



Co-funded by  
the European Union

# Biomimikri: innovatsioon ja disain on inspireeritud Loodus



**BIO4YOU**  
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.....                                                                               | 2  |
| · Mooduli uurimine: Biomimikri teoreetiline raamistik.....                                        | 3  |
| · Kuidas saame bioloogilisi teadmisi rakendada?.....                                              | 7  |
| · Mis on bioinspireeritud disaini meetod?.....                                                    | 8  |
| · Liitreaalsus (AR) biomimikri hariduses.....                                                     | 9  |
| · Mooduli teostus: Bioinspireeritud disainiprotsess liitreaalsuse (AR)<br>abil.....               | 12 |
| · AR-iga täiustatud biomimeetilise disaini praktika.....                                          | 12 |
| · Täiustusmoodul (projekтинäited liitreaalsuse tööriistu kasutades<br>biomimikri hariduses) ..... | 16 |
| · Kokkuvõte.....                                                                                  | 28 |
| · Viide.....                                                                                      | 29 |





|                                                             |                                                                                                                                                                              |
|-------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Õppetee üldine teema</b>                                 | Biomimikri: loodusest inspireeritud innovatsioon ja disain                                                                                                                   |
| <b>Õppeüksuse täpne nimetus</b>                             | Biodisain ja innovatsioon                                                                                                                                                    |
| <b>Sihtkasutaja vanus</b>                                   | 14–18-aastased                                                                                                                                                               |
| <b>Õppija eeltingimused</b>                                 | Keemia, bioloogia ja füüsika põhiteadmised                                                                                                                                   |
| <b>Õppeüksuse kirjeldus</b>                                 | See üksus juhendab õpetajaid ja õpilasi, kuidas loodust multidistsiplinaarses õppeteel kasutada. Liitreaalsuse tööriistad parandavad visualiseerimist ja kaasatust.          |
| <b>Asjaomane teema</b>                                      | Füüsika, keemia, bioloogia, matemaatika                                                                                                                                      |
| <b>Märksõnad</b>                                            | Bioloogia, bioinspireeritud, biomimikri, biodisain, innovatsioon, liitreaalsus, visualiseerimine, interaktiivne õpe                                                          |
| <b>Põhioskused, võimed ja teadmised, mida saab omandada</b> | Avasta loodust ja selle võimet inspireerida meie keskkonna jätkusuutlikke parendusi, probleemide lahendamist, uuenduslikku disaini, AR-põhiseid prototüüpimisosi.            |
| <b>Kasutatud ressursid ja didaktilised vahendid</b>         | Uurimistööd, raamatud, teadusandmebaasid, veebiseminaride tulemused, veebipõhised ressursid, liitreaalsuse tööriistad (nt JigSpace, Assemblr EDU, Merge Cube, CoSpaces Edu). |
| <b>Hindamiskriteeriumid ja hindamine</b>                    | Kursuse jooksul omandatud teadmiste, oskuste ja võimete põhjal, sh liitreaalsusel põhinevate hindamiste, näiteks simulatsioonide, prototüüpide loomise ja tagasiside põhjal. |

## Sissejuhatus

Bioinspireeritud disain on suhteliselt uus termin. Laiemalt levinud terminid on biomimeetika ja biomimikri. Bioinspireeritud disaini on kasutatud uuenduslike tehniliste lahenduste väljatöötamiseks peaaegu igas insenerivaldkonnas. Kui 20. sajandi keskel tekkis bioonika nime all idee bioloogiliste süsteemide süstemaatilise analüüsimisest, keskenduti peamiselt juhtimis- ja sidesüsteemidele (Keto 1960). Keto (1960) pakkus välja bioinspireeritud juhtimise ja kommunikatsiooni rakendamise elektroonikas, lennunduses ja navigatsioonis. Bioinspireeritud disaini ajaloolised näited hõlmavad aga juba ka edasisi rakendusvaldkondi. Näiteks bioloogiliste





süsteemide aerodünaamikat peeti sageli langevarjude või varajaste lendavate masinate kontseptualiseerimise mudeliteks (Nachtigall ja Wisser 2015, lk 6). Kaasaegseid bioinspireeritud disaini näiteid rakendatakse tehnikavaldkondades, nagu masinaehitus, arhitektuur, tööstusdisain, tarkvaratehnika, robotika, meditsiinitehnoloogia jne.

Liitreaalsuse (AR) integreerimine muudab seda protsessi revolutsiooniliselt, võimaldades õppijatel suhelda bioloogiliste süsteemidega kaasahaaravates 3D-keskkondades. Õpilased saavad visualiseerida biomimeetilisi protsesse, simuleerida reaalse maailma rakendusi ja teha AR-tööriistade abil koostööd uuenduslike projektide kallal. See tehnoloogia ja looduse segu parandab STEM-hariduses arusaamist, loovust ja probleemide lahendamist.

Vaatamata suurele innovatsioonipotentsiaalile tekitab bioinspireeritud disaini rakendamine väljakutseid. Olulisteks väljakutseteks on distsiplinaarbarjäärid, st eesmärgid, töömeetodid ja asjaolu, et bioloogia ja tehnilise tootearenduse keel on põhimõtteliselt erinevad. Bioloogia on loodusteadus; selle eesmärk on mõista elussüsteeme. Tehnilise tootearenduse ehk insenerdisaini eesmärk on arendada tehnilisi süsteeme. Erinevus bioloogilise mõistmise eesmärgi ja tehnilise arenduse eesmärgi vahel peegeldab bioloogide ja inseneride erinevaid töömeetodeid. See kokkupõrge põhjustab bioinspireeritud disainis sageli probleeme.

| 10 hämmastavat aspekti bioinspireeritud disainist | Spetsifikatsioon                                                                                                                                                         |
|---------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Bioloogiliste lahenduste küllus                   | Pakub laia valikut võimalikke lahendusi tehnilistele probleemidele.<br>Digitaalsed andmebaasid pakuvad juurdepääsu tuhandetele bioloogilistele inspiratsiooniallikatele. |
| Optimeerimine                                     | Bioloogiline süsteem on optimeeritud, on optimeeritud ka bioloogiliselt inspireeritud disain.                                                                            |
| Sünergiaefektid ja transdistsiplinaarsus          | Tehniline bioloogia on bioinspireeritud disaini eeltingimus                                                                                                              |
| Materjali, kuju ja funktsiooni integreerimine     | Vorm järgib funktsiooni: bioloogilised süsteemid täidavad sageli funktsioone mitmel skaalal, kasutades nii komposiitmaterjali omadusi kui ka kujundid.                   |
| Avastused inimlikust kaugemale                    | Palju bioloogilisi lahendusi, millel on suur tehnilise rakenduse potentsiaal                                                                                             |
| Bioloogiliselt inspireeritud disaini paindlikkus  | Paindlik disainilahendus<br>Lai rakendusala<br>Erinevad disainimeetodid                                                                                                  |
| Jätkusuutlikkus (või mitte?)                      | Keskkonnasõbralik                                                                                                                                                        |
| Bioloogiline mitmekesisus                         | Bioinspireeritud disainil võib olla positiivne ühiskondlik mõju                                                                                                          |
| Biologiseerimine                                  | Traditsioonilised loodusteadused tegelevad lisaks tehnilistele ja inseneridistsipliinidele ka mõnede suurimate väljakutsetega: energiatarbimine ja jätkusuutlik majandus |





Biooloogiliste süsteemide multifunktsionaalsus

Biooloogilised süsteemid peavad piiratud ressursse kasutades täitma mitut funktsiooni

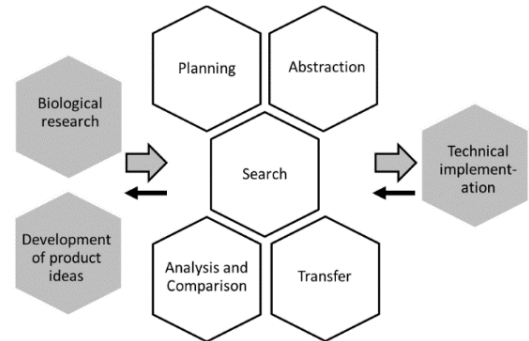
Table 1. 10 Amazing Aspects of Bio-inspired Design, (Hashemi Farzaneh, 2019)

### Biomimikri teoreetiline raamistik:

- **Biomimikri põhimõtted**

Biomimikri põhimõtted keskenduvad eranditult looduse omadustele, mis viitab sellele, et inimestel on looduse miljardite aastate pikkusest evolutsioonilisest kogemusest palju õppida.

- a- Loodus kasutab ainult nii palju energiat, kui ta vajab
- b- Loodus kohandab vormi toimimiseks
- c - Loodus taaskasutab kõike
- d- Looduse mitmekesisuse pangad
- e-Loodus nõuab kohalikku ekspertiisi.



- **Biodisaini tegevused:**

Bioinspireeritud disainimeetodid toetavad erinevaid tegevusi:

- Planeerimine
- Abstraktsioon
- Otsi
- Analüüs ja võrdlus
- Ülekanne

Biooloogiliselt inspireeritud disainiprojekti planeerimine ja muud tehnilised tootearendusprojektid või biooloogiliste uuringute projektid erinevad üksteisest. Biooloogiliselt inspireeritud disaini interdistsiplinaarne olemus esitab väljakutse disainiprotseduurile ning projektil võivad olla erinevad lähtepunktid. Lisaks tuleb biooloogide ja inseneride koostöö korral arvestada nende töö integreerimisega. Samuti on abstraktsioon biooloogiliselt inspireeritud disaini oluline osa.



Tegelikult peavad disainerid bioloogiliselt inspireeritud disainiprojekti käigus abstraktsiooni ikka ja jälle läbi viima: nad peavad abstraktseerima tehnilise ülesande või võimaldama bioloogilise inspiratsiooni otsimist. Nad peavad abstraktseerima tehnilisi ja bioloogilisi süsteeme, et muuta need võrreldavaks. Nad peavad uuesti abstraktseerima, et sõnastada analoogiaid ülekandmiseks... ja nii edasi. Otsingule, eriti bioloogilise inspiratsiooni otsimisele, on bioloogiliselt inspireeritud disainis pühendatud arvukalt meetodeid. See on võtmetegevus, kui bioloogiliselt inspireeritud disainiprojekti alustatakse puhtalt tehnilisest vaatenurgast (tehniline ülesanne, bioloogilise inspiratsiooni otsimine) või rangelt bioloogilisest vaatenurgast (huvitav bioloogiline lahendus, tehnilise rakenduse otsimine).

Disainerid peavad bioinspireeritud disaini edukaks rakendamiseks hoolikalt analüüsima ja võrdlema nii tehnilisi kui ka bioloogilisi süsteeme. On arvukalt näiteid, kus bioinspireeritud disainid ebaõnnestusid prototüübi etapis, kuna bioloogilist lahendust ei saanud tehnilises keskkonnas rakendada. Näiteks võib tuua tudengiprojekti katse jäljendada bakterite flagellide liikumist palju suuremas mastaabis. Vedelikujõudude erinevate mõjude tõttu ei saanud pöörlevate flagellide liikumine vedelikke tõhusalt liigutada. Lõpuks on bioinspireeritud analoogiate ülekandmine bioinspireeritud disaini põhitegevus. Kõik bioinspireeritud disainiprojektid on suunatud enam-vähem abstraktsete analoogiate ülekandmisele tehnilise lahenduse väljatöötamiseks.

Siiski hõlmavad bioinspireeritud disainiprojektid loomulikult palju muid tegevusi. Need tegevused ei ole aga ainult bioinspireeritud disainile omased, kuna neid leidub ka teistes tehnilistes tootearendusprojektides või bioloogilistes uurimisprojektides.



Figure 1. Bio-inspired design: specific and other activities, (Hashemi Farzaneh, 2019)

## Bioinspireeritud disaini lähenemisviisid

Kuigi enamik bioloogiliselt inspireeritud disainiprojekte ja -tunde keskenduvad tehnoloogilise tõmbamise lähenemisviisile, väidavad mõned teadlased, et bioloogilise tõuke lähenemisviis on uuenduslikum. Tehnoloogilise tõmbamise lähenemisviisi puhul alustavad disainerid tehnilise ülesandega. See hõlmab eelnevalt määratletud nõuete ja soovitud funktsioonide komplekti. Nad peavad kinni nendest piiritingimustest, kuid on suhteliselt vabad erinevate bioloogiliste süsteemide kaalumisel. Seetõttu võivad nad olla avatumad mitme analoogia ülekandmiseks erinevatest bioloogilistest süsteemidest. Bioloogilise tõuke lähenemisviisi kasutamisel alustavad





disainerid eelnevalt määratletud bioloogilistest süsteemist. Nad võivad seda süsteemi üksikasjalikult analüüsida ja tõenäolisemalt piiravad oma analüüsi selle süsteemiga, selle asemel et otsida teisi bioloogilisi süsteeme. Siiski on nad tõenäoliselt avatumad mitmete tehniliste rakenduste otsimisele. Lisaks võivad multifunktsionaalsed bioloogilised süsteemid inspireerida multifunktsionaalseid tehnilisi süsteeme.

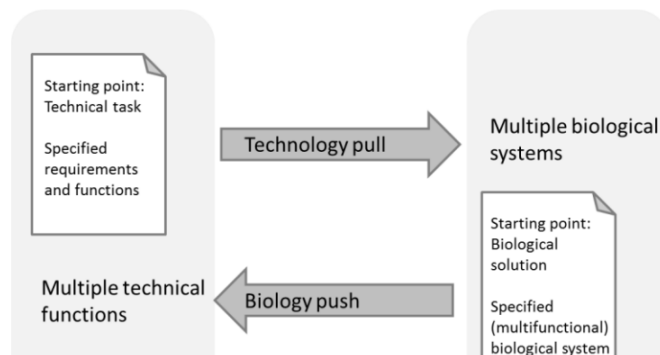
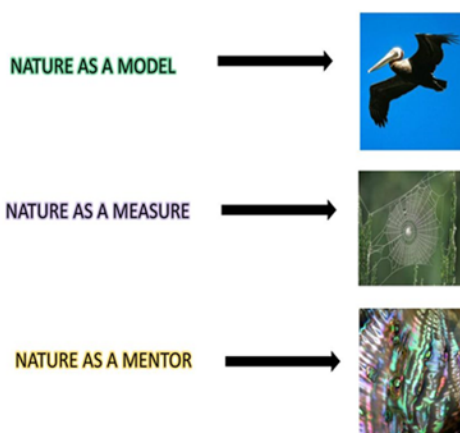


Figure 2. Bio-inspired design approaches: technology pull and biology push, (Hashemi Farzane, 2019)

### Biomimikri tasemed

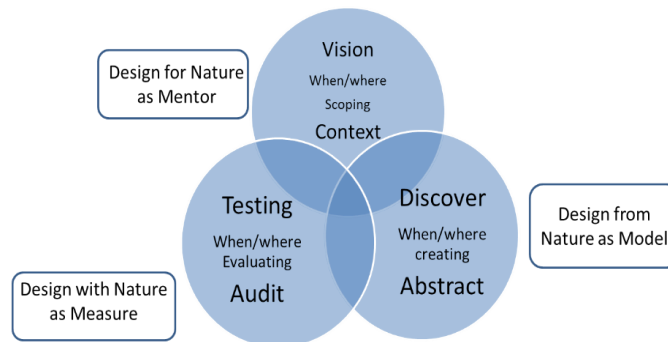
Disainiprobleemide lahendamisel tuleb rakendada ka kolme biomimikri tasandit. Biomimeetiliste tehnoloogiate ja tehnikate põhjal on ilmne ja hästi märgatav, et matkimist on kolm tasandit: organismi tasand, käitumise tasand ja ökosüsteemi tasand. **Organismi tasandil** illustreerib teatud organismi või kogu organismi osa matkimist, organismi tasandil ehitised matkivad konkreetset organismi. **Teine tase on käitumise matkimine, millega iga organism käitub**, hooned matkivad kuidas organism käitub või on seotud oma suurema kehaga kontekst. **Kolmas tase on kogu ökosüsteemi matkimine** ja seda taset peetakse kõige raskemaks tasandil, kuna see keskendub funktsionaalselt väga raskele jäljendatav probleem, hoone jäljendab looduslikku laiema keskkonna protsess ja tsükkel. Igal tasandil on viis dimensiooni, mis määrata, mil määral matkimine esineb. disain on oma välimuse poolest loetletud biomimikriks nagu (vorm), millest see on tehtud (materjal), kuidas see on valmistatud (ehitus), kuidas see töötab (protsess) ja milline on selle võimekus (funktsioon). Need tasemed on väga olulised ja täiendavad biomimikri lähenemisviisid.

Kui tahame teadlikult looduse geeniust jäljendada, peame loodust vaatama teistmoodi. Biomimikrias vaatleme loodust kui eeskuju, mõõdupuud ja mentorit.





- **Loodus kui eeskuju** Biomimikri on uus teadusharu, mis uurib looduse mudeleid ja seejärel jäljendab neid vorme, protsesse, süsteeme ja strateegiaid, et lahendada inimkonna probleeme – jätkusuutlikult. Biomimikri gild ja selle kaastöötajad on välja töötanud praktilise disainivahendi nimega Biomimikri.
- **Loodus kui mõõt** Biomimikrias kasutatakse meie uuenduste jätkusuutlikkuse hindamiseks ökoloogilist standardit. Pärast 3,8 miljardit aastat kestnud evolutsiooni on loodus õppinud, mis toimib ja mis kestab. Loodus kui mõõdupuu on jäädvustatud elu põhimõtetes ja see on integreeritud biomimikri-disaini-spiraali hindamisetappi.
- **Loodus kui mentor** Biomimikri on uus viis looduse vaatlemiseks ja hindamiseks. See tutvustab ajastut, mis ei põhine mitte sellel, mida me saame loodusest ammutada, vaid sellel, mida me saame sellest õppida.



## Kuidas saaksime bioloogilisi teadmisi rakendada?

Bioloogiliste teadmiste rakendamine kirjeldab erineva kestusega projekte, mida tavaliselt viiakse läbi kontorilaua taga. Teisisõnu, need ei hõlma tavaliselt bioloogilisi (või tehnilisi) katseid ega muid uuringuid. Tavaliselt algavad need bioloogilise inspiratsiooni otsimise ideest tehnilise probleemi lahendamiseks või motivatsioonist rakendada bioloogilise uurimistöö tulemust tehnilise ülesande jaoks. Projekt nõuab sageli üksikasjalikumat arusaama sellest, kas leitakse põnevaid bioloogilisi inspiratsiooniallikaid või tehnilisi rakendusi. Seejärel peavad disainerid otsima lisateavet. Sellisel juhul mängib meeskonnatöö aspekt väikest rolli ja disainer võib olla üksik insener või bioloog (Hashemi Farzaneh, 2019). See tähendab, et bioloogiliste teadmiste rakendamisel on parem omada probleemide lahendamise protsessi.

## Biomimikri kui kontseptsioon



Biomimikri hõlmab bioloogiliste kontseptsioonide loominguist rakendamist toodetes. Nagu selles tekstis mainitud, saame anda biomimikri laia ülevaate ja oleme kirjeldanud looduslike füsioloogiliste ja organisatsiooniliste lahenduste teisendamist toodeteks ja teenusteks. Rakendamist ja majanduslikku efektiivsust näidatakse valitud näidete abil. Neli näidet looduslike lahenduste edukast rakendamisest. Loodust peetakse üha enam eeskujuks ja etaloniks. Pole üllatav, et miljonite aastate pikkuse evolutsiooni jooksul on loodus loonud mehhanisme ja süsteeme, mis on väga tõhusad, vältides võrgustikke, mis võimaldavad eri valdkondade spetsialistidel koostööd teha, mis on biomimikri edu eeltingimus. Loodus eeldab pigem optimeerimist kui maksimeerimist ning on ka jätkusuutlikkuse mudel, kuna see on „suletud ahelaga“ süsteem. Kõik organismid aitavad kaasa Maa oluliste toitainete – süsiniku, vesiniku, hapniku ja lämmastiku – ringlussevõtule. Kui inimesed tahavad lõputult õitseda, peavad nad tegutsema vastutustundlikult, jälgendades looduse suletud ahelat. Biomimikri (kr bios – elu; mimesis – jäljendama) on looduse põhimõtete rakendamise distsipliin ning see mitte ainult ei muuda meie mõtteviisi kaupade ja teenuste kavandamise, tootmise, transportimise ja levitamise kohta, vaid pakub ka võimalusi keeruliste keskkonna- ja majandusprobleemidega tegelemiseks.



Figure 3. Biomimicry as a concept, (Hwang J &all, 2015)

### Milline on bioinspireeritud disaini meetod?

Olles rakendanud bioinspireeritud disainimeetodeid, oleme märganud, et enamik meetodeid on välja töötatud konkreetsete bioinspireeritud disainistsenaariumide jaoks. Teiste stsenaariumide puhul võivad need olla vähem sobivad. Näiteks põhjus-seose mall on meetod bioloogilise süsteemi põhjus-seose formuleerimiseks ühes lauses ja selle põhjus-seose ülekandmiseks bioinspireeritud tehnilisele süsteemile teise lauses. See tehnika aitab disaineritel kiiresti üle kanda mitu analoogiat bioloogilisest valdkonnast tehnilisse valdkonda. Bioloogilise lahenduse formuleerimine ühes lauses nõuab aga tohutut lihtsustamist. Kui oleme läbi viinud





uurimisprojekti bioloogilise süsteemi üksikasjalikuks analüüsimiseks, oleme tõenäoliselt tuletanud selle strateegiatele keerulised seletused.

Põhjusliku seose sõnastamine ühes lauses osutub selliste keeruliste seoste ülekandmiseks vähem kasulikuks. Teisest küljest nõuavad paljud bioinspireeritud disaini meetodid märkimisväärset aega ja koolitust. Näiteks SBF modelleerimine on meetod tehniliste ja bioloogiliste süsteemide abstraktseks kirjeldamiseks. Süsteemide funktsioone modelleeritakse üksikasjalike sammude kaupa. See meetod on väga kasulik kirjandusuuringute või bioloogilise või tehnilise süsteemi tegelike uuringute või katsete käigus omandatud detailsete teadmiste kujutamiseks. Lühikeste ideede genereerimise töötubade puhul on see aga ebapraktiline. Oleme välja töötanud kolm stsenaariumi, et näidata meetodite sobivust teatud tüüpi bioinspireeritud disaini jaoks.

Need erinevad tehniliste ja bioloogiliste süsteemide analüüsimiseks rakendatava pingutuse poolest. Teie bioinspireeritud disainiprojekt võib olla lihtsalt ühe stsenaariumi vahel või hoopis teistsugune. Sellegipoolest võivad need stsenaariumid anda teile vihje, kas meetodit tasub teie projekti jaoks uurida.

Bioloogiline disain hõlmab nii tehnilist tootearendust kui ka bioloogilisi uuringuid. Mõlema distsipliini tavapäraselt kasutatavate protseduuride vahel on vähe ühisosa. Lisaks, kui insenerid ja bioloogid soovivad koostööd teha, tuleb ühise projekti edukuse tagamiseks arvesse võtta nende erinevaid töövisi.







## Liitreaalsus (AR) biomimikri hariduses

Liitreaalsus (AR) asetab virtuaalsed elemendid reaalsele maailmale, luues interaktiivse ja kaasahaarava õpikeskkonna. Biomimikri hariduse kontekstis saab AR oluliselt parandada keerukate bioloogiliste struktuuride ja protsesside mõistmist, pakkudes kolmemõõtmelisi visualiseeringuid ja interaktiivseid simulatsioone.

Uuringud on näidanud liitreaalsuse tõhusust hariduskeskkonnas:

- **Täiustatud visualiseerimine** AR hõlbustab keerukate bioloogiliste struktuuride uurimist, muutes abstraktsed mõisted käegakatsutavaks ja arusaadavaks. Näiteks on AR-i tõhusalt kasutatud makromolekulaarsete struktuuride visualiseerimiseks, aidates mõista nende funktsioone ja interaktsioone (Vardar-Ulu jt, 2024).
- **Kehastatud õppimine**: Liitreaalsus toetab kehastunud tunnetust, võimaldades õppijatel suhelda virtuaalsete mudelitega füüsilises ruumis, parandades seeläbi teaduslike kontseptsioonide kaasatust ja meeldejätmist. On näidatud, et see lähenemisviis parandab õpikogemust, integreerides füüsilise tegevuse kognitiivse töötlemisega (Mansour jt, 2024).
- **Motivatsioon ja kaasatus**: On leitud, et liitreaalsuse interaktiivne olemus suurendab õpilaste motivatsiooni ja kaasatust, mis viib tõhusamate õpitulemusteni. Kaasahaaravate kogemuste pakkumisega saab liitreaalsus muuta õppimise nauditavaks ja stimuleerivaks (Subran & Diyana Mahmud, 2024).

Liitreaalsus (AR) pakub biomimikri põhitõdede uurimiseks murrangulist lähenemisviisi, parandades seda, kuidas õppijad bioloogiliste ja tehniliste süsteemidega suhtlevad ja nendega suhtlevad. Pakkudes kaasahaaravaid ja interaktiivseid kogemusi, hõlbustab AR biomimikri põhimõtete ja bioinspireeritud disainiprotsesside sügavamat mõistmist.

## Biomimikri põhimõtete mõistmise parandamine liitreaalsuse kaudu

AR võimaldab biomimikri põhimõtete dünaamilist kujutamist, näiteks:

- **Vormi ja funktsiooni sobivus**: interaktiivsed liitreaalsuse mudelid saavad demonstreerida, kuidas looduslikud vormid arenevad, et optimeerida konkreetseid funktsioone. Näiteks saavad liitreaalsuse rakendused visualiseerida lootoselehe mikrostruktuuri, illustreerides selle vetthülgavaid omadusi ja inspireerides isepuhastuvaid pinnakujundusi.
- **Energiatõhusus**: AR-simulatsioonid võimaldavad võrrelda energiakasutust looduslikes protsessides ja projekteeritud süsteemides, illustreerides, kuidas organismid, näiteks linnud, saavutavad lennu minimaalse energiakuluga. See võrdlev visualiseerimine aitab mõista ja rakendada energiatõhusaid strateegiaid





disainis.[https://elearningindustry.com/the-role-of-augmented-reality-in-education-revolutions-creating-learning-experiences?utm\\_source=chatgpt.com](https://elearningindustry.com/the-role-of-augmented-reality-in-education-revolutions-creating-learning-experiences?utm_source=chatgpt.com)).

## Bioinspireeritud disainiprotsesside visualiseerimine

Bioloogiliselt inspireeritud disaini iteratiivne olemus abstraktsioonist analoogiaülekandeni võib õppijatele keeruline olla. Liitreaalsus leevendab neid väljakutseid järgmiselt:

- **Bioloogiliste protsesside simuleerimine:**AR-visualiseeringud suudavad taasluua keerulisi bioloogilisi mehhanisme, nagu fotosüntees või gekode jalgade adhesioonimadused, võimaldades õppijatel neid protsesse interaktiivselt analüüsida ja lahti harutada.
- **Mitmeskaalalise analüüsi hõlbustamine:**AR pakub silda makro- ja mikrotasandi vahel, aidates kasutajatel ühendada ökosüsteemi tasemel protsesse organismispetsiifiliste kohandustega, edendades seeläbi bioloogiliste süsteemide terviklikku mõistmist.

## Interdistsiplinaarne koostöö

Liitreaalsus (AR) soodustab bioloogide, inseneride ja disainerite vahelist koostööd, pakkudes ühist platvormi abstraktsete bioloogiliste kontseptsioonide ja nende tehniliste rakenduste visualiseerimiseks ja arutamiseks. See saab:

- **Joondage erinevad terminoloogiad ja vaatenurgad**AR pakub reaajas visuaalseid viiteid, hõlbustades interdistsiplinaarsete meeskondade vahelist suhtlust.
- **Abstraktsiooni ja analoogia faaside sujuvamaks muutmine:**Interaktiivsete mudelite pakkumise abil tagab liitreaalsus bioloogiliste teadmiste parema ülekandmise tehnilistele projektidele, suurendades disainiprotsessi tõhusust.

## Disainiprobleemide ületamine

Biomimikri hõlmab sageli bioloogiliste strateegiate ümbermõtestamist tehniliste rakenduste jaoks – protsess, mis nõuab sügavat mõistmist ja loovust. Liitreaalsus tegeleb levinud väljakutsetega, näiteks:

- **Prototüübi tõrked:**Keskkonnajõudude ja interaktsioonide simuleerimise abil AR-is saavad kasutajad bioinspireeritud disainide teostatavust virtuaalselt testida, vähendades kulukaid katse-eksituse meetodil tehtavaid iteratsioone füüsilises maailmas.
- **Dünaamiline kohanemine:**AR-i võime simuleerida keskkonna muutlikkust (nt valgus, vedeliku dünaamika) annab ülevaate sellest, kuidas bioloogilistest lähtetest inspireeritud disainilahendused reaalses tingimustes toimivad, võimaldades enne füüsilise prototüüpimise valmimist vajalikke kohandusi teha (Ciloglu & Ustun, 2023).





## AR-i integreerimise võimalused

AR loob biomimikri hariduses ainulaadseid õppimisvõimalusi:

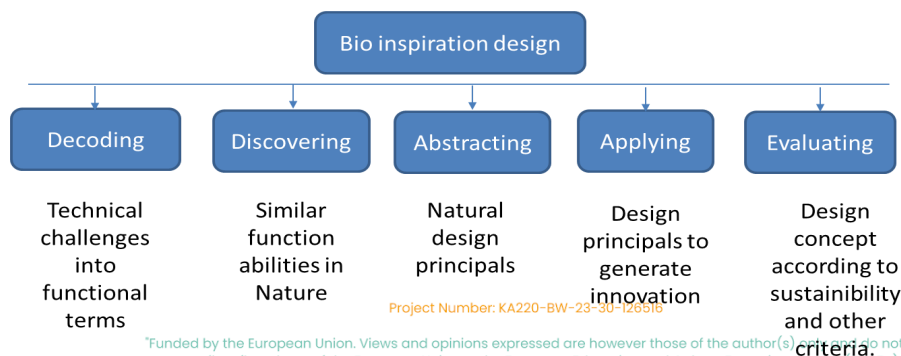
- **Interaktiivsed juhtumiuuringud:** Õpilased saavad 3D AR-keskkondades uurida ikoonilisi biomimikri näiteid (nt okstest inspireeritud takjapael, hainahast inspireeritud pinnad), suurendades seeläbi kaasatust ja arusaamist.
- **Stsenaariumide testimine:** AR abil saab simuleerida, kuidas bioinspireeritud disainilahendused reageerivad selliste muutujate nagu temperatuur, rõhk või valgus muutustele, soodustades seeläbi sügavamat arusaamist nende rakendatavusest ja vastupidavusest.
- **Reaalajas tagasiside:** AR-tööriistade abil saavad õpilased oma bioloogilistest ideedest inspireeritud kontseptsioone koheselt visualiseerida ja kohendada, soodustades iteratiivset õppimist ja innovatsiooni.

Liitreaalsuse integreerimine biomimikri haridusse on kooskõlas kogemusliku ja kaasahaarava õppe laiemate suundumustega. Kuna liitreaalsuse tehnoloogiad muutuvad arenenumaks ja kättesaadavamaks, pakuvad need enneolematuid võimalusi arusaamise süvendamiseks, koostöö edendamiseks ja biomimikri põhimõtete uuenduslike rakenduste inspireerimiseks. Liitreaalsuse omaksvõtmine hariduskeskkonnas võib viia tõhusamate ja kaasahaaravamate õpikogemusteni, valmistades õpilasi ette biomimikri kontseptsioonide rakendamiseks reaalsetes olukordades (<https://elearningindustry.com/augmented-reality-in-education-staggering-insight-into-future>).

### Käivitusemoodul:

#### Bioinspireeritud disainiprotsess

Bioinspireeritud disain uurib orgaaniliste karkasside struktuuri ja toimimist mudelitena ning kavandab või ehitab kaasaegseid materjale ja masinaid. Seda peetakse laialdaselt biomimikri, biomimeesi ja biognoosi sünonüümiks ning võrreldavaks biomimeetikaga. Mõiste biomimeetika on tuletatud kreeka keelsest sõnast bios, mis tähendab „elu“, ja lisandist mimeetiline, mis tähendab „võime matkimiseks“.





Üldiselt võiks loodusest inspireeritud disain olla strateegia inimlikele probleemidele lahenduste leidmiseks, jälgendades looduses leiduvaid plaane ja kontseptsioone. Seda kasutatakse kõikjal: hoonetes, sõidukites ja isegi materjalides.

### **Bioloogiline disainiprotsess liitreaalsuse (AR) abil**

Liitreaalsuse (AR) integreerimine bioinspireeritud disainiprotsessi parandab interaktiivsust, visualiseerimist ja ligipääsetavust. See lähenemisviis on kooskõlas "kaasahaarava disaini" kontseptsiooniga, mis kasutab AR-i realistlike digitaalsete keskkondade loomiseks kasutajatele. Lisaks on AR-i rakendamist disainiprotsessides uuritud mitmetes uuringutes, mis rõhutavad selle potentsiaali traditsiooniliste meetodite revolutsiooniliseks muutmiseks (<https://journals.open.tudelft.nl/abe/article/view/3753>).

### **Biomimeetilise disaini praktika**

Bioloogid on biomimikri disainiprotsessis võtmeisikud, kuna see tugineb suuresti bioloogilistele teadmistele; disaineri roll jääb aga keskseks. See suundumus kehtib eriti bioloogiliste strateegiate abstraksioonimisel laiemalt rakendatavateks disainipõhimõteteks ja nende rakendamisel inimkonna ees seisvate probleemide lahendamiseks. Biomimikri eesmärk ei ole luua loodusliku vormi, protsessi või ökosüsteemi koopiat, vaid hoopis tuletada bioloogiast disainipõhimõtted ja kasutada neid ideede genereerimise stiimulina. Lõplik biomimeetiline lahendus peaks selgelt näitama bioloogiast pärit funktsionaalsete või organisatsiooniliste põhimõtete ülekandmist.

Lõppude lõpuks on biomimikri eesmärk ära kasutada looduse 3,8 miljardi aasta pikkuse uurimis- ja arendustegevuse tulemusel tekkinud teadmisi ning selle eesmärgi saavutamine on võimatu, kui loodusliku mudeli ja lõpliku disaini funktsionaalne analoogia läheb tõlkes kaduma.

### **Biomimeetilise disaini praktika on täiustatud liitreaalsuse abil**

Liitreaalsuse (AR) integreerimine biomimeetilistesse disainipraktikatesse parandab disainiprotsessi visualiseerimise, simulatsiooni ja koostöö aspekte, mis viib tõhusamate ja uuenduslikumate lahendusteni.

### **Bioloogiliste mudelite täiustatud visualiseerimine**

Liitreaalsus võimaldab disaineritel uurida bioloogilisi struktuure kolmes dimensioonis, hõlbustades vormi ja funktsiooni vaheliste seoste sügavamat mõistmist. Näiteks võimaldavad interaktiivsed liitreaalsuse mudelid reaajas manipuleerimist, aidates abstraktselt kirjeldada selliseid põhiprintsiipe nagu energiatõhusus, hüdrofoobsus või adhesioon. See võimekus on kooskõlas leidudega, et liitreaalsus saab oluliselt täiustada disainiprotsessi, pakkudes intuiitivset ja käegakatsutavat interaktsiooni virtuaalsete mudelitega (Shin jt, 2013).





## Looduslike protsesside dünaamilised simulatsioonid

Liitreaalsuse abil saavad disainerid simuleerida looduslikke protsesse, nagu fotosüntees või vedeliku dünaamika bioloogilistes struktuurides, jälgides süsteemi funktsioone erinevates tingimustes. See dünaamiline simulatsioon pakub ülevaate bioloogiliste põhimõtete ülekandmisest tehnilistele või arhitektuurilistele projektidele, kuna liitreaalsus toetab keerukate andmete visualiseerimist ja interaktsiooni, mis on koostööl põhinevate disainiülesannete jaoks ülioluline (Nilsson jt, 2008).

## Tugevdatud koostöö ja ideede genereerimine

Liitreaalsus pakub jagatud visuaalset platvormi, mis edendab bioloogide, inseneride ja disainerite vahelist interdistsiplinaarset koostööd. Reaalajas interaktsioonid ja simulatsioonid aitavad ühtlustada perspektiive ja terminoloogiat, tagades sujuvama ülemineku bioloogilistelt põhimõtelt tehnilistele rakendustele. Uuringud näitavad, et liitreaalsussüsteemid suudavad luua ainulaadseid koostöökogemusi, võimaldades kasutajatel suhelda jagatud 3D-virtuaalsete objektidega, hõlbustades seeläbi tõhusat suhtlust ja ideede vahetamist (Lukosch, 2015).

## Interaktiivne prototüüpimine ja tagasiside

AR-tööriistu kasutades saavad disainerid bioloogilisi lahendusi virtuaalselt prototüüpida ja neid simuleeritud keskkondades testida. See lähenemisviis vähendab füüsilise prototüüpimisega seotud kulusid ja aega ning võimaldab kohese tagasiside põhjal teha iteratiivseid täiustusi. Uuringud on näidanud, et AR saab tõhusalt toetada koostööl põhinevaid disainiseansse, võimaldades mitmel osalejal samaaegselt AR-täiustatud mudeleid vaadata ja nendega suhelda (Giunta, 2022).

Ruumilise liitreaalsuse uurimine koostööl põhineva disaini jaoks. Giunta, L. (Autor). 22. juuni 2022

## AR-i rakendamine biomimeetilistes lahendustes

Liitreaalsuse (AR) integreerimine biomimeetiliste disainipraktikatesse täiustab protsessi, hõlbustades bioloogiliste põhimõtete abstraktsiooni, võimaldades virtuaalset katsetamist ja tagades täpse funktsionaalse ülekandmise praktilistesse rakendustesse.

- **Abstraktsed põhimõtted:** AR võimaldab disaineritel suhelda bioloogiliste süsteemide detailsete 3D-mudelitega, aidates tuvastada ja eraldada funktsionaalseid põhimõtteid. See haarav interaktsioon parandab arusaamist ja soodustab innovatsiooni disainis.





- **Kujundustaotlus:** Virtuaalse eksperimenteerimise ja visualiseerimise kaudu hõlbustab liitreaalsus abstraktsete bioloogiliste põhimõtete rakendamist reaalsetes stsenaariumides. See lähenemisviis võimaldab disaineritel bioloogiliselt inspireeritud disainilahendusi tõhusalt testida ja täiustada.
- **Funktsionaalne tõlge:** AR tagab looduslike mudelite täpse teisendamise lõplikeks disainideks, pakkudes tööriistu bioloogiliste strateegiate dünaamiliseks võrdlemiseks ja valideerimiseks. See dünaamiline valideerimisprotsess aitab säilitada bioloogiliselt inspireeritud lahenduste terviklikkust (Shin jt, 2013).

AR-tehnoloogiate ärakasutamise abil muutub biomimikri disainiprotsess tugevamaks ja tõhusamaks, mis on kooskõlas kaasaegsete tehnoloogiapõhiste lähenemisviisidega innovatsioonile ja jätkusuutlikkusele.

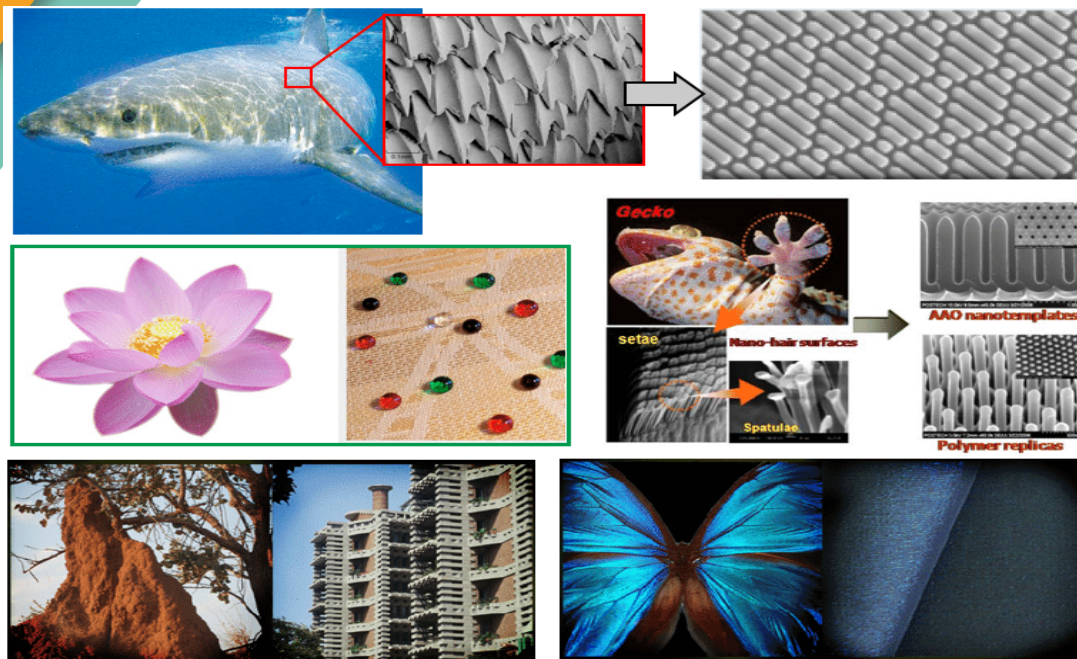
### Bioloogia kui mudel ja leiutised:

Loodusel on tohtu hulk leiutisi, mis on läbinud praktilisuse ja vastupidavuse karmi testi muutavas keskkonnas. Looduse võimete maksimaalseks ärakasutamiseks on oluline luua sild bioloogia ja inseneriteaduse vahel ning näha mõlema valdkonna ekspertide koostööd. See ühendav pingutus aitab muuta looduse võimed insenerivõimeteks, tööriistadeks ja mehhanismideks. Loodusele inseneriteaduse seisukohast lähenemiseks on vaja bioloogilisi võimeid sorteerida tehnoloogiliste kategooriate kaupa. Nimelt saab võtta bioloogiliselt tuvastatud omadused ja otsida analoogiat inseneriteaduse valdkonnas, nagu on näidatud tabelis.

| Bioloogia ja insener-süsteemide iseloomulikud sarnasused |                             |                                                                                                                                                                                                             |
|----------------------------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Bioloogia                                                | Inseneriteadus              | Biotehnoloogia, biomimeetika, bioonika ja biomehaanika                                                                                                                                                      |
| Keha                                                     | Süsteem                     | Bioloogiliste süsteemide võimekust jälgendavate multifunktsionaalsete materjalide ja struktuuridega süsteemide väljatöötamine                                                                               |
| Skleton ja luud                                          | Konstruksioon ja tugipostid | Tugistruktuurid on osa igast inimese loodud süsteemist                                                                                                                                                      |
| Aju                                                      | Arvuti                      | Arvutite areng jälgendab inimese tööd aju                                                                                                                                                                   |
| Intelligentsus                                           | Tehisintellekt              | Bioloogiast on inspireeritud arvukalt tehisintellekti aspekte, sealhulgas liitreaalsus, autonoomsed süsteemid, arvutuslik intelligentsus, ekspert-süsteemid, hägusloogika jne.                              |
| Meeled                                                   | Andurid                     | Arvutinägemisel, tehisintellektil, radaril ja muudel lähedusdetektoritel on otsesed bioloogilised analoogiad. Kuid parimal juhul pole inimese loodud andurite võimekus kaugeltki nii hea kui biosensoritel. |
| Lihased                                                  | Täiturmehhanismid           | Elektroaktiivsed polümeerid on täiturmehhanismid, millel on funktsionaalne sarnasus looduslike lihastega                                                                                                    |
| Elektrokeemiline energiatootmine                         | Laetavad akud               | Bioloogiliste materjalide kasutamine energia tootmiseks pakub mehaanilistele süsteemidele tohtuid eeliseid.                                                                                                 |



## Loodiuse võimed:



Mõned looduse võimed võivad inspireerida uute mehhanismide, seadmete ja robotite loomist. Näideteks võib olla rähni võime lüüa puitu, vähendades samal ajal aju kahjustavat mõju. Teine inspireeriv võime on arvukate olendite võime opereerida mitmete liikumisvõimalustega, sealhulgas lendamine, kaevamine, ujumine, kõndimine, hüppamine, jooksmine, ronimine, roomamine. Üha enam muutuvad bioloogiliselt inspireeritud võimed praktiliseks, sealhulgas kokkupõrke vältimine vurrude või sonari abil, kontrollitud kamuflaaž ja isetervendavad materjalid. Üks väljakutseid pakkuv võime on luua miniatuurseid seadmeid, mis suudavad:

- lennata tohutu manööverdusvõimega nagu kiil;
- kleepuvad siledale ja karedale seinte külge nagu geko;
- kohaneda ümbritseva keskkonna tekstuuri, mustrite ja kujuga nagu kameeleon või muuta oma keha ümber, et liikuda läbi väga kitsaste torude nagu kaheksajalg;
- töödelda keerulisi kolmemõõtmelisi (3D) kujutisi reaajas;
- taaskasutada liikuvusvõimsust ülitõhusa toimimise ja liikumise tagamiseks;
- isepaljuneda, ise kasvada, kasutades ümbritseva keskkonna ressursse;
- keemiliselt energiat genereerida ja salvestada; ning palju muid võimeid, mille jaoks bioloogia pakub eeskju teaduse ja inseneriteaduse inspiratsiooniks.

Kuigi paljud bioloogia aspektid on meile endiselt arusaamatud, on tehtud märkimisväärsed edusamme.



## Täiustusmoodul (projekтинäited liitreaalsuse tööriistade kasutamisest biomimikri hariduses)

Liitreaalsuse (AR) tööriistad toovad biomimikri haridusse uusi dimensioone, pakkudes õpilastele kaasahaaravat ja interaktiivset viisi bioloogiliste põhimõtetega tutvumiseks ja nende muutmiseks uuenduslikeks disainilahendusteks. Allpool on toodud näiteid sellest, kuidas AR-tööriistad saavad varem kasutatud projekte kohandada ja täiustada.

### Loodusest inspireeritud: (Biomimikri Instituut, 2009)

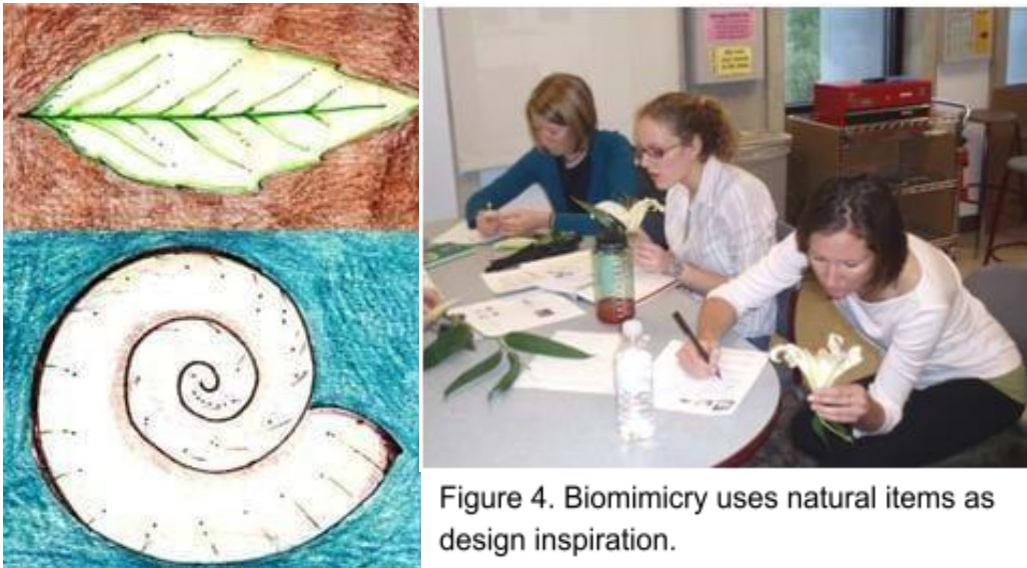


Figure 4. Biomimicry uses natural items as design inspiration.

Selles algtaseme nädisülesandes avastavad õpilased, kuidas insenerid saavad biomimikri abil oma disainilahendusi täiustada. Nad õpivad, kuidas looduse hoolikas vaatlemine – niiöelda loodusdetektiiviks saamine – võib viia innovatsioonide ja toodeteni. Selles tegevuses projekteerivad õpilased lille ümber, et leida disainiideid uute toodete jaoks.

- Inseneri seos: taimed ja loomad on tõepoolest looduse insenerid. Näiteks leht suudab päikeseenergiat rakendada tõhusamalt kui meie parimad päikesepaneelid. Miljonite aastate jooksul on taimed ja loomad välja töötanud leidlikke viise Maal ellujäämiseks. Inseneridena saame loodusega konsulteerida, et oma olemasolevaid disainilahendusi ja tooteid täiustada. Loodust uurides saame inspiratsiooni ka disainilahenduste jaoks, mida pole kunagi olemas olnud.

### Pärast seda tegevust peaksid õpilased olema võimelised:

- Selgitage, kuidas biomimikri abil saab täiustada inseneriprojekteerimist.
- Kirjeldage objekti pöördprojekteerimise protsessi.
- Selgitage, kuidas meeskonnas ajurünnak võib viia loomingulisemate ideedeni.





## Enne tegevust

1. Koguge materjale.
2. Tehke biomimikri uurimise töölehest koopiaid.
3. Vaadake üle ülaltoodud biomimikri näited (rohkem näiteid leiate viidete osas loetletud ressurssidest).
4. Harjuta lille pöördprojekteerimist, et valmistuda õpilaste esitatavateks küsimusteks.

## Õpilastega

### I osa: Pöördprojekteerimine

1. Vaadake üle biomimikri peamised kontseptsioonid ja esitage õpilaste motiveerimiseks mitu juhtumianalüüsi.
2. (soovitatav) Enne põhitegevuse alustamist tehke eelhindamise tegevus. See aitab ette valmistada pöördprojekteerimise väljakutset.
3. Jaga klass 2-3 õpilasega rühmadesse.
4. Anna igale rühmale tööleht.
5. Enne meeskondadele lillede ja tööriistade jagamist kasutage töölehte, et korrata pöördprojekteerimise kontseptsiooni ja protseduuri. Võite isegi paluda igal meeskonnal enne materjalide jagamist vastata uurimisküsimusele.
6. Andke igale rühmale komplekt pöördprojekteerimise tööriistu, näiteks hambatikud, pintsetid, lõikeriistad, luubid ja kilekotid.
7. Juhendage õpilasi oma lillede pöördprojekteerimist alustama. Veenduge, et rühmad järgivad oma töölehti, kus on välja toodud järgmised neli sammu:
  - a. Võta lill ettevaatlikult lahti ja visanda selle erinevad osad.
  - b. Kirjeldage lille värve ja tekstuuri. Miks lill just nendest materjalidest loodi?
  - c. Kirjeldage lille üldist kuju ja struktuuri. Millise väljakutse võiks lill sellise kuju ja struktuuriga lahendada?
  - d. Kuidas saaks insener lille materjali, värvi, kuju ja struktuuri jäljendada, et midagi uut kujundada?
  - e. Milliseid teaduslikke mõisteid olete varem lillega seoses õppinud? Kuidas saaksite neid oma kujunduses kasutada?

Algne tegevus: Õpilased projekteerivad lille pöördprojekteerimise abil, et mõista selle struktuuri, materjale ja funktsionaalset disaini. Täiustatud liitreaalsusega:

- Kasutage tööriistu, näiteks **JigSpace** pakkuda lillede 3D AR-mudeleid, mis võimaldavad õpilastel virtuaalselt uurida lillede sisemisi struktuure ja mõista nende vormi ja funktsiooni vahelisi seoseid.
- Simuleeri, kuidas kroonlehed suhtlevad keskkonnamelementidega, näiteks varjavad õietolmu tuule eest või murravad valgust tolmeldajate ligimeelitamiseks.
- Võimaldab virtuaalsete mudelite lahtivõtmist, mis annab õpilastele võimaluse jälgida olulisi struktuurikomponente, nagu kroonlehtede tekstuur või varre paindlikkus, edendades seeläbi sügavamalt ökoloogilist arusaamist.





**Uus õpiväljund:** Õpilased saavad ülevaate bioloogiliste struktuuride rakendamisest reaalses inseneriprobleemides, näiteks vetthülgavate pindade või säästvate materjalide loomisel.

## II osa: Tootedisain

1. Kui õpilased on lillede pöördprojekteerimise lõpetanud, paluge neil oma tähelepanekute põhjal ajurünnaku abil potentsiaalseid uusi tooteid välja mõelda. Näiteks võivad lillest inspireeritud tooted olla uued veekindlad riided, maja veekogumissüsteem, kerged ehitusmaterjalid, pilvelõhkuja, mis võib tuules kõikuda ilma purunemata jne.
2. Laske igal rühmal umbes 10 minutit potentsiaalsete toodete üle ajurünnakut teha. Laske neil kirja panna või joonistada igaühe ideed, mis ajurünnaku käigus tekkisid.
3. Paluge rühmadel valida üks lõpptood, mida klassile esitleda. Andke õpilastele nimekiri disainikriteeriumidest või piirangutest. Näiteks: suurus, eelarve, materjalid, ressursid, kultuuriline keskkond jne. See aitab õpilastel panna pähe oma „insenerimüts“. Näited võivad olla järgmised:
  - Nõuda õpilastelt selliste disainide väljatöötamist, mis aitavad lahendada keskkonnaprobleeme.
  - Nõuda õpilastelt selliste disainide väljatöötamist, mis aitavad lahendada tervise-/meditsiiniprobleeme.
  - Nõuda õpilastelt selliste projektide väljatöötamist, mida saaks ehitada arenguriigis või maapiirkonnas piiratud ressursidega.
  - Andke õpilastele hüpoteetiline eelarve, näiteks 100 dollarit.
  - Nõua, et õpilaste disainilahendused ei tekitaks jäätmeid ehk kasutaksid täielikult korduvkasutatavaid materjale.
4. Andke igale rühmale veel 10 minutit aega, et välja töötada parimad ideed oma lõpptoodete jaoks. Paluge neil visandada oma toodete kohta visandeid ja teha märkmeid uuele paberilehele. Laske õpilastel lisada õpetaja disainipiirangud vastavalt vajadusele.
5. Hinnake erinevaid kujundusi, et teha kindlaks, kui hästi need vastavad kriteeriumidele/piirangutele.
6. Paluge igal rühmal oma toodet ülejäänud klassile esitleda. Kui rühmad tunnevad end mugavalt, laske neil oma ideed klassiruumi tahvlile joonistada ja vastata teiste meeskondade küsimustele oma toodete kohta.
7. Pärast seda, kui kõik rühmad on oma tööd teinud, juhi koos õpilastega järelhindamistegevust.





### Täiustatud AR-iga:

- Kasutage ära liitreaalsuse platvorme, näiteks **Assemblr** **EDU** et õpilased saaksid luua bioinspireeritud disainide virtuaalseid prototüüpe.
- Simuleerige toote funktsionaalsust reaajas, näiteks lootoselehti imiteerivaid veekindlaid riideid või taimestruktuuride järgi modelleeritud kergeid materjale.
- Koostööpõhised AR-keskkonnad soodustavad grupiviisilist ajurünnakut ja parandavad meeskonnapõhist probleemide lahendamist.

Uus õpiväljund: Õpilased õpivad ühendama bioloogiat ja inseneriteadust, kavandades bioloogilist inspiratsiooni omavaid lahendusi liitreaalsuse abil täiustatud tagasisidemehhanismidega.

### Looduses esinevad tehnoloogiad ja mehhanismid:

Süsteemi toimimise automaatne juhtimine on piiratud, kui kasutatakse lihtsat tarkvara, millel on ainult etteantud valikud. Üha enam luuakse süsteeme, mis on geniaalsed tehisintellekti abil, kus juhtimisalgoritmid jäljendavad loodust. Nende süsteemide geniaalseks muutmine hõlmab tehisintellekti algoritmide kasutamist, mis pakuvad kriitilisi juhtimisvõimalusi, nagu teadmiste kogumine, esitamine ja ümbertsoneerimine ebakindluse korral, planeerimine, nägemine, näo ja tunnuste jälgimine, keele töötlemine, kaardistamine ja navigeerimine, loomuliku keele töötlemine ning masinõpe. Üldiselt on tehisintellekt arvutiteaduse haru, mis uurib selliste ülesannete nagu taju, ümbertsoneerimine ja õppimine arvutuslikke nõudeid, et võimaldada selliste süsteemide arendamist. Inimese kognitiivsete võimete mõistmise parandamine võimaldab teadlastel üha enam mõista intellekti nõudeid üldiselt ning võimaldab arendada intelligentseid seadmeid, autonoomseid agente ja süsteeme, mis teevad inimestega koostööd nende võimete parandamiseks.

Bioloogia vaatlused on inspireerinud arvukalt mehhanismide näiteid; siin on toodud mitu näidet.

- **Inchworm lineaarmootorid**

Bioloogiline tolliuss on ööliblike (Geometridae) rühma kuuluv röövik, millel on kuus esi- ja neli tagajalga. Selle vastse ehk rööviku liikumismehhanismi jäljendamine viis mootorite ja lineaarsete ajamite, mida tuntakse tolliussidena, väljatöötamiseni. Neid kaubanduslikult saadaval olevaid mootoreid käitavad piesoelektrilised ajamid (tootjad nagu Burleigh Instruments). Need võivad liikuda kiirusega umbes 2 mm s<sup>-1</sup> nanomeetri lahutusvõimega, pakkudes samal ajal sadu millimeetreid liikumisulatust. Nende mootorite tekitatud jõud võivad ulatuda üle 30 N ilma lõtku ja suure stabiilsuseta. Nende mittemagnetiline sisu pakub eeliseid rakenduste jaoks testimisinstrumentides, näiteks magnetresonantstomograafias (MRI). Võrreldes bioloogiliste lihastega on piesoelektriliselt käivitatavatel tolliussidel asendi hoidmisel nullvõimsuse hajumist.



Inchworm-mehhanismidel on palju konfiguratsioone, kus ühendav ajamipõhimõte kasutab kahte pidurit ja pikendust. Need mootorid teostavad tsüklilisi samme, kus tagumine pidur kinnitub völliile ja pikendus lükkab esipidurit ettepoole. Seejärel kinnitub esipidur völliile, vabastades tagumise piduri ja tõmmates pikenduse sisse, et liikuda ühe sammu võrra edasi. ja see samm võib olla nii väike kui 1 nm.

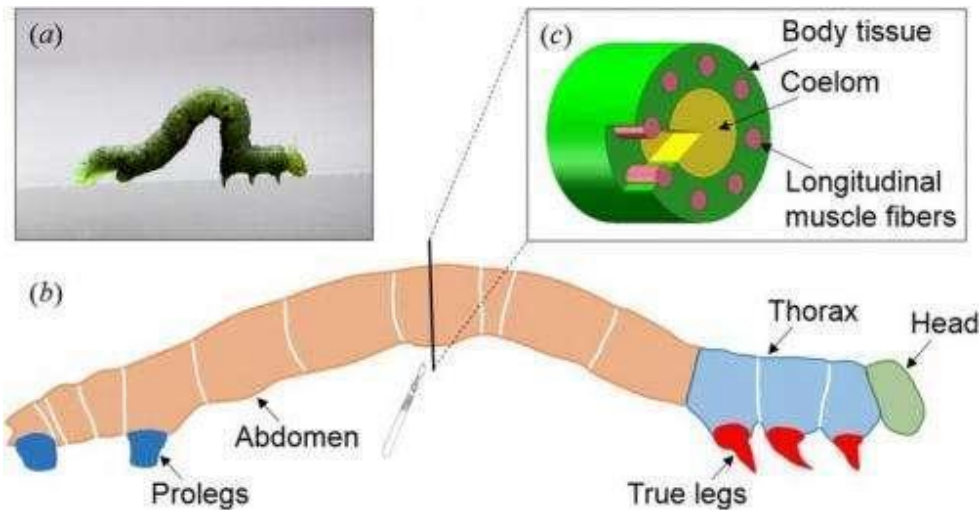


Figure 6. (a) A real inchworm, (b) side view sketch of an inchworm and (c) sketch of its main muscular structures. Credit: Wang, et al. ©2014 IOP Publishing

Tegelikult uurivad nad õpilastele mõeldud projekti raames, kuidas tolliussi liikumine inspireeris piesoelektrilisi mootoreid, mõistes selle liikuvuse, efektiivsuse ja praktiliste rakenduste põhimõtteid sellistes seadmetes nagu MRI-süsteemid.

### Täiustatud fookus AR-i abil

AR-i abil saavad õpilased:

1. Visualiseeri tolliussi liikumise biomehaanikat 3D-s.
2. Simuleeri, kuidas piesoelektrilised ajamid seda liikumist lineaarmootorites jäljendavad.
3. Bioinspireeritud mootorite prototüüpide loomine virtuaalselt, testides nende funktsionaalsust ja tõhusust.





## 1. Tollarussu lükumise visualiseerimine

- Tööriist: Kasutamine **JigSpace** või **Ühenda kuupet** pakkuda tolliussi keha ja lihassstruktuuri 3D-interaktiivset mudelit.
- Tegevus:

Õpilased manipuleerivad AR-mudeliga, et jälgida, kuidas tolliussi lihased koordineerivad tsükklilisi liigutusi.

Simulatsioonid saavad näidata, kuidas tolliuss kohandab oma liikumist erinevatele pindadele, rõhutades selle liikuvuse funktsionaalseid põhimõtteid.

## 2. Piesoelektrilise mootori mehhanismi simuleerimine

- Tööriist: Kasutamine **Assemblr EDU** või sarnaste platvormide abil luua piesoelektriliste ajamite 3D AR-simulatsioon, mis jäljendab tolliussi liikumist.
- Tegevus:

Õpilased uurivad mootori liitreaalsusmudelit, et mõista pidurite, pikendajate ja piesoelektriliste ajamite rolli.

Simulatsioonid võimaldavad õpilastel muutujaid (nt mootori kiirust, jõudu või lahutusvõimet) muuta ja nende mõju reaalsajas jälgida.

## 3. Bioloogiliselt inspireeritud mootorite prototüüpimine

- Tööriist: Kasutage Reality Composerit või **Sketchfab** AR-põhise prototüüpimise jaoks.
- Tegevus:

Õpilased disainivad liitreaalsuse tööriistu kasutades omaenda tolliussidest inspireeritud mootoreid.

Nad saavad mootoreid virtuaalselt testida, jälgides, kuidas mootori konfiguratsiooni muudatused mõjutavad selle jõudlust (nt täpsust, stabiilsust või energiatõhusust).

## 4. Liitreaalsuse rakendused reaals maailmas

- Tööriist: Kasutage liitreaalsust, et simuleerida tolliussimootorite reaalseid rakendusi meditsiinis, tööstuses või robotikas.
- Tegevus:



Õpilased saavad näha, kuidas mootor töötab sellistes seadmetes nagu magnetresonantstomograafia skannerid või robotkäed.

Simulatsioonid võivad esile tõsta tolliussidest inspireeritud disainide eeliseid, nagu suur täpsus ja väike energia hajumine.

### Uued õpiväljundid

1. Biomehaanika mõistmine: õpilased saavad sügavama arusaama tolliussi liikumisest ja sellest, kuidas see inspireeris uuenduslikke insenerilahendusi.
2. Süsteemne mõtlemine: liitreaalsus soodustab bioloogiliste põhimõtete ja insenerirakenduste integreeritud vaadet.
3. Disain ja katsetamine: Õpilased arendavad ja testivad bioloogilisi inspiratsiooniga disainilahendusi virtuaalses ja riskivabas keskkonnas, soodustades loovust ja iteratiivset õppimist.
4. Reaalse maailma olulisus: liitreaalsus demonstreerib biomimikri mõju praktilistes kontekstides, muutes õpikogemuse sisukamaks.

- **Pumpamismehhanismid**

Looduses esinevad pumpamismehhanismid pakuvad suurepärast eeskuju vedelike ja gaaside pumpamiseks. Looduses kasutatakse mitmesuguseid pumpamismehhanisme, mida kasutatakse ka mehaanilistes pumpades. Kopsud pumpavad õhku sisse ja välja (hingamispumpamine) diafragma abil, mis võimaldab meil hingata ribidevaheliste lihaste toel. Peristaltiline pumpamine on bioloogilistes süsteemides üks levinumaid pumpamisviise, kus vedelikke pigistatakse vajalikus suunas. Selline pumpamine on tavaline seedesüsteemis. Inimeste ja loomade südames leidub pumpamist ventiilide ja kambrite kaudu, mis muudavad mahtu, kus kambriid paisuvad ja ahenevad. Ühesuunaliste ventiilide kasutamine on võti verevooluks veenides, kus rõhk on madalam.

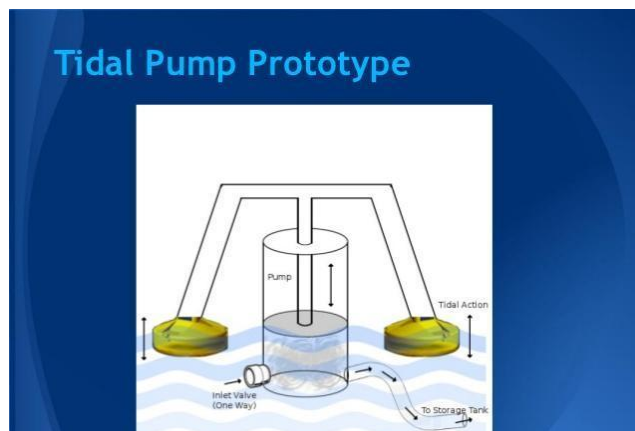


Figure 7. Tidal pump, <https://www.slideshare.net>



Seda mehhanismi õpilasprojektina käsitledes uurivad õpilased looduslikke pumpamismehhanisme, nagu inimese süda või seedesüsteemi peristaltika.

### Täiustatud AR-iga:

- Kasutage liitreaalsuse tööriistu, näiteks **Ühenda kuupluua** bioloogiliste pumpade interaktiivseid 3D-mudeleid, mis võimaldavad õpilastel uurida nende anatoomiat ja funktsionaalsust.
- Simulatsioonid saavad demonstreerida vedeliku dünaamikat, illustreerides, kuidas ühesuunalised ventiilid ja rõhuerinevused võimaldavad tõhusat vedeliku transporti.
- Tudengid saavad kujundada bioinspireeritud pumpade virtuaalseid prototüüpe selliste rakenduste jaoks nagu meditsiiniseadmed või niisutussüsteemid.

**Uus õpiväljund** Õpilased omandavad sügavama arusaama vedelike mehaanikast ja selle tõlkimisest tõhusateks tehnoloogilisteks lahendusteks.

### • Kontrollitud haarduvus

Paljud organismid saavutavad kontrollitud märg- või kuivnakkuvuse. Kasutades tugevalt fibrillaarset mikrostruktuuri, kasutab mardikas *Hemisphaerota cyanea* märgnakkuvust, mis põhineb kapillaarsel interaktsioonil. Teisest küljest näitab gekko van der Waalsi jõudude abil märkimisväärset kuivnakkuvust. Kuigi need jõud annavad madala omaenergia ( $\sim 50 \text{ mJ m}^{-2}$ ), nende efektiivne lokaliseeritud rakendus võimaldab märkimisväärset võimet (Autumn jt 2002). Selle adhesioonimehhanismi abil saab geko joosta poleeritud klaasil kiirusega umbes  $1 \text{ m s}^{-1}$  ja kinnitada oma keha seina külge, kasutades ühte varvast kehakaalu toetamiseks. See võime ajendas püüdlusi jäljendada geko adhesioonimehhanismi ja teatati ka piiratud edust. Sellise uuringu viisid läbi Autumn ja Peattie (2003), kes töötasid välja kunstliku jalakarvade otsa mudeli kuiva, isepuhastuva liimi jaoks, mis toimib vee all ja

tühi.

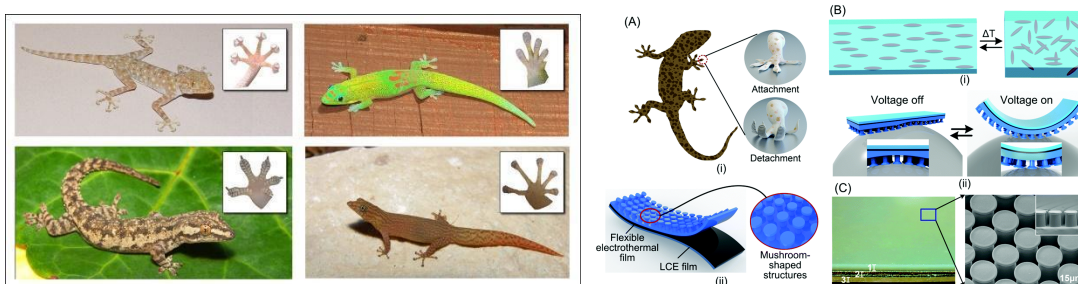


Figure 8. Gecko's adhesion specification, ( Hongmiao Tian&all,2020)

Õpilaste projekti raames saavad õpilased seda näidet uurida, et teada saada, kuidas gekod pindadele kinnituvad, ja mõelda välja viise, kuidas seda funktsiooni jäljendada.

### Täiustatud AR-iga:



- Kasuta **Reaalsuse helilooj**avõi sarnaseid tööriistu, mis võimaldavad õpilastel visualiseerida gekode jalgade struktuure mikroskoopilisel skaalal liitreaalsuses.
- Interaktiivsed simulatsioonid saavad näidata, kuidas van der Waalsi jõud võimaldavad adhesiooni isegi siledatel pindadel.
- Õpilased saavad testida ja kohendada gekode adhesioonist inspireeritud virtuaalseid kujundusi, näiteks robotika või meditsiiniseadmete puhul.

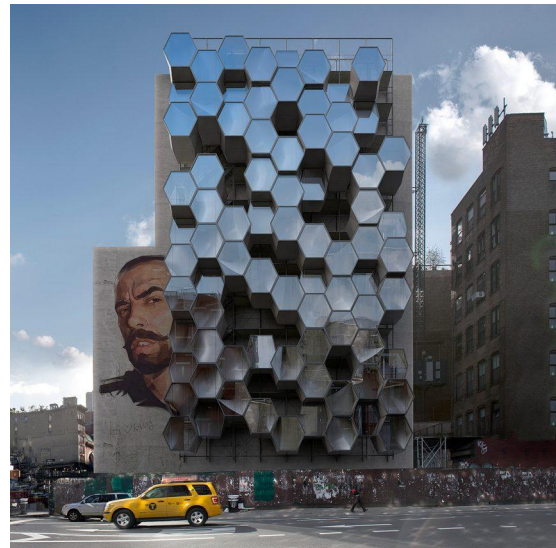
**Uus õpiväljund** Õpilased mõistavad liimimise taga olevat teadust ja selle potentsiaali uuenduslikuks probleemide lahendamiseks, näiteks ohutuma ronimisvarustuse või veealuste liimide loomisel.

- **Kärgstruktuur**

Mesilased valmistavad kärgstruktuuri täielikus pimeduses ja see koosneb ideaalsest kuusnurksest kärgstruktuurist, mis pakub optimaalset pakkimiskuju. Mesilaste jaoks vastab geomeetria nende vajadusele luua struktuur, mis tagab minimaalse materjalikoguse abil maksimaalse koguse stabiilset mahutit (mesi, vastsed). Samadel põhjustel on kärgstruktuur ideaalne struktuur lennuki juhtpindade ehitamiseks ning seda võib leida tiivas, kõrgustikel, sabas, põrandas ja paljudes muudes osades, mis vajavad tugevust ja suuri mõõtmeid, säilitades samal ajal väikese kaalu.



Figure 10.3D Printed 'Homed' by Framlab Offers Shelter for New York's Homeless according to honeycomb.<https://www.dezeen.com>



Seda ideed õpilasprojektina tõlgendades uurivad õpilased kärgstruktuuri geomeetriat, et mõista selle tugevust ja materjalitõhusust.

**Täiustatud AR-iga:**





- Kasutage liitreaalsuse tööriistu, näiteks **Sketchfab** pakkuda kaasahaaravaid kogemusi kõrgstruktuuridest, võimaldades õpilastel analüüsida, kuidas nende geomeetria optimeerib ruumi ja materjalide kasutamist.
- Nende põhimõtete otsese kasulikkuse demonstreerimiseks simuleerige liitreaalsuses reaalseid rakendusi, näiteks kõrgstruktuurist inspireeritud arhitektuurilisi kujundusi või lennukikomponente.

**Uus õpiväljund** Tudengid seovad looduslike disainilahenduste struktuurilise efektiivsuse säästva inseneri- ja arhitektuuripraktikaga.

### **Biomimeetika kaalumine planeetide rakenduste jaoks:**

Tulevaste kosmoseuuringute rakenduste jaoks pakub biomimeetika kontseptsioonide kogumit, mida saab potentsiaalselt kasutada uute tehnoloogiate võimaldamiseks ja olemasolevate võimaluste täiustamiseks. Et ära kasutada potentsiaalseid eeliseid tulevaste NASA missioonide jaoks, mida saab loodusest matkimise abil ammutada. Nende materjalide võimaliku rakendusena võib ette kujutada tugevate ja vastupidavate tehislühaste kättesaadavust, mis põhinevad EAP-I.<sup>1</sup> materjalid võivad võimaldada meil lähiaastatel toota biomimeetilisi jalgadega roboteid, mis suudavad joosta sama kiiresti kui gepard, kanda massi nagu hobune, ronida järskudel kaljudel nagu geko, muuta oma keha nagu kaheksajalg, lennata nagu lind ja kaevata tunnelid nagu tibu. See on uskumatu nägemus robotitest, mida saab potentsiaalselt kasutada universumi planeetide uurimiseks, ja see võib viia tulevaste...

Planeedimissiooni plaanid, mis põhinevad roboti töö stsenaariumil, mis järgib ulmeideid. Mõned ülesanded, mida sellised robotid võivad täita, hõlmavad autonoomset tegutsemist vee, erinevate ressursside ja võimalik, et ka bioloogiliste näitajate tuvastamisel mineviku või oleviku elu otsimisel või isegi tulevaste inimasustuse elupaikade ehitamisel. Kui sellised robotid on piisavalt töökindlad, et töötada kosmose karmis keskkonnas, saavad nad tegutseda inimeste asendajatena ülesannete täitmisel, mis nõuavad inimvõimeid, ilma et nad asetaksid päris inimesi ebavajalikele ohtudele.

Kosmoserakendused on ühed kõige nõudlikumad karmide töötingimuste poolest, mis nõuavad suurt vastupidavust ja vastupidavust. Biomimeetilise võimekuse loomine elektroaktiivse materjali abil võimaldab NASA-I potentsiaalselt läbi viia missioone teistele planeetidele, kasutades roboteid, mis jäljendavad inimeste tegevust enne inimeste maandumist. Üldiselt on kosmoselendude jaoks uuel tehnoloogial põhineva riistvara valmistamisega seotud nõuded ja väljakutsed väga rasked ületada.

Kuna sellised rakendused hõlmavad tavaliselt vaid väikeste partiide tootmist, võivad need pakkuda olulist võimalust uute ajamite ja seadmete tutvustamiseks ja katsetamiseks. See erineb kommertsrakendustest, mille puhul masstootmise, tarbijate nõudluse ja ühikuhinna küsimused võivad olla tehnoloogia praktilise kasutamise seisukohalt kriitilise tähtsusega. Üldiselt võivad bioloogiliselt inspireeritud robotite, mida juhivad EAP-ajamid, loomisel olla looduslikest olenditest paremad võimalused, kuna neid roboteid ei piira evolutsioon ja ellujäämisvajadused, mis on bioloogiliste olendite jaoks kriitilise tähtsusega. Bar-Cohen ja tema kaasuuriad konstrueerisid miniatuurse robotkää, mida tõsteti üles valtsitud dielektrilisel elastomeeril

<sup>1</sup>Elektroaktiivsed polümeerid ehk EAP-d on polümeerid, mis muudavad elektrivälja mõjul oma suurust või kuju. Seda tüüpi materjalide kõige levinumad rakendused on täiturmehhanismides ja andurites.



põhineva EAP-ajamiga ja mis töötab lineaarse ajamina. Telepresence koos virtuaalreaalsusega, kasutades haptilist liidest, pakub kosmoserakenduste jaoks veel ühe olulise potentsiaali, eriti inimeste otsese kokkupuute vältimiseks ohtlike tingimustega.

Bar-Cohen ja tema uurimisrühm töötasid välja uudse disaini, kus minimaalselt invasiivset robotkätt kirurgilise tööriistana saab konstrueerida kaheksajala konfiguratsioonis, millel on mitu vabadusastmega kombitsad ja mis on varustatud erinevate tööriistadega. Sellise võimaluse realiseerimiseks kaaluti EAP-i kui täiturmehhanismide ja elektroeoloogiliste vedelike (ERF) kombinatsiooni, kus sellise painduva robotkäe jäikust saab kontrollida ja seda saab kasutada haptilise liidesena.

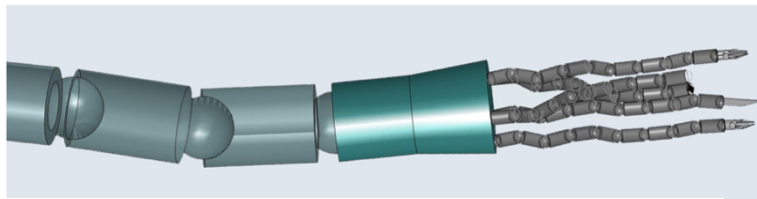


Figure 17. A graphic view of an octopus-configured catheter for surgical applications. (Bar-Cohen, 2006)

See **Biomimeetika kaalumise planeedirakenduste** Projekti, mis näeb ette biomimeetilisi roboteid kosmoseuuringuteks, saab samuti oluliselt täiustada liitreaalsuse tööriistadega. Liitreaalsuse integreerimise abil saavad õpilased ja teadlased simuleerida, visualiseerida ja katsetada bioloogilisi robotikontseptsioone, parandades oma arusaamist ja loovust karmide planeedikeskkondade lahenduste väljatöötamisel.

Projekt uurib biomimeetilisi kontseptsioone, nagu tehislhased, gekolaadne ronimine ja kaheksajalalaadne ümberkonfigureerimine, et luua roboteid, mis suudavad töötada karmides planeeditingimustes.

### Täiustatud fookus AR-iga:

AR-i abil saavad õpilased:

1. Visualiseeri biomimeetiliste disainide liikumist ja kohanemisvõimet äärmuslikes keskkondades.
2. Simuleeri selliseid ülesandeid nagu ressursside otsimine või elupaikade loomine teistel planeetidel.
3. Bioloogiliselt inspireeritud robotite prototüüpide loomine ja testimine planeedi tingimuste virtuaalsetes simulatsioonides.

### 1. Biomimeetilise liikumise uurimine

- Tööriist Kasutamine JigSpace või Assemblr EDU pakkuda gepardidest, gekodest või kaheksajalgadest inspireeritud biomimeetiliste robotite 3D AR-mudeleid.
- Tegevus:





Õpilased manipuleerivad liitreaalsuse mudelitega, et jälgida, kuidas bioloogilised kohandused (nt gekode adhesioon või gepardi kiirus) muunduvad robotfunktsioonideks.

Simuleeri liigutusi, näiteks kaljudele ronimist või kujundite ümberkujundamist erinevate ülesannete jaoks.

## 2. Kosmoserakenduste simuleerimine

- **Tööriist** Finantsvõimendus **Ühenda kuupet** luua liitreaalsuse keskkondi, mis jäljendavad planeetide, näiteks Marsi või Kuu pindu.
- **Tegevus:**

Tudengid testivad AR-põhiseid roboteid virtuaalsetel maastikel, kus on simuleeritud keskkonnaprobleeme, näiteks madal gravitatsioon või äärmuslikud temperatuurid.

Kujuta ette, kuidas tehislühased ja biomimeetilised disainilahendused võimaldavad selliseid ülesandeid nagu ressursside kaevandamine või elupaikade loomine.

## 3. Robotite prototüüpimine AR-i abil

- **Tööriist** Kasutamine **Reaalsuse helilooja** et õpilased saaksid bioloogilistest ainetest inspireeritud robotikakomponente kujundada ja modifitseerida.
- **Tegevus:**

Õpilased prototüübivad robotkäsi EAP-ajamite või gekodest inspireeritud ronismehhanismidega.

Simuleerige, kuidas need kujundused täidavad konkreetseid ülesandeid, näiteks proovide kogumist või modulaarsete elupaikade ehitamist.

## 4. Koostöös disainimisega seotud väljakutsed

- **Tööriist** Kasutage **CoSpaces Ed** grupipõhiste AR-simulatsioonide jaoks.
- **Tegevus:**

Meeskonnad disainivad multifunktsionaalseid roboteid, mis ühendavad endas mitu biomimeetilist põhimõtet (nt gekodest inspireeritud roniskäsi ja gepardist inspireeritud jooksumehhanism).





Kasutage liitreaalsust nende disainilahenduste koostöös visualiseerimiseks ja täiustamiseks, esitledes oma robotite võimeid simuleeritud planeedimissioonil.

## Kokkuvõte

Biomimikri integreerimine hariduspraktikasse pakub õpilastele ainulaadse võimaluse uurida bioloogia, inseneriteaduse ja disaini kokkupuutepunkte, edendades loovust ja innovatsiooni. Liitreaalsuse (AR) tööriistade kaasamine muudab õppimise kaasahaaravamaks, interaktiivsemaks ja kaasahaaravamaks. Need tööriistad võimaldavad õpilastel visualiseerida keerulisi bioloogilisi süsteeme, simuleerida reaalse maailma rakendusi ja prototüüpe luua bioloogilistest lahendustest dünaamilistes virtuaalsetes keskkondades.

See koolitusüksus on üles ehitatud nii, et see juhendaks õppijaid uurimise, elluviimise ja täiustamise etappides, tagades tervikliku lähenemisviisi biomimikri põhimõtete mõistmisele ja rakendamisele. Avastamise etapis omandavad õpilased bioloogilistest alustest inspireeritud kontseptsioonide alusteadmised ja kasutavad liitreaalsust bioloogiliste mudelite visualiseerimiseks. Elluviimise etapp rõhutab praktilisi projekte, koostööl põhinevat probleemide lahendamist ja reaalajas tagasisidet liitreaalsuse simulatsioonide kaudu. Lõpuks tutvustab täiustamise etapp edasijõudnud õppestrateegiaid, nagu mängustamine ja liitreaalsusel põhinevad hindamised, et süvendada arusaamist ja julgustada innovatsiooni.

Järgnev tabel võtab kokku iga etapi põhielemendid, kirjeldades üksikasjalikult, kuidas liitreaalsuse tööriistu õpieesmärkide toetamiseks integreeritakse. Selle tabeli koolitusmoodulisse lisamisega saavad koolitajad ja õppijad raamistikule hõlpsalt viidata ja hinnata liitreaalsuse transformeerivat rolli biomimikri hariduses.

In fact, as a project for students, they explore how the inchworm's movement inspired piezoelectric motors, understanding its principles of mobility, efficiency, and practical applications in devices like MRI systems.

| Faas        | Kirjeldus                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Avastamine  | <b>-Uurimistöö ja avastused</b> Õpilased tegelevad biomimikri põhimõistetega, uurides bioloogilisi põhimõtteid, nagu vormi ja funktsiooni sobivus ning optimeerimine looduslike protsesside kaudu.                                                                                   |
|             | <b>-Sisu arendus</b> Interaktiivsed liitreaalsuse tööriistad, näiteks JigSpace, pakuvad 3D-mudeleid (nt lootoselehe mikrostruktuur, kärgstruktuuri geomeetria), et visualiseerida kontseptsioone ja seostada neid tehniliste rakendustega.                                           |
|             | <b>-Vajaduste analüüs</b> Õpetajad ja õpilased analüüsivad bioloogiliste strateegiate abstraktsiooniga seotud väljakutseid insenerirakenduste jaoks.                                                                                                                                 |
| Käivitamine | <b>-Õppekava rakendamine</b> Tunnid hõlmavad selliseid projekte nagu lillede pöördprojekteerimine või bioinspireeritud robotite kujundamine.                                                                                                                                         |
|             | <b>-Interaktiivsed harjutused</b> AR-põhiseid tööriistu, näiteks Assemblr EDU, kasutatakse prototüüpide ja simulatsioonide jaoks. Näiteks õpilased disainivad virtuaalseid gekodest inspireeritud ronimisvahendeid või simuleerivad tolliussidest inspireeritud lineaarseid ajameid. |
|             | <b>-Tagasiside kogumine</b> Õpetajad koguvad liitreaalsusega täiustatud projektidest teadmisi, keskendudes sellele, kuidas liitreaalsus parandab arusaamist ja kaasatust.                                                                                                            |
| Täiustamine | <b>-AR-integratsioon:</b> Tutvustada AR-täiustatud visualiseeringuid täiustatud biomimikri kontseptsioonide jaoks, näiteks gekodest või gepardidest inspireeritud robotisimulatsioonide jaoks.                                                                                       |





## Viited:

Autumn K and Peattie A M 2003 Mechanisms of adhesion in geckos J. Integr. Comp. Biol. 42 1081–90.

Autumn K, Sitti M, Liang Y A, Peattie A M, Hanen W R, Sponberg S, Kenny T W, Fearing R, Israelachvili J N and Full R J 2002 Evidence for van der Waals attachment by gecko foot-hairs inspires design of synthetic adhesive Proc. Natl Acad. Sci. USA 99 12252–6.

Benyus, Janine M. Biomimicry: Innovation Inspired by Nature. New York, NY: William Morrow and Company, Inc., 1997.

Ciloglu.T, Ustun.A.B. 2023. The Effects of Mobile AR-based Biology Learning Experience on Students' Motivation, Self-Efficacy, and Attitudes in Online Learning. <https://doi.org/10.1007/s10956-023-10030-7>

Dzenis Y 2004 Spinning continuous fibers for nanotechnology Science 304 1917–9.

Hwang J, Jeong Y, Park JM, Lee KH, Hong JW, Choi J.2015. Biomimetics: forecasting the future of science, engineering, and medicine. DOI: <https://doi.org/10.2147/IJN.S83642>.

Helena Hashemi Farzaneh.2019. A Practical Guide to Bio-inspired Design, <https://doi.org/10.1007/978-3-662-57684-7>, ISBN 978-3-662-57683-0.

Hongmiao Tian, Haoran Liu , Jinyou Shao ORCID logo, Shuai Li , Xiangming Li and Xiaoming Chen.2020. An electrically active gecko-effect soft gripper under a low voltage by mimicking gecko's adhesive structures and toe muscles. DOI: 10.1039/D0SM00787K.

Keto JE (1960) Bionics - new frontiers of technology through fusion of the bio and physio disciplines (keynote address). In: Robinette JC (ed) Bionics Symposium: Living prototypes - the key to new technology, pp 7–12.

Lukosch.S, Billinghamst.M, Alem.L, Kiyokawa.K. 2015.Collaboration in Augmented Reality. DOI 10.1007/s10606-015-9239-0

Mansour.N, Aras.C, Staarman.J.K,Bader.S, Alotaibi.M. 2024. Embodied learning of science concepts through augmented reality technology. <https://doi.org/10.1007/s10639-024-13120-0>

Nachtigall W, Wisser A (2015) Bionics by examples: 250 scenarios from classical to modern times. Springer, Cham, Heidelberg, New York, Dordrecht, London.

Nilsson, S., Johansson, B., Jönsson, A., (2008), Design of Augmented Reality for Collaboration, Proceedings of The 7th ACM SIGGRAPH International Conference on Virtual-Reality Continuum and Its Applications in Industry, VRCAI 2008. <https://doi.org/10.1145/1477862.1477920>

Shin.T.J, Jennings.C, Ed.D. 2013. AUGMENTED REALITY AND DESIGN PROCESS: THE NEW ROLE OF AUGMENTED REALITY IN DESIGN PROCESS. IDSA 2013 EDUCATION SYMPOSIUM, [https://www.idsa.org/wp-content/uploads/Shin\\_Ted-Paper AUGMENTED REALITY AND DESIGN PRO  
CESS.pdf?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.idsa.org/wp-content/uploads/Shin_Ted-Paper_AUGMENTED_REALITY_AND_DESIGN_PROCESS.pdf?utm_source=chatgpt.com)





Subran.S, Diyana Mahmud.S.N. 2024. Augmented Reality (AR) Technology in Biology and Life Science Education: A Systematic Literature Review (SLR). DOI:10.6007/IJARPED/v13-i1/20455

The Biomimicry Institute, "Inspiring, educating and connecting biomimics through the world," 2007-2009. Accessed August 5, 2009. <http://www.biomimicryinstitute.org>. Copyright © 2009 by Regents of the University of Colorado.

Yoseph Bar-Cohen.2012. Biomimetics: Nature-Based Innovation, Taylor & Francis Group.

Yoseph Bar-Cohen.2006. Biomimetics—using nature to inspire human innovation. CA 91109-8099, USA.

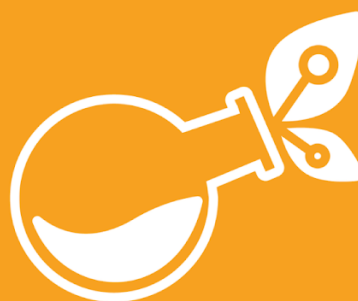
Vardar-Ulu.D, Ragab.S.E, Agrawal.S, Dutta.S .2024. Using augmented reality in molecular case studies to enhance biomolecular structure-function explorations in undergraduate classrooms. <https://doi.org/10.1128/jmbe.00019-24>

Wei Wang, et al. "Locomotion of inchworm-inspired robot made of smart soft composite (SSC)." Bioinspiration & Biomimetics. DOI: 10.1088/1748-3182/9/4/046006.





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.\*