



Co-funded by
the European Union

Gamtos įkvėpti pastatai: kaip augalai ir gyvūnai padeda mums kurti geresnius miestus



BIOS4YOU
AR 2.0

BIO-INSPIRED STEM TOPICS FOR ENGAGING YOUNG GENERATIONS
THANKS TO THE USE OF AUGMENTED REALITY

Project Number: KA220-BW-23-30-126516

"Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them."





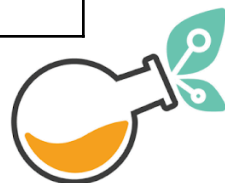
TURINYS

Įvadas	2
Gamta kaip modelis statomos aplinkos dizaine	4
Gamtos sprendimai žmonių iššūkiams	4
Efektyvus miestų planavimas ir srautai	6
Biologiškai įkvėpti metodai	7
Kaip biologinės sistemos įkvėpia tvarų dizainą	8
Biomimikrijos dizaino lygiai	9
Termitų piliakalniai: pasyvus šilumos reguliavimas ir vėdinimas	11
Lotoso lapas: savaime išsivalantys paviršiai	13
Namibo dykumos vabalas: vandens rinkimas iš oro	14
Taikymas: papildytosios realybės panaudojimas gamtos įkvėpto dizaino tyrinėjimui STEM ugdyme	15
Literatūra	18





Bendra mokymosi kelio tema	Gamtos įkvėpti pastatai: kaip augalai ir gyvūnai padeda mums kurti geresnius miestus
Konkretus mokymosi vieneto pavadinimas	Biodizainas miesto architektūroje
Tikslinis naudotojų amžius	14–18 metų
Besimokančiojo reikalavimai	Biologija, fizika ir aplinkos mokslai
Mokymosi vieneto aprašymas	Šis mokymosi modulis padeda mokiniams ir mokytojams tyrinėti, kaip natūralios augalų ir gyvūnų strategijos gali įkvėpti tvarius architektūros ir miestų planavimo sprendimus. Taikydami daugiadisciplininį požiūrį ir papildytosios realybės (AR) įrankius, besimokantieji atras, kaip biologinės sistemos gali padėti kurti novatorišką pastatų ir miestų dizainą, reaguojantį į klimatą, funkciją ir gerovę.
Susijusi tema	Biologija, fizika, aplinkos mokslai, dailė / dizainas, geografija, matematika
Raktiniai žodžiai	Biomimetika, gamtos įkvėpta architektūra, tvarūs miestai, biodizainas, miesto ekologija, žaliosios inovacijos, papildytoji realybė, interaktyvus mokymasis
Pagrindiniai įgūdžiai, gebėjimai, žinios, kurias galima įgyti	Suprasti, kaip biologiniai principai gali būti taikomi architektūriniais ir urbanistiniams iššūkiams spręsti Nurodykite biologiškai įkvėptų pastatų pavyzdžius ir juos įkvėpusius natūralius organizmus Sužinokite, kaip projektuoti klimatui jautrias struktūras, naudojant gamtą kaip modelį Ugdyti kūrybiškumą ir problemų sprendimo įgūdžius taikant papildytosios realybės (AR) pagrindu veikiančias projektavimo veiklas Išnagrinėkite regeneracinės ir tvarios miesto aplinkos koncepciją
Naudoti ištekliai ir didaktiniai įrankiai	Moksliniai straipsniai, knygos, mokslinės duomenų bazės, internetinių seminarų rezultatai, internetiniai ištekliai, papildytosios realybės įrankiai (pvz., „JigSpace“, „Assemblr EDU“, „Merge Cube“, „CoSpaces Edu“).





Vertinimo kriterijai ir vertinimas	Remiantis kurso metu įgytomis žiniomis, gebėjimais ir įgūdžiais, įskaitant papildytosios realybės (AR) pagrindu atliekamus vertinimus, tokius kaip simuliacijos, prototipų kūrimas ir grįžtamasis ryšys.
------------------------------------	--

Įvadas

Miestai tapo pagrindine žmonių gyvenimo ir vystymosi dalimi, nes pasaulis urbanizuoja. Spartėjant pasaulio gyventojų skaičiaus augimui, miestų teritorijos sugeria didžiąją dalį šio padidėjimo. Remiantis JT Buveinių ataskaita (Judith Oginga, 2022 m.), apskaičiuota, kad iki 2050 m. beveik 70 % pasaulio gyventojų gyvens miestuose. Ši sparti miestų plėtra daro didžiulį spaudimą gamtinėms sistemoms, nes miestai labai priklauso nuo išorinių išteklių, kad galėtų išlaikyti savo veiklą ir gyventojus.

Istoriškai daugelis miesto aplinkų buvo projektuojamos neatsižvelgiant į jas supančias ekosistemas. Kaip pažymėjo Othmani ir kt. (2022), daugelis užstatytų aplinkų vystėsi tarsi atskirai nuo gamtos, todėl atsirado struktūros ir sistemos, kurios dažnai sutrikdo ekologinę pusiausvyrą. Dėl šio atotrūkio susidarė trapios miesto sistemos, kurios nėra pasirengusios reaguoti į klimato kaitą, biologinės įvairovės nykimą ir išteklių išekvojimą. Siekiant sukurti atsparesnius miestus, būsima plėtra turi atitikti ekologinius principus, remti žmonių gerovę, regeneracinį išteklių naudojimą ir integraciją į gamtinę aplinką.

Reaguodami į urbanizacijos sukeltą aplinkos blogėjimą, miestai visame pasaulyje pradeda įgyvendinti sprendimus, kuriais siekiama geresnės visuomenės ir gamtos pusiausvyros. Vienas iš naujų požiūrių yra gamtos pagrindais pagrįstų sprendimų (GPS) naudojimas. Pasaulio bankas pirmą kartą šią koncepciją pristatė 2008 m., o Europos Komisija ją oficialiai apibrėžė 2015 m. (Sowińska-Świerkosz ir García, 2022). Europos Komisija GPS apibūdina kaip veiksmus, įkvėptus gamtos, ja paremtus arba tiesiogiai ja paremtus. Panašiai Tarptautinė gamtos apsaugos sąjunga (IUCN) gamtos pagrindais pagrįstus sprendimus apibrėžia kaip „veiksmus, skirtus apsaugoti, tvariai valdyti ir atkurti natūralias arba pakeistas ekosistemas“ (Matthews ir kt., 2022).

Naujausi tyrimai pabrėžia, kad gamtos išteklių naudojimas miestuose yra platesnis nei vien ekologinis atkūrimas. Nors šios strategijos yra gyvybiškai svarbios biologinės įvairovės gerinimui, jos taip pat teikia platesnės naudos socialiniu ir ekonominiu lygmenimis. Pavyzdžiui, žaliosios infrastruktūros, tokios kaip miesto miškai, pelkės ar žalieji stogai, integravimas gali pagerinti visuomenės sveikatą, padidinti atsparumą klimato kaitai, kurti darbo vietas vietoje ir prisidėti prie socialinės sanglaudos. Todėl gamtos pagrįsti sprendimai vis labiau pripažįstami kaip esminės priemonės kuriant tvarią, įtraukią ir atsparią miesto aplinką.





Sparčiai urbanizuojantis, vykstant aplinkos blogėjimui ir didėjant klimato kaitos poveikiui, mūsų miestų projektavimo permąstymas tapo pasauline būtinybe. Įprasti miestų plėtros metodai remiasi išteklius naudojančiomis technologijomis, kurios prisideda prie taršos, energijos švaistymo ir ekosistemų sutrikdymo. Perspektyvi alternatyva, vis labiau populiarėjanti architektūroje ir miestų planavime, yra bioįkvėpimo, dar vadinamo biomimetika, koncepcija. Šis požiūris apima gamtoje randamų strategijų, skirtų žmogaus sukeltų projektavimo iššūkių sprendimui, tyrimą ir mėgdžiojimą. Per 3,8 milijardo evoliucijos metų gamta sukūrė labai efektyvias ir atsparias sistemas, kurios palaiko gyvybę neeikvodamos išteklių. Kaip garsiai pasakė Benyus (1997): „Gyvenimas sukuria palankias sąlygas gyvybei“ – tai filosofija, esanti biomimetinio mąstymo pagrindas.

Įspūdingas biologinės įkvėpimo praktikos pavyzdys yra „Eastgate“ centras Hararėje, Zimbabvėje. Šis architekto Micko Pearce'o suprojektuotas pastatas tiesiogiai paremtas termity piliakalnių struktūra, kurie gali palaikyti vidinės temperatūros stabilumą pasyvių vėdinimo mechanizmų pagalba. Kaip aprašė Kennedy ir kt. (2015), „Eastgate“ centras naudoja šį modelį, kad sumažintų energijos suvartojimą iki 90 %, palyginti su tradiciniais pastatais su mechaninėmis klimato kontrolės sistemomis. Šis atvejis iliustruoja, kaip biologinių principų supratimas gali lemti transformacinius energijos vartojimo efektyvumo ir tvarumo patobulinimus.

Kitas plačiai tyrinėtas atvejis yra susijęs su lotoso lapu, kurio mikroskopinė paviršiaus struktūra priverčia vandenį lašėti ir riedėti, valydamas lapą. Tai įkvėpė savaime išsivalančių medžiagų, dabar naudojamų architektūroje, kūrimą, mažinant vandens sunaudojimą ir priežiūros išlaidas (Vincent ir kt., 2006). Panašiai kaktuso odelės šilumą atspindinčios ir vandenį kaupiančios savybės turėjo įtakos pastatų projektavimui sausringuose regionuose, kuriems reikalingi novatoriški šilumos ir vandens valdymo sprendimai.

Be atskirų pastato elementų, biomimetika taip pat suteikia sisteminio lygio įžvalgų. Medžių šakų modeliai ir šaknų tinklai buvo pritaikyti miesto transporto ir vandens sistemų išdėstymui optimizuoti, modeliuojant efektyvius paskirstymo tinklus ir mažinant energijos nuostolius mieste (Vincent ir kt., 2006). Šie pavyzdžiai rodo, kaip bioįkvėpimas yra kūrybinis, mokslinis ir strateginis procesas, pagrįstas stebėjimu, analize ir sisteminiu mąstymu.

Kad šios koncepcijos būtų prieinamos ir įtraukiančios vidurinių mokyklų mokinius (14–18 metų), šiame mokymo vienetu kaip pagrindinė priemonė naudojama papildytoji realybė (AR). AR leidžia besimokantiems tyrinėti gamtines sistemas 3D formatu, sąveikauti su paslėptomis biologinėmis struktūromis ir tiesiogiai jas palyginti su žmonių sukurtais projektais. Ši įtraukianti patirtis skatina konceptualų mokymąsi ir kūrybinį tyrinėjimą, sudarydama tiltą tarp biologijos mokslo, aplinkosauginio švietimo ir skaitmeninių technologijų. Projektuodami savo gamtos įkvėptus pastatus AR formatu, mokiniai gali eksperimentuoti su idėjomis be materialinių apribojimų, skatindami tvarumo suvokimą ir novatorišką mąstymą.

Galiausiai, šio modulio tikslas – įkvėpti kitą architektų, inžinierių ir aplinkosaugos specialistų kartą, parodant jiems, kad kai kuriuos novatoriškiausius miesto projektavimo sprendimus jau





išrado gamta. Praktinės sąveikos ir mokslinės refleksijos dėka studentai matys pastatytą aplinką ne kaip atskirą nuo gamtos pasaulio, o kaip kažką, iš ko galima mokytis ir su ja egzistuoti.

Gamta kaip modelis statomos aplinkos dizaine

Gamta jau seniai įkvėpia architektūrą, darydama įtaką įvairiems dizaino judėjimams per visą istoriją. Nuo Gaudí biomorfinių formų iki Santiago Calatrava šiuolaikinių darbų struktūrinės elegancijos – abu jie daugiausia semiasi įkvėpimo iš gamtos pasaulio raštų ir geometrijų. Nors ankstesnė gamtos įkvėpta architektūra dažnai orientavosi į estetiką, dabar auga tendencija link tarpdisciplininio dizaino, kuris siekia daugiau nei vizualinio įkvėpimo. Šis besiformuojantis požiūris apima biologines strategijas, kurios padeda sumažinti gamtos išteklių vartojimą ir anglies dioksido išmetimą, derindamos architektūrą su perėjimu iš industrinės į ekologinę erą (Dixit ir Stefańska, 2023).

Gamtos gebėjimas prisitaikyti prie kintančių aplinkos sąlygų yra gerai dokumentuotas įvairiose mokslo disciplinose (Jamei ir Vrcelj, 2021). Kaip pažymėjo Wu ir kt. (2020), pagrindinis biologiškai įkvėpto dizaino tikslas yra atkurti aplinkos funkcijas ir kraštovaizdžio modelius, transformuojant pastatytą aplinką į efektyvesnę, mažai anglies dioksido į aplinką išskiriančią ir atsparesnę sistemą. Kinija yra puikus pavyzdys, kur per pastaruosius 50 metų įgyvendinant tvarius ekologinius principus, atsirado miestų, skirtų natūralioms ekosistemoms atkurti. Šie „ekomiestai“ pabrėžia integruotus sprendimus penkiose pagrindinėse sistemose: energijos, maisto, transporto, atliekų ir vandens.

Statybinėje aplinkoje biomimetikos įkvėptas dizainas pasireiškė įvairiais būdais, ypač per didėjančią biomimetikos taikymą. Per pastarąjį dešimtmetį biomimetika tapo daugelio šiuolaikinių architektūros projektų apibrėžiančiu aspektu. Pasak Ferwati ir kt. (2019), biomimetinio projektavimo praktikoje išryškėjo devynios pagrindinės savybės: forma ir funkcija, geometrija, metafora, medžiaga, judėjimas, raštas, proporcijos, tvarumas ir technologijos. Šios savybės atspindi įvairius būdus, kuriais gamtos principai verčiami į architektūros kalbą.

Naujausi tyrimai taip pat pabrėžia gamtos, kaip vadovo, konceptualų įrėminimą projektavimo procese. Oguntona ir Aigbavboa (2023b) teigia, kad gamtos, kaip mentoriaus, vertinimas paverčia natūralią ekosistemą vertingu nuolatinio mokymosi ir kūrybinių inovacijų atskaitos tašku. Jie išskiria tris pagrindinius biologiškai įkvėpto dizaino aspektus: imitaciją, emuliaciją ir įkvėpimą. Šie aspektai leidžia dizaineriams tyrinėti gamtą kuriant struktūrinius modelius ir procesais bei sistemomis pagrįstas strategijas. Kaip toliau pažymi Oguntona ir Aigbavboa (2023a), šių metodų integravimas į statomos aplinkos projektavimą turi didelį potencialą sumažinti aplinkos blogėjimą ir išteklių naudojimą.

Gamtos sprendimai žmonių iššūkiams

Susidūrus su didėjančiais aplinkosaugos ir socialiniais iššūkiais, miestai visame pasaulyje patiria vis didesnę spaudimą tapti tvaresniais, atsparesniais ir prisitaikančiais. Tradiciniai miestų





planavimo metodai dažnai neatsako į šiuos sudėtingus reikalavimus, todėl daugelis architektų, inžinierių ir dizainerių kreipiasi patarimų į gamtos pasaulį. Šis požiūris, žinomas kaip bioįkvėpimas arba biomimetika, apima per milijardus metų gamtos sukurtų formų, procesų ir sistemų tyrimą ir jų pagrindinių principų pavertimą į žmogų orientuotus projektavimo sprendimus. Skirtingai nuo paprasto imitavimo, biomimetika, kaip apibrėžė Vincent ir kt. (2006), orientuota į funkcinių strategijų išgavimą iš biologinių sistemų, siekiant išspręsti žmonių problemas novatoriškais ir tvariais būdais. Gamta siūlo didžiulę patikrintų sprendimų saugyklą, kurių kiekvienas patobulintas evoliuciniais bandymais ir klaidomis, siekiant maksimalaus efektyvumo su minimaliomis atliekomis. Šiame skyriuje nagrinėjame, kaip bioįkvėptas mąstymas gali būti pritaikytas penkiems svarbiausiems miestų iššūkiams, atskleidžiant, kaip organizmai ir ekosistemos gali padėti mums iš naujo įsivaizduoti mūsų miestų ateitį.

- Pasyvus temperatūros reguliavimas

Patalpų temperatūros valdymas nenaudojant daug energijos naudojančių sistemų yra vienas iš didžiausių iššūkių miesto architektūroje. Pavyzdžiui, termitų piliakalniai Užsachario Afrikoje palaiko stabilią vidaus temperatūrą nepaisant išorinių svyravimų, naudodami sudėtingas tunelių sistemas, kurios palengvina pasyvų oro srautą. Šis natūralus mechanizmas įkvėpė „Eastgate“ centro Hararėje, Zimbabvėje, projektą – tai komercinis pastatas, kuriame naudojami panašūs pasyvaus vėdinimo metodai, siekiant sumažinti energijos suvartojimą iki 90 %, palyginti su tradiciniais pastatais (Turner ir Soar, 2008).

- Vandens surinkimas ir išsaugojimas

Augalai ir gyvūnai išvystė labai specializuotus vandens rinkimo ir taupymo metodus sausringoje aplinkoje. Kaktusas naudoja briaunuotą paviršių, kad rasa būtų efektyviai nukreipta link šaknų. Tuo tarpu Namibo dykumos vabalas savo kiaute naudoja pakaitomis besikeičiančius hidrofobinius ir hidrofilinius raštus, kad kondensuotų ir rinktų vandenį iš oro. Įkvėpti šių organizmų, inžinieriai sukūrė rūką kaupiančius pastatus ir stogų dengimo sistemas, galinčias išgauti vandenį iš atmosferos nenaudojant siurblių ar cheminių medžiagų (Nørgaard ir kt., 2012).

- Savaime išsivalantys ir mažai priežiūros reikalaujantys paviršiai

Pastatų priežiūrai dažnai reikia sunaudoti daug vandens ir cheminių medžiagų. Tačiau gamtoje lotoso lapas išvystė nanostruktūrinį paviršių, kuris džiūdamas atstumia vandenį ir pašalina nešvarumų daleles. Šis reiškinys, žinomas kaip lotoso efektas, paskatino sukurti savaime išsivalantį stiklą, saulės baterijas ir fasadų dangas, kurios sumažina priežiūros poreikį, kartu padidindamos patvarumą ir švarą (Barthlott ir Neinhuis, 1997; Koch ir kt., 2009).

- Lengvos, bet atsparios konstrukcijos

Gamtoje dažnai pasiekiamas nepaprastas tvirtumas naudojant minimaliai medžiagų. Voro šilkas yra išskirtinis pavyzdys, kurio tempiamasis stipris yra didesnis nei plieno, palyginti su jo svoriu. Bičių avilių ir kitų organizmų korio struktūros efektyviai paskirsto įtempį ir kartu taupo medžiagas. Šie modeliai plačiai naudojami modulinėse konstrukcijose, aviacijos ir kosmoso pramonėje bei architektūrinių plokščių projektavime, siekiant sumažinti apkrovą ir išteklių naudojimą, kartu išlaikant konstrukcijos vientisumą (Fratzl ir Barth, 2009; Vincent ir kt., 2006).





Efektyvus miestų planavimas ir srautai

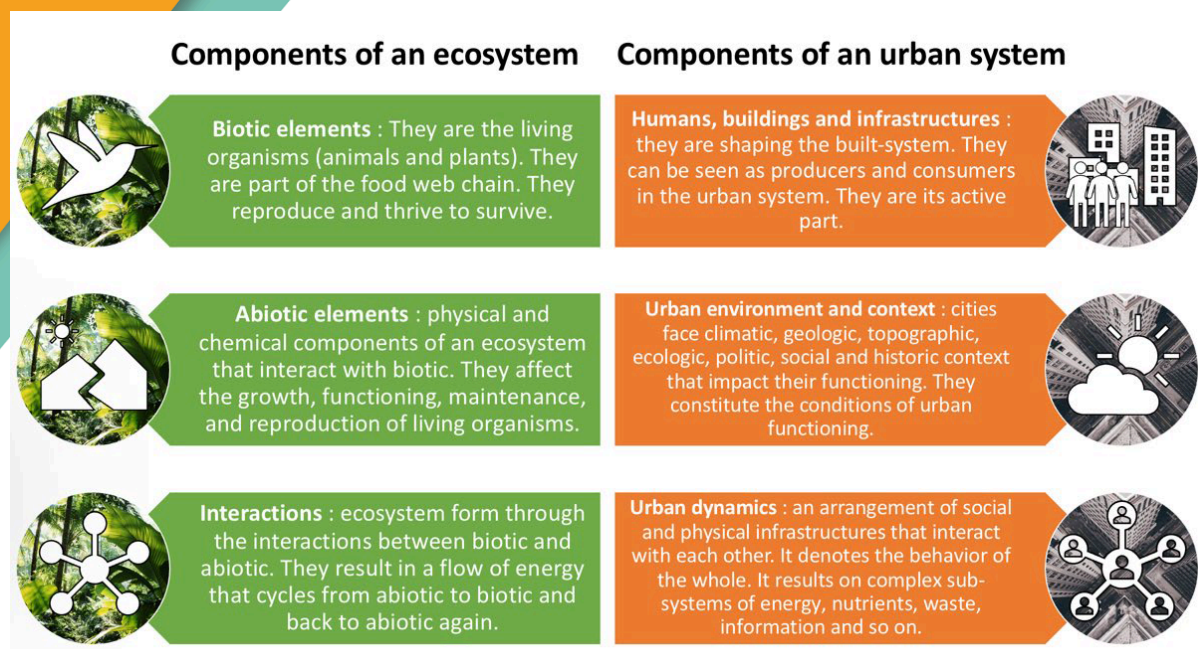
Natūraliose sistemose medžių šakotosios struktūros, šaknų tinklai ir kraujagyslių sistema yra optimizuotos taip, kad paskirstytų tokius išteklius kaip vanduo, maistinės medžiagos ir energija su minimaliu pasipriešinimu. Miesto planuotojai ir infrastruktūros projektuotojai vis dažniau remiasi šiais natūraliais modeliais, kad informuotų apie transporto tinklą, pėsčiųjų takų ir komunalinių sistemų projektavimą. Šie biomimetiniai projektai pagerina susisiekimą, mažina spūstis ir leidžia decentralizuotai paskirstyti energiją ir vandenį, didindami atsparumą ir efektyvumą. Kaip pabrėžia Badarnah (2017), iš ekologinių šakotųjų sistemų kilę biomimetiniai principai siūlo praktines strategijas, kaip pritaikyti miestus prie sudėtingų aplinkos ir socialinių poreikių, išlaikant harmoniją su natūraliu kraštovaizdžiu.

Biomimetika gali būti taikoma trimis lygmenimis: formos, proceso ir sistemos lygmenimis. Formos lygmuo apima funkcijos, gautos iš specifinės organizmo formos, jo dalies ar jo produkcijos, imitavimą. Šis lygmuo orientuotas į gamtoje randamą morfologiją. Biomimetikos proceso lygmuo imituoja organizmų ar organizmų grupių elgesį ar produkcijos procesus. Galiausiai, sistemos lygmens biomimetika imituoja ekosistemų veikimą, principus ir strategijas (Jain ir kt., 2023). Miestų kontekste sudėtingos sistemos, apimančios žmones, infrastruktūrą, aplinkos kontekstą ir...

Kalbant apie santykius, ekosistemos yra svarbiausias ir tinkamiausias įkvėpimo lygmuo. Ekosistemas sudaro biotiniai elementai, analogiški žmonių sukurtų miestų statiniams, ir abiotiniai elementai, kuriuos galima palyginti su miesto aplinka ir kontekstu. Be to, ekosistemos apima šių elementų sąveiką.

Madmar ir kt. (2023) 1 paveiksle pasiūlė paralelę tarp ekosistemos sudėties ir miesto sistemos sudėties bei funkcionavimo. Nors ekosistemos lygmens biomimetika gali apimti formos ir proceso lygmens biomimetiką, ji sistemingai atsižvelgia į platesnio masto naudą. Šis požiūris suteikia išsamesnius ir labiau suderintus sprendimus sisteminiams miestų iššūkiams. Ankstesnės analogijos tarp žmogaus organizmo ir dabartinių darbų apie miesto metabolizmą yra ribotos ir daugiausia sprendžia miesto srauto problemą (Dicks ir kt., 2021).





1 pav. Ekosistemos ir miesto sistemos sudėties bei funkcionavimo paralelė. Šaltinis: Dicks ir kt., 2021 m.

Biologiškai įkvėpti metodai

Gamtos įkvėpti metodai buvo taikomi daugelyje sričių, įskaitant architektūrą ir miestų planavimą, o bionika, biomimetika ir biomimikrija yra trys dažniausiai minimi biologijos įkvėpti projektavimo metodai. Bendrąją prasmę bioniką 1958 m. pradėjo taikyti Jackas Steelis kaip biologijos ir technikos derinį; ji orientuota į mechaninius gamtos gebėjimus, išgaunant jos fizinius principus kaip įkvėpimo šaltinį techniniam projektui kurti. Tačiau jos praktika gali lemti netvarius sprendimus, nes neatsižvelgiama į šių sprendimų sąveiką su tvarumu (Landrum ir Mead, 2022). Tuo tarpu, per supratimą ir analizę, biomimetika perkelia charakteristikas, savybes ir sistemas iš gamtos į dirbtinę aplinką (Urdinola-Serna ir dizainas, 2018 m.). Terminas „biomimetika“, kilęs iš žodžių „bios“ (gyvybė) ir „mimesis“ (mėgdžioti), atsirado 1969 m. biofiziko ir inžinieriaus Otto Schmitto dėka ir daugiausia dėmesio skiria gamtos mėgdžiojimui tiek pritaikymo, tiek formos prasme. Galiausiai, 1997 m. Benyusas apibrėžė biomimikrą kaip mokslą, kuris mėgdžioja gamtos modelius. Šis mokslas savo ruožtu naudoja ekologinį standartą, kuris matuoja jo sąveiką su aplinka, o tai žengia žingsniu toliau nei bioninė ir biomimetinė sąvokos, rūpinantis tvarumu jo taikyme (Landrum ir Mead, 2022).

Biomimikrijos projektavimo procesas paprastai vyksta pagal dvikryptę metodologiją, apimančią du vienas kitą papildančius metodus, kaip aprašyta Bader ir kt. (2021), Chayaamor-Heil (2023) ir Urdinola-Serna bei Diseño (2018). Pirmasis yra į problemą orientuotas požiūris, kai dizaineriai pradeda nuo konkretaus projektavimo iššūkio ar tikslo nustatymo. Kai problemos parametrai yra aiškiai apibrėžti, jie žvelgia į gamtą, ieškodami augalų, gyvūnų ar ekosistemų naudojamų strategijų, kurios galėtų pasiūlyti perspektyvius sprendimus.





Antrasis yra į sprendimus orientuotas požiūris, dažnai kylantis iš biologijos mokslų. Taikant šį metodą, tyrėjai arba moksliai informuoti projektuotojai pradeda nuo biologinių sistemų ar elgesio, kuris pasižymi įdomiomis ar veiksmingomis funkcijomis, tyrimo. Šios natūralios strategijos vėliau analizuojamos siekiant nustatyti jų galimą aktualumą žmonių projektavimo problemoms, leidžiant biologinėms įžvalgoms padėti kurti novatoriškus architektūrinius ar inžinerinius sprendimus.

Šie du metodai kartu atspindi biomimikrijos tarpdisciplininį pobūdį, leisdami dizaino problemoms ir biologinėms žinioms informuoti viena kitą nuolatiname, iteraciniame procese.

Kaip biologinės sistemos įkvepia tvarų dizainą

Biologiškai įkvėptas dizainas, arba biomimetika, vis labiau pripažįstamas kaip kūrybiškas požiūris ir griežta mokslinė metodologija, skirta spręsti tvarumo iššūkius statytoje aplinkoje. Pasak Aamer ir kt. (2020), biomimetika leidžia projektuotojams peržengti paviršutiniško gamtos imitavimo ribas ir siekti gilesnės biologinių principų integracijos į pastatų eksploatacines savybes. Tai apima analizę, kaip organizmai prisitaiko prie savo aplinkos, valdo energijos, vandens ir medžiagų srautus ir kaip jų vidinis elgesys gali įkvėpti sisteminius architektūrinius sprendimus.

Pagrindinė koncepcija yra uždaros grandinės medžiagų ir energijos srautas, stebimas ekosistemose. Miške vieno organizmo atliekos tampa maistu kitam; niekas neišmesta. Miesto projektuotojai pradeda taikyti šį modelį kurdami žiedines miesto sistemas, kuriose atliekos, vanduo ir energija yra perdirbamos. Toks sisteminis mąstymas atspindi ekosistemų logiką ir palaiko atsparesnę miesto infrastruktūrą (Kennedy ir kt., 2015). Net organizmų struktūra daro įtaką dizainui. Pavyzdžiui, dėžžuvės forma įkvėpė aerodinaminius automobilius ir pastatų fasadus dėl optimizuotos struktūros, skirtos sumažinti pasipriešinimą (Bar-Cohen, 2012). Šie pavyzdžiai iliustruoja, kad gamta suteikia ir funkcinių modelių, ir projektavimo principų, kurie gali tiesiogiai paveikti, kaip mes formuojame būsimus miestus.

Vienas iš svarbiausių pastaruoju metu atliekamuose tyrimuose propaguojamų pokyčių yra nuo gamtos formų mėgdžiojimo prie jos funkcijų ir elgsenos supratimo ir atkartojimo. Aamer ir kt. (2020) pabrėžia šio perėjimo svarbą, atkreipdami dėmesį į spragą ankstesnėje architektūros praktikoje, kurioje dažnai buvo naudojama natūrali estetika, nepasiekiant funkcinio tvarumo. Taikydami problema pagrįstą biomimetinį požiūrį, jie siūlo metodiką, kuri orientuota į pastatų elgseną, įskaitant energetinį efektyvumą, šiluminį komfortą, medžiagų savybes ir aplinkosauginį jautrumą. Šis procesas prasideda nuo architektūrinių iššūkių nustatymo ir sprendimų paieškos, remiantis biologiniais pavyzdžiais, kurie išsivystė siekiant įveikti panašias sąlygas.

Jų tyrime aprašyta metodologija apima biologinių sistemų modeliavimą taikant eksperimentinę abstrakciją ir jų pavertimą architektūriniais prototipais. Ji apima tris biomimikrijos lygmenis: organizmo lygmenį (specifinė forma ar funkcija), elgsenos lygmenį (sąveika su aplinka) ir ekosistemos lygmenį (sisteminiai srautai ir ryšiai). Elgsenos lygmuo yra ypač pabrėžiamas, nes





jis leidžia pastatams prisitaikyti, panašiai kaip gyvi organizmai reguliuoja šilumą, drėgmę ar šviesą.

Biomimikrijos dizaino lygiai

Biomimetinis dizainas gali būti taikomas skirtingais lygmenimis, priklausomai nuo to, kaip dizaineriai interpretuoja ir išgauna natūralias idėjas. Pasak Bader ir kt. (2021) ir Chayaamor-Heil (2023), biomimetika veikia trimis pagrindiniais lygmenimis: organizmo, elgesio ir ekosistemos.

Organizmo lygmuo apima tiesioginį įkvėpimą iš konkretaus augalo ar gyvūno. Tai gali apimti viso organizmo replikaciją arba sutelkimą į konkrečią struktūrinę ar funkcinę savybę, kurią galima pritaikyti projektavimo iššūkiui. Elgesio lygmuo orientuotas į tai, kaip gyvas organizmas sąveikauja su savo aplinka. Tai apima adaptacinių veiksmų, pavyzdžiui, kaip konkrečios rūšys valdo temperatūrą, drėgmę ar judėjimą į aplinką, tyrimą. Ekosistemos lygmuo taiko platesnį požiūrį, remdamasis principais, leidžiančiais ekosistemoms funkcionuoti efektyviai ir tvariai. Tai apima energijos ciklą, biologinę įvairovę, simbiotinius ryšius ir atsparumą.

Tolesnis biomimetinės interpretacijos patobulinimas randamas Mirniazmandano ir Rahimianzarifo (2017) darbuose, kuriuose siūlomi penki imitacijos polygmeniai: forma, medžiaga, konstrukcija, procesas ir funkcija. Tai leidžia projektuotojams išskirti konkrečius biologinių sistemų aspektus, kurie gali būti svarbūs sukurtai aplinkai. Be to, Oguntona ir Aigbavboa (2023a) aprašo tris conceptualius požiūrius į darbą su bioįkvėpimu: imitacija, emuliacija ir įkvėpimas. Šie matmenys apima nuo tiesioginio gamtos formų kopijavimo iki abstrakčių idėjų piešimo ir kūrybiško jų taikymo projektavimo problemoms spręsti.

Susijusi koncepcija, palaikanti poslinkį link į gamtą integruoto dizaino, yra biofilija. Nors techniškai biofilija nėra klasifikuojama kaip biologiškai įkvėptas dizainas, ji skatina ryšį tarp žmonių ir gamtos pasaulio. Edwardo O. Wilsono ir Stepheno Kellerto apibrėžta biofilija reiškia įgimtą žmogaus polinkį ieškoti ryšio su gamta. Ši koncepcija yra įsišaknijusi mūsų evoliucijos istorijoje ir biologiniame vystymesi. Pasak Calabrese (2015), biofilija siekia atkurti šį prarastą ryšį šiuolaikinėje aplinkoje, įtraukiant aplinkos ypatybes, natūralias formas, dienos šviesą, erdvinę įvairovę ir vietos tapatybę. Šios strategijos prisideda prie erdvių, kurios palaiko žmonių gerovę kognityviniu, emociniu ir fiziniu aspektais, kūrimo.

Be biomimikrijos ir biofilijos, vis labiau domimasi skirtumu tarp gamtos pagrindu sukurtų sprendimų (GSP) ir gamtos įkvėptų sprendimų (GJS). Gamtos pagrindu sukurti sprendimai paprastai yra susiję su gyvosiomis ekosistemomis ir priklauso nuo jų nuolatinių ekologinių funkcijų, kad būtų užtikrinta vandens valymo, anglies dioksido saugojimo ar klimato reguliavimo nauda. Priešingai, gamtos įkvėpti sprendimai, įskaitant biomimikrą, yra kilę iš gamtoje stebimų principų ir strategijų, tačiau jiems veikti nereikia veikiančių ekosistemų. Kaip nurodė IUCN (2020b), GJS reiškia novatoriškas sistemas, medžiagas ar procesus, sukurtus remiantis biologijos įžvalgomis, leidžiančias pritaikyti jas architektūroje ir inžinerijoje.





Biomimetinio dizaino taikymas leidžia mums gamtą vertinti ne tik kaip grožio ar įkvėpimo šaltinį, bet ir kaip žinių bei inovacijų šaltinį. Perkeldami gamtos strategijas į architektūrines sistemas, dizaineriai gali kurti regeneracinius, prisitaikančius ir atsparius pastatus bei infrastruktūrą. Šioje lentelėje pateikiami atrinkti biologinių sistemų ir jų atitinkamo architektūrinio pritaikymo pavyzdžiai, parodantys, kaip biomimetika ir toliau formuoja tvaraus dizaino ateitį.

1 lentelė. Biologinės sistemos ir jų architektūrinis pritaikymas

Biologinis modelis	Natūrali strategija	Architektūrinis / urbanistinis pritaikymas	Išspręstas iššūkis	Šaltinis
Termitų piliakalnis	Pasyvus oro srautas reguliuoja vidinę temperatūrą	Eastgate centras (Zimbabvė)	Energiją taupanti klimato kontrolė	Turner & Soar, 2008
Lotoso lapas	Mikro/nano tekstūra nuvalo vandenį ir nešvarumus	Savaime išsivalantys langai, fasadai ir saulės baterijos	Priežiūros mažinimas, vandens taupymas	Barthlott & Neinhuis, 1997; Kochas ir kt., 2009 m
Kaktuso oda	Briaunotas ir vaškuotas paviršius nukreipia rasą ir riboja garavimą	Vandens surinkimo sienos ir dykumos architektūra	Vandens surinkimas ir išsaugojimas	You ir kt., 2012
Namibo dykumos vabalas	Hidrofiliniai ir hidrofobiniai raštai sulaiko drėgmę	Rūko surinkimo paviršiai ir stogai	Prieiga prie atmosferos vandens	Norgaard ir kt., 2012
Voro šilkas	Didelis tempiamasis stipris ir lankstumas	Lengvos įtempimo konstrukcijos, kompozitai	Medžiagų efektyvumas ir atsparumas	Fratzl ir Barth, 2009
Korio struktūra	Geometrinis efektyvumas su minimaliomis medžiagomis	Lengvos plokštės, modulinė konstrukcija	Tvirtumas su mažiau medžiagų	Vincent ir kt., 2006

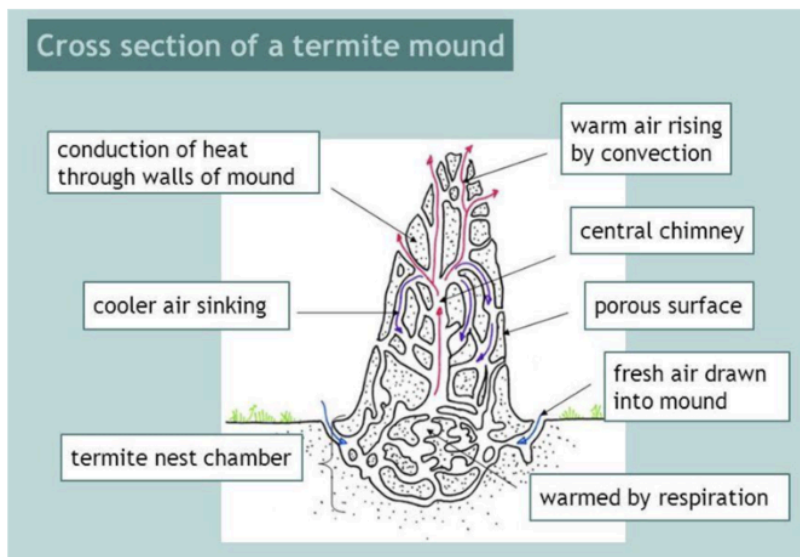
Norint visapusiškai suprasti bioįkvėpimo potencialą tvarioje architektūroje, būtina pereiti nuo teorinių principų prie realaus pasaulio pritaikymo. Biologiniai organizmai siūlo įvairias strategijas, sukurtas per milijonus adaptacijos metų, metodus, kurie gali tiesiogiai paveikti, kaip mes projektuojame, kuriame ir eksploatuojame miesto aplinką. Biomimikrijos kontekste sėkmė slypi ne gamtos išvaizdos kopijavime, o jos funkcijų, elgesio ir sistemų perkėlime į žmogaus dizainą prasmingais ir išmatuojamais būdais.



Tolesniuose skyriuose aprašomi trys gerai ištirti biologiniai modeliai – termitų piliakalniai, lotoso lapai ir medžių/šaknų šakojimosi sistemos, įkvėpusios novatoriškus architektūrinius ir urbanistinius sprendimus. Šie pavyzdžiai iliustruoja, kaip biologinės strategijos buvo pritaikytos pastatų sistemose, siekiant išspręsti tokius iššūkius kaip klimato kontrolė, vandens taupymas, savireguliacija ir išteklių paskirstymas. Kiekvienas atvejis yra tiesiogiai susijęs su praktiniu pritaikymu ir yra pagrįstas moksliniais tyrimais.

Kartu su toliau pateikta lentele šie atvejų tyrimai suteikia pagrindą suprasti biologiškai įkvėpto dizaino gylį ir universalumą. Jie parodo, kaip mokymasis iš gamtos „dizaino vadovėlio“ gali sukurti novatoriškesnę, atsparesnę ir tvaresnę žmonių aplinką.

Termitų piliakalniai: pasyvus šilumos reguliavimas ir vėdinimas



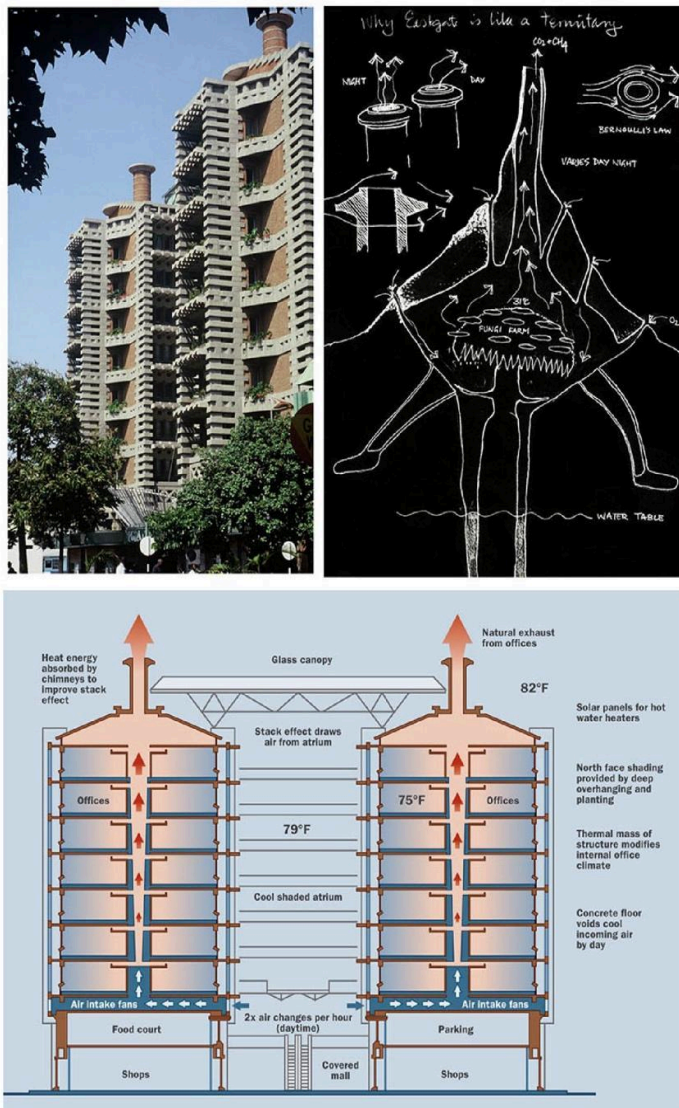
2 pav. Termitų piliakalniai ir jų gebėjimas, šaltinis:

<https://www.mickpearce.com/assets/images/biomimicry-architecture-09-1400x2133-77.jpg>

Termitų piliakalniai, ypač tie, kuriuos surengė *Makrotermairūšys*, gyvenančios Užsachario Afrikoje, yra sudėtingos natūralios struktūros, kurios, nepaisant ekstremalių išorinių klimato sąlygų, palaiko nepaprastai stabilią vidinę temperatūrą ir drėgmę. Tai pasiekama dėl sudėtingo oro šachtų ir tunelių tinklo, kuris skatina pasyvią vėdinimą. Termitai naudoja kontroliuojamą angų ir kamerų sistemą konvekciniam oro srautui valdyti, reguliuodami piliakalnio vidinį mikroklimatą ir palaikydami jų simbiotinį grybų dauginimąsi.



Šis gamtos modelis įkvėpė architektus ir inžinierius kurti energiją taupančius pastatus, kurie reguliuoja patalpų temperatūrą, per daug nepasikliaudami mechaninėmis sistemomis. Garsiausias tokio pritaikymo pavyzdys yra „Eastgate“ centras Hararėje, Zimbabvėje, kurį suprojektavo architektas Mickas Pearce'as bendradarbiaudamas su inžinieriumi „Arup Associates“. Pastatas imituoja termitų piliakalnio principus, pasyviai reguliuodamas oro srautą ir temperatūrą, taip sumažindamas energijos suvartojimą vėdinimui ir vėsinimui daugiau nei 90 %, palyginti su panašaus dydžio įprastais pastatais (Turner ir Soar, 2008).



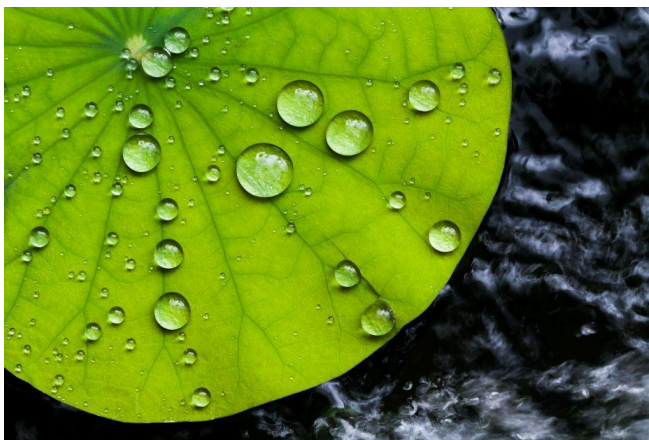
3 pav. „Eastgate“ centras Hararėje, Zimbabvėje, šaltinis:

<https://www.mickpearce.com/assets/images/biomimicry-architecture-09-1400x2133-77.jpg>



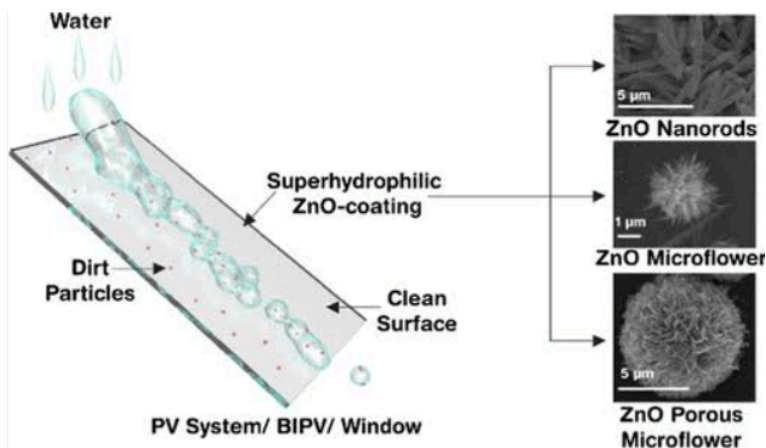
Lotoso lapas: savaime išsivalantys paviršiai

Lotoso augalas (*Nelumbo nucifera*) klesti drumstoje vandens aplinkoje, tačiau jos lapai išlieka nepriekaištingai švarūs. Taip yra dėl lapų paviršiaus mikro- ir nanostruktūrų, kurios sukuria superhidrofobinį efektą – vandens lašeliai rutuliojasi ir rieda nuo paviršiaus, surenka ir nuneša nešvarumų daleles. Šis reiškinys paprastai vadinamas „lotoso efektu“.



4 pav. Lotoso lapo efektas, šaltinis: <https://www.properla.co.uk/lotus-effect/>

Iškvėpti šio savaiminio išsivalymo mechanizmo, medžiagų mokslininkai ir architektai sukūrė hidrofobines dangas langams, saulės baterijoms, pastatų fasadams ir plytelėms, kurios atstumia vandenį, taip sumažindamos priežiūros išlaidas. Šios medžiagos sumažina vandens suvartojimą valymui ir pailgina elementų veikiamų paviršių tarnavimo laiką. Ši inovacija palaiko tvarią architektūrą, sumažindama išteklių naudojimą ir darbo sąnaudas, išlaikant vizualinį ir funkcinį vientisumą.



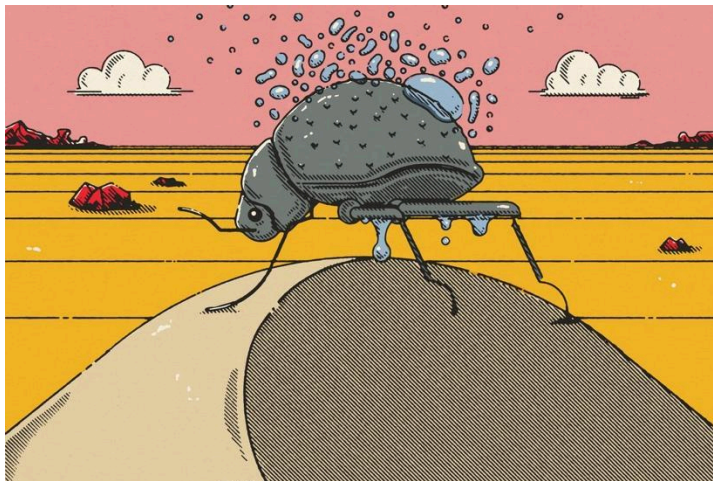
5 pav. Hidrofilinės ir superhidrofilinės savaime išsivalančios dangos, pagamintos morfologiškai kintant ZnO mikrostruktūroms.

Šaltinis: <https://shop.nanografi.com/blog/following-the-natures-lead-lotus-effect-selfcleaning/>



Namibo dykumos vabalas: vandens rinkimas iš oro

Namibo dykumos vabalas (*Stenocara gracilipes*) klesti vienoje sausiausių vietų Žemėje, semdamas vandenį iš rūko. Jo elytra (sukietėję sparnų dangčiai) yra padengti hidrofiliniais iškilimais, apsuptais hidrofobinių slėnių, leidžiančių vabalui surinkti atmosferos drėgmę ir nukreipti ją į jo burną. Kaip aiškina Nørgaard ir kt. (2012), vabalas naudoja savitą rūko kaitinimosi elgesį, ankstyvo ryto rūko metu orientuodamas savo kūną į vėją, kad maksimaliai padidintų vandens surinkimą. Ši pasyvi sistema leidžia vabalui išgyventi be jokių aktyvių energijos sąnaudų, todėl jis yra idealus modelis tvarioms vandens technologijoms.

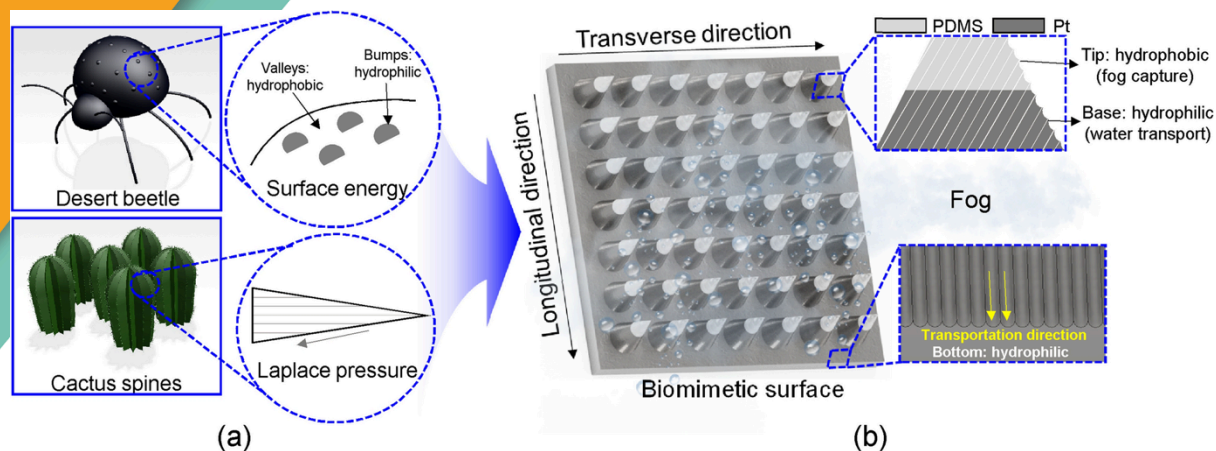


6 pav. Namibo dykumos vabalas ir vandens rinkimas, šaltinis: <https://www.atlasobscura.com/articles/fogstand-beetles-namib-desert>

Vabalo mikrostruktūrinis paviršius ir elgesio strategija įkvėpė biomimetinių medžiagų ir paviršių, imituojančių jo vandens surinkimo metodą, kūrimą. Inžinieriai sukūrė sintetinius paviršius su raštuotu drėkinimu, kad kondensuotų ir nukreiptų vandenį iš rūko, rasos ar drėgno oro. Jie buvo naudojami rūko tinkluose, fasadų plokštėse ir stogų sistemose, ypač vandens trūkumo regionuose, tokiuose kaip Čilė, Etiopija ir JAE. Šios sistemos siūlo pasyvų ir tvarų gėlo vandens trūkumo atokiose ar sausros linkusiose vietovėse sprendimą, atkartodamos vabalo efektyvumą.

Architektūrinės paskirties objektai toliau vystosi, integruojant šias medžiagas į pastatų apvalkalus, kurie suteikia apsaugą ir atlieka vandens surinkimo įrankių funkciją, mažinant priklausomybę nuo centralizuotos infrastruktūros ir skatinant atsparumą aplinkai.





7 pav. (a) Namibo dykumos vabalo elitros ir kaktusų spyglių charakteristikų iliustracija; (b) Namibo dykumos vabalo elitros ir kaktusų spyglių įkvėptų hierarchiškai struktūrizuotų biomimetinių paviršių schema. Šaltinis:

<https://www.nature.com/articles/s41598-023-37461-x/figures/1>

Taikymas: papildytosios realybės panaudojimas gamtos įkvėpto dizaino tyrinėjimui STEM ugdyme

Besikeičiančiame STEM ugdymo lauke bioįkvėpimo integravimas ir dizaino principų semimasis iš gamtos siūlo labai įdomų kelią, kaip sujungti mokinius su realaus pasaulio tvarumo iššūkiais. Papildytoji realybė (AR) šiame kontekste iškyla kaip transformuojanti priemonė, panaikinanti atotrūkį tarp abstrakčių biologinių koncepcijų ir apčiuopiamų architektūrinių pritaikymų 14–18 metų vidurinių mokyklų mokiniams.

Naujausi tyrimai pabrėžia, kad papildytosios realybės technologijos žymiai pagerina mokinių įsitraukimą ir gilina supratimą. Naudodamiesi papildyta realybe, mokiniai gali sąveikauti su trimačiais biologinių struktūrų modeliais, tokiais kaip lotoso lapų mikrostruktūra ar termitų piliakalnių vėdinimo sistema, projektuojamais į jų fizinę aplinką. Ši įtraukianti patirtis padeda besimokantiems vizualizuoti, manipuluoti ir geriau suprasti sudėtingas STEM sąvokas (Geriausi koledžai, 2024 m.).

Be to, AR padeda vizualizuoti sudėtingas gamtines sistemas, kurias gali būti sunku užfiksuoti tradiciniais mokymo metodais. Biologijos įkvėpto dizaino ugdyme AR leidžia studentams dinamiškai tyrinėti, kaip natūralios adaptacijos, tokios kaip dykumų vabalų vandens surinkimo mechanizmai ar kaktusų odelių savaiminio šešėliavimo savybės, gali įkvėpti architektūrines inovacijas. Tyrimai parodė, kad AR STEM kontekste gali skatinti kritinį mąstymą, kūrybiškumą ir erdvinį samprotavimą – itin svarbius įgūdžius būsimiems inžinieriams ir dizaineriams (Švietimo ribos, 2024 m.).

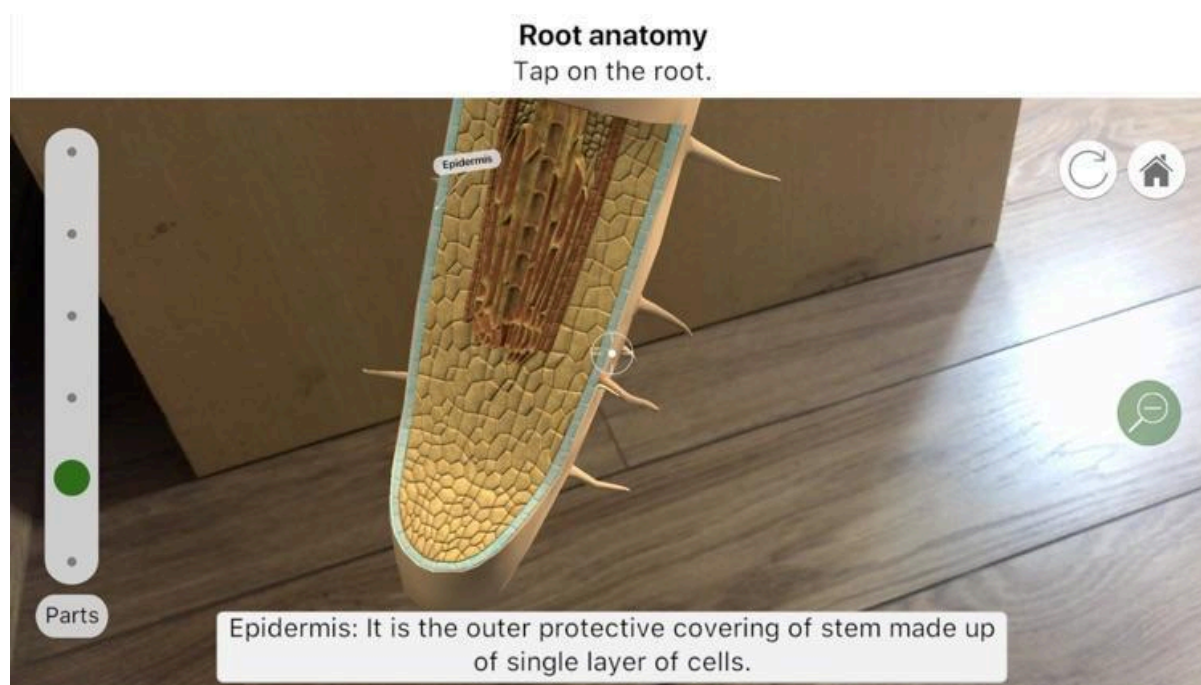
Be to, papildytosios realybės technologijos suteikia lankstumo ir įtraukumo, prisitaikydamos prie skirtingo mokymosi tempo ir stilių. Mokiniai gali mokytis individualiai arba bendradarbiauti,



kurdami žinias pagal savo mokymosi prioritetus. Toks lankstumas prisideda prie didesnio prieinamumo ir mokinių pasitenkinimo STEM ugdymo aplinkoje.

Galiausiai, AR integravimas į bioįkvėpimo ugdymą leidžia studentams įgyti teorinių žinių ir autentiškų problemų sprendimo patirčių. Biomimetinio fasado projektavimas siekiant sumažinti miesto perkaitimą arba šešėliavimo sistemos, pagrįstos augalų elgsena, koncepcijos kūrimas suteikia studentams tarpdisciplininių įgūdžių biologijos, technologijų ir architektūros sankirtoje. Toks holistinis požiūris skatina inovacijas, tvarumo mąstymą ir pasirengimą realiam pasauliui.

Apibendrinant galima teigti, kad AR įrankių integravimas į bioįkvėpimą orientuotą STEM ugdymą sukuria dinamišką, įtraukią ir į ateitį orientuotą mokymosi patirtį, kuri įgalina mokinius diegti naujoves mokantis iš gamtos.



Plantale programėlė

Papildytosios realybės (AR) technologijoms vis labiau populiarėjant švietime, įvairios mokyklos ir švietimo iniciatyvos jau pademonstravo jų potencialą tobulinti STEM mokymąsi pasitelkiant bioįkvėpimą. Šie projektai parodo, kaip AR gali padėti 14–18 metų mokiniams stebėti biologinius reiškinius, suprasti gamtos principus ir kūrybiškai juos taikyti inžinerijos ir projektavimo iššūkiams spręsti. Šie pavyzdžiai iliustruoja, kaip AR buvo sėkmingai integruota į bioįkvėptą STEM ugdymo aplinką, siekiant skatinti gilesnį įsitraukimą, conceptualų supratimą ir inovacijų įgūdžius.





Fazė	Aprašymas
Tyrinėjimas	- Tyrimai ir atradimai: tirti biologines sistemas (pvz., termitų piliakalnius, lotoso lapus, paukščių lizdus) ir jų svarbą architektūrai.
	- Turinio kūrimas: parengti pagrindines medžiagas, paaiškinančias, kaip biologines funkcijas galima pritaikyti architektūros elementams (pvz., vėdinimui, izoliacijai, konstrukcijai).
	- Poreikių analizė: nustatyti žinių spragas ir mokymosi galimybes bioarchitektūros ir tvaraus miestų projektavimo srityse.
Taikymas	- Mokymo programos įgyvendinimas: vesti tarpdisciplinines pamokas, kuriose būtų derinama biologija ir architektūra (pvz., kaip kaktusų odelė veikia vandens surinkimo paviršius).
	- Interaktyvūs pratimai: įtraukite mokinius į praktinę veiklą ir papildytosios realybės simuliacijas, kad jie galėtų modeliuoti gamtos įkvėptus pastatų elementus.
	- Atsiliepimų rinkimas: rinkti besimokančiųjų ir pedagogų įžvalgas, siekiant pagerinti biologinių sąvokų integravimą į dizaino mąstymą.
Gilinimas	- AR integravimas: pritaikykite AR, kad vizualizuotumėte ir sąveikautumėte su biomimetiniais pastato elementais (pvz., imituotumėte oro srautą termitų įkvėptose vėdinimo sistemose).
	- Interaktyvus mokymasis: mokiniai manipuliuoja 3D biologiniais modeliais ir architektūriniais analogais, sujungdami gamtą ir pastatytą aplinką.
	Žaidimo turinys: – Taškai ir ženkleliai: uždirbkite apdovanojimų atpažindami biologines strategijas ir susiedami jas su architektūriniais sprendimais (pvz., imituodami lotoso efektą fasado savaiminiam valymui). – Lyderių lentelės: skatinkite draugišką konkurenciją atliekant tokias užduotis kaip natūralių sistemų derinimas su jų sukurtomis atitikmenimis.
	– Užduotys ir lygiai: įveikite biomimikrijos iššūkius – nuo pagrindinių biologinių koncepcijų iki sudėtingų dizaino pritaikymų. – Atlygis už tyrinėjimą: atraskite paslėptas architektūrines strategijas gyvūnų buveinių ar augalų struktūrų papildytosios realybės modeliuose.
	– Bendradarbiaujant atliekamos žaidybinės užduotys: dirbkite komandose ir kurkite gamtos įkvėptas miesto zonas, naudodami papildytąją realybę (AR), kad imituotumėte poveikį aplinkai ir energijos vartojimo efektyvumą.
	AR pagrįsti vertinimai: - Naudoti papildytąją realybę supratimui įvertinti, paprašant mokinių pademonstruoti biologinio principo (pvz., korio struktūros) perkėlimą į pastato komponentą (pvz., modulines sienų sistemas).





Literatūra

Aamer, H. S., Hamza, A. F., Khairy, M. ir Ghonimi, I. (2020). Biomimetika kaip tvaraus projektavimo metodologija pastatų elgsenai vertinti. Inžinerinių tyrimų žurnalas, 46(1), 191–201.

Bader, F., Halabi, docentas, M., Mohsen, docentas, H., ir Youssef, docentas, M. (2021). BIOMIMIKRINIO DIZAINO METODO NAUDOJIMAS STATANT TVARIAS ATSPARIAS KONSTRUKCIJAS (ATVEJO ANALIZĖ: BEIRUTO UOSTAS). BAU Journal-Creative Sustain. Dev. 2 (2). doi:10.54729/2789-8334.1041

Badarnah, L. (2017). Forma seka aplinką: biomimetiniai pastatų apvaskalų projektavimo metodai, siekiant pritaikyti juos prie aplinkos. Pastatai, 10(4), 42.

Bar-Cohen, Y. (2012). Biomimetika: gamtos inovacijos. CRC Press.

Barthlott, W. ir Neinhuis, C. (1997). Šventojo lotoso grynumas arba apsauga nuo užteršimo biologiniuose paviršiuose. Planta, 202(1), 1–8.

Benyus, J. M. (1997). *Biomimetika: gamtos įkvėpta inovacija* Harperio daugiametis augalas.

„BestColleges“. (2024). Papildytosios realybės vaidmuo gerinant STEM ugdymą. „India Today“. <https://bestcolleges.indiatoday.in/news-detail/the-role-of-augmented-reality-in-enhancing-stem-education>.

Chayaamor-Heil, N. (2023). Nuo bioįkvėpimo iki biomimikrijos architektūroje: galimybės ir iššūkiai. Enciklopedija 3 (1), 202–223. doi:10.3390/encyclopedia3010014

Calabrese, E. (2015). Biofilinio dizaino praktikos, siekiant gerovės, apžvalgos projektas. Prieinama adresu: <https://www.researchgate.net/publication/321959928>.

Dicks H, Bertrand-Krajewski J-L, Ménéz C, Rahbe Y, Pierron J ir Harpet C 2021 Biomimikrijos taikymas miestuose: miškas kaip miesto planavimo ir projektavimo modelis, p. 271–88.

Dixit, S. ir Stefańska, A. (2023). Biologika: biomimetikos taikymo architektūriniame ir konstrukciniame projekte apžvalga. Ain Shams Eng. J. 14 (1), 101822. Ain Shams universitetas, vasario 1 d. doi:10.1016/j.asej.2022.101822

Ferwati, M. S., Alsuwaidi, M., Shafaghat, A. ir Keyvanfar, A. (2019). Biomimikrijos taikymas miesto metamorfozėje siekiant tvarumo: atvejų analizės. Archit. City Environ. 14 (40), 133–162. doi:10.5821/ace.14.40.6460

Fratzl, P. ir Barth, F. G. (2009). Biomedžiagų sistemos mechanosensoriams ir aktyvavimui. Nature, 462(7272), 442–448.





Švietimo ribos. (2024). Papildytoji realybė STEM ugdyme: nauda, iššūkiai ir būsimos tyrimų kryptys.

<https://www.frontiersin.org/journals/education/articles/10.3389/feduc.2024.1391803/full>

IUCN (2020b). IUCN pasaulinio standarto, skirto gamtos pagrindu sukurtiems sprendimams, naudojimo gairės. 1. Glandas, Šveicarija: IUCN. IUCN, Tarptautinė gamtos apsaugos sąjunga. doi:10.2305/IUCN.CH.2020.09.en

Jamei, E. ir Vrcelj, Z. (2021). Biomimetika ir sukurta aplinka: mokymasis iš gamtos sprendimų. Appl. Sci. Switz. 11 (16), 7514. MDPI AG, rugpjūčio 2 d. doi:10.3390/app11167514

Jain A, Cummings A, Lim G S, Shah I, Haan L, Teo L, Fadnavis M, Toh M M, Hays N, Dhuri R ir Swaminathan S 2023 Biomimetika tropinių pastatų apdailoms: projektavimo įrankių rinkinys šiluminiui komfortui valdyti, pasitelkiant gamtos genialumą (Singapūras: bioSEA Pte. Ltd.)

Judith Oginga, M. (2022). Miestų ateities vizija. Niujorkas: Jungtinių Tautų leidinys.

Ju, J., Bai, H., Zheng, Y., Zhao, T., Fang, R. ir Jiang, L. (2012). Daugiastruktūrė ir daugiafunkcinė integruota rūko surinkimo sistema kaktusuose. Gamtos komunikacijos, 3, 1247

Kennedy, E., Fechey-Lippens, D., Hsiung, B.-K., Niewiarowski, P. H. ir Kolodziej, M. (2015). Biomimika: kelias į tvarias naujoves. *Dizaino problemos*, 31(3), 66–73.

Koch, K., Bhushan, B. ir Barthlott, W. (2009). Daugiafunkcinės augalų paviršiaus struktūros: įkvėpimas biomimetikai. „Progress in Materials Science“, 54(2), 137–178.

Landrum, N. E. ir Mead, T. (2022). Tvarumas biomoje* Singapūras. Springer, 1–15. doi:10.1007/978-981-19-1812-4_1/VIRŠELIS

Matthews, J., Ocampo, E. ir Cruz, D. (2022). Gamtos pagrįstų sprendimų integravimas prisitaikant prie klimato kaitos ir valdant nelaimių riziką: praktinis vadovas.

Madmar. S., Zaly Saleh. M., Ak Mattusin. A.M.R., Ilhan. A.A. (2023). Biomimikrijos taikymas miestų planavime: kylančių miestų projektavimo metodų aktualumo tyrimas, semiantis įkvėpimo iš gamtos. IOP konferencijų serija: Žemės ir aplinkos mokslai, doi:10.1088/1755-1315/1274/1/012015

Nørgaard, T., Dacke, M. ir Warrant, E. J. (2012). Namibo dykumos vabalų elgesys rūke ir vandens surinkimo efektyvumas. „Frontiers in Zoology“, 9, 9. <https://doi.org/10.1186/1742-9994-9-9>.

Oguntona, O. A. ir Aigbavboa, C. O. (2023a). Gamtos įkvėpimas, imitacija ir emuliacija: biomimetikos mąstymo kelias į tvarumą statybų pramonėje. Front. Built Environ. 9, 1085979. doi:10.3389/fbuil.2023.1085979





Oguntona, O. A. ir Aigbavboa, C. O. (2023b). Gamtos įkvėpimas, imitacija ir emuliacija: biomimetikos mąstymo kelias į tvarumą statybų pramonėje. Priekinis puslapis. Sukurta aplinka. 9. doi:10.3389/fbuil.2023.1085979.

Othmani, N. I., Mohamed, S. A., Abdul Hamid, N. H., Ramlee, N., Yeo, L. B. ir Mohd Yunus, M. Y. (2022). Biomimetikos dizaino atvejų studijų apžvalga kaip tvaraus dizaino sprendimas. Environ. Sci. Pollut. Res. 29 (46), 69327–69340. Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. doi:10.1007/s11356-022-22342-z.

Sowińska-Świerkosz, B. ir García, J. (2022). Kas yra gamtos idėjomis grįsti sprendimai (GPS)? Pagrindinių idėjų išdėstymas sąvokų aiškinimui. Gamtos idėjomis grįsti sprendimai 2, 100009. doi:10.1016/j.nbsj.2022.100009

Turner, J. S., ir Soar, R. C. (2008). Daugiau nei biomimetika: ką termitai gali papasakoti apie gyvo pastato sukūrimą. Pirmoji tarptautinė industrializuotos, intelektualios statybos konferencija.

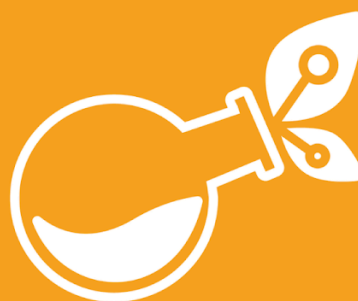
Urdinola-Serna, D. ir Diseño, B. (2018). Pirmasis leidimas, 2018. Projektas: Biologiškai įkvėptų paviršių ir tekstūrų repertuaras, taikant morfologinius eksperimentus su skaitmeninės gamybos technologija. Bylos Nr. 601B-05/16-35. Prieinama adresu: <https://www.upb.edu.co>.

Vincent, J. F. V., Bogatyreva, O. A., Bogatyrev, N. R., Bowyer, A. ir Pahl, A.-K. (2006). Biomimetika: praktika ir teorija. *Karališkosios draugijos sąsajos žurnalas*, 3(9), 471–482.





Co-funded by
the European Union



BIOS4YOU AR 2.0

BIO-INSPIRED STEM TOPICS FOR ENGAGING YOUNG GENERATIONS
THANKS TO THE USE OF AUGMENTED REALITY



Project Number: KA220-BW-23-30-126516

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.