



POLICY BRIEF 2021:14

Näkökulmia ajankohtaisiin yhteiskunnallisiin kysymyksiin ja poliittisen päätöksenteon tueksi.

Tämä julkaisu on toteutettu osana valtioneuvoston vuoden 2020 selvitys- ja tutkimussuunnitelman toimeenpanoa (tietokayttoon.fi).

Julkaisun sisällöstä vastaavat tiedon tuottajat, eikä tekstisisältö välttämättä edusta valtioneuvoston näkemystä.

Uusien genominmuokkaus- tekniikoiden hyödyntäminen Suomessa

Nina Wessberg, Santtu Lehtinen, Anneli Ritala, Suvi T. Häkkinen, VTT
Johanna Vilkki, Alan H. Schulman, LUKE
Jussi Laine, Satu Korhonen, Demos Helsinki

Selvityksessä tarkastellaan uusien genominmuokkaustekniikoiden hyödyntämisen nykytilaa ja tulevaisuutta Suomessa

Uusilla genominmuokkaustekniikoilla on mahdollista lisätä, poistaa tai muokata organismin haluttuja ominaisuuksia hyvin tarkasti ja kohdennetusti. Näitä menetelmiä hyödyntäen haluttu variaatio/muutos saadaan aikaan täsmällisemmin kuin perinteisillä mutageneesitekniikoilla, joita ovat esimerkiksi säteilytys ja kemiallinen käsittely.

Uusia genominmuokkaustekniikoita sovelletaan tällä hetkellä Suomessa pääasiassa kasvitutkimuksen ja eläinfysiologian perustutkimuksessa sekä lääketieteellisessä

tutkimuksessa ja tuotekehityksessä tuottamalla genominmuokkauksella koe-eläin- ja solumalleja. Eläinjalostuksessa genominmuokkausta ei vielä sovelleta.

Uusilla genominmuokkaustekniikoilla voitaisiin esimerkiksi parantaa viljelykasvien kestävyyttä kasvitaudeille ja menestymistä ilmastonmuutoksen muuttamissa kasvuolosuhteissa, parantaa kasvien ja niistä tehtävän ruuan ravitsemuksellisuus, ja poistaa allergeenejä. Lääketieteessä lääketutkimuksen mahdollisuuksien lisäksi genominmuokkauksella voidaan mahdollistaa geeniterapeuttisia hoitoja. Eläinjalostuksessa toiveet kohdistuvat erityisesti eläinten terveyden ja hyvinvoinnin parantamiseen.

Sovellusten laajamittaista käyttöä ja kehitystä estää tällä hetkellä Euroopassa lainsäädännön tulkinta, joka rinnastaa uusien genominmuokkaustekniikoiden käytön geenimuunteluun. Tämän seurauksena myös uusien genominmuokkaustekniikoiden avulla tuotetuille tuotteille on tehtävä geenitekniikkalainsäädännön mukaiset riskinarvioinnit. Niiden suuret kustannukset hidastavat ja jopa estävät sovellusten käyttöönottoa, koska varsinkaan pienillä ja keskisuurilla toimijoilla ei ole niihin varaa. Lisäksi uusien genominmuokkaustekniikoiden avulla tuotettujen tuotteiden markkinat koetaan epävarmoiksi, koska kuluttajien asenne geenimuuntelua kohtaan ylipäänsä on negatiivinen ja nyt kuluttajat eivät näe mitään eroa geenimuuntelun ja uusien genominmuokkaustekniikoiden hyödyntämisessä.

Nykyisen kaltainen sääntely rajoittaa erityisesti eurooppalaisen kasvinjalostuksen kehittymistä ja sitä kautta vaikuttaa myös koko maataloustuotannon kehitykseen ja kehitysnäkymiin. Toki tiukka sääntely ja riskinarvioinnin kaltaiset velvoitteet ehkäisevät riskien realisoitumista, mutta samalla ne rajoittavat uusien genominmuokkaustekniikoiden kehitystä ja soveltamista. Huomattavaa on, että tutkimuksissa ei ole pystytty osoittamaan uusien genominmuokkaustekniikoiden aiheuttavan merkittäviä ekologisia riskejä. Suurimmat tunnistetut riskit liittyvät tekniikan tahalliseen väärinkäyttöön esimerkiksi terroristisessa tarkoituksessa.

Lääketieteellisessä tuotekehityksessä riskinarviointi on luonnostaan olennainen osa toimintaa. Tällöin nykyisen kaltainen uusien genominmuokkaustekniikoiden sääntely ei kasvata vaadittavaa riskinarviointia kohtuuttomaksi. Eläinjalostuksessa uusien genominmuokkaustekniikoiden mahdollisuuksia lähinnä arvioidaan ja tilannetta vielä seurataan.

Toimenpide-ehdotukset - politiikkasuositukset

- Uusien genominmuokkaustekniikoiden sääntelyn kehitystä tulisi tutkijoiden ja yritysmaailman toiveiden mukaan ohjata **mahdollisuuksiin tarttuminen**. Vapautettu sääntely mahdollistaisi uuden ja kokeilevan liiketoiminnan sekä erilaisten uusien innovaatioiden ja ratkaisujen kehittämisen.
- Vaihtoehtoisesti voidaan toteuttaa **tietopohjaista sääntelyä**, jossa sääntelyn kehitystä ohjaa reilun kehityksen edistäminen. Monitasoinen sääntely varmistaa genominmuokkauksen vaikutusten monipuolisen tarkastelun sekä sen hyötyjen tasapainoisen jakautumisen riskien hallinnasta huolehtien.
- Toisen asteen **opintosisältöihin** suositellaan sisällytettäväksi **uusien genominmuokkaustekniikoiden** perusteet. Lisääntyvä ymmärrys genominmuokkauksesta antaa tiedolliset valmiudet käsityksen muodostamiseksi genominmuokkauksen käytöstä ja hyödyntämisestä.

Hankkeen kuvaus ja tavoitteet

Tässä Policy Briefissä kuvataan VN TEAS Uusien Genominmuokkaustekniikoiden nykytilaa ja tulevaisuutta Suomessa selvittäneen hankkeen tulokset. Uusilla genominmuokkaustekniikoilla tarkoitetaan eliön perimän kohdennettua muokkaamista käyttäen 2000-luvulla kehitettyjä uusia menetelmiä, joilla voidaan lisätä, poistaa tai muokata organismin haluttuja ominaisuuksia hyvin tarkasti ja kohdennetusti. Uusien genominmuokkaustekniikoiden avulla aikaansaadaan haluttu mutaatio täsmällisemmin kuin perinteisillä mutageneesitekniikoilla, joita ovat esimerkiksi säteilytys ja kemiallinen käsittely.

Hankkeen päätavoite oli selvittää uusien genominmuokkaustekniikoiden nykyiset ja tulevat käyttötarpeet ja -tavat. Viranomaiset voivat hyödyntää tätä tietoa linjatessaan mahdollisia sääntelyn muutostarpeita. Samalla selvitetään uusien genominmuokkaustekniikoiden yhteiskunnallisia ja taloudellisia näkökulmia.

Tutkimushankkeen toteuttivat VTT, LUKE ja Demos Helsinki. VTT vastasi hankkeen toteutuksesta kokonaisuudessaan ja tämän raportin kirjoittamisesta. VTT:stä hankkeen vastuullinen tutkija oli Nina Wessberg. Santtu Lehtinen vastasi taustakirjallisuudesta. Mika Naumanen tilastomateriaalin tarkastelusta. Anneli Ritala ja Suvi T. Häkkinen edustivat kasvinjalostuksen asiantuntemusta. LUKEsta eläinjalostuksen asiantuntemuksen tarjosi Johanna Viikki, ja kasvinjalostuksen asiantuntemuksen Alan Schulman. LUKEsta hankkeen haastattelujen tekemiseen osallistui myös Jaana Peippo. Demos Helsinki vastasi hankkeessa tapahtuneesta vuorovaikutuksesta sidosryhmien kanssa, sekä skenaarioiden rakentamisesta. Demoksesta hankkeeseen osallistuivat Christopher Rowley (siirtyi pois hankkeesta vuoden 2020 lopussa), Satu Korhonen ja Jussi Laine.

Politiikkayhteydet ja muutostarpeet

EU:ssa geneettistä muuntelua ja muokkaamista säännellään pääasiassa unionin geenitekniikkalainsäädännöllä. Maatalous- ja elintarviketuotteiden kannalta merkityksellisimmät säädökset ovat direktiivit 2001/18/EY ja 1829/2003/EY.¹ Viime vuosina geenitekniikan kentällä etenkin uusien genominmuokkaustekniikoiden soveltaminen

¹ Max Planck Society 2017, 18.

kasvinjalostukseen ja sen oikeudellinen asema on herättänyt huomiota. Erityisen paljon keskustelua on aiheuttanut Euroopan unionin tuomioistuimen (EUT) 25. heinäkuuta 2018 tekemä linjaus (tapaus C-528/16) koskien uusia mutageneesitekniikoita. EUT:n päätös koski nimenomaan uusia mutageneesitekniikoita. Komissio on myöhemmin tehnyt tulkinnan, että päätös koskee myös muita v. 2001 jälkeen kehitettyjä genominmuokkaustekniikoita. Komission tulkinnan mukaan tuomioistuimen linjaus tarkoittaa sitä, että uusien genominmuokkaustekniikoiden avulla kehitettyjä organismeja koskevat GMO-direktiivin mukaiset merkintä-, riskienarviointi-, jäljitettävyys- ja seurantavelvoitteet.²

EU:n tuomioistuimen linjaus oli iso pettymys kasvinjalostajille Euroopassa. Esimerkiksi Euroopan tiedeakatemioiden federaatio ALLEA on kehottanut EU:ta harkitsemaan uudelleen genominmuokkausta koskevaa lainsäädäntöä. Kritiikin mukaan uusien genominmuokkaustekniikoiden oikeudellinen asema tarvitsee lisää käytännön selvennystä ja ohjeistusta. Euroopan unionin neuvosto onkin Suomen puheenjohtajuuskaudella pyytänyt komissiota tekemään selvityksen uusien genominmuokkaustekniikoiden juridisesta asemasta³

Nykyisellään EUT:n linjauksen pelätään lopettavan genominmuokkauksen tutkimus- ja kehitystyön sekä kaupallistamisen Euroopassa. Tuomioistuimen päätöksen seurauksena alan investoinnit tulevat todennäköisesti vähenemään, sillä nykyisen lainsäädännön mukainen pitkä ja kallis hyväksymisprosessi tekee uusien genomimuokkaustekniikoiden avulla tuotettujen lajikkeiden kaupallistamisesta erittäin vaikeaa. Ainoat tahot, joilla on mahdollisuus kaupalliseen uusien genominmuokkaustekniikoiden hyödyntämiseen EU-alueella ovat suuret monikansalliset yritykset.⁴ Jopa maataloustuotteita tuottavat suuryritykset, kuten Bayer ja BASF, ovat kuitenkin EUT:n linjauksen seurauksena uhanneet siirtää genominmuokkaukseen liittyvät kasvinjalostustoimintonsa pois Euroopasta.⁵

² Ewen Callaway. "CRISPR plants now subject to tough GM laws in European Union". Nature 560, 16 (2018) <https://www.nature.com/articles/d41586-018-05814-6> [luettu 17.2.2021]

³ Van der Meer et al. 2021, 3,9-12.

⁴ Schulman et al. 2020.

⁵ Reuters. "Bayer, BASF to pursue plant gene editing elsewhere after EU ruling". July 27, 2018. <https://www.reuters.com/article/us-eu-court-gmo-companies-idUSKBN1KH1NF> [luettu 17.2.2021]

Euroopassa huolenaiheena on siis maanosan jääminen jälkeen globaalista tutkimuksen ja kehitystyön eturintamasta. EU-maat ovat johtavia toimijoita genomimuokkauksen tutkimuksessa, mutta ne ovat jo nykyisellään Kiinaa ja Yhdysvaltoja huomattavasti jäljessä tutkimuksen kaupallisen soveltamisen suhteen.⁶

Tutkimuksen aineisto ja menetelmät

Selvityksen aineisto kerättiin kirjallisuudesta, asiantuntijahaastatteluin sekä Taloustutkimuksen tekemän yrityskyselyn avulla. Hankkeessa järjestettiin kaksi sidosryhmätilaisuutta. Lisäksi hyödynnettiin tilastoaineistoa ja skenaariomenetelmää.

Haastatteluja tehtiin yhteensä 49 kappaletta. Yksi haastattelu kesti 30–60 minuuttia. Haastateltavissa oli 17 tutkimuksen edustajaa, 16 yritystä, kuusi etujärjestöä, kuusi viranomaista tai hallinnon edustajaa, kolme rahoituksen edustajaa ja yksi koulutuksen edustaja. Yrityksille suunnatun puhelinkyselyn suoritti Taloustutkimus Oy. Taloustutkimus otti yhteyttä 132 yritykseen, joista puhelinhaastateltaviksi suositui yhteensä 43 yritystä.

Aineiston analyysissä hyödynnettiin skenaariomenetelmää. Aineiston perusteella luotiin tulevaisuustaulukko, josta muodostettiin kolme skenaariota erityisesti kasvinjalostuksen alueen lainsäädännön erilaisten tulkintojen mahdollisista tulevaisuuksista.

Tulokset ja johtopäätökset

Uusia genomimuokkaustekniikoita sovelletaan tällä hetkellä Suomessa pääasiassa kasvintutkimuksen ja eläinfysiologian perustutkimuksessa sekä lääketieteellisessä tutkimuksessa ja lääkekehityksessä tuottamalla genomimuokkauksella koe-eläin- ja solumalleja. Eläinjalostuksessa uusia genomimuokkaustekniikoita ei vielä sovelleta.

Uusia genomimuokkaustekniikoita voitaisiin soveltaa mm. parantamaan viljelykasvien kestävyttä kasvitaudeille ja menestymistä ilmastonmuutoksen muuttamissa kasvuolosuhteissa. Lääketieteessä lääketutkimuksen mahdollisuuksien lisäksi uusilla genomimuokkaustekniikoilla voidaan mahdollistaa geeniterapeuttisia hoitoja. Eläinjalostuksessa toiveet kohdistuvat eläinten terveyden ja hyvinvoinnin parantamiseen.

⁶ Menz et al. 2020.

Sovellusten laajamittaista käyttöä ja kehitystä estää tällä hetkellä Euroopassa lainsäädännön tulkinta, joka rinnastaa uusien genominmuokkaustekniikoiden käytön geenimuunteluun. Tämän seurauksena myös uusien genominmuokkaustekniikoiden avulla tuotetuille tuotteille on tehtävä geeniteknikkalainsäädännön mukaiset riskinarvioinnit. Niiden suuret kustannukset hidastavat ja jopa estävät sovellusten käyttöönottoa, koska varsinkaan pienillä ja keskisuurilla toimijoilla ei ole niihin varaa. Lisäksi uusien genominmuokkaustekniikoiden avulla tuotettujen tuotteiden markkinat koetaan epävarmoiksi, koska kuluttajien asenne geenimuuntelua kohtaan ylipäänsä on negatiivinen ja nyt kuluttajat eivät näe mitään eroa geenimuuntelun ja uusien genominmuokkaustekniikoiden hyödyntämisessä.

Euroseedsin tekemän tutkimuksen⁷ mukaan 25–30 % eurooppalaisista kasvinjalostusyrittäjistä (n=62) aikoo tuoda uusilla genominmuokkaustekniikoilla valmistetun tuotteen markkinoille 5 vuoden sisällä. Noin 50 % yrityksistä arvioi aikaskaalaksi 5–10 vuotta ja noin 30 % vasta 10 vuoden kuluttua. Toisaalta 40 % yrityksistä sanoo viivästyttäneensä markkinointisuunnitelmiaan tämänhetkisen sääntelytilanteen vuoksi. Jos uusilla genominmuokkaustekniikoilla muokatut tuotteet eivät kuuluisi saman sääntelyn alle kuin GMO:t, jopa 80–85 % yrityksistä käyttäisi uusia genominmuokkaustekniikoita jatkossa.

Uusista genominmuokkaustekniikoista tunnetuin on vuonna 2012 kehitetty CRISPR-Cas9, joka on radikaalisti edistänyt genominmuokkauksen soveltamismahdollisuuksia. Esimerkiksi kasvinjalostuksessa uusien genominmuokkaustekniikoiden avulla on mahdollista tuottaa haluttuja mutaatioita huomattavalla tarkkuudella ja tehokkuudella samalla kun jalostukseen kuluva aika saadaan lyhennettyä.

Tuonnin ja viennin kokonaiskuvassa suurin Suomeen tuotava tuoteryhmä ovat lääkevalmisteet ja farmaseuttiset tuotteet. Lienee todennäköistä, että tämä trendi jatkuu, ja koska näillä toimialoilla on jo valmiuksia hyödyntää uusia genominmuokkaustekniikoita, on myös todennäköistä, että tulevaisuudessa suurin genominmuokkausta hyödyntävä Suomeen tuotava tuoteryhmä tulee olemaan lääkevalmisteet. Viennin osalta selkeästi suurimman tuoteryhmän muodostavat paperi- ja pahvituotteet. Metsäteollisuus ja metsät raaka-aineen tuottajana ovat keskeisessä asemassa tämän tuoteryhmän tuottamisessa. Uusien genominmuokkaustekniikoiden mahdollisuudet kasvinjalostuksessa, erityisesti puun tuottamisen tehostamisessa, ovat merkittävä mahdollisuus tässä kehityksessä.

⁷ Jorasch P (2020) Potential, Challenges, and Threats for the Application of New Breeding Techniques by the Private Plant Breeding Sector in the EU. *Front. Plant Sci.* 11:582011. doi: [10.3389/fpls.2020.582011](https://doi.org/10.3389/fpls.2020.582011)

Haastateltujen asiantuntijoiden selkeä kanta oli, että väestön tietotason ja ymmärryksen kasvattamiseksi ainakin toisen asteen opinnoissa tulisi käsitellä geenitekniikkaa laajemmin sisältäen myös geenitekniikkaan ja uusiin genominmuokkaustekniikoihin liittyvää opetusta, eikä sisällyttää näitä aiheita ainoastaan yliopisto-opintoihin. Yliopistoissa myös etiikan ja lainsäädännön sekä kriittisen ajattelun opetusta tulisi lisätä. Opetussuunnitelmissa tulisi ottaa huomioon, että tulevaisuudessa väestön on tunnettava biologiaan ja genominmuokkaukseen liittyviä käsitteitä siinä määrin, että he pystyvät yleisellä tasolla ymmärtämään uusilla genominmuokkaustekniikoilla toteutettuja sovelluksia, ja osallistumaan niiden käyttöön liittyvään keskusteluun tai ymmärtämään sitä. Esimerkiksi maatalouden koulutuslalla tulisi lisätä geenitekniikkaan ja uusiin genominmuokkaustekniikoihin liittyvää opetusta lähinnä teoriatasolla. Erityisesti tulisi lisätä avoimuutta kasvinjalostuksen menetelmien kuvaamisessa niin, että viljelijät ymmärtäisivät mitä viljelevät. Elintarvikeketjussa niin ikään elintarviketeknologiassa tulisi myös lisätä geenitekniikkaopetusta. Eettiset näkökohdat, asenteet ja menetelmäkuvaukset olisivat tärkeitä ymmärtää.

Selvityksen perusteella luotiin kolme erilaista tulevaisuuden kuvaa liittyen uusien genominmuokkaustekniikoiden soveltamiseen kasvinjalostuksessa:

1. **Varmuuden vuoksi -skenaario:** Sääntelyn kehitystä ohjaa riskien minimointi. Tiukka sääntely ja mittavat velvoitteet, kuten riskienarviointi, ehkäisevät peruuttamattomien ekologisten riskien realisoitumista, mutta rajoittavat samalla uusien genominmuokkaustekniikoiden kehitystä ja soveltamista.
2. **Kasvua kestävydestä -skenaario:** Sääntelyn kehitystä ohjaa mahdollisuuksiin tarttuminen. Vapautettu sääntely mahdollistaa uuden ja kokeilevan liiketoiminnan sekä erilaisten uusien innovaatioiden ja ratkaisujen kehittämisen vastuullisesti.
3. **Tietopohjainen päätöksenteko -skenaario:** Sääntelyn kehitystä ohjaa reilun kehityksen edistäminen. Monitasoisen sääntelyn tarkoituksena on varmistaa uusien genominmuokkaustekniikoiden vaikutusten monipuolinen tarkastelu sekä niihin liittyvien hyötyjen tasapainoinen jakautuminen ja riskien hallinta.

Ensimmäinen skenaario jatkaa nykyistä linjaa, jossa uudet genominmuokkaustekniikat rinnastetaan GMO-tekniikoihin ja keskeinen tavoite on hallita genominmuokkaukseen liittyviä riskejä. Toinen ja kolmas skenaario tähtäävät ensisijaisesti uusien genominmuokkaustekniikoiden hyödyntämiseen ihmisten hyvinvoinnin lisäämisessä. Keskeisiä tavoitteita ovat erityisesti ilmastonmuutoksen seurauksena muuttuvien kasvuolosuhteiden kannalta kestävämpien ja kasvavan väestön ruokintaan tähtäävien satoisampien viljelykasvien tuottaminen, sekä ihmisten sairauksien hoitamisen kehittäminen genominmuokkauksen avulla kuitenkin niin, ettei ihmisen periytyviin ominaisuuksiin kajota.

Johtopäätökset

Uusilla genominmuokkaustekniikoilla on suuri potentiaali sekä hyödyllisten sovellusten että taloudellisten tulosten näkökulmista niin kasvinjalostuksessa, eläinjalostuksessa kuin lääketieteen sovelluksissa. Tällä hetkellä toiminta keskittyy kuitenkin Suomessa ainoastaan perustutkimukseen kasvinjalostuksessa ja lääketutkimukseen eläin- ja solumallien avulla sekä yksittäisiin geeniterapiamuotoihin lääketieteessä, liittyen erityisesti harvinaisten perinnöllisten tautien tapauksiin yksilötasolla. Eläinjalostuksessa genominmuokkausta ei vielä harjoiteta, mutta eläinfysiologia hyödyntää genomimuokattuja malliorganismeja.

Genominmuokkauksen käytöstä perustutkimuksessa ei nähdä siirtymää soveltavan tutkimuksen ja kehityksen alueelle, ellei uusia genominmuokkaustekniikoita vapauteta GMO-lainsäädännön piiriin kuulumisesta. Toinen genominmuokkauksen käyttöä hidastava tekijä Euroopan markkinoilla on kuluttajien torjuva asenne ylipäänsä geenitekniikoita kohtaan. Tätä varten tarvitaan lisää vuoropuhelua tutkimuskentän, viranomaisten sekä suuren yleisön kesken. Jotta vuoropuhelu olisi mahdollista, geenitekniikan ja uusien genominmuokkaustekniikoiden perusteiden opetusta pitäisi lisätä jo toisen asteen opinnoissa, eikä syventävää opetusta pitäisi olla vain yliopisto-opinnoissa. Näin kansalaisilla olisi parempi kyky ymmärtää mitä genominmuokkauksella tarkoitetaan.

Tämän selvityksen lopputuleman voi kiteyttää erään haastatellun tutkijan sanoihin:

”Europe will become a museum of research and development if genome editing cannot be applied in the EU. The innovations and new products will happen elsewhere.”

[tutkimuksen edustaja]

Yhteenveto toimenpide-ehdotuksista

Uusien genominmuokkaustekniikoiden sääntelyn kehitystä tulisi tutkijoiden ja yritysmaailman toiveiden mukaan ohjata **mahdollisuuksiin tarttuminen**. Vapautettu sääntely mahdollistaisi uuden ja kokeilevan liiketoiminnan sekä erilaisten uusien innovaatioiden ja ratkaisujen kehittämisen.

Vaihtoehtoisesti voidaan toteuttaa **tietopohjaista sääntelyä**, jossa sääntelyn kehitystä ohjaa reilun kehityksen edistäminen. Monitasoinen sääntely varmistaa genominmuokkauksen vaikutusten monipuolisen tarkastelun sekä sen hyötyjen tasapainoisen jakautumisen riskien hallinnasta huolehtien.

Toisen asteen opintosisältöihin suositellaan sisällytettäväksi uusien genominmuokkaustekniikoiden perusteet. Lisääntyvä ymmärrys genominmuokkauksesta antaa tiedolliset valmiudet käsityksen muodostamiseksi genominmuokkauksen käytöstä ja hyödyntämisestä.

Lisälukemista

Ahteensuu, M., Grönholm, M., Joutsjoki, V., Jäntti, J., Lohtander-Buckbee, K., Ritala-Nurmi, A., ... Teeri, T. (2018). Geenien muokkaus uusilla tekniikoilla - kasvit, eläimet, mikrobit. (BTNK:n julkaisu; No. 8). Helsinki: Biotekniikan neuvottelukunta.

ALLEA (2020) lead authors: Dima, O.; Bocken H.; Custers, R.; Inze, D.; Puigdomenech, P.; Genome Editing for Crop Improvement. Symposium summary. Berlin. DOI: [10.26356/gen-editing-crop](https://doi.org/10.26356/gen-editing-crop)

Biotekniikan neuvottelukunta, Geenien muokkaus uusilla tekniikoilla, 2018, Helsinki.

Dennis Eriksson, Drew Kershen, Alexandre Nepomuceno, Barry J. Pogson, Humberto Prieto, Kai Purnhagen, Stuart Smyth, Justus Wesseler, Agustina Whelan. A comparison of the EU regulatory approach to directed mutagenesis with that of other jurisdictions, consequences for international trade and potential steps forward. *New Phytologist* (2019) 222: 1673–1684. <https://doi.org/10.1111/nph.15627>

Geenitekнологia. Helsinki, Tulevaisuusvaliokunta, 2018. 37 s. Eduskunnan tulevaisuusvaliokunnan julkaisu 2/2018.

Kirno Wartiovaara: Tulevaisuuden solu- ja geenihoidon mahdollisuudet, 137-138. Robotiikka, geenitekniikka, etiikka. Toimittanut Esa Erävalo. Ajatushautomo Kompassi ry, 2017.

Linturi, Risto: Geenitekнологian kehitys 2018–2020 eri merkitysaloilla. Helsinki, Tulevaisuusvaliokunta, 2020. 25 s. Eduskunnan tulevaisuusvaliokunnan julkaisu 2/2020.

Mukherjee, Siddharta (2019). Geeni - Intiimi historia. Vastapaino Tampere.

Schulman, A.H., Oksman-Caldentey, K.-M. and Teeri, T.H. (2020), European Court of Justice delivers no justice to Europe on genome-edited crops. *Plant Biotechnol J*, 18: 8-10. <https://doi.org/10.1111/pbi.13200>

VNK 2020. Innovaatiomyönteinen sääntely: Nykytila ja hyvät käytännöt. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2020:27

Viitteet

Callaway, Ewen. CRISPR plants now subject to tough GM laws in European Union. *Nature* 560, 16 (2018) doi: <https://doi.org/10.1038/d41586-018-05814-6>

Jorasch P (2020) Potential, Challenges, and Threats for the Application of New Breeding Techniques by the Private Plant Breeding Sector in the EU. *Front. Plant Sci.* 11:582011. doi: [10.3389/fpls.2020.582011](https://doi.org/10.3389/fpls.2020.582011)

Jochen Menz, Dominik Modrzejewski, Frank Hartung, Ralf Wilhelm and Thorben Sprink. Genome Edited Crops Touch the Market: A View on the Global Development and Regulatory Environment. *Front. Plant Sci.*, 09 October 2020 | <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.586027>

Max Planck Society. Discussion paper focusing on the scientific relevance of genome editing and on the ethical, legal and societal issues potentially involved (2017). <https://www.mpg.de/13811476/DP-Genome-Editing-EN-Web.pdf>

Reuters. "Bayer, BASF to pursue plant gene editing elsewhere after EU ruling". July 27, 2018. <https://www.reuters.com/article/us-eu-court-gmo-companies-idUSKBN1KH1NF> [luettu 17.2.2021]

Schulman, A.H., Oksman-Caldentey, K.-M. & Teeri, T.H. (2020). European Court of Justice delivers no justice to Europe on genome-edited crops. *Plant Biotechnology Journal* 18: 8-10. <https://doi.org/10.1111/pbi.13200>

Van der Meer, P., Angenon, G., Bergmans H., Buhk, H., Callebaut, S., Chamon, M., Zimny, T. (2021). The Status under EU Law of Organisms Developed through Novel Genomic Techniques. *European Journal of Risk Regulation*, 1-20. <https://doi.org/10.1017/err.2020.105>

Lisätietoja

Erikoistutkija, HT, DI Nina Wessberg, VTT. Wessberg toimi tämän hankkeen vastuullisena johtajana ja osallistui selvityksen tekemisen kaikkiin vaiheisiin.

Lisätietoja: nina.wessberg@vtt.fi

Uusien Genominmuokkaustekniikoiden nykytilaa ja tulevaisuutta Suomessa selvittänyt hanke on toteutettu osana valtioneuvoston vuoden 2020 selvitys- ja tutkimussuunnitelman toimeenpanoa.

Hankkeen ohjausryhmän puheenjohtaja:

Neuvotteleva virkamies Kirsi Törmäkangas

Sosiaali- ja terveysministeriö, kirsi.tormakangas@stm.fi



DEMOS
HELSINKI /

Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminta
Statsrådets utrednings- och forskningsverksamhet