



Co-funded by
the European Union

Valgus ja aju: neuronite ja valgustundlikkuse uurimine



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."

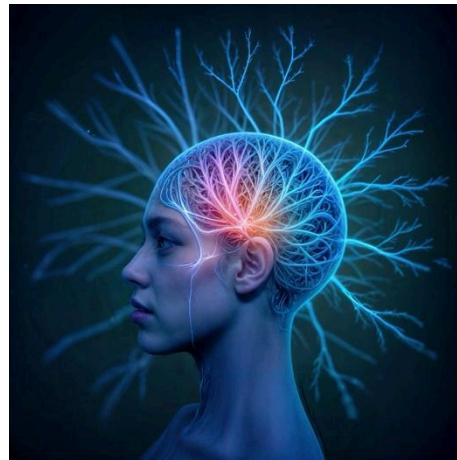




SISUKORD

· Sissejuhatus.....	
...2	
· Valguse tuvastamise kaheüsteemid: fotoretseptorid ja närvirajad.....	2
· Kuidas valgus mõjutab bioloogilisi süsteeme.....	3
· EEG aktiivsus.....	7
· Ajutegevuse ja käitumisega seotud eelised.....	9
· Liitreaalsus ja kognitiivne reaktsioon.....	10
· Ajutegevuse uurimine liitreaalsuse abil.....	12
· Ressursid.....	18





Õpetee üldine teema	Neuroteadus ja valgus: aju reaktsioonide mõistmine valgusele
Õppeüksuse täpne nimetus	Valgus ja aju: neuronite ja valgustundlikkuse uurimine
Sihtkasutaja vanus	14–18 aastat
Õppija eeltingimused	Bioloogia ja füüsika põhiteadmised
Õppeüksuse kirjeldus	See üksus juhendab õpetajaid ja õpilasi, kuidas valgus aju mõjutab ja kuidas neuronid reageerivad välistele stiimulitele, näiteks valgusele. Liitreaalsuse tööriistad parandavad visualiseerimist, võimaldades õpilastel suhelda neuronite ja ajustruktuuride 3D-mudelitega. Õpilased uurivad reaalseid rakendusi, nagu ööpäevarütmid, optogeneetika ja valgusteraapia.
Kaasatud subjektid	Füüsika, bioloogia, neuroteadus, kognitiivteadus
Märksõnad	Valgus, neuroteadus, neuronid, aju, ööpäevarütmid, optogeneetika, liitreaalsus, visualiseerimine, interaktiivne õppimine
Põhioskused, võimed ja teadmised, mida saab omandada	- Neuronite suhtlemise ja stiimulitele reageerimise mõistmine - Valguse mõju uurimine ajufunktsioonidele, nagu uni, erksus ja emotsioonid - Probleemide lahendamise oskused reaalses tingimustes (nt valgusteraapia, optogeneetika) - AR-põhine visualiseerimine ja interaktiivne õppimine ajumodelite abil
Kasutatud ressursid ja didaktilised vahendid	Uurimistööd, raamatud, teadusandmebaasid, veebiressursid, liitreaalsuse tööriistad (nt Merge Cube, JigSpace, BrainVR, Google Expeditions).
Hindamiskriteeriumid ja hindamine	Kursuse jooksul omandatud teadmiste, oskuste ja võimete põhjal, sh liitreaalsusel põhinevad hindamised, interaktiivsed simulatsioonid, probleemide lahendamise ülesanded ja õpilaste mõtisklused valguse ja aju kohta.





Sissejuhatus:

Valgus mõjutab oluliselt inimese füsioloogilisi ja kognitiivseid protsesse, ulatudes nägemisest kaugemale, mõjutades närvitegevust, emotsioone ja bioloogilisi rütme. Valgus on oluline keskkonnategur, mis mõjutab mitmesuguseid ajufunktsioone. Kliinilised uuringud on näidanud valgusteraapia terapeutilist potentsiaali selliste seisundite ravis nagu depressioon, kognitiivsed häired, krooniline valu ja unehäired. Siiski on täpsed bioloogilised mehhanismid, mille kaudu valgusteraapia oma mõju avaldab, endiselt puudulikult mõistetud (Huang jt, 2024).

Aju töötleb valgust visuaalsete ja mittevisuaalsete radade kaudu, reguleerides olulisi funktsioone, nagu ööpäevarütm, pupilli refleksid ja kognitiivne sooritusvõime. Hiljutised uuringud on näidanud, et ere valgus parandab kognitiivset sooritust, mõjutades hüpotaalamuse aktiivsust, mis viitab otsesele seosele valguse käes viibimise ja vaimse teravuse vahel (<https://neurosciencenews.com/cognition-bright-light-25973/?utm> Lisaks on uuringud näidanud, et valgusega kokkupuute harjumused ennustavad meeleolu, mälu ja une kvaliteeti, rõhutades valguse kriitilist rolli neurofüsioloogilises regulatsioonis (Siraji jt, 2023).

Neuroteaduses on optogeneetika kujunenud revolutsiooniliseks tehnikaks, mis ühendab optika ja geneetika, et kontrollida ja jälgida üksikute neuronite aktiivsust eluskoos. Optogeneetika edusammud on laiendanud selle rakendusi baasuuringutest kaugemale, võimaldades rakkude aktiivsuse reguleerimist biomeditsiiniliste ravimeetodite, näiteks fotomeditsiini ja immunoteraapia jaoks (Chen jt, 2022).

Need arengud toovad esile valguspõhiste sekkumiste terapeutilise potentsiaali kesknärvisüsteemi häirete ravis, pakudes uusi võimalusi neuroteraapias (Geng jt, 2023).

Lisaks on näidatud, et valguse sekkumine mõjutab oluliselt erksust ja vaimset sooritusvõimet, eriti kognitiivse väsimuse vastu võitlemisel pärast lõunat, näidates, kuidas kontrollitud valguse käes viibimine saab optimeerida inimese efektiivsust (Askarpoor jt).

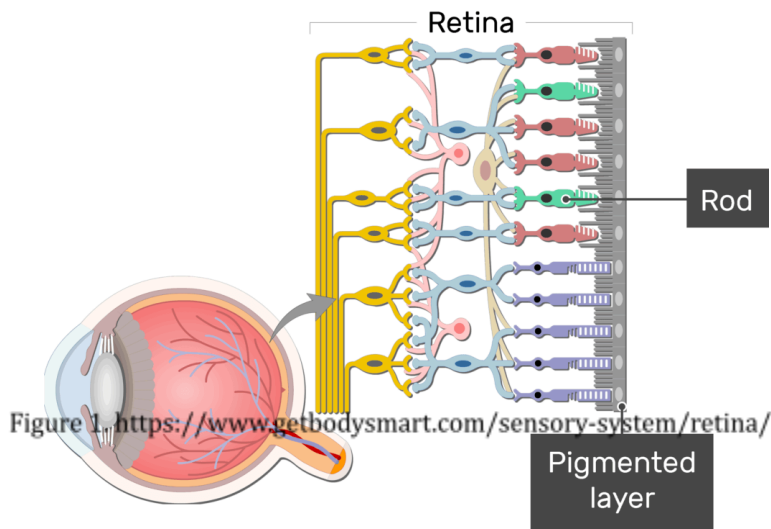
See koolitusüksus tutvustab õpilastele neuroteaduse, füüsika ja biomeditsiiniliste rakenduste interdistsiplinaarseid seoseid, keskendudes sellele, kuidas valgus mõjutab ajutegevust ja kognitiivset sooritust. Õpilased kasutavad Brainapse'i liitreaalsuse rakendust interaktiivsete ja visuaalselt rikastatud õpikogemuste saamiseks. Dünaamiliste 3D-ajumudelite ja animeeritud närviteede kaudu uurivad nad, kuidas neuronid reageerivad sellistele stiimulitele nagu valgus ja kuidas need reaktsioonid on seotud kognitiivsete ja sensorsete funktsioonidega. Sukeldades õpilasi aju struktuuride ja protsesside realistlikesse visualiseeringutesse, toetab Brainapse närvifunktsioonide sügavamat mõistmist ja julgustab kriitilist mõtlemist valguse rolli üle neuroteaduslikes uuringutes ja valguspõhistes terapeutilistes tehnoloogiates.

Valguse tuvastamise kahesüsteemsed süsteemid: fotoretseptorid ja närvirajad

Loomadel, sealhulgas inimestel, asuvad võrkkestas fotoretseptorid (valgustundlikud rakud), mida nimetatakse kepikesteks ja kolvikesteks. See on silma tagaosas asuv koekiht, mis reageerib valgusele. Kepikesed ja kolvikesed analüüsivad nägemissignaale, mis edastatakse elektriliste signaalide kaudu ajju, mis omakorda tõlgendab "nähtut". Teist tüüpi võrkkesta fotoretseptorid, mida nimetatakse sisemiselt valgustundlikeks võrkkesta ganglionirakkudeks (ipRGC-deks), kasutavad nägemisnärv moodustavaid pikki eendeid (aksoneid), et edastada nägemissignaale kepikestest ja kolvikestest. IpRGC-d täidavad ka muid funktsioone, näiteks määravad keha valgusest sõltuva ööpäevase rütmi ning eristavad kontrasti ja värvi. On teada, et loomade fotoretseptorid tuvastavad valgust signaaliülekanndete abil, mis on nimetatud raku päritolu järgi



(<https://www.hopkinsmedicine.org/news/newsroom/news-releases/2024/01/retinal-photoreceptors-use-dual-pathways-to-tell-brain-ive-seen-the-light>).



Inimesed veedavad märkimisväärse osa oma elust siseruumides, hinnanguliselt umbes 80–90% (Thach jt, 2020). Seetõttu on sisekeskkonna mõju töötajate mugavusele muutunud uurimistöö ja praktika keskmeks (Lamb jt, 2016). Viimastel aastatel on üha enam tähelepanu pööratud soojus- ja valgustustingimuste olulisele rollile kontorikeskkonna kujundamisel (Konstantzos jt, 2020). On näidatud, et need keskkonnategurid mõjutavad tugevalt töötajate stressitaset ja ülesannete täitmist, mõjutades lõppkokkuvõttes nii individuaalset kui ka meeskonna üldist rahulolu (Witterseh jt, 2004). Nende hulgas on korreleeritud värvustemperatuur (CCT) ja soojustunnetus kriitilise tähtsusega, kuna need mõjutavad otseselt mugavust, stressi ja jõudlust siseruumides.

Kuidas valgus mõjutab bioloogilisi süsteeme

Valgustustingimuste muutustel on lai mõju mitmesugustele füsioloogilistele ja käitumuslikele funktsioonidele, sealhulgas ööpäevasele rütmile, meeleolule ja kognitiivsele funktsioonile (LeGates jt, 2014).

Päikesetsükli stabiilsus on imetajate käitumise reguleerimisel oluline tegur, peamiselt tänu oma olulisele mõjule meeleolule ja kognitiivsele funktsioonile. Neid mõjusid on põhjalikult uuritud laboriloomadel (Bedrosian jt, 2011; LeGates jt, 2012) ja inimestel (Vandewalle jt, 2010). Valguse käes viibimise häired, olgu need tingitud looduslikest keskkonnateguritest või inimtegevusest, näiteks ajavööndite ületamine ja ajavööndivahetuse väsimus, aga ka vahetustega töö, on seostatud depressioonisümptomite ja kognitiivsete häiretega (Roh jt, 2016).



- Ööpäevarütm

Ööpäevane tervis on oluline inimese sisemise bioloogilise kella ja loomuliku valguse-pimeduse tsükli vaheliseks joondamiseks. See on ülioluline üldise heaolu jaoks ning mõjutab und, meeleolu ja ainevahetust.

See sisemine kell asub pisikeses rakkude klastris, mida tuntakse suprakiasmaatilise tuumana (SCN). SCN asub ajuosas, mida nimetatakse hüpotalamuseks. Päeva jooksul saadavad SCN-i sisemise kella geenid signaale, et kontrollida kogu keha aktiivsust.

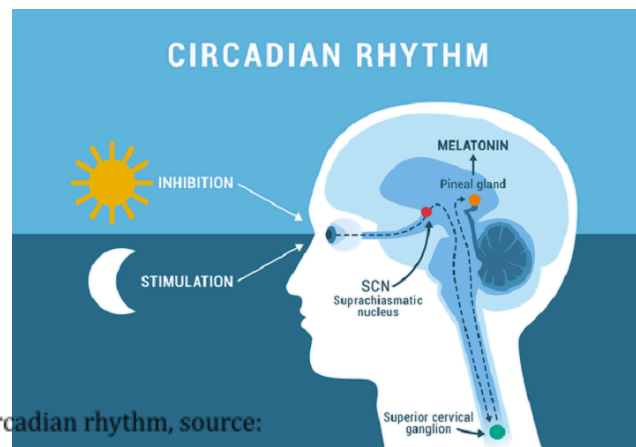


Figure 2. Circadian rhythm, source:

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

Läbiva päevavalguse poolt tekitatud ööpäevased valgustustingimused pakuvad võimalusi nii energiatõhususe kui ka siseruumide tervise parandamiseks. Neid ööpäevast päevavalgust mõjutavaid tegureid saab jagada neljaks dimensiooniks. Need dimensioonid on: a) päevavalgusallika varieeruvus, mis sõltub päikese- ja taevatingimustest; b) aknaklaaside optilised ja morfoloogilised omadused, mis muudavad tõhusalt läbiva valguse spektraalse võimsuse jaotust ja intensiivsust; c) siseruumi kujundus ja pinna spektraalsed omadused mõjutavad läbiva valguse jaotust ruumis; ja viimane on d) inimfaktorid, mis mõjutavad ööpäevase päevavalguse käes viibimise hulka, muutes inimese pilgu suunda ja sarvkesta kõrgust. Insenerid ja arhitektid saavad keskenduda dimensioonidele nende nelja teguri kontekstis. Akna omadused ja siseruumide ruumitingimused soodustavad tervislikku sisekeskkonda, mida mõjutab ööpäevane valgus, kuna päevavalgusallika ja inimfaktorite dimensioonid on ettearvamatud ja kontrollimatud (Ardabili jt, 2025).

- Pupilli refleks: kuidas meie silmad valgusele reageerivad?

Meie pupilli võime suurust muuta on oluline füsioloogiline reaktsioon, mis reguleerib võrkkestale langeva valguse hulka, et optimeerida nägemist ja kaitsta võrkkesta. Pupillid ahenevad heleduse korral, samas kui pimeduse korral nad laienevad (tuntud kui pupilli valgusreaktsioon või refleks). Seevastu on need reaktsioonid omavahel seotud; neid peetakse erinevate närviradade poolt juhitaavaks (Mathôt, 2018).



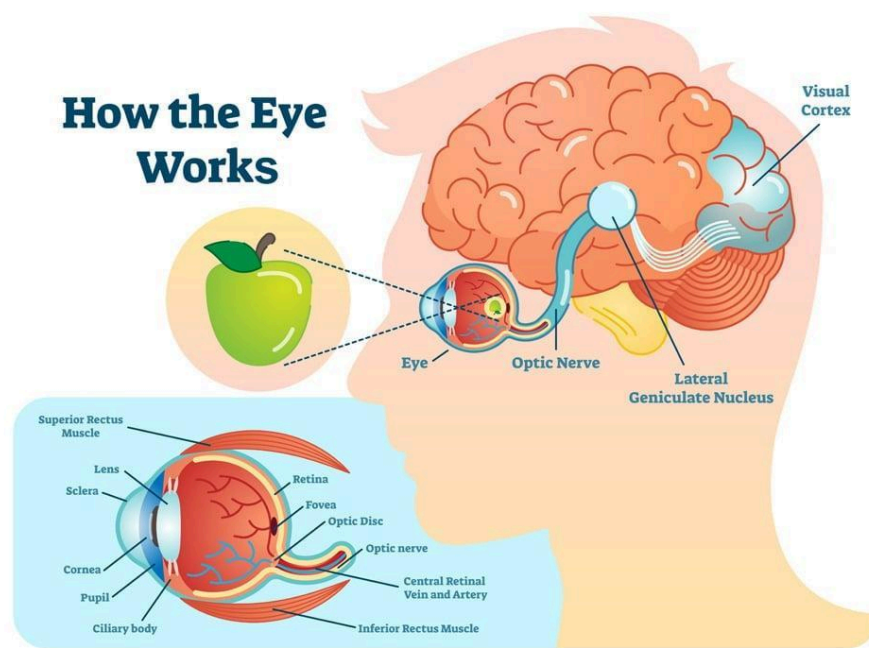


Figure 3. The Eye and the Brain, source: VectorMine/Shutterstock

- Inimese taju ja käitumine:

Korreleeritud värvustemperatuur (CCT) ja soojustaju on olulised tegurid, mis mõjutavad sisekeskkonda ning avaldavad olulist mõju töötajate mugavustundele, stressile ja tööülesannete täitmisele. Valgustuse mõju tööülesannete täitmisele, stressile ja soojustajule töökeskkonnas (Erkan jt, 2025). Korreleeritud värvustemperatuur (CCT) kirjeldab allika valguse välimust värvitooni järgi. Tavaliselt liigitatakse seda soojuste või jaheduse järgi: madalamad CCT väärtused vastavad soojemale, kollakamale valgusele, kõrgemad väärtused aga erakordsemale, sinakamale valgusele (Liu jt, 2022).

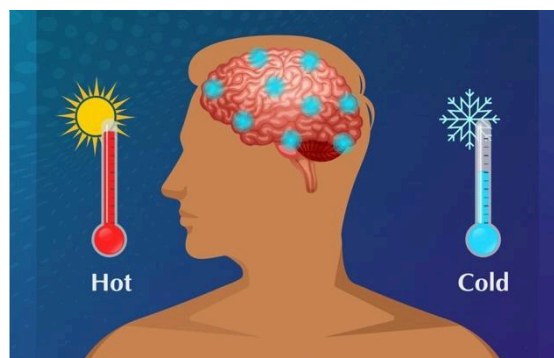


Figure 4. Brain and thermal sensation, source:
<https://www.waseda.jp/top/en/news/83173>

Project Number: KAZ20-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."





Üksikisikute subjektiivne termilise keskkonna tajumine on kriitilise tähtsusega töötajate mugavuse määramisel ning on tihedalt seotud töötulemustega siseruumides (Soto jt, 2022). Üksikisikute termilise tundlikkuse eelistuste arvestamine on ülioluline mugavuse ja tootlikkuse edendamiseks, eriti töökeskkonnas. Uuringud on näidanud, et kui inimesed kohanevad oma termiliste tingimustega, kogevad nad suuremat mugavust, suuremat tööga rahulolu ja paranenud kognitiivset sooritust (Yeganeh jt, 2018).

Stress on keha reaktsioon ebakindlusele või konkreetsetele nõudmistele. Tavaliselt avaldub see ärevusreaktsioonina, vastupanuna ja kurnatusena. Need staadiumid peegeldavad keha füsioloogilisi pingutusi stressiga toimetulekuks ning neid iseloomustab kortisooli vabanemine, südame löögisageduse tõus ja adrenaliini eritumine. Kui stressor jääb lahendamata, võib keha siseneda lõplikku kurnatuse staadiumisse (Seley, 1956).

Töökohakeskkonnas viitab stress füsioloogilistele ja psühholoogilistele reaktsioonidele, mida inimesed kogevad, kui nad tajuvad nõudmisi või survet, mis ületab nende toimetulekuvõime (Awada jt, 2023). See stress võib avalduda mitmesuguste füüsiliste sümptomitena, sealhulgas kiirenenud pulss, kõrge vererõhk, lihaspinged, ärrituvus, keskendumisraskused ja kognitiivse soorituse langus (Askariipoor jt, 2018). Kõrge stressitase töökohal võib oluliselt mõjutada tööga rahulolu, tootlikkust ja tulemuslikkust. Liigne stress võib kaasa tuua ka kahjulikke tagajärgi, nagu motivatsiooni vähenemine, otsustusvõime halvenemine, loovuse vähenemine ja töölt puudumise suurenemine (Altindag, 2020).

Elektroentsefalogrammi (EEG) ja südame löögisageduse varieeruvuse (HRV) mõõtmist kasutatakse stressi hindamiseks sageli (Di az jt, 2019). EEG mõõdab aju elektrilist aktiivsust, pakkudes ülevaadet stressiga seotud kognitiivsetest ja emotsionaalsetest protsessidest (Choi jt, 2015). HRV seevastu jälgib südamelöökide vahelisi ajavahemikke, mis näitavad, kuidas autonoomne närvisüsteem stressi reguleerib (Kaklauskas jt, 2011). Kasutades EEG-d ja HRV-d objektiivsete näitajatena, püüavad neuroarhitektuuri teadlased paremini mõista füsioloogilisi reaktsioone erinevatele valgustus- ja termilistele tingimustele siseruumides (Li jt, 2023).

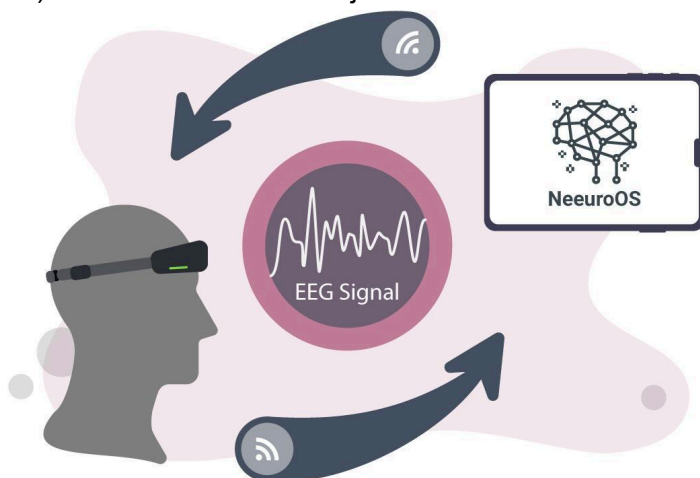


EEG aktiivsus:

Elektroentsefalograafia (EEG) mõõdab aju elektrilist aktiivsust, tuvastades signaale peanahale asetatud elektrodidelt (Teplan, 2002). Sõltuvalt EEG-seadmest kasutatakse erinevaid elektrodide paigutussüsteeme. Tavaliselt kogutakse EEG-toorandmeid ja seejärel töödeldakse neid, et eraldada stressi tuvastamiseks olulised sagedusribad, peamiselt alfa- ja teetalained.

EEG-andmete töötlemine hõlmab mitut etappi. Esiteks jagatakse pidev EEG-signaal lühemateks segmentideks ehk epohhideks, mis tavaliselt kestavad paar sekundit, et lihtsustada analüüsi. Seejärel allutatakse need epohhid spektraalanalüüsile, mis arvutab võimsusspektri tiheduse ja võimaldab sagedusdomeeni tunnuste eraldamist (Yang jt, 2018). Tähelepanu keskmes on alfa (8–13 Hz) ja teeta (4–7 Hz) sagedusribad, mis teadaolevalt peegeldavad stressiga seotud ajutegevust.

Alfalained on tavaliselt seotud lõdvestusseisunditega ja neid täheldatakse tavaliselt rahulikus või passiivses olekus (Prent & Smit, 2020). Seevastu teetalained on seotud kognitiivse koormuse, tähelepanu ja emotsionaalse erutusega, mistõttu on need eriti olulised stressi hindamisel (Abdalhadi jt, 2024). Seetõttu arvutatakse ja analüüsitakse nende sagedusribade võimsust, et määrata stressitaset



eksperimentaalsete seansside ajal.



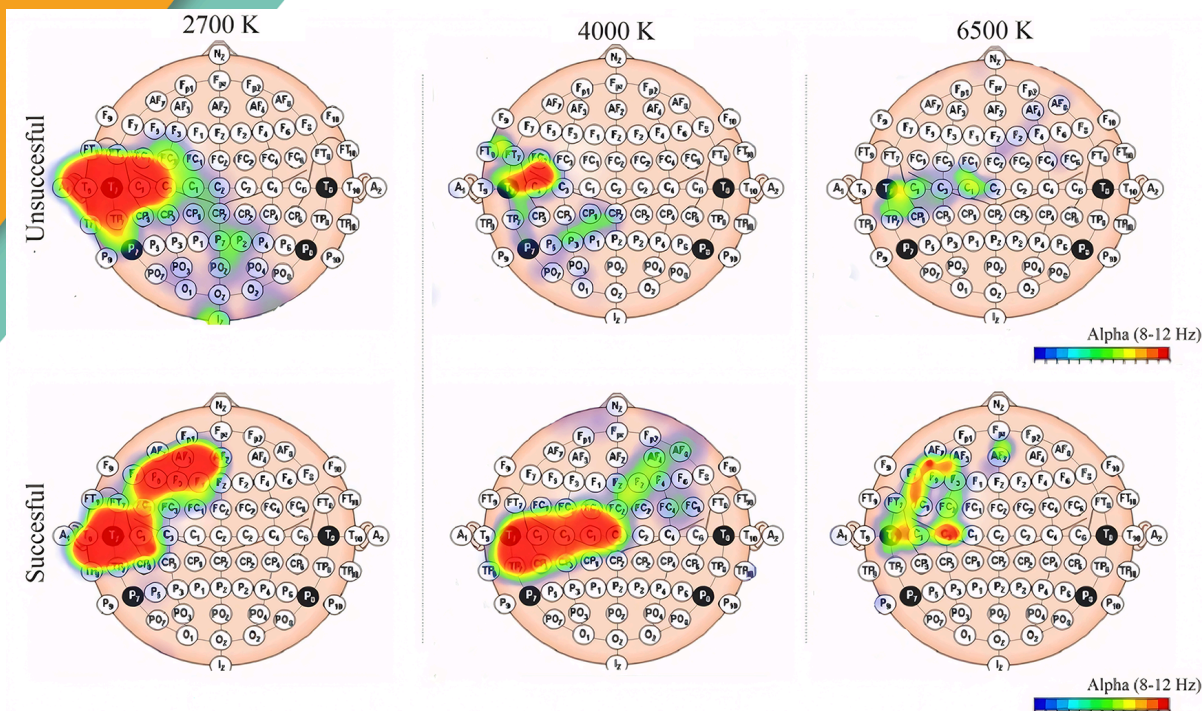
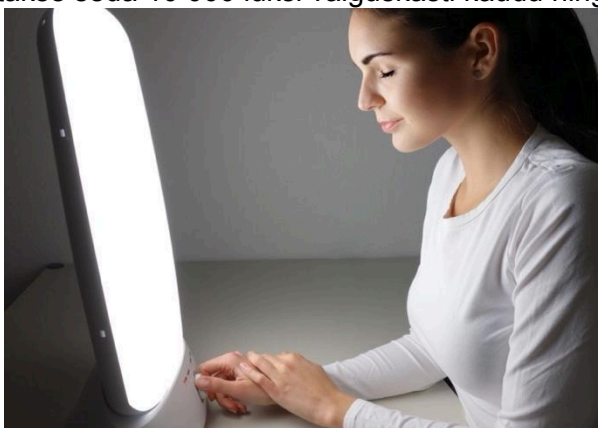


Figure 6. Brain maps change depending on the alpha power value of successful/unsuccessful participants at different CCT Levels, source: Erkan et al., 2025.

Aju stressiga seotud EEG signatuurid, nagu vähenenud alfa-aktiivsus ja kõrge teeta-aktiivsus, on otsesed markerid selle kohta, kuidas keskkonnatingimused, märkimisväärselt kerged tingimused, mõjutavad taju, emotsioone ja kognitiivseid funktsioone (Yang jt, 2018; Abdalhadi jt, 2024).

Valgusteraapia on sihipärane sekkumine, mis kasutab suure intensiivsusega laia spektriga tehisvalgust loomuliku päevavalguse simuleerimiseks ja keha sisemise kella lähtestamiseks. Tavaliselt manustatakse seda 10 000 luksi valguskasti kaudu ning see on eriti efektiivne hommikul

stressi ja
regulatsiooni



ööpäevase rütmi
tasakaalustamiseks ning
meeleolu närvilise
parandamiseks.





Figure 7. Light therapy, source:

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

Aju aktiivsuse ja käitumisega seotud eelised:

- Tugevdab alfalaineid (lõõgastus): ereda valguse käes viibimine suurendab EEG-s alfalaineid, mis annab märku paremast rahulikkusest ja kognitiivsest valmisolekust (Berger jt, 2022).
- Parandab une-ärkveloleku tsükleid: Stanfordi uuring näitas, et valgusravi kombineerimine käitumuslike tehnikatega andis noorukitele 43 minutit lisaund öö kohta, vähendades unega seotud stressi ja parandades igapäevast toimimist (Stanfordi meditsiin, 2019).
- Vähendab depressiooni sümptomeid: Erevalguse teraapia suurendab aju erutust ja meeleolu reguleerimist, mida on seostatud suurenenud prefrontaalse aktiivsusega, mis on teismeliste emotsionaalse regulatsiooni võtmeks (Berger jt, 2022).
- Lähtestab kortisooli ja melatoniini tsüklid: Varahommikune ereda valguse käes viibimine pärsib loomulikult melatoniini (unehormoon) tootmist ja suurendab kortisooli (erksushormoon) tootmist, aidates ajul päeva jooksul ärksama ja emotsionaalselt tasakaalustatumana tunda (Scheer & Buijs, 1999).
- EEG-rakenduste täiustamine AR-i abil

EEG integreerimine liitreaalsusega (AR) pakub paljulubavat suunda kaasahaaravate ja reageerivate keskkondade arendamiseks, mis peegeldavad reaalses neurofüsioloogilisi seisundeid. Viczko jt (2021) uurisid seda sünergiat, kombineerides AR-meditatsioonikogemuse frontaalse gamma asümmeetria neurotagasisidega, kasutades Muse EEG peavõru. Osalejad, kes kõik kogesid mõõdukat ärevust või depressiooni, osalesid AR-kogemuses, mis oli loodud positiivsete emotsionaalsete seisundite esilekutsumiseks. Nad kasutasid Healiumi rakendust, et visualiseerida nukust ilmuvaid liblikaid, kui kasutajad tegelesid armastava lahkuse meditatsiooniga.

Uuring näitas, et nii AR-i kui ka AR-i ja neurotagasisidet (AR+NF) saanud rühmad kogesid meeleolu olulist paranemist, sealhulgas pinget vähenemist ja rahulikuma meeleolu suurenemist, kuid AR+NF rühm teatas suuremast kaasatusest. EEG andmed näitasid alfa-aktiivsuse suurenemist ja gamma-aktiivsuse trendimuutusi, eriti emotsionaalse regulatsiooniga seotud ajupiirkondades, näiteks eesmises tsingulaarses korteksis ja insula piirkonnas. Need leiud viitavad sellele, et EEG-ga võimendatud AR võib toimida reaalses tagasisideahelana, mis kohandab keskkonda ajulainete aktiivsuse põhjal, et süvendada meditatiivseid või terapeutilisi tulemusi.

Oluline on see, et uuring illustreerib, kuidas AR saab EEG-põhiseid uuringuid ja sekkumisi täiustada järgmiselt:



- Neurotagasiside visualiseerimine kontekstis, kasutajate kaasatuse suurendamine.
- Interaktiivsete emotsionaalse regulatsiooni kogemuste võimaldamine, peamiselt positiivsete tagasiside mehhanismide, näiteks visuaalsete preemiade kaudu (nt liblikate koorumine EEG lävede saavutamisel).
- Toetab reaajas stressi jälgimist, kusjuures EEG toimib dünaamilise biomeetrilise liidesena, mis mõjutab AR-sisu.



Seega pakub EEG integreerimine AR-iga uudset hariduslikku ja terapeutilist lähenemisviisi ning suurendab kasutajate teadlikkust oma sisemistest seisunditest. See on võimas tööriist stressijuhtimise, emotsionaalse eneseregulatsiooni ja vaimse tervise hariduse rakenduste jaoks.

Figure 8. Examples of the equipment and AR visual experience: (A) Muse headband for neurofeedback and the Healium augmented reality headset. (B) The Healium neurofeedback setup is worn. (C) A screenshot of the AR-guided meditation with chrysalis hatching neurofeedback. Below is an enlarged image of the threshold line (solid) and "firefly" depicting gamma asymmetry ratios, with part of the meditation instruction shown in the text (Viczo et al., 2021).

Liitreaalsus ja kognitiivne reageering:

Füsioloogilisi reaktsioone mõjutab sisekeskkonna kvaliteet:

Keskmiselt veedavad inimesed umbes 90% oma ajast hoonetes ja tarbivad tohutult energiat mugava sisekeskkonna säilitamiseks.

Suurem osa hoonetes tarbitavast energiast kulub sisekeskkonna kvaliteedi (IEQ) säilitamisele ning energiatarbimise liigne vähendamine võib IEQ-d mugava elu tagamiseks halvendada (De



Rosa jt, 2014). Seetõttu ei ole tänapäeva ühiskonnas hoonete energiatarbimise minimeerimine rahuldava IEQ säilitamisega enam valik, vaid hädavajalik (Sujanov'a jt, 2019).

Samal ajal arenevad pidevalt energiatarbimise jälgimise tehnoloogiad ja meetodid. Energiahaldussüsteemid aitavad suurendada energiatõhusust ning tulevikus on oodata tõhusamate protsesside ja uuenduslike tehnoloogiate tekkimist (Aliero jt, 2022). Varasemad uuringud näitavad, et energiatarbimist saab vähendada energiatarbimise visualiseerimise abil liitreaalsuse (AR) tehnoloogia abil (Bekaro jt, 2018).

Liitreaalsusest (AR) on kiiresti saamas teadushariduses murranguline tööriist, eriti keerukate bioloogiliste süsteemide, näiteks aju, kättesaadavamaks muutmiseks keskkooliõpilastele. Eriti veenev rakendus on AR-i kasutamine kognitiivsete ja neuroloogiliste valgusreaktsioonide simuleerimiseks, näiteks pupillide laienemine, reaktsiooniaeg ja simuleeritud närvitegevus. Need on peamised näitajad selle kohta, kuidas aju töötleb keskkonnavalguse stiimuleid ja kohandab vastavalt oma käitumist.



Valgusega kokkupuude vallandab aju mitmesuguseid füsioloogilisi ja neuroloogilisi reaktsioone. Näiteks silma sisenev valgus aktiveerib võrkkesta fotoretseptoreid, käivitades signaaliülekanne, mis jõuab ajupiirkondadesse, mis vastutavad erksuse ja ööpäevase regulatsiooni eest. Üks hästi dokumenteeritud reaktsioon on pupilli suuruse muutus, mis peegeldab nii heledust kui ka kognitiivset pingutust. Nagu Mathôt (2018) selgitab, pakub pupillomeetria, mis mõõdab pupilli läbimõõtu, akna kognitiivse koormuse ja sensoorse töötlemise kohta, muutes selle väärtuslikuks tööriistaks ajufunktsiooni uurimiseks muutuvates valgustingimustes.

Kuigi liitreaalsuse platvormid ei suuda ajutegevust otse salvestada, saab neid programmeerida simuleerima neuroloogilisi tulemusi, mis põhinevad väljakujunenud teaduslikel andmetel. Changi jt (2012) uuring näitas, et isegi lühiajaline kokkupuude ereda valgusega võib oluliselt parandada kognitiivset erksust ja muuta subjektiivset unisust – need tulemused saab interaktiivsetesse liitreaalsuse keskkondadesse integreerida, et modelleerida realistlikke kognitiivseid efekte.





Figure 9. AR tools, Source:

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

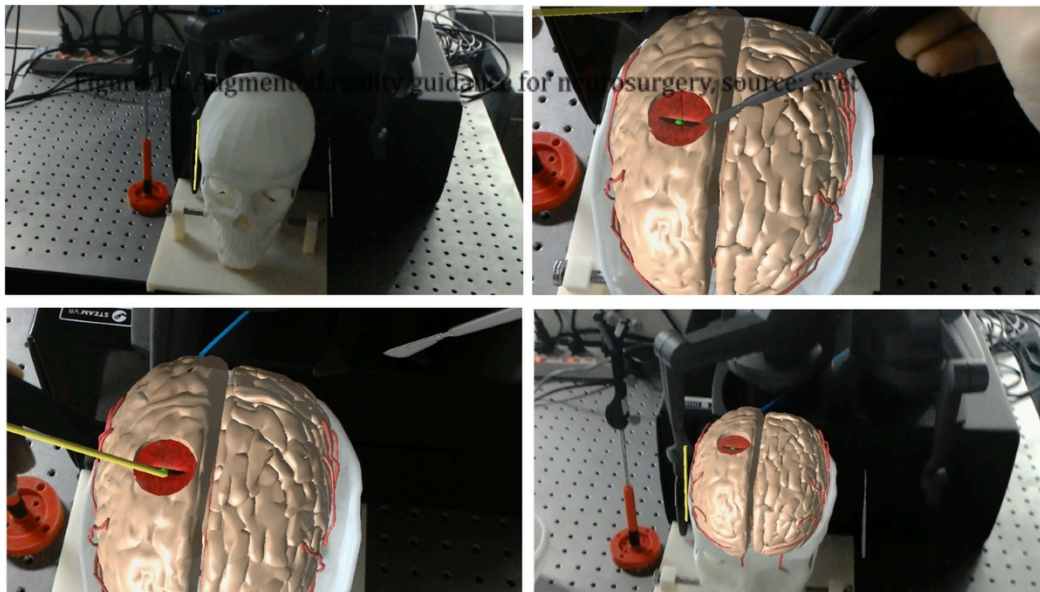
Inimkeskse disaini puhul on oluline arvestada, kuidas sisekeskkond mõjutab nii füsioloogilisi kui ka kognitiivseid reaktsioone. Sellised elemendid nagu valgustus, termiline mugavus, õhukvaliteet ja akustika on oluliselt mõjutanud elanike mugavust, tootlikkust ja heaolu (Al Horr jt, 2016; Frontczak & Wargocki, 2011). Need keskkonnategurid kujundavad seda, kuidas inimesed end füüsiliselt tunnevad, ning mõjutavad kognitiivseid funktsioone, tähelepanu ja emotsionaalseid seisundeid. Näiteks leidsid Mendell ja Heath (2005), et koolide sisekeskkonna kvaliteet mõjutab otseselt õpilaste sooritust ja tervist, rõhutades vajadust seada hoonete projekteerimisel esikohale kasutajakogemus.

Hiljutised uuringud on näidanud, et energiatarbimise visualiseerimine liitreaalsuse (AR) abil ei mõjuta oluliselt subjektiivset sisekeskkonna kvaliteedi (IEQ) rahulolu, vähendades samal ajal siseruumide energiatarbimist. AR-süsteem jälgib elanike reaktsioone ja käitumist energiatarbimise muutmiseks. Siiski on oluline uurida ka nende mõõdikute mõju elanike rahulolule, kuna IEQ mõjutab oluliselt elanike rahulolu, tervist ja tootlikkust (Mirzaei jt, 2020). Nende füsioloogiliste reaktsioonide hulka kuuluvad südame löögisageduse muutlikkus (HRV), elektroentsefalogramm (EEG), elektrodermaalne aktiivsus (EDA) ja nahatemperatuur (SKT), mida kasutatakse paljudes IEQ-ga seotud uuringutes elanike subjektiivse rahulolu kvantitatiivseks hindamiseks (Sun jt, 2020).

Ajutegevuse uurimine liitreaalsuse abil

Tehnoloogia on nüüd hariduses sügavalt juurdunud ning tulemused näitavad, et see mõjutab positiivselt õppimis- ja õpetamismeetodeid (Dübel jt 2014). AR/VR-tehnoloogia pakub simuleeritud kogemusi, mis ajutiselt või jäädavalt asendavad mõningaid praktilise õppe komponente (Bakharia jt 2016). AR pakub tõhusat viisi visualiseerimist vajava mudeli esitamiseks, et aju mudel saaks AR-ist maksimaalset kasu.





Viimastel aastatel on liitreaalsus (AR) kujunenud hariduses ja neuroteaduses murranguliseks tööriistaks, pakkudes uusi võimalusi keerukate bioloogiliste süsteemide visualiseerimiseks ja nendega suhtlemiseks. Üks paljutöötav rakendus seisneb ajutegevuse uurimises, kus AR suudab ületada lõhe abstraktsete närviprotsesside ja käegakatsutavate õpikogemuste vahel. AR võimaldab anatoomiliste struktuuride ja ajufunktsioonide reaajas ruumilist visualiseerimist, suurendades õppijate kaasatust ja arusaamist (Bacca jt, 2014; Radu, 2014). Neuroteaduse hariduse kontekstis, eriti nooremate õppijate seas, on AR-rakendused, näiteks *Ajunapses* itlevad uuenduslikku lähenemisviisi närvimehhanismide mõistmiseks, asetades digitaalsed ajumodelid ajutegevuse ja kognitiivsete funktsioonide animatsioonidega peale.

See on kooskõlas Kucuki jt (2016) leidudega, kes teatasid, et liitreaalsusel põhinevad õpikeskkonnad parandavad oluliselt õpilaste kontseptuaalset arusaamist ja motivatsiooni loodusteadustes. Lisaks rõhutab Billinghamursti jt (2015) uuring liitreaalsuse potentsiaali toetada kehastunud õppimist, kus kasutajad tegelevad aktiivselt ajufunktsioonide ruumiliste ja ajaliste





esitustega. Liitreaalsuse integreerimisega neuroteaduste haridusse püüame uurida, kuidas need tehnoloogiad saavad parandada õpilaste võimet haarata aju anatoomia ja kognitiivsete protsesside põhimõisteid ning soodustada sügavat huvi STEM-valdkondade vastu.

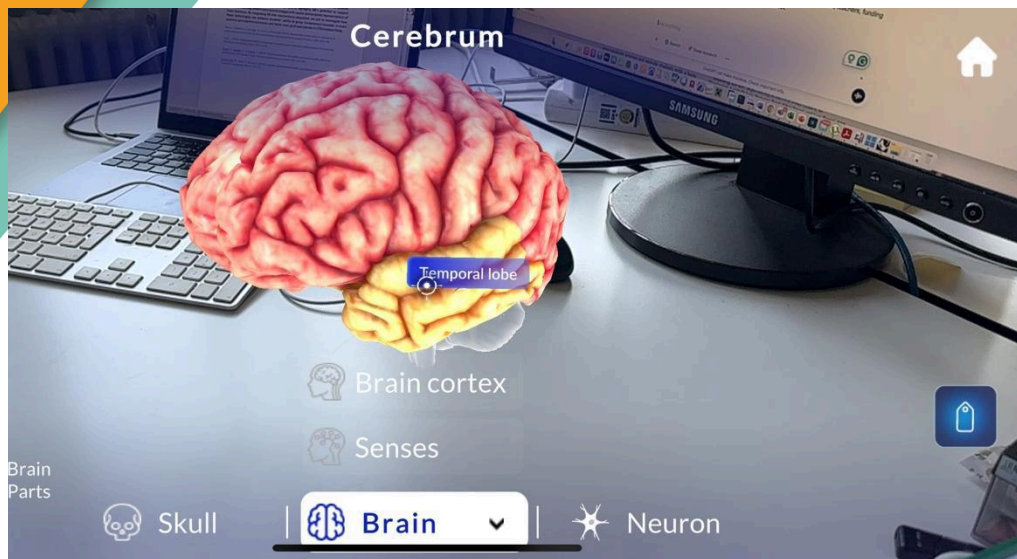
Brainapse on interaktiivne haridusrakendus, mis kasutab liitreaalsust (AR), et inimaju ellu äratada. Ühendades 3D-anatoomilised mudelid reaalse maailma keskkondadega, pakub rakendus õpilastele kaasahaaravat viisi aju struktuuride, närviteede ja kognitiivsete funktsioonide uurimiseks. See muudab abstraktsed bioloogilised kontseptsioonid käegakatsutavateks õpikogemusteks, muutes selle eriti väärtuslikuks noorematele õppijatele või neile, kes on neuroteadusega alles alustamas. Oma visuaalse selguse ja kaasahaarava disainiga avab Brainapse uusi võimalusi interaktiivseks ja uudishimust lähtuvaks õppimiseks nii klassis kui ka väljaspool seda.

Allolev pilt demonstreerib liitreaalsuse kasutamist inimese kolju visualiseerimiseks kolmemõõtmelises keskkonnas. Brainapse'i kaudu saavad õpilased uurida kolju anatoomilist struktuuri, mis koosneb koljust ja alalõuast. See interaktiivne visualiseerimine aitab õppijatel mõista kolju kaitsvat rolli ja selle tähtsust aju majutamisel, parandades ruumitaju ja mälu säilitamist kaasahaarava tehnoloogia abil.

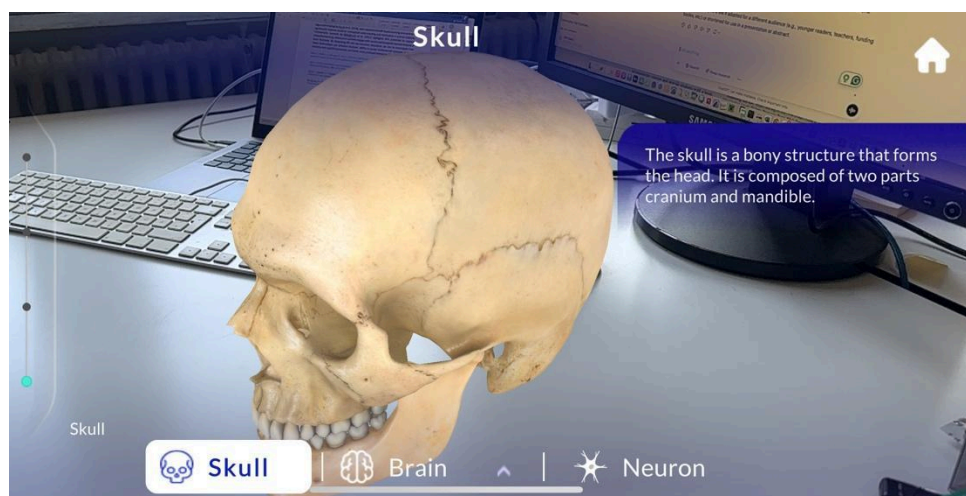


Figure 11. Brainapse App



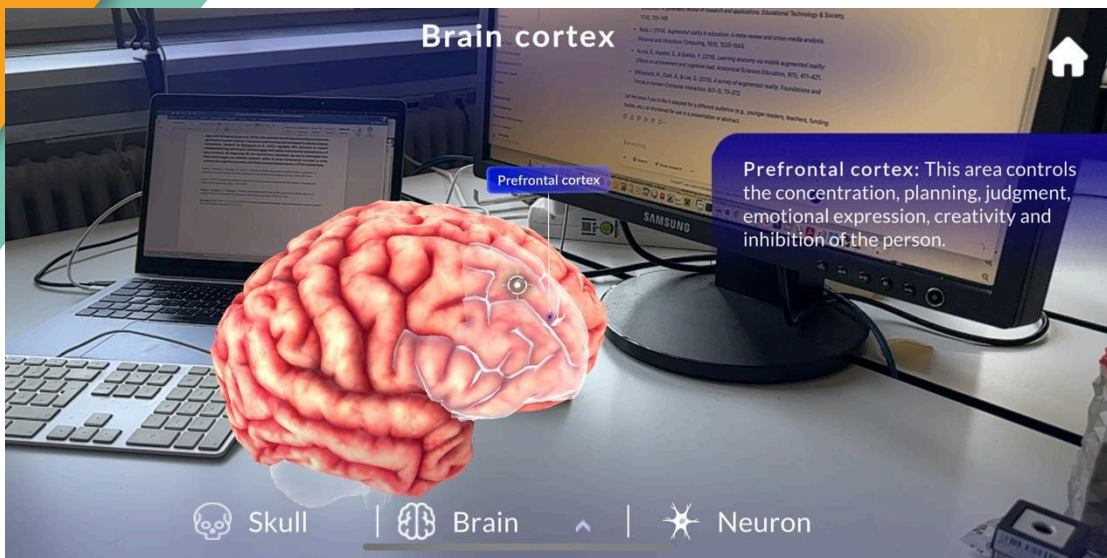


Allolev vaade näitab suuraju, mis keskendub oimusagarale – piirkonnale, mis on oluline kuulmisinfo töötlemiseks ja mälu kujundamiseks. Liitreaalsuse abil saavad õpilased otse suhelda aju märgistatud osadega, soodustades funktsionaalse neuroanatomia sügavamat mõistmist. Sellised interaktiivsed elemendid on parandanud teadmiste meeldejätmist ja õppijate motivatsiooni loodusteaduste hariduses (Kucuk jt, 2016).

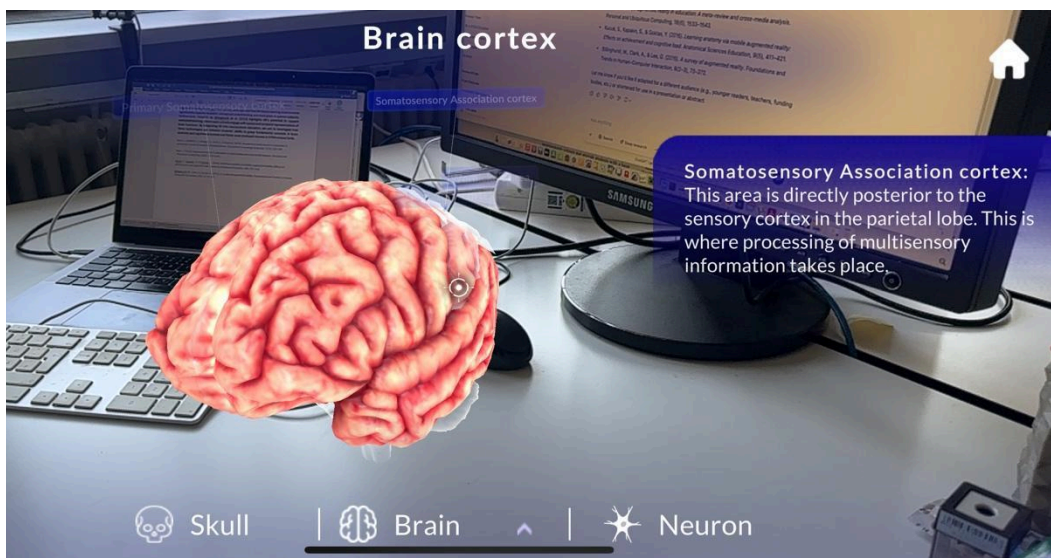


Rakendus toob esile somatosensorse assotsiatsioonikorteksi, mis asub parietaalsagaras. See piirkond integreerib ja tõlgendab sensorset informatsiooni erinevatest modaalsustest. Liitreaalsus muudab selle kontseptsiooni õpilaste jaoks konkreetsemaks, esitades seda reaalses kontekstis, võimaldades kogemuslikku õppimist, mis toetab multisensorset kaasatust (Bacca jt, 2014).





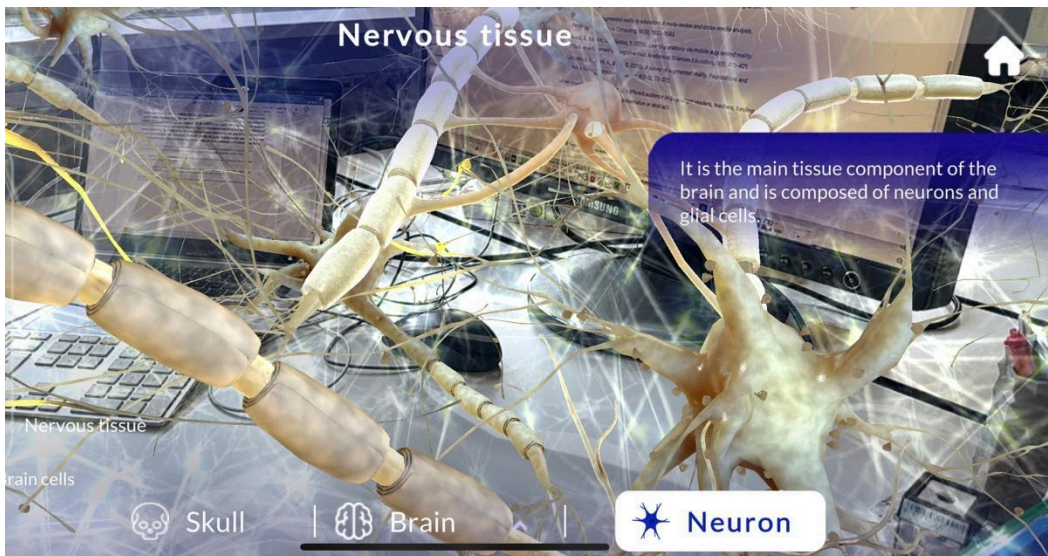
See visualiseerimine keskendub prefrontaalsele korteksile, mis on tuntud oma rolli poolest planeerimises, otsuste tegemises, loovuses ja emotsioonide regulatsioonis. Brainapse võimaldab õppijatel ühendada kognitiivseid funktsioone oma anatoomiliste asukohtadega, luues võimsa



õpikogemuse, mis seob bioloogia käitumisega, mida toetavad uuringud AR-võimendatud loodusteaduste õppimise kohta (Billinghurst jt, 2015).



See stseen sukeldab õpilased närvikoe mikroskoopilisse vaatesse, illustreerides neuroneid ja gliaalrakke dünaamilises 3D-keskkonnas. Astudes virtuaalselt aju rakumaastikku, hindavad õppijad närvikommunikatsiooni ja kudede organisatsiooni keerukust – kogemust, mida on raske ainuüksi õpikute abil korrata (Radu, 2014).



Brainapse'i rakendus pakub ainulaadset võimalust selle koolitusüksuse õpieesmärkide toetamiseks. *Valgus ja aju: neuronite ja valgustundlikkuse uurimine*, juhendades õpilasi visuaalselt läbi aju struktuuri, funktsioonide ja närvikomponentide. Kuigi rakendus ei simuleeri otseselt valgustundlikkust, pakub see selget ja interaktiivset visualiseeringut sensoorse töötlemisega seotud peamistest ajupiirkondadest, näiteks kuklalu (vastutab visuaalse taju eest) ja neuronaaletest võrgustikest (vastutavad signaalide, sealhulgas valgusstimulitega seotud signaalide edastamise eest).

Neid osi 3D-s uurides saavad õpilased paremini aru, kuidas neuronid edastavad sensoorset informatsiooni, kuidas valgusärritusi töödeldakse ja kuidas erinevad ajupiirkonnad vastusena aktiveeritakse. See ruumiline ja kaasahaarav õpe on kooskõlas tõenditega, mis viitavad sellele, et liitreaalsus parandab kontseptuaalset mõistmist ja mälu (Bacca jt, 2014; Radu, 2014). Lisaks soodustab neuronite ja närvikoe detailne nägemine sügavamalt arusaamist sellest, kuidas aju





tuvastab, töötleb ja reageerib välistele stiimulitele, nagu valgus, toetades nii teaduslike teadmiste kui ka uudishimu arengut.

Faas	Kirjeldus
Avastamine	- Uurige, kuidas valgus mõjutab aju, sh visuaalseid/mittevisuaalseid radasid, ööpäevaseid rütme ja stressireaktsioone.
	- Sisu arendamine: töötada välja õppematerjale, mis integreerivad neuroteadust, kognitiivteadust ja valguspõhiseid tehnoloogiaid.
	- Vajaduste analüüs: õppijate eelnevate teadmiste hindamine bioloogia, valguse ja ajufunktsioonide kohta, et õpetust kohandada.
Käivitamine	- Õppekava rakendamine: Viia läbi liitreaalsuse tööriistu kasutades sessioone neuronite ja valguse interaktsiooni, valgusteraapia ja EEG-ajulainete seoste kohta.





Täiustama	- Interaktiivsed harjutused: kasutage liitreaalsuse rakendusi (nt Brainapse, Merge Cube), et uurida närviradasid, ööpäevaseid tsükleid ja valgusega seotud kognitiivseid funktsioone.
	- Tagasiside kogumine: koguge mõtisklusi, tulemusandmeid ja eakaaslaste arutelude tulemusi valguse mõju kohta ajutegevusele ja emotsioonidele.
	- AR-integratsioon: kasutage AR-simulatsioone neuronite, valgustundlike ajupiirkondade ja EEG-lainete muutuste visualiseerimiseks erineva valgustuse korral.
	- Interaktiivne õpe: Võimaldage õpilastel reguleerida valguse taset ja jälgida selle mõju ajumudelitele (nt pupilli refleksi, ööpäevarütm).
	Mängustatud sisu: - Punktid ja märgid Premeerige aju struktuuride või simulatsiooni tulemuste õiget tuvastamist. - Edetabelid Järjesta õpilased valgusneuronite reaktsioonistsenaariumide lahendamise täpsuse alusel. - Ülesanded ja tasemed Avage õpilaste edenedes edasijõudnutele mõeldud teemasid, nagu optogeneetika ja valgusteraapia. - Auhinnad uurimise eest Lisa lisateavet AR-sisu (nt peidetud faktid või EEG visualiseeringud) lisamiseks. - Koostöös mängustatud ülesanded Grupid analüüsivad stressiandmeid või ööpäevase rütmi joondumist virtuaalsetes valgustussituatsioonides. AR-põhised hinnangud: - Õpilased näitavad oma arusaamist, suheldes virtuaalsete ajusimulatsioonidega ja analüüsides valguse mõju närvifunktsioonidele.

Ressursid:

Abdalhadi A, Koundal N, Yusoff MZ jt. Ägeda stressi mõju uurimine otsustusprotsessile elektroentsefalograafia ja funktsionaalse lähiinfrapunaspektroskoopia abil: süstemaatiline ülevaade. IEEE Juurdepääs 2024; 12: 53454–53474.





Al Horr, Y., Arif, M., Kaushik, A., Mazroei, A., Katafygiotou, M. ja Elsarrag, E. (2016). Elanike tootlikkus ja kontori sisekeskkonna kvaliteet: kirjanduse ülevaade. *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, Süstemaatiline ülevaateanalüüs nutika ehituse kohta: väljakutsed ja võimalused, *Sustain.* (2022), <https://doi.org/10.3390/su14053009>.

Altindag O. Stressijuhtimise ja töötulemuste seos organisatsioonides. *International Journal of Research in Business and Social Science* 2020; 9: 43–49.

Awada M, Becerik-Gerber B, Liu R jt. Kümme küsimust keskkonnamõju kohta. Kontoritöötajate stress. *Ehitus ja keskkond* 2023; 229: 109964.

Askaripoor T, Motamedzadeh M, Golmohammadi R jt. Valguse mittekujutist tekitav mõju ajulainetele, autonoomsele närvitegevusele, väsimusele ja sooritusvõimele. *Journal of Circadian Rhythms* 2018; 16: 9.

Askaripoor.T, Motamedzade.M, Golmohammadi.R, Farhadian.M, Babamiri.M, Samavati.M, 2019, Valguse mõju erksusele ja vaimsele sooritusvõimele lõunajärgse dipi ajal: mitmemõõtmeline uuring, *Industrial Health*, 57, 511–524.

Ardabili. G. N, Digert. N, Ulrich.S, Wang.J, 2025, Arhitektuurse klaasi toimivuse iseloomustamine ööpäevase valguse kontekstis, *Energy & Buildings* 328, 115144.

Bacca, J., Baldiris, S., Fabregat, R., Graf, S. ja Kinshuk. (2014). Liitreaalsuse trendid hariduses: uuringute ja rakenduste süstemaatiline ülevaade. *Educational Technology & Society*, 17(4), 133–149.

Bakharia.A, Bruza.P, Watters.J, Narayan.B ja Sitbon.L. 2016. Interaktiivne teemade modelleerimine kvalitatiivse sisuanalüüsi toetamiseks (CHIIR'16). *Arvutusmasinate Ühing*, New York, NY, USA, 213–222.<https://doi.org/10.1145/2854946.2854960>

Bekaroo. G, Sungkur. R, Ramsamy. P, Okolo. A, Moedeen. W, Teadlikkuse suurendamine elektroonikaseadmete rohelise tarbimise kohta: liitreaalsuse rakendamine, säästva energia tehnoloogia hindamine (2018).<https://doi.org/10.1016/j.seta.2018.10.016>.

Bedrosian, T.A., Fonken, L.K., Walton, J.C., Haim, A. ja Nelson, R.J. (2011). Hämar valgus öösel kutsub esile depressioonilaadset käitumist ja vähendab CA1dendriitrakkude tihedust emastel hamstritel. *Psychoneuroendocrinology* 36, 1062–1069.

Berger C, Dück A, Gest S, Jonas L, Kölch M, Martin F, Reis O, Schroth J, Legenbauer T ja Holtmann M (2022) Ereda valguse teraapia võimalikud mõjud elektroentsefalogrammi valvsusele noorukite depressiooni ravis: pilootuuring. *Front. Psychiatry* 13:820090. Doi: 10.3389/fpsyt.2022.820090





Billinghurst, M., Clark, A. ja Lee, G. (2015). Liitreaalsuse ülevaade. Inimese ja arvuti interaktsiooni alused ja trendid, 8(2–3), 73–272.

Chen.B, Cui.M, Wang.Y, Shi.P, Wang.H, Wang., 2022, Hiljutised edusammud rakulises optogeneetikas fotomeditiini jaoks, PMID: 35843507, DOI:10.1016/j.aadress.2022.114457

Choi Y, Kim M, Chun C. Sõitjate stressi mõõtmine elektroentsefalogrammide põhjal. (EEG) kaheteistkümnes kombineeritud keskkonnas. Ehitus ja keskkond 2015; 88: 65–72.

Chang, A.-M., Santhi, N., St Hilaire, M., Gronfier, C., Bradstreet, D. S., Duffy, J. F. ja Czeisler, C. A. (2012). Inimese reaktsioonid erineva kestusega eredale valgusele. Journal of Physiology, 590(13), 3103–3112.

De Rosa. M, Bianco. V, Scarpa. F, Tagliafico. L. A, Hoonete kütte ja jahutuse energiavajaduse hindamine; lihtsustatud mudel ja modifitseeritud kraadpäevade meetod, 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'tete L. EEG beetariba sagedusdomeeni hindamine stressi ja ärevuse hindamiseks puhkeolekus, suletud silmadega ja baasseisundis. Procedia Computer Science 2019; 162: 974–981.

Dübel.S, Röhligh.M, Schumann.H ja Trapp.M. 2014. Ruumiandmete 2D ja 3D esitus: süstemaatiline ülevaade. IEEE VIS International Workshop on 3DVis. <https://doi.org/10.13140/2.1.1281.7602>

Erkan.I, Simsek.S, Avci.AB, Akyol.G, 2025, Valgustuse mõju tööülesannete täitmisele, stressile ja soojustundlikkusele töökeskkonnas.

Frontczak, M. ja Wargocki, P. (2011). Kirjanduse ülevaade sellest, kuidas erinevad tegurid mõjutavad inimeste mugavust sisekeskkonnas. 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 ja Ma.C, 2023, Optogenetika rakenduste edusammud kesknärvisüsteemi vigastuste korral, J.Neurotrauma ajakiri 40:1297–1316, Mary Ann Liebert, Inc, DOI: 10.1089/neu.2022.0290

Huang.X, Tao.Q ja Ren.C, 2024, Valgusravi närvimehhanismide põhjalik ülevaade, Neurosci. Bull. Märts, 2024, 40(3):350–362, <https://doi.org/10.1007/s12264-023-01089-8>

Kaklauskas A, Zavadskas EK, Seniut M jt. Veebipõhine biomeetriline arvutihiire nõuandesüsteem kasutaja emotsioonide ja tööviljakuse analüüsimiseks. Tehisintellekti insenerirakendused 2011; 24: 928–945.





Konstantzos I, Sadeghi SA, Kim M jt. Valgustuskeskkonna mõju ülesannete täitmisele hoonetes: ülevaade. *Energia ja hooned* 2020; 226: 110394.

Kucuk, S., Kapakin, S. ja Goktas, Y. (2016). Anatoomia õppimine mobiilse liitreaalsuse kaudu: mõju õppeedukusele ja kognitiivsele koormusele. *Anatomical Sciences Education*, 9(5), 411–421.

Lamb S, Kwok KCS. Töökeskonna stressorite longitudinaalne uuring kontoritöötajate sooritusvõimele ja heaolule. *Applied Ergonomics* 2016; 52: 104–111.

LeGates, T.A., Altimus, C.M., Wang, H., Lee, H.-K., Yang, S., Zhao, H., Kirkwood, A., Weber, E.T. ja Hattar, S. (2012). Ebanormaalne valgus kahjustab otseselt meeleolu ja õppimist melanopsiini ekspresseerivate neuronite kaudu. *Nature* 491, 594–598.

LeGates TA, Fernandez DC, Hattar S. Valgus kui ööpäevase rütmi, une ja afekti keskne modulaator. *Nat Rev Neurosci* 2014, 15: 443–454.

Liu C, Sun L, Jing X jt. Kuidas korreleeritud värvustemperatuur (CCT) mõjutab bakalaureuseõppe üliõpilasi: psühholoogiline ja füsioloogiline hinnang. *Journal of Building Engineering* 2022; 45: 103573.

Li S, Zhang X, Li Y jt. Siseruumide termilise keskkonna mõju hindamise põhjalik ülevaade töö- ja kognitiivsele sooritusvõimele – kombineeritud füsioloogilised mõõtmised ja masinõpe. *Journal of Building Engineering* 2023; 71: 106417.

Mathôt, S. (2018). Pupillomeetria: psühholoogia, füsioloogia ja funktsioon. *Journal of Cognition*, 1(1). <https://doi.org/10.5334/joc.18>

Mendell, M. J. ja Heath, G. A. (2005). Kas koolide sisekeskkond mõjutab õpilaste sooritust? Kirjanduse ülevaade. *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, Roheliste hoonete sisekeskkonna kvaliteedi mõju elanike tervisele ja rahulolule: süstemaatiline ülevaade, *J. Community Heal. Res.* (2020), <https://doi.org/10.18502/jchr.v9i1.2574>.

Prent N, Smit DJA. Puhkeseisundi alfa-võnkumiste dünaamika ennustab individuaalseid erinevusi loovuses. *Neuropsychologia* 2020; 142: 107456.

Radu, I. (2014). Liitreaalsus hariduses: metaülevaade ja meediaülevaade. *Personal and Ubiquitous Computing*, 18(6), 1533–1543.





Roh, S.-C., Park, E.-J., Shim, M. ja Lee, S.-H. (2016). EEG beeta ja madal gamma võimsus korreleeruvad tähelepanematusesega raske depressioonihäirega patsientidel. *J. Affect. Disord.* 204, 124–130.

Scheer FA, Buijs RM. Valgus mõjutab hommikust sülje kortisooli taset inimestel. *J Clin Endocrinol Metab.* 1999 sept;84(9):3395-8. doi: 10.1210/jcem.84.9.6102. PMID: 10487717.

Selye H. *Elustress*. New York, NY: McGraw-Hill Book Company, 1956.

Soto Munˆoz J, Trebilcock Kelly M, Flores-Aleˆs V jt. Soojuskeskkonna mõju isehinnangulisele tootlikkusele kontorites: struktuurivõrrandi modelleerimise perspektiiv. *Building and Environment* 2022; 210: 108–96.

ˆSujanovˆa. P, Rychtˆarikovˆa. M, Linnapea. T.S, Hyder. A, Tervislik, energiatõhus ja mugav sisekeskkond, ülevaade, *Energies* (2019), <https://doi.org/10.3390/en12081414>.

Sun. X, Wu. H, Wu. Y, Temperatuuri, valgustatuse ja helitaseme, tüüpiliste füsioloogiliste parameetrite ja inimese taju vaheliste seoste uurimine, *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). Liitreaalsusel põhineva neurokirurgilise koolituse tulemuslikkuse hindamine, *Visual Computing for Industry, Biomedicin and Art.* <https://doi.org/10.1186/s42492-019-0015-8>

Teplan M. EEG mõõtmise alused. *Measurement Science Review* 2002; 2: 1–11.

Thach T-Q, Mahirah D, Sauter C jt. Tajutava sisekeskkonna kvaliteedi seosed stressiga töökohal. *Indoor Air* 2020; 30: 1166–1177.

Vandewalle, G., Schwartz, S., Grandjean, D., Vuillaume, C., Balteau, E., Degueldre, C., Schabus, M., Phillips, C., Luxen, A., Dijk, D.J. ja Maquet, P. (2010). Valguse spektraalne kvaliteet moduleerib emotsionaalseid ajureaktsioone inimestel. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 107, 19549–19554.

Viczko J, Tarrant J ja Jackson R (2021) Mõju meeleolule ja EEG-seisunditele pärast meditatsiooni liitreaalsuses koos täiendava neurotagasisideta ja ilma. *Esikülg. Virtual Real.* 2:618381. doi: 10.3389/frvir.2021.618381

Witterseh T, Wyon DP, Clausen G. Mõõduka kuumastressi ja avatud kontori müra mõju SBS-i sümptomitele ja kontoritöö tulemuslikkusele. *Indoor Air* 2004; 14: 30–40.

Yang B, Duan K, Fan C jt. Silmaartefaktide automaatne eemaldamine EEG-s süvaõppe abil. *Biomedical Signal Processing and Control* 2018; 43: 148–158.





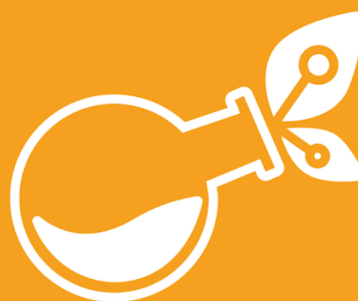
Yeganeh AJ, Reichard G, McCoy AP jt. Ümbritseva õhu temperatuuri ja kognitiivse soorituse korrelatsioon: süstemaatiline ülevaade ja metaanalüüs. Building and Environment 2018; 143:701–716.

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.