



Co-funded by
the European Union

Kuidas tehisintellekt mõistab bioloogiat?



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."

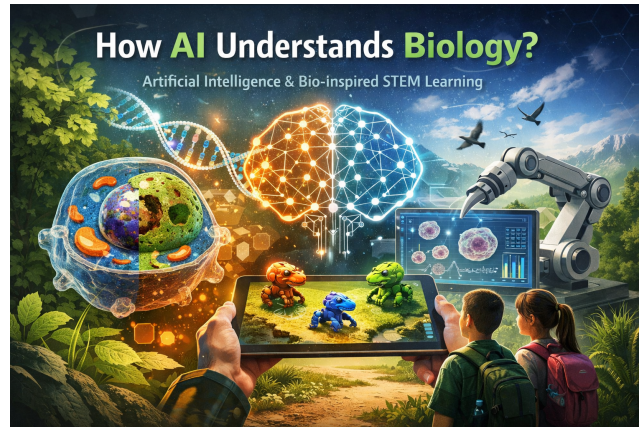




SISUKORD

Sissejuhatus	3
Avasta	3
1. Kuidas tehisintellekt mõistab bioloogiat?	3
1.1 Bioloogia kui andmestik: elussüsteemidest digitaalse informatsioon	3
1.2 Mida tähendab „mõistmine“ tehisintellekti jaoks?	4
1.3 Looduselt õppimine: bioinspiratsioon ja tehisintellekt	4
1.4 Miks on tehisintellekt oluline kaasaegses bioloogias?	5
1.5 Kokkuvõte	5
Tee	6
2. Bioinspireeritud tehisintellekti uurimine interaktiivsete tegevuste kaudu	6
2.1 Bioinspiratsioon: õppimine loodusest	6
2.2 Kuidas liitreaalsus toetab õpieesmärke	6
2.3 Praktilised tegevused (ülevaade näidetega)	7
2.4. Kokkuvõte	7
Täienda	7
3. Õppimise süvendamine liitreaalsuse abil	7
3.1 Kuidas liitreaalsus parandab arusaamist tehisintellektist ja bioloogiast	8
3.2 Delightex Edu kui tõhus liitreaalsuse õppevahend	8
3.3 Mängustamine ja interaktiivne õppimine	8
3.4 AR-põhine hindamine ja refleksioon	9
3.5 Kokkuvõte	9
Kokkuvõte:	9
Viited:	10





Allikas: tehisintellekti loodud pilt

Õpiraja üldteema	Tehisintellekt ja bioinspireeritud STEM-õpe
Õpiüksuse nimetus konkreetne	Kuidas tehisintellekt mõistab bioloogiat?
Sihtgrupi vanus	14-18 aastat
Õppija eeltingimused	Põhiteadmised bioloogiast (rakud, süsteemid, geneetika alused). Põhiline digipädevus ja oskus kasutada arvutit, tahvelarvutit või nutitelefonit. Ligipääs internetiühendusega seadmele. Varasemad teadmised tehisintellektist, programmeerimisest või liitreaalsusest ei ole vajalikud.
Õpiüksuse kirjeldus	See interdistsiplinaarne õpiüksus tutvustab õpilastele, kuidas tehisintellekt tõlgendab bioloogilisi süsteeme, õppides loodusest. Bioinspireeritud STEM-lähenemise ja liitreaalsuse tööriistade abil uurivad õpilased, kuidas bioloogilisi struktuure ja protsesse saab muuta andmeteks, mustriteks ja mudeliteks, mida tehisintellekti süsteemid analüüsivad. Õpiüksus ühendab teoreetilise uurimise interaktiivsete AR-põhiste tegevustega, mis on loodud Delightex Edu keskkonnas, et toetada arusaamist, kaasatust ja praktilist rakendamist.
Õppeaine(d) / kaasatud osapooled	Bioloogia, informaatika / digipädevus, tehnoloogia, matemaatika, STEM-haridus





Võttesõnad	Tehisintellekt (AI), bioloogia, bioinspiratsioon, mustrituvastus, närvivõrgud, evolutsioonilised algoritmid, liitreaalsus (AR), Delightex Edu, STEM-õpe
Omandatavad põhikompetentsid, oskused ja teadmised	• Arusaam sellest, kuidas tehisintellekt analüüsib bioloogilisi andmeid ja süsteeme. • Teadlikkus bioinspireeritud põhimõtetest, mis on AI-tehnoloogiate aluseks. • Kriitiline ja süsteemne mõtlemine. • Digipädevus ja kindlus AR-tööriistade kasutamisel. • Probleemilahendus- ja analüüsioskused. • Oskus seostada bioloogilisi mõisteid reaalse maailma tehnoloogiliste rakendustega.
Kasutatavad ressursid ja didaktilised vahendid	• AR-võimekusega mobiilseadmed või tahvelarvutid. • Internetiühendusega arvutid. • Delightex Edu (endine CoSpaces Edu) AR/VR-platvorm. • 3D-mudelid, interaktiivsed AR-stseenid ja visuaalsed simulatsioonid. • Toetavad videod, pildid ja õpetaja koostatud materjalid.
Hindamiskriteeriumid ja hindamine	• Aktiivne osalemine aruteludes ja AR-põhistes tegevustes. • Interaktiivsete ülesannete ja harjutuste täitmine Delightex Edu keskkonnas. • Õpilaste võime selgitada mõisteid ja luua seoseid bioloogia ning tehisintellekti vahel. • Reflektiivne arutelu ja kujundav tagasiside tegevuste ajal ja järel.





Sissejuhatus

See õpiüksus tutvustab õpilastele, kuidas tehisintellekt tõlgendab bioloogilisi süsteeme, õppides loodusest. Bioinspireeritud STEM-lähenemise ja liitreaalsuse kasutamise kaudu uurivad õpilased bioloogia ja tehisintellekti vahelist seost, saades arusaama sellest, kuidas keerukaid elusprotsesse saab digitehnoloogiate abil analüüsida, modelleerida ja mõista.

Avasta

1. Kuidas tehisintellekt mõistab bioloogiat?

Selles osas tutvustatakse õpilastele põhiideed, et tehisintellekt (AI) ei mõista bioloogiat samal viisil nagu inimesed. Selle asemel tõlgendab AI bioloogilisi süsteeme andmete, mustrite ja matemaatiliste esitusviiside kaudu.

Selle **Avasta-etapi** eesmärk on aidata õppijatel luua kontseptuaalne alus arusaamale, kuidas bioloogiline informatsioon muudetakse digitaalseks andmestikuks ning kuidas AI-süsteemid õpivad selles andmestikus ära tundma struktuure, seoseid ja seaduspärasusi.

1.1 Bioloogia kui andmestik: elussüsteemidest digitaalse informatsioon

Traditsiooniliselt keskendub bioloogia elussüsteemide, nagu rakud, koed, elundid, organismid ja ökosüsteemid, uurimisele. Digitehnoloogiate kiire arengu tõttu esitatakse neid elussüsteeme üha enam andmetena, mida saab arvutites salvestada, töödelda ja analüüsida.

Tehisintellekti vaatenurgast:

- **DNA** esitatakse pikkade tähtede jadadena (A, T, C, G); näiteks analüüsib AI järjestusi, et ennustada regulatoorseid motive või splaissimise kohti.
- **Valgud** kirjeldatakse aminohapete ahelate ja 3D-struktuuridena; näiteks määrab AlphaFoldi mudel valguga 3D-kuju selle järjestuse põhjal, võimaldades kavandada uusi ravimiarenduses kasutatavaid valke.
- **Mikroskoopilised kujutised** muutuvad piksli põhiseks visuaalseks andmestikuks.
- **Bioloogilised koostoimed** teisendatakse võrgustikeks ja mudeliteks; näiteks geeniregulatsioonivõrgustikud, kus AI tuvastab, „kes mida reguleerib“ geenide ja signaalmolekulide vahel.

AI-süsteemid ei vaata elu otseselt; selle asemel töötavad nad bioloogiliste protsesside digitaalsete esitusviisidega. Töödeldes suuri bioloogiliste andmete koguseid, suudab AI tuvastada seoseid ja mustreid, mida inimestel oleks käsitsi keeruline või võimatu märgata.





Oluline mõte õpilastele:

AI vaatenurgast muutub bioloogia informatsiooni, struktuuri ja seoste kombinatsiooniks.

1.2 Mida tähendab „mõistmine“ tehisintellekti jaoks?

Kui inimesed mõistavad bioloogiat, tuginevad nad tähendusele, kontekstile, kogemusele ja loogilisele arutlusele. Tehisintellekt toimib aga teistmoodi.

AI jaoks tähendab „mõistmine“ järgmist:

- õppimine näidete ja andmestike põhjal;
- mustrite ja sarnasuste äratundmine;
- prognooside tegemine tõenäosuste alusel.

AI-süsteeme treenitakse suurte märgistatud bioloogiliste andmekogude abil. Näited:

- Tuhanded rakupildid õpetavad AI-d eristama terveid rakke haigetest, näiteks vähitunnuste tuvastamine patoloogiapiltidel.
- Geneetilised andmestikud aitavad AI-l tuvastada mutatsioone, mis on seotud konkreetsete haigustega, näiteks haigusriskide ennustamine genoomika ja „oomika“ andmete põhjal.
- Bioloogilisi signaale analüüsitakse funktsionaalsete tulemuste ennustamiseks, näiteks kuidas mutatsioonid või ravimid muudavad geenide aktiivsust rakkudes.

Seda protsessi nimetatakse mustrituvastuseks. AI ei mõtle ega arutle nagu inimteadlane; selle asemel töötleb ta infot väga suurel kiirusel ja tuvastab statistilisi seoseid.

Oluline täpsustus õpilastele:

AI ei „mõtle“ ega „mõista“ inimlikus tähenduses, kuid suudab bioloogilisi andmeid analüüsida erakordse kiiruse ja täpsusega.

1.3 Looduselt õppimine: bioinspiratsioon ja tehisintellekt

Huvitaval kombel on paljud tehisintellekti süsteemid ise inspireeritud bioloogiast. Seda lähenemist nimetatakse **bioinspiratsiooniks**, kus looduslikud protsessid toimivad tehnoloogiliste lahenduste mudelitena.

Näited:

- **Tehisnärvivõrgud**, mis on inspireeritud inimese aju neuronite ehitusest ja toimimisest.
- **Evolutsioonilised algoritmid**, mis matkivad looduslikku valikut, parandades lahendusi järk-järgult variatsiooni ja selektsiooni kaudu.





- **Iseorganiseeruvad süsteemid**, mis on modelleeritud bioloogiliste süsteemide järgi, mis kohanevad muutuvate keskkonnatingimustega.

Need bioinspireeritud lähenemised võimaldavad AI-süsteemidel:

- õppida vigadest;
- kohaneda uute bioloogiliste andmetega, näiteks luua uusi molekule ravimidisaini jaoks;
- parandada oma tulemuslikkust aja jooksul.

Bioinspiratsioon loob tugeva kontseptuaalse silla bioloogia, tehisintellekti ja inseneeria vahel, rõhutades tänapäevase STEM-hariduse interdistsiplinaarset iseloomu.

1.4 Miks on tehisintellekt oluline kaasaegses bioloogias?

Kaasaegne bioloogia toodab tohutul hulgal andmeid genoomi sekveneerimise, meditsiinilise pildistamise, keskkonnaseire ja laborikatsete kaudu. Nende andmete maht ja keerukus ületavad selle, mida inimesed suudavad iseseisvalt analüüsida.

Tehisintellekt toetab kaasaegset bioloogiat järgmiselt:

- töötleb tõhusalt miljoneid geneetilisi järjestusi;
- analüüsib keerukaid meditsiinilisi ja bioloogilisi kujutisi, näiteks radioloogia- või mikroskoopiaandmeid haiguste diagnostikaks;
- modelleerib bioloogilisi protsesse, mida ei saa otseselt vaadelda, näiteks raku sisemisi mehhanisme või ainevahetusradu sünteetilises bioloogias.

AI ei asenda biolooge — see toimib võimsa analüütilise tööriistana, mis laiendab inimvõimekust ning toetab teaduslikke avastusi meditsiinis, biotehnoloogias ja keskkonnateadustes.

1.5 Kokkuvõte

Tehisintellekt ei asenda bioloogilisi teadmisi — see suurendab meie võimet elu uurida, analüüsida ja mõista.





Tee

2. Bioinspireeritud tehisintellekti uurimine interaktiivsete tegevuste kaudu

Selles osas rakendavad õpilased õpitut, uurides, kuidas loodus inspireerib tehisintellekti ning kuidas AI aitab meil paremini mõista bioloogilisi süsteeme.

Lihtsate ja interaktiivsete tegevuste kaudu, mida toetab liitreaalsus (AR) Delightex Edu keskkonnas, arendavad õppijad praktilisi oskusi, nagu vaatlemine, võrdlemine, arutlemine ja otsustamine.

2.1 Bioinspiratsioon: õppimine loodusest

Loodus pakub võimsaid näiteid tõhusatest süsteemidest, mis inspireerivad kaasaegset tehisintellekti:

- Inimese aju neuronid inspireerivad tehishärvivõrke, mis aitavad AI-l tuvastada mustreid bioloogilistes kujutistes, näiteks raku mikroskoopiapiltidel.
- Looduslik evolutsioon inspireerib algoritme, mis parandavad lahendusi aja jooksul katsetamise ja valiku kaudu (evolutsioonilised algoritmid).
- Iseorganiseeruvad bioloogilised süsteemid näitavad, kuidas keerukad struktuurid tekivad lihtsatest reeglitest, näiteks sipelgakolooniad või linnuparved.

Õpilased vaatlevad, kuidas need bioloogilised põhimõtted suunavad tehnoloogilisi lahendusi, tugevdades nende arusaamist bioinspiratsioonist.

2.2 Kuidas liitreaalsus toetab õpieesmärke

Liitreaalsus aitab õpilastel visualiseerida ja uurida abstraktseid bioloogilisi ja tehisintellekti mõisteid, mida päriselus on keeruline vaadelda.

Delightex Edu AR/VR-platvormi kasutades saab:

- kuvada interaktiivseid 3D-mudeleid rakkudest, neuronitest ja bioloogilistest struktuuridest (kasutades valmis malle või lohistamis-põhist loomist);
- näidata lihtsustatud visuaalseid selgitusi mustrituvastuse kohta animatsioonide abil;
- juhendada õpilasi samm-sammult interaktiivsete stseenide kaudu, kasutades plokk-põhist programmeerimist (edasijõudnud programmeerimisoskused pole vajalikud);
- toetada koostööpõhist õppimist erinevates seadmetes ilma tehniliste takistusteta.

Delightexi peamised tugevused: AR-visualiseerimine, 3D-maailmade loomine, STEM-hariduseks sobivad õppešabloonid.





2.3 Praktilised tegevused (ülevaade näidetega)

Tegevus 1: Mustrite äratundmine rakkudes

Kirjeldus: Õpilased uurivad liitreaalsuses interaktiivseid 3D-rakumudeleid (terved vs haiged rakud) ning vaatlevad erinevusi kuju, suuruse ja struktuuri osas.

Ülesanne: Kasutada Delightexi AR-vaaturit rakkude pööramiseks ja suurendamiseks; märkida visuaalsed tunnused, mida AI kasutaks klassifitseerimiseks.

Bioinspireeritud mõiste: Inimese visuaalne tajutaju → arvutinägemise mustrituvastus.

Näide: Kasutada Delightexi galerii olemasolevaid bioloogia AR-malle.

Tegevus 2: Närvivõrgu mudeli uurimine

Kirjeldus: Delightexis loodud AR-steeni kaudu suhtlevad õpilased lihtsustatud närvivõrguga (ühendatud sõlmed/sfäärid).

Ülesanne: Aktiveerida sisendsõlmed, jälgida info liikumist ühenduste kaudu ning vaadelda, kuidas kaalud muudavad tulemusi (plokk-koodiga animatsioon).

Bioinspireeritud mõiste: Bioloogilised neuronid ja sünaptiline õppimine.

Näide: Õpetaja loodud mall Delightexi plokk-programmeerimise abil.

Tegevus 3: Evolutsioon kui õppimisstrateegia

Kirjeldus: Õpilased osalevad AR-simulatsioonis, kus virtuaalsed „olendid“ konkureerivad, kohanevad ja arenevad põlvkondade jooksul.

Ülesanne: Muuta parameetreid (kiirus, suurus), käivitada simulatsioone ning jälgida loodusliku valiku põhimõtteid toimimas.

Bioinspireeritud mõiste: Evolutsioon ja kohastumine → geneetilised algoritmid tehisintellektis.

Näide: Kohandada Delightexi evolutsiooni või konkurentsi teemalisi malle.

2.4. Kokkuvõte

Kasutades bioinspireeritud näiteid ja Delightex Edu põhiseid AR-tegevusi (veebi ja mobiili kaudu ligipääsetavad), liiguvad õpilased teooriast praktikasse.

Nad kogevad, kuidas tehisintellekt õpib loodusest ja rakendab bioloogilisi põhimõtteid lihtsal, intuitiivsel ja interaktiivsel viisil – mis sobib suurepäraselt STEM-klassiruumi keskkonda

Täiendada

3. Õppimise süvendamine liitreaalsuse abil

Täiendada-osas selgitatakse, kuidas liitreaalsus (AR) tugevdab õpikogemust, süvendades arusaamist, suurendades kaasatust ja toetades aktiivset osalemist.





AR-i ei kasutata lisavahendina, vaid pedagoogilise tööriistana, mis aitab õpilastel visualiseerida keerukaid bioloogilisi ja tehisintellektiga seotud mõisteid tähenduslikul ja arusaadaval viisil.

3.1 Kuidas liitreaalsus parandab arusaamist tehisintellektist ja bioloogiast

Paljud bioloogias ja tehisintellektis toimuvad protsessid on nähtamatud, abstraktsed või liiga keerukad, et neid traditsioonilises klassiruumis otseselt vaadelda. Liitreaalsus (AR) aitab seda lõhet ületada, muutes abstraktsed ideed interaktiivseteks visuaalseteks kogemusteks.

AR-toega õppimise kaudu saavad õpilased:

- visualiseerida bioloogilisi struktuure (rakud, neuronid, võrgustikud) kolmemõõtmeliselt;
- näha seoseid ja ühendusi, mitte ainult eraldiseisvaid fakte;
- uurida, kuidas väikesed muutused mõjutavad keerukaid süsteeme;
- õppida katsetamise ja tagasiside kaudu, mitte pelgalt meeldejätmise teel.

Selline lähenemine toetab sügavamat kontseptuaalset mõistmist ja pikaajalist teadmiste kinnistumist.

3.2 Delightex Edu kui tõhus liitreaalsuse õppevahend

Delightex Edu sobib selle õpiüksuse jaoks eriti hästi, kuna ühendab lihtsuse ja loova vabaduse.

Delightexi kasutades saavad õpilased ja õpetajad:

- luua ja uurida interaktiivseid 3D-stseene, mis on seotud bioloogia ja tehisintellektiga;
- kasutada lohistamis-põhiseid tööriistu ja plokk-programmeerimist ilma eelneva programmeerimiskogemusega;
- kasutada valmis STEM-malle, mida saab kohandada erinevatele õppetasetele;
- kogeda sisu AR- või VR-keskkonnas, sõltuvalt olemasolevatest seadmetest.

Platvorm võimaldab õpilastel olla aktiivsed loojad, mitte ainult passiivsed vaatlejad, tugevdades motivatsiooni ja vastutustunnet oma õppimise eest.

3.3 Mängustamine ja interaktiivne õppimine

Delightexi AR-põhised tegevused toetavad loomulikult mängustatud õppimise elemente, mis suurendavad kaasatust ja aktiivset osalemist:

- punktid ja tagasiside ülesannete täitmise või õigete tähelepanekute eest;
- väljakutsed, mis julgustavad avastamist ja probleemide lahendamist;
- koostööpõhised ülesanded, mis arendavad meeskonnatööd ja suhtlemisoskusi;
- visuaalsed tunnustused, mis kinnistavad edenemist ja saavutusi.

Mängustamine aitab hoida fookust ning toetab olulisi pädevusi, nagu kriitiline mõtlemine, koostöö ja digipädevus.





3.4 AR-põhine hindamine ja refleksioon

Liitreaalsus võimaldab kasutada hindamisel alternatiivseid vorme lisaks traditsioonilistele testidele.

AR-põhiste tegevuste kaudu saavad õpilased:

- näidata oma arusaamist mudelite ja simulatsioonidega suheldes;
- selgitada oma otsuseid ja tähelepanekuid tegevuse käigus või pärast seda;
- reflekteerida, kuidas bioinspireeritud põhimõtted rakenduvad tehisintellekti süsteemides.

Õpetajad saavad kasutada vaatlust, arutelu ja AR-ülesannete täitmist kujundava hindamise vahenditena, saades parema ülevaate õpilaste mõistmisest ja arutlusprotsessidest.

3.5 Kokkuvõte

Lõimides liitreaalsuse Delightex Edu kaudu, muudab see õpiüksus abstraktsed mõisted käegakatsutavateks õpikogemusteks. AR suurendab motivatsiooni, toetab kaasavat õppimist ning tugevdab seost bioloogia, tehisintellekti ja bioinspireeritud probleemilahenduse vahel. Selle tulemusena omandavad õpilased lisaks teadmistele ka ülekantavaid oskusi, mis on olulised kaasaegses STEM-hariduses.

Kokkuvõte:

See õpiüksus järgis **Avasta–Tee–Täienda** lähenemist, et tutvustada õpilastele, kuidas tehisintellekt mõistab bioloogilisi süsteeme bioinspireeritud põhimõtete kaudu. Õpilased uurisid bioloogia ja tehisintellekti vahelisi võtmemõisteid, rakendasid omandatud teadmisi praktilistes ja interaktiivsetes tegevustes ning süvendasid oma arusaamist liitreaalsuse tööriistade, eriti Delightex Edu, abil.

AR-i kasutamine muutis keerukad ja abstraktsed mõisted paremini ligipääsetavaks, toetas aktiivset kaasatust ning tugevdas seost teooria ja praktika vahel. Tõstes esile bioinspiratsiooni kui innovaatiliste lahenduste allika, julgustab see õpiüksus edasi uurima, kuidas loodusest inspireeritud tehisintellekt saab aidata lahendada päriselulisi probleeme.

Etapp	Kirjeldus
Avasta	- Uurimine ja avastamine: Õpilased uurivad, kuidas tehisintellekt tõlgendab bioloogilisi süsteeme, muutes elusstruktuurid (rakud, neuronid, geneetilised järjestused) digitaalseks andmestikuks. Nad analüüsivad, kuidas bioloogias esinevaid mustreid, seoseid ja struktuure saab AI-süsteemide abil uurida.
	- Sisu arendamine: Bioloogia, tehisintellekti ja bioinspiratsiooni põhikontseptsioonid tutvustatakse selgete selgituste ja visuaalsete näidete kaudu. Teemad hõlmavad bioloogiat kui andmestikku, muistrituvastust, bioinspireeritud AI-mudeleid (närvivõrgud, evolutsioon, iseorganiseerumine) ning AI rolli kaasaegses bioloogilises uurimistöös.
	- Vajaduste analüüs: Arutelude ja suunavate küsimuste kaudu kaardistatakse õpilaste varasemad teadmised bioloogiast, digipädevusest ning arusaam andmetest ja süsteemidest. See tagab, et õppetegevused on sihtrühmale (14–18-aastased) eakohased ja sobivalt toetatud.





Tee	- Õppekava rakendamine: Õpilased rakendavad teoreetilisi teadmisi praktilistes, bioinspireeritud tegevustes, mis näitavad, kuidas AI õpib loodusest. Õppimine keskendub vaatlemisele, võrdlemisele, arutlemisele ja otsustamisele, mitte tehnilisele programmeerimisele. - Interaktiivsed harjutused: Delightex Edu abil loodud liitreaalsuse tegevustes suhtlevad õpilased 3D-bioloogiliste mudelite, lihtsustatud närvivõrkude esituste ja evolutsioonist inspireeritud simulatsioonidega. Need harjutused võimaldavad uurida mustrituvastust, õppimisprotsesse ja kohastumist intuiitiivsel ja kaasahaaraval viisil. - Tagasiside kogumine: Õpilased reflekteerivad oma tähelepanekuid ja otsuseid AR-tegevuste käigus klassiarutelude, kaasõpilaste tagasiside ja õpetaja juhitud refleksiooni kaudu. AR-keskkonnas saadav vahetu visuaalne tagasiside toetab kujundavat hindamist.
Täiendada	- Interaktiivne õppimine: AR-tegevused soodustavad aktiivset õppimist avastamise, katsetamise ja koostöö kaudu. Õpilased manipuleerivad digimudelitega, muudavad muutujaid ja jälgivad süsteemseid mõjusid, arendades kontseptuaalset mõistmist ja süsteemset mõtlemist. - AR-i lõimimine: Liitreaalsust kasutatakse keerukate bioloogiliste ja AI-ga seotud mõistete visualiseerimiseks, mida on päriselus raske vaadelda. Delightex Edu võimaldab luua ja uurida interaktiivseid 3D-stseene AR- või VR-keskkonnas, toetades kaasavat ja kogemuslikku õppimist. Mängustatud sisu: • Punktid ja märgid: Õpilased teenivad punkte või visuaalseid tunnustusi ülesannete täitmise ja õigete tähelepanekute eest. • Väljakutsed ja tasemed: Tegevused on üles ehitatud progresseeruvate väljakutsetena, mille keerukus suureneb. • Koostööülesanded: Rühmapõhised AR-tegevused arendavad meeskonnatööd, suhtlemist ja ühist probleemilahendust. AR-põhine hindamine: Õpitulemusi hinnatakse õpilaste suhtluse kaudu AR-mudelitega, ülesannete täitmise ning reflektiivse arutelu põhjal. AR-põhine hindamine toetab arusaamise, kriitilise mõtlemise ja bioinspireeritud põhimõtete rakendamise demonstreerimist, mitte pelgalt meeldejätmist.

Viited:

- Lopez R, Gayoso A, Yosef N. Enhancing scientific discoveries in molecular biology with deep generative models. Mol Syst Biol. 2020 Sep;16(9):e9198. doi: 10.15252/msb.20199198. PMID: 32975352; PMCID: PMC7517326. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7517326/>
- John Carroll University (2022). How Scientists are Using AI Deep Learning in Molecular Biology? <https://blog.jcu.edu/2022/08/10/ai-deep-learning-in-molecular-biology/>
- Erbe R, Gore J, Gemmill K, Gaykalova DA, Fertig EJ. The use of machine learning to discover regulatory networks controlling biological systems. Mol Cell. 2022 Jan 20;82(2):260-273. doi: 10.1016/j.molcel.2021.12.011. Epub 2022 Jan 10. PMID: 35016036; PMCID: PMC8905511. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8905511/>



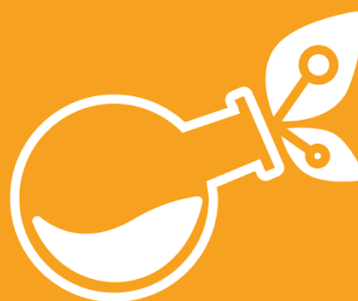


- Pesheva, E. (2024). New AI tool for cancer diagnosis. <https://news.harvard.edu/gazette/story/2024/09/new-ai-tool-can-diagnose-cancer-guide-treatment-predict-patient-survival/>
 - Zheng Y, Xue J, Yang J, Zhang Y. Bio-Inspired Neural Network Dynamics-Aware Reinforcement Learning for Spiking Neural Network. *Biomimetics* (Basel). 2026 Jan 7;11(1):47. doi: 10.3390/biomimetics11010047. PMID: 41589964; PMCID: PMC12838537. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12838537/>
 - Torun, F., & Özer Şanal, S. (2025). Evolution of Simulation Technologies: AI-Enhanced Education. *Necmettin Erbakan Üniversitesi Ereğli Eğitim Fakültesi Dergisi*, 7(Özel Sayı), 267-292. <https://izlik.org/JA84RY58RD>
 - CoSpaces Edu: AR/VR in classroom (2022) <https://www.xrpedagogy.com/en/cospaces-edu-make-ar-and-vr-in-your-classroom/>
 - Dunleavy, M., & Dede, C. (2014). Augmented reality teaching and learning. In J. M. Spector et al. (Eds.), *Handbook of Research on Educational Communications and Technology*. Springer.
 - Ibáñez, M. B., & Delgado-Kloos, C. (2018). Augmented Reality for STEM learning: A systematic review. *Computers & Education*, 123, 109–123.
 - National Research Council. (2000). *Inquiry and the National Science Education Standards*. National Academies Press.
 - U.S. Department of Education. (2016). *STEM 2026: A Vision for Innovation in STEM Education*.
 - Yen, J., Weissburg, M. J., Helms, M., & Goel, A. K. (2012). *Biology-inspired design: A tool for interdisciplinary education*. Cambridge University Press.
 - Zimmerman, B. J. (2002). Becoming a self-regulated learner: An overview. *Theory Into Practice*, 41(2), 64–70.
 - Delightex Edu (formerly CoSpaces Edu). Educational AR/VR platform for STEM learning. <https://edu.delightex.com/>
- AI-based tools (ChatGPT, Perplexity AI, and NotebookLM) were used to support content drafting, research synthesis, and organization of source materials during the development of this learning unit:
- OpenAI. *ChatGPT* (large language model). <https://chat.openai.com>
 - *Perplexity AI* [AI-powered search and research assistant]. <https://www.perplexity.ai>
 - Google *NotebookLM* [AI-powered research and note-taking tool]. <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.