

BIODESIGN, ÚT A FENNTARTHATÓSÁG ÉS BOKAPITALIZMUS KÖZÖTT

DOI 10.35402/kek.2025.1.9

Absztrakt

A biológia és a formatervezés interdiszciplináris kutatásaiból új tervezési terület bontakozik ki, ez a biodesign, mely jelentős szerepet játszhat az antropocén korszak kihívásainak kezelésében. A biodesign három alapvető megközelítést foglal magában: a természet mint modell (biomimikri), a természet mint munkatárs (növesztéses design) és a természet mint feltörhető rendszer (szintetikus biológia). Ezek a módszerek eltérő filozófiai és etikai álláspontokat tükröznek, miközben céljuk egy, az ökológiai teljesítmény növelése. Ez a tanulmány a biodesign fogalmát, tipológiáját és nemzetközi példák segítségével annak gyakorlati alkalmazását vizsgálja. Rávilágít a biodesign technológiai és etikai dilemmáira, különösen a szintetikus biológia kapcsán, illetve felhívja a figyelmet arra, hogy a fenntarthatóság elérése érdekében alapvető gazdasági és társadalmi struktúrák újragondolása szükséges.

Kulcsszavak: biodesign, fenntarthatóság, design, építészet, biokapitalizmus, biomimikri, génszerkesztés

Abstract

From the interdisciplinary research of biology and design, a new field of design is emerging: biodesign, which can play a significant role in addressing the challenges of the Anthropocene era. Biodesign encompasses three fundamental approaches: nature as a model (biomimicry), nature as a collaborator (growth-based design), and nature as a hackable system (synthetic biology). These methods reflect differing philosophical and ethical perspectives while sharing the common goal of enhancing ecological performance. This study examines the concept and typology of biodesign and its practical applications through international examples. It highlights the technological and ethical dilemmas of biodesign, particularly in relation to synthetic biology, and emphasizes the necessity of rethinking fundamental economic and social structures to achieve sustainability.

Keywords: biodesign, sustainability, biomimicry, synthetic biology

Bevezetés

Mára már egyre kevesebben vitatják, hogy az egyre drámaibb hatásokat kiváltó klímaváltozás az emberi tevékenység következménye. Azonban az antropocén beavatkozást pozitív irányba terelhetjük a fenntartható tervezés és innovatív közösségi megoldások segítségével. A döntéshozók, a vállalatok, a közösségek és az egyének mellett a designerek és az építészek jelentős hatást gyakorolhatnak a jövőt alakító folyamatokra, mivel terveikkel közvetlenül formálják életmódunkat. Számos lehetséges, biztatóan ígérkező út, eszköz közül az egyik a biodesign módszere, mely az élőkkel való együttműködés, a tőlük való tanulás, leutánozásuk vagy esetleg módosításuk révén teremti új megoldásokat. Azonban a fenntartható, környezettudatos gyakorlatok mellett a szintetikus biológia és hozzá kapcsolódó bioipari gyártás jelentős etikai és ökológiai kérdéseket vet fel. Ebben a cikkben a biodesign fogalmát, tipológiáját és a biokapitalista gyakorlat kapcsán felmerülő dilemmákat ismertetem nemzetközi példák segítségével.

A biodesign kifejezést eredetileg a génszerkesztés „beceneveként” kezdték használni a szintetikus biológia úttörő korszakában. Később az orvosi eszközöket és a szövettechnológiát támogató módszerekre is alkalmazták, így kiterjedt alkalmazási területekkel rendelkezik. Az elmúlt évtizedben azonban az építészetben és a design területén is új értelmet nyert (Blaumann 2021). A biodesign egy olyan emergens, interdiszciplináris gyakorlat, mely a biológiai rendszerek és a kreatív tervezés integrációjára törekszik. A biotechnológiai és élettudományi megközelítéseket alkalmazva, a biodesign élő szervezetekkel működik együtt biogyártási folyamatokban, és testre szabott tervezési megoldásokat kínál. Célja mindennapi használatra szánt anyagok és termékek kifejlesztése, azok ökológiai teljesítmények növelése, illetve társadalmi és környezeti problémák kezelése érdekében (Camere – Karana 2017, Collet 2020, D’Olivo – Karana 2021, Myers 2018).

A biodesign tipológiája

A biodesign tipológiáját Carole Collet vázolja fel 2020-as *Designing our future bio-materiality* c. cikkében (Collet 2020). Collet módszertani szempontból három területre osztja a biodesignt, melyek különböző természetszemléletét, az élőkhoz, a biológiához kapcsolódó viszonyt, illetve etikai álláspontot tükröznek, illetve a fenntarthatóság szempontjából is különböző lehet a kimenetele.

A három közül a legkonvencionálisabb és legősibb módszer a természetet modellnek tekinti, a természetutánzás, a biomimikri elveit alkalmazza, azaz a természetben megtalálható sikeres stratégiákból merít inspirációt. A második kategóriába azokat a megoldásokat sorolja, melyek a természettel, az élőkkel, biológiai entitásokkal való együttműködésre helyezik a hangsúlyt. Itt a tervező olyan természetes szervezetekkel, mint a baktériumok, gombák vagy algák stb., együttműködve „termeszt” anyagokat, tárgyakat, megoldásokat. Ez a „növesztés” design leginkább a mezőgazdasági gyakorlatokhoz hasonlatos (Camere – Karana 2017). A harmadik, legújabb megközelítés a természetet feltörhető, meghekkelhető rendszernek tekinti, amit a szintetikus biológia fejlődése tett lehetővé, megnyitva az utat az egyszerű, élő szervezetek genetikai áttervezése felé, azzal a céllal, hogy testre szabott, élő anyagokat alkothassanak a tervezők.

Ezek a módszertanok a természetről, az élők-ről alkotott változó kulturális felfogást tükrözik: az egészsleges szemléletet¹, a mechanikus olvasatot vagy ezek kombinációját. A *természet mint modell* az evolúció formálta megoldások elsőbbségét és ökológiai előnyeit méltányolja. A *természet mint munkatárs* az értéket az együttműködésben és partnerségben látja. A *természet mint feltörhető rendszer* a természetet kiaknázzható, korlátlan árucikknek tekinti, s a kapitalista kontroll és a dominancia attitűdje látszik folytatódni benne. A tervezőnek, akár egyik, akár másik módszert követi, szembe kell néznie az élőről alkotott felfogásának

¹ Az egészsleges, vagy más szóval holisztikus, szemlélet a ὅλος holos, görög szóra vezethető vissza, melynek jelentése egész, teljes. Arisztotelész a *Metafizikában* tömören úgy foglalta össze: „Az egész több, mint a részek összessége.” A kifejezést Jan Smuts 1926-ban írta le először (Smuts 1926). Az egészsleges megközelítés az ökológiában és a környezettudományokban a rendszerelméletre alapozva alkalmazzák; a biodesign esetében én is így használom.

következményeivel a kívánatos vagy a valószínű jövő(k)² perspektívájából.

Élet mint modell

A biomimikri a természetben évmilliárdok alatt fejlődött megoldások átültetése a tervezési gyakorlatba. A biomimikri kifejezés először 1982-ben jelent meg a tudományos irodalomban (Bensaude-Vincent et al. 2002). Ezt megelőzte a hasonló jelentéstartalmú *biomimetika* kifejezés, amelyet először Otto Schmitt használt az 1950-es években, illetve a *bionika*, amelyet Jack Steele 1960-ban kezdett az orvosi szaknyelvben használni (Julian et al. 2006). A különbség a „biomimetika” és a „biomimikri” között az, hogy az utóbbit alkalmazóinak többsége kifejezetten fenntartható megoldások fejlesztésére kívánja használni, míg az előbbi gyakran alkalmazták olyan területeken is, mint akár a haditechnika, a hatékonyság növelésére.

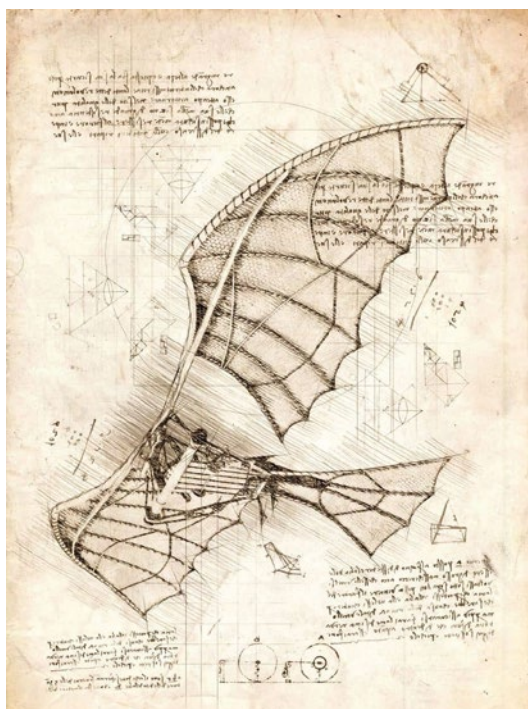
A biomimikri kifejezést a befolyásos és sokat publikáló személyiség, Janine Benyus terjesztette el szélesebb körben a 1990-es évek második felében, illetve Steven Vogel biológia professzor és Julian Vincent biomimetika professzor jeleskedett a fogalomhoz kapcsolódó tudásanyag disszeminációjában. Vincent úgy határozza meg a tudományágat, mint „a természet alapján történő jó tervezés megvalósítását (Eggermont 2012), míg Benyus számára a biomimikri a természet zsenialitásának tudatos utánzása. A *Biomimicry – Design Inspired by Nature* (1998) című művében megfogalmazott alapelve az, hogy azért érdemes tanulnunk a természettől, mert mind a szerkezeti felépítési, mind a funkcionális szabályait felismerve és felhasználva a lehető legkevesebb energiával elérhetővé válnak az emberi célok, s így az ipari termelés is fenntarthatóvá alakítható.

A természet utánzásának elveit a gyakorlatban már a tárgyalatás kezdete óta, sok ezer éve alkalmazza az emberiség. A formális tudományos vizsgálódás kezdete előtt is bevett gyakorlat volt a természet megfigyelése és az abból merített inspirációk alapján tárgyak vagy egyszerű „találmányok” készítése. Az őshonos kultúrák többségében megtalálható ősi gyakorlata. Az első feljegyzett találmányok

² Norman Henchey, amerikai jövőkutató, 1978-ban a jövőről való gondolkodás négyféle módját javasolta: a lehetséges, az elképzelhető, a valószínű és a kívánatos jövőt (Henchey 1978). Ez a modell azóta a jövőkutatás egyik alapmodelljévé vált, s különböző továbbfejlesztett változata létezik. A jövőket ebben az értelemben használom többes számban.

közé tartozik az esernyő, melyet óriási liliomlevél ihletett. Az időszámításunk előtti 5. századi Kínában élt legendás Lu Ban nevű mesterember nevéhez fűződik, aki megfigyelte, hogy a gyerekek lótszlevekkel védekeznek az eső ellen. Ebből inspirálódva másolta le a levél rugalmasságát és hatékonyságát, így hozva létre saját termékét: a legelső esernyőt selyemből. Szintén az ő találmányaként tartják számon a fűrészt, melyet a kezét elvágó fogazott levelű növény inspirált (Wen – Sun 2022). Talán a legismertebb művészettörténeti példája a biomimikriával való kísérletezésnek Leonardo da Vinci vázlatfüzetéből ismert madarakat, tollukat, röptüket ábrázoló tanulmányozó rajzai, illetve különböző repülő szerkezet tervei.

Mick Pierce építész megfigyelte, hogy a természet váraiban kellemes mikroklíma uralkodik a sivatag elviselhetetlen hősege ellenére. Az Arup mérnökeivel együttműködve, a természet építkezési módszereitől inspirálva, tervezte meg a zimbabwei Eastgate Centre épületét, így optimalizálva annak természetes hűtő kapacitását. Michael Pawlyn építész szerint „*úgy tekinthetünk a természetre, mint egy katalógusra, melyben a termékek egy 3,8 milliárd éves kutatási-fejlesztési időszak eredményei. Tekintve ezt a befektetési szintet, van értelme hasznosítani eredményeit*” (Pawlyn 2010).



Részlet Leonardo da Vinci vázlatfüzetéből

Élet mint együttműködő

A természetes rendszerekkel való együttműködésnek évezredes tradíciója van. Ha az ételek történetére tekintünk, egy, a láthatatlan organizmusokkal kialakult ősi kapcsolatra lelhetünk. A szőlő erjesztése, a sörfőzés, a sajt- és joghurtkészítés mind az élesztővel és a mikrobákkal való sikeres, hosszú távú együttműködésünk tanúbizonysága. A természet nagy trükkje az, hogy életbarát körülmények között, vízben, szobahőmérsékleten, vegyszerek és nagy nyomás nélkül állít elő anyagokat (Benyus 1998). Azaz egy élő organizmussal való együttműködő partnerség kialakításához a növekedéshez megfelelő környezetet kell biztosítani, és meg kell érteni a növekedés mechanizmusát. Cserébe az élő szervezet anyagot termel, vagy ellátja a neki szánt funkciót. Így ahelyett, hogy a tervezők meglévő, előre gyártott anyagokkal dolgoznának, saját anyagaikat termelhetik meg.

Suzanne Lee 2003-ban kezdte fejleszteni a *BioCouture*-t, egy cellulóz alapú ruházati családot, amihez mikroorganizmusok, élesztő és baktériumok kultúráit használta fel (Lee 2013). A kombucha, egy hagyományos, japán erjesztett ital receptje alapján Lee kidolgozta egy bőrszerű szövetválaszték előállításának módszerét. Ez a gyártási folyamat forradalmi elmozdulást jelent a textil- és divatkutatásban. Az így kialakuló biotervezési gyakorlat gyökeresen más készségeket követel meg a tervezőktől, s míg eddig az új anyagok kifejlesztése elsősorban a mérnökök és az anyagtudósok feladata volt, addig most a tervezők kibővíthetik szerepkörüket, s maguk alakíthatják a tervezési gyakorlatot, illetve új alternatívákat kínálhatnak a fenntartható anyaggyártásra. Ezek a fejlesztések a kiemelkedően szennyező, első sorban a harmadik világ országai-ba delegált textilipar esetében fontos előrelépést jelenthetnének.



Suzanne Lee: BioCouture darabjai

Élet mint feltörhető rendszer

Az innovatív, alternatív tervezési és gyártási ötletek kutatása szerves részét képezi a kívánatos, fenntartható jövőbe való áttérés lehetőségének. Ebben a küldetésben a technotudományok is szerepet követelnek maguknak. A feltörekvő szintetikus biológia azzal az ígérettel kecsegtet, hogy a szintetikus biológia új, mesterséges organizmusok segítségével vagy a meglévő természetes biológiai rendszerek átalakításával forradalmasítja az anyagok létrehozását, funkcióit és tervezését. Ahelyett, hogy utánoznánk a természetes rendszert, legyárthatjuk azt testreszabott, tervezett szervezetek révén. Életképes, alternatív, környezeti megoldásokat kínál a mérgező talajok átalakítására, hulladékból, vagy olyan szennyező anyagból, mint a metán, új, hasznos alapanyagok előállítására, ezzel csökkentve a karbon kibocsátást, vagy bioszintetikus gyógyászati anyagok gyártására, melyek nem igényelnek növényekből és állatokból származó alapanyagokat, ezáltal csökkentve a természetes élőhelyek kizsákmányolását.

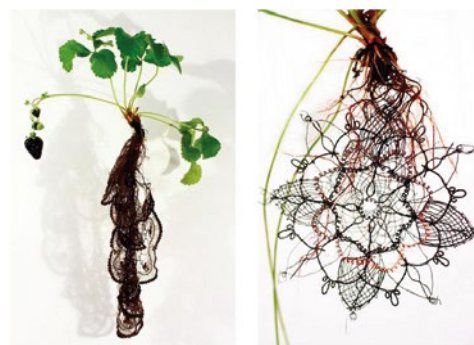
A szintetikus biológia azonban számos szempontból dilemmákat vet fel. Megoldásokkal szolgálhat a környezettel kapcsolatos kihívásokra, az éghajlatváltozás egyes problémáira, ugyanakkor a természetes ökoszisztémák számára kockázatot jelenthet, amikor a tudományos kutatás területéről átlép a nagyüzemi gyártásba. Az új, szintetikus élőlények bevezetésének építő és romboló hatása is lehet a biológiai sokféleség megőrzése és fenntarthatósága szempontjából (European Environment Agency 2020).



Fátyolos hölgy (*Phallus indusiatus*)

A szintetikus biodesign lehetőségére hívja fel a figyelmet spekulatív biodesign munkáival Carole Collet. A 2010-es *BioLace* spekulatív design projektje egy elképzelt szintetikus biológiai alapú, kisüzemi textilipar lehetőségeit vázolja fel. Abból

indul ki, hogy egyes növények genetikai kódja olyan szekvenciát tartalmaz, mely textilszerű formában fejeződik ki, melyek akár a szintetikus biológiai alkalmazások alapjává válhatnak. A kókuszfa például olyan kérget hoz létre, amely nagyon hasonlít a szövött anyaghoz, vagy a fátyolos hölgynek, a phallus indusiatusnak nevezett gomba csipkeszerű szoknyát növeszt. Collett olyan multifunkcionális, városi hidropónikus üzemek bevezetését javasolja, melyek egyszerre látnak el egy közösséget ételmisszerűen, egyszersmind szövetanyaggyártással is. A *BioLace* kitalált termékcsalád egyik tagja, a *Strawberry Noir* egy antioxidánsokkal és C-vitaminnal dúsított eper, melyről az gyümölcs mellett fekete csipke dísz is szüretelhetünk.



Carole Collet, *Biolace, Strawberry Noir*, 2010

A *Biolace* kitalálásakor, a 2010-es évek elején, a szintetikus biológiával foglalkozó tudományos közösség figyelmének fókuszában elsősorban az üzemanyag- és a gyógyszerkutatás állt. A különösen szennyező textilipar akkor még nem volt kiemelt kutatási terület, öt évvel később azonban számos új biotechnológiai vállalkozás indult, melyek az innováció lehetőségét a szintetikus biológiában látták meg. Ilyen például a Bolt Threads, egy amerikai biotechnológiai vállalat, mely cukorral táplált, gén-szerkesztett élesztő segítségével állít elő pókselyem-fehérjét, s gyárt belőle fonalat. A pókselyem sokkal erősebb természetes rost, mint a hagyományos selyemhernyó-selyem. A pókselyem szakítószilárdsága az acéléval vetekszik, azaz nagyfokú feszültséget képes elviselni törés nélkül, tartós, rugalmas anyag, ellenállóbb, mint a Kevlar, kiválóan festhető, és ellenáll a víznek. Azonban természetes úton, azaz pókok közreműködésével nem termelhető. A selyemhernyókra szabott tenyésztési körülmények között a pókok megeszik egymást, ami szinte lehetetlenné teszi a pókselyem természetes betakarítását. A tudósok ezért megfordították a kérdést, és azt kezdték

tanulmányozni, hogyan készítik a pókok a selymet, hogy meg tudják ismételni ezt a folyamatot a pókéhoz hasonló DNS-mintákkal.



Bolt Threads, Pókselyem, 2017

A Bolt Threads azonban a világ felé nem technotudományos vállalkozásnak, hanem design cégnek mutatja magát. 2017-ben az első termékét, egy korlátozott példányszámban forgalmazott, selyem nyakkendőt, minden üzletember-gardrób alap darabját, csillogó PR-kampánnyal indította útnak: futballisták, színészek és divatbloggerek nyakában díszelgett. A Bolt Threads egyértelműen felismerte, hogy a szintetikus biológia nem csupán olyan molekulákat képes előállítani, melyek helyettesítik petrokémiai megfelelőiket, hanem a nyilvánosságban széles körben elterjedt géntechnológiával módosított szervezetekkel szembeni idegenkedés ellenére a divatpiacon is értéket teremthet. A Bolt Threadst a génszerkesztett selyem a fenntartható divat újítójának tekinthető Stella McCartney-val és Patagoniával való partnerséghez, így a luxus- és tömegpiacra való belépéshez vezette. Ezek a korai biotermékek alkalmasak a terméktipológia, az előállítási módszerek és az elosztási modellek tesztelésére. Azonban korántsem semlegesek társadalmilag, politikailag, környezetileg. A selyem nyakkendők és túraruhaik kölcsönhatásban állnak a társadalmi értékkel és a kulturális örökséggel.

Legyen szó akár a bioselyem műanyagról, vagy a laboratóriumban termesztett „tisza” húsról, mely kizoríthatja az ökológiailag káros ipari állattenyésztést, mindegyik egy dolgot szolgál, hogy jobban érezzük magunkat, miközben szennyező életmódunkat tovább folytatjuk. Mindez pusztán felületi kezelés. Csak elkendőzi azokat a megoldatlan problémákat, melyek az őket életre hívó rendszernek a sajátjai. Nevezetesen a kapitalizmusé, mely minden áron

folyamatos növekedést követel, aminek nyomása alól a design egyáltalán nem vonhatja ki magát. Az olyan cégek, mint a Bolt Threads, a biológiai tervezés segítségével megkérdőjelezhetik az eddig bevett gyártási gyakorlatot, életciklust, és javíthatják a termékek teljesítményét, élettartamát. Igaz, még nagyon korai felmérni a biofabrikációs modellek környezeti következményeit, ehhez teljes életciklus-elemzésükre lenne szükség. Azonban a környezeti hatások csökkentése érdekében bevezetett technológiák kialakításához az új bioiparosoknak továbbra is ugyanazon tőke- és fogyasztási eszközökhöz kell nyúlniuk, amelyek gátolják a rendszer megváltoztatását. Ez afféle kényelmetlen paradoxon: kinek a feladata az új ipari folyamatok összekapcsolása a szisztematikus gazdasági, társadalmi és politikai változásokkal? Ha nem sikerül létrehozunk ezt a kapcsolatot, akkor az új iparágak megjelenésével csupán áthelyezzük a petrokémiai termékek iránti igényt más szénalapú alapanyagokra, mint amilyen például a cukor, amivel az élesztőt etetik a nyakkendőhöz. A hagyományos termékek felfrissítése környezetkímélő(bb) technológiákkal továbbra is a jelenlegi rendszert és piacot, valamint azok ökológiai hatásait erősíti. (Ginsberg – Chieza 2018) Nem feledkezhetünk meg arról sem, hogy az élő gép metafora a szintetikus biológiában újra erőre kap. A genomra a szervezet tervrajzáként tekint, ami minden szükséges információt tartalmaz egy új termék fejlesztéséhez. (Vaage 2019) Ez a szemlélet a természetet újra külsődleges dologként látja, ami összecseng az olcsó természet koncepcióval. (Moore 2017) A darwini evolúció alakította géptől az emberi kéz által tervezett irányába történő elmozdulás tovább fokozza az önhiúsítást és mértéktelenséget, sőt megerősíti hitet abban, hogy az emberiség a természetnél is jobbat tud teremteni.

Összegzés

A **biodesign** interdiszciplináris megközelítése új utakat kínál a fenntarthatósági kihívások kezelésére, három fő módszertan – a biomimikri, a növesztéses design és a szintetikus biológia – segítségével. Bár ezek az innovációk jelentős potenciállal rendelkeznek az ökológiai problémák megoldására, egyúttal komoly etikai és környezeti dilemmákat vetnek fel, különösen a bioipari gyártási rendszerek kapitalista logikájának fenntartásában. A szintetikus biológia példái, mint a génszerkesztett pókselyem vagy a laboratóriumban termesztett anyagok, jól mutatják a technológia lehetőségeit és korlátait. Az új bioipari megközelítések önmagukban nem tudják megváltoztatni a

rendszerintű problémákat, sőt előfordulhat, hogy tovább erősítik azokat. A fenntarthatóság elérése érdekében az alapvető gazdasági és társadalmi struktúrák újragondolására lenne szükség.

Felhasznált irodalom

- Bensaude-Vincent, Bernadette – Arribart, Hervé – Bouligand, Yves – Clément Sanchez 2002. „Chemists and the school of nature”. *New Journal of Chemistry*, Vol. 26, 1–5.
- Benyus, Janine 1998. *Biomimicry – Design Inspired by Nature*. New York: Harper Collins
- Blaumann, Edit 2021. „Építészet és Biodesign.” Építészfórum, szerkesztette Hulesch Máté. Hozzáférés: 2025. január 12. <https://epiteszforum.hu/epiteszet-es-biodesign>.
- Camere, Serena és Elvin Karana. 2017. „Growing Materials for Product Design.” *Journal of Design Research* 15, no. 1. 102–123. <https://doi.org/10.1504/JDR.2017.10005817>
- Collet, Carole. 2020. „Designing Our Future Bi-materiality.” *AI & Society* 35 (2): 2. <https://doi.org/10.1007/s00146-020-01013-y>.
- D’Olivo, Patrizia – Elvin Karana. 2021. „Materials Framing: A Case Study of Biodesign Companies’ Web Communications.” *She Ji: The Journal of Design, Economics, and Innovation* 7 (3): 403–434. <https://doi.org/10.1016/j.sheji.2021.03.002>.
- Eggermont, Marjan 2012. „Interview with Julian Vincent”, *Zygote Quarterly*, Vol. 1, Spring, 26.
- European Environment Agency 2020. *Sustainability transitions, Drivers of change, Synthetic biology and the environment*, Hozzáférés: 2025. január 12. https://www.eea.europa.eu/publications/synthetic-biology-and-the-environment/at_download/file
- Ginsberg, Alexandra Daisy – Natsai Chieza 2018. „Editorial: Other Biological Futures” *Journal of Design and Science*, 1-14. DOI: <https://doi.org/10.21428/566868b5>
- Henchey, Norman 1978. „Making Sense of Future Studies”, *Alternatives: Perspectives on Society, Technology and Environment*, Vol. 7, No. 2., 24-27.
- Lee, Suzanne 2013. “BioCouture” *Alive, new design frontiers, exhibition catalogue*, szerk.: Collet, Carole. EDF Foundation, Párizs
- Moore, Jason, W. 2017. “Az olcsó természet vége, avagy rájöttem, hogy nem kell félni „a” természetet, meg is lehet szeretni a kapitalizmus válsága”, ford.: Tillmann Ármin, *Fordulat*, 25
- Myers, William 2018. *Biodesign: Nature + Science + Creativity*. Thames & Hudson, London
- Pawlyn, Michael 2016. *Biomimicry in Architecture*. Riba, London
- Smuts, Jan 1926. *Holism and Evolution*, Stuttgart: Macmillan Publishers
- Vaage, Nora S. 2019. „Living Machines: Metaphors We Live By”, *NanoEthics*, 14, 57-70., DOI: 10.1007/s11569-019-00355-2
- Vincent, Julian – Bogatyrev, Olga – Bogatyrev, Nikolaj – Bowyer Adrian – Pahl, Anja-Karina 2006. „Biomimetics: Its practice and theory”. *Journal of the Royal Society*, Vol. 3, No. 9, doi: 10.1098/rsif.2006.0127
- Wen, Li – Wenguang Sun 2022. „Editorial: Focus on research from China in Bioinspiration & Biomimetics”, *Bioinspiration and Biomimetics*, Volume 17, Numero 3, IOP Publishing <https://doi.org/10.1088/1748-3190/ac5e82>