



Co-funded by
the European Union

Šviesa ir smegenys: neuronų ir šviesos jautrumo tyrinėjimas



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."

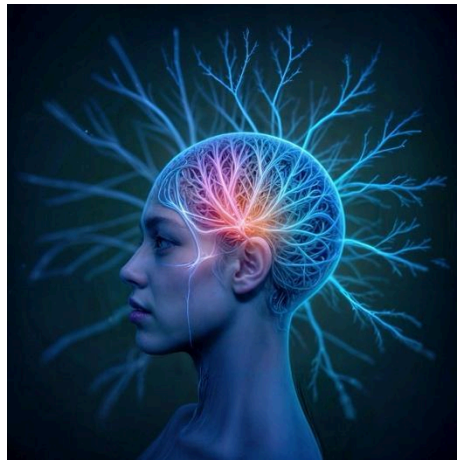




TURINYS

Įvadas	2
Dvigubos šviesos aptikimo sistemos: fotoreceptoriai ir neuroniniai takai	2
Kaip šviesa veikia biologines sistemas	3
EEG aktyvumas	6
Su smegenų veikla ir elgesiu susijusi nauda	8
Papildyta realybė ir kognityvinis atsakas	10
Smegenų veiklos tyrinėjimas naudojant papildytąją realybę	11
Literatūra	18





Bendra mokymosi kelio tema	Neuromokslas ir šviesa: smegenų reakcijų į šviesą supratimas
Konkretus mokymosi vieneto pavadinimas	Šviesa ir smegenys: neuronų ir jautrumo šviesai tyrimas
Tikslinis naudotojų amžius	14–18 metų
Besimokančiojo reikalavimai	Pagrindinės biologijos, fizikos žinios
Mokymosi vieneto aprašymas	Šis skyrius padės mokytojams ir mokiniams suprasti, kaip šviesa veikia smegenis ir kaip neuronai reaguoja į išorinius dirgiklius, tokius kaip šviesa. AR įrankiai pagerins vizualizaciją, leisdami mokiniams sąveikauti su neuronų ir smegenų struktūrų 3D modeliais. Mokiniai nagrinės realaus pasaulio pritaikymo būdus, tokius kaip cirkadiniai ritmai, optogenetika ir šviesos terapija.
Dalyvaujantys subjektai	Fizika, biologija, neuromokslas, pažinimo mokslas
Raktiniai žodžiai	Šviesa, Neuromokslas, Neuronai, Smegenys, Cirkadiniai ritmai, Optogenetika, AR, Vizualizacija, Interaktyvus mokymasis
Pagrindiniai įgūdžiai, gebėjimai, žinios, kurias galima įgyti	- Suprasti, kaip neuronai bendrauja ir reaguoja į dirgiklius - Šviesos poveikio smegenų funkcijoms, tokioms kaip miegas, budrumas ir emocijos, tyrimas - Problemų sprendimo įgūdžiai taikant praktines praktikas (pvz., šviesos terapija, optogenetika) - AR pagrindu sukurta vizualizacija ir interaktyvus mokymasis naudojant smegenų modelius
Naudoti ištekliai ir didaktiniai įrankiai	Moksliniai straipsniai, knygos, mokslinės duomenų bazės, internetiniai ištekliai, papildytosios realybės įrankiai (pvz., „Merge Cube“, „JigSpace“, „BrainVR“, „Google Expeditions“).
Vertinimo kriterijai ir vertinimas	Remiantis kurso metu įgytomis žiniomis, gebėjimais ir įgūdžiais, įskaitant papildytosios realybės (AR) pagrindu atliekamus vertinimus, interaktyvias simuliacijas, problemų sprendimo užduotis ir mokinių apmąstymus apie šviesą ir smegenis.





Įvadas

Šviesa daro didelę įtaką žmogaus fiziologiniams ir kognityviniams procesams, neapsiribodama regėjimu, paveikdama nervų veiklą, emocijas ir biologinius ritmus. Šviesa yra reikšmingas aplinkos veiksnys, turintis įtakos įvairioms smegenų funkcijoms. Klinikiniai tyrimai parodė šviesos terapijos terapinį potencialą gydant tokias ligas kaip depresija, kognityviniai sutrikimai, lėtinis skausmas ir miego sutrikimai. Tačiau tikslūs biologiniai mechanizmai, kuriais šviesos terapija daro savo poveikį, vis dar nėra iki galo išaiškinti (Huang ir kt., 2024).

Smegenys apdoroja šviesą regimaisiais ir neregimaisiais takais, reguliuodamos tokias esmines funkcijas kaip cirkadinis ritmas, vyzdžių refleksai ir kognityvinė veikla. Naujausi tyrimai parodė, kad ryški šviesa gerina kognityvinę veiklą, darydama įtaką pagumburio aktyvumui, o tai rodo tiesioginį ryšį tarp šviesos poveikio ir protinio aštrumo (<https://neurosciencenews.com/cognition-bright-light-25973/?utm> Be to, tyrimai parodė, kad šviesos poveikio elgsena lemia nuotaiką, atmintį ir miego kokybę, pabrėždama svarbų šviesos vaidmenį neurofiziologiniame reguliavime (Siraji ir kt., 2023).

Neuromoksle optogenetika tapo revoliucine technika, kuri sujungia optiką ir genetiką, kad kontroliuotų ir stebėtų atskirų neuronų aktyvumą gyvuose audiniuose. Optogenetikos pažanga išplėtė jos taikymą ne tik fundamentiniams tyrimams, bet ir leisdamą reguliuoti ląstelių aktyvumą biomedicininiais gydymo būdams, tokiems kaip fotomedicina ir imunoterapija (Chen ir kt., 2022).

Šie pokyčiai pabrėžia šviesos pagrindu veikiančių intervencijų terapinį potencialą gydant centrinės nervų sistemos sutrikimus ir atveria naujas galimybes neuroterapijoje (Geng ir kt., 2023).

Be to, įrodyta, kad šviesos poveikis reikšmingai veikia budrumą ir protinius gebėjimus, ypač kovojant su kognityviniu nuovargiu po pietų, o tai rodo, kaip kontroliuojamas šviesos poveikis gali optimizuoti žmogaus efektyvumą (Askarpoor ir kt.).

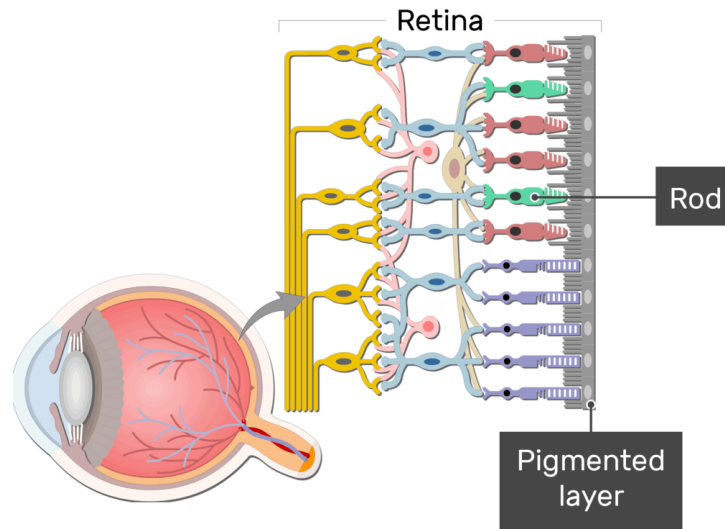
Šiame mokymo modulyje studentai supažindinami su tarpdisciplininiais neurologijos, fizikos ir biomedicinos taikymų ryšiais, daugiausia dėmesio skiriant tam, kaip šviesa veikia smegenų veiklą ir kognityvinę veiklą. Studentai naudosis papildytosios realybės programėle „Brainapse“, kad galėtų įsitraukti į interaktyvią ir vizualiai praturtintą mokymosi patirtį. Naudodami dinامينius 3D smegenų modelius ir animuotus neuroninius kelius, jie tyrinės, kaip neuronai reaguoja į tokius dirgiklius kaip šviesa ir kaip šios reakcijos yra susijusios su kognityvinėmis ir sensorinėmis funkcijomis. Panardinant studentus į realistiškas smegenų struktūrų ir procesų vizualizacijas, „Brainapse“ padeda giliau suprasti neuronų funkcijas ir skatina kritiškai mąstyti apie šviesos vaidmenį neurologijos tyrimuose ir šviesa pagrįstose terapinėse technologijose.

Dvigubos šviesos aptikimo sistemos: fotoreceptoriai ir neuroniniai takai

Gyvūnų, įskaitant žmones, fotoreceptoriai (šviesą jaučiančios ląstelės), vadinami lazdelėmis ir kūgeliais, yra tinklainėje – akies gale esančiame audinio sluoksnyje, reaguojančiame į šviesą. Lazdelės ir kūgeliai analizuoja regimuosius signalus, perduodamus elektriniais signalais į smegenis, kurios interpretuoja tai, kas „matoma“. Kitas tinklainės fotoreceptorių tipas, vadinamas iš esmės šviesai jautriomis tinklainės ganglijų ląstelėmis (ipRGC), naudoja ilgus išsikišimus (aksonus), kurie sudaro regos nervą, kad perduotų regimuosius signalus iš lazdelių ir kūgelių. IpRGC taip pat atlieka kitas funkcijas, pavyzdžiui, nustato



organizmo šviesos valdomus cirkadinius ritmus ir skiria kontrastą bei spalvas. Yra žinoma, kad gyvūnų fotoreceptoriai aptinka šviesą naudodami signalizacijos kelią, pavadintą ląstelės kilmės vardu (<https://www.hopkinsmedicine.org/news/newsroom/news-releases/2024/01/retinal-photoreceptors-use-dual-pathways-to-tell-brain-ive-seen-the-light>).



1 pav. <https://www.getbodysmart.com/sensory-system/retina/>

Žmonės didelę savo gyvenimo dalį praleidžia patalpose – apie 80–90 % (Thach ir kt., 2020). Todėl patalpų aplinkos poveikis gyventojų komfortui tapo pagrindiniu tyrimų ir praktikos objektu (Lamb ir kt., 2016). Pastaraisiais metais vis daugiau dėmesio skiriama esminiam šiluminių ir apšvietimo sąlygų vaidmeniui formuojant biuro aplinką (Konstantzos ir kt., 2020). Įrodyta, kad šie aplinkos veiksniai daro didelę įtaką darbuotojų streso lygiui ir užduočių atlikimui, galiausiai paveikdami bendrą individualų ir komandos pasitenkinimą (Witterseh ir kt., 2004). Tarp jų itin svarbios yra koreliuojama spalvų temperatūra (CCT) ir šilumos pojūtis, nes jie tiesiogiai veikia komfortą, stresą ir našumą patalpų erdvėse.

Kaip šviesa veikia biologines sistemas

Apšvietimo sąlygų pokyčiai daro didelę įtaką įvairioms fiziologinėms ir elgesio funkcijoms, įskaitant cirkadinį ritmą, nuotaiką ir pažinimą (LeGates ir kt., 2014).

Saulės ciklo stabilumas yra labai svarbus veiksnys, reguliuojantis žinduolių elgesį, daugiausia dėl reikšmingo poveikio nuotaikai ir kognityvinėms funkcijoms. Šis poveikis buvo plačiai tirtas su laboratoriniais gyvūnais (Bedrosian ir kt., 2011; LeGates ir kt., 2012) ir žmonėmis (Vandewalle ir kt., 2010). Šviesos poveikio sutrikimai, atsirandantys dėl natūralių aplinkos veiksnių ar žmogaus

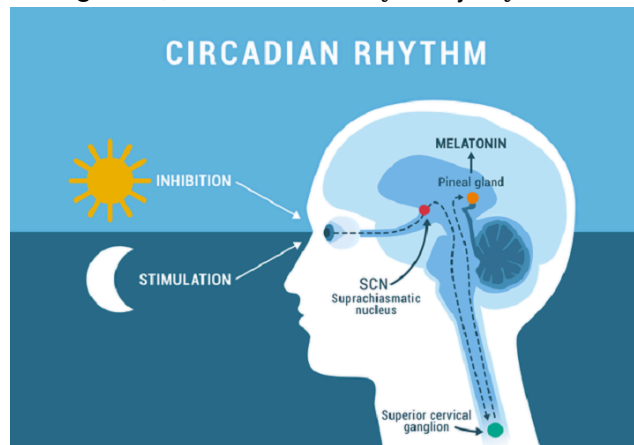


veiklos, pavyzdžiui, laiko juostų kirtimo ir laiko juostų skirtumo sukkelto streso, taip pat dėl pamaininio darbo, buvo siejami su depresijos simptomais ir kognityviniais sutrikimais (Roh ir kt., 2016).

- Cirkadinis ritmas

Cirkadinė sveikata yra labai svarbi, kad žmogaus vidinis biologinis laikrodis būtų suderintas su natūraliais šviesos ir tamsos ciklais. Ji yra labai svarbi bendrai gerovei ir daro įtaką miegui, nuotaikai ir medžiagų apykaitai.

Šis vidinis laikrodis yra mažytėje ląstelių grupėje, vadinamoje suprachiasmatiniu branduoliu (SCN). SCN yra jūsų smegenų dalyje, vadinamoje pagumburiu. Visą dieną SCN vidinio laikrodžio genai siunčia signalus, kad kontroliuotų viso jūsų kūno veiklą.



2 pav. Cirkadinis ritmas,

šaltinis: <https://www.okoa.org/articles/circadian-rhythm-see-what-is-it>

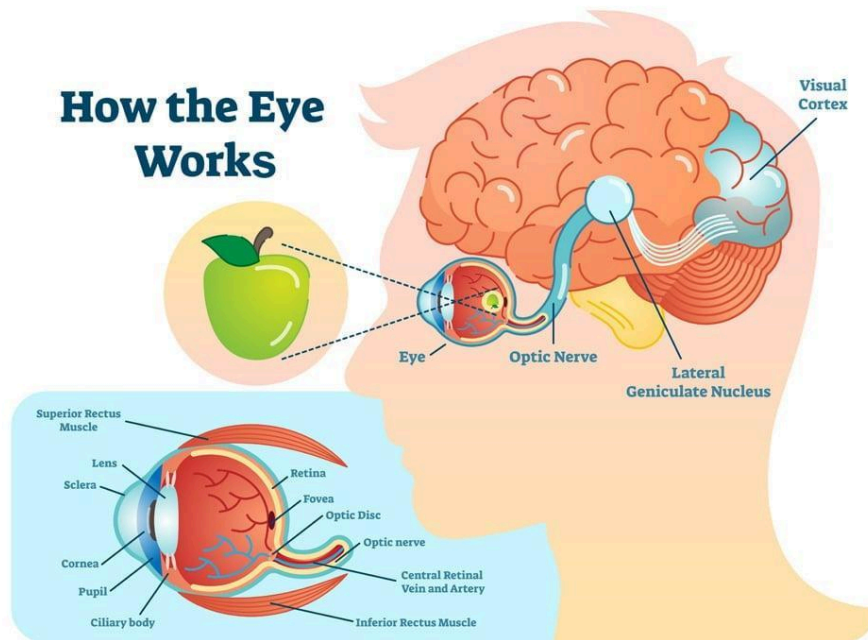
Praleidžiamos dienos šviesos susidaranti cirkadinės apšvietimo sąlygos suteikia galimybių pagerinti tiek energijos vartojimo efektyvumą, tiek sveikatą patalpose. Šiuos cirkadinį dienos šviesą veikiančius veiksnius galima suskirstyti į keturis matmenis. Šie matmenys yra: a) dienos šviesos šaltinio kitimas, kuris priklauso nuo saulės ir dangaus sąlygų; b) langų stiklo optinės ir morfologinės savybės, kurios efektyviai keičia praleidžiamos šviesos spektrinės galios pasiskirstymą ir intensyvumą; c) vidaus erdvės dizainas ir paviršiaus spektrinės savybės daro įtaką praleidžiamos šviesos pasiskirstymui erdvėje; ir paskutinis yra d) žmogiškieji veiksniai, kurie turi įtakos cirkadinio dienos šviesos poveikio kiekiui, keisdami žmogaus žvilgsnio kryptį ir ragenos aukštį. Inžinieriai ir architektai gali sutelkti dėmesį į matmenis, atsižvelgdami į šiuos keturis veiksnius. Langų savybės ir patalpų erdvės sąlygos skatina sveiką patalpų aplinką, kuriai įtakos turi cirkadinė šviesa, nes dienos šviesos šaltinio matmenys ir žmogiškieji veiksniai yra nenuspėjami ir nekontroliuojami (Ardabili ir kt., 2025).

- Vyzdžio refleksas: kaip mūsų akys reaguoja į šviesą?

Mūsų vyzdžio gebėjimas keisti dydį yra esminė fiziologinė reakcija, kuri reguliuoja į tinklainę patenkančios šviesos kiekį, siekiant optimizuoti regėjimą ir apsaugoti tinklainę. Vyzdžiai



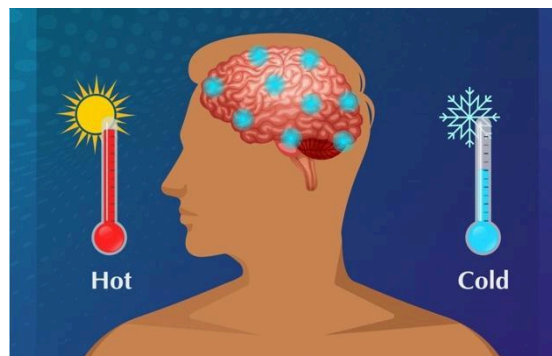
susiaurėja reaguodami į ryškumą, o išsiplečia reaguodami į tamsą (tai vadinama vyzdžio šviesos reakcija arba refleksu). Priešingai, šios reakcijos yra susijusios; manoma, kad jas lemia skirtingi nerviniai keliai (Mathôt, 2018).



3 pav. Akis ir smegenys, šaltinis: „VectorMine“ / „Shutterstock“

- Žmogaus suvokimas ir elgesys:

Koreliuota spalvinė temperatūra (KKT) ir šiluminis pojūtis yra esminiai veiksniai, darantys didelę įtaką patalpų aplinkai ir darantys didelę įtaką patalpų gyventojų komfortui, stresui ir užduočių atlikimui. Apšvietimo poveikis užduočių atlikimui, stresui ir šiluminiam pojūčiui darbo aplinkoje (Erkan ir kt., 2025). Koreliuota spalvinė temperatūra (KKT) apibūdina šviesos iš šaltinio išvaizdą pagal jos spalvos toną. Ji dažniausiai skirstoma į šilumą arba vėsumą: mažesnės KKT vertės atitinka šiltesnę, gelsvą šviesą, o didesnės vertės rodo ypatingesnę, melsvą šviesą (Liu ir kt., 2022).



4 pav. Smegenys ir šilumos jautumas, šaltinis: <https://www.waseda.jp/top/en/news/83173>





Subjektyvus individų šiluminės aplinkos suvokimas yra labai svarbus nustatant patalpų gyventojų komfortą ir yra glaudžiai susijęs su darbo rezultatais patalpose (Soto ir kt., 2022). Atsižvelgiant į individų šiluminių pojūčių pageidavimus, labai svarbu skatinti komfortą ir produktyvumą, ypač darbo aplinkoje. Tyrimai parodė, kad kai žmonės prisitaiko prie šiluminių sąlygų, jie jaučia didesnę komfortą, didesnę pasitenkinimą darbu ir pagerina kognityvinius gebėjimus (Yeganeh ir kt., 2018).

Stresas yra organizmo reakcija į neapibrėžtumą ar konkrečius reikalavimus. Paprastai jis pasireiškia nerimo reakcija, pasipriešinimu ir išsekimu. Šie etapai atspindi organizmo fiziologines pastangas susidoroti su stresu ir pasižymi kortizolio išsiskyrimu, padažnėjusiu širdies ritmu ir adrenalino sekrecija. Jei stresorius lieka neišspręstas, organizmas gali patekti į galutinę išsekimo stadiją (Seley, 1956).

Darbo aplinkoje stresas reiškia fiziologines ir psichologines reakcijas, kurias patiria asmenys, kai suvokia reikalavimus ar spaudimą, viršijantį jų gebėjimą susidoroti (Awada ir kt., 2023). Šis stresas gali pasireikšti įvairiais fiziniais simptomais, įskaitant padažnėjusį širdies ritmą, aukštą kraujospūdį, raumenų įtampą, dirglumą, sunkumus susikaupti ir sumažėjusią kognityvinę veiklą (Askaripoor ir kt., 2018). Didelis streso lygis darbo vietoje gali smarkiai paveikti pasitenkinimą darbu, produktyvumą ir darbo našumą. Per didelis stresas taip pat gali sukelti neigiamų pasekmių, tokių kaip sumažėjusi motyvacija, sutrikęs sprendimų priėmimas, mažesnis kūrybiškumas ir padidėjęs pravaikštų skaičius (Altindag, 2020).

Elektroencefalograma (EEG) ir širdies ritmo kintamumo (ŠSD) matavimas dažnai naudojami stresui įvertinti (Di az ir kt., 2019). EEG matuoja elektrinį smegenų aktyvumą, suteikdamas įžvalgų apie su stresu susijusius kognityvinius ir emocinius procesus (Choi ir kt., 2015). Kita vertus, ŠSD seka laiko intervalus tarp širdies dūžių, nuroydamas, kaip autonominė nervų sistema reguliuoja stresą (Kaklauskas ir kt., 2011). Naudodami EEG ir ŠSD kaip objektyvius rodiklius, neuroarchitektūros tyrėjai siekia geriau suprasti fiziologinius atsakus į skirtingą apšvietimą ir šiluminę sąlygą patalpų aplinkoje (Li ir kt., 2023).

EEG aktyvumas

Elektroencefalografija (EEG) matuoja smegenų elektrinį aktyvumą, aptikdama signalus iš ant galvos odos uždėtų elektrodų (Teplan, 2002). Priklausomai nuo EEG prietaiso, naudojamos įvairios elektrodų išdėstymo sistemos. Neapdoroti EEG duomenys paprastai renkami ir apdorojami, siekiant išskirti specifines dažnių juostas, svarbias streso nustatymui, daugiausia alfa ir teta bangas.

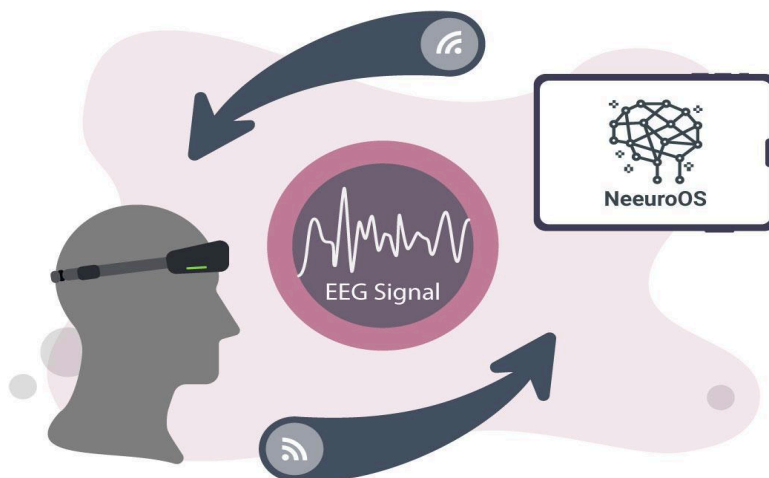
EEG duomenų apdorojimas apima kelis etapus. Pirma, nepertraukiamas EEG signalas padalijamas į trumpesnius segmentus arba epochas, kurių kiekviena paprastai trunka kelias sekundes, siekiant supaprastinti analizę. Tada šios epochos yra spektrinės analizės objektas, kuris apskaičiuoja galios spektrinį tankį ir leidžia išskirti dažnių srities požymius (Yang ir kt.,





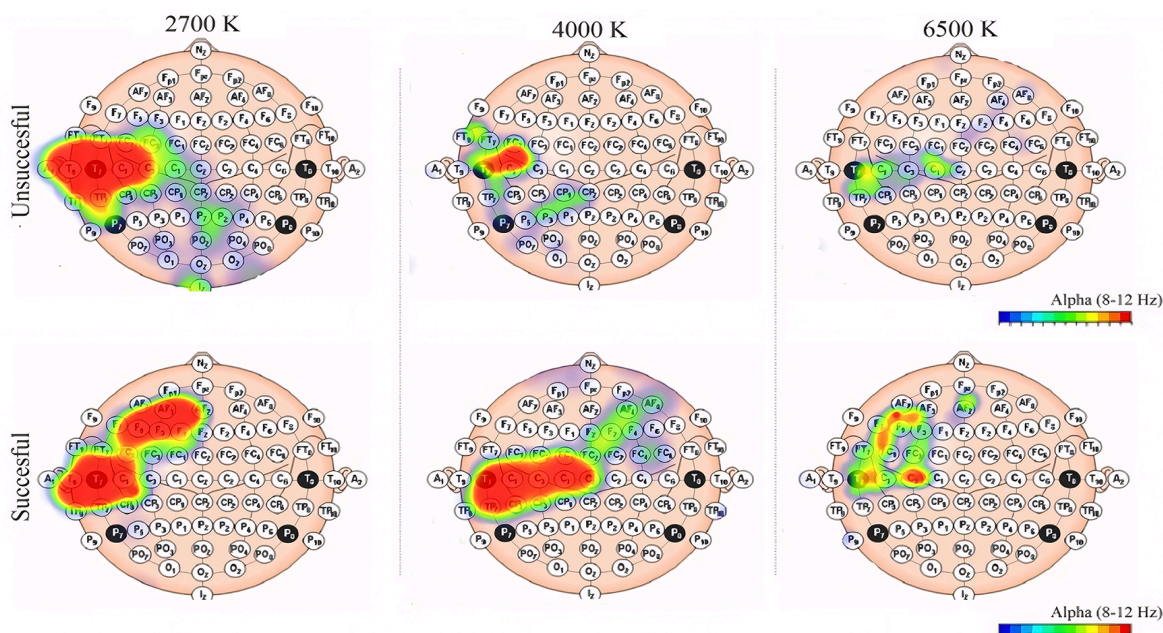
2018). Daugiausia dėmesio skiriama alfa (8–13 Hz) ir teta (4–7 Hz) dažnių juostoms, kurios, kaip žinoma, atspindi su stresu susijusį smegenų aktyvumą.

Alfa bangos paprastai siejamos su atsipalaidavimo būsenomis ir dažnai stebimos ramybės ar pasyvumo sąlygomis (Prent ir Smit, 2020). Tuo tarpu teta bangos yra susijusios su kognityvine apkrova, dėmesiu ir emociniu susijaudinimu, todėl jos ypač svarbios vertinant stresą (Abdalahi ir kt., 2024). Todėl šių juostų galia yra apskaičiuojama ir analizuojama, siekiant nustatyti streso lygį eksperimentinių sesijų metu.



5 pav. Elektroencefalograma (EEG), šaltinis:

<https://www.neeuro.com/blog/understanding-electroencephalogram-eeeg-for-better-brain-health>



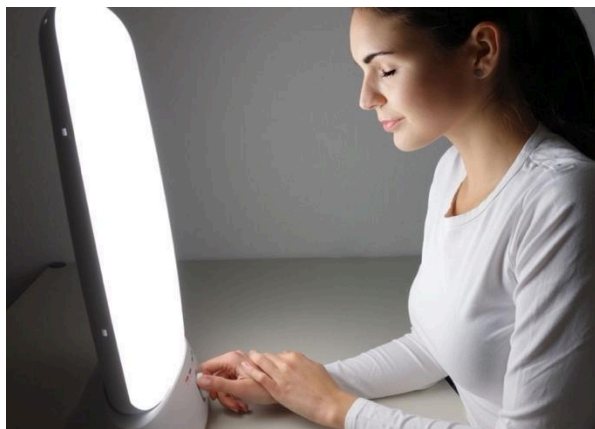
6 pav. Smegenų žemėlapiai kinta priklausomai nuo sėkmingų / nesėkmingų dalyvių alfa galios vertės skirtinguose CCT lygiuose, šaltinis: Erkan ir kt., 2025.





Su stresu susiję smegenų EEG požymiai, tokie kaip sumažėjusi alfa bangų galia ir padidėjęs teta bangų aktyvumas, yra tiesioginiai žymekliai, rodantys, kaip aplinkos sąlygos, ypač šviesa, veikia suvokimą, emocijas ir pažinimą (Yang ir kt., 2018; Abdalhadi ir kt., 2024).

Šviesos terapija – tai tikslinė intervencija, kurios metu naudojama didelio intensyvumo, plataus spektro dirbtinė šviesa, imituojanti natūralią dienos šviesą ir atstatanti organizmo vidinį laikrodį. Paprastai taikoma per 10 000 liuksų šviesos dėžutę, ji ypač veiksminga ryte, siekiant atkurti cirkadinius ritmus ir pagerinti nervinį streso bei nuotaikos reguliavimą.



7 pav. Šviesos terapija, šaltinis:

<https://www.universiteitleiden.nl/en/research/research-projects/social-and-behavioural-sciences/psychology/bioclock-light-therapy-for-depression>

Su smegenų veikla ir elgesiu susijusi nauda

- Sustiprina alfa bangas (atsipalaidavimą): ryškios šviesos poveikis padidina alfa bangų galią EEG, o tai rodo pagerėjusį ramumą ir kognityvinį pasirengimą (Berger ir kt., 2022).
- Pagerina miego ir budrumo ciklus: Stanfordo tyrimas parodė, kad šviesos terapijos derinimas su elgesio metodais paaugliams suteikė 43 minutes papildomo miego per naktį, sumažindamas su miegu susijusį stresą ir pagerindamas kasdienį funkcionavimą (Stanfordo medicina, 2019 m.).
- Sumažina depresijos simptomus: ryškios šviesos terapija sustiprina smegenų susijaudinimą ir nuotaikos reguliavimą, o tai siejama su padidėjusiu prefrontalinės skilties aktyvumu, kuris yra labai svarbus paauglių emocijų reguliavimui (Berger ir kt., 2022).
- Atkuria kortizolio ir melatoninino ciklus: Ankstyvas rytinis ryškios šviesos poveikis natūraliai slopina melatoniną (miego hormoną) ir padidina kortizolį (budrumo hormoną), todėl smegenims dienos metu lengviau jaustis budresnėms ir emociškai subalansuotoms (Scheer ir Buijs, 1999).
- EEG programų tobulinimas naudojant AR



EEG integravimas su papildyta realybe (AR) atveria perspektyvią kryptį kuriant įtraukiančią, reaguojančią aplinką, atspindinčią realaus laiko neurofiziologines būsenas. Viczko ir kt. (2021) tyrinėjo šią sinergiją derindami AR meditacijos patirtį su frontalinės gama asimetrijos neurogrįžtamojo ryšiu, naudodami „Muse“ EEG galvos juostą. Dalyviai, visi patyrę vidutinio sunkumo nerimą ar depresiją, dalyvavo AR patirtyje, skirtoje sukelti teigiamas emocines būsenas. Jie specialiai naudojo programėlę „Healium“, kad vizualizuotų drugelius, kylančius iš lėliuko, vartotojams užsiimant meilės ir gerumo meditacija.

Tyrimas atskleidė, kad tiek AR, tiek AR ir neurogrįžtamojo ryšio (AR + NF) grupėse pastebimai pagerėjo nuotaika, įskaitant sumažėjusią įtampą ir padidėjusį ramumą, tačiau AR + NF grupė nurodė didesnį įsitraukimą. EEG duomenys parodė padidėjusį alfa aktyvumą ir tendencingus gama aktyvumo pokyčius, ypač smegenų srityse, susijusiose su emocijų reguliavimu, tokiose kaip priekinė cingulinė žievė ir salelė. Šie duomenys rodo, kad EEG sustiprinta AR gali būti naudojama kaip realaus laiko grįžtamojo ryšio ciklas, koreguojantis aplinką pagal smegenų bangų aktyvumą, siekiant sustiprinti meditacinius ar terapinius rezultatus.

Svarbiausia, kad tyrimas iliustruoja, kaip AR gali pagerinti EEG pagrįstus tyrimus ir intervencijas:

- Neurofeedback vizualizavimas kontekste, didinant naudotojų įsitraukimą.
- Sudaromos sąlygos interaktyvioms emocijų reguliavimo patirtims, pirmiausia per teigiamo grįžtamojo ryšio mechanizmus, tokius kaip vizualiniai apdovanojimai (pvz., drugelių išsiritimas, kai pasiekiami EEG slenksčiai).
- Palaiko streso stebėjimą realiuoju laiku, o EEG veikia kaip dinaminė biometrinė sąsaja, daranti įtaką papildytosios realybės turiniui.

Taigi, EEG integravimas su AR siūlo naują edukacinį ir terapinį požiūrį bei pagerina vartotojų supratimą apie savo vidines būsenas. Tai galinga priemonė, taikoma streso valdymui, emocinei savireguliacijai ir psichikos sveikatos ugdymui.



8 pav. Įrangos ir papildytosios realybės vaizdinės patirties pavyzdžiai: (A) „Muse“ galvos juosta neurogrįžtamajam ryšiui ir „Healium“ papildytosios realybės ausinės. (B) Dėvima „Healium“ neurogrįžtamojo ryšio įranga. (C) AR vadovaujamos meditacijos su lėliukei išsiritančio neurogrįžtamojo ryšio ekrano kopija. Žemiau pateiktas padidintas slenksčio linijos (išsitinės) ir „jonvabalo“, vaizduojančio gama asimetrijos santykius, vaizdas, o tekste pateikta dalis meditacijos instrukcijos (Viczko ir kt., 2021).





Papildyta realybė ir kognityvinis atsakas

Fiziologinius atsakus veikia patalpų aplinkos kokybė:

Vidutiniškai žmonės apie 90 % savo laiko praleidžia pastatuose ir sunaudoja milžinišką energijos kiekį, kad palaikytų patogią patalpų aplinką.

Didžioji dalis pastatuose suvartojamos energijos sunaudojama palaikant patalpų aplinkos kokybę (IEQ), o per didelis energijos suvartojimo sumažinimas gali pabloginti IEE, reikalingą patogiam gyvenimui (De Rosa ir kt., 2014). Todėl šiuolaikinėje visuomenėje energijos suvartojimo pastatuose mažinimas, išlaikant patenkinamą IEE, nebėra pasirinkimas, o būtinybė (~Sujanov'a ir kt., 2019).

Tuo tarpu toliau tobulėja energijos suvartojimo stebėjimo technologijos ir metodai. Energijos valdymo sistemos padeda didinti energijos vartojimo efektyvumą, o ateityje tikimasi atsirasti efektyvesnių procesų ir inovatyvių technologijų (Aliero ir kt., 2022). Ankstesni tyrimai rodo, kad energijos suvartojimą galima sumažinti vizualizuojant energijos suvartojimą naudojant papildytosios realybės (AR) technologiją (Bekaro ir kt., 2018).

Papildytoji realybė (AR) sparčiai tampa transformuojančia priemone mokslo ugdyme, ypač siekiant sudėtingesnes biologines sistemas, tokias kaip smegenys, padaryti prieinamesnes vidurinių mokyklų mokiniams. Ypač patraukli AR taikymo sritis yra kognityvinių ir neurologinių reakcijų į šviesą, tokių kaip vyzdžių išsiplėtimas, reakcijos laikas ir imituojamas neuronų aktyvumas, imitavimas. Tai yra pagrindiniai rodikliai, rodantys, kaip smegenys apdoroja aplinkos šviesos dirgiklius ir atitinkamai pritaiko savo elgesį.

Šviesos poveikis sukelia įvairias fiziologines ir neurologines smegenų reakcijas. Pavyzdžiui, į akį patekusi šviesa suaktyvina tinklainės fotoreceptorius, sukeldama kaskadą, kuri pasiekia smegenų sritis, atsakingas už budrumą ir cirkadinį reguliavimą. Viena gerai dokumentuota reakcija yra vyzdžio dydžio pokytis, kuris atspindi ir šviesumą, ir kognityvines pastangas. Kaip aiškina Mathôt (2018), vyzdžių matavimas, matuojantis vyzdžio skersmenį, suteikia galimybę įžvelgti kognityvinį krūvį ir sensorinį apdorojimą, todėl tai vertinga priemonė tiriant smegenų funkciją kintančiomis apšvietimo sąlygomis.

Nors papildytosios realybės (AR) platformos negali tiesiogiai įrašyti smegenų veiklos, jas galima užprogramuoti imituoti neurologinius rezultatus, remiantis nustatytais moksliniais duomenimis. Chang ir kt. (2012 m.) atlikti tyrimai parodė, kad net trumpalaikis ryškios šviesos poveikis gali žymiai padidinti kognityvinį budrumą ir pakeisti subjektyvų mieguistumą – šiuos rezultatus galima integruoti į interaktyvias AR aplinkas, siekiant modeliuoti realistinius kognityvinius efektus.





9 pav. AR įrankiai. Šaltinis:

<https://delta2020.com/blog/142-how-augmented-and-virtual-reality-could-help-bring-the-classroom-to-life>

Žmogiškuoju požiūriu orientuotame projekte labai svarbu atsižvelgti į tai, kaip patalpų aplinka veikia tiek fiziologines, tiek kognityvines reakcijas. Tokie elementai kaip apšvietimas, šiluminis komfortas, oro kokybė ir akustika daro didelę įtaką gyventojų komfortui, produktyvumui ir gerovei (Al Horr ir kt., 2016; Frontczak ir Wargocki, 2011). Šie aplinkos veiksniai formuoja tai, kaip žmonės jaučiasi fiziškai, ir daro įtaką kognityvinėms funkcijoms, dėmesiui ir emocinėms būsenoms. Pavyzdžiui, Mendell ir Heath (2005) nustatė, kad mokyklų patalpų aplinkos kokybė tiesiogiai veikia mokinių pasiekimus ir sveikatą, pabrėždama poreikį teikti pirmenybę naudotojo patirčiai projektuojant pastatus.

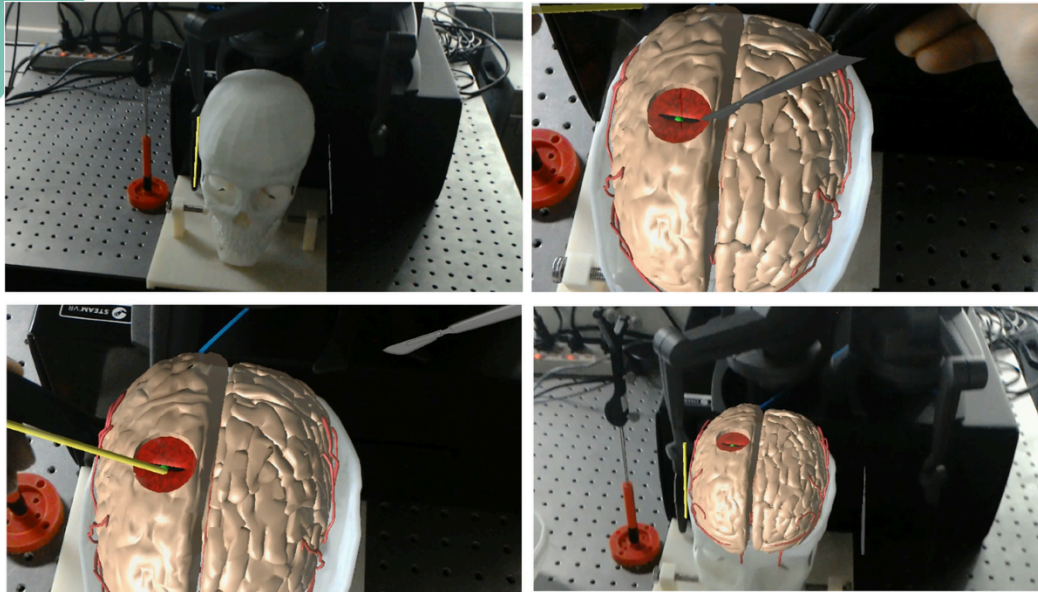
Naujausi tyrimai parodė, kad energijos suvartojimo vizualizavimas naudojant papildytąją realybę (AR) reikšmingai nepaveikia subjektyvaus patalpų aplinkos kokybės (IEQ) pasitenkinimo, tuo pačiu sumažindamas patalpų energijos suvartojimą. AR sistema stebi gyventojų reakcijas ir elgesį, siekdama pakeisti energijos suvartojimą. Vis dėlto taip pat svarbu ištirti šių priemonių poveikį gyventojų pasitenkinimui, nes IEQ reikšmingai veikia gyventojų pasitenkinimą, sveikatą ir produktyvumą (Mirzaei ir kt., 2020). Šios fiziologinės reakcijos apima širdies ritmo kintamumą (ŠSD), elektroencefalogramą (EEG), elektroderminį aktyvumą (EDA) ir odos temperatūrą (SKT), kurie naudojami daugelyje su IEQ susijusių tyrimų, siekiant kiekybiškai įvertinti subjektyvų gyventojų pasitenkinimą (Sun ir kt., 2020).

Smegenų veiklos tyrinėjimas naudojant papildytąją realybę

Technologijos dabar yra neatsiejama švietimo dalis, o rezultatai rodo, kad jos teigiamai veikia mokymosi ir mokymo metodus (Dübel ir kt., 2014). AR/VR technologijos gali suteikti imituojamą



patirtį, kuri laikinai arba visam laikui pakeičia kai kuriuos praktinio mokymo komponentus (Bakharia ir kt., 2016). AR suteikia efektyvų būdą vizualizuoti modelį, kad smegenų modelis galėtų kuo geriau išnaudoti AR teikiamą naudą.



10 pav. Papildytosios realybės gairės neurochirurgijai, šaltinis: Si ir kt., 2019.

Pastaraisiais metais papildytoji realybė (AR) iškilo kaip transformuojanti priemonė švietime ir neuromoksle, siūlanti naujų galimybių vizualizuoti sudėtingas biologines sistemas ir su jomis sąveikauti. Viena perspektyvi taikymo sritis yra smegenų veiklos tyrimas, kur AR gali panaikinti atotrūkį tarp abstrakčių neuroninių procesų ir apčiuopiamos mokymosi patirties. AR leidžia realiuoju laiku, erdviškai vizualizuoti anatomines struktūras ir smegenų funkcijas, taip pagerindama besimokančiųjų įsitraukimą ir supratimą (Bacca ir kt., 2014; Radu, 2014). Neuromokslų švietimo kontekste, ypač tarp jaunesniųjų besimokančiųjų, AR programos, tokios kaip *Brainapse* pristatė novatorišką požiūrį į neuroninių mechanizmų supratimą, skaitmeninius smegenų modelius perdengiant smegenų veiklos ir kognityvinių funkcijų animacijomis.

Tai atitinka Kucuk ir kt. (2016 m.) išvadas, kuriose teigiama, kad papildytosios realybės (AR) pagrindu sukurtos mokymosi aplinkos žymiai pagerina mokinių sąvokų supratimą ir motyvaciją gamtos mokslų dalykuose. Be to, Billingham ir kt. (2015 m.) tyrimas pabrėžia AR potencialą remti įkūnytą mokymąsi, kai vartotojai aktyviai sąveikauja su erdviniais ir laiko smegenų funkcijų atvaizdavimais. Integruodami AR į neurologijos švietimą, siekiame ištirti, kaip šios technologijos gali pagerinti mokinių gebėjimą suvokti pagrindines smegenų anatomijos ir kognityvinių procesų sąvokas bei skatinti gilesnį susidomėjimą su STEM susijusiomis sritimis.



„Brainapse“ – tai interaktyvi edukacinė programėlė, kuri naudoja papildytąją realybę (AR), kad įkvėptų gyvybės žmogaus smegenims. Sujungdama 3D anatominius modelius su realaus pasaulio aplinka, programėlė siūlo mokiniams įdomų būdą tyrinėti smegenų struktūras, nervinius kelius ir kognityvines funkcijas. Ji paverčia abstrakčias biologines sąvokas apčiuopiama mokymosi patirtimi, todėl yra ypač vertinga jaunesniems besimokantiejiems arba tiems, kurie dar tik pradeda pažintį su neurologija. Dėl savo vizualinio aiškumo ir įtraukiančio dizaino „Brainapse“ atveria naujų galimybių interaktyviam, smalsumu grindžiamam mokymuisi tiek klasėje, tiek už jos ribų.

Žemiau pateiktame paveikslėlyje parodytas papildytosios realybės panaudojimas žmogaus kaukolės vizualizavimui trimis matmenimis. Naudodamiesi „Brainapse“, mokiniai gali tyrinėti kaukolės anatominę struktūrą, kurią sudaro kaukolė ir apatinis žandikaulis. Ši interaktyvi vizualizacija padeda mokiniams suprasti kaukolės apsauginį vaidmenį ir jos svarbą smegenyse, gerinant erdvinį suvokimą ir atminties įsiminimą pasitelkiant įtraukiančias technologijas.

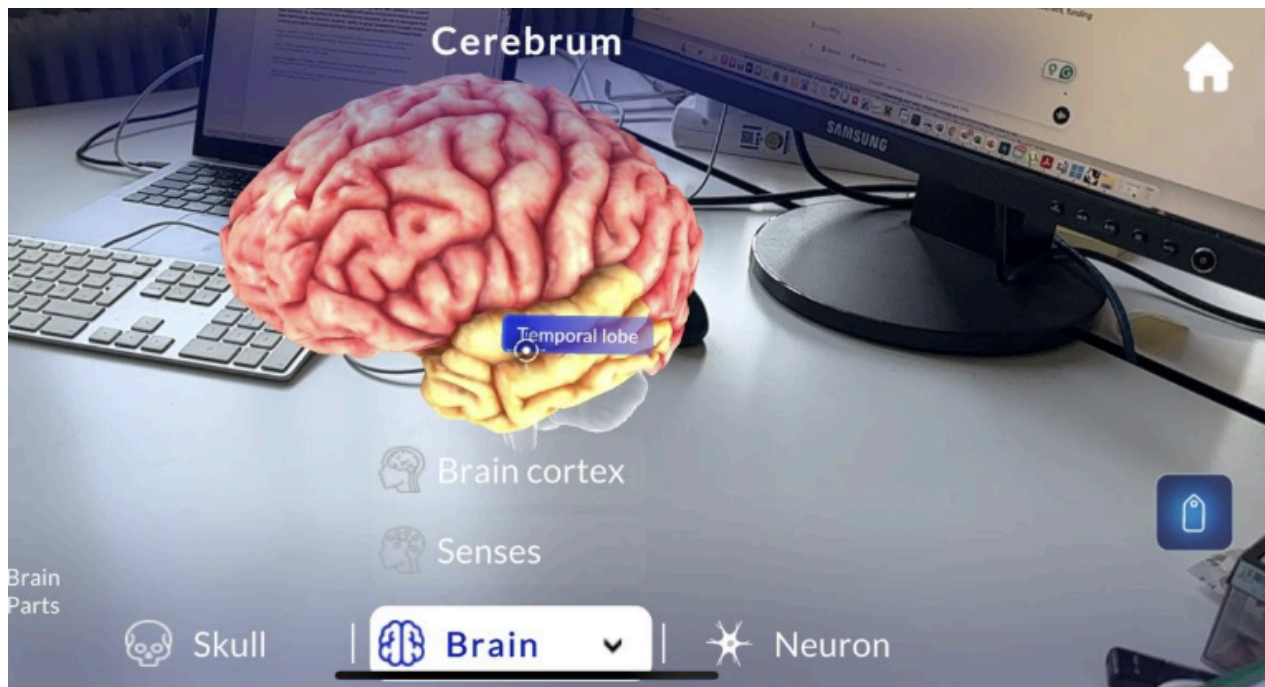


11 pav. „Brainapse“ programėlė



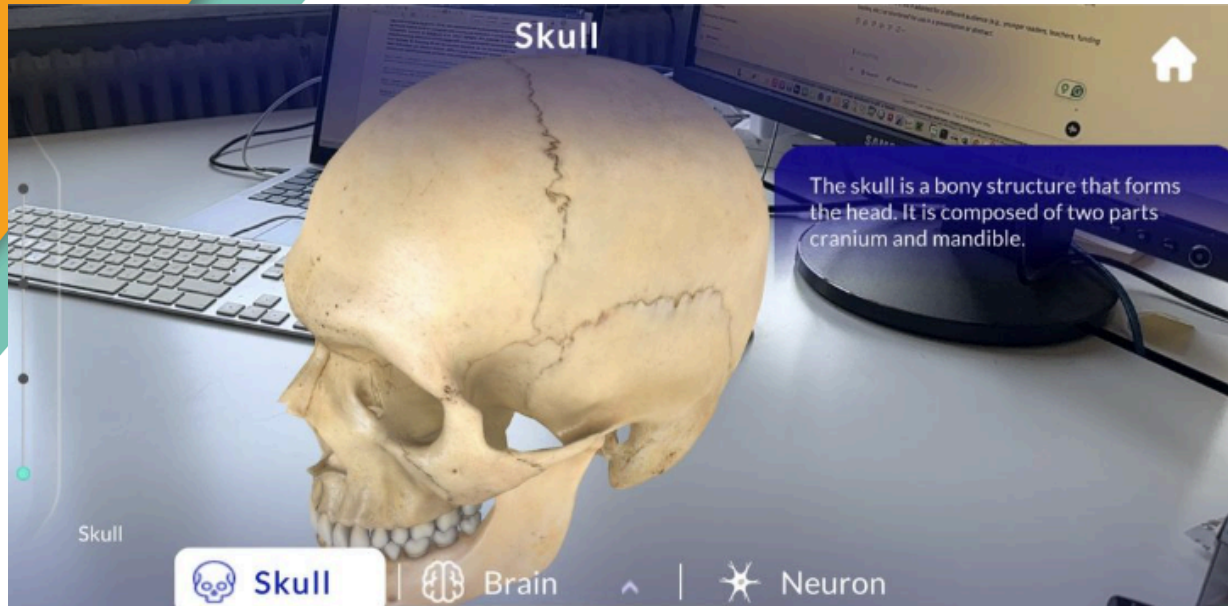


Žemiau pateiktame vaizde pavaizduotos didžiosios smegenys, sutelkiant dėmesį į smilkininę skiltį – sritį, kuri yra būtina garsinės informacijos apdorojimui ir atminties formavimui. Naudodami papildytąją realybę (AR), mokiniai gali tiesiogiai sąveikauti su pažymėtomis smegenų dalimis, skatindami gilesnį funkcinės neuroanatomijos supratimą. Tokie interaktyvūs elementai pagerino žinių įsiminimą ir mokinių motyvaciją gamtos mokslų ugdyme (Kucuk ir kt., 2016).

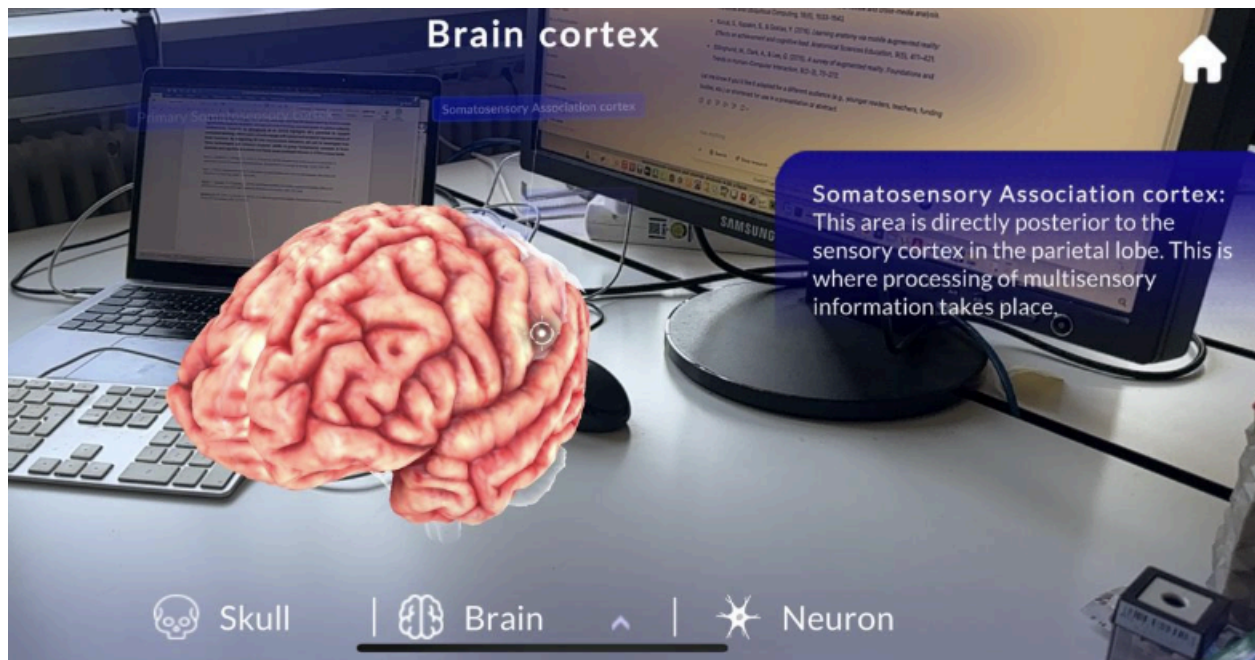


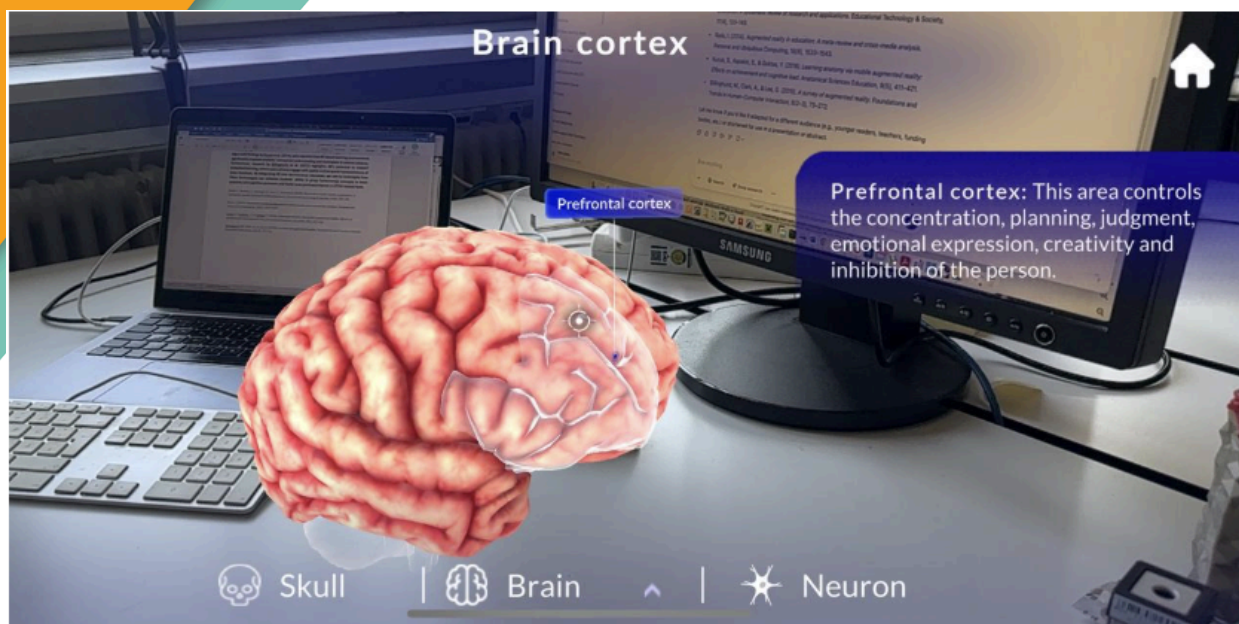
Programėlėje pabrėžiama somatosensorinė asociacinė žievė, esanti parietalinėje skiltyje. Šis regionas integruoja ir interpretuoja sensorinę informaciją, gaunamą iš įvairių modalumų. Papildytoji realybė šią koncepciją padaro konkretesnę mokiniams, pateikdama ją realaus pasaulio kontekste ir leisdamą patirtiniam mokymuisi, kuris palaiko daugiasensorinį įsitraukimą (Bacca ir kt., 2014).





Ši vizualizacija sutelkia dėmesį į prefrontalinę žievę, žinomą dėl savo vaidmens planavime, sprendimų priėmime, kūrybiškume ir emocijų reguliavime. „Brainapse“ leidžia besimokantiems susieti kognityvines funkcijas su savo anatomicinėmis vietomis, sukuriant galingą mokymosi patirtį, susiejančią biologiją su elgesiu, kurią patvirtina papildytosios realybės (AR) sustiprinto mokslo mokymosi tyrimai (Billinghurst ir kt., 2015).

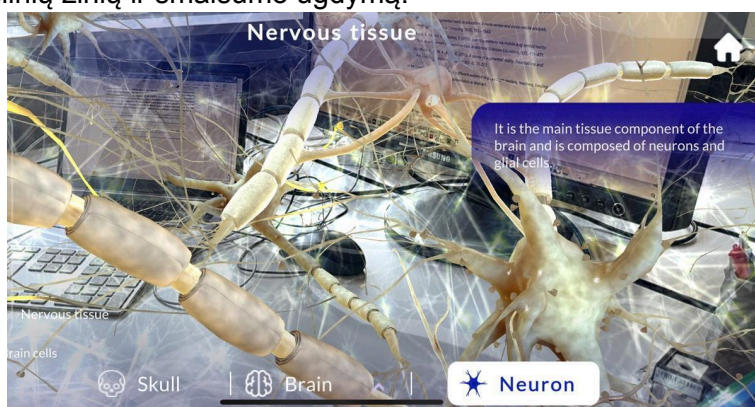




Šioje scenoje mokiniai panardinami į mikroskopinę nervinio audinio vaizdą, iliustruojant neuronus ir glijos ląsteles dinamiškoje, 3D aplinkoje. Virtualiai žengdami į smegenų ląstelių kraštovaizdį, besimokantieji įvertina neuronų komunikacijos ir audinių organizacijos sudėtingumą – patirtį, kurią sunku atkartoti vien vadovėliais (Radu, 2014).

„Brainapse“ programėlė suteikia unikalią galimybę paremti šio mokymo vieneto mokymosi tikslus, *Šviesa ir smegenys: neuronų ir jautrumo šviesai tyrimas*, vizualiai vedama mokinius per smegenų struktūrą, funkcijas ir neuroninius komponentus. Nors programėlė tiesiogiai neimituoja jautrumo šviesai, ji suteikia aiškią ir interaktyvią pagrindinių smegenų sričių, dalyvaujančių sensoriniame apdorojime, pvz., pakaušio skilties (atsakingos už regimąjį suvokimą) ir neuronų tinklų (atsakingų už signalų, įskaitant susijusius su šviesos dirgikliais, perdavimą), vizualizaciją.

Tyrinėdami šias dalis 3D formatu, mokiniai gali geriau suprasti, kaip neuronai perduoda sensorinę informaciją, kaip apdorojami šviesos dirgikliai ir kaip reaguojant į juos aktyvuojami skirtingi smegenų regionai. Šis erdvinis ir įtraukiantis mokymasis atitinka įrodymus, rodančius, kad papildytoji realybė gerina sąvokų supratimą ir atmintį (Bacca ir kt., 2014; Radu, 2014). Be to, detalus neuronų ir nervinio audinio matymas skatina gilesnį supratimą apie tai, kaip smegenys aptinka, apdoroja ir reaguoja į išorinius dirgiklius, tokius kaip šviesa, taip skatindamas mokslinių žinių ir smalsumo ugdymą.





Fazė	Aprašymas
Tyrinėjimas	- Iširti, kaip šviesa veikia smegenis, įskaitant regimuosius / neregimuosius kelius, cirkadinius ritmus ir streso reakcijas.
	- Turinio kūrimas: kurti mokymosi medžiagą, integruojančią neuromokslą, kognityvinį mokslą ir šviesos technologijas.
	- Poreikių analizė: įvertinkite besimokančiųjų ankstesnes žinias apie biologiją, apšvietimą ir smegenų funkcijas, kad pritaikytumėte mokymą.
Taikymas	- Mokymo programos įgyvendinimas: naudojant papildytosios realybės įrankius, vesti užsiėmimus apie neuronų ir šviesos sąveiką, šviesos terapiją ir EEG bei smegenų bangų ryšius.
	- Interaktyvūs pratimai: naudokite papildytosios realybės (AR) programas (pvz., „Brainapse“, „Merge Cube“), kad iširtumėte neuroninius kelius, cirkadinius ciklus ir su šviesa susijusias kognityvines funkcijas.
	- Atsiliepimų rinkimas: rinkite apmąstymus, veiklos duomenis ir kolegų diskusijų rezultatus apie šviesos poveikį smegenų funkcijai ir emocijoms.
Gilinimas	- AR integracija: naudokite AR modeliavimą, kad vizualizuotumėte neuronus, šviesai jautrias smegenų sritis ir EEG bangų pokyčius esant skirtingam apšvietimui.
	- Interaktyvus mokymasis: suteikti mokiniams galimybę reguliuoti šviesos lygius ir stebėti jų poveikį smegenų modeliams (pvz., vyzdžio refleksui, cirkadiniam ritmui).
	Žaidimo turinys: - Taškai ir ženkleliai. Apdovanokite už teisingą smegenų struktūrų identifikavimą arba modeliavimo rezultatus. - Lyderių lentelės. Suskirstykite mokinius pagal tai, kaip tiksliai jie atlieka šviesos neuronų reakcijos scenarijus. - Užduotys ir lygiai: Mokiniams tobulėjant, atrinkite tokias pažangias temas kaip optogenetika ir šviesos terapija. - Atlygiai už tyrinėjimą. Įterpkite papildomą AR turinį (pvz., paslėptus faktus arba EEG vizualizacijas). - Bendradarbiavimo pagrindu sukurtos žaidimo užduotys. Grupės analizuoja streso duomenis arba cirkadinį ritmą virtualaus apšvietimo sąlygomis.
	AR pagrįsti vertinimai: - Studentai demonstruoja supratimą sąveikaudami su virtualiomis smegenų simuliacijomis ir atlikdami šviesos poveikio nervų funkcijai analizę.





Literatūra

Abdalahadi A, Koundal N, Yusoff MZ ir kt. Ūminio streso poveikio sprendimų priėmimui tyrimas naudojant elektroencefalografiją ir funkcinę artimojo infraraudonojo spektroskopiją: sisteminė apžvalga. IEEE

Prieiga 2024; 12: 53454–53474.

Al Horr, Y., Arif, M., Kaushik, A., Mazroei, A., Katafygiotou, M. ir Elsarrag, E. (2016). Gyventojų produktyvumas ir biuro patalpų aplinkos kokybė: literatūros apžvalga. „Building and Environment“, 105, 369–389. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.06.001>

Aliero, M. S., Asif, M., Ghani, I., Pasha, M. F., Jeong, S. R. Sisteminė išmaniųjų pastatų apžvalginė analizė: iššūkiai ir galimybės, Sustain. (2022), <https://doi.org/10.3390/su14053009>.

Altindag O. Streso valdymo ir darbo rezultatų ryšys organizacijose. Tarptautinis verslo ir socialinių mokslų tyrimų žurnalas 2020; 9: 43–49.

Awada M, Becerik-Gerber B, Liu R ir kt. Dešimt klausimų apie aplinkos poveikį stresas biuro darbuotojams. Statyba ir aplinka 2023; 229: 109964.

Askaripoor T, Motamedzadeh M, Golmohammadi R ir kt. Šviesos poveikis smegenų bangoms, autonominei nervų sistemai, nuovargiui ir darbingumui, nesusijęs su vaizdo formavimu. „Journal of Circadian Rhythms“ 2018; 16: 9.

Askaripoor.T, Motamedzade.M, Golmohammadi.R, Farhadian.M, Babamiri.M, Samavati.M, 2019, Šviesos poveikio budrumui ir protinei veiklai valgant po pietų: daugiamatis tyrimas, Industrial Health, 57, 511–524.

Ardabili, G. N., Digert, N., Urich, S., Wang, J., 2025, Architektūrinio stiklo charakteristikų apibūdinimas cirkadianinei šviesai, „Energy & Buildings“ 328, 115–144.

Bacca, J., Baldiris, S., Fabregat, R., Graf, S. ir Kinshuk. (2014). Papildytosios realybės tendencijos švietime: sisteminė tyrimų ir taikymų apžvalga. Educational Technology & Society, 17(4), 133–149.

Bakharia.A., Bruza.P., Watters.J., Narayan.B. ir Sitbon.L. 2016. Interaktyvus temų modeliavimas kokybinei turinio analizei (CHIIR'16). Skaičiavimo mašinų asociacija, Niujorkas, Niujorko valstija, JAV, 213–222.<https://doi.org/10.1145/2854946.2854960>





Bekaroo, G., Sungkur, R., Ramsamy, P., Okolo, A., Moedeen, W. „Žaliojo elektroninių prietaisų vartojimo sąmoningumo didinimas: papildytosios realybės taikymas“, tvarios energijos technologijų vertinimai (2018).<https://doi.org/10.1016/j.seta.2018.10.016>.

Bedrosian, T.A., Fonken, L.K., Walton, J.C., Haim, A. ir Nelson, R.J. (2011). Pritemdyta šviesa naktį sukelia depresiją primenantį elgesį ir sumažina CA1dendritinių stuburo slankstelių tankį žiurkėnų patelėms. *Psychoneuroendocrinology* 36, 1062–1069.

Berger C, Dück A, Gest S, Jonas L, Kölch M, Martin F, Reis O, Schroth J, Legenbauer T ir Holtmann M (2022) Galimas ryškios šviesos terapijos poveikis elektroencefalogramos budrumui gydant paauglių depresiją: bandomasis tyrimas. *Front. Psychiatry* 13:820090. Doi: 10.3389/fpsyt.2022.820090

Billinghurst, M., Clark, A. ir Lee, G. (2015). Papildytosios realybės apžvalga. Žmogaus ir kompiuterio sąveikos pagrindai ir tendencijos, 8(2–3), 73–272.

Chen.B, Cui.M, Wang.Y, Shi.P, Wang.H, Wang., 2022, Naujausi pasiekimai ląstelių optogenetikoje fotomedicina, PMID: 35843507,DOI:10.1016/j.addr.2022.114457

Choi Y, Kim M, Chun C. Keleiviams tenkančio streso matavimas remiantis elektroencefalogramomis. (EEG) dvylikoje kombinuotų aplinkų. *Statyba ir aplinka* 2015; 88: 65–72.

Chang, A.-M., Santhi, N., St Hilaire, M., Gronfier, C., Bradstreet, D. S., Duffy, J. F. ir Czeisler, C. A. (2012). Žmogaus reakcija į skirtingos trukmės ryškią šviesą. *Journal of Physiology*, 590(13), 3103–3112.

De Rosa, M., Bianco, V., Scarpa, F., Tagliafico, L. A. Pastatų šildymo ir vėsinimo energijos poreikio vertinimas; Supaprastintas modelis ir modifikuotas laipsnių dienų metodas, *Appl. Energy*. (2014),<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.04.067>.

Di´az M. H., Cid FM, Ota´rola J., Rojas R., Alarco´n O., Can˜ete L. EEG beta diapazono dažnių srities įvertinimas stresui ir nerimui ramybės būsenoje, užmerktomis akimis ir bazinėse sąlygose įvertinti. „*Procedia Computer Science*“ 2019; 162: 974–981.

Dübel.S, Röhlig.M, Schumann.H ir Trapp.M. 2014. Erdvinių duomenų 2D ir 3D pateikimas: sisteminė apžvalga. IEEE VIS tarptautinis 3D-Vis seminaras. <https://doi.org/10.13140/2.1.1281.7602>

Erkan.I, Simsek.S, Avci.AB, Akyol.G, 2025, Apšvietimo poveikis užduočių atlikimui, stresui ir šilumos pojūčiams darbo aplinkoje.





Frontczak, M. ir Wargocki, P. (2011). Literatūros apžvalga apie tai, kaip skirtingi veiksniai veikia žmonių komfortą patalpose. „Building and Environment“, 46(4), 922–937. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.10.021>

Geng.Y, Li.Z, Du.C., Yuan.F, Cai.X, Alleyer.A, Yang.J, Cong.Z ir Ma.C, 2023, *Optogenetikos taikymų pažanga centrinės nervų sistemos pažeidimams gydyti*, J.„Neurotraumų žurnalas“ 40:1297–1316, Mary Ann Liebert, Inc., DOI: 10.1089/neu.2022.0290

Huang.X, Tao.Q ir Ren.C, 2024, Išsami šviesos terapijos neuroninių mechanizmų apžvalga, Neurosci. Bull. 2024 m. kovas, 40(3):350–362, <https://doi.org/10.1007/s12264-023-01089-8>

Kaklauskas A., Zavadskas E. K., Seniut M. ir kt. Internetu pagrįsta biometrinė kompiuterio pelės patariamoji sistema, skirta vartotojo emocijoms ir darbo produktyvumui analizuoti. Dirbtinio intelekto inžinerijos taikymas 2011; 24: 928–945.

Konstantzos I, Sadeghi SA, Kim M ir kt. Apšvietimo aplinkos poveikis užduočių atlikimui pastatuose: apžvalga. Energija ir pastatai 2020; 226: 110394.

Kucuk, S., Kapakin, S. ir Goktas, Y. (2016). Anatomijos mokymasis naudojant mobiliąją papildytąją realybę: poveikis pasiekimams ir pažintiniam krūviui. Anatomical Sciences Education, 9(5), 411–421.

Lamb S, Kwok KCS. Išilginis darbo aplinkos stresorių poveikio biuro darbuotojų darbo našumui ir gerovei tyrimas. Taikomoji ergonomika 2016; 52: 104–111.

LeGates, T.A., Altimus, C.M., Wang, H., Lee, H.-K., Yang, S., Zhao, H., Kirkwood, A., Weber, E.T. ir Hattar, S. (2012). Nenormali šviesa tiesiogiai sutrikdo nuotaiką ir mokymąsi per melanopsiną ekspresuojančius neuronus. Nature 491, 594–598.

LeGates TA, Fernandez DC, Hattar S. Šviesa kaip centrinis cirkadinių ritmų, miego ir afekto modulatorius. Nat Rev Neurosci 2014, 15: 443–454.

Liu C, Sun L, Jing X ir kt. Kaip koreliuota spalvų temperatūra (CCT) veikia bakalauro studentus: psichologinis ir fiziologinis vertinimas. „Journal of Building Engineering“ 2022; 45: 103573.

Li S, Zhang X, Li Y ir kt. Išsami patalpų šiluminės aplinkos poveikio darbui ir pažintinei veiklai vertinimo apžvalga – derinami fiziologiniai matavimai ir mašininis mokymasis. „Journal of Building Engineering“ 2023; 71: 106417.

Mathôt, S. (2018). Vyzdžių matavimas: psichologija, fiziologija ir funkcija. Žurnalas „Pažinimas“, 1(1).<https://doi.org/10.5334/joc.18>





Mendell, M. J., ir Heath, G. A. (2005). Ar mokyklų patalpų aplinka daro įtaką mokinių pasiekimams? Literatūros apžvalga. *Indoor Air*, 15(1), 27–52. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2004.00320.x>

Mirzaei, N., Kamelnia, H., Islami, S. G., Kamyabi, S., Assadi, S. N. Žaliųjų pastatų vidaus aplinkos kokybės poveikis gyventojų sveikatai ir pasitenkinimui: sisteminė apžvalga, *J. Community Heal. Res.* (2020), <https://doi.org/10.18502/jchr.v9i1.2574>.

Prent N, Smit DJA. Ramybės būsenos alfa osciliacijų dinamika prognozuoja individualius kūrybiškumo skirtumus. *Neuropsychologia* 2020; 142: 107456.

Radu, I. (2014). Papildytoji realybė švietime: metaapžvalga ir skirtingų medijų analizė. *Personal and Ubiquitous Computing*, 18(6), 1533–1543.

Roh, S.-C., Park, E.-J., Shim, M. ir Lee, S.-H. (2016). EEG beta ir maža gama spektro galia koreliuoja su neatidumu pacientams, sergantiems didžiąja depresija. *J. Affect. Disord.* 204, 124–130.

Scheer FA, Buijs RM. Šviesa veikia rytinį seilių kortizolio kiekį žmonių organizme. *J Clin Endocrinol Metab.* 1999 rugsėjis; 84(9):3395-8. doi: 10.1210/jcem.84.9.6102. PMID: 10487717.

Selye H. Gyvenimo stresas. Niujorkas, NY: „McGraw-Hill Book Company“, 1956.

Soto Munˆoz J, Trebilcock Kelly M, Flores-Ale´s V ir kt. Šiluminės aplinkos poveikio savarankiškai suvokiamam produktyvumui biuruose pripažinimas: struktūrinių lygčių modeliavimo perspektyva. *Statyba ir aplinka* 2022; 210: 108696.

ˆSujanov´a. P., Rycht´arikov´a. M., Merė. T.S., Hyder. A. Sveika, energiją taupanti ir patogios patalpų aplinka, apžvalga, *Energies* (2019), <https://doi.org/10.3390/en12081414>.

Sun. X, Wu. H, Wu. Y, Temperatūros, apšvietos ir garso lygio, tipinių fiziologinių parametrų ir žmogaus suvokimo ryšių tyrimas, *Build. Environ.* (2020), <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107193>.

Si. W.X, Liao.X.Y, Qian. Y.L, Sun. H.T, Chen. X.D, Wang.Q, Heng. A.A. (2019). Papildytosios realybės pagrindu sukurtų neurochirurginių mokymų rezultatų vertinimas, Vizualinė kompiuterija pramonei, biomedicina ir menui. <https://doi.org/10.1186/s42492-019-0015-8>

Teplan M. EEG matavimo pagrindai. „Matavimo mokslo apžvalga“ 2002; 2: 1–11.

Thach T-Q, Mahirah D, Sauter C ir kt. Suvokiamos patalpų aplinkos kokybės sąsajos su stresu darbo vietoje. „*Indoor Air*“ 2020; 30: 1166–1177.





Vandewalle, G., Schwartz, S., Grandjean, D., Vuillaume, C., Baiteau, E., Degueudre, C., Schabus, M., Phillips, C., Luxen, A., Dijk, D.J. ir Maquet, P. (2010). Šviesos spektrinė kokybė moduliuoja emocines smegenų reakcijas žmonėms. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 107, 19549–19554.

Viczko J, Tarrant J ir Jackson R (2021) Poveikis nuotakai ir EEG būsenoms po meditacijos papildytoje realybėje su ir be papildomo neurogrįžamojo ryšio. *Front. Virtual Real.* 2:618381. doi: 10.3389/frvir.2021.618381

Witterseh T, Wyon DP, Clausen G. Vidutinio karščio streso ir atviro plano biuro triukšmo poveikio SBS simptomams ir biuro darbo rezultatams. *Indoor Air* 2004; 14: 30–40.

Yang B, Duan K, Fan C ir kt. Automatinis akių artefaktų šalinimas EEG naudojant gilųjį mokymąsi. *Biomedical Signal Processing and Control* 2018; 43: 148–158.

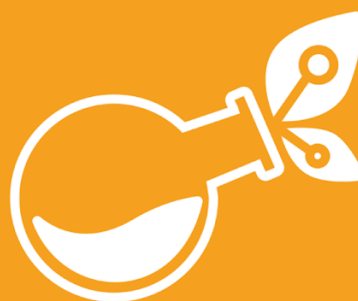
Yeganeh AJ, Reichard G, McCoy AP ir kt. Aplinkos oro temperatūros ir kognityvinių funkcijų koreliacija: sisteminė apžvalga ir metaanalizė. „*Building and Environment*“ 2018; 143:701–716.

https://med.stanford.edu/news/all-news/2019/09/teens-sleep-43-more-minutes-per-night-after-combo-of-two-treatments.html?utm_source=chatgpt.com





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.