



TANULJUNK A TERMÉSZETTŐL!

Továbbképzés a biomimikri
oktatásban való alkalmazásáról



TARTALOM

| | |
|--|-----------|
| 1 Bevezetés | 2 |
| 2 A biomimikriről | 5 |
| Természet által ihletett találmányok | 7 |
| A tervezési folyamat két megközelítése | 8 |
| A biomimikri kilenc alapelve | 9 |
| 3 Biomimikri az oktatásban | 11 |
| A biomimikri előnyei az oktatásban | 11 |
| Tananyag a 21. századra | 12 |
| Tantárgyak közötti átjárás (Interdiszciplinaritás) | 13 |
| A STE(A)M oktatásról | 14 |
| A biomimikri, mint tanulási módszer | 17 |
| 4 Biomimikri a gyakorlatban | 20 |
| Angol nyelvű online eszközök | 20 |
| A BioLearn oktatóanyag alkalmazása az oktatásban | 20 |
| Tanácsok képzőknek a képzés megtartásához | 23 |
| 5 A biomimikri kifejezései | 25 |
| Funkció | 25 |
| Stratégia | 26 |
| Körfolyamatok | 27 |
| Analogikus gondolkodás | 28 |
| 6 A BioLearn modulok bemutatása | 29 |
| Bevezető modulok | 29 |
| Termékeket bemutató modulok | 31 |
| Folyamatokat bemutató modulok | 32 |
| Rendszereket bemutató modulok | 33 |
| 7 A pedagógus továbbképzés felépítése | 34 |
| Időbeosztás tervezése | 34 |
| A képzés terve | 35 |
| 8 BioLearn – pedagógus-továbbképzés értékelő lap (minta) | 36 |
| 9 Irodalomjegyzék | 38 |

1 | BEVEZETÉS

Az Erasmus+ által támogatott BioLearn projekt fő célja, hogy megmutassuk, milyen sokoldalúan lehet felhasználni a biomimikri a formális és az informális oktatásban. A projekt 5 nyelvén (angol, holland, cseh, szlovák és magyar) dolgoztunk ki 12-16 éves diákok és pedagógusaik számára oktatási modulokat, amelyek változatosan használhatóak akár tanórákon, akár azon kívül, szakkörön vagy erdei iskolákban egyaránt. A modulok a projekt honlapján találhatóak meg: <https://biolearn.eu/>, a magyar nyelvű modulok: <https://biolearn.eu/hungary/>.

Ez a kiadvány a projekt keretében tartott pedagógus továbbképzések háttéranyagául szolgál. Ajánljuk mindenkinek, aki szeretne többet tudni a biomimikri oktatásban való felhasználásának hátteréről.

Bemutatjuk mi is az a biomimikri, mi a háttere és a módszerei, hol és hogyan használhatjuk az oktatásban; a kiadvány gyakorlati ötleteket tartalmaz, majd bemutatja a BioLearn modulokat, végül a képzés ajánlott értékelésével zárul.

Hogyan tanít a természet?

A természet 3.8 milliárd éve folyamatosan fenntarthatóan működik. Hatékony a hulladék újrahasznosításában, a nap megújuló energiaforrását használja, rugalmasan reagál a hirtelen változásokra, alkalmazkodik az új körülményekhez, valamint visszacsatolás segítségével önszabályozó. Mi lenne, ha fel tudnánk használni a természet működési alapelveit, és ezek segítségével újragondolnánk az emberi rendszerek működését is? Mi lenne, ha úgy próbálnánk meg jól élni, hogy közben nem romboljuk le azt a természetes ökoszisztémát, amitől a mi életünk is függ?

A biomimikri olyan utazásra hív, aminek keretében felfedezhetjük ezeket az alapelveket. Arra is rácsodálkozhatunk, hogy ezen alapelvek segíthetnek az emberiség legnagyobb kihívásainak megoldásában is: ilyen pl. a klímaváltozás, vagy az egyre nagyobb mennyiségű szemét és egyéb szennyezések. A diákok olyan képességekre tehetnek szert, amik segítenek valódi és működő megoldásokat találni.

Tantárgyak – hogy kerül a biomimikri az iskolába?

Leginkább az ún. STE(A)M tárgyak (tehát a természettudomány, technológia, mérnöki tudományok, művészetek és matematika) nyújtanak lehetőséget a biomimikri oktatásban való alkalmazására. Néhány példa:

- A biológia segítségével megtanulhatjuk, hogyan áramlanak az anyagok pl. egy erdőben. Ez segíthet abban, hogy felismerjük: a technológiai rendszerekben is lehetséges hasonló áramlás.
- A fizika abban segít, hogy meglássuk, hogyan lehet a különböző energiafajtákat használni.

- A technológia és a mérnöki tudományok pedig fel tudják használni a természet „tudományát” olyan új termékek, folyamatok és rendszerek előállítására, amik tükrözik a természet fenntarthatóságát.

A [A STE\(A\)M oktatásról](#) többet ld. 14.o.

Bio micsoda?

Amikor a természetben sétálunk, megfigyelhetjük annak működését. Ha elég alaposan vizsgáljuk, észrevehetjük, hogy a működést újra és újra ugyanazok az alapelvek határozzák meg; ezek a működési alapelvek teszik a természetet egyben fenntarthatóvá is. Ezeken a megfigyeléseken alapuló tanulást nevezzük természet által ihletett tanulásnak.

Amikor a tanulás során kapcsolatban vagyunk a természettel, felfedezhetjük, hogy a természet tanácsadónk is lehet: jó ötleteket kaphatunk a megfigyeléssel pl. a fenntartható működésre vonatkozóan. A kutatás alapú tanulás módszerével kombinálva felhasználhatjuk ezeket az ötleteket és egyben jobban megérthetjük a természet működését.

Háttér

Az 1990-es évek elején egy forradalmian új ötlet jelent meg. Janine Benyus indította el, majd hamarosan sok lelkes követője akadt. Biomimicry c. könyvében Benyus bemutatta az ötletet, aminek lényege, hogy a természet utánzásával jobban és fenntarthatóbban működhetnének az emberi rendszerek is.

Az 1997-ben megjelent könyvben 9 alapelvet sorol fel, amelyek alapján a természet fenntarthatóan működik:

1. A természet túlnyomó részt napfénnel működik.
2. A természet csak annyi energiát használ, amennyi szükséges.
3. A természet összehangolja a formát a működéssel.
4. A természetben minden újrahasznosul.
5. A természet együttműködésre épít.
6. A természet létalapja a sokféleség.
7. A természet helyi adottságokra épít.
8. A természet egyensúlyra törekszik.
9. A természetben semmi sem korlátlan.

Ld. még 9. o. [A biomimikri kilenc alapelve](#).

A BioLearn projekt alappillérei

A BioLearn projekt moduljainak segítségével a fiatalok átgondolhatják, hogy milyen jövőt is szeretnének. Hogyan tudnak ők is hozzájárulni ahhoz, hogy a jövő valóban olyan legyen, amilyennek megálmodják? Lehet-e valóság az álmaikból? Léteznek-e más utak is azon kívül, amit magunk körül látunk? Elkészíthetjük-e másképp is a tárgyainkat? Működhet-e másképp a gazdaság? Ez a jövő valójában már elkezdődött, hiszen nemzetközi szinten már elég sok cég rácsodálkozott a természet ötleteire és sokan már voltak elég bátrak és innovatívak ahhoz, hogy utánozzák ezeket az ötleteket.

A biomimikri gondolkodás alapjaiban változtatja meg a gyártásról és a gazdaságról alkotott elképzeléseket. A BioLearn a jövő újragondolásáról szól.

A projektnek három alappillére van a fentiek alapján:

- STE(A)M oktatás
- Kutatás alapú tanulás
- A biomimikri 9 alapelve Janine Benyus szerint.

2 | A BIOMIMIKRIRŐL

Általánosságban a biomimikri a fenntarthatóságot is szem előtt tartó tervezési módszer, ami a természettől kölcsönöz ötleteket. Több tudományterület – mint pl. a biológia, tervezés vagy technológia – eredményeit és módszereit is felhasználja. A biomimikri azonban több, mint egyszerű tervezési módszer, többek között az oktatás is kiválóan tudja alkalmazni.

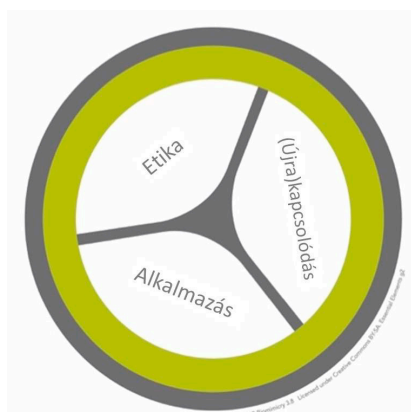
A természet tudástára olyan bőséges, hogy az emberiség legnagyobb kihívásaira is tud segítséget nyújtani. A biomimikri kifejezést először Janine Benyus használta. A szó a görög 'bios', azaz élet és 'mimézis', azaz utánzás szavak összerakásából született és jelentése a fent is leírtak szerint: „a természet tudását használni fenntartható tervezésre”.

Magyarban többféle szót is használunk rá, de a legelterjedtebb nálunk is a biomimikri.

- bionika: inkább az orvosi szaknyelvben használják
- biomimetika, biomimézis: tudományos, műszaki területen használják
- természet által ihletett (nature inspired): a tudományos világban, az U.S.A.-ban használt.

A biomimikri gondolkodásnak három alapvető eleme van: etika, a természet-hez való (újra)kapcsolódás, alkalmazás (1. ábra).

1. ábra: A biomimikri három alapvető eleme (asknature.org)



Az etika filozófiai alapot nyújt ahhoz, hogy miért is érdemes a biomimikrit követnünk. A biomimikri szerint a természet megérdemli a tiszteletet. A természethez való (újra)kapcsolódás arra emlékeztet, hogy mi, emberek is a természet részei vagyunk. Az emberiség igyekezett magát függetleníteni a természettől – írja Benyus –, a természetet és az emberiséget ma gyakran tekintik két elkülönülő dolognak. A biomimikri egyik célja e két rész „újraegyesítése”. Az alkalmazás a biomimikri leggyakorlatiasabb része: a természet működésének alapelvei és stratégiái segítségünkre lehetnek a fenntartható megoldások keresésében, a természettől elcsélt ötletek alkalmazásában.

A tervezőmunkához a biomimikri új szempontokat kínál. A biomimikrit három különböző szinten használhatjuk: termékek, folyamatok vagy rendszerek tervezésénél (a moduljaink is ezt a felosztást követik). Megtanulhatjuk pl. a juhar termésétől vagy a jégmadártól, hogy hogyan használhatjuk ki a légáramlást; a mezőktől meg azt, hogy hogyan lehet fenntartható módon élelmiszert előállítani.

A biomimikri tervezési módszer egyik erénye, hogy a tervezést követően a termékünket értékelhetjük a biomimikri 9 alapelve alapján. Ezek az alapelvek megmutatják a természet „tervezési módszereit”, egyben azt is elárulják, hogy a termékünk mely területeken tekinthető fenntarthatónak és hol szorul még fejlesztésre. A BioLearn honlapon megtalálják az ún. „értékelő kereket”, ami a termékeink ellenőrzésére szolgál.

A [biomimikri 9 alapelvét](#) Janine Benyus írta le (a honlapon magyarázattal mutatjuk be ezeket):

1. A természet túlnyomó részt napfénnel működik.
2. A természet csak annyi energiát használ, amennyi szükséges.
3. A természet összehangolja a formát a működéssel.
4. A természetben minden újrahasznosul.
5. A természet együttműködésre épít.
6. A természet létalapja a sokféleség.
7. A természet helyi adottságokra épít.
8. A természet egyensúlyra törekszik.
9. A természetben semmi sem korlátlan.

A projekt során ezeket az alapelveket használjuk, de a biomimikrirel foglalkozó szervezetek egy része az eredeti alapelvek figyelembevételével más rendszert dolgozott ki:

Biomimicry Institute (<https://biomimicry.org/>), *Biomimicry Hungary* (<http://biomimicryhungary.com/mit-jelent/>):

1. Alkalmazkodás a változó feltételekhez
2. Fogékonyság a helyi lehetőségekre
3. Környezetbarát kémia használata
4. Takarékoskodás a forrásokkal (anyag és energia)
5. Növekedés a fejlődéssel összhangban
6. Fejlődés a túléléshez

The Center for Learning with Nature (<https://www.learningwithnature.org/>)

1. Alapanyag – bányászat nélkül
2. Energia – szennyezés nélkül
3. Környezetkímélő tervezés
4. Zseniálisan hatékony
5. Minden hasznosítható

TERMÉSZET ÁLTAL IHLETETT TALÁLTMÁNYOK

Amikor az ember először elkezdett vadászni, már a természettől tanult (gondoljunk csak egy lándzsahegyre: eléggé hasonlít egy madár csőrére). Leonardo da Vinci órákat töltött a természet megfigyelésével, és ennek nyomán csodálatos dolgokat alkotott. Bár nem sikerült működő repülőgépet készítenie, de hozzájárult ahhoz, hogy ma képesek vagyunk repülni. Megfigyelte, hogyan használják a madarak a szárnyukat felemelkedésre és kíváncsi volt arra, vajon tudnánk-e ezt utánozni.

Ma már számos cég felhasználja a természet ötleteit termékek és szolgáltatások fejlesztésénél. Igaz ez mind a gazdasági, mind az ipari szektorra, a technológiától (a Google és az Apple az idegek hálózatát utánozza a mesterséges intelligencia fejlesztésénél), a gyógyszeriparon át (ld. immunterápia, természet által inspirált gyógyszerfejlesztés) az infrastruktúráig, a közlekedésig, a termékek előállításig és még sok másig. A biomimikri már ma világszerte a gazdasági fejlődés egyik motorja. Egy tanulmány szerint egyedül az U.S.A.-ban 1,5 millió embernek ad munkát.

Néhány példa:

A Fortune 250 (vezető vállalatok) listán szereplő, Parker Hannifin vállalat mozgás- és irányítástechnológiával foglalkozik: repüléstechnológiára, hőmérséklet szabályozásra, elektromechanikai és szűrési technológiára specializálódott. A cementiparban használatos tömlők fejlesztésénél használták a biomimikrit. A cég technológiai és fejlesztési alelnöke, Peter Buca elmagyarázta az indokokat: *„Nem ruházhatunk olyan fejlesztésbe, ami elveszi a jövőt. A természet olyan megoldásokat kínál, amik praktikusak és fenntarthatóak. Ipari cégeként megértettük, hogy ezek az értékek fontosak számunkra.”*

Az Airbusnál is a természet ötletei képezik a kutatás és fejlesztés alapjait. Kutatásokat folytattak a cápbőrrel és arról, hogyan lehet javítani a repülésen a cápbőrhez hasonló mikroszerkezettel. Az albatroszokat a repülőgép szárnyak alakjának fejlesztése miatt tanulmányozták. Az Airbus repülés fizikai fejlesztési vezetője, Lee-Ann Ramcherita elmagyarázta, hogy *„amennyiben megértjük, hogy a rovarok, madarak és denevérek hogyan érzékelik a levegő áramlását maguk körül és hogyan reagálnak rá, fel tudjuk használni ezt az ismeretet a repülőgépeknél is”*. A cégek egyre nagyobb érdeklődéssel keresik az új ötleteket a természetben és igyekeznek egyre többeket bevonni ezekbe a kutatásokba.

Steve Jobs röviddel a halála előtt mondta egy interjúban: *„Azt gondolom, hogy a 21. század legnagyobb találmányai a biológia és a technológia találkozásából fognak megszületni.”*

A TERVEZÉSI FOLYAMAT KÉT MEGKÖZELÍTÉSE

A biomimikri tervezési folyamat során pontosan meg kell tudni határozni a termék, folyamat vagy rendszer funkcióját, rendeltetését (a továbbiakban a funkció szót használjuk). Arra vagyunk ugyanis kíváncsiak, hogy ez a funkció hogyan valósul meg a természetben – ezt próbáljuk meg utánozni.

A biomimikri tervezési folyamatnak két megközelítése van:

- Egyrészt a biológia felől közelíthetünk – megfigyelünk egy élőlényt vagy egy rendszert és azt kérdezzük, hogy mit tanulhatunk tőle. Ilyen kérdés lehet például, hogy mit tanulhatunk a fától a tápanyagok szállítása kapcsán?
- Másrészt egy adott problémára keresünk választ – megnézzük, hogy azt hogyan oldja meg a természet. Kérdés lehet pl.: Hogyan legyen hűvösebb nyáron a szobában? vagy Hogyan repülünk nagyobb távolságra?

Ezt a két megközelítést mutatjuk be az alábbi táblázatban:

| Biológia → tervezés | Feladat → biológia |
|---|---|
| | |
| <p>2. ábra: Biológia felől közelítő módszer</p> | <p>3. ábra: Feladat felől közelítő módszer</p> |
| <p>Felfedezés: Nézzünk meg pl. egy fát – milyen tulajdonságait fedezzük fel? Mit tanulhatunk ettől a fától vagy a fáktól általában? Figyeljünk meg konkrét tulajdonságokat!</p> | <p>Meghatározás: A klímaváltozás jelenleg hatalmas probléma és valószínű találunk ötleteket a természetben a mérsékléshez. Jó lenne pl. csökkenteni a repülőgépek CO₂ kibocsátását.</p> |
| <p>Kiválasztás: Hogy lehet az, hogy sokkal hűvösebb van egy fa alatt, mint akár csak pár száz méternyire is az úton?</p> | <p>Biológia nyelvére fordítás: A természetben hol találunk példát hosszabbtávú repülésre úgy, hogy nem használnak fel rengeteg energiát?</p> |
| <p>Meghatározás: Mit tanulhatunk egy fától a környezet hűtésével kapcsolatban? Mind a víz párologtatása, mind az árnyékadás hozzájárul ahhoz, hogy hűvösebb legyen egy fa környékén.</p> | <p>Felfedezés: Vizsgáljuk meg a fák vagy más növények magvait – hogyan röpködnek? Figyeljünk meg „hosszú távú repülőket”, mint pl. az albatroszt!</p> |
| <p>Biológia nyelvére fordítás: Hogyan tudjuk ezeket a tulajdonságokat felhasználni a városi épületeknél?</p> | <p>Kiválasztás: Használjuk a természetben talált sajátos formákat (az albatrosz szárnya vagy a juharfa termése) és anyagokat (szivacsos, habkönnyű).</p> |
| <p>UtáNZás: Nagobb felületű, lapos víztározók kialakítása a magas épületek tetején, amik az esőzések alatt megtelnek, és magasabb hőmérsékletnél elpárolognak.</p> | <p>UtáNZás: Próbáljunk repülőgép szárnyakat készíteni a természettől tanultak alapján: legyen nagyon könnyű és olyan formájú, ami segít a felemelkedésben.</p> |
| <p>Felfedezés: Nézzünk meg pl. egy fát – milyen tulajdonságait fedezzük fel? Mit tanulhatunk ettől a fától vagy a fáktól általában? Figyeljünk meg konkrét tulajdonságokat!</p> | <p>Meghatározás: A klímaváltozás jelenleg hatalmas probléma és valószínű találunk ötleteket a természetben a mérsékléshez. Jó lenne pl. csökkenteni a repülőgépek CO₂ kibocsátását.</p> |

A BIOMIMIKRI KILENC ALAPELVE

Tanulhatunk a természettől úgy, hogy konkrét élőlények tulajdonságait, alkalmazkodását vizsgáljuk (pl.: a jégmadár csőrét). Ezen kívül tanulhatunk olyan alapelvekből is, melyek megtalálhatóak a természetben, és majdnem minden szervezetre igazak. Janine Benyus kilenc alapelvet írt le a könyvében, amik egyrészt ötleteket is adhatnak a biomimikribe, másrészt értékelési kritériumokként is használhatóak. Amikor értékelünk egy tervet, a kilenc alapelv segítségével meg tudjuk vizsgálni, mennyire fenntartható, emellett azt is, hogyan lenne érdemes fejleszteni.

1. A természet túlnyomó részt napfényel működik

A természet legfontosabb energiaforrása a napfény. Ennek a végtelen forrásnak a hőjét és a fény energiáját használják fel az élő szervezetek. Azt mondhatjuk tehát, hogy a természet napfényel működik. Az emberek jórészt kőolajat és szenet használnak, amelyek nem megújuló energiaforrások. Elégetésük során nagyon sok CO₂ keletkezik, amely nagy részben felelős a klímaváltozásért. Miért nem követjük a természet példáját és mentjük meg a bolygónkat a túlmelegedéstől? Ha elég bölcsék lennénk ahhoz, hogy utánozzuk a természetet, csak megújuló energiát használnánk.

2. A természet csak annyi energiát használ, amennyi szükséges

A természet mindenből csak annyit használ, amennyire szüksége van. Vajon mi miért nem tesszük ugyanezt? Az emberek gazdasága jelenleg a termelés és a haszon maximalizálásán alapszik, ezért hatalmas energia felhasználó. Még az élelmiszereket is körbeutazzatjuk a Földön, ahelyett, hogy helyi termékeket használnánk, mert látszólag még így is olcsóbb. Úgy néz ki, hogy a legtöbb döntésnél csak a pénz számít, nem az energiafogyasztásunk. Hogyan tanulhatnánk meg, hogy energiapazarlás nélkül áramoltassuk a termékeket és a szolgáltatásokat?

3. A természet összehangolja a formát a működéssel

A fa gyökere szétágazik a talajban, hogy fel tudja szívni a vizet és a tápanyagokat; az ágait és a leveleit szétterjeszti, hogy megnövelje a felületét és így minél jobban érje a növekedéshez szükséges napfény. A magok általában könnyűek és több valamilyen repítő szerkezettel rendelkeznek, hogy minél messzebbre tudjanak eljutni a levegőben. A természet úgy alakítja ki a formákat, hogy a működést szolgálják – nekünk is így kéne kialakítanunk az épületeket, közlekedést vagy az iskolákat.

4. A természetben minden újrahasznosul

A természet nem „dob ki” semmit... Gondoljuk csak el, hogy minden, amit a természet előállít, természetes úton le is bomlik, így nem keletkezik szemét. Igen, van „pazarlás” (pl. egy cseresznyefa virágzásakor), de ennek is megvan a maga értelme, s egyben táplálékul is szolgál mások számára. Minden, ami a természetben létrejött, majd betöltötte a rendeltetését, lebomlik elemekre és vegyületekre, majd újrahasznosul.

5. A természet együttműködésre épít

Természetesen létezik verseny is a természetben, de csak amikor elkerülhetetlen. A vetélkedés általában nagyon sok energiába kerül. Viszont nagyon kevés elszigetelt dolog létezik a természetben, inkább a kölcsönhatás jellemző. Nézzünk erre példákat! A rovarbeporzású virágos növények nem tudnának szaporodni a beporzók nélkül, cserébe viszont ezek táplálékkal látják el őket. A katica levéltetveken él, így a növény egészséges marad. A természet alapja az együttműködés, ez szolgálja az egész rendszer egészséges működését.

6. A természet létalapja a sokféleség

A természetben a biztonságot leginkább a sokféleség garantálja. Biztonságot nyújt, ha egy élőlény élete nem egyféle táplálékforrástól, egyféle magterjesztési stratégiától vagy egyféle ragadozók elleni védekezési módtól függ. Azt is tudjuk, hogy a kisebb genetikai változatossággal rendelkező fajok kevésbé tudnak alkalmazkodni a környezet változásaihoz, s hogy egy nagyobb változatosságú ökoszisztéma stabilabb, különösen, ha erőteljes külső behatás éri.

7. A természet helyi adottságokra épít

A természeti rendszerek eredendően helyi jellegűek, helyben működnek. Egyes fajok csak meghatározott körülmények között élnek meg; fontos tényező többek között a helyi és a regionális időjárás, a talaj, a levegő összetétele vagy a víz hőmérséklete is. Helyben alakulnak ki a kapcsolatok és helyi erőforrásokra támaszkodnak. Természetesen vannak költöző madarak is, de látott-e már valaki elemózsiás kosarat cipelő golyát?

8. A természet egyensúlyra törekszik

A természeti rendszerek mindig egyensúlyra törekszenek. Ha túlszaporodtak az egerek, hamarosan több lesz az egerészölyv is, s újra egyensúlyba kerül az egérpopuláció. Az erdőtűz jó példa arra, hogy egy természeti jelenség elpusztít valamit, ugyanakkor teret ad a megújulásnak. Azt is tudjuk viszont, hogy minden természetes rendszernek van egy fordulópontja, amikor a régi egyensúly már nem tartható, és a rendszer egy új egyensúlyt alakít ki.

9. A természetben semmi sem korlátlan

Lássuk be, hogy a végtelen növekedés egy véges földön hibás gondolat. Minden élőlény működésének vannak korlátai: életkor, éghajlat, egyedsűrűség és sok egyéb tényező befolyásolja a fajok és az élő rendszerek fejlődését. A természet sikeresen működik ezen határok között, méghozzá úgy, hogy hosszú távon a lehető legeredményesebb legyen.

Az alapelvekről részletesen ld. [A biomimikri 9 alapelve](#) c. összefoglaló modult és az egyes [alapelvekről](#) szóló modulokat.

3 | BIOMIMIKRI AZ OKTATÁSBAN

A biomimikri segítségével rácsodálkozhatunk a természetre, de egyben azt is észrevehetjük, hogy mi mindent tanulhatunk a természettől. Lelkesítő és megoldásokat is mutat, ezért fel tudja kelteni a diákok érdeklődését. A tapasztalatok szerint fenntartható megoldások keresésére ösztönzi őket – hiszen számos, már megvalósult példát láthatnak maguk előtt.

Három indok a biomimikri oktatásban való használatára:

- *Nem új tananyagról van szó, nem terheli tovább a diákokat.*
- *Nagyon sok tananyag feldolgozásában segítségünkre lehet.*
- *A tantárgyak nagy részénél alkalmazható, így a diákok közelebb kerülhetnek a természethez.*

Angelica Nahikian, a Steelcase cég fenntarthatósági vezetője szerint: *„A biomimikri új szemlélete segít mind az álmodóknak, mind a cselekvőknek újraalkotni az emberi világot.”*

Ha a diákok több tantárgy keretében is találkoznak a biomimikri újszerű megközelítésével, egyre inkább rácsodálkoznak az őket körülvevő természetre, valamint arra, hogy mennyi mindent tudnak tanulni belőle. Egyre nagyobb kedvük lesz ahhoz, hogy pozitív változásokat indítsanak el a környezetükben, sőt még a továbbtanulásukat és a pályaválasztásukat is befolyásolhatja a biomimikri.

A biomimikri legtöbbször nemcsak a diákokra, hanem a pedagógusokra is jó hatással van: hamar felkelti az érdeklődést és lelkesít, a tanítási gyakorlathoz is jó ötleteket ad. A tanárok sokszor még a diákoknál is lelkesebbek a természet által kínált megoldások felfedezésében. A projekt szakértőinek sokéves tapasztalata igazolja ezt a tényt. Idézet az egyik pedagógustól:

“Úgy érzem, ez a képzés szakmai bomba volt! Úgy is mondhatjuk, hogy egy cunami, ami arra készítet, hogy mindent azonnal megosszak a diákjaimmal, mihelyst visszaérek az iskolába.”

Lillian Ortiz, IC Community School, Oakland, California

A BIOMIMIKRI ELŐNYEI AZ OKTATÁSBAN

A biomimikri segítségével tantárgyak közötti (akár online akár valóságos) felület is kialakíthatunk, ahol a gyerekek szó szerint kiléphetnek a tanteremből, és egymással és a természettel is kapcsolatot tudnak kialakítani. A természetben számos olyan ötletet is találunk, aminek segítségével társadalmi gondokat is könnyebben lehetne megoldani. Amennyiben össze tudjuk kötni a biomimikri iránt érdeklődőket, rengeteg információhoz juthatunk. A diákok és a szakemberek egymástól is tanulhatnak ebben a témakörben, mert néha a diákok vesznek észre teljesen új dolgokat.

A biomimikri módszerének alkalmazásával fejlődik a diákok kreativitása és problémamegoldó képessége. Robert Fisher sok kutatást végzett arról, hogy a gondolkodási képességek hogyan befolyásolják a tanulást. Olyan módszereket dolgozott ki, amelyek segítik a diákok kritikus és kreatív gondolkodását, valamint fejlesztik a fantáziájukat. Arra jutott, hogy amennyiben a diákok gondolkodási képességei fejlődnek, a tanulási képességük is fejlődni fog. A biomimikri alkalmazása ezt a témát is érinti, hiszen ilyenkor a diákok kritikus gondolkodása fejlődik: pl. miért jelennek meg bizonyos mintázatok (foltok vagy vonalak) a természetben. Mahgoud, Alawad and Mahgoub (2014) kutatásai azt mutatják, hogy a biomimikri oktatásának hosszú távú hatása van, és olyan képességek fejlődnek, mint az önreflexió, a kritikus és kreatív gondolkodás. A biomimikri jó hatással van a diákok tervezői és gondolkodási képességeire is.

Végül a biomimikri arra is használható, hogy a tanteremben jobb tanulási körülményeket alakítsunk ki. A legtöbb tanterembe kevés természetes fény jut be, pedig azt is kimutatták, hogy a természetes fény jó hatással van a diákok tanulási teljesítményére. A természet mintájára kicsit átalakíthatjuk a termet, hogy több természetes fény jusson be. Máris feltehetjük a kérdést: hogyan oldja meg a természet, hogy fény jusson be valahová?

TANANYAG A 21. SZÁZADRA

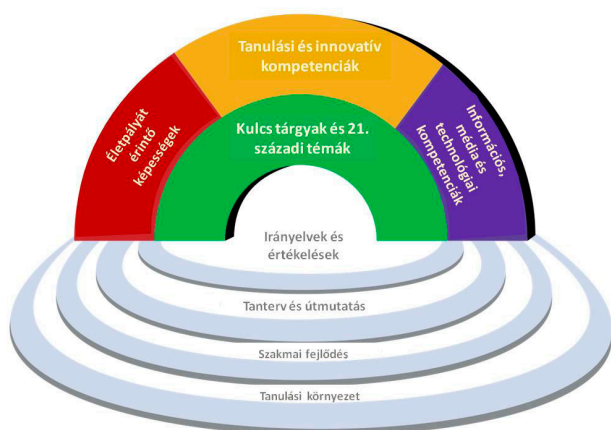
A diákoknak fel kell készülniük a jövő problémáinak megoldására. A technológia és a gazdaság gyors fejlődése miatt a társadalomban is hatalmas változások történtek az utóbbi évtizedekben. A diákoknak tudni kell alkalmazkodniuk ezekhez a 21. században történő változásokhoz. A különböző oktatók, üzleti vezetők, akadémikusok és kormányhivatalok ajánlásai szerint az alkalmazkodáshoz szükség van bizonyos képességekre, ezeket nevezzük 21. századi kompetenciáknak:

- Tanulási és innovatív kompetenciák
 - Kreativitás
 - Innováció
 - Kommunikáció és együttműködés
 - Problémamegoldás
 - Kritikus gondolkodás
- Digitális műveltséghez kapcsolódó kompetenciák
 - Információs műveltség
 - Média tudatosság
 - Információs és kommunikációs technológiák (ICT)
- Életpályát érintő képességek
 - Rugalmasság és alkalmazkodóképesség
 - Önszabályozás
 - Társas és kulturális kapcsolatok
 - Termelékenység

Ezek a képességek nem egyeznek meg az akadémiai tudás által szerezhető képességekkel, mivel nem magán a tudáson alapulnak, inkább azon, hogy milyen módon szerezzük meg a tudást. Úgy is nevezhetjük ezeket, hogy „alkalmazott képességek”.

Két modell is leírja ezeket a képességeket: a P21 és a 4C modellek, amiket az alábbi ábrákon mutatunk be. A 4C modell az angol kifejezésekről kapta a nevét: critical thinker; communicator; collaborator; creator.

4. ábra: A 21. századi kompetenciák szerveződésének bemutatására P21 modell szerint (https://en.wikipedia.org/wiki/21st_century_skills#/media/File:Framework_for_21st_Century_Learning.svg)



5. ábra: A 21. századi kompetenciák szerveződésének bemutatására 4C modell szerint (https://www.researchgate.net/figure/The-4Cs-super-skills-Van-Gelder-2001-For-example-when-the-Council-of-all-Australian_fig1_272356548)



A biomimikri a sajátosságai miatt eleve arra ösztönzi a diákokat, hogy fejlesszék ezeket a képességeket. A pedagógusok és az egyéb szakemberek szerint is a biomimikri gyakorlásához a kreativitásra van leginkább szükség és ezért ezt fejleszti a leginkább.

TANTÁRGYAK KÖZÖTTI ÁTJÁRÁS (INTERDISZCIPLINARITÁS)

A projekt alapú oktatás bizonyítottan sikeresen működik. Amennyiben a tantárgyak között szabaddá tesszük az átjárást, még sikeresebbé tehetjük ezt a módszert. A legjobb meghatározás az interdiszciplinaritásra, hogy bizonyos, jól elkülöníthető elemei két vagy több tantárgyból erednek. Elfogadott az a nézet, hogy a tantárgyközi oktatás legnagyobb akadálya az, hogy az oktatás legtöbb szereplője hagyományos, külön tantárgyakat oktató rendszerből érkezik. Nem szoktak hozzá, hogy más módon is gondolkodjanak, mint ami az adott tantárgynál elfogadott. Mivel a tantárgyközi gondolkodás elősegíti a kritikus gondolkodás, a kommunikáció, a kreativitás és a pedagógia fejlődését is, fontos lenne, hogy a diákokat tantárgyközi módszerekkel is oktassuk, még hozzá minél korábban kezdve. A biomimikri ebben is segít: alapvetően nyitott kérdéseket tesz fel, amiknek megválaszolásához több nézőpontot is figyelembe kell vennünk és nincsenek előre gyártott válaszok – így eleve tantárgyközi a megközelítése.

A STE(A)M OKTATÁSRÓL

A STEAM olyan oktatási módszer, ami a természettudományokat, technológiát, mérnöki tudományokat, művészeteket és a matematikát kiindulási pontként használja, a diákokat pedig kutatásra, párbeszédre és kritikus gondolkodásra ösztönzi.

A biomimikri esetében a természet időtálló mintái és stratégiái segítségével keresünk fenntartható megoldásokat az emberi élet során felmerülő problémákra. Ehhez többféle tudományból származó ismeretekre van szükség: ilyenek a biológia és természetismeret, a (bio)technológia, a mérnöki tudományok és a matematika. Ezek éppen a STEM tantárgyakat fedik le, tehát ezek oktatásánál a biomimikri módszere igen jól alkalmazható. A STEAM ezeken felül még a művészetet is bevonja – a biomimikri ebben is sok helyen segítségünkre lehet, gondoljunk csak egy használati tárgy megtervezésére. A továbbiakban ezért a STE(A)M megnevezést használjuk.

A STE(A)M oktatás egyik célja, hogy a természettudományokat közelebb hozza a diákokhoz, hogy ne csak az elvont tudományt lássák benne, hanem azt is, hogy a hétköznapi életükben, a „valóságban” is mindenhol jelen van. Az érdeklődés felkeltésén túl az is cél, hogy a diákok egy része ezeket a tárgyakat tanulja majd a felsőoktatásban is, ők legyenek a jövő feltalálói, oktatói, kutatói. A biomimikrivel összekapcsolva az is cél, hogy a jövő szakemberei a fenntarthatóságot is szem előtt tartásuk, természetes legyen számukra, hogy a természettől tanulunk, a természetben keresünk megoldásokat.

A művészet is számos lehetőséget kínál a természet megoldásainak feltárására. Különösen a formatervezés kínál jó lehetőséget arra, hogy megtanuljunk úgy „gondolkodni”, mint a természet és alkalmazni tudjuk a biomimikri alapelveket egy-egy feladat megoldásánál. A diákok megismerhetik, hogy a (forma)tervezés miket tanult a múltban a természeti világtól (konkrét példákat bemutatásával), majd ugyanezt a gondolkodást alkalmazhatják saját tervezési feladatuknál. További lehetőségek rejlenek a művészetben, amikor az értékelés során tovább csiszolják az alkotásukat. Pedagógiai szempontból a művészetek lehetőséget adnak arra, hogy a diákok tapasztalatot szerezzenek a felhasznált anyagokról, megtapasztalják és megfigyeljék a természet világát, ezáltal jobban megismerjék az anyagokat és azok felhasználási lehetőségeit.

Eddig a STE(A)M oktatás nagyrészt a fizikára és a kémiára koncentrált, mivel úgy tartották, hogy ezek a tárgyak inkább kapcsolódnak a matematikához és a mérnöki tudományokhoz, mint a biológia. A biomimikri segítségével a biológiát is könnyedén kapcsolhatjuk a műszaki tudományokhoz, és rácsodálkozhatunk, hogy mennyi ötletet köszönhetünk a biológiai rendszerek megfigyelésének.

Néhány példa a tantárgyközi gondolkodásra a biomimikri világából:

- Rajzórán a diákok felfedezhetik az árnyékokat oly módon, hogy az iskolaudvaron különböző napszakokban rajzolnak le egy élőlényt (pl. fát) az árnyékára koncentrálnak.
- A tudományos módszerek felfedezésénél alkalmazhatjuk a következőt: A diákok hosszabb időn keresztül figyeljenek meg valamit a természetben (az iskolaudvar is jó lehet). Tegyenek fel kérdéseket a megfigyelt élőlényre/jelenségre kapcsolatban, valamint, hogy egy-egy tulajdonság milyen funkciót tölthet be. Ilyenek lehetnek pl.: Miért van a mókusnak lompos farka? Miért görbe sok faág? Mi a szerepe a lábujjainknak? Ezek után a diákok válasszanak ki egy tulajdonságot, állítsanak fel egy hipotézist a tulajdonság funkciójára vonatkozóan és kísérlettel igazolják annak helyességét vagy hamisságát.
- Amikor fizika (vagy kémia) órán az atomok kölcsönhatásairól tanulunk, érdemes elolvasni néhány cikket a gekkók talpának szerkezetéről, hogy a Van der Waals-erők segítségével hogyan tudnak a legsimább felületeken, akár fejjel lefelé is közlekedni.
- A klímaváltozásról és annak esetleges megoldásairól tanulva érdemes elvégezni a kísérletet, aminek során úgy készítünk kalcium-karbonátot, mint a korallak – kalcium-klorid és szén-dioxid alapanyagokból.
- Az anyagok szerkezetének vizsgálatakor, valamint a húzó és nyomó erők tanulmányozásakor megvizsgálhatjuk, hogy miért nem dőlnek ki a fák.
- Matematika vagy fizika órán a tömeg és térfogat számításakor érdemes felállni a padból, kimenni a teremből és megbecsülni, hogy mekkora lehet a felettünk lévő felhő térfogata és tömege.

A modulokhoz kapcsolódó konkrét példák (minden modulnál feltüntettük, hogy melyik STE(AM) tantárgyokhoz kapcsolódik):

| STE(A)M témakörök | Biomimikri példák | Kapcsolódás BioLearn modulokhoz |
|---|--|---|
| Alkalmazkodás, sokszínűség, osztályozás (biológia) | Az élőlények környezethez való alkalmazkodásának megfigyelése sokat segíthet abban, hogy természetes megoldásokat találjunk az emberi társadalom problémáira. A szerkezeti és viselkedésbeli alkalmazkodásokat egyaránt elleshetjük – pl. azt, hogy hogyan alkalmazkodnak a sivatagi élőlények az extrém meleghez. Egyesek földalatti életmóddal, mások önhűtő szerkezettel oldják meg, hogy elviselhető, élhető legyen számukra a nappali forróság. | <ul style="list-style-type: none"> • A biomimikri 9 alapelve • A 9 alapelvről szóló modulok (Különösen: 3., 6., és 7.) • Csodálatos élőlények • Egészség a természettől • Hogyan védik meg magukat a növények a természetben? • Városi park vízgazdálkodása • Alkalmazkodás a klímaváltozáshoz |
| Biodiverzitás és ökoszisztémák (biológia) | Az ökoszisztémák szintjén a természettől rengeteget tanulhatunk arról, hogy hogyan érdemes felépíteni egy társadalmat és hogyan lehet jól élni az életnek olyan hálózatában, ahol minden mindennel összefügg. Ez messze túlmegegy azon, hogy csak egy élőlényt figyelünk meg. Inkább azt mutatja meg, hogy mit is jelent egy közösség részeként élni és úgy elfoglalni speciális élőhelyeket (niche-eket), hogy közben nem tesszük tönkre azt az élő rendszert, amitől mi magunk is függünk. | <ul style="list-style-type: none"> • A biomimikri 9 alapelve • A 9 alapelvről szóló modulok (Különösen: 5., 6., 7., 8., 9.) • Csodálatos élőlények • Csomagolás • Természetes gazdaság • Egészség a természettől • Hogyan védik meg magukat a növények a természetben? • Alkalmazkodás a klímaváltozáshoz |

| STE(A)M témakörök | Biomimikri példák | Kapcsolódás BioLearn modulokhoz |
|--|---|---|
| <p>Körfolyamatok és tápanyagok (biológia); Életciklus és újrahasznosítás (tervezés);</p> | <p>A körfolyamatok az élet alapjai a Földön. A víz, a szén és az egyéb tápanyagok körforgása egyensúlyban tartja a rendszereket, folyamatosan áramoltatva az anyagokat oda, ahol épp szükség van rájuk. Ez ismét emlékeztet bennünket arra, hogy egy nagy egész része vagyunk, ahol minden mindennel összefügg. Ezek alapján más szemmel tudunk nézni a fenntarthatóságra, a körforgásos gazdaság lehetőségeire és a kereskedelem újragondolására.</p> | <ul style="list-style-type: none"> • A biomimikri 9 alapelve • A 9 alapelvről szóló modulok (Különösen: 2., és 4.) • Csodálatos élőlények • Csomagolás • Természetes gazdaság • Épületek • Egészség a természettől • Hogyan védik meg magukat a növények a természetben? • Városi park vízgazdálkodása • Alkalmazkodás a klímaváltozáshoz |
| <p>Fotoszintézis (biológia); Energiaforrások (tervezés)</p> | <p>Az energia és annak felhasználása az élet központi kérdése – és a legtöbb földi élőlény számára az energia alapvetően a napból ered. A fotoszintézis megértése alapvető a természettudományos képzés szempontjából. Ennek alapján érthető meg a táplálékláncok és a populációk egymásra épülő működése is. Ugyanakkor az emberek számára is elérhető közelségbe kerülhet a bőséges és tiszta energia előállítása a nap energiájából.</p> | <ul style="list-style-type: none"> • A biomimikri 9 alapelve • A 9 alapelvről szóló modulok (Különösen: 1., és 2.) • Természetes gazdaság • Hogyan védik meg magukat a növények a természetben? • Alkalmazkodás a klímaváltozáshoz |
| <p>Anyag, energia és tulajdonságok (fizika/tervezés)</p> | <p>A természet igen sokoldalú és csak nagyon ritkán termel szemetet. A különböző folyamatok által előállított anyagok és az élőlények egyaránt évmilliók alatt alakultak ki és tökéletesen megfelelnek a rendeltetésüknek. Ha megfigyeljük a természetet, találunk hajlékony és kemény, erős és könnyű anyagokat egyaránt, amik a legelképezhetetlenebb funkciókat látják el és „megoldják” a legnagyobb tervezési kihívásokat is. Többször említett példa, hogy a gekkók talpának megfigyelésével tudtak a mérnökök ragasztóanyag nélküli, szerkezete miatt működő ragasztószalagot kifejleszteni. Másik példa a méhek kaptárának hatszögletű sejtjei, amik felnyitották a szemünket, hogy az építkezéseknél is használható ez az erős és hatékony anyagfelhasználású szerkezet.</p> | <ul style="list-style-type: none"> • A biomimikri 9 alapelve • A 9 alapelvről szóló modulok (Különösen: 4.) • Csodálatos élőlények • Csomagolás • Épületek • Városi park vízgazdálkodása • Közösségi problémamegoldás a természet segítségével |

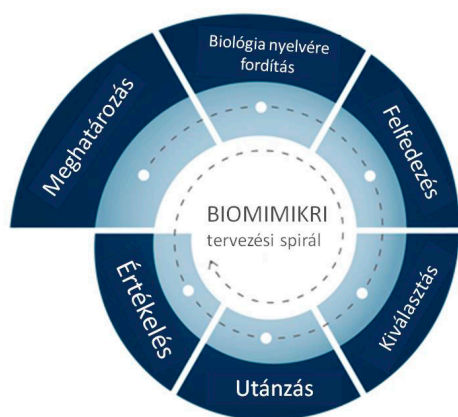
A BIOMIMIKRI, MINT TANULÁSI MÓDSZER

Biomimikri tervezési spirál

A **biomimikri tervezési spirál** (Biomimicry Design Spiral) abban segít, hogy hogyan lehet megtervezni egy probléma megoldását. (Az egyes fogalmakról bővebben ld. a háttéranyag végén: Biomimikri tervezési spirál.)

Nem véletlenül éppen spirál a formája ennek a segédletnek. A spirálformát sok helyen megtaláljuk a természetben. Igaz, hogy sok természeti folyamatot ciklusként írhatunk le, de igazából spirálokról beszélünk, hiszen az időben eltolódva történnek.

6. ábra: Biomimikri tervezési spirál (Biomimicry Design Spiral) (<https://toolbox.biomimicry.org/methods/process/>)



A biomimikrirel foglalkozó szakemberek általában akkor használják a 6. ábrán látható spirált, amikor konkrét problémát igyekeznek megoldani. Ha alkalmazni akarjuk ezt a módszert, akkor nekünk is először meg kell fogalmaznunk a megoldandó problémát és a problémához tartozó funkciót (*meghatározás*). Ha már megvan a funkciók listája, akkor ezeket le kell *fordítanunk a biológia nyelvére* – így tudjuk csak megtalálni az adott funkciókat a természetben. A következő lépés, hogy *felfedezzük*, a funkciók hogyan jelennek meg a természetben, így megtaláljuk azokat a példákat, amik segíthetnek a tervezési folyamatban. Ezt követően *kiválasztjuk* a természet legjobb példáit és az ötleteket beépítjük a tervbe (*utánozzuk*). Végül a biomimikri 9 alapelve alapján *értékeljük* a tervünket és amennyiben lehetséges, továbbfejlesztjük.

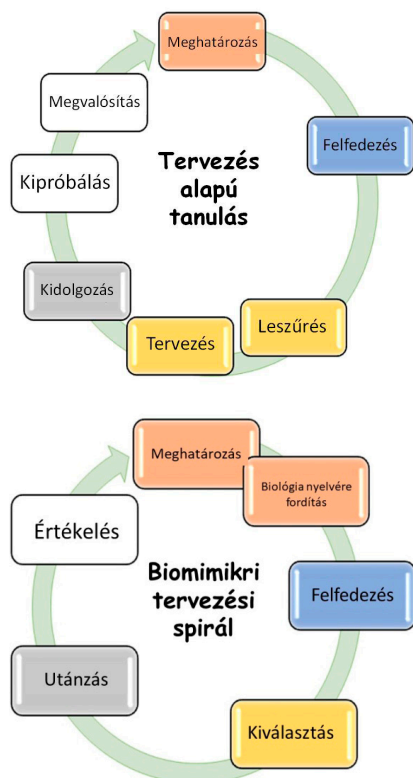
Röviden tehát: Probléma meghatározása – lefordítás a biológia nyelvére – felfedezés – legjobb megoldás kiválasztása – utánzás – értékelés.

Összehasonlítás más tanulási módszerekkel

A biomimikri oktatási elvei közel állnak a kutatás alapú tanulás (Inquiry-based learning – IBL) és a tervezés alapú tanulás (Design-based learning – DBL) elveihöz. Ezek a módszerek arra ösztönzik a diákokat, hogy tevékenyen fedezzék fel a körülöttük lévő világot. A gyerekek természetes kíváncsisága kulcsszerepet játszik bennük.

Amennyiben követjük a biomimikri tervezési spirál (Biomimicry Design Spiral – BDS) lépéseit, mindenképp el kell jutnunk egy tervig vagy egy megoldásig. Ha összehasonlítjuk a BDS lépéseket az IBL és a DBL lépéseivel, sok hasonlóságot vehetünk észre.

7. ábra: A tervezés alapú tanulás (DBL) és a biomimikri tervezési spirál (BDS) összehasonlítása



A 7. ábrán láthatjuk a DBL és a BDS lépéseit. Mindkét módszer azzal kezdődik, hogy *meghatározzuk* a feladatot/problémát/értelmezési közeget. A diákok „feltárják”, mi az alaphelyzet és meghatározzák a valódi problémát és feladatot. A BDS esetében ezt a probléma *biológia nyelvén való megfogalmazása* követi. A DBL-ből ez a lépés hiányzik, mert itt nemcsak a természetet használjuk a tervezés ötletadójaul.

A következő lépés mindkét esetben a *felfedezés*. A BDS esetében ez azt jelenti, hogy keresünk olyan élőlényt vagy ökoszisztémát, ami a kívánt funkció irányában fejlődött. A DBL ebben az esetben is szélesebben értelmezhető, a diákok bárhol kereshetik a megoldást. A felfedezés és a kutatás azonban mindkét esetben nagyon fontos és ennek során a diákok számos képességre tehetnek szert.

Ami a DBL esetében a „*leszűrés*”, az a BDS-nél a *kiválasztás*. Mindkettőnél az a lényeg, hogy a számunkra leghasznosabbnak tűnő példákat kiválasztjuk és megvizsgáljuk, hogyan használhatjuk fel a tervezés során. A biomimikriben ez nagyon fontos lépés, hiszen a különböző szakterületek szakemberei dolgoznak együtt: a biológusoknak úgy kell leírni a biológiai példát, hogy a tervezők is megértsék és tudjanak

vele dolgozni. A DBL-ben is fontos ez a lépés: a diákoknak meg kell tanulniuk felismerni a használható megoldásokat és kiválasztani azokat az információkat, amik a leginkább segítik a tervezést.

A BDS-ben az *utánzás* az a lépés, ahol a tulajdonképpeni tervezés folyik. A biomimikri szakemberek tökéletesítik a kiválasztott ötleteket és kidolgozzák a tervet. A DBL-ben ez a *kidolgozás* fázisa. A biomimikriben az utánzás többet jelent, mint a terv kidolgozását. A tervezés minden lépésénél vissza kell tekinteni a természetből vett példára, ami egyben „tanácsadó” is. Figyelembe kell venni a különböző léptékeket is, így nemcsak a formák, hanem folyamatok és rendszerek is szolgálhatnak mintául (Baumeister, 2014).

Végül, a biomimikriben a 9 alapelv alapján *értékeljük* a terveket. Ez biztosítja, hogy a természetet minden lépésnél mintának és mentornak tekintsük. Feltehetünk magunknak olyan kérdéseket, mint: Tudnék-e még energiatakarékosabb lenni? Meg tudnám-e oldani a termék előállítását rendelkezésre álló alapanyagokból? A kérdésekre adott válaszok fényében lehet (részben) módosítani a terveket. A DBL-ben a *kipróbálás* és *megvalósítás* fázis hasonló: bizonyos szempontok alapján megvizsgáljuk, hogy lehet-e még javítani a terméken. Itt is hiányzik azonban, hogy a természettel összehasonlítsuk a terveket.

Az eddig vázolt összehasonlításban a biomimikri „feladattól a biológia felé” megközelítését mutattuk be. A „biológiától a tervezés felé” megközelítés (ahol a kiinduló pont maga a természeti minta, amiből ötletet meríthetünk) hasonlóképpen működik, csak a lépések sorrendje különbözik.

Bár a biomimikrit leggyakrabban, mint tervezési módszert használják, az IBL-hez és a DBL-hez hasonló módszertani lépései miatt kiválóan lehet alkalmazni a tanulás során is. Az IBL és a DBL legfontosabb lépéseit megtaláljuk a biomimikri tervezési spirálnál is, ez biztosítja, hogy a tanulási folyamatban hasonlóan jó eredményeket lehet elérni vele, mint a projekt, kutatás vagy tervezés alapú tanulással. A biomimikri az említettekhez képest egy új szempontot is hozzáad a tanulási folyamathoz: megtanít arra, hogy a természet milyen értékes az ember számára, de arra is, hogy a természet önmagában is érték. Mivel a mai diákok lesznek a jövő vezetői, nagyon fontos, hogy meglássák és megtapasztalják a természet szépségét, és egyúttal meglássák a természet zsenialitását is.

A tanulási folyamatokon túl a biomimikri segítségével a diákok ténylegesen megtanulhatják, hogy a természet példája nyomán hogyan alkossanak olyan termékeket, folyamatokat és rendszereket, amik hosszútávon alkalmazkodnak a földi élethez. Reményeink szerint a biomimikri hozzájárul ahhoz, hogy a diákokban az a hozzáállás alakuljon ki, hogy a természetet mindenképp meg kell őrizni bolygónkon.

4 | BIOMIMIKRI A GYAKORLATBAN

ANGOL NYELVŰ ONLINE ESZKÖZÖK

Magyar nyelven még kevés eszköz áll rendelkezésünkre, de angolul már rengeteg ötletet találunk az interneten. Érdemes az angolul tanuló diákoknak is ajánlani ezeket az oldalakat – miközben persze magyarul is lassan kidolgozhatunk hasonlókat.

A világ egyik vezető biomimikrirel foglalkozó szervezete a Biomimicry Institute (<https://biomimicry.org/>). Honlapjukon külön oldalt találunk az oktatásról: <https://biomimicry.org/education/>. Ezen az oldalon hirdetnek meg évről évre tervezési versenyeket különböző korosztályok részére, ezekbe nemzetközi szinten is be lehet nevezni.

A Biomimicry Institute oldaláról eljuthatunk az <https://asknature.org/> oldalra, ahol már több, mint 1800 természeti példát mutatnak be funkciókra és problémák megoldásaira. Itt is található külön oktatási rész: <https://asknature.org/educators/>, ahol részletesen lehet olvasni a biomimikri oktatásban való alkalmazásáról.

Partnerszervezetünk, a Center for Learning with Nature <https://www.learning-withnature.org/> szintén régóta foglalkozik a biomimikri oktatásban való alkalmazásával. Regisztráció után nagyon jól használható oktatóanyagok tölthetők le az oldalról.

A BIOLEARN OKTATÓANYAG ALKALMAZÁSA AZ OKTATÁSBAN

Az, hogy ki milyen módon tudja integrálni a biomimikrit az oktatásba attól is függ, hogy egy témakör mennyire kapcsolódhat egy adott tananyaghoz. A BioLearn oktatóanyagot úgy igyekeztünk kidolgozni, hogy annak részei használhatóak legyenek egyes tantárgyak oktatásánál. Sok tananyag résznél próbálhatjuk ki a biomimikri módszert és gondolkodásmódot, gazdagítva ezzel a diákok tárgyi tudását és tanulási módszereit.

A projekt alapú oktatáshoz hasonlóan (amihez a megközelítés sok ponton kapcsolódik), a BioLearn oktatóanyag is rengeteg továbbgondolási lehetőséget rejt a tanulási képességek fejlesztésére. Egyéni és csoportos munkaformákat egyaránt találunk, ezek segítségével hatékonyan használhatjuk a tanórák során.

Az oktatóanyagot fenntarthatóságra nevelési oktatók írták és adaptálták saját országukra. Minden pedagógust arra biztatunk, hogy bátran adaptálja és fejlessze tovább. A legtöbb bemutatott modult a fejlesztői kipróbálták, ezek alapján összegyűjtöttünk néhány dolgot, amit érdemes előre átgondolni. (A modulokban megtaláljuk a javaslatokat rá.)

A modulok főbb jellemzői

Milyen munkaformát javasolunk? Egyénileg vagy inkább csoportosan fognak-e dolgozni a diákok? Projekt vagy inkább probléma alapú tanulást alkalmazunk-e? Amennyiben ezek már megvannak, hogyan lehet jól megszervezni és előkészíteni az adott tanulási környezetben? Milyen eszközökre lesz szükség?

A fenti kérdésekre a modulok és azon belül a foglalkozások bemutatásánál kapunk választ. Érdemes átnézni a modulok felépítését, hogy lássuk, mit hol találunk.

A biomimikri sok esetben a diákok problémamegoldó és kreatív képességeit fejleszti, ezért érdemes azt is átgondolni, hogy hogyan tudjuk őket segíteni az ilyen jellegű munkákban.

Kiindulási pont – bevezetés vagy a tudás fejlesztése?

Érdemes azt is átgondolni, hogy a pedagógus és a diákok mennyire vannak tisztában a biomimikri fogalmával és módszereivel. Amennyiben mindenki kezdőnek számít, kezdjük a „Bevezető modulokkal”! Ha már az alapfogalmak világosak, akkor érdemes a többi modult is elővenni és használni őket a különböző tantárgyaknál. Természetesen keverhetők is az egyes foglalkozások az egyéni igények szerint.

Tantárgyközi kapcsolódás

A biomimikri megközelítést nehéz beskatulyázni, ugyanakkor az oktatási rendszeren belül tantárgyakat és témaköröket találunk. Ha elkezdjük alkalmazni a biomimikrit, azt vesszük észre (jó esetben), hogy a diákokat is elkezd érdekelní, a tanulás új irányokat vesz, és nagyon sokszor áttevünk más tantárgyakra is. Ez gondot okozhat, hiszen egy-egy tantárgynak megvannak a témakörei, egy-egy részt be kell tudni fejezni és összefoglalni, mielőtt továbblépnénk. Érdemes a fő irányokat akár felírni a táblára, hogy ne kalandozzunk el nagyon, de az is jó megoldás lehet, ha összedolgozunk más tantárgyakat oktató kollégákkal, és egy-egy témát együttműködve dolgozunk fel a biomimikri segítségével.

Megvalósítás és visszajelzés

Egy-egy modul megtervezése és megvalósítása – különösen az elején –, nem lesz könnyű sem a diákoknak, sem a pedagógusoknak, hiszen egy új módszer-ről van szó. Érdemes foglalkozásonként megállni és értékelni, összefoglalni a tanultakat – így a kihívásból tudás válik. A természet nem alkot tökéleteset, a tökéletesség magában az alkotásban van! A tanulás során is előfordulhatnak vargabetűk, amikből szintén sokat lehet tanulni. Mindenképpen szánjunk időt a visszajelzésekre, és engedjük, hogy a diákok tanuljanak a hibákból is.

Lehet, hogy nem működött jól a csapatmunka, vagy nem sikerült a tervezési folyamat? Ha közösen végiggondoljuk és megnézzük, hol lehetett a hiba, akkor legközelebb ki lehet javítani, jobban lehet csinálni. Ezeket a reflektáló időket mindenképp építsük be a modulokba (sok helyen most is benne vannak) – a foglalkozások vagy az egyes modulok végén.

Az oktatóanyag adaptálása

Az egyes modulok úgy épülnek fel, hogy azok a megadott számú tanórak alatt elvégezhetőek egy bizonyos logikai felépítés szerint, de mint említettük, más sorrendben is alkalmazhatjuk a foglalkozásokat. A korosztályi megjelöléseket tárgyan értelmezhetjük és akár lefelé akár felfelé lehetséges az adaptálásuk.

Mire figyeljünk az oktatóanyag használata során?

Csoportméret

Egyedül vagy csoportosan dolgozzanak-e a diákok? Esetleg egyedül, majd kisebb csoportban, majd összegezzük az eredményeket az egész osztályban? Érdemes átgondolni, hogy a diákoknak milyen tapasztalatai voltak eddig a különböző munkaformákról. Ha még nincs tapasztalatuk benne, akkor válasszunk másikat vagy óvatosabban vezessük be számukra az újdonságot. A csoportmunkához való hozzászoktatást kezdhethetjük páros gyakorlatokkal. Segíthet, ha minden csoporttagnak megvan a maga tisztázott feladata. Amennyiben egyénileg kell dolgozniuk a diákoknak, igényelhetik a pedagógus segítségét.

Háttértudás és érdeklődés

Ahhoz, hogy sikeresen alkalmazzuk a biomimikrit az oktatás során, fontos, hogy odafigyeljünk a diákok előzetes háttértudására és érdeklődésére. Tudjuk-e ezek fényében használni az adott feladatokat? Mennyire tudjuk beleszólni a modulokba a helyi ügyeket és problémákat? Érdemes körülnézni az iskolaudvaron, hogy mi keltheti fel ott a diákok érdeklődését. Nagyon fontos, hogy a tanulást kötni tudjuk a diákok valóságához („valóság alapú tanulás”), hiszen így tudják majd a biomimikrit a mindennapok során is alkalmazni.

Képességek és lehetőségek

A biomimikri beépítése a tananyagba nem könnyű, de megéri. Nagyon oda kell figyelni a diákok visszajelzéseire, igényeire és arra, hogy senki ne maradjon le és ne érezze magát frusztráltnak emiatt. Érdemes azzal a modullal vagy foglalkozással kezdeni, ami a legközelebb áll mind a pedagógushoz, mind a diákokhoz és onnan haladni tovább.

TANÁCSOK KÉPZŐKNEK A KÉPZÉS MEGTARTÁSÁHOZ

A pedagógus-továbbképzési anyagok általában a tartalmi részre koncentrálnak, kisebb terjedelemben arra, hogy hogyan lehet a képzést megvalósítani – ezek mind nagyon fontosak és ebben az anyagban is szerepelnek. Ebben a rövid fejezetben viszont másra fókuszálunk: arra, hogy aki megtartja, azaz a képző, mit is gondol az Életről általában és konkrétan a biomimikri témaköréről. Sok kutatás bizonyítja, hogy a diákok részéről a tanítás tartalmára adott reakció nagyban függ attól, hogy azt a pedagógus hogyan adta elő, ezt pedig az befolyásolja, hogy neki milyen érzései vannak a tanítás tárgyával kapcsolatban.

Mielőtt hozzákezdene ehhez a pedagógus-továbbképzéshez, vizsgálja meg a következőket: Hogy van? Hogy érzi magát? Elég magabiztosnak és lelkesnek érzi-e magát a BioLearn/biomimikri témával kapcsolatban? Ha nem, ne próbálja szépíteni! Teljesen normális, ha inkább nem a válasz. Az a fontos, hogy ezzel tisztában legyen, és esélyt adjon arra, hogy megkedvelje, megismerje ezt a módszert, és ezt a tudását fel tudja használni a képzés és a későbbiek során.

Mit lehet tenni, ha nem érzi magát elég magabiztosnak és lelkesnek a BioLearn témával kapcsolatban, miközben a képzés alatt a tanárokat kéne lelkesítenie? Felejtse el az elvárásokat, és inkább menjen ki egyet sétálni, és „találkozni” egy kicsit a természettel!

Az emberi test és az emberi elme úgy van kitalálva, hogy a természettel összhangban működjön. Több kutatás is kimutatta, hogy amikor friss levegőt lélegzünk be, látjuk, hogyan növekednek a növények, hogyan lengedeznek a szélben, érezzük a természet illatait, akkor gyors változás történik velünk/bennünk fizikailag és pszichológiailag is. Egyszer csak kevésbé érezzük magunkat stresszesnek. Sokkal tisztábban és kreatívabban kezdünk gondolkodni. Optimistábban nézünk a világra. Az immunrendszerünk jobban működik. Eddig semmi olyat nem találtak, ami a természetnek ezt a hatását helyettesíteni tudná. Amennyiben nem töltünk elegendő időt a természetben, kialakulhat az ún. természethiány betegség, ami pont az ellekezője a fent leírtaknak. A legjobb tehát, ha rá tud szánni 5 percet, esetleg 20-at vagy egy órát arra, hogy kimenjen a természetbe feltöltődni, mielőtt képzést kezdene tartani a pedagógusoknak arról, hogy mit is tanulhatnak a természettől! Ez a legelső dolog, amit érdemes megtenni.

A képzés résztvevői lehet, hogy elgondolkodtak már azon, hogy mit is tanulhatnak a természettől, de lehet, hogy egyáltalán nem. Érdemes tehát az alapokkal kezdeni: a biomimikri meghatározásával, valamint a különböző szinonimákkal, mint biomimézis, bionika, biomimetika. Amennyiben a résztvevők úgy döntenek, hogy az ismereteiket az internet segítségével bővítik, szükségük lesz az összes használt kifejezésre.

A biomimikri definícióján túl szükség lesz további példák bemutatására is, különben nem fogják igazán megérteni, miről is szól ez a téma. Olyasmi ez, mint a kifejezés: „íronia”. Ha megnézem a szótárban, mi az az íronia ezt írja: *„A rejtett gúnynak az a fajtája, amelyben a lekicsinylés a dicséretnek, magasztalásnak az alakját ölti magára”* (arcanum.hu). De ettől még nem fogják tudni felismerni az iróniát. De ha azt mondom: Charlie Chaplin egyszer részt vett, egy „Charlie Chaplin hasonmás” versenyen, de nem nyert, akkor mindjárt érthetővé válik, mi is az íronia.

A példákhoz összeállítottunk egy prezentációt, aminek segítségével világosabbá válhat, hogy mi is a biomimikri. Ez a ppt a diasor magyarázatával együtt fent van a www.biolearn.eu/hungary honlapon is, mert úgy gondoljuk, hogy a diákok tanulását is segítheti. Ott is a tépőzár példájával kezdjük, mert a legtöbb embernek ezzel összeáll a kép, hogy mit is jelent a biomimikri kifejezés.

Természetesen más példákat is lehet választani a biomimikri bemutatására. A diasoron is nyugodtan lehet változtatni, ha szükségesnek tartja, pl. az adott résztvevői kör más érdeklődésű. Az sem utolsó szempont, hogy az előadó azonosulni tudjon velük! Ne feledje, hogy a tanárok az ismereteket a diákoknak adják majd tovább, tehát érdemes olyan témát választani, amely a fiatalabb korosztály számára is érdekes lehet, valamint olyanokat, amik egymás hatását erősítik. Pl. mutassák be, hogy a biomimikri megoldás lehet különböző problémákra; legyenek példák különböző témakörökre; lehet benne aktuális, vagy akár helyi kérdésekre adott válasz; mindenképp szerepeljen benne a fenntarthatóság; jó, ha találunk példát a különböző természeti formákra, folyamatokra, rendszerekre (a modulokból bőven válogathatunk ehhez példákat).

Ne feledje, hogy a pedagógusok – és rajtuk keresztül a diákok – biomimikri képzésének az a fő célja, hogy képesek legyenek az ún biomimikri gondolkodásra, azaz valóban ellesni ötleteket a természettől. Kognitív képességeket fejleszt, és megmutatja a tanároknak, hogy ők hogyan fejleszthetik a diákok kognitív képességeit. A legjobb tehát ugyanúgy kezdeni, mint saját magunkkal: Menjen ki a tanárokkal egy nyugodt helyre, ahol leülhetnek pár percig, közel kerülhetnek a természethez és tegye fel nekik a következő kérdéseket: Mire jó a természet? Mit csinál jól a természet? Ez a lényege annak, hogyan látják a biomimikrivel foglalkozó feltalálók a világot és hogyan gondolkodnak. Nem nehéz igazából, de nem szoktunk hozzá, így meg kell mutatni a pedagógusoknak, hogyan kezdjék a természetet ilyen szemmel is nézni, hogyan kezdjék el a „biomimikri gondolkodást”.

Végül, a legjobb módja annak, hogy átadjuk a módszert és a tanárok jó mentori legyenek a diákjaiknak, ha maguk is kipróbálják a tervezési módszert. Úgyhogy a képzés csúcspontja az lehet, ha a pedagógusok kapnak egy tervezési feladatot, amit a biomimikri segítségével tudnak megoldani. Amennyiben ők maguk is végigcsinálják a folyamatot, sokkal jobban fogják tudni továbbadni a módszert a diákoknak is.

Néhány angol nyelvű segítség a pedagógus-továbbképzéshez:

- **Videó:** Janine Benyus a biomimikriről <https://www.youtube.com/watch?v=sf4oW8OtaPY>
- **Könyv:** *Engineering Education for the Next Generation: A Nature-Inspired Approach* (a 2. fejezet arról szól, hogyan tanítsuk a biomimikrit diákoknak).

5 | A BIOMIMIKRI KIFEJEZÉSEI

Minden tudománynak megvannak a maga szakkifejezései, így van ez a biomimikrivel is. Bizonyos kifejezéseknek sajátos jelentése van a biomimikri világában. A BioLearn oktatóanyaghoz összeállítottunk egy [szószedet](#)et a diákok számára, az alábbiakban kicsit bővebben magyarázzuk el a kifejezések jelentését.

FUNKCIÓ

A biomimikriben a funkció azt mutatja, hogy mi a szerepe egy adott szervnek az élőlény túlélése vagy környezethez való alkalmazkodásának szempontjából.

Egy jegesmedve bundájának pl. az a szerepe, hogy melegen tartsa az állatot, tehát a funkciója az, hogy megőrizze a meleget, azaz szigeteljen. A természetben gyakran egy-egy szervnek több funkciója is van. Egy zöld levél pl. fotoszintetizál (azaz a nap energiáját cukorrá alakítja), de egyben a vizet is elosztja a levél erek (szállítónyalábok) segítségével.

Az ember által készített termékeknek is van funkciója, és gyakran itt is egyszerre több funkciót találunk. Pl. egy vízforraló a víz tárolására és felmelegítésére egyaránt szolgál.

Röviden a funkció a „mit csinál?” (mire szolgál? mi a szerepe?) kérdésre felel.

Amikor a biomimikri gondolkodást használjuk, akkor el kell döntenünk, hogy „mit csináljon” a termékünk és olyan mintát kell keresnünk a természetben, aminek hasonló a funkciója. Például, ha egy hatékonyabb légkondicionálót szeretnénk készíteni, akkor nem érdemes a kérdést úgy feltenni egy biológusnak, hogy segíts készíteni egy hatékonyabb légkondicionálót. Előbb le kell fordítanunk a biológia nyelvére, valahogy így: Hogyan hűt a természet? Hogyan szabályozza a természet a hőmérsékletet? Ilyen módon a biológus már valószínű fog adni egy listát azokról az élőlényekről, amelyeknek érdekes a hűtési/hőmérséklet szabályozási stratégiája. Tehát az a kérdés, hogy mit CSINÁLJON és nem az, hogy mi LEGYEN a termékünk.

Ezt szem előtt tartva kezdetünk el keresni a természetben élőlényeket vagy ökoszisztémákat, aminek hasonló a funkciója ahhoz, amit keresünk. Megnézhetjük, mit tanulhatunk tőlük, a működésük elveit pedig fel tudjuk használni a tervezésben. Erre látunk példákat a Csodálatos élőlények c. modulban és a következő táblázatban.

3. táblázat: Néhány példa funkcióra

| Természeti példa | Funkció |
|---|---|
| Fakéreg | Védelem |
| Termeszvár | Hőmérséklet-szabályozás |
| Jegesmedve bundája | Szigetelés |
| Namíbiai sivatagi bogár (<i>Stenocara gracilipes</i>) | Víz összegyűjtése |
| Hangyák | Útvonal megtalálása |
| Lótusz levél | Felület tisztán tartása |
| Hosszúszárnyú bálna | Ellenállás csökkentése |
| Banán terméshéj | Védelem, információ az érettség fokáról |

STRATÉGIA

Az élőlények különböző stratégiák segítségével valósítják meg működéssel kapcsolatos szükségleteiket. A stratégia olyan sajátosság, működési mód vagy folyamat, amely megmutatja, hogy egy funkció hogyan teljesül.

A jegesmedve példájánál maradva a bunda a stratégia, ami megvalósítja a szigetelés funkcióját. A vízforraló esetében az elektromos energia alakul át hőenergiává, ami megváltoztatja a víz hőmérsékletét. Röviden a stratégia a „hogyan” kérdésre ad választ.

Ha részletesebben megvizsgáljuk, akkor a jegesmedve esetében azt látjuk, hogy a bundája két jól elkülönülő rétegből áll: a bőr közvetlen közelében egy rövid és sűrű belső prém rétegből és egy hosszabb, durvább szálakból álló külső prém rétegből. Ez a külső védelmi réteg átlátszó és nagyon hatékonyan tartja bent az infravörös sugárzást. Ez azt jelenti, hogy a jegesmedve meleg teste által kibocsátott hőt megtartja, így az nem vész el.

A biomimikri gondolkodásban azt kérdezzük, hogy hogyan valósítja meg a természet az adott funkciót. Egyszerű esetben le tudjunk másolni a formát, mint a jégmadár csőrét a szuper expressz vonatoknál. Gyakran azonban egy folyamatot kell utánozni, mint pl. azt, hogy használat után alkotóelemeire bontani valamit.

4. táblázat: Funkció és stratégia

| Természeti példa | Funkció | Stratégia |
|------------------|-------------------------|---|
| Fakéreg | Védelem | A kéreg megvédi a fát a kiszáradástól, valamint a gombás fertőzésektől, a rovaroktól és a madaraktól. A kéreg úgy nő és formálódik, ahogy a fa növekszik. Ha sérülés éri a fát, körbenövi a sérült helyet. |
| Termeszvár | Hőmérséklet-szabályozás | A természet kéményrendszert építenek a váraikba. Amikor a levegő felmelegszik, a belső levegő a fő kéményen keresztül felfelé távozik, alulról pedig hűvösebb levegőt szív be – ezáltal hűti a várat. Éjszaka fordítva működik, így akkor melegít, összességében pedig állandó hőmérsékletet biztosít a vár belsejében. |

| Természeti példa | Funkció | Stratégia |
|--|---|--|
| Namíbiai sivatagi bogár (<i>Stenocara gracilipes</i>) | Víz összegyűjtése | Vízvezető dudorok és vízösszegyűjtő barázdák és éjszaka sugárzó fekete felszín segítségével ezek a sivatagi bogarak össze tudják gyűjteni a vizet a levegő nedvességéből. |
| Hangyák | Útvonal megtalálása | A táplálék keresése közben a hangyák feromonok segítségével kommunikálnak. Amikor valamelyikük talál táplálékot, 'pozitív' jelzést hagy maga után, amit aztán a többi hangya is megerősít. A hangyák munkája először esetlegesnek tűnik, de hamarosan megtalálják a legrövidebb utat és mindenki ezt követi. |
| Lótusz levél | Felület tisztán tartása | A lótusz levelei mindig tiszták és nem használnak hozzá mosószert. A növény kutikulája igen vízlepergető, amit mikroszkopikus méretű/nanoszerkezetű dudorokkal tud elérni. A ráeső vízcseppek szétporladnak, gyorsan leperregnek a felszínről, magukkal sodorva az esetleges szennyeződések is. |
| Hosszúszárnú bálna | Ellenállás csökkentése | A bálna uszonyán található dudorok segítenek abban, hogy 'megragadja' a vizet és gyorsan meg tudjon fordulni, amikor éppen az élelmét üldözi. |
| Banán terméshéj | Védelem, információ az érettség fokáról | Amikor a banán héja zöld, még nem ehető, amikor pedig barna, már szintén nem. Amúgy pedig megvédi a termést. |

KÖRFOLYAMATOK

- A természet körfolyamatokkal működik – semmi sem keletkezik vagy vész el. A körfolyamatok folyamatosan ismétlődnek és nem akadályozzák a többi folyamat működését. A napkelte és napnyugta napi ismétlődése, az év folyamán az évszakok váltakozása ilyen ciklusok, mindennek megvan a maga ideje. A nitrogén, a foszfor, a szén és az oxigén is körfolyamatok révén jut el a rendeltetési helyére: ilyen folyamatok a transzspiráció, a lebomlás, a mállás vagy a fotoszintézis.
- **Változás:** semmi sem állandó, minden folyamatos fejlődésben (evolúció) van, ahogy a sokféle élőlény alkalmazkodik és a különböző változatok kialakulnak. Az energia átalakul és változik, ahogy a naptól a levelekhez jut, majd onnan a rovarokba; a szén, a hidrogén és az oxigén atomok folyamatosan összekapcsolódnak, majd szétválnak, ahogy a különböző anyagok szerkezetét felépítik.
- **Stabilitás:** a természetben dinamikus egyensúly van. A különböző ökoszisztémák nem a monopóliumok felé fejlődnek, tehát nem az az irány, hogy néhány domináns faj maradjon csak fenn. Minden mindennel összefügg, és minden alkalmazkodik az adott helyen uralkodó körülményekhez. Minden rendszerben visszacsatolás működik, ami segít a rendszert egy viszonylag stabil szinten fenntartani.
- **Energiaáramlás:** A rendszerekben az energia alapvetően a naptól származik. Ez az energia alakul át: először fényenergiából a fotoszintézisen át kémiai energiává. Ezt az energiát tudják az állatok is felhasználni a továbbiakban.

Ha megfigyeljük ezeket a mintázatokat, jobban megérthetjük, hogy mi miért van a természetben. A megfigyelési képességek fejlesztésének egyik módja, ha kiválasztunk egy dolgot a természetben (pl. egy levelet, egy ágat vagy egy rovarot), és megpróbálunk leírni róla 50 db megfigyelést. A legtöbb ember hamar eljut 10-15-ig, de az 50 már nehezebb feladat. Minél többet gyakoroljuk, annál könnyebb lesz! Segíthet, ha ezekhez hasonló kérdéseket teszünk fel: Miért zöld a levél? Miért fogazott a széle? Miért formáznak a levél erek V betűt? Miért keskenyebbek a levél erek, mint a szár?

ANALOGIKUS GONDOLKODÁS

Egy probléma megoldási ötletének alkalmazása egy hasonló probléma megoldása során. Ez a folyamat az, amikor már kipróbált, működő ötleteket lesünk el a természettől. Ez kicsit nehezebb lehet, mivel absztrakt gondolkodás szükséges hozzá. A BioLearn oktatóanyagban számos példát lehet találni erre, de néhányat a lenti táblázatban is bemutatunk. Esetleg ki lehet próbálni, hogy a diákok párosítani tudják-e őket, ha kártyaként felvágjuk és kiosztjuk nekik – így gyakorolva az analogikus gondolkodást.

5. táblázat: Analogikus gondolkodás

| Kihívás | A természet stratégiája/funkció | Alkalmazás az emberi világban | Mi a hasonlóság köztük (analógia) |
|--|---|---|---|
| Hogy véd meg a természet valamit? | A kéreg megvédi a fát a kiszáradástól, valamint a gombás fertőzésektől, a rovaroktól és a madaraktól. A kéreg úgy nő és formálódik, ahogy a fa növekszik. Ha sérülés éri a fát, körbenövi a sérült helyet. | Több réteg védelem használata egy épület homlokzatán – ez segít a napfény visszatükrözésében és a levegő hűtésében. | Ebben az esetben a fakérget utánozzuk a ház homlokzatánál. |
| Hogyan szabályozza a természet a hőmérsékletet? | A természet kéményrendszert építenek a várakba. Amikor a levegő felmelegszik, a belső levegő a fő kéményen keresztül felfelé távozik, alulról pedig hűvösebb levegőt szív be – ezáltal hűti a várat. Éjszaka fordítva működik, így akkor melegít, öszszességében pedig állandó hőmérsékletet biztosít a vár belsejében. | A Harare-ban található East Gate Centre ezt a folyamatot utánozza. A porózus falakon átszivárgó levegő lehűl, mielőtt az épület belsejébe érne. | A természetes „léghőkönyves” ötletét alkalmazzák egy épületnél. |
| Hogyan védekezik a természet a ragadozókkal szemben? | A polip változtatja a színét a környezetének megfelelően – így a környezetbe illő lesz és nehezen észrevehető. | A katonák álcaruhája hasonló, de ennek állandó színösszeállítása van. Ha tudna alkalmazkodni az adott környezethez, még jobban működhetne. | Az álcázás technikájának felhasználása a ruházatnál. |
| Hogyan tartja magát tisztán a természet? | A lótosz levelei mindig tiszták és nem használnak hozzá mosószert. A növény kutikulája igen vízlepergető, amit mikroszkopikus méretű dudorokkal tud elérni. a ráeső vízcseppek szétporladnak, gyorsan leperregnek a felszínről, magukkal sodorva az esetleges szennyeződések is. | Ezt a technológiát felhasználják már ruházatnál, festékeknél és üvegfelületeknél is. | Az öntisztítás technológiájának felhasználása ember által készített felületeknél. |

6 | A BIOLEARN MODULOK BEMUTATÁSA

Arra biztatjuk a képzőket, hogy röviden mutassák be az egyes BioLearn modulokat. Korábbi tapasztalataink szerint a tanulás egyik leghatékonyabb módja a tevékenységek kipróbálása, ezért javasoljuk, hogy az alább kiemelt tevékenységeket végezzék el a pedagógusokkal a képzés során. A modulok kiválasztása után a honlapról lehet kinyitni az eredeti leírásokat a részletekért. A számok a modulokon belüli tevékenységek számát jelentik.

A BioLearn modulok áttekintése:

Bevezető modulok:

Bevezető előadás

Modulok az alapelvekről:

- A biomimikri 9 alapelve
- 9 modul a 9 alapelvről

Csodálatos élőlények

Termékeket bemutató modulok:

Csomagolás

Természetes gazdaság

Épületek

Folyamatokat bemutató modulok:

Egészség a természettől

Hogyan védik magukat a növények a természetben? (Növényvédelem)

Egy városi park vízgazdálkodása

Rendszereket bemutató modulok:

Közösségi problémamegoldás a természet példáin keresztül

Alkalmazkodás a klímaváltozáshoz

BEVEZETŐ MODULOK

Előadás a biomimikriről (ppt)

Előadás a biomimikri fogalmáról, példákról, felhasználási területeiről. A honlapon a prezentációhoz részletes magyarázat is tartozik.

Modulok az alapelvekről

- [A biomimikri 9 alapelve](#)

A modulban található foglalkozások a biomimikri 9 alapelvének bevezetésül szolgálnak. Ezek az alapelvek nagyon lényegesek a biomimikri gondolkodásban, így az összes többi modulban is. Az egyes alapelvek bemutatására külön modulok is szolgálnak.

1. A 9 alapelv magyarázata

A [Biomimikri_alapelvei.ppt](#) bemutatása és megbeszélése.

- [P1: A természet túlnyomó részt napfénnel működik](#)
Ez a modul az energiáról szól. A természetben használt energia túlnyomó része a naptól érkezik és a fotoszintézis révén lesz elérhető az élőlények számára. A diákok kétféleképpen is eljátsszák a fotoszintézis folyamatát a modul során (2., 3. foglalkozás).
- [P2: A természet csak annyi energiát használ, amennyi szükséges](#)
A természet nem pazarolja az energiát. Hogyan fedezhetjük ezt fel a természetben? Ebben a modulban különböző energiaformákra keresünk példákat kint, a terepen.

 2. Energiaformák keresése
Különböző energiaformák keresése a természetben.
- [P3 A természet összehangolja a formát a működéssel](#)
A természet a legjobb tervező. Minden forma tökéletesen ellátja a feladatát és ráadásul még jól is néz ki. A modulban a diákok ezt a csodát fedezik fel.

 2. Forma és funkció felfedezése
Természetes és mesterséges tárgyak tulajdonságainak és funkciójának felfedezése.
- [P4: A természetben minden újrahasznosul](#)
Az egyik legfontosabb dolog, amit a természettől elleshetünk, az a tökéletes újrahasznosító rendszere. Nincs hulladék: ha valami már nem használható egy folyamat végén, akkor az nyersanyaggá válik egy újabb folyamatnál. A diákok ezt figyelik meg a modul gyakorlatai során.
- [P5: A természet együttműködésre épít](#)
Hajlamosak vagyunk azt gondolni, hogy a természet főként a versengésen alapul. Ha jobban megnézzük, akkor kiderül, hogy az együttműködés sokkal „kifizetődőbb”. Ebben a modulban a diákok az együttműködést gyakorolják, majd elgondolkodnak azon, hogy melyik is a jobb: az együttműködés vagy a versengés?

 2. Játsszunk tölgyerdőt!
A diákok egy gyertyános-kocsánytalan tölgyes életközösség tagjaivá válnak és felfedezik az összefüggéseket.
- [P6: A természet létalapja a sokféleség](#)
A sokféleség nagyon fontos a természetben, segít abban, hogy stabil ökoszisztémák alakuljanak ki. Ebben a modulban a diákok azt tapasztalják meg, mi történik akkor, ha nincs sokféleség. Azt javasoljuk, hogy az 5. és 6. alapelv moduljait egymás után végezzük el.

 2. Játsszunk akácerdőt!
A diákok egy fehér akác ültetvény tagjaivá válnak és felfedezik az összefüggéseket.

- [P7: A természet helyi adottságokra épít](#)
Az élőlényeknek alkalmazkodniuk kell a különböző körülményekhez: adott élőhely, időjárás, talaj, elérhető táplálék stb. A természet az „építkezéshez” is helyi alapanyagokat használ. A modulban a diákok azt próbálják ki, hogy a madarak csőre hogyan alkalmazkodott a helyi körülményekhez és a rendelkezésre álló táplálékhoz.
 2. Csőr játék
Különböző tárgyak felemelése különböző csipeszek segítségével.
- [P8: A természet egyensúlyra törekszik](#)
A természet egy finomra hangolt rendszer: minden nagyon gondosan szabályozott. Ebben a modulban a diákok felfedezik, hogyan élnek az őzek a környezetükkel összhangban.
 2. Őzek és szükségleteik játék
A diákok eljátsszák az őzek szükségleteit bemutató játékot.
- [P9: A természetben semmi sem korlátlan](#)
Az emberek hajlamosak elhinni, hogy minden igényük korlátozás nélkül kielégíthető. A természettől megtanulhatjuk, hogyan lehet remekül élni egy olyan világban, aminek megvannak a korlátai. Ebben a modulban a diákok megtapasztalhatják, mi történik, ha nem tartjuk be az egyszerű szabályokat.
 2. Lehalászás játék
A diákok csoportjai próbálnak hosszú távon megélni ugyanabból a tóból, miközben a halak száma véges.

Csodálatos élőlények

A természettől való tanulás azzal kezdődik, hogy feltesszük a kérdést: „Hogyan kezel a természet egy hasonló problémát?” Ez a bevezető modul azokra az alapvető módszerekre fókuszál, amelyek elengedhetetlenek a természettől való tanulás folyamán.

2. Egy csodálatos élőlény kiválasztása és megfigyelése
A diákok terepen figyelnek meg és vizsgálnak egy kiválasztott élőlényt.
5. Bemutató
A kiscsoportok megmutatják egymásnak elkészült munkáikat.

TERMÉKEKET BEMUTATÓ MODULOK

Csomagolás

Ahogy az ételeink és sok egyéb termékünk, úgy minden élőlény is be van csomagolva: ilyenek a bőrünk, a rák páncélja, a banánhéj, a kagylóhéj, a kókusz kérge, az ananász (mag csomag). Minden sejtnek a testünkben megvan a maga csomagolása. Hogyan segíthetnek a természetből vett ötletek a bonyolultabb csomagolási kihívások megoldásában?

2. Fogalmazd meg a kérdéset a biológia nyelvén!
A diákok megfogalmazzák a „biológia nyelvére” átalakított kérdést.

Természetes gazdaság

A természet mindent helyi alapanyagok felhasználásával, általában környezeti hőmérsékleten és normál nyomáson állít elő. Amikor valami már nem használható, biológiailag alkotóelemeire bomlik. Az emberek másképp működnek: bányákat ásnak, sokszor magas hőmérsékletet és nyomást alkalmaznak a termékek előállításához. A termékeket használat után nem könnyű újrahasznosítani, ezért eldobják őket. Azt is mondhatjuk, hogy a természet körkörös gazdaságot működtet, míg az emberek lineárist. A modul során felfedezzük, hogyan tanulhatjuk meg a természettől a termékek fenntartható előállítását.

1. Termeszthető termékek

A diákok gombafonalak segítségével készítenek terméket.

3. Ha a természet a megoldás, akkor mi a gond?

A diákok egy rövid videó segítségével értik meg, hogy miért szükséges a változás.

Épületek

Menedék, meleg, védelem: sok egyéb mellett ezeket a funkciókat keressük az épületeinkben. A modul során a diákok hasonló funkciókat keresnek a természetben és azt kutatják, hogy a természet „tudását” hogyan használhatjuk fel egy épület tervezésénél.

2. Hogyan működik ez a természetben?

Ötletek gyűjtése a természetben épületek funkcióira.

3. Építsünk... fészket! (Választható)

Kutatómunka fészkekről és fészkek építése.

FOLYAMATOKAT BEMUTATÓ MODULOK

Egészség a természettől

Sokat tanulhatunk a természettől arról, hogyan tartsuk magunkat egészségesen, felfedezve azt, hogyan maradnak a természetben egészségesek az élőlények. A diákok megismerik, mit tanít a természet nekünk az egészségről és a jóllétről. Felfedezik a természet által használt különböző stratégiákat, saját kutatást végeznek, és – segítségül hívva a biomimikri módszerét – újra gondolják, hogyan tud a természet egészségesen tartani bennünket.

3. Intelligens állatok

A diákok párosító gyakorlattal stratégiákat ismernek meg arról, hogyan tartják magukat egészségesen az állatok.

Hogyan védik magukat a növények a természetben? (Növényvédelem)

Az életben maradásunkhoz és ahhoz, hogy egészségesek maradjunk, meg kell védeni a környezetünket, a testünket és az ételmisszerünket (és terményeinket) a károsításoktól. Hogyan tehetjük mindezt úgy, hogy közben ne ártsunk más élőlényeknek a bolygón? Ebben a modulban a diákok a természet által ihletett növényvédelmet ismerik meg.

4. Minden kártevőnek van ellensége

A diákok megismerkednek a gazdálkodás ökológiai alapelveivel és ezek növényvédelemben való felhasználási lehetőségeivel.

Egy városi park vízgazdálkodása

A vízgazdálkodással kapcsolatos kihívások egyre nagyobbak: egyes helyeken az aszály okoz gondot, máshol árvízzel küzdenek. A tiszta ivóvízhez jutás is egyre több helyen okoz nehézséget. Ebben a modulban a diákok tudatosítják ezeket a kihívásokat, majd utánajárnak, hogy a természet hogyan bánik a vízzel, és ennek alapján milyen megoldások lehetségesek.

2. Városi park: A feladat feltérképezése

A diákok gondolattérkép segítségével feltérképezik a feladatot és a kutatás kulcskérdéseit.

RENDSZEREKET BEMUTATÓ MODULOK

Közösségi problémamegoldás a természet példáin keresztül

A modul a fenntarthatóság és az együttműködés témáival foglalkozik, analógiát keresve ezekre a természet világából. A tananyag a „hős útja” (hero’s journey) tanulási modellen alapul, amelyben a diákok egy problémával, akadállyal szembesülnek, és megtanulják, hogyan kerekedjenek felül.

1. Toronyépítés

A diákok építenek egy a sokkhatásoknak ellenálló tornyot
VAGY

3. Tojás törésteszt

A diákok olyan eszközt fejlesztenek ki, ami megakadályozza, hogy a tojás a földre ejtve összetörjön.

Alkalmazkodás a klímaváltozáshoz

A modulban a diákok kísérleteket végeznek annak megfigyelésére, hogy a természet hogyan véd a túlmelegedéstől és hogyan lehet megőrizni a vizet. Minden kísérletnek az a lényege, hogy a diákok megértsék, hogyan reagál a természet a különböző jelenségekre, és hogyan vehetjük ennek hasznát a klímaváltozás mérséklésében. Azt is megtanulják, hogy ezek az események kapcsolódnak egymáshoz és rendszerként kell rájuk tekinteni. Mind-egyik feladatot elvégezhetjük önállóan is, de lehet őket kombinálni is.

1. Albedó, a fényvisszaverő képesség

A foglalkozás során különböző színű tárgyak hőváltózásait mérik a diákok.

7 | A PEDAGÓGUS TOVÁBBKÉPZÉS FELÉPÍTÉSE

A pedagógus továbbképzés megtartására több lehetőséget is bemutatunk. A lenti táblázatban fél napos, egy napos és 3 napos verzió található. Azt javasoljuk, hogy vegyes, online és offline program is legyen a fél és az egy napos képzésen, a háromnaposat viszont személyes jelenléttel javasoljuk megtartani. Magyarországon a 30 órás (3 napos) képzést akkreditáltattuk, ennek az időbeosztását az elfogadott [tematika](#) szerint mutatjuk be.

Az időbeosztás (perc) a személyes képzéshez készült. A programok kipróbálását személyes jelenléttel javasoljuk, mivel a legtöbbhöz csoportra van szükség.

Az „online” rész a táblázatban azt jelenti, hogy a résztvevőknek olvasnivalót küldhetünk (ez lehet link vagy pdf a témáról), amit elolvasnak a képzés előtt. Ezeket természetesen a képzés alatt meg is lehet beszélni.

Ha nem megoldható a személyes jelenlét, akkor valamelyik digitális felületen (pl.: Zoom, Skype, Google Meet stb.), meg lehet tartani a képzést. Ebben az esetben nagyon kell figyelni arra, hogy melyik foglalkozást próbáljuk ki, mert több csak csoportban működik, egyedül nem kivitelezhető!

6. táblázat: Órarend a tanári továbbképzéshez

IDŐBEOSZTÁS TERVEZÉSE

| Témák | 0,5 nap (4 óra – neten kb. 210 perc) | 1 nap (8 óra – neten kb. 360 perc) | 3 nap (3×8 óra – neten kb. 1080 perc) |
|--------------------------------------|--|---|--|
| 1. Bemutatkozás | 5 perc | 10 perc | 40 perc |
| 2. A fenntarthatóságról | online | online | 40 perc |
| 3. A BioLearn bemutatása | 15 perc | 30 perc | 40 perc |
| 4. Biomimikri | online | online | 120 perc |
| 5. STE(A)M oktatás | online | online | 60 perc |
| 6. A legfontosabb készségek | online | online | 120 perc |
| 7. A modulok kipróbálása, magyarázat | 180 perc (6 választott modul, mindegyikre 30 perc) | 300 perc (10 választott modul, mindegyikre 30 perc) | 600 perc (12 modul, mindegyikre 50 perc) |
| 8. Lezárás | 5 perc | 10 perc | 30 perc |
| 9. Értékelés | 10 perc | 10 perc | 30 perc |

A KÉPZÉS TERVE

| Témák | 0,5 nap (4 óra – neten kb. 210 perc) | 1 nap (8 óra – neten kb. 360 perc) | 3 nap (3×8 óra – neten kb. 1080 perc) |
|---|---|---|---|
| 1. Bemutakozás | Rövid bemutatkozás: a résztvevők neve, munkahelye | „Keress valakit, aki...” (ismerkedési játék) ¹ | „Keress valakit, aki...” (ismerkedési játék) ¹ „Fa” modell az elvárásokról és a tapasztalatokról ² |
| 2. A fenntarthatóságról | Online anyag elolvasása otthon | Online anyag elolvasása otthon | ppt + beszélgetés |
| 3. A BioLearn bemutatása | 15 perces ppt | 30 perces ppt | 30 perces ppt |
| 4. Biomimikri | Online anyag elolvasása otthon | Online anyag elolvasása otthon | ppt + gyakorlás |
| 5. STE(A)M oktatás | Online anyag elolvasása otthon | Online anyag elolvasása otthon | ppt + gyakorlás (pl.: beszélgetés kis csoportokban) |
| 6. A legfontosabb készségek | Online anyag elolvasása otthon | Online anyag elolvasása otthon | ppt + 90 perces gyakorlat (pl.: Csodálatos élőlények) |
| 7. A modulok kipróbálása, magyarázat | <i>A modulok bemutatása – 2 db választott modul</i> <i>Egyéb modulok – 4 db választott modul</i> | <i>A modulok bemutatása – 3 db választott modul</i> <i>Egyéb modulok – 6-7 db választott modul</i> | <i>A modulok bemutatása – 4 db választott modul</i> <i>Egyéb modulok – 7-8 db választott modul</i> |
| 8. Lezárás | Rövid megbeszélés | Rövid megbeszélés | Hosszabb megbeszélés, visszajelzés a bemutatkozáskor készített fa segítségével |
| 9. Értékelés | Az értékelő lap kitöltése | Az értékelő lap kitöltése | Az értékelő lap kitöltése |

¹ Bemutakozó játék: Felírunk annyi tulajdonságot a résztvevőknek kiosztott lapokra, ahány résztvevő van. A résztvevőknek keresniük kell minden tulajdonsághoz egy embert, akire jellemző az. A tulajdonságok kapcsolódhatnak a képzéshez, pl.: hallott már a biomimikrióról, ismer olyan céget, amely biomimikri elvet használ; de lehetnek hétköznapiak is, mint például szeret biciklivel menni munkába.

² Készítsünk egy rajtot egy fáról A2 méretben, a fa ágai és gyökerei mindenképpen látszódnak rajta. Minden résztvevő kap 2 darab post it-et. Az egyikre írják rá, milyen tapasztalatot hoztak a képzésre (pl.: mit tanítanak, vagy elvitték már a gyerekeket kirándulni); a másik post it-re azt írják, mit szeretnének elvinni a képzésről (pl.: új ötletek, biomimikri ismerete). A résztvevők hangosan felolvassák, mit írtak a cetlikre, majd elhelyezik a tapasztalatos cetlit a fa gyökeréhez, az „ezt szeretném hazavinni” -t pedig a fa koronájához. A képzés végén megnézzük, elérték-e, amit szerettek volna.

8 | BIOLEARN – PEDAGÓGUS-TOVÁBBKÉPZÉS ÉRTÉKELŐ LAP (MINTA)

Köszönjük, hogy részt vett a BioLearn projektben és a BioLearn pedagógus-továbbképzésen!

A továbbképzés további fejlesztése érdekében kérjük, töltsse ki az alábbi kérdőívet! Nagyon sokat segít nekünk, ha minden kérdésre válaszol. A visszajelzéseket bizalmasan kezeljük, a neveket nem használjuk fel nyilvánosan. Ugyanakkor arra kérjük, tüntesse fel a nevét a végén, hogy reagálni tudjunk a véleményére.

Nagyon köszönjük!

Név:

1. A képzés hasznos és inspiráló volt.

| | | | | |
|----------------------------|------------|----------|-----------------|-------------------------------|
| HATÁROZOTTAN EGYETÉRTEK | EGYETÉRTEK | SEMLEGES | NEM ÉRTEK EGYET | EGYÁLTALÁN NEM ÉRTEK EGYET |
|----------------------------|------------|----------|-----------------|-------------------------------|

Indoklás:

.....

.....

2. A képzés megismertetett a biomimikri oktatására alkalmas modulok és online források használatával.

| | | | | |
|----------------------------|------------|----------|-----------------|-------------------------------|
| HATÁROZOTTAN EGYETÉRTEK | EGYETÉRTEK | SEMLEGES | NEM ÉRTEK EGYET | EGYÁLTALÁN NEM ÉRTEK EGYET |
|----------------------------|------------|----------|-----------------|-------------------------------|

Indoklás:

.....

.....

3. A képzés segített mélyebben megérteni a biomimikri legfontosabb alapelveit:

a. Kérdésfeltevés

Egyáltalán nem

Nagyon

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|

b. A minták és funkciók felismerése a természetben

Egyáltalán nem

Nagyon

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|

c. Megoldás találása egy emberi problémára a természetben

Egyáltalán nem

Nagyon

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|

4. A képzés során olyan modulokat ismertem meg, amiket ki tudok próbálni a diákokkal.

| | | | | |
|-------------------------|------------|----------|-----------------|----------------------------|
| HATÁROZOTTAN EGYETÉRTEK | EGYETÉRTEK | SEMLEGES | NEM ÉRTEK EGYET | EGYÁLTALÁN NEM ÉRTEK EGYET |
|-------------------------|------------|----------|-----------------|----------------------------|

Indoklás:

.....

.....

5. A képzés segített megértenem, hogyan tudom beépíteni a biomimikrit a tanmenetbe.

| | | | | |
|-------------------------|------------|----------|-----------------|----------------------------|
| HATÁROZOTTAN EGYETÉRTEK | EGYETÉRTEK | SEMLEGES | NEM ÉRTEK EGYET | EGYÁLTALÁN NEM ÉRTEK EGYET |
|-------------------------|------------|----------|-----------------|----------------------------|

Melyik tantárgy keretében lehetséges? Kérjük, sorolja fel!

.....

.....

6. A képzés tartalmazott bemutatót/kipróbálást legalább egy modulról.

IGEN / NEM

A kipróbált modul(ok) neve:

.....

.....

Nevezzen meg olyan modult/foglalkozást, ami hasznos lehet a diákjai számára:

.....

7. A képzés segített abban, hogy be tudjam építeni a biomimikrit tanítási gyakorlatba.

Egyáltalán nem

Nagyon

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|

Indoklás:

.....

.....

8. A BioLearn pedagógus-továbbképzés jól szervezett volt.

| | | | | |
|-------------------------|------------|----------|-----------------|----------------------------|
| HATÁROZOTTAN EGYETÉRTEK | EGYETÉRTEK | SEMLEGES | NEM ÉRTEK EGYET | EGYÁLTALÁN NEM ÉRTEK EGYET |
|-------------------------|------------|----------|-----------------|----------------------------|

Indoklás:

.....

.....

9 | IRODALOMJEGYZÉK

Alawad, A. A. (2014): The Impact of Field Trips on Students' Creative Thinking and Practices In Arts Education. *Journal of American Science* 10(1):46-50.

Baumesister, D. (2014): *Biomimicry Resource Handbook: A Seed Bank of Best Practices*. CreateSpace Independent Publishing Platform, Scotts Valley, USA.

Benyus, J. (1997): *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature*. Morrow, New York.

Stier, S. C. (2020): *Engineering Education for the Next Generation: A Nature-Inspired Approach*, W. W. Norton & Company, New York City, USA.