

**OSMO KUUSI**

# **UUSI BIOTEKNIikka**

**MAHDOLLISUUKSIEN JA UHKIEN TEKNOLOGIA**

**KUSTANNUSOSAKEyHTIÖ TAMMI  
HELSINKI**

**Kannen kuva esittää selluloosaketjun liukoisiksi sokereiksi pilkovaan entsyymiä.  
Kuvaaja Juha Rouvinen, julkaistu VTT:n luvalla.**

**VATT-tutkimuksia 1 ISSN 0788-5008**

**© Osmo Kuusi 1991**

**Kansi, taulukkografiikka ja taitto: Petri Kuokka**

**Painanut Karisto Oy Hämeenlinna 1991**

**ISBN 951-30-9630-0**

# UUSI BIOTEKNIikka

## MAHDOLLISUUKSIEN JA UHKIEN TEKNOLOGIA

### SISÄLLYS

Esipuhe..... 8

#### LUKU 1. ONKO SYNTYMÄSSÄ UUSI MEGATEKNOLOGIA?

1.1. Uuden biotekniikan mahdollisuuksia ja uhkia .....10

1.2. Megateknologian tunnusmerkkejä.....17

1.3. Pioneerivaihetta elävä uusi biotekniikka .....19

Uuden biotekniikan synnytystuskia

Millainen biotekniikkayritys menestyy Suomessa?

1.4. Onko uusi biotekniikka  
megateknologia vuonna 2010? .....25

#### LUKU 2. UUDEN BIOTEKNIIKAN LUONNONTIETEELLISIÄ JA EETTISIÄ LÄHTÖKOHTIA

2.1. Biokemian peruskäsitteitä.....38

2.2. Uuden biotekniikan keskeiset menetelmät .....40

Yhdistelmä-DNA -tekniikka

Monoklooniset vasta-aineet

Muita uuden biotekniikan menetelmiä

2.3. Uuden biotekniikan eettisiä ongelmia .....50

Biotekniikan riskejä

Suhtautumistapoja biotekniikan riskeihin

Riskien valvonta Suomessa

## **LUKU 3. UUDEN BIOTEKNIIKAN SOVELLUTUSALUEET**

- 3.1. Diagnostiikan sovellutukset .....63**  
Diagnostiikan pääsovellutusalueet  
Omatoimiseen tautien tunnistamiseen  
Ihmisen perimän kartoitus ja perinnöllisten tautien diagnostikka  
Eläin- ja kasvidiagnostikka  
Arviot diagnostiikkasovellutusten taloudellisesta merkityksestä
- 3.2. Uusi biotekniikka lääkkeiden valmistuksessa .....79**  
Suomalaisten menestymisen mahdollisuudet lääkkeiden valmistuksessa  
Arviot lääkesovellutusten taloudellisesta merkityksestä
- 3.3. Geeniterapia .....85**  
Geeniterapian mahdollisuudet ja uhat  
Arviot geeniterapian taloudellisesta merkityksestä
- 3.4. Kasvinjalostus uuden biotekniikan menetelmin .....87**  
Metsänjalostuksen uudet mahdollisuudet  
Uusi biotekniikka kasvihuone- ja peltokasvien jalostuksessa  
Arviot kasvinjalostuksen sovellutusten taloudellisesta merkityksestä
- 3.5. Eläinjalostus uuden biotekniikan menetelmin .....100**  
Uuteen biotekniikkaan perustuvan eläinjalostuksen yleiset edellytykset  
Alkiokasvatuksen ja geneettisen muuntelun tulevia mahdollisuuksia  
Arviot eläinjalostuksen sovellutusten taloudellisesta merkityksestä
- 3.6. Elintarvikkeet ja uusi biotekniikka .....104**  
Uusi biotekniikka - vastaus elintarvikealan kovenemaan kansainväliseen kilpailuun?  
Rehujen tuotanto ja viljakasvien käsittely  
Uudet tuotteet kasvi- ja eläinrasvoista tai -valkuaisaineista  
Elintarvikkeiden aromi ja muut lisäaineet  
Uudet maitotuotteet  
Uuden biotekniikan taloudellinen merkitys elintarviketeollisuudessa

<b>3.7. Sovellukset kemikaalien valmistukseen.....</b>	<b>113</b>
Sovellukset bulkkikemikaalien valmistukseen	
Hienokemikaalien tuottaminen	
Arviot bioteknisen kemikaalien valmistuksen taloudellisesta merkityksestä	
<b>3.8. Uusi biotekniikka puunjalostusteollisuudessa ja kaivostoiminnassa .....</b>	<b>117</b>
Puiden säilyvyyden parantaminen, kuorinnan helpottaminen ja nykyisin korjaamatta jäävän puun hyödyntäminen	
Uutta biotekniikkaa hyödyntävä sellun ja paperin valmistus	
Uuden biotekniikan sovellukset kaivostoimintaan	
Puunjalostussovellutusten taloudellinen merkitys	
<b>3.9. Uuden biotekniikan sovellukset energian tuotantoon.....</b>	<b>129</b>
Biokaasun tuotanto	
Muu energian tuotanto	
Arviot energiasovellutusten taloudellisesta merkityksestä	
<b>3.10. Jätteiden käsittely ja ympäristömyrkköjen tekeminen vaarattomiksi.....</b>	<b>138</b>
Teollisuusjätteiden hävittäminen tai muodostumisen vähentäminen biotekniikan keinoin	
Yhdyskuntajätteiden käsittely	
Arviot jätteiden käsittelysovellutusten taloudellisesta merkityksestä	
<b>3.11. Biotekniikan laitteet.....</b>	<b>147</b>
Onko bioteknisten laitteiden valmistuksen nousukausi menossa ohitse?	
Suomen mahdollisuudet bioteknisten laitteiden tuottajana	
Biosensorit (-anturit), biotietokoneet ja asiantuntijajärjestelmät	
Biotekniikan laitesovellutusten elinkaaren vaiheet ja taloudellinen merkitys	
<b>LIITE .....</b>	<b>154</b>
Delfoi-menetelmä ja sen käyttö uuden biotekniikan tulevan kehityksen arvioinnissa	
<b>UUDEN BIOTEKNIIKAN SANASTOA.....</b>	<b>160</b>
<b>KÄYTETTY KIRJALLISUUS .....</b>	<b>168</b>

## Esipuhe

Kahdeksantoista vuotta sitten siirrettiin ensimmäisen kerran perintötekijöitä eliölajista toiseen. Tästä tieteellisestä edistysaskeleesta katsotaan alkaneen uuden biotekniikan aikakauden. Uuden biotekniikan kauaskantoisimmat mahdollisuudet ovat edelleen taidossa muuttaa perintötekijöitä, vaikka siihen nykyisin sisällytetään monia erilaisia menetelmiä. Satunnaisten mutaatioiden ohjaaman evoluution rinnalle on tullut harkittuihin muutoksiin perintötekijöissä perustuva lajien kehittäminen.

Uuden biotekniikan taloudellisen merkityksen tulevaisuudessa on arvioitu rinnastuvan tietotekniikan vaikutuksiin. Tässä tutkimuksessa pohditaan uuden biotekniikan taloudellisia ja muita yhteiskunnallisia vaikutuksia kymmenen ja kahdenkymmenen vuoden kuluttua asiantuntijahaastattelujen pohjalta. Raportti on syntynyt yhteistyössä alan suomalaisten asiantuntijoiden ja Taloudellisen suunnittelukeskuksen (nykyisin Valtion taloudellinen tutkimuskeskus) kanssa.

Tutkimuksen on kirjoittanut Taloudellisen suunnittelukeskuksen (nykyisin Valtion taloudellisen tutkimuskeskuksen) erikoistutkija Osmo Kuusi. Hänen tieteellisinä avustajinaan haastattelujen tekemisessä ja raportin kirjoittamisessa ovat olleet MMT Mervi Sibakov Valiosta ja TkT Liisa Viikari Valtion teknillisestä tutkimuskeskuksesta. Tutkijoita on avustanut tukiryhmä, johon ovat kuuluneet professori Tor-Magnus Enari Valtion Teknillisestä

Tutkimuskeskuksesta, dosentti Hans Söderlund Orion OY:stä, TkL Paula Nybergh Teknologian kehittämiskeskuksesta ja toimistopäällikkö Antti Romppanen Taloudellisesta suunnittelukeskuksesta.

Valtion taloudellinen tutkimuskeskus kiittää kaikkia hankkeeseen osallistuneita sekä Kustannus Oy Tammea, joka on ottanut tutkimusraportin julkaistavakseen.

Seppo Leppänen

# 1.♦

## ONKO SYNTYMÄSSÄ UUSI MEGATEKNOLOGIA?

### 1.1. Uuden biotekniikan mahdollisuuksia ja uhkia

Kuluva vuosisata on ollut toistuvien teknologisten murrosten aikaa. Toisiaan syrjäyttäneet teknologiset järjestelmät ovat laajasti vaikuttaneet tuotantoon, yhteiskuntasuhteisiin ja elämäntapoihin. Tällaisia "megateknologioita" ovat olleet höyryvoimaa korvaava sähkövoima, öljyyn perustuvat synteettiset materiaalit ja parin viime vuosikymmenen aikana mikroelektronikka.

On mahdollista, että *uudesta biotekniikasta* tulee seuraava laajasti yhteiskuntaan ja talouteen vaikuttava megateknologia. European Federation of Biotechnology (EFB) antoi vuonna 1989 biotekniikalle seuraavan määritelmän:

Biotekniikka on luonnontieteiden ja insinööritieteiden yhdistämistä tuotteiden ja palvelujen aikaansaamiseksi organismien, solujen, niiden osien ja niissä esiintyvien molekyyliden avulla.

*Uudella biotekniikalla ymmärretään tässä tutkimuksessa vuoden 1970 jälkeisiin innovaatioihin perustuvaa biotekniikkaa.*

Biotekniikalla on pitkät perinteet. Oheen on koottu joitakin virstanpylväitä sen kehityksessä (mm. Prentis 1984). Uuden bio-



## BIOTEKNIIKAN VIRSTANPYLVÄITÄ

### Perinteinen biotekniikka:

Hiivan käyttö viinin ja oluen valmistuksessa	ennen v. 6000 e.a.a.
Hapanleivän valmistus hiivan avulla	noin 4000 e.a.a.
Kuparin erottaminen malmista mikrobin avulla Espanjassa	ennen v. 1680
Edward Jenner tekee ensimmäisen rokotuksen	1796
Louis Pasteur osoittaa mikrobin keskeisen aseman oluen valmistuksessa	1876
Alkoholia käytetään ensimmäisen kerran moottorin polttoaineena	1890
Eduard Buchner keksii, että hiivan erittämät entsyymit muuntavat sokerin alkoholiksi	1897
Mikrobeja hyväksikäyttäviä viemäriveden puhdistuslaitoksia otetaan käyttöön	n. 1910
Kolmea merkittävää teollisuuskemikaalia – asetonia, butanolia ja glyserolia – tuotetaan bakteereilla	1912-14
Alexander Fleming keksii penisilliinin	1928
Penisilliinin tuottaminen laajassa mittakaavassa alkaa	1944
DNA:n kaksoiskierrerakenne selvitetään	1953 (ks. s. 40)
Uusien antibioottien, kuten streptomysiinin käyttöönotto	1950-luvulla
Uraanin erottaminen malmista mikrobin avulla Kanadassa	1962 (ks.s.127)

### Uusi biotekniikka:

Ensimmäiset onnistuneet geneettisen muuntelun kokeet, yhdistelmä-DNA-tekniikka (rDNA); perintöaineksensiirto eri eliölajien välillä tulee mahdolliseksi	1973 (ks. s. 40)
Valmistetaan ensimmäiset hybridomasolut, jotka tuottavat monokloonisia vasta-aineita	1975 (ks. s. 45)

USA:n Kansallinen terveysturvavirasto asettaa rajoituksia geneettiselle muuntelulle	1976 (ks. s. 57)
USA-lainen tuomioistuin päättää, että geneettisesti muunneltuja mikrobeja voi patentoida	1981 (ks. s. 58)
Geenimuuntelun avulla tuotettu insuliini hyväksytään käytettäväksi sokeri-tautiin USA:ssa ja Englannissa	1982
Ensimmäinen lupa päästää geneettisesti muunneltuja mikrobeja luontoon myönnetään	1982 (ks. s. 52)
Kasvien ja puiden mikrolisäys eli kloonaustekniikka tulee markkinoille	1983 (ks. s. 90)
Polymeraasiketjureaktio (PCR) aikaansaadaan ensimmäisen kerran	1985 (ks. s. 42)
Toisesta lajista peräisin olevia geenejä sisältävälle hiirelle myönnetään patentti	1987
Ensimmäinen kenttäkoe geneettisesti muunnellulla hyönteisiä torjuvalla mikrobilla	1988 (ks. s. 57)
Euroopan yhteisön patenttivirasto hyväksyy patentoitavaksi valkuaisinerakenteeltaan muutetun kasvin	1989

tekniikan kannalta keskeisten tapahtumien yhteyteen on merkitty, millä sivuilla niitä käsitellään tässä kirjassa.

Biotekniikka on mahdollisuuksien ja uhkien teknologia. Eri-tyisesti tämä koskee uuden biotekniikan keskeistä innovaatiota eli geneettistä muuntelua. Perintötekijöiden siirtäminen lajien välillä onnistui ensimmäisen kerran 1970-luvun puolivälissä. Vaikka kehitys on sittemmin edennyt paljon hitaammin kuin alkuun kuviteltiin, biotekniikka on vähä vähältä lunastamassa siihen kohdistettuja odotuksia.

Valitettavasti biotekniikka näyttää vähitellen etenevän paitsi yleistä etua palvelevissa, myös eräissä yleisen edun kannalta kyseenalaisissa suhteissa. Seuraavan aukeaman kuvioon on yhteenvedonomaaisesti koottu asiantuntijoiden mahdollisina pitämiä biotekniikan sovellutuksia tai vaikutuksia. Ne on jaoteltu osiksi valoisaa ja synkkää tulevaisuudenkuvaa. Tähdellä merkityissä kohdin on jo olemassa sovellutuksia. Luettelo on esimerkinomainen.

Vaikka uuteen biotekniikkaan liittyy uhkia, sen tarjoamat mahdollisuudet ovat paljon suurempia. Sillä voidaan kehittää teknologiaa, jota on kutsuttu luontosuuntautuneeksi teknologiaksi (Malaska 1990) tai vähän päästöjä tuottavaksi teknologiaksi.

Eräs YK:n järjestämä seminaari antoi vähän päästöjä tuottavalle teknologialle seuraavan luonnehdinnan:

Vähän päästöjä tuottavilla teknologioilla ymmärretään tuotantomenetelmiä, missä kaikki raaka-aineet ja energiavarat käytetään hyvin rationaalisesti ja integroidusti kehässä: raaka-aineet – tuotanto – kulutus – uudet raaka-aineet siten, että mikään vaikutus ympäristöön ei häiritse kehän normaalia toimintaa. (Larderel 1989)

Yksinkertaistaen voidaan puhua "kovasta" ja "pehmeästä" teknologiasta.

Uudella biotekniikalla voidaan tavoitella ideaalista pehmeää teknologiaa. Biotekniikka kohdistuu orgaaniseen, auringon energialla uudistuvaan materiaaliin. Esimerkiksi entsyymien käyttö prosessien käynnistäjinä ja ohjaajina ei tyypillisesti edellytä muuta energiaa kuin mitä käsiteltävästä biomassasta vapautuu.

## PIMEÄ TULEVAISUUS

Vaarattomien tautien  
kallista hoitoa

Vääriä toiveita  
syövän hoidosta

Vajavaisten ihmisten  
karsiminen sikiövaiheessa

Lisääntyviä myrkkyyriisku-  
tuksia kestäviä kasveja \*

Superjuolavehnnä

Liikuntakyvyttömiä paljon  
lihaa tuottavia eläimiä \*

Yllättäviä sivuvaikutuksia  
aiheuttavia elintarvikkeita

Vaikeasti hallittavia  
entsyymejä \*

Ympäristön epäpuhtauksia  
vaaralliseksi orgaanisiksi  
myrkyiksi muuttavia mikrobeja

Kallista energian tuotantoa \*

## BIOTEKNIIKAN MAHDOLLISUUDET JA UHKAT

DIAGNOSTIIKKA,  
LÄÄKKEET JA  
ROKOTTEET

GEENITERAPIA

KASVIEN JA  
ELÄINTEN  
KEHITTÄMINEN

UUDET ELIN-  
TARVIKKEET

## VALOISA TULEVAISUUS

Tautien nopea  
diagnostisointi \*

Syöpäterapia

AIDS-rokote

Vaarallisista perinnöllisistä  
taudeista vapautuminen \*

Happosateita ja ilmaston  
muutoksia kestävät puut

Kehitysmaiden kasvit tuottavat  
runsaammin ravintoa

Lääkkeitä maidossa  
tuottavat eläimet \*

Vapautuminen vaarallisista  
sivuaineista ravinnossa

Ensyymejä ja mikrobeja käyttävä  
puunjalostusteollisuus vähentää  
energiankulutusta ja päästöjä \*

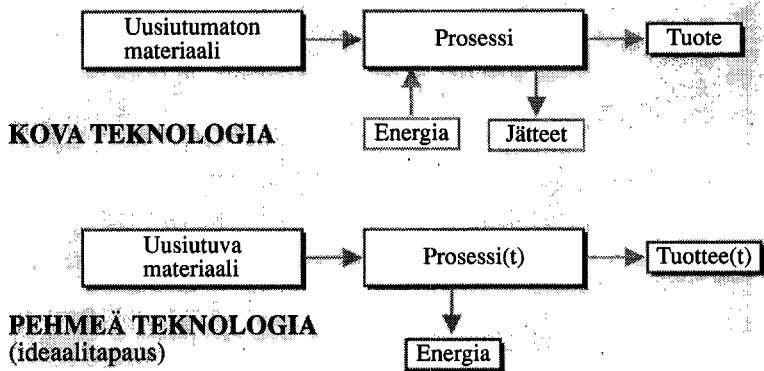
Jätteet hyödynnetään mullaksi ja  
bioenergiaksi ja myrkyt  
eliminoidaan \*

Erittäin herkäät biosensorit valvovat  
tarkasti elintarvikkeiden ja muiden  
tuotteiden puhtautta \*

KEMIKAALIEN  
KÄYTÖN KORVAA-  
MINEN TUOTANTO-  
PROSESSEISSA

JÄTTEIDEN  
KÄSITTELY JA  
BIOENERGIAN  
TUOTANTO

BIOSENSORIT JA  
BIOTIETOKONEET



**Kuvio 1.1.** Yksinkertaistetut kaavakuvat "kovasta" ja "pehmeästä" teknologiasta (Linko 1989)

Päinvastoin prosessoinnin sivutuotteena voidaan tuottaa energiaa esimerkiksi polttamalla biokaasua, alkoholia tai ideaalitapauksessa vetyä vedeksi. Entsyymikäsittelyllä voidaan päästä lähelle tilannetta, jossa prosessi ei tuota lainkaan jätteitä, vaan pelkästään erilaisia hyödyllisiä tuotteita. Tuotteet ovat käytön jälkeen palautettavissa tuotantoprosessin materiaaliksi tai kasvien yhteytysprosessin raaka-aineiksi.

Auringon energia tarjoaisi lähes ehtymättömän energialähteen. Elollinen luonto käyttää energiaa eri muodoissaan erään arvion mukaan 40 terawatin teholla. Kun tätä energiankulutustasoa kuvataan yksiköllä 1 GAIA, ihmiskunnan nykyinen energiankulutus on noin 0,25 GAIA. Sen sijaan aurinkoenergian virta maapallolle on noin 4 300 GAIA (Malaska 1990).

## 12. Megateknologian tunnusmerkkejä

Laajoja teknologisia murroksia tai megateknologioita on tutkittu paljon viimeisen kymmenen vuoden aikana (esim. Dosi 1982, Pérez 1983, Nelson - Winter 1987, Freeman 1988). Aikaisemmin teknologioiden leviämistä tarkasteltiin yleensä yksittäisten irrallisten tuotteiden tai tekniikoiden leviämisenä.

Uuden ajattelutavan omaksumiseen ovat vaikuttaneet ennen muuta mikroelektroniikan laajat vaikutukset. Uusi tutkimussuunta on löytänyt esimerkkinsä lähinnä elektroniikasta (esim. Lovio 1989).

Uuden ajattelutavan tärkeitä taustahahmoja ovat innovaation käsitteen käyttöönottanut taloustieteilijä J. Schumpeter (1939) ja tieteellisiä vallankumouksia tutkinut filosofi Thomas Kuhn (1968). Schumpeterin mukaan teknologiset muutokset aiheuttavat "luovia hävityksen aaltoja". Kuhnin keskeinen ansio oli huomion kiinnittäminen tutkijayhteisöihin.

Merkittävä tieteellinen läpimurto synnyttää Kuhnin mukaan sitä kehittelevien ja hyväksi käyttävien tutkijoiden yhteisön, jolla on yhteinen kielenkäyttö ja arvostukset. Tutkijayhteisön arviot vaikuttavat ratkaisevasti yksityisen tutkijan käsitykseen omasta pätevyydestään ja innostavat tai masentavat häntä. Kehittäjäyhteisöt ovat sen sijaan varsin immuuneja ulkopuoliselle arvostelulle.

Freeman (1988) esittää viisi ehtoa sille, että uutta teknologista järjestelmää voidaan pitää megateknologiana:

1. Teknologian avulla voidaan tuottaa uudenlaisia tuotteita, jotka ovat teknisiltä ominaisuuksiltaan tai valmistustavoiltaan monia entisiä tuotteita parempia. Näin avautuu uusia markkinoita, joiden kasvumahdollisuudet houkuttelevat investoijia.

2. Monien tuotteiden ja palvelujen kustannukset alenevat. Joillakin sovellutusalueilla pudotus voi olla hyvin tuntuva, toisilla vähäisempi. Kustannusten aleneminen luo lisäedellytyksen laajalle investointiaallolle, mitä Freeman Schumpeterin tavoin pitää uuden megateknologian keskeisenä tunnusmerkkinä.

3. Yhteiskunnallinen ja poliittinen hyväksyttävyys. Teknologian soveltaminen saattaa yhteiskunnallisista syistä viivästyä.

Muutoksia tarvitaan kansalaisten asenteissa, lainsäädännössä, koulutuksessa ja johtamistavoissa. Ydinvoiman kaltainen teknologia voi herättämiensä pelkojen – aiheellisten tai aiheettomien – vuoksi jäädä suppeaan käyttöön, vaikka se olisi muuten taloudellisesti edullinen. Väärällä tavalla ja varomattomasti sovellettu teknologia voi jäädä pitkäksi aikaa tai jopa pysyvästi vajaakäyttöön.

4. Ympäristöllinen hyväksyttävyyys. Ympäristöongelmien kärjistymisen vuoksi jokaista uutta teknologiaa arvioidaan ympäristövaikutusten näkökulmasta. Kritiikki kohdistuu erityisesti teknologioihin, jotka kuluttavat paljon energiaa tai joiden soveltamisen tuloksena ympäristöön joutuu luonnon prosesseihin haitallisesti vaikuttavia jätteitä.

5. Laajat vaikutukset koko talouteen. On teknologioita, kuten malmien liekkisulatusmenetelmä, jolla on tuntuvia vaikutuksia yhteen tai muutamaaan tuotannonalaan. Niillä ei ole kuitenkaan merkittävää vaikutusta koko kansantalouden toimintaan.

Freemanin luetteloa voisi täydentää vielä yhdellä vaatimuksella:

6. Kehittäjäyhteisön muodostuminen. Uuden teknologian ja sen taustalla olevien tieteellisten oivallusten soveltajista tulee muodostua tutkija- tai kehittäjäyhteisö tai -yhteisöjä. Sovellusten syntyminen edellyttää "kriittistä älyllistä massaa" (vrt. esim. Kuusi 1989).

Kehittäjäyhteisö takaa, että perusoivalluksista johdetaan jatkuvasti sovellutuksia eri tuotannonaloilla niin, että siitä kehittyy laajassa käytössä oleva megateknologia. Kehittäjäyhteisöjen keskeisestä merkityksestä todistaa mikroelektroniikkaan perustuvan tuotannon alueellinen sijoittuminen. Tuotanto on sijoittunut ainakin mikroelektroniikan soveltamisen alkuvaiheessa tyypillisesti keskuksiin, joissa kehittäjäyhteisöt työskentelevät. Myös biotekniikan tuotanto on Yhdysvalloissa ryhmittynyt vahvojen tutkimuskeskusten läheisyyteen.



### **13. Pioneerivaihetta elävä uusi biotekniikka**

#### **Uuden biotekniikan synnytytustuksia**

Uusi biotekniikka on vielä kaukana talouteen laajasti vaikuttavasta megateknologiasta. Tarkastelemalla alalla toimivia yrityksiä voi kuitenkin päätellä, että megateknologiaa ollaan rakentamassa.

Tutkimus- ja kehitysmenojen osuus oli 1980-luvun lopulla yhdysvaltalaisissa biotekniikkayrityksissä keskimäärin noin kolmannes kaikista menoista (Arthur Young group 1986, 1988). Samoihin aikoihin teollisuusyritysten keskimääräinen panostus tutkimukseen ja kehittämiseen oli Suomessa alle 2 prosenttia liikevaihdosta. Kun yrityksissä yleensä tutkimusta tehdään varojen mukaan, biotekniikan alalla yritys usein perustetaan haastavan tutkimusprojektin rahoittamiseksi.

Uusi biotekniikka ei ole täyttänyt nopeisiin voittoihin uskojien toiveita. Siihen suhtautumista ovat luonnehtineet 1980-luvun alun ruusuiset ja toisaalta pelokkaat kuvitelmat, toiveiden romahtaminen 1980-luvun puolivälissä ja uuden aikaisempaa varovaisemman toiveikkuuden viriäminen vuosikymmenen lopulla. Suomessa sama kehityskulku on koettu muutaman vuoden viiveellä. Etuna viiveestä on ollut, että odotusten heilahtelut ovat Suomessa olleet lievempiä kuin Yhdysvalloissa.

Uuden biotekniikan saama osakerahoitus kuvaa odotusten muutoksia. Kun Genentech tarjosi Yhdysvalloissa maanisen biotekniikkainnostuksen vaiheessa vuonna 1980 osakkeitaan merkittäväksi, niiden hinnat kohosivat ensimmäisen tunnin aikana 35 dollarista 89 dollariin. Jo parissa vuodessa tilanne kuitenkin muuttui. Riskisijoittajien rahahanat alkoivat sulkeutua. "Kuopan pohja" saavutettiin vuoden 1987 syksyn yleismaailmallisen pörssiromahduksen aikoihin.

Kriisin syy oli, että rahoittajille ei vielä 1980-luvun puolivälissä voitu osoittaa kuin aniharvoja myytävissä olevia tuotteita. Yhdysvaltalaisista yrityksistä lähes kaikki suurimpia lukuun ottamatta kirjasivat 1980-luvun puolivälissä tappioita bioteknisestä toiminnastaan (Arthur Young group 1986).

Vuodesta 1988 lähtien tilanne on vähitellen muuttunut. Selvä

merkki käännteestä on biotekniikkayritysten myyntitulojen kehitys. Tehdyn kyselyn mukaan vuodesta 1987 vuoteen 1988 yhdysvaltalaisen yritysten myynti kasvoi keskimäärin 25 prosenttia. Myös pienet alle viidenkymmenen työntekijän yritykset alkoivat saada myynnin käyntiin. Myynnin kasvu oli niissä 41 prosenttia. Tilanne parani entisestään vuoteen 1989 varsinkin suurten yritysten osalta. Myynnit lisääntyivät keskimäärin 33 prosenttia, suurissa yrityksissä peräti 50 prosenttia. Vaikka vain neljännes kyselyyn osallistuneista yrityksistä raportoi nettovoitoista, diagnostiikkasovellutuksissa voitollisia oli jo 36 prosenttia.

Synkin tilanne oli biotekniikan maataloussovellutuksissa. Vain aniharva yritys ylsi voitolliseen tulokseen. Tälläkin alalla vuodet 1988 ja 1989 merkitsivät kuitenkin käännekohtaa. Yhdysvalloissa oli myönnetty vuoden 1987 loppuun mennessä vain viidelle geneettisesti muunnellulle kasville lupa peltoviljelyyn. Vuoden 1988 loppuun mennessä tällaisia kasveja oli jo 20 ja vuoden 1989 kesällä 45 (OECD 1989, 1).

Millainen on uuden biotekniikan pioneerivaiheessa menestyvä yritys? Yhdysvalloissa tehtyjen kyselyjen perusteella voidaan hahmotella muutamia keskeisiä edellytyksiä.

Rohkea panostaminen tutkimukseen ja kehittämistoimintaan on ollut menestymisen perusedellytys. Panostamisen tulee olla kuitenkin hyvin pitkäjännitteistä, eivätkä väliaikaiset vastoinkäymiset saa masentaa. Biotekniikassa menestyminen on edellyttänyt paljon kärsivällisyyttä.

Tarvittavan perustutkimuksen pituuden ja kalleuden vuoksi alan kehitystä on uhkaamassa patenttien mustasukkainen valvominen. Ratkaistuaan vaikeat tieteellis-tekniset ongelmansa uusi biotekniikka saattaa tarjota mahdollisuuksia ympäristön saastumisen ehkäisemiseen ja kehitysmaiden nälkäongelman ratkaisemiseen. Kun kuitenkin lähes kaikki ratkaisuihin tarvittava tieto on patentoitu, mahdollisuuksia ei ehkä pitkään aikaan päästä täydessä laajuudessa hyödyntämään.

Toisaalta patenteistakaan ei ole paljon hyötyä, ellei niiden pohjalta kyetä etenemään markkinoilla menestyviin sovellutuksiin. Yksi keskeinen biotekniikkayrityksen menestystekijä on ol-

lut ns. vertikaalinen yhdentymisen. Tämä tarkoittaa koko tuotantoketjun sisällyttämistä yritykseen. Tyypillisesti sellaiset yritykset ovat menestyneet muita paremmin, jotka ovat sisällyttäneet toimintoihinsa perustutkimuksen ja tuotekehittelyn ohella asioinnin viranomaisten ja suuren yleisön kanssa lupien saamiseksi, kehitettyjen tuotteiden valmistamisen, markkinoinnin ja tehokkaan jakelun.

Vaihtoehtoja kaikkien toimintojen hoidolle samassa yrityksessä ovat tutkussopimusten tekeminen tai patentteihin perustuvat maksut. Nämä ovat olleet keskeisiä tulonhankintamuotoja pienille ja keskisuurille biotekniikkayrityksille Yhdysvalloissa. Noin kolmannes näiden yritysten tuloista on perustunut tutkussopimukseen sekä rojaltili- ja lisenssimaksuihin. Suurissa yli 135 hengen yrityksissä niiden osuus tuloista on ollut vain noin viidenes.

Tutkussopimusten on katsottu olevan edullisia niitä pienten yritysten kanssa tekeville suurille yrityksille (OECD 1988). Ensinnäkin tutkussopimukset vähentävät suuren yrityksen riskejä. Jos tutkimus- ja kehitystyö ei tuota tulosta, sopimus voidaan irtisanoa. Perusinvestoinnit jäävät pienen yrityksen maksettaviksi. Tekemällä sopimuksia useiden pienten yritysten kanssa suuri yritys voi kohdistaa panostuksensa parhaiten eteneviin hankkeisiin.

Toiseksi vaikka patentti yleensä jää pienelle yritykselle, tutkussopimuksessa myönnetään suurelle yritykselle usein kilpailijat poissulkeva lisenssi. Kolmanneksi pienen yrityksen osakkeiden arvon noustessa myös sen kanssa yhteistyössä oleva yritys hyötyy.

Hyvin tärkeä menestymisen edellytys on ollut motivoitunut henkilökunta. Genentech yrityksen johtaja Robert Swanson totesi eräässä haastattelussa: "Pääosa teknologiastamme kävelee joka ilta ulos tennistossuissa" (Arthur Young group 1988). Yhdysvalloissa pienet yritykset ovat motivoineet avaintyöntekijöitään merkittävillä osuuksilla yritysten osakkeista suurten yritysten tarjoamien hyvien palkkojen ja eläke-etujen asemasta. Huippu-työvoimaa motivoi myös työn yhteiskunnallinen merkitys. Biotekniikan yhteiskunnallisten vaikutusten kannalta olisi ensiarvoi-

## SUOMALAINEN YRITYSTARINA: GENESIT OY

Voidakseen menestyä taloudellisesti mutta biotekniikkaa soveltava yritys tarvitsee varoja pitkäjänteiseen tutkimus- ja kehitystyöhön. Raha ja pätevä tutkimushenkilöstökään eivät aina riitä. Lisäksi tarvitaan onnea.

Vuoden 1990 elokuussa lopetti toimintansa seitsemän suomalaisen suuryrityksen Alkon, Farmosin, Orion-yhtymän, Metsä-Serlan, Nesteen, Cultorin ja Valion omistama geeniteknikan pioneiryritys Genesisit.

Genesisitin tarina kuvaa varsin hyvin biotekniikkaan liittyvän yritystoiminnan ongelmia. Vuonna 1980 perustettiin SITRAn aloitteesta yhdistelmä-DNA-ryhmä. Ryhmän tarkoituksena oli tuoda geeniteknikan osaamista Suomeen. Mukana oli aluksi yliopiston laitoksia, Valtion teknillinen tutkimuskeskus ja Kansanterveyslaboratorio. Työ päätettiin prof. Tor-Magnus Enarin ehdotuksesta kohdistaa *Bacillus*-bakteeriin malligeeninä alfa-amylaasi. *Bacillusta* oli aikaisemmin tutkittu Kansanterveyslaboratoriossa.

Tulokset tutkimuksesta olivat varsin lupaavia. Tutkimusryhmä oli maailman kärjessä alfa-amylaasigeenin kloonauksessa ja geenin siirrossa *Bacillus*-bakteeriin. Erityisesti Iikka Palvan tekemät löydökset vaikuttivat taloudellisesti varsin lupaavilta. Päätettiin perustaa laajalla yhteistyöpohjalla Genesisit Oy, jonka tutkimusjohtajaksi tuli Iikka Palva. Suomalaisilla mittapuilla arvioiden Genesisitin takana oli poikkeuksellisen vahva rahoituspohja. Kansainvälinen mittapuun Genesisitin saama parinkymmenen miljoonan markan rahoitus oli kuitenkin vaatimaton. Palvan mukaan Yhdysvalloissa on laskettu, että menestyvä geeniteknikan yritys vaatisi peräti 600 miljoonan dollarin panostuksen.

Liiketaloudellisesti Genesisitin tulokset jäivät laihemmiksi kuin odotettiin tai toivottiin. *Bacillus*-bakteeri saatiin tuottamaan entsyymejä, mutta syystä tai toisesta määrät jäivät noin kymmenekseen tavoitellusta. Rahoittajat eivät olleet kiinnostuneita jatkamaan yritystä, vaikka ilmoittivat lopettamisen yhteydessä

olevansa tyytyväisiä Genesisin toimintaan.

Pahostamalla vähän tutkittuun sovellutusalueeseen Genesis otti melkoisen riskin. Toisaalta pioneerityö saattaa johtaa myöhemmin kaupalliseen menestykseen, vaikka lähes kaikki maailman johtavat biotekniikkayritykset ovat luopuneet *Bacilluksen* käytöstä. Jos yritys olisi panostanut esimerkiksi hyvin tunnettuun *E. Coli* -bakteeriin, riski olisi ollut pienempi. Samalla toimintaa olisi kuitenkin rasittanut *E. Colin* ympärille muodostunut patenttiviidakko. Nyt yrityksen työstä jäi kuitenkin käteen tieteellisten julkaisujen ohella puolenkymmentä jätettyä patenttihakemusta.

Mitä Genesisin tapauksesta voitaisiin oppia? Yksi opetus on, että uusi biotekniikka on suuria riskejä sisältävä ala. Voi olla, että umpikujaan johtaneesta tuotekehittelystä oli perusteltua luopua. Toisaalta on mahdollista, että sinnikkäällä yrittämisellä umpikujasta olisi voitu päästä eteenpäin.

Genesis Oy olisi ehkä selvinnyt ongelmistaan, jos se olisi alunperin nähty vasta myöhemmin sovellutuksiin johtavana perustutkimushankkeena. Se olisi voitu esimerkiksi perustaa säätiöpohjaisena. Toinen mahdollisuus olisi ollut voimakkaampi sitoutuminen joltakin rahoittajataholta.

Samalla kun riski Genesisistä jaettiin monien rahoittajien kesken, vähennettiin myös yksittäisten rahoittajien sitoutumista. Suhteellisen pienetkin vastoinkäymiset riittivät irtautumiseen hankkeesta. "Amerikkalaiseen tyyliin" työntekijöiden sitoutumista olisi voitu lisätä maksamalla palkka osittain yrityksen osakkeina.

Vaatimusta toiminnan pitkäjännitteisyydestä korostavat vielä suuren yleisön aiheelliset ja aiheettomat epäluulot uutta biotekniikkaa kohtaan. On mahdollista, että nopeiden voittojen vuoksi vastuutaan pakoilevat ja yleisöä harhauttavat yritykset menestyvät väliaikaisesti. Lyhyellä tähtämellä saavutettava hyöty voi kuitenkin pitkällä aikavälillä koitua tappioksi paitsi yritykselle myös – ja mikä pahempi – kaikelle uuden biotekniikan soveltamiselle. Tämänkaltaisen uhka on erityisesti riskejä ottaen nopeaa kasvua tavoittelevissa entisissä sosialistimaissa ja kehitysmaissa.

Kestävällä tavalla rakennetut yhteydet Neuvostoliittoon voivat sen sijaan muodostua suomalaisten biotekniikkayritysten vahvuudeksi. Länsimaisten tilastojen mukaan Neuvostoliitossa tehdään jopa 15 prosenttia maailman tutkimustyöstä (Mäkinen 1990). Tämä tutkimus on jäänyt kuitenkin lähes täysin kaupallisesti hyödyntämättä. Eräillä biotekniikan osa-alueilla kuten hiiyagenetiikassa neuvosto-osaaminen on korkeaa kansainvälistä tasoa.

sen tärkeää, että alalle hakeutuisi yhteiskunnallisen vastuunsa tiedostavia työntekijöitä.

### **Millainen biotekniikkayritys menestyy Suomessa?**

Suomessa omistajajohtoiset yritykset ovat menestyneet muita paremmin korkean teknologian hankkeissa. Carlson (1987) jaoteli SITRA:n vuosina 1968 - 1984 rahoittamat onnistuneet ja epäonnistuneet tuotekehityshankkeet yrityksen johtamistavan perusteella. Hän kutsui omistajajohtoiseksi yritystä, jossa yksi tai muutama harva omistaja henkilökohtaisesti on osallistunut yrityksen johtamiseen. Keskitetyn omistuksen tunnusmerkki on, että määräysvalta on keskittynyt harvoihin käsiin, ilman että omistajien edustajat ovat puuttuneet itse käytännön johtamiseen. Eräät perheyhtiöt edustavat tätä vaihtoehtoa, samoin valtion omistamat yritykset. Hajautetun omistuksen tyyppiesimerkki on pörssiyritys, vaikkei pörssiin kuulumisen ollut ryhmään kuulumisen välttämätön edellytys. Onnistuneissa tuotekehityshankkeissa omistajajohtoisten yritysten osuus oli 55 prosenttia ja epäonnistuneissa 42 prosenttia.

Lovio (1989) kiteyttää tutkimuksensa menestykseen johtavista innovaatioista Suomen elektroniikkateollisuudessa kahteen perushavaintoon: suuryritykset ovat kehoja ideoille, jotka toteutetaan pienissä yrityksissä. Onnistunut innovaatio on toteutettu tyyppillisesti seuraavan kaavan mukaisesti. Suuressa yrityksessä toimiva työntekijä saa idean. Hän lähtee kokeilemaan sen kanta-

vuotta pienessä yrityksessä. Toimivat ideat palaavat takaisin suuriin yrityksiin yritysostojen kautta.

Elektroniikkateollisuudessa hyväksi osoittautunut toimintamalli ei ehkä sellaisenaan sovellu biotekniikkaan. Ainakin nykyteknologialla menestyminen biotekniikassa edellyttää paljon pitkäjänteisempää toimintaa kuin tietotekniikan sovellutuksissa. Keskeinen edellytys on asiastaan innostunut ja siihen uskova tutkijaryhmä ja laajemmin tutkijayhteisö. Itse asiassa monet menestyneet biotekniikkayritykset ovat tehneet tutkimusta, joka aiemmin olisi ilman muuta luettu yliopistoille kuuluvaan perustutkimukseen. Erona on kuitenkin se, että nyt yritykset suojaavat löydöksiään patenteilla. Tällaista kehitystä voi pitää epäterveenä, mutta ainakin toistaiseksi se on pakko hyväksyä.

Huolestuttava esimerkki patentin valvonnasta on 1980-luvun ehkä merkittävimmän bioteknisen edistysaskeleen, polymeeraasi-*ketjureaktion* (PCR), patenttikiista. Aikaisemmin tällainen keksintö olisi ilman muuta luettu kaikille vapaasti käytettävään perustutkimukseen. Nyt yhdysvaltalainen Cetus-yhtiö pyrkii suojaamaan PCR:n patentilla.

Menestyäkseen nykyisillä pelisäännöillä biotekniikkayrityksen pitää ilmeisesti ryhtyä yhteistoimintaan tärkeitä patenteja omaavien yritysten kanssa. Toinen mahdollisuus on varautuen epäonnistumisiin ja suuriin kehittämiskustannuksiin suuntautua tutkimusaloille, joita ei ole vielä suojattu patenteilla. Ohessa tarkasteltu *Genesis Oy* menetteli jälkimmäisellä tavalla.

#### **1.4. Onko biotekniikka megateknologia vuonna 2010?**

Uusi biotekniikka on toistaiseksi ollut lunastamattomien toiveiden ja sen nykyisiin mahdollisuuksiin nähden ylisuurien pelkojen ala. Kuten edellä todettiin, yhdistelmä-DNA-tekniikan 1970-luvun puolivälissä avaama mahdollisuus siirtää perintötekijöitä lajien välillä on johtanut merkittäviin tuloksiin selvästi hitaammin

kuin alkuinnostuksessa kuviteltiin.

Raportin pohjana olevat asiantuntijahaastattelut tehtiin keväällä 1989. Tällöin Suomi oli vaiheessa, missä Yhdysvalloissa oltiin muutamaa vuotta aikaisemmin. Ylimoitetuista odotuksista palattiin kovalla työllä hankittavien tulosten arkipäivään. Kannanottoja leimaa jossain määrin toteutumattomista toiveista seurannut pessimismi.

Asiantuntijanäkemykset kerättiin ns. delfoi-menetelmällä. Asiantuntijat muotoilivat aluksi erikseen kannanotot haastattelijoiden esittämiin kysymyksiin. Vastaukset vedettiin tämän jälkeen yhteen ja esitettiin haastatelluille. Heille tarjottiin mahdollisuus muuttaa ja/tai puolustaa kannanottojaan. Delfoi-menetelmä

## ELINKAAREN VAIHEIDEN AALTOKÄYRÄ

Teknisten uudisteiden leviämisen ja väistymisen on todettu yleisesti etenevän logistista aaltokäyrää noudattaen (ks. kuva alla). Ensimmäisessä vaiheessa tehdään tutkimus- ja kehitystyötä. Sen tuloksena syntyvät tuotteen valmistamisen kannalta välttämättömät tieteelliset oivallukset ja tuotantoteknologia. Tuotteen kehittäminen tyypillisesti jatkuu, vaikka tuote on jo markkinoilla. Yleensä siirtyminen markkinoiden nopeaan kasvuun edellyttää paitsi tiedon leviämistä tuotteesta, myös jotain tuotteen käyttöä tai tuottamista parantavaa lisäkeksintää.

Uuden biotekniikan sovellutuksissa tutkimus- ja tuotekehitysvaihe on yleisesti ollut jopa yli kymmenen vuoden mittainen. Vaikka tuote on ollut jo kauan teknisesti valmis, tiukat turvallisuusvaatimukset ja selkeiden pelisääntöjen puuttuminen hyväksyttämässä ovat usein viivästyttäneet pääsyä markkinoille.

Tuotteiden pääsyä markkinoille ne ovat vaiheessa "tuote olemassa ja myynti aloitettu". Tässä vaiheessa käyttö on vielä suppeaa ja erilaiset ennakkoluulot ja vanhat tottumukset ehkäisevät tuotteen leviämistä. Jotkut tuotteet, kuten mahdollinen



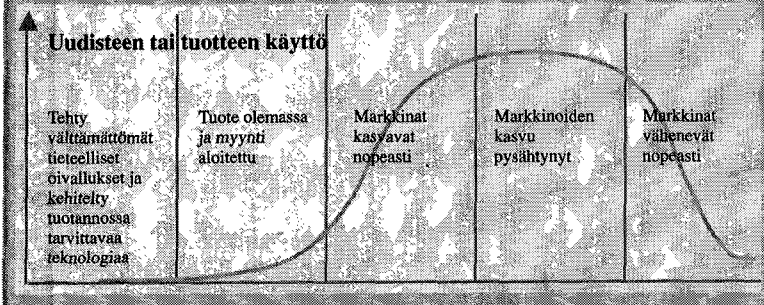
ja haastatellut esitellään kirjan lopun liitteessä 1.

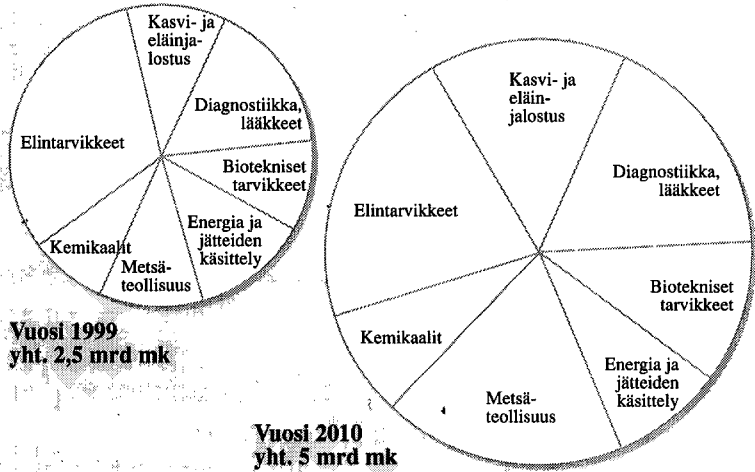
Onko uusi biotekniikka megateknologia vuonna 2010? Jos uskotaan haastateltujen asiantuntijoiden enemmistöä, uuden biotekniikan sovellutukset ja vaikutukset ulottuvat vuonna 2010 laajalle alalle, säästävät kustannuksia sekä voivat olla ympäristön kannalta edullisia eli useimmat megateknologialle asetetut ehdot tulevat varsin hyvin täytetyiksi.

Asiantuntijat eivät olleet yksimielisiä kannanotoissaan. Pessimistisimmät näkivät uuden biotekniikan sovellutusten vielä vuonna 2010 olevan varsin vähäisiä. Pessimistisyys vaihteli jossain määrin sovellutusalueen tuntemuksen perusteella. Asiantuntijat jaoteltiin sovellutusalueittain erityistuntijoihin ja muuhun

AIDS-lääke, siirtyvät markkinoille tulonsa jälkeen lähes välittömästi seuraavaan eli nopean leviämisen vaiheeseen. Toisten tuotteiden, kuten vaikkapa geneettisesti muunnellulla hiivalla valmistetun oluen, täytyy ehkä pitkään sinnitellä yleisön epäluuloja vastaan ennen kuin sen kysyntä alkaa merkittävästi kasvaa.

Jossain vaiheessa teknisen uudisteen leviämisen pysähtyy ja käyttö kääntyy lopullisesti laskuun. Tämä liittyy usein uuden entistä paremman teknisen uudisteen tulon markkinoille. Se voi liittyä myös makujen tai arvojen pysyvään muutokseen. Esimerkiksi jotain tuotetta aletaan pitää ympäristön kannalta vahingollisena.





**Kuvio 1.2. Arvio uuden biotekniikan osaamista välttämättä edellyttävästä tuotannosta Suomessa 1999 ja 2010 (vuoden 1989 rahassa).**

asiantuntijaraatiin. Erityistuntijoiden keskimäinen eli mediaarvio uuden biotekniikan taloudellisesta merkityksestä oli yleensä sama tai korkeampi kuin muun raadin arvio.

Kannanottojen eroa voidaan selittää erityistuntijoiden luonnollisella omaan työalueeseen kohdistuvalla optimismilla. Toi- nenkin tulkinta on mahdollinen. Jaksossa 1.3. viitattu käänne pa- rempaan oli haastatteluhetkellä niin uusi asia, että asiantuntijat olivat ehkä havainneet sen vasta erityisaloillaan.

Delfoi-tutkimuksen keskeiset numeeriset tulokset on esitetty kuvioissa 1.2.–1.5. Yksityiskohtaisempia tietoja on esitetty lu- vussa 3. Seuraavan aukeaman koonnoksessa on toimialoittain esitetty tutkimuksen keskeisiä tuloksia. Kuviot ja koonnos sisäl- tävät lohkojen erityistuntijoiden keskikannanottoja. Muun raadin arviot olivat tyypillisesti hieman alempia. Suurin ero oli elintar- vike- ja eläinjalostuksen sovellutuksissa. Muun paneelin liikevaihtoarvi- ot olivat kumpanakin tarkasteluvuonna vain puolet erityistunti- joiden arvioista. Myös eläinjalostuksen ja jätteiden käsittelyn osalta erityistuntijat olivat muuta raatia selvästi optimistisempia. Sen sijaan puunjalostusteollisuuden sovellutuksia ja biotekniikan välineiden valmistusta koskeneissa arvioissaan muu raati oli jopa

		Muu positiivinen merkitys		
		Tuntuva	Vähäisempi	Ei merkitystä
Liiketaloudellinen merkitys	Tuntuva	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diagnostiset valmisteet</li> <li>• Lääkkeiden valmistus</li> <li>• Kasvinjalostus</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elintarvikkeiden valmistus</li> <li>• Kemikaalien valmistus</li> <li>• Metsäteollisuussovellutukset</li> </ul>
	Vähäisempi	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bioenergian tuotanto</li> <li>• Jätteiden käsittely</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eläinjalostus</li> <li>• Geeniterapia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Laitteiden valmistus</li> </ul>

Kuvio 1.3. Eri sovellutusalueiden taloudellinen merkitys ja muut yhteiskunnalliset hyödyt vuonna 2010.

hieman optimistisempi kuin erityistuntijat.

Kuviossa 1.2. on esitetty arviot uuden biotekniikan liikevaihdosta. Liikevaihtoon on sisällytetty vain se suomalaisten yritysten myynti kotimaahan tai ulkomaille, jonka aikaansaanti välttämättä edellyttää uuden biotekniikan osaamista. Sektoreiden koot kuviossa viittaavat toimintojen suhteelliseen kokoon myös eri viitevuosina. Esimerkiksi elintarvikkeiden valmistuksen sovellutusten liikevaihdon arvioitiin olevan vuonna 1999 suunnilleen yhtä suuri kuin kasvi- ja eläinjalostuksen vuonna 2010. Kumpanakin vuonna liikevaihdot on arvioitu vuoden 1989 rahassa.

Kuviossa 1.2. on yhdistelty muutamia tutkimuksessa erikseen käsiteltyjä lohkoja. Diagnostisten valmisteiden ja lääkkeiden liikevaihdot arvioitiin kumpanakin viitevuotena suunnilleen yhtä suuriksi. Kasvinjalostus arvioitiin erityisesti vuoden 1999 osalta selvästi eläinjalostusta merkittävämmäksi. Samanlainen suhde vallitsi jätteiden käsittelyn ja bioenergian tuotannon välillä. Geeniterapia arvioitiin taloudelliselta vaikutukseltaan mitättömäksi kumpanakin viitevuotena.

Kuviossa 1.3. sovellutusalueet on jaoteltu liiketaloudellisen merkityksen ja muun positiivisen merkityksen suhteen. Diagnos-

## UUDEN BIOTEKNIIKAN PÄÄSOVELLUTUSALUEET

Maa- ja metsätalous muodostavat uuden biotekniikan yhden pääsovellutusalueen. Puun tuotantoon liittyvät sovellutukset ovat Suomessa taloudellisesti erityisen merkittäviä. Kasvien tai eläinten jalostukseen liittyvän taloudellisen toiminnan, joka edellyttää perehtyneisyyttä uuteen biotekniikkaan, arveltiin vuonna 2010 olevan miljardin markan suuruusluokkaa. Mm. entistä kestävämpien ja nopeammin kasvavien puuntaimien kansantaloudellinen merkitys ylittää moninkertaisesti niiden tuottamisen liikevaihdon.

Vaikutukset kaivostoimintaan liittyvät varsinkin köyhien malmioiden käsittelyyn mikrobeilla, jotka mm. kykenevät irrottamaan malmeista metallien sulfaattiyhdisteitä. Suomessa tällaisten sovellutusten taloudellisen merkityksen arvioidaan kuitenkin jäävän varsin pieneksi.

Elintarviketeollisuudessa uudella biotekniikalla on monia sovellutuskohteita. Elintarviketeollisuus on perinteisen biotekniikan tärkein käyttäjä. Mm. viljatuotteiden, maitotuotteiden ja oluen valmistuksessa uusi biotekniikka merkitsee perinteisten valmistustapojen asteittaista parantamista. Uuden biotekniikan osaamista edellyttävien sovellutusten liikevaihdon arveltiin nousevan yli 500 miljoonan markan vuonna 2010.

Tekstiiliteollisuudessa uudella biotekniikalla saattaa olla sovellutuksia kuitujen käsittelyssä. Kemikaalien käyttöä voidaan ehkä korvata vaarattomammilla entsyymikäsittelyillä.

Sellun ja paperin valmistuksen arvioitiin olevan vuonna 2010 uuden biotekniikan taloudellisesti merkittävin sovellutuskohte Suomessa. Tosin uuden biotekniikan kanssa kilpailevat monet muut uudet tekniikat. Sovellutukset liittyvät mm. energiankulutuksen ja ympäristöpäästöjen vähentämiseen. Ensimmäisiä tuloksia on saavutettu mm. kloorin korvaamisessa entsyymikäsittelyllä sellun valkaisussa.

Uutta biotekniikkaa hyväksi käyttäen tuotettujen lääkkeiden ja diagnostisten valmisteiden liikevaihdon arveltiin nousevan lähes miljardiin markkaan. Tämä sovellutusalue kuuluu tär-

keimpiin ottaen huomioon epäsuorat vaikutukset terveydenhuoltoon. Sellaisia ovat mm. työvoimatarpeen väheneminen itsepalveluna tehtävien diagnoosien vuoksi.

Muussa kemian teollisuudessa uuden biotekniikan osaamista vaaditaan entsyymien valmistamiseen ja kemikaalikäsittelyn korvaamiseen entsyymaattisella tai mikrobeihin perustuvalla käsittelyllä. Tällaisen toiminnan arvonlisäyksen arveltiin olevan 300-500 milj. markkaa.

Asiantuntijat eivät uskoneet, että vielä vuonna 2010 uudella biotekniikalla olisi merkittävää roolia energiantuotannossa. Uuden biotekniikan osaamista edellyttävän tuotannon arvonlisäykseksi arvioitiin 100-300 milj. markkaa.

Muuhun teollisuuteen uusi biotekniikka vaikuttaa paitsi bioteknisten laitteiden kuten reaktioastioiden valmistuksena, myös esimerkiksi erittäin herkkien uusien havaintolaitteiden eli biosensoreiden muodossa. Tällaisen uuden biotekniikan osaamista edellyttävän tuotannon arvonlisäyksen arveltiin olevan 300-500 milj. markkaa.

Uuden biotekniikan yksi suuri lupaus on ympäristöystävällisempi tuotanto. Tähän päästäisiin ensisijaisesti kehittämällä eri tuotannonalojen prosesseja ja tuotteita ympäristön kannalta paremmiksi. Toissijaisesti tavoitetta palvelisi jätteiden käsittely uuden biotekniikan menetelmin. Uuden biotekniikan osaamista välttämättä edellyttävän jätteidenkäsittelyn arvonlisäyksen arveltiin olevan 100-300 milj. markkaa.

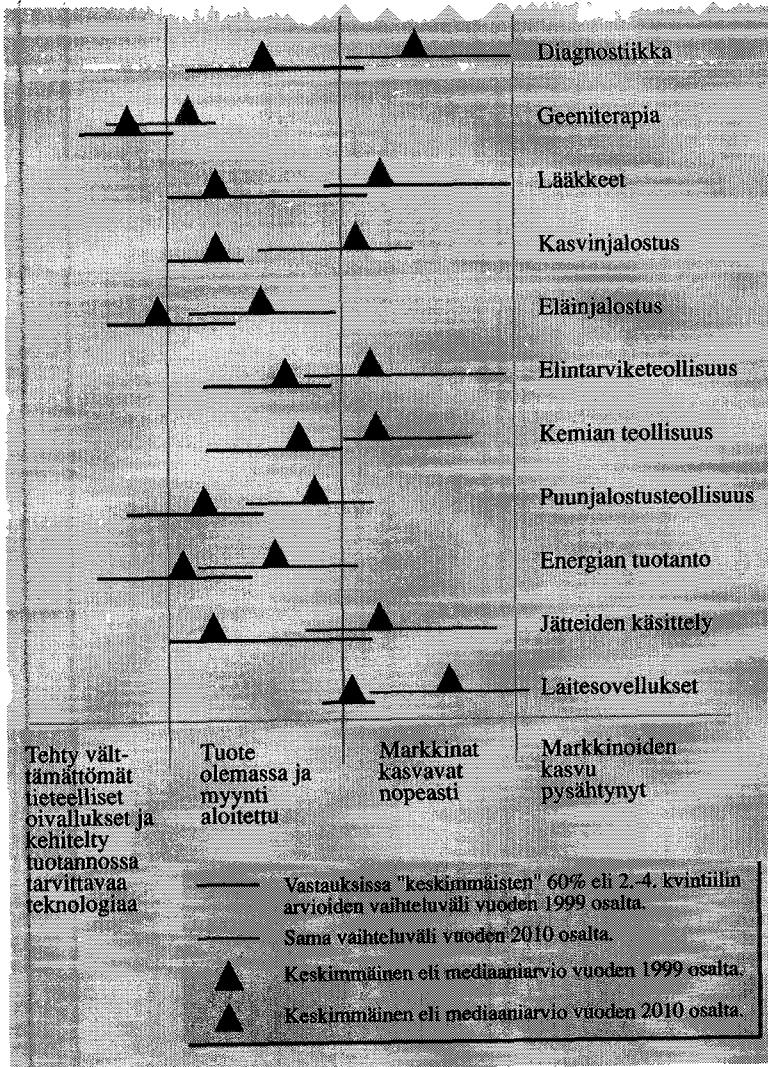
tisista valmisteista, lääkesovellutuksista, kasvinjalostuksesta, bioenergiantuotannosta ja jätteidenkäsittelystä arveltiin seuraavan merkittäviä ohi liikevaihdon ilmeneviä hyötyjä. Varsinkin diagnostisten valmisteiden terveys- ym. hyötyjen arvioitiin olevan hyvin merkittäviä. Yhteiskunnan kannattaisi asiantuntijoiden käsityksen mukaan vuonna 1999 maksaa näistä hyödyistä 300 milj. markkaa ja vuonna 2010 yli 6.500 milj. markkaa. Geeniterapiaan ja eläinjalostukseen suhtautuminen oli ristiriitaista. Positiivisten sivuvaikutusten ohella tuotiin esiin myös mahdollisia eettisesti kyseenalaisia vaikutuksia.

Kuviossa 1.4. on tarkasteltu uuden biotekniikan eri sovellutusalueiden elinkaaren vaiheita. Kuvioista havaitaan esimerkiksi, että metsäteollisuussovellutusten arvioitiin vielä vuonna 2010 olevan elinkaarensa alkupäässä. Kuitenkin tämän sovellutusalueen katsottiin kasvavan taloudellisesti jo hyvin merkittäväksi. Sen sijaan biotekniikan tarvikkeiden valmistuksen arveltiin vuonna 2010 olevan jo vaimenevan kasvun vaiheessa.

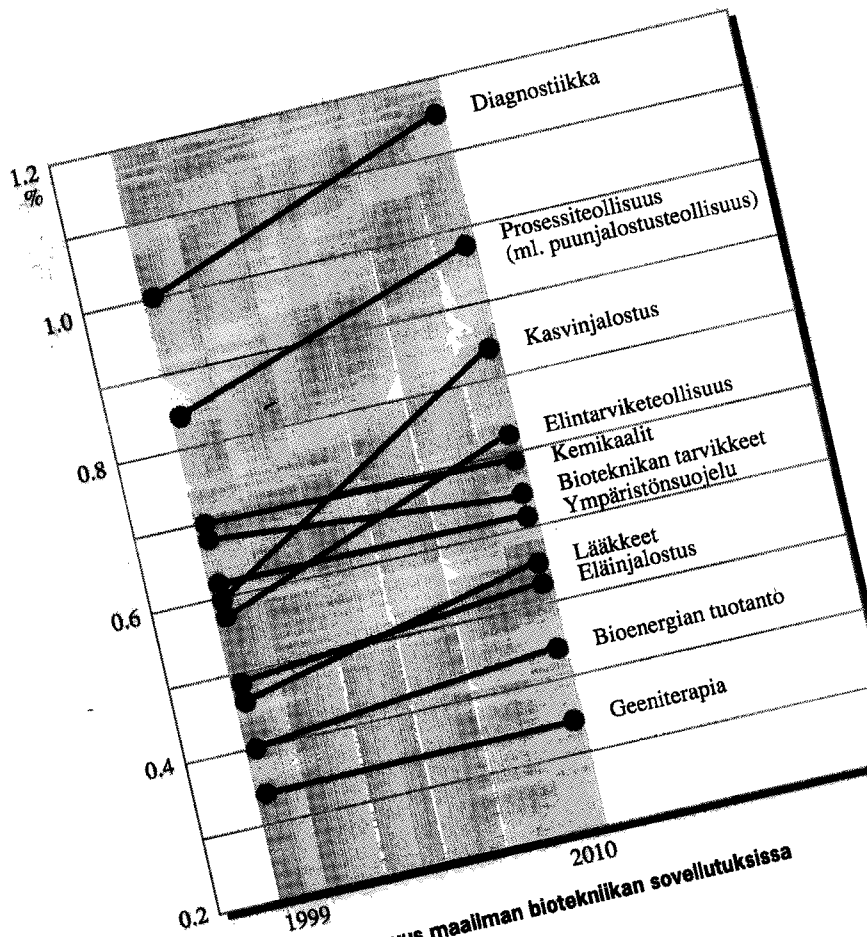
Kuviossa 1.5. on esitetty arviot Suomen osuuksista maailman biotekniikan sovellutuksissa. Vertailukohtana on käytetty Suomen tuonnin ja viennin osuutta maailman tuonnista ja viennistä 1980-luvun lopulla. Tämä osuus on noin 0,7 prosenttia. Esitettyjen arvioiden mukaan Suomi olisi erityisen vahvoissa asemissa diagnostiikan, prosessiteollisuuden ja kasvinjalostuksen sovellutuksissa vuonna 2010. Jos kohdassa "prosessiteollisuus" olisi tarkasteltu pelkästään metsäteollisuuden sovellutuksia, arvio Suomen osuudesta olisi ollut vielä tuntuvasti korkeampi. Geeniterapiassa, bioenergian tuotannossa, eläinjalostuksessa ja lääkesovellutuksissa Suomen katsottiin sen sijaan olevan selvästi heikommissa asemissa.

Uuden biotekniikan kansantaloudellisia vaikutuksia on havainnollistettu kuviossa 1.6. Uuden biotekniikan osaamista välttämättä edellyttävän tuotannon osuus kokonaistuotannosta on prosentin suuruusluokkaa vuonna 2010. Tähän keskityttiin asiantuntijahaastatteluisia.

Kahden vuosikymmenen kuluttua arvion mukaan kymmenesosa kokonaistuotannosta hyödyntää uutta biotekniikkaa. Tällaista tuotantoa on ennen kaikkea maa- ja metsätalouden, elintarvike-



Kuvio 1.4. Keskimäiset (mediaani)-arviot eri sovellusalojen elinkaaren vaiheista.



Kuvio 1.5. Suomen osuus maailman biotekniikan sovellutuksissa

teollisuuden, sellu- ja paperiteollisuuden, kemian teollisuuden, terveydenhoidon aloilla. Jossain määrin hyödyntäjiä myös kaivostoiminnasta, tekstiiliteollisuudesta, puutavaruudesta, sähkön ja lämmön tuotannosta, metalli- ja kiviaineteollisuudesta sekä muusta teollisuudesta.

Kuvion 1.6. laajimman ympyrän muodostavat keuhkotukokset kansantalouteen. Niiden arviointi on vaikeaa, koska ne ilmenevät esimerkiksi energian käytön tehostumisesta ja väestön tilan paranemisena tai väestön terveyden katoamisena.





**Kuvio 1.6. Arvio uuden biotekniikan vaikutuksesta kansantalouteen osuuksina arvonlisäyksestä vuonna 2010.**

Uuden biotekniikan sovellutukset kohdistuvat erityisen voimakkaana kansantalouden strategiseen ytimeen: puu- ja paperiteollisuuteen. Niiden toinen keskeinen sovellutusalue on terveydenhoito, joka on julkisen toiminnan nopeiten kasvavaa aluetta.

Ympäristökysymysten nouseminen yhä polttavammiksi lisää edelleen uuden biotekniikan merkitystä. Jos uusi biotekniikka leviäisi asiantuntijoiden ennakoimalla tavalla, uuden biotekniikan vaikutusten ulottumista neljännekseen kansantaloudesta voi pitää pikemminkin varovaisena kuin rohkeana arviona.

Uuden tekniikan yhteiskunnallinen hyväksyminen ja kehittäjäyhteisön heikkous saattavat kuitenkin muodostua kompastuskiviksi uuden biotekniikan etenemiselle Suomessa. Erityisesti Länsi-Saksassa biotekniikan uhkat ovat korostuneet keskustelussa siinä määrin, että alan kehitys on vakavasti vaarantunut. Kysymys on pohjimmaltaan luottamuksesta. Voiko suuri yleisö luottaa siihen, että uutta biotekniikkaa sovelletaan vastuuntuntoisesti? Vettä kritiikin myllyyn on viime aikoina lisännyt mm. se, että ensimmäisiä uuden biotekniikan sovellutuksia maatalouteen ovat olleet rikkaruohomyrkkyyä paremmin kestävät viljelykasvit. Biotekniikan maineen kannalta tällaiset myrkkujen käyttömahdollisuuksia lisäävät sovellutukset saattavat olla jopa kohtalokkaita.

Toinen suuri epävarmuustekijä liittyy biotekniikan suomalaiseen tutkija- ja soveltajayhteisöön. Esimerkiksi puunjalostussovellutuksissa suomalaiset ovat tällä hetkellä maailman huipulla. Onko tutkijayhteisö kuitenkin riittävän vahva kyetäkseen kehittämään ja välittämään maailmalta suomalaiseen tuotantoon soveltuvaa teknologiaa? Jääkö Suomen biotekniikka enemmän uuteen biotekniikkaan panostaneiden maiden jalkoihin?



# 2.♦

## UUDEN BIOTEKNIIKAN LUONNONTIETEELLISIÄ JA EETTISIÄ LÄHTÖKOHTIA

### 2.1. Biokemian peruskäsitteitä

Ihmisen, kuten kaikkien eläinten ja kasvien perimä on "kirjoitettu" solujen DNA-ketjuihin. Oheisessa koonnoksessa on luonnehdittu DNA:ta ja eräitä muita biokemian peruskäsitteitä. Kirjan lopussa olevassa sanaluettelossa on lisäksi lyhyesti määritelty tavallisimpia biotekniikkaan liittyviä käsitteitä. Seuraavassa käydään läpi uuden biotekniikan takana olevia keskeisiä biokemiallisia prosesseja.

DNA:n vaikutustapa on valkuaisaineiden tuotanto sen viestejä "lukevien" välittäjä- ja siirtäjä-RNA:n avulla. Kullakin *kodonilla*, joka muodostuu kolmesta emäsparista tai *nukleotidiparista* DNA:n kaksoiskierreketjussa, on vastineenaan yksi rakennettavan valkuaisaineen (proteiinin) osaksi liitettävä aminohappo. Kodonin viestin välittävä RNA liittyy rakenteilla olevaan valkuaisaineeseen "legopalaksi" kyseisen aminohapon. Palojen järjestyks määrättyä kodonien sijainnilla DNA:n kaksoiskierreketjussa.

Legopalojen tavoin liitettäviä aminohappoja on suppea valikoima: vain 20 erilaista. Lisäksi joidenkin kodonien tehtävänä on ilmoittaa, mistä aminohaposta rakentaminen alkaa ja mihin se loppuu.

Valkuaisaineiden valmistusta voi rinnastaa tehtaan liukuhihnaan. RNA-molekyylejä voitaisiin verrata liukuhihnalla työsken-

televiin työläisiin. Jokin *entsyymi* antaa niille toimintakäskyn. Toimintaohjeet sisältyvät kodoneihin. Kukin kodoni sisältää tarkan ohjeen RNA:lle siitä, että yksi tietty aminohappomolekyyli on liitettävä rakenteilla olevaan valkuaisaineeseen tarkasti tiettyssä vaiheessa ja tiettyyn paikkaan.

Science-lehti arvioi vuoden 1989 most original tieteelliseksi löydökseksi havainnon, että "RNA-työläiset" kykenevät työskentelemään myös ilman entsyymien antamaa toimintakäskyä. Nyt on selvinnyt, että RNA kykenee katkomaan, liittämään yhteen ja kooramaan RNA-jaksoja ilman toisentyyppisten molekyylien apua. RNA-molekyyliä voidaan entsyymien tapaan käyttää biokatalyytteinä estämään jonkin geenin vaikutusta solussa. Yhä todennäköisemmältä vaikuttaa, että primitiivisin biomaailma perustui pelkästään RNA-pohjaisiin reaktioihin (Science, joulukuu 1989).

On mahdollista, että valkuaisaineiden rakentaminen perustuu myös suurempiin "legopaloihin". Tarve erottaa suuret legopalat toisistaan ehkä selittää sitä, että kodoneita on kahta tyyppiä: sellaisia, jotka todella osallistuvat valkuaisaineiden valmistukseen, ja toisia, jotka eivät osallistu.

Valkuaisaineiden tuotantoon osallistuvat kodonit muodostavat yhtenäisiä jaksoja DNA-ketjussa. Tällaisia DNA-ketjun kappaleita voitaisiin kutsua "suuriksi legopaloiksi". Suurten legopalojen eksonijaksojen välissä on ns. intronijaksoja, joiden kodonit eivät osallistu valkuaisaineiden tuottamiseen. Intronijaksot ovat selvästi pidempiä kuin valkuaisaineiden tuotantoon osallistuvat jaksot. Intronijaksojen merkityksestä on vaihtelevia käsityksiä. Yksi tulokintamahdollisuus on, että ne helpottavat eksonijaksojen erottamista toisistaan valkuaisaineiden valmistuksessa (Prentis 1984).

*Geeniksi* kutsutaan sitä DNA:n osaa, joka ohjaa jonkin valkuaisaineen valmistusta. Organismien kehityksen ja toiminnan ohjaus perustuu tuotettuihin valkuaisaineisiin kuten entsyymeihin ja hormoneihin. Entsyymit toimivat biokatalyytteina, jotka käynnistävät erilaisia reaktioita eliöissä. Hormonit mm. määräävät kasvua ja säätelevät organismien toimintoja. Esimerkiksi peptidihormoneilla on keskeinen asema hermosolujen säätelyssä.

## BIOKEMIAN PERUSKÄSITTEITÄ

### **DNA (Deoksiribonukleinihappo):**

Elävien organismien perintötekijät ovat DNA-molekyyleissä. DNA muodostuu kahdesta kierteestä, jotka kietoutuvat toistensa ympärille. Kummallakin kierteellä on selkäranka sokerimolekyyleistä, jotka fosfaattisillat sitovat yhteen pitkäksi ketjuksi. Sokerimolekyyleissä on emäs. Emäksiä on neljä ja ne ovat adeniini, guaniini, sytosiini ja tymiini.

Emäksistä käytetään tavallisesti lyhenteitä A, G, C ja T. Kummankin DNA-kierteen emäkset ovat tarkalleen vastakkain niin, että ne sitoutuvat kiinni toisiinsa kaksittain pareiksi eli nukleotidipareiksi. Pareja muodostavat toisalta A ja T ja toisalta C ja G.

### **Kromosomi:**

Jokainen kromosomi koostuu yhdestä DNA-molekyylistä. Kaikki saman organismin tumalliset solut sisältävät nukleotidi-



## 2.2. Uuden biotekniikan keskeiset menetelmät

### **Yhdistelmä-DNA-tekniikka**

Uuden biotekniikan kannalta 1970-luvun puoliväli oli ratkaisevaa aikaa. Vuonna 1973 onnistui ensimmäinen yhdistelmä-DNA-koee ja vuonna 1975 kehitettiin monokloonisten vasta-aineiden tuotantomenetelmä.

Yhdistelmä-DNA-tekniikan vallankumouksellinen saavutus oli

Järjestykseltään identtiset kromosomit. Ihmisellä on 46 kromosomia, jotka muodostavat kaksittain pareja. Pareista 22 sisältää eri vanhemmilta saadut vastinkromosomit. Vain 23. parissa miehellä on toisistaan poikkeavat X ja Y sukupuolikromosomit.

### **Eläin- tai kasvisolu:**

Eläimet ja kasvit muodostuvat soluista, joita ympäröivät ohuet solukalvot. Ihmisruumiissa soluja on noin 100 miljardia. Ihmisen kaltaisessa organismissa on satoja erityyppisiä soluja. Kromosomit sijaitsevat solutumassa, jota ympäröi kalvo. Lisäksi solussa on mm. ribosomeja ja mitokondrioita, jotka tuottavat energiaa. Solukalvon ohella kasvisolussa toisin kuin eläinsolussa on mm. selluloosaa sisältävä soluseinä. Kokonaisia kasveja voidaan usein kasvattaa yksittäisestä erikoistuneesta solusta (esim. lehden solusta).

### **Mikrobi:**

Mikrobit ovat yksisoluisia organismeja rihmastoja muodostavia sieniä lukuun ottamatta. Mikrobeja on monta tyyppiä, joista erityisesti bakteerit, levät ja sienet ovat biotekniikan kannalta kiintoisia. Useimmat bakteerit ovat kooltaan 10 -miljoonasosa metriä. Sienisolut ovat hieman suurempia ja ne muodostavat usein suuria järjestäytyneitä ryhmiä. Tyypillistä bakteeria ympäröi eläinten solujen kelmua vahvempi soluseinä. Bakteerit ovat tumattomia. Bakteerin perintötekijät sijaitsevat pääastassa yhdessä kromosomissa.

taito liittää toisen organismin solun genomiin (esim. DNA-ketjun tai plasmidirenkään) osaksi palanen toisen organismin DNA-ketjua. Näin toinen organismi, esimerkiksi bakteeri, voidaan saada tuottamaan toisen organismin, esim. ihmisen normaalisti tuottamaa valkuaisainetta. Esimerkiksi ruumiin sokeritasapainoa ylläpitävän insuliinin tuotannosta vastaa pala ihmisen DNA-ketjua. Liittämällä tämä pala osaksi bakteerin perintötekijöitä bakteeri voidaan saada tuottamaan insuliinia.

Geenin siirrossa on neljä vaihetta

1. Siirrettävän geenin löytäminen sekä eristäminen tai valmistaminen siirtoa varten
2. Geenin liittäminen osaksi ns. vektoria, joka siirtää geenin solun sisälle. Nimi vektori tulee latinan kantajaa tarkoittavasta sanasta.
3. Vektorin saaminen solun sisälle.
4. Geenin liittäminen osaksi vastaanottavan organismin solun säätelykoneistoa.

Tumattomasta organismista geeniä voidaan etsiä suoraan DNA-ketjusta eli kromosomista. Tumallisen organismin, *eukaryootin*, geenin eristäminen on hankalampaa.

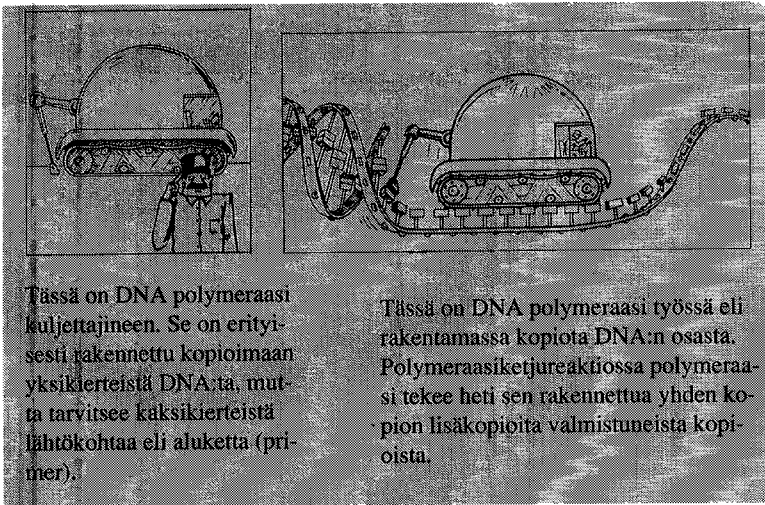
Haluttaessa esimerkiksi tuottaa bakteereiden avulla jotain ihmisen valkuaisainetta kuten insuliinia etsitään ihmisolusta ensin RNA:ta, joka välittää DNA:sta viestiä insuliinin valmistamisesta. RNA kiinnostaa bioteknikkoja, koska valkuaisaineiden valmistusohjetta on nykytiedoilla mahdotonta lukea suoraan DNA:sta intronijaksojen vuoksi. RNA:ssa sensijaan tavoitellun valkuaisaineen valmistamiseen tarvittava ohje on yhtenäisenä eli tarpeettomat intronijaksot ovat kuroutuneet pois.

Yhdistelmä-DNA-tekniikan keksimisen aikoihin siirrettävä geeni oli eristettävä jostain elävästä organismista. Tämä ei enää nykyisin ole välttämätöntä. Genejä on mahdollista valmistaa ns. geenikoneilla. Ne kykenevät liittämään nukleotidipareja haluttuun järjestykseen DNA-ketjun pätkäksi. Pätkä voidaan edelleen liittää haluttuun kohtaan pidemmässä DNA-ketjussa.

Tekniikka tekee myös mahdolliseksi systemaattisesti kehittää ja kokeilla erilaisia muunnoksia geneissä. Esimerkiksi Suomessa paljon tutkittua alfa-amylaasigeeniä voidaan kehittää pisteittäisillä mutaatioilla eli pienillä muutoksilla nukleotidirakenteessa. Näin voidaan lisätä esimerkiksi ko. entsyymin lämmönkestävyyttä. Vastaavalla tavalla voidaan pyrkiä parantamaan kasvien tai eläinten perinnöllisiä ominaisuuksia.

Science-lehti valitsi vuoden 1989 merkittävimmäksi tieteelliseksi saavutukseksi polymeeraasi-ketjureaktion. Tällä viime vuosien aikana kehitetyllä tekniikalla voidaan lisätä tiettyä DNA-segmenttiä tai geeniä miljooniksi kappaleiksi. Tietty DNA- tai RNA-jakso voidaan tunnistaa näytteestä muutamassa tunnissa,





Tässä on DNA polymeeraasi kuljettajineen. Se on erityisesti rakennettu kopioimaan yksikierteistä DNA:ta, mutta tarvitsee kaksikierteistä lähtökohtaa eli aluketta (primer).

Tässä on DNA polymeeraasi työssä eli rakentamassa kopiota DNA:n osasta. Polymeeraasiketjureaktiossa polymeeraasi tekee heti sen rakennettua yhden kopion lisäkopioita valmistuneista kopioista.

kun analyysit ennen kestivät viikkoja. Menetelmän tehokkuudesta kertoo se, että 100 ml näytteestä voidaan tunnistaa yksi ainoa kolibakteeri.

Menetelmä on osoittautunut muutamassa vuodessa monilla biotekniikan sovellutusaloilla mullistavaksi. Keksinnöllä on laajat ja suorat sovellutuksensa diagnostiikassa, jossa sitä voidaan käyttää mm. mikrobin tunnistamiseen, perinnöllisten muutosten ja tautien havaitsemiseen sekä sikiön sukupuolen määrittämiseen äidin verinäytteestä. Sovellutuksia löytyy myös ympäristön tilan seurannassa, teollisten bioprosessien valvonnassa, maataloudessa ym.

Yhdistelmä-DNA-tekniikan avainkeksintö 1970-luvulla liittyi sellaisen vektorin löytämiseen, joka kykeni viemään geenin soluun ja liittämään sen uuden isäntäsolun perintötekijöihin. Solukalvon yksi tärkeä tehtävä on juuri estää haitallisen materiaalin pääsy solun sisälle. Puolustautuminen jatkuu vielä solun sisälläkin. Solun sisäinen puolustusjärjestelmä, jota korkeammilla eläimillä kutsutaan immunologiseksi järjestelmäksi, pyrkii tuhoamaan vieraan aineksen ennen kuin se liittyy osaksi perintöainesta.

Kaksi tärkeintä perintöaineksen siirtäjätyyppiä ovat eräät virukset ja plasmidirenkaat. Monet virukset ovat itse asiassa pie-

nehköjä RNA-molekyylejä. Joillakin niistä on taito liittää vieraan solun DNA-ketjuun osa, joka saa organismin harhautetuksi tuottamaan uusia viruksia. Esimerkiksi AIDS-viruksella on tällainen taito.

Jotta virus onnistuisi liittämässä, sen on kyettävä etenemään valkuaisaineiden valmistusvaiheissa lopusta alkuun. Kuten edellä todettiin, normaalisti DNA muodostaa RNA-viestin, mikä johtaa valkuaisaineen valmistamiseen. Mainitut virukset kykenevät muuttamaan suunnan siten, että viestiä vievä RNA (eli virus) tuottaakin sitä vastaavan DNA:n osan hyökkäyksensä kohteen DNA-ketjuun. Tähän virukset käyttävät käänteiskopioijaentsyymejä.

Virusten käyttö siirtäjänä on usein vaivalloista. Geenien siirtäjien onneksi eräät bakteerit ovat kehittäneet järjestelmän, joka perustuu geeniaineksen siirtoon bakteerista toiseen ns. plasmidirenkaita käyttäen.

Yleensä bakteerin hengissäsäilymisen kannalta olennaiset geenit sijaitsevat sen yhdessä suuressa ympyränmuotoisessa kromosomissa. Sen ohella joissakin bakteereissa on perintöainesta pienissä DNA-renkaissa eli plasmideissa. Niiden on havaittu sisältävän mm. genejä, jotka auttavat bakteereita puolustautumaan antibiootteja vastaan. Plasmidien tärkeä ominaisuus on kyky siirtyä solusta toiseen, jopa eri bakteerilajiin. Liittämällä siirrettävä geeni plasmidirenkaaseen se saadaan usein suhteellisen helposti siirrettyksi solun sisään.

Perintöaineen siirrossa voidaan käyttää myös eräänlaista solun "shokkihoitoa". Solu voidaan "avata" ottamaan vastaan geeniä siirtävä virus tai plasmidirengas sähköshokilla. Perintötekijöitä voidaan myös ruiskuttaa suoraan korkeampien eläinten solutuomiin. Tällaisten menetelmien haittana kuitenkin on, että valtaosa siirtoyrityksen kohteena olevista soluista tuhoutuu. Esimerkiksi sähköshokin avulla siirto onnistuu vain noin yhteen tuhannesta solusta.

Ellei geenin siirrossa käytetä monistuvia plasmideja, viimeisen vaikeuden muodostaa geenin saaminen oikeaan kohtaan DNA-ketjussa. Liitettynä väärään kohtaan ketjua geeni ei ehkä lainkaan tuota haluttua valkuaisainetta tai tuottaa sitä väärällä tavalla.

Geeniin on opittu liittämään "osoite". Osoite on DNA-jakso, jonka rakenne on samanlainen kuin vastaanottajan DNA:n tietyn kohdan. Samanlaiset DNA-jaksot löytävät DNA-ketjussa toisensa ns. homologisen rekombinaation avulla. Näin geeni liittyy vastaanottajan DNA:han juuri haluttuun kohtaan (Markkula ym. 1990).

Kohdistettu geeninsiirto on lähes ehdoton edellytys korkeammille nisäkkäille tehtävissä geenin siirroissa. Se on myös edellytys nk. hoidollisille geenin siirroille, joissa sairas geeni pyritään korvaamaan terveellä (geeniterapialle). Se mahdollistaa myös eri geenien toiminnan ja tarpeellisuuden tutkimisen, sillä normaali geeni voidaan kokonaan korvata "sammutetulla" eli toimimattomalla geenillä. Kohdistettu geeninsiirto eli homologinen rekombinaatio on jo onnistunut hiirellä.

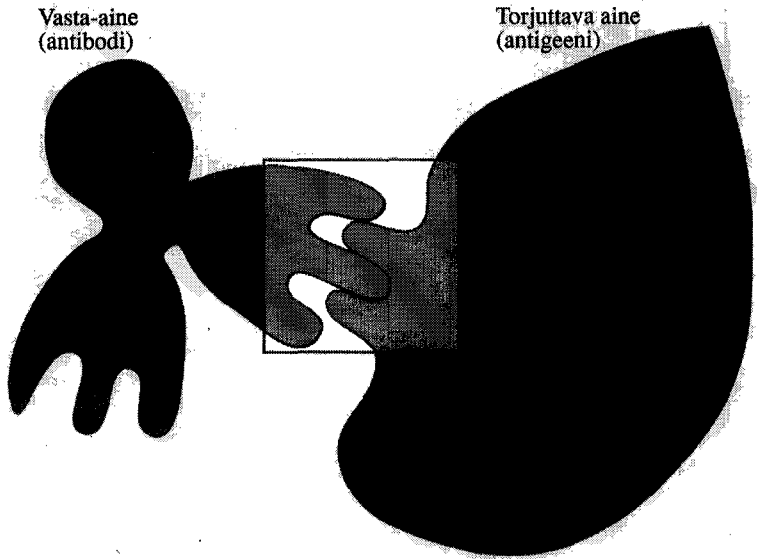
Jos geenin siirrossa on onnistuttu, seuraavan vaiheen muodostaa geenin uuden isäntäsolun lisääminen. Geneettisesti muunneltua solua viljellään *fermentorissa* (reaktioastiassa) olevassa ravintoliuoksessa. Vasta tässä vaiheessa paljastuu, kuinka geenin siirrossa on onnistuttu. Vaikka solun jakautuessa myös siirretty geeni lisääntyy, saattaa olla, että solut yllättäen tuottavat vain häviävän vähän haluttua ainetta. Geenien toimintatapaan liittyy edelleen monia tuntemattomia mekanismeja, jotka saattavat johtaa karvaisiin pettymyksiin.

Viimeisen vaiheen muodostaa tuotetun valkuaisaineen kerääminen reaktioastiasta. Jos solu (esim. bakteeri) erittää tavoitellun valkuaisaineen sitä ympäröivään liuokseen, valkuaisaineen kerääminen on suhteellisen helppoa. Jos valkuaisaine jää solun sisään, erottaminen voi olla vaikeampaa.

### **Monoklooniset vasta-aineet**

Eri mikrobi-, kasvi- ja eläinlajeille ja myös saman lajin eri yksilöille on kehittynyt vain niissä esiintyviä valkuaisaineita. Tämä erilaisuus liittyy välittömästi evoluution etenemiseen mutaatioiden kautta. Mutaatiot näkyvät juuri muutoksina tuotettujen valkuaisaineiden rakenteessa.

Ihmisen ja muiden eläinten suojautuminen toisilta organismeilta, erityisesti mikro-organismeilta, perustuu keskeisesti yksi-



**Kuva 2.2. Vasta-aine ja sen antigeeni**

ölliseen valkuaisainerakenteeseen. Poikkeava valkuaisaine käynnistää organismin immunologisessa järjestelmässä usein puolustusreaktion, eli pyrkimyksen tuhota vieras aine. Puolustautuminen ilmenee esim. allergisena reaktiona tai vieraan aineen hylkimisenä (vrt. verensiirto).

Immunologiset puolustusjärjestelmät muodostavat toisen suojajärjestelmän. Ensimmäisen suojan hyökkääviä viruksia, muita mikro-organismeja ja nykyisin yhä yleisempiä myrkyllisiä saasteita vastaan muodostavat iho ja kalvot, jotka ympäröivät soluja. Tämän puolustuksen läpäisseiden hyökkääjien eliminoimiseksi organismin on kyettävä tuottamaan vasta-aineita. Nämä tunnistavat hyökkääjät ja antavat määräyksen niiden tuhoamisesta.

Monokloonisten vasta-aineiden tuottaminen muodosti yhdistelmä-DNA-tekniikan ohella 1970-luvulla toisen keskeisen uuden

biotekniikan läpimurtoalueen. Tämä alue vaikuttaa tällä hetkellä varsin lupaavalla maailmanlaajuisesti ja myös Suomessa.

Vasta-aineita valmistavat ns. B-solut, joita on mm. pernassa ja lymfarauhasissa. Immunologian keskeinen ongelma on, kuinka vasta-aineet tunnistavat vieraat aineet ja näin käynnistävät niiden tuhoamisen. Vasta-aineet (antibodit) ovat tavallaan kuin "avaimia", jotka käyvät tarkasti torjuttavan aineen (antigeenin) "lukkoon". Vasta-aine on Y:n muotoinen siten, että sen kummassakin haarassa on tietty pintarakenne, joka täsmälleen sopii torjunnan kohteena olevan aineen pintarakenteeseen (kuva 2.2). Ihmisruumiissa on miljoonia erilaisia vasta-aineita, joilla kullakin on luonteenomainen pintarakenteensa.

Monokloonisella vasta-aineella tarkoitetaan vasta-ainetta, jonka pintarakenne on täsmälleen "samaa lukkoon sopiva" eli se torjuu täsmälleen yhtä ainetta. Monet taudit johtuvat joko epätaivallisista aineista ruumiissa tai liiallisista määristä jotain normaalia materiaalia. Monokloonisia vasta-aineita voidaan käyttää paitsi virusten ja bakteerien torjuntaan, myös mittaamaan orgaanisten yhdisteiden määriä kehossa. Viimeksi mainitussa käytössä tosin polymeraasiketjureaktio (s. 42) on noussut merkittäväksi kilpailijaksi.

Kuinka tuottaa tavoiteltuja monokloonisia vasta-aineita? Tuotamista helpottaa, että kukin B-solu tuottaa vain tiettyä vasta-ainetta. Vasta-aineen tuottamiseen siis riittää, että tietty B-solu saadaan lisääntymään ravintoliuoksessa. Ongelmana on kuitenkin, että B-solu kuolee pian irrotettuna ympäristöstään.

Apu löytyi varsin odottamattomalta taholta. Keksin, jolla on suuri merkitys syövän torjunnassa, perustuu syöpäsolujen käyttöön. Toisin kuin normaaleja soluja, syöpäsoluja on helppo viljellä. Yhdistämällä B-solu syöpäsoluun muodostuu hybridisolu eli hybridoma, jolla on molempien solujen keskeiset ominaisuudet: kyky tuottaa vasta-ainetta sekä pysyä hengissä ja lisääntyä. Ensimmäisen hybridisolun valmistaminen ei ollut helppoa, mutta vähitellen taito on kehittynyt niin, että sitä sovelletaan jo sadoissa laboratorioissa.

Nature-lehdessä kerrottiin vuoden 1989 lopulla uudesta edistysaskeleesta monokloonisten vasta-aineiden kehittälyssä. Asialla

on sama Cambridgen yliopiston laboratorio, jossa vuonna 1975 löydettiin keino tuottaa monokloonisia vasta-aineita. Minivasta-aineet ovat elimistössä esiintyviä vasta-aineita pienempiä molekyyliä, jotka kykenevät kuitenkin tunnistamaan mikrobien tms. pintarakenteita. Pienempiä molekyyliä on helpompi valmistaa. Valmistaminen kestää tutkijoiden ilmoituksen mukaan vain muutamia päiviä, kun monokloonisten vasta-aineiden valmistamiseen kuluu kuukausia. Minivasta-aineet tunkeutuvat esimerkiksi syöpäsolukkaan helpommin kuin suurikokoiset monoklooniset vasta-aineet. Näin minivasta-aineeseen sidottu solumyrkky tavoittaa ehkä entistä paremmin kohteensa (vrt. s. 74).

### **Muita uuden biotekniikan menetelmiä**

Yhdistelmä DNA-tekniikan ja monokloonisten vasta-aineiden tuottamisen rinnalla ja niihin liittyen uuteen biotekniikkaan on luettu seuraavia menetelmiä, joissa on tapahtunut merkittävää kehitystä vuoden 1970 jälkeen.

**1. Fermentointitekniikat** . Mikrobien massatuotanto suljetuissa astioissa (fermentoreissa, bioreaktoreissa) säädellyissä olosuhteissa. Ravintoliuoksessa kasvatettavat solut kasvavat, jakautuvat ja tuottavat biomassaa tai erittävät lisääntyessään liuokseen kemiallisia tuotteita. Näitä ovat esimerkiksi penisilliini ja monet entsyymit.

Viime vuosikymmenen ehkä merkittävin tekninen innovaatio tällä alueella on ns. immobilisointitekniikka. Immobilisointitekniikka perustuu entsyymien tai mikro-organismien sitomiseen kantajamateriaaliin pylväässä tai fermentorissa, jonka läpi käsiteltävä neste jatkuvana prosessina pumpataan. Kantaja-aine voi olla esim. puulastuja, sellupohjaista materiaalia, hartsia tms.

Laajasti ymmärrettyä fermentoreita ovat myös kompostit, joissa pyritään mikrobien avulla valmistamaan multaa tai hävittämään vaarallisia yhdisteitä (esim. kloorifenolia). Myös lehmän pötsi voidaan tulkita fermentoriksi. Sen kemiallisia prosesseja voidaan säädellä paitsi syötetyllä rehulla myös vaikuttamalla lehmän perimään.

**2. Kasvi- tai eläinsolujen viljelmätekniikat.** Kasvi- ja eläinsolujen kasvattaminen säädellyissä olosuhteissa. Fermentoreissa kasvatettavien mikro-organismien tapaan solut tuottavat haluttua tuotetta (esim. kasvuhormonit).

**3. Biokatalyysitekniikat.** Kemiallinen tai biokemiallinen reaktio voidaan käynnistää ja ylläpitää käyttäen biologista katalyyttia, kuten entsyymiä tai kokonaisia soluja perinteisen kemiallisen katalyytin asemasta. Biokatalyytit ovat kemiallisia katalyytteja herkeempiä tuhoutumaan (solu kuolee tms.). Toisaalta niitä voidaan käyttää tehtäviin, joihin ei kyetä kemiallisilla reaktioilla ja niiden aiheuttamat ympäristöhaitat ovat yleensä kemiallisten reaktioiden aiheuttamia haittoja olennaisesti vähäisempiä (esim. kloorin käytön korvaaminen).

**4. Erotus- ja puhdistustekniikat.** Tekniikoita käytetään tavoiteltujen tuotteiden erottamiseen ja puhdistamiseen soluista tai kasvatusliuoksista. Perinteistä sentrifugi-tekniikkaa täydentäviä uusia menetelmiä ovat mm. kalvomenetelmät ja kromatografiset menetelmät.

**5. Biokemiaa palvelevat instrumentit.** Tietokoneita käytetään mm. biokatalyyttien kolmiulotteiseen kuvaukseen ja fermentointiprosessien säätöön ja hallintaan. Edellä jo mainittiin geenikoneet, joita käytetään DNA-ketjun rakentamiseen pala palalta. Kemialliset viestit sähköisiksi muuttavat biosensorit pystyvät hyvin tarkkoihin mittauksiin. Tietokoneita käytetään valkuaisaineiden rakenteiden kuvaamiseen. Suomessa tarkan tutkimisen ja mallittamisen kohteena on ollut mm. puolitoista tuhatta nukleotidia käsittävä tricolora-reeseihomeen sellulaasigeeni. Tällä geenillä on kyky hajottaa selluloosaa, mikä tekee sen hyvin kiinnostavaksi mm. puunjalostusteollisuudelle.

**6. Kloonaustekniikat.** Kloonaustekniikat ovat avainasemassa pyrittäessä hyödyntämään tehokkaasti perimän muutoksilla saavutettuja ominaisuuksia. Perimältään identtisiä mikrobeja syntyy yksinkertaisesti jakautumisen tuloksena. Korkeampia organismeja, kuten kasveja ja eläimiä voidaan monistaa lisäämällä niitä suvuttomasti tai käyttämällä hyväksi vasta hedelmöittynyttä munasolua eli alkiota.

Monet kasvit eivät lisäänty suvuttomasti. Sopivilla bioteknisillä menetelmillä lisääntymistapaan voidaan kuitenkin usein vaikuttaa. Näin on mm. koivuja onnistuttu lisäämään suvuttomasti eli mikrolisäämään.

Eläimen hedelmöittynyt munasolu tai varhaisalkio voidaan saada jakautumaan identtisiksi soluiksi. Siirtämällä näitä soluja saman lajin eläinten kohtuihin voidaan kasvattaa perimältään identtisiä eläimiä. Tällainen alkionsiirto on mahdollinen esimerkiksi lehmällä. Alkiokasvatus on vielä yksinkertaisempaa kaloilla ja äyriäisillä, joiden alkiot kasvavat vedessä.

## **2.3. Uuden biotekniikan eettisiä ongelmia**

### **Biotekniikan riskejä**

Kaikkia teknisiä uudisteita voidaan käyttää hyvään ja pahaan, eettisesti tai epäeettisesti. Kuten veistä voidaan käyttää tappamiseen tai ihmishengen pelastamiseen, siten myös uuden biotekniikan oivalluksilla on eettisiä ja epäeettisiä käyttötapoja.

Uusi biotekniikka tarjoaa merkittäviä mahdollisuuksia tautien diagnostiikassa ja hoidossa, ravinnon tuotannossa, raaka-aineiden säästössä sekä ympäristövaurioiden korjaamisessa. Toisaalta sitä voidaan käyttää tarkoituksellisesti tuhoamiseen ja sodankäyntiin. Bakteereissa voidaan esimerkiksi valmistaa vaarallisia valkuaisaineita. Tällaisia voisivat olla esim. jäykkäkouristusta ja kurkkumätää aiheuttavat myrkyt. Ihmisen suolistossa lisääntyvät bakteerikannat voitaisiin kehittää tuottamaan myrkyllisiä valkuaisaineita jne.

Biotekniikan riskeistä alettiin puhua hyvin varhaisessa vaiheessa. Tätä ehkä selittää, että suuri osa alan tutkijoista on eettisistä ongelmista tietoisia lääkäreitä ja biologeja. Heti yhdistelmä-DNA-tekniikan kehittämisen jälkeen käytiin perusteellista keskustelua sen riskeistä, mikä johti varsin tiukkojen valvontajärjestelmien kehittymiseen.

Kun tutkijat ovat olleet hyvin huolissaan kehittämiensä tekno-



## ETIIKAN RAJAT

Uusi tietotekniikka on aiheuttanut mullistuksen koneiden älykkydessä. Koneet ovat kuitenkin toistaiseksi uuden tiedon tuotannossa selvästi ihmistä kyvyttömämpiä. Mutta mitä tapahtuu, kun koneiden "rodunjalostuksessa" on päästy tasolle, missä niiden luova kyky alkaa lähennellä ihmisten tasoa? Luopuuko ihminen asemansa turvaamiseksi oman rotunsa jalostukseen liittyvistä eettisistä estoista?

Yksi etiikkamme kulmakiviä on eron tekeminen elävän ja elottoman luonnon välillä. Saako älykkäälle koneelle tehdä mitä vain, koska se kuuluu elottomaan luontoon? Entäpä solusta erotettu DNA-molekyylit? Kuuluuko se elolliseen vai elottomaan luontoon?

logioiden riskeistä, ei ole syytä hämmästellä suuren yleisön reaktioita. Sen pelot ovat usein olleet aivan suhteettomia biotekniikan todellisiin mahdollisuuksiin verrattuna. Suuri yleisö ei ole tehnyt eroa kaukaisessa tulevaisuudessa mahdollisesti muodostuvien riskien ja välittömien riskien välillä.

Yksi tyypillinen huhu on, että AIDS olisi jostain uuden biotekniikan laboratorion karkuun päässyt virus. On esimerkiksi kerrottu sen tulleen Afrikkaan laajojen rokotuskampanjoiden yhteydessä. Vähäisenkin uuden biotekniikan menetelmien tuntemuksen perusteella voi vakuuttua siitä, että AIDS-virusta ei olisi kyetty valmistamaan 1970-luvun lopun teknologialla. Sitä paitsi on voitu osoittaa, että virus esiintyi mm. Norjassa jo 1960-luvun puolivälissä. AIDS-viruksen taito voittaa ihmisen immunologinen puolustusjärjestelmä kertoo pikemminkin siitä, kuinka kehittyntä luonnon oma muuntelukyky on verrattuna uuteen biotekniikkaan.

Aitoja riskejäkin toki on. Geenien siirrossa on käytetty paljon *E. coli*-bakteeria, jota vaarattomana esiintyy runsaasti ihmisen

suolistossa. Tähän bakteeriin on teknisesti mahdollista siirtää jotain myrkyä, kuten koleramyrkyä tuottava geeni. Näin syntyisi todellinen riski vaarallisesta kulkutaudista, koska ihmisen immunologinen järjestelmä ei ole hyvin valmistautunut puolustautumaan *E. coli*-bakteeria vastaan. Toinen selvä riski liittyy geenien siirtoon plasmideja käyttäen. Plasmidit saattavat levitä eri bakteerilajien kesken. Plasmidiin yhdistetty geeni voi alkaa vaikuttaa eri bakteerilajissa kuin on alunperin suunniteltu.

Peruseriaatteenksi vaarallisten mikrobien leviämisen estämisessä on otettu geeninsiirtojen tekeminen vain sellaisilla mikrobeilla, jotka eivät selviä hengissä laboratorion ulkopuolella. Myös plasmidien siirtymistä on vaikeutettu. Erityisen tiukkoja turvallisuusmääräykset ovat sellaisten mikrobien osalta, joihin ihmisen immunologinen järjestelmä ei reagoi. Esimerkiksi kokeita saa tehdä vain heikennetyillä *E. coli*-bakteereilla. Varovaisuussyistä tällaisia bakteerikantoja heikennettiin aluksi niin paljon, että ne eivät selvinneet kunnolla hengissä laboratorioissakaan eivätkä kyenneet tuottamaan paljonkaan tavoiteltuja valkuaisaineita. Vähitellen ylivarovaisuudesta on kuitenkin tingitty.

Vuonna 1982 Yhdysvalloissa tehtiin periaatteellisesti tärkeä ratkaisu. Ensimmäisen kerran myönnettiin lupa päästää geneettisesti muunneltuja mikrobeja luontoon. Vuosi 1988 merkitsi jäl-

## HUOLESTUNUT TUTKIJA

Tutkijoiden jatkuvasti tuntemasta huolesta kertoo seuraava epätavallinen peräkaneetti *Journal of Theoretical Biology*ssa vuonna 1986 (ref. Dixon 1987).

Peter Willisin artikkelissa selostettiin tutkimustuloksia, joilla saattaa olla merkitystä biologisen sodankäynnin kannalta. Willis kirjoitti selontekonsa perään: "Kirjoittaja toivoo, ettei mikään laitos tai elin milloinkaan käyttäisi tätä artikkelia hyväkseen sotilaallisiin tarkoituksiin. Tätä tutkimusta siteeraavia kirjoittajia pyydetään liittämään samanlainen varaus tutkimustulostensa käyttöoikeuteen."

## KENTTÄKOEKOIDEN TURVALLISUUSMÄÄRÄYKSET

OECD:ssä toiminut kansainvälinen biotekniikan työryhmä on esittänyt seuraavia yleisiä turvamääräyksiä kenttäkokeille geneettisesti muunnelluilla kasveilla ja mikro-organismeilla (OECD 1990):

1. Koejärjestelyissä käytettävien geneettisesti muunneltujen organismien määrä on pidettävä mahdollisimman pienenä.
2. Organismien leviämisen ja muodostumisen tutkimuskohteessa tulee olla säädeltyä.
3. Organismien kehitystä tutkimuskohteessa on jatkuvasti seurattava.
4. Organismien tai niiden sisältämän geneettisen informaation siirtymistä tutkimusalueen ulkopuolelle on testattava ja tarvittaessa on ryhdyttävä ympäristöhaittojen torjuntaan.
5. Kokeen lopettaminen ja jätteiden käsittely on järjestettävä.
6. Kaikille kokeeseen osallistuvilla on annettava riittävä turvavarustus ja koulutus.

leen uutta askelta vapauttamisen suuntaan, kun Yhdysvaltojen ympäristönsuojeluvirasto myönsi ensimmäisen kerran luvan kenttäkokeisiin geneettisesti muunnellulle kaalimatoja ja perhosentoukkia tappavalle mikrobille. Aikaisemmin kenttäkokeet oli sallittu vain myrkyttömille mikrobeille.

Mikrobien leviämisen ohella on pelätty laajoja perintöaineksen siirtoja eläin- tai kasvilajien kesken. On esimerkiksi arveltu, että jos johonkin viljakasviin onnistutaan siirtämään hernekasveista kyky käyttää hyväksi ilmakehän typpeä, tämä ominaisuus siirtyisi edelleen risteytymällä vaikkapa juolavehnään. Pelloille ehkä leviäisi kaksimetrisen "superjuolavehna". Viimeaikaisissa tutkimuksissa on kuitenkin havaittu, että typen sidonta ilmasta vie niin

## ETIIKKAKESKUSTELU RUOTSISSA

Ruotsissa ilmestyi vuonna 1984 laaja komiteamietintö ihmisen perintöaineksen käsittelyn eettisistä ongelmista. Åker-Blom ja Peräsalo ovat kiteyttäneet mietinnön pääsisällön seuraavasti (Åker-Blom - Peräsalo 1985):

Lääketieteellisesti perusteltuja kokeita voidaan suorittaa ihmisen perintöaineella solun ulkopuolella, erilaisilla ihmisen soluilla, kudosisjelmillä ja jopa sukusoluilla.

Hyvin perusteltuja kokeita voidaan tehdä ihmisalkioilla 14 päivän ajan hedelmöityksestä, mikäli munasolun ja siittiöiden luovuttajat antavat siihen luvan. Tutkimuksissa käytettyjä ihmisalkioita ei kuitenkaan saa enää istuttaa takaisin kohtuun.

Mikäli geeniterapia ja geenisiirrot sukusoluihin tulevat joskus mahdollisiksi, on käytön seurauksista oltava täysin varmoja.

Geenitekniikan avulla tehtäviä perinnöllisten tautien diagnoosintia ja terveystutkimuksia tulee käyttää vain tarkoin harkituin lääketieteellisin perustein ja edellyttäen, että saadut tiedot suojataan tarpeeksi hyvin.

Yksilön perinnöllisen tiedon rekisteröiminen, varastointiin ja käytön on oltava lääketieteellisesti perusteltua ja henkilön tulee antaa siihen suostumuksensa. Tietojen luovuttaminen ulkopuoliselle ilman asianomaisen lupaa on kielletty.

Ruotsin komiteamietintö syntyi värikkäiden vaiheiden jälkeen. Julkinen keskustelu virisi Ruotsissa jo vuonna 1977, jolloin Nordal Åkerman vaati Dagens Nyheterissä, että Ruotsin tulisi kieltää geenitekniikka. Hän sai myötätuntoa mm. Ruotsin keskustapuolueelta. Ruotsi oli näihin aikoihin maailman kärkimaita kasvuhormonien tuotannossa. Seurauksena pelkojen sävyttämästä keskustelusta oli kieltö tuottaa kasvuhormonia bakteerissa. Vähitellen pelot lievenivät ja kasvuhormonia saatiin jälleen valmistaa ja käyttää mm. kääpiökasvuisuuden parantamiseen. Ruotsi oli kuitenkin tässä vaiheessa jo menettänyt kärkiasemansa kasvuhormonien tuottajana.

paljon energiaa kasvilta, että pelko superjuolavehnästä on vähintään ennenaikainen.

Hyvin polttava eettinen ongelma on sen sijaan myrkköjä kestävien kasvien kehittäminen. Kun uudelle biotekniikalle haettiin julkista tutkimusrahoitusta 1980-luvun alussa, sitä markkinoitiin tekniikkana, jolla voitaisiin vapautua kemiallisten kasvi- ja hyönteismyrkköjen käytöstä. Esitettiin, että kasvit saataisiin geneettisellä muuntelulla puolustautumaan luontaisia vihollisiaan vastaan.

Vuonna 1987 myönnettiin Yhdysvalloissa ensimmäinen lupa geneettisesti muunnellun kasvin päästämiseen luontoon. Idealistiset kuvitelmat biotekniikan käytöstä saivat melkoisen kolauksen. Kyseessä oli tupakka, joka oli kehitetty kestäväksi erään myrkyllisen kasvin lisääntyvää käyttöä. Suuret kasvi- ja hyönteismyrkköjä tuottavat yritykset olivat keksineet mielestään hyvän liikeidean. Kehittämällä yrityksen valmistaman myrkyllisen kasvin kestäviä viljelykasveja myrkyllisen kasvin kysyntä lisääntyisi.

Vuoden 1989 heinäkuuhun mennessä Yhdysvalloissa oli myönnetty lupa 45 eri tavoin geneettisesti muunnellun kasvin päästämiseen luontoon. Näistä kasveista 25 oli myrkyllisyydeltään parannettuja ja 20 "alkuperäisen idean" mukaisia luontaisia vihollisia paremmin kestäviä kasveja. Myös Kemira on osallistunut ainakin yhden myrkyllisyydeltään paremman kasvin kehittämiseen. Kansalaisliike on Yhdysvalloissa saanut aikaan sen, että julkinen tuki myrkköjen kestoja parantaville hankkeille on nyt lopetettu.

Pitkällä aikavälillä eettisesti ongelmallisimman geenitekniikan sovellutusalue on korkeampien eläinten perimään puuttuminen. Ihmisen geenikartan tarkentamiseen, geenien rakenteiden selvittämiseen ja sitä palvelevan tietopankin luomiseen ollaan panostamassa miljardeja dollareita Yhdysvalloissa, Euroopan yhteisössä ja Japanissa (ks. s. 70).

Ihmisen geenien tuntemusta voidaan käyttää suhteellisen ongelmattomasti entsyymien, hormonien ja muiden valkuaisaineiden tuotantoon bakteereissa. Toisaalta houkutus korjata sukusolujen geneettisiä epäilyksiä kasvaa jatkuvasti. Kuolemaan johtavat perinnölliset taudit lienevät ensimmäisiä perusteita puuttua perin-

tötekijöihin. Seuraava jo varsin ongelmallinen askel on lähteä korjaamaan esim. äskettäin paljastettua skitsofrenian syntymiseen vaikuttavaa geeniiä. Tällaisesta toiminnasta on enää lyhyt askel varsinaiseen rodunjalostukseen.

### **Suhtautuminen biotekniikan riskeihin**

Uuden biotekniikan riskejä tulee suhteuttaa sen tarjoamiin mahdollisuuksiin. Voidaan todeta, että samalla kun pelot uuden biotekniikan vaaroista ovat osoittautuneet toistaiseksi liioitelluksi myös ylimitoitettuja toiveita on täytynyt karsia. Biotekniikan suomalaisen asiantuntijaraadin näkemyksen voi kiteyttää siten, että uusi biotekniikka ei ole viisasten kivi, jolla ratkaistaisiin hetkessä maailman ravinto- tai ympäristöongelmat. Myöskään tautien diagnostisoinnissa ja hoidossa ei ole odotettavissa nopeita voittoja. Määrätietoisella panostamisella bioteknisen osaamisen vahvoille alueille on kuitenkin mahdollista päästä taloudellisesti ja yhteiskunnallisesti merkittäviin tuloksiin.

Prentis (1984) tekee geenitekniikan riskeistä kaksi johtopäätöstä. Ensinnäkin hän toteaa, ettei kukaan voi rehellisesti väittää, ettei geneettiseen muunteluun liittyisi riskejä nyt ja tulevaisuudessa. Toisaalta vastaavia uhkia on monissa jo laajassa käytössä olevissa teknologioissa. Jokaista lisäriskiä tulisikin rinnastaa tunnettuun tai oletettuun hyötyyn riskin ottamisesta.

Toiseksi geneettisen muuntelun turvallisuusriskit liittyvät tahattomiin onnettomuuksiin ja harkittuun väärinkäyttöön. Joku riittävän taitava mielenvikainen voi harkitusti valmistaa uuden mikrobin, joka olisi vaarallinen ihmisen terveydelle. Ei ole kuitenkaan mitenkään selvää, että ko. mikrobi olisi paljon vaarallisempi kuin luonnon omat aikaansaannokset. Tällainen harkittu väärinkäyttö on sitä paitsi selvästi eri ongelma kuin geneettisen muuntelun valvonnan järjestäminen yliopistoissa ja teollisuudessa tahattomien onnettomuuksien varalta. Vaikka geneettinen muuntelu kiellettäisiin, ei ole mitään takeita, etteikö tieteellistä tietoa haluttaessa voitaisi käyttää tuhoisiin tarkoituksiin.

Vaarallisten aineiden kanssa työskentely ei ole uutta mikrobiologeille. Mikrobiologialla on pitkät perinteet vaarallisten or-

ganismien, kuten isorokkoviruksien ja kolerabakteereiden käsittelyssä.

Yhdysvaltojen turvallisuusmääräykset ovat olleet ja ovat jatkuvasti keskeisen tärkeitä uuden biotekniikan kehityksen kannalta. Monien uuteen biotekniikkaan perustuvien tuotteiden, kuten diagnostisten valmisteiden ja lääkkeiden makkinat muodostuvat hyvin kapeista "siivuista". Esimerkiksi monen monokloonisen vasta-aineen koko maailman tuotanto voidaan valmistaa yhdellä 50 litran fermentorilla. Tuotantoa ei kannata suunnitella pelkästään Suomen tai edes Euroopan tarpeisiin. Avainasemassa on usein pääsy Yhdysvaltain markkinoille. Toisaalta myös Euroopan yhteisön direktiiveillä on Suomelle kasvava merkitys.

Uuden biotekniikan riskejä koskeva keskustelu käynnistyi ensimmäiseksi Yhdysvalloissa. Ensimmäiset säännöt, joita USA:n terveysvirasto ja vastaava elin Englannissa asettivat, olivat hyvin tiukkoja. Niissä määriteltiin laboratorio-olosuhteet, joissa tietynlaisia kokeita saa suorittaa. Turvajärjestelyt mikrobien karkaamisen ehkäisemiseksi olivat tiukkoja ja kokeissa sallittiin vain täysin riskittömien mikrobien käyttö.

Vuonna 1983 säännöksiä lievennettiin, mutta monia keskeisiä rajoituksia jäi edelleen voimaan. USA:n terveysviraston rahoittamissa hankkeissa kiellettiin edelleen DNA:n kloonaminen tietystä tauteja aiheuttavista organismeista. Sellaisia geenejä ei saa siirtää, jotka koodaavat selkärankaisia eläimiä vahingoittavia myrkyjä. Antibioottien kestävyyttä lisääviä geenejä ei ole luullista siirtää organismeihin, jotka aiheuttavat tauteja ihmisille, eläimille tai kasveille.

Kuten edellä jo todettiin, vuonna 1982 sallittiin Yhdysvalloissa geneettisesti muunneltujen mikrobien päästäminen luontoon. Vuonna 1987 sallittiin ensimmäiset laboratorion ulkopuolella tehtävät kokeet geneettisesti muunnellulla kasvilla. Tehdyn maailmanlaajuisen kyselyn perusteella vuoden 1990 alkuun mennessä oli 167 tapauksessa sallittu geneettisesti muunnellun organismin pääsy luontoympäristöön. Valtaosa (112) sovellutuksista liittyi geneettisesti muunneltuihin kasveihin, seuraavaksi eniten mikroorganismeihin (36) ja 19 viruksiin. Myös suuri osa mikroorganismi- ja virussovellutuksista on liittynyt kasvien biologiseen

puolustautumiseen.

Sovellutuksissa USA oli kärjessä 76 sovellutuksella, mutta Eurooppa ei paljon jäänyt jälkeen 56 sovellutuksellaan. Maittain jakauma oli hyvin epätasainen kuvaten maiden teknistä tasoa ja suhtautumista uuteen biotekniikkaan. Peräti puolet eurooppalaisista sovellutuksista oli Ranskasta, joka on suhtautunut hyvin liberaalisti tällaisiin hankkeisiin. Sen sijaan biotekniikan osaamiseltaan vahvassa Saksassa oli sallittu vain yksi sovellutus ankaran geenitekniikan vastustuksen vuoksi. Suomessa oli kyselyn mukaan yksi tällainen sovellutus, joka liittyi perunaan.

Vuonna 1981 yhdysvaltalainen tuomioistuin teki tärkeän periaatepäätöksen, että geneettisesti muunneltu mikrobi voidaan patentoida. Sittenmin on tullut mahdolliseksi patentoida myös kasveja ja eläimiä. Mahdollisuudesta patentoida geneettisesti muunneltuja organismeja on käyty erityisesti Keski- Euroopassa kiihvasta keskustelua. Monet ovat katsoneet, että elämän patentointi on eettisesti hyvin kyseenalaista. Toisaalta on kohtuullista, että tietyn geenin kloonamiseen vuosia käyttänyt laboratorio jotenkin palkitaan. Pitkien keskustelujen jälkeen Euroopan yhteisön patenttivirasto EPO myönsi keväällä 1989 ensimmäisen patentin kasville: sinimailaselle, jonka valkuaisainerakennetta oli muutettu.

Eettiset ongelmat tulevat vielä selvästi vaikeammiksi, kun kasvien tai mikrobien asemasta käsitellään eläimiä tai ihmisiä. Missä määrin on otettava huomioon eläimille aiheutetut kärsimykset ja menetykset muissa ominaisuuksissa? Onko ihminen esimerkiksi oikeutettu vähäisen terveyshyödyn vuoksi aiheuttamaan lääkeaineita tuottaville korkeammille eläimille suuria kärsimyksiä? Kärsimysten tuottaminen liittyy myös tapaan, jolla tuotettu aine kerätään. Paras vaihtoehto on valkuaisaineen kerääminen eläinten eritteistä, kuten lehmän maidosta sen sijaan, että eläin jouduttaisiin tappamaan.

Tanska säätö ensimmäisenä maana maailmassa geneettistä muuntelua säätelevän lain vuonna 1986. Laki edellyttää, että geneettisesti muunneltu organismi ei selviä hengissä laboratorion ulkopuolella. Tämä tulee osoittaa kokeilla. Itse asiassa teollisuuskin on ollut varsin tyytyväinen selkeisiin pelisääntöihin epä-



määräisen ja joskus mielivaltaisen lupamenettelyn asemasta (Hodgson 1990). Esimerkiksi Saksassa lupaviranomaisia painostaneet ryhmät onnistuivat viivästyttämään insuliinin tuotantoa yhdistelmä-DNA-tekniikalla niin kauan, että ulkomaiset kilpailijat valloittivat markkinat.

Euroopan yhteisen parlamentti on kuitenkin keväällä 1990 hyväksymässään direktiivissä päätyntyn lainsäädännön asemasta lupamenettelyyn, joka perustuu tuotteen ja prosessin arviointiin ensin kansallisessa asiantuntijaryhmässä ja sitten koko EY:n tasolla. Käytännöt luvan saannin suhteen poikkeavat nykyisin suuresti Euroopan eri maiden kesken. Esimerkiksi Ranskassa tunnetuilla ja vähäriskisiksi luokitelluilla organismeilla, kuten *E. coli* -bakteereilla tehdystä geneettisestä muuntelusta tarvitsee pelkääntään ilmoittaa. Sen sijaan Saksassa arviointi on paljon tiukempaa.

Kovaa keskustelua EY:n sisällä on käyty siitä, pitääkö Tanskan luopua omasta lainsäädännöstään direktiivin vuoksi. Toisaalta seitsemän suurta eurooppalaista kemianteollisuuden yhtiötä vetosi keväällä 1990 erityisesti yhden EY:n direktiivin kohdan muuttamiseksi. Ne pitävät kohtuuttomana vaatimusta, että yhtiön olisi kyettävä osoittamaan markkinoilla olevan kysyntää kehitettävälle tuotteelle. Kiistaa on ollut myös siitä, kuka valvoo EY:n direktiiviä: ympäristöasioista vai teollisuuspolitiikasta vastaavat.

## **Riskien valvonta Suomessa**

Lääkintöhallitus asetti vuonna 1979 yhdistelmä-DNA-asiantuntijaryhmän, jonka tuli tehdä aloitteita ja antaa lausuntoja yhdistelmä-DNA-tutkimusta koskevissa asioissa. Tämä elin on toistaiseksi ollut alan keskeinen lausunnonantaja myös muissa kuin lääketieteellistä biotekniikkaa koskevissa asioissa.

Keväällä 1990 julkaistiin biotekniikan lainsäädäntöä valmistelleen ympäristöministeriön työryhmän mietintö. Työryhmä esitti mm. seuraavia kannanottoja:

- Vanhamuotoista biotekniikkaa sääntelevä lainsäädäntö on Suomessa riittävää. Sen sijaan eläviä, geneettisesti muunnettuja organismeja sisältävien tuotteiden terveys- ja ympäristöriskien sääntelyä

varten tulisi useita lakeja täydentää geenitekniikkaa koskevilla säännöksillä.

- Geenitekniikalla valmistettujen tuotteiden hyväksymismenettelyn tueksi viranomaisilla tulisi olla käytettävissään tietorekisteri, jonka avulla ilmoitus- ja lupamenettely hoidettaisiin.
- Biotekniikkaa koskevat tehtävät tulisi hoitaa hallinnossa hajautetusti siten, että tehtävistä vastaa se viranomainen, jolle muutoinkin kuuluu erityislain tehtävien hoitaminen. Viranomaisten yhteistyö- ja asiantuntijaelimeksi ehdotettiin perustettavaksi geenitekniikan lautakunta. Lautakunnan eräänä tehtävänä olisi myös laatia lainsäädännön lisäksi tarvittavia ohjeita ja suosituksia.
- Suomen biotekniikan lainsäädäntöä tulisi kehittää lisäämällä tarvittavat säännökset erityislakeihin. Jos toimintojen kansallinen sääntelytarve kasvaa, on harkittava biotekniikkaa koskevan puitelain säätämistä ja hallinnollisten tehtävien keskittämistä.
- Valtioneuvoston tulisi asettaa komitea tarvittavaa lainsäädäntötyötä varten.

Työryhmä oli varsin varovainen kannanotoissaan, mitä kuvastaa mm. seuraava kasveja koskeva kannanotto, missä myrkkujen kestävyyttä ei koeta ongelmaksi:

Kasvien geenitekniisen muuntamisen tavoitteita ovat muun muassa kokonaan uudet viljelykasvit, parantuneet satoisuus- ja laatuominaisuudet, kasvitautilien ja tuhoeläinten vastustuskyky sekä kestävyys kylmää ja eräitä rikkakasvihävitteitä vastaan. Näihin geenitekniikan avulla saavutettuihin ominaisuuksiin ei toistaiseksi ole todettu liittyvän vakavia riski- tai haittatekijöitä. Vieraan geenin leikkauksen karkaaminen esimerkiksi siitepölyn mukana ja sen merkitys erilaisissa käyttöympäris-

töissä on kuitenkin otettava huomioon sovelluksia kehitettäessä.

On hyvin mahdollista, että Keski-Euroopassa ja erityisesti Länsi-Saksassa käytävä tunneperäinen keskustelu biotekniikan eettisyydestä leviää myös Suomeen. Tämä kirja pyrkii tarjoamaan tietoa keskustelun pohjaksi.

# 3.

## UUDEN BIOTEKNIIKAN SOVELLUTUSALUEET

Tässä luvussa käydään läpi uuden biotekniikan sovellutuksia yhdellätoista osa-alueella:

- diagnostiikassa (jakso 3.1)
- tautien hoidossa ja lääkkeiden valmistuksessa (3.2)
- geeniterapiassa (3.3)
- kasvinjalostuksessa (3.4)
- eläinten jalostuksessa (3.5)
- elintarviketeollisuudessa (3.6)
- kemikaalien valmistuksessa (3.7)
- puunjalostusteollisuudessa ja kaivostoiminnassa (3.8)
- energian tuotannossa (3.9)
- jätteiden käsittelyssä (3.10)
- instrumenttien ja muiden bioteknisten laitteiden valmistuksessa (3.11)

Kukin alajaksoista muodostaa itsenäisen kokonaisuuden, johon tutustuminen ei edellytä toisten jaksoiden lukemista. Näin lukija voi valita uuden biotekniikan nykyisistä ja tulevista sovellutuksista lähemmän tutustumisen kohteiksi vain ne osa-alueet, jotka erityisesti kiinnostavat.

menkymmenen suomalaisen erityistuntijan delfoi-haastattelut. Delfoi-menetelmä ja haastattelut esitellään kirjan lopun liitteessä.

Tarkastelu on rajattu ensisijaisesti uuden biotekniikan *suomalaisiin* sovellutuksiin, vaikka käytännössä rajaa kansainvälisten ja suomalaisten sovellutusten välillä on ollut usein vaikea vetää.

### 3.1. Diagnostiikan sovellutukset

**Luonnehdinta:** Diagnostiikan sovellutuksiin on luettu ihmisten, eläinten ja kasvien tautien diagnoosissa tarvittavien aineiden valmistus ja käyttö.

Tärkeä uuteen diagnostiikkaan vaikuttanut innovaatio on ollut monokloonisten vasta-aineiden valmistaminen (s. 45). Monokloonisilla vasta-aineilla kyetään perinteisiä polykloonisia vasta-aineita tarkempiin ja nopeampiin diagnooseihin. Monoklooninen vasta-aine muodostuu täsmälleen tietystä vasta-ainemolekyylistä. Polyklooniset vasta-aineet kykenevät yleensä tunnistamaan vain valkuaisaineen päätyypin. Monoklooniset vasta-aineet kykenevät sen sijaan tunnistamaan valkuaisaineen tarkkaa pintarakennetta.

Monokloonisten vasta-aineiden käyttö diagnooseissa perustuu paljolti pikamääritysmenetelmien (ns. *kittien*) käyttöön. Näillä tarkoitetaan monia eri vasta-aineita tai muita reagensseja kuten puskureita, leimoja jne. (pienissä) eri astioissa sisältävää pakkausta. Kittiiä käyttäen potilaasta otettua näytettä, esim. hänen vertaan, voidaan tutkia monipuolisesti erilaisten mahdollisten tautien toteamiseksi. Tätä kutsutaan *in vitro* ("nesteessä") -diagnostiikaksi. Kittien käyttöä on voitu tehostaa ns. autoanalysointoreilla, jotka automaattisesti tutkivat potilaan näytettä eri reagensseilla. Vasta-aineet voidaan myös antaa potilaalle ruiskeina tms., ja tutkia syntyvää reaktiota. Tässä tapauksessa on kyse *in vivo* ("elävässä") -diagnostiikasta. Viime vuosina monokloonisten

vasta-aineiden kilpailijaksi diagnoosien teossa on tullut polymeeraasiketjureaktio (s. 42).

### Diagnostiikan pääsovellutusalueet

Diagnostiikassa uusi biotekniikka on etenemässä nopeasti merkittäviin sovellutuksiin. Vasta-aineisiin perustuvia pika-analyysimenetelmiä tai polymeeraasiketjureaktiota voidaan käyttää mikrobin ja syöpäsolujen tunnistamiseen. Tarkoin suunniteltuja

### KUINKA MONTA EMÄSPARIA?

Nukleotidiparien määrä eri lajien perimässä vaihtelee suuresti. Ns. C-arvoparadoksiksi kutsutaan sitä, että nukleotidien määrä ja geneettinen säätely eivät ole suorassa yhteydessä toisiinsa kahdessa mielessä:

- Nukleotidiparien määrän vaihtelu ei vastaa lajin monimutkaisuutta. Esimerkiksi sammakkoeläimillä nukleotidiparien määrä vaihtelee  $10^9$ :stä lähes  $10^{11}$ :een. On esimerkiksi sammakkolajeja, jotka ulkoisesti muistuttavat suuresti toisiaan, mutta joista toisella on kymmenen kertaa enemmän nukleotidipareja. Toisaalta joidenkin sammakkolajien perimään kuuluu yli kymmenen kertaa enemmän nukleotidipareja kuin ihmisen perimään.
- DNA:ta on selvästi enemmän, kuin minkä voidaan odottaa koodaavan valkuaisaineiden valmistamista. Edellä jo viitattiin intronijaksoihin (s. 39). Esimerkiksi poistamalla satunnaisesti palasia erään hiivan perimästä havaittiin, että vain 12 prosentissa tapauksista se johti hiivan kuolemaan ja 14 prosentissa tapauksista häiritsti kasvua. Tällä perusteella vähintään 75 prosenttia perimästä ei

vasta-aineita voidaan jo tuottaa *E. coli* -bakteerissa suurina määrinä. Tartuntatautiin diagnostiikan ja syöpädiagnostiikan ohella kolmannen tärkeän diagnostiikan alueen muodostaa perinnöllisten tautien paljastaminen. Perinnöllisten tautien selvittäminen liittyy molekyylibiologian kiistatta kunnianhimoisimpaan hankkeeseen: ihmisen perimän systemaattiseen selvittämiseen sekvensoinnin avulla. Sekvensoinnilla ymmärretään DNA:n emäsjärjestyksen määrittämistä.

Myös kasvi- ja eläindiagnostiikka tarjoavat suuria lupauksia.

ollut välttämätöntä. Ihmisen osalta on arvioitu, että vain noin 10 prosenttia DNA:sta suoraanisesti koodaa valkuaisaineiden valmistusta.

Yksi syy siihen, ettei nukleotidiparien määrä vastaa lajin monimutkaisuutta, on geenien monistuminen. Mutaatio aiheuttaa usein alkuperäisen geenin kahdentumisen genomissa. Geenien monistuminen on evoluution kannalta usein edullista. Yhdessä samanlaisista geeneistä tapahtuvan mutaation ei tarvitse olla kohtalokas, koska alkuperäistekin geeniä jää jäljelle. Samalla solu kuitenkin pystyy "kokeilemaan" geenin muunnelmia. Monistuminen on edullista myös, jos geenin tuottamaa valkuaisainetta tarvitaan suuria määriä. Niinpä esimerkiksi ihmisen perimässä on noin 200 samaa RNA-tyyppiä valmistavaa geeniä. *Xenopus*-sammakolla tällaisia kopioita on jopa 600 (Niemi - Korhonen - Virtanen 1989).

Vaikka yhteys DNA:n pituuden ja lajin kehittyneisyyden välillä on hyvin moniselitteinen, kehittyneemmillä organismeilla on kuitenkin yleisesti enemmän nukleotideja (ks. alla).

	Emäspareja
<i>E. Coli</i>	$3,75 \times 10^6$
Hüva	$1,5 \times 10^7$
Banaanikärpänen	$1,65 \times 10^8$
Ihminen	$3 \times 10^9$
Eräät sammakot	$8 \times 10^{10}$

Eläinten tutkimiseen voidaan käyttää lähes samoja menetelmiä kuin ihmisten diagnosointiin. Jotta menetelmien käyttö olisi taloudellisesti perusteltua, niiden tulisi kuitenkin olla vaivattomia ja halpoja. Tämä viivästyttää eläin- ja kasviagnostiikan käyttöä ihmisiin liittyviin sovellutuksiin verrattuna.

Merkittävä ensimmäinen sovellutus uusista diagnoosimenetelmistä on ns. geenisormenjälki. Pienestä veripisarasta tai hiuksesta voidaan lähes sataprosenttisella varmuudella päätellä, että epäilty on ollut rikospaikalla. Todennäköisyys, että geenikoodi tutkituilla DNA-alueilla olisi satunnaisesti valituilla henkilöillä sama, on noin 1:10.000.000. Sisaruksillakin todennäköisyys on vain 1:256 poikkeuksena luonnollisesti identtiset kaksoset. Tekniikkaa on jo käytetty sadoissa oikeudenkäynneissä Englannissa ja Yhdysvalloissa (Andersson 1990).

### **Omatoimiseen tautien tunnistamiseen?**

Uusien diagnostisten valmisteiden vahvoja puolia ovat taudin määrittämisen nopeus, tarkkuus ja testien tekemisen helppous verrattuna entisiin menetelmiin. Tästä syystä uusia valmisteita on perusteltua kutsua *pikadiagnoosimenetelmiksi*. Näillä menetelmillä on mielekästä diagnosoida myös nopeasti ohi meneviä ja toisiaan muistuttavina muotoina esiintyviä tauteja. Nuhakuume on tyypillinen tällainen tauti.

Vanhusväestön osuus lisääntyy maassamme nopeasti, ellei Suomeen lähitulevaisuudessa muuta runsaasti työikäisiä ulkomaalaisia. Taloudellisen suunnittelukeskuksen raportissa Hoiva-Suomi 2030 ennakoitiin yli 65-vuotiaiden osuuden suhteessa 18-64-vuotiaisiin kasvavan nykyisestä noin 20 %:sta noin 30 %:iin vuonna 2015 (Parkkinen - Arajärvi 1989).

Vuonna 1986 yli 60-vuotias kävi lääkärissä keskimäärin kaksi kertaa niin usein kuin nuori työikäinen. Sairaaloiden hoitopäivien osalta suhde oli jopa noin nelinkertainen. Lisääntyneet palvelutarpeet saattavat vuosituhannen vaihteessa aiheuttaa terveydenhuollossa kustannuskriisin. Kriisi ilmenee jo nyt vaikeana työvoimapulana.



tullaan ilmeisesti tarkkaan tutkimaan. Yhdistämällä uuden biotekniikan mahdollisuudet uuden tietotekniikan tarjoamiin mahdollisuuksiin hahmottuu visio laajaan omatoimisuuteen perustuvasta terveydenhoidosta.

Keväällä 1987 tehtiin Taloudellisessa suunnittelukeskuksessa tutkimus, missä arvioitiin tietotekniikan tarjoamia mahdollisuuksia itsepalvelun lisäämiseksi (Kuusi 1987). Delfoi-tutkimuksen kohteena olivat ns. kotitalouksien tietokantapalvelut tai tietorekisteriyhteydet. Yhtenä mahdollisuutena tarkasteltiin asiantuntijajärjestelmää, joka oireita kysellen tekee sairausdiagnoosin. Enemmistö vastaajista arvioi tällaisten asiantuntijajärjestelmien käytön olevan nopean lisääntymisen vaiheessa jo vuonna 1996. Vuonna 2010 lähes kaikki uskoivat sen olevan ainakin tässä vaiheessa.

Tutkimusraportissa raadin näkemyksiä vedettiin yhteen seuraavasti:

Sairausdiagnoosien hakuun soveltuvan asiantuntijajärjestelmän nopeaa käyttöönottoa tukee jo valmiina oleva ratkaisu. Lääkäreiden halua käyttää asiantuntijajärjestelmiä lisää se, että lääketieteellisen tietämyksen hallinta on entistä vaikeampaa. Toisaalta myös "helpot" taudit voidaan diagnosoida luotettavammin. Rekisterien kiinnostavuutta lisää mahdollisuus kysellä nimettömänä erilaisten arkojen tautien kuten AIDSin oireita. Ihmisten kiinnostus terveyteen kasvaa nopeasti mm. väestön ikääntymisen myötä. Turhia lääkerissäkäyntejä voidaan vähentää esidiagnoosilaitteilla.

Haastateltujen keskimääräistä käsitystä edusti arvio, että vuonna 1996 asiantuntijajärjestelmiä käyttäisivät lähes pelkästään alan ammattilaiset eli lääkärit ja muu hoitohenkilökunta. Vuoden 2010 osalta raadin mielipiteet hajaantuivat voimakkaasti. Kolmannes raatilaistista uskoi, että asiakkaat vastaisivat vähintään puolesta käytöstä. Toista ääripäätä edustanut kolmannes katsoi, että asiantuntijajärjestelmien käyttö olisi edelleen lähes kokonaan ammattilaisten käsissä.

**Taulukko 3.1. Arviot pikadiagnosien tulevasta käytöstä**

Väitteen hyväksyneiden osuus (%) koskien vuotta	1999	2010
<b>A. Kansalaiset yleisesti ennen lääkärissä käyntiä tutkivat itse ko. menetelmillä syytä huonoon kuntoonsa</b>	10	45
<b>B. Ennakkopikadiagnoseja tekevät pääasiassa terveydenhoitajat</b>	40	100
<b>C. Ennakkopikadiagnoseja tekevät lähes pelkästään lääkärit</b>	50	0
<b>D. Asiakkaat tekevät yleisesti lääkärin ohjeiden mukaan seurantadiagnoseja</b>	90	100
<b>E. Pikadiagnosot liittyvät lähes pelkästään infektioauteihin</b>	45	10
<b>F. Pikadiagnoseja tehdään laajasti sekä infektio- taudeista että muista taudeista, kuten syövän toteamiseksi</b>	50	100
<b>G. Kansalaiset voivat itse pikadiagnosoida AIDSin</b>	30	90
<b>H. Ko. menetelmiin perustuvia pikadiagnosivälineitä käytettävissä yli 80 prosentissa terveyskeskuksista ainakin kolmen taudin diagnosointiin (raskaustestin ohella)</b>	100	100

Yleisesti oltiin sitä mieltä, että varsinkin muu terveydenhoitohenkilöstö kuin lääkärit tulisi vuonna 1996 käyttämään asiantuntijajärjestelmiä. Itsepalvelun lisääntymistä perusteltiin ennen muuta vaikealla työvoimapulalla.

Tämän tulevaisuudenkuvan rinnalle voidaan asettaa uuden biotekniikan mahdollisuudet. Mikä tulisi olemaan itsepalvelun osuus pikadiagnosien tekemisessä? Tätä selvitettiin taulukon 3.1. kysymyksillä. Vastaajia oli kysymyksestä riippuen yhdeksän tai kymmenen.

Itsepalvelun ei uskottu vielä vuonna 1999 edenneen ennakkodiagnoosien tekemiseen. Sen sijaan uskottiin, että asiakkaat jo yleisesti tekevät seurantadiagnooseja. Ennakkodiagnoosien osalta mielipiteet jakautuivat sen suhteen, tekevätkö niitä etupäässä terveydenhoitajat vai lääkärit. Noin puolet vastaajista oli sitä mieltä, että pikadiagnoosit liittyvät vielä vuonna 1999 lähes pelkästään infektiotauteihin. Vastaajat olivat yksimielisiä siitä, että ko. menetelmät ovat jo vuosisadan vaihteessa laajassa käytössä.

Puolet vastanneista uskoi siihen, että kansalaiset vuonna 2010 yleisesti tutkivat ko. menetelmillä syytä huonoon kuntoonsa. Kansalaisten uskottiin kykenevän pikadiagnosoimaan AIDSin. Suuri yksimielisyys vallitsi siitä, että ennakkopikadiagnooseja tekevät kyseisenä vuonna pääasiassa terveydenhoitajat ja että niitä tehdään laajasti sekä infektiotaudeista että muista taudeista, kuten syövän toteamiseksi.

Englannissa on tehty ennakoiva päätös pikadiagnosoinnin käyttötavasta. Ison-Britannian hallitus on päättänyt, että HIV-testien (AIDS-testien) tekemistä ei sallita muille kuin terveydenhoitohenkilökunnalle. Tavoitteena on ilmeisesti kaikkien AIDSiin sairastuneiden rekisteröinti (Green - Yoxan 1990).

### **Ihmisen perimän kartoitus ja perinnöllisten tautien diagnostiikka**

Vuoden 1989 aikana käynnistyi kaksi laajaa projektia, joiden tavoitteena on ihmisen perimän kartoittaminen. Toisen, Human Genome Projektin eli GENOME:n kärkinimenä on nobelisti James Watson. Hän on yksi kolmesta tutkijasta, jotka selvittivät vuonna 1953 DNA:n rakenteen. Toinen hanke on Human Genome Organisation eli HUGO.

Ihminen on nyt tosissaan tarttumassa noin kolme miljardia emäsparia eli nukleotidiparia käsittävän perinnöllisen koodinsa selvittämiseen. Tavoitteena on vähitellen päästä perille niistä noin 100.000 geenistä, jotka ohjaavat noin 30.000 erilaisen valkuaisaineen tuotantoa.

Mittasuhteiltaan ja rahoitukseltaan hankkeita voi verrata avaruuden valloitukseen. Yhdysvaltalainen GENOME-hanke on jo

## KAKSI TAPAA SELVITTÄÄ IHMISEN GEENIRAKENNETTA

Ihmisen geenien kartoittamisessa voidaan edetä kahdella tavalla. Yksi mahdollisuus on systemaattisesti sekvensoida ihmisen perimää. DNA:n emäsjärjestystä voidaan näin selvittää periaatteessa lähtien sen ensimmäisestä nukleotidiparista ja päätyen viimeiseen nukleotidipariin. Tämän menettelytavan heikkoutena ovat laajat ihmisten DNA-koodiin liittyvät intronijaksot.

Käytännössä sekvensointia on lähdeTTY tekemään niin, että kaikkiin kromosomeihin on pyritty tunnistamaan "kilometri-pylväitä". Näistä muodostuu tunnettuja nukleotidijaksoja, joiden välissä on tuntemattomia nukleotidijaksoja.

Tutkijoilla on käytettävissään automaattisia geenisekvensointilaitteita, jotka voivat nopeasti määrittää suuren emäsparimäärän järjestyksen. Nykyään parhaimmat laitteistot voivat määrittää noin 12.000 emäsparia 24 tunnissa. Tämä on kuitenkin aivan liian hidasta koko geneettisen materiaalin läpikäymiseen kohtuullisessa ajassa. Siksi suuren projektin eräs ensimmäisistä tavoitteista on kehittää uusia sekvensointikoneita, jotka

saanut maan kongressilta 300 miljoonan markan määrärahan. Jatkossa hanke saanee 15 vuoden ajan 800 miljoonaa markkaa vuodessa. Eurooppalaissyntyinen HUGO mainostaa itseään geenikartoituksen kokoavana YK:na. Se aikoo avata kolme tietopankkia: yhden Eurooppaan, yhden Yhdysvaltoihin ja yhden Japaniin. HUGO:n tietopankkiin on jo kerätty täydelliset tiedot lähes 50.000 geenistä. Ne ovat geenejä, joiden vaikutus vaikei suinkaan aina sijainti ihmisen kromosomeissa on tunnistettu.

Molemmat hankkeet korostavat maailmanlaajuisista yhteistyötä ja työnjakoa. Periaatteessa voitaisiin ajatella, että tutkimuslaitokset jakaisivat sovussa ihmisen kromosomit tai niiden osat ja sekvensoinnin tulokset yhdistettäisiin. Ongelmana on kuitenkin, että kaikki kromosomit eivät ole yhtä kiinnostavia. Jo nyt on ollut riittävä taloudellisesti lupaavimpien kromosomien sekvensoinnista.

voivat työskennellä 5-10 kertaa nopeammin (Langer 1989). Polymeraasiketjureaktion hyväksikäyttö tarjoaa suuria mahdollisuuksia sekvensoinnin nopeuttamiseen.

Systemaattisen sekvensoinnin asemasta toinen mahdollisuus on lähteä liikkeelle esiintyvistä valkuaisaineista tai esimerkiksi vertaamalla nukleotidirakennetta terveiden ja niiden välillä, jotka sairastavat jotain perinnöllistä tautia. Myös tätä toista strategiaa noudatettaessa käytetään geeniaineksen sekvensointia. Sekvensointi vain aloitetaan lupaavimmista kohdista ja näin mahdollisesti vältetään turhaa intronijaksojen kartoittamista. Näin on myös voitu muodostaa edellä mainittuja ihmisen perimän "kilometripylväitä". Etuna on kuitenkin, että näin paljastetut geenit todella koodaavat jonkin valkuaisaineen valmistusta.

Syksyllä 1989 tunnistettuja "kilometritolppia" oli noin 2.200. Näistä noin 900 on kyetty kloonamaan eli monistamaan geeniteknisin keinoin. Parhaiten tunnetusta ihmisen kromosomiparista oli syksyyn 1989 mennessä kyetty selvittämään noin 200 DNA-pätkää.

Tärkeä välitön sovellutus geenirakenteen selvittämisestä on perinnöllisten tautien diagnostiikka. Asiantuntijat arvioivat perinnöllisten tautien diagnostiikan etenemistä ottamalla kantaa taulukon 3.2 väitteisiin. Jo nyt noin 10 prosentilta odottavista äideistä diagnosoidaan lapsen perintötekijöitä. Tutkittavista virheistä tärkein on mongoloidisyndrooma (*Downin syndrooma*), joka ei ole yhteydessä vanhempien perintötekijöihin vaan äidin ikään.

Asiantuntijaraadin arviota voisi vetää yhteen siten, että vuonna 1999 on mahdollista kohtuullista hintaa vastaan tutkituttaa sikiön perimä ainakin kolmen taudin toteamiseksi. Vuonna 2010 sama olisi mahdollista potilaalle ilmaiseksi.

Vuonna 1999 uskottiin voitavan ja olevan luvallista diagnosoida vain tauteja, jotka ovat kuolemaan johtavia tai joihin on hoitokeino. Vajaa puolet vastaajista usko, että muunlaisienkin tautien

### Taulukko 3.2. Perinnöllisten tautien diagnosointi

Ihmisten ja eläinten geenirakenteen parempi tuntemus ja geeni-koetintekniikka tekevät mahdolliseksi diagnosoida perinnöllisiä sairauksia siten, että

Väitteen hyväksyneiden osuus (%) koskien vuotta	1999	2010
A. Kaikilta odottavilta äideiltä, jotka antavat suostumuksensa, tutkitaan ilmaiseksi tai pienellä veloituksella lapsivesi vähintään kolmen perinnöllisen taudin toteamiseksi	25	90
B. Vähintään kolmen taudin tutkiminen on mahdollista kohtuulliseen hintaan uusilla menetelmillä, mutta tutkimuksen teettäjä joutuu yleensä maksamaan siitä koituvat kustannukset	80	20
C. Vain kuolemaan johtavia tautoja ja sellaisia tautoja, joihin on hoitokeino, sallitaan diagnosoitavan lapsivedestä	80	55
D. Kaikkien perinnöllisten ominaisuuksien diagnosointi lapsivedestä sallitaan	10	35

diagnosointi olisi mahdollista vuonna 2010. Reilu kolmannes uskoi, että tällöin saisi vapaasti diagnosoida kaikkia perinnöllisiä ominaisuuksia. Eräs raadin ulkopuolinen erityistuntija perusteli tällaista näkemystään siten, että jos abortin voi saada varsin kevin taloudellisin perustein, miksei abortti olisi mahdollinen lievempienkin perinnöllisten ominaisuuksien pohjalta.

Perinnöllisiä tautoja tunnetaan noin 4.000. Vielä muutama vuosi sitten vain muutamasta kymmenestä niistä oli pystytty selvittämään taudin aiheuttanut geenivirhe. Kehitys on kulkenut viime vuosina nopeasti eteenpäin. Tautoja, joiden taustalla oleva geenivirhe jo tunnetaan, ovat esimerkiksi:

- perinnöllinen veren liika kolesteroli (hyperkolesteroli)
- verenvuototauti (hemofilia)

## GEENIKOETTIMET

Jos tiedetään, missä DNA-ketjun osassa tautia sairastavien ja terveiden nukleotidirakenteet poikkeavat, voidaan muodostaa *geenikoetin* eli -probi, joka vastaa tervettä nukleotidirakennetta.

Geenikoettimet ovat lyhyitä "yksisäikeisiä" DNA-ketjun paloja. Tyypillisesti pala on olennaisesti koko geeniä lyhyempi. Palan emäsrakenne muodostaa täsmällisen vastineen sille DNA-ketjun osalle, jossa geenivirheen arvellaan esiintyvän. Koettimen tarttuminen kertoo geenivirheen esiintymisestä. Koetin on tehty osittain radioaktiiviseksi, millä perusteella sen kiinnittymispaikka voidaan tunnistaa.

Toinen, monesti helpompi tapa etsiä geenivirheitä on käyttää *restriktioentsyymejä*. Ne tunnistavat geenivirheen katkaisemalla DNA-ketjun kohdasta, johon geenikoetin sopii, eli siinä tapauksessa, että kohdassa ei ole geenivirhettä. Katkenneet kromosomit on helppo havaita.

- eräät anemian muodot
- eräät Alzheimerin taudin muodot
- eräät sokeritaudin eli diabeteksen muodot
- lihassurkastumatauti (Duchenin muskulaarinen dystrofia)
- erittävien rauhasen toimintahäiriö (kystinen fibroosi).

On löydetty myös geeni, jolla näyttää olevan yhteys perinnölliseen skitsofreniaan. Skitsofrenia-alttius on kuitenkin ilmeisesti monen geenin määräämä, kuten monet muutkin perinnölliset taudit. Polymeraasiketjureaktion avulla voidaan odottavan äidin verestä määrittellä lähes varmasti lapsen sukupuoli.

Asiantuntijoilta tiedusteltiin, mitä kolmea perinnöllistä tautia he pitävät tärkeimpinä diagnosoinnin kohteina vuonna 1999 ja 2010. Vain harvat olivat valmiit vastaamaan tähän kysymykseen.

## YKSI KILO MAKSAA MILJARDI MARKKAA

Farmos-Yhtymä laajentaa diagnostiikkatehdastaan Oulunsalossa uudella monoklonaalisia vasta-aineita valmistavalla tehtaalla. Noin 10 miljoonaa markkaa maksaneessa tuotantolaitoksessa voidaan tuottaa useita erilaisia monoklonaalisia vasta-aineita. Tehdas tuottaa aluksi miesten eturauhassyövän kuvaamiseen elimistössä käytettävää tuotetta.

Eturauhassyövän toteamiseen tarkoitettu tuote koostuu vasta-aineesta ja siihen kiinnitetystä radioaktiivisesta isotoopista. Vasta-aine kuljettaa elimistöön ruiskutettuna isotoopin syöpäkudokseen. Syöpäkudos ja sen etäispesäkkeet löydetään kuvaamalla potilas gammakameralla. Näin saadaan tarkasti selville syövän levinneisyys ja voidaan suunnitella leikkaus- ja lääkehoito entistä tarkemmin.

Uuden tehtaan tuotantomäärät ovat aluksi erittäin pienet, vuodessa vain muutamia grammoja, mutta sitäkin arvokkaampia. Yksi kilo tätä vasta-ainetta maksaa noin miljardi markkaa.

Tuotantoa voidaan nostaa 500 grammaan asti, mikä kattaa eturauhassyövän kuvantamistuotteen maailman tarpeen. Uuden menetelmän leviäminen lääkäreiden tietoon ja sairaaloiden käyttöön kestää tosin aikansa", kertoo Farmoksen lääkeryhmän toimialajohtaja Heikki Ojanperä.

Tutkimushanke keskittyy seuraavaksi siihen ongelmaan, miten syövän toteavaan vasta-aineeseen kiinnitettävä radioaktiivinen hiukkanen voi viedä myös tappavaa säteilyä syöpäsoluun.

Kun soluja tappava säteily voidaan ohjata oikeaan paikkaan, syöpäsoluun, vältetään potilaita vaivaavilta pahoilta sivuvaikutuksilta, ja samalla hoito tehostuu", kertoo Pirkko Vihko.

Helsingin Sanomat 4.4.1989.



Vastanneet olivat yhtä mieltä siitä, että mongoloidisuuden tutkiminen säilyy tärkeimpiin kuuluvana. Sen ohella mainittiin kaksi kuolemaan viimeistään 20 vuoden iässä johtavaa tautia: lihassurkastumatauti (Duchenin muskulaarinen dystrofia) ja erittävien rauhasen toimintahäiriö (kystinen fibroosi).

Muina tärkeinä diagnosoinnin kohteina mainittiin alttius korkeaan veren kolesteroliin, riski sairastua erilaisiin syöpiin, kuten rintasyöpään tai paksusuolensyöpään sekä skitsofrenia. Myös maanisdepressiivisen psykoosin perinnöllinen tausta on tiiviin tutkimuksen kohteena. Suomalaisilla on lisäksi lukuisia vain meille luonteenomaisia perinnöllisiä tauteja. Niiden geneettisen taustan tutkiminen ja diagnosointi muodostaa haastavan kansallisen tehtävän.

### **Eläin- ja kasvidiagnostiikka**

Uusilla diagnostisilla valmisteilla uskottiin olevan merkittäviä mahdollisuuksia myös kasvi- ja eläinpuolella. Lähes kaikki vastanneet olivat sitä mieltä, että vuonna 2010 puista voidaan yleisesti karsia taimivaiheessa epäkelvoja esim. tietyn viruksen saattuttamia yksilöitä. Muutamat asiantuntijat uskoivat tämän olevan mahdollista jo vuonna 1999. Vielä vahvemmin uskottiin tällaisten pikadiagnoosien mahdollisuuksiin peltokasvien osalta. Asiantuntijoista puolet uskoivat pikadiagnooseja käytettävän yleisesti tähän tarkoitukseen jo vuonna 1999. Lupaavina kasvilajeina mainittiin mm. peruna ja rypsi. Kasvitautien tehokas diagnosointi helpottaa kasvien siirtoa maasta toiseen.

Eläinpuolella pikadiagnostiikan arveltiin seuraavan noin viiden vuoden viiveellä ihmispuolen kehitystä. Diagnoosimenetelmien halpeneminen katsottiin hyvin tärkeäksi, koska eläimiä ei yleensä kannata diagnosoida kalliisti ja näytteiden kuljettaminen laboratorioihin on mielekästä vain poikkeustapauksissa. Tärkeänä sovellutusalueena mainittiin naudan utaretulehdus. Läpimurrolla naudan utaretulehduksen täsmällisessä diagnosoinnissa olisi suuri taloudellinen merkitys, koska taudin hoito edellyttää sen aiheuttaneen bakteerin täsmällistä määrittelyä.

## **Arviot diagnostiikkasovellutusten taloudellisesta merkityksestä**

Alueen erityistuntijat uskoivat muita asiantuntijoita enemmän diagnostiikan kehitykseen. Puolet erityistuntijoista arvioi markkinoiden olevan nopean kasvun vaiheessa jo vuonna 1999, kun muusta raadista tällaisen arvion esitti vain vajaa kolmannes (vrt. kuvio 1.4. s. 33). Vuoden 2010 osalta elinkaariarviot olivat lähellä toisiaan. Valtaosa kummastakin ryhmästä arvioi tuotealueen olevan edelleen nopean kasvun vaiheessa. Osa uskoi kehityksen jo edenneen markkinoiden kasvun pysähtymisen vaiheeseen.

Keskeinen näkökohta, jolla diagnostisten valmisteiden nopeaa etenemistä perusteltiin, oli tuoteturvallisuus. Asiantuntijat olivat lähes yksimielisiä siitä, että tuoteturvallisuudelle asetetut vaatimukset ovat diagnostiikassa löysempiä kuin lääkkeiden valmistuksessa, koska diagnostiset aineet eivät vaikuta suoraan tutkittavaan tai vaikuttavat vain vähäisessä määrin. Samasta syystä uskottiin *in vitro* -diagnostiikan etenevän nopeammin kuin *in vivo* -diagnostiikan. Toisin sanoen koeputkessa tehtävä tutkimus on vähemmän riskialtista kuin potilaassa tehtävä (vrt. s. 63).

Erityistuntijoiden ryhmältä tiedusteltiin vielä uuden biotekniikan tuotteiden elinkaaren vaihetta kolmen tuoteryhmän osalta: infektiotautien diagnostiikan, syöpädiagnostiikan ja perinnöllisten tautien diagnostiikan. Nopeimmin kehityksen odotettiin etenevän infektio- eli tartuntatautien diagnostiikassa. Lähes kaikki uskoivat alueen olevan jo vuonna 1999 nopean kasvun vaiheessa. Puolet vastanneista uskoi vuonna 2010 siirtyvän jo kasvun pysähtymisen vaiheeseen.

Syöpädiagnostiikkaa ja perinnöllisten tautien diagnostiikkaa koskevat keskimääräiset näkemykset muistuttivat toisiaan. Tuotealueiden uskottiin yleisesti olevan lähellä hitaan ja nopean kasvun taitekohtaa vuonna 1999. Lähes yksimielisten arvioiden mukaan nämä diagnostiikan osa-alueet olisivat nopean kasvun vaiheessa vuonna 2010.

Uuden biotekniikan diagnostiikkasovellutusten arveltiin vielä vuonna 1999 liittyvän etupäässä ihmisiin. Asiantuntijat olivat lähes yksimielisiä siitä, ettei eläin- tai kasvipuolen diagnostisten valmisteiden liikevaihto ylitä kyseisenä vuonna 20 prosenttia ih-

misten diagnostisten valmisteiden liikevaihdosta. Sen sijaan selvä enemmistö vastaajista uskoi, että 20 prosentin raja ylittyy kasvipuolella vuoteen 2010 mennessä. Runsas kolmannes uskoi, että 20 prosentin osuus ylittyy vuonna 2010 eläinpuolella.

Puolet erityistuntijoista arvioi uuteen biotekniikkaan perustuvien diagnostisten valmisteiden liikevaihdon Suomessa liikkuvan vuoden 1989 rahassa 100-300 milj. markan haarukassa vuonna 1999. Nelisenkymmentä prosenttia esitti vielä korkeamman liikevaihtoarvion. Vuoden 2010 osalta suuri enemmistö erityistuntijoista uskoi yli 300 milj. markan ja lähes puolet yli 500 milj. markan liikevaihtoon. Yksi epäuskoinen erityistuntija katsoi kuitenkin, ettei liikevaihto vielä tässäkin vaiheessa ylitä 100 milj. markkaa.

Muut bioteknikot olivat selvästi alalla työskenteleviä pessimistisempiä. Heistä kolmannes uskoi, ettei alan liikevaihto ylitä vuoteen 1999 mennessä 100 milj. markkaa. Vuoden 2010 osalta vielä 40 prosenttia katsoi, ettei liikevaihto ylitä 300 milj. markkaa.

Erityistuntijat ja muut asiantuntijat olivat yhtä mieltä siitä, että alan kehittämisen yhteiskunnallinen merkitys ylittää sen liiketaloudellisen merkityksen. Selvästi yli puolet vastanneista katsoi, että julkisen vallan kannattaisi maksaa näistä hyödyistä yli 300 milj. markkaa vuonna 1999 ja yli 500 milj. markkaa vuonna 2010. Perusteiksi arviolle esitettiin tehokkaan diagnostisoinnin tärkeä merkitys terveyden ylläpitäjänä. Nopeat ja tarkat diagnoosit vähentävät sairaudesta aiheutuvia poissaoloja työstä sekä auttavat ennalta ehkäisemään ja puuttumaan varhaisessa vaiheessa vaikeisiin tauteihin, kuten syöpään ja erilaisiin perinnöllisiin tauteihin.

Yhteiskunnallisen merkityksen osalta esitettiin kuitenkin myös kriittisiä huomautuksia. Entistä tarkempien diagnoosien tekemistä varsin vaarattomista influenssaviruksista voi pitää "rikkaan miehen terveydenhuoltona", johon varoja ja osaamista ei tulisi tuhjata. Sen sijaan olisi panostettava yleismaailmallisesti – myös kehitysmaiden kannalta – tärkeille aloille, kuten kasvinjalostukseen ja ympäristönsuojeluun. Valtaosa delfoi-paneeliin kuuluneista ei ollut kuitenkaan valmis yhtymään tällaiseen näkemykseen.

Kasvipuolella kehittyneestä diagnostiikasta koituvat yhteiskunnalliset hyödyt tunnustettiin yksimielisesti. Uusia diagnosoin-

nin menetelmiä käyttäen voidaan esimerkiksi havaita varhaisessa vaiheessa kasvitauteja ja ryhtyä niiden torjuntaan. Suomen uskottiin diagnostiikassa menestyvän kansainvälisesti kaikista tarkastelluista tuotealueista parhaiten metsäteollisuussovellutuksia lukuun ottamatta. Puolet vastanneista katsoi Suomen osuuden alan maailmantuotannosta ylittävän prosentin vuonna 1999 ja asemien uskottiin paranevan tästäkin vuoteen 2010 mennessä. Saavutettua tasoa voidaan rinnastaa Suomen osuuteen maailman väestöstä, mikä on alle 0,1 prosenttia tai Suomen osuuteen maailman tuonnista ja viennistä, mikä on noin 0,7 prosenttia. Vain yksi vastanneista asiantuntijoista arveli Suomen osuuden diagnostiikan markkinoista jäävän alle 0,5 prosentin vuonna 2010.

Haastatellut asiantuntijat olivat lähes yksimielisiä siitä, että Suomella on diagnostiikkasovellutusten ja erityisesti monokloonisten vasta-aineiden korkeatasoista osaamista. Osaamista katsottiin olevan yrityksistä esim. Wallacilla, Labsystemsillä, Orionilla, Medicalla ja Medix Biotechnicalla. Sitä on lisäksi yliopistoilla, kuten Oulun yliopistolla.

Diagnostiikkatuotteiden valmistamisen arveltiin sopivan hyvin Suomen pienille tuotanto- ja tutkimusyksiköille. Monokloonisia vasta-aineita ja geenikoettimia voidaan tuottaa moniin erilaisiin suppeisiin käyttötarkoituksiin. Pienikin valmistaja voi olla omalla "markkinasiivullaan" johtava tuottaja maailmassa. Toisaalta arvioitiin, että riittävän monia reagensseja sisältävien kittien tuottaminen edellyttää suuria tuotantolaitoksia ja pitkinä sarjoina tapahtuvaa valmistusta. Jotkut pelkäsivät suomalaisten ehkä tekevän arvokkaita keksintöjä, mutta muiden hyödyntävän ne kaupallisesti. Valtaosa asiantuntijoista ei kuitenkaan hyväksynyt tällaista väitettä. Väitettä torjuttiin sillä, että Suomessa on poikkeuksellisen hyvin organisoitu terveydenhoitojärjestelmä sekä maa- ja metsätalouden neuvonta. Niiden välityksellä uudet keksinnöt voidaan saada nopeasti käyttöön.

## 3.2. Uusi biotekniikka lääkkeiden valmistuksessa

**Luonnehdinta:** Sisältää tautien tai vajaatilojen ehkäisyyn ja hoitoon käytettävät valmistet.

Uuden biotekniikan lääkesovellutukset perustuvat varsinkin yhdistelmä-DNA-tekniikan käyttöön. Myös mm. monokloonisten vasta-aineiden tuottamisella on tärkeitä tautien hoitoon liittyviä sovellutuksia. Yhdistelmä-DNA-tekniikkaa ja muita DNA:han vaikuttavia tekniikoita voidaan tautien ja vajaatilojen hoidon ja ennaltaehkäisyyn kannalta käyttää kahdella tavalla.

Yksi mahdollisuus on muuttaa DNA:ta geeniaineksen uuden isännän elinkelpoisuuden lisäämiseksi. Jos tällaisen muuntelun kohde on ihminen, toimintaa kutsutaan *geeniterapiaksi*. Jos em. muuntelun kohde on kasvi tai eläin, kyseessä on *kasvinjalostus* tai *eläinjalostus*. Toinen mahdollisuus on käyttää geeniaineksen uutta isäntää vieraiden valkuaisaineiden ja erityisesti ihmisten lääkeaineiden tuottajana. Tätä toimintaa tarkastellaan tässä jaksossa. Koska kasvien ja eläinten jalostamisen keskeinen tavoite on ollut palvella ihmisten tarpeita, raja-alue käsillä olevan lohkon sekä eläin- ja kasvinjalostuksen lohkojen välillä ei voi olla aivan yksiselitteinen.

### Suomalaisten menestymisen mahdollisuudet lääkkeiden valmistuksessa

Suomalaisen osaamisen uskottiin olevan uuteen biotekniikkaan perustuvien antibioottien ja rokotteiden tuottamisessa selvästi heikompi kuin diagnostisten valmisteiden tuottamisessa. Vuoden 1999 osalta niukka enemmistö vastaajista yhtyi myös väitteisiin, että

- Suomen mahdollinen menestys antibioottien ja rokotteiden osalta voi perustua vain onnekkaiseen keksintöön (sattumaan) ja että
- Suomeen kehittyy korkeatasoista osaamista lääkkeiden valmistuksessa, mutta valmistus hoidetaan lisensseillä ulkomailla.

Vuoden 2010 osalta näihin väitteisiin ei enää yhdytty. Erityisesti rokotteiden osalta nähtiin pidemmällä aikavälillä menestymisen mahdollisuuksia, jos alalle panostettaisiin määrätietoisesti. Näkemystä perusteltiin diagnooseissa käytettävien vasta-aineiden ja rokotteiden tuottamisen yhteisillä piirteillä. Kummassakin tapauksessa on kyse tautia aiheuttavan mikrobin tunnistamisesta.

Uuden biotekniikan käyttöä lääkeaineiden valmistuksessa hidastavat ankarat tuoteturvallisuusmääräykset. Asiantuntijaraati hyväksyi yksimielisesti sekä vuotta 1999 että 2010 koskien väitteen, jonka mukaan uuden antibiootin tai rokotteen valmistamiseen tarvitaan tyypillisesti viisi vuotta kokeita ja toinen viisi vuotta tuotteen hyväksymiseen.

Lääkkeiden tuoteturvallisuusvaatimukset ovat selvästi tiukempia kuin diagnostisten tuotteiden valmistuksessa. Uuden biotek-

## MISSÄ SOLUISSA LÄÄKKEITÄ TUOTETAAN?

Lääkeaineita tuottava geeni voidaan periaatteessa siirtää mihin tahansa elävään soluun. Asiantuntijaraadilta tiedusteltiin tärkeysjärjestystä, jolla eri organismeja käytettäisiin lääkeaineiden tms. valmistamiseen vuosina 1999 ja 2010. Vaihtoehtoiksi nimettiin seuraavat:

- bakteerien ja muiden mikro-organismien käyttö
- kasvisoluviljely tai tuottaminen elävissä kasveissa
- eläinsoluviljely
- tuottaminen elävissä eläimissä esim. naudoissa tai kaloissa

Vastanneet olivat yhtä mieltä siitä, että bakteerit ja muut mikrobit tulevat olemaan tärkeimpiä lääkeaineiden tuottajia vuosina 1999 ja 2010. Kasvisoluviljely ja eläinsoluviljely nähtiin varsin tasavahvoina seuraavina vaihtoehtoina. Keskimääräinen arvio oli, että vielä vuonna 1999 eläinsolusovellutukset olisivat hieman kasvisolusovellutuksia tärkeämpiä. Vuonna 2010 eläinsol-

näkökohtien sovellutusten lääkeaineiden valmistuksessa arveltiin yleisesti vasta vuonna 2010 olevan vastaavassa elinkaaren vaiheessa, kuin missä diagnostiikan sovellutusten uskottiin olevan jo vuonna 1999.

Myös muita näkökohtia voidaan esittää perusteluksi sille, miksi suomalaisten yritysten mahdollisuudet menestyä uuden biotekniikan lääkesovellutuksissa ovat varsin rajoitetut. Asiantuntijoiden valtaenemmistö hyväksyi seuraavat väitteet:

- Perinteisten ja suurina määrinä valmistettävien rokotteiden ja antibioottien tuotanto on edullisempaa perinteisillä menetelmillä (mm. kemiallisella synteessillä).
- Suomi ei menesty kovan kilpailun alaisilla bulkkilääkkeiden markkinoilla.

Ilviljelyn ja kasvisolujen tärkeysjärjestys olisi kääntynyt päinvastaiseksi.

Valtaenemmistö vastaajista asetti elävien eläinten käytön tärkeysjärjestyksessä viimeiseksi. Yksi vastanneista oli kuitenkin valmis asettamaan sen tärkeydessä mikrobien jälkeen toiseksi. Hänen mukaansa jo nyt näkyviä merkkejä siitä, että ihmisen valkuaisaineiden tehokkaimpia tuottajia tulevat olemaan suuret nisäkkäät.

Enemmistön kantaa perusteltiin sillä, että eläin- ja kasvisoluviljely ja kasvien käyttö ei sisällä vastaavia eettisiä ongelmia kuin elävien eläinten käyttö. Toisaalta joitakin ihmisen valkuaisaineita kyetään valmistamaan vain elävissä eläimissä. "Vieraan" DNA:n liittyminen eläinten perimään ei itse asiassa ole mitenkään poikkeuksellista. Esimerkiksi hiiren genomista on 0,1-1 prosenttia siihen pysyvästi liittyneitä virusten genomeja vastaavaa DNA:tta (Niemi - Korhonen - Virtanen 1989). Eläinten eritteiden, kuten maidon hyödyntämiselle ei liene suuria esteitä. Jo nyt eräs ihmisen valkuaisaine on saatu valmistamaan hiiren rintarauhasesta ja erittymään eläimen maitoon (Jänne 1989).

Suurimittakaavaisessa tuotannossa kemiallisen synteesin etuja pidettiin kiistattomina. Suomen pienet yksiköt eivät myöskään asiantuntijoiden mukaan sovellu bulkkilääkkeiden markkinoille. Suomella uskottiin olevan parhaat mahdollisuudet menestyä ei-bulkkiluonteisten lääkeaineiden, hormonien ja kasvutekijöiden valmistuksessa. Asiantuntijat olivat yksimielisiä siitä, että tuote-alue sopii Suomelle, koska alan tuotteiden suppeilla markkinoilla jo pienellä tuotannolla voi tulla johtavaksi valmistajaksi maailmassa.

Suomella katsottiin olevan erityisiä mahdollisuuksia luontaislääkkeiden valmistajana. Niiden kysynnän uskottiin lisääntyvän. Lisäksi Suomessa on puhdas maaperä. Eräs asiantuntija tosin oli sitä mieltä, että luontaislääkitys on paljolti muoti-ilmiö. Hän uskoi kiinnostuksen siihen laimenevan, kun korkean teknologian pelko vähenee. Tulossa on uusi polvi lääkkeitä, joilla on luonnossa esiintyvien lääkkeiden molekyylärisiä ominaisuuksia, mutta joiden molekyylikoko on olennaisesti pienempi ja valmistus edullisempaa.

Diagnostiikkaan yhdistyneen "täsmähoidon" uskottiin vuonna 2010 – mutta ei vielä vuonna 1999 – olevan Suomen vahva alue. Esimerkkeinä tulevista mahdollisuuksista mainittiin perinnöllisen korkean kolesterolin ennaltaehkäisy lääkityksellä ja ns. osoitteelliset lääkkeiden kuljettajat. Osoitteellisia lääkkeiden kuljettajia käytetään jo syöpäkasvaimien hoidossa. Tavanomainen syöpälääke – solumyrkky tai syöpäsolut säteilyllään tuhoava radioaktiivinen aine – liitetään kantajaan, joka kuljettaa tuhoajan määrä-osoitteeseen eli syöpäsoluihin (vrt. koonnos s. 74).

Kantajina voidaan käyttää vasta-aineita, jotka tunnistavat esimerkiksi tietyntyyppisen syöpäsolun pintarakenteita. Hoidettaessa kasvaimia, kuten rintasyöpää, joiden kasvu vaatii hormoneja, nämä soveltuvat lääkkeen kuljettajiksi. Tällaiset uudet lääkkeet eivät toimi vielä kovin hyvin. Syöpäsolujen pinta muuttuu jatkuvasti, mikä häiritsee vasta-aineiden kiinnittymistä. Hormoniin liitetyt lääkkeet taas hakeutuvat myös terveisiin soluihin. Tuore sovellutus on magnetoitujen punasolujen käyttö. Lääke kiinnitetään punasoluihin, joiden sisältämä rauta on magnetoitu, ja magneettien avulla solut voidaan ohjata haluttuun paikkaan elimis-



tössä (Jänne 1989).

Antibioottien, hormonien ja kasvutekijöiden kysynnän kannalta on olennaista, sallitaanko tällaisten lisäaineiden käyttö rehuissa ja oşana ihmisravintoa. Asiantuntijat olivat yksimielisiä siitä, että tällaista käyttöä tullaan jo vuonna 1999 tuntuvasti rajoittamaan. Tähän käsitykseen vaikutti kasvutekijöiden läheinen yhteys syövään syntyyn.

Hyvin tehoavan AIDS-rokotteen kehittäminen on suuri haaste biotekniikalle. Asiantuntijoiden enemmistö ei uskonut tässä onnistuttavan vielä vuoteen 1999 mennessä. Sen sijaan onnistumiseen uskottiin yksimielisesti vuoteen 2010 mennessä. Suomalaisilla ei kuitenkaan uskottu olevan osuutta AIDS-rokotteiden valmistuksessa.

### **Arviot lääkesovellutusten taloudellisesta merkityksestä**

Erityistuntijoiden ja koko raadin näkemykset tuotealueen elinkaaren vaiheista olivat varsin yhtenevät vuoden 1999 osalta. Valtaosa vastaajista arvioi lääkesovellutusten olevan tällöin vaiheen "tuote olemassa ja myynti aloitettu" alussa (vrt. kuvio 1.4. s. 33). Vuoden 2010 osalta erityistuntijat olivat hieman muuta delfoi-paneelia toiveikkaampia. Erityistuntijoista yli puolet arvioi tuotealueen olevan jo vähintään nopean kasvun vaiheessa. Muusta raadista valtaosa arvioi lääkeaineiden uuteen biotekniikkaan perustuvan valmistuksen olevan edelleen vaiheessa "tuote olemassa ja myynti aloitettu".

Erityistuntijat arvioivat tuotealueen kehitystä erikseen antibioottien ja rokotteiden sekä toisaalta muiden lääkeaineiden, hormonien ja kasvutekijöiden osalta. Edellisen "bulkkituotealueen" arveltiin yleisesti etenevän viimeksi mainittua kapeampiin markkinesiivuihin perustuvaa tuotealuetta hitaammin.

Nelisenkymmentä prosenttia arveli, ettei bulkkilääkealueella olisi markkinoilla yhtään mainittavaa suomalaista tuotetta vuonna 1999. Sen sijaan kaikki uskoivat siihen, että kyseisenä vuonna on kaupan ainakin joku uuden biotekniikan soveltamiseen perustuva muu lääkeaine, hormoni tai kasvutekijä. Lähes yhtä yksimielisiä asiantuntijat olivat siitä, että viimeksi mainittu alue on nopean kasvun vaiheessa vuonna 2010. Nopeaan kasvuun uskottiin pi-

demmällä aikavälillä myös rokotteiden osalta.

Vaikka diagnostisten valmisteiden markkinoiden nähtiin kehittyvän nopeammin, asiantuntijat arvioivat yleisesti lääkepuolen liikevaihdon jäävän vain hieman jälkeen diagnostiikasta. Lääke-markkinoiden kokonaisliikevaihto on tuntuvasti suurempi kuin diagnostisten valmisteiden. Vähäinenkin osuus suuresta liikevaihdosta voi olla taloudellisesti merkittävä.

Vastanneista alan erityistuntijoista puolet arveli uuden biotekniikan sovellutusten lääkeaineiden valmistuksessa vuonna 1999 tuottavan 100-300 milj. markan liikevaihdon. Vuonna 2010 kaikki erityistuntijat, yhtä pessimistiä lukuun ottamatta, uskoivat yli 300 milj. markan liikevaihtoon. Muiden panelistien arvio oli varsin samanlainen vuoden 1999 osalta, mutta pessimistisempi vuotta 2010 koskien. Heistä yli puolet uskoi, ettei alueen liikevaihto vielä vuonna 2010 ylitä 300 miljoonaa markkaa.

Uuteen biotekniikkaan perustuvalla lääkkeiden tuotannolla arveltiin olevan merkittäviä positiivisia yhteiskunnallisia vaikutuksia. Näitä vaikutuksia pidettiin tosin yleisesti vähäisempinä kuin diagnostisten valmisteiden aikaansaamia. Kuinka paljon yhteiskunnan kannattaisi maksaa tällaisista hyödyistä? Summaksiksi esitettiin yleisesti vuonna 1999 100-300 milj. markkaa ja vuonna 2010 300-500 milj. markkaa. Hyöty liittyy mm. sairaudesta aiheutuvien työstä poissaolojen vähenemiseen ja paranemiseen taudeista, joihin ei aikaisemmin ole ollut tehokasta hoitokeinoa. Erityisesti syövän hoidon mahdollisuudet näyttäisivät paranevan.

Eräs tunnettu tutkimuslaitos arvioi vuonna 1988 uuteen biotekniikkaan perustuvaa tuotantoa vuonna 2000. Arvion mukaan uuden biotekniikan lääkesovellutusten liikevaihto maailmassa vuonna 2000 olisi noin kaksinkertainen diagnostiisiin sovellutuksiin verrattuna. Yhdenmukaisesti tämän arvion kanssa kaksi kolmannesta vastanneista arvioi Suomen osuudeksi uuden biotekniikan lääkesovellutuksista alle puoli prosenttia vuonna 1999, kun diagnostisissa valmisteissa arvioitiin päästävän kaksinkertaiseen osuuteen. Kuva oli hieman toiveikkaampi vuoden 2010 osalta. Puolet vastanneista uskoi Suomen osuuden jo ylittävän puoli prosenttia eli olevan lähellä ulkomaankauppamme osuutta maailmankaupasta.

### 3.3. Geeniterapia

Luonnehdinta: Ihmisen geenivirheiden korjaaminen.

Geeniterapian kannalta keskeistä on löytää perimästä geeni, jossa virhe esiintyy. Tässä käytäviä menetelmiä kuten polymeraasi-ketjureaktiota tai geenikoetintekniikkaa on jo tarkasteltu diagnostiikkasovellutusten yhteydessä. Yksi mahdollisuus reagoida geenivirheeseen on raskauden keskeytys. Toinen mahdollisuus on tavalla tai toisella pyrkiä korjaamaan havaittuja geenivirheitä eli geeniterapia.

Geeniterapia rinnastetaan usein huolimattomasti rodunjalostukseen. Rodunjalostuksesta voidaan puhua kuitenkin vain siinä tapauksessa, että geenien siirto kohdistetaan sukusoluihin. Muihin kuin sukusoluihin kohdistetut geenisiirrot eivät nimittäin periydy, vaikka siirretyt solut lisääntyvät elimistössä ja tuottavat puuttuvaa valkuaisainetta.

#### Geeniterapian mahdollisuudet ja uhkat

Asiantuntijoiden yksimielinen näkemys oli, että vielä vuonna 2010 ei sallita sukusoluihin kohdistuvia geenisiirtoja. Tätä perusteltiin yleisen rodunjalostukseen liittyvän epäluulon ohella sillä, että perinnöllisen taudin ehkäisemiseksi tehty geenisiirto saattaa aiheuttaa arvaamattomia sivuvaikutuksia.

Sen sijaan asiantuntijoiden näkemykset hajaantuivat voimakkaasti sen suhteen, sallitaanko ja missä laajuudessa geenien siirrot muihin kuin sukusoluihin. Insuliinia vaativan sokeritaudin hoito olisi jo nyt periaatteessa mahdollista siten, että toimiva insuliinigeeni siirretään potilaaseen, jolla tämä geeni ei toimi kunnolla. Niinpä asiantuntijoita pyydettiin ottamaan kantaa seuraavaan väitteeseen:

Ihmisen verisoluihin tehdään geenisiirtoja, joilla vaikutetaan esim. insuliinin tuotantoon tai veren kolesteroliin.

Niukka enemmistö ei uskonut tähän vielä vuonna 1999. Sen sijaan valtaosa oli valmis hyväksymään väitteen vuotta 2010 koskevana.

## KATSOA SAA, MUTTEI KOSKEA

Euroopan yhteisen parlamentti myönsi vuonna 1990 määrärahan ihmisen geenikoodia kartoittavalle HUGO-projektille. Parlamentti asetti kuitenkin kolme ehtoa:

1. Avustusta ei saa käyttää geeniterapian kehittämiseen.
2. Sillä selvitettyjä geenejä ei saa patentoida.
3. Määrärahalla ei saa pyrkiä muuttamaan sukusolujen geenejä.

Verisolujen ohella kohteita ovat ihosolut ja luuytimen solut. Esimerkiksi leukemiaa voitaisiin ehkä hoitaa korjaamalla luuytimen solujen geenejä.

Jotta systemaattista geeniterapiaa voitaisiin harjoittaa, tulisi tuntea hoidettavien geneettinen rakenne. Asiantuntijoille esitettiin seuraava väite:

Kansalaisilta tutkitaan heidän genominsa mahdollista hoitoa silmällä pitäen

a) kaikilta tutkitaan

b) vain niiltä, jotka haluavat, korvausta vastaan.

Vastanneista 70 prosenttia ei uskonut, että kaikkien genomi tutkitaan vuonna 2010. Sen sijaan lähes puolet uskoi, että jo vuonna 1999 jokaisen on mahdollista korvausta vastaan tutkituttaa genominsa. Valtaosa piti genomien tutkimista sallittuna ja mahdollisena vuonna 2010.

### Arviot geeniterapian taloudellisesta merkityksestä

Muutamia poikkeuksia lukuunottamatta asiantuntijat eivät uskooneet geeniterapian edenneen kokeilutoimintaa pidemmälle vuonna 1999 (vrt. kuvio.1.4. s. 33). Erityistuntijoiden ja koko raadin keskimääräiset kannat eivät vuoden 1999 osalta poikenneet. Raati oli myös yksimielinen siitä, että vuonna 2010 jokin suomalainen

geeniterapiaan liittyvä tuote on markkinoilla. Erityistuntijat olivat vuoden 2010 osalta hiukan toiveikkaampia kuin muut delfoi-paneelin osallistajat.

Tärkein peruste alan hitaalle kehitykselle ovat toimintaan liittyvät eettiset ongelmat. Toisaalta koko käsitettä "myynti aloitettu" pidettiin epäluontevana, koska kyseessä on elinten siirtoon rinnastuva, pääasiassa valtion rahoituksella tapahtuva toiminta.

Geeniterapian taloudellinen merkitys arvioitiin hyvin pieneksi eli alle 20 miljoonaksi markaksi sekä vuonna 1999 että 2010. Toiminnan yhteiskunnallisesta vaikutuksesta mielipiteet jakautuivat. Enemmistö vastanneista arvioi geeniterapian yhteiskunnallisen merkityksen hyvin vähäiseksi, eräät jopa negatiiviseksi. Kaksi vastaajaa, jotka itse työskentelivät geeniterapiaa sivuavissa tehtävissä, arvioivat kuitenkin, että julkisen vallan kannattaisi panostaa geeniterapiaan vuonna 2010 300 milj. markkaa vuodessa, toinen heistä piti perusteltuna jopa 500 milj. markan panostusta.

Suuret vaihtelut geeniterapian yhteiskunnallisen merkityksen arvioissa heijastelevat tähän sovellutusalueeseen liittyviä pelkoja ja suuria mahdollisuuksia.

### **3.4. Kasvinjalostus uuden biotekniikan menetelmin**

**Luonnehdinta:** Kasvien mikrolisäys. Ilmakehän tyypeä hyödyntävien kasvien kehittäminen. Paremmiin luonnon stressitekijöitä kestäväksi lajikkeiksi. Kasvunopeuden parantaminen. Kasvien kehittäminen teollisuuden tarpeita vastaamaan (mm. parempi mahdollisuus prosessoida). Synteettiset siemenet. Transgeeniset kasvit.

Kasvien etuna geenien siirrossa on mahdollisuus kasvattaa niitä yhdestä ainoasta erikoistuneesta solusta. Kasvien geneettisessä muuntelussa tehokkaimmiksi perintöaineeksi siirtäjiksi (vektoreiksi) ovat osoittautuneet agrobakteerien sisältämät plasmidit. Agrobakteerien luonnollisina isäntinä toimivat monet kaksisirkkaiset kasvit, kuten tupakka. Useimpiin hyötykasveihin geenien

siirto on toistaiseksi vaikeaa tai mahdotonta. Kasvien geneettisessä muuntelussa tärkeässä asemassa ovat ns. merkkigeenit, joiden avulla voidaan tunnistaa mm. erilaisia kemiallisia yhdisteitä kestäviä kasveja.

Geneettistä muuntelua tällä hetkellä taloudellisesti selvästi tärkeämpi uuteen biotekniikkaan luettu menetelmä on kasvien mikrolisäys. Perinteinen valintaan perustuva kasvinjalostus on tehostunut merkittävästi tämän lisäysmenetelmän ansiosta.

### **Metsänjalostuksen uudet mahdollisuudet**

Metsäsektori on ehkä pitkällä tähtäimellä ala, jolla uuden biotekniikan tarjoamat taloudelliset mahdollisuudet Suomessa ovat suurimmat. Uudella biotekniikalla voidaan kehittää sovellutuksia tuotantoketjun kaikissa vaiheissa. Sitä voidaan käyttää niin metsänjalostukseen ja synteettisten siemenien tuotantoon kuin puun käsittelemiseen entsyymeillä hierteen tekemisen helpottamiseksi, sellun valkaisuun ja paperiteollisuuden jätevesien käsittelyyn. Tässä jaksossa tarkastellaan tuotantoketjun alkupään sovellutuksia.

Jaksossa 3.8. hahmotellaan visiota uutta biotekniikkaa laajasti soveltavasta puunjalostusteollisuudesta. Alan erityistuntijat hyväksyivät lähes yksimielisesti väitteen, että biotekniikkaan perustuvan kasvintuotannon liikevaihdosta suuntautuu Suomessa sekä vuonna 1999 että 2010 yli 75 prosenttia metsäkasveihin.

Asiantuntijoilta tiedusteltiin, mihin kolmeen alueeseen Suomessa tulisi panostaa eniten kasvinjalostuksessa. Vaihtoehtoina esitettiin:

- havupuut kotimaassa
- lehtipuut kotimaassa
- kehitysmaiden puut
- koristekasvit kotimaassa
- viljan ja vihanneskasvien (ml peruna) kehittäminen kotimaassa
- viljan ja vihanneskasvien kehittäminen kehitysmaissa.

Kotimaan lehti- ja havupuut saivat eniten mainintoja. Lisäksi mainintoja saivat viljan ja vihanneskasvien sekä koristekasvien kehittäminen kotimaassa. Sen sijaan kehitysmaiden kasveja ei kukaan luenut kolmen tärkeimmän panostuskohteen joukkoon. Usea haastateltu mainitsi yhtenä tärkeimpänä kehityskohteena rypsin, jonka merkityksen arveltiin lisääntyvän sen terveellisen rasvakoostumuksen vuoksi.

Koivujen *mikrolisäys* eli kloonaus on edennyt Suomessa jo laajakhokihin istutuksiin. Myös muiden puiden mikrolisäystä on tutkittu. Havupuut ovat osoittautuneet paljon koivua hankalamminkin mikrolisättäviksi. Varsinkin juurten muodostaminen silmu-

**Taulukko 3.3. Metsien sopeutuminen ympäristön saastumiseen ja muihin luonnon stressitekijöihin.**

Väitteen hyväksyneiden osuus (%) koskien vuotta	1999	2010	2020
<b>A. On kehitetty happamoitumista hyvin kestävä havupuulajike ja sitä käytetään laajasti mikrolisättynä istutuksissa Suomessa</b>	0	25	70
<b>B. Koska havupuiden kehittäminen kestävään happamoitumista ja muita luonnon stressitekijöitä on osoittautunut hyvin vaikeaksi (ts. havupuut kuolevat laajassa mitassa), keskitytään Suomessa lehtipuiden kehittämiseen</b>	0	25	0
<b>C. On kyetty kehittämään ja ottamaan Suomessa istutuksissa laajasti käyttöön juuriltaan myyrille kelpaamattomia koivun tai havupuun taimia</b>	10	65	100
<b>D. Suomi kuuluu huippumaiden joukkoon ilman ja maaperän saasteita ja muita stressitekijöitä kestävien puiden kehittämisessä ja Suomi vie osaamistaan</b>	0	50	80

## KOIVUJEN MIKROLISÄYS

Kasvihuoneilmiö eli hiilidioksidin ja muiden kasvihuonekaasujen aiheuttama ilmaston muutos, ympäristön saastuminen ja puunjalostusteollisuuden nopeasti muuttuvat tarpeet asettavat suuria haasteita metsänjalostukselle. Perinteisin menetelmin näihin haasteisiin on vaikea vastata, koska puiden sukupolvikierto on hidaskä ja parhaiten uusiin vaatimuksiin sopeutuvat puuyksilöt tuottavat vain varsin niukasti siemeniä.

Puiden mikrolisäys tarjoaa uuden mahdollisuuden ottaa käyttöön geneettisesti parannettu aineisto nopeammin kuin lajin sukupolvikierto edellyttäisi. Koivujen mikrolisäys eli kloonaus on edennyt Suomessa jo massatuotannon asteelle Enso-Gutzeitin, Kemiran ja Hortuksen yhteisprojektissa. Toistaiseksi kloonauksella on tähdätty lähinnä mahdollisimman hyvin puuta tuottavien koivuyksilöiden monistamiseen eikä esimerkiksi saasteiden kestävyuden parantamiseen. Kloonatun taimen arvioitu tuotto on ainakin kaksinkertainen jalostamattomaan taimen verrattuna. Sen hinta oli 1989 noin 4 mk/kpl, kun normaalitaimi maksoi noin 2 mk/kpl. Kloonikoivun uskotaan tulevan hakkukypsäksi jo 40 vuodessa, kun nykyisin joudutaan odottamaan keskimäärin 60 vuotta.

Koivun mikrolisäys tapahtuu nykyisin seuraavissa vaiheissa:

**Emokasvin valinta ja kasvupisteiden irrotus.** Emopuiksi pyritään valitsemaan niin vanhoja yksilöitä, että ne ovat vuosien varrella varmasti osoittaneet hyvät ominaisuutensa. Mikrolisäysprosessi aloitetaan leikkaamalla emopuista versonpätkiä tai silmuja. Kasvinosien pinnalta hävitetään sienet ja bakteerit. Kasvatuksen aloittamiseksi irrotetaan kasvupiste, joka siirretään kasvualustalle koeputkeen.

**Monistus ja juurrutus.** Kuukauden tai kahden kuluttua kasvupisteestä on kehittynyt pieni verso. Monistusvaiheessa verson silmät aktivoitetaan muodostamaan uusia versoja hormonien avulla. Syntyneet versot leikataan erilleen ja siirretään 4-8 vii-



kon välein uudelleen monistumaan. Monistetut versot siirretään alustalle, jossa juurten muodostus aktivoidaan aukiintyyppisillä hormoneilla.

**Siirto maahan ja taimikasvatukseen.** Juurrutuksen jälkeen alkaa taimien sopeuttaminen normaaliin ympäristöön. Sopeuttamisen aikana käynnistetään taimen yhteyttäminen ja vesitalouden säätely. Sopeuttamista seuraa normaali kasvihuone- ja taimitarhakasvatus.

**Istutus metsään.** Koska taimet ovat perimältään emopuun kaltaisia, ovat ne kaikki keskenään yhtä kestäviä tai herkkiä esimerkiksi tauteja ja tuholaisia vastaan. Emopuu on kasvullaan jo osoittanut riskinsietonsa. Riskejä voidaan haluttaessa minimoida myös käyttämällä kullakin istutusosalalla useita perimältään erilaisia klooneja. Klooneja voidaan istuttaa sekoituksina tai mosaikkimaisesti kukin klooni omiin ruutuihinsa. Metsien luonnosta geenivarastoa kloonimetsätalous ei kavenna vaan jopa laajentaa, jos klooneja on peräisin eri ympäristöistä.

Lähde: Enso-Gutzeit Oy:n, Kemira Oy:n ja Hortus Oy:n esite 1989.

ta kasvatetuille versoille on osoittautunut hyvin vaikeaksi. Yksi mahdollisuus hyödyntää puiden mikrolisäystä on synteettisten siemenien käyttö. Synteettiset siemenet muodostuvat pienestä alkioista, sille tehdystä vararavinnosta ja kuoresta. Asiantuntijat uskoivat yksimielisesti niiden olevan taloudellisesti merkittävässä käytössä vuonna 2010, mutta ei vielä 1999.

Asiantuntijoilta kysyttiin heidän käsitystään siitä, mitä mikrolisäämällä tuotettuja puita käytetään vuonna 1999 tai 2010 laajassa mitassa istutuksissa. Vastaajat olivat yksimielisiä kloonattujen koivujen laajoista istutuksista jo vuonna 1999. Niukka enemmistö oli sitä mieltä, että vuonna 1999 ei vielä laajassa mitassa istuteta kloonattuja havupuita. Sen sijaan oltiin yksimielisiä siitä, että vuonna 2010 ollaan jo edetty tähän vaiheeseen. Kiinnostusta männyn kloonamiseen vähentää pitkäkuituisen mäntysellun tarpeen nopea väheneminen.

Alan kolme erityistuntijaa pitivät lupaavina mikrolisäämisen

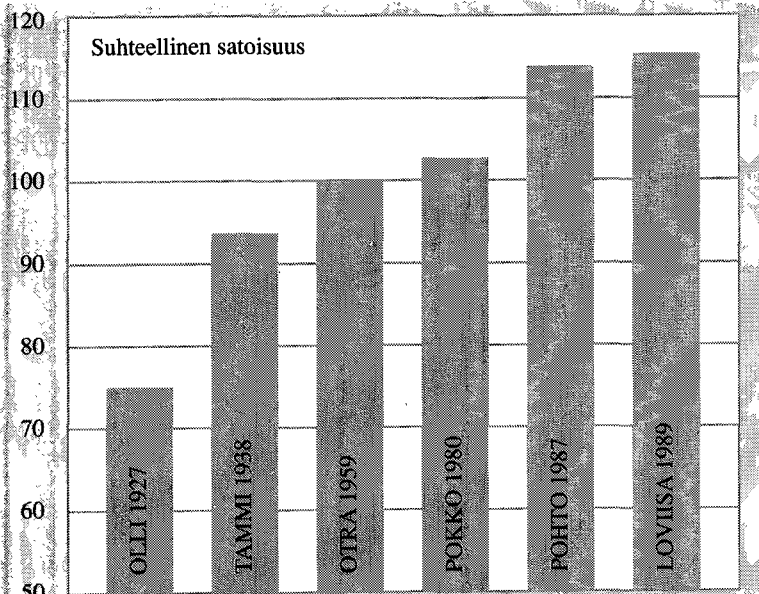
kohteina haapaa ja tervaleppää. Haapa soveltuu pehmeänä puuna erityisen hyvin hierreselluloosan valmistukseen. Sillä on myös toinen jalostuksen kannalta erinomainen ominaisuus: haapahioke ei jälkikellerry yhtä paljon kuin kuusi. Tervalepän sellupitoisuus on huipputasoa. Lisäksi sillä kuten harmaalepällä on tyypeä ilmasta sitova sienijuuri. Tervalepän ongelmana on sen viihtyminen vain vesistöjen äärellä. Tästä syystä sen risteyttäminen *hybridikasviksi* harmaalepän tai ehkä jopa haavan kanssa on hyvin kiinnostavaa. Tällaista kahden eri lajin soluja yhdistämällä muodostettua kasvia voitaisiin monistaa nopeasti mikrolisäyksellä.

Kolme erityistuntijaa uskoi, että mikrolisätyjä haapoja istutetaan laajasti jo vuonna 1999. Muut vastanneet eivät uskoneet tähän vielä kyseisenä vuonna vaan vasta vuoteen 2010 mennessä. Kaksi erityisasiantuntijaa uskoi myös tervalepän ja harmaalepän yhdistelmien kloonien laajoihin istutuksiin jo vuonna 1999. Kaksi kolmasosaa vastanneista ei kuitenkaan uskonut tähän edes vuonna 2010. Sen sijaan enemmistö vastanneista uskoi siihen, että kyseisenä vuonna istutettaisiin laajassa mitassa energiapajujen kloonveja. Pajun kloonausta tutkitaan jo Suomessa.

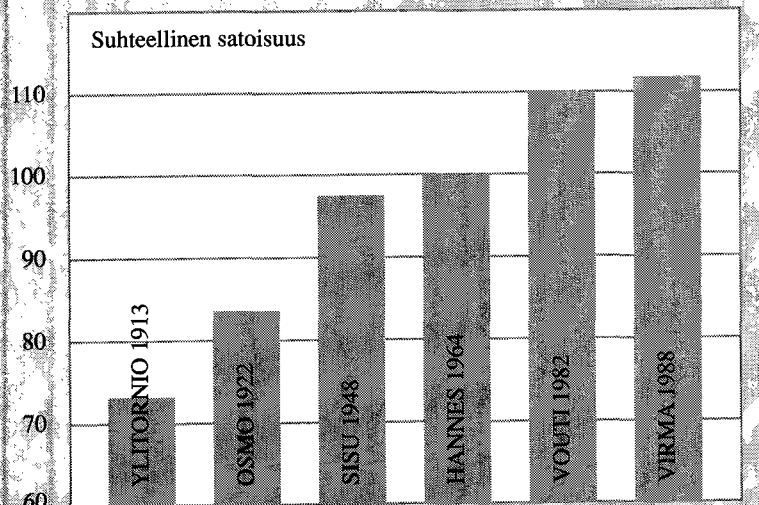
Pitkällä tähtäimellä suuri haaste on sellaisten puiden lisääminen, jotka sopeutuvat ympäristön saastumiseen ja ilmaston muutoksiin. Puun nopea kasvu menneisyydessä ei takaa sen kasvua tulevaisuudessa, jos puun elinympäristö muuttuu paljon. Asiantuntijat eivät uskoneet pikaiseen edistymiseen puiden sopeutumiskyvyn lisäämisessä. Suomi ei kuitenkaan olisi mitenkään "jälkijunassa" alalla, mikäli asiantuntijoita on uskomisen (taulukko 3.3.)

**Uusi biotekniikka kasvihuone- ja peltokasvien jalostuksessa**  
Artikkelissaan "Biotekniikan tuleva merkitys peltoviljelyssä" Gotsch ja Rieder (1989) vetivät yhteen vuonna 1987 tekemänsä kansainvälisen delfoi-tutkimuksen tulosta seuraavasti:

Tuloksemme ovat yhtäpitäviä monien muiden tutkimusten kanssa, joiden mukaan biotekniikka kasvien tuotannossa tulee vain täydentämään perinteisen kasvinjalostuksen menetelmiä. Biotek-



Ohralajikkeet ikäjärjestyksessä ( OTRA = 100 )



Kauralajikkeet ikäjärjestyksessä ( HANNES = 100 )

Kuvio 3.4. Hankkijan kasvinjalostuslaitoksen kehittämien ohra- ja kauralajikkeiden satoisuus. Lähde: Hankkijan kasvinjalostuslaitos.

niikan avulla voidaan saada kasveissa nopeammin aikaan parempia ominaisuuksia. Se tarjoaa ainesta perinteisten jalostusohjelmien käytölle.

Biotekniikka on Gotschin ja Riederin mukaan vain yksi elementti kasvien tuotannon edistämisessä, jota ei voida tarkastella irrallaan muista tekniikoista.

Suomalaisillle alan asiantuntijoille esitettiin seuraava väite:

Pääperiaate pelto- ja kasvihuonekasvien geenitekniikkaan perustuvassa kehittämisessä on, että Suomi tuo ulkomailta geenitekniikalla kehitettyjä lajikkeita. Niitä monistetaan täällä mikrolisäyksellä ja kehitetään eteenpäin perinteisillä risteytstekniikoilla.

Kaksi seitsemästä vastanneesta oli valmis hyväksymään väitteen sekä vuotta 1999 että 2010 koskevana. Muiden mielestä väite aliarvioi suomalaista geenitekniistä osaamista.

Perinteisellä kasvinjalostuksella on Suomessa viljakasvien osalta päästy merkittäviin tuloksiin. Kuvio 3.4. kertoo menestyksestä ohran ja kauran satoisuuden lisäämisessä. Esimerkkinä nykyisestä kasvinjalostuskäytännöstä on ohessa selostus talvenkestävien alppiruusujen jalostuksesta.

Suomalaisilla – erityisesti Kemiralla ja Hortuksella – on jo vahvaa koristekasvien geenitekniistä osaamista. Kolme neljänestä vastanneesta piti koristekasveja uuden biotekniikan tärkeimpänä sovellutuskohteena puutarha- ja peltokasvien osalta vielä vuonna 1999. Samaa kantaa edusti vuoden 2010 osalta neljännes.

Lähes yksimielisiä oltiin siitä, että uuden biotekniikan puutarhakasvisovellutukset liittyvät lähimmän 20 vuoden ajan Suomessa pääasiassa kasvihuoneviljelyyn. Suomen ilmasto on poikkeuksellisen vaikea luonnonvaraisille kasveille. Esimerkiksi kesällä 1988 maanpinnan lämpötilavaihtelut kasvien kukintavaiheessa olivat  $-10^{\circ}\text{C}$  -  $+60^{\circ}\text{C}$  Toisaalta Suomen etuna ovat pitkät kesäpäivät, joita voidaan käyttää hyväksi kasvihuoneviljelyssä.

Yksi kasvibiotekniikan jo toimiva sovellutus on terveiden, lähinnä hankalasti torjuttavista virustaudeista vapaiden kasviyksi-

löiden tuottaminen mikrolisäyksellä. Näin menetellen tuotetaan Suomessa perunan ja eräiden puutarhakasvien terve lisäysaineisto Maatalouden tutkimuskeskuksen Siemenperunakeskuksessa Tyrnävällä ja Tervetaimiasemalla Laukaassa.

Muualla maailmassa geenitekniikalla pakkasta kestävämmä kehitetyt lajit eivät ehkä sovellu Suomeen vaikean ilmaston vuoksi. Vuoteen 2010 mennessä uskottiin kuitenkin Suomessa otetun käyttöön pakkasta kestäviä mansikka- ja perunalajeja. Tahattomasti syntyneen vaarallisen rikkakasvin ("superjuolavehnan") riskiä pidettiin Suomen oloissa häviävän pienenä.

Vaarallisen rikkakasvin riskiä lisää, jos geenitekniikalla jatkossakin kehitetään torjunta-aineita kestäviä hyötykasveja. Kokemus on viime aikoina osoittanut, että torjunta-aineita tuottavalla teollisuudella on suurempi intressi kehittää tällaisia kasveja kuin kasveja, jotka kykenevät ilman torjunta-aineita puolustautumaan esim. sienien aiheuttamia kasvitauteja vastaan.

Torjunta-aineita kestävät kasvit houkuttelisivat käyttämään torjunta-aineita yhä suurempia määriä. Elintarvikkeiden myrkyttäjämet mahdollisesti lisääntyisivät ja myrkyjä huonosti kestävät kasvilajit katoaisivat.

Asiantuntijoilta tiedusteltiin heidän näkemystään torjunta-aineita kestävien kasvien kehittämisestä ja käyttöönotosta. Vastanneet olivat yksimielisiä siitä, että biologista torjuntaa kestäviä kasvilajeja tulisi voida kehittää ja ottaa käyttöön. Muillekin torjunta-aineille kestävät uudet kasvilajit tulisi raadin lähes yksimielisen kannan mukaan sallia, ellei ko. myrkyistä jää pitkävaikutteisia jäämiä luontoon.

Pitkällä tähtäimellä haastavan tavoitteen muodostaa yhteyttämisen tehon lisääminen runsaasti hiilidioksidia sisältävässä kasvihuoneilmassa. Nykyisin kasvit kykenevät sitomaan niihin kohdistuvasta auringon energiasta noin prosentin. Lisäämällä "valo-  
haavina" toimivan rubiscoentsyymien osuutta kasvien proteiineissa voidaan yhteyttämisen tehoa tuntuvasti kohottaa.

Jos rubiscoentsyymien osuus olisi puolet kasvin proteiineista, yhteyttämisen saanto kasvaisi 2-3 prosenttiin. Teoreettinen saantomaksimi on noin 7 prosenttia.

Muutamaa lukuun ottamatta asiantuntijat eivät uskoneet, että

## TALVENKESTÄVIEN ALPPIRUUSUJEN JALOSTUS<sup>1</sup>

M. Uosukainen ja P.M.A. Tigerstedt

Alppiruusut (*Rhododendron* sp.) kuuluvat *Ericaceae*- eli kanervakasvien heimoon ja sukuun kuuluu lähes 900 etupäässä aasialaista lajia. Kohta sata vuotta kestäneen jalostustyön tuloksena on yli 4.800 nimettyä lajiketta rekisteröity virallisesti. Suuresta lukumäärästä huolimatta ei näiden lajikkeiden joukosta löydy Pohjois-Euroopassa hyvin menestyviä lajikkeita.

Helsingin yliopiston kasvinjalostustieteen laitoksella käynnistettiin vuonna 1973 alppiruusujen jalostusohjelma, joka perustui Mustilan arboretumin kestäväan alppiruusuaineistoon. Erityisen kestäväksi alppiruusuksi osoittautui korealainen kookas, valkeakukkainen laji *R. brachycarpum subsp. tigerstedtii* Niz. eli mustilanalppiruusu. Erinomaisen talvenkestävyytensä vuoksi tämä laji valittiin jalostusohjelman keskeiseksi lajiksi. Pyrkimyksenä oli yhdistää mustilanalppiruusun talvenkestävyys ja muiden sitä arempien lajien ja lajikkeiden koristeellinen kasvutapa ja kaunis kukinta.

Risteytysohjelmassa käytettiin äiteinä kaikkiaan 53 Mustilan arboretumissa kasvavaa alppiruusuyksikköä. Osa pölytyksessä käytetystä siitepölystä haettiin Ruotsista, Tanskasta ja Hollannista. Kaikkiaan risteytysohjelmassa oli 496 risteytyseriä. Risteytysten tuloksena saatiin yli 20.000 siementainta, joista ensimmäisen elinvuoden aikana kuoli noin 25 prosenttia.

Jälkeläiskokeet perustettiin seitsemälle paikkakunnalle eri puolille Suomea. Vuosina 1975-79 jälkeläiskokeisiin istutettiin kaikkiaan noin 14.000 tainta. Vuoteen 1982 mennessä oli istutetusta aineistosta kuollut 37 prosenttia eri syistä. Huono talvenkestävyys oli ensimmäisinä vuosina vain harvoin syynä taimien menehtymiseen; useimmiten syynä oli epäsopeva istutuspaikka tai taimien väärä hoito istutusten jälkeen. Hyvin usein taimia myös varastettiin koepaikoilta.

Aineiston valinta käynnistyi, kun taimet olivat noin 75 cm:n korkuisia, eli niiden latvat olivat lumipeitteen yläpuolella keskitalvellakin. Tärkein valintaperuste oli ilmastollinen sopeutu-

minen, kuten pakkasenkestävyys, hallankestävyys ja kasvukaudenaikainen kuivuuden kestävyys. Muita valintaperusteita olivat kukintaominaisuudet, lehdistön koristeellisuus, pensaan kasvutapa, kasvullisten ja suvullisten jaksojen rytmittyminen, kasvien terveys ja kasvien ikääntyminen.

Risteytysaineiston talvenkestävyyttä testattiin kylminä talvina 1984/85 ja 1986/87. Nämä kaksi talvea olivat useimmilla koe- paikkakunnilla vuosisadan kylminnät. Erityisesti talvella 1986/87 esiintyi poikkeuksellisen runsaasti juuristovaurioita. Mainittujen kahden kylmän talven seurauksena noin 30 prosenttia risteytysaineistosta kuoli tai vaurioitui niin pahoin, että ne poistettiin koekentiltä.

Risteytysaineistosta valittiin kaikkiaan noin 80 parasta yksikköä tarkempia lajikeita varten. Niiden lisäämiseksi kehitettiin meristeemisäysmenetelmä, jonka avulla kloonattiin lajikekoita varten tarvittavat taimet. Lajikekoita alettiin perustaa vuonna 1983 seitsemälle paikkakunnalle Etelä- ja Keski-Suomeen. Vuoden 1987 loppuun mennessä kuusi kloonaa oli laskettu kaupalliseen lisäykseen. Lajikkeet 'Elviira' ja 'Hellikki' olivat punakukkaisia, 'Haaga' ja 'Helsinki University' olivat vaaleanpunakukkaisia sekä 'St. Michel' H42 ja 'P.M.A. Tigers- tedt' olivat valkeakukkaisia.

Jalostusohjelman tuloksena on Suomeen saatu alppirusula- jikkeisto, jonka alhaisten lämpötilojen kestävyys on ainakin -35°C ja osa lajikkeista kestävä jopa -40°C pakkasia ilman mainittavia vaurioita. Täten alppirusujen viljelyaluetta voidaan Euroopassa ja Amerikassa laajentaa sekä pohjoiseen että ilmas- toltaan mantereisille alueille.

<sup>1</sup> Lyhennellen Maataloustieteellinen aikakauskirja 1988:4.

vielä vuoteen 2010 mennessä yhteyttämisen tehoa olisi onnistuttu korottamaan nykyiseen verrattuna kaksinkertaiseksi. Sen sijaan lähes kaikki vastanneet uskoivat tällaisen teknisen läpimurron tapahtuneen vuoteen 2020 mennessä.

Toinen merkittävä pitkän tähtäimen kehittämiskohde on kasvien kyky selvitä vähemmällä lannoituksella sitomalla ilmasta typpeä. Edellä viitatussa kansainvälisessä delfoi-tutkimuksessa tiedusteltiin asiantuntijoiden käsityksiä biologisen typensidonnan mahdollisuuksista (Gotsch - Rieder 1989). Näkemyksiä vedettiin yhteen seuraavasti:

Ainoana tapana parantaa lähimpinä 20 vuotena biologista typensidontaa maataloilla pidettiin sienijuuren välityksellä symbioosissa kasvin kanssa elävien bakteereiden typenottokyvyn parantamista. Tässäkin saatetaan epäonnistua, koska tyypeä sitovat bakteerit joutuvat kilpailemaan muiden sienijuuressa vaikuttavien mikrobien kanssa.

Kansainvälinen delfoi-paneeli arvioi, että periodina 1987-97 voitaisiin päästä uuden biotekniikan avulla 0-10 prosentin säästöihin tyypilannoitteiden käytössä. Vuoteen 2007 mennessä säästöt voisivat olla 0-20 prosenttia. Samaa suuruusluokkaa olevia säästöjä pidettiin mahdollisina myös fosforin osalta. Perusteena oli myös sienijuuren bakteerien geneettinen muuntelu. Lupaavimpina kehityskohteina pidettiin palkokasveja, riisiä ja sokerijuurikasta.

Kotimaisen delfoi-paneelin arviot olivat yhdensuuntaisia kansainvälisen paneelin käsitysten kanssa. Sienijuuren omaavien kasvien kuten herneen, apilan ja lepän typensidontakykyä uskottiin voitavan olennaisesti parantaa vuoteen 2010 mennessä, mutta ei vielä vuoteen 1999 mennessä. Puolet vastanneista katsoi, ettei Suomessa edes vuonna 2020 ole onnistuttu taloudellisesti merkittävän typensidontakyvyn aikaansaamisessa kasveille, joilla ei ole sienijuurta. Typensidonnan epäiltiin kuluttavan kasvin energiarvoja niin paljon, että sen kasvu kärsisi tuntuvasti.

Asiantuntijoilta tiedusteltiin sellaista yllättävää teknistä läpimurtoa, jolla voisi olla todella merkittäviä vaikutuksia yhteiskuntaan. Yksi asiantuntija mainitsi tällaiseksi kasvien yhteytys-



prosessin katkaisemisen geenitekniikalla siten, että ne valmistaisivat hiiliyhdisteiden asemasta vetyä. Kasvit nimittäin tuottavat yhteyttämisen ensimmäisessä vaiheessa vetyä. Yhteyttämisen katkaisemisen mahdollisuuteen palataan energiantuotannon bioteknisiä mahdollisuuksia tarkastelevassa jaksossa 3.9.

### **Arviot kasvinjalostuksen sovellutusten taloudellisesta merkityksestä**

Valtaosa delfoi-paneeliin kuuluvista arvioi kasvinjalostuksen olevan vuonna 1999 vaiheessa "tuote olemassa ja myynti aloitettu" (ks. kuvio 1.4. s. 33). Enemmistö arvioi, että tuotealue on vuonna 2010 jo markkinoiden nopean kasvun vaiheessa. Erityistuntijat olivat hieman muuta paneelia varovaisempia arvioissaan vuoden 1999 osalta, mutta uskoivat sen sijaan muuta paneelia enemmän nopean kasvun vaiheeseen vuonna 2010.

Erityisasiantuntijoiden ja koko paneelin mediaaniarvio vuoden 1999 alan kotimaisesta liikevaihdosta oli 100-300 milj. mk. Merkille pantavaa kuitenkin on, että markkinoille juuri tulleiden mikro-lisäyten koivujen kehittäjän Kemiran edustaja arvioi alan liikevaihdon olevan jo tällöin 300-500 milj. mk.

Vuoden 2010 osalta kaikki erityistuntijat uskoivat jo yli 300 milj. markan liikevaihtoon, mutta vain yksi yli 500 milj. markan liikevaihtoon. Muiden panelistien keskimääräinen arvio oli lähellä erityistuntijoiden arviota, mutta mielipiteet hajaantuivat enemmän.

Kasvinjalostuksella nähtiin olevan erityisesti vuonna 2010 merkittäviä positiivisia yhteiskunnallisia vaikutuksia. Tällaisina vaikutuksina mainittiin kehitysmaiden ravintotilanteen parantaminen sekä ympäristön pilaantumista ja muita ympäristön muutoksia, kuten kasvihuoneilmiötä paremmin kestävien kasvilajien kehittäminen.

Vuoden 1999 osalta mediaaniarvio summasta, joka julkisen vallan kannattaisi maksaa uuden kasvinjalostuksen yhteiskunnallisesta vaikutuksesta jäi vielä 20-100 milj. markkaan. Vuonna 2010 sekä erityistuntijoiden että koko paneelin mediaanivastaaaja arvioi täksi summaksi jo 300-500 milj. mk. Runsas viidennes

vastaajista arvioi yhteiskunnallisen hyödyn olevan yli 500 milj. mk.

Suomen osuuden maailman uuteen biotekniikkaan perustuvasta kasvinjalostuksesta arvioitiin vastaavan suunnilleen tuontimme ja vientimme osuutta maailmankaupasta eli olevan 0,5-1,0 prosenttia. Osuuden arvioitiin hieman lisääntyvän vuoteen 2010 mennessä.

### **3.5. Eläinjalostus uuden biotekniikan menetelmin**

**Luonnehdinta:** Lihan ja maidon laadun parantaminen. Kasvunopeuden lisääminen. Tautien vastustuskyvyn parantaminen. Eläinten kehittäminen teollisuuden tarpeita vastaamaan (prosessointiominaisuudet). Transgeeniset eläimet.

Eläinjalostuksen biotekniset mahdollisuudet ovat korkeammilla eläimillä olennaisesti samat kuin ihmisellä. Erot sovellutuksissa perustuvat ihmiseen kohdistuvan geneettisen muuntelun tiukkaan säätelyyn.

Geneettistä muuntelua voidaan eläimillä kohdistaa myös sukusoluihin. Vastaten kasvien mikrolisäystä voidaan tuottaa perimältään identtisiä eläimiä. Tämä ns. alkiokasvatus perustuu siihen, että hedelmöittynyt munasolu saatetaan jakautumaan identtiseksi soluiksi. Näitä alkioita voidaan kasvattaa toisten eläinten kohduissa. Alempien eläinten, kuten kalojen ja äyriäisten, alkioita voidaan kasvattaa ravintoliuoksessa tai vedessä. Kuten kasvinjalostuksessa myös eläinten jalostuksessa uuden biotekniikan menetelmät kilpailevat perinteisten valintaan perustuvien jalostusmenetelmien kanssa ja täydentävät niitä.

#### **Uuteen biotekniikkaan perustuvan eläinjalostuksen yleiset edellytykset**

syistä huomattavasti tiukempaa eläinjalostuksessa kuin kasvinjalostuksessa. Erityisesti Euroopan yhteisön ja USA:n noudattamalla käytännöllä on keskeinen vaikutus muotoutuviin normeihin. Vuoden 1999 osalta lähes kaikki erityistuntijat hyväksyivät seuraavan väitteen:

Eläinten geneettisen monimutkaisuuden ja hitaan sukupolvikierron vuoksi geenien siirtoon perustuva eläinten jalostus on – vaikka jätetään eettiset näkökohdat ottamatta huomioon – olennaisesti vähemmän lupauksia tarjoavaa kuin kasvinjalostus vastaavilla tekniikoilla.

Vuoden 2010 osalta niukka enemmistö erityistuntijoista ei ollut enää valmis hyväksymään väitettä. Enemmistö heistä arvioi kuitenkin uuden biotekniikan soveltamisen eläintalouteen etenevän Suomessa muuta maailmaa hitaammin karjatilojen pienuuden vuoksi. Soveltamista tosin edistää tehokas karjatalousneuvontamme.

Eläinjalostuksen kehitystä ehkäisee maatalouden ylituotanto. Tämä koskee varsinkin sellaisia jalostuksen perinteisiä tavoitteita kuin lihan ja maidontuotannon lisäämistä. Sen sijaan uudet eläinjalostuksen tavoitteet kuten maidon rasvakoostumuksen muuttaminen ja lääkeaineiden tuottaminen maidossa saattavat päinvastoin olla tärkeitä maatalouden selviämässä sitä uhkaavasta kriisistä.

Eläimen kasvunopeuden lisääminen on myös bioteknisesti ongelmallista, koska sitä säätelee usein monta geeniä. Kasvunopeuden lisäyksestä seuraa tyypillisesti muiden ominaisuuksien heikkeneminen. Erityisenä riskinä on syöpänä ilmenevä hallitsematon kasvu. Peptidien ja muiden yksinkertaisten lääkeaineiden valmistaminen esim. maitoon on helpompaa, koska tätä toimintaa säätelee usein vain yksi geeni.

Kasvuhormonigeenin siirroilla on saatu hiiren koko kasvamaan noin kaksinkertaiseksi. Samanlaiset kokeet korkeammilla eläimillä, kuten sioilla ja lampaila, ovat johtaneet huonosti elinkykyisiin yksilöihin. Asiantuntijat olivat lähes yksimielisiä siitä, että kasvuhormoneja antamalla tuotettu liha tullaan kieltämään hormonijäämien vuoksi. Niiden on uskottu voivan aiheuttaa syöpää,

vaikka näyttöä tästä ei olekaan varsinkaan mahassa hajoavien peptidihormonien osalta. Monet maat ovat kieltäneet em. lihan käytön.

Vielä vuoden 1999 osalta hyväksyttiin väite, että lähinnä eettisten syiden vuoksi lääkeaineiden valmistus uudella biotekniikalla on yleisempää eläinsoluviljelmillä kuin elävillä eläimillä. Mielipiteet väitteen paikkansapitävyydestä vuoden 2010 osalta jakautuivat tasan puolesta ja vastaan.

Uuden biotekniikan sovellutusten kanssa kilpailee jatkuvasti perinteinen eläinjalostus. Puolet erityistuntijoista hyväksyi vuoden 1999 osalta seuraavan väitteen:

Pääperiaatteena on, että ulkomailta tuodaan transgeenisia so. geenitekniikalla muunneltuja eläimiä, joita jalostetaan edelleen kotimaassa perinteisin menetelmin.

Vuoden 2010 osalta selvä enemmistö ei enää hyväksynyt väitettä.

### **Alkiokasvatuksen ja geneettisen muuntelun tulevia mahdollisuuksia**

Geneettisen muuntelun taloudellinen mielekkyys riippuu olennaisesti siitä, onko muunneltuja yksilöitä mahdollista lisätä alkiokasvatuksella.

Pisimmälle alkiokasvatuksessa on päästy kalojen ja erityisesti lohikalojen tuotannossa. Saman kalan tai äyriäisen alkioita voidaan tuottaa suuria määriä. Nisäkkäillä mahdollisuudet ovat rajoitetummat.

Kasvattamalla lisäyksen kohteena olevan naudän alkioita toisten nautojen kohduissa kyetään lisättävälle naudalle tuottamaan vuodessa kymmeniä jälkeläisiä. Näin menetellen voidaan myös valita vasikan sukupuoli. Yksi viime aikojen edistysaskel on mahdollisuus todeta geenisiirron onnistuminen varhaisalkiovaiheessa.

Asiantuntijat olivat varsin yksimielisiä siitä, että vielä vuonna 1999 alkionsiirtojen osuus kaikissa kotieläinlajeissa jää alle 10

prosentin raskauksista. Vain jalostusyksiköt tekisivät tässä vaiheessa alkionsiirtoja muiden käyttäessä keinosiemennystä. Lähes yksimielinen käsitys kuitenkin oli, että 10 prosentin raja ylittyynautojen tapauksessa vuoteen 2010 mennessä. Sian osalta noin puolet uskoi ylittymiseen. Lampaan ja hevosten tapauksissa rajan saavuttamiseen uskovien osuus oli noin kolmannes.

Vesistöihin istutettavien kalojen ja rapujen osalta uskottiin selvästi nopeampaan kehitykseen. Lähes yksimielinen kanta oli, että jo vuonna 1999 alkiokasvatuksella tuotetaan yli 10 prosenttia vesistöihin istutettavista lohikaloista. Muiden kalojen ja rapujen osalta osuus tulisi saavutetuksi vuoteen 2010 mennessä.

Asiantuntijoita pyydettiin nimeämään enintään kolme kohdetta, missä geenien siirroilla ja alkiokasvatuksella uskottiin saavutettavan taloudellisesti merkittävimpiä tuloksia. Lohikalojen kehittäminen osoittautui selväksi ykköskohteeksi molempina vuosina. Vuoden 1999 osalta muutamia mainintoja saivat lisäksi sian sekä rapujen ja äyriäisten kehittäminen. Kalojen ja äyriäisten etuna on nopea sukupolvikierto. Tavoiteltava ominaisuus voisi kalojen osalta olla esimerkiksi parvissa liikkuminen, mikä helpottaa istutettujen kalojen ruokintaa ja pyydystämistä.

Muutama nimesi merkittäväksi kohteeksi vaikuttamisen nautojen eritteisiin tai aineenvaihduntatuotteisiin. Myös maidon rasva-koostumuksen muuttamiseen uskottiin. Vuonna 2010 tätä sovelutusaluetta pidettiin lähes yhtä lupaavana kuin lohikalojen kehittämistä.

Vuoden 2010 osalta mainintoja saivat edellisten lisäksi muiden kuin lohikalojen jalostaminen ja nautojen muu kehittäminen kuten kasvun lisääminen, tautien kestokyvyn parantaminen ja lihan laadun kehittäminen.

### **Arviot eläinjalostuksen sovellutusten taloudellisesta merkityksestä**

Runsaat puolet tutkimukseen osallistuneista ei uskonut, että vielä vuonna 1999 tuotealueella olisi edetty mainittaviin markkinoilla oleviin tuotteisiin (ks. kuvio 1.4. s. 33). Vuoteen 2010 mennessä lähes kaikki uskoivat tuotteita jo olevan ja kolmannes uskoi jo

siirrytyn markkinoiden nopean kasvun vaiheeseen. Erityistuntijat olivat molempien vuosien osalta hieman muita asiantuntijoita optimistisempia. Puolet heistä uskoi, että vuonna 2010 oltaisiin tuotealueella jo nopean kasvun vaiheessa.

Yli 2/3 vastaajista arvioi uuden biotekniikan liikevaihdon eläinjalostuksessa jäävän alle 100 milj. markan vuonna 1999. Vuoden 2010 osalta oltiin selvästi toiveikkaampia. Kaikki erityistuntijat uskoivat yli 100 milj. markan liikevaihtoon, yli puolet jopa 300-500 milj. markkaan. Muista asiantuntijoista puolet uskoi kuitenkin edelleen jätävän liikevaihdossa alle 100 milj. markan.

Erityistuntijoista runsaat puolet ja muista asiantuntijoista noin kolmannes katsoi bioteknisellä eläinjalostuksella olevan vuonna 1999 yli liikevaihdon ulottuvaa yhteiskunnallista merkitystä tehokkaamman ravinnontuotannon ja lääketuotannon vuoksi. Vuoden 2010 tapauksessa 40 prosenttia erityistuntijoista uskoi tällaisen vaikutuksen arvon olevan 300 -500 milj. markkaa. Muiden asiantuntijoiden arviot olivat selvästi alhaisempia. Muutamat heistä pitivät geeniteknistä eläinjalostusta eettisesti kyseenalaisena toimintana.

Enemmistö vastanneista arvioi Suomen osuuden maailman uuteen biotekniikkaan perustuvan eläinjalostuksen liikevaihdosta olevan kumpanakin viitevuonna alle 0,5 prosenttia. Ainoastaan yksi asiantuntija arvioi, että kumpanakin vuonna osuus ylittäisi 1 prosentin eli olisi selvästi keskimääräistä ulkomaankauppaosuuttamme, 0,7 prosenttia korkeampi.

### **3.6. Elintarvikkeet ja uusi biotekniikka**

Luonnehdinta: Elintarviketeollisuuden biotekniikan avulla tuotamat valmisteet kuten ravintoarvoltaan paremmat tuotteet. Uusi en raaka-aineiden hyödyntäminen ja jätteiden hyväksikäyttö.

Elintarviketeollisuus on ollut perinteisen biotekniikan tärkein sovellutusalue. Leivän, oluen ja juustojen valmistus on perustunut

## YKSIKASVUVALKUAISEN TUOTANTO SUOMESSA JA NEUVOSTOLIITTOSSA

Suomi oli 1970-luvun puolivälissä maailman johtavia maita rehuvalkuaisen tuottamisessa mikrobien avulla. Hiivaa ja pekilosientä tuotettiin suuria määriä sulfiittiselluloosan jäteliemestä. Käytetyssä prosessissa muodostuu muutama gramma sienimassaa tunnissa kasvatusliemen litraa kohti. Massan valkuaisainepitoisuus on 55-60 prosenttia.

Sulfiittisellun korvaaminen sulfaattisellulla on vähentänyt mahdollisuuksia pekilosienen tuotantoon. Pekilosieni ei ole myöskään hinnaltaan pysynyt kilpailukykyisenä muiden rehuna käytävien valkuaislähteiden kuten soijan kanssa. Pekilo ei myöskään sovellu hyvin ihmisravinnoksi korkean nukleinihappopitoisuutensa vuoksi. Pekiloa valmistetaan kuitenkin edelleen Suomessa. Metsä-Serlan Mäntän sellutehtaan pekiloyksikkö valmistaa noin 6 000 tonnia sienimassaa vuodessa.

Vaikka pekilon valmistusprosessit ovat perustuneet perinteisen biotekniikan menetelmiin, tällä alalla on ehkä uuden biotekniikan sovellutuksia tulevaisuudessa. Erityisesti mahdollisuuksia on yhteistoimintaan Neuvostoliiton kanssa.

Yksisoluproteiinien tuotanto koki myös Neuvostoliitossa vahvan nousukauden 1970-luvulla. Uralin ja Volgan välistä löydettyt valtavat öljykentät tarjosivat halpaa raaka-ainetta. Proteiineja alettiin tuottaa jopa 100.000 tonnin säiliöissä.

Toisin kuin Suomessa yksisoluproteiinien tuotannossa ei kuitenkaan otettu huomioon ympäristönäkökohtia. Päästöt aiheuttivat vakavia terveyshaittoja. Esimerkiksi Kurishin alueella noin 100 km kaakkoon Leningradista on raportoitu astmaatikkojen määrän merkittävästä kasvusta ja hengitystiesairauksiin kuolleista lapsista.

Glasnostin myötä voimakkaasti kasvaneet kansalaisprotestit ovat pakottaneet neuvostojohdon arvioimaan vakavasti uudelleen yksisoluproteiinien tuotantoa. Yleisesti arvioidaan, että kriisin ratkaisu voi olla vain merkittävä uudelleensuuntautuminen Neuvostoliiton biotekniikassa.

mikrobien, lähinnä hiiva- ja homesienien käyttöön biokatalyyteinä. Useimmilla sovellutusalueilla entsyymien käyttö merkitsee uutta teknistä ratkaisua. Näin ei ole elintarviketeollisuudessa. Geneettisellä muuntelulla tuotetut biokatalyytit merkitsevät perinteisten, pohjimmiltaan entsyymeihin perustuvien menetelmien asteittaista kehittämistä.

### **Uusi biotekniikka – vastaus elintarvikealan kovenevaan kansainväliseen kilpailuun?**

Suomalainen maatalous ja elintarviketuotanto ovat siirtymässä kovenevaan kansainväliseen kilpailuun. GATT-neuvottelut ovat johtamassa elintarvikkeiden tuontisuojan heikkenemiseen. Eurooppaan on muodostumassa Euroopan yhteisön ja EFTA:n sekä mahdollisesti entisten sosialististen maiden yhtenäinen markkina-alue.

Elintarviketeollisuuden pääraaka-aineen, maataloustuotteiden, tuotantokustannukset ovat Suomessa korkeat. Näin ollen elintarviketeollisuuden hintakilpailukyky vähän jalostetuissa perustuotteissa on huono. Kilpailukeino yhä vaativamman kuluttajan ja lisääntyvän ulkomaisen tuonnin suhteen on pitkälle jalostettujen tuotteiden kehittäminen, valmistus ja markkinointi sekä kotimaahan että ulkomaille. Toinen mahdollisuus on alentaa maataloustuotteiden tuotantokustannuksia ja vähentää riippuvuutta ulkomaisista panoksista. Uusi biotekniikka tarjoaa mahdollisuuden kovenevassa kilpailussa selviämiseen.

Elintarviketeollisuuden biotekniikkasovellutukset voidaan jaotella lähtien tuotantoketjun eri vaiheista seuraavasti:

- rehujen valmistuksen ja laadun kehittäminen sekä viljakasvien prosessoitavuuden parantaminen
- uusien tuotteiden kehittäminen kasvi- ja eläinrasvoista
- elintarvikkeiden aromi- ja lisäaineet
- uudet maitotuotteet
- elintarvikkeiden pakkaaminen
- biosensorit (käsitellään jaksossa 3.11).



## Rehujen tuotanto ja viljakasvien käsittely

Entsyymien käyttö on muurahaishappoon perustuvaa tuorerehun valmistusta selvästi miellyttävämpää ja terveellisempää käsittelijän kannalta. Puolet alan erityistuntijoista uskoi, että entsyymeihin perustuva tuorerehun valmistus on ohittanut tärkeydessä muurahaishappoon perustuvan tuorerehun valmistuksen vuonna 1999. Suomessa sekä Cultor Oy että Alko tuottavat jo rehujen käsittelyyn entsyymejä. Vuoden 2010 osalta kaikki vastanneet yhtyivät väitteeseen. Muurahaishapon etuna entsyymeihin nähden on kuitenkin käyttövalmius kaikissa olosuhteissa.

Suomi on ollut rehuvalkuaisen johtavia tuottajia puunjalostusteollisuuden jätteistä (ks. koonnos), mutta tulevaisuudessa tätä alaa ei pidetty kovin lupaavana. Asiantuntijoille esitettiin seuraava väite:

Rehuja tuotetaan laajasti puunjalostusteollisuudessa

- a) prosessin nykyisistä jätteistä
- b) muusta puuraaka-aineesta.

Kumpikaan väite ei saanut asiantuntijoiden enemmistön hyväksyntää edes vuoden 2010 osalta. Väitteen b) oli kuitenkin tässä vaiheessa valmis hyväksymään nelisenkymmentä prosenttia alan erityistuntijoista.

Uuden biotekniikan etuna on mahdollisuus tuottaa ravintosisällöltään tarkkaan tunnettuja rehuja. Asiantuntijat eivät kuitenkaan uskoneet, että vielä vuonna 1999 yli 10 prosenttia karjaloista käyttäisi uutta biotekniikkaa soveltamalla tuotettuja ravintoarvoltaan parempia rehuja. Sen sijaan valtaosa asiantuntijoista oli valmis hyväksymään tällaisen väitteen vuoden 2010 osalta.

Rehujen kehittäminen liittyy läheisesti viljan prosessointiin. Asiantuntijoilta tiedusteltiin, minkä viljalajien prosessoinnissa on odotettavissa merkittäviä uuteen biotekniikkaan liittyviä sovelluksia.

Kauran ja rypsin osalta enemmistö asiantuntijoista uskoi merkittäviin sovellutuksiin vasta vuonna 2010. Sen sijaan tällaisia sovellutuksia uskottiin olevan ohran osalta jo vuonna 1999. Uusin menetelmin on jo kyetty tuottamaan paremmin sulavaa rehua broilereille. Ohraa on voitu kehittää siipikarjalle sopivaksi pois-

tamalla siitä entsyymaattisesti haitallisia ainesosia, lähinnä gluteenia. Samalla siitä on kyetty kehittämään myös paremmin ihmisravinnoksi sopiva.

Gluteeni aiheuttaa vaikeita aineenvaihduntahäiriöitä sille herkistyneille eli keliakiaa sairastaville. Ohrassa gluteeni aiheuttaa mm. kumimaisuutta. Myös rehukauralle tavoitellaan mahdollisimman alhaista gluteenipitoisuutta. Rukiin tärkkelystä voidaan ehkä kehittää poistamalla siitä kasvua ehkäiseviä ainesosia. Muuhun kuin viljaan liittyviin merkittäviin sovellutuksiin tärkkelyksen modifioinnissa vuonna 1999 uskoi noin puolet vastan-  
neista.

Oljen prosessoinnissa nähtiin merkittäviä taloudellisia mah-

## ELINTARVIKKEIDEN JA REHUJEN PAKKAAMINEN

Pakkaustuotanto tarjoaa merkittävän haasteen uudelle biotekniikalle. Pakkaustarviketuotannon arvo oli vuonna 1987 noin 6 miljardia markkaa, mistä noin 40 prosenttia oli elintarvikepak-  
kauksia. Pakkaukset edustavat noin 6 prosenttia elintarviketuotannon arvosta. Pakkausten viennistä elintarvikepakkausten osuus oli vielä tuntuvasti suurempi, lähes 80 prosenttia.

Yhdistämällä Suomen korkeatasoinen osaaminen diagnostiikassa ja maamme kehittynyt pakkausteollisuus kyetään ehkä luomaan merkittävää uutta elintarvikepakkausten tuotantoa. On mahdollista kehittää pakkauksia, joihin liitetyt "ilmaisintarrat" kertovat esimerkiksi väriä muuttamalla onko tuote enää syömäkelpoinen. Uutta biotekniikkaa voidaan soveltaa myös luonnossa helposti hajoavien tai muuten helposti jätteenä käsiteltävien pakkausten valmistamiseen.

Asiantuntijoiden enemmistö arvioi, että Suomella ei vielä vuonna 1999 ole merkittävää tällaista pakkaustuotantoa. Sen sijaan vastanneet olivat lähes yksimielisiä tällaisesta tuotannosta vuonna 2010.

dollisuuksia vuoteen 2010 mutta ei vielä vuoteen 1999 mennessä. Öljystä uskottiin vuonna 2010 hyödynnettävän 10 prosenttia yksinkertaisten sokerien tuotantoon.

### **Uudet tuotteet kasvi- ja eläinrasvoista tai -valkuaisaineista**

Asiantuntijoiden enemmistö arvioi, että rasvojen modifiointi nousee merkittäväksi elintarviketeollisuudessa vasta vuoteen 2010 mennessä. Niukka enemmistö katsoi, ettei vielä vuonna 2010 olisi merkittäviä valkuaisaineiden muunteluun liittyviä sovellutuksia.

Eläinrasvojen kehittämisessä keskeisin sovellutus on ravinnon kolesterolipitoisuuden alentaminen. Rehun rasvakoostumusta muuttamalla voidaan mahdollisesti parantaa maidon rasvahappokoostumusta. Ravinnon kolesterolia voidaan alentaa paitsi raaka-aineita geneettisesti muuntelemalla, myös käyttämällä kasviöljyjä. Entsymaattisia menetelmiä voidaan käyttää myös kokonaan uudenlaisten rasvojen valmistamiseen.

Rypsin kehittäminen muodostaa tärkeän sovellutusalueen sen hyvän rasvakoostumuksen vuoksi. Vanhojen rypsikasvilajikkeiden korkea erukahappopitoisuus rajoitti öljyn käyttöä ravintorasvana. Suomessa viljeltävien lajikkeiden erukahappopitoisuus on kyetty laskemaan perinteisin kasvinjalostuksen menetelmin noin prosenttiin. Euroopan yhteisön normit sallisivat 5 prosentin pitoisuuden.

Rypsin sisältämä glukosinolaatti on haittana sekä rehuraaka-aineena käytetyssä rypsirouheessa että rypsiöljyssä. Se heikentää maittavuutta ja sen hajoamistuotteet ovat myrkyllisiä. Mikäli kaikki haitalliset yhdisteet saataisiin poistettua, voitaisiin myös rypsin valkuaista käyttää ihmisravinnoksi.

Asiantuntijoilta tiedusteltiin, mille alalle kasvi- tai eläinrasvoista valmistetut uudet tuotteet kohdistuisivat. Vuonna 1999 enemmistö vastaajista uskoi sovellutusten liittyvän vain elintarviketeollisuuteen. Vuonna 2010 uskottiin olevan merkittävässä määrin myös lääketeollisuuden sovellutuksia.

## **Elintarvikkeiden aromi ja muut lisäaineet**

Kuluttajat suhtautuvat yhä kielteisemmin lisäaineiden käyttöön. Tämä koskee erityisesti säilöntäaineita ja elintarvikkevärejä. Yleinen suunta on pyrkimys lisäaineiden käytön vähentämiseen. Uusi biotekniikka tekee mahdolliseksi korvata synteettisiä lisäaineita, kuten hapettumisen estoaineita, värejä ja emulgointiaineita luonnollisilla lisäaineilla tai lisäaineita korvaavilla menetelyillä.

Emulgointiaineet voidaan tehdä tarpeettomiksi esikäsittelemällä jauho siten, että sen omat rasvat saadaan emulgointikykyisiksi. Myös käyttämällä entsyymejä leivonnassa voidaan emulgointiaineita vähentää. Entsyymejä hyväksikäyttämällä on myös mahdollista tasata leivontaan käytettävien jauhojen laatua ja parantaa muutenkin leivontaominaisuuksia.

Kemiallisia säilöntäaineita voidaan vähentää monin menetelmin. Mikrobit tuottavat "luonnollisia" mikrobien toiminnan estoaineita, joita voidaan jalostaa säilöntäkäyttöön. Suuria odotuksia säilöntäaineiden vähentämispyrkimyksissä kohdistuu entsyymeihin, joilla haitalliset organismit voitaisiin tuhota spesifisti vaikuttamatta muihin organismeihin.

Luonnollisten, kasveista saatavien aromien, flavorien (hajusteiden) ja värien merkitys kasvaa synteettisten tuotteiden käytön vähentyessä. Niitä voidaan tuottaa luonnonmukaisina kasvien solukko- ja eräillä kasveilla.

Asiantuntijoita pyydettiin arvioimaan uuden biotekniikan käyttöä elintarvikkeiden ja rehujen lisäaineita tuottaessa. Puolet vastanneista uskoi siihen, että uutta biotekniikkaa käytettäisiin Suomessa vuonna 1999 merkittävässä määrin luontaisen terveydenhoidon tuotteita tai niitä korvaavia tuotteita valmistettaessa. Sovellutuksia uskottiin myös olevan sellaisten erikoisdiätetavalmisteiden tuotannossa, joiden ainekoostumus on tarkasti määritetty.

Merkittäviä sovellutuksia vitamiinien ja aromiaineiden kuten makeuttajien valmistukseen jouduttaisiin asiantuntijoiden enemmistön mielestä vielä odottamaan vuoden 2010 vaiheille.

Selvä enemmistö oli sitä mieltä, että uudella biotekniikalla onnistutaan kehittämään uusia kaupalliseen menestykseen johtavia oluen valmistusmenetelmiä vuoteen 2010 mutta ei vuoteen 1999

mennessä. Näiden leviämistä voi ehkäistä uutta biotekniikkaa kohtaan tunnettu epäluulo.

### **Uudet maitotuotteet**

Edellä on viitattu mahdollisuuksiin vaikuttaa maidon rasvakoostumukseen nautojen rehuja kehittämällä. Maidon valkuaispitoisuutta voidaan ehkä nostaa monistamalla maidon kaseiinigeenejä. Jaksossa 3.5. tarkasteltiin myös mahdollisuutta tuottaa lääkeaineita maitoon vaikuttamalla nautojen perimään. Maidosta voidaan uutta biotekniikkaa käyttäen muillakin tavoin kehittää uusia tuotteita.

Asiantuntijat olivat lähes yhtä mieltä, että taloudellisesti merkittävimpiä tuloksia on sekä vuonna 1999 että 2010 saavutettavissa kehittämällä uusia hapatteita jogurttien ja juustojen tuotantoon. On viitteitä siitä, että jogurttien sisältämällä maitohappobakteereilla on kyky poistaa elimistöstä myrkyjä ja näin pidentää elinikää.

Merkittäviä tuloksia voidaan myös saavuttaa käyttämällä tehokkaammin puutteellisesti hyödynnettyjä ternimaitoa ja maitoheraa. Asiantuntijat uskoivat, että poikimisen jälkeen muodostuvaa ternimaitoa voidaan vuonna 2010 käyttää laajasti hyväksi kasvutekijöiden tms. tuotannossa. Maitoheran uskottiin myös olevan jo vuonna 1999 taloudellisesti nykyistä olennaisesti tehokkaammassa käytössä.

Asiantuntijat olivat myös sitä mieltä, että maidosta kyetään vuonna 2010 eristämään kannattavasti lukuisia siinä olevista noin 1 000 erilaisesta yhdisteestä. Sen sijaan enemmistö ei uskonut siihen, että maitorasvaa muutetaan vielä vuonna 2010:kään yleisesti terveellisemmäksi. Tosin erään asiantuntijan mukaan tähän on paremmat mahdollisuudet immobilisointitekniikan (s. 48) avulla.

### **Uuden biotekniikan taloudellinen merkitys elintarviketeollisuudessa**

Kolme neljännessä vastanneista arvioi, että markkinoilla on

vuonna 1999 joitakin uuden biotekniikan taloudellisesti maininana arvoisia elintarviketeollisuuden sovellutuksia (ks. kuvio 1.4. s. 33). Yksi neljännes uskoi jo siirrytyn markkinoiden nopean kasvun vaiheeseen. Erityistuntijoiden ja koko raadin näkemykset olivat varsin yhdenmukaisia.

Vuoden 2010 osalta erityistuntijat olivat muuta raatia toiveikkaampia. He olivat yksimielisiä siitä, että on jo siirrytty markkinoiden nopean kasvun vaiheeseen. Muusta raadista vielä kolmannes uskoi, että oltaisiin yhä vaiheessa "tuote olemassa ja myynti aloitettu".

Erityistuntijat uskoivat kehityksen olevan nopeinta rehujen osalta. Puolet arvioi tämän osa-alueen olevan nopean kasvun vaiheessa jo vuonna 1999 ja siirtyneen pysähtyneiden markkinoiden vaiheeseen vuonna 2010. Toinen puoli erityistuntijoista ennakoii hieman hitaampaa kehitystä.

Elintarvikkeiden lisäaineisiin kuten makeuttajiin, vitamiineihin ja säilöntäaineisiin liittyvien sovellutusten arvioitiin etenevän hitaammin. Erityistuntijoiden keskimääräinen näkemys oli, että vasta ensimmäisiä kaupallisia sovellutuksia olisi vuonna 1999 markkinoilla. Vielä vuonna 2010:kään ei uskottu oltavan nopean kasvun vaiheessa.

Elintarviketeollisuuden sovellutukset ovat erityistuntijoiden käsityksen mukaan taloudelliselta kannalta hyvin merkittäviä. Yli puolet heistä uskoi sovellutusten liikevaihdon nousevan jo vuonna 1999 yli 500 milj. markan. Tämä oli yhdestätoista tarkastellusta lohokosta korkein arvio kyseiselle vuodelle. Vuoden 2010 osalta vain puunjalostusteollisuuden sovellutusten arvioitiin yltävän elintarviketeollisuutta korkeampiin liikevaihtoihin.

Muu asiantuntijapaneeli ja myös vähemmistö erityistuntijoista olivat toisaalta melko varovaisia vuotta 1999 koskevissa arvioissaan. Kaksi kolmannesta muista asiantuntijoista arvioi liikevaihdon jäävän alle 300 milj. markan vuonna 1999. Tosin kaikki erityistuntijat ja lähes kaikki muut haastatellut arvioivat liikevaihdon vuonna 2010 olevan yli 300 milj. markkaa.

Muutamaa lukuun ottamatta vastaajat eivät katsoneet elintarvikesovellutuksilla olevan yli liikevaihdon ulottuvaa yhteiskunnallista vaikutusta.

Jos elintarvikesovellutukset Suomessa olisivat arvioiden mukaan merkittäviä, sovellutusten muualla maailmassa arveltiin olevan suhteessa ainakin yhtä mittavia. Alan erityistuntijat arvioivat Suomen osuuden vastaavan suunnilleen sen osuutta maailmankaupasta. Yhtä lukuun ottamatta muut kansainväliseen vertailuun vastanneet asiantuntijat sen sijaan arvioivat osuuden jäävän Suomen ulkomaankauppaosuutta alemmaksi.

Vertaamalla delfoi-paneelin elintarvikesovellutuksia ja lääkesovellutuksia koskevia arvioita voidaan päätellä, että asiantuntijat keskimäärin uskovat elintarvikesovellutusten olevan maailmanlaajuisesti tärkeämpiä kuin diagnostiikka- ja lääkesovellutukset.

Paneelin arvio on ristiriidassa useiden kansainvälisten selvitysten kanssa, joista useimmissa lääkepuolen sovellutusten arvon on oletettu moninkertaisesti ylittävän vuonna 2000 elintarvikesovellutusten arvon. Tosin löytyy myös joitakin selvityksiä, joissa elintarvikesovellutusten, sisältäen myös kasvi- ja eläinjalostuksen, on arvioitu olevan lääkesovellutuksia taloudellisesti merkittävämpiä (Biotechnology, Economic... 1989, Commetta 1989).

### **3.7. Sovellutukset kemikaalien valmistukseen**

Luonnehdinta: Kemianteollisuuden biotekniikan avulla tuottamat valmisteet. Bulkkikemikaalit kuten orgaaniset hapot, polymeerit ja liuottimet. Hienokemikaalit kuten entsyymit, aminohapot, tutkimuskemikaalit tms. Lääketeollisuutta tarkastellaan jaksoissa 3.1 ja 3.2. Kemiallista puunjalostusteollisuutta tarkastellaan jaksossa 3.8 ja energiantuotantoa jaksossa 3.9.

Uuden biotekniikan sovellutukset kemikaalien valmistukseen perustuvat toisaalta fermentaatioprosesseihin, joissa mikrobit tuottavat haluttua kemikaalia tai entsyymiä sekä toisaalta entsyymeihin perustuviin prosesseihin.

## **Sovellukset bulkkikemikaalien valmistuksessa**

Asiantuntijat olivat lähes yhtä mieltä siitä, että kemiallisella synteesillä kyetään toistaiseksi tuottamaan bulkkikemikaaleja selvästi taloudellisemmin kuin bioteknisin menetelmin. Bulkkikemikaalien valmistamista maassamme katsottiin rajoittavan suuren volyymin, jota kannattava tuotanto edellyttää.

Lupaavimpana sovelluskohteena bulkkikemikaalien osalta pidettiin monomeerien valmistusta muovipolymeereja varten. Runsaat 60 prosenttia vastanneista uskoi, että uutta biotekniikkaa sovellettaisiin tähän tarkoitukseen Suomessa jo vuonna 1999. Sovelluksista vuonna 2010 oltiin yksimielisiä. Sen sijaan uuden biotekniikan hyväksikäyttöön muovipolymeerien valmistuksessa monomeereista ei uskottu vielä vuonna 1999 mutta kyllä vuonna 2010.

Toinen varsin lupaavana pidetty alue on ammoniakkin tuotanto. Asiantuntijoiden enemmistö oli sitä mieltä, että kotimaisesta ammoniakkin tuotannosta perustuu vuonna 2010 – mutta ei vielä vuonna 1999 – yli 10 prosenttia nitrogenaasisyymiä käyttävään tai muuhun uutta biotekniikkaa soveltavaan prosessiin.

Uudella biotekniikalla on ehkä mahdollisuuksia biohajoavien yhdistelmämateriaalien valmistuksessa. Tällaisia ovat esimerkiksi luonnossa helposti hajoavat muovit ja muovilla vahvistettu paperi, jota voidaan käyttää paperikassien ja muiden pakkausten valmistukseen.

Asiantuntijat olivat lähes yhtä mieltä siitä, että vuonna 1999 uutta biotekniikkaa ei käytetä Suomessa orgaanisten happojen ja liuottimien valmistuksessa. Vajaa puolet vastanneista erityistuntijoista uskoi kuitenkin tällaisiin sovelluksiin vuoden 2010 osalta.

## **Hienokemikaalien tuottaminen**

Uuden biotekniikan lupaavimmat sovellukset kemikaalien valmistuksessa liittyvät ylipäätään ja erityisesti Suomessa hienokemikaalien eli entsyymien, aminohappojen ja tutkimuskemikaalien valmistukseen ja soveltamiseen prosessiteollisuuteen.

Niukka enemmistö asiantuntijoista oli valmis hyväksymään



väitteen, että immobilisointitekniikka (ks. s. 48) lisää vuoteen 1999 mennessä merkittävästi mahdollisuutta käyttää kalliita entsyymejä tuotannossa. Vuoden 2010 osalta kaikki hyväksyivät väitteen.

Toinen entsyymien käyttöä parantava tekniikka on biologisesti aktiivisten kalvojen käyttö. Näitä valikoivasti esim. pH-arvon perusteella läpäiseviä kalvoja voidaan käyttää siten, että tuotantoyksiköitä voidaan pienentää. Kalvoja voidaan ohjata sähkökemiallisesti ja ladata ulkoa entsyymeillä.

Biologisesti aktiivisten kalvojen uskottiin olevan yleisesti käytössä tuotannossa vuonna 2010 mutta ei vielä vuonna 1999. Erityisesti Japanissa on viime aikoina panostettu voimakkaasti biologisesti aktiivisten kalvojen kehittämiseen.

Entsyymien käyttö orgaanisessa synteesissä on viime aikoina lisääntynyt huomattavasti. Nykyään tunnetaan jo yli 3.000 erilaista entsyymiä, joista useita satoja saa ostaa kaupallisina valmisteina. Entsyymien käytöllä saavutettava tarkka valikoivuus ja reaktio-olosuhteiden ympäristöystävällisyys (ei korkeita lämpötiloja eikä paineita, ei vaarallisia yhdisteitä eikä sivutuotteita) ovat omiaan tekemään näistä menetelmistä prosessiteollisuudelle mielenkiintoisia. Ongelmana on kuitenkin eräissä tapauksissa entsyymien huono stabiilisuus ja niiden tehokkaan toiminta-alueen (esim. pH-arvon suhteen) kapeus. Yksi lupaava entsyymien sovellutusalue on esimerkiksi ns. kiraalisten yhdisteiden (mm. optisesti aktiivisten) muuntelu entsyymeillä.

Merkittäviä entsyymien tuottajia Suomessa ovat Alko Oy ja Cultor Oy. Rajamäellä toimivan Alkon Bioteknisen tehtaan päätuotteita ovat erikoisentsyymit, kuten sellulaasipohjainen Econase (Hakulinen - Rajala 1988). Sen tärkeimpiä sovellutusalueita ovat alkoholiteollisuus, rehuteollisuus, tärkkelysteollisuus, panimo- ja mallasteollisuus, puunjalostusteollisuus ja erilaiset ympäristösovellutukset.

Ympäristönsuojelussa Alkon tuottamilla erikoisentsyymeillä voidaan tehostaa puhdistuslaitosten toimintaa sekä parantaa lietteiden vedenpoistoa, stabilointia ja kompostointia. Erityisesti orgaanisten klooriyhdisteiden poistoon kehitetty bakteri- ja entsyymivalmiste vähentää näiden yhdisteiden määrää mm. puunja-

lostusteollisuuden jätevesistä. Bioteknisillä tuotteilla voidaan parantaa sekä anaerobisten että aerobisten jätevedenpuhdistamojen toimintaa ja tehostaa myrkyllisten aineiden poistoa.

Asiantuntijat olivat yhtä mieltä siitä, että Suomi tuottaa sekä vuonna 1999 että vuonna 2010 enemmän kuin ulkomaankaupansa koon suhteessa eli yli 1 prosentin maailmankaupan entsyymeistä. Tutkimuskemikaalien osalta yli 1 prosentin osuuteen uskottiin vuoden 2010 mutta ei vuoden 1999 osalta. Aminohappojen osalta yli 1 prosentin osuuteen ei uskottu päästävän kumpanakaan vuotena.

Suomen uskottiin kuuluvan kumpanakin viitevuotena elintarviketeollisuudessa tai puunjalostusteollisuudessa käytettävien entsyymien johtaviin valmistajiin maailmassa. Sen sijaan asiantuntijat eivät uskoneet Suomen johtavaan asemaan sellaisten entsyymien valmistuksessa, joita käytetään muovien tuotannossa tai hajottamisessa.

### **Arviot bioteknisten kemikaalien valmistuksen taloudellisesta merkityksestä**

Mediaanivastaajan arvio oli, että jo vuonna 1999 uuden biotekniikan sovellutukset kemikaalien valmistukseen olisivat lähellä nopean kasvun aluetta (ks. kuvio 1.4. s.33). Tätä kannanottoa selittää suomalaisten varhainen liikkeellelähtö tällä sovellutusalueella. Cultor sekä sen tytäryhtiö Genencor International on yksi johtavia entsyymien tuottajia maailmassa.

Alan erityistuntijat jakautuivat kannanotoissaan kahteen toisistaan selvästi poikkeavaan ryhmään. Noin puolet erityistuntijoista arvioi alan olevan nopean kasvun vaiheessa jo vuonna 1999. He myös katsoivat, että kasvu alkaa jo hieman taittua vuonna 2010. Toinen puoli arveli, että vuonna 1999 oltaisiin vielä aivan kehityksen alussa ja että vasta vuonna 2010 oltaisiin siirrytty nopean kasvun vaiheeseen. Alaa vähemmän tuntevat asiantuntijat olivat näiden erityistuntijoiden ryhmien välissä ja heidän vastauksensa hajaantuivat vähemmän.

Erityistuntijoiden ja koko raadin näkemykset olivat varsin yhdenmukaisia arvioitaessa uuteen biotekniikkaan perustuvan ke-

mikaalien valmistuksen taloudellista merkitystä. Mediaanivastaus oli kummassakin ryhmässä 100-300 milj. mk vuonna 1999 ja 300-500 milj. mk vuonna 2010. Kannanotot jakautuivat kumpainakin vuonna varsin tasaisesti mediaaniarvon eri puolille.

Kemikaalien valmistamisella uuden biotekniikan keinoin ei juuri katsottu olevan ohi liikevaihtovaikutuksen ulottuvaa yhteiskunnallista merkitystä. Mediaanivastaajan arvio kumpanakin tarkasteluvuonna oli, että Suomen osuus alan maailmantuotannosta olisi suunnilleen Suomen osuus maailmankaupasta eli noin 0,7 prosenttia.

### **3.8. Uusi biotekniikka puunjalostusteollisuudessa ja kaivostoiminnassa**

Luonnehdinta: Entsyymien ja mikro-organismien käyttö puunjalostusteollisuuden prosesseissa, kuten sellun valkaisuissa. Malmin liuotus mikrobien avulla.

Uuden biotekniikan mahdollisuudet liittyvät ennen muuta ympäristöystävällisempään ja energiaa säästävään sellun tai mekaanisen massan valmistamiseen mikrobeja ja entsyymejä käyttäen. Kolmas edellisiin liittyvä sovellutusalue on puun tai muiden paperin raaka-aineiden kehittäminen geenitekniikalla paremmin prosessoitaviksi. Mikrobeja ja entsyymejä voidaan lisäksi käyttää puun säilyvyyden tai puuaineksen saannon parantamiseksi puun kuorinnassa ja puujätteen hyväksikäytössä.

Kaivostoiminnassa mikrobit voivat muuttaa tavoitellut metallit vesiliuoksen muotoon, jolloin malmi voidaan rikastaa huuhtelemalla.

**Taulukko 3.4. Uuden biotekniikan arvioitu käyttö eräisiin puun käsittelysovellutuksiin**

Väitteen hyväksyneiden osuus (%) koskien	v.1999	2010
<b>Käytetään taloudellisesti merkittävästi:</b>		
Puun säilyvyyden tehostamiseen kaadon ja teollisen käsittelyn välisenä aikana	30	80
Puun nykyisin käyttämättömien osien kuten kantojen, oksien tai kuoren hyödyntäminen esim. sokerin valmistamiseen	60	90
Puiden kuorintaan	0	60

### **Puiden säilyvyyden parantaminen, kuorinnan helpottaminen ja nykyisin korjaamatta jäävän puun hyödyntäminen**

Jaksossa 3.4. tarkasteltiin uuden biotekniikan mahdollisuuksia puiden geneettisessä kehittämisessä. Tässä ja seuraavassa jaksossa tarkastellaan biotekniikan mahdollisuuksia puun käsittelyssä.

Alan erityistuntijoilta tiedusteltiin, missä puun käsittelyn vaiheissa käytetään vuosina 1999 ja 2010 uutta biotekniikkaa taloudellisesti merkittävästi. Merkittävyyden kriteeriksi asetettiin nykyrahassa vähintään 50 milj. markan liikevaihto tai vastaava muu yhteiskunnallinen hyöty.

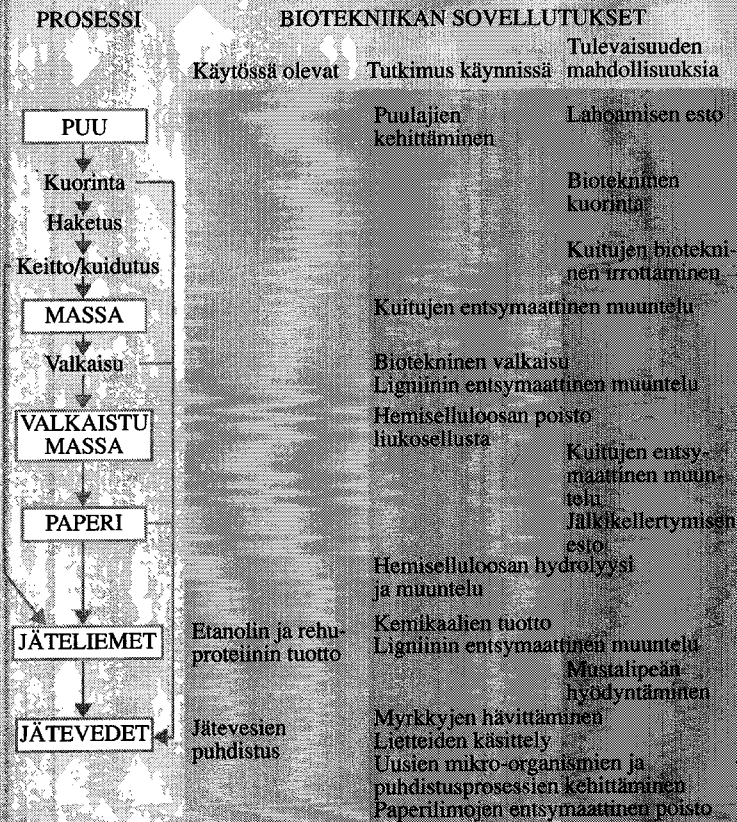
Taulukossa 3.4. on esitetty arvioita muista kuin sellun tai paperin valmistuksen sovellutuksista.

Puun säilyvyyttä on ehkä mahdollista kehittää bioteknisesti esim. sienten kasvua ehkäisevillä aineilla. Koivun pihka, jonka poisto nykyisin vaatii koivun seisottamista varastossa noin 6 viikkoa, voidaan pyrkiä poistamaan entsyymaattisin menetelmin. Näin voitaisiin välttää nykyistä seisotuksesta aiheutuvaa selluloosan noin 5 prosentin saantotappiota.

Puun käyttämättä jäävistä osista voidaan bioteknisesti valmistaa hyvin erilaisia tuotteita. Etanolin ja kemikaalien valmistaminen jätteen sokerista on kuitenkin ongelmallista etanolin matalan maailmanmarkkinahinnan vuoksi.

## MITÄ KAIKKEA ON TEHTY JA TEKEILLÄ?

Viikari (1987) esitti alla olevan kuvan biotekniikan sovellutuksista puun käsittelyssä. Neljässä vuodessa kehitys on kulkenut paljon eteenpäin ja lähes kaikki silloin tulevaisuuden mahdollisuuksina esitetyt sovellutukset ovat jo tutkimuksen kohteina. Vastaavasti monet silloin tutkittavina olleet kohteet ovat jo kokeilukäytössä.



Kuvio 3.2. Biotekniikan sovellutukset metsäteollisuudessa

Asiantuntijat eivät uskoneet uuden biotekniikan sovellutuksiin puiden kuorinnassa vielä vuonna 1999. Vuoteen 2010 mennessä enemmistö sen sijaan uskoi bioteknisen kuoren irrottamismenetelmän olevan taloudellisesti merkittävässä käytössä.

### **Uutta biotekniikkaa hyödyntävä sellun ja paperin valmistus**

Puu muodostuu pääasiassa kolmesta ainesosasta: selluloosasta, ligniinistä ja hemiselluloosasta. Esimerkiksi kuusessa selluloosan osuus on noin 40 prosenttia, hemiselluloosan noin 30 prosenttia ja ligniinin vajaa 30 prosenttia. Koivussa selluloosan ja ligniinin osuudet ovat hieman korkeammat, ja hemiselluloosan osuus on hieman alempi (Sjöström 1978).

Sellun valkaisuessa keskeinen ongelma on sellua keitetessä tummuvan ligniinin erottaminen selluloosakuiduista. Sen sijaan hemiselluloosa kelpaa varsin hyvin paperin raaka-aineeksi. Ligniiniäkään ei tarvitse poistaa, kun paperi päällystetään valkealla aineella kuten kaoliinisavella tai valkaistulla sellulla. Mekaanista massaa eli hierremassaa valmistettaessa ligniiniä ei poisteta, koska se ei tummu käsittelyssä. Päällystettyä tai mekaanisesta massasta valmistettua paperia on kuitenkin tarpeen lujittaa kuitupitoisella sellulla.

Massaa voidaan valmistaa joko kemiallisella tai mekaanisella menetelmällä. Sellumassan kemiallisessa valmistuksessa on kaksi

#### **MITÄ AINESOSIA PAPERI SISÄLTÄÄ?**

Tyypillinen aikakauslehtipaperi sisältää nykyisin kolme ainesosaa: mekaanista massaa, valkaistua sellua ja päällyste- tai täytesavea. Esimerkiksi Suomen Kuvalehden paperista kolmasosa on valkaistua, havupuusta keitettyä sulfaattisellua. Toinen kolmannes on kuusesta valmistettua mekaanista massaa ja loppu päällystesavea, pääasiassa kaoliinia.

## LAHOTTAJASIENET JA NIIDEN ENTSYYMIT SELLUN VALMISTAJIEN APUNA

Luonnossa useat sienet hajottavat puuta. Bakteerit jatkavat edelleen puun hajottamista. Sienistä erityisen kiinnostava on luonnossa tehokkaasti ligniiniä hajottava valkolahottajasieni (*Phanerochaete chrysosporium*). Sekään ei käytä ligniiniä energialähteenään.

Elävän valkolahottajasienen käyttöä ligniinin hajottamisessa rajoittaa toistaiseksi ratkaisevasti sellun suuri saantotappio. Ligniinin hajottamisen lisäksi valkolahottajasieni käyttää ravinnokseen selluloosaa ja hemiselluloosaa.

Lupaavammalta mahdollisuudelta vaikuttaa ligniinin poistaminen entsyymaattisesti. Ligniinin hajottaminen on kuitenkin mutkikas prosessi. Valkolahottajasienen suorittamaan hajottamiseen osallistuu useita eri entsyymejä, joiden toimintamekanismia ei vielä hyvin tunneta.

Entsyymikäsittelyn toisena ongelmana on entsyymien suuri molekyylikoko verrattuna esim. sulfaattisellun keitossa käytettyyn natriumsulfaattiin tai sellun valkaisussa käytettyihin klooriyhdistelmiin. Entsyymien käyttö on suhteellisesti helpompaa sellun valkaisussa, missä entsyymit pääsevät melko helposti hajotettavan ligniinin luokse. Sen sijaan raakapuun entsyymikäsittely edellyttäisi ensin jonkinlaista esikäsittelyä (esim. lämpökäsittelyä), joka hajottaa puun rakenteen. Entsyymien ongelmana on kuitenkin myös niiden heikko lämmönkestävyys.

päämenetelmää: sulfaattikeitto ja sulfiittikeitto.

Sulfaattimenetelmä on saanut nimensä siitä, että sellun valmistuksessa kuluneet kemikaalit korvataan natriumsulfaattilla, glaubersuolalla. Glaubersuola on halpaa, sillä sitä saadaan helposti luonnon suolaesiintymistä ja kemian teollisuuden sivutuotteena.

Sulfiittisellua keitetään useimmiten kuusesta, jota sulfiittiliemessä "maustetaan" rikkidioksidilla. Saatu sellu ei ole yhtä lujaa

**Taulukko 3.5. Uuden biotekniikan arvioitu käyttö sellun ja paperin valmistuksessa**

Väitteen hyväksyneiden osuus (%) koskien v.	1999	2010
Käytetään taloudellisesti merkittävästi (vähintään 50 milj. markan liikevaihto):		
Mekaanisessa massassa ligniinin vähentäminen ja kuitujen irrottamisen vaatiman energian vähentäminen	20	100
Kemiallisen käsittelyn varsinkin ympäristölle vahingollisten yhdisteiden, kuten kloorin ja titaanioksidien käytön vähentäminen sellun valkaisussa ja paperin päällystämässä	70	100
Nurmikasveja voidaan taloudellisesti kilpailukykyisesti käyttää kuitujen tuotantoon	10	70
Jäteliemien ja -vesien hyödyntäminen	60	90
Jätepaperin käsittelyssä	45	90

kuin sulfaattisellu. Tämän takia menetelmästä on meillä vähitellen luovuttu (Sundqvist 1989).

Maailmassa valmistetaan sellua runsaat 100 miljoonaa tonnia vuodessa, ja noin 80 prosenttia tästä tehdään sulfaattimenetelmällä. Suomessa sellua tuotettiin vuonna 1989 kuutisen miljoonaa tonnia, mistä määrästä sulfaattisellua oli liki 90 prosenttia.

Sulfaattisellun valmistus tuottaa itse kaiken tarvitsemansa energian, kun sekä puunkuorimisjäte että puusta sellukeittoon liuennut orgaaninen aines eli mustalipeä voidaan polttaa.

Sellun valmistaminen keittämällä tapahtuu kahdessa vaiheessa. Ensin suoritetaan hakkeeksi pienityn puun varsinainen keitto valkaisemattomaksi selluksi, missä on ligniiniä vielä 3-5 prosenttia. Tämän jälkeen poistetaan jäljellä oleva ligniini eli sellu valkaisuun nykyisin joko kloori- tai happikemikaaleja käyttämällä.

Ympäristölle vaarallisia klooriyhdisteitä ei tarvita valkaisuun puusta hiertämällä tai hiomalla valmistettua mekaanista



## TAPOJA SÄÄSTÄÄ ENERGIAA MEKAANISEN MASSAN VALMISTUKSESSA

Mekaanisen massan valmistaminen hiertämällä vaatii paljon energiaa. On keskeisen tärkeää vähentää tätä energiankulutusta, joka nyky näkymillä olisi vuonna 2000 noin kymmenennes kaikesta sähkön kulutuksesta Suomessa. Uudella biotekniikalla saavutetut säästöt tässä suhteessa voisivat olla jopa uuden biotekniikan taloudellisesti merkittävin yksittäinen sovelluskohde.

Suomalaisissa tutkimusohjelmissa on bioteknisen reitin ohella pohdinnan alla neljä muuta mekaanisen massan valmistuksen energian kulutusta vähentävää menetelmää.

Yksi mahdollisuus on uudenlainen hiomalaikka. Jos jo kehitetty hiomalaikka saadaan kestävämpään mekaanisen massan valmistusolosuhteissa, voidaan parhaimmillaan saavuttaa samaan mekaanisen massan lujuuteen nähden noin 30 prosentin energiansäästö.

Toinen vaihtoehto on prof. Johan Gullichsenin ehdottama uudentyyppinen mekaanisen massan jauhatuslaite. Näin voidaan päästä sekä mekaanisen massan että kemiallisen massan valmistuksessa teoriassa noin 30 prosentin energiansäästöihin.

Kolmas mahdollisuus on "homeopaattinen sulfiittikuitu", missä hyvin lievä sulfiittiesikäsittely vähentää energian tarvetta hiertämisessä. Suunnilleen samaa luokkaa energiansäästömahdollisuuksissa on Keskuslaboratoriossa kehitteillä oleva käsittelytapa, joka perustuu puun mekaaniseen esikäsittelyyn.

Käikki reitit ovat vielä kokeiluasteella. Ne paljolti täydentävät toisiaan. Energiansäästö sellun ja paperin valmistuksessa voi olla todella tuntuva tulevaisuudessa, jos säästöön määrätietoisesti pyritään.

## BIOTEKNISEN SELLUNVALKAISUN KANSSA KILPAILEVAT MENETELMÄT

Laajassa käytössä on happivalkaisumenetelmä, missä kuituja käsitellään keittovaiheen jälkeen hapella ennen kloorivalkaisua. Happivalkaisu on kuitenkin varsin kallis menetelmä, eikä siinä päästä kloorista kokonaan eroon. Menetelmä soveltuu päästöihin, jotka kohdistuvat meriin tai virtaaviin vesiin.

Toinen kilpaileva menetelmä on ns. përoksimuurahaishappokeitto. Siinä ei tarvita valkaistun sellun tuotantoon kuin kemikaaleja, jotka sisältävät natriumia, hiiltä, vetyä ja happea. Natriumin käyttö saattaa kuitenkin luoda uudenlaisen klooriongelman, jos se valmistetaan natriumkloridista (ruokasuolasta). Natrium voidaan tosin tuottaa myös natriumkarbonaattista, jolloin jätteeksi tulee vain hiilidioksidia.

Kolmas Länsi-Saksassa kokeiltu menetelmä on "alkoholikeitto" eli metanolin käyttö. Ongelmana tässä menetelmässä on mm. metanolin ja muiden kemikaalien talteenoton vaikeus (Sundqvist 1989). Kahdella viimeksi mainitulla menetelmällä ei myöskään kyetä valmistamaan sellua, joka ominaisuuksiltaan vastaisi sulfaattisellua.

massaa. Lisäksi tällä tavalla puusta muuttuu kuitumassaksi yli 90 prosenttia, kun kemiallisilla menetelmillä jäädyään alle 50 prosentin.

Mekaanisen massan osuus paperin valmistuksessa kasvaa koko ajan. Siitä tehty paperi ei kuitenkaan sovi hienopaperiksi, ja se myös kellertyy ja haurastuu nopeasti. Mekaanisen massan valmistus myös vaatii paljon runsaammin energiaa kuin kemiallisen (Sundqvist 1989).

Asiantuntijat hyväksyivät yksimielisesti väitteen, että vuonna 2010 käytetään uutta biotekniikkaa taloudellisesti merkittävässä määrin mekaanisen massan valmistuksessa ligniinin vähentämiseen ja kuitujen irrottamisen vaatiman energian vähentämiseen.

Entsyymiesikäsitteilyllä uskottiin päästävän vuonna 2010 jopa kymmenien prosenttien energiansäästöön. Yksi asiantuntija piti

mahdollisena jopa 50 prosentin säästöä. Säästö voisi syntyä joko lastujen esikäsitteilynä tai jo valmiin kuidun sitoutumispotentialin nostamisesta. Viimeksi mainittu käsittelytapa soveltuu myös jätepaperiin. Ohessa on esitetty muitakin tapoja säästää energiaa mekaanisen massan valmistuksessa.

Nopeimpia tuloksia asiantuntijaraati odotti bioteknisten menetelmien käytöstä sellun keiton jäännösligniinin poistamisessa eli sellun valkaisuissa.

Valkaisua bioteknisiin menetelmin on kehitetty Valtion Teknillisessä Tutkimuskeskuksessa ja Keskuslaboratoriossa ja sitä on kokeiltu teollisessa mittakaavassa. Entsyymejä käyttäen on irrotettu jäännösligniiniä ja hemiselluloosaa kuitujen pinnasta. Näin on onnistuttu vähentämään valkaisuissa tarvittavaa klooria noin kolmanneksella taloudellisesti kilpailukykyisellä tavalla. Menetelmän kehittälyssä Suomi on maailman kärjessä.

Sellun valmistuksen bioteknisten menetelmien käyttöönottoon vaikuttaa olennaisesti, kuinka kloorin ja sen yhdisteiden päästöjä luontoon rajoitetaan. Kloorin käytön vähentämistä on vauhdittanut myös pelko siitä, että kloorivalkausun tuloksena muodostuu supermyrkyiksi luokiteltuja dioksiineja. Tämä on vähentänyt kloorivalkaistun paperin kysyntää. Suomalaiset sellunvalmistajat ovatkin sitoutuneet vähentämään klooripäästöt orgaanisina klooripäästöinä mitattuna kolmannekseen vuoden 1989 tasosta vuoteen 1992 mennessä.

Sellua voidaan valmistaa myös nurmikasveista tai oljesta. Eriyisesti Ruotsissa on tutkittu viime aikoina tätä mahdollisuutta. Kokeilujen kohteena on ollut kuidun tuottaminen lähinnä yksi-vuotisista palko- tai heinäkasveista. Heinäkasveista on tuotettu tuoreena tai märkäsäilytyksen jälkeen kuitujen ohella biokaasua ja humuslannoitetta.

Menetelmä tarjoaa kiintoisan vaihtoehdon peltojen kesannoiselle tai metsittämiselle. Kuituominaisuuksiltaan nurmisellu vastaa koivua ja ligniinin poistaminen massasta on helppoa. Sitä voidaan koivusellun tapaan sekoittaa 5-30 prosenttia kuusimassaan. Ruotsin kokeilussa on sato sellutonneina hehtaaria kohden ollut jopa kaksinkertainen koivun tuottamaan selluun verrattuna (Kuusinen 1990). Ongelmana on kuitenkin mm. nurmen sisältä-

mä pii, joka muodostaa lasimaista massaa. Erityisen haasteen uudelle biotekniikalle muodostaa sellaisen nurmikasvilajin kehittäminen, mistä sellun ja biokaasun tuotto on paras mahdollinen.

Suomessa on kokeiltu sellun valmistamista oljesta. Hanke kariutui lähinnä oljen keräilyyn vaikeuksiin. Olkisellua valmistetaan nykyisin esimerkiksi Tanskassa. Oljen etuna raaka-aineena on, että sitä syntyy käyttämättä jäävänä sivutuotteena viljan tuoton yhteydessä. Toisaalta viljan jalostuksessa tavoiteltu korren lujuus on lisännyt korren ligniinipitoisuutta.

Nurmikasvien käytön etuna olkeen verrattuna on, että voidaan keskittyä etsimään nimenomaan selluominaisuuksiltaan parasta heinäkasvia. Kasvin käsittely ja keruu voidaan suunnitella nimenomaan sellun ja esimerkiksi biokaasun tuotantoa silmällä pitäen. Viljan ylituotantoa voidaan välttää. Toisaalta nurmisellun tuotannossa olevat pellot voidaan tarvittaessa nopeasti siirtää ravintokasvien tuotantoon.

Asiantuntijat eivät uskoneet taloudellisesti merkittävään nurmisellun tuotantoon vielä vuonna 1999. Sen sijaan 70 prosenttia heistä oli valmis uskomaan tähän vuonna 2010.

Alan erityistuntijoilta tiedusteltiin puiden kehittämistä paremmin prosessoitaviksi. Asiantuntijat uskoivat, että vuoteen 2010 mennessä on metsänjalostuksella saavutettu vähintään 50 miljoonan markan säästö toisaalta sellun valmistuksen energiataloudessa sekä toisaalta sellun valkaisuissa ja paperin päällystämisisä. Valtaosa vastanneista ei uskonut tällaisiin säästöihin vielä vuonna 1999 kummallakaan sovellutusalueella.

Asiantuntijoilla ei ollut yhtenäistä käsitystä siitä, mitä puulajia kehittämällä tulokseen päästäisiin. Lehtipuut – haapa, leppä, paju ja koivu – saivat kuitenkin useampia mainintoja kuin havupuut. Erityisesti haapa ja tervaleppä nähtiin puulajeiksi, joita kehittämällä voitaisiin päästä taloudellisesti merkittäviin tuloksiin.

Haavan etuna hierteen valmistuksessa on sen pehmeys. Se ei myöskään jälkikellerry yhtä paljon kuin kuusi. Tervaleppän selluloosapitoisuus on poikkeuksellisen korkea. Sen ongelmana on kuitenkin viihtyminen vain vesistöjen äärellä. Yhtenä kehityskohteena saattaisi olla myös lehtipuiden kuituominaisuuksien parantaminen esimerkiksi jalostamalla pidempikuituista koivua.

Uuden biotekniikan soveltaminen sellun ja paperin valmistukseen riippuu olennaisesti eri paperilaatujen kysynnästä. Kolmannes vastanneista uskoi valkaistun ja päällystetyn paperin suhteellisen tarpeen vähenevän merkittävästi, koska asiakkaat hyväksyvät tulevaisuudessa tummemman paperin.

### **Uuden biotekniikan sovellutukset kaivostoimintaan**

Mikrobeja voidaan käyttää mineraalien irrottamiseen köyhistä malmeista. Mikro-organismit muodostavat happoja ja saavat aikaan metallisulfaatteja rauta-, uraani-, kupari-, sinkki- ja nikkeli-malmeista. Koska useimmat sulfaatit liukenevat veteen, vastaavat metallit voidaan helposti erottaa yksinkertaisesti huuhtelemalla vedellä. Tällä menetelmällä tapahtuneen kuparin erottamisen liikevaihto ylitti Yhdysvalloissa miljardi markkaa vuonna 1987.

Samalla menetelmällä voidaan pyrkiä poistamaan vaarallisia raskasmetalleja jätteestä. Ongelmana on kuitenkin vielä vaarallimpien orgaanisten yhdisteiden muodostuminen.

Jotta mikrobeja voitaisiin käyttää tehokkaammin mainittuihin tarkoituksiin, tulisi niiden lämmön, happojen ja myrkyllisten metallien kestokykyä parantaa. Näin voitaisiin malmien huuhtontaa käyttää myös kalliimpien metallien kuten kullan hankintaan.

Vaikka Outokumpu Oy on vastikään ostanut Yhdysvalloista malmien liuotusta kehittäneen yrityksen, asiantuntijat eivät uskooneet alan sovellutusten liikevaihdon Suomessa olevan vielä vuonna 1999 yli 50 milj. markkaa. Sen sijaan he olivat lähes yhtä mieltä siitä, että tämä raja on ylitetty vuoteen 2010 mennessä.

### **Puunjalostussovellutusten taloudellinen merkitys**

Alkuperäisessä kyselylomakkeessa lohko määriteltiin väljästi uuden biotekniikan sovellutuksiksi prosessiteollisuudessa. Käytännössä vastauksissa kuitenkin rajauduttiin lähes pelkästään puunjalostusteollisuuden sovellutuksiin. Lisäksi lohkoon sisällytettiin Suomessa taloudellisesti varsin vähämerkitykselliseksi arvioitu malmien liuotus mikrobien avulla. Muu prosessiteollisuus käsiteltiin joko elintarviketeollisuuden tai kemikaalien valmistuksen

yhteydessä.

Elinkaaren vaihetta koskevat arviot hajaantuivat voimakkaasti erityisesti vuoden 1999 osalta. Neljännes erityistuntijoista ja kolmannes muista asiantuntijoista ei uskonut vielä vuonna 1999 markkinoilla olevan yhtään uuden biotekniikan tuotetta (ks. kuvio 1.4. s. 33). Mm. Enso-Gutzeit Oy:ssä tehdyt onnistuneet sellunvalkaisukokeet ovat kuitenkin jo vieneet pohjaa pois tällaiselta pessimismiltä.

Toista ääripäätä edustivat yksi erityistuntija ja yksi muuhun raatiin kuulunut, jotka arvelivat, että jo vuonna 1999 olisi alalla siirrytty nopean kasvun vaiheeseen. Kolmannes erityistuntijoista ja neljännes muusta raadista oli sitä mieltä, että vuonna 1999 oltaisiin vähintään vaiheen "tuote olemassa ja myynti aloitettu" loppupuolella.

Kaikki erityistuntijat uskoivat vuonna 2010 oltavan vähintään vaiheen "tuote olemassa ja myynti aloitettu" loppupuolella. Erityistuntijoiden mediaaniarvio asettui markkinoiden nopean kasvun vaiheen alkuun. Muu raati oli pessimistisempi. Kolmannes heistä uskoi oltavan edelleen vaiheessa, missä vasta ensimmäiset tuotteet ovat tulleet markkinoille.

Kuten elinkaarta koskevat arviot siten myös ne arviot hajaantuivat suuresti, jotka koskivat toiminnan taloudellista merkitystä vuonna 1999. Muista kuin erityistuntijoista neljännes uskoi alan liikevaihdon jäävän alle 100 milj. markan. Toinen ääri neljännes sen sijaan uskoi liikevaihdon jo yltävän yli 500 milj. markan. Mediaaniarvio asettui 300 milj. markan vaiheille.

Erityistuntijat olivat hieman koko raatia yhtenäisempiä vuotta 1999 koskevissa arvioissaan. Kukaan heistä ei uskonut alle 20 milj. markan eikä yli 500 milj. markan liikevaihtoon. Mediaaniarvio asettui muun raadin tapaan 300 milj. markan vaiheille.

Vuotta 2010 koskevat arviot olivat varsin yhdenmukaisia sekä erityistuntijoiden että muun paneelin osalta. Kukaan haastatelluista ei uskonut alle 300 miljoonan markan liikevaihtoon. Erityistuntijoista 75 prosenttia uskoi yli 500 milj. markan liikevaihtoon. Muusta raadista tähän uskoi peräti lähes 90 prosenttia. Biotekniikkasovellutusten suuresta taloudellisesta merkityksestä valitsi siis yksimielisyys, vaikka elinkaaren vaihetta koskevat arviot

vuodelle 2010 poikkesivat.

Viidennes asiantuntijoista katsoi, että yhteiskunnan kannattaisi panostaa alan bioteknisiin sovellutuksiin myönteisten ympäristövaikutusten vuoksi. Valtaosa ei ollut kuitenkaan valmis antamaan puunjalostusteollisuuden biotekniikkasovellutuksille yli liikevaihdon ulottuvaa yhteiskunnallista hyötyarvoa.

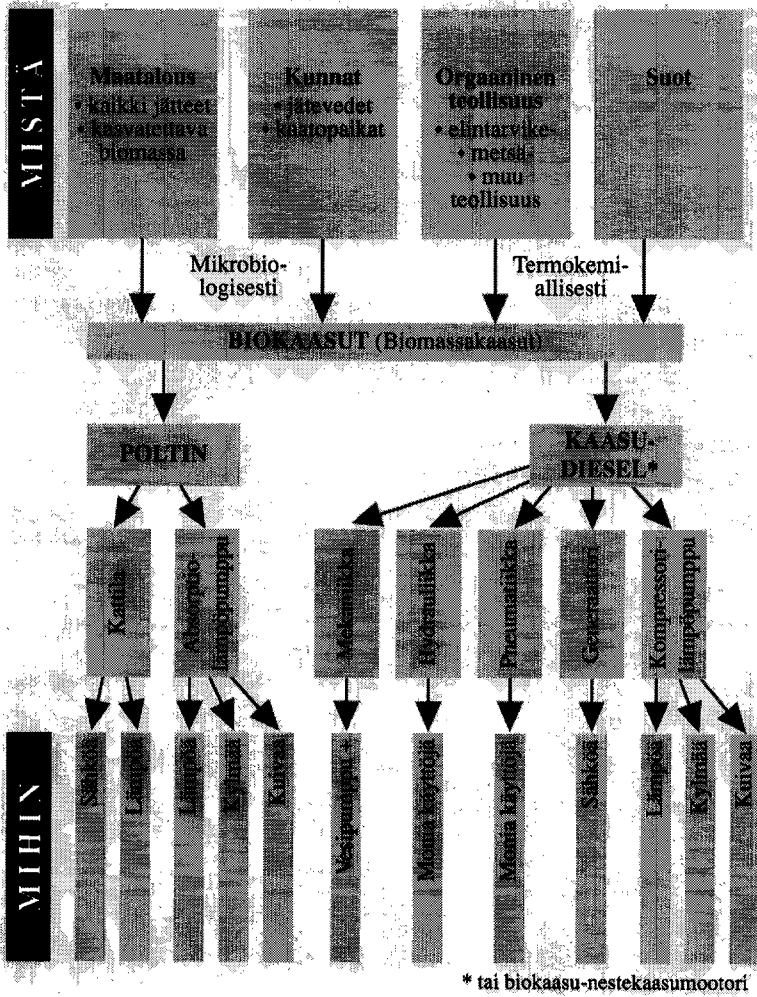
Mikä oli asiantuntijoiden arvio Suomen osuudesta koko maailman puunjalostusteollisuuden biotekniikkasovellutuksista? Tähän kysymykseen ei voida antaa luotettavaa vastausta kyselyn perusteella, koska arvio osuudesta saatiin laajemmin prosessiteollisuussovellutuksia koskevana. Tulosta voidaan käyttää vähimmäisarviona Suomen osuudesta metsäteollisuussovellutuksista, koska lähes kaikki lohkon sovellutukset liittyvät Suomessa puunjalostusteollisuuteen.

Asiantuntijoiden mediaaniarvio oli, että vuonna 1999 Suomen osuus vastaisi suunnilleen maamme ulkomaankauppaosuutta eli olisi 0,5-1 prosenttia. Vuotta 2010 koskevat arviot olivat selvästi optimistisempia. Lähes puolet raadista uskoi yli 1 prosentin osuuteen ja viidennes jopa yli 1,5 prosentin osuuteen. Kun osuus viittasi väljästi prosessiteollisuuteen, voidaan vetää johtopäätös, että puunjalostusteollisuuden uskottiin olevan ensi vuosituhanen alussa Suomen kansainvälisesti vahvin bioteknisen osaamisen alue.

### **3.9. Uuden biotekniikan sovellutukset energian tuotantoon**

Luonnehdinta: Vedyn, etanolin, biokaasun (mm. jätteistä saatava metaani) tms. tuotanto. Öljyn tuotannon tehostaminen.

Energian tuotanto uuden biotekniikan menetelmin perustuu olennaisesti sopivien biokatalyyttien, kuten mikrobien tai entsyymien käyttöön. Tärkeä kehittämiskohde on lisäksi kasvien geneettinen



Kuvio 3.3. Biokaasun synty ja käyttö. Lähde: Kuusinen 1988



muuntelu siten, että ne tuottavat auringon säteilyllä entistä enemmän energiakäyttöön soveltuvaa biomassaa tai ihannetapauksessa vetyä. Monesti biotekniikkaan perustuva energian tuotanto tapahtuu toisen prosessin, kuten sellun tuotannon tai jätteiden käsittelyn sivutuotteena.

### **Biokaasun tuotanto**

Kuviossa 3.3 on havainnollistettu biokaasun tuotanto- ja käyttötapoja. Uuden biotekniikan mahdollisuudet biokaasun tuotannossa liittyvät erityisesti orgaanista ainetta tehokkaasti biokaasuksi ja muiksi vaarattomiksi aineiksi hajottavien mikrobikantojen tuottamiseen.

Biokaasun tuotanto on toistaiseksi Suomessa hyvin vähäistä. Suomessa toimi vielä vuonna 1989 DN-Bioprocessing-niminen yritys, jonka keskeinen toimialue oli jätteiden käsittely ja tässä yhteydessä biokaasun tuotanto. Taloudellisten vaikeuksien vuoksi yritys on kuitenkin lopettanut toimintansa.

Vaihtoehto seuraavalla aukeamalla kuvatun WABIO-prosessin kaltaiselle jätteenkäsittelylle on biokaasun kerääminen suoraan kaatopaikoilta. Kaatopaikan jätepenkereessä mikrobiologinen toiminta tuottaa biokaasua, jossa on yleensä yli 50 prosenttia metaania ja loput pääosin hiilidioksidia. Vanhoilta kaatopaikoilta on mahdollista putkistojen avulla imeä kaasua talteen. Laajamittaista kaatopaikkakaasun keräilyä tehdään useilla kaatopaikoilla Euroopassa ja USA:ssa (Salkinoja-Salonen-Valo 1988). Myös meillä on pääkaupunkiseudulla kokeiltu kaasun keräämistä.

Asiantuntijoista valtaosa uskoi keväällä 1989 siihen, että biokaasutuotannon kokonaisliikevaihto ylittäisi jo vuonna 1999 50 milj. mk. Perusteena oli lähinnä usko WABIO-prosessin käytön yleistymiseen. Vuoden 1990 syksyllä Outokumpu Oy:n edustaja kuitenkin arvioi, että sen hetkisten näkymien valossa tuotetun biokaasun määrä olisi kyseisenä vuonna 50 miljoonan m<sup>3</sup> suuruusluokkaa. Tällaisen tuotoksen arvo olisi parikymmentä miljoonaa markkaa. Vuoden 1989 optimistisissa tunnelmissa asiantuntijoiden enemmistö uskoi, että vuonna 1999 ylletäisiin 50 milj. markan liikevaihtoon pelkästään kuntien jätevesiä ja kaatopaik-

kajätteitä käsittelemällä. Vuonna 2010 tähän liikevaihtoon uskotaan päästävän myös kaasuttamalla maatalouden jätteitä tai kasvatettavaa biomassaa. Myös teollisuusjätteiden kaasutuksen arveltiin ylittävän 50 milj. markan liikevaihdon. Sen sijaan asiantuntijat eivät uskoneet, että edes vuonna 2010 turpeen biotekninen kaasuttaminen tai metaanin kerääminen suosta on taloudellisesti merkittävää. Turpeen kaasutuksen etuna turpeen polttoon verrattuna olisi raskasmetallipäästöjen väheneminen.

Sivulla 125 viitattiin mahdollisuuteen käyttää ruohoa paperin valmistukseen. Kuidun ohella ruohosta saataisiin Ruotsissa tehtyjen kokeiden perusteella biokaasuenergiaa noin kahden öljytonnin polttoa vastaava energia (2 toe) hehtaarilta. Kolmannes paperin valmistukseen kasvatetun ruohon arvosta voisi näin muodostua biokaasusta.

Koko Suomen energiankulutus oli vuonna 1989 noin kolmekymmentä miljoonaa ekvivalenttitonnia (30 Mtoe). Jos 10 prosenttia Suomen peltoalasta käytettäisiin "paperiruohon" tuotantoon, voitaisiin laskelman perusteella tuottaa pari prosenttia kansantalouden nykyisestä energiantarpeesta.

### **Muu energian tuotanto**

Haastateltujen asiantuntijoiden mielestä uutta biotekniikkaa ei sovellettaisi vuoteen 2010 mennessä juuri muuhun energiantuotantoon kuin biokaasun tuottamiseen. Ainoa merkittävä poikkeus olisi energiametsien jalostaminen. Energiametsien liikevaihdon odotettiin ylittävän 50 milj. nykymarkkaa vuonna 2010, mutta ei vielä vuonna 1999. Uuden biotekniikan panos liittyisi mm. paju- ja kehittämiseen ja mikrolisäykseen.

Biomassasta saatavan energian tuotantoa voidaan lisätä yhteytysprosessia tehostamalla. Näihin mahdollisuuksiin viitattiin jo sivulla 95.

Useimmilla trooppisilla kasveilla on erityinen yhteytyskyky, jota tutkijat kuvaavat lyhenteellä C4. Se on 40 prosenttia tehokkaampi kuin meidän ilmastomme kasvien yhteytyskyky, C3. Maissi on esimerkki trooppisesta C4-yhteytyskyvyn omaavasta kasvista.

## JÄTTEIDEN KAASUTUS WABIO-PROSESSILLA

DN-Bioprocessingin kehittämä ns. WABIO-jätteenkäsittely on otettu käyttöön Vaasassa vuoden 1990 alussa. WABIO-prosessi perustuu orgaanisen materiaalin hajottamiseen hapettomassa tilassa mikrobien ja lämpökäsittelyn avulla biokaasuksi ja humukseksi. WABIO-menetelmän teknologiaoikeudet omistaa nykyisin Outokumpu Oy.

Prosessi käsittää kompostointiosan ja biokaasutusosan. Prosessissa jätteen tilavuutta voidaan periaatteessa pienentää noin 75 prosenttia ja painoa noin 60 prosenttia. Orgaanisesta aineksesta on kyetty koeolosuhteissa hajottamaan humukseksi ja biokaasuksi noin 60-70 prosenttia. Biokaasua kyetään lajittelusta orgaanisesta jätteestä tuottamaan noin 100-160 m<sup>3</sup> ja lajittelemattomasta noin 90 m<sup>3</sup> jätetonna kohti. Etuna on lisäksi jätteiden haju-, bakteri- ja likaantumishaittojen väheneminen.

Yhdyskuntajätteen ohella WABIO-prosessin raaka-aineena voidaan käyttää mm. jätevesilietteitä, sakokaivolietteitä, maatalouden ja turkistarhojen lietteitä ja lantoja sekä teollisuuden orgaanisia jätteitä. Myös vähän ligniiniä sisältävät nurmikasvit soveltuvat raaka-aineksi.

Vaasassa käyttöön otetun runsaan 10.000 jätetonnin käsitteilyyn tarkoitetun WABIO-laitoksen käynnistyksessä on ollut vaikeuksia. WABIO-menetelmän tekniikka on tällä hetkellä voimakkaan kehitystyön kohteena ja tekniikaltaan toimivan laitoksen tulon markkinoille on arvioitu kestävän 1-3 vuotta.

Essexin yliopiston tutkijaryhmä on vastikään löytänyt kolme "superruohoa", joilla on C4 yhteytyskyky, vaikka ne ovat kotoisin viileän ilmaston alueelta. Niistä yksi kykenee lisäksi ottamaan tyypeä ilmasta juuristobakteeriensa avulla. Superruohojen koeviljelmiä on perustettu mm. Irlantiin turvesoille. Nähtäväksi jää, voidaanko superruohoista kehittää kilpailukykyinen vaihtoehto energiametsille.

## VEDYN TUOTANNON ENSI VUOSITUHANNEN VISIOITA

### Visio 1: Tuotanto aurinkopaneelilla tai fuusiovoimalla

Vetyä voitaisiin valmistaa suuria määriä aurinkopaneelilla tuotetun sähkön avulla. Esimerkiksi Afrikan länsirannikolle voitaisiin pystyttää valtavia aurinkopaneeleita. Niiden tuottaman sähkön avulla merivesi hajotettaisiin hapeksi ja vedyksi. Vety siirrettäisiin sitten kaasuputkilla kuluttajamaihin.

Toinen mahdollisuus on tuottaa sähköä ja edelleen vetyä vedestä fuusioenergialla eli yhdistämällä vetyä heliumiksi auringon tapaan. Fuusioenergia tarjoaisi käytännössä ehtymättömän energialähteen. Toistaiseksi koelaitoksissa on onnistuttu tuottamaan energiaa hieman enemmän kuin mitä prosessin käynnistämiseen kuluu.

### Visio 2: Yhteytysprosessin katkaiseminen

Kasvien viherhiukkasten sisällä on kalvorakenteita, joita kutsutaan tylakoideiksi. Näissä sijaitsevat kasvien "valokennot" eli pigmenttimolekyylit. Kun valo imeytyy johonkin pigmenttimolekyyliin, molekyyli virittyy, eli sen energia lisääntyy. Viritystila siirtyy sitten molekyylistä sen naapuriin, tästä seuraavaan ja edelleen aina "valohaavin" keskusklorofylliin saakka (Aro 1989).

Jo perinteistä biotekniikkaa käyttäen olisi teknisesti helppo valmistaa etanolia eli etyylialkoholia energiakäyttöön. Korkeiden kustannusten katsottiin kuitenkin vielä vuonna 2010 estävän tällaiset sovellutukset. Kilpailukykyisen tuotannon arveltiin olevan mahdollista vasta vuonna 2030. Esimerkiksi vähäsaasteisen kaupunkiauton polttoaineena etanoli voi osoittautua realistiseksi vaihtoehdoksi.

Maailman mittakaavassa tärkeä uuden biotekniikan sovellutusalue on öljyn tuotannon tehostaminen. Mikrobit kykenevät pilkkomaan hiilivetyjä lyhyemmiksi. Näin on mahdollista mmentää merkittävästi ehtyvien öljylähteiden käyttöikä. Suo-

Virittyneestä keskusklorofyllistä irtoaa elektroni. Menetetyn elektronin tilalle ensimmäisen yhteyttämisyksilön keskusklorofylli pystyy ottamaan uuden vedestä, joka samalla hajoaa hapeksi ja vetyioneiksi.

Yhteyttämisen vaihetta, jossa kasvi tuottaa vetyä, jota se sitten käyttää hiiliyhdisteiden tuottamiseen, kutsutaan valoreaktion ensimmäiseksi vaiheeksi. Valoreaktion toinen vaihe ja ns. pimeäreaktiot tuottavat kasvin sisältämät hiiliyhdisteet. Jos kasvin yhteytysprosessi onnistuttaisiin katkaisemaan geneettisellä muuntelulla valoreaktion ensimmäisessä vaiheessa, kasvi saataisiin ehkä tuottamaan vetyä.

### **Visio 3. Hapetus- ja pelkistysentsyymien käyttö**

Myös hapetus- ja pelkistysentsyymien käytön lähtökohtana olisivat kasvien auringon energiaa sitovat pigmenttimolekyylit. Kyse on kasvien vetyä tuottavan valoreaktion jäljittelystä tehdasmaisesti.

Valoreaktion jäljittely sisältää monia vaikeita teknisiä ongelmia. Eri yhdisteiden hapetukseen ja pelkistykseen osallistuvia erilaisia entsyymejä tunnetaan jo noin 600. Toisaalta on mahdollista, että niiden käyttäytyminen opitaan vähitellen tuntemaan hyvin. Samat entsyymit ovat olennaisia hajotettaessa bioteknisesti ligniiniä sellun valkaisuissa.

messä on tuskin kuitenkaan odotettavissa tämän alan sovellutuksia.

Vedyn tuotanto uutta biotekniikkaa hyödyntäen muodostaa kaukaisemmassa tulevaisuudessa hyvin kiintoisan ja haasteellisen sovellutusalueen. On mahdollista, että vetykaasun poltto tulee ensi vuosisadalla kehittymään sähkön rinnalle pääasialliseksi energian käyttötavaksi. Tällaista kehitystä puoltavat erityisesti ympäristönäkökohdat. Vedyn palamistuote on vettä. Sen polttaminen ei aiheuta hiilidioksidi-, rikki- eikä raskasmetallipäästöjä. Vety neste- tai kaasumuodossa sekä sähkö kykenisivät ehkä sadan vuoden kuluttua tyydyttämään ilman haitallisia päästöjä valtaosan

ihmiskunnan energiatarpeesta.

Vedyn käyttö auton polttoaineena on jo teknisesti ratkaistu. Käytännössä tosin on edelleen monia moottoritekniisiä ja vedyn säilytykseen liittyviä ongelmia. Vaikean ongelman muodostaa esimerkiksi moottorin lämpötilan pitäminen niin alhaisena, etteivät typen oksidien päästöt muodostu suuriksi. Vedyn polttoarvo on myös pienempi kuin esimerkiksi metanolin (Ny Teknik 1989:14).

Vedystä noin 95 prosenttia valmistetaan nykyisin kemiallisesti fossiilisista raaka-aineista (Scheiber 1989). Vetykaasua voidaan valmistaa myös elektrolyysin avulla vedestä sähköenergialla. Vedyn valmistaminen tällä menetelmällä on perusteltua kuitenkin vain, jos sähköä tuotetaan ympäristön kannalta ongelmattomilla tavoilla. Jos vedyn valmistukseen käytetty sähkö tuotetaan fossiilisilla polttoaineilla, ongelmaa vain siirretään vaiheesta toiseen.

Asiantuntijoilta tiedusteltiin, mikä uuteen biotekniikkaan liittyvä keksintö voisi aiheuttaa taloudellisesti merkittävimmän yllätyksen. Sellaiseksi mainittiin yhteytysprosessin katkaiseminen geeniteknisesti siten, että jokin tehokkaaseen yhteytykseen kykenevä kasvilaji tai solukkoviljelmä alkaisi hiiliyhdisteiden asemasta tai ohella tuottaa taloudellisesti kilpailukykyisellä tavalla vetyä. Jo nyt tunnetaan eräitä viherbakteereita, jotka yhteytyksen tuloksena vapauttavat ilmaan vetyä. Toinen mahdollisuus on jäljitellä kasvien yhteytysprosessia hapetus- ja pelkistysentsyymeillä.

Ohessa on esitetty kolme visiota tavoista, joilla ensi vuosituhanen vetytalous hankkisi energiansa. Visio 1 perustuu jo pitkään kehitteillä olleisiin teknologioihin. Visiot 2 ja 3 nojaavat voimakkaasti uuden biotekniikan käyttöön. Visio 2 pohtii kasvien yhteytysprosessin katkaisemisen mahdollisuuksia ja visio 3 hapetus- ja pelkistysentsyymien käyttöä.

Asiantuntijoiden arvon mukaan vision 2 mukaista vedyn tuotantoa saadaan vielä kauan odotella. Yksikään asiantuntijoista ei uskonut, että vetyä kyettäisiin näin tuottamaan Suomessa vielä vuonna 2010 nykyrahassa yli 50 milj. markan arvosta. Sen sijaan 60 prosenttia heistä oli valmis uskomaan, että vuonna 2030 ylle-

tään tähän liikevaihtoon. Suunnilleen samanlainen oli yleinen arvio hapetus- ja pelkistysentsyymien käytöstä vedyn tuotannossa.

### **Arviot energiasovellutusten taloudellisesta merkityksestä**

Kolmannes asiantuntijoista katsoi, ettei vuonna 1999 markkinoilla ole vielä mainittavia uuden biotekniikan energiasovellutuksia (vrt. kuvio 1.4. s. 33). Muut uskoivat vähäisiä kaupallisia sovellutuksia jo olevan. Erityistuntijoiden ja koko raadin näkemykset olivat varsin yhdenmukaisia. Muista kuin alan erityistuntijoista viidennes uskoi, ettei energiasovellutuksissa vielä vuonna 2010 ole päästy mainittaviin kaupallisiin tuloksiin. Toisaalta runsas kolmannes koko raadista ja kolmannes erityistuntijoista uskoi, että vuonna 2010 lohkolla oltaisiin jo nopean kasvun vaiheessa.

Sovellutusten uskottiin tarkasteluperiodilla liittyvän lähes yksinomaan biokaasun tuotantoon. Valtaosa vastanneista uskoi sovellutusten taloudellisen merkityksen jäävän vähäiseksi. Kolme neljännestä koko raadista ja kaksi kolmannesta erityistuntijoista uskoi sovellutusten liikevaihdon vuonna 1999 olevan alle 100 milj. markkaa ja vuonna 2010 alle 300 milj. markkaa. Kaksi erityistuntijaa ja yksi muuhun raatiin kuuluva uskoivat kuitenkin liikevaihdon nousevan vuonna 2010 yli 500 milj. markan.

Uuden biotekniikan energiasovellutuksilla katsottiin yleisesti olevan yhteiskunnallista merkitystä, jolla voidaan perustella julkista panostusta tälle alalle. Sovellutukset tehostavat aurinkoenergian hyväksikäyttöä, hyödyntävät jätteitä ja vähentävät vaarallisia päästöjä luontoon.

Erityistuntijoiden mediaaniarvio tällaisista hyödyistä oli 20-100 milj. markkaa vuonna 1999 ja peräti 300-500 milj. markkaa vuonna 2010. Muun raadin mediaaniarvio oli 20-100 milj. markkaa vuonna 1999 ja 100-300 milj. markkaa vuonna 2010.

Asiantuntijat olivat lähes yhtä mieltä siitä, ettei Suomi energiantuotannon biotekniikkasovellutuksillaan yllä puoleen prosenttiin koko maailman sovellutuksista eli osuus jää alle Suomen viennin ja tuonnin maailmanmarkkinaosuuden. Ainoastaan yksi vastanneista uskoi siihen, että osuus voisi ylittää prosentin jo vuonna 1999.

### 3.10. Jätteiden käsittely ja ympäristömyrkköjen tekeminen vaarattomiksi

Luonnehdinta: Raskasmetallien, rikki- ja typpiyhdisteiden, öljyjen tms. käsittely. Yhdyskuntien ja teollisuuden jätevesien ja kiinteiden jätteiden käsittely.

Mikä on jätettä, riippuu ratkaisevasti tuotantoteknologiasta ja kulutustottumuksista. Yhden tuotantoprosessin jäte voi toisen prosessin kannalta olla arvokas raaka-aine. Materiaali on jäte, jos se on väärässä paikassa, väärään aikaan tai väärässä muodossa (Linko 1989). Sen sijaan, että pohdittaisiin jätteiden käsittelyn tehokkuutta, onkin usein mielekkäämpää tutkia vähän saastuttavan teknologian mahdollisuutta (vrt. s. 13).

Uudella biotekniikalla voidaan tavoitella ideaalista, ilman vaarallisia päästöjä toimivaa vain aurinkoenergiaan perustuvaa teknologiaa. Biotekniikka kohdistuu orgaaniseen, auringon energialla uudistuvaan materiaaliin. Entsyymien käyttö prosessien käynnistäjinä ja ohjaajina ei tyypillisesti edellytä muuta energiaa kuin mitä käsiteltävästä biomassasta vapautuu. Päinvastoin prosessoinnin sivutuotteena voidaan tuottaa energiaa esimerkiksi metaanikaasun tai alkoholin muodossa. Entsyymikäsittelyllä voidaan myös päästä lähelle tilannetta, missä prosessi ei tuota lainkaan jätteitä, vaan pelkästään erilaisia hyödyllisiä tuotteita. Tuotteet ovat ideaalitulanteessa käytön jälkeen palautettavissa tuotantoprosessin materiaaliksi tai kasvien yhteytysprosessin raaka-aineiksi.

Jotta entsyymien käyttö voisi täyttää periaatteessa tarjoamansa lupaukset, tarvitaan kuitenkin paljon määrätietoista työtä ja huomattavasti täsmällisempää ja syvällisempää tietoa biokemiallisten prosessien luonteesta. Entsyymien ongelmina ovat heikko pysyvyys ja kapea parhaan (optimaalisen) toiminnan alue (Grohmann-Himmel 1990).

Entsyymien epästabiilisuudesta ja helposta hajoamisesta esimerkiksi kuumentamalla on kuitenkin myös hyötyä. Entsyymit kelpaavat usein sellaisenaan ravinnoksi eli niiden jäämät tuotteissa eivät muodosta ongelmaa perinteisten kemiallisten kata-



lyyttien tapaan. Elintarvikekäyttöön hyväksytyt entsyymit ovat ns. GRAS-entsyymejä (generally recognized as safe). Entsyymit ovat yleensäkin vain katalyytteja, joiden osuus on häviävän pieni.

### **Teollisuusjätteiden hävittäminen tai muodostumisen vähentäminen biotekniikan keinoin**

Kemiallisesti likaantunut maa on kasvava ongelma teollistuneissa maissa. Näin on erityisesti Keski-Euroopassa, missä maapohja on pitkään ollut tehokkaassa maatalouskäytössä ja alttiina teollisuuden päästöille.

Esimerkiksi Hollannissa on monia alueita, joiden maaperä on kemiallisesti niin saastunutta, että sitä ei voi käyttää ravintokasvien viljelyyn. Hollannissa on saastuneelle maalle rakennettuja asuntoja tullut asuinkelvottomiksi maasta haihtuvien kemikaalien vuoksi.

Kemiallisesti likaantunutta maata syntyy paitsi ilman saasteiden vaikutuksesta, myös erilaisten kemikaalivahinkojen yhteydessä (vahingot kuljetusten yhteydessä, inhimilliset erehdykset, säiliöiden rakenneauriot), vanhojen kaatopaikkojen sisältämien ongelmajätteiden valuessa ympäristöön pinta- tai suotovesien mukana sekä teollisen toiminnan yhteydessä, kuten puunsuojauksessa sahoilla (Salkinoja-Salonen - Valo 1988).

Uutta biotekniikkaa voidaan käyttää saastuneen maapohjan ja teollisuuden jätevesien puhdistuksessa. Geenien siirroilla voidaan tuottaa hallitusti ja entistä nopeammin laboratorio-olosuhteissa haluttuja ominaisuuksia sisältäviä mikrobeja sekä siirtää ominaisuuksia mikrobeilta toisille. Maaperän biologisissa puhdistuksissa on käsitelty esimerkiksi kloorattuja fenolisia aineita, polysyklisiä aromaattisia hiilivetyjä (PAH), öljyjä ja liuottimia. Biologista maaperän saneerausta on tehty Saksassa, Hollannissa, Englannissa, USA:ssa ja Suomessa.

Heinolassa aloitettiin vuonna 1984 ensimmäinen käytännön puhdistuskoe kloorifenolien likaaman maan puhdistamiseksi kompostoimalla. Maaperässä huonosti hajoavan kloorifenolin kompostoinnilla onnistuttiin maaperässä olleen kloorifenolin määrä vähentämään neljässä vuodessa tuhannesosaan alkuperäi-

sestä. Myös öljyjätettä on hajotettu öljypelloilla Naantalın jalostamon lähellä. Pellolle levitettyä öljyistä jätettä ovat hajottaneet hiilivetyjä hapettavat bakteerit ja sienet (Salkinoja-Salonen - Valo 1988). Puhdistussovellutuksiin panostanut Alko on hakenut kehittämilleen tuotteille markkinoita mm. Länsi-Saksasta.

Vaikka biologisin menetelmin voidaan hajottaa pienempinä pitoisuuksina esiintyviä epäpuhtauksia ja myrkkyyjä kuin perinteisillä menetelmillä, käsittelyyn liittyy vakavia ongelmia. Mikrobin käyttäytymisen hallinta on usein hyvin vaikeaa. Käsiteltäessä raskasmetallijäämiä sisältävää maata mikrobit saattavat muuttaa jäämät entistä vaarallisemmiksi orgaanisiksi yhdisteiksi.

Asiantuntijoille esitettiin seuraava väite:

Pieninä pitoisuuksina luontoon levinneiden myrkkujen ja epäpuhtauksia käsittely on tyypillisesti hyvin vaikeaa tai mahdotonta uuden biotekniikan menetelmin.

Erityisasiantuntijat olivat vuoden 1999 osalta lähes yksimielisiä siitä, että väite pitää paikkansa. Niukka enemmistö heistä oli valmis hyväksymään väitteen vielä vuotta 2010 koskevana.

Tämä kannanotto selittää, miksi jotkut erityisasiantuntijat koostivat suljettuun kiertoon perustuvaa tuotantoa ja arvioivat uuden biotekniikan käytön jätteidenkäsittelyyn jopa vähenevän.

Myös kierrättävässä tekniikassa on omat ongelmansa. Ehkä suurin vaikeus on haitallisten aineiden kertyminen kierrätysprosesseihin. Esimerkiksi kierrätettäessä vettä on suuri riski, että mikrobit alkavat lisääntyä siinä. Syöttövedessä pieninä pitoisuuksina olevat raskasmetallit saattavat myös kasaantua suljetussa kierrossa, jos vettä poistuu prosessista vain höyryn muodossa. Tällaisia ongelmia voidaan välttää suodattamalla tai muuten käsittelemällä vesi ennen sen käyttöä (Madsen 1989). Myös kierrätettäessä jätepaperia saattavat myrkkyyjämät lisääntyä.

Asiantuntijoille esitettiin seuraava väite:

Pääperiaate teollisuusjätteiden käsittelyssä on tuotantoprosessien sulkeminen niin, ettei vaarallisia päästöjä luontoon muodostu.

Heiltä pyydettiin edelleen kannanottoa tavasta, jolla tähän tavoitteeseen päästäisiin. Kolme tarjottua mahdollisuutta liittyivät vain vähän uuteen biotekniikkaan:

- Myrkyllisten kemikaalien kierrättäminen tuotannossa siten, ettei päästöjä luontoon synny.
- Myrkyllisiä kemikaaleja tuottavien prosessien korvaaminen runsaammalla energian käytöllä (esim. kuumahierretekniikka).
- Päästöjen tekeminen vaarattomiksi polttamalla (esim. korkeissa lämpötiloissa).

Neljäs vaihtoehto sen sijaan liittyy selvästi uuden biotekniikan soveltamiseen:

Myrkyllisten kemikaalien korvaaminen myrkyttömillä, vähemmän energiaa vaativilla ratkaisuilla, joissa uudella biotekniikalla on merkittävä osuus.

Vuoden 1999 tärkeimmiksi toimintaperiaatteiksi asiantuntijat nimesivät myrkyllisten kemikaalien kierrättämisen ja jätteiden polttamisen. Myrkyllisten kemikaalien korvaamiseen uuden biotekniikan tuotteilla eivät asiantuntijat vielä tässä vaiheessa paria lukuunottamatta uskoet.

Sen sijaan 90 prosenttia vastanneista uskoi myrkyllisten kemikaalien korvaamisen kuuluvan tärkeimpiin keinoihin välttää vaarallisten jätteiden muodostumista vuonna 2010. Yksi asiantuntija tosin esitti, että tällaisia ratkaisuja olisi laajassa mitassa löydettävissä ilman uutta biotekniikkaakin. Toisena keskeisenä keinona vuonna 2010 pidettiin jätteiden käsittelyä polttamalla.

Myrkyllisten kemikaalien kierrättämisen ongelmana ovat myrkyttyvät tuotteissa. Esimerkiksi vaarallisilla kemikaaleilla valmistettua paperia ei voida käyttää elintarvikkeiden pakkauksissa. Paperin myrkyttyvät vielä lisääntyvät moninkertaisesti käytettäessä keräyspaperista valmistettua paperia.

Energiankäytön lisäämistä rajoittaa energian kallistuminen. Taloudellisen suunnittelukeskuksen raportissa Suomi 2005 esitettiin arvio, että polttoaineiden reaalihinnat puolitoistakertaistuvat vuodesta 1990 vuoteen 2005. Energiantuotanto on sitä paitsi

kierrättävän talouden kannalta hyvin ongelmallista. Energiaa tuotettaessa muodostuu hyvin vaikeasti käsiteltäviä päästöjä, kuten ilmaston lämpötilaa kohottavaa hiilidioksidia ja raskasmetalleja.

Jätteitä poltettaessa on suuri riski, että savukaasuihin jää vaarallisia myrkkyyjämiä tai että palamisen tuloksena muodostuu uusia vaarallisia yhdisteitä kuten dioksiineja.

Bioteknisten menetelmien käytön ongelmiin viitattiin jo edellä. Geenitekniikalla kehitetty mikrobi saattaa toimia odottamattomalla tavalla. On myös mahdollista, että luontoon päässeenä geneettisesti muunneltu mikrobi saattaa sellaisenaan tai tarkoittamattoman mutaation tuloksena aiheuttaa ongelmia. Näitä riskejä voidaan vähentää käyttämällä elävien mikrobien asemasta mikrobien tai muiden organismien tuottamia entsyymejä. Riskien hallinta on huomattavasti helpompaa, kun jätteitä ei päästetä luontoon. Laajalle alueelle levinneiden myrkkujen käsittely on erityisen vaikeaa.

Suomessa on hyvät luontaiset edellytykset puhtaille tuotteille, koska maamme suuren pinta-alan ja suhteellisen nuoren teollisen perinteen vuoksi myrkkujen ja muiden haitallisten aineiden jäämät maaperässä ovat vähäisiä Keski-Eurooppaan verrattuna. Asiantuntijoille esitettiin seuraava väite:

Yhdistämällä puhtaat suomalaiset raaka-aineet ja uuden biotekniikan soveltaminen tuotantoon on puhtaista tuotteista onnistuttu tekemään merkittävä menestystekijä Suomen teollisuudelle.

Asiantuntijoista valtaosa oli valmis hyväksymään väitteen pakkauspaperin osalta jo vuotta 1999 koskevana. Elintarvikkeiden osalta ko. vuonna hyväksyviä ja kieltäviä kannanottoja oli yhtä paljon. Kaikki hyväksyivät väitteen sekä pakkauspaperin että elintarvikkeiden osalta vuotta 2010 koskevana.

### **Yhdyskuntajätteiden käsittely**

Jaksossa 3.9. tarkasteltiin yhdyskuntajätteen käyttöä energiantuotannon raaka-aineena. Tarkastelluissa sovellutuksissa ener-

## ELÖPERÄISEN JÄTTEEN KÄSITTELYTAPA:

### KAATOPAIKKA JÄTTEENPOLTTO

vs.

### KOMPOSTOINTI

- Jätteiden ominaisuuksien muutokset
- Humuksen tuottaminen
- Mahdollisuus omatoimisuuteen, valistus
- Muiden jätteiden käyttömahdollisuus paranee
- Kaatopaikkaongelmat pienenevät

## LAJITTELU TAPA:



### KESKITETTY LAJITTELU

vs.

### ALKULAJITTELU

- Riippumattomuus asukkaiden lajitteluhalusta
- Säästö keräily- ja kuljetustekniikassa

- Muiden jätteiden käyttömahdollisuus
- Säästö lajittelutekniikan investoinneissa
- Korkealaatuinen kompostituote

## KOMPOSTOINTITAPA:



### KESKITETTY KOMPOSTOINTI

vs.

### KIINTEISTÖKOHTAINEN KOMPOSTOINTI

- Riippumattomuus asukkaiden kompostointihalukkuudesta, -taidosta, ja -mahdollisuuksista

- Säästö keräily- ja kuljetustekniikassa

**Kuvio 3.4. Talousjätteen kiinteistökohtainen kompostointi jätehuollon osana: hyödyt ja edellytykset.**

giantuotanto oli selvästi toissijainen tavoite pääpainon ollessa jätteiden käsittelyssä.

Asiantuntijat olivat yksimielisiä siitä, että yhdyskuntajätteen raskasmetallijäämiin suhtaudutaan tulevaisuudessa hyvin vakavasti. Niinpä vastanneet hyväksyivät lähes yksimielisesti seuraavan väitteen jo vuodelle 1999:

Raskasmetalleja sisältävän yhdyskuntajätteen käyttäminen lannoitteeksi kielletään.

Periaatepäätös kiellosta onkin jo tehty. Seuraavaa väitettä ei hyväksytty vielä vuoden 1999 osalta, mutta vuotta 2010 koskevana yksimielisesti:

Teollisuuslaitoksilta, joiden jätevesissä on vähäisiäkin määriä raskasmetalleja tai terveyttä vaarantavia kemikaaleja, kielletään oikeus laskea jätevetensä yhdyskuntien viemäriverkkoihin.

Yksi mahdollisuus parantaa jäteliikkeen käyttökelpoisuutta on erottaa "puhdas" WC-jäte ja "likainen" pesuvesi tai teollisuusjäte eri putkistoihin. WC-jäte voitaisiin sellaisenaan levittää pelloille. Tällainen jätevesien erottaminen vähentäisi myös korroosio-ongelmaa. Asiantuntijoille esitettiin seuraava väite:

Suomessa on vähintään kymmenen yli 1.000 hengen yhdyskuntaa, missä WC-jäte erotetaan eri putkistoihin (pesuvedestä, teollisuusjätteestä tms.).

Kukaan ei hyväksynyt väitettä vuotta 1999 koskevana. Selvä enemmistö ei hyväksynyt väitettä myöskään vuoden 2010 osalta.

Toinen mahdollisuus parantaa yhdyskuntajätteen käyttöä erityisesti kiinteiden jätteiden osalta on jätteiden lajittelu. Asiantuntijoille esitettiin seuraava väite:

Kotitaloudet lajittelevat yli 50-prosenttisesti kompostointiin sopivan kiinteän jätteen erilleen muusta kotitalousjätteestä.

Vajaa puolet vastanneista oli valmis hyväksymään väitteen jo vuotta 1999 koskevana. Vuotta 2010 koskevana sen hyväksyivät kaikki.

Millä tavalla kompostointi sitten tapahtuisi? Sivulla 133 tarkasteltiin WABIO-prosessia, joka perustuu suurten jätemäärien kompostointiin. WABIO-prosessin käyttöoikeudet omaavasta Outokumpu Oy:ssä on arvioitu menetelmän olevan taloudellinen yli 30.000 asukkaan taajamissa. Suurimittakaavaisen biologisen jätteenkäsittelyn taloudellisuutta parantavat alhaiset käyttökustannukset. Toisaalta biotekniikan investointikustannukset ovat toistaiseksi suhteellisen korkeat.

pienyhteisökohtaisia kompostointitapoja. Eija Koski (1988) on arvioinut talousjätteen eri kompostointitapojen edellytyksiä jätehuollon osana (kuvio 3.4).

Koski jakaa kompostoinnin onnistumisen edellytykset neljään ryhmään: teknisiin, biologisiin, sosiaalisiin ja rakenteellisiin. Näiden edellytysten toteutumista on Suomessa tutkittu kompostointikokeilulla kerrostaloissa. Teknisiä edellytyksiä kompostoinnin onnistumiselle kerrostaloissa ovat oikea varustus eri toimintatapisteissa ja keräilyn ja kuljetuksen järjestäminen. Sosiaalisia edellytyksiä ovat asukkaiden tiedot ja taidot sekä suhtautuminen kompostointiin ja osallistuminen kompostien hoitoon.

Uusi biotekniikka tulee kuvaan kompostoinnin biologisissa edellytyksissä, kuten hajuttomuudessa ja hajoamisen nopeudessa ja täydellisyydessä. Kokeilussa 13 prosenttia asukkaista arvioi hajuhaittojen lisääntyneen häiritsevästi ja 24 prosenttia hieman. Äsenteiden keskeisyydestä kertoo, että kokeiluun osallistuvat kokeivat hajuhaittoja erittäin merkitsevästi vähemmän kuin talojen muut asukkaat. Pienien kompostien ongelmana oli hajoamisen kannalta riittävän lämpötilan ylläpito talvella. Talvella vähiten käytetyt kompostit olivat ajoittain roudassa (Koski 1988).

Asiantuntijoilta tiedusteltiin, kuinka suuren osan yhdyskuntien orgaanisesta jätteestä he arvioivat tulevan käsiteltäväksi suurilla yli 10 000 hengen jätteet käsittelevillä kompostoreilla ja minkä osan tätä pienemmillä kompostointilaitteilla.

Vielä vuoden 1999 osalta asiantuntijoiden enemmistö arvioi, että suurissa kompostoreissa käsiteltävän orgaanisen jätteen osuus jää alle 5 prosenttiin. Myös pienissä kompostoreissa käsiteltäisiin alle 5 prosenttia jätteestä. Vuotta 2010 koskeva mediaaniarvio oli, että suurissa yksiköissä käsiteltäisiin 20-50 prosenttia yhdyskuntien orgaanisesta jätteestä ja että pienten kompostoreiden osuus olisi 5-20 prosenttia jätteestä.

### **Arviot jätteiden käsittelysovellutusten taloudellisesta merkityksestä**

Asiantuntijoiden kannanottoihin vaikuttivat merkittävästi heidän käsityksensä kierrättävän, vähän jätteitä tuottavan teknologian

mahdollisuuksista. Jos jätteitä ei muodostu, niitä ei myöskään tarvitse käsitellä. Niinpä kahden erityisasiantuntijan mukaan uuden biotekniikan soveltaminen jätteiden käsittelyyn on jo vuonna 1999 markkinoiden kasvun pysähtymisen vaiheessa. Jopa lähes puolet erityistuntijoista oli sitä mieltä, että uuden biotekniikan käyttö jätteiden käsittelyyn on vähenemisen vaiheessa vuonna 2010.

Muu raati näki erityistuntijoita selvästi enemmän jätteiden käsittelyn erillisongelmana. Heidän mediaaniarvionsa oli, että jätteiden käsittelyn uuteen biotekniikkaan perustuvissa sovellutuksissa ollaan vuonna 1999 markkinoiden kasvun alkuvaiheessa (vrt kuvio 1.4. s. 33). Vuonna 2010 uskoi muista kuin alan erityistuntijoista 70 prosenttia oltavan markkinoiden nopean kasvun vaiheessa.

Näkemysero selittää myös erityistuntijoiden ja muun raadin arvioita jätteiden käsittelyn liikevaihdosta. Muun raadin mediaaniarvio liikevaihdosta oli vuoden 1999 osalta alhaisempi kuin erityistuntijoiden. Sen sijaan heidän arvionsa oli korkeampi vuoden 2010 osalta. Erityistuntijoiden mediaaniarvio liikevaihdosta oli 100-300 milj. markkaa sekä vuonna 1999 että 2010. Sen sijaan muun raadin arviot olivat 20-100 milj. markkaa vuonna 1999 ja 300 milj. markan vaiheilla vuonna 2010.

Asiantuntijat olivat melko yksimielisiä jätteiden käsittelyn biotekniikkasovellutusten yhteiskunnallisesta merkityksestä, vaikka tältäkin osin arvioihin vaikutti edellä esitetty linjaerimielisyys. Sekä erityistuntijoiden että koko raadin mediaaniarvio julkisesta panostuksesta, joka kannattaisi sijoittaa uuteen biotekniikkaan perustuvaan jätteiden käsittelyyn, oli vuoden 1999 osalta 100-300 milj. markkaa ja vuoden 2010 osalta 300-500 milj. markkaa.

Mielipiteet hajautuivat siten, että erityistuntijoista kolmannes piti perusteltuna vain 20-100 milj. markan julkista panostusta vuonna 2010, kun sen sijaan puolet muuhun raatiin kuuluvista arvioi yhteiskunnalliseksi hyödyksi jopa yli 500 milj. markkaa.

Miten maamme uskottiin jätteiden käsittelysovellutuksillaan selviävän kansainvälisessä vertailussa? Kaksi kolmannesta vastanneista oli sitä mieltä, että Suomi ylittää kumpanakin viitevuote-



na suunnilleen ulkomaankauppansa kokoa vastaavaan osuuteen eli 0,5-1,0 prosenttiin maailmanmarkkinoista.

### **3.11. Biotekniikan laitteet**

Luonnehdinta: Biotekniikan kehittämisen ja soveltamisen vaatimien laitteiden, tietokoneiden ja tuotantolaitosten tms. valmistaminen, biotietokone

Biotekniikan laitteiden valmistus edellyttää bioteknisen osaamisen ohella mm. metallituotteiden valmistuksen, elektroniikan ja tietotekniikan osaamista. Instrumenttien valmistus edellyttää paljon samoja bioteknisiä taitoja kuin diagnostisten valmisteiden tekeminen. Biotekniikan instrumenttien valmistajat ovat yleensä kehittäneet myös diagnostiikan sovellutuksia.

#### **Onko bioteknisten laitteiden valmistuksen nousukausi menossa ohi?**

Uusi biotekniikka oli 1980-luvulla suurten lupauksen ala. Muun ohella toiveikkaus ilmeni investoinneissa eli bioteknisten tutkimuslaitteiden ja instrumenttien hankinnan nopeana kasvuna.

Kuten luvussa 1 todettiin, uusi biotekniikka ei ole taloudellisessa mielessä kuitenkaan toistaiseksi lunastanut siihen kohdistettuja odotuksia. Syynä ovat olleet sekä tekniset ongelmat että tiukasta tuotevalvonnasta aiheutuneet vaikeudet. Tällaisissa olosuhteissa voisi odottaa, että investoinnit uuteen biotekniikkaan ainakin väliaikaisesti vähenevät. Asiantuntijoille esitettiin seuraava väite:

Uuden biotekniikan tutkimusyksikköjen ja tuotantolaitosten rakennuksiin on jo investoitu tai tullaan lähitulevaisuudessa investoimaan niin paljon, että ko. investoinnit väliaikaisesti vähenevät 1990-luvun lopulla.

Asiantuntijoiden kannat jakautuivat tasan: puolet hyväksyi väitteen ja puolet ei. Uskoa investointien jatkumiseen Suomessa perusteltiin mm. aukeavilla Neuvostoliiton markkinoilla ja suomalaisten korkeatasoisella osaamisella tietyillä sovellutusalueilla, kuten diagnostiikassa, metsäteollisuudessa ja instrumenttien valmistuksessa. Myös turvallisuusvaateiden tiukkenemisen uskottiin johtavan laitteistojen uusimiseen.

### **Suomen mahdollisuudet bioteknisten laitteiden tuottajana**

Viime vuosikymmenen aikana Suomessa toimi muutama yritys, jotka edustivat maailman huipputasoa välineistön valmistamisessa uuden biotekniikan tarpeisiin. Avainkysymys sektorin kehityksen kannalta on, kuinka nämä yritykset selviävät kovenevassa kansainvälisessä kilpailussa.

Asiantuntijat olivat lähes yhtä mieltä siitä, että Suomi ei kykene tulevaisuudessakaan – kuten ei kykene nytkään – toimimaan sarjavalmisteisten pienten fermentoreiden eli reaktioastioiden toimittajana. Perinteisten fermentoreiden valmistuksen liikevaihdon ei uskottu vielä vuonna 2010:kään ylittävän nykyrahassa 50 milj. markan määrää.

Pitkinä sarjoina tuotettujen standardifermentoreiden asemasta Suomella uskottiin olevan mahdollisuuksia "räätälintyönä" tehtävien reaktioastioiden toimittajana. Tällaisia ovat metsäteollisuuden biotekniikkasovellutusten edellyttämät reaktioastiat. Niiden valmistuksen liikevaihdon uskottiin lähes yksimielisesti ylittävän 50 milj. markkaa vuonna 2010, mutta ei vielä vuonna 1999.

Asiantuntijoiden niukka enemmistö uskoi myös siihen, että suomalaiset kykenisivät menestymään perinteistä fermentointia korvaavan välineistön tuottajina. Suomen korkeatasoinen entsyymien valmistuksen osaaminen luo ehkä edellytyksiä entsyymien käytön vaatiman välineistön tuottamiseen. Kukaan asiantuntijoista ei uskonut, että vielä vuonna 1999 ylletäisiin immobilisointireaktoreiden (vrt s. 48) valmistajina 50 milj. markan liikevaihtoon. Puolet kuitenkin uskoi, että tämä raja olisi ylitetty vuonna 2010. Arvio oli samantapainen soluviljelmien edellyttämän välineistön osalta.

Pitkällä aikavälillä laitteistojaan uusiva ja kehittävä Neuvosto-  
laitto saattaa tarjota suuret reaktioastioiden markkinat.

Suomi on ollut maailman johtavia instrumenttivalmistajia uutta  
biotekniikkaa soveltavalle diagnostiikalle. Wallac Oy, Instru-  
mentarium Oy ja Labsystems Oy ovat kuuluneet alan kärkiyrityk-  
sen joukkoon. Diagnostisia kittejä ja näytteiden käsittelyssä tar-  
vittavia instrumentteja valmistavan Wallacin tuotannosta suun-  
tautui 1980-luvun lopulla vain muutama prosentti kotimaahan.

Paljolti Wallaciin keskittynyt suomalainen instrumenttien val-  
mistuksen osaaminen on yllättäen joutunut uhanalaiseksi. Wallac  
Oy on siirtynyt Pharmacia yhtiön omistukseen, joka pyrki vuoden  
1990 aikana siirtämään Wallacin tuotekehittelyn Ruotsiin. Vai-  
kean kriisin jälkeen tuotekehittely jäi kuitenkin pääosin Suomeen.  
Kriisi haattasi pahoin Wallacin toimintaa ja sen yhteyksiä suoma-  
laiseen tiedeyhteisöön. Haastattelujen tekoheikkällä Wallacin vai-  
keuksista ei tiedetty, mikä on otettava huomioon näkemyksiä ar-  
vioitaessa.

Asiantuntijat olivat lähes yksimielisiä siitä, että sekä vuonna  
1999 että 2010 Suomi kuuluu johtaviin maihin instrumenttien  
valmistamisessa uutta biotekniikkaa soveltavalle diagnostiikalle.

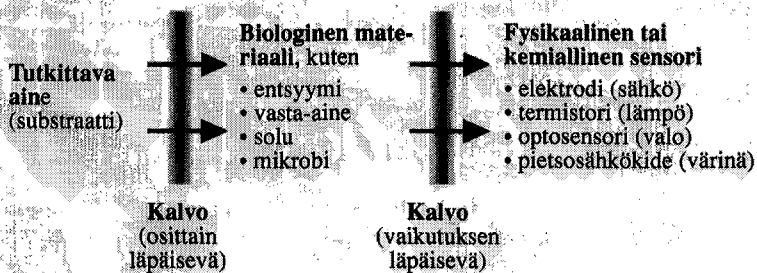
Sen sijaan väitteeseen:

Geenirakenteen määrittämiseen liittyvien instru-  
menttien valmistuksen vuotuinen liikevaihto on  
Suomessa yli 50 milj. markkaa vuoden 1989 ra-  
hassa

asiantuntijat eivät yhtyneet kummankaan tarkasteluvuoden osalta.  
Toisin sanoen ihmisten perimää kartoittavat HUGO- ja GENO-  
ME-projektit (s. 69) eivät juuri lihottaisi suomalaisten instrumen-  
tinvalmistajien tilauskirjoja.

### **Biosensorit (-anturit), biotietokoneet ja asiantuntijajärjestelmät**

Hyvin haastavan tulevaisuuden tutkimusalueen muodostaa bio-  
kemian, elektroniikan ja tietojenkäsittelyn yhdistäminen. Yhdis-  
telemällä näiden alojen osaamista on mahdollista saavuttaa tun-



**Kuvio 3.5. Kaavakuvi biologisen sensorin rakenteesta (muunnellen Mela ym. 1988).**

tuvia edistysaskeleita.

Yksi sovellutusalue, jossa on yhdistetty eri tutkimusalojen osaamista, on biosensoreiden kehittäminen. Biosensorilla (tai -anturilla) tarkoitetaan laitetta, missä alustaan kiinnittynyt (immobilisoitu) biologinen materiaali on saatettu kosketukseen sähkö- tai esimerkiksi valosignaalin muodostajan kanssa (Mela ym. 1988).

Yksi esimerkki biosensorista on hajuaisti. Nenän kalvoihin kiinnittynyt biologinen materiaali tunnistaa erilaisia aineita ja tieto välittyy sähköisenä hermoimpulsuna aivoille.

Biosensorissa mitattava aine saatetaan osittain läpäisevän kalvon välityksellä yhteyteen biomateriaalin kanssa. Vuorovaikutus voi olla entsyymien aiheuttama katalyyysi, vasta-ainereaktio tai mikrobin aineenvaihdunta. Tulos ilmenee sähkökemiallisesti, valona, lämpönä tai värähtelyn muutoksena. Fysikaalis-kemiallinen sensori välittää havaitsemansa muutoksen edelleen sähkö- tai valosignaalin, jota voidaan vahvistaa.

Tulevaisuuden diagnostiikassa biosensorit muodostavat vaihtoehdon "laastarilappudiagnostiikalle", jota kuvattiin jaksossa 3.1.1. Biosensoreista on apua erityisesti niissä tapauksissa, joissa vaaditaan tutkittavan aineen jatkuvaa säätöä tai joissa näytteen pitoisuudet ovat hyvin pieniä.

Biosensorien mahdollisuuksista kertovat luonnosta tavattavat biologiset sensorit. Esimerkkinä mainittakoon silkkiperhoskoi-

raan hajusensori. Parhailta ihmisen valmistamilla kaasudetekto-reilla voidaan havaita pitoisuuksia, jotka ovat luokkaa  $10^8$  molekyyliä/cm<sup>3</sup>. Perhosen tuntosarvessa havaintokynnyksenä on muutamia molekyylejä kuutiometriä kohti (Mela ym. 1988).

Toistaiseksi kaupan olevat biosensorit ovat palvelleet ennen muuta prosessien jatkuvaa säätöä. Valtaosa käytössä olevista biosensoreista on rakennettu glukoosin tai hapen mittausta silmällä pitäen. Glukoosia käytetään monissa fermentoinneissa mikrobien ravintona. Hapen pitoisuus on myös keskeinen tekijä bioteknisissä prosesseissa. Lupaava sovellutusalue on kuitenkin ympäristössä hyvin pieninä pitoisuuksina esiintyvien kemikaalien mittaaminen. Elintarviketeollisuudessa lihan ja kalan tuoreusanalyysiin on käytetty biosensoreita.

Biosensoreiden kehittyessä ollaan vielä alkuvaiheessa. Esimerkiksi markkinoilla ei vielä keväällä 1990 ollut sellaista biosensoria, missä reagoivana biologisena materiaalina olisi monok-

## RUOTSALAINEN SENSORIUUTUUS

Alkukeväällä 1990 julkaistiin uutinen Ruotsissa kehitetystä biosensorista (Ny Teknik 1990:3). Upsalassa toimiva Pharmacia-yhtiö ilmoitti 500 milj. kruunun tutkimusprojektinsa tuloksena kehittäneensä biosensorin, joka kykenee yhdestä virtaavan aineen näytteestä selvittämään periaatteessa minkä tahansa aineen pitoisuuden. Tietoa voidaan saada samalla näytteellä jopa 100 000 aineesta.

Ruotsalaisten kehittäjänä biosensori perustuu erilaisiin vasta-aineisiin, joista samaa ainetta paljastavat on kiinnitetty pienen kultalevyn pinnalle. Vasta-ainereaktion aiheuttama signaali "poimitaan" valaisemalla kultalevyä polaroidulla valolla lasiprisman läpi. Valon taantumiskulman muutos kertoo siitä, että levyyn kiinnitetty vasta-aineet ovat yhdyttäneet "vastinparejaan" (ts. antigeenit ovat yhtyneet antibodeihin).

looninen vasta-aine. Kukaan asiantuntijoista ei uskonut, että biosensoreiden (tai -antureiden) valmistuksen liikevaihto ylittäisi Suomessa vuonna 1999 50 milj. markkaa. Sen sijaan kaikki uskoivat, että tämä liikevaihto on saavutettu vuoteen 2010 mennessä.

Biosensoreiden kehittäminen on askel kohti biotietokonetta, missä sähköiset signaalit kulkisivat biologisten mekanismien välittämällä. Asiantuntijoilta tiedusteltiin, milloin he uskoivat kaupallisesti kilpailukykyisen biotietokoneen olevan Suomen markkinoilla. He olivat lähes yhtä mieltä, ettei tällaista laitetta ole markkinoilla vielä vuoteen 2010 mennessä. Sen sijaan lähes kaikki uskoivat, että sellainen olisi muualta tuotuna markkinoilla vuonna 2030. Niukka enemmistö uskoi, ettei sellaisia vielä tällöinkään valmistettaisi Suomessa.

Biotietokoneen viipyminen ei merkitse, että ATK-aidot olisivat tarpeettomia bioteknikoille. Entsyymimolekyylit sisältävät kymmeniä tai jopa satoja tuhansia atomeja, joiden avaruudellinen sijoittuminen toisiinsa nähden saattaa lisäksi vaikuttaa ratkaisevasti entsyymin vaikutustapaan. Esimerkiksi Suomessa paljon tutkitun alfa-amylaasientsyymin molekyylipaino on noin 65 000. Tällaisten ja muiden monimutkaisten biokemiallisten rakenteiden tarkastelussa automaattinen tietojenkäsittely on välttämätöntä. Asiantuntijoille esitettiin seuraava väite:

Suomessa tuotetaan vähintään 50 milj. markan liikevaihdolla uuden biotekniikan käyttöä avustavia asiantuntijajärjestelmiä tai tietokoneohjelmia.

Lähes yksimielisesti asiantuntijat olivat sitä mieltä, että väite ei ole totta vielä vuonna 1999. Sen sijaan vuonna 2010 sen katsottiin yksimielisesti pitävän paikkansa.

### **Biotekniikan laitesovellutusten taloudellinen merkitys**

Biotekniikan laitesovellutukset poikkeavat toisistaan elinkaaren vaiheeltaan. Tuotantorakennukset ja perinteiset reaktioastiat olivat yleisen käsityksen mukaan kasvun pysähtymisen vaiheessa jo vuonna 1999. Sen sijaan bioteknisten instrumenttien oletettiin

yleisesti tällöin olevan vasta aivan nopean kasvun alkuvaiheessa.

Sekä erityistuntijoiden että koko raadin mediaaniarvio koko lohkon elinkaaren vaiheesta oli markkinoiden nopean kasvun alku vuonna 1999 ja kasvuvaiheen loppupuoli vuonna 2010 (ks. kuvio 1.4. s. 33). Muutamat olivat kuitenkin sitä mieltä, että markkinoiden kasvu olisi pysähtynyt jo vuonna 1999. Muista kuin erityistuntijoista jopa yli kolmannes uskoi lohkon olevan kasvun pysähtymisen tai alenevan kehityksen vaiheessa vuonna 2010.

Käsitykset laitesovellutusten liikevaihdosta vaihtelivat suuresti. Kolmannes erityistuntijoista arvioi suomalaisen tuotannon liikevaihdon vuonna 1999 olevan vain 20-100 milj. markkaa, kun taas vajaa neljäsnes arvioi liikevaihdon olevan yli 500 milj. markkaa. Mediaaniarvio oli 100-300 milj. markkaa. Muut asiantuntijat olivat erityistuntijoita hieman toiveikkaampia. Heidän vuotta 1999 koskeva mediaaniarvionsa oli 300-500 milj. markkaa.

Erityistuntijoiden käsitykset hajaantuivat myös vuotta 2010 koskien. Kolmannes uskoi liikevaihdon olevan yli 500 milj. markkaa kolmanneksen uskoessa sen jäävän alle 300 milj. markan. Muu raati oli edelleen erityistuntijoita optimistisempi. Heistä peräti 2/3 uskoi yli 500 milj. markan liikevaihtoon.

Noin 80 prosenttia asiantuntijoista ei nähnyt laitteiden valmistuksella olevan julkista tukirahoitusta vaativaa yhteiskunnallista merkitystä. Jotkut kuitenkin katsoivat, että uusien instrumenttien avulla tehtävät paremmat diagnoosit antaisivat toiminnalle tällaista yhteiskunnallista merkitystä.

Kuten taloudellisen merkityksen, siten myös suomalaisten kansainvälisen menestyksen osalta asiantuntijoiden käsitykset jatkautuivat. Puolet vastanneista uskoi, ettei Suomi yllä vuonna 1999 eikä 2010 sovellutuksillaan ulkomaankauppansa osuuteen maailmanmarkkinoista eli osuus jää alle 0,5 prosentin. Noin kolmannes puolestaan uskoi, että Suomi päinvastoin yltää alalla kokoonsa suurempaan osuuteen eli 1,0-1,5 prosenttiin maailmanmarkkinoista.

### **Delfoi-menetelmä ja sen käyttö uuden biotekniikan tulevan kehityksen arvioinnissa**

Delfoi-menetelmä on tapa, jolla asiantuntemusta voidaan tehokkaasti käyttää tulevaisuutta koskevien arvioiden teossa (esim. Coates 1978, Mäenpää 1977). Peruslähtökohdiltaan delfoi-tutkimus muistuttaa komiteatyöskentelyä. Kuten komiteatyöskentelyssä, delfoi-tutkimuksessa pyritään hahmottelemaan asiantuntijoiden yhteinen kannanotto. Komiteoiden sisällä esiintyneet erimielisyydet pyrkivät kuitenkin helposti peittymään. Monissa tapauksissa arvovaltainen tai äänekäs komitean jäsen saa toiset luopumaan perustelluistakin kannanotoistaan. Toisaalta mielipiteen muuttamiseen komiteaympäristössä liittyy usein kasvonsa menettämisen pelko. Anonyymeja näkemyksiä sisältävässä delfoi-tutkimuksessa tämä riski on pienempi.

Delfoi-tekniikkaa on sovellettu monin tavoin. Yhteistä sovelutuksille on ollut, että

- tutkimukseen osallistuvat muotoilevan kantansa erikseen,
- osallistujille välitetään tiedot toisten osallistujien näkemyksistä ja heidän niiden tueksi esittämistään perusteluista ja että
- osallistujille annetaan mahdollisuus muuttaa mielipiteitään.



Delfoi-tutkimuksiin osallistuneiden määrät ovat vaihdelleet alle kymmenestä useisiin tuhansiin henkilöihin. Tavallisin raadin koko on ollut 20:n ja 50:n välillä. Yleensä tutkimus on suoritettu postikyselynä, mutta myös haastatteluja on käytetty.

Delfoi-tutkimus biotekniikan tulevaisuuden näkymistä tehtiin menetelmällä, jolla aiemmin on arvioitu uuden viestintätekniiikan leviämistä (Kuusi 1987).

Asiantuntijoita kuultiin kolmessa vaiheessa. Aluksi kutakin haastateltiin 3-5 tuntia. Haastattelut tehtiin varsin väljillä kysymyksenasetteluilla. Yksitoista biotekniikan pääsovellutusalueetta oli määritelty etukäteen. Asiantuntijoilta tiedusteltiin ensin kuhunkin alueeseen liittyviä tuotteita ja niiden elinkaaren vaiheita vuosina 1999 ja 2010. Heitä pyydettiin myös perustelemaan väitteitään, ja heille esitettiin toisten esittämiä perusteita. Lopuksi asiantuntijoita pyydettiin arvioimaan koko sovellutusalueen elinkaaren vaihetta sekä taloudellista ja muuta yhteiskunnallista merkitystä.

Haastattelut teki muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta Osmo Kuusi yhdessä joko MMT Mervi Sibakovin tai TkT Liisa Viikarin kanssa.

Toisessa vaiheessa haastatelluille toimitettiin varsin laaja yhteenvetoraportti, jossa esitetyt kannanotot oli kirjattu täsmällisiksi väitteiksi. Kullekin lohkolle nimettiin 7-9 erityisasiantuntijaa. Heiltä pyydettiin väitteisiin yleensä tosi-epätosi -tyyppisiä reaktioita. Erityistuntijoiden lomakkeet oli esitötetty haastatteluaineiston pohjalta. Myös muulle raadille tarjottiin mahdollisuus kannanottoihin. Kaikkia pyydettiin lisäksi esitetyn aineiston pohjalta tarkistamaan elinkaaren vaihetta ja taloudellista merkitystä koskevat kannanotonsa.

Kaikkiaan täsmällisiä väitteitä oli kolmisensataa. Niihin vastasi kaikkien erityisasiantuntijoiden ohella yleensä muutama muuhun raadiin kuuluva. Näin kysymyksiin vastasi tyypillisesti kolmannes raadista eli noin kymmenen henkeä. Luvussa 3 esitetyissä tuloksissa kaikki vastaukset on käsitelty samanarvoisina. Pienen vastaajajoukon vuoksi tuloksia ei kuitenkaan ole yleensä esitetty prosenttijakaumina. Haastattelujen yhteydessä annetut tiedot on esitetty tutkimusraportissa ilman lähdeviitteitä.

Kolmannessa vaiheessa asiantuntijat kutsuttiin yhteiseen neuvottelutilaisuuteen, missä alustusten pohjalta käsiteltiin kiistanalaisia kysymyksiä. Tutkimusraportin viimeistelyvaiheessa siihen eniten käsityksillään vaikuttaneet saivat lisäksi raporttiluonnoksen kommentoitavakseen.

Koska henkilökohtainen tapaaminen on ristiriidassa delfoi-tekniikalle olennaisen kannanottojen nimettömyyden kanssa, sen ei enää annettu vaikuttaa tutkimustuloksiin. Kolmas vaihe tarjosi kuitenkin tutkimustulosten arvioinnin ja raportin kirjoittamisen kannalta tärkeää aineistoa.

Tutkimukseen osallistuneet asiantuntijat olivat haastattelujärjestyksessä seuraavat:

	Erityisasiantuntemuksen lohkot
Tekn. lis. Paula NYBERGH	Diagnostiikka; Lääkkeet; Geeniterapia; Elintarviketeollisuus; Kemikaalien valmistus; Metsäteollisuus; Biotekniikan tarvikkeet
Dos. Hans SÖDERLUND	Diagnostiikka; Lääkkeet; Geeniterapia; Biotekniikan tarvikkeet
Prof. Tor-Magnus ENARI	Elintarviketeollisuus; Kemikaalien valmistus; Metsäteollisuus; Bioenergia; Jätteiden käsittely; Biotekniikan tarvikkeet
Prof. Peter TIGERSTEDT	Kasvin- ja eläinjalostus
Prof. Eeva TAPIO	Kasvinjalostus
Prof. Pekka KOIVISTOINEN	Kasvin- ja eläinjalostus; Elintarviketeollisuus; Biotekniikan tarvikkeet
Prof. Mirja SALKINOJA-SALONEN	Metsäteollisuus; Bioenergia; Jätteiden käsittely

Dos. Pirkko VIHKO	Diagnostiikka; Lääkkeet; Geeniterapia
Prof. Juha KOIVURINTA	Eläinjalostus; Elintarviketeollisuus; Kemikaalien valmistus; Puunjalostusteollisuus; Biotekniikan tarvikkeet
TkT Marja VAHERI	Puunjalostusteollisuus; Bioenergia; Jätteiden käsittely
Prof. Jyrki KETTUNEN	Kasvinjalostus; Puunjalostusteollisuus; Bioenergia; Jätteiden käsittely; Biotekniikan tarvikkeet
Toim.joht. Pekka MATTILA	Diagnostiikka; Lääkkeet; Geeniterapia; Biotekniikan tarvikkeet
Johtaja Bertil ROSLIN	Elintarviketeollisuus; Kemikaalien valmistus; Metsäteollisuus
Prof. Erkki KIVI	Kasvinjalostus
Prof. Leevi KÄÄRIÄINEN	Diagnostiikka; Lääkkeet; Geeniterapia; Kasvinjalostus
Prof. Allan JOHANSSON	Bioenergia; Jätteidenkäsittely
Prof. Pirjo MÄKELÄ	Diagnostiikka; Lääkkeet; Geeniterapia
Tutk.joht. Erkki SOINI	Diagnostiikka; Lääkkeet; Geeniterapia; Kemikaalien valmistus; Biotekniikan tarvikkeet
Johtaja Aulis TINNILÄ	Kasvinjalostus; Kemikaalien valmistus; Bioenergian tuotanto; Jätteiden käsittely; Biotekniikan tarvikkeet

Prof. Juhani JÄNNE	Diagnostiikka; Lääkkeet; Geeniterapia; Eläinjalostus
Prof. Pekka MÄENPÄÄ	Diagnostiikka; Lääkkeet; Geeniterapia; Eläinjalostus
Prof. Asko MÄKI-TANILA	Eläinjalostus
Erik.tutkija Reima KANGASNIEMI	Eläinjalostus
Ryhmäpääll. Johan SELIN	/Kemikaalien valmistus; Metsäteollisuus; Bioenergian tuotanto; Jätteiden käsittely
Toim.joht. Matti SALIMÄKI	Bioenergia; Jätteiden käsittely
Tutk.joht. Kari SALMINEN	Elintarviketeollisuus
Ass. Risto WILLAMO	Jätteiden käsittely
Prof. Pekka LINKO	Elintarviketeollisuus; Kemikaalien valmistus; Bioenergia; Jätteiden käsittely

Asiantuntijoista yhdeksän oli yliopistotutkijoita. Seitsemän työskenteli julkisissa tutkimus- tai kehittämiskeskuksissa (VTT, TEKES, Maatalouden tutkimuskeskus, Kansanterveyslaitos, Oulun yliopiston Biocenter). Yritysten tutkimuksesta vastaavia tai yrityksissä tutkijoina toimineita oli kaksitoista.

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30  
31  
32  
33  
34  
35  
36  
37  
38  
39  
40  
41  
42  
43  
44  
45  
46  
47  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60  
61  
62  
63  
64  
65  
66  
67  
68  
69  
70  
71  
72  
73  
74  
75  
76  
77  
78  
79  
80  
81  
82  
83  
84  
85  
86  
87  
88  
89  
90  
91  
92  
93  
94  
95  
96  
97  
98  
99  
100

## Uuden biotekniikan sanastoa

**alkiokasvatus** eläimen hedelmöittyneen munasolun saattaminen jakautumaan identtisiksi soluiksi ja näiden kasvattaminen perimältään identtisiksi eläimiksi

**aloituskodoni** koodittaa syntyvän valkuaisaineen ensimmäistä aminohappoa, joka on aina metioniini; pilkkoutuu eläinsoluissa useimmiten pois

**aluke** (primer) rakenne (DNA- tai RNA-jakso), joka toimii nukleiinihapposynteesissä aloitusjaksona

**antibody** --> vasta-aine

**antigeeni** molekyyli, joka selkärankaiselimistössä aiheuttaa immuunivasteen eli vasta-aineen tuottamisen

**bakteriofagi** bakteerissa toimiva virus

**biosensori** biosensorissa mitattava aine saatetaan osittain läpäisevän kalvon välityksellä yhteyteen biomateriaalin kanssa. Vuorovaikutus voi olla entsyymien aiheuttama katalyyysi, vastaainereaktio tai mikrobin aineenvaihdunta. Tulos ilmenee sähkökemiallisesti, valona, lämpönä tai värähtelyn muutoksena

**biotekniikka** on luonnontieteiden ja insinööritieteiden yhdistämistä tuotteiden ja palvelujen aikaansaamiseksi organismien, solujen, niiden osien ja niissä esiintyvien molekyylien avulla

**C-arvoparadoksi** tarkoittaa sitä, että nukleotidien määrä ja geneettinen säätely eivät ole suorassa yhteydessä toisiinsa

**cDNA** (complementary DNA), RNA:sta käänteisesti kopioitunut DNA

**diploidinen solu** solu, jossa kutakin kromosomia on kaksi kappaletta

**DNA, deoksiribonukleiinihappo** (deoxyribonucleic acid) elävien organismien perintötekijät ovat DNA-molekyyleissä. DNA muodostuu kahdesta kierteestä, jotka kietoutuvat toistensa ympärille. Kummallakin kierteellä on selkäranka sokerimolekyyleistä, jotka fosfaattisillat sitovat yhteen pitkäksi ketjuksi. Selkärankaan liittyvät geneettistä informaatiota kantavat --> nukleotidiparit

**DNA-polymeraasit** DNA:n lisääntymisessä tarvittavia entsyymejä

**DNA-RNA-hybridi** kaksisäikeinen nukleiinihappo, jonka toinen säie on DNA:ta ja toinen vetysidoksin liittynyttä komplementaarista RNA:ta

**duplikaatio** kahdentuma, mutaatio, jossa jakso genomissa on kahdentunut

**eksoni** eläinten ja kasvien geenissä oleva DNA-jakso, joka koodittaa valkuaisaineen aminohappojärjestystä

**elinkaari** (bioteknisen) tuotteen elinkaari sisältää viisi vaihetta: tutkimuksen ja tuotekehittelyn; myynnin aloittamisen; markkinoiden nopean kasvun; kasvun pysähtymisen; ja taantuvan kehityksen

**emäspari** ep. --> nukleotidipari

**entsyymit** yksinkertaisia tai yhdistyneitä valkuaisaineita, jotka toimivat katalysaattoreina ja joilla on erityinen reaktiokyky

**eukaryoottinen solu** tumallinen solu

**fermentori** käymisastia, mikrobin ja solujen kasvatuksessa käytettävä reaktori

**geeni** DNA:n osa, joka sisältää informaation yhden valkuaisaineen syntetisoimiseksi

**geenikartta** tunnettujen geenien keskinäinen järjestys nukleiinihappomolekyylissä

**geenikirjasto** geenipankki (gene library, gene bank), suuri jouk-

ko (10.000-1.000.000) yhdistelmä-DNA-molekyylejä, jotka sisältävät eliön koko genomin halutun kokoisina paloina plasmidi-, faagi- tai kosmidivektoreihin liitettynä; geenipankissa jokainen genomipala on eristettävissä ja monistettavissa erikseen

**geenikoetin** --> koetin

**geenikone** (DNA syntetisaattori) laite, joka liittää nukleotidipareja haluttuun järjestykseen DNA-ketjuksi

**geenimanipulaatio** --> yhdistelmä-DNA-tekniikka

**geenin kloonaus** menetelmä, jolla DNA-palasia rikastetaan jonkin vektorin, kuten plasmidin, välityksellä esimerkiksi bakteerisolussa; haluttu geeni rikastetaan viljelemällä sitä kantavaa bakteeria

**geeniperhe** joukko emäsjärjestykseltään lähisukuisia toiminnallisia geenejä (ja valegeenejä), jotka yleensä sijaitsevat lähellä toisiaan kromosomissa

**geenisormenjälki** yksilölliseen geenirakenteeseen ("solujätökseen") perustuva tapa selvittää esimerkiksi läsnäolo rikospaikalla

**geenitekniikka** --> yhdistelmä-DNA-tekniikka

**geeniterapia** ihmisen geenivirheiden korjaaminen

**geneettinen koodi** --> kodoneiden määrittelemä geneettinen informaatio

**geneettinen muuntelu** --> yhdistelmä-DNA-tekniikka

**GENOME** yhdysvaltalainen ihmisen genomin kartoitushanke

**genomi** perintöaines, perimä, yhden tai useamman geenin yhdistelmä joko DNA:n tai RNA:n muodossa; yksilön kaikkien geenien yhdistelmä

**haploidinen solu** solu, jossa kutakin kromosomia on vain yksi kappale

**homologinen rekombinaatio** (kohdistettu geeninsiirto) geenin korvaaminen toisella geenillä perintöaineksessa

**homopolymeerinen** useampi samanlainen nukleotidi peräkkäin

**hormonit** umpirauhasissa syntyviä aineita, jotka ohjaavat ruumiintoimintoja. Hormonit vaikuttavat aineenvaihduntaan, kehitykseen, sukupuoliseen kypsyyteen jne.



**HUGO** eurooppalainen ihmisen genomien kartoitushanke

**hybridikasvi** kahden eri lajin soluja yhdistämällä muodostettu kasvi

**hybridisaatio** polariteetiltaan vastakkaisten yksisäikeisten nukleinihapporihmojen yhtyminen kaksisäikeiseksi molekyyliseksi emäspariutumisen kautta

**hybridisol** --> hybridoma

**hybridoma** esimerkiksi vasta-ainetta tuottava solu, joka on syntynyt, kun kaksi erityyppistä solua on keinoitekoisesti pakotettu fuusioitumaan

**ilmentyminen** geenin kopioituminen RNA-molekyyliseksi ja usein edelleen RNA:n luenta valkuaisaineeksi

**immobilisointitekniikka** perustuu entsyymien tai mikro-organismien sitomiseen kantajamateriaaliin pylväässä tai fermentorissa, jonka läpi käsiteltävä neste jatkuvana prosessina pumpataan

**infektio** tarttuva tauti

**introni** eksonien välissä oleva DNA-jakso, jonka kodonit eivät osallistu valkuaisaineiden tuottamiseen; lähetti-RNA:n synteessin yhteydessä intronit poistuvat (silmukoituvat) niin, että lopullisessa lähetti-RNA:ssa niitä ei ole

**in vitro** nesteessä

**in vivo** elävässä organismissa

**kitti** tarkoitetaan yleensä monia eri vasta-aineita (tai yleisemmin reagensseja) (pienissä) eri astioissa sisältävää pakkausta. Kittä käyttäen potilaasta otettua näytettä, esim. hänen vertaan, voidaan tutkia monipuolisesti erilaisten mahdollisten tautien toteamiseksi

**kloonaus** DNA-aineksen monistaminen tai perimältään identtisten organismien (kloonien) tuottaminen; kasveilla mikrolisäys

**kodoni** kolmen nukleotidin jakso DNA:ssa eli kirjaimin A, U, G ja T merkittyjä neljän emäksen 64 kolmiemäksistä yhdistelmää, joista kolme (UAG, UGA ja UAA) ovat lopetusta (terminaatiota) varten ja loput määräävät täsmälleen yhden 20:stä aminohaposta

**koetin** probe, yleensä radioaktiivisesti leimattu DNA- tai RNA-

**jakso**, jonka avulla nukleiinihappoja voidaan tunnistaa nukleiinihappohybridisaation perusteella

**komplementaarinen säie** vastinsäie, emäspariutumisen mukainen antiparalleelinen nukleotidiketju, jossa jokaista G:tä vastaa C ja jokaista A:ta vastaa T (DNA) tai U (RNA)

**koodittaa** ohjata valkuaisainesynteesiä geneettisen koodin mukaisesti

**kromosomi** koostuu yhdestä DNA-molekyylistä. Kaikki saman organismin tumalliset solut sisältävät nukleotidijärjestykseltään identtiset kromosomit, joita esimerkiksi ihmisellä on 23 paria

**käänteiskopioijaentsyymi** tietyistä viruksista eristetty entsyymi, joka kopioi RNA-molekyylistä sitä vastaavan DNA-molekyylin

**lokus** tietty kohta DNA:ssa, esim. geenin paikka

**lopetuskodoni** kolmikkokodoni, johon proteiiniketjun synteesi loppuu

**lähetti-RNA** messenger-RNA, mRNA, proteiinisynteesissä mallina (template) toimiva RNA, joka sisältää ainakin yhden aloitus- ja lopetuskodonin

**markkeri** esimerkiksi jokin antibioottiresistenssi, jonka avulla voidaan todeta, onko siirrettävä geeni liittynyt vektoriin vai ei

**mikrobit** yksisoluisia organismeja rihmastoja muodostavia sieniä lukuunottamatta. Mikrobeja on monta tyyppiä, joista erityisesti bakteerit, levät, ja sienet ovat biotekniikan kannalta kiintoisia. Useimmat bakteerit ovat kooltaan 1-10 miljoonasosa metriä

**mikrolisäys** (kloonaus) kasvien suvuton lisääminen, jolla saadaan perimältään identtisiä jälkeläisiä

**minivasta-aine** elimistössä esiintyviä vasta-aineita pienempiä molekyyliä, jotka kuitenkin kykenevät tunnistamaan mikrobien tms. pintarakennetta

**monokloninen vasta-aine** --> monoklooninen vasta-aine

**monoklooninen vasta-aine** vasta-aine, jonka pintarakenne soveltuu torjumaan täsmälleen tiettyä ainetta (tietyn B-solun tunnistamaa ainetta)

**mutaatio** periytyvä muutos perintöaineksessa

**nukleaasit** nukleinihappojen fosfodiesterisidoksia katkaisevia entsyymejä

**nukleotidipari** DNA:n kahden kierteen emäkset ovat tarkalleen vastakkain niin, että ne sitoutuvat kiinni toisiinsa kaksittain pareiksi eli nukleotidipareiksi. Pareja muodostavat adeniini ja tyymiini sekä sytosiini ja guaniini

**PCR** --> polymeerasiketjureaktio

**plasmidi** varsinaisen "kromosomin" lisäksi on useissa bakteereissa pieni rengasmaisen plasmidi-DNA. Plasmidien koodittamat proteiinit voivat tehdä bakteerin antibiootteja kestäväksi tai sallia bakteerisolujen yhtymisen ja DNA:n vaihdon niiden kesken. Plasmidit ovat tärkeitä geenitekniikan työkaluja, joiden avulla vierasta DNA:ta voidaan siirtää solujen sisään

**polyklooninen vasta-aine** monia eri aineita epäspesifisesti tunnistava vasta-aine

**polymeerasiketjureaktio** (PCR) reaktio, joka polymeeraaseja hyväksikäyttäen tuottaa ketjureaktiona nukleinihappoa "mallikappaleesta"

**polymeeraasit** nukleinihappojen monistumisesta huolehtivia entsyymejä

**primer** aluke

**probe** koetin

**prokaryootit** yksisoluisia eliöitä, joilla ei ole erillistä tumaa

**promoottori** RNA-polymeeraasin sitoutumiskohta DNA:ssa

**proteiinisynteesi** valkuaisaineen valmistuminen solussa

**provirus** tila, jossa virus on DNA-muodossa isäntäsolun DNA:han liittyneenä

**rekombinaatio** kahden tai useamman ominaisuuden yhdistyminen perintöaineksen osittaisen vaihdon tietä

**repetitiivinen DNA** DNA, jossa sama emäsjärjestys toistuu useita kertoja

**replikaatio** nukleinihapon syntetisoituminen

**replikoni** alue, josta DNA:n syntetisoituminen alkaa

**restiktioentsyymit** bakteereista eristettyjä entsyymejä, jotka katkaisevat kaksisäikeisen DNA:n tietyistä kullekin entsyymille tunnusomaisesta emäsjärjestyksen kohdasta

**reverse-transkriptaasi** käänteiskopioijaentsyymi

**ribonukleotidi** yhdiste, jossa on yksi emäs (adeniini (A), sytosiini (C), guaniini (G) tai urasiini (U)), riboosisokeri ja fosforiatomi

**ribosomi** solussa esiintyvä partikkeli (n. 20 nm halkaisijaltaan), joka koostuu RNA:sta ja kymmenistä eri proteiineista; proteiini-synteesin tapahtumapaikka

**RNA** ribonukleiinihappo, ribonukleotideistä koostuva polymeeri, esimerkiksi lähetti-RNA; myös monien virusten perinnöllinen aines on RNA:ta

**RNA-polymeraasi** RNA:ta syntetisoiva entsyymi

**sekvensoida** määrittää proteiinien aminohappojen tai nukleotidien peräkkäinen järjestys

**sekvenssi** järjestys, aminohappojen järjestys proteiinissa tai nukleotidien järjestys RNA:ssa tai DNA:ssa

**siirtäjä-RNA** transfer-RNA, tRNA, molekyylipainoltaan noin 25000:n suuruinen RNA, jokaista aminohappoa varten on ainakin yksi spesifinen siirtäjä-RNA, johon aminohappo liittyy; siirtäjä-RNA tunnistaa sille spesifisen kolmikkokodonin lähetti-RNA:ssa

**solukalvo** (plasmamembraani) kaikkia nykyään tunnettuja soluja ympäröivä kalvo, joka muodostuu kahdesta molekyylikerroksesta heikosti sähköisesti varautuneita rasvoja eli lipidejä

**soluseinä** toimii mikrobien ja kasvien tukirakenteena, kasveissa keskeisenä ainesosana selluloosa

**synteettinen siemen** mikrolisäyksellä tuotettu kasvinalkio, joka on siemenen tapaan varustettu vararavinnolla

**templaatti** template, mallina toimiva yksisäikeinen nukleiinihappo, josta kopioituu komplementaarinen (vastin) säie

**terminaattori** lopetuskodoni

**transgeeninen** kasvi tai eläin, johon on siirretty toisen organismin geeni

**transkriptio** kopiointi, nukleiinihapon kopiointi "vastakkaiseksi" nukleiinihapposäikeeksi

**translaatio** luenta, lähetti-RNA:n kolmikkokoodien lukeminen polypeptidiksi (proteiiniksi); proteiinisynteesi

**translokaatio** siirtymä, muutos tai mutaatio, jossa jakso genomissa on siirtynyt uuteen paikkaan

**valegeeni** pseudogene, "kuollut" geeni, joka erilaisten mutaatioiden johdosta on menettänyt kykynsä ilmentyä proteiiniksi

**vasta-aine** (antibody) kehossa olevat vasta-aineet tunnistavat vieraat aineet (antigeenit) ja käynnistävät niiden tuhoamisen

**vektori** (lat. kantaja) plasmidin tai viruksen DNA-molekyyli, johon voidaan liittää vieras DNA-jakso ja joka sitten voidaan siirtää uuteen isäntään

**yhdistelmä-DNA-tekniikka** (geenitekniikka, geneettinen muuntelu, geenimanipulaatio) menetelmiä, joiden avulla kaksi eri alkuperää olevaa DNA:ta voidaan yhdistää tai muodostunut yhdistelmä-DNA-molekyyli voidaan siirtää bakteeriin tai eläinsoluun, jossa se lisääntyy. Tekniikkaan liittyy runsaasti DNA:n käsittelyä (katkaisemista, lyhentämistä, päiden muokkausta jne.)

## **Käytetty kirjallisuus**

- Aro, Eva-Mari** Fotosynteesi – salat julki vähitellen, Tiede 2000  
1/1989
- Arthur Young High Technology Group** (julk.) Biotech 86: At the  
Crossroad, San Fransisco 1986
- Arthur Young High Technology Group** (julk.) Biotech 88: Into the  
Marketplace, San Fransisco 1987
- Biotechnology, Economic and Wider Impacts** OECD 1989
- Carlson, C.E.** 20 vuotta suomalaista tuotekehitystä, Sitra Sarja B nro  
93, Helsinki 1987
- Coates, J.H.** Technology Assessment kokoomateoksessa Jib Fowles  
(toim.) Handbook of Futures Research, London 1978
- Freeman C.** The Diffusion of Biotechnology trough the Economy,  
luku III, OECD SPT(88)18, Paris 1988
- Dixon, Bernard** Tieteilijät pohtivat omaatuntoaan, Tiede 2000  
4/1987
- Dosi, G.** Technological Paradigms and Technological Trajectories,  
Research Policy, vol.11, 1982
- Gotsch, N. - Rieder, P.** Future Importance of Biotechnology in  
Arable Farming, Trends in Biotechnology, 2/1989
- Green, K. - Yoxen, E.** The Greening of European Industry, Futures,  
June 1990
- Grohmann, K. - Himmel, M. E.** Enzymes for Fuels and Chemical  
Feedstocks, Wood Chemical Technology, 1990

- Hakulinen, R. - Rajala A.** Biotekninen tehdas monipuolistaa Oy  
Alko Ab:n tuotantoa, Kemia-lehti 3/1988
- Hodgson, John** When ethics and biotechnology collide, Scientific  
European, April 1990
- Jänne, Juhani** Lääke muuttaa muotoaan, Tiede 2000 3/1989
- Koski, Eija** Kotitalousjätteen kompostointikokeilu  
kerrostalokiinteistöissä, Post-seminariesitelmä, HY:n  
ympäristönsuojelun laitos, Helsinki 1988
- Kuhn, Thomas** The Structure of Scientific Revolutions, Univ. of  
Chicago Press, Chicago 1970
- Kuusi, Osmo** Palvelusta itsepalveluun, Valtion painatuskeskus,  
Helsinki 1987
- Kuusi, Osmo** Osaaminen ja ammattirakenne, Taloudellinen  
suunnittelukeskus, Helsinki 1989
- Kuusinen, Olli** Uutta ja uusiutuvaa kotimaista energiaa biokaasuista,  
esite 1988
- Kuusinen, Olli** Agrokuitu-projektin rahoitushakemus, Helsinki 1990
- Linko, Matti** Non-waste technology - a challenge to biotechnology,  
VTT symposium of non-waste technology, Espoo 1989
- Lovio, Raimo** Suomalainen menestystarina? - Tietoteollisen  
verkostotalouden läpimurto, Hanki ja Jää, Helsinki 1989
- Madsen, R. E.** Water and raw materials for non-waste technology  
processes, VTT symposium of non-waste technology, Espoo 1989
- Malaska, Pentti** Linking Present Decisions to Long-Range Visions,  
Nature-Oriented Technology, The 11th WFSF World Conference,  
Budapest 1990
- Markkula, M. - Alitalo, K. - Lehtonen, E.** Geeni siirtyy, tieto kasvaa,  
Tiede 2000 4/1990
- Mela, M. - Huotari, M. - Jussi-Pekka, S. - Ryymin, P.** Biosensori  
kemiallisessa analyysissä, Kemia-lehti 3/1988
- Mäenpää, Ilmo** Tulevaisuudentutkimus II - Menetelmät ja niiden  
arviointi, Oulun Yliopiston kansantaloustieteen laitos 1977
- Mäkinen, Seppo** Luento biotekniikka-iltapäivässä Turussa,  
Kauppalehden uutinen 30.5. 1990
- Nelson, R. R. - Winter, S. G.** In Search of a Useful Theory of  
Innovation, Research Policy, Vol 11, 1987

- Niemi, M. - Korhonen, L. K. - Virtanen, I.** Solu- ja molekyylibiologia, Weilin+Göös, Espoo 1989
- OECD 1988** Economic and Wider Impacts of Biotechnology, SPT (88)18, Paris 1988
- OECD 1989** Draft International Survey on Biotechnology Use and Regulations, ENV/BIO/89.1 Paris 1989
- OECD 1990** Good Developmental Practices for Small Scale Field Research with Genetically Modified Plants and Micro-organisms, Discussion paper, Paris 1990
- Oker-Blom, N. - Peräsalo, I.** Geenitekniikan etiikka, Tiede 2000 3-4/1985
- Parkkinen P. - Arajärvi E.** Hoiva-Suomi 2030, Taloudellinen suunnittelukeskus, Helsinki 1989
- Perez, C.** Structural Change and the Assimilation of New Technologies in the Economic and Social System, Futures vol.15 No. 4 1983
- Prentis, Steve** Biotechnology, a New Industrial Revolution, Orbis Publishing, London 1984
- Salkinoja-Salonen, M. - Valo, R.** Biotekniikan sovellutukset ympäristönhuollossa, Kemia-lehti 3/1988
- Schelber, R.** Hydrogen for energy storage, VTT symposium of non-waste technology, Espoo 1988
- Schumpeter, J.** Business Cycles, 2 volumes, McGraw Hill, New York 1939
- Sundquist, Jorma** Sellukeitto kiehuu, Tiede 2000 5/1989
- Viikari, Liisa** Biotekniikka rynnistää puunjalostusteollisuuteen, Tekniikan näköalat (TEKES) 6/1987