

Tallinna Pedagoogikaülikool
Matemaatika-loodusteaduskond
Keskkonnakorralduse lektoraat

Katrin Ritso

**Põllumajanduses kasutatavatest geneetiliselt
muundatud organismidest tulenev ökoloogiline risk**

Diplomitöö

Juhendaja: professor Toomas Veidebaum
Kaasjuhendaja: M. Sc Andres Õunmaa

Tallinn 2004

SISUKORD

Sissejuhatus.....	3
Uurimismetoodika	4
1 Geneetiliselt muundatud organismide mõiste, nende tekke- ja ajalugu.....	5
1.1 Biotehnoloogia ja geneetiliselt muundatud organismide ajalugu	5
1.2 Geneetiliselt muundatud organismide tekkemehhanism	7
2 Ökoloogilise riski hindamine.....	9
3 Ökoloogiline risk	13
3.1 Sissetungimine ökosüsteemi	16
3.2 Vertikaalne geenide ülekanne	17
3.3 Horisontaalne geenide ülekanne	20
3.4 Sekundaarne ökoloogiline mõju	21
3.5 Superkahjurid ja superhaigused	23
3.6 Mõju bioloogilisele mitmekesisusele.....	25
4 Ökoloogiliste riskide ennetamis- ja leevendusvõimalused	28
5 Analüüs	32
5.1 Hinnang geneetiliselt muundatud organismidest tulenevatele riskidele.....	32
5.2 Soovitused Eestis geneetiliselt muundatud organismide poliitika välja kujundamiseks	35
Kokkuvõte.....	37
Summary	39
Kasutatud kirjandus	41

SISSEJUHATUS

Käesolev diplomitöö käsitleb hetkel kogu maailmas väga aktuaalset teemat, mille üle teadlased jätkuvalt vaidlevad. See on küsimus geneetiliselt muundatud organismide (GMO) mõjust elusloodusele. On kaks vastukäivat seisukohta – ühed leiavad, et geneetiliselt muundatud organismid on suured kasusaamise allikad (nii majanduslikus kui looduskaitsealises mõttes) ja ei näe nendes ohtu elusloodusele, teised aga arvavad, et GMOd sisaldavad ohte elusloodusele ja hetkel ei osata ennustada tegelikke riske. Vaidlusteema seisneb küsimuses, kas GMOsid võiks vabasse loodusesse lasta ilma, et nad tekitaksid kahju praegusele looduskeskkonnale.

Töö ei kajasta autori suhtumist GMOsse, vaid toob välja võimalikud ökoloogilised ohud, mis GMOde kasutamisega põllumajanduses võivad kaasneda. Analüüsitakse GMOdest tulenevaid ökoloogilisi riske, nende suurust ja tõenäosust ning leevendamisevõimalusi. Uurimuse eesmärgiks on anda vastus küsimusele, kas eestlased peaksid võtma põllumajanduses kasutusele uudsed geneetiliselt muundatud taimed või jätkama traditsioonilise põllumajandusega. Juhul kui otsustatakse GMOd loodusesse lasta, siis kas on aspekte, mille pärast peaks muret tundma.

Teemavalik osutus selliseks, kuna tegemist on väga huvitava valdkonnaga, mille ümber käivad hetkel Euroopas ja kogu maailmas suured arutelud. Paraku on vaidlus kohati argumenteerimata ning tausta on vähe uuritud. Seega püüab autor anda ülevaate GMOdest ja nendest tulenevatest riskidest, riskihindamisest ja riski leevendamisest ning pakub välja mõningad soovituselised Eesti GMO-poliitika kujundamiseks.

Kuna valdkond on niivõrd uudne, siis peamiseks allikateks on inglisekeelsed teadusajakirjad ning internet. Eestis vastav kirjandus puudub. Mõnede artiklite puhul on kasutatud Tartu Ülikooli Raamatukogu VRL teenust, mille kaudu saab välismaistest raamatukogudest kirjandust tellida. Lisaks kasutatakse raamatuid: Jeremy Rifkin "Biotehnoloogia sajand" ja Daniel Querol "Genetic Resources Our Forgotten Treasure".

UURIMISMETOODIKA

Käesoleva tööga avab autor geneetiliselt muundatud organismide, riski, ökoloogilise riski, geneetiliselt muundatud organismidest tuleneva ökoloogilise riski, ohu, riskihindamise, vertikaalse ja horisontaalse geenide ülekande ning sekundaarse ökoloogilise mõju mõisted, annab ülevaate geneetiliselt muundatud organismide väljakujunemise ajaloost ja tekkemehhanismist, ökoloogilise riskihindamise protsessist, GMOdest tulenevatest riskidest ning nende ennetus- ja leevendusvõimalustest. Lisaks pakub autor välja Eesti loodustingimustele sobiva GMO-poliitika kujundamiseks mõningaid põhimõtteid, mida peaks järgima.

Lisaks suure hulga faktide välja toomisele analüüsib autor erinevate riskide kaalukust ja tõenäosust ning annab omapoolse hinnangu geneetiliselt muundatud organismidest tulenevate ökoloogiliste riskide ja nende ilmnemise kohta. Töös kajastatud informatsiooni ja analüüsi alusel annab autor vastuse küsimusele, kas Eestis peaks kasutusele võtma geneetiliselt muundatud organismid.

Kuna käesolev diplomitöö on koostatud peamiselt võõrkeelsetest teadusajakirjadest ja loodusteaduslike organisatsioonide interneti kodulehekülgedelt saadud materjalide põhjal, on töö oluliseks eestikeelseks koondatud informatsiooni kandjaks, mida saab kasutada nii koolides õppematerjalina kui ka kiire võimalusena ennast temaga kurssi viia. Töö võib olla kasulikuks algmaterjaliks ka Eesti GMO-poliitika väljakujundamisel.

1 GENEETILISELT MUUNDATUD ORGANISMIDE MÕISTE, NENDE TEKKE- JA AJALUGU

GMO-d ehk geneetiliselt muundatud organismid on elusolendid, sh taimed ja ka nendest saadud tooted, nt loomasööt, mille pärilikkuse ainele on biotehnoloogiliste meetodite abil kunstlikult lisatud teiste elusolendite pärilikkuse ainet või mille pärilikkuse ainest on mingi osa eemaldatud või muul viisil nüüdisaegse geenitehnoloogia abil muudetud (Genetics Society of America). Loodus neid ise ei loo, seega kahe taime hübriide ei loeta selles mõttes GMOdeks (Eek-Piirsoo 2000).

1.1 Biotehnoloogia ja geneetiliselt muundatud organismide ajalugu

Geneetiliselt muundatud organismide loomise oskus on üsna noor. Vaid veerand sajandit tagasi õppisid teadlased geene omatahtsi muutma või ühest organismist teise üle viima (EL GMO poliitika). Enne sellise oskuse väljakujunemist tegeleti (tegeletakse ka tänapäeval) sordiaretusega, mistõttu peetakse seda geneetilise manipulatsiooni eelkäijaks. Sordiaretus piirdus enamasti samasse sugukonda kuuluvate taimegeenidega, kuid geenitehnoloogia tegeleb looduses leiduvate geenide ülekandega, hoolimata liikidevahelistest barjääridest. (Truve 2004)

Üks olulisemaid edasiviivaid samme, tänu millele biotehnoloogia areng üldse võimalikuks sai, toimus 1953. aastal, mil Watson ja Crick avastasid DNA kaksikheeliksi (Hulse 2004). Samal kümnendil leidsid bioloogid mitmeid moodused, mille abil kromosoomide ja geene identifitseerida ja lokaliseerida (Rifkin 2000).

Viiekümnendate aastate keskel hakkasid tsütoloogid – bioloogid, kes uurivad rakkude elu ja talitust – katsetama meetodeid, mille abil eraldada kromosoomid ülejäänud rakuosadest ja säilitada nad sellisel kujul, mis võimaldab nende hilisemat mikroskoopilist uurimist. (Rifkin 2000)

1968. aastal võtsid Rootsis asuva Karolinska Instituudi tsütokeemikud dr. Torbjörn O. Caspersson ja dr. Lore Zech esimesena kasutusele kromosoomide identifitseerimismeetodi, mis avas ukse geenide kaardistamiseks (Rifkin 2000). Selle sündmusega algas suur võidujooks, mille käigus kaardistati kõikvõimalike organismide geene ning mis kulmineerus inimgenoomi täieliku identifitseerimisega.

Esimene geen klooniti 1973. aastal ning 1974. aastal saadeti kloonitud geen võõra bakteri tüvesse (Hulse 2004). Tööstuslikule reaalsusele astus nimetatud uus tehnoloogia sammukese lähemale 22. veebruaril 1997, mil 52-aastane Šoti embrüoloog Ian Wilmut teatas esimesest edukast imetaja kloonimisest ajaloos – maailmakuulsast lambast Dolly. Dolly sünd kujutab endast olulist etappi inimkonna liikumisel biotehnoloogiasajandi poole, muutes võimalikuks imetajate identsete koopiate masstootmise, kusjuures iga koopia on eristamatu originaalist. (Rifkin 2000)

Tänapäeval kulutatakse kogu maailmas miljoneid dollareid teaduslikule uurimistööle, mille eesmärgiks on lokaliseerida, märgistada ja identifitseerida paljude bioloogilise maailma esindajate geenid ja nende funktsioonid. Geneetilistesse andmebaasidesse koondatakse tohutud taimede, loomade ja inimeste geenide kohta käivad andmehulgad, et kasutada neid saabuval “uuel ajastul” määrava tähtsusega toormena. (Rifkin 2000)

Lisaks uuematele geenide isoleerimise, identifitseerimise ja säilitamise meetoditele on tänapäeval teadlaste käsutuses ka meetodid geenidega manipuleerimiseks ja nende transformeerimiseks. Üks tähelepanuväärsemaid nende seas on rekombinantse DNA tehnoloogia. Teadlased võtsid kaks mittesugulasorganismi, kes omavahel looduslikus keskkonnas ei paaritu, isoleerisid mõlemalt DNA lõigu ja rekombineerisid omavahel kahe organismi geneetilise materjali. (Rifkin 2000)

Kõige suuremat initsiatiivi geneetilise manipulatsiooni arendamisel ja kasutamisel on üles näidanud ameeriklased. Ligikaudu 70% sealsest rahvastikust tarbib GM-toitu. 1999. aastal moodustas USAs GMO põldude all olev maa 72% kogu maailma GM-kultuuride põllupinnast

(Environmental and Occupational Health 2003). Teadlased tegelevad igapäevaselt uute kasulikuks osutada võivate geenikombinatsioonide otsimise ja nende omavahel kombineerimisega.

1.2 Geneetiliselt muundatud organismide tekkemehhanism

Geenmuundatud taime saamise protsess on lühidalt järgmine (vt joonis 1). Mõne organismi genoomist on eraldatud geen või geeniosa, mida uurinud teadlased on jõudnud järeldusele, et see DNA-lõik kannab bioloogilist tunnust, mis võiks näiteks teatud põllumajandussordile anda mingi lisaväärtuse. Nüüd viiakse (kloneeritakse) see DNA-lõik nn. vektorisse. Vektorid on enamasti iseseisvad bakteriaalsed DNA-molekulid, mille väikeste mõõtmetega rõngakujuline hästi paljunev molekul muudab nad suurepäraseks geenitehnoloogia tööriistaks. (Truve 2004)

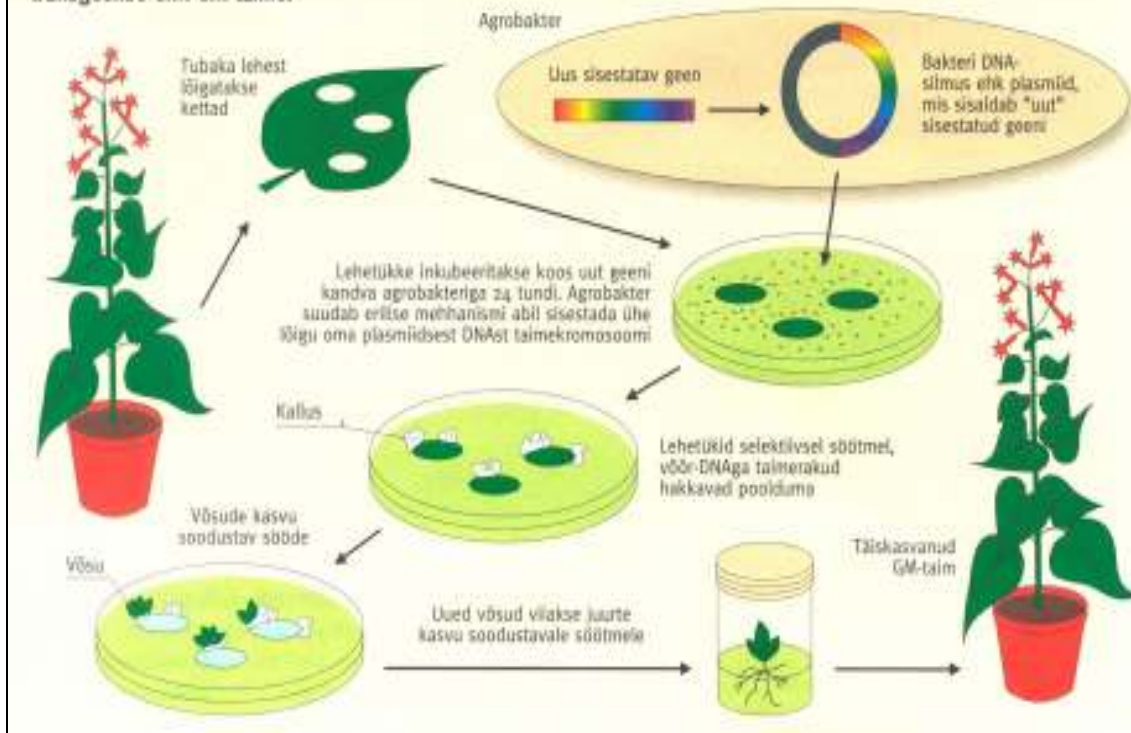
Olles meid huvitava geenijupi teatud ensüümide abil “kleepinud” sellise vektori koosseisu ning paljundanud saadud uudse molekuli bakterirakkudes, on aeg viia saadud pärilikkusaine taime rakku. Võõr-DNA-d on võimalik rakku viia mitmel viisil:

- agrobakteri abil, mis on üsna looduslik viis sisestada geneetilist infot püsivalt taimerakku,
- biolistilisel meetodil – võõr-DNA “pommitatakse” metallipartiklite külge seotuna taimerakkudesse. (Truve 2004)

Esimesel juhul liigub geen rakutuuma tavalist tuumatransporti kasutades. Kromosoomi siseneb DNA tänu igas rakus toimuvale DNA-rekombinatsioonile. Niisiis ei pea teadlased olema geeni Frankensteinid, et GM-taimi teha. Küll aga on vaja tunda geneetikat ja rakubioloogiat, et aru saada rakus toimuvatest protsessidest. (Truve 2004)

GM-taime valmistamine

Et eraldada DNA-ahelast siirdamiseks vajalikke geene, kasutatakse restriktsoonensüüme, mis lõikavad DNA-ahela soovitud kohast lahti ja vallvad vajalikud geenid. Need DNA-lõigud viiakse bakteri DNAsse – plasmidi. Bakter paljuneb kiiresti ja lühikese aja jooksul valmistatakse tuhandeid "uue" geeni koopiaid. Plasmidis sisalduv DNA-lõik koos "uue" geeniga kantakse agrobakteri vahendusel taimerakkudesse, mis võimaldab saada transgeense ehk GM-taime.



Joonis 1 Põhimõtteline GM-taime valmistamise meetoodika (Truve 2004)

2 ÖKOLOOGILISE RISKI HINDAMINE

Ökoloogiline risk on stressori potentsiaalne võime tekitada kahju elustikule, ökosüsteemile või loodusressursile. Ökoloogiline risk ei käsitle inimest ja tema tervist.

Riskihindamine on multidistsiplinaarne teadus, mis hõlmab endas füüsikat, toksikoloogiat, bioloogiat, matemaatilisi mudeleid ja infotehnoloogiat (Peterson). Riskihindamise protsess analüüsib identifitseeritud ohtude realiseerumise tõenäosust vastava agendi keskkonda sattumise puhul (UK Joint Regulatory Authority and Secretariat to ACRE 2000). Matemaatiliselt võib riski väljendada järgmise tehtega:

Risk = tõenäosus * tagajärjed =
= sündmuse toimumise tõenäosus * sündmusest tingitud (negatiivne) mõju (Wachbroit 1991, Conner, Glare, Nap 2003 järgi).

Riskihindamise protsess toimub samm sammult ning see koosneb järgmistest etappidest:

- probleemi sõnastamine;
- ohu määratlemine;
- annus-tagajärg seose leidmine;
- eksponeerituse hindamine;
- riski iseloomustus (Peterson).

Üks geneetiliselt muundatud organismidest põhjustatud ökoloogilise riski definitsioone on järgmine. Transgeeni sisaldava taime poolt põhjustatud ökoloogiline oht avaldada ökosüsteemile negatiivset mõju võrrelduna endise olukorraga (*status quo*). Võrdlus endise olukorraga on tähtis, kuna tänapäevane põllumajandus on juba oluliselt loodust muutnud. (Hails 2000)

Muundatud põllukultuuri mõju võib olla otsene, läbi suurenenud sissetungimisvõime, või kaudne, põllumajandustavade muutumise tõttu. Ökoloogilist riski klassifitseeritakse kolme

grupp:

- taime genoomis toimuvad korrastused;
- transgeenide siirdumine metsikutesse sugulastesse (tõenäosus ja tagajärjed);
- mõju ökosüsteemis laiemalt – mittesihthark liikidele. (Hails 2000)

Riskihindamise eesmärk on määratleda ja hinnata geneetiliselt muundatud organismidest tulenevat potentsiaalset negatiivset mõju. Mõju võib olla nii otsene kui kaudne, koheselt ilmnev või pikema aja vältel. Arvesse tuleb võtta ka kumulatsiooni ja kroonilist mõju. Riskihindamine vaatleb, kuidas GMO on aretatud ja testib toote igast geenist tulenevaid omadusi eraldi. Samas arvestab ka võimaliku geeniülekanne tagajärjel tekkida võivate ilmingutega. Geneetiliselt muundatud organismide riski kindlaksmääramiseks on oluline identifitseerida kõik karakteristikud, mis võivad negatiivset mõju esile kutsuda, hinnata potentsiaalseid tagajärgi ja nende avaldumist. (Renault 2002)

Ökoloogilise riski hindamise ülesanded on:

- identifitseerida tegevuse, aine või organismi sisemised omadused, mis võivad põhjustada keskkonnale negatiivset mõju;
- hinnata selle tegevuse, aine või organismi keskkonda pääsemisest ja kasutamisest tingitud mõju ilmnemise tõenäosust;
- hinnata eksponeerituse puhul esilekerkiva võimaliku kahju ulatust;
- eelnevate punktide alusel hinnata kogu riski (UK Joint Regulatory Authority and Secretariat to ACRE 2000).

Tootes või tootena kasutatud geneetiliselt muundatud organismide ökoloogilise riski hindamine sõltub selle hilisemast rakendusviisist. Enamus toodetest, näiteks seemned, turule minev saak, toiduained ja erinevate tööstusvaldkondade jaoks tehtavad poolfabrikaadid, on hinnatud Euroopa Liidu direktiivi 90/220/EEC järgi, mis on tänaseks juba asendatud direktiiviga 2001/18/EEC. (Spoek et al 2003) Euroopa Liidu direktiiv 90/220/EEC sätestab, et enne GMO, GMOD sisaldava või GMOst koosneva toote keskkonda või turule laskmist peab läbi tegema iga juhtumi kohta eraldi (*case-by-case*) üksikasjaliku (*step-by-step*) riskihindamise (Renault 2002). Iga juhtumit hinnatakse vastavalt olemasolevatele tingimustele. See aga ei

tähenda seda, et eelnevaid kogemusi (keskkonda viimisi) arvesse ei võeta. (UK Joint Regulatory Authority and Secretariat to ACRE 2000)

Cartagena protokoll (2000) sätestab, et enne muundatud elusorganismi esmakordset keskkonda viimist tehakse läbi riskianalüüs. Riskianalüüs tuleb läbi viia teaduslikult usaldusväärsel ning arusaadaval viisil ning selle käigus võib arvesse võtta asjakohaste rahvusvaheliste organisatsioonide ekspertnõuandeid ja nende poolt välja töötatud juhiseid (Cartagena protokoll 2000).

On oluline mainida, et tänaseni pole ühtegi rahvusvahelist GMO riskihindamise standardit lõpuni välja töötatud. Riskihindamine on peamine meetod geneetiliselt muundatud organismidest tuleneva ohu hindamiseks. (Zakri 2001) Uurimused näitavad, et erinevates ekspertide gruppides on riski taju äärmiselt erinev, seega on individuaalsed väärtused, motiivid ja olukorrad sama olulised kui teadmised ja asjatundlikkus (Conner, Glare, Nap 2003).

Tihti kirjeldatakse riskihindamist kui rangelt teaduslikku protsessi, millega antakse ohu ilmnenemise tõenäosuse kvantitatiivne väärtus ning sellest tuleneva mõju tähtsus. Tegelikult on see protsess sageli mõjutatud sotsiaalsetest ja poliitilistest faktoritest, nagu näiteks väärtustest, oletustest ja varasematest kohustustest. (Zakri 2001)

Üldiselt peaks GMOst tulenev ökoloogiline risk olema hinnatud, arvestades suurt hulka potentsiaalseid mõjusid, sealhulgas mõju bioloogilise mitmekesisuse ja kultuurtaimede eellaste kasvukeskustele ning mittesihhtmärk liikidele (organismidele), suurenevale umbrohustumisele, sissetungimisvõimele või geenide üleminekule sugulastaimedele. Esmapilgul tundub see tihtisiteeritav loetelu, kinnitamaks üldsusele, et GM-põllukultuuride heakskiit toimub parima teadusliku informatsiooni ja analüüside alusel, muljetavaldav. Tegelikult, on ohud määratletud ja mõõdetud väga kitsalt (näiteks vaadeldakse mõju vähestele liikidele lühikese aja vältel). (Zakri 2001) Pikaajalised keerukad keskkonnas läbiviidavad uuringud lõpetatakse sageli enne, kui teadlased saavad vähimadki teadmised GMODE põllumajanduses kasutamise mõjude kohta (Stilwell, Van Dyke 1999). Veelgi

üllatavam on tõsiasi, et hiljutised riskihindamised on tulemusteni jõudnud oletustel põhineva arutelu käigus, mitte läbi põhjaliku testimise (Spoek et al 2003).

Riskihindamise protsess on geneetiliselt muundatud organismide kasutuselevõtu ja keskkonda laskmise ning GMO-poliitika kujundamise juures väga oluline etapp. Sellist potentsiaalset mõju omavad otsused, mis võivad pöördumatult meie elukeskkonda muuta, peavad olema tehtud kaalutletult. Iga väiksegi negatiivne nüanss tuleb läbi arutada, argumenteerida, võimaluse korral leida testimise tulemusena kvantitatiivsed riski iseloomustavad väärtused ja vaadelda olemasolevaid leevendusvõimalusi. Kogu selle tegevuse jaoks on vaja välja kujundada GMOde ökoloogilise riski hindamise protseduur, mis on üksikasjalikult reguleeritud ning kohustuslik kõigile, kes soovivad geneetiliselt manipuleeritud organisme keskkonda viia või neid turustada. Samas peab riskihindamise protseduur olema piisavalt paindlik, et tagada ootamatult ilmne võivate varem teadmata probleemidega arvestamine ning nende põhjalikum uurimine. Peab jääma võimalus riskihindamise protsessi täiendada, kuna teadus ja ka probleemid ise on nii uued, et hetkel ei ole võimalik kõiki aspekte ette näha.

Täna vaadeldakse muundatud organismidest tulenevat riski väga ühekülgelt. GMOde ökoloogilise riski hindamine peab probleemile lähenema ka teisest küljes, st missugused negatiivsed mõjud võivad GMO keskkonda mittelubamisega kaasneda, milliseid suuremaid negatiivseid mõjusid saab GMOde kasutamisega ära hoida. Teadaolevalt kahjustab praegune põllumajanduslik tootmine looduskeskkonda väga oluliselt. Taimekaitse- ja putukatõrjevahendid mürgitavad pinnast, veekogusid ja elusloodust, kuhjades toiduahelas. Kõike seda peaks ökoloogilise riski hindamise protsess arvesse võtma, mitte vaatama vaidlusteemat ainult negatiivse külje pealt.

Selleks, et riskihindamisest kasu oleks ja et see protsess toimiks terviklikult, on vaja tagada järelvalve, mis oleks sunnimehhanismiks regulatsioonidest kinni pidamiseks. Järelvalve lahendamine on problemaatiline teema, kuna selleks on vaja luua eraldi uued üksused, kes oleksid pädevad olukorda hindama ning vajadusel vastavaid sanktsioone rakendama. Kogu sellise uue süsteemi väljaarendamiseks kulub palju ressursse – inimeste leidmine ja välja koolitamine, organisatsiooni loomine, õiguslik regulatsioon jms.

3 ÖKOLOOGILINE RISK

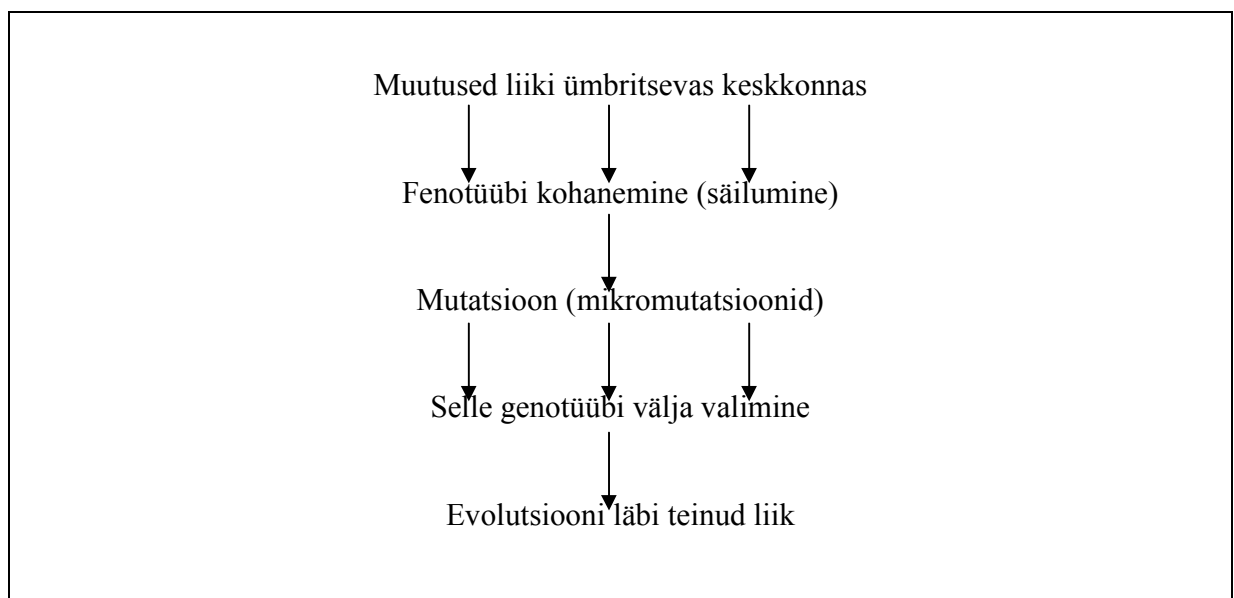
Risk on ohu realiseerumise tõenäosus ja tagajärgede ulatus üheskoos. Oht on tegevuse, aine või organismi sisemine väärtus, mis võib avaldada negatiivset mõju. (UK Joint Regulatory Authority and Secretariat to ACRE 2000) Ökoloogiline risk on üks keskkonnariski alaliike, mis käsitleb looduskeskkonnale ilmnedavat või negatiivset mõju. Ökoloogiline risk käsitleb loodust ja inimest, seega ei kajasta see peatükk toksilisuse ja allergilisuse ilmnemist ega muud mõju inimese tervisele.

Geenitehnoloogia võib luua ohutuma ja kindlama toiduga varustamise, kutsuda esile suurema heaolu ning kindlustada jätkusuutlikuma keskkonna, kuid samas on sellel ka oma mõju nii tootmissüsteemile kui ka keskkonnale (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation 2004). Ökoloogid hoiatavad, et me ei tea, milliste tagajärgedeni võib viia looduslike liikide vaheliste barjääride ületamine, kui me viime põllukultuuridesse geene, mis pärinevad neist kaugetelt taime- või loomaliikidelt. Maailma ajaloos puudub pretsedent sedalaadi eksperimenteerimisele. (Rifkin 2000) Seetõttu tuleb geneetiliselt muundatud organismide loodusesse laskmise juures lähtuda ettevaatusprintsipist. See ütleb, et kui on mõistlik teaduslik alus arvata, et uus protsess või toode ei ole ohutu, siis ei tohiks seda enne kasutusele võtta, kui on olemas veenvad tõendid sellest, et risk on piisavalt väike ja üles kaalutav kasu poolt (Zakri 2001).

Enam kui kümne tuhande aastase ajalooga klassikaliste sordi- ja tõuaretusmeetodite kasutamine on alati piirdunud vaid geenide ülekandmisega lähedaste sugulastaimede või -loomade vahel, kes omavahel vabalt ristuvad, piirates sel teel ka võimalike geneetiliste kombinatsioonide arvu. Ka loodusliku evolutsiooni võimalused on sellesama limiteeriva faktori poolt võrdlemisi täpselt paika pandud. (Rifkin 2000) Geneetiline tehnika võimaldab teadlastel elu põhilisi "ehitusblokke" ümber paigutada, luues sellega uued elusorganismide variatsioonid (Stilwell, Van Dyke 1999). Seetõttu ei oska mitte keegi ette ennustada, milliseid tagajärgi võib endaga kaasa tuua bioloogilise arengu fundamentaalsete seaduste ja reeglite ümberdefineerimine, et sobitada need turu poolt esitatavate nõudmistega.

Kas uute geenide viimine traditsiooniliste põllukultuuride genoomi toob kaasa täiesti uute tunnuste ja omadustega taimede tekke, mille käitumine looduses on paljuski etteennustamatu ja kontrollimatu? Me ei oska sellele küsimusele vastata. Ning just seetõttu kujutab nii laiaulatuslik vahelesegamine põllumajandusse endast suurt probleemi. (Rifkin 2000)

Querol (1992) ei saa nõustuda GMO skeptikute murega ning esitab muundatud organismidest tuleneva ohu ümberlükkamiseks evolutsiooniteooria ning arvutuse eluslooduse senise läbitehtud geneetilise koodi muundumiste arvu kohta. Ta viitab 1963. aastal Granti välja pakutud evolutsiooni mudelile (vt joonis 2).



Joonis 2. Granti evolutsiooni mudel (Querol 1992)

See protsess on väga aeglane ning seega väga harva silmaga nähtav. Kujutage ette, kui palju mutatsioone on elus organismid oma kestuse vältel läbi teinud. Esimesed taimed ilmusid Maale 405 miljonit aastat tagasi Devoni ajastu alguses, paleosoikumi ajastul. Liigid, mis hetkel Maad katavad ilmusid umbes 80 000 aastat tagasi. (Querol 1992)

Võttes aluseks järgmised eeldused:

- a) taimedel on keskmiselt 10 000 geeni,
- b) iga geen muundub sama sagedusega,

- c) tagasipöörduvaid mutatsioone ei esine,
- d) igal taim paljuneb kord aastas ja on seda teinud juba üle 400 miljoni aasta,

saame

$N=10^4$ geeni $\times 10^{-6}$ mutatsiooni $\times (4 \times 10^8)$ tsükli = 4×10^6 akumulereunud mutatsiooni (Querol 1992). Kui senised mutatsioonid ei ole märkimisväärset negatiivset mõju avaldanud, kuidas siis saaksid seda teha praegused?

Samas ei saa nii lihtsalt geneetiliselt muundatud organismidest tulenevasse riski suhtuda, kuna tegemist on uudse, varem bioloogiliste barjääride taha jäänud, informatsiooni paigutamise etteennustamatusse elusloodusesse, milles toimuvad protsessid on väga keerulised. Ebakindlust suurendab asjaolu, et võõr-DNA sisestamise protsess on ebatäpne. Kuigi geneetilised tehnikad on üldiselt väga täpsed soovitava DNA eraldamisel organismist, siis vastuvõtja organismi paigutamisel nad seda ei ole. Seega pole teada, millist funktsiooni mõjutatakse. (Stilwell, Van Dyke 1999)

Geneetiliselt muundatud organismide koostoimimine teiste keerukate bioloogiliste süsteemidega, nagu näiteks looduslikud ökosüsteemid, ei saa tihti olla täielikult analüüsitud ja katsetatud enne kui GMOD on kaubanduslikku ringlusse lastud. See ääretu keerukus, isegi kõige lihtsama organismi puhul, takistab teadlasi nägemast paljusid lühi- ja pikaajalisi geneetilise muundamise mõjusid, mistõttu peaksime selliste mõjukate otsuste puhul olema eriti ettevaatlikud. (Stilwell, Van Dyke 1999)

Alljärgnevalt on geneetiliselt muundatud organismidega seonduvad ökoloogilised probleemid tinglikult jagatud erinevatesse alapeatükkidesse. Tinglikult selles mõttes, et alati ei saa ühte probleemi kajastada ainult teatava pealkirja all, vaid kogu protsess on omavahel tihedalt põimunud ning seetõttu kajastuvad kohati samad ohud veidi erineva nurga alt vaadatuna mitmes alapeatükis.

3.1 Sissetungimine ökosüsteemi

Geneetiliselt muundatud organisme luuakse, et täiustada nende omadusi, saades seeläbi väiksema vaevaga parem tulemus (suuremad viljad, kiiremini kasvavad loomad, kauem säiliv saak, tõhusam umbrohtude, kahjurite ja haigustega võitlemine). Paljudele muundatud liikidele on lisatud tunnuseid, mis annavad neile looduskeskkonnas teiste liikidega võrreldes konkurentsieelise. Selliste kasulike joonte lisamine võib viia olukorrani, kus geneetiliselt muundatud organismid tungivad sisse erinevatesse looduslikesse kooslustesse ning omastavad seal endale koha, tõrjudes elupaigale iseloomulikud taime- ja loomaliigid välja.

Transgeensetel taimedel on traditsiooniliste uude keskkonda sissetoodud liikidega võrreldes tunduvalt parem lähteasukoht, sest paljud nende genoomi viidud muundatud geenid annavad neile looduslikus võitluses terve rea eeliseid. Herbitsiidi-tolerantsus ning resistentsus kahjurite ja viiruste suhtes on peamised modifitseeritud liikidele omased tunnused, mis neile teiste liikidega võrreldes suure konkurentsieelise annavad, suurendades tõenäosust, et muundatud põllukultuuridest võivad saada uute keskkondade hirmuäratavad vallutajad. Transgeenne kultuurtaim, millele lisatud geenid panevad ta madalate kevadtemperatuuride juures kiiremini idanema, võib järgmisel kasvuperioodil tärgata samal põllul juba varase umbrohuna ja kujutada endast tõsist probleemi teiste samal põllul järgemööda kasvatatavate põllukultuuride jaoks. Transgeenid, mis tõstavad viljade küpsemise kiirust ning parandavad reproduktiivseid omadusi, annavad taimedele analoogilise konkurentsieelise, võimaldades vallutada ümbritsevad põllud, aasad ja metsad ning võtta seal sisse koht permanentse asukana. Transgeenne põllukultuur, mille geneetilisi omadusi on muudetud eesmärgiga tõsta vastupidavust külma suhtes, võib migreeruda põhja poole ning vallutada ja koloniseerida uusi alasid, tõrjudes välja eksisteerivad taimeliigid ning muutes tervet uue areaali ökoloogilist dünaamikat. (Rifkin 2000)

Tegelikult on kõigil põllukultuuridel sisemistest omadustest tulenev võime, lõikuse ajal tekkiva seemnete kao või pärast viljelemise lõpetamist mittetäielikku vegetatiivsete osade hävitamist, ökosüsteemi sisse tungida. Sissetungimisvõime ulatus sõltub suuresti viljeluse viisist ja kohalikust keskkonnast. Hoolimata põllukultuuride sissetungimisvõimest, muutuvad

need harva umbrohtudeks. Tavaliselt juhtub see ainult kahjustatud pinnasega põldudel või nende ääres. Sellises keskkonnas kestavad need taimed harilikult ühe aasta ning populatsiooni püsimine on tingitud uute taimede sissevoolust, mitte selle jätkuvast isetoimimisest ja säilumisest (Conner, Glare, Nap 2003).

Crawley (1993) hindas üle kolme aasta kestnud katses kaheteistkümnes looduslikus elupaigas, mis olid valitud erinevate kliimaatiliste tingimustega aladel, geneetiliselt muundatud herbitsiidikindla rapsi ja mittemuundatud rapsi demograafilisi parameetreid. Mitte mingisuguseid tõendeid ei leitud, et raps tungiks looduslikele aladele. Enamgi veel, ei ilmnenud tõendeid ka selle kohta, et GM-raps oleks olnud sissetungivam või püsivam aladel, kus see levis. Juhtudel, kui katselappidel oli erinevusi, ilmnnes, et mitte-GM-ode hulgas esines suuremat keskkonda tungimist ja seal püsivust. (Conner, Glare, Nap 2003)

Loomulikult on oht olemas, et geneetiliselt muundatud organismid tungivad looduskeskkonda ja vallutavad seal endale looduslike liikide arvelt koha. Seejuures peab aga mainima, et eelised, mis muundatud organismidele on antud, toimivad ainult teatavate stressorite vastu. Võtame näiteks herbitsiidikindla GM-taime. Taime sisestatud kasulik geen on ainult siis tajutav, kui taim on eksponeeritud taimemürgile. Kuna aga looduslikus keskkonnas taimemürke ei esine, puudub sinna minnes sellisel taimel konkurentsieelis ning seetõttu on GM-taim samasuguses võitluses ellujäämise pärast nagu iga teine. Lisama peab veel, et reeglina on keskkonna ökoloogilised nišid kõik hõivatud, mistõttu on uuel liigil küllaltki raske endale juba koha kätte võidelda. Seega ei saa öelda, et geneetiliselt muundatud organismidel oleks keskkonda sisenemisel mingi suurem eelis võrreldes looduslike liikidega.

3.2 Vertikaalne geenide ülekanne

Vertikaalne geenide ülekanne toimub vanemalt järglasele (Landis et al 2000), st kogu geneetilise informatsiooni vahetamine käib sugulise paljunemise alusel. Geenide vertikaalne ülekanne põllukultuuridelt nende metsikutesse sugulastesse on jälgi jättnud alates kaasaegse põllumajanduse algusest saadik (Hails 2000), seega peaks küsima, kas geneetiliselt muundatud

organismid kujutavad endast suuremat ohtu võrrelduna tuhandeid aastaid toimunud loodusliku protsessiga. Millised on peamised probleemid ning mille poolest need erinevad tavapärasest sordiaretusest ja põllumajandusest?

Muret tekitab asjaolu, et geneetiliselt muundatud põllukultuurid ristuvad oma sugulasliikidega ning selle tulemusena võivad geneetilise muundamisega saadud tunnused minna üle lähedastele umbrohuliikidele. Muutes GM-taimed kahjurit, haiguste ja herbitsiidide suhtes vastupidavaks, võivad ka umbrohud muutuda tugevamaks, vastupidavamaks ning hakata paremini levima. (Conner, Glare, Nap 2003)

Hübriidide tekkimise tõenäosus sõltub sugulisest ühtivusest ja vanemliikide seotusest (suguluse lähedusest). Kui sordiaretajad on korduvalt ristanud sugulasliike, et sisestada taime suur hulk kasulikke tunnuseid, siis selliselt saadud kombinatsioonid, taimedes olevate barjääride tõttu, mis takistavad normaalse embrüo või endospermi arengut, looduses ei ilmneks. Oletame, et looduses arenebki välja liikidevaheline hübriid. Selle isendi või tema järglaste edukus sõltub suuresti tervest reast faktoritest. Geeni põllukultuurist umbrohtu üleminekul on kõige olulisem vähemalt ühe hübriidipopulatsiooni sobivus ning selle püsivus läbi mitme generatsiooni. (Conner, Glare, Nap 2003) Põllukultuuridelt, millel kasvavad ümbritsevates ökosüsteemides ristumisvõimelised sugulased, on geenide ülekande vältimatu, kuid viljade, mille sugulased kasvavad teisel pool ookeani, on see mure alusetu. Seega on tõenäoliselt ökoloogiliselt kõige lihtsam viis tagada geneetiline isolatsioon, st välistada vertikaalset geeniülekannet, kasutades ja turustades geneetiliselt muundatud taimi piirkondades, kus ei esine nende looduslike ristumisvõimelisi sugulasi. (Johnson)

Euroopas ja USAs on läbi viidud vähemalt kaks uurimust, mille puhul viidi uus geen looduses olemasolevasse liiki. Katses viidi ühte rohumaa kõrrelisse herbitsiidikindl ja viljakust suurendav geen, eesmärgiga tekitada monokultuurne kõrge saagikusega kultuurmaa. Selline muutmine suurendab oluliselt vertikaalse geeniülekande riski, kuna looduses olemasolevaid liike parandades ning seejärel samasse keskkonda taas sisse viies tekib olukord, kus looduslik ja muundatud liik omavahel ilma igasuguste piiranguteta ristuvad. (Johnson) Seetõttu on lubamatu paigutada geneetiliselt muundatud organisme keskkonda, kus kasvavad nende

emataimed, kuna sellise tegevusega soodustatakse teadlikult geenide vertikaalset ülekannet.

Biotehnoloogiatööstuse eestkõnelejad vaidlevad aga vastu, et transgeenide ülekandumise tõenäosus metsikutele sugulastaimedele on vähetõenäoline, sest enamikku põllukultuure ei kasvatata nende looduslike sugulaste läheduses. Suur osa kultuurtaimede metsikuid sugulasi on pärit troopilistelt aladelt. (Rifkin 2000)

Kahe rapsipõllu läheduses toimunud uuringute tulemusena leiti metsiku kaalika hübriidide protsent 0,4 ja 1,5 vahel. Tegelikult võib hübriidide hulk kõikuda, ulatudes isegi 90%, sõltudes põlluvilja ja tema metsiku sugulase ruumilisest jaotusest. (Hails 2000) Scheffler et al (1995, Thompson et al 2003 järgi) hindasid keskmiseks geeniülekandeks teineteisest 400 m kaugusel asuvate populatsioonide vahel 0,004%, mis on väiksem, kui mõnedes riikides sertifitseeritud seemnetootjatele õigusaktidega määratud normatiiv. Llewellyn ja Fitt (1996, Thompson et al 2003 järgi) leidsid, et õietolmu laialikandumine sõltub allika populatsioonist ning hübriidide tekke määr väikesemõõtmelistel katsepõldudel põllust 16 m kaugusel oli vähem kui 0,03%. Nagu näha on antud uuringutes geenide ülekandumise protsendid väga madalad, mistõttu on riski ilmnemise tõenäosus väike.

Geenide vastastikune ülekandumine põllukultuuride ning nende metsikute sugulaste vahel on loomulik looduslik protsess, mida bioloogid on uurinud juba enam kui saja aasta vältel (Rifkin 2000). Seega, tuleb hinnata, kas GMODEL on suurem võime ülekannet põhjustada kui tavalistel taimedel. Looduslikku liikidevahelist geeniülekannet mõjutavad karakteristikud on nii keerulised, et üldiselt neid protsesse geenmuundatud rakkude olemasolu ei muuda (Conner, Glare, Nap 2003).

Geneetiliselt muundatud põllukultuuride puhul on looduslikest hübriididest erinevus see, et esimestesse sisestatud geneetiline informatsioon pärineb tihti teisest sugukonnast, andes seega jooni, mida looduslikes populatsioonides pole kunagi esinenud. Samaaegselt tuleb mainida, et ka sordiaretus tekitab, kasutades soovitud tulemuseni jõudmiseks mutageene ja embrüo vabastamise tehnikat, täiesti uusi geene, millest ei tea me sageli eriti midagi. Huvitaval kombel on selline viljelus, erinevalt geenmuundamist kasutavast viljelusest, tunnistatud täiesti

"looduslikuks". (Johnson)

Vertikaalne uute geenide ülekandumine geneetiliselt muundatud organismidelt nende sugulasliikidele on reaalne oht, kuna vertikaalne geenide ülekandumise protsess toimub looduses elusorganismide ilmumisest saadik. Geneetiliselt muundatud organismid kujutavad endast suuremat ohtu, kuna nendesse sisestatud tunnused pärinevad sageli teistest sugukondadest, mistõttu sellist geneetilist informatsiooni pole kunagi varem olnud võimalik vastavatesse liikidesse paigutada. Seega ei oska me ette ennustada, kuidas erinevad informatsiooniüksused teineteisele reageerivad ja mida endaga kaasa toovad. Samas ei saa aga unustada, et uuringute tulemusena saadud protsendid olid väga väikesed ja geenide ülekandumine ei ületanud isegi mõningates riikides turustatavale seemnele pandud normatiive.

3.3 Horisontaalne geenide ülekanne

Horisontaalne geeniülekanne on defineeritud kui geneetilise materjali ülekanne organismide vahel, mis ei ole omavahel suguliselt ühilduvad. Erinevate bakteriliikide vahel toimub seda tihti, kui protsessiga on seotud plasmiidid (Conner, Glare, Nap 2003). Üks klassikalisemaid horisontaalse geeniülekanne näiteid on antibiootikumiresistentsuse välja kujunemine ning tõenäoliselt on horisontaalne geeniülekanne see mehhanism, mis võimaldab kiiret resistentsuse levikut eeltuumsete populatsioonides (Landis et al 2000). Üks horisontaalse geeniülekanne teid on ka taimeviirused (Conner, Glare, Nap 2003).

Geeniülekanne sõltub suuresti potentsiaalse uue peremeesorganismi (organism, millele geen üle kandub) asustustihedusest geneetiliselt muundatud organismide populatsioonis. Kui GMOde hulgas esineb üksikuid mittemuundatud organisme, siis on ülekanne vähetõenäoline. Kui aga peremeesorganism ja potentsiaalne vastuvõtja moodustavad ühtlaselt segunenud massi, on geeniülekanne võimalikkus suur. (Landis et al 2000)

Praegu kõige populaarsem geenide ülekandetehnoloogia, milles kasutatakse *Agrobacterium tumefaciens*'i, põhineb horisontaalsel geeniülekandel. See protsess, bakterilt taimele, on üksikasjalikult teada, aga ei ole teada midagi horisontaalsest ülekandest taimelt teistele

organismidele. (Conner, Glare, Nap 2003)

Herbitsiidikindel geen võib horisontaalse geeniülekanega GM-taimelt mullabakterile üle minna. Kuigi selline üleminek võib ka tavataimede puhul ilmned, peaks sõltuvalt kasutatava geeni ehitusest transgeenide ülekandemäär teoreetiliselt kõrgem olema. (van den Daele) See on tingitud sellest, et GMOde valmistamisel kasutatakse uute tunnuste sisse viimiseks baktereid, mis on horisontaalse geeniülekanede olulisteks komponentideks ning seetõttu on horisontaalse geeniülekanete oht suurem. Juhul kui vastav geen on tunginud mullabakteri genoomi, võib see esile kutsuda muutusi mulla keemilises koostises, kuna bakteri elutegevuse tulemusena suunatakse keskkonda aineid, mida seal varem pole esinenud (van den Daele). Samas peab mainima, et horisontaalne geenide ülekandumine on harva juhtuv nähtus (van den Daele).

Kuigi DNA degradeerub lagunevas taimerakus väga kiiresti, võib õige pikkusega DNA lõik püsida mõnes pinnases, vesikeskkonnas või hiire söögitorus piisavalt kaua, et võimaldada ülekandumist. (Conner, Glare, Nap 2003)

Kuigi horisontaalne geeniülekanne on looduslik protsess, tuleb tähelepanu pöörata asjaolule, et selle käigus võivad olla ohustatud praegused liigid. Uuringute tulemusena on leitud, et isegi söögitorus võib toimuda geenide ülevõtmine. Varem arvati ja oldi seejuures täiesti kindlad, et toitumise kaudu pole geenide ülekandumine võimalik, kuid geneetiliselt muundatud organismide loomisel kasutatavad vektorid, mis on bakteriaalsed iseseisvad DNA-üksused, muudavad geenide horisontaalse ülekandumise tõenäolisemaks. Seega on geneetiliselt muundatud organismidest tulenev geenide horisontaalse ülekande risk suurem, kui tavalooduses toimuvates protsessides.

3.4 Sekundaarne ökoloogiline mõju

Uskumine, et GM-kultuurid on midagi väga mittelooduslikku, on viinud arvamusele, et selliste taimede laialdane kasutus toob endaga kaasa teised ehk kaudsed ökoloogilised mõjud ning soovimatud tagajärjed. "Sekundaarne ökoloogiline mõju" on lai mõiste, kattes igasugused

ökoloogilised seosed – näiteks mõju mittesihtmärk objektidele, toiduahela kasulikele putukatele ja mullaelustiku terviklikkusele. (Conner, Glare, Nap 2003)

Kaudne mõju võib olla kahte liiki:

- otsene mõju mittesihtmärk liikidele (või teistele organismidele) – eksponeeritus GMO toksilisele materjalile ja
- kaudne mõju mittesihtmärk liikidele (või teistele organismidele) – läbi multi-troofilise toiduahela (Conner, Glare, Nap 2003).

Sekundaarset mõju on väga raske ette näha ja kindlaks teha. Tihti pole võimalik ökosüsteemi käitumist ette ennustada, mistõttu ei saa arvestada kõikide kaudsete mõjudega. Kaudne mõju ilmneb tihti alles siis, kui geneetiliselt muundatud organism on juba keskkonda lastud ning selle levikut ei ole võimalik enam piirata. Seega peaks olema ääretult ettevaatlik ja kaaluma kõiki võimalikke ohte enne kui võõrorganisme loodusesse lastakse.

Eriti keeruline on kindlaks teha kaudset mõju mittesihtmärk liikidele. Multi-troofilise mõju uurimiseks võeti analüüsobjektiks Bt toksiini eraldavad geneetiliselt muundatud taimed. Siinkohal on peamine probleem järgmine: kas kogu toiduahel võib saada negatiivselt mõjutatuks näiteks Bt toksiini akumulatsiooni tõttu toiduahelasse (nagu seda tegi DDT). Kuna Bt valk on suhteliselt ebastabiilne, siis on see stsenaarium vähetõenäoline. (Conner, Glare, Nap 2003)

Mittesihtmärk liiki kahjustava kaudse mõju näiteks võib tuua lepatriinu, kes ründab lehti närvivaid ja taimede mahla imevaid kahjureid – lehetäisid, olles seega väga kasulik mardikaks. Paraku võib lepatriinu saada lehetäisid süües, kes on omandanud lehtedest surmava doosi toksiini, ka ise letaalse koguse mürki tarbida. (CSIRO) Veel üks väga kasulik liik, mis võib olla tugevalt mõjutatud GM-taimede poolt on mesilane (*Apis mellifera*). Kuna mesilased korjavad õietolmu, on nad tugevalt ohule eksponeeritud. Seetõttu on tehtud palju uuringuid, mis otsivad GM-taimede ja muundatud valkude võimalikku mõju mesilastele. Nende uuringute tulemusena leiti, et otsene toksilisus ilmnis äärmiselt harva ning üldkasutatud põllukultuurid ei avaldanud koloonia käitumisele mittemingisugust mõju. Küll aga leiti ühes

uuringus, et CpTI ekspressioon õietolmus vähendas mesilaste võimet õppida taimelõhnadele määratud reageeringut. (Conner, Glare, Nap 2003)

Analoogiliselt kahjurikindlate GM-põllukultuuridega mõjutavad mikroobikindlad taimed mulla mikroobikooslust mitteoodatud tagajärgedega. Mõningatel juhtudel on täheldatud muutusi bakteri, seene ja mulla selgrootute populatsioonides, kuigi otsest toksilist mõju nendele organismidele ei ole kunagi esinenud. Näiteks suurendas Bt puuvill lühiajaliselt mullabakterite ja seente arvukust võrreldes mitte-transgeense puuvillaga, kuigi biopestitsiidiga tehtud uuringutes pole sellist tendentsi ilmnenu. (Conner, Glare, Nap 2003) Geneetiliselt muundatud organismide ja nende geenide horisontaalsel ülekandel ilmned võivad mõju mullaelustikule on tänaseni vähe uuritud ning seetõttu ei ole võimalik anda adekvaatset hinnangut riskide kohta.

Lähtudes praegustest teadmistest, on liiga vara öelda, kas geenmuundatud põllukultuurid omavad mittesoovitavat teisest mõju põllumajanduslikele ja looduslikele ökosüsteemidele. Tõenäoliselt on GMOst tulenev mõju samane tavalisest põllumajandusest ja sordiaretusest tuleneva mõjuga. Igasugune põllumajanduspraktika muutmine omab potentsiaalset riski ökosüsteemile. (Conner, Glare, Nap 2003)

Geneetiliselt muundatud organismide kasutuselevõtu puhul on kõige suurem probleem see, et me ei tea, missuguseid riske see endaga kaasa toob. Meil puudub ettekujutus geenide tasandil toimivate interaktsioonide ja nende tulemuste kohta. Asjaolu, et tegu on varem võimatuks osutunud geenikombinatsioonidega, ei anna meile alust öelda, et tegu on kahjulike organismidega, kuid peaks mõjutama teadlasi suhtuma probleemi kriitilisemalt ja uurima GMOsid põhjalikumalt.

3.5 Superkahjurid ja superhaigused

Laialdane putukate- ja haigustekindlate GM-põllukultuuride kasutamine on üles tõstnud küsimuse, kas see ei too endaga kaasa kõrgendatud loodusliku valiku survet, mis viib kahjurid ja patogeene selle resistentsusmehhanismi omandamiseni (Conner, Glare, Nap 2003). Üha

suurenev teaduslik tõendusmaterjal viitab “superputukate” tekkimise võimalusele, kes on resistentsed geneetiliselt muundatud taimede poolt produtseeritavate pestitsiidide suhtes (Rifkin 2000). Selliseid “superputukaid” ja “-haigusi” on väga raske kui mitte võimatu kontrollida. Mõneti pole see uus teema, kuna sordiaretuse jaoks on resistentsete taimede loomine üks peamisi eesmärke juba pikka aega. Sordiaretuse ajalugu näitab selgelt, et kahjurite ja haigustekitajate populatsioonid võtavad põllukultuurides sisalduvad uued putuka- ja patogeenikindlad geenid kiirelt omaks. Seega on põllukultuuride parendamine “pidev võitlus”. (Conner, Glare, Nap 2003)

Kahjurite suhtes resistentsete transgeensete taimede unikaalsed omadused teevad muret maailma entomoloogidele ja mahepõllumeestele, kelle kartuste kohaselt soodustab Bt põllukultuuride laialdane kasutamine resistentsete putukatüvede kujunemist, muutes õige varsti Bt biopestitsiidina täiesti toimetuks (Rifkin 2000). Sama oht varitseb ka mahepõllumajanduses lubatud Bt biopestitsiidi valesti kasutamisel. Resistentsus *Bacillus thuringiensise* suhtes hakkas tekkima juba enam kui kümme aastat tagasi (Rifkin 2000). Sellest ajast saadik on kaheksal olulisel põllukultuure kahjustaval putukaliigil arenenud kas labori- või keskkonnatingimustes sedastatud resistentsus Bt toksiini suhtes, viimaste hulka kuuluvad näiteks Colorado kartulimardikas, kapsakoi ja tubakaöölane (Rifkin 2000).

Tingituna asjaolust, et katsepõllud on nii väikesed – sageli alla viiekümne hektari – ja et katsetused ise piirduvad sageli vaid ühe kuni kahe kasvuperioodiga, on soovimatute kõrvalnähtude avastamise tõenäosus praktiliselt nullilähedane. Nii väikeste põldude ja nii lühikese katseperioodi korral ei ole võimalik anda adekvaatset vastust küsimusele, kas umbrohtudel, putukatel ja mikroorganismidel areneb välja resistentsus herbitsiidide-, kahjurite- ja viirustevastastele geenidele. (Rifkin 2000)

Katsepõldudel hävitas geneetiliselt muundatud puuvill üksnes 80% öölastest. 20%-ni ulatuv ellujäämismäär lubab ilma suuremate kahtlusteta ennustada, et “superputuka” resistentsed tüved osutuvad lõppkokkuvõttes võitjaks. Põhja-Carolina Riikliku Ülikooli entomoloogia-professor Fred Gould märgib, et kaheksakümneprotsendiline suremus on just see määr, mida teadlased kasutavad resistentsete putukate aretamiseks. (Rifkin 2000)

Kuna putukate ja haiguste harjumine mürkidega ning nende võime oma “ohvritelt” üle võtta uusi tunnuseid on ammu teada fakt, siis ei ole geneetiliselt muundatud organismidel tavapärasest põllumajandusest oluliselt suuremat rolli “superputukate” ja “superhaiguste” väljakujundamisel. Üks aspekt, millele aga tuleks kindlasti tähelepanu pöörata ja mis peaks GMODE kasutuselevõtu kaalumisel muret tekitama, on muundatud organismides peituvad tunnused. Nende tunnuste üleminekuga haigustele ja putukatele muutuvad eelmainitud märksa keerulisemateks “sõjavastasteks”. Seega peaksime enne põhjalikult mõtlema, milliseid tunnuseid kandvaid genee me keskkonda laseme, kuna peame ise nendega hiljem võitlema.

3.6 Mõju bioloogilisele mitmekesisusele

Igasugune inimtegevus võib mõjutada ja mõjutabki loodust. Inimene on suurima arvukusega liik maal ning selle liigi arvukus kasvab pidevalt. Inimesed vallutavad teiste liikide elupaiksid eesmärgiga luua paremaid elamistingimusi, laiendada tööstuslikku tootmist, toita rahvast. Kõige sellega kaasneb paljude liikide kadumine. Nii sureb iga aasta sadu või isegi tuhandeid teadaolevaid ja veel avastamata liike välja. Ühesõnaga ainuüksi inimese eksisteerimine Maal mõjutab oluliselt bioloogilist mitmekesisust. Seega, selle asemel et arutleda küsimuse üle, kas GMOD võivad kuidagi bioloogilist mitmekesisust mõjutada, peaks mõtlema hoopis teemale, kas modifitseeritud viljad omavad kvantitatiivselt või kvalitatiivselt erinevat ohtu bioloogilisele mitmekesisuselt võrreldes tavapäraste kultuuridega (Conner, Glare, Nap 2003).

Paljud stsenaariumid ennustavad GMODE kasutamisest tulevat pöördumatut ja katastroofilist kahju bioloogilisele mitmekesisusele. Samas ennustavad paljud ka vastupidist. Ilmselgelt sõltub iga võetud seisukoht teatava GMO kindlatest karakteristikutest, kuid samas ka sotsiaalsetest ja majanduslikest kaalutlustest ning õigusruumi ettekirjutustest. AINUõIGE ON bioloogilist mitmekesisust potentsiaalselt ohustava GMO riskihindamist läbi viia iga juhtumit eraldi vaadeldes. (Conner, Glare, Nap 2003)

Geneetilise mitmekesisuse kadumine on suuresti tingitud kaasaegsetest põllumajandus-

tavadest, mis jätkuvalt keskenduvad monokultuursetele mitte segakultuursetele kasvatusmeetoditele. Tavasordiaretus töötab pidevalt välja üha "ideaalsemaid" tooteid – põllukultuuride tüvesid, mis kasvaksid kiiresti, oleksid haiguste suhtes resistentsed ja mida oleks hõlbus koristada ning turule transportida. Nii arenenud kui ka arengumaades on põllumajandusturu nõudmised sundinud farmereid kasvatama üksnes suure viljakusega monokultuure. Tohutu hulga traditsiooniliste põllukultuuride tüvede hülgamine ning keskendumine vaid uutele ja vähestele tüvedele on olulisel määral kahjustanud geneetilist mitmekesisust, luues olukorra, kus inimkond sõltub üksnes mõnest taimegenoomist. (Rifkin 2000) Kuigi inimesed on oma toiduks kasutanud läbi aegade rohkemat kui 7000 erinevat taimeliiki, moodustavad 20 liiki üle 90% kogu praegusest inimtoidust. Nendest neli – nisu, mais, riis ja kartul – varustavad poolt terve maailma toidutööstust. (Conner, Glare, Nap 2003) Niisugused näitajad on üsna hirmutavad, eriti arvestades kui suure osa maismaast katab põllumaa.

Vaatlejate seas võtab maad üha kasvav mure, et transgeensete põllukultuuride laialdane kasutuselevõtt võib geneetiliselt saastada maailma säilinud põllukultuuride mitmekesisuse keskusi ning vähendada seega bioloogilist mitmekesisust. Põllukultuuride mitmekesisuse keskusteks on regioonid, kus kasvavad nii kultuurtaimed kui ka nende metsikud sugulased, olles seega piirkondadeks, kust pärineb aretustööks vajalik geneetiline materjal. (Rifkin 2000) Peamiselt kõik kultuurtaimed pärinevad troopilistelt aladelt, mis laiuvad vahemikus 35 kraadi põhjalaiust ja 35 kraadi lõunalaiust – alalt, mis ei külmunud eelajalooliste jääaegade perioodil (Querol 1992). Arvestades biotehnoloogiatoöstuse ambitsioonikaid plaane turustada oma "superseemneid" praktiliselt igas maailma põllumajandusregioonis, on geenisiire transgeensetelt taimedelt traditsioonilistele põllukultuuridele ilmselt paratamatu protsess. Tõenäoliselt on võimatu kaitsta väheseid põllukultuuride mitmekesisuse keskusi muundatud kultuuride üha intensiivistuva pealetungi eest ning vältida nende bioloogilise mitmekesisuse "varaaitade" hävimist. (Rifkin 2000)

Geneetiliselt muundatud organismid võivad bioloogilist mitmekesisust mõjutada mitmel viisil. Esiteks võivad GMOd kahjureid ja umbrohte liiga efektiivselt hävitada, muutes põllumajanduslikud ökosüsteemid veelgi ühekülgsemaks ja lihtsamaks. (Conner, Glare, Nap

2003) Teiseks võib see mõju olla kaudne – kahjurite ja umbrohtude hävides võib ökosüsteemi toitumisahel tasakaalust väljuda ja seetõttu hävivad näiteks toidupuuduse tõttu ka kõrgema troofilise taseme esindajad. Vaadates seda sama näidet, mis on toodud vertikaalse geeniülekanne peatükis, kus looduses olemasolevat liiki parandati herbitsiidikindla geeniga ja lasti seejärel tagasi loodusesse, et saada monokultuurne heinamaa, näeme suurt ohtu bioloogilisele mitmekesisusele. Saades herbitsiidikindla niidukõrrelise, pihustatakse see mürgiga üle, et vabaneda kõigist teistest taimedest (Johnson). Niisuguse tegevuse tulemus võib olla hukatuslik ülejäänud taime-, selgrootute ja lindude populatsioonidele, mis elavad sellistel rohumaadel (Johnson). Eelkirjeldatud juhtumist on näha nii otsene kui kaudne mõju. Mürk tapab taimed (otsene mõju), millest putukad ja vastsed toituvad. Selle tulemusena surevad nälga hävinud taimedest toitunud selgrootud (kaudne mõju), ning millest omakorda saavad mõjutatud putukatest ja vastsetest toituvad linnud (kaudne mõju). Nende sündmuste tulemusena hävib mitu liiki, mis tähendab bioloogilise mitmekesisuse ohustamist.

Geneetiliselt muundatud organismid kujutavad endast bioloogilisele mitmekesisusele ohtu, kuna üha enam hakatakse kasutama ühtesid samu “täiuslikke” geenikombinatsioone. Tulevikus maailma valitsevad biotehnoloogiatööstused kombineerivad omavahel parimad elusloodse tunnused ja loovad mõned üksikud tüved, mida kogu maailma põllumajandus kasvatama hakkab, hüljates praegused mitmed põllumajanduses kasutatavad liigid. Kui vaadata looduslikke põhjuseid bioloogilise mitmekesisuse vähenemisel, siis mõjutavad seda kõik eelpool toodud alapeatükid. Bioloogiline mitmekesisus sõltub geneetiliselt muundatud organismide sissetungimisvõimest looduslikesse kooslustesse ning sissetunginud taime või looma vastastikust mõjutamisest selle keskkonna teiste liikmetega. Samuti sõltub see vertikaalsest ja horisontaalsest geenide ülekandest ning sellest, kas ülekandunud geenid on nii võimekad, et säiluda ja üle kanduda enamikule ümbritsevatele organismidele. Lisaks eelnevale sõltub bioloogiline mitmekesisus geneetiliselt muundatud organismidest tulenevast sekundaarsest mõjust ning igasuguste “superputukate”, “-umbrohtude” ja “-haiguste” väljakujunemisest, mis võivad muuta elusloodust. Nagu eelpool olevates alapeatükkides mainitud, omavad samasugust mõju ka tavapärases põllumajanduses sisse toodavad uued liigid, kuid geneetiliselt muundatud organismide puhul on teadmatus ja määramatus märksa suurem.

4 ÖKOLOOGILISTE RISKIDE ENNETAMIS- JA LEEVENDUSVÕIMALUSED

Uute tehnoloogiate puhul on alati probleemiks riskid, mida need endaga kaasa toovad. Selleks, et tehnoloogiat kasutusele võtta, on vaja riskid võimalikult madalale tasemele viia. See tähendab, et kasu, mis sellest saadakse, ületaks selgelt ilmnedu võivaid kahjulikke mõjusid ning nende ilmnemise tõenäosust. Selle saavutamiseks võetakse kasutusele ennetus- ja leevendusmehhanismid, mis minimiseerivad riskide realiseerumise võimalused.

Muundatud geenide keskkonda tungimise vähendamiseks ja takistamiseks on mitmeid viise, alustades biotehnoloogia meetoditega ja lõpetades lihtsate barjäärtsooni isolatsioonivahemaadega. Paraku on kõigil riski leevendusmeetoditel omad puudused ning nad pole veel kasutuselevõtmiseks valmis. Tänapäevaks pole ükski lähenemine ega strateegia võimeline geenide ülekandumist saajaprotsendiliselt ära hoidma ning samuti pole leitud lahendust, mis sobiks kõikidele liikidele. (Öko-Institut e.V. 2003/2004)

Geneetiline informatsioon võib keskkonnas mitmel viisil levida. Alljärgnevalt on ära toodud võimalused õietolmu ja seemnete leviku vähendamiseks ja seega riski leevendamiseks.

GM-taimede õietolmu levikut ja seega geenide ülekannet sugulasliikidele saab vältida või vähendada:

- istutades ümber GMO põllu ääristav taimedest vaheriba (puhvertsoon), mis käitub nagu õietolmu barjäär;
- jättes isolatsioonivahemaa;
- kattes taimed õitsemise ajal kotiga või
- lõigates arenevad õiepungad ära ja
- hävitades kogu korjatud taimematerjali (UK Joint Regulatory Authority and Secretariat to ACRE 2000).

Üks kõige rohkem arutatud võimalus geenide ülekandumise takistamiseks on isolatsioonivahemaade jätmine geneetiliselt muundatud taimede kasvukohtade ja alade vahel, mis peavad säiluma GMO-vabana. (Öko-Institut e.V. 2003/2004) Ühe liigi GMO ja mitte-GMO põldude või liikide, mis omavahel vabalt ristuvad, põldude vahele jääv eraldusala on kõige olulisem faktor GM-õietolmu leviku vähendamisel teistele põldudele. Nõutav vahemaa sõltub:

- konkreetse liigi leviku- ja paljunemiskarakteristikutest (õietolmu suurus, õietolmu vektorid, liitumisvõime teiste liikide genoomi);
- mitte-GM-liikides lubatavast GMO esinemise määra, mille puhul ei pea toote pakendil olema eraldi märgistust;
- kasvu-, maastiku ja kliimaatilistest tingimustest ning
- õietolmu allika ja vastuvõtja põllu suurusel. (GMCC 2003)

Puhvertsooni kasutatakse, et kaitsta mahepõllumajandust või GM-õietolmu eest. Tsoon võib koosneda sama liigi või teiste õistaimede esindajatest (putuktolmlevad põllukultuurid). Isetolmlevate taimede puhul aitab see ala vähendada ka tuulega edasikanduvat õietolmu hulka. Puhvertsooni suurus sõltub õietolmu ristumisvõimest sama liigi teiste sortidega ja lähisugulasliikidega, õietolmu allika suurusel ja selle kaugusel vastuvõtjaliikidest. (GMCC 2003)

Mitmeaastane kasvatamisintervall vähendab GM-taimelt sama liigi mitte-GM-õietolmu kasvatamisele ülemineku puhul uude liiki sissetungivate taimede arvu ning pinnase seemnevarusid. Tavapõllumajanduselt mahepõllumajandusele ülemineku kasvuintervall on 24 kuud, kuid selle ajaga ei hävi kaugelki mitte kõik seemned. (GMCC 2003) Seetõttu oleks oluline geneetiliselt muundatud organismidelt traditsioonilisele põllumajandusele üle minnes hoida pikemat vaheaega, enne kui sama liigi mittemuundatud taimed varem GM-õietolmu kasvatamiseks kasutatud põllule külvatakse. Vastasel korral idanevad põllu seemnepanka jäänud GM-taimed koos mittemuundatud taimedega ja segunemine ning geenide vahetus oleks vältimatu.

Tolmlejad putukad otsivad nektarit väga suurtelt aladelt. Nende lennuulatus sõltub

õietolmuallikate kättesaadavusest. Seega on väga oluline võimaldada tolmejatel putukatel piisavalt alasid, kust nad saaksid õietolmu ja nektarit koguda, et nad ei peaks GM-põldudele siirduma. Siinkohal on oluline jälgida ka putukakolooniate ja põldude vastastikkust asetust. Kliimaatiliste tingimuste puhul, näiteks madala õhutemperatuuri korral, võib õietolmu hulk langeda ja tolmejad siirduvad kaugematele põldudele. Sellistel puhkudel on võimalik õietolmu edasikandmine kaugemalasuvalt GM-põldudelt mittemuundatud liikidele. (GMCC 2003) Tavapärasel põllumajanduses on õietolmu leviku takistamiseks kasutatud ka steriilset isasliini. Paraku pole see aga isegi geneetilise modifikatsiooni tehnoloogia puhul täielikult kohandatav, kuna võib kutsuda esile vastupidise efekti. (Hails 2000) Steriilse isasliini puhul võib suurenda õietolmu vahetus teiste taimeliikidega, mistõttu ei pruugi see geenide ülekandumise takistamisel oodatud tulemust anda.

Põlluharimismeetod on sissetungivate seemnete ellu jäämise puhul väga oluline komponent. Kõige rohkem elujõulisi seemneid säilib, kui seemned küntakse kohe pärast saagi koristust pinnasesse. Kui jätta seemned põllu pinnale, siis enamik neist idaneb juba samal sügisel ning seega saab tärnanud taimi kas keemiliselt või mehhaaniliselt hävitada. Põllukultuuride vahetumise ajal tuleb sissetungivaid GM-taimi kontrollida, et vältida nii seemnete kui õietolmu levikut. Põllukultuuri vahetumisel uue liigi või sordiga tuleb herbitsiidikindlad GM-sissetungijad hävitada kasutades täiustatud efektiivset taimemürki. On võimalik ka mehhaaniline hävitamine. Samas ei tohi unustada, et ka juurviljadel, reeglina küll alles teisel aastal, esinevad õied. Juurviljade puhul, nagu näiteks peet ja porgand, tuleb õietolmu ja seemnete leviku vältimiseks õitsevad taimed või taimeosad eemaldada. Sama tuleb teha rohumaal olevate viljapeadega. Mida efektiivsemad kontrollimehhanismid on, seda vähem ilmneb segunemist uue liigiga. (GMCC 2003)

Oluline hulk seemneid võib edasi kanduda ka külvi- ja koristustööde masinatega. Seega on väga oluline, et peale GMO põllul töötamist tuleb masinad korralikult puhtaks teha, et ei oleks võimalik GM-seemnete segunemine tavaseemnetega. Samuti võivad GM-taimed mahepõllule sattuda läga ja sõnnikuga, mis sisaldavad muundatud seemneid. Samas sõnniku õigel ladustamisel tõuseb selle sisemine temperatuur nii kõrgeks, et seemned kaotavad idanemisvõime. (GMCC 2003)

Biotehnoloogilised võimalused geneetiliselt muundatud organismidest tuleneva riski ennetamiseks ja leevendamiseks on näiteks terminaartehnoloogia ja geenide sisestamine kloroplastidesse. Nende tehnoloogiatega saab küll hübriidide teket piirata, aga mitte täielikult ära hoida. Terminaartehnoloogia sobib igale süsteemile, kus järeltulevate põlvete seemnete elujõulisus on geneetiliselt mõjutatud. "Enesetapugeen" seotakse õietolmu aktivaatoriga, et takistada õietolmu arengut või hilisemas etapis seemne idanemist. Säilitatud seemned pole järgmisel aastal eluvõimelised. Muundatud geeni sisestamine tuuma asemel kloroplasti genoomi vähendab seetõttu geenide ülekandumise võimalust, et enamikus liikides on plastiidide pärandamine ainuvalguslik (läbi emastaime). Selline lähenemine takistab geenide ülekannet õietolmu abil. (Hails 2000)

Geneetilise informatsiooni ülekandumist GMOdelt tavapõllumajandusse või loodusesse ei saa sajaprotsendiliselt vältida, kuid riskide aktsepteeritavaks tegemisel on ennetus- ja leevendusmehhanismidel suur osa. Kõiki ennetus- ja leevendusmehhanisme kasutades on riski tase võimalik viia nullilähedaseks (kuid mitte kunagi nulliks). Seega käitudes läbimõeldult ja andes endast parima negatiivsete mõjude vältimisel, saavutame olukorra, kus algul ohtlikuna tunduv tehnoloogia osutub kasulikuks ja põhimõtteliselt ohutuks. Sellise olukorra saavutamiseks tuleb aga kõvasti vaeva näha ning arvestada võimalusega, et mõningaid riske pole võimalik ette ennustada ning seetõttu on igas uues tehnoloogias juba eos teatav riskitase, millest madalamat pole võimalik saavutada.

5 ANALÜÜS

Käesolevas peatükis analüüsib autor Eestis geneetiliselt muundatud organismidest tulenevaid potentsiaalseid riske, nende tõsidust ja tõenäosust ning vaatleb erinevaid leevendusvõimalusi. Analüüsi tulemusena pakub autor välja mõningaid põhimõtteid, mida võiks Eesti geneetiliselt muundatud organismide poliitika välja kujundamisel arvesse võtta.

5.1 Hinnang geneetiliselt muundatud organismidest tulenevatele riskidele

Geneetiliselt muundatud organismidest tulenev oht võib olla väga mitmesugune. Ökoloogiline risk tuleneb muundatud taimede sissetungivusest keskkonda ning selle keskkonna vallutamisest, geenide vertikaalsest ja horisontaalsest ülekandest, sekundaarsetest ökoloogilistest mõjudest, erinevate resistentsuste välja kujunemisest – “superputukad” ja “superhaigused” – ning mõjust bioloogilisele mitmekesisusele.

Geneetiliselt muundatud taimede tungimine looduslikesse ökosüsteemidesse võib osutada teatud tingimustes probleemiks, kuid samas ei maksa seda ka ülehinnata. Arvamus, et geneetiliselt muundatud organismidel on konkurentsieelis natiivsete taimede ees, ei vasta tavaliselt tõele, kuna muundamise käigus lisatud tunnused ning nende eelised ilmnevad ainult teatud agentide olemasolul, mida looduses reeglina ei esine (näiteks herbitsiidid ja nende kindlus). Lisaks on paljusid GM-põllukultuure muundatud viisil, et nende seemned ei oleks järgmisel aastal enam elujõulised, st kevadel idanemist ei toimu. Sellega välistatakse praktiliselt igasugune võimalus seemnetega keskkonnas edasi levida.

Juhtudel, mil kaks eelnevat argumenti ei toimi, ei ole uue liigi sissetung ökosüsteemi samuti kindel, kuna evolutsiooni ja looduse dünaamika käigus on välja kujunenud sellised kooslused, kus iga liik sobib olemasolevate tingimustega kõige paremini. Liigid on pikkade aastate jooksul kohanenud just nende keskkonnatingimustega ning vabad niššid tavaliselt puuduvad. Sellistes tingimustes ei ole uutel liikidel just kõige paremad võimalused vastavasse süsteemi

sisse tungida. Seetõttu jäävad nad selles karmis võitluses tihti kaotajateks, mis väldib nende levikut. Erandiks on olukord, kus keskkonnatingimused muutuvad ning selle tulemusena sobib muundatud organism vastavasse keskkonda paremini. Siinkohal võib näiteks tuua GM-põldudega piirnevad alad, mis on tihti eksponeeritud herbitsiididele, millega põldu pritsitakse. Sellise keskkonnamuutuse korral hävivad varem eksisteerinud taimed, vabanevad ökoloogilised niššid ning nendele aladele tungivad herbitsiidikindlad taimed, mis on kohanenud elama just sellistes tingimustes.

Eesti tingimustes pole geenide vertikaalne ülekandmine looduslikele liikidele väga suureks probleemiks, kuna siin ei esine paljude kultuurtaimede ristumisvõimelisi sugulasi, kui raps välja arvata. Enamus kultuurtaimi on pärit troopilistelt aladelt. Näiteks pole maisil Eestis looduslike suguliselt ühtivaid liik, seega pole geenide vertikaalne ülekandmine GM-maisilt looduslikele liikidele võimalik. Küll aga võib probleemiks kujuneda mahe- ja tavapõllumajandust harrastavate talupidajate vilja geneetiliselt puhtana säilitamine. Maailmas pole harvad juhused, kus GM-põldudelt pärinev õietolm on sattunud mitte-GMO põldudele ning reostanud sealset saaki. Sellises olukorras tuleks rakendada saastaja maksab printsiipi, mille puhul geneetiliselt muundatud taimi kasvatav talunik, kes pole suutud GM-taimede levikut kas õietolmu, seemnete või muul viisil ära hoida, peab katma mitte-GM taimi kasvatavatele põllumeestele tekitatud kulud. Paraku on senine praktika näidanud täpselt vastupidist suhtumist. Tavapõllumajandusega tegelejad, kelle põlde on reostanud GMOd, on süüdistatuna intellektuaalse vara röövimises jäänud kohtulahendites kaotajaks tänud suurte GMOsid tootvate firmade headele advokaatidele.

Geenide vertikaalse ülekande leevendamiseks tuleb vältida õietolmu levikut geneetiliselt muundatud organismidelt tavataimedele. Selleks kasutatakse puhvertsoone, eraldusvahemaid, õite katmist ja ära lõikamist. Need meetodid ei välista geenide ülekannet. Seega kõige kindlam viis välistada igasugune geenide vertikaalne ülekandmine looduslikele liikidele on keelates kasvatada geneetiliselt muundatud organisme, mille ristumisvõimelised looduslikud sugulased elavad selles piirkonnas.

Horisontaalne geenide ülekandmine on protsess, mida inimene kontrollida ei saa. See toimub

bakterite ja viiruste abil ning ei sõltu bioloogilistest barjääridest. Asjaolu, et geneetilise muundamise käigus kasutatakse soovitud tunnuse peremeesorganismi paigutamiseks iseseisvat bakteriaalset vektorit, suurendab geneetiliselt muundatud taimede horisontaalse geenide ülekande ohtu võrrelduna traditsiooniliste põllukultuuridega. Looduses esineb horisontaalne geenide ülekandumine harva, kuid me ei oska arvata, kui palju muudavad geneetiliselt muundatud organismides olevad vektorid (bakterid) selle riski ilmnemise tõenäosust.

Sekundaarne ökoloogiline mõju on kõige rohkem muret tekitav valdkond geneetiliselt muundatud organismidest tulenevate riskide hulgas, kuna ökosüsteemis ning organismides toimuvad protsessid on väga keerulised ja ettearvamatud. Seega pole võimalik ette näha, mis geneetiliselt muundatud organismide kasutuselevõtuga kaasneda võib. Me ei tea molekulide tasemel toimuvaid protsesse, mille käivitavad uute, tihti teistest hõimkondadest pärit, geenide sisestamine. Samuti ei tea me koosluses toimuma hakkavat, kui sellesse liitub uus liik või mõni olemasolevatest hävib. Kõiki organismide omavahelisi seoseid ei saa teada ning seetõttu saavad probleemid selgeks alles siis, kui koosluse toimimine on rikutud ning endise olukorra taastamine sageli võimatu. Seetõttu on väga oluline kaaluda kõiki võimalikke seoseid ja organismide omavahelisi mõjusid enne kui GMOD kasutusele võetakse. Üks mooduseid neid riske selgeks saada on teha katseid looduslikes ja labori tingimustes ning kasutada modelleerimist.

“Superkahjurite” ja “superhaiguste” teke on tavapõllumajanduses probleemiks olnud juba aastaid. Kahjurid ja haigused harjuvad mürkidega nende pikaajalisel pideval kasutamisel ning samuti üha suurenevate mürgi kontsentratsioonidega. Ei ole vahet, kas putukad ja haigused muutuvad mürkide suhtes resistentseks evolutsiooni tõttu, kohanedes uute keskkonnatingimustega, või võtavad muundatud taimedelt teatavad tunnused üle. Tulemus on üks ja see sama. Kahjurite ja haigustega võitlemine on jätkuv protsess, mida oluliselt ei muuda GMODE olemasolu. Resistentseuse välja kujunemist saab aeglustada vahetades aegajalt mürki või kasvatades periooditi korda mööda GMOsid ja tavakultuure.

Bioloogiline mitmekesisus sõltub suuresti eelmainitud ohtudest, kuid ei saa mainimata jätta, et enamjaolt omavad tavapõllumajanduses kasvatatavad ja sordiaretusega saadud keskkonda

lastavad uued organismid samasuguseid ohte. Bioloogiline mitmekesisus on tänapäeval kõige rohkem ohustatud inimese mõtteviisist ja põlluharimise meetodist, mille puhul kasvatakse üle maailma ühtesid samu monokultuure. Siin ei mängi niivõrd rolli, kas tegu on GMOga või mitte, vaid pigem see, et väga paljud liigid jäetakse kasutuselt kõrvale ning paljud liigid hävitatakse, et saada monokultuurne põllumaa. Bioloogilise mitmekesisuse vähenemist saab pidurdada vaid inimese suhtumise ja põlluharimisharjumuste muutmisega.

Geneetiliselt muundatud organismide riski hindamise juures ei tohiks unustada, et geneetiliselt muundatud organismide kasutuselevõtt võib praegune põllumajandus keskkonnasõbralikumaks muutuda. Näiteks võttes kasutusele putukakindlad põllukultuurid, ei ole vaja enam nii palju pestitsiide kasutada. Teadaolevalt on putukamürkide kasutamine endaga kaasa toonud tohutud pinnase reostused. Geneetiliselt muundatud organismide kasutuselevõtt võib reostuse teket tulevikus vähendada.

5.2 Soovitused Eestis geneetiliselt muundatud organismide poliitika välja kujundamiseks

Lähtudes eelnevast leiab autor, et Eestisse võiks geneetiliselt muundatud organisme lubada, kuid tuleks järgida järgmisi põhimõtteid:

- loodusesse laskmine peab olema kaalutletud;
- loodusesse lastakse ainult selliseid geneetiliselt muundatud organisme, millel Eestis ei esine looduslikke ristumisvõimelisi sugulasi;
- loodusesse ei lasta organisme, mis võivad esile kutsuda kliimaatilise, ökoloogilise vms katastroofi, st peab säilima normaalne aine- ja energiaringe;
- riskide hindamisel tuleb kaaluda kõiki potentsiaalseid häid ja halbu ilmnedu võivaid mõjusid;
- iga juhtumit (keskkonda laskmist) peab käsitlema eraldi ning vastavalt asjaoludele, st riskihindamise protsess peab käima samm sammult ning lähtuma vastavatest tingimustest;
- riskihindamise protsess peab olema paindlik, et arvesse võtta ootamatult ilmnevaid

varem mitteteadaolevaid riske;

- geneetiliselt muundatud organismide keskkonda laskmine ja riskihindamise protsess peavad olema seadusandlusega reguleeritud (hetkel hinnatakse Euroopa Liidus GMOsid ja GM-tooteid EL direktiivi 2001/18/EEC alusel);
- peab olema korraldatud tõhusalt toimiv järelvalve riskihindamise protsessile ja geneetiliselt muundatud organismide kasvatamisele;
- geneetiliselt muundatud organisme kasvatava taluniku poolt tuleb võtta kasutusele kõik riskide ennetamise ja leevendamise võimalused;
- GMO kasvatajate ja turustajate suhtes, kes ei suuda vältida GMO soovimatut keskkonnas levimist, tuleb rakendada saastaja maksab printsiipi.

Eesti GMO-poliitika ja riskihindamise metoodika on suhteliselt madalal tasemel ning pidevas muutumises. Riskianalüüsi teostab Eestis keskkonnaministeeriumi geenitehnoloogia komisjon. Geneetiliselt muundatud organismide kasutamise ja selle kontrolli süsteemi paremaks toimimiseks on vaja võtta vastu teatavad otsused. Näiteks kuidas panna toimima GMODE ja mahepõllumajanduse koeksisteerimine. Samuti peab tihendama koostööd erinevate sektorite vahel.

KOKKUVÕTE

Geneetiliselt muundatud organismide vaidlusteema on maailmas hetkel väga palju kajastatud. Eestis on valdkonnaga vähe tegeletud. Seetõttu pole selgeks saadud, milliseid riske kujutab geneetiliselt muundatud organismide kasutuselevõtt Eesti looduslikes tingimustes. Samuti puudub Eestis hetkel korralik geneetiliselt muundatud organismidest tuleneva ökoloogilise riski hindamise meetodika. Selleks, et otsustada, kas eestlased peaksid kasutusele võtma geneetiliselt muundatud organismid, tuleb selgeks teha potentsiaalsed riskid. Nende riskide analüüsimise alusel tuleb luua Eesti GMO-poliitika, kujundada riskihindamise protsess ning leida ennetus- ja leevendusvõimalused.

Geneetiliselt muundatud organismidest tulenev ökoloogiline risk on küllaltki sarnane tavapõllumajanduses kasutatavate ja -sordiaretuses saadavate taimedest tuleneva riskiga, kuid siinjuures ei tohi ära unustada, et GMOde puhul on teadmatus ja määramatus suuremad. Ei ole võimalik kõiki muundamise mõjusid ette näha, kuna sisestatavad tunnused on tihti pärit teistest hõimkondadest. Samuti ei ole võimalik ette ennustada peremeesorganismi geenide ja uute sisestatud geenide omavahelisi interaktsioone, mistõttu võivad esile kerkida probleemid, millega pole arvestatud. Ei ole teada ka muundatud taimede nn eelistest tulenevat mõju ökosüsteemile, kuna ökosüsteemis toimuvad protsessid on väga keerulised ja etteennustamatud.

Ökoloogilised riskid on tingitud geneetiliselt muundatud organismide sissetungimise ohust ökosüsteemi, vertikaalsest ja horisontaalsest geeniülekandest, sekundaarsetest ökoloogilistest mõjudest, superkahjurite ja -haiguste tekkevõimalusest ning mõjust bioloogilisele mitmekesisusele. Kõige problemaatilisemateks riskideks võib lugeda esiteks geenide horisontaalset ülekannet, kuna GMOde valmistamisel kasutatakse vektoreid, mis looduslikes protsessides on horisontaalse geeniülekande põhjustajateks ning kuna inimene seda protsessi kontrollida ei saa. Teiseks sekundaarne ökoloogiline mõju, kuna seda pole tihti võimalik ette näha ning seetõttu pole võimalikud ka ennetus- ja leevendusvõimalused. Üldiselt võib öelda, et eelloetletud riskid on sarnased tavapõllumajandusest tulenevate riskidega ning neid on võimalik õige tegutsemisviisiga (leevendusega) viia tasemele, mis on aktsepteeritav.

Käesoleva töö tulemusena võib öelda, et Eestisse võib lubada geneetiliselt muundatud organisme juhul, kui peetakse kinni teatavatest tingimustest. Geneetiliselt muundatud organismide keskkonda lubamisel tuleks jälgida, et seal ei esineks nende looduslike ristumisvõimelisi sugulasi ning et säiluks normaalne aine- ja energiaringe, st keskkonda ei tohiks lubada geneetiliselt muundatud organisme, mis võivad esile kutsuda kliimaatilise, ökoloogilise või muu katastroofi.

Diplomitöös pole teema kõiki aspekte käsitletud ning lõpuni avatud, mistõttu soovib autor valdkonda edasi uurida, arendada ja analüüsida magistratöös.

Erilised tänud juhendajatele Toomas Veidebaumile ja Andres Õunmaale, kes tegid asjakohaseid märkuseid ja andsid nõu diplomitöö koostamisel.

SUMMARY

The title of this paper is “Ecological risk of genetically modified organisms used in agriculture”. The author of the paper is Katrin Ritso, who is the third year student of environmental management at Tallinn Pedagogical University. The analysis helps to find out the risks posed by genetically modified organisms used in agriculture and how to manage the risks. The aim of the paper is to give an answer to the question: should Estonians allow genetically modified organisms to introduce into their nature. Author also gives some suggestions to build up the policy of GMOs in Estonia. The method of writing this paper is based on the analysis of the literature.

The topic of genetically modified organisms is quite well worked out in the world but not in Estonia. It is not clear what kind of risks the practical introduction of GMOs can bring to Estonian nature. There are no exact methods to measure the ecological risk of genetically modified organisms in Estonia. To make decisions whether GMOs may be allowed to grow in Estonia it is important to define all potential risks they pose to nature. The policy of GMOs in Estonia, the process of risk assessment and management as well as alternatives for their use must base on possible hazards.

The ecological risk posed by genetically modified organisms is quite similar to the traditional agriculture or conventional breeding. Though it is important to keep in mind that the uncertainty is much bigger in the case of GMOs. It is not possible to foresee all the hazards as the new traits introduced into GM crops are often derived from other species or even phyla. It is almost impossible to predict genomic and phenotypic consequences of the interactions between the genes and traits of the recipient and the inserted genes, so there can arise problems that were not previously considered. There is still no idea what are the real impacts of GMOs on the ecosystem as the processes in it are so complicated and unpredictable.

The main ecological risks of GMOs are their possible invasiveness, vertical and horizontal gene flow, formation of superinsects and superdiseases and their deleterious effects on biodiversity. Most problematic of these risks is horizontal gene flow, because vectors used for

constructing of GMOs may transfer the genes also in nature. Unfortunately human beings are not able to control the horizontal gene flow. Finally it should be stressed that the risks the GMOs pose are analogous to the risks of conventional agriculture and the risks should be managed to the acceptable level.

Based on the analysis of this paper it can be said that genetically modified organisms may be allowed to introduce into Estonian nature if certain requirements are met. One prerequisite is that they do not have sexually compatible relatives in our environment. The cycling of substances and energy must remain normal what means that GMOs may not cause any climatic, ecological or some other kind of catastrophes in local environment.

The topic of this work does not cover all aspects of the problem. The author wishes to continue the work during her master studies and analyze GMO practice in much broader scale.

Many thanks to the tutors Toomas Veidebaum and Andres Õunmaa, who gave good advise and made pertinent comments.

KASUTATUD KIRJANDUS

- Cartagena protokoll.** 2000. Bioloogilise mitmekesisuse konventsiooni Cartagena protokoll bioloogilise ohutuse kohta. www.envir.ee/looduskaise/biosafeti_tolge.pdf 28.04.2004
- Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation.** 2004. Ecological Implications of Genetically modified Organisms (GMOs). <http://www.ento.csiro.au/GMO-impact/> 26.04.2004
- Conner, A., J. Glare, T., R. Nap, J-P.** 2003. The release of genetically modified crops into the environment. Part II. Overview of ecological risk assessment. The Plant Journal. (2003) 33. 19-46. <http://64.26.159.139/articles.php> 6.04.2004
- CSIRO.** The science of gene technology: benefits and risks. Gene Technology in Australia. <http://genetech.csiro.au> 26.04.2004
- Eek-Piirsoo, L.** Kui GMO-d Eestisse jõuavad... <http://www.greengate.ee/contents.php?t=1&show=288> 28.11.2003
- Environmental and Occupational Health.** 2003. PubH 5103: Exposure to Environmental Hazards. Minnesota. <http://www1.umn.edu/eoh/5103/gm/> 21.03.2004
- Euroopa Liidu** GMO poliitika. <http://www.envir.ee/looduskaitse/Euroopa%20Liidu%20GMO%20poliitika.pdf> 28.11.2003
- Genetics Society of America.** Statement GMO's. Assessing Benefits and Risks of Genetically Modified Organisms. <http://genetics.faseb.org> 27.04.2004
- GMCC.** 2003. Report from the Danish Working Group on the co-existence of genetically modified crops with conventional and organic crops. http://www.agrsci.dk/gmcc-03/Co_exist_rapport.pdf 11.05.2004
- Hails, R., H.** 2000. Genetically modified plants - the debate continues. Trends in Ecology and Evolution. 15. 14-18. www.sciencedirect.com 16.04.2004
- Hulse, J., H.** 2004. Biotechnologies: past history, present state and future prospects. Trends in Food Science and Technology. 15. 3-18. www.sciencedirect.com 16.04.2004
- Johnson, B.** Genetically Modified Crops and Other Organisms: Implications for Agricultural Sustainability and Biodiversity. www.cgiar.org/biotech/rep0100/Johnson.pdf 26.04.2004
- Landis, W., G. Lenart, L., A. Spromberg, J., A.** 2000. Dynamics of Horizontal Gene Transfer and the Ecological Risk Assessment of Genetically Engineered Organisms. Human

and Ecological Risk Assessment. 6. 875-899

Peterson, R., K., D. I know what risk is, but how do I assess it? The Risk Assessment Paradigm. UNL's AgBiosafety for Educators. <http://agbiosafety.unl.edu/paradigm.shtml> 27.04.2004

Querol, D. 1992. Genetic Resources Our Forgotten Treasure. Technical and Socio-economic Approaches. Third World Network. Penang

Renault, P., 2002. Genetically modified lactic acid bacteria: applications to food or health and risk assessment. Biochimie. 84. 1073-1087. www.sciencedirect.com 16.04.2004

Rifkin, J. 2000. Biotehnoloogia sajad. Kuidas geneetikaäri muudab maailma. Fontes. Pärnu Konverentsid. Praktikum praktikule. Tartu

Spoek, A. Karner, S. Gaugitsch, H. Hofer, H. Kienzl-Plochberger, K. Lehner, P. Stirn, S. Valenta, R. 2003. "Risk Assessment in Action" - Reviewing the Practice of Toxicological Risk Assessment of GMO Products in the European Union. Ravello

Stilwell, M., Van Dyke, B. 1999. An Activist's Handbook On Genetically Modified Organisms and the WTO. The Consumer's Choice Council. Center for International Environmental Law. Šveits

Zakri, A., H. 2001. International Standards for Risk Assessment and Risk Management of Biotechnology. International Center for Trade and Sustainable Development. www.ictsd.org 21.03.2004

Thompson, C., T. Thompson, B., J., P. Ades, P., K. Cousens, R. Garnier-Gere, P. Landman, K. Newbiggin, E. Burgman, M., A. Model-based analysis of the likelihood of gene introgression from genetically modified crops into wild relatives. Ecological Modelling. 162. 199-209. www.sciencedirect.com 16.04.2004

Truve, E. 2004. Geneetiliselt muundatud taimed pole ohtlikud. Eesti Loodus. 2. 6-9

UK Joint Regulatory Authority and Secretariat to ACRE. 2000. Risk Assessment for Release and Marketing of GMOs in the European Union. Joint ACRE Secretariat. <http://www.defra.gov.uk/environment/gm/index.htm> 21.03.2004

van den Daele, W. Strategies of dealing with the risk of genetic engineering: Lessons from a participatory technology assessment in Germany. www.bba.de/gentech/worksh03.htm 27.04.2004

Öko-Institut e.V. 2003/2004. Gene flow – so what? Genetic Engineering Newsletter –

Special Issue 11/12. http://www.zs-l.de/gmo/downloads/geneflow_oekoinstitut%20.pdf

11.05.2004