



Co-funded by
the European Union

Saulės lapai: kaip augalai mus moko kaupti energiją



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."





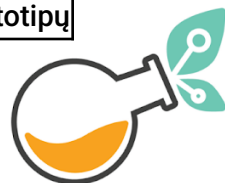
TURINYS

Įvadas	2
Kaip augalai renka saulės energiją	3
Kaip veikia fotosintezė?	5
Kodėl fotosintezė yra būtina?	6
Mokymasis iš augalų: kaip fotosintezė įkvepia atsinaujinančią energiją	6
Fotosintezės efektyvumas	7
Bioįkvėpta saulės technologija	7
Kaip gamta įkvepia saulės energijos inovacijas?	8
Nuo lapų iki saulės elementų: biomimetiniai tvarios energijos metodai	9
Augalų įkvėptos inovacijos saulės energijos surinkimo ir transformavimo srityje	10
Fotosintezę įtakojantys veiksniai ir jų vaidmuo biologiškai įkvėptoje saulės technologijoje	13
Fotosintezė kaip ateities energetikos sprendimų modelis	15
Papildytos realybės integravimas į saulės lapus: kaip augalai moko mus rinkti energiją	16
1. Įvadas: Mokymosi gerinimas naudojant papildytąją realybę	16
2. AR diegimas mokymo modulyje „Saulės lapai“	16
Pratimo apžvalga	19
AR pratybų įgyvendinimas	19
Palyginimas su tradiciniais mokymo metodais	20
AR pagrindu sukurtos fotosintezės pratimo privalumai	21
Literatūra	22





Bendra mokymosi kelio tema	Biologiškai įkvėpta saulės energija: mokymasis iš gamtos energijos gamybai
Konkretus mokymosi vienetą pavadinimas	Saulės lapai: kaip augalai moko mus rinkti energiją
Tikslinis naudotojų amžius	14–18 metų
Besimokančiojo reikalavimai	Pagrindinės biologijos, chemijos, fizikos ir įvadinio aplinkos mokslo žinios
Mokymosi vienetą aprašymas	Šiame skyriuje mokiniai ir mokytojai supažindinami su biologiškai įkvėptomis saulės technologijomis, pabrėžiant, kaip augalai efektyviai kaupia saulės energiją fotosintezės būdu ir kaip mokslininkai atkartoja šiuos mechanizmus tvariems energijos sprendimams. Naudojant Papildytosios realybės (AR) įrankius mokiniai vizualizuos fotosintezės procesą, tyrinėti biohibridinių saulės elementų ir eksperimentuoti su Gamtos pagrindu sukurtos saulės baterijų konstrukcijos Padalinys skatinama ugdi disciplininis mokymasis integruojant biologijos, fizikos, chemijos ir inžinerijos sąvokas supraktiniai skaitmeniniai eksperimentai.
Susijusi tema	Biologija, fizika, chemija, aplinkos mokslai, inžinerija, matematika
Raktiniai žodžiai	Fotosintezė, saulės energija, bioįkvėpimas, biomimetika, tvarumas, atsinaujinanti energija, papildytoji realybė, interaktyvus mokymasis, išmaniosios saulės technologijos
Pagrindiniai įgūdžiai, gebėjimai, žinios, kurias galima įgyti	- Suprasti fotosintezę kaip natūralus saulės energijos procesą ir jo vaidmenį tvaraus dizaino srityje. – Išanalizuoti, kaip biologiškai įkvėptos saulės technologijos imituoti augalinės kilmės energijos konversiją. – Įsitraukti į problemų sprendimą ir inovacijas naudojant biodizaino principus. – Sukurti AR pagrindu sukurtų prototipų





	kūrimo įgūdžiai vizualizuoti energiją taupantys saulės baterijų projektai. – Pateikti paraišką STEM sąvokos spręsti realaus pasaulio energetikos iššūkiams.
Naudoti ištekliai ir didaktiniai įrankiai	- Moksliniai straipsniai ir knygos apie fotosintezę ir biologiškai įkvėptą saulės energiją. AR programos (pvz., „McGraw Hill AR“, „Photosynthesis VR“, „CoSpaces Edu“, „Assemblr EDU“, „Merge Cube“) interaktyviam mokymuisi.
Vertinimo kriterijai ir vertinimas	Vertinimas bus grindžiamas: Koncepcijos įvaldymas per interaktyvias viktorinas ir diskusijas. Praktiniai AR pagrindu atliekami vertinimai Simuliacijos ir prototipų kūrimo pratimai naudojant papildytosios realybės įrankius. Kūrybinis projekto dizainas Studentai siūlys ir pristatys Biologijos įkvėpta saulės baterijų koncepciją naudojant AR vizualizaciją. Atsiliepimai ir refleksija Studentai vertins biologiškai įkvėptų saulės energijos technologijų efektyvumą sprendžiant tvarumo iššūkius.

Įvadas

Augalai yra gamtos žaliosios gamyklos, fotosintezės būdu saulės šviesą paverčiančios cheminė energija. Šis nepaprastas gamtos mechanizmas ne tik palaiko gyvybę Žemėje, bet ir įkvėpia pažangiausias saulės energijos technologijas. Tyrinėdami, kaip augalai efektyviai kaupia ir naudoja saulės energiją, mokslininkai sukūrė biologijos įkvėptus dizainus, kurie pagerina saulės elementų veikimą. Šis mokymo modulis supažindina studentus su žaviu ryšiu tarp fotosintezės ir atsinaujinančios energijos, pabrėžiant, kaip papildyta realybė (AR) gali pagerinti jų supratimą apie šias sąvokas.

Fotosintezė yra procesas, kurio metu augalai, naudodami saulės šviesą, gamina gliukozę, kuri yra sukauptos cheminės energijos forma, o kaip šalutinį produktą išskiria deguonį. Šis procesas vyksta dviem etapais: šviesos priklausomose reakcijose ir Kalvino cikle. Šviesos priklausomose reakcijose chlorofilas sugeria saulės šviesą, suskaidydamas vandens molekules į deguonį, protonus ir elektronus. Šiame etape gauta energija kaupiama tokiose molekulėse kaip ATP ir NADPH, kurios vėliau naudojamos Kalvino cikle cukrams sintetinti iš anglies dioksido (https://www.uaex.uada.edu/farm-ranch/special-programs/Education_in_Agriculture/soybean-science/GRC%20Photosynthesis%20lesson-final.pdf) (<https://opentextbc.ca/biology/chapter/5-1-overview-of-photosynthesis/>).





Įkvėpti šios efektyvios energijos konversijos sistemos, tyrėjai sukūrė novatoriškas technologijas, tokias kaip biologiškai įkvėptos fotovoltinės (FV) sistemos. Pavyzdžiui, „FV lapas“ imituoja augalų garavimą, kad atvėsintų saulės elementus, taip pagerindamas energijos vartojimo efektyvumą ir sumažindamas šilumos nuostolius (<https://innovationorigins.com/en/a-big-leap-in-solar-power-the-bio-inspired-photovoltaic-leaf-shows-greater-efficiency/>). Panašiai perovskito saulės elementai buvo patobulinti naudojant biomimetinius metodus, kurie atkartoja natūralias lipidų membranas, siekiant apsaugoti nuo aplinkos blogėjimo, kartu išlaikant aukštą efektyvumą. (<https://techxplore.com/news/2023-08-bio-inspired-solar-devices-boost-stability.html>) (<https://list.solar/news/bio-inspired-1/>)

Papildytosios realybės (AR) technologija siūlo unikalią būdą vizualizuoti šiuos procesus. AR programėlės leidžia studentams tyrinėti fotosintezę molekulinio lygmeniu, stebint, kaip šviesa sužadina chlorofilo molekules arba kaip elektronai keliauja per tilakoido membraną. Šios priemonės abstrakčias mokslines sąvokas paverčia apčiuopiamomis ir įtraukiomis, skatindamos gilesnį biologijos ir atsinaujinančios energijos technologijų ryšio supratimą. (https://stileapp.com/static/CLL%20handouts/Lesson_035_handout.pdf) (<https://sinovoltaics.com/technology/solar-fuels-an-introduction-to-artificial-photosynthesis/>)

Nagrinėdami, kaip augalai renka saulės energiją, ir taikydami šiuos principus žmogaus sukurtoms sistemoms, mokiniai įgis įžvalgų apie tvarius energijos sprendimus. Šis modulis ne tik pabrėžia tarpdisciplininio mokymosi STEM srityse svarbą, bet ir skatina mokinius kūrybiškai mąstyti apie realaus pasaulio problemų sprendimą, remiantis gamta.

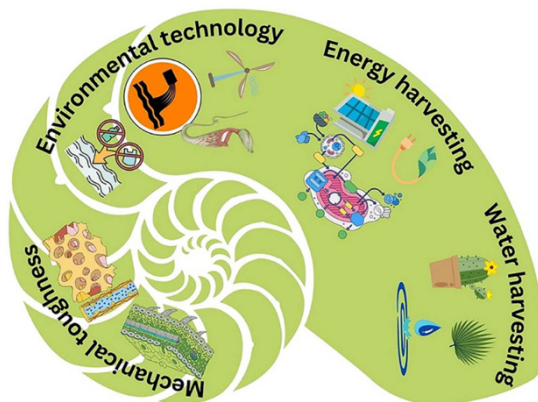
Kaip augalai renka saulės energiją

Gamta yra turtingas ir dinamiškas įkvėpimo šaltinis medžiagų inovacijoms, atveriantis kelią naujų medžiagų, vadinamų „bioįkvėptomis medžiagomis“, kūrimui. Šios medžiagos pasižymi patobulintomis struktūrinėmis ir funkcinėmis savybėmis, gautomis iš esamų sudėčių ir medžiagų (Liu ir kt., 2017). „Bioįkvėpimo“ sąvoka kyla iš požiūrio, kai remiantis natūraliomis struktūromis ir funkcionalumu kuriamos pažangios dirbtinės medžiagos, pasižyminčios geresnėmis savybėmis (Zhang ir kt., 2024).

Biologiniai įkvėpimo šaltiniai, nesvarbu, ar jie būtų iš augalų, ar gyvūnų karalystės, suteikia pagrindą kurti dirbtines medžiagas, kurios atkartoja savo savybes ir funkcijas arba yra jų veikiamos (Zhang ir kt., 2020). Daugybė biologinių struktūrų buvo ištirtos dėl jų potencialo bioįkvėptų medžiagų dizaine, įskaitant perlamutrą, vorų šilką, lotoso lapus, musės akis ir drugelio sparnus (Sun ir kt., 2019). Augalai, kurie pirmą kartą atsirado maždaug prieš 400 milijonų metų, patyrė didelę evoliucinę pažangą, kad prisitaikytų ir klestėtų atšiaurioje aplinkoje (Pires ir Dolan, 2012). Nepaisant ribotų pagrindinių statybinių blokų, augalai pasižymi nepaprasta struktūrine ir funkicine įvairove, kuri įkvėpė sukurti didelio našumo paviršius ir sąsajas, tokias kaip Nepenthes įkvėptas kryptinis skysčių transportavimo mechanizmas (Chen ir kt., 2016).

Be to, augalų įkvėptų medžiagų ir konstrukcijų integravimas gerokai pagerino įvairių technologijų, įskaitant energijos surinkimo, konversijos ir kaupimo sistemas, taip pat vandens gėlinimo ir valymo įrenginius, atskyrimo ir surinkimo mechanizmus bei konstrukcijų sutvirtinimo ir grūdinimo sprendimus, efektyvumą (Yu ir kt., 2024).

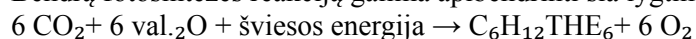




1 pav. Augalų įkvėptų paviršių ir sąsajų grafinė iliustracija įvairioms reikmėms, šaltinis: Wijerathne ir kt., 2025.

Fotosintezė yra sudėtingas procesas, kurio metu augalai, dumbliai ir kai kurios bakterijos šviesos energiją paverčia chemine energija. Šis procesas yra esminis gyvybei Žemėje, nes suteikia energijos ir organinių junginių, kurie palaiko daugumą ekosistemų.

Bendrą fotosintezės reakciją galima apibendrinti šia lygtimi:



Šio proceso metu anglies dioksidas ir vanduo, naudojant saulės šviesą kaip energijos šaltinį, paverčiami gliukoze ir deguonimi. (<https://www.britannica.com/science/photosynthesis>)

Fotosintezės procesas yra labai svarbus gyvybei Žemėje. Jo metu susidaro deguonis kaip šalutinis produktas, kuris yra būtinas daugumai gyvų organizmų. Be to, fotosintezės metu susidarę organiniai junginiai sudaro daugumos mitybos grandinių pagrindą.

Fotosintezę vykdo fotoautotrofai – organizmai, kurie gali pasigaminti maisto naudodami šviesos energiją. Tai augalai, dumbliai ir kai kurios bakterijos.

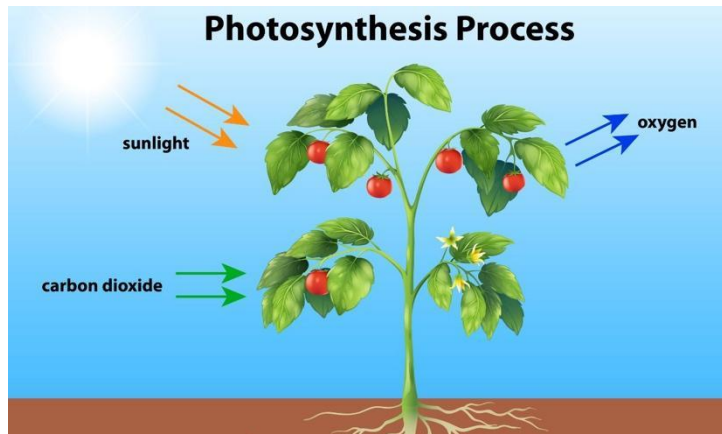
Fotosintezės supratimas svarbus ne tik biologijai, bet ir sprendžiant pasaulinius iššūkius. Šiandien naudojamas iškastinis kuras yra prieš milijonus metų vykusios fotosintezės rezultatas. Be to, dirbtinės fotosintezės tyrimai galėtų padėti sukurti naujas tvarios energijos technologijas (<https://www.britannica.com/science/photosynthesis>).

Augalai, dumbliai ir kai kurios bakterijos įvaldė saulės šviesos panaudojimo meną gyvybei Žemėje palaikyti. Šis procesas, vadinamas fotosinteze, leidžia jiems saulės energiją paversti chemine energija, gaminant deguonį, kuriuo kvėpuojame, ir maistą, kurį valgome. Supratimas, kaip augalai efektyviai kaupia ir kaupia energiją, gali įkvėpti tvarius sprendimus žmonių energijos poreikiams tenkinti.



Kaip veikia fotosintezė?

Fotosintezė vyksta viduje chloroplastai, specializuotos augalų ląstelių struktūros. Jose yra chlorofilas, žalias pigmentas, kuris sugeria saulės šviesą. Naudodami šviesą, vandenį ir anglies dioksidą, augalai gamina gliukozę (cukrus, naudojamas energijai gauti) ir deguonį (išleistas į orą).



2 pav. Fotosintezės procesas. Šaltinis: <https://dotandlinelearning.com/blog/biology/chapter-6-photosynthesis/>

Procesas vyksta dviem pagrindiniais etapais:

1 etapas: šviesos energijos gaudymas (nuo šviesos priklausomos reakcijos)

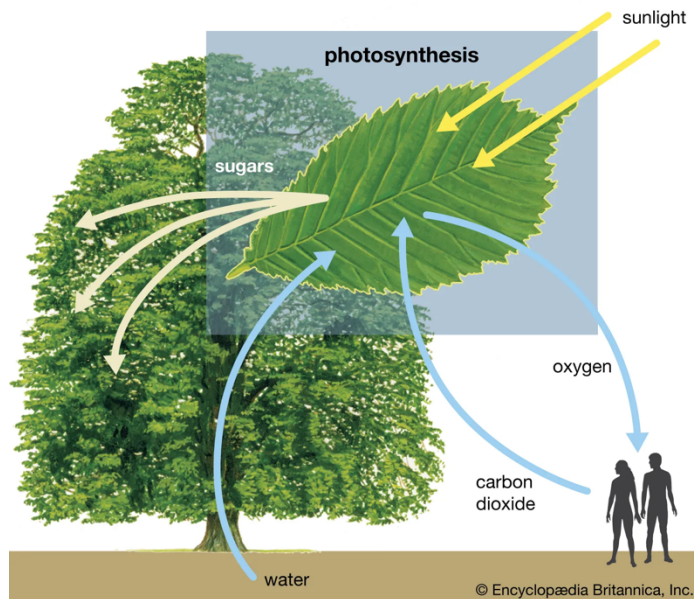
- Vyksta chloroplastų tilakoidinėse membranose.
- Saulės šviesą sugeria chlorofilas, sužadina elektronus ir pradeda reakciją.energijos perdavimo procesas.
- Vandens molekulės yra suskaidomos į deguonį, protonai ir elektronai, išleidžiant deguonies dujas į atmosferą.
- Surinkta energija saugoma specialiose molekulėse, vadinamose ATP(adenozino trifosfatas)ir NADPH (nikotinamido adenino dinukleotido fosfatas), kuris bus naudojamas kitame etape.

2 etapas: energijos gamyba (Kalvino ciklas)

- Atsiranda stromoje – skystyje chloroplastų viduje.
- Anglies dioksidas iš oro naudojamas statyboms gliukozės molekulės.
- Pirmojo etapo ATP ir NADPH suteikia energijos anglies dioksidui paversti cukrų.
- Ši sukaupta energija naudojama augalų augimui, dauginimuisi ir būtinų medžiagų, tokių kaip krakmolas ir celiuliozė, gamybai.



Kodėl fotosintezė yra būtina?



3 pav. Fotosintezės esmė, šaltinis: <https://www.britannica.com/science/photosynthesis>

Fotosintezė yra gyvybės Žemėje pagrindas, palaikanti ekosistemas ir aplinkos pusiausvyrą. Svarbiausi jos indėliai:

- **Degunies gamyba:** Augalai išskiria deguonį, todėl gyvūnai ir žmonės gali gyventi.
- **Energijos kaupimas:** Saulės šviesa paverčiama chemine energija, kuri palaiko augalų augimą ir suteikia maisto kitiems organizmams.
- **Anglies ciklo balansas:** Fotosintezė padeda reguliuoti atmosferos anglies dioksido kiekį ir taip sumažinti klimato kaitos poveikį.

Mokymasis iš augalų: kaip fotosintezė įkvepia atsinaujinančią energiją

Augalų gebėjimas efektyviai surinkti saulės šviesą įkvėpė **technologinę pažangą** tvariosios energijos srityje. Mokslininkai tyrinėja fotosintezę, kad sukurtų **dirbtinės fotosintezės sistemas**, kurios imituoja augalų energijos gamybą, o tai gali sukelti **švarios energijos sprendimus**, pavyzdžiui:

- **Saulės baterijos:** Saulės baterijose esantys fotovoltiniai elementai veikia kaip chlorofilas – sugeria šviesą ir paverčia ją tinkama naudoti energija.
- **Biokuras:** Kai kurie mikroorganizmai naudoja fotosintezę, kad sukurtų kurą, kuris galėtų pakeisti iškastinį kurą.
- **Dirbtiniai lapai:** Mokslininkai kuria sintetines medžiagas, kurios, kaip ir tikri lapai, gali naudoti saulės šviesą švariai energijai gaminti.



Gamta ištobulino **saulės energijos konversija** per fotosintezę – procesą, kuris palaiko gyvybę ir subalansuoja mūsų aplinką. Tyrinėdami augalus, mokslininkai ir inžinieriai atrakina naujus būdus, kaip **kaip tvarkingai rinkti energiją**. Jei išmoksime saulės šviesą gaudyti taip pat efektyviai kaip augalai, galbūt priartėsime prie švaresnės, žalesnės ateities.

Fotosintezės efektyvumas

Fotosintezės efektyvumas reiškia, kaip efektyviai augalai saulės energiją paverčia chemine energija. Nors teorinis maksimalus efektyvumas idealiomis sąlygomis yra maždaug 11 %, realus efektyvumas svyruoja nuo 3 iki 6 % dėl tokių veiksnių kaip šviesos sugerties ribos ir energijos nuostoliai konversijos procesų metu (<https://www.britannica.com/science/photosynthesis/Energy-efficiency-of-photosynthesis>).

Pavyzdžiui:

- Naudojami tik fotonai, kurių bangos ilgis yra 400–700 nm.
- Energijos nuostoliai atsiranda elektronų pernašos ir cukraus sintezės metu.

Bioįkvėpta saulės technologija

Biologiškai įkvėpta saulės technologija, dar žinoma kaip biologinė fotovoltinė energija yra pažangiausia sritis, kuri semiasi įkvėpimo iš gamtos gebėjimą surinkti ir paversti saulės šviesą tinkama naudoti energija. Fotosintezės procesas, kuris vystėsi milijardus metų, išlieka vienu iš svarbiausių efektyvūs energijos konversijos mechanizmai egzistuoja. Pamėgdžiodami natūralių fotosintezės sistemų, mokslininkai ir inžinieriai siekia sukurti labai efektyvius, tvarus ir ekonomiškai saulės energijos sprendimus, kurie gali padėti pasauliui pereiti prie švarūs, atsinaujinantys energijos šaltiniai .



Augant paklausai tvarūs energijos sprendimai , tradicinės fotovoltinės (FV) technologijos, nors ir veiksmingos, turi apribojimų, tokių kaip didelės gamybos sąnaudos, medžiagų trūkumas ir efektyvumo apribojimai . Tyrėjai dabar ieško sprendimų gamtoje, kurdami Biohibridiniai saulės elementai, dirbtinės fotosintezės sistemos ir biologinės fotovoltinės platformos kurie naudoja natūralūs arba biologiškai įkvėpti komponentai pagerinti saulės energijos konversiją. Šis metodas siekia ne tik pagerinti saulės baterijų efektyvumas ir stabilumas bet ir skatina ekologiški gamybos metodai kurie sumažina atliekos ir priklausomybė nuo retų medžiagų .





Kaip gamta įkvėpia saulės energijos inovacijas?

Fotosintezė augaluose, dumbliuose ir tam tikrose bakterijose suteikia brėžinys už naujos kartos saulės energijos technologijos. Iš esmės fotosintezė efektyviai sugeria saulės šviesą, skaido vandens molekules, kad susidarytų deguonis, ir paverčia anglies dioksidą į daug energijos turinčius junginius, tokius kaip gliukozė. Mokslininkai dirba siekdami... atkurti ir tobulinti šiuos procesus naudojant medžiagas, kurios imituoja chlorofilą, elektronų pernašos grandines ir anglies fiksacijos reakcijas generuoti elektros energija ir sintetiniai degalai.

Yra kelios strategijos biologiškai įkvėpta saulės technologija šiuo metu tyrinėjama:

1. Biohibridinės saulės baterijos:

Šie saulės elementai integruoja biologinius komponentus, tokius kaip fotosintetiniai baltymai (fotosistema I ir fotosistema II), su sintetinėmis medžiagomis, taip pagerindami šviesos absorbciją ir energijos perdavimą. Tyrėjai sėkmingai išskyrė fotosintetinius baltymus iš tokių augalų kaip špinatai, kad sukurtų saulės įrenginius, kurie padidina energijos konversijos efektyvumą (https://lt.wikipedia.org/wiki/Biohybrid_solar_cell?utm).

2. Biologinė fotovoltinė energija (BPV):

BPV naudoja gyvus organizmus, tokius kaip melsvabakterės ar dumbliai, saulės šviesai rinkti ir elektros srovei generuoti. Šios sistemos pasinaudoja biologinių medžiagų savaime atsinaujinančiomis ir save palaikančiomis savybėmis, siūlydamos nebrangią ir tvarią alternatyvą tradicinėms silicio pagrindu pagamintoms saulės baterijoms (https://lt.wikipedia.org/wiki/Biologinė_fotovoltaika?utm).

3. Dirbtinės fotosintezės sistemos:

Dirbtinė fotosintezė siekia atkurti gamtos gebėjimą saulės šviesą, vandenį ir anglies dioksidą paversti kuru. Tokios technologijos kaip Harvardo tyrėjų sukurta „Bionic Leaf“ naudoja katalizatorius vandens molekulėms suskaidyti į vandenilį ir deguonį, o tada sujungti CO₂ su bakterijomis skystam kurui gaminti. Šios sistemos pasiekė didesnę efektyvumą nei natūrali fotosintezė, todėl jos yra perspektyvus sprendimas švaraus kuro gamybai (https://lt.wikipedia.org/wiki/Bionic_Leaf?utm).

4. Savaime išsivalančios ir atsinaujinančios saulės baterijos:

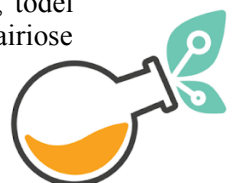
Augalai išvystė savaiminio atsistatymo mechanizmus, kurie leidžia jiems laikui bėgant atkurti pažeistus fotosintezės baltymus. Įkvėpti to, tyrėjai kuria saulės baterijas su savaiminio atsistatymo galimybėmis, naudodami į šviesą reaguojančius elementus. polimerai ir fotoaktyviosios dangos, kurios imituoja natūralius atsinaujinimo procesus. Šios inovacijos prailgina saulės baterijų tarnavimo laiką ir išlaiko efektyvumą laikui bėgant.

5. Lapų įkvėptas reguliuojamas šviesos sugėrimas:

Skirtingai nuo įprastų saulės baterijų, kurios gali būti neefektyvios kintant apšvietimo sąlygoms, augalai išvystė prisitaikymo mechanizmus, leidžiančius jiems reguliuoti šviesos surinkimo efektyvumą atsižvelgiant į aplinkos sąlygas. Įkvėpti to, inžinieriai projektuoja dinamines saulės baterijas, kurios reguliuoja savo absorbcijos greitį priklausomai nuo paros laiko ir saulės šviesos intensyvumo, imituodamos natūralų lapų ir chloroplastų struktūrą judėjimą (<https://www.axios.com/sponsored/the-technology-paving-the-way-for-the-future-of-solar-energy?utm>).

Naujausi pasiekimai ir taikymai:

- **Biomimetika dizaine:** Inovatoriai vis dažniau žvelgia į gamtą, ieškodami tvarių sprendimų. Pavyzdžiui, Japonijos 500 serijos „Shinkansen“ kulkinio traukinio dizainą įkvėpė tulžys, todėl padidėjo efektyvumas ir sumažėjo triukšmas. Šis biomimetikos principas taikomas įvairiose





srityse, įskaitant saulės energijos technologijas, siekiant sukurti sistemas, kurios derėtų prie natūralių procesų. <https://www.reuters.com/sustainability/land-use-biodiversity/bullet-trains-green-buildings-innovators-take-cue-nature-through-biomimicry-2025-01-13/>).

- **Perovskito ir silicio tandeminiai elementai:** Tokios įmonės kaip „Qcells“ pasiekė proveržio derindamos perovskito medžiagas su tradiciniais silicio saulės elementais ir pasiekdamos naujus efektyvumo rekordus. Ši pažanga galėtų padėti sukurti kompaktiškesnes ir efektyvesnes saulės baterijas, sprendžiant erdvės apribojimus saulės energijos įrenginiuose. <https://www.reuters.com/business/energy/qcells-says-technology-breakthrough-could-reduce-space-needed-solar-panels-2024-12-18/>).
- **Saulės dažai elektrinėms transporto priemonėms:** Kuriamos tokios inovacijos kaip saulės energijai atsparūs dažai, kad elektromobiliai galėtų tiesiogiai panaudoti saulės energiją, taip sumažinant priklausomybę nuo išorinės įkrovimo infrastruktūros ir sumažinant vartotojų nerimą dėl nuvažiuojamo atstumo. <https://www.thetimes.com/uk/technology-uk/article/mercedes-benz-solar-paint-charge-evs-rcp86z8hd?region=global>

Nuo lapų iki saulės elementų: biomimetiniai tvarios energijos metodai

Skubiai reikia tvarių ir ekologiškų energijos konversijos technologijų, nes pasaulis ieško veiksmingų sprendimų, kaip kovoti su aplinkosaugos iššūkiais ir iki 2050 m. pasiekti nulinį grynąjį išmetamųjų teršalų kiekį. Gamta, ypač augalai, siūlo labai efektyvų saulės energijos surinkimo, anglies dioksido absorbcijos ir konversijos bei greito elektrolitų transportavimo per savo biologines struktūras modelį. Šie natūralūs procesai įkvėpė mokslininkus kurti medžiagas ir įrenginius, kurie atkartoja augalų audinių ir ląstelių struktūrinės ir funkcinės savybės. Augalų įkvėptomis medžiagomis pagrįstos inovacijos buvo sėkmingai integruotos į įvairias tvarios energijos technologijų sritis. Pavyzdžiui, saulės energijos srityje biologiškai įkvėptos medžiagos prisidėjo prie saulės elementų ir fotovoltinių įrenginių tobulinimo, žymiai pagerindamos jų gebėjimą sugerti saulės šviesą ir efektyviau ją paversti elektra. Imituodamos natūralios fotosintezės ir transportavimo sistemų efektyvumą, šios technologijos atveria kelią efektyvesniems ir ekologiškesniems energijos sprendimams. Tiriant fotosintezės procesą augaluose, buvo sukurti fotokataliziniai įrenginiai surinktam CO₂ konvertavimui. Buvo sukurtos inovacijos biokurui, pavyzdžiui, etanolui, krakmolui ir kitam vandenilio karbonato kurui, veikiant saulės spinduliams. Skirtingai nuo tiesioginių saulės energijos surinkimo ir konversijos procesų, augalų įkvėpta energijos gamyba buvo nepaprastai integruota su kinetine ir mechanine energija. Augalų įkvėpti hidroįtampos įtaisai vandens difuzijos energiją paverčia elektra, mokydami iš augalų vandens difuzijos gradiento efekto. Įkvėpti nanofluidinių pernašos savybių ir selektyvių ląstelių struktūrų, buvo sukurtos bioįkvėptos medžiagos pažangiems energijos kaupimo įrenginiams, skirtiems realioms situacijoms, pavyzdžiui, baterijoms ir superkondensatoriams. Pavyzdžiui, kietojo kūno elektrolituose, sujungtuose su natūraliais bambuko celiuliozės nanopluoštais, buvo pastebėtas padidėjęs jonų laidumas ir vandens sulaikymas, o tai pagerino lanksčios Zn-oro baterijos elektrocheminį našumą (Du ir kt., 2024). Augalų primenanti baterija („FlowER“: garavimo srauto redoksas) su ilgesniu baterijos veikimo laiku buvo ekologiškai sukurta belaidžių jutiklių tinklų maitinimui, siekiant padėti tiksliai valdyti žemės ūkį (Navarro-Segarra, 2022). Panašūs augalų įkvėpti dizainai buvo pritaikyti ir kitoms aktyviųjų metalų pagrindu veikiančioms baterijoms, įskaitant cinko jonų baterijas (Zhang ir kt., 2024, Dong ir kt., 2023). Norėdami parodyti, kaip bioįkvėpimas atveria kelią dar labiau gerinti tvarios energijos technologijų našumą, augalų įkvėptas medžiagas suskirstome pagal kylančių technologijų tipus.





Augalų įkvėptos inovacijos saulės energijos surinkimo ir transformavimo srityje

Pagrindiniai iššūkiai, kylantys renkant ir paverčiant saulės energiją elektra ar kitais tvariais energijos šaltiniais, yra efektyvus saulės spinduliuotės sugėrimas ir energijos konversijos efektyvumas. Saulės elementai yra gerai žinoma tvarios energijos konversijos įrenginių, kurie tiesiogiai paverčia saulės spinduliuotę elektra, kategorija. Šie įrenginiai yra plačiai naudojami ir montuojami įvairiose pasaulio vietose.

Saulės elementų efektyvumas pasiekė ribą, kurią reikia gerokai pagerinti, nes daugiau nei 70 % gaunamos energijos prarandama kaip šilumos perteklius. Tai ne tik sumažina bendrą efektyvumą, bet ir kelia susirūpinimą dėl saugos. Įkvėptas medžių, kurie efektyviai transportuoja vandenį iš šaknų į lapus transpiracijos būdu, kad palaikytų vėsinimą ir hidrataciją, buvo sukurtas bioįkvėptas hibridinis daugiakartinis fotovoltinis lapas (PV lapas). Ši konstrukcija leidžia pasyviai tekėti vandeniui iš rezervuaro į ląstelės paviršių garavimui, tuo pačiu surenkant išgaravusį vandenį ir paverčiant jį švriu vandeniu (Wijerathne ir kt., 2025).

- Fotovoltinis lapas (PV-Leaf)

Per milijardus evoliucijos metų natūralūs organizmai sukūrė labai efektyvius saulės energijos rinkimo ir jos kaupimo angliavandenilių, tokių kaip cukrus ir krakmolas, pavidalu metodus, kad palaikytų augimą ir išlikimą. Tyrimai parodė, kad augalų lapuose yra šviesą sugeriančios antenos struktūros, vadinamos chloroplastais, kurios leidžia absorbuoti platų saulės šviesos spektrą. Šios struktūros taip pat veikia kaip tolimojo nuotolio kanalai, kurie po fotonų absorbcijos perneša eksitonus iš sužadintų chlorofilo elektroninių būsenų į reakcijos centrus, kur vyksta fotosintezė (Mirkovic ir kt., 2017).

Natūraliame lape yra tarpusavyje susiję trimačiai porėti ir kanaliniai tinklai, kurie optimizuoja šviesos absorbciją ir palengvina esminių medžiagų judėjimą. Įkvėpti šių struktūrų ir natūralios fotosintezės mechanizmų, tyrėjai plačiai sukūrė dirbtinius saulės energijos konversijos į kurą procesus, leidžiančius anglies dioksidą paversti daugiaangliais produktais, taip pat saulės energija generuoti vandenilį (Liu ir kt., 2021).

Atkartojant chlorofilo struktūrą ir funkcinis fotosintezės procesus augalų lapuose, buvo sukurti dirbtiniai lapai, leidžiantys rinkti ir konvertuoti bioinspiruotą saulės energiją (Van Noorden, 2021, Reece ir kt., 2011, Nguyen ir kt., 2017).

Siekiant pagerinti dujų difuziją ir šviesos surinkimo efektyvumą, trimatės dirbtinės fotosintezės sistemos dažnai kuriamos su hierarchine elektrodų struktūra, panašia į natūralaus lapo. Pavyzdžiui, dirbtiniai lapai buvo sukurti naudojant sintetines nanomedžiagas, įterptas į augalinės kilmės karkasus, taip sudarant biohibridines sistemas (Zhou, 2013).

Fotovoltinis lapas imituoja augalų lapų transpiracijos procesą, kad atvėsintų saulės elementus ir pagerintų jų efektyvumą. Ši konstrukcija apima **biomimetinis transpiracijos sluoksnis** Pagaminta iš bambuko pluošto ir hidrogelio elementų, kurie pasyviai perkelia vandenį iš rezervuaro, kad atvėsintų saulės baterijų





paviršių. Sumažindama darbinę temperatūrą iki 26 °C, PV plokštė padidina elektros energijos vartojimo efektyvumą ir vienu metu gali gaminti elektrą, šilumą ir švarų vandenį.

Sintezės proceso metu natūrali lapo architektūra ir venacijos sistemos buvo tiesiogiai atkartotos ir įtrauktos į dirbtinę fotosintezės sistemą, sukuriant trimatį hierarchinį makroporų tinklą. Šie dirbtiniai lapai, pagaminti naudojant žmogaus sukurtus katalizatorius, efektyviai sugauna šviesą ir palengvina anglies dioksido fotoredukciją, imituodami natūralius fotocheminius procesus, kad natūralioje arba imituojamoje saulės šviesoje anglies dioksidas ir vanduo būtų paverčiami didelės vertės angliavandeniliais. Be biologiškai įkvėptų anglies dioksido surinkimo ir konversijos prietaisų, per pastarąjį dešimtmetį atlikti tyrimai tyrė saulės vandens skaidymą naudojant lapų įkvėptas struktūras. Tikimasi, kad vandenilis, kaip švarus energijos šaltinis be anglies dioksido emisijų, vaidins labai svarbų vaidmenį ateities energijos sistemose, ypač kai jis generuojamas vandens skaidymo reakcijų metu. Vandenilio gamybos skaidant vandenį koncepcijai taip pat įtakos turėjo natūralūs fotosintezės mechanizmai (Velasco-Garcia ir Casadevall, 2023).

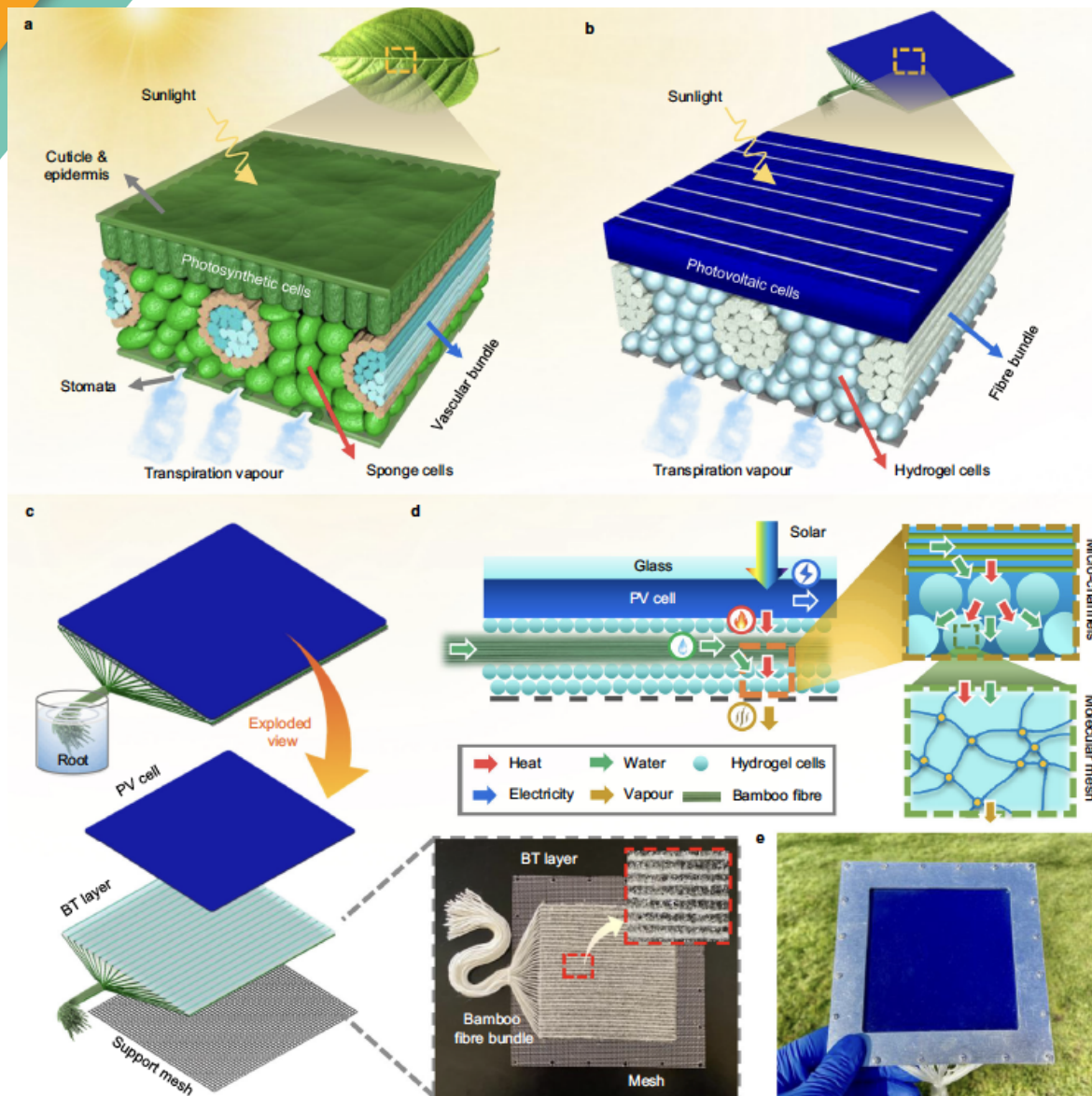
Tipiško augalo lapo struktūrą sudaro fotosintetinančios ląstelės, kraujagyslių pluoštai (gyslos), kempinės ląstelės, žiotelės, odelė ir epidermis, kaip parodyta 1a paveiksle. Vandens pernaša augale vyksta kapiliarinių jėgų ir osmosinio slėgio skatinamu procesu, leidžiančiu skystam vandeniui judėti iš dirvožemio į lapus. Kraujagyslių pluoštuose yra mikrokanaļų, kurie efektyviai paskirsto vandenį visame lape, kuris vėliau išgaruoja iš ląstelių paviršiaus transpiracijos metu.

Įkvėptas transpiracijos efektyvumo ir natūralių lapų struktūrinio dizaino, PV lapui buvo sukurta biomimetinė transpiracijos struktūra, kaip parodyta 1b paveiksle. Ši konstrukcija integruoja biomimetinį transpiracijos (BT) sluoksnį, pritvirtintą prie saulės PV elemento galo, kuris pagerina šilumos išsklaidymą. Kraujagyslių pluoštų funkcija atkartojama naudojant natūralius bambuko pluošto pluoštus, užtikrinančius efektyvų vandens transportavimą ir paskirstymą. Tuo tarpu hidrogelio ląstelės, turinčios didelį specifinį paviršiaus plotą ir geresnes vandens sugerties savybes, pakeičia kempinės ląsteles, skatinamos efektyvų garavimą.

Detali PV lapo transpiracijos struktūros konfigūracija parodyta 1c paveiksle, kurią sudaro BT sluoksnis (~1 mm storio), atraminis tinklėlis (0,5 mm storio) ir PV celių sluoksnis (~150 µm storio), dengiantis 10 × 10 cm² efektyvų plotą. BT sluoksnyje yra įterpta maždaug 30 bambuko pluošto ryšulių šakų, tolygiai paskirstytų kalio poliakrilato (PAAK) superabsorbcinio polimero (SAP) hidrogelyje, kuris palengvina tolygų vandens pasiskirstymą visame sluoksnyje. Pluošto šakų galai yra surenkami ir panardinami į vandenį, išlaikant nuolatinę hidrataciją.

Žingsnis po žingsnio PV lapų transpiracijos struktūros gamybos procesas pateiktas 1 papildomame paveiksle, o 2 papildomame paveiksle pateikta grandinės schema, kurioje išsamiai aprašyta elektrinė matavimo sistema, naudojama našumui įvertinti (Huang ir kt., 2023).

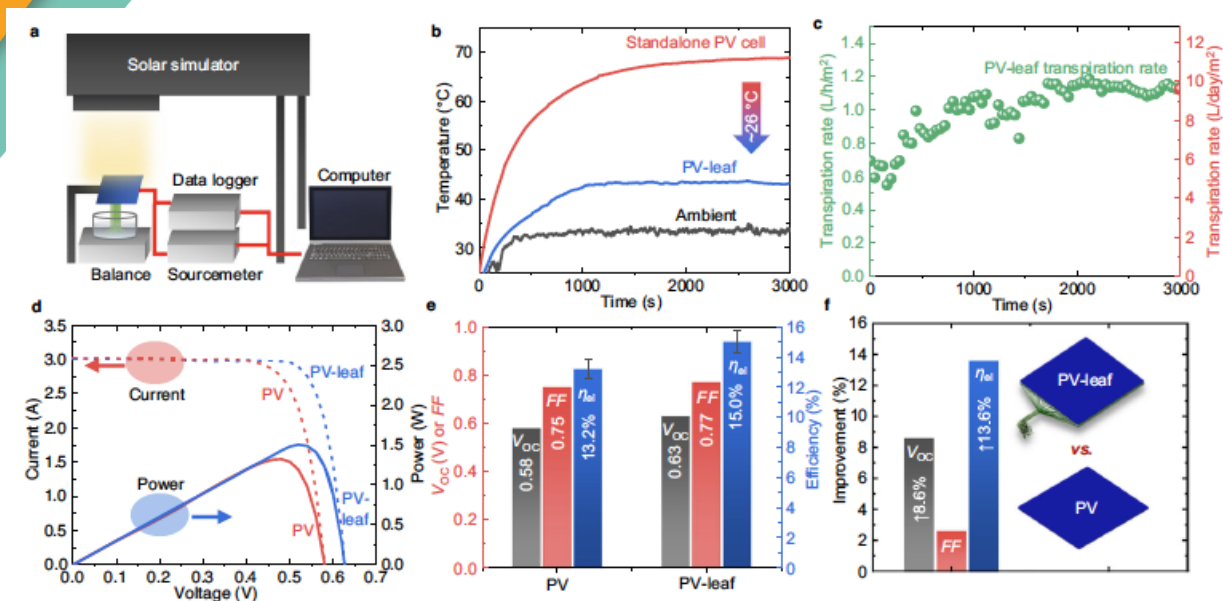




4 pav. Biologiškai įkvėpto PV lapo struktūra ir funkcija . a. Natūralus lapas turi kraujagyslių pluoštai kuris tolygiai paskirsto vandenį per paviršių, todėl aušinimas transpiracijos būdu, kuris apsaugo fotosintezę. b. Biologiškai įkvėptas PV lapas imituoja šį procesą naudodamas hidrofiliniai pluošto pluoštai ir hidrogelio ląstelės atkartoti tikro lapo vandens transportavimo ir kaupimo funkcijas. c. The biomimetinio transpiracijos (BT) sluoksnis yra pagamintas iš bambuko pluošto ryšuliai ir hidrogelio ląstelės, kurių pluošto šaknys yra vandenyje, kad būtų nuolat tiekama drėgmė. d. Vanduo juda iš pluošto šaknys į hidrogelio ląsteles per kapiliarinis veikimas ir osmozė. Garuodamas vanduo pašalina šilumą iš fotovoltinio elemento, išlaikydamas jį vėsų.



e. Tikras gyvenimas PV lapo prototipo nuotrauka parodyta, kaip ši biologiškai įkvėpta struktūra pritaikoma veikiančiam saulės elementui (Huang ir kt., 2023).



5 pav. Kaip PV lapas pagerina saulės baterijų veikimą. a. Norint patikrinti, ar gerai veikia PV lapas, buvo sukurta speciali įranga, naudojant saulės simulatorių, kuris skleidžia šviesą, panašią į saulės šviesą. Ši įranga padeda išmatuoti vėsinantį poveikį ir energijos vartojimo efektyvumą palyginti su įprasta saulės baterija. b. Fotovoltinė plokštė išlieka daug aušintuvas nei įprasta saulės baterija. Bandymai parodė, kad Biomimetinis transpiracijos sluoksnis padeda žymiai sumažinti jo temperatūrą, apsaugo nuo perkaitimo ir pagerina našumą. c. PV lapas išskiria vandenį per transpiraciją, kaip ir tikras lapas. Šis procesas padeda pašalinti šilumą iš saulės baterijos, todėl ji tampa efektyvesnė. Laikui bėgant išgaravusio vandens kiekis rodo, kaip gerai veikia aušinimo sistema. d. Fotovoltinis lapas gamina daugiau energijos nei standartinis saulės modulis. Patobulinta aušinimo sistema padeda saulės elementams generuoti didesnę galią, todėl jie efektyviau sugauna ir naudoja saulės šviesą. e. Pagrindiniai matavimai rodo, kad PV-lapas veikia geriau energijos gamybos ir efektyvumo požiūriu, palyginti su įprasta saulės baterija. f. Apskritai PV-leaf pagerina saulės energijos konversiją, nes palaiko vėsią plokštę ir užtikrina didesnį efektyvumą visą dieną. Šis biologiškai įkvėptas dizainas gali padėti gaminti saulės baterijas efektyvesnis ir tvaresnis ateityje (Huang ir kt., 2023).

Fotosintezę įtakojantys veiksniai ir jų vaidmuo biologiškai įkvėptoje saulės technologijoje

Fotosintezė yra sudėtingas biocheminis procesas, kuriam įtakos turi įvairūs veiksniai aplinkos ir fiziologiniai veiksniai. Šie veiksniai lemia greitį, kuriuo augalai šviesos energiją paverčia





cheminė energija, tiesiogiai paveikdami augalų augimą, anglies absorbciją ir deguonies gamybą. Šių veiksmų supratimas ne tik padeda pagerinti žemės ūkio efektyvumą, bet ir vadovauja dirbtinių fotosintezės sistemų ir biologiškai įkvėptų saulės technologijų kūrimui.

1. Šviesos intensyvumas: saulės šviesos galia

Šviesa yra fotosintezės varomoji jėga. Kuo didesnis šviesos intensyvumas, tuo daugiau energijos yra chlorofilo elektronams sužadinti, o tai veda prie fotosintezės greičio padidėjimas. Tačiau yra soties taškas, po kurio papildoma šviesa nebespartina proceso, nes augalo biocheminiai mechanizmai negali efektyviai apdoroti papildomos energijos.

- Prasto apšvietimo sąlygos (pvz., pavėsyje arba giliavandeniuose dumbliuose) fotosintezę sulėtėja dėl nepakankamo fotonų prieinamumo.
- Per daug šviesos gali sukelti fotoinhibiciją, kai per didelė šviesa pažeidžia fotosintezės pigmentus ir sumažina efektyvumą.
- Bioįkvėptas saulės energijos ryšys: Inžinieriai projektuoja saulės baterijos ir dirbtinės fotosintezės sistemos tyrinėti, kaip augalai optimizuoja šviesos absorbciją. Kai kurie tyrėjai kuria adaptyvios saulės baterijos kurie imituoja lapų gebėjimą reguliuoti savo orientaciją, kad jie gautų kuo daugiau saulės šviesos (https://www.rsb.org.uk/images/15_Photosynthesis.pdf).

2. Anglies dioksido koncentracija: kuras anglies fiksacijai

Anglies dioksidas (CO_2) yra būtinas Kalvino ciklas, kur jis yra paverčiamas gliukoze. Kuo didesnis kuo didesnė CO_2 koncentracija, tuo greitesnis anglies fiksacijos greitis – iki tam tikros ribos. Tačiau esant labai didelėms koncentracijoms, poveikis susilpnėja dėl fermentų aktyvumo ir energijos tiekimo apribojimų.

- Ribojamas CO_2 lygis: Aplinkose, kuriose mažai CO_2 , fotosintezę sulėtėja, nes augalai negali efektyviai gaminti cukrų.
- Pramonės ir miesto poveikis: Padidėjęs CO_2 kiekis dėl žmogaus veiklos sustiprinti fotosintezę bet taip pat gali lemti klimato disbalansas paveikdamas augalų augimą.
- Bioįkvėptas saulės energijos ryšys: Mokslininkai ieško būdų, kaip efektyviai surinkti ir panaudoti CO_2 dirbtinėje fotosintezėje, kuriant sistemas, kurios atmosferos CO_2 paverčia tvariu kuru (Wang ir kt., 2022).

3. Temperatūra: fermentų vaidmuo energijos konversijoje

Temperatūra daro didelę įtaką fotosintezei, nes ji veikia fermentų aktyvumas, ypač RuBisCO – fermentas, atsakingas už anglies fiksaciją.

- Optimalūs temperatūros diapazonai: Fotosintezės pikas paprastai būna didžiausias per vidutinę temperatūra (15–30 °C). Žemesnėje nei ši temperatūra, fermentų aktyvumas sulėtėja, o aukštesnėje temperatūroje fermentai denatūruoti, dėl ko sumažėja efektyvumas.
- Didelis šilumos ir vandens nuostolis: Aukšta temperatūra taip pat sukelia per didelę transpiraciją, sumažinanti vandens prieinamumą, kuris yra labai svarbus fotosintezei.





- Bioįkvėptas saulės energijos ryšys: Dirbtinės fotosintezės sistemos turi būti termiškai stabilus, užtikrinantis efektyvų energijos konvertavimą esant skirtingoms temperatūros sąlygoms. Mokslininkai tyrinėja karščiui atsparūs katalizatoriai kurie imituoja dykumų augalų atsparumą temperatūrai.

4. Vandens prieinamumas: būtinas fotosintezės reakcijoms

Vanduo yra skaidymasis šviesos priklausomų reakcijų metu fotosintezės, teikiančios elektronai ir protonai reikalingas energijos gamybai. Ribotas vandens prieinamumas sulėtina arba sustabdo fotosintezę, dėl to žiotelių uždarymas siekiant išsaugoti drėgmę, bet kartu sumažinti CO₂ įsisavinimą.

- Sausros sąlygos: Sausringose aplinkose augantys augalai išvystė specializuotus mechanizmus, tokius kaip Krasulacean rūgščių metabolizmo (CAM) fotosintezė, siekiant išsaugoti vandenį, tuo pačiu vykdant fotosintezę.
- Bioįkvėptas saulės energijos ryšys: Mokslininkai kuria vandenį taupanti dirbtinė fotosintezės sistemos, kurios efektyviai veikia net ir mažai drėgnoje aplinkoje, imituojant Dykumos augalų adaptacijas.

5. Šviesos bangos ilgis ir kokybė: daugiau nei vien ryškumas

Ne visa šviesa yra vienodai efektyvi fotosintezei. Chlorofilas daugiausia sugeria raudoną ir mėlyną šviesą, o žaliąją – minimaliai, todėl lapai atrodo žali.

- Dirbtiniai šviesos šaltiniai: LED technologija dabar naudojama kontroliuojamos ūkininkavimo aplinkos į optimizuoti augalų augimą teikiant efektyviausius bangos ilgius.
- Bioįkvėptas saulės energijos ryšys: Tyrimai šviesos derliaus medžiagos įkvėptas fotosintetinių antenų kompleksai siekiama pagerinti saulės elementų efektyvumą, sugaunant platesnį saulės šviesos spektrą energijos konvertavimui.

Fotosintezė kaip ateities energetikos sprendimų modelis

Be gyvybės palaikymo, fotosintezė atlieka ir kitas funkcijas. Įkvėpimas dirbtinėms energijos sistemoms. Mokslininkai aktyviai kuria biologiškai įkvėpta saulės technologija į atkartoti ir sustiprinti natūralius energijos konversijos mechanizmus:

- Dirbtinė fotosintezė: Imituoja augalų gebėjimą skaidyti vandenį ir kaupti energiją cheminėmis jungtimis, potencialiai gamindamas švarus vandenilio kuras.
- Biohibridinės saulės baterijos: Integruoti natūralūs baltymai arba pigmentai iš augalų į fotovoltinius įrenginius, siekiant padidinti jų efektyvumą.
- Savaime atsistatančios saulės baterijos: Įkvėptas Atsižvelgdami į augalų ląstelių savaiminio atsistatymo pobūdį, tyrėjai kuria medžiagas, kurios gali Pataiso saulės spindulių padarytą žalą, prailgindamas plokščių tarnavimo laiką.





Supratimas fotosintezę veikiantys veiksniai ne tik padeda mums įvertinti gamyklos efektyvumą, bet taip pat vadovauja būsimoms inovacijoms saulės energijos srityje. Studijuodami Šviesos absorbcijos, CO₂ surinkimo, temperatūros reguliavimo ir energijos kaupimo augaluose srityje mokslininkai daro didelę pažangą kurdami išmanesnes, efektyvesnes ir tvaresnes saulės energijos technologijas.

Papildytos realybės integravimas į saulės lapus: kaip augalai moko mus rinkti energiją

1. Įvadas: Mokymosi gerinimas naudojant papildytąją realybę

Papildytoji realybė (AR) transformuoja švietimą, kurdama įtraukią ir interaktyvią mokymosi aplinką, kuri panaikina atotrūkį tarp teorinių žinių ir jų pritaikymo realiame pasaulyje. Mokslo ugdyme AR leidžia mokiniams vizualizuoti abstrakčias sąvokas, sąveikauti su 3D modeliavimais ir manipuliuoti virtualiais objektais, kurie kitaip būtų nepasiekiami tradicinėje klasėje.

Vis daugiau dėmesio skiriant STEM (mokslo, technologijų, inžinerijos ir matematikos) ugdymui, papildytoji realybė (AR) suteikia mokiniams naujų galimybių per patirtinį mokymąsi susipažinti su sudėtingais moksliniais principais. Tyrimai parodė, kad mokymasis, pagrįstas AR, padidina mokinių įsiminimo rodiklius ir pagerina sąvokų supratimą, palyginti su įprastais mokymo metodais. AR naudojimas gamtos mokslų pamokose gerina erdvinį pažinimą, padėdamas mokiniams veiksmingiau suvokti sudėtingus biologinius ir fizinius procesus (Kaiwenas ir Wangas, 2024 m).

Saulės energijos ir biologiškai įkvėptų technologijų kontekste papildytoji realybė (AR) yra vertinga priemonė, padedanti pademonstruoti fotosintezės principus ir ištirti, kaip mokslininkai atkartoja šiuos natūralius procesus šiuolaikinėse saulės technologijose. Gebėjimas vizualizuoti šviesos sugerties, elektronų perdavimo ir energijos kaupimo mechanizmus naudojant AR padeda studentams susieti biologinį efektyvumą su žmogaus sukurtomis saulės technologijomis. Šiame mokymo modulyje AR integruojama į temą „Saulės lapai: kaip augalai moko mus rinkti energiją“, siekiant palengvinti gilesnį supratimą, skatinti smalsumą ir įkvėpti inovacijas tvarios energijos sprendimų srityje.

2. AR diegimas mokymo modulyje „Saulės lapai“

AR integravimas į šį mokymo modulį atliekamas laikantis struktūrizuoto požiūrio, pagerinti supratimą, įsitraukimą ir praktinį pritaikymą fotosintezės ir biologiškai įkvėptų saulės technologijų. Pasitelkiami AR simuliacijos, 3D modeliai ir interaktyvi patirtis leis studentams tiesiogiai pamatyti, kaip augalai saulės šviesą paverčia energija ir kaip mokslininkai šiuos principus taiko atsinaujinančiosios energijos plėtrai.

Viena iš pagrindinių šiame skyriuje naudojamų AR programų yra „McGraw Hill AR“, kuriame siūlomi interaktyvūs 3D modeliai, iliustruojantys chloroplastų struktūrą, nuo šviesos





priklausomas ir nuo šviesos nepriklausomas fotosintezės reakcijas ir molekulinis energijos konversijos kelius. Studentai gali manipuluoti šiais modeliais, kad stebėtų, kaip chlorofilas sugeria saulės šviesą, kaip elektronai juda elektronų pernašos grandine ir kaip sintetinamas ATP ir NADPH. Ši praktinė sąveika sustiprina teorines žinias ir leidžia studentams matyti procesus, kurie kitaip būtų nematomi plika akimi (McGraw Hill, AR).

Be natūralios fotosintezės vizualizavimo, AR padeda mokiniams tyrinėti biologiškai įkvėptos saulės technologijos, kuriomis siekiama imituoti augalų efektyvumą renkant saulės energiją. Tokios taikymo sritys kaip FotosintezėVR leisti studentams eksperimentuoti su dirbtinėmis fotosintezės sistemomis, imituoti saulės baterijų dizainą, pagrįstą augalų struktūromis, ir palyginti natūralius bei sintetinius energijos konversijos mechanizmus. Atlikdami šiuos modeliavimus, studentai gali įvertinti biologiškai įkvėptų saulės elementų privalumai, tokie kaip pagerintas jų efektyvumas ir gebėjimas savarankiškai atsinaujinti, panašiai kaip atsinaujina lapai (<https://avrd.mediencampus.h-da.de/projekt/95635/?utm>).

Be esamų AR įrankių, pritaikytos AR patirtys galima kurti naudojant tokias platformas kaip „Unity AR Foundation“, leidžianti pedagogams kurti interaktyvius, su mokymo programa susijęs AR turinys. Naudojant Unity pagrindu sukurtas AR programos, kurias studentai gali atlikti virtualūs laboratoriniai eksperimentai kur jie koreguoja tokius kintamuosius kaip šviesos intensyvumas, bangos ilgis ir temperatūra stebėti kaip šie veiksniai veikia fotosintezę ir saulės energijos absorbciją. Tai leidžia suasmenintos mokymosi patirtys, kai studentai aktyviai tikrinti hipotezes ir analizuoti realaus laiko duomenis virtualioje aplinkoje.

Kitas svarbus AR integracijos aspektas yra jos potencialas stiprinti grupių bendradarbiavimą ir mokymąsi vieni iš kitų. Bendradarbiaujant su bendrinami AR modeliai, studentai gali aptarti stebėjimus, palyginti eksperimentinius rezultatus ir kartu kurti sprendimus į realius iššūkius atsinaujinančios energijos srityje. kelių žaidėjų AR patirtis, kai keli studentai realiuoju laiku sąveikauja su tuo pačiu virtualiu modeliu, skatina komandinį darbą, kritinį mąstymą ir problemų sprendimo įgūdžius.

Nepaisant privalumų, AR integravimas į gamtos mokslus kelia iššūkių, tokių kaip techninis prieinamumas, turinio kokybė ir mokymosi pritaikymas. Ne visi mokiniai gali turėti prieigą prie su AR suderinamais įrenginiais, todėl pedagogams gali reikėti mokymai, kaip efektyviai įdiegti papildytosios realybės įrankius mokymo programoje. Be to, Vis dar kuriamos aukštos kokybės papildytosios realybės (AR) programos, atitinkančios konkrečius mokymosi tikslus. Šių iššūkių sprendimas apima teikti įrenginių bendrinimo galimybes, siūlyti profesinio tobulėjimo programas mokytojams ir pasirinkti moksliškai patvirtintą AR turinį (Kaiwen ir Wang, 2024).

Kruopščiai planuojant papildytosios realybės (AR) pagrindu veikiančias mokymosi veiklas, šis mokymo modulis užtikrina, kad studentai įgytų Holistinis fotosintezės, biologiškai įkvėptos saulės technologijos ir tvarios energijos inovacijų ateities supratimas.

Papildyta realybė reiškia transformuojantis pokytis, kaip studentai sąveikauja su mokslinėmis sąvokomis, peržengiant pasyvaus mokymosi ribas ir siekiant interaktyvios, tyrinėjimo kupinos patirtys. Integruojant papildytąją realybę į Saulės lapai mokymo vienetas, studentai ne tik sužinokite apie fotosintezę ir saulės energijos konversiją bet taip pat patirti šiuos procesus taip, kad būtų gilinamas supratimas ir skatinamos inovacijos.

Pasauliui pereinant prie atsinaujinančios energijos sprendimai, galimybė imituoti gamtos efektyvumą saulės energijos panaudojimas atliks lemiamą vaidmenį plėtojant tvarios technologijos. AR pagrįstas mokymasis mažina atotrūkį tarp biologijos ir inžinerijos,





skatindamas studentus tyrinėti Kaip moksliniai gamtos atradimai gali padėti kurti pažangiausias energijos sprendimus . AR naudojimas skatina smalsumą, kūrybiškumą ir problemų sprendimą – tai esminiai įgūdžiai kitai mokslininkų ir inžinierių kartai.

Nuolatinė pažanga AR technologijos, dirbtinis intelektas ir mašininis mokymasis dar labiau išplės potencialą suasmenintas, duomenimis pagrįstas mokymosi patirtis . Būsimoje tyrimuose gali būti nagrinėjama, kaip realaus laiko AR eksperimentai , haptinis grįžtamasis ryšys ir Dirbtinio intelekto valdomos simuliacijos gali sukurti dar labiau įtraukiančią edukacinę aplinką, užtikrinant, kad mokiniai ne tik supranta mokslą, bet ir aktyviai dalyvauja jo raidoje (https://www.reuters.com/sustainability/land-use-biodiversity/bullet-trains-green-buildings-innovators-take-cue-nature-through-biomimicry-2025-01-13/?utm_source=chatgpt.com).

Priimdami AR kaip pagrindinę mokslo ugdymo priemonę, mes paruošti studentus tarpdisciplininio mokymosi ateičiai, kurioje susilieja biologija, technologijos ir tvarumas . AR integravimas į šį mokymo modulį suteikia Dinamiškas ir į ateitį orientuotas požiūris į saulės energijos, biologiškai įkvėptų technologijų ir aplinkos mokslų mokymą , suteikiantis studentams žinių ir įgūdžių, reikalingų spręsti pasaulinius energetikos iššūkius.

Vykdomo ir patobulinimo pavyzdys:

Technologijų integravimas į švietimą pakeitė tai, kaip mokiniai nagrinėja sudėtingas mokslines sąvokas, todėl mokymasis tapo interaktyvesnis ir prieinamesnis. Papildytoji realybė (AR) tapo galinga edukacine priemone, kuri tobulina tradicinius mokymo metodus, užtikrindama įtraukiantį, realaus laiko sąveiką su skaitmeniniu turiniu. Kitaip nei Virtuali realybė (VR), AR, kuri sukuria visiškai naujas aplinkas, perkelia skaitmeninę informaciją į realų pasaulį, suteikdama besimokantiems galimybę vizualizuoti abstrakčius procesus apčiuopiamesniu ir įdomesniu būdu.

Viena iš sunkiausiai suprantamų biologinių sąvokų jauniems studentams yra fotosintezė – procesas, kurio metu augalai saulės šviesą paverčia chemine energija. Tradiciniai teksto ir paskaitų principais paremti mokymo metodai dažnai sunkiai perteikia šią koncepciją aiškiai ir patraukliai, nes studentams sunku įsivaizduoti molekulių sąveiką ir energijos transformacijas. Siekiant tai išspręsti, naudojami AR pagrindu sukurtos mobiliosios programėlės įgijo pripažinimą kaip novatoriškas mokymo metodas. Šios programos leidžia mokiniams sąveikauti su 3D augalų modeliais, stebėti animuotus fotosintezės procesus ir manipuliuoti kintamaisiais, siekiant suprasti skirtingą aplinkos poveikį augalų energijos konversijai.

Edukaciniai privalumai AR mokantis gamtos mokslų buvo plačiai pripažinti. Tyrimai parodė, kad papildytoji realybė pagerina supratimą, suteikdama interaktyvios vizualizacijos kurie panaikina atotrūkį tarp teorinių žinių ir praktinio supratimo. Ankstesni tyrimai parodė, kad papildytosios realybės (AR) taikymas pagerina studentų įsitraukimą ir rezultatus įvairiose mokslo disciplinose, įskaitant mechaninis projektavimas, matematika ir astronomija . Pavyzdžiui, nustatyta, kad papildytosios realybės (AR) mokymo metodai gerokai pagerina mokinių supratimą apie Mėnulio fazės ir matematinė analizė palyginti su įprastiniais metodais.

Fotosintezės mokymo kontekste AR technologija gali atlikti labai svarbų vaidmenį sprendžiant conceptualius iššūkius , su kuriais susiduria mokiniai ir net mokytojai. Tyrimai parodė, kad daugelis pedagogų nežino apie mokinių klaidingas fotosintezės sampratas ir dažnai trūksta tinkamų eksperimentinių demonstracijų, kurios veiksmingai paaiškintų šias sąvokas. Nustatyta, kad tradicinės paskaitos kartu su praktine veikla, pavyzdžiui, chloroplastų fizinių modelių kūrimu, pagerina mokinių įsitraukimą. Tačiau papildytoji realybė žengia dar vieną žingsnį, siūlydama





interaktyvios simuliacijos realiuoju laiku, leidžiančios studentams vizualizuoti fotosintezę tiek makroskopiniu, tiek molekulinio lygmenimis.

Siekiant ištirti AR pagrindu sukurtą mokymosi efektyvumą, šiame tyrime nagrinėjamas konkretus edukacinis pratimas, kuriame naudojama AR mobilioji programėlė, skirta mokyti jaunos mokinius fotosintezės. (visą aprašymą rasite pridėtame dokumente:)
<https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=10645875>).

Pratimo apžvalga

Šiame edukaciniame pratybe nagrinėjamas papildytosios realybės (AR) technologijos naudojimas kaip novatoriška priemonė mokant jaunos mokinius apie fotosintezę. Tradiciniai mokymo metodai, tokie kaip vadovėliai ir paskaitos, dažnai sunkiai įgyvendinami, kad šis sudėtingas biologinis procesas būtų įtraukiantis ir suprantamas mokiniams. Šiame pratybe naudojama AR pagrindu sukurta mobilioji programėlė suteikia interaktyvią mokymosi patirtį, leisdama mokiniams vizualizuoti fotosintezę realiuoju laiku per 3D augalų modelius ir animacijas.

Skirtingai nuo įprastų metodų, kurie labai remiasi statinėmis diagramomis ir žodiniais paaiškinimais, ši papildytosios realybės (AR) programa siūlo dinamišką ir įtraukiančią patirtį, abstrakčias sąvokas paverčiant apčiuopiamesnėmis. Naudodami šį skaitmeninį metodą, mokiniai gali stebėti augalų struktūras, imituoti šviesos absorbciją ir labai interaktyviai sekti saulės energijos virsmą chemine energija. Šis pratimas ne tik pagerina sąvokų supratimą, bet ir pagerina mokinių įsitraukimą, motyvaciją ir mokslinių žinių įsiminimą.

AR pratybų įgyvendinimas

1. Mokymosi tikslai

Pratimo tikslas:

- Supažindinti mokinius su fotosintezės procesu, pabrėžiant, kaip augalai saulės šviesą paverčia chemine energija.
- Tobulinkite vizualizacijos įgūdžius naudodami interaktyvius 3D modelius, kad ištirtumėte skirtingų augalų struktūrų vaidmenį.
- Suteikti mokiniams galimybę manipuliuoti aplinkos kintamaisiais, tokiais kaip šviesos intensyvumas ir anglies dioksido kiekis, kad būtų galima stebėti jų poveikį fotosintezei.
- Skatinkite aktyvų mokymąsi ir mokslinius tyrimus, skatindami mokinius eksperimentuoti, analizuoti ir daryti išvadas.

2. AR pagrindu sukurta mokymosi patirtis.

Mobilioji AR programa imituoja pagrindinius fotosintezės proceso etapus ir leidžia mokiniams sąveikauti su skaitmeniniais augalų modeliais naudojant mobiliuosius įrenginius arba planšetinius kompiuterius. Pratimas apima šias pagrindines funkcijas:

- Augalų modelių sąveika: mokiniai gali priartinti ir pasukti 3D augalų modelius, sutelkdami dėmesį į pagrindines struktūras, tokias kaip lapai, chloroplastai ir žiotelės. Jie gali bakstelėti skirtingus komponentus, kad sužinotų apie jų funkcijas fotosintezėje.





- Šviesos sugerties modeliavimas : programėlė iliustruoja, kaip chlorofilas sugeria šviesos energiją ir inicijuoja reakcijų seką. Animacijų pagalba mokiniai gali stebėti elektronų sužadinimą ir vandens molekulių skilimą, dėl kurio išsiskiria deguonis.
- Fotosintezės proceso stebėjimas : žingsnis po žingsnio animacijoje mokiniai supažindinami su šviesos priklausomomis reakcijomis ir Kalvino ciklu, pabrėžiant šviesos energijos virsmą į ATP ir NADPH, o vėliau – į anglies dioksido konversiją į gliukozę.
- Reguluojami aplinkos veiksniai : mokiniai modeliavimo metu gali keisti šviesos intensyvumą, CO₂ lygį ir temperatūrą, kad stebėtų, kaip šie kintamieji veikia fotosintezės greitį. Ši funkcija leidžia eksperimentuoti realiuoju laiku, leisdamas besimokantiejiems patikrinti hipotezes ir analizuoti rezultatus.
- Vertinimo ir grįžamojo ryšio mechanizmas : programoje yra integruoti vertinimo įrankiai, tokie kaip testai ir interaktyvūs pratimai, skirti stebėti mokinių supratimą ir mokymosi pažangą. Šie vertinimai matuoja:
 - § Pagrindinių sąvokų supratimas (pvz., fotosintezės reagentų ir produktų identifikavimas).
 - § Gebėjimas analizuoti eksperimentinius duomenis (pvz., numatyti, kaip besikeičiančios apšvietimo sąlygos veikia deguonies gamybą).
 - § Įsitraukimas į modeliavimą (pvz., skirtingų augalų struktūrų ir jų vaidmens energijos konversijoje tyrinėjimas).

Palyginimas su tradiciniais mokymo metodais

Vienas pagrindinių tradicinio ugdymo iššūkių yra tas, kad studentams dažnai sunku įsivaizduoti molekulinį procesą, vykstantį mikroskopiniu lygmeniu. Vadovėliai ir statinės diagramos suteikia tik ribotą supratimą apie dinamišką fotosintezės pobūdį. Be to, paskaitomis grindžiamas mokymas dažnai nesugeba aktyviai įtraukti studentų į praktinį mokymąsi.

Priešingai, AR pagrįstas metodas pagerina konceptualų aiškumą, leisdamas studentams sąveikauti su skaitmeniniais modeliais, stebėti realaus laiko simuliacijas ir manipuliuoti kintamaisiais, kad iš karto pamatytų rezultatus. Šioje lentelėje pateikiami pagrindiniai skirtumai:

Aspektas	Tradicionis mokymas	AR pagrindu sukurtas mokymasis
Vizualizacija	Statinės diagramos ir tekstas	Interaktyvūs 3D modeliai ir animacijos
Studentų įsitraukimas	Pasyvus klausymasis ir skaitymas	Aktyvus dalyvavimas ir tyrinėjimas realiuoju laiku
Eksperimentai	Apribota klasės išteklių	Virtualios simuliacijos su reguliuojamomis sąlygomis
Konceptualus supratimas	Gali sukelti klaidingų įsitikinimų	Aiškios, interaktyvios demonstracijos
Vertinimas	Popieriniai testai ir viktorinos	Integruotos programėlės pagrindu sukurtos viktorinos ir atsiliepimai

AR pratimas sujungia teoriją ir jos taikymą realiame pasaulyje, todėl mokymasis tampa įtraukėnis, lankstesnis ir efektyvesnis.





AR pagrindu sukurtos fotosintezės pratimo privalumai

Papildytos realybės įdiegimas mokant fotosintezės suteikia keletą privalumų:

1. Patobulintas konceptualus aiškumas: interaktyvūs 3D modeliai ir animacijos leidžia lengviau suprasti abstrakčius biologinius procesus.
2. Didesnis mokinių įsitraukimas: praktinė, žaidimo principu paremta mokymosi patirtis skatina mokinius aktyviai dalyvauti moksliniuose tyrinėjimuose.
3. Eksperimentavimas realiuoju laiku: modifikuodami aplinkos veiksnius, mokiniai gali analizuoti priežastis ir pasekmės ryšius fotosintezėje.
4. Prieinamumas ir patogumas: AR pagrindu sukurta mobilioji programėlė yra nešiojama ir patogi naudoti, leidžianti mokiniams mokytis savo tempu.

Fazė	Aprašymas
Tyrinėjimas	- Tyrimai ir atradimai: ištirkite, kaip augaluose vyksta natūrali fotosintezė ir kaip ji įkvepia saulės energijos technologijas.
	- Turinio kūrimas: parengti pagrindinę medžiagą apie biologiškai įkvėptas saulės technologijas, fotosintezę ir papildytosios realybės (AR) integraciją.
	- Poreikių analizė: įvertinti mokinių fotosintezės, saulės energijos ir STEM integravimo supratimą, siekiant pritaikyti mokymosi patirtį.
Taikymas	- Mokymo programos įgyvendinimas: naudojant papildytosios realybės įrankius, vesti interaktyvias pamokas apie saulės energiją, įkvėptas augalų biologijos.
	- Interaktyvūs pratimai: naudokite papildytosios realybės (AR) programas (pvz., „PhotosynthesisVR“, „McGraw Hill AR“) fotosintezės modeliavimui ir biologiškai įkvėptų saulės baterijų projektavimui.
	- Atsiliepimų rinkimas: diskusijų ir apmąstymų metu rinkti mokinių ir mokytojų atsiliepimus apie papildytosios realybės (AR) efektyvumą ir mokymosi rezultatus.
Gilinimas	- AR integravimas: įterpkite AR modeliavimą, kad vizualizuotumėte molekulinės fotosintezės procesus ir išbandytumėte saulės baterijų efektyvumą.
	- Interaktyvus mokymasis: suteikti mokiniams galimybę manipuluoti aplinkos veiksniais, tokiais kaip šviesos intensyvumas ir CO ₂ koncentracija AR.
	Žaidimo turinys: - Taškai ir ženkleliai. Apdovanokite mokinius už papildytosios realybės (AR) iššūkių įvykdymą (pvz., veikiančio saulės baterijos prototipo sukūrimą). - Lyderių lentelės: Suskirstykite mokinius arba komandas pagal jų rezultatus energijos vartojimo efektyvumo modeliavimuose. - Užduotys ir lygiai. Sukurkite progresyvius iššūkius nuo pagrindinės fotosintezės iki saulės elementų kūrimo. - Atlygiai už tyrinėjimą: AR modeliuose paslėpkite energijos faktus arba komponentus, kad paskatintumėte gilesnį tyrinėjimą.





	- Bendradarbiavimo pagrindų sukurtos žaidimo užduotys. Komandos kuria ir optimizuoja virtualias saulės baterijas, siekdamos maksimalaus efektyvumo.
	AR pagrįsti vertinimai: - Įtraukite papildytosios realybės modeliavimą ir virtualias laboratorijas į formuojamuosius vertinimus, kad parodytumėte saulės energijos konversijos koncepcijų supratimą.

Literatūra

- Chen H, Zhang P, Zhang L, Liu H, Jiang Y, Zhang D, Han Z ir Jiang L 2016 Nuolatinė kryptinga vandens pernaša Nepenthes alata peristomo paviršiuje. Gamta **532** 85–89
- Dong H ir kt., 2023 m. Biologiškai įkvėpti polianioniniai elektrolitai labai stabiliems cinko jonų akumulatoriams. Angew. Chem., Int. Ed. **62** e202311268
- Dou H, Xu M, Zhang Z, Luo D, Yu A ir Chen Z 2024 Biomasės kietojo kūno elektrolitas su gausiais jonų ir vandens kanalais lanksčioms cinko-oro baterijoms Adv. Mater. **36** 2401858
- Huang.G, Xu.J, N.Markides.C. (2023) Didelio efektyvumo biologiškai įkvėptas hibridinis daugiageneracinis fotovoltinis lapas. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-38984-7>
- Kaiwen.Y, Wang.S, 2024. Jaunų studentų mokymas fotosintezės naudojant papildytąją realybę, DOI: [10.1109/ICALT61570.2024.00018](https://doi.org/10.1109/ICALT61570.2024.00018), 2024 m. IEEE tarptautinė pažangiųjų mokymosi technologijų konferencija (ICALT)
- Liu M, Wang S ir Jiang L 2017 Gamtos įkvėptos superdrėkinimo sistemos Nat. Rev. Mater. **2** 17036.
- Liu G, Gao F, Gao C ir Xiong Y 2021 Bioįkvėpimas kuriant efektyvias fotosintezės sistemas: nuo biohibridų iki biomimetikų. Chem. Catal. **1** 1367–77.
- Mirkovic T, Ostroumov E E, Anna J M, van Grondelle R, Govindjee ir Scholes G D 2017 Šviesos sugertis ir energijos perdavimas fotosintetinančių organizmų antenų kompleksuose. Chem. Rev. **117** 249–93.
- Navarro-Segarra M, Tortosa C, Ruiz-Díez C, Desmairet D, Gea T, Barrena R, Sabaté N ir Esquivel J P 2022 Augalų primenanti baterija: ekologiškai sukonstruotas biologiškai skaidomas energijos šaltinis tiksliai žemdirbystei. Energy Environ. Sci. **15** 2900–15.
- Nguyen P. D., Duong T. M. ir Tran P. D. 2017 Dabartinė pažanga ir iššūkiai kuriant perspektyvius dirbtinius lapus, skirtus saulės energija varomam vandens skaidymui. J. Sci.: Adv. Mater. Devices **2** 399–417
- Pires N D ir Dolan L 2012 Morfologinė evoliucija sausumos augaluose: nauji dizainai su senais genais Phil. Trans. R. Soc. **A367** 508–18.
- Reece S. Y., Hamel J. A., Sung K., Jarvi T. D., Esswein A. J., Pijpers J. J. H. ir Nocera D. G. 2011 Belaidis saulės energijos vandens skaidymas naudojant silicio pagrindų pagamintus puslaidininkius ir Žemėje gausius katalizatorius. „Science“ **334** 645–8
- Sun Z, Liao T, Li W, Qiao Y ir Ostrikov K 2019 Už kriauklių ribų: bioįkvėpti 2D fotoniniai ir fotoelektroniniai įtaisai. Adv. Funct. Mater. **29** 1901460



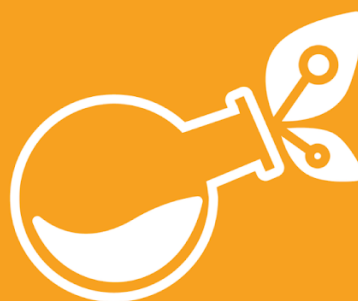


- Van Noorden R 2012 „Dirbtinis lapas“ susiduria su ekonomine gamtos kliūtimi (<https://doi.org/10.1038/nature.2012.10703>)
- Velasco-Garcia L ir Casadevall C 2023 Bioįkvėptos fotokatalizinės sistemos, skirtos kompartmentalizuotai dirbtinei fotosintezai. Commun. Chem. 6 263.
- Wang.Z, Hu.Y, Zhang.S ir Sun.Y. 2022. Dirbtinės fotosintezės sistemos saulės energijos konversijai ir kaupimui: platformos ir jų realybės, DOI: 10.1039/d1cs01008e
- Wijerathne.B, Liao.T, Jiang.X, Zhou.J ir Sun.Z. (2025). Augalų įkvėpti paviršiai ir sąsajos tvarioms technologijoms.<https://doi.org/10.1088/2752-5724/ad93ea>
- Yu L, Li X, Luo C, Lei Z, Wang Y, Hou Y, Wang M ir Hou X 2024 Bioįkvėpta nanofloginė jontronika smegenų tipo skaičiavimams Nano tyrimai.17 503–14
- Zhang F, Liao T, Yan C ir Sun Z 2024 Bioįkvėpti dizainai aktyviųjų metalų pagrindu sukurtose baterijose. Nano tyrimai.17 587–601
- Zhang Y, Mei J, Yan C, Liao T, Bell J ir Sun Z 2020 Bioįkvėptos 2D nanomedžiagos tvariam taikymui Adv. Mater.32 1902806
- Zhou H, Guo J, Li P, Fan T, Zhang D ir Ye J 2013 Lapų architektūros 3D hierarchinė dirbtinė perovskito titanatų fotosintezės sistema, skirta CO2 fotoredukcijos būdu paversti angliavandenilių kuru. Sci. Rep. 3 1667
- <https://avrd.mediencampus.h-da.de/projekt/95635/?utm>
- https://www.reuters.com/sustainability/land-use-biodiversity/bullet-trains-green-buildings-innovators-take-cue-nature-through-biomimicry-2025-01-13/?utm_source=chatgpt.com
- https://www.rsb.org.uk/images/15_Photosynthesis.pdf
- <https://www.britannica.com/science/photosynthesis>
- https://www.uaex.uada.edu/farm-ranch/special-programs/Education_in_Agriculture/soybean-science/GRC%20Photosynthesis%20lesson-final.pdf
- <https://opentextbc.ca/biology/chapter/5-1-overview-of-photosynthesis/>
- <https://innovationorigins.com/en/a-big-leap-in-solar-power-the-bio-inspired-photovoltaic-leaf-shows-greater-efficiency/>
- <https://techxplore.com/news/2023-08-bio-inspired-solar-devices-boost-stability.html>
- <https://list.solar/news/bio-inspired-1/>
- https://stileapp.com/static/CLL%20handouts/Lesson_035_handout.pdf
- <https://sinovoltaics.com/technology/solar-fuels-an-introduction-to-artificial-photosynthesis/>
- <https://dotandlinelearning.com/blog/biology/chapter-6-photosynthesis/>
- <https://www.britannica.com/science/photosynthesis>
- <https://innovationorigins.com/en/a-big-leap-in-solar-power-the-bio-inspired-photovoltaic-leaf-shows-greater-efficiency/>





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.