



Co-funded by
the European Union

GMOde mōju modelleerimine



BIOS4YOU
AR 2.0

BIO-INSPIRED STEM TOPICS FOR ENGAGING YOUNG GENERATIONS
THANKS TO THE USE OF AUGMENTED REALITY

Project Number: KA220-BW-23-30-126516

"Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them."





TABEL

SISUKORD

Sissejuhatus	2
Avasta	3
1. GMO-de ja nende mõju mõistmine	3
1.1 Mis on geneetiliselt muundatud organismid (GMOd)?	3
1.2 Kuidas geneetiline modifitseerimine toimib (põhiprintsiibid)	4
1.3 GMOde näited päriselus	4
1.4 GMOde potentsiaalsed eelised	4
1.5 Võimalikud riskid ja mured	5
Vaata videot	5
1.6 Miks on modelleerimine ja liitreaalsus GMOde mõistmiseks kasulikud	6
Visuaalne kokkuvõte: GMO-de eelised ja riskid	6
1.7 Küsimused refleksiooniks	7
Käivita	7
2. GMOde mõju modelleerimine ja analüüsimine bioinspireeritud disaini abil	7
2.1 Bioinspiratsioon: õppimine looduslikest geneetilistest protsessidest	7
2.2 Liitreaalsuse kasutamine õpieesmärkide saavutamiseks	7
2.3 Praktilised harjutused ja globaalse õppimise näited	8
Täiustama	9
3. GMOde mõjude mõistmise tugevdamine liitreaalsuse kaudu	9
3.1 Kontseptuaalse mõistmise süvendamine liitreaalsuse kaudu	9
3.2 Keeruliste süsteemide ligipääsetavamaks muutmise	9
3.3 Kaasatuse ja aktiivse osalemise suurendamine	9
3.4 AR-tööriistade praktiline integreerimine	10
3.5 Mõtiskluse ja edasise uurimise soodustamine	10
Kokkuvõte	10
Viited	12





Allikas: https://www.freepik.com/free-vector/genetically-modified-organisms-isometric-flowchart_6169690.htm

Õpetee üldine teema	Biotehnoloogia. Biotootmine ja sünteetiline bioloogia
Õppeüksuse täpne nimetus	Geneetiliselt muundatud organismide (GMOde) mõju modelleerimine
Sihtgrupi vanus	14–18 aastat
Õppija eeldused	Teaduse (loodusainete) põhiteadmised Juurdepääs AR-ühilduvatele seadmetele (nutitelefonid, tahvelarvutid või AR-prillid)
Õppeüksuse kirjeldus	See õppeüksus ja tegevus tutvustab õpilastele geneetiliselt muundatud organismide (GMOde) mõju keskkonnale, põllumajandusele ja ühiskonnale. Liitreaalsuse (AR) tehnoloogiate abil modelleerivad õpilased erinevaid GMOde kasutamise stsenaariume, analüüsivad võimalikke eeliseid ja riske ning arutlevad eetiliste, majanduslike ja ökoloogiliste aspektide üle. Õppeüksus ühendab uurimusliku õppe, koostööpõhised tegevused ja refleksiooni, et toetada kriitilist arusaamist biotehnoloogiast ja selle reaalsest rakendusest.
Õppeained / Valdkonnad	Bioloogia, biotehnoloogia, keskkonnateadus, STEM-haridus, digitehnoloogiad





Märksõnad	GMO, geneetiline muundamine, liitreaalsus, põllumajandus, ökosüsteemid, elurikkus, eetika, toiduohutus, biotehnoloogia
Omandatavad pädevused, oskused ja teadmised	• Arusaamine, mis on GMod ja kuidas neid luuakse • Oskus analüüsida GMode mõju ökosüsteemidele ja inimestele • Kriitiline mõtlemine ja argumenteerimisoskus biotehnoloogia eeliste ja riskide hindamisel • Digipädevus AR-tehnoloogiate kasutamise kaudu • Meeskonnatöö- ja suhtlemisoskused • Probleemilahendusoskused stsenaariumide modelleerimise kaudu
Kasutatavad ressursid ja didaktilised vahendid	• AR-rakendused või -platvormid • Mobiilsed seadmed (tahvelarvutid, nutitelefonid, AR-prillid) • Veebiressursid ja õppevideod • Töölehed ja ülesandekaardid • Projektor või interaktiivne tahvel • Õpetaja koostatud esitlused
Hindamiskriteeriumid ja hindamine	Hindamine põhineb nii kujundaval kui ka kokkuvõtval hindamisel. Kujundav hindamine: • Osalemine AR-põhises uurimistegevuses ja aruteludes • Kaasatus stsenaariumianalüüsis ja rühmatöös • Refleksioon GMode eeliste, riskide ja eetiliste aspektide üle Kokkuvõttev hindamine: • Tulemus AR-põhises testis (harjutuse 1. etapp) • Õpilaste loodud AR-stsenaariumide ja küsimuste kvaliteet ja asjakohasus (2. etapp)





- | | |
|--|---|
| | <ul style="list-style-type: none">• Oskus selgitada põhjus-tagajärg seoseid ja põhjendada järeldusi |
|--|---|

Sissejuhatus

Geneetiliselt muundatud organisme (GMOsid) kasutatakse laialdaselt põllumajanduses, biotehnoloogias ja meditsiinis, kuid nende mõju keskkonnale, toidusüsteemidele ja ühiskonnale on sageli keeruline ning raskesti visualiseeritav.

See õppeüksus tutvustab GMode teemat modelleerimise ja simulatsioonipõhiste lähenemisviiside kaudu, aidates õpilastel uurida, kuidas geneetilised muudatused võivad mõjutada organisme ja ökosüsteeme.

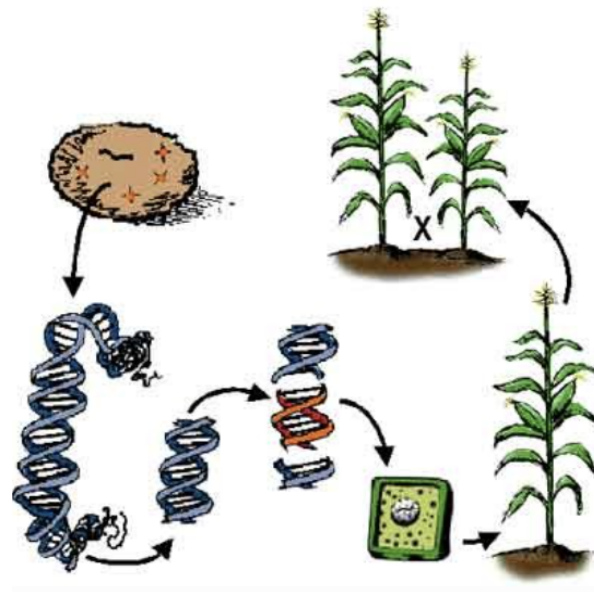
Digitaalsete modelleerimisvahendite ja liitreaalsuse (AR) kasutamise abil saavad õppijad analüüsida GMode võimalikke eeliseid ja riske, mõista põhjus-tagajärg seoseid ning kujundada teadlikumat arusaama sellest, kuidas biotehnoloogia mõjutab reaalse maailma väljakutseid.

Avastage

1. GMode ja nende mõju mõistmine

Selles jaotuses arendavad õpilased põhjalikku arusaama geneetiliselt muundatud organismidest (GMod), nende loomise protsessist ja miks nende mõju võib olla keeruline. Uurimisfaasis tutvustatakse olulisi bioloogilisi ja biotehnoloogilisi mõisteid, mis on vajalikud geneetilise modifikatsiooni mõistmiseks, enne kui hiljem üksusesse kuuluvates modelleerimise, liitreaalsuse (AR) põhjaliku analüüsi ja loominguliste tegevustega tegeletakse.





Joonis 1. Taimede geneetilise muundamise protsess. Allikas:
<https://passel2.unl.edu/view/lesson/7f79e74ec2cd/8>

1.1 Mis on geneetiliselt muundatud organismid (GMOd)?

Geneetiliselt muundatud organism (GMO) on organism, mille geneetiline materjal on teadlikult muutunud geneetilise inseneritehnoloogia abil. Erinevalt traditsioonilisest aretusest, kus valitakse omadusi paljude põlvkondade jooksul, võimaldab geneetiline modifikatsioon teadlastel lisada spetsiifilisi geene otse organismi genoomi.

(https://et.wikipedia.org/wiki/Geneetiliselt_modifitseeritud_organism)

Näide: Bt mais, millele on lisatud bakterigeen (*Bacillus thuringiensis*), et tagada putukate resistentsus.

(https://et.wikipedia.org/wiki/Geneetiliselt_modifitseeritud_organism)

GMOd võivad olla taimed, loomad või mikroorganismid. Neid kasutatakse laialdaselt põllumajanduses, et parandada saagikuse vastupidavust, tootlikkust või toiteväärtust, samuti biotehnoloogias ja meditsiinis teadusuuringute ja tootmise otstarbel.

Vaata videot:

Õpilaste arusaamise toetamiseks geneetiliselt muundatud organismidest on soovitatav vaadata lühikest tutvustavat videot, mis selgitab, mis on GMOd ja kuidas neid luuakse. Video pakub selget ja arusaadavat ülevaadet geneetilise modifikatsiooni protsessidest ning reaalse elu näidetest, aidates õpilastel luua ühise aluse enne, kui analüüsida GMOde mõju modelleerimise ja liitreaalsuse tegevuste kaudu.

Video: Mis on geneetiliselt muundatud organismid (GMOd)?

<https://www.youtube.com/watch?v=jYjvJyEMHZ4>





1.2 Kuidas geneetiline modifikatsioon toimib (põhiprintsiibid)

Geneetiline modifikatsioon seisneb geeni tuvastamises, mis annab soovitud omaduse, ja selle sisestamises teise organismi. Tavaliselt sisaldab see protsess järgmisi samme:

- Spetsiifilise geeni eraldamine ühest organismist (nt Bt toksiini geeni eraldamine bakterist).
- Geeni sisestamine vektorisse (tavaliselt plasmidi).
- Geeni ülekandmine sihtorganismi (nt Agrobakteriumi või geepüstoli abil).
- Uue geeni korrektse ekspressiooni tagamine.

See võimaldab organismidel omandada uusi omadusi, näiteks kahjurite suhtes resistentsust, herbitsiidide taluvust või võimet toota kasulikke aineid nagu insuliin.

1.3 GMOde näited päriselus

GMOsid leidub laialdaselt tänapäeva biotehnoloogias ja põllumajanduses. Levinud näited hõlmavad järgmist:

- **Geneetiliselt muundatud põllukultuurid**, näiteks mais või sojaoad, mis on loodud kahjuritele vastupidavaks või keskkonnastressi taluma. Bt-mais või Roundup Ready sojaoad, mis on loodud kahjuritele vastupidavaks või herbitsiididele vastupidavaks (MON810, heaks kiidetud 1990. aastatel). (https://et.wikipedia.org/wiki/Geneetiliselt_modifitseeritud_mais)
- **GMO mikroorganismid**, mida kasutatakse ravimite, näiteks insuliini või vaktsiinide tootmiseks. Näide: E. coli, mis on konstrueeritud inimese insuliini tootmiseks (Humulin, FDA poolt heaks kiidetud 1982)
- **Uurimisorganismid**, modifitseeritud geenide funktsiooni ja haiguste mehhanismide uurimiseks.

Need näited näitavad, et GMOd ei piirdu ainult toidutootmisega, vaid mängivad laiemat rolli teaduses ja meditsiinis.

1.4 GMOde potentsiaalsed eelised

Geneetilisel modifitseerimisel on mitmeid potentsiaalseid eeliseid, mida toetavad ranged metaanalüüsid:

- Suurem saagikus (nt GM-maisi puhul +22% vastavalt 2014–2021 läbi viidud metaanalüüsidele). Allikas: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4218791/>.
- Vähenenud pestitsiidide kasutamine (-37% herbitsiidikindlate põllukultuuride puhul, 2014. aasta metaanalüüs).
- Täiustatud toiteväärtus (nt kuldne riis beetakaroteeniga A-vitamiini puuduse korral. Allikas: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4218791/>).
- Suurem vastupanuvõime keskkonnaprobleemidele (põud, soolsus, mulla stress). (Allikas: https://et.wikipedia.org/wiki/Geneetiliselt_modifitseeritud_toit).





Need eelised käsitlevad ülemaailmseid probleeme, nagu toiduga kindlustatus, kemikaalide kasutamise vähendamine põllumajanduses ja vastupanuvõime suurendamine kliimamuutustele. (Lisateave: <https://www.who.int/news-room/questions-and-answers/item/food-genetically-modified>).

1.5 Võimalikud riskid ja mured

GMOd tekitavad ka põhjendatud probleeme, mis vajavad hoolikat hindamist, mida toetavad käimasolevad ökoloogilised ja sotsiaalsed uuringud:

- Mõju bioloogilisele mitmekesisusele (nt geenivoog metsikutele sugulastele, herbitsiidikindlad "superumbrohud", mida on dokumenteeritud alates 2000. aastatest; uuritakse ka muude putukate kui sihtliikide mõju) (allikas: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.ado9340>).
- Võimalik geeniülekanne mitte-sihtorganismidele (horisontaalne geeniülekanne; haruldane, kuid laboritingimustes dokumenteeritud).
- Pikaajalised keskkonnamõjud (mulla mikroobikooslused, mõju mitte-sihtliikidele, näiteks monarhliikidele – arutlusel alates 1999. aasta uuringust, uuesti hinnatud aastatel 2010–2020) (allikas: <https://ecoservantsproject.org/genetically-modified-organisms-gmos-and-the-environment-impacts-benefits-and-concerns/>).
- Eetilised, sotsiaalsed ja majanduslikud kaalutlused:
 - Põllumeeste sõltuvus patenteeritud seemnetest ja litsentsilepingutest.
 - Märgistamise eeskirjad ja tarbijate aktsepteerimine (piirkonniti erinev).
 - Võrdne juurdepääs geneetiliselt muundatud tehnoloogiatele arengumaades.
 - Patendiomandi ja intellektuaalomandi küsimused.

GMOde mõistmine nõuab seega süsteemset mõtlemist, kus bioloogilisi, keskkonnavalaseid ja ühiskondlikke tegureid käsitletakse koos, mitte eraldi.

Vaata videot

Kriitilise mõtlemise ja arutelu ergutamiseks kutsutakse õpilasi vaatama lühikest videot, mis tutvustab erinevaid vaatenurki geneetiliselt muundatud organismide kohta. Video toob esile, miks GMOde mõju võib olla keeruline ja kontekstist sõltuv, toetades teadlikku analüüsi, mitte lihtsalt „poolt või vastu“ seisukohti. See ressurss valmistab õppijaid ette liitreaalsusel põhinevaks stsenaariumianalüüsiks ja otsuste langetamiseks järgmistes etappides.

Video: *Geneetiliselt muundatud organismid (GMOd) – erinevad vaatenurgad*

<https://www.youtube.com/watch?v=-RW5aRphVFw>





1.6 Miks on modelleerimine ja liitreaalsus GMODE mõistmiseks kasulikud

Geneetilise muundamise mõjud on sageli nähtamatud ja ilmnevad aja jooksul, mistõttu on neid raske mõista ainult staatiliste piltide või teksti abil. Modelleerimine ja liitreaalsus (AR) aitavad visualiseerida selliseid protsesse nagu geenide sisestamine, omaduste avaldumine ja võimalikud keskkonnainteraaktsioonid.

GMO-dega seotud stsenaariumide uurimise abil AR-põhiste testide ja interaktiivsete mudelite abil saavad õpilased paremini mõista põhjus-tagajärg seoseid ning hinnata erinevaid tulemusi. See valmistab õppijaid ette kriitiliseks osalemiseks harjutustes ja mõtisklemiseks selle üle, kuidas biotehnoloogiaalased otsused mõjutavad reaalseid süsteeme.

Näide: AR-slaid näitab GMO-maisi saagikust ja pestitsiidide kasutamise muutusi. Õpilased simuleerivad stsenaariume, hindavad tulemusi ja arendavad harjutustegevuste jaoks kriitilist mõtlemist. <https://bios4you.infoproject.eu/how-delightex-ar-is-transforming-stem-education-classroom-practices-and-teaching-tips/>)

Visuaalne kokkuvõte: GMO-de eelised ja riskid

Järgnev visuaalne kokkuvõte esitab geneetiliselt muundatud organismide kohta sageli arutletud potentsiaalseid eeliseid ja riske. Seda kasutatakse pigem arutelu- ja analüüsivahendina süsteemse mõtlemise toetamiseks kui konkreetse seisukoha propageerimiseks. Õpilasi julgustatakse punkte võrdlema, kompromisse leidma ja kaaluma, kuidas erinevad kontekstid (keskkonna-, majandus- ja sotsiaalne) mõjutavad GMODE kasutamise hindamist.

✓ Benefits of GMOs	Risks of GMOs ✗
Nutritional value of foods could be improved (e.g. by introducing proteins, vitamins or vaccines)	New traits could cause adverse health reactions (e.g. new proteins may cause allergic responses)
Crops can be produced that lack known allergens	Removal of traits could have unknown effects
Crops can grow in arid conditions for better yield (e.g. by introducing drought resistant genes)	Crops may limit biodiversity of local environment (increased competition with native species)
GM crops can produce herbicides to kill pests	Cross pollination could lead to 'super weeds'
Improve food supply / agriculture in poor countries (GM crops can be engineered for improved yields)	Patents restrict farmers from accessing GM seeds (biotech companies hold monopolies over crop use)
GM crops may have longer shelf lives (less spoil)	Foods with GM components may not be labeled
Reduces economic costs and carbon footprint – less need for land clearing and pesticide usage	Different governments may have conflicting regulatory standards concerning safe usage

(Allikas: <https://old-ib.bioninja.com.au/standard-level/topic-3-genetics/35-genetic-modification-and-gmo-debate.html>)





1.7 Küsimused refleksiooniks

- Mille poolest erinevad GMOd traditsioonilise aretuse teel loodud organismidest?
- Millised GMO-de eelised tunduvad kõige olulisemad ja miks?
- Millised potentsiaalsed riskid vajavad edasist uurimist?
- Miks on oluline arvestada keskkonna- ja ühiskondlike mõjudega koos?
- Kuidas modelleerimine ja liitreaalsus aitavad selgitada keerulisi biotehnoloogia teemasid?

Käivita

2. GMOde mõju modelleerimine ja analüüsimine bioinspireeritud disaini abil

Sisse**Käivita**Selles etapis rakendavad õpilased oma teadmisi geneetiliselt muundatud organismidest, uurides, kuidas looduslikud bioloogilised protsessid inspireerivad praktilisi lahendusi reaalsetele probleemidele. Geneetiline muundamine ise põhineb looduses juba eksisteerivate mehhanismide, näiteks geenide ekspressiooni, kohanemise ja pärilikkuse vaatlemisel ja kasutamisel. Selles etapis uurivad õppijad, kuidas neid loomulikke võimeid biotehnoloogias kasutatakse organismide kujundamiseks kindlate tunnustega ning kuidas sellised kujundused võivad mõjutada ökosüsteeme ja inimkeskkonda.

2.1 Bioinspiratsioon: õppimine looduslikest geneetilistest protsessidest

Loodus kohandub pidevalt geneetilise varieerumise ja valiku kaudu. Geenitehnoloogia tugineb neile looduslikele põhimõtetele, viies organismi genoomi sisse sihipäraseid muudatusi. Tudengid analüüsivad, kuidas ühe geeni muutmine võib kaasa tuua nähtavaid tunnuseid, näiteks kahjurikindluse või parema taluvuse keskkonnastressi suhtes.

See bioloogiast inspireeritud lähenemisviis aitab õppijatel mõista, et GMOsid ei looda juhuslikult, vaid need on loodud bioloogiliste teadmiste põhjal. Õpilased keskenduvad seostele ...**geneetiline muutus** → **organismi tunnus** → **keskkonnamõju**, mis on oluline nii biotehnoloogia eeliste kui ka riskide hindamiseks.

2.2 Liitreaalsuse kasutamine õpieesmärkide saavutamiseks





Liitreaalsusel (AR) on selle õppeüksuse peamise eesmärgi toetamisel võtmeroll: GMOde mõju mõistmine modelleerimise ja analüüsi, mitte meeldejätmise kaudu. AR-rakendused võimaldavad õpilastel visualiseerida geneetilise muundamise protsesse ja nende tagajärgi selgel ja interaktiivsel viisil.

Selles üksuses toetab liitreaalsus õppimist, võimaldades õpilastel:

- uurima **põhjus-tagajärg seosed** geneetiliste muutuste ja organismi omaduste vahel,
- visualiseerima **nähtamatuid protsesseid**, näiteks geenide sisestamine ja ekspressioon,
- suhelda **stsenaariumipõhised keskkonnad** mis näitab potentsiaalset mõju põllumajandusele ja ökosüsteemidele.

Selle etapi kasulike liitreaalsuse funktsioonide hulka kuuluvad:

- interaktiivsed AR-stsenaariumid manustatud küsimustega,
- visuaalsed kihid, mis näitavad muutusi enne ja pärast geneetilist modifitseerimist,
- kohene tagasiside ja punktiarvestus AR-põhistes testides,
- lihtsad liitreaalsuse loomise tööriistad (nt Delightex) õpilaste loodud stsenaariumide jaoks.

Need omadused muudavad liitreaalsuse passiivse visuaalse abivahendi asemel mõtlemis- ja modelleerimisvahendiks.

2.3 Praktilised harjutused ja globaalse õppimise näited

Selles etapis tegelevad õpilased praktiliste tegevustega, mis on inspireeritud bioloogilistest õppemeetoditest, mida kasutatakse kogu maailmas STEM-i ja biotehnoloogia hariduses. Sarnaseid AR-põhiseid modelleerimistegevusi rakendatakse tavaliselt, et aidata õppijatel mõista keerukaid süsteeme ja hinnata tehnoloogilisi mõjusid.

Näited praktilistest tegevustest hõlmavad järgmist:

- analüüsides AR-põhist testi, mis modelleerib GMO-stsenaariume ja nende tulemusi,
- erinevate geneetilise muundamise strateegiate ja nende võimalike mõjude võrdlemine,
- lihtsate AR-stseenide loomine, mis kujutavad GMO-ga seotud olukordi, selliste küsimuste väljatöötamine ja testimine, mis hindavad keskkonna- ja ühiskondliku mõju mõistmist.

Sellised tegevused peegeldavad reaalseid teaduslikke ja hariduslikke praktikaid, kus modelleerimist, simulatsiooni ja digitaalset visualiseerimist kasutatakse keerukate bioloogiliste süsteemide uurimiseks. Aktiivselt liitreaalsuse stsenaariumidega tegeledes ja oma sisu luues liiguvad õpilased kontseptsioonide mõistmiselt nende rakendamise ja hindamiseni sisukates kontekstides.





Täiustama

3. GMOde mõjude mõistmise tugevdamine liitreaalsuse kaudu

SisseTäiustamafaasis kasutatakse liitreaalsust (AR), et süvendada õpilaste arusaamist geneetiliselt muundatud organismidest, muutes abstraktsed ja keerulised protsessid interaktiivseteks õpikogemusteks. GMO-dega seotud muutused toimuvad sageli geneetilisel tasandil ja mõjutavad süsteeme aja jooksul, mistõttu on neid raske traditsiooniliste õpetamise meetodite abil mõista. AR pakub võimsat viisi nende protsesside visualiseerimiseks ja nende laiema mõju uurimiseks.

3.1 Kontseptuaalse mõistmise süvendamine liitreaalsuse kaudu

Liitreaalsus võimaldab õpilastel uurida geneetilist muundamist dünaamilise protsessina, mitte staatilise kontseptsioonina. Liitreaalsuse stsenaariumidega suheldes saavad õppijad jälgida, kuidas geneetilised muutused viivad organismide konkreetsete tunnuste tekkeni ja kuidas need tunnused võivad mõjutada põllumajandussüsteeme ja ökosüsteeme.

AR-põhise visualiseerimise abil saavad õpilased:

- uurige geneetilisi muutusi samm-sammult,
- jälgida erinevusi modifitseeritud ja modifitseerimata organismide vahel,
- uurida ühe geneetilise modifikatsiooni mitmeid võimalikke tulemusi.

See interaktiivne lähenemine toetab sügavamalt kontseptuaalset mõistmist ja aitab õpilastel seostada bioloogilisi mehhanisme reaalsete tagajärgedega.

3.2 Keeruliste süsteemide ligipääsetavamaks muutmine

GMOde mõju hõlmab sageli omavahel seotud süsteeme, nagu toiduahelad, ökosüsteemid ja inimtegevus. Liitreaalsus toetab süsteemset mõtlemist, võimaldades õpilastel neid seoseid integreeritud viisil visualiseerida.

Kihilise AR-sisuga suheldes saavad õppijad:

- tuvastada põhjus-tagajärg seoseid,
- mõista, kuidas muutused süsteemi ühes osas mõjutavad teisi,
- uurida kompromisse eeliste ja riskide vahel.

See teeb liitreaalsuse eriti sobivaks biotehnoloogia teemade keerukuse käsitlemiseks, kus lihtsatest vastustest harva piisab.





3.3 Kaasatuse ja aktiivse osalemise suurendamine

Liitreaalsus julgustab õpilasi õppimises aktiivselt osalema. Passiivse teabe vastuvõtmise asemel suhtlevad õppijad stsenaariumidega, vastavad küsimustele ja testivad oma arusaamist. Kui õpilased loovad oma liitreaalsusel põhinevaid küsimusi või stsenaariume, suureneb kaasatus veelgi, kuna nad võtavad vastutuse nii sisu kui ka hindamise eest.

AR-i koostööl põhinev kasutamine toetab ka arutelu ja üksteiselt õppimist. Õpilased võrdlevad tõlgendusi, põhjendavad oma valikuid ja mõtisklevad GMOde kasutamise ja reguleerimisega seotud erinevate vaatenurkade üle.

3.4 AR-tööriistade praktiline integreerimine

Selles õppeüksuses kasutatakse liitreaalsuse tööriistu, näiteks **Delightex** kasutatakse uurimise, hindamise ja loomise toetamiseks. AR-i integreerimise praktilised viisid on järgmised:

- AR-põhiste testide kasutamine koos punktisüsteemiga esialgse arusaamise hindamiseks,
- selgitava teksti ja küsimuste otse AR-stseenidesse manustamine,
- võimaldades õpilastel kujundada lihtsaid liitreaalsuse stsenaariume, mis modelleerivad GMO mõjusid,
- AR-projektide kasutamine arutelu alustajate ja refleksioonivahenditena.

Need tavad on kooskõlas sellega, kuidas liitreaalsust (AR) kasutatakse üha enam STEM-hariduses kogu maailmas, et toetada uurimist, modelleerimist ja tõenduspõhist arutelu.

3.5 Mõtiskluse ja edasise uurimise soodustamine

Täiustusfaas toetab refleksiooni, julgustades õpilasi hindama nii tehnoloogiat kui ka teemat ennast. Õpilased mõtisklevad selle üle, kuidas liitreaalsus mõjutab nende arusaama GMOdest ja kuidas digitaalne modelleerimine saab toetada teadlikku otsuste langetamist teaduses ja ühiskonnas.

Bioloogiliste teadmiste, liitreaalsuse tehnoloogia ja reaalse maailma väljakutsete sidudes julgustab see etapp õpilasi jätkama biotehnoloogia teemade uurimist ka väljaspool õppeüksust ning tegelema kriitiliselt tekkivate teaduslike uuendustega.

Kokkuvõte

See õppeüksus uuris geneetiliselt muundatud organisme, kombineerides bioloogilisi teadmisi modelleerimise ja liitreaalsusega. Uurimise, teostamise ja täiustamise etappide kaudu analüüsisid õpilased, kuidas geneetilised modifikatsioonid mõjutavad organisme, ökosüsteeme ja ühiskonda, rakendades samal ajal bioloogilist ja süsteemset mõtlemist. Liitreaalsuse





tööriistade kasutamine toetas keerukate protsesside visualiseerimist, soodustas eeliste ja riskide kriitilist hindamist ning tugevdas õpilaste arusaama biotehnoloogiast kui reaalsete lahenduste peamisest edasiviivast jõust, inspireerides edasist uurimist geenitehnoloogia ja selle mõju kohta.

Faas	Kirjeldus
Avasta	- Uurimistöö ja avastamine: Õpilased uurivad, mis on geneetiliselt muundatud organismid, kuidas geneetiline muundamine toimib ja miks GMO-del võib olla organismidele, ökosüsteemidele ja ühiskonnale keeruline mõju.
	- Sisu arendamine: õppijad omandavad alusteadmised tekstide, diagrammide ja visuaalsete näidete abil, analüüsides GMO-dega seotud eeliseid, riske ja eetilisi kaalutlusi.
	- Vajaduste analüüs: õpilased tuvastavad nähtamatute geneetiliste protsesside ja pikaajaliste keskkonnamõjude mõistmisega seotud väljakutseid, tunnistades vajadust modelleerimise ja liitreaalsusel põhinevate visualiseerimisvahendite järele.
Käivita	- Õppekava rakendamine: Õpilased rakendavad bioloogilisi teadmisi, analüüsides bioloogiliselt inspireeritud geneetilisi protsesse ja modelleerides GMOde mõju interaktiivsete liitreaalsuspõhiste tegevuste kaudu.
	- Interaktiivsed harjutused: õppijad sooritavad oma arusaamise hindamiseks liitreaalsuspõhise testi, mille käigus hinnatakse tema võimekust, ning seejärel kavandavad Delightexi abil lihtsaid liitreaalsuse stsenaariume ja GMO-teemalisi küsimusi.
	- Tagasiside kogumine: Õpilased saavad automaatset tagasisidet AR-testi kaudu ning eakaaslaste/õpetaja tagasisidet arutelu ja AR-projekti loomise ajal.
Täiustamine	- AR-i integreerimine: õpilased kasutavad AR-tööriistu geneetiliste muundamisprotsesside visualiseerimiseks, tulemuste võrdlemiseks ja omavahel seotud süsteemide, näiteks põllumajanduse ja ökosüsteemide uurimiseks.
	- Interaktiivne õpe: õppijad suhtlevad liitreaalsuse stsenaariumidega, analüüsivad tulemusi ja arutavad GMOde kasutamise ja mõju erinevaid vaatenurki.
	Mängustatud sisu: • Punktid ja skoorid: Antakse AR-põhise testi ajal automaatselt. • Märgid: AR-loomeülesannete täitmiseks ja sisukate küsimuste väljatöötamiseks. • Väljakutsed: Õpilased võrdlevad stsenaariume ja hindavad kasu ja riskide vahelisi kompromisse.
	AR-põhised hinnangud Mõistmist demonstreeritakse testi soorituse, õpilaste loodud küsimuste kvaliteedi ja AR-visualiseerimise toel toimuva refleksiivse arutelu kaudu.





Viited

- **BioNinja** (IB **bioloogia**). GMO-debatt – eelised ja riskid. <https://old-ib.bioninja.com.au/standard-level/topic-3-genetics/35-genetic-modification-and/gmo-debate.html>
- Bios4You. (2025). Kuidas Delightex AR muudab STEM-haridust: klassiruumis töötamise ja õpetamisnippid. <https://bios4you.infoproject.eu/how-delightex-ar-is-transforming-stem-education-classroom-practices-and-teaching-tips/>
- **Tasutapik**. Geneetiliselt muundatud organismid – isomeetriline vooskeem. https://www.freepik.com/free-vector/genetically-modified-organism-isometric-vector_6169690.htm (Kasutatakse hariduslikel eesmärkidel)
- Delightex. Delightex Edu platvorm. <https://edu.delightex.com/>
- ÜRO Toidu- ja Põllumajandusorganisatsioon. (2020). Toidu ja põllumajanduse olukord 2020. aastal: veeprobleemide ületamine põllumajanduses. FAO. <https://www.fao.org/documents/card/en/c/ca9692en>
- Rahvusvaheline põllumajandusbiotehnoloogiliste rakenduste omandamise teenus. (2024). Kommertseeritud biotehnoloogiliste/GM-kultuuride globaalne olukord 2023. aastal. ISAAA lühiülevaade nr 57. <https://www.isaaa.org/resources/publications/briefs/57/default.asp>
- Khani Akadeemia. Geenitehnoloogia. <https://www.khanacademy.org/science/ap-biology/gene-expression-and-regulation/biotechnology/a/genetic-engineering>
- Klümper, W. ja Qaim, M. (2014). Geneetiliselt muundatud põllukultuuride mõjude metaanalüüs. PLOS ONE, 9(11), e111629. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0111629>**
- Riiklik Inimese Genoomi Uurimisinstituut. (2026). Geneetiliselt muundatud organism (GMO). <https://www.genome.gov/genetics-glossary/Genetically-Modified-Organism-GMO>
- Riiklik Meditsiiniraamatukogu. (2024). Geneetiliselt muundatud organismid - GMOd. MedlinePlus. <https://medlineplus.gov/ency/article/002432.htm>
- OpenStax. (2022). Bioloogia 2. klass. OpenStax. <https://openstax.org/books/biology-2e/pages/15-4-genetic-engineering>
- Qaim, M. (2020). Uute taimekasvatustehnoloogiate roll toiduga kindlustatuse ja säästva põllumajanduse arengu tagamisel. Applied Economic Perspectives and Policy, 42(2), 129–150. <https://doi.org/10.1002/aepp.13044>
- PASSel – Nebraska ülikool – Lincoln. Taimede geneetilise muundamise protsess. <https://passel2.unl.edu/view/lesson/7f79e74ec2cd/8>
- Trower, N. (ilma kuupäevata). Taimede geneetilise muundamise protsess [Pilt]. Nebraska-Lincolni Ülikool PASSel. <https://passel2.unl.edu/view/lesson/7f79e74ec2cd/8>
- Maailma Terviseorganisatsioon. (2024). Geneetiliselt muundatud toit. <https://www.who.int/news-room/questions-and-answers/item/food-genetically-modified>





- YouTube. Mis on geneetiliselt muundatud organismid (GMOd)? <https://www.youtube.com/watch?v=jYjvJyEMHZ4>
- YouTube. Geneetiliselt muundatud organismid (GMOd) – erinevad vaatenurgad. <https://www.youtube.com/watch?v=-RW5aRphVFw>
- Vikipeedia kaastöölised. (2026). Geneetiliselt muundatud mais. Vikipeedia. https://et.wikipedia.org/wiki/Geneetiliselt_modifitseeritud_mais
- Vikipeedia kaastöölised. (2026). Geneetiliselt muundatud organism. Vikipeedia. https://et.wikipedia.org/wiki/Geneetiliselt_modifitseeritud_organism

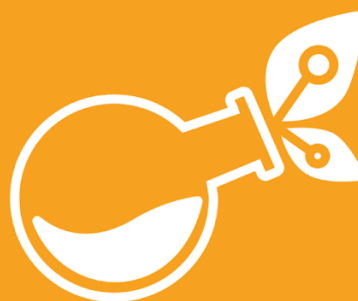
Selle õppeüksuse väljatöötamisel kasutati sisu koostamise, uurimistöö sünteesi ja allikmaterjalide korraldamise toetamiseks tehisintellektil põhinevaid tööriistu (ChatGPT, Perplexity AI ja NotebookLM):

- Avatud tehisintellekt. (2024). *VestlusGPT* (suur keelemudel). <https://chat.openai.com>
- Hämmingus tehisintellekt. (2024). *Hämmingus tehisintellekt* [Tehisintellektil põhinev otsingu- ja uurimisassistent]. <https://www.perplexity.ai>
- Google. (2024). *MärkmikLM* [Tehisintellektil põhinev uurimis- ja märkmete tegemise tööriist]. <https://notebooklm.google.com>





Co-funded by
the European Union



BIOS4YOU AR 2.0

BIO-INSPIRED STEM TOPICS FOR ENGAGING YOUNG GENERATIONS
THANKS TO THE USE OF AUGMENTED REALITY



Project Number: KA220-BW-23-30-126516

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.