

Järgmised aastakümned kuuluvad biomajanduse võidukäigule – kas vaatame kõrvalt või võtame osa?

Puidust toodetud nailon, laboris kasvatatud eetiline liha, iseparanevad ehitusmaterjalid, olmejäätmetest kütus või personaalselt disainitud vaktsiinid – need võivad küll kõlada ulmeliselt, kuid on praeguseks juba kommertsialiseeritud või sellele lähedal olevad tooted. Kõiki mainitud ühendab tehnoloogia, mida on nende arendamiseks kasutatud – see on **sünteetiline bioloogia**.

Sünteetiline bioloogia on kiiresti arenev valdkond, mis võimaldab ümber disainida elusaid süsteeme (nii ensüüme ja rakke kui ka elusorganisme), **lisades neile juurde uusi, huvipakkuvaid funktsionaalseid omadusi**. Bioloogia on seeläbi muutunud teaduseks, kus pärilikkuse koodi ehk DNA-d saab ümber kirjutada sama moodi kui arvuteid programmeerida. See loob eelduse lahendada mitmeid olulisi küsimusi, nende hulgas ka ÜRO välja toodud globaalsed probleemid.¹

Sünteeiline bioloogia on valdkond, mis annab teadlastele uudsed tööriistad senitundmatute tehnoloogiate väljatöötamiseks ja edasiarendamiseks. Nendeks võivad olla näiteks rakuvabrikud – mikroorganismid, mis toodavad kestlikust bioloogilisest toormest igapäevaselt vajalikke tooteid ja materjale. Või hoopis tööriistad, mille abil on võimalikuks saanud seniravimatute haiguste (nt neurodegeneratiivsed haigused) ravi², keskonnakaitse areng (nt veepuhastussüsteemid ja diagnostika³) kui ka tulevikutehnoloogiate kasutamine andmete⁴ või isegi energia⁵ salvestamiseks.

Sünteeilise bioloogia kiire areng kajastub ka numbrites. Ülemaailmne sünteeilise bioloogia turu maht oli 2019. aastal 4,5 miljardit eurot ning kasvab 2024. aastaks hinnanguliselt üle 16 miljardi euro, mis teeb selle perioodi liitkasvumääraks vägagi kõrge 28,8%.⁶ Seejuures hinnatakse sünteeilise bioloogia poolt mõjutatud turusegmendi suuruseks aastast juba praegu enam kui 15 miljardit eurot. Samas trendis liiguvad ka investeeringud valdkonna iduettevõtlusesse – alates 2015. aastast on neid tehtud suurusjärgus üle 11 miljardi euro.⁷

Tänu bioteaduste arengule ei põhine biomajandus enam ainult traditsioonilistel valdkondadel, nagu põllumajandus, toidu- ja söödatööstus ning metsandus, vaid seda viivad edasi ka mitmed uudsed tehnoloogilised lahendused. Sünteeiline bioloogia on lisaks traditsioonilisele biomajandusele muutmas biopõhiseks veel ka keemiatööstust, meditsiini, keskonnakorraldust, ehitusmaterjalide tootmist, energeetikat ja infotehnoloogiat. Vajadus uute ja tugevate ringmajanduslike mudelite järele aina suureneb, kuna süsiniku maksustamine ja heitkoguste piirmäärade kehtestamine piiravad praegu laialdaselt levinud fossiilseid maavarasid eksploateerivat tööstust. Samuti peab silmas pidama ÜRO riikide soovi piirata globaalset temperatuuri tõusu 2060. aastaks alla 2 °C ning selleks rakendatavaid Euroopa Liidu direktiive. Sünteeilise bioloogia pakutavatel tehnoloogilistel lahendustel põhineva tööstuse rajamine on just seetõttu äärmiselt õigeaegne ja äärmiselt vajalik.

Mis on muutunud viimase kümnendi jooksul?

Sünteeiline bioloogia on interdistsiplinaarne uurimisvaldkond ning selle edu põhineb bioteaduste, peamiselt molekulaarbioloogia kiirel arengul.

Viimase kümnendi jooksul on juhtunud palju. Olulisemate arengutena võib välja tuua nii pärilikkuse koodi ehk DNA lugemise kui ka kirjutamise tehnoloogiate odavnemise tempos, mis on kiirem kui Moore'i seadus (hind kukub enam kui kaks korda iga kahe aasta järel). Need tehnoloogiad ongi sünteeilise bioloogia kiire arengu aluseks ning nende

odavnemine parandab veelgi kättesaadavust ja võimaldab seeläbi aina suuremaid avastusi. Lisaks on arengud erinevates bioteadustes, eelkõige bioinformaatikas, rikastanud arusaama elusloodusest. Eelmise kümnendi alguses avastatud uudne DNA redigeerimise tehnoloogia ja sel aastal Nobeli preemia pälvinud CRISPR-tehnoloogia on muutnud uute rakkude konstrueerimise täpsemaks, kiiremaks ning tihti ka odavamaks. Sellised arengud võimaldavad ka biotehnoloogia ettevõtetel, kes asendavad toornaftast toodetud materjalid biomaterjalidega, püsida teistega tihedas konkurentsisis.

Lisaks on toimunud üks oluline muutus, mis annab ka Eestile suurepärase võimaluse jõudsalt arendada kohalikku biomajandust. Nimelt on tänaseni tulnud peamine toore biotehnoloogiliste protsesside tarbeks maisi- või roosuhkrust, ent maisi ja suhkruroo kasvatamine suures koguses ei ole Eesti kliimas otstarbekas ning see konkureerib haritava maa pärast toidu tootmisega. Nüüd on jõudsalt arenemas aga tehnoloogiad, mis põhinevad erinevate orgaaniliste jääkide väärindamisel. Näiteks on seni peamiselt põletatavatel puidujäätmetel suur potentsiaal suhkruteks ja fenoolsetest ühenditest koosnevaks ligniini fraktsioneerimisel. Nende suhkrute või ligniini biotehnoloogiline väärindamine võimaldab toota laia valikut kemikaale ja materjale. Seetõttu võivad nii põllumajandus- ja toidujäätmed, vetikad kui ka kokkukogutav olme- ja ehitusprügi leida tulevikus rakendust olulisteks materjalideks või kütusteks väärindamisel. Just jäätmete põletamisel (pürolüüsil) tekkivate gaaside või tulevikus ka õhust püütud süsihappegaasi (CO₂) kasutamine materjalide ning vedelkütuste tootmiseks on üks kõige suurema potentsiaaliga testimisfaasis olev tehnoloogiline saavutus.⁸

Mõjuvaldkonnad

Tehnoloogia radikaalsete võimaluste tõttu oodatakse sünteetiliselt bioloogialt tugevat mõju väga erinevates valdkondades. Allpool on toodud näited hetkel kõige kiiremini arenevatest suundadest.

Materjalid, kemikaalid ja tarbekaubad

Enamik kogu maailmas müüdavatest materjalidest ja kemikaalidest pärineb endiselt toornaftast, sealjuures kasvab visalt ka biomaterjalide ning biokemikaalide osakaal. Paljud kütuste ja plastiku tootmise tehnoloogiad on juba välja töötatud ning peamine arendustegevus käib nende efektiivsemaks muutmisel, et konkureerida toornaftast toodetud alternatiividega. Sellest hoolimata tehakse ka olulist arendustööd tarbekaupade, nagu rehvid, värvid ja tekstiilid, muutmiseks vähemalt osaliselt biopõhiseks.

Uuenduslike materjalidena võib välja tuua nii Jaapani biomaterjalide ettevõtte Spiberi kui ka Ameerika Ühendriikides tegutseva Bolt Threadsi ämblikusiidi, mis on toodetud laborites disainitud pärmide abil. Mõlemad ettevõtted on kogunud ligi 200 miljoni dollari ulatuses investeringuid, mis teeb neist ühed enim rahastatud idufirmad.

Lisaks siidile on asendumas ka 1930-ndatel avastatud ning suurt populaarsust kogunud nailon, mis muutis toona nii tekstiilitööstust kui ka tarbekaupade sektorit tamiili näol. **Bioniloni tootmisega tegeleb koostöös mitmete teiste ettevõtetega Genomatica, kes on disaininud materjali algühendit tootma bakterid.** Uusi, biomaterjalidel põhinevaid tooteid turustatakse peamiselt jätkusuutlike moeakssuaaridena või lisanditena olemasolevatesse rõivatoodetesse.

Ameerika Ühendriikides tegutsev idufirma Ecovative tegeleb aga jätkusuutlike ja bioloogilisest materjalist loodud pakkematerjalide tootmisega, neid kasutatakse kaupade tarnimiseks. Koostööd tehakse suur-ettevõtetega, nagu IKEA ja Dell.

Tänu lisanduvatele teadmistele ja kogemustele ning teadliku tarbija aina suurenevale nõudlusele kasvab biopõhiste toodete ning materjalide tootmine. Neil on väiksem süsinikujalajalg ja võrreldes traditsiooniliste toornaftast tehtud alternatiividega tihti ka paremad füüsilised omadused.

Põllumajandus, toidulisandid ja keskkonnahoid

Keskkonnasõbraliku põllumajanduse üks suurimaid probleeme tänapäeval on keskkonda kahjustav ning enam kui 200 miljardi euro suurune väetisetööstus. Sünteetilise väetise valmistamine kulutab kuni kaks protsenti kogu maailma energiavõimsusest ning väetise äravool põldudelt mürgitab jõgesid, järvi ja ookeane kogu maailmas. Probleemi leevendamisel nähakse aga tugeva alternatiivina mikroorganisme, mis on võimelised loomulikes tingimustes siduma õhus leiduvat lämmastikku ühenditeks, mida taimed suudavad tarbida. **Sünteetilise väetise alternatiividega tegelevad näiteks ettevõtted Novozymes, Rizobacter BioWorks ja Pivot Bio, kes on olnud teerajajad põllukultuuride ulatuslikus ja keskkonnasõbralikus väetamises.** Nimelt kasutavad nad väetamisel mulla mikroobe, et luua elus toode, mida põllumehed saavad koos seemnetega mulda kanda. Pärast istutamist võtavad kasutatavad mikroobid õhust kättesaadavat lämmastikku ja suunavad selle edasi taimedele.

Samuti on võimalik sünteetilise bioloogiaga leevendada toksiliste pestitsiidide kasutamist. Nii Ameerika Ühendriikides 2018. aasta keemia Nobeli preemia laureaadi Francis Arnoldi rajatud Provivi kui ka Taanis tegutsev BioPhero tegelevad looduslike feromoonide tööstusliku tootmisega.

Feromoonid on suunatud kahjurite paljunemise piiramiseks, kuid seejuures on kasutatavas koguses ohutud inimestele ja kasulikele putukatele.

Süntheetiline bioloogia avab ka uusi võimalusi, mille abil leida lahendusi loomse toidu asendamiseks teiste sarnaste toodetega, mis oma toiteväärtuselt, maitse ja tekstuurilt on ligilähedased originaalile. Näiteks on **Impossible Foods** kogunud üle poole miljardi dollari ulatuses investeringuid, et toota lihale omase struktuuriga taimset alternatiivi. **Finless Foods** ja **Memphis Meats** viivad bioloogilisi protsesse veelgi edasi, kasvatades loomarakke ilma loomadeta – esimene kasvatab siseruumides kalakudesid, teine aga pakub alternatiivi äärmiselt saastavale veisekasvatusele ja nahatööstusele. Lisaks tegutseb ettevõtte **Modern Meadow**, kelle eesmärgiks on asendada loomset nahka bioloogilise alternatiiviga. Ta toodab naha ühte olulist komponenti – kollageeni – looduslikust toormest ning saavutab seeläbi nahale omase tekstuuri ja vastupidavuse. **Geltor** rakendab aga sarnast tehnoloogiat kollageeni **HumaColl21™** tootmiseks, et kasutada seda kosmeetikatoodetes ja asendada loomse kollageeni tarbimist kosmeetikatööstuses. Taimsetest materjalidest piimavalkude tootmisel on seni edukad ettevõtted olnud **Perfect Days** Ameerika Ühendriikides ning Saksamaal tegutsev **Legendairy Foods**.

Lisaks laialdaselt levinud vitamiinide tootmisele tegelevad **Conagen** ja **Evolva** uue põlvkonna alternatiivsete magusainete arendamisega. **Evolva** on lisaks arendanud toidulisandi resveratrooli fermentatsiooni protsessi ja tegeleb safrani tootmisega. **Codexis** on turule toonud uued nullkalorsusega magusained, samuti laialdaselt ensüüme, mida ettevõtte kliendid kasutavad toidu-, joogi- ja biofarmatseutikasektoris.

Meditsiin ja ravimid

Süntheetilist bioloogiat kasutatakse üha enam ravimite väljatöötamisel. Arvatakse, et mikroorganismide toodetud ravimite hulk moodustab juba 2025. aastal 50% kogu ravimiturust. **Üheks aktuaalseks näiteks on COVID-19 vaktsiinid, mille väljatöötamisel kasutatakse sünteetilise bioloogia võimalusi.** Samas on see avamas ka täiesti uusi meditsiinivaldkondi. Näiteks aitas sünteetiline bioloogia neurodegeneratiivsete haiguste, nagu Alzheimeri tõbi, ravimite loomisel leida sobilikke ravimikandidaate.⁹

Süntheetiline bioloogia pakub lahendusi ka teiste haiguste puhul. Need hõlmavad elusrakkude, sealhulgas ka bakterite konstrueerimist terapeutiliste funktsioonide täitmiseks keha sees või pinnal. Näiteks fenüülketonuuria on pärilik haigus, mis suurendab aminohappe fenüülalaniini taset veres, põhjustades tõsiseid mõtlemis- ja keskendumishäireid. Haiguse kontrolli all hoidmiseks on disainitud probiootilised bakterid, mis on võimalised lagundama fenüülalaniini ja vähendama selle taset inimese kehas.

Probiootilisi tooteid pakuvad ettevõtted Synthetic Biotic™, kes on välja töötanud ravimi põletikulise soolehaiguse raviks, ja Senti Bioscience, kelle eesmärk on rakendada uue põlvkonna rakuteraapiaid erinevate geneetiliste haiguste vastu, mille hulgas on vähkkasvajad ja neurodegeneratiivsed haigused.

Sarnast lahendust rakendab ka ZBiotics, Ameerika Ühendriikide ettevõtte, kes on turule toonud probiootilised bakterid, mis väidetavalt väldivad pohmelli tekkimist pärast alkoholi tarbimist. See on võimalik tänu probiootiliste bakterite võimele lagundada maos leiduvat ning pohmelli tekitavat ühendit – atseetaldehüüdi.

Valdkonnaspetsiifilised teenused, automatiseerimine ja tehisintellekt

Olulise osa sünteetilise bioloogia ettevõtlusest moodustavad seda toetavad ja arendavad teenused. Sünteetilise bioloogia aluseks oleva DNA lugemise ja kirjutamise tehnoloogiad on muutunud odavamaks ja kiiremaks, seejuures on areng jätkumas samas tempos. Uudsed tehnoloogiad leiavad aina laialdasemat kasutust ja seega võib eeldada aina suurenevat nõudlust nende järele. Näiteks on uudseid DNA kirjutamise tehnoloogiaid pakkuva ettevõtte Twist Bioscience aktsia hind viimase aastaga tõusnud 183% ja ettevõtte väärtus enam kui 280%.

Automatiseerimisel ja tehisintellektil põhinevad bioloogiliste süsteemide disainimise mudelid on kiirendanud sünteetilise bioloogia arengut, mis väljendub üha enamate uute toodete turule toomises. Ginko Bioworks ja Zymergene on ühed edukamad ettevõtted, kes pakuvad raku- vabrikute disaini ja optimeerimise teenust ning on automatiseerinud kogu eelnevat disainimise-konstrueerimise-testimise protsessi, kiirendades uute ja efektiivsemate bakteritüvede konstrueerimist. Varasemalt oli taoliste simulatsioonide võimaldavate mudelite loomine teadus- ja arendustöö ülesanne, kuid tänapäeval rakendab aina enam ettevõtteid strateegiaid, mis hõlmavad masinõpet bioloogilistele süsteemidele.

Järjest olulisemaks muutub raku- vabrikute abil soovitatavate produktide tootmisel demonstratsioon- või tööstusskaalas infrastruktuur. Seda eriti olukorras, kus suurem osa protsesse jõuab kommertsialiseerimisele aina lähemale. Tootmisprotsesside ülesseadmisel on lisaks infrastruktuurile oluliseks teguriks ka kvalifitseeritud tööjõu ning protsessiks vajaliku toorme olemasolu.

Erinevad ärimudelid

Biokemikaalid moodustasid 2014. aastal ühe protsendi kogu kemikaaliturust, tänavu on see tõusnud juba kahele protsendile. Nagu eelnevalt mainitud, areneb biopõhiste ravimite tootmine veelgi kiiremas tempos.¹⁰ Bioplastiku nõudluse taga on nii Euroopa Liidu plaanid kui ka tarbijate teadlikkuse kasv. Kuigi sünteetilisest bioloogiast mõjutatud tööstusprotsessidesse investeerimise maht on viimase aastakümnega märkimisväärselt langenud ja tasuvusperiood lühenenud, on see endiselt suurem, võrreldes Eestis hästi arenenud IT-ettevõtlusega.

Biotoorme kasutuselevõtt ja esmane rafineerimine

Biotoorme kasutusele võtmine on biorafineerimise juures võtmetähtsusega. Selleks on enamikul juhtudel vajalik toorme esmane töötlus. Kui varasem biotööstus põhines maisi-, roo- ja peedisuhkrul ning tärklisel, siis teise generatsiooni toormeks on tihti lignotselluloosne biomass, vetikad, toidujäätmed või toidutööstuse jäätmed. Kolmanda generatsiooni toormena kasutatavad süsinikku sisaldavad gaasid pärinevad kas tööstuse heitgaasidest, jäätmete pürolüüsist või otse õhust. Nende muundamine suhkruteks, karboksüülhapeteks või mõneks teiseks algkomponendiks on oluline edasise väärindamise seisukohalt.

Protsesside kasumlikuks muutmisel on innovatiivsed lahendused erinevate toormete ja keskkonnasõbralike tehnoloogiate kokkuviiemisel tihti eduka ärimudeli arendamise võtmeks.

Biomaterjalide ja -kemikaalide ning tarbekaupade tootmine

Esmase biopõhise toorme olemasolu võimaldab selle konverteerimist juba kasulikeks kemikaalideks või materjalideks. Biotehnoloogiliste protsesside puhul toimetavad sellist konverteerimist mikroorganismid – nn rakuvabrikud. Protsesside jaoks on võimalik vajalikke rakuvabrikuid ka litsentsi alusel kasutada huvipakkuvate kemikaalide tootmiseks. Mõningateks näideteks on rakuvabrikute kasutamine bioplastiku – polümeriseeritud piimhappe (Corbion Purac, NatureWorks) või ravimite, nagu insuliin (Novo Nordisk), tootmiseks.

Innovaatilised täislahendused

Suur osa sünteetilisest bioloogial põhinevatest innovaatilistest täislahendustest, näiteks erinevad diagnostilised testid, on loodud tugeva teadus- ja arendustegevusega. Need võivad varieeruda lihtsamatest ideelahendustest kuni keerukate ning teadusmahukate protsessideni biotehnoloogias, meditsiinis, keskkonnahoius või mõnes teises valdkonnas. Selliste lahenduste

arendamine nõuab lisaks teadus- ja arendustööle tugistruktuure varajasel staadiumis ideede rakendamiseks, finantseerimiseks ja skaleerimiseks tööstuslikule skaalale.

Valdkonna tugistruktuurid

Sünteesilise bioloogia innovatsiooni tugevdavad ettevõtted, mis muudavad efektiivsemaks DNA sünteesi, kuid lisaks ka nn CAD/CAM (*computer aided design/manufacturing*) tarkvaraplatvormid, mis võimaldavad *in silico* bioloogiliste süsteemide disaini.¹¹ Nii nagu lennundustööstuses ei testita kõiki prototüpe realselt, vaid arvutisimulatsiooniga, kasutatakse sarnast lahendust ka uudsete mikroorganismide ja teiste sünteesilise bioloogia tehnoloogiate disainil.

Oluline on bioloogiliste materjalide ja kemikaalide tootmine. Nende tootmisprotsessid on võrdlemisi standardiseeritud ja toimuvad kinnistes reaktorites sarnaselt näiteks õlle pruulimisega. Taoliste platvormide ülesehitus on võrdlemisi lihtne ning võimaldab näiteks frantsiisipõhiseid ärimudeleid, kus mujal väljatootatud tootmisprotsess tuuakse lähemale algsele toormele või lõpptarbijale. Nende ärimudelite puhul on vaja standardseid tootmisplatvorme, toormaterjali, disainitud rakuvabrikuid ja kvalifitseeritud jõudu. Kui kõik vajalikud kvaliteedinõuded on täidetud, võiks taoline frantsiisipõhine tootmine võimaldada muu hulgas kohalikku vaktsiinide tootmist, mis suurendaks oluliselt nende kättesaadavust erinevates maailma paikades.

Eesti võimalused

Tugeva alguspunkti sünteesilise bioloogia kiirete arengutega kaasaminemiseks annavad Eestile kõrge teaduslik tase mikrobioloogia ja geneetika valdkonnas ning vastavad kõrghariduse õppekavad nii Tallinna kui ka Tartu ülikoolides. Lisaks on Eesti rikas oma biotoorme poolest, mille väärindamisel suur osa rakendustest põhineb.

Sünteesilise bioloogia interdistsiplinaarne rakendatavus annab sellele valdkonnale tohutu kasvupotentsiaali, mille vilju näeb üle kogu maailma tekimas juba praegu. Selleks, et nimetatud valdkonda ka Eestis aktiivselt arendada, tuleb luua sobilik keskkond uute ideede väljatöötamiseks, kuid ka toetussüsteemid nende rakendamiseks ja kommertsialiseerimiseks.

Aina enam tuleks kokku viia teadlasi ja ettevõtteid, kes soovivad investeerida tulevikutehnoloogiatesse ning rakendada kestlikke lahendusi ettevõtte tootmisprotsessides. Kindel strateegia biopõhiste materjalide osalisele või täielikule kasutamisele üleminekul annab põhjuse ettevõtetele sellesse julgelt investeerida.

Olulised on kommunikatsioon eri osapoolte vahel ja tarbijatele saadetavad sõnumid. **Efektne ja teaduslikel faktidel põhinev kommunikatsioon aitab vältida valeinformatsiooni levikut ning harib tarbijat toodete ja teenuste mõjude osas keskkonnale. Sünteetiline bioloogia on arenev valdkond, millel on suur potentsiaal lõhkuda ja muuta traditsioonilisi lahendusi.** Kui biokemikaalide tootmine toimub suletud keskkonnas ning rangelt kontrollitud tingimustes, siis paljud tulevikulahendused eeskätt tervise ja meditsiini valdkonnas võivad tõstatada eetilisi küsimusi (näiteks laboris kasvatatud organite doonorlus või tõsiste geneetiliste haiguste väljaravimine kunstliku viljastamise käigus). Selliste küsimuste üle diskuteerimisega peab alustama võimalikult vara.

Eesti on olnud esirinnas IT-alases seadusloomes. See on teinud meist atraktiivse keskkonna valdkonna ettevõtetele. Samamoodi peame aktiivselt suhtuma ka sünteetilise bioloogia arenguga kaasas käimisesse. Ei ole kahtlust, et sünteetilise bioloogia tehnoloogiate areng on kiire ning mitmete valdkondade ülene. Eesti võimalus on seda kõike pealt vaadata ja adapteeruda või olla ise üks arengu suunaja.

Kas järgmised Eesti üksikarvud tulevad biomajandusest? Maailmas tekib aina enam iduettevõtteid, kes kasutavad sünteetilise bioloogia võimalusi, et lahendada mõnd olulist globaalset probleemi. **Kuigi Eesti innovatiivse biomajanduse sektor ei ole suur, tasub silma peal hoida väljapaistvatel tegijatel, nagu Icosagen Cell Factories, kes arendab ja toodab meditsiinis kasutatavaid valkudel põhinevaid ravimeid; Solis BioDyne, kes arendab uudseid ensüüme ja pakub valdkonnaspetsiifilisi teenuseid, ning Graanul Biotech, kes kasutab uudseid lahendusi puidujääkide väärimiseks.**

Sünteetilisel bioloogial on tugeva ja läbimurdva tehnoloogiana selge potentsiaal avaldada ülemaailmset majanduslikku mõju, alustades erinevatest biokeemilistest toodetest ning lõpetades biomeditsiiniliste toodetega. **Isegi konservatiivsete ennustuste kohaselt arvatakse sünteetilise bioloogia mõju majandusele järgneva 10–20 aasta jooksul olevat suurusjärgus 3,5 triljonit eurot aastas.**¹² Keskendumata sünteetilise bioloogia arengule riigi või ettevõtete tasandil, oleme ära andmas suurt osa potentsiaalsetest majanduslikest võimalustest. Kasutades aga nutikaid lahendusi, arendame kestlikel ja keskkonnasõbralikel väärtustel põhinevat ühiskonda.



Petri-Jaan Lahtvee

Tartu Ülikooli sünteetilise bioloogia vanemteadur

Kasutatud allikad

- ¹ Sustainable development Goals. ÜRO. 2020.
- ² Multi-sensory Gamma Stimulation Ameliorates Alzheimer's-Associated Pathology and Improves Cognition. Science Direct. 2020.
- ³ How Two Young Scientists Built a 250 Million Business Using Yeast to Clean Up Wastewater. Forber. 2020.
- ⁴ DNA Data Storage Is Closer Than You Think. Scientific American. 2019.
- ⁵ Organic Batteries - the route towards sustainable electrical energy storage technologies. Chimie Nouvelle. 2018.
- ⁶ Synthetic Biology: Global Markets. BCC Research. 2020.
- ⁷ As Some Startup VCs Hunker Down, Others Are Finding New Ways To Fund The Next AWS Of Biology. Forbes. 2020.
- ⁸ From Trash to Tank: Upcycling of Landfill to Fuel Demonstrated in Japan. LanzaTech. 2017.
- ⁹ Architecting Discovery: A Model for How Engineers Can Help Invent Tools for Neuroscience. Science Direct. 2019.
- ¹⁰ EvaluatePharma World Preview 2019, Outlook to 2024. Evaluate. 2019.
- ¹¹ Synthetic biology industry: data-driven design is creating new opportunities in biotechnology. Portland Press. 2019.
- ¹² New McKinsey Report Sees A \$4 Trillion Gold Rush In This One Hot Sector. Who's Selling Picks And Shovels?. Forbes. 2020.