien GMO:en kohdalla edellytettävän ympäristövaikutusten seurannan tavoitteita ja toteuttamista, kuten direktiivissä ja sitä täydentävissä ohjeissa on esitetty. Lisäksi esitellään EU-maiden tutkimus- ja kehittämiskokeiden sekä USA:ssa kaupallisen viljelyn yhteydessä toteutetuista seurantaprosesseista saatuja kokemuksia.

Julkaisun käsikirjoitus lähetettiin kommentoitavaksi Helsingin yliopiston Maatalous-metsätieteellisen tiedekunnan soveltavan biologian laitokselle, sosiaali- ja terveysministeriölle, ympäristöministeriölle, maa- ja metsätalousministeriölle, Kasvintuotannon tarkastuskeskukselle, Turun yliopistolle sekä SYKE:n laboratoriolle. Haluan kiittää kaikkia kommentteja esittäneitä henkilöitä. Kiitän kommentteista ja keskusteluista myös ylitarkastaja Harry Helmisaarta (SYKE/LUM). Yksikönpäällikkö Jukka Malmia (SYKE/KEM) haluan kiittää työn aikataulun venymisestä huolimatta kannustavasta ja kärsivällisestä suhtautumisesta. Julkaisun esitarkastajina ovat toimineet FT Irma Saloniemi (Turun yliopisto) ja tutkija Katarina Björklöf (SYKE). Heitä haluan lämpimästi kiittää monista kiireistä huolimatta tehdystä asiantuntijatyöstä. Lopuksi esitän kiitokseni ympäristöministeriölle ja Suomen ympäristökeskukselle julkaisun rahoituksesta.

Helsingissä 5.3.2003

Anu Kemppinen



Sisällys

Alkusanat	3
------------------------	----------

Direktiivin 2001/18/ETY mukainen GMO-tuotteiden ympäristövaikutusten seurantavelvoite

1 Seurantasuunnitelma ja seuranta koskevat määräykset direktiivissä 2001/18/ETY	9
--	----------

2 Seurannan tavoitteet **10** |

2.1 Ympäristöriskien arvioinnissa tunnistettujen vaikutusten seuranta	10
2.1.1 Suorat vaikutukset	10
2.1.2 Välilliset vaikutukset.....	12
2.2 Mahdollisten odottamattomien vaikutusten havaitseminen	13

3 Seurannan toteuttaminen **14** |

3.1 Seurantaprosessiin osallistuvat tahot.....	14
3.2 Seurannan toteuttamisen alueelliset tasot	14
3.3 Seurannan ajallinen toteuttaminen ja ulottuvuus	15
3.4 Tarkasteltavat vaikutukset ja niiden arvioimisessa käytettävät muuttujat	15
3.5 Seurantaan soveltuvat menetelmät ja käytännöt	17
3.6 Seurannassa saatujen tulosten tulkitseminen ja seurantatulosten vaikutukset	18

Esimerkkejä GMO:en ympäristövaikutusten tarkastelusta ja seurannasta

4 EU-maat **23** |

4.1 GMO:en ympäristövaikutusten tarkastelu	23
4.1.1 Bt-toksiineja tuottavien ja muiden tuholaiskestävien kasvien ympäristövaikutukset	23
4.1.2 Viruskestävien GM-kasvien ympäristövaikutukset	25
4.1.3 Herbisideille vastustuskykyisten GM-kasvien ympäristövaikutukset	26
4.1.4 Kelpoisuus ja kilpailukyky	26
4.1.5 Siirtogeenien leviäminen muihin populaatioihin	27
4.1.6 Geeniteknikalla muunnettujen mikro-organismien (GMM) ja virusten ympäristövaikutukset	27
4.1.7 GMO:en ympäristövaikuksiin tai seurantaan liittyvä tutkimus Suomessa	28
4.2 Kaupallinen levittäminen - Bt-maissin ympäristövaikutusten seuranta	29
4.3 Seurannan kehittämiseen liittyviä projekteja	31

5 USA **32** |

5.1. Lainsäädäntö ja viranomaiset	32
5.2 Bt-kasvien kaupallinen viljely ja ympäristö-vaikutusten seuranta	35
5.2.1 Bt-toksiinikestävyyden kehittymisen hallinta	35
5.2.2 Bt-toksiinikestävyyden kehittymisen seuranta	36
5.2.3 Muihin kuin kohdeorganismeihin kohdistuvat vaikutukset.....	38

5.2.4 Pestisidien käyttö.....	39
5.2.5 Siirtogeenien leviäminen.....	39
5.3 Muut kaupallisesti viljeltävät GM-kasvit ja ympäristön seuranta	40
6 Yhteenveto	41
Lähteet.....	43
Liite I	46
EU-maissa toteutettuja tai parhaillaan toteutettavia GM-kasvien ympäristövaikutusten arviointiin ja tutkimiseen liittyviä tutkimus- ja kehittämiskokeita aihepiireittäin.	
Kuvailulehdet.....	48

Direktiivin 2001/18/ETY mukainen GMO-tuotteiden ympäristövaikutusten seurantavelvoite

Seurantasuunnitelma ja seuranta koskevat määräykset direktiivissä 2001/18/ETY

Direktiivi 2001/18/ETY velvoittaa ilmoittajan laatimaan seurantasuunnitelman osana GMO:n tarkoituksellista levittämistä ympäristöön koskevaa ilmoitusta. Kenttäkokeiden tapauksessa seuranta koskevat tiedot esitetään kuten direktiivin liitteiden IIIA (muut kuin korkeammat kasvit) ja IIIB (korkeammat kasvit) mukaisissa ilmoituksissa edellytetään. Muita kuin korkeampia kasveja (esimerkiksi mikroorganismeja) koskevassa ilmoituksessa tulee ilmoittaa GMO:en jäljittämiseksi ja niiden vaikutusten seuraamiseksi aiotut menetelmät, näiden menetelmien herkkyys ja luotettavuus, tekniikat siirretyn geneettisen materiaalin muihin organismeihin kohdistuvan siirtymisen havaitsemiseksi sekä seurannan kesto ja taajuus. Korkeampien kasvien kohdalla ilmoituksessa vaaditaan kuvaus seurantasuunnitelmista ja -tekniikoista. Markkinoille saattamistarkoituksessa levitettävän GMO:n kohdalla edellytettävän seurantasuunnitelman yleiset tavoitteet ja laatimisessa noudatettavat periaatteet on esitetty erikseen direktiivin liitteessä VII. Seuranta tulee aloittaa sen jälkeen, kun GMO:n markkinoille saattamiseen on saatu lupa ja seuranta tulee jatkaa lupaehtojissa edellytettävän jakson ajan. Seurantasuunnitelman on oltava yksityiskohtainen ja siinä on otettava huomioon GMO:n ominaisuudet, suunnitellun käytön ominaisuudet ja laajuus sekä suunnitellun levittämisalueen olennaiset ympäristöolosuhteet.

Liitteen VII mukaisessa seurantasuunnitelmassa tulee ilmoittaa yksityiskohteisesti, missä seuranta suoritetaan ja kuinka suuri seurattava alue on vertailualueet mukaan lukien. Seurantasuunnitelmasta tulee myös ilmetä, kuka toteuttaa suunnitelman edellyttämät tehtävät, ja kuka vastaa suunnitelman noudattamisesta sekä milloin seurantaraportit on määrä antaa. Seurannassa käytettävät menetelmät tulee kuvata tai niihin tulee viitata.

2

Seurannan tavoitteet

Direktiivin 2001/18/ETY liitteen VII mukaan seurannassa tulisi voida havaita sekä ympäristöriskien arvioinnissa ennakoituvat suorat ja välilliset, välittömästi ja viipeellä ilmenevät että ennakoimattomat ympäristö- ja terveysvaikutukset. **Suorilla vaikutuksilla** tarkoitetaan GMO:sta ihmisten terveyteen tai ympäristöön kohdistuvia ensisijaisia vaikutuksia, jotka eivät ilmene syysuhteisen tapahtumaketjun seurauksena (Direktiivin liite II: Ympäristöriskien arvioinnin periaatteet). **Välilliseksi vaikutukseksi** katsotaan ihmisten terveyteen tai ympäristöön syysuhteisen tapahtumaketjun seurauksena kohdistuvat vaikutukset, jotka tapahtuvat erilaisten mekanismien, kuten muiden organismien kanssa tapahtuvan vuorovaikutuksen, perintöaineksen siirtymisen tai käytössä tai käsittelyssä tapahtuvien muutosten seurauksena. **Välittömästi ilmenevät vaikutukset** ilmenevät GMO:n levittämisen aikana ja ne voivat olla suoria tai välillisiä. **Viipeellä ilmeneviä vaikutuksia** ei välttämättä havaita GMO:n levittämisen aikana, vaan ne voivat ilmetä vasta levittämisen lopettamisen jälkeen. Riskinarvioinnissa ja seurannassa tulee huomioida myös kumuloituvat pitkän aikavälin vaikutukset, joilla tarkoitetaan luvan myöntämisestä johtuvia **kumuloituvia vaikutuksia** ihmisten terveyteen ja ympäristöön, mm. kasveihin ja eläimiin, maan hedelmällisyyteen, orgaanisen aineksen hajoamiseen maassa, ruoka- ja ravintoketjuun, biologiseen monimuotoisuuteen, eläinten terveyteen ja antibiootikestävyuden aiheuttamiin ongelmiin.

2.1 Ympäristöriskien arvioinnissa tunnistettujen vaikutusten seuranta

Seurannan tapauskohtainen osuus muodostuu sellaisten ympäristövaikutusten tarkastelusta, joiden mahdollisuus on tunnistettu GMO:n riskinarvioinnissa. Direktiivin liitteen II mukaan sellaisia suoria tai välillisiä, välittömästi tai viipeellä ilmeneviä sekä kumuloituvia ympäristövaikutuksia, joita GMO:en riskinarvioinnissa tulee tarkastella, voivat olla eläimille ja kasveille aiheutuvat taudit (mukaanlukien toksiset ja allergeeniset vaikutukset), vastaanottavan ympäristön lajien populaatioiden dynamiikkaan sekä näiden populaatioiden geneettiseen monimuotoisuuteen kohdistuvat vaikutukset, muuttunut alttius patogeeneille sekä biogeochemialliset vaikutukset, erityisesti hiilen ja typen kiertoon maaperässä.

2.1.1 Suorat vaikutukset

GMO:en suoria vaikutuksia voivat olla mm. GMO:n tuottaman toksiinin vaikutukset kohdeorganismeissa ja muissa kuin kohdeorganismeissa, esimerkiksi loiseliöissä, patogeeneissa, erilaisissa kilpailevissa organismeissa, kasvinsyöjissä ja symbionteissa (esim. Bt-toksiinien vaikutukset monarkkiperhosiin, katso Inforuutu 1). Kasvimateriaalin hajoamisen seurauksena vapautuvat siirtogeenien ilmentymistuotteet tai niiden hajoamistuotteet voivat varsinkin kumuloituessaan vaikuttaa suoraan maaperän organismeihin (bakteereihin, sieniin, leviin, alkueläimiin, sukkulamatoihin, lieroihin ja hyönteisiin) tai pohjaveden laatuun.

Bt-toksiinit ja monarkkiperhoset

GM-kasveista muihin organismeihin mahdollisesti kohdistuvista suorista vaikutuksista on tutkittu lähinnä Bt-kasvien vaikutuksia monarkkiperhosiin (*Danaus plexippus*). Huomio kohdistui juuri monarkkiperhosiin sen jälkeen, kun Losey ym. (1999) julkaisivat tutkimuksen, jonka mukaan monarkkiperhosten toukat, joille ravinnoksi annetun silkkiyrtin (*Asclepias curassavica*) lehtien pinnalla oli Bt-maissin (CryIA(b)) siitepölyä, söivät vähemmän, kasvoivat hitaammin ja kärsivät suuremmasta kuolleisuudesta kuin verrokkit. Luonnossa monarkkiperhosten toukkien ravintonaan käyttämä silkkiyrtti kasvaa usein maissin läheisyydessä, joko pelloilla tai niiden vieressä, ja maissin siitepölyä voi levitä silkkiyrtin lehdille ja sitä kautta toukkien ravintoon. Loseyn ym. tuloksista ei kuitenkaan voida päätellä, että Bt-kasveista aiheutuisi haittaa monarkkiperhosille myös viljely-ympäristöissä. Tutkimusjulkaisusta ei esimerkiksi käynyt ilmi, kuinka suurina annoksia siitepölyä toukille annettiin. Lisäksi kontrollien ravintoon lisätty siitepöly ei ollut peräisin muunnetun maissin isogeenisestä linjasta eikä lehtien mukana annettua siitepölyn biologista aktiivisuutta testattu (katso Scientific Committee on Plants (SCP) 1999a). Loseyn ym. tutkimuksessa toukilla ei myöskään ollut mahdollisuutta valita ravintonaan, kun taas luonnossa toukat saattaisivat välttää niille haitallista ravintoa. SCP totesi lisäksi, että luonnollisissa olosuhteissa vaikuttavat myös monet muut tekijät, kuten siitepölyn määrä ja sen vapautumisen ajankohta, siitepölyn leviäminen ja hajoaminen valon vaikutuksesta, Bt-toksiinin määrä siitepölyssä sekä toukkien ravinnon valinta.

Myös Jesse ja Obyrcki (2000) havaitsivat tutkimuksessaan Bt-toksiineja sisältävän maissin siitepölyn lisäävän monarkkiperhosten toukkien kuolleisuutta. Siitepölyn toksiinipitoisuuden havaittiin kuitenkin olevan korkeampi kuin aiemmissa tutkimuksissa, johtuen todennäköisesti heteen ponsien esiintymisestä siitepölyssä (toksiinin pitoisuus on ponsissa korkea). Kokeessa siitepölyn annettiin kenttäolosuhteissa kulkeutua maissin läheisyyteen sijoitettujen silkkiyrttikasvien lehdille, minkä jälkeen toukat sijoitettiin lehdistä leikatuille paloille laboratoriossa. Jos ponsien esiintyminen siitepölyssä johtui esimerkiksi kokeessa käytetyistä tekniikoista, altistuivat toukat kokeessa korkeammille toksiinipitoisuuksille kuin viljely-ympäristöissä olisi todennäköistä (katso Sears ym. 2001). Jos ponsien osia sen sijaan joutuu siitepölyyn myös luontaisissa olosuhteissa, altistuivat toukat todellisuudessa puhtaan siitepölyn pitoisuuksia suuremmille pitoisuuksille. Vertailukohdaksi käytettiin siitepölystä puhdistetuilla lehdillä eläviä toukkia ja toukkia, joiden ravintolehdillä oli kenttäolosuhteissa kulkeutunut määrä toksiinittomaa siitepölyä.

Sears ym. (2001) totesivat, että em. tutkimusten perusteella Bt-maissin siitepölystä aiheutuvan riskin suuruutta ei ole mahdollista arvioida, koska niissä ei ole tarkasteltu vaikutusten ilmenemisen todennäköisyyttä. Jos mm. toukkien ja siitepölyn esiintymisen samanaikaisuus ja siitepölyn rajoittunut leviäminen otetaan huomioon, on toukkien altistumisen todennäköisyys heidän mukaansa pieni. Lisäksi Stanley-Hornin ym. (2001) ja Hellmichin ym. (2001) tutkimusten mukaan akuuttien haittavaikutusten mahdollisuus koskee lähinnä maissia, jonka siitepölyssä CryIA(b)-toksiinin pitoisuus on suuri (Bt 176). Muut tähän mennessä kehitetyt Bt-maissit joko ilmentävät siitepölyssä vain alhaisia määriä Bt-toksiineja tai ilmentävät haitattomampia Bt-toksiineja (katso SCP 1999a). Tällaisten maissien kohdalla esimerkiksi lisääntymiskykyyn kohdistuvia haitallisia vaikutuksia saattaisi kuitenkin ilmetä pidempiaikaisen altistumisen seurauksena.

Inforuutu 1.

Myös siirtogeenien leviäminen sinällään, sen mahdollisista seurauksista riippumatta, voidaan nähdä GM-kasveista aiheutuvaksi suoraksi ympäristövaikutukseksi, vaikka direktiivissä siirtogeenien siirtyminen muihin organismeihin onkin mainittu ainoastaan välillisiin vaikutuksiin johtavana mekanismina (liite II). Erityisesti luomuviljelmille kohdistuvaa siirtogeenien leviämistä voidaan pitää sekä taloudellisena vaikutuksena että ympäristövaikutuksena (katso National Research Council 2002, s. 214–215). Lisäksi Rion biodiversiteettisopimuksen tavoitteisiin kuuluvan lajien perintötekijöiden monimuotoisuuden suojelun voidaan tulkita käsittävän paitsi monimuotoisuuden määrän suojelemisen ja säilyttämisen, myös lajien geenipoolien laadullisen suojelemisen, ts. suojelemisen sellaiselta geneettiseltä materiaalilta, joka ei muutoin voisi tulla osaksi lajin geenipoolia.

2.1.2 Välilliset vaikutukset

Välilliset vaikutukset ilmenevät erilaisten mekanismien, kuten organismien välisen vuorovaikutuksen seurauksena. Esimerkiksi tutkimuksessa, jossa siirtogeenistä, lektiiniä tuottanutta perunaa syöneitä kirvoja syötettiin leppäkertuille, havaittiin niiden eliniän lyhenevän merkittävästi muuntamattomiin kontrolleihin verrattuna (Birch ym. 1999). Hilbeckin ym. (1998ab, 1999) tutkimuksessa harsokorenon (*Chrysoperla carnea*) toukkien kuolleisuus lisääntyi, kun niille annettiin Cry1A(b)-toksiinia sisältävää ravintoa tai kun ne söivät muita toukkia, jotka olivat käyttäneet ravintonaan Cry1Ab-toksiinia tuottanutta maissia (katso myös Obrycki ym. 2001). Välilliset vuorovaikutukset saattavat myös toimia huomattavasti monimutkaisempien verkkojen kautta, mikä vaikeuttaa niiden tutkimista ja ennakoimista. Esimerkiksi Holmesin ym. (1999) tutkimuksessa geenitekniikalla muunnetulla, etanolia tuottaneella bakteerilla (*Klebsiella planticola*) ei ollut vaikutuksia maaperän sukkulamatojen määriin silloin, kun kokeessa ei kasvatettu kasveja. Kun kasvit lisättiin, sukkulamatojen määrä kasvoi ja pian tämän jälkeen kasvit alkoivat kuolla joko sukkulamatojen kasvaneen määrän tai jonkin muun GMO:in liittyneen tekijän seurauksena (muuntamaton bakteeri ei aiheuttanut kasvien kuolemaa). Muita välillisiä vaikutuksia voivat olla monimuotoisuuteen kohdistuvat vaikutukset esimerkiksi muuttuneiden herbisidien käyttötapojen, kohdeorganismeille aiheutuneiden suorien vaikutusten tai GMO:n leviämisen seurauksena. Myös tällaisia välillisiin vaikutuksiin johtavia tekijöitä ja tapahtumia, kuten GMO:en leviämistä, tulee seurata.

Välilliset vaikutukset voivat ilmetä myös siirtogeenien leviämisen seurauksena. Perintöaineksen leviämistä GM-kasvipopulaatiosta muihin kasvipopulaatioihin voi tapahtua risteytymisen, GMO:n leviämisen sekä joidenkin kasvien tapauksessa siementen säilymisen ja myöhemmin tapahtuvan itämisen seurauksena. Joidenkin siirtogeenien kohdalla todennäköisyys aiheuttaa muutoksia esimerkiksi luonnonvaraisissa populaatioissa on suuri, kun taas joidenkin siirtogeenien voidaan odottaa olevan todennäköisesti neutraaleja muissa kuin tietyissä viljelyolosuhteissa eli niillä ei odoteta olevan vaikutusta yksilöiden elinkykyyn tai lisääntymiseen. Mm. herbisidikestävyysgeenit ovat luonnonvaraisissa populaatioissa todennäköisesti neutraaleja, koska ko. geeneistä on etua ainoastaan herbisideille altistetuissa populaatioissa. Geenien toimintaan ja niiden aikaansaamiin ominaisuuksiin vaikuttavat kuitenkin myös geneettinen ja ekologinen ympäristö, mistä johtuen siirtogeenien vaikutusten ennakoiminen täysin varmasti on mahdotonta. Siirtogeenien vaikutukset saattavatkin olla erilaisia esimerkiksi luonnonvaraisessa ympäristössä tai risteymien genomissa kuin pellolla viljeltävässä kasvissa.

Mikrobit voivat vaihtaa geneettistä materiaalia plasmidien siirtymisen (konjugaatio) ja virusten välityksellä (transduktio) sekä ottamalla ympäristöstä vapaita DNA:a (transformaatio). Konjugaatiota on laboratorio-olosuhteissa havaittu

tapahtuvan siirtogeenisistä mikrobeista muuntamattomiin saman lajin mikrobeihin huomattavan yleisesti suotuisissa ympäristöissä, kuten kasvien lehdillä (Björklöf 2002). Transduktion välityksellä mikrobipopulaatiot voivat vaihtaa sekä plasmidien että kromosomien DNA:a. Konjugaatio ja transduktio mahdollistavat kuitenkin ainoastaan joidenkin mikrobipopulaatioiden välisen geenien vaihdon. Transformaatioissa mikrobien ympäristöstään ottama vapaa DNA voi sen sijaan olla peräisin mistä tahansa organismista. Vieraan DNA:n liittyminen mikrobien genomiin edellyttää kuitenkin ainakin jonkin pituisen samankaltaisen sekvenssin esiintymistä mikrobien genomissa. On mahdollista, että siirtogeenit voisivat levitä hajonneesta kasvimateriaalista tai kuolleista kasvisoluista mikrobipopulaatioihin transformaation välityksellä, sillä DNA:a voi säilyä maaperässä jopa joitakin kuukausia tai vuosia (Gebhard ja Smalla 1999; katso Demanèche ym. 2001). Mikrobiperäisten DNA-jaksojen esiintyminen kasviin siirretyissä sekvensseissä voi lisätä transformaation todennäköisyyttä. GM-kasveista ja -mikrobeista luonnonvaraisiin mikrobipopulaatioihin kohdistuvan geenien siirtymisen kohdalla oleellisia kysymyksiä ovat, vaikuttaako siirtogeeninen materiaali merkittävästi transformaation todennäköisyyteen tai voiko tällaisesta siirtogeenien transformaatiosta seurata jotain sellaista (suoraan tai välillisesti), mitä muutoin ei luonnossa voisi tapahtua. Tulee myös ottaa huomioon, että vaikutukset saattavat olla kumuloituvia ja ilmetä vasta, kun siirtogenejä on siirtynyt useisiin eri mikro-organismipopulaatioihin ja/tai kun populaatioon on kasautunut useita vieraita sekvenssejä.

2.2 Mahdollisten odottamattomien vaikutusten havaitseminen

Mahdollisia odottamattomia vaikutuksia ei ole ennakoitu GMO:n riskinarvioinnissa. Kaupallisesti levitettävien GMO:en kohdalla odottamattomat vaikutukset olisivat todennäköisesti sellaisia, joiden tutkiminen ja tarkastelu esimerkiksi kenttäkokeissa on vaikeaa tai mahdotonta. Kenttäkokeissa ei esimerkiksi ole mahdollista tutkia kaikkia mahdollisia GMO:n ja muiden eliöiden välisiä vuorovaikutuksia tai kroonisia vaikutuksia eliöissä, vaan yleensä tarkastellaan ainoastaan tärkeimpinä pidettyjä välittömästi ilmeneviä suoria vaikutuksia. Koska muunlaisten vaikutusten ennustaminen pelkän teoreettisen tiedon avulla on vaikeaa, saattaa pitkäkestoisien, laajan GMO:en ympäristöön levittämisen seurauksena ilmetä vaikutuksia, joita ei ole osattu odottaa. Odottamattomia vaikutuksia saattaa olla myös luonnonvaraisiin populaatioihin leviävällä siirtogeenillä, koska sen toimintaa uudessa geneettisessä ja ekologisessa ympäristössä ei ole mahdollista täysin varmasti ennustaa. Riskinhallinnalla voidaan kuitenkin osittain ehkäistä myös odottamattomien vaikutusten ilmenemistä, mikä tulee ottaa huomioon seuranta suunniteltaessa. Mikäli riskinarvioinnissa on tunnistettu epävarmuustekijöitä, joista johtuen kaikkia vaikutuksia ei välttämättä ole mahdollista arvioida, tulee epävarmuustekijät ennalta varautumisen periaatteen mukaisesti mahdollisesti huomioida jo riskinhallinnassa (esimerkiksi minimoimalla siirtogeenien leviäminen). Odottamattomat vaikutukset saattavat toisaalta olla seurausta myös juuri riskinhallinnallisten toimenpiteiden pettämisestä. Esimerkiksi risteytymistä ja geenivirtaa sekä kasvien leviämistä tulisikin seurata riskinhallinnan toimivuuden varmistamiseksi. Odottamattomat vaikutukset voisivat myös teoriassa olla sellaisia vaikutuksia, joita ei lainkaan ole osattu yhdistää GMO:ihin ja joita ei siksi ole tarkasteltu riskinarvioinnissa.

3

Seurannan toteuttaminen

Seurannan toteuttamisen kannalta oleellisia kysymyksiä ovat mitä, miten, missä ja milloin seurataan, ja mitkä tahot osallistuvat seurantaprosessiin. Direktiivi ja sen liitteet sekä liitteitä täydentävät ohjeet antavat näihin kysymyksiin lähinnä yleisluontoisia vastauksia. Seurannan tavoitteet, ts. riskinarvioinnin oikeellisuuden varmentaminen ja odottamattomien ja ennakoimattomien vaikutusten havaitseminen, antavat kuitenkin periaatteessa selkeän lähtökohdan seurannan käytännön toteuttamiselle.

3.1 Seurantaprosessiin osallistuvat tahot

Jäsenvaltioiden vastuuviranomaisten velvollisuutena on kunkin maan osalta valvoa, että direktiiviä noudatetaan ja että GMO:en tarkoituksellinen levittäminen tapahtuu luvassa esitettyjen ehtojen mukaisesti. Ilmoittajan vastuulla on varmistaa, että seuranta toteutetaan asianmukaisesti. Seurannan käytännön toteuttamisessa ilmoittajan on kuitenkin mahdollista käyttää ulkopuolisia tahoja tai esimerkiksi velvoittaa viljelijät tarkkailemaan joitakin tekijöitä. Erityisesti ympäristöviranomaisten ja muiden ulkopuolisten asiantuntijoiden osallistuminen seurannan toteuttamiseen olisi puolueettomuudenkin kannalta toivottavaa ja näille tahoille olisi turvattava riittävät resurssit seurantaan osallistumiseen.

Seurannan kuluessa ilmoittaja on velvollinen toimittamaan seurantakertomukset komissiolle ja jäsenvaltioiden toimivaltaisille viranomaisille. Ilmoittajan tulee myös vastata seurannassa saatujen tulosten tiedottamisesta muille asianomaisille tahoille sekä yleisölle. Direktiivin mukaan seurantaa koskevia suunnitelmia ja menetelmiä ei missään tapauksessa voida pitää luottamuksellisina ja seurannassa saadut tulokset tulee saattaa julkisesti saataville. Lisäksi tulee varmistaa, että on olemassa väylä, jota kautta luvan haltijalle ja toimivaltaiselle viranomaiselle ilmoitetaan havaituista ihmisten terveyteen tai ympäristöön kohdistuvista haitallisista vaikutuksista.

3.2 Seurannan toteuttamisen alueelliset tasot

Suurin osa mahdollisista haitallisista ympäristövaikutuksista on GMO:en tapauksessa ainakin aluksi paikallisesti, joko yksittäisillä viljelyksillä tai niiden lähiympäristöissä, ilmeneviä. Riskinarvioinnissa tunnistettujen haitallisten vaikutusten havaitseminen mahdollisimman varhaisessa vaiheessa saattaa näin ollen edellyttää jopa viljelyskohtaista seurantaa, kun taas mahdollisten odottamattomien vaikutusten kohdalla laajempi alueellinen taso voi olla riittävä. Esimerkiksi odottamattomia monimuotoisuuden kohdistuvia vaikutuksia ei yleensä ole mahdollista tai tarpeellistakaan käytännössä tutkia kaikkien yksittäisten viljelmien yhteydessä, vaan pikemminkin ympäristötyyppi- tai aluekohtaisesti. Valittaessa ja rajattaessa tarkasteltavia alueellisia tasoja tulee kuitenkin aina taata, että ne kattavat erilaiset ympäristöt ja olosuhteet. Myös vertailualueita määritettäessä tulee varmistaa, että ne ovat riittäviä sekä kokonsa että laatunsa puolesta. Joitakin alueita ja ympäristö-

jä saattaa olla tarpeen seurata erityisen tarkasti, kuten ekologisesti tärkeitä, herkkiä tai harvinaisia ympäristöjä sekä alueita, jotka todennäköisimmin saattavat altistaa vaikutuksille esimerkiksi maantieteellisen sijaintinsa tai GMO:n sukulaislajien esiintymisen takia. Mikäli odottamattomia vaikutuksia havaitaan, on syytä tehostaa seuranta erityisesti senkaltaisissa ympäristöissä, joissa vaikutuksia on havaittu.

Joitakin vaikutuksia on syytä tarkastella valtakunnallisella tai laajemmalla alueellisella (esimerkiksi EU:n) tasolla, kuten herbisideille vastustuskykyisten kasvien viljelyn vaikutuksia herbisidien käyttömääriin. On myös tärkeää, että paikallisesti seurannassa saatuja havaintoja tarkastellaan laajemmassa alueellisessa yhteydessä. Esimerkiksi Bt-toksiinivastustuskyvyn kehittymisestä yksittäisissä kohdehyönteispopulaatioissa saadut tulokset tulisi koota yhteen ja tarkastella ja vertailla vastustuskyvyn kehittymistä laajemmilla alueellisilla tasoilla. Tällöin voidaan mahdollisesti mm. tunnistaa vaikutuksille alttiit alueet sekä tehdä johtopäätöksiä alttiuteen vaikuttavista tekijöistä.

3.3 Seurannan ajallinen toteuttaminen ja ulottuvuus

Direktiivin tärkeimpiä uudistuksia GMO:en ympäristövaikutuksiin liittyen on pitkäaikaisten ja kumulatiivisten ympäristövaikutusten huomioon ottaminen sekä riskinarvioinnissa että seurannassa. Toiminnanharjoittaja voidaan velvoittaa seurantaan vielä luvan umpeutumisen jälkeen. Seurannan kesto voi olla mahdotonta määrittää ennalta, sillä siihen vaikuttavat seurannan aikana saatavat tulokset. Seurannan tulee kuitenkin kestää vähintään niin kauan, että riskinarvioinnissa tunnistetut mahdolliset viipeellä ilmenevät vaikutukset voidaan havaita. Odottamattomien ja/tai kumulatiivisten vaikutusten havaitseminen saattaa lisäksi edellyttää seurannan jatkamista lajista ja ympäristöstä riippuen jopa vuosikymmeniä, vaikka seurannassa ei lyhyemmällä aikavälillä olisi havaittu lainkaan muutoksia. Se, että vaikutuksia ei ole ilmennyt lyhyellä aikavälillä ei siis poista tarvetta seurannan jatkamiseen. Pitkäaikainen seuranta saattaa olla tarpeen myös jo havaittujen muutosten syiden selvittämiseksi. Esimerkiksi lajin yksilömäärissä havaitut muutokset voivat johtua muistakin tekijöistä kuin GMO:n levittämisestä ympäristöön. Tällaisissa tapauksissa eri tekijöiden vaikutukset on mahdollista erottaa vasta pidempiaikaisen seurannan ja vertailun avulla. Toisaalta, jos haitallisia muutoksia havaitaan, saattaa GMO:n levittämisen lakkauttaminen tulla varotoimenpiteenä kyseeseen jo ennen kuin GMO:n osuutta havaittuun muutokseen on tutkittu, etenkin jos tämä edellyttäisi käytännössä pitkäaikaista seuranta.

Vaikutusten havaitseminen edellyttää olemista oikeassa paikassa oikeaan aikaan. Myös tiettyjen muuttujien arvot saattavat riippua tarkastelun ajankohdasta. Milloin ja miten usein seurantaan liittyvät tutkimukset olisi syytä suorittaa, riippuu tarkasteltavista vaikutuksista ja niiden odotetuista ilmenemisajankohdista sekä mitattavista muuttujista.

3.4 Tarkasteltavat vaikutukset ja niiden arvioimisessa käytettävät muuttujat

Yleisessä seurannassa tarkasteltavia vaikutuksia on luonnollisesti mahdotonta tarkasti määrittää etukäteen, koska tällainen seuranta tähtää ns. odottamattomien vaikutusten havaitsemiseen. Tapauskohtaisessa seurannassa tarkasteltavat vaikutukset sen sijaan määräytyvät riskinarvioinnin perusteella. Direktiivin mukaan seurannan yhtenä tavoitteena on "varmentaa, että ympäristöriskien arvioinnin

mukaiset oletukset GMO:n tai sen käytön mahdollisten haitallisten vaikutusten ilmaantumisesta ja vaikutuksesta ovat oikeita” (liite VII). Näin ollen riskinarvioinnin oikeellisuus tulisi seurannan avulla varmentaa myös riskinarvioinnin perusteella epätodennäköisinä tai vakavuudeltaan merkityksettöminä pidettyjen vaikutusten kohdalla. Kaupalliseen levittämiseen hyväksytyjen GMO:en kohdalla voidaan olettaa, ettei riskinarvioinnissa ole ilmennyt ainakaan varmoja tai todennäköisiä merkittäviksi katsottuja haitallisia vaikutuksia. Riskinarvioinnin perusteella kyseeseen tulevat vaikutukset ovatkin luultavimmin sellaisia, joiden toteutumisen todennäköisyys on arvioitu pieneksi tai joiden todennäköisyyttä on ollut vaikea arvioida ja/tai joita ei pidetä vakavina. Esimerkiksi monimuotoisuuden ja/tai biogeokemiallisiin kiertoihin mahdollisesti kohdistuvia vaikutuksia on riskinarvioinnin perusteella saatettu pitää hyvin epätodennäköisinä, vaikkakin niitä on erityisen vaikea ennustaa ja tutkia lyhyellä aikavälillä. Riskinarviointeihin liittykin väistämättä epävarmuustekijöitä, joiden selvittäminen on mahdollista ainostaan seurannan avulla.

Kaikkien epätodennäköisten vaikutusten seuranta kaikissa tapauksissa on käytännössä mahdotonta, jos ajatellaan esimerkiksi Bt-toksiineista muihin kuin kohdeorganismeihin kohdistuvia vaikutuksia (ei ole mahdollista tarkastella kaikkia ko. ympäristössä esiintyviä lajeja). Tällöin seuranta on välttämätöntä kohdistaa niin, että todennäköisimmiksi arvioitujen vaikutusten havaitseminen varmistetaan. Tällaisen priorisoinnin tulee kuitenkin olla tieteellisesti hyvin perusteltua. Esimerkiksi Bt-toksiineja tuottavista kasveista muihin kuin kohdeorganismeihin kohdistuvia suoria vaikutuksia seurattaessa tulisi keskittyä erityisesti sellaisten organismien tarkasteluun, joiden tiedetään olevan vuorovaikutuksessa muunnetun organismin kanssa, ja joihin muunnetun organismin on havaittu tai voidaan olettaa voivan vaikuttaa. Mm. sellaiset herbivorit, jotka käyttävät ravintonaan yksinomaan kasveja, joita tavataan vain peltojen reunamilla, altistuvat toksiineille todennäköisemmin kuin sellaiset herbivorit, joita tavataan myös muunlaisissa ympäristöissä (katso Obrycki ym. 2001). Näistä todennäköisimmin altistuvia ovat edelleen ne lajit, joilla esiintyy toukkavaiheita samaan aikaan, kun GM-kasvit tuottavat siitepölyä (mikäli siirtogeenit ilmestyvät siitepölyssä). Tällaisiin organismeihin kohdistuvia vaikutuksia on todennäköisesti tarkasteltu suljetuissa olosuhteissa ja kenttäkokeissa ennen GMO:n markkinoille saattamista. Koska organismiin kohdistuvat vaikutukset kuitenkin riippuvat mm. tämän vuorovaikutuksista muiden organismien kanssa, saattaa organismiin luonnossa kohdistua haittoja, joita kokeissa ei ole ilmennyt. Näin ollen voi olla perusteltua tarkastella markkinoille saattamisen jälkeisessä seurannassa vaikutuksia myös niihin organismeihin, joille GMO:sta ei ole esimerkiksi laboratoriokokeissa aiheutunut haittaa. Toki on myös vaikutuksia, joiden tarkastelu voidaan kyseenalaistamatta tapauskohtaisesti sulkea seurannan ulkopuolelle, ts. vaikutuksia joiden toteutumiselle ei ole minkäänlaisia edellytyksiä tarkasteltavan GMO:n kohdalla tarkasteltavissa ympäristöissä.

Seurannassa tarkasteltavien vaikutusten määrittämisen jälkeen tulee pohtia, miten nämä vaikutukset voidaan luotettavimmin havaita, ts. mitä muuttujia tulisi tarkastella. Esimerkiksi kelpoisuutta ja siinä tapahtuvia muutoksia voidaan mitata tarkastelemalla useita eri ominaisuuksia ja tietyn ominaisuuden käyttökelpoisuus riippuu oleellisesti lajin ominaisuuksista. Samoin monimuotoisuutta tutkittaessa voidaan tarkastella tiettyjen lajien esiintymistä, runsautta, biomassaa, suhteellisia määriä tai ravinteiden kiertoa. Joissakin tapauksissa muutamien ns. indikaattorilajien tarkasteleminen saattaa riittää monimuotoisuuden kohdistuvia vaikutuksia arvioitaessa, kun taas toisissa tapauksissa tarvittaneen useampien eri lajien ja eliöryhmien tarkastelua. Standardien kehittäminen näille tekijöille on joka tapauksessa tarpeellista, joskin mm. sopivien indikaattorilajien määrittäminen edellyttää pitkäaikaista perustutkimusta.

Ennen GMO:n vaikutusten seurannan aloittamista tulee myös määrittää, mihin seurannassa saatuja tuloksia verrataan. Käytännössä tämä tarkoittaa vallitsevien olosuhteiden kartoittamista ympäristössä, johon GMO:a on tarkoitus levittää, sekä ympäristöissä ja eliöyhteisöissä, joihin GMO:sta mahdollisesti aiheutuvat vaikutukset riskinarvioinnin perusteella saattavat ulottua. Tällaisen perustason määrittämisessä tulee luonnollisesti tarkastella samoja tekijöitä ja muuttujia kuin varsinaisessa seurannassa on tarkoitus tarkastella. Peruskartoitukseen kuuluu myös vallitseviin viljelykäytäntöihin liittyvien tekijöiden määrittäminen, kuten pestisidien käytön määrän arvioiminen ennen GMO:en viljelyyn ottoa. Perustason vertaamisen sijaan (tai sen lisäksi) saattaa kuitenkin joitakin ympäristöjä tai vaikutuksia tarkasteltaessa olla käytännöllisempää ja luotettavampaa seurata GMO:lle altistuvien ympäristöjen ohella jatkuvasti myös sellaisia ympäristöjä, joihin GMO:en vaikutus ei kohdistu, mutta jotka muilta osin ovat mahdollisimman vertailukelpoisia. Erityisesti jos seuranta on pitkäkestoista, pystytään näin paremmin tunnistamaan muista kuin GMO:eista johtuvat vaikutukset ja huomioimaan ajallinen satunnaisvaihtelu tarkasteltavissa muuttujissa kuin verrattaessa tuloksia vuosien takaiseen perustason.

3.5 Seurantaan soveltuvat menetelmät ja käytännöt

Seurantasuunnitelmassa tulee esittää menetelmät, joita seurannassa on tarkoitus käyttää. Tarvetta uusien menetelmien kehittämiseksi varmasti on, eikä seurantasuunnitelmaa tulisi hyväksyä, ennen kuin on varmistuttu siitä, että tarkasteltavien vaikutusten seuraamiseksi on olemassa menetelmät ja että näiden menetelmien toimivuudesta on saatu riittävästi kokemusta esimerkiksi kenttäkokeiden tai muun tutkimuksen yhteydessä. Liitteen VII täydentävien ohjeiden mukaan menetelmien kohdalla tulee tarkastella mm. valikoivuutta, tarkkuutta, (tulosten) toistettavuutta, mahdollisia rajoituksia, herkkyyttä sekä vertailukohtien saatavuutta. Seurannassa voidaan direktiivin mukaan hyödyntää maanviljelyssä ja kasvien suojelussa jo vakiintuneita rutiiniseurantakäytäntöjä soveltuvilta osin. Seurantakäytäntöjen yhtenäistäminen tulevaisuudessa olisi tärkeää ja helpottaisi sekä seurantasuunnitelman laatimista että arvioimista ja hyväksymistä. Esimerkkejä kenttä- tai muissa kokeissa käytetyistä menetelmistä ja käytännöistä esitellään luvussa 4.

Menetelmien rajoitukset ja käyttöalue määräävät, minkälaisia vaikutuksia on mahdollista havaita ja millä tarkkuudella. Esimerkiksi maaperän mikrobipopulaatioiden muutoksia voidaan tarkastella mikrobeja viljelemällä, jolloin voidaan kuitenkin havaita ainoastaan pieni osa mikrobeista, tai molekyylogeneettisin menetelmin, jolloin on mahdollista arvioida myös sellaisten mikrobien monimuotoisuutta, joita ei voi viljellä laboratorio-olosuhteissa. Toisaalta DNA-menetelmiä käytettäessä ei ole mahdollista päätellä, mitkä mikrobeista olivat aktiivisia. Mikrobien aktiivisuuden tarkasteluun soveltuvien menetelmien edelleen kehittäminen olisi erittäin tärkeää.

Seurannassa käytettäviin menetelmiin liittyvien kysymysten ohella tulisi pohdita aineiston ja näytteiden edustavuuteen liittyviä tekijöitä. Mm. etsittäessä mahdollisia vastustuskyvyn tuovia alleleja hyönteispopulaatioista tulee näytekoon olla suuri, koska allelien frekvenssi on tässä vaiheessa erittäin pieni (resistenssin havaitsemisen menetelmistä katso Inforuutu 2). Samoin etenkin pitkien etäisyyksien päähän ulottuvaa geenivirtaa tutkittaessa tarvitaan paljon näytteitä, jotta mahdolliset levinneet siirtogeenit voidaan havaita. Myös tarkasteltaessa muihin organismeihin kohdistuvia vaikutuksia tulee näytekokojen olla niin suuria, että ainakin merkittävät muutokset esimerkiksi kuolleisuudessa vertailupopulaatioihin nähden voidaan havaita riittävän suurella todennäköisyydellä (katso Marvier 2001). Sopivan näytekoon määrittämisessä voidaan hyödyntää tilastollisia menetelmiä.

Koejärjestelyillä on suuri merkitys tutkittaessa GMO:eista muihin organismeihin kohdistuvia vaikutuksia. Kaupallisen levityksen seurannan yhteydessä tullaan tarvitsemaan laboratoriokokeita ja muita tutkimusjärjestelyjä esimerkiksi testattaessa kohdepopulaatioiden hyönteisten Bt-toksiinialttiutta tai tutkittaessa monimuotoisuuden kohdistuvia vaikutuksia. Tarkasteltavien organismien käyttäytymisen ja ekologian tunteminen on tällöin oleellisen tärkeää, jotta seurantaan liittyvät kokeet osattaisiin suunnitella oikein ja mahdolliset virhelähteet olisi mahdollista tunnistaa. Tuloksia analysoitaessa sattumasta ja muista tekijöistä johtuvien epävarmuustekijöiden vaikutus tulee määrittää ja saatujen tulosten merkittävyys tulee määrittää tilastollisten menetelmien avulla.

3.6 Seurannassa saatujen tulosten tulkitseminen ja seurantatulosten vaikutukset

Liitteessä VII todetaan, että "seurannan avulla koottuja tietoja olisi tulkittava muiden olemassa olevien ympäristöolosuhteiden ja -toimien valossa" ja "jos ympäristössä todetaan muutoksia, olisi harkittava jatkoarviointia sen selvittämiseksi, johtuvatko muutokset GMO:sta tai sen käytöstä, koska muutokset voivat johtua muistakin ympäristötekijöistä kuin GMO:n markkinoille saattamisesta". Sekä yleinen ympäristön seuranta että paikallisempi vertailuseuranta ja tilastollisten menetelmien hyödyntäminen helpottavat tällaisten arvioiden tekemistä.

Seurannassa saatujen tulosten perusteella arvioidaan riskinarvioinnissa tehtyjen päätelmien paikkansapitävyyttä ja riskinhallinnallisten menetelmien luotettavuutta ja toimivuutta, mutta ainakin aluksi myös seurannan toimivuutta ja tehokkuutta. Seurantasuunnitelmaa tulee tarvittaessa muuttaa seurannassa saatujen tulosten perusteella. Tuloksista ja havainnoista riippuen tarpeelliseksi katsottavia toimenpiteitä saattaisivat olla esimerkiksi riskinhallinnan tehostaminen ja muiden itse GMO:in tai sen levittämiseen liittyvien tekijöiden muuttaminen, havaittujen ympäristövaikutusten ja -muutosten korjaaminen, seurannan laajentaminen tai tehostaminen ja äärimmäisessä tapauksessa GMO:n levittämisen täydellinen lakkauttaminen.

Bt-resistenssin havaitseminen

Bt-toksiinikestävyuden havaitseminen perustuu yleensä tarkasteltavien organismien altistamiselle Bt-toksiineille tai niitä tuottaville kasveille. Yksinkertaisin tapa on kerätä tarkasteltavasta populaatiosta munia tai toukkia ja altistaa toukat sellaiselle määrälle Bt-toksiineja, että vain resistentit yksilöt selviytyvät (*discriminating dose assay*). Resistentit yksilöt ovat hetero- tai homotsygootteja, jos resistenssi on dominoiva ominaisuus, ja homotsygootteja, jos resistenssi on resessiivinen ominaisuus. Resistenssialleelin frekvenssi populaatiossa voidaan määrittää selviytyneiden yksilöiden osuuden perusteella. Menetelmä tulee kyseeseen resistenssialleelin frekvenssin kasvun seurannassa lähinnä, jos resistenssi on dominoiva ominaisuus. Dominoivasti ilmenevän resistenssin kohdalla havaittaisiin yksi resistenssi yksilö, jos tarkasteltaisiin 500 yksilöä ja resistenssialleelin frekvenssi olisi 10^{-3} . Jos sen sijaan resessiivisen resistenssialleelin frekvenssi populaatiossa on 10^{-3} , niin pitäisi tarkastella yli miljoonaa toukkaa, jotta yksi resistenssiä ilmentävä yksilö löytyisi (resistenssialleelin suhteen homotsygootin yksilön todennäköisyys olisi $10^{-3} \times 10^3 = 10^{-6}$).

Gould ym. (1997) kehittivät menetelmän erityisesti resessiivisen resistenssin havaitsemiseksi. Tarkasteltavasta populaatiosta kerätään ainoastaan koiraspuolisia yksilöitä ja kerätyt yksilöt paritetaan sellaisten laboratoriokannan naaraiden kanssa, jotka ovat resessiivisen resistenssialleelin suhteen homotsygootteja. Jos koirasyksilöllä ei ole resistenssialleelia, kaikki sen jälkeläiset ovat heterotsygootteja. Jos koiras on heterotsygootti, puolet jälkeläisistä on resistenssialleelin suhteen heterotsygootteja ja puolet jälkeläisistä homotsygootteja. Genotyyppi voidaan päätellä kasvunopeuden perusteella altistettaessa toukat Bt-toksiineja sisältävälle ravinnolle: nopeimmin kasvavat toukat ovat oletettavasti resistenttejä homotsygootteja, hitaammin kasvavat heterotsygootteja. F_1 -jälkeläisten genotyyppi varmistetaan vielä tuottamalla seuraava sukupolvi. Kun nopeasti kasvaneet yksilöt tuottavat keskenään jälkeläisiä voidaan odottaa, että kaikki nämä jälkeläiset kasvavat myös nopeasti, ts. ovat resistenttejä homotsygootteja. Lopuksi voidaan määrittää resistenssialleelin frekvenssi populaatiosta kerättyjen koiraiden joukossa.

Myös ns. F_2 -seulonta (F_2 screen) on näytekokoon suhteutettuna tehokas, joskin työläs menetelmä, mikäli resistenssi on resessiivinen ominaisuus (Andow ja Alstad 1998,1999; Andow ym. 2000). Menetelmässä kohdepopulaatiosta kerätään munia kantavia naarasyksilöitä. Kunkin naaraan jälkeläisiä risteytetään keskenään ja näin saadun F_2 -polven yksilöt altistetaan Bt-toksiineille. Teoriasa, mikäli joko populaatiosta poimittu naarasyksilö tai sen hedelmöittänyt koiras on ollut resistenssialleelin suhteen heterotsygootti, niin F_2 -polven jälkeläisistä 1/16 ilmentää resistenssiä (ts. on homotsygootteja resistenssialleelin suhteen). Jos jälkeläisille annettu Bt-annos on sellainen, että ainoastaan resistenssialleelin suhteen homotsygootit yksilöt selviytyvät, voidaan resistenssialleelin frekvenssi näytepopulaatiossa arvioida eloon jäävien F_2 -jälkeläisten osuuden perusteella. F_2 -seulonnan tulokset voidaan vielä varmentaa seuraavan sukupolven avulla (Zhao ym. 2002).

Venetten ym. (2000) menetelmä perustuu hieman erilaiseen lähestymistapaan, ja se on nimenomaan tarkoitettu Bt-kasveille altistuvien hyönteispopulaatioiden tarkasteluun. Toukkien tiheys määritetään sekä Bt-maissipelloilla että tavallista maissia kasvavilla pelloilla. Resistenttien yksilöiden frekvenssi saadaan määrittämällä näiden havaittujen tiheyksien suhde. Resistenssialleelin frekvenssi voidaan edelleen määrittää resistenttien yksilöiden frekvenssin perusteella. Menetelmä soveltuu erityisesti dominantin resistenssin seurantaan.

Jos resistenssin aikaansaama(t) mutaatio(t) tunnetaan, voidaan lisäksi käyttää molekyyligeneettisiä menetelmiä resistenssialleelin havaitsemiseksi tai muilla menetelmillä määritetyn genotyypin varmistamiseksi.



Esimerkkejä GMO:en ympäristövaikutusten tarkastelusta ja seurannasta



EU-maat

EU-maissa GMO:en ympäristövaikutusten seurannasta on kokemusta lähinnä kenttäkokeiden osalta. Direktiivin 90/220/ETY mukaan kenttäkokeessa levitettävää GMO:a koskevan ilmoituksen tulee käsittää seuranta koskevat tiedot, mutta varsinaista seurantavelvoitetta ei ole erikseen esitetty. Em. direktiivissä todetaan ainoastaan, että 'ympäristöön levittämisestä aiheutuneiden vaarojen valvontaan on kiinnitettävä asianmukaista huomiota' ja 'ilmoittajan on lähetettävä toimivaltaiselle viranomaiselle levittämisen tulokset siltä osin kuin ne koskevat ihmisten terveydelle ja ympäristölle aiheutuvia vaaroja'. Käytännössä ympäristövaikutusten tarkastelu kokeiden yhteydessä on rajoittunut yksittäisten vaikutusten tarkasteluun ja niihinkin yleensä vain silloin, kun tämä nimenomaisesti on ollut kokeen tarkoitus. Näin ollen riskinhallinnallisten menetelmien toimivuus ja riskinarvioinnin tapauskohtainen luotettavuus on käytännössä jäänyt useimmiten varmistamatta. Harvoista ympäristövaikutusten tarkasteluun liittyneistä kokeista saadut kokemukset ja tulokset ovat kuitenkin tärkeitä paitsi riskinarvioinnin kannalta myös suunniteltaessa seurannan toteuttamista ja kehiteltäessä seurantamenetelmiä ympäristövaikutusten havaitsemiseksi.

Kaupallisesti EU-maissa viljellään tällä hetkellä ainoastaan vähäisessä määrin Bt-maissia, jonka kohdalla ympäristövaikutusten seuranta käsittää tällä hetkellä Bt-resistenssin kehittymisen tarkastelun sekä eräisiin organismeihin kohdistuvien vaikutusten tarkkailun.

4.1 GMO:en ympäristövaikutusten tarkastelu

Seuraavassa on esitelty joitakin EU-maissa toteutettuja tai parhaillaan käynnissä olevia kenttäkokeita sekä muita tutkimusprojekteja (suljettu käyttö), jotka liittyvät GMO:en ympäristövaikutuksiin. Tässä luvussa esiteltävät tutkimukset kuuluvat suurimmaksi osaksi EU:n rahoittamiin GMO-projekteihin (<http://europa.eu.int/comm/research/quality-of-life/gmo/index.html>), mutta ne kattavat suhteellisen hyvin ne erilaiset ympäristövaikutukset, joita GMO:en kohdalla yleisestikin on tarkasteltu. Tarkoituksena on antaa käsitys siitä, minkälaisia vaikutuksia GMO:ihin voi liittyä ja miten niitä voidaan tutkia. Selvästi suurin osa tutkimuksesta on tehty yleisimmillä viljelykasveilla, mutta myös GM-mikrobien ympäristövaikutuksia on tutkittu.

4.1.1 Bt-toksiineja tuottavien ja muiden tuholaiskestävien kasvien ympäristövaikutukset

Bt-toksiineja tuottavista kasveista mahdollisesti aiheutuvia haitallisia vaikutuksia voivat olla muihin kuin kohdeorganismeihin kohdistuvat toksiset vaikutukset sekä vastustuskyvyn kehittyminen kohdepopulaatioissa. Erityisesti vastustuskyvyn kehittymisen seuranta on käytännössä vaikeaa ja sitä voisi verrata neulan etsimiseen heinäsuovasta: kestävyuden tuova alleeli kun voi kehittyä missä tahansa kohdepopulaatioissa ja missä tahansa yksilössä ja toisaalta alleelien havaitseminen mahdollisimman aikaisessa vaiheessa frekvenssin ollessa vielä alhainen olisi oleel-

lisen tärkeää. Oikeiden johtopäätösten tekeminen edellyttää lisäksi lähtötilanteen määrittämistä eli populaation alttiuden ja mahdollisten kestävyysalleelien frekvenssin mittaamista ennen altistumista GM-kasvien tuottamien Bt-toksiinien aiheuttamalle valintapaineelle. Myös muihin kuin kohdeorganismeihin kohdistuvien vaikutusten tutkiminen edellyttää perustilanteen määrittämistä eli käytännössä esimerkiksi vaikutuksen kohteena olevassa ympäristössä esiintyvän lajien monimuotoisuuden laadullista ja määrällistä arvioimista tai tiettyjen, todennäköisimmin vaikutuksille alttiiden lajien kartoittamista. Vaihtoehtoisesti voidaan verrata GMO:lle altistetusta ympäristöstä saatuja tuloksia ympäristöön, joka GMO:n vaikutusta lukuun ottamatta vastaa GMO:lle altistettua ympäristöä. Oleellista joka tapauksessa on, tarkastellaanko esimerkiksi tiettyjen yksittäisten lajien esiintymistä, lajien kokonaismäärää, tiettyjä eliöryhmiä, lajien suhteellisia määriä vai populaatiokoon muutoksia.

Tällä hetkellä Bt-toksiinien mahdollisia vaikutuksia tutkitaan esimerkiksi Saksassa useiden tutkimuslaitosten yhteistyönä toteutettavassa, 12 erillistä tutkimusprojektia käsittävässä yhteisprojektissa ("Biosafety research and monitoring methods for the agro-production of Bt-maize"). Projektit keskittyvät pääasiassa 1) muihin kuin kohdeorganismeihin kohdistuvien vaikutusten tarkasteluun, 2) ekologisen ja geneettisen aineiston hankkimiseen resistenssin kehittymisen hallintamenetelmien kehittämiseksi sekä 3) geneettisesti muunnetun kasvimateriaalin eläimiin kulkeutumisen tutkimiseen. Tarkoituksena on mm. tuottaa aineistoa, jonka pohjalta voitaisiin mm. määrittää, mitä muuttujia Bt-maissan kaupallisen levittämisen mahdollisten vaikutusten seurannassa tulisi seurata. Lisätietoja:

http://www.rwth-aachen.de/bio5/is_homepage/is_current_research_/is_coordination/is_coordination.html

http://www.rwth-aachen.de/bio5/is_homepage/is_current_research_/is_effects/is_effects_.html

EU:n rahoittamassa, kansainvälisenä yhteistyönä toteutettavassa vuonna 2003 päättyvässä projektissa ('Effects and mechanisms of Bt transgenes on biodiversity of non-target insects: pollinators, herbivores and their natural enemies') tutkitaan Bt-toksiinien vaikutuksia muihin kuin kohdehyönteisiin, sekä herbivoreihin että edelleen näiden petoihin. Vaikutuksia tarkastellaan niin solutasolla kuin organismi- ja ekosysteemitasollakin. Kokeissa käytetään neljää eri toksiini-kasvi -yhdistelmää ja kokeet toteutetaan laboratorioissa, kasvihuoneissa ja kenttäkokeina. Hyönteisyhteisöjen monimuotoisuuteen mahdollisesti kohdistuvia vaikutuksia tutkitaan ottamalla näytteitä sekä Bt-toksiineja tuottavien kasvien koealoilta että vertailualoilta. Lisäksi tarkoituksena on kehittää menetelmiä, joiden avulla hyödyllisiin hyönteisiin, tässä tapauksessa erityisesti verkkosiipisiin (*Neuroptera*), kohdistuvia haitallisia vaikutuksia voidaan seurata, sekä arvioida näiden menetelmien toimivuutta käytännössä. Lisätietoja:

<http://europa.eu.int/comm/research/quality-of-life/gmo/01-plants/01-08-project.html>

Bayerin maatalouden tutkimuskeskuksen (The Bavarian State Research Center for Agronomy) käynnistämässä projektissa ('Monitoring the Environmental Effects of Genetically Modified Plants (GMPs)') tarkastellaan Bt-maissan vaikutuksia mm. maaperän organismeihin ja hyönteisiin sekä Bt-toksiinivastustuskyvyn kehittymistä maissikoisapopulaatioissa. Tutkimuksessa käytetään vertailukohtana ympäristöoloiltaan vastaavia alueita, joilla viljellään muuntamatonta maissia joko kokonaan ilman torjuntaa tai käyttämällä torjunnassa levitettävää Bt-toksiinia. Koe-alat ovat noin kahden hehtaarin kokoisia ja niiden välinen etäisyys on 1 km. Maaperän eliötoimintaa tutkitaan mittaamalla maahengitystä, mikrobien biomassaa ja maaperän entsyymejä sekä tarkastelemalla nitrifikaatiobakteereja. Lisäksi tarkastellaan muiden maaperän organismien laji- ja yksilötiheyttä ja nematodeista tutkitaan *Pratylenchus*-sukuun kuuluvia juuristoloisia. Mykofaagi- ja bakteriofaagi-viruksia voidaan käyttää maaperän mikrobiyhteisöissä tapahtuvien

muutosten indikaattoreina. Mehiläisten sekä eri sukuihin kuuluvien perhosten toukkien kelpoisuutta, kehitystä, painoa ja selviytymistä tutkitaan kenttäolosuhteissa ja kasvihuoneissa tutkitaan myös Bt-toksiineja sisältävän siitepölyn annosvastetta toukissa. Bt-toksiinin vaikutusta hyödyllisten ja haitallisten organismien suhteellisiin määriin tutkitaan tarkastelemalla kirvoja ja niiden saalistajia. Projekti on aloitettu vuonna 2001 ja sen suunniteltu kesto on neljä vuotta. Lisätietoja: http://www.landwirtschaft.bayern.de/alle/cgi-bin/go.pl?region=home&page=http://www.stmlf.bayern.de/lbp/forsch/bl/Bt_mais/Btmais_gb.html

EU-rahoitteisessa, kansainvälisenä yhteistyönä toteutetussa projektissa ("Environmental impact of transgenic plants on beneficial insects") tutkittiin vuosina 1996-1999 tuholaiskestävien kasvien tai niiden tuottamien siirtogeenituotteiden (proteinaasi-inhibiittorit) vaikutuksia hyödyllisiin hyönteisiin kuten pölyttäjiin ja tuholaisten luontaisiin vihollisiin laboratorio-olosuhteissa. Tutkimuksessa tarkasteltiin sekä puhdistettujen siirtogeenituotteiden että siirtogeenisten kasvien vaikutuksia hyönteisten käyttäytymiseen, ruoansulatusfysiologiaan ja kehitykseen lyhyellä ja pitkällä aikavälillä. Lisäksi tutkittiin geenituotteiden kasautumista tuholaishyönteisiin ja hyödyllisiin hyönteisiin sekä vaikutuksia loisten ja petohyönteisten populaatiodynamiikkaan. Vaikutuksia tutkittiin tarkastelemalla mm. ampiaistoukkien tärkeimpiä proteolyttisiä entsyymejä, mehiläisten ruoansulatuksen proteinaaseja, kasvien tuottaman meden koostumusta ja mehiläisten kykyä tunnistaa GM-kasvien tuottamia haihtuvia yhdisteitä. Kokeissa havaittiin laboratorio-olosuhteissa vaikutuksia hyönteisten käyttäytymisessä ja fysiologiassa ainoastaan silloin, kun siirtogeenituotteiden konsentraatio hyönteisten ravinnossa oli moninkertainen GM-kasveissa esiintyvään konsentraatioon verrattuna. Lisätietoja: <http://europa.eu.int/comm/research/quality-of-life/gmo/01-plants/01-07-project.html>

4.1.2 Viruskestävien GM-kasvien ympäristövaikutukset

Viruskestävien GM-kasvien mahdollisia riskejä ovat uusien patogeenisempien virustyyppien muodostuminen sekä viruskestävyyden leviäminen luonnonvaraisiin sukulaiskasveihin. Mm. näitä riskejä on arvioitu kolmessa jo päättyneessä EU-projektissa ("Risk assessment with genetically engineered woody plants expressing virus coat protein gene", "Virus resistance in transgenic crop plants; influence of transport protein genes on viral host range, symptom expression on resistance of transgenic plants" ja "Assessment of risks induced by virus-derived transgene products in plants, using luteoviruses carrying the green fluorescent protein as a visible reporter"). Näissä projekteissa käytetyistä menetelmistä saatuja kokemuksia voitaneen hyödyntää esimerkiksi kehitettäessä menetelmiä RNA-rekombinaation ja ns. transenkapsidaation havaitsemiseksi. Lisätietoja:

<http://europa.eu.int/comm/research/quality-of-life/gmo/01-plants/01-index.html>

Käynnissä olevassa EU:n rahoittamassa tutkimuksessa ("Virus-resistant transgenic plants: ecological impact of gene flow") tarkastellaan poty- ja cucumovirusten rekombinanttigenotyyppien esiintymistä infektoiduissa, virusten DNA-sekvenssejä ilmentävissä GM-kasveissa ja verrataan rekombinanttien esiintymiseen muuntamattomissa kasveissa infektion jälkeen. Lisäksi tutkitaan rekombinanttivirusten biologisia ominaisuuksia ja kelpoisuutta sekä siirtogeenisiä DNA-sekvenssejä omaavissa rekombinanttiviruksissa että muissa rekombinanttiviruksissa tarkoituksena selvittää siirtogeenien vaikutuksia viruksissa. Myös rekombinanttigenotyyppien esiintymistä luontaisissa viruspopulaatioissa tutkitaan. Geenivirran vaikutuksia mm. rapsin luonnonvaraisten sukulaispopulaatioissa tarkastellaan selvittämällä aluksi virusten esiintymistä ja infektion vaikutuksia niissä ja tutkimalla sitten, parantaako GM-kasvista levinnyt kestävyysominaisuus luonnonvaraisten kasvien kelpoisuutta. Projekti kestää vuoden 2004 maaliskuuhun asti.

Lisätietoja:

<http://europa.eu.int/comm/research/quality-of-life/gmo/01-plants/01-10-project.html>

<http://www-biocel.versailles.inra.fr/Anglais/17Virus.html>

Toistaiseksi yhtään viruskestävyyttä ilmentävää siirtogeenistä kasvia ei ole hyväksytty markkinoille Euroopassa ja niiden riskeistä tiedetään vielä vähän. Niinpä on vaikea sanoa, mitä vaikutuksia tällaisten GM-kasvien tapauksessa tulisi ensisijaisesti seurata ja miten. Lisäksi tarvitaan edellä esitetyn projektin kaltaisia perustutkimuksia luontaisten virusten ja kasvien vuorovaikutuksista, jotta mahdolliset GM-kasveista aiheutuvat muutokset voidaan havaita.

4.1.3 Herbisideille vastustuskykyisten GM-kasvien ympäristövaikutukset

Herbisideille vastustuskykyisten GM-kasvien mahdollisia ympäristövaikutuksia ovat vastustuskyvyn leviäminen muihin populaatioihin ja uusien tai useille herbisideille vastustuskykyisten rikkakasvien muodostuminen tämän seurauksena sekä mahdollisesti lisääntyvän herbisidien käytön seurauksena ilmenevät välilliset vaikutukset.

Ainakin Britanniassa tällaisia herbisideille vastustuskykyisten GM-kasvien välillisiä, herbisidien käytöstä johtuvia monimuotoisuuteen kohdistuvia vaikutuksia tutkitaan parhaillaan laajassa vuoteen 2003 kestävässä ohjelmassa, jossa GM-kasveja ja muuntamattomia verrokkeja kasvatetaan suuressa mittakaavassa. Tutkimus toteutetaan useiden tutkimuslaitosten yhteistyönä. Tarkastelun kohteena ovat mm. maaperän siemenpankki, viljelykasvien monimuotoisuus ja biomassa, pellonreunojen kasvillisuus, etanoiden runsaus, aktiivisuus ja monimuotoisuus sekä tiettyjen niveljalkaisten monimuotoisuus, runsaus ja biomassa. Lisäksi seurataan mehiläisiä, perhosia, lintuja ja pieniä nisäkkäitä. Seuranta kattaa koko kasvukauden. Tutkimukseen valitut koalueet ovat tavallisia viljelyksiä, jotka vaihtelevat biodiversiteetiltään ja tuottavuudeltaan ja edustavat erilaisia maantieteellisiä alueita. Lisäksi niissä käytetään erilaisia viljelymenetelmiä. Tarvittava koepaikkojen määrä laskettiin tilastollisin menetelmin. Ensimmäisen vuoden aikana rapsia (glufosinaattikestävyys) kasvatetaan 12–15, maissia (glufosinaattikestävyys) 12–15 ja sokerijuurikasta tai lehtimangoldia (glyfosaattikestävyys) 20–25 koepaikalla. Koealat ovat niin suuria (3–12 hehtaaria), että niitä voidaan käsitellä ja hoitaa kaupallisten viljelysten tapaan. Kullakin koepaikalla alue jaetaan kahteen osaan, joista toisella kasvatetaan GM-kasvia ja toisella vastaavaa muuntamatonta kasvia. Tällöin monimuotoisuuteen kokeen aikana mahdollisesti kohdistuvat vaikutukset voidaan havaita vertailemalla vierekkäisiä aloja. Koealoja hoitavia viljelijöitä on neuvottu GM-kasveihin kohdistuvan herbisidien käytön osalta ja vertailualaa käsitellään kuten tavallisesti. Lisätietoja:

<http://www.defra.gov.uk/environment/fse/index.htm>

4.1.4 Kelpoisuus ja kilpailukyky

Siirtogeenisen organismin riskinarviointiin kuuluu oleellisesti sen kelpoisuuden (ts. elin- ja lisääntymiskyvyn) ja kilpailukyvyn arvioiminen verrattuna muuntamattomaan organismiin, koska nämä vaikuttavat GMO:n kykyyn levitä ja vakiintua ympäristöönsä. Siirtogeenin vaikutuksia kelpoisuuteen tulisi tutkia ja arvioida myös mahdollisissa risteymissä luonnonvaraisten lajien kanssa sekä niiden takaisinristeymissä. Oleellista kelpoisuuden arvioinnissa on, mitä muuttujia tarkastellaan, missä olosuhteissa ja milloin. Tarkoitukseen ei kuitenkaan ole toistaiseksi olemassa vakiintunutta menettelyä.

Erilaisia kelpoisuuteen vaikuttavia ominaisuuksia ja niiden käyttökelpoisuutta riskinarvioinnissa on tarkasteltu esimerkiksi EU:n rahoittamissa projekteissa "Quantifying changes in establishment ability and competitiveness of genetically modified plants" (1989–1990) ja "Safety assessment of the deliberate release of two model transgenic crop plants, oilseed rape and sugar beet" (1991–1993). Kokeissa tarkasteltiin mm. kasvien kilpailukykyä sekä lisääntymistä. GM-kasvien selviytymistä tarkasteltiin erilaisissa olosuhteissa, mm. erilaisille valo-olosuhteille ja lämpötiloille altistumisen jälkeen. Kilpailukykyä tutkittiin tarkastelemalla biomassan tuottoa sekä monokulttuureissa että kasvatettaessa GM-kasvia yhdessä jonkin toisen lajin kanssa. Lisääntymistä mitattiin siementuotolla. Projektien perusteella testattujen muuttujien todettiin suurimmalta osin soveltuvan ainakin kyseisten lajien tapauksessa käytettäväksi suljetuissa kokeissa ja kenttäkokeissa tehtävään riskinarviointiin ennen GM-kasvien ottamista laajamittaiseen viljelyyn. Lisäksi todettiin, että tarkasteltavat muuttujat ja olosuhteet tulisi määrittää kasvikohtaisesti, koska kullakin lajilla on omat ominaisuutensa, jotka vaikuttavat sen selviytymiseen ja menestymiseen luonnonvaraisissa ja viljely-ympäristöissä. Lisätietoja:

<http://europa.eu.int/comm/research/quality-of-life/gmo/01-plants/01-05-project.html>
<http://europa.eu.int/comm/research/quality-of-life/gmo/01-plants/01-17-project.html>

Tutkimus- ja kehittämiskokeita, joissa on tarkasteltu GM-kasvien kelpoisuutta, on lueteltu liitteessä 1.

4.1.5 Siirtogeenien leviäminen muihin populaatioihin

Siirtogeenien todennäköisyys levitä GMO-populaatiosta muihin populaatioihin siitepölyn leviämisen ja risteytymisen seurauksena vaihtelee lajikohtaisesti ja maantieteellisestä sijainnista riippuen. Lajin ominaisuuksien (mm. itsepölytteinen vai ristipölytteinen, hyönteispölytteinen vai tuulipölytteinen, siitepölyn ominaisuudet, kukinta-aika) lisäksi vaikuttaa erityisesti risteytymiskykyisten populaatioiden esiintyminen GM-populaation läheisyydessä. Siirtogeenien leviämisen todennäköisyyden arvioiminen edellyttää lajikohtaista tietoa siitepölyn leviämisestä ja sen elinkyvyn säilymisestä sekä mahdollisten luonnonvaraisten ja/tai rikkakasvilajien populaatioiden kartoitusta alueella, johon GM-kasvia on tarkoitus levittää. Joissakin tapauksissa siirtogeenit saattavat vaikuttaa risteytymiseen ja siten siirtogeenien leviämisen todennäköisyyteen, käytännössä yleensä kuitenkin estäen tai vähentäen risteytymistä. Kasveista on esimerkiksi siirtogeenien avulla mahdollista tehdä koirassteriilejä. Geenien siirrolla tai siirtogeenillä saattaa lisäksi olla odottamattomia vaikutuksia, jotka voivat kohdistua myös risteytymiskykyyn (Bergelson ym. 1998). Siirtogeenien leviämisen vaikutukset riippuvat siirtogeenistä ja vastaanottavasta geneettisestä ja ekologisesta ympäristöstä.

GM-kasvien siitepölyn leviämistä ja risteytymistä sukulaislajien kanssa on tutkittu liitteessä 1. luetelluissa tutkimus- ja kehittämiskokeissa.

4.1.6 Geenitekniikalla muunnettujen mikro-organismien (GMM) ja virusten ympäristövaikutukset

Mikrobien kohdalla geenitekniikkaa on käytetty erityisesti kasvien kanssa vuorovaikutuksessa olevien ja niille hyödyllisten mikrobien, tuholaisten ja tautien torjunnassa käytettävien mikrobien sekä bioremediaatioon soveltuvien mikrobien kehittämisessä. Ympäristöön levitettävien geenitekniikalla muunnettujen mikro-organismien mahdollisia riskejä ovat esimerkiksi kilpailusta aiheutuvat muutokset luontaisessa mikrobiyhteisössä sekä siirtogeenien leviäminen muihin mikrobeihin tai muihin organismeihin (horisontaalinen geenivirta). EU on rahoittanut

useita projekteja, jotka liittyvät siirtogeenisten mikrobin riskien arviointiin (luettelot projekteista sivuilla <http://europa.eu.int/comm/research/quality-of-life/gmo/02-plantgrowth/02-index.html>, <http://europa.eu.int/comm/research/quality-of-life/gmo/03-biocontrol/03-index.html>, <http://europa.eu.int/comm/research/quality-of-life/gmo/05-bioremediation/05-index.html> ja <http://europa.eu.int/comm/research/quality-of-life/gmo/06-tools/06-index.html>). Projekteissa on tarkasteltu mm. geenien siirtymistä bakteerien välillä sekä bakteerien käyttäytymistä, säilymistä ja vuorovaikutuksia ympäristössä. Projekteissa on myös kehitetty esimerkiksi geneettisiin markkereihin perustuvia ja biokemiallisia menetelmiä tiettyjen mikro-organismien tai geenien siirtymisen havainnoimiseen.

Levitettyjä mikrobeja voidaan seurata mm. erilaisten merkkigeenien avulla. Mikrobin havainnointiin soveltuvien menetelmien tarkasteluun, vertailuun ja kehittämiseen paneuduttiin 26 eri laitoksen ja yliopiston vuosina 1997-1999 toteutetussa, EU:n rahoittamassa yhteistyöprojektissa "Use of marker/reporter genes in microbial ecology" (MAREP). Yhtenä tavoitteena oli laatia ehdotus riskinarvioinnissa käytettäväksi standardi-menetelmiksi. Lisätietoja:

<http://europa.eu.int/comm/research/quality-of-life/gmo/06-tools/06-07-project.html>

Siirtogeenisten virusten riskeistä on tutkittu erityisesti geeniteknikalla muunnettujen bakulovirusten vaikutuksia. Bakulovirusia voidaan käyttää tuholaistorjunnassa, sillä ne tappavat luonnostaan eräitä hyönteisiä ja geeniteknikan avulla niiden vaikutusta on mahdollista nopeuttaa. Kolmessa EU:n rahoittamassa projektissa ("Risk assessment: field release of genetically manipulated baculoviruses", "Biosafety of genetically modified baculoviruses for insect control" ja "Risk assessment of the field use of genetically engineered baculoviruses") tarkasteltiin siirtogeenisten bakulovirusten bioturvallisuutta. Osana tutkimusta tarkasteltiin luontaisten virustyyppien ominaisuuksia ja ekologiaa, jotta geeninsiirron mahdollisesti aiheuttamat muutokset olisi mahdollista havaita. Lisäksi tutkittiin mm. virusten leviämistä sekä säilymistä ympäristössä ja muihin kuin kohdeorganismeihin kohdistuvia vaikutuksia. Lisätietoja:

<http://europa.eu.int/comm/research/quality-of-life/gmo/03-biocontrol/03-06-project.html>

<http://europa.eu.int/comm/research/quality-of-life/gmo/03-biocontrol/03-07-project.html>

<http://europa.eu.int/comm/research/quality-of-life/gmo/03-biocontrol/03-08-project.html>

4.1.7 GMO:en ympäristövaikutuksiin tai seurantaan liittyvä tutkimus Suomessa

Suomessa on tehty vähän GMO:en ympäristövaikutuksiin tai vaikutusten seurantaan liittyvää tutkimusta. Toistaiseksi tällainen tutkimus on keskittynyt lähinnä mikrobin seurantaan: Suomen ympäristökeskuksessa (SYKE) on tutkittu menetelmiä GM-mikrobin havaitsemiseksi ja seuraamiseksi (esimerkiksi Björklöf ja Jørgensen 2001 ja Jansson ym. 2000) ja Helsingin yliopiston ja SYKEN yhteistyöprojektissa on kenttäkokeessa tutkittu merkkigeenien käyttöä ympäristöön leitettyjen mikrobin seurannassa (dosentti Lindströmin tutkimusryhmä).

Siirtogeenisten metsäpuiden riskinarvioinnin kehittämiseen liittyvää tutkimusta tehdään parhaillaan Helsingin yliopistossa SUNARE-tutkimusohjelman (Sustainable Use of Nature Resources 2001-2004) puitteissa yhteistyönä VTT:n kanssa. Geeniteknisesti muunnettujen GM-koivujen kenttäkokeiden riskinarvioinnissa käytetään VTT:n kehittämää riskinarviointimenettelyä (Koivisto ym. 2002) ja tarkoituksena on kehittää riskinarviointia edelleen GM-puilla laboratorioissa saatujen tulosten perusteella. Kokeissa tarkastellaan mm. puihin siirrettyjen kestä-

vyysgeenien vaikutusta puiden juuristosieniin sekä tarkastellaan fylogeneettisiä menetelmiä GMO:en haittavaikutusten tunnistamisessa ja riskien arvioimisessa. Lisätietoja: <http://www.sunare.helsinki.fi/eng/forest/vonweissenberg/index.htm>

4.2 Kaupallinen levittäminen - Bt-maissin ympäristövaikutusten seuranta

EU:ssa on tähän mennessä hyväksytty tarkoitukselliseen kaupalliseen levittämiseen direktiivin 90/220/EY mukaisesti 18 siirtogeenistä organismia, joista kasveja on 14 (<http://biosafety.ihe.be/TP/TPmarket.html>, www.geenitekniikanlautakunta.fi). Uusia lupia ei kuitenkaan ole myönnetty vuoden 1998 syksyn jälkeen ja vuoden 1999 kesällä EU:n ympäristöministerien neuvosto asetti vapaaehtoisen *de facto* moratorion uusien GMO:en kaupallisen levittämisen hyväksymiselle, koska voimassa olleessa direktiivissä nähtiin puutteita mm. seuranta koskien ja sen uudistaminen katsottiin tarpeelliseksi. Monet jäsenmaat ovat myös vedonneet direktiivin artiklaan 16 eräiden jo hyväksytyjen GMO:en kaupallisen levittämisen ja markkinoille saattamisen väliaikaiseksi kieltämiseksi alueillaan. Artikla mahdollistaa tällaisen väliaikaisen kiellon, jos jäsenvaltio voi osoittaa GMO:sta mahdollisesti aiheutuvan haittaa terveydelle tai ympäristölle uuden tiedon perusteella. EU-tasolla jäsenmaiden esittämiä perusteluja ei kuitenkaan ole katsottu riittäviksi. Hyväksytyistä GMO:eista EU:n alueella kasvetaan tällä hetkellä kaupallisesti Bt-maissia.

Kun Novartiksen kehittämä Bt-maissi hyväksyttiin EU:ssa vuonna 1996, komissio käynnisti ohjelman Bt-resistenssin kehittymisen seuraamiseksi. Sopivan seurantakäytännön kehittämistä varten perustettiin direktiivin 90/220/EY mukaisesti jäsenmaiden toimivaltaisista viranomaisista koostuva asiantuntijaryhmä vuonna 1997 (Expert Group on Monitoring for Insect Resistance to Bt-toxins). Ryhmän valmistelemassa luonnoksessa (Draft protocol for the monitoring of European corn borer resistance to Bt-maize, Document XI/157/98) ehdotettiin mm. resistenssin seuranta jokaisessa maantieteellisesti erillisessä maissikoisapopulaatiossa sekä perustasojen määrittämistä. Lisäksi esitettiin, kuinka resistanssi voitaisiin käytännössä havaita.

Luonnos annettiin arvioitavaksi asiantuntijakomitealle (Scientific Committee on Plants (SCP)), joka julkaisi mielipiteensä maaliskuussa 1999 (SCP 1999b). Lausunnossaan SCP mm.:

- suositteli resistenssin kehittymisen seurannan ulottamista maissikoisan lisäksi myös Välimeren maissikoisaan (*Sesamia nonagrioides*), joka ominaisuuksiensa ja ekologiansa perusteella myös saattaisi kehittää resistenssin,
- esitti maissikoisapopulaatioiden tunnistamista ja määrittelemistä alueittain sekä kunkin populaation resistenssin perustason määrittämistä ennen GM-kasvien levittämistä,
- suositteli kenttänäytteiden keräämistä vuosittain (myös ympäröiviltä alueilta) ja toksiinialtiudessa tapahtuneiden muutosten testaamista,
- korosti riittävän suurten näytekokojen sekä perustasoaineiston oikean tulkinnan merkitystä sekä kohdehyönteisten tutkimista perustasoissa esiintyvän muuntelun selvittämiseksi,
- korosti valintapaineen voimakkuuden eli käytännössä Bt-maissin kasvatuksen laajuuden huomioon ottamista näytepaikkoja valittaessa, jotta seuranta voitaisiin kohdistaa riskialteimmille alueille,
- suositteli myös vähäisempien tuholaisten tunnistamista siltä varalta, että niiden populaatioissa tapahtuu muutoksia maissikoisan vähentymisen seurauksena sekä

- suositteli muihin kuin kohdeorganismeihin kohdistuvien vaikutusten tarkastelua sekä viljely- että muissa ekosysteemeissä.

Resistenssin havaitsemisessa käytettyjen menetelmien osalta todettiin esimerkiksi, että kerättyjen näytteiden tulisi olla ennemmin munia kuin toukkia, jotka ovat jo altistuneet Bt-toksiineille ja että asiantuntijaryhmän ehdotusta tulisi kehittää sisällyttämällä siihen herkempiä laboratorionkokeita alhaisen frekvenssin omaavien resistenssialleelien havaitsemiseksi (menetelmistä katso Inforuutu 2).

Bt-maissia (Cry1Ab-toksiini) kasvatetaan tällä hetkellä kaupallisesti ainakin Saksassa, Espanjassa ja Ranskassa. Espanjassa on seurattu resistenssin kehittymistä eurooppalaisessa maissikoisassa ja Välimeren maissikoisassa ympäristöministeriön rahoittaman ohjelman puitteissa. Ohjelmaan on kuulunut myös kohdehyönteisten populaatioiden rajaaminen ja niiden resistenssin perustasojen määrittäminen. Perustasojen määrittämiseksi kustakin tarkasteltavasta populaatiosta kerättiin 300-1000 toukkaa alueilta, joissa Bt-maissia ei oltu aiemmin kasvatettu eikä myöskään mikrobien tuottamia Bt-toksiineja oltu käytetty. Yhteensä näytteitä kerättiin kuudelta eri alueelta. Eurooppalaisen maissikoisan kohdalla populaatioiden välillä ei havaittu eroja perustasossa, kun taas Välimeren maissikoisalla populaatioiden välisiä eroja esiintyi mitä todennäköisimmin luontaisen vaihtelun seurauksena (González-Nuñez ym. 2000). Resistenssin kehittymistä seurattiin vuosina 1999-2000 keräämällä vastaavat näytteet Bt-maissiviljelyksiltä. Kahden vuoden seurannan jälkeen muutoksia populaatioiden alttiudessa ei oltu havaittu. Vuonna 2000 aloitettiin lisäksi kolme vuotta kestävä tutkimus hyödyllisiin niveljalkaisiin kohdistuvien vaikutusten havaitsemiseksi. Käytännössä tämä tehdään tarkastelemalla hyönteisten monimuotoisuutta ja runsautta kaupallisilla Bt-maissiviljelmillä sekä vastaavan muuntamattoman maissilinjan viljelmillä kesäkuun lopun ja syyskuun lopun välisenä aikana. Lajeja tarkkaillaan näköhavainnoilla sekä keräämällä näytteitä pyydyksin. Vuoden 2000 aineiston perusteella haitallisia vaikutuksia ei havaittu. Lisätietoja: <http://www.rki.de/GENTEC/FORUM/FORUM.HTM> (Scientific statements of Session 3. 3.3: Environmental implications of Bt-maize in Spain: monitoring corn borers resistance and nontarget impacts.)

Ranskassa kaupallisesti viljeltävän Bt-maissin vaikutuksia on seurattu vuodesta 1998. Tällä hetkellä seurataan ainakin resistenssin kehittymistä maissikoisapopulaatioissa F2-menetelmällä sekä tutkitaan maissikoisapopulaatioita resistenssin perustason määrittämiseksi. Seurannan sisältöä uuden direktiivin näkökulmasta on Ranskassa jo tarkasteltu sekä Bt-maissin että herbisidikestävän maissin kohdalla ja tarkasteltavista vaikutuksista ja muuttujista sekä seurannan ajoittamisesta on laadittu alustava esitys (saatu henkilökohtainen tiedonanto: Marc Delos, Direction Régionale de l'Agriculture et de la Forêt). Esityksen mukaan seurannassa tarkasteltaisiin mm. maaperän organismien monimuotoisuuteen mahdollisesti kohdistuvia vaikutuksia, Bt-toksiinin keräytymistä ja säilyvyyttä maaperässä, kohdeorganismien populaatioiden Bt-alttiudessa tapahtuvia muutoksia, mahdollisten antibiootikestävyysgeenien siirtymistä mikro-organismeihin, siirtogeenien leviämistä muihin maissipopulaatioihin sekä tiettyjen herbivorien, petojen ja loisten populaatioissa tapahtuvia muutoksia.

4.3 Seurannan kehittämiseen liittyviä projekteja

Luvussa 4.1. esitellyissä tutkimuksissa saatuja kokemuksia voidaan hyödyntää seurannan kehittämisessä ja seurannassa käytettäviä menetelmiä valittaessa. Kansallisille asiantuntijoille sähköpostitse lähettämäni tiedustelun perusteella EU-maissa on kuitenkin käynnissä myös erityisesti seurantaan ja sen kehittämiseen liittyviä, pelkästään teoreettisia tai käytännön tutkimusta käsittäviä projekteja. Esimerkiksi Itävallassa ympäristövirasto on tehnyt useita tutkimusprojekteja GM-kasvien vaikutuksiin ja seurantaan liittyen. Osasta on saatavilla englanninkielinen julkaisu (katso <http://www.ubavie.gv.at>). Tällä hetkellä käynnissä on kaksi seurantaan liittyvää tutkimusprojektia, joiden tarkoituksena on kehittää menetelmiä koetarkoituksessa tai kaupallisesti levitettävien GM-kasvien seurantaan varten. Näiden tutkimusten ensimmäiset tulokset oli tarkoitus julkaista vuoden 2002 loppuun mennessä. Saksassa on jo vuonna 1999 perustettu viranomaisten, toiminnanharjoittajien ja tutkimuslaitosten edustajista koostuva työryhmä GM-kasvien viljelyyn liittyvää seurantaan viljely-ympäristöissä koskien (Working Group on Cultivation-related Monitoring of GMHP in the Agroecosystem). Tällä hetkellä työryhmä pohtii erityisesti sitä, kuinka direktiivissä esitetyt seurantaan koskevat tavoitteet olisi mahdollista saavuttaa käytännössä.

5.1. Lainsäädäntö ja viranomaiset

Yhdysvalloissa ei ole olemassa erillistä lainsäädäntöä GMO:ja varten. Kun siirtogeenisten organismien säätelyä pohdittiin 1980-luvun alkupuolella, todettiin olemassa olevan lainsäädännön olevan sovellettavissa myös GMO:eihin ja toisaalta geeniteknikan kehitystä ei haluttu hidastaa erillisellä säädännöllä. Aiemman lainsäädännön tulkitsemiseksi ja soveltamiseksi niin, että myös GMO:en käytön tapauksessa turvallisuus terveydelle ja ympäristölle voidaan taata, luotiin kuitenkin ohjeistus, 'Coordinated framework for the regulation of biotechnology' (Office of Science and Technology Policy (OSTP) 1986). Tämän seurauksena sekä GMO:eilla tehtävä tutkimustoiminta että niiden markkinoille saattaminen kuuluvat pääasiassa kolmen eri lain [the Federal Insecticide, Fungicide and Rodenticide Act (FIFRA), the Federal Plant Pest Act (FPPA) ja the Federal Plant Quarantine Act (FPQA)] piiriin. Ympäristövaikutusten arviointi kuuluu USA:n maatalousministeriölle [U.S. Department of Agriculture (USDA) sekä ympäristövirastolle (Environmental Protection Agency (EPA)]. Terveysvaikutusten arvioinnista vastaa joidenkin GMO:en tapauksessa elintarvike- ja lääkevirasto [the Food and Drug Administration (FDA)]. GMO:en tarkoituksellista levittämistä ympäristöön koskevan säätelyn pääpiirteet USA:ssa ja EU:ssa on koottu taulukkoon 1.

USDA:n alainen Animal and Plant Health Inspection Service (APHIS) on pääasiallisesti vastuussa GMO:en ympäristövaikutusten arvioinnista. APHIS säätelee kaikkien sellaisten organismien kuljetuksia ja ympäristöön levittämistä, jotka kuuluvat FPPA:ssa määriteltyihin kasvituholaisiin (*plant pest*). Kasvituholaisiksi määritellään selkärangkaisia lukuun ottamatta mikä tahansa elollinen organismi, joka voi suoraan tai välillisesti vahingoittaa kasveja, niiden osia tai kasvituotteita, tai aiheuttaa niissä tautia. GM-kasveja koskevat säädökset (7 CFR Part 340) julkaistiin vuonna 1987 (APHIS 1987; muutoksia tehty mm. 1993,1997) (*). GM-kasveista säätelyn alaisia ovat kaikki kasvituholaisiksi tai mahdollisiksi kasvituholaisiksi katsottavat GM-kasvit, ts. GM-kasvit, 1) joiden tapauksessa muuntamisessa käytetty organismi, siirtogeenin alkuperäorganismi tai geenin siirrossa käytetty vektori kuuluu johonkin erikseen listatuista taksoneista (7 CFR 340.2: Groups of organisms which are or contain plant pests and exemptions) ja jotka täyttävät kasvituholaisen määritelmän, 2) joita ei ole luokiteltu tai joiden luokittelu on tuntematon, tai 3) jotka APHIS määrittelee kasvituholaisiksi tai joiden se epäilee olevan kasvituholaisia.

Kenttäkokeita varten joidenkin säädeltävien GM-kasvien kohdalla riittää säädösten mukainen ilmoitus edellyttäen, että tietyt vaatimukset GMO:in ja sillä harjoitettavaan toimintaan liittyen täyttyvät, mm. että siirretyn geneettisen materiaalin toiminta tunnetaan ja että kokeet toteutetaan niin, että GMO ei jää pysyvästi ympäristöön eikä tuota jälkeläisiä, jotka saattaisivat jäädä ympäristöön (7 CFR 340.3: Notification for the introduction of certain regulated articles). Ilmoituskäytäntö

(* Ajantasaiset säädökset USDA/APHIS: 7 CFR Part 340. Introduction of organisms and products altered or produced through genetic engineering which are plant pests or which there is reason to believe are plant pests (http://www.access.gpo.gov/nara/cfr/cfrhtml_00/Title_7/7cfr340_00.html). Säädöksiä on tarkoitettu kokonaisuudessaan päivittää ja ottaa huomioon mm. NRCn (2002) raportissa annetut suositukset (katso <http://www.ostp.gov/html/redregbio.html>).

Taulukko I. GMO:en tarkoituksellista levittämistä ympäristöön koskeva säätely EU:ssa ja USA:ssa.

	EU	USA
Geenitekniikalla muunnettujen organismien tarkoituksellista levittämistä ympäristöön koskevat säädökset	Direktiivi 2001/18/ETY	- Fungicide and Rodentine Act (FIFRA) - Federal Plant Pest Act (FPPA)
GMO:n levittämisen sallimisesta päättävät	- kansalliset viranomaiset (Suomessa geenitekniikan lautakunta) - EU-komissio, EU-neuvosto	- U.S. Department of Agriculture (USDA) - Environmental Protection Agency (EPA)
Säätely kattaa	- kaikki geenitekniikalla muunnetut organismit käsittäen tutkimus- ja kehittämiskokeet ja markkinoille saattamisen	- <i>regulated articles</i> (kaikilla kasvituholaisiksi tai mahdollisiksi kasvituholaisiksi katsottavilla GMO:eilla tehtävät kenttäkokeet (FPPA))* - siirtogeenien ilmentämät pestisidit – kenttäkokeet ja markkinoille saattaminen (FIFRA)
Säätely ei kata		GMO:t, joita ei luokitella mahdollisiksi kasvituholaisiksi, mm. kaikki selkärankaiset
Ympäristöriskien arviointikäytäntö	- kaikkien ilmoitusten käsitettävä ilmoittajan laatima ympäristövaikutusten arviointi	- USDA tekee GMO:n ympäristövaikutusten arvioinnin ilmoittajan antamien tietojen perusteella - EPA arvioi pestisidin (siirtogeenin ilmentymistuotteen) ympäristövaikutukset
Ympäristövaikutusten seuranta	- direktiivin mukainen seuranta-suunnitelma sisällytettävä kaikkiin ilmoituksiin - lupaehtojen mukaisesta seurannan toteuttamisesta vastaa ilmoittaja	- seurantasuunnitelmaa ei vaadita - kenttäkokeiden kohdalla laadittava raportti 6 kk kokeen jälkeen (esitettävä havainnointimenetelmät, aineisto sekä analysointi koskien kaikkia kasveihin, muihin kuin kohdeorganismeihin tai ympäristöön kohdistuvia vaikutuksia) - GMO:n odottamattomista ominaisuuksista tai vaikutuksista muihin kuin kohdeorganismeihin ilmoitettava kirjallisesti 5 työpäivän kuluessa**

* Kaupallisesti levitettävät GMO:t USDA on vapauttanut säätelystä (nonregulated status)

** Ympäristövaikutusten seuranta ei voida edellyttää kaupallisesti levitettävien GMO:en kohdalla, koska niiden ympäristöön levittäminen ei kuulu säätelyn piiriin. Siirtogeenien tuottamien pestisidien ympäristövaikutuksia voidaan vaatia seurattavan (EPA).

on näiden vaatimusten toteutuessa mahdollinen kaikkien sellaisten kasvilajien kohdalla, joita ei ole luokiteltu haitallisiksi rikkakasveiksi (*noxious weed*, Plant Protection Act) ja joiden APHIS ei katso olevan rikkakasveja alueella, jossa niitä on tarkoitus levittää ympäristöön. Puolen vuoden kuluttua kokeen päättymisestä APHIS:lle on toimitettava raportti, jossa on mainittava havainnointimenetelmät, esitettävä saadut tulokset sekä tarkasteltava kaikkia kasveihin, muihin kuin kohdeorganismeihin sekä ympäristöön kohdistuneita haitallisia vaikutuksia.

Muilla säädeltäviin kuuluvilla GM-kasveilla tehtävät kenttäkokeet ovat luvanvaraisia (7 CFR 340.4: Permits for the introduction of a regulated article). Lupahakemuksessa on mm. esitettävä GMO:a koskevat perustiedot, siirtogeenin ilmentymistä koskevat tiedot, kokeen kuvaus ja aikataulu, koealueen sijainti, levitettyjen GMO:en määrä sekä toimenpiteet GMO:n tahattoman leviämisen estämiseksi. APHIS tekee kunkin hakemuksen kohdalla ympäristövaikutusten arvioinnin ja lupa myönnetään, jos merkittäviä vaikutuksia ei todeta olevan (Finding Of No Significant Impact, "FONSI"). Lupaa myönnettäessä edellytetään mm., että GMO:a tulee käsitellä ja GM-materiaali tulee hävittää niin, ettei kasvituholaisia pääse vakiintumaan ympäristöön ja että kaikista odottamattomista vaikutuksista ja ominaisuuksista on ilmoitettava välittömästi. Lisäksi APHIS:lle on toimitettava raportti puolen vuoden kuluttua kokeen päättymisestä. Vuoden 2002 loppuun mennessä lupahakemuksia oli tehty noin 1100 ja ilmoituksia noin 8000. Kaikkia lupahakemuksia ja ilmoituksia koskevat tiedot ovat nähtävissä ISB:n (Information Systems for Biotechnology) Internet-tietokannassa (<http://www.isb.vt.edu/cfdocs/fieldtests1.cfm>).

USDA:n säätelynalaisuuteen kuuluvalle siirtogeeniselle kasville on mahdollista hakea vapautusta säätelystä (*nonregulated status*) (7 CFR 340.6: Petition for determination of nonregulated status). Ensimmäinen GM-kasvi, jolle vapautusta haettiin ja jolle se myös myönnettiin, oli kuuluisa FlavrSavr-tomaatti vuonna 1992. APHIS päätyi tuolloin myöntämään vapautuksen säätelystä katsoen, ettei tomaatti ilmennä kasveille tautia aiheuttavia ominaisuuksia, ei muodostu rikkakasviksi todennäköisemmin kuin vastaava muuntamaton tomaatti, ei todennäköisesti lisää muiden, risteytymiskykyisten viljelykasvi- tai luonnonvaraisten lajien rikkakasvimaisuutta, ei vahingoita jalostettuja maataloushyödykkeitä eikä aiheuta haittaa muille organismeille. Viralliset ohjeet menettelylle säätelystä vapauttamiseksi annettiin seuraavana vuonna (APHIS 1993). Hakemukseen on sisällytettävä mm. muuntamattoman organismin biologiaa koskevat tiedot, kuvaukset GMO:n ja vastaavan muuntamattoman organismin eroista, tiedot GM-kasvin rikkakasvi- ja kasvituholaisominaisuuksista, arvio risteytyvien lajien rikkakasvimaisuuteen kohdistuvista vaikutuksista, muihin kuin kohdeorganismeihin kohdistuvista vaikutuksista sekä geneettisen materiaalin mahdollisuudesta siirtyä muihin kuin GM-kasvin kanssa risteytyviin organismeihin. Mukaan on sisällytettävä raportit kaikista asiaan kuuluvista kenttäkokeista sekä oleelliset tieteelliset julkaisut ja mahdolliset julkaisemattomat tutkimukset. Useimpien GM-kasvien kaupallinen levittäminen on mahdollista ainoastaan, jos niille on myönnetty vapautus säätelystä. Koska USDA ei voi asettaa ehtoja säätelystä vapautettujen GMO:en levittämiseksi, tarkoittaa tämä käytännössä sitä, ettei useimpien kaupallisesti viljeltävien GM-kasvien kohdalla myöskään edellytetä ympäristövaikutusten seurantaa. Ainoastaan sellaisten GM-kasvien, joista käytetään kaupallisesti vain eristetty siirtogeeninen tuote, viljely on mahdollista ilman säätelystä vapautusta ilmoituksen perusteella (tietyt lajit ja ominaisuudet) tai luvanvaraisesti (muut lajit ja ominaisuudet) (katso NRC 2002).

EPA vastaa tuholaiskestävien GMO:en siirtogeenien ilmentämien tuotteiden ympäristö- ja terveysvaikutusten arvioinnista ja hyväksymisestä, tarkastellen niitä kuten muitakin pestisidejä. Näin ollen EPA arvioi esimerkiksi Bt-kasvien kohdalla Bt-toksiinista aiheutuvia ympäristövaikutuksia. Lisäksi GMO:en kohdalla

arvioidaan myös kestävyysominaisuuden aikaan saamiseksi tarvittavan siirtogeenisen materiaalin (esimerkiksi kestävyysgeeni säätelyalueineen) ympäristövaikutukset. Tämä siksi, että myös sellaiset kasvinosat, joissa siirtogeeni ei ilmennä tuotetta (esimerkiksi siitepöly ja siemenet) kuuluisivat käytännössä säätelyn piiriin. EPA arvioi mm. ekologisia vaikutuksia, geenivirran mahdollisuutta ja esimerkiksi Bt-toksiinien säilyvyyttä maaperässä olemassa olevan tiedon perusteella. Arvioidessaan aiheutuuko pestisidistä kohtuuttomia riskejä ympäristölle tai ihmisille (hyväksymisen este), EPA:n tulee FIFRA:n mukaan ottaa huomioon sosiaaliset, ekonomiset sekä ympäristöön kohdistuvat hyödyt ja haitat.

Yleisesti ottaen hyväksytyihin tai säätelystä vapautettuihin GMO:ihin ei ole katsottu liittyvän ympäristövaikutuksia, jotka poikkeaisivat merkittävästi vastaavien muuntamattomien organismien tai tavanomaisten pestisidien vaikutuksista. Toisaalta riskinarvioinneissa ja päätöksissä ei juuri ole kiinnitetty huomiota etenkin mahdollisiin pitkällä aikavälillä tai suuremman mittakaavan levittämisen seurauksena ilmeneviin tai odottamattomiin vaikutuksiin. The National Research Council'n (NRC:n) tuoreessa raportissa (2002) peräänkuulutetaankin markkinoille saattamisen jälkeistä seuranta tällaisten vaikutusten havaitsemiseksi. Raportissa todettiin tosin, etteivät geeniteknikalla muunnetut kasvit välttämättä poikkea oleellisesti muilla menetelmillä jalostetuista kasveista, joiden ympäristövaikutuksia näin ollen tulisi myös seurata. Nähtäväksi jää, kuinka raportissa esitetyt näkemykset tullaan huomioimaan käytännössä.

Vuoden 2002 elokuuhun mennessä APHIS oli myöntänyt vapautuksen säätelystä 53 siirtogeeniselle kasville (<http://www.nbiap.vt.edu/>), joita siis on mahdollista viljellä kaupallisesti. Näistä huomattava osa on herbisidikestäviä (23). Lisäksi joukossa on hyönteis- ja viruskestäviä sekä koirassteriilejä ja laatuominaisuuksiltaan muunnettuja kasveja. Koska APHIS ei voi edellyttää näiden kasvien seuranta, toteutetaan GM-kasvien ympäristövaikutuksiin kohdistuvaa seuranta tällä hetkellä ainoastaan Bt-kasvien kohdalla EPA:n asettamien ehtojen mukaisesti. Seuraavassa tarkastellaan Bt-kasvien hyväksymisen taustoja ja ehtoja ja lyhyesti seuranta (tai pikemminkin sen puutetta) muiden GM-kasvien osalta.

5.2 Bt-kasvien kaupallinen viljely ja ympäristö-vaikutusten seuranta

EPA julkaisi vuonna 1994 yleisluontoisen ohjeistuksen koskien pestisidejä tuottavien GM-kasvien riskinarvioinnissa tarvittavan aineiston sisältöä. 1995-1998 EPA oli hyväksynyt kymmenen erilaista Bt-toksiinia tuottavaa siirtogeenistä kasvia (1 peruna, 1 puuvilla ja 8 maissia, katso EPA 2000) näiden ohjeistusten mukaisesti ja tapauskohtaisesti edellytetyn lisäaineiston perusteella ottaen huomioon mm. geenivirran mahdollisuuden ja muihin organismeihin kohdistuvat toksiset vaikutukset (katso FIFRA/SAP 1999).

5.2.1 Bt-toksiinikestävyden kehittymisen hallinta

Yhdysvalloissa on EPA:n toimesta hyväksytty kaupalliseen viljelyyn vuodesta 1995 lähtien kolme Bt-toksiineja tuottavaa viljelykasvia: maissi, puuvilla ja peruna. EPA edellytti ensimmäisen hyväksytyt Bt-puuvillan kohdalla vuonna 1995, että viljelijöiden tulee kasvattaa muuntamatonta puuvillaa 4%:lla peltoalastaan tai vaihtoehtoisesti vähintään 20%:lla peltoalastaan, missä tapauksessa muuntamatonta puuvillaa saadaan käsitellä sellaisilla insektisideillä, jotka tuhoavat samoja tuholaisia kuin Bt-toksiinit. Näiden vaihtoehtoisten toimenpiteiden pitäisi teoriassa

taata, että resessiivisten kestävyysalleelien kantajien todennäköisyys paritua keskenään on niin pieni, ettei homotsygootteja, vastustuskykyä ilmentäviä jälkeläisiä synny, eivätkä kestävyysalleelit näin ollen pääse yleistymään populaatiossa. Ensimmäisten hyväksytyjen Bt-perunan ja Bt-maissien kohdalla EPA ei edellyttänyt määrätyn kokoisia suojavyöhykkeitä.

Vuonna 1998 EPA:n Scientific Advisory Panel (SAP) totesi, että EPA:n tulisi edellyttää suojavyöhykkeitä kaikkien hyväksytyjen Bt-kasvien kohdalla, ellei voida todistaa, että tästä olisi kestävyyskehittymisen hallinnan kannalta haittaa. Hallintastrategiat voivat vaihdella alueellisesti johtuen erilaisista viljelykäytännöistä sekä tuholaispopulaatioiden ominaisuuksissa esiintyvistä eroista. Lisäksi paneeli päätyi siihen, että kestävyysalleelifrekvenssi voi olla korkeintaan 1/500, jotta toksiinikestävyys hallitseminen on mahdollista. SAP:n ohjeita noudattaen EPA teki 20% suojavyöhykkeestä, jolla insektisidien käyttö on sallittu, pakollisen myös Bt-perunan kohdalla vuonna 1999 (katso EPA/USDA 1999). Kahdelle vuonna 1998 hyväksytylle Bt-maissille asetettiin pakolliseksi toinen kahdesta vaihtoehtoisesta strategiasta: vähintään 20-30% suojavyöhykettä, jota ei saa käsitellä insektisideillä tai 40% vyöhyke, jolla insektisidien käyttö on sallittu. Lisäksi aiemmin hyväksytyille Bt-maissaileille asetettiin lievemmät vaatimukset. Kolmannelle vuonna 1998 hyväksytylle Bt-maissille ei asetettu suojavyöhykevaatimuksia, koska sadonkorjuu tapahtuu ennen hyönteisten kehittymistä aikuisiksi.

Vuonna 2001 EPA uusi Bt-maissin ja -puuvillan umpeutuvat määräaikaiset luvat myöntäen nyt maissille seitsemän ja puuvillalle enintään viiden vuoden pituisen jatkoluvan (EPA 2001). Lupaehtoja määrittäessään EPA tarkisti aiemman hyväksymisen yhteydessä tehdyn riskinarvioinnin sekä hyväksymisen ehdot uuden tieteellisen tiedon ja mm. SAP:n (FIFRA/SAP 2001) antamien suositusten valossa. Uusittujen lupien ehdoissa toksiinikestävyys hallintastrategioita on jälleen tiukennettu. Bt-maissin osalta edellytetään 50% suojavyöhykettä alueilla, joilla kasvetetaan myös puuvillaa, ja 20% suojavyöhykettä muilla alueilla. Bt-puuvillalle määrättiin 5% suojavyöhyke, mikäli muita insektisidejä ei käytetä tai 20% suojavyöhyke, mikäli insektisidejä käytetään.

Suojavyöhykkeiden riittävyys ja toimivuus on kyseenalaistettu mm. siksi, ettei kestävyys välttämättä ole aina resessiivinen ominaisuus (Huang ym. 1999; Liu ym. 1999; katso Gonzales-Cabrera ym. 2001; Gould 2000; Rissler ja Mellon 2001 ja Wadman 1997). Suojavyöhykkeen koon ja sijainnin vaikutuksia mm. kestävyyskehittymiseen kohdepopulaatiossa ovat kenttäkokeissa testanneet ainakin Simmons ym. (1998) ja Shelton ym. (2000). Shelton ym. totesivat, että suojavyöhykkeet voivat muiden keinojen ohella olla tehokas keino hallita kestävyyskehittymistä, mutta lisäksi tarvitaan seuranta sekä yksittäisillä tiloilla että laajemmilla alueilla.

5.2.2 Bt-toksiinikestävyyskehittymisen seuranta

Vastustuskyvyn kehittymisen seurantaan liittyviä ongelmia on pohdittu mm. EPA:n ja USDA:n yhteisessä työpajassa 1999. Asiantuntijana kuultu Charles Benbrook esitti, että kestävyysalleelit tulisi pystyä havitsemaan, kun niiden frekvenssi on korkeintaan 1/1000, jotta vastustuskyvyn vakiintuminen ja yleistymisen populaatioissa voidaan ajoissa estää. Alleelien havaitsemiseksi hän suositteli tiettyjä jo olemassa olevia menetelmiä (Andow ja Alstad 1998), mutta korosti kuitenkin tarvetta kehittää vielä tehokkaampia menetelmiä (muita menetelmiä Andow ja Hutchison 1998; Gould ym. 1997; Pierce ym. 1998; Venette ym. 2000; menetelmien vertailu katso Andow 1999). Gouldin ym. (1997) ja Andow'n ja Alstad'n (1998) menetelmillä voidaan havaita alleelit, joiden frekvenssi on vähintään 0.001, ja Andow'n ja Hutchinsonin (1998) menetelmällä myös tätä alhaisemman frekvens-

sin omaavat alleelit (katso FIFRA/SAP 1998). Benbrook suositteli, että seurannan toteuttaisivat osavaltioiden tutkimuslaitokset EPA:n ja USDA:n määrittelystandardien (mitä parametrejä tarkastellaan, miten näytteet kerätään ja arvioidaan) mukaisesti. Mikäli alttiudessa havaitaan tilastollisesti merkittävä muutos, toimenpiteitä voivat olla esimerkiksi populaation eristäminen, populaation pienentäminen, uusien Bt-kasvien viljelyyn ottamisen kieltäminen ja Bt-kasvien viljelyn lakkauttaminen alueellisesti.

SAP (FIFRA/SAP 2001) on korostanut, että vastustuskyvyn kehittymisen seurannassa käytettävien tekniikoiden soveltuvuus riippuu tarkasteltavasta hyönteisestä, kasvista ja seurannan tavoitteista. Lisäksi kaikkien menetelmien kohdalla tulisi testata niiden luotettavuus ennen niiden hyväksymistä standardimenetelmiksi. Esimerkiksi ns. F_2 -menetelmän (Andow ja Alstad 1998), joka on kehitetty kestävyuden havaitsemiseksi maissikoisapopulaatioissa, toimivuus tulisi testata laboratoriotesteissä käyttämällä sellaisia populaatioita, joiden kestävyysalleelien frekvenssi tunnetaan. Ainakin yksi tällainen tutkimus on jo tehty (Zhao ym. 2002), mutta vastaavia tutkimuksia tarvitaan myös muille hyönteisille ja kasveille. Zhao ym. (2002) tutkimuksessa resistenssin havaitseminen riippui oleellisesti siitä, käytettiinkö vastustuskykyisten yksilöiden tunnistamisessa ravintona Bt-kasveja vai ravintoa, johon oli lisätty Bt-toksiinia. Kun toukille syötettiin Bt-toksiinia ilmentänyttä parsakaalia, kaikkia todellisia resistenssitapauksia ei havaittu. Kun toukille sen sijaan annettiin ravintoa, johon oli lisätty Bt-toksiinia, arviolta 33% F_2 -seulonnan perusteella resistenteistä tapauksista ei todellisuudessa ollut resistenttejä (väärä positiivisia).

Seuranta suunniteltaessa oleellista on paitsi se, millä menetelmillä yksittäisiä paikkoja tutkitaan, myös se, kuinka tarkasteltavien paikkojen sijainti ja lukumäärä määritetään. Benbrook (1999) laski, että muutamaksi vuodeksi tarkoitettulla 10 miljoonan dollarin julkisella rahoituksella olisi mahdollista seurata noin 6-12 paikkaa osavaltiotasolla vuosittain, mikä yhdessä teollisuuden harjoittaman seurannan kanssa mahdollistaisi kestävyysalleelien frekvenssin perustason määrittämisen muutamassa vuodessa. Tämän jälkeen seurannassa voitaisiin keskittyä niihin alueisiin, joissa vastustuskyvyn kehittymisen riski on suurin. Andow (1999) esitti, että esimerkiksi eurooppalaisen maissikoisan kohdalla populaatioiden geneettistä rakennetta koskevia tutkimuksia voidaan hyödyntää seurattavien populaatioiden vähimmäismäärän määrittämisessä. Yhdysvalloissa tämä tarkoittaisi hänen mukaansa käytännössä seurantapaikkojen sijoittamista ainakin 300 km välein, koska tällä etäisyydellä populaatioiden välillä on havaittu merkittävää geneettistä erilaistuneisuutta. SAP:n raportin (FIFRA/SAP 1998; katso myös FIFRA/SAP 2001) mukaan kunkin Bt-kasvin kohdalla seurantastrategioita tulisi näytteenoton ja alttiuden arvioimisen osalta pohtia hyönteiskohtaisesti, koska eri hyönteislajeilla on erilaiset elinkierrot ja ravinnonhankintatavat. Seuranta tulisi keskittää alueille, joilla siirtogeenisten kasvien osuus on merkittävä, mutta myös muilta alueilta tulisi kerätä aineistoa rutiiniseurannan puitteissa ja seuranta tulisi laajentaa ja lisätä ainakin siinä tapauksessa, että vastustuskyvyn kehittymistä havaitaan. Aineiston keräämistä perustason määrittämiseksi pidettiin oleellisen tärkeänä, jotta mahdollisen vastustuskyvyn kehittymisen syitä sekä laajuutta voitaisiin arvioida. Kestävyysalleelien alkufrekvenssin määrittäminen jokaisen kohdehyönteisen jokaisessa populaatiossa ei ole perusteltua, mutta ainakin yksi luotettava lajikohtainen arvio olisi tarpeen. Seuranta tarvitaan myös mahdollisen vastustuskyvyn kehittymisen jälkeen, jotta sen alentamiseksi toteutettavien toimenpiteiden tehokkuutta voitaisiin arvioida.

Ensimmäisten hyväksytyjen Bt-maissin ja -puuvillan, ja suosituksenomaisesti Bt-perunankin, kohdalla edellytettiin aineiston keräämistä koskien mm. vastustuskyvyn perustasoa, tuholaisten ekologiaa, Bt-kasvien vaikutuksia sekundaarisiiin perhostuholaisiin sekä toteutettujen vastustuskyvyn kehittymisen

hallintatoimenpiteiden toimivuutta ja kestävyiden kehittymistä (ainakin *Leptinotarsa decemlineata* (koloradonkuoriainen), *Ostrinia nubilalis* (eurooppalainen maissikoisa), *Heliothis virescens*, *Helicoverpa armigera*, *Pectinophora gossypiella*). Bt-maissin kohdalla EPA on vuodesta 2000 asti edellyttänyt Bt-maissin kohdalla alueellista vastustuskyvyn kehittymisen seurantaan keskittyen niille alueille, joilla suojavyöhykkeillä käytetään yleisesti insektisidejä (katso Benbrook 2000). EPA edellytti rekisteröijä myös tutkimaan erilaisten vastustuskyvyn havaitsemiseksi kehitettyjen menetelmien toimivuutta vuoden 2000 aikana. Vaikka EPA:n vuonna 2001 julkaiseman raportin perusteella kestävyttä maissin, perunan ja puuvillan tuotamille Bt-toksiineille ei siihen mennessä oltu raportoitu, vuonna 2001 uusituissa Bt-maissia ja -puuvillaa koskevissa luvissa vastustuskyvyn kehittymisen seurantaan on kuitenkin kiinnitetty enemmän huomiota. Luovissa edellytetään mm., että kullekin kohdehyönteiselle tulee perustaa seurantaohjelma ja rekisteröijien tulee seurata, ilmeneekö kohdehyönteisten alttiudessa Bt-toksiineille tilastollisesti ja biologisesti merkittäviä muutoksia. Seurannan tulisi käsittää kaikki alueet, joilla tarkasteltava hyönteinen on merkittävä tuholainen, mutta erityisesti tulee keskittyä alueille, joissa vastustuskyvyn kehittymisen riski on suurin. Kestävyiden esiintyminen varmistetaan biomäärityksillä ja geneettisillä menetelmillä (katso EPA 2001, liitteet 1, 2 ja 3). Bt-puuvillan kohdalla rekisteröineiden yritysten tuli toimittaa vuoden 2002 alussa EPA:lle seurantasuunnitelma sisältäen tarkasteltavien paikkojen suunnitellun määrän ja näytteiden määrän kutakin paikkaa kohden, näytteenotto- ja havainnointimenetelmät sekä tilastollisen analyysin vastustuskyvyn havaitsemisen todennäköisyydestä. Maissin kohdalla esitettiin, että kunkin hyönteisen (eurooppalainen maissikoisa, *Diatraea grandiosella* ja/tai *Helicoverpa zea*) kohdalla näytekoon tulisi olla ainakin 200 hyönteistä aluetta kohden, kun Bt-maissin osuus on yli 50%, ja ainakin 100 hyönteistä muilla alueille, joilla tarkasteltava hyönteinen on tuholainen. Käynnissä olleita seurantaohjelmia ja -menetelmiä oli maissin osalta tarkoitus tarkastella asiantuntijapaneelissa ennen vuotta 2002 mm. näytekokojen, näytepaikkojen määrän, tarkasteltavien alueiden määrän sekä käytettävien menetelmien osalta. Rekisteröineet yritykset veloitettiin toimittamaan EPA:lle seurantasuunnitelma vuoden 2003 alussa. Seurannan tulokset tulee toimittaa EPA:lle vuosittain. Vastustuskyvyn kehittymisen hallintastrategioiden ja seurannan noudattamisen varmistamiseksi edellytetään sekä maissin että puuvillan kohdalla kolmannen osapuolen tekemää selvitystä.

5.2.3 Muihin kuin kohdeorganismeihin kohdistuvat vaikutukset

Vuodeksi 2000 EPA esitti suosituksen, että yritykset neuvosivat Bt-maissin viljelijöitä istuttamaan vähintään kuuden rivin levyisen suojavyöhykkeen monarkkiperhosiin (*Danaus plexippus*) ja muihin organismeihin mahdollisesti kohdistuvien haittojen vähentämiseksi (katso Benbrook 2000). Taustalla olivat erityisesti Cornellin yliopiston tekemät tutkimukset, joissa havaittiin Bt-maissin tuottaman siitepölyn tappavan monarkkiperhosia laboratorio-olosuhteissa (Losey ym. 1999). Vuoden 2000 syksyllä EPA kuitenkin esitti, ettei Bt-kasveista aiheudu merkittävästi haittaa monarkkiperhosille olemassa olevan tietämyksen perusteella (EPA 2000, kritiikkiä katso Rissler ja Mellon 2001). Kun Bt-maissien ja -puuvillan määräaikaista lupia jatkettiin vuonna 2001, ehtoihin sisällytettiin joka tapauksessa mm. valvoite tutkia, ettei muille kuin kohdehyönteisille aiheudu haittoja tai mikäli tästä on olemassa muita tutkimustuloksia, tulee ne toimittaa EPA:lle. Lisäksi tulee varmistaa, etteivät Bt-toksiinit kumuloidu maahan sekä tutkia niiden pysyvyyttä erilaisissa ko. Bt-kasvien viljelylle tyypillisissä maaperä- ja ilmasto-olosuhteissa. Näytteet tulee kerätä alueilta, joilla Bt-kasvia on viljelty vähintään kolme vuotta ja niitä tulee verrata näytteisiin sellaisilta alueilta, joilla Bt-kasveja ei ole kasvatettu.

Näytteitä tulisi kerätä 2-3 kertaa kasvukauden aikana. Bt-maissin kohdalla tulee myös tarkastella toistuvan, ravinnon välityksellä tapahtuvan Bt-toksiineille altistumisen vaikutuksia linnuissa sekä Cry1Ab-toksiinia tuottavien maissien vaikutuksia monarkkiperhosten kelpoisuuteen ja lisääntymiseen pidempiaikaisen altistumisen seurauksena.

5.2.4 Pesticidien käyttö

Tuholaiskestävien kasvien käyttöä perustellaan usein mm. sillä, että sen seurauksena pesticidien, ja erityisesti haitallisten pesticidien, käyttö vähentyisi (katso esim. EPA 2001). Joidenkin selvitysten mukaan pesticidien käyttö onkin ollut vähäisempää Bt-kasviviljelyksillä (Gianessi ja Carpenter 1999; USDA 2000; katso Fernandez-Cornejo ja McBride 2000). Esimerkiksi USDA:n (2000) tekemässä selvityksessä, jossa tarkasteltiin vuoden 1997 aineiston perusteella Bt-puuvillan kasvatuksen vaikutuksia pesticidien käyttöön, havaittiin että organofosfaatti- ja pyretroidi-insektisidejä lukuun ottamatta kemiallisten insektisidien käyttö oli keskimäärin alentunut merkittävästi samalla kun satoisuus kasvoi. Rissler (1999) huomautti kuitenkin, että pesticidien käytössä oli aluekohtaisia eroja ja eräällä alueella pesticidien käyttö oli huomattavasti runsaampaa Bt-puuvillaa kasvatettaessa kuin kasvatettaessa muuntamatonta puuvilla. Bt-maissin kohdalla tarkasteltiin aineistoa ainoastaan yhdeltä alueelta, eikä pesticidien käytössä havaittu hänen mukaansa merkittävää muutosta, kuten ei myöskään monilla Bt-maissialueilla (katso myös Rissler ja Mellon 2001).

Pelkästään pesticidien kokonaiskäyttömääriä tarkastelemalla ei kuitenkaan voida suoraan arvioida ympäristöön kohdistuvia vaikutuksia, vaan huomiota tulisi kiinnittää myös mm. käytettyjen pesticidien ominaisuuksiin. Muutokset pesticidien käytössä saattavat myös johtua monista eri tekijöistä, joten yhden vuoden aineiston perusteella luotettavia johtopäätöksiä ei voida tehdä etenkään, jos havaitut erot eivät ole merkittäviä. (Pesticidien käytön arvioimisessa käytetyistä menetelmistä katso Fernandez-Cornejo ym. 2000 sekä Agricultural Outlook/August 2000: Genetically engineered crops: has adaption reduced pesticide use?)

5.2.5 Siirtogeenien leviäminen

SAP (FIFRA/SAP 2001) on suositellut geenien leviämisen eli geenivirran seurantaa silloin, kun risteytyviä luonnonvaraisia populaatioita esiintyy ja siirtogeenien vaikutukset saattaisivat olla niissä merkittäviä. Seurannassa voitaisiin SAP:n mukaan käyttää esimerkiksi fluoresoivia proteiineja tai muita molekulaarisia tai morfologisia markkereita. Suojavyöhykkeitä tulisi seurata säännöllisesti ja lisäksi laajempia alueita (noin 16 kilometrin säteellä) tulisi seurata ajoittain ainakin kerran kasvukaudessa, jotta myös vähäisempi, pitkien etäisyyksien päähän ulottuva geenivirta voitaisiin havaita. SAP huomautti myös, että tavanomaisten viljelykasvien siementen geneettisen puhteuden säilyttämiseksi määritetyt suojaetäisyydet eivät välttämättä ole riittäviä suojelemaan luonnonvaraisia tai rikkakasvipopulaatioita siirtogeenien leviämiseltä tai estämään täydellisesti muihin viljelypopulaatioihin kohdistuvan geenivirran.

Bt-puuvillan kohdalla luonnonvaraisiin populaatioihin kohdistuvan geenivirran mahdollisuus on Yhdysvalloissa tietyillä alueilla olemassa. EPA (2001) toteasi, ettei Bt-proteiinin vaikutuksista luonnonvaraisessa puuvillassa ole olemassa riittävästi aineistoa kattavan riskinarvioinnin tekemiseksi ja lisäksi luonnonvaraisen puuvillan ekologiaa ja esiintymistä koskevan tietämyksen todettiin olevan puutteellista. Bt-puuvillan kohdalla geenivirran pääasiallisena seurauksena pidettiin

rikkakasvien muodostumista, mutta myös monimuotoisuuteen, mukaan lukien geneettiseen monimuotoisuuteen, kohdistuvat vaikutukset mainittiin mahdollisina. Geenivirran seurauksiin liittyvien epävarmuustekijöiden vuoksi Bt-puuvillan kaupallinen viljely onkin joillakin alueilla kokonaan kielletty.

5.3 Muut kaupallisesti viljeltävät GM-kasvit ja ympäristön seuranta

Muiden kuin pestisidejä tuottavien kaupallisten GM-kasvien kohdalla ympäristövaikutusten seuranta ei voida edellyttää, koska ne eivät enää kuulu ympäristövaikutustensa osalta minkään viranomaisen valvonnan piiriin (katso 5.1). Ainoa GM-kasvien kaupalliseen levittämiseen liittyvä 'ympäristövaikutus', jota USDA on seurannut, on ollut herbisidien (ja pestisidien, katso edellä) käyttö. Vuoden 1997 aineiston perusteella herbisidikestävän soijan viljelyyn otto oli merkittävästi alentanut herbisidien käyttöä kolmella viidestä tarkastellusta alueesta, kun taas puuvillan ja maissin kohdalla herbisidien käyttö ei ollut vähentynyt (katso Fernandez-Cornejo ja McBride 2000; Rissler 1999; USDA 2000). Kokonaisuudessaan glyfosaatin käyttö oli odotetusti lisääntynyt ja muiden herbisidien käyttö vähentynyt. Carpenterin ja Gianessin (2000) tekemän USDA:n vuosien 1995 (ennen herbisidiresistenttien viljelykasvien viljelyyn ottoa) ja 1998 aineistoihin perustuvan vertailun mukaan herbisidien käyttö oli lievästi lisääntynyt käytettyjä painosyiköitä tarkasteltaessa, mutta sen sijaan käyttökertojen määrä oli merkittävästi alentunut. (Herbisidien käytön arvioimisessa käytetyistä menetelmistä katso Agricultural Outlook/August 2000: Genetically engineered crops: has adaption reduced pesticide use?).

Kuten pestisidien, myöskään herbisidien kohdalla ympäristövaikutuksia ei kuitenkaan voida arvioida pelkästään käyttömäärien tai -kertojen perusteella. Esimerkiksi glyfosaatti ja glufosinaatti tuhoavat kaikki rikkakasvit, joten niiden käytöllä saattaa olla suuri välillinen vaikutus viljely-ympäristöjen monimuotoisuuteen. Toisaalta näitä herbisidejä pidetään ympäristöystävällisinä, koska ne hajoavat nopeasti ja niiden toksisuus on alhainen moniin muihin herbisideihin verrattuna.

Vaikka varsinaisia GM-kasvien ympäristövaikutusten seurantaohjelmia ei olekaan toistaiseksi käynnistetty muiden kuin Bt-kasvien tiettyjen vaikutusten osalta, on Yhdysvalloissa kuitenkin käynnissä muita maanviljelyyn ja sen ympäristövaikutuksiin liittyviä seurantaohjelmia sekä ympäristön seurantaan liittyviä pitempiaikaisia ohjelmia, kuten esimerkiksi luonnonvarojen seurantaohjelma ja uhanalaisten lajien säännöllinen tarkkailu (katso NRC 2002). NRC:n mukaan näissä ohjelmissa on kuitenkin runsaasti puutteita, jotta maanviljelyn ympäristövaikutusten kannalta merkittävien tekijöiden kuten tuholaispopulaatioiden pestisidikestävyuden tai pölyttäjäpopulaatioiden esiintymisen perustasojen määrittäminen olisi mahdollista. Olemassa olevat seurantaohjelmat eivät myöskään ole riittäviä GM-kasvien ympäristövaikutusten havaitsemiseksi. NRC:n raportissa pohdittiin lisäksi, kuinka GM-kasvien kaupallisen levittämisen jälkeinen seuranta tulisi toteuttaa ja ehdotettiin, että se voisi koostua lyhyemmän aikavälin tiiviistä seurannasta (trained-observer monitoring) sekä pitkän aikavälin seurannasta (long-term monitoring). Tiiviimmän seurannan tarkoituksena olisi havaita mm. sellaiset ympäristövaikutukset, jotka saattavat ilmetä ainoastaan laajan mittakaavan viljelyssä, kun taas pitkän aikavälin seuranta perustuisi erityisesti indikaattorilajien tarkasteluun.

Yhteenveto

Sekä geeniteknikalla muunnetuilla organismeilla tehtäviä kenttäkokeita että kaupallista levittämistä koskeviin ilmoituksiin on direktiivin 2001/18/ETY mukaan liitettävä seurantasuunnitelma. Kenttäkokeiden kohdalla seurantasuunnitelma koostuu asiaankuuluvista osioista liitteen III mukaisessa ilmoituksessa. Kaupallisen levittämisen yhteydessä edellytettävän seurannan peruseriaatteet on kuvattu direktiivin liitteessä VII sekä ko. liitettä täydentävissä ohjeissa. Kaupalliseen levittämiseen liittyvä seuranta muodostuu tapauskohtaisesta, kunkin GMO:n riskinarviointiin perustuvasta seurannasta, sekä yleisestä seurannasta, jolla pyritään havaitsemaan riskinarvioinnin perusteella ennakoimattomat ympäristövaikutukset. Seurannassa tulisi voida havaita suorat ja välilliset, välittömästi ja viipeellä aiheutuvat sekä kumuloituvat ympäristövaikutukset. Seurannan asianmukaisesta toteuttamisesta on vastuussa ilmoittaja.

Tässä selvityksessä on tarkasteltu seurannan tavoitteita ja toteuttamista direktiivin ja sitä täydentävien ohjeiden mukaisesti. Tämän jälkeen on esitelty GMO:en ympäristövaikutuksiin liittyviä tutkimuksia EU-maissa sekä kaupalliseen levittämiseen liittyvää seurantaa EU-maissa ja Yhdysvalloissa. Tarkoituksena on ollut tuottaa katsaus, jonka kautta erityisesti viranomaiset ja ilmoittajat voivat tutustua seurantaveloitteeseen ja saada käsityksen siitä, mitä ympäristövaikutusten seuranta voisi käsittää. Direktiivi liitteineen ja ohjeineen jättää avoimeksi tai tulkinnanvaraiseksi etenkin seurannalta edellytettävän yksityiskohtaisuuden ja laajuuden ja siten suurelta osin myös sen, miten seuranta käytännössä tulisi toteuttaa. Myöskään tässä työssä ei ole pyritty vastaamaan näihin kysymyksiin. Seurantaa suunnitellessaan ja seurantasuunnitelmia arvioidessaan ilmoittajat ja viranomaiset joutuvatkin pohtimaan mm. seuraavia asioita:

- Mitä kenttäkokeiden seurannassa edellytetään ja erityisesti: jos kenttäkoetta koskevassa riskinarvioinnissa ei havaita vaikutuksia, minkälaista ympäristövaikutusten seurantaa edellytetään (odottamattomien vaikutusten havaitsemiseen tähtäävä yleinen seuranta mainitaan erikseen ainoastaan kaupallisessa tarkoituksessa levitettävien GMO:en kohdalla)?
- Kuinka suurella todennäköisyydellä mahdolliset haitat tulee voida havaita (ts. kuinka herkkiä menetelmiä tulee käyttää)?
- Kuinka todennäköinen tai vakava vaikutuksen tulee olla, jotta seurantaa edellytetään?
- Mitä ns. yleinen seurantavelvoite tarkoittaa käytännössä edellytettävien seurantatoimenpiteiden kannalta eli kuinka ns. ennakoimattomat vaikutukset pyritään havaitsemaan?
- Kuinka pitkään seurantaa tulee jatkaa, jotta myös välilliset ja viipeellä ilmenevät sekä kumulatiiviset vaikutukset voitaisiin havaita?
- Mitä vaikutuksia ja muuttujia seurataan (ts. miten karsitaan, kun kaikkea ei ole mahdollista seurata: esimerkiksi mitä lajeja tarkastellaan, kun halutaan seurata viljely-ympäristön monimuotoisuuden kohdistuvia vaikutuksia)?
- Miten seurannan riittävä alueellinen ulottuvuus ja seurantapaikkojen tiheys määritetään kussakin (kunkin GMO:n ja kunkin seurattavan ympäristövaikutuksen) tapauksessa?
- Mitä menetelmiä ympäristövaikutusten seurannassa tulee käyttää?

Näihin kysymyksiin vastaaminen edellyttäisi laajaa, monitieteellistä ja -alaista (ekologit, geneetikot, mikrobiologit, toiminnanharjoittajat, viranomaiset jne.) keskustelua sekä lisää käytännön kokemuksia ja tähän asti saatujen kokemusten tarkastelua. Käytännössä seuranta koskevat yksityiskohdat selkiintynevät kuitenkin joka tapauksessa vasta lupapäätöksissä otettavan linjan myötä. Ensimmäisten *de facto* moratorion jälkeen annettavien, kaupallista levittämistä koskevien lupien ehdot tulevat määrittämään sen, mitä ympäristövaikutusten seurannalta käytännössä edellytetään kaupallisen levittämisen yhteydessä eli kuinka direktiiviä tältä osin tulkitaan. Kansalliset viranomaiset voivat juuri lupapäätösten yhteydessä vaikuttaa ja esittää oman linjansa direktiivin tulkintaan, joten myös Suomessa on nyt syytä pohtia, mitä ympäristövaikutusten seurannassa käytännössä tulee edellyttää. Seuranta koskevat vaatimukset määräytyvät suurilta osin tapauskohtaisesti, mutta direktiivin tulkinnan on tietysti oltava kaikissa tapauksissa johdonmukaista, mistä syystä mm. edellä esitettyjen kysymysten pohtiminen on tärkeää.

Direktiivin vaatimusten täyttämistä käytännössä vaikeuttaa toistaiseksi säädösten tulkinnanvaraisuuden lisäksi se, että GMO:en ympäristövaikutusten seurannasta on vasta vähän kokemusta edes kenttäkokeiden osalta, joten esimerkiksi seurantaan soveltuvien menetelmien, sikäli kun niitä on, toimivuus suuren mittakaavan seurannassa on vielä suuri kysymysmerkki. Tutkimuksessa tulisikin panostaa aiempaa enemmän seurantamenetelmien kehittämiseen ja tarkasteluun. GMO:en ympäristöturvallisuuden takaamiseksi riskinarviointi ei yksin riitä. On itse asiassa kyseenalaista, voidaanko kaupallisia levityksiä pitää ympäristövaikutusten näkökulmasta hyväksyttävänä ennen kuin käytettäviksi suunnitelluista seurantamenetelmistä on saatu tarpeeksi kokemuksia mm. kenttäkokeiden yhteydessä: toiminnan haitattomuudesta kun voidaan olla täysin varmoja vasta, kun ollaan toteutettu luotettava ja kattava seuranta.

Lähteet

- Andow, D.A. ja Alstad, D.N. 1998. The F_2 screen for rare resistance alleles. *Journal of Economic Entomology* 91: 572-578.
- Andow, D.A. ja Hutchison, W.D. 1998. *Bt* corn resistance management. Mellon, M. ja Rissler, J. (toim.): Now or never: serious new plans to save a natural pest control. Union of Concerned Scientists, Two Brattle Square, Cambridge, MA.
<http://www.ucusa.org/publication.cfm?publicationID=308>
- Andow, D.A. 1999. Pro-active monitoring. Presented at the EPA/USDA Workshop on *Bt* Crop Resistance Management. http://www.biotech-info.net/d_andow_comments.pdf
- Andow, D.A. ja Alstad, D.N. 1999. Credibility interval for rare resistance allele frequencies. *Journal of Economic Entomology* 92: 755-758.
- Andow, D.A., Olson, D.M., Hellmich, D.N., Alstad, D.N. ja Hutchison, W.D. 2000. Frequency of resistance to *Bacillus thuringiensis* toxin Cry1Ab in an Iowa population of European corn borer (Lepidoptera: Crambidae). *Journal of Economic Entomology* 93: 26-30.
- APHIS. 1987. 7 CFR Parts 330 and 340. Plant Pests; introduction of genetically engineered organisms or products; final rule. *Federal Register* 52: 22892-22915.
- APHIS. 1993. 7 CFR 340. Genetically engineered organisms and products; notification procedures for the introduction of certain regulated articles; and petition for nonregulated status; final rule. *Federal Register* 58: 17044-17059.
- APHIS. 1997. 7 CFR 340. Genetically engineered organisms and products; simplification of requirements and procedures for genetically engineered organisms; final rule. *Federal Register* 62: 19903-19917.
- Benbrook, C. Essential steps to prevent resistance: *Bt*-transgenic corn varieties.
<http://www.biotech-info.net/ECB.pdf>
- Benbrook, C. 2000. Baby steps: conditions imposed for crop year 2000 on farmers planting *Bt*-transgenic corn for ECB control. http://www.biotech-info.net/baby_steps.pdf
- Bergelson, J., Purrington, C.B. ja Wichmann, G. 1998. Promiscuity in transgenic plants. *Nature* 395: 25.
- Birch, A.N., Geoghegan, I.E., Majerus, M.E., McNicol, J.W., Hackett, C.A., Gatehouse, A.M., Gatehouse, J.A. 1999. Tri-trophic interactions involving pest aphids, predatory 2-spot ladybirds and transgenic potatoes expressing snowdrop lectin for aphid resistance. *Molecular Breeding* 5: 75-83.
- Björklöf, K. ja Jørgensen, K. 2001. Applicability of non-antibiotic resistance marker genes in ecological studies of introduced bacteria in forest soil. *FEMS Microbiology Ecology* 38: 179-188.
- Björklöf, K. 2002. Genetically modified *Pseudomonas* associated with plants: aspects for environmental risk assessment. Väitös. Helsingin yliopisto, Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta, Biotieteiden laitos, Yleisen mikrobiologian osasto. <http://ethesis.helsinki.fi/julkaisut/mat/bioti/vk/bjorklof/genetica.pdf>
- Carpenter, J. ja Gianessi, L. 2000. Herbicide use on Roundup Ready crops. *Science* 287: 803.
- Demanèche, S., Jocteur-Monrozier, L., Quiquampoix, H. ja Simonet, P. 2001. Evaluation of biological and physical protection against nuclease degradation of clay-bound plasmid DNA. *Applied and Environmental Microbiology* 67: 293-299.
- EPA/USDA. 1999. EPA and USDA Position paper on insect resistance management in *Bt* crops. <http://www.pestlaw.com/x/guide/1999/EPA-19990712A.html>
- EPA. 2000. *Bt* Plant-pesticides biopesticides registration action document. http://www.epa.gov/oscpmont/sap/2000/october/brad1_execsum_overview.pdf
- EPA. 2001. Biopesticides Registration Action Document - *Bacillus thuringiensis* Plant-Incorporated Protectants.
- Fernandez-Cornejo, J. ja McBride, W.D. 2000. Genetically engineered crops for pest management in U.S. Agriculture: farm-level effects. Resource Economics Division, Economic Research Service, U.S. Department of Agriculture. Agricultural Economic Report No. 786.

- Fernandez-Cornejo, J., Klotz-Ingram, C. ja Jans, S. 2000. Farm-level effects of adopting genetically engineered crops in the U.S.A. Lesser, W.H. (toim.): Transitions in Agbiotech: Economics of strategy and policy. Proceedings of NE-165 Conference, June 24-25, 1999, Washington, D.C. including papers presented at the International Consortium on Agricultural Biotechnology, Research Conference, June 17-19, 1999, Rome Tor Vergata, Italy. Food Marketing Policy Center, Department of Agricultural and Resource Economics, University of Connecticut and Department of Resource Economics, University of Massachusetts, Amherst.
http://agecon.lib.umn.edu/cgi-bin/pdf_view.pl?paperid=1871&ftype=.pdf
- FIFRA/Scientific Advisory Panel (SAP). 1998. Final report of the FIFRA Scientific Advisory Panel Subpanel on *Bacillus thuringiensis* (Bt) Plant-pesticides and Resistance Management. <http://www.epa.gov/docs/fedrgstr/EPA-MEETINGS/1998/January/Day-14/report5.htm>
- FIFRA/Scientific Advisory Panel (SAP). 1999. Characterization and non-target organism data requirements for protein plant-pesticides. <http://www.epa.gov/scipoly/sap/1999/december/backgrd1.pdf> (Koko raportti "Final Report from the December 8-9, 1999 FIFRA/SAP meeting": <http://www.epa.gov/scipoly/sap/1999/december/report.pdf>)
- FIFRA/Scientific Advisory Panel (SAP). 2001. Sets of scientific issues being considered by the Environmental Protection Agency regarding: Bt plant-pesticides risk and benefit assessments. FIFRA Scientific advisory panel meeting, October 18-20, 2000. SAP Report No. 2000-07. <http://www.epa.gov/scipoly/sap/2000/october/octoberfinal.pdf>
- Gebhard, F. ja Smalla, K. 1999. Monitoring field releases of genetically modified sugar beets for persistence of transgenic plant DNA and horizontal gene transfer. *FEMS Microbiology Ecology* 28: 261-272.
- Gianessi, L.P. ja Carpenter, J.E. 1999. Agricultural Biotechnology: Insect Control Benefits. <http://www.bio.org/food&ag/bioins01.html>
- Gonzales-Cabrera, J., Herrero, J. ja Ferre, J. 2001. High genetic variability for resistance to *Bacillus thuringiensis* toxins in a single population of diamondback moth. *Applied and Environmental Microbiology* 67: 5043-5048.
- González-Núñez, M., Ortego, E. ja Castañera, P. 2000. Susceptibility of Spanish populations of the corn borers *Sesamia nonagrioides* (Lepidoptera: Noctuidae) and *Ostrinia nubilalis* (Lepidoptera: Crambidae) to a *Bacillus thuringiensis* endotoxin. *Journal of Economic Entomology* 93: 459-463.
- Gould, F., Anderson, A., Jones, A., Sumerford, D., Heckel, D.G., Lopez, J., Micinski, S., Leonard, R. ja Laster, M. 1997. Initial frequency of alleles for resistance to *Bacillus thuringiensis* toxins in field populations of *Heliothis virescens*. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA* 94: 3519-3523.
- Gould, F. 2000. Testing Bt refuge strategies in the field. *Nature Biotechnology* 18: 266-267.
- Hellmich, R.L., Siegfried, B.D., Sears, M.K., Stanley-Horn, D.E., Daniels, M.J., Mattila, H.R., Spencer, T., Bidne, K.G. ja Lewis, L.C. 2001. Monarch larvae sensitivity to *Bacillus thuringiensis*-purified proteins and pollen. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA* 98: 11925-11930.
- Hilbeck, A., Baumgartner, M., Fried, P.M., Bigler, F. 1998a. Effects of transgenic *Bacillus thuringiensis* corn-fed prey on mortality and development time of immature *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae). *Environmental entomology* 27: 480-487.
- Hilbeck, A., Moar, W.J., Pusztai-Carey, M., Filippini, A., Bigler, F. 1998b. Toxicity of *Bacillus thuringiensis* Cry1Ab toxin to the predator *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae). *Environmental Entomology* 27: 1255-1263.
- Hilbeck, A., Moar, W.J., Pusztai-Carey, M., Filippini, A., Bigler, F. 1999. Prey-mediated effects of Cry1Ab toxin and protoxin and Cry2A protoxin on the predator *Chrysoperla carnea*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 91: 305-316.
- Holmes, M.T., Ingham, E.R., Doyle, J.D. ja Hendricks, C.W. 1999. Effects of *Klebsiella planticola* SDF20 on soil biota and wheat growth in sandy soil. *Applied Soil Ecology* 11: 67-78.
- Huang, F., Buschman, L.L., Higgins, R.A. ja McCaughey, W.H. 1999. Inheritance of resistance to Bt toxin (Dipel ES) in the European Corn Borer. *Science* 284: 965-966.
- Jansson, J.K., Björklöf, K., Elvang, A.M. ja Jørgensen, K.S. 2000. Biomarkers for monitoring efficacy of bioremediation by microbial inoculants. *Environmental Pollution* 107 : 217-223.
- Jesse, L.C. ja Obrycki, J.J. 2000. Field deposition of Bt transgenic corn pollen: lethal effects on the monarch butterfly. *Oecologia* 125: 241-248.

- Koivisto, R.A., Törmäkangas, K.M. ja Kauppinen, V.S. 2002. Hazard identification and risk assessment procedure for genetically modified plants on the field – GMHAZID. *Environmental Science and Pollution Research* 9: 110-116.
- Liu, Y.-B., Tabashnik, B.E., Dennehy, T.J., Patin, A.L. ja Bartlett, A.C. 1999. Development time and resistance to *Bt* crops. *Nature* 400: 519-520.
- Losey, J.E., Rayor, L.S. ja Carter, M.E. 1999. Transgenic pollen harms monarch larvae. *Nature* 399: 214.
- Marvier, M. 2001. Ecology of Transgenic Crops. *American Scientist* 89: 160-167.
- National Research Council (NRC). 2002. Environmental effects of transgenic plants: the scope and adequacy of regulation. National Academy Press, USA.
- Obrycki, J.J. Losey, J.E., Taylor, O.R., Jesse, L.C.H.. 2001. Transgenic insecticidal corn: beyond insecticidal toxicity to ecological complexity. *Bioscience* 51: 353-361.
- Office of Science and Technology Policy (OSTP). 1986. Coordinated Framework for the Regulation of Biotechnology.
- Pierce, C., Weinzierl, R. ja Steffey, K. 1998. First year results of a survey for European corn borer resistance to *Bacillus thuringiensis*. Proceedings of the Illinois Agricultural Pesticide Conference. Cooperative Extension Service, College of Agricultural, Consumer and Environmental Sciences, University of Illinois at Urbana-Champaign. s. 67-68.
- Rissler, J. 1999. Review of ERS Report. http://www.biotech-info.net/rissler_review2.html
- Rissler, J. ja Mellon, M. 2001. Union of Concerned Scientists comments to the Environmental Protection Agency on the renewal of *Bt*-crop registrations. http://www.ucsus.org/food_and_environment/biotechnology/page.cfm?pageID=317
- Scientific Committee on Plants (SCP). 1999a. Opinion of the Scientific Committee on Plants on the Invocation by Austria of Article 16 ('safeguard' clause) of Council Directive 90/220/EEC with respect to the placing on the market of the Monsanto genetically modified maize (MON810) expressing the *Bt cry1A(b)* gene, notification C/F/95/12-02 (Opinion expressed by the Scientific Committee on Plants on 24 September 1999). http://europa.eu.int/comm/food/fs/sc/scp/out49_en.html
- Scientific Committee on Plants (SCP). 1999b. Opinion of the SCP on *Bt* – resistance monitoring (Opinion expressed on 4 march 1999). http://europa.eu.int/comm/food/fs/sc/scp/out35_en.html
- Sears, M.K., Hellmich, R.L., Stanley-Horn, D.E., Oberhauser, K.S., Pleasants, J.M., Mattila, H.R., Siegfried, B.D. ja Dively, G.P. 2001. Impact of *Bt* corn pollen on monarch butterfly populations: A risk assessment. Proceedings of the National Academy of Sciences 98: 11937-11942.
- Shelton, A.M., Tang, J.D., Roush, R.T., Metz, T.D. ja Earle, E.D. 2000. Field tests on managing resistance to *Bt*-engineered plants. *Nature Biotechnology* 18: 339-342.
- Simmons, A.L., Dennehy, T.J., Tabashnik, B.E., Antilla, L., Bartlett, A., Gouge, D. ja Staten, R. 1998. Evaluation of *Bt* cotton deployment strategies and efficacy against pink bollworm in Arizona. Cotton: A College of Agriculture Report. College of Agriculture, The University of Arizona, Tucson, Arizona. <http://ag.arizona.edu/pubs/crops/az1006/az10067b.html>
- Stanley-Horn, D.E., Dively, G.P., Hellmich, R.L., Mattila, H.R., Sears, M.K., Rose, R., Jesse, L.C.H., Losey, J.E., Obrycki, J.J. ja Lewis, L. 2001. Assessing the impact of Cry1Ab-expressing corn pollen on monarch butterfly larvae in field studies. Proceedings of the National Academy of Sciences 98: 11931-11936.
- USDA. 2000. Genetically engineered crops for pest management in U.S. Agriculture: farm-level effects. Resource Economics Division, Economic Research Service, USDA. Agricultural Economics Report No. 786. <http://www.ers.usda.gov/publications/aer786/aer786.pdf>
- Venette, R.C., Hutchison, W.D. ja Andow, D.A. 2000. An in-field screen for early detection and monitoring of insect resistance to *Bacillus thuringiensis* in transgenic crops. *Journal of Economic Entomology* 93: 1055-1064.
- Wadman, M. 1997. Dispute over insect resistance to crops. *Nature* 388: 817.
- Zhao, J.-Z., Li, Y.-X., Collins, H.L. ja Shelton, A.M. 2002. Examination of the F₂ screen for rare resistance alleles to *Bacillus thuringiensis* toxins in the diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae). *Journal of Economic Entomology* 95: 14-21.

LIITE 1. EU-maissa toteutettuja tai parhaillaan toteutettavia GM-kasvien ympäristövaikutusten arviointiin ja tutkimiseen liittyviä tutkimus- ja kehittämiskokeita aihepiireittäin. (Osa liittyy tekstissä tarkemmin esitelyihin projekteihin).

Geenivirta

Etude de l'effet de la position initiale du site d'insertion de transgènes sur la dispersion par le pollen d'un colza de printemps résistant à des herbicides de la famille des oxynils dans la ravenell (B/FR/97/11/19, B/FR/99/01/06, B/FR/00/01/03). Institut National de la Recherche Agronomique.

Etude de la dispersion d'un gène par le pollen chez le colza résistant au glufosinate-ammonium - matière active de l'herbicide Basta® dans la ravenelle (B/FR/99/01/05). Institut National de la Recherche Agronomique.

Conformity of transgenic rice (*Oryza sativa*) integrating the pat gene that confers resistance to ammonium glufosinate; evaluation of the possibility of pollen exchange with red rice (B/IT/99/12). Istituto di Botanica e Genetica Vegetale. 236.99/236.00

Field trial programme to study the agronomic traits of rice containing pat gene and evaluation of frequency of transfer of the transgenes to non-transgenic plants (B/ES/99/16). Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries (IRTA).

Field trial evaluates the frequency of transfer of the transgenes to the red-rice and to non-transgenic plants (B/ES/00/07).

Evaluation of efficacy and selectivity of glufosinate ammonium on the glufosinate tolerant winter oilseed rape events MS8RF3 and evaluation of the outcrossing risk (B/IT/99/29). AgrEvo Italia S.r.l.

Evaluation of outcrossing risk between glufosinate tolerant spring oilseed rape and not transgenic oilseed rape, and monitoring of transgenic diffusion in agricultural environment (B/IT/00/01). AgrEvo Italia S.r.l.

Safety assessment of the release of transgenic crops spread of herbicide-resistance genes from wheat and foxtail millet to weedy species (B/ES/99/41). Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias y Alimentarias.

Research programme on the glufosinate tolerant rice events LLRice06 and LLRice62 in order to evaluate the efficacy and selectivity of Liberty, breed F2 hybrids and evaluate gene flow (B/IT/00/10). Aventis CropScience Italiana S.p.A..

Evaluation of heterologous gene diffusion from transgenic species into similar populations and wild relatives under natural and controlled conditions (B/IT/00/16, B/IT/00/17). Consiglio Nazionale delle Ricerche.

Conformity of transgenic rice (*Oryza sativa* L. *japonica*) integrating the pat gene that confers resistance to ammonium glufosinate; evaluation of the possibility of pollen exchange with red rice (B/IT/00/13). Università Cattolica S. Cuore.

Evaluation of the possibility of pollen exchange between transgenic rice (*Oryza sativa* L. *japonica* cv. *Ariete*) resistant to glufosinate ammonium and red rice (B/IT/01/01). Università Cattolica S. Cuore.

Fields trial programme evaluates the frequency of transfer of the transgenes to red-rice and non-transgenic plants (B/ES/01/07). Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries (IRTA).

Etude de la dispersion du pollen de colza: effet des distances courtes d'isolement et de la cléistogamie (B/FR/01/08/02). Institut National de la Recherche Agronomique.

Kelpoisuus ja kilpailukyky

Comparison of the agronomic performance of potatoes modified to express an enhanced resistance to fungal pathogens with existing non-modified varieties, grown under standard agronomic conditions (B/GB/00/R1/11). Zeneca Agrochemicals.

Determination of rotational implications of the introduction of transgenic rape with differing fatty acid profiles and the influence of plant pathogens on volunteer survival (B/GB/00/R14/9S). SAC-Aberdeen.

Comparison of potatoes genetically modified to express an enhanced resistance to fungal pathogens with existing non-modified varieties, grown under standard agronomic conditions (B/BE/01/V2). Syngenta Mogen B.V.

Effect of modifications to photosynthesis on plant fitness (B/SE/01/2151). Umeå University.

Relative performance and ecological interaction of transgenic potato lines in comparison with conventional varieties - investigations with fructan producing potatoes (B/DE/01/136). Federal Biological Research Centre for Agriculture and Forestry.

Kuvailulehti

Julkaisija	Suomen ympäristökeskus	Julkaisu-aika Syyskuu, 2002	
Tekijä(t)	Anu Kemppinen, Jyrki Pitkälä ja Marja Ruohonen-Lehto		
Julkaisun nimi	Geenitekniikalla muunnettujen organismien ympäristövaikutusten seuranta		
Julkaisun osat/ muut saman projektin tuottamat julkaisut	Julkaisu on saatavana myös Internetistä: http://www.ymparisto.fi/julkaisut		
Tiivistelmä	<p>Geenitekniikalla muunnettujen organismien (GMO) avointa käyttöä koskevassa direktiivissä 2001/18/EY veloitetaan ilmoittaja vastaamaan seurannan toteuttamisesta, jotta toiminnasta mahdollisesti aiheutuvat suorat ja epäsuorat, välittömästi tai viipeellä ilmenevät ympäristövaikutukset voitaisiin havaita. Seurannan avulla pyritään havaitsemaan paitsi riskinarvioinnissa ennakoitua ympäristövaikutuksia myös odottamattomat vaikutukset. Tuotteita koskevaan ilmoitukseen liitettävän seurantasuunnitelman sisältöä ja laatimista koskevat periaatteet on esitetty direktiivin liitteessä VII ja kyseistä liitettä täydentävissä ohjeissa. Tässä julkaisussa esitellään seurannan tavoitteet ja periaatteet direktiivin pohjalta ja käsitellään seurannan toteuttamisen kannalta oleellisia kysymyksiä. Lisäksi esitellään joitakin EU-maissa toteutettuja tutkimusprojekteja, joissa on tarkasteltu GMO:ien ympäristövaikutuksia tai niihin liittyviä tekijöitä. Tarkoituksena on antaa käsitys siitä, minkälaisiin vaikutuksiin seuranta voisi kohdistua ja kuinka tällaiset vaikutukset voidaan havaita. Lopuksi käsitellään GMO:ien avointa käyttöä koskevaa lainsäädäntöä Yhdysvalloissa sekä erityisesti Bt-kasvien kaupallisen levittämisen ehtoja ja seurantaan koskevia vaatimuksia.</p>		
Asiasanat	GMO, seuranta, seurantavelvoite, ympäristövaikutukset, direktiivi 2001/18/ETY		
Julkaisusarjan nimi ja numero	Suomen ympäristö 621		
Julkaisun teema	Ympäristönsuojelu		
Projektihankkeen nimi ja projektinumero			
Rahoittaja/ toimeksiantaja			
Projektiryhmään kuuluvat organisaatiot			
	ISSN 1238-7312	ISBN 952-11-1384-7	952-11-1385-5 (PDF)
	Sivuja 52		Kieli Suomi
	Luottamuksellisuus Julkinen		Hinta 8 e
Julkaisun myynti/ jakaja	Edita Publishing Oy, PL 800, 00043 EDITA, vaihde 020 450 00. Asiakaspalvelu: puhelin 020 450 05, faksi 020 450 2380. Sähköposti: asiakaspalvelu@edita.fi www.edita.fi/netmarket		
Julkaisun kustantaja	Suomen ympäristökeskus, PL 140, 00251 Helsinki		
Painopaikka ja -aika	Edita Prima Oy, Helsinki 2003		

Presentationsblad

Utgivare	Finlands miljöcentral	Datum September, 2003
Författare	Anu Kemppinen, Jyrki Pitkäjärvi och Marja Ruohonen-Lehto	
Publikationens titel	Geenitekniikalla muunnettujen organismien ympäristövaikutusten seuranta (Övervakningen av miljöeffekter om genetiskt modifierade organismer)	
Publikationens delar/ andra publikationer inom samma projekt	Publikationen finns även på internet. http://www.ymparisto.fi/julkaisut	
Sammandrag	<p>Direktiv 2001/18/EG om avsiktlig utsättning av genetiskt modifierade organismer (GMO) skall implementeras i 2004 i Finland. Direktivet förpliktas verksamhetsidkaren för att ansvara om övervakningen av miljöeffekter som eventuellt orsakas av spridningen av GMO. Syftet med övervakningen är att upptäcka både direkta och indirekta effekter som uppstår genast eller senare i naturen. Med hjälp av riskbedömningen kan man förutse vilka effekter som kan uppstå i naturen. Förutom kända effekter försöker man upptäcka även okända eller oväntade effekter i övervakningen. En övervakningsplan måste bifogas på anmälingen av produkten. Direktivets bilaga VII och dess kompletterande anvisningar ger instruktioner om hur övervakningsplan skall uppgöras och vad den måste omfatta. Den här rapporten presenterar ambitioner och principer av övervakningen på grund av direktivet. Ytterligare behandlas frågor som är relevanta för övervakningens genomföring. I rapporten presenteras även i EU-länderna genomförda forskningsprojekt som gäller effekter av GMO i naturen. Syftet med rapporten är att ge en uppfattning om vilka effekter skall uppföljas och hur sådana effekter kan upptäckas. Till slut behandlas lagstiftningen som gäller den avsiktliga utsättningen av GMO i USA. I USA finns det särskilda villkor för kommersiell spridning av Bt-växter samt krav som gäller övervakningen.</p>	
Nyckelord	GMO, övervakning, miljöeffekter, direktiv 2001/18/EG	
Publikationsserie och nummer	Miljön i Finland 621	
Publikationens tema	Miljövärd	
Projektets namn och nummer		
Finansiär/ uppdragsgivare		
Organisationer i projektgruppen		
	ISSN 1238-7312	ISBN 952-11-1384-7
		952-11-1385-5(PDF)
	Sidantal 52	Språk Finska
	Offentlighet och andra villkor Offentlig	Pris 8 e
Beställningar/ distribution	Edita Publishing Ab, PB 800, FIN-00043 EDITA, Finland Postförsäljningen: Telefon + 358 20 450 05, telefax + 358 20 450 2380 e-mail: asiakaspalvelu@edita.fi , www-server: http://www.edita.fi/netmarket	
Förläggare	Finlands miljöcentral, PL 140, 00251 Helsingfors	
Tryckeri/ tryckningsort och -år	Edita Prima Ab, Helsingfors 2003	

Documentation page

Publisher	Finnish Environment Institute	Date	September, 2003
Author(s)	Anu Kemppinen, Jyrki Pitkämä and Marja Ruohonen-Lehto		
Title of publication	Geenitekniikalla muunnettujen organismien ympäristövaikutusten seuranta (Monitoring environmental effects of genetically modified organisms)		
Parts of publication/ other project publications	The publication is also available in the internet. http://www.ymparisto.fi/julkaisut		
Abstract	<p>Directive 2001/18/EC on the deliberate release into the environment of genetically modified organisms (GMO) obligates the notifier to carry out monitoring in order to detect direct and indirect, immediate or delayed effects of GMOs on the environment. Monitoring aims at detecting effects identified in the risk assessment and possible unexpected effects of the release. In case of GM-products a monitoring plan is designed according to general principles given in Annex VII and its guidance notes. In this publication the objectives and principles of monitoring are considered and issues relevant to implementing monitoring are discussed. In addition, some research projects carried out in EU-countries which have concentrated on environmental effects of GMOs or closely related issues are introduced. The purpose is to give an idea of what types of effects should/could be monitored and how. Finally, US-legislation concerning introduction of GMOs into the environment and the conditions of release are considered.</p>		
Keywords	GMO, monitoring, environmental effects, directive 2001/18/EC		
Publication series and number	The Finnish Environment 621		
Theme of publication	Environmental Protection		
Project name and number, if any			
Financier/ commissioner			
Project organization			
	ISSN 1238-7312	ISBN 952-11-1384-7	952-11-1385-5 (PDF)
	No. of pages 52	Language Finnish	
	Restrictions Public	Price 8 EUR	
For sale at/ distributor	Edita Publishing Ltd. P.O.Box 800, FIN-00043 EDITA, Finland Phone +358 20 450 00, telefax +358 20 450 2380, e-mail: asiakaspalvelu@edita.fi www-server: http://www.edita.fi/netmarket		
Financier of publication	Finnish Environment Institute, P.O.BOX 140, 00251 Helsinki, Finland		
Printing place and year	Edita Prima Ltd, Helsinki 2003		

SUOMEN YMPÄRISTÖ

535. Ohjelma luonnon virkistyskäytön ja luontomatkailun kehittämiseksi. Ympäristöministeriö. 2002.
536. Laukkanen, Tuula: Asunnonomistajien varautuminen vanhuuteensa. Kuopiolaisten asu-
mistavoitteet ja asumisen suunnitelmat ikääntymisen kynnyksellä. Ympäristöministeriö. 2001.
537. Inkeröinen, Jouko & Mäkitalo, Maarit (toim.): Metsien suojelun ja hyödyntämisen arviointi -
esimerkkinä Kainuu ja Koillismaa. Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskus. 2001.
538. Rintala, Jari: Maa-ainesten ottomäärät ja ottamislupatilanne 2000 - maa-aineslain
mukaiset ottoalueet. Suomen ympäristökeskus. 2002.
539. Salminen, Esa: Finnish Expert Report on Best Available Techniques in Slaughterhouses
and Installations for the Disposal or Recycling of Animal Carcasses and Animal Waste.
Suomen ympäristökeskus. 2002.
540. Enontekiön kulttuuriympäristöohjelma. Ympäristöministeriö. 2002.
541. Lapinlampi, Toivo & Raassina, Sami (toim.): Vesihuoltolaitokset 1998 - 2000. Vesilaitokset.
Suomen ympäristökeskus. 2002.
542. Lapinlampi, Toivo & Raassina, Sami (toim.): Vesihuoltolaitokset 1998 - 2000.
Viemärlaitokset. Suomen ympäristökeskus. 2002.
543. Naumanen, Petri; Sorvari, Jaana; Pyy, Outi; Rajala, Päivi, Penttinen, Riina; Tiainen, Jari &
Lindroos, Sirpa: Ampumarata-alueiden pilaantunut maaperä. Tutkimukset ja riskienhal-
linta. Pohjois-Karjalan ympäristökeskus. 2002.
544. Kokko, Aira; Mäkelä, Katariina & Tuominen, Seppo: Aluskasvillisuuden seuranta Suomen
ympäristön yhdenntetyn seurannan alueilla 1988-1998. Suomen ympäristökeskus. 2002.
545. Elinympäristön seurannan kehittäminen. Työryhmän raportti. Ympäristöministeriö. 2002.
546. Hakala, Irina: Selvitys parhaasta käytettävissä olevasta tekniikasta (BAT) Suomen kuuma-
sinkityslaitoksissa vuonna 2001. Suomen ympäristökeskus. 2002.
547. Hassinen, Viivi: Raskasmetallien fytoimediaation hyödyntämismahdollisuudet. Pohjois-
Savon ympäristökeskus. 2002.
548. Kaasutyöryhmän loppuraportti. Kehittämisehdotuksia kansalliseksi järjestelmäksi koskien
kasvihuonepäästötietojen laskemista. Ympäristöministeriö. 2002.
549. Pajari, Mika: Suomen uhanalaisia lajeja: Muurahaissinisiiپی (*Maculinea arion*). Suomen
ympäristökeskus. 2002.
550. Molarius, Riitta & Poussa, Liisa: Merkittävät pohjaveden pilaantumistapaukset Suomessa
1976-2000. Pirkanmaan ympäristökeskus. 2001.
551. Lindholm, Arto: Finland in EU Environmental Policy. Ympäristöministeriö. 2002.
552. Hellstén, Pasi; Nystén, Taina; Kokkonen, Pauliina; Valve, Matti; Laaksonen, Timo; Määttä,
Taimi & Miettinen, Ilkka: Vaihtoehtoisten liukkaudentorjunta-aineiden kulkeutuminen
pohjaveteen. Suomen ympäristökeskus. 2002.
553. Lehmuskoski, Miia; Päivänen, Jani & Regårdh, Elina: Sorakuopasta asuinalueeksi. Tuusu-
lan Nummenharjun asunomessualueen seurantaraportti. Ympäristöministeriö. 2002.
554. Blinnikka, Päivi: Jäteneuvonta 2002-2006. Ympäristöministeriö. 2002.
555. Rönkä, Kimmo & Kallio, Riikka: Hissi meidän taloon? Kyselytutkimus vanhan kerrostalon
asukkaille ja taloyhtiöille. Ympäristöministeriö. 2002.
556. Välimäki, Jari: Tiedon mitalla kestävyys. Ympäristöministeriö. 2002.
557. Vuori, Kari-Matti; Kotanen, Juho; Hammar, Taina; Heinonen, Pertti; Herve, Sirpa;
Kanninen, Antti; Kauppi, Marja; Koskinen, Marika; Manninen, Pertti; Niinioja, Riitta;
Pietiläinen, Olli-Pekka; Törrönen, Jouni & Vaskinen, Esko: Vesistöjen ekologisen tilan arvi-
ointi ja seuranta. Vesipolitiikan puitteiden direktiivin toimeenpanon testaus Vuoksen vesistö-
alueella. Pohjois-Karjalan ympäristökeskus. 2002.
558. Suomen biologista monimuotoisuutta koskevan kansallisen toimintaohjelman toteutumi-
nen vuosina 2000-2001. Toinen seurantaraportti. Ympäristöministeriö. 2002.
559. Korpinen, Päivi; Koponen, Jorma; Kiirikki, Mikko; Sarkkula, Juha; Peltoniemi, Hannu;
Väänänen, Paula & Gästgifvars, Maria: HESPO vesistömalli: Ympäristöriskien ja rehevöi-
tymiskehityksen arviointi Helsinki-Espoo-Tallinna merialueella. Suomen ympäristökeskus. 2002.
560. Ulvinen, Tauno; Syrjänen, Kimmo & Anttila, Susanna (toim.): Suomen sammat -
levinneisyys, ekologia, uhanalaisuus. Suomen ympäristökeskus. 2002.
561. Tanskanen, Heikki: Pohjois-Savon lasketut järvet ja järvenlaskun vaikutusmekanismit.
Pohjois-Savon ympäristökeskus. 2002.
562. Qvick, Paula: Kuopion seudun rakenneselvitys. Kuopion seudun maakuntakaava. 2002.
563. Rantakokko, Kari (toim.): Tulvavesien tilapäinen pidättäminen valuma-alueella. Kartoitus
mahdollisuuksista Suomen oloissa. Suomen ympäristökeskus. 2002.
564. Mikkola, Hannu; Puumala, Maarit; Kallioniemi, Marja; Grönroos, Juha; Nikander, Antero
& Holma, Markku: Paras käytettävissä oleva tekniikka kotieläintaloudessa. Suomen
ympäristökeskus. 2002.
565. Maankäyttö- ja rakennuslain toimivuus. Arvio laista saaduista kokemuksista. Ympäristö
ministeriö. 2002.
566. Korhonen, Johanna: Suomen vesistöjen lämpötilaolot 1900-luvulla. Suomen ympäristö
keskus. 2002.
567. Kleemola, Sirpa & Forsius, Martin (eds); 11th Annual Report 2002. UN ECE Convention on
Long-range Transboundary Air Pollution. International Cooperative Programme on
Integrated Monitoring of Air Pollution Effects on Ecosystems. Suomen ympäristökeskus. 2002.
568. Penttinen, Riina; Kallio-Mannila, Kaija & Nikander, Antero: Ravinnon tuotanto-olosuhteet
ja turvallisuus - ympäristöongelmien vaikutukset Suomessa. Suomen ympäristökeskus. 2002.

569. Suomen Itämeren suojeleuohjelma. Valtioneuvoston periaatepäätös. - Finlands program för skydd av Östersjön. Statsrådets principbeslut. Ympäristöministeriö. 2002.
570. Finland´s Programme for the Protection of the Baltic Sea. The Finnish Government´s decision-in-principle. Ympäristöministeriö. 2002.
571. Vuori, Kari-Matti: Vesisammal- ja vesiperhosmenetelmät jokivesistöjen haitallisten aineiden riskinarvioinnissa ja seurannassa. Länsi-Suomen ympäristökeskus. 2002.
572. Numeerinen maakuntakaava. Ympäristöministeriö. 2002.
573. Harmaaajärvi, Irmeli; Huhdanmäki, Aimo & Lahti, Pekka: Urban form and greenhouse gas emissions. Summary. Ympäristöministeriö. 2002.
574. Rautanen, Sanna-Leena: Haja-asutusalueet ja jätevesien käsittely - kokemuksia kunnista. Suomen ympäristökeskus. 2002.
575. Silvennoinen, Heli & Hirvonen, Jukka: Koti kerrostalossa. Asukkaiden arjen kokemuksia asumisestaan. Ympäristöministeriö. 2002.
576. Huuska, Petteri & Forsius, Kaj: Review of progress at industrial hot spots. Suomen ympäristökeskus. 2002.
577. Gromtsev, Andrei, N. (ed.): Natural complexes, flora and fauna of the proposed Kalevala National Park. Suomen ympäristökeskus & Karelian Research Centre. 2002.
578. Lyytikäinen, Veli & Vuori, Kari-Matti: Näkinsammalten siirtoistutus metsäpurojen ekologisen kunnostuksen menetelmänä. Pohjois-Karjalan ympäristökeskus. 2002.
579. Monitoring the living environment. Shortened version of the working group report. Ympäristöministeriö. 2002.
580. Rakennus- ja kiinteistöalan ekotehokkuus. Ympäristöministeriö. 2002.
581. Mähönen, Outi (toim.): AMAP II - Lapin ympäristön tila ja ihmisen terveys. Lapin ympäristökeskus. 2002.
582. Rastas, Tarja: Maahanmuuttajien asunnottomuus Helsingissä. Ympäristöministeriö. 2002.
583. Etelä-Suomen, Oulun läänin länsiosan ja Lapin läänin lounaisosan metsien monimuotoisuuden turvaamisen toimintaohjelma. Ympäristöministeriö. 2002.
- 583sv. Handlingsplan för att säkra biodiversiteten i skogarna i södra Finland, västra delen av Uleåborgs län och sydvästra delen av Lapplands län. Ympäristöministeriö. 2002.
584. Ympäristölainsäädännön soveltaminen tuulivoimarakentamisessa. Työryhmän mietintö. Ympäristöministeriö. 2002.
585. Koskela, Sirkka; Seppälä, Jyri & Leivonen, Jorma: Ympäristövaikutukset rakennusten ekotehokkuuden arvioinnissa • Seppälä, Jyri & Huovila, Pekka: Päätösanalyysin käyttö rakennusten ekotehokkuuden arvioinnissa. Suomen ympäristökeskus. 2002.
586. Frisk, Tom; Klavinš, Māris ; Rodinov, Valery ; Kokorīte, Ilga & Briede, Agrita: Long Term Changes of Hydrologic Regime and Aquatic Chemistry in Inland Waters of Latvia. Pirkanmaan ympäristökeskus. 2002.
587. Korpinen, Päivi; Kiirikki, Mikko; Koponen, Jorma; Sarkkula, Juha & Väänänen, Paula: Rehevöitymiskelityksen arviointi Kotkan ja Porvoon merialueilla 3D-vesistömallin avulla. Suomen ympäristökeskus. 2002.
588. Ilmansuojeleuohjelma 2010. Valtioneuvoston 26.9.2002 hyväksymä ohjelma direktiivin (2001 / 81 / EY) toimeenpanemiseksi. Ympäristöministeriö. 2002.
- 588sv. Luftvårdsprogrammet 2010. Program godkänt av statsrådet 26.9.2002 för genomförande av direktiv 2001 / 81 / EG. Ympäristöministeriö. 2002.
- 588e. Air Pollution Control Programme 2010. The Finnish National Programme for the implementation of Directive 2001 / 81 / EC, approved by the Government on September 26, 2002. Ympäristöministeriö. 2002.
589. Päivänen, Jani; Kurki, Hannu & Virrankoski, Lauri: Parempaan kaupunginosaan. Aluefoorumi kehittämisen menetelmänä. Ympäristöministeriö. 2002.
590. Suoninen, Tanja; Porttikivi, Reijo; Särkioja, Aarno & Taipalinen, Irmeli: Tarinaharjun golf kentän pinta- ja pohjavesivaikutukset. Loppuraportti. Pohjois-Savon ympäristökeskus. 2002.
591. Maatalousalueiden luonnon monimuotoisuuden yleissuunnitteluopas. Ympäristöministeriö. 2002.
- 591sv. Handbok i översiktsplanering av naturens mångfald i jordbruksområden. Ympäristöministeriö. 2003.
592. Rintala, Jari: Maa-ainesten ottomäärät ja ottamislupatilanne 2001 - maa-aineslain mukaiset ottoalueet. Suomen ympäristökeskus. 2002.
593. Rautiainen, Veli-Pekka; Rytteri, Terhi, Kurtto, Arto & Väre, Henry (toim.): Putkilokasvien uhanalaisuuden arviointi - lajikohtaiset perustelut. Suomen ympäristökeskus. 2002.
594. Ikonen, Iiro: An Assessment of the Favourable Conservation Status of the Rekijoki River Valley Habitats. Lounais-Suomen ympäristökeskus. 2002.
595. Lampinen, Seppo; Saarlo, Anna; Vehmas, Anne & Karppinen, Seppo: Osallistuminen eheyttävässä suunnittelussa. Ympäristöministeriö. 2003.
596. Asanti, Timo; Gustafsson, Esko; Hongell, Harri; Hottola, Petri; Mikkola-Roos, Markku; Osara, Matti; Ylimaunu, Juha & Yrjölä, Rauno: Kosteikkojen linnuston suojeleuarvo. Suomen ympäristökeskus. 2003.
597. Natura 2000 -alueiden hoito ja käyttö. Työryhmän mietintö. Ympäristöministeriö. 2002.
598. Heinonen, Sirkka; Kasanen, Pirkko & Walls, Mari: Ekotehokas yhteiskunta. Ympäristöklusterin kolmannen ohjelmakauden esiselvitysraportti. Ympäristöministeriö. 2002.
600. Lepistö, Liisa; Jokipii, Reija; Niemelä, Maija; Vuoristo, Heidi; Holopainen, Anna-Liisa; Niinioja, Riitta; Hammar, Taina; Kauppi, Marja & Kivinen, Jarmo: Kasviplankton järvien ekologisen tilan kuvaajana. Vuoksen vesistöalueen vuosien 1963-1999 seuranta-aineiston käyttö arvioinnissa ja luokittelussa. Suomen ympäristökeskus. 2003.

YMPÄRISTÖN-
SUOJELU

Geenitekniikalla muunnettujen organismien ympäristövaikutusten seuranta

Maaliskuussa 2001 voimaan astuneen direktiivin 2001/18/EY mukaan geenitekniikalla muunnettujen organismien (GMO) tarkoituksellista levittämistä koskevan ilmoituksen tulee sisältää seurantasuunnitelma. Kaupallisessa tarkoituksessa levitettävien GMO:en kohdalla seurannan tavoitteet ja periaatteet on esitetty direktiivin liitteessä VII sekä sitä täydentävissä ohjeissa. Seurannan avulla pyritään varmistamaan riskinarvioinnin paikansäilyvyys sekä havaitsemaan toiminnasta mahdollisesti aiheutuvat odottamattomat ympäristövaikutukset. Kaupallisesti levitettävien GMO:en seuranta koostuu riskinarvioinnin perusteella määräytyvästä tapauskohtaisesta erityisseurannasta sekä ns. yleisestä seurannasta. Seurannan asianmukainen toteuttaminen on ilmoittajan vastuulla. Suomen ympäristökeskus tulee Suomen geenitekniikkalain uudistamisen myötä valvomaan seurannan toteuttamista ympäristövaikutusten osalta.

Tässä julkaisussa on esitelty seurannan tavoitteet ja yleiset periaatteet sekä käsitelty seurannan toteuttamisen kannalta oleellisimpia kysymyksiä. Lisäksi on esitelty EU-maissa toteutettuja GMO:en ympäristövaikutuksiin liittyviä kenttäkokeita ja tutkimusprojekteja. Niistä saatuja kokemuksia voidaan hyödyntää seurannan toteuttamisen suunnittelussa sekä seurantaan soveltuvia menetelmiä kehitettäessä. Lopuksi on käsitelty GMO:en kaupallista levittämistä Yhdysvalloissa ympäristövaikutusten ja seurannan näkökulmasta. Julkaisu on tarkoitettu erityisesti viranomaisten ja toiminnanharjoittajien käyttöön.

Julkaisua on saatavissa myös Internetissä:
<http://www.ymparisto.fi/julkaisut>

ISBN 952-11-1384-7
ISBN 952-11-1385-5 (PDF)
ISSN 1238-7312

Edita Publishing Oy
PL 800, 00043 EDITA, vaihde 020 450 00
Asiakaspalvelu:
pyhelin 020 450 05
Edita-kirjakauppa Helsingissä:
Annakatu 44, puhelin 020 450 2566