

RAZVOJNA I EKSPERIMENTALNA PLATFORMA U NASTAVNIM AKTIVNOSTIMA IZ OBLASTI INTERFEJSA MOZAK-RAČUNAR

Sanja Mandić¹, Vladimir Pejanović², Jelena Đerić³, Nina Evetović⁴, Sara Miljuš⁵,
Platon Sovilj⁶

^{1,2,3,4,5,6}Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija

¹sanja.mandic@uns.ac.rs, ²vladimirpejanovic@uns.ac.rs, ³jelenadjeric99@uns.ac.rs, ⁴evetovic@uns.ac.rs,

⁵miljus.bi31.2018@uns.ac.rs, ⁶platon@uns.ac.rs

Kratak sadržaj: U ovom radu predstavljena je razvojna i eksperimentalna platforma kompanije "EMOTIV", čija je namena istraživanje u oblasti interfejsa mozak-računar. Razvojna i eksperimentalna platforma prikazana je kroz analizu i opis softverskih paketa koje pruža, mogućnosti akvizicije i čuvanja EEG signala, koje omogućavaju dalju analizu i obradu podataka, kao i kroz opis postojećih eksperimenata iz oblasti kognitivnih nauka. Takođe, u radu je prikazan i petokanalni EEG uređaj "EMOTIV Insight", koji je korišćen pri eksperimentalnim istraživanjima u okviru opisane platforme.

Ključne reči: mozak-računar interfejs, elektroencefalografija, akvizicija signala, kognitivne neuronauke, eksperimenti

DEVELOPMENT AND EXPERIMENTAL PLATFORM IN TEACHING ACTIVITIES IN THE FIELD OF BRAIN-COMPUTER INTERFACE

Abstract: This paper gives an insight into the development and experimental platform, developed by the EMOTIV company, whose purpose is research in the field of brain-computer interface. The development and experimental platform is presented through the analysis and description of the software packages it provides, the possibilities of acquisition and storage of EEG signals, which enables further analysis and data processing, and through the description of existing experiments in the field of cognitive sciences. Furthermore, the paper presents the five-channel EEG device EMOTIV Insight, which was used in experimental research within the described platform.

Key Words: brain-computer interface, electroencephalography, signal acquisition, cognitive neuroscience, experiments

1. UVOD

Interfejs mozak-računar je tehnologija koja duže vremena izaziva veliko interesovanje sa stanovišta njenog daljeg razvoja i njene primene, i to interesovanje kao da ima neprekidan rast sa protokom vremena. Sa stanovišta asistivnih tehnologija, tehnologija interfejsa mozak-računar predstavlja jedan od najznačajnijih smerova naučno-istraživačkog razvoja. Sa stanovišta kognitivnih neuronauka, ova tehnologija predstavlja alat, koji omogućuje značajne uvide u brojne spoznajne procese i pojave, a potom i mogućnost da se ovi procesi usmeravaju, odnosno efikasno primenjuju od strane uvežbanih praktikanata neurofidbeka. Osim navedenih, postoji još značajnih primena tehnologije interfejsa mozak-računar, ali ćemo se, za potrebe ovog rada, ograničiti na do sada navedeno i dalje se fokusirati na jednu razvojnu i eksperimentalnu platformu u nastavnim aktivnostima iz oblasti interfejsa mozak-računar.

2. EEG UREĐAJ "EMOTIV INSIGHT"

Uređaj "EMOTIV Insight" (slika 1) predstavlja petokanalni EEG (elektroencefalografski) uređaj kompanije "EMOTIV". "EMOTIV" je kompanija koja se bavi razvojem EEG uređaja i istraživanjima u oblastima kognitivnih nauka i interfejsa mozak-računar, na osnovu elektroencefalografije. Proizvodi kompanije "EMOTIV" pronalaze svoju primenu u širokom spektru oblasti kao što su psihologija, medicina, robotika, industrija video igara itd. "EMOTIV Insight" uređaj, prikazan na slici 1, jedna je od realizacija EEG uređaja kompanije "EMOTIV". Ovaj uređaj karakterišu bežična komunikacija sa računarom, veoma lako postavljanje, konverzija EEG signala u digitalne signale i njihovo slanje na računar, gde je moguća vizuelizacija i dalja obrada signala kroz "EMOTIV" softverske pakete [1]. Dakle, putem Bluetooth mehanizma moguće je ostvariti bežičnu vezu EEG uređaja i računara ili mobilnog uređaja. "EMOTIV Insight" ima punjivu litijum-polimersku bateriju, koja može da traje i do 20 sati. U okviru uređaja postoji 16-bitni A/D konvertor, koji frekvencijom odabiranja od 2048 Hz vrši odabiranje EEG signala i konvertuje ih u digitalne veličine koje se dalje šalju na računar. Frekvencijski opseg uređaja je od 0.5 Hz do 45 Hz. U okviru hardvera datog EEG uređaja realizovana su dva notch filtra za šum na 50 Hz i 60 Hz. Dodatno, za dalju digitalnu obradu

implementiran je digitalni filter petog reda [1]. Uz dati uređaj dobija se set elektroda, provodni gel, USB kabl za punjenje, kao i USB priključak za konekciju sa računarom. Dati uređaj raspolaže sa pet kanala za merenje moždane aktivnosti u pet ključnih regija moždanog korteksa, kao i sa dodatnom, referentnom, elektrodom. Elektrode pokrivaju frontalni (čeonni) režanj, temporalni (slepoočni) režanj i parijetalni (temeni) režanj. Uređaj je realizovan tako da se pri njegovoj postavci na glavu ispitanika ostvaruje postavka elektroda prema međunarodnom 10/20 standardu. Elektrode su polu suve polimerne elektrode (slika 2), realizovane od hidrofilnog materijala koji omogućava što manju upotrebu provodnih gelova i olakšava samu postavku uređaja.

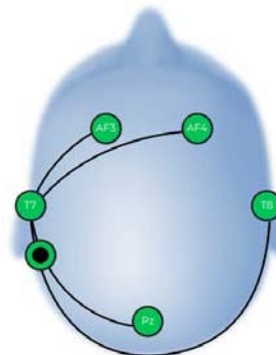


Slika 1. „EMOTIV Insight“ EEG uređaj

Oznake elektroda odgovaraju nazivima regija na kojima su pozicionirane i one su: elektrode AF3 i AF4, koje odgovaraju frontalnom režnju, elektrode T7 i T8, koje odgovaraju temporalnom režnju i elektroda Pz koja se postavlja na regiju parijetalnog režnja. Elektrode AF3 i T7 označene su neparnim brojevima, što znači da se postavljaju tako da snimaju aktivnost leve hemisfere, dok su elektrode AF4 i T8 označene parnim brojevima, odnosno, pripadaju elektrodoma za snimanje aktivnosti desne hemisfere. Referentna elektroda postavlja se na mastoidnu kost. Na slici 3 prikazana je ilustracija rasporeda elektroda na glavi ispitanika. Dodatno, dati EEG uređaj sadrži i akcelerometar, žiroskop i magnetometar sa po tri ose, uz pomoć kojih je omogućeno praćenje pokreta glave korisnika uređaja [1].



Slika 2. Izgled polusuvih polimernih elektroda „Insight“



Slika 3. Raspored elektroda EEG uređaja „EMOTIV

3. SOFTVERSKI PAKETI

Kompanija EMOTIV omogućava korišćenje pet različitih osnovnih paketa, odnosno softverskih aplikacija, koje mogu da se nađu na sajtu kompanije i da se koriste sa njihovim uređajima za snimanje EEG signala [1]. U ovom poglavlju biće opisani osnovni softverski paketi, međutim treba navesti da osim tih pet softverskih aplikacija mogu koristiti i drugi *third party* paketi.

Emotiv pokretač (eng. *launcher*) je interfejs za instalaciju i prijavljivanje za sve EMOTIV aplikacije, odobrene aplikacije trećih strana i uređaje. Pokretač upravlja osnovnim informacijama; uključujući prijavljivanje na korisnički nalog, povezivanje uređaja, proveru kvaliteta kontakta i upravljanje vašim licencama [1].

EmotivPRO predstavlja *end-to-end* rešenje za neuronaučna istraživanja i edukaciju. Omogućava pravljenje neuronaučnih eksperimenata; kao i prikupljanje i analiziranje EEG podataka u jednom integrisanom softverskom okruženju. Može da se koristi uz uređaje *EPOC X*, *EPOC+*, *EPOC Flex* i *Insight*. *EmotivPRO* ima pet različitih licenci koje se mogu izabrati, o čemu će biti više reči u sledećem poglavlju [1]. Početni ekran *EmotivPRO* aplikacije prikazuje listu svih prethodnih snimaka (ukoliko oni postoje), a osim toga koristeći meni na levoj strani ekrana moguće je pristupiti prikazu različitih modaliteta signala. Omogućen je pristup neobrađenom EEG signalu, prikaz frekvencijske

analize jednog odabranog kanala, prikazu metrika učinka za šest kognitivnih stanja: stres, angažovanost, interesovanje, uzbuđenje, fokus i relaksacija, prikazu podataka sa digitalnih senzora pokreta i paketima podataka. Takođe, omogućen je prikaz toka podataka u realnom vremenu ili prikaz snimljenih podataka sa senzora za sve modalitete.

U okviru *EmotivLABS* paketa omogućeno je povezivanje sa *EMOTIV* uređajem, kao i provera kvaliteta konekcije i kvaliteta EEG signala, nakon čega je omogućeno izvršavanje nekih istraživanja putem "igrica". Postoje dva dela ovog paketa, *Citizen Science Experiment* - koji mogu da koriste istraživači širom sveta kako bi dobili pouzdane podatke o radu mozga i *EMOTIV Games* - koji se koristi za istraživanja i prikupljanje podataka direktno [1].

EmotivBCI, kao što i samo ime kaže, predstavlja softver za mozak-računar interfejs. Ova aplikacija pruža mogućnost pomeranja kockice na različite načine u zavisnosti od trenutnog kognitivnog stanja [1]. Da bi učinak bio što bolji, prethodno je potrebno obučiti mašinu sa što više ponavljanja. Pored pomeranja kockice postoji mogućnost obučavanja mašine za kontrolu izraza lica avatara. Povratne informacije o obuci se čuvaju ukoliko je prethodno kreiran profil, pa je moguće trenirati mašinu iz više puta. Broj profila je neograničen, stoga više ljudi može obučavati mašinu ili se mogu isprobati različite strategije. Aplikacija takođe vrši prikaz signala senzora pokreta i prethodno pomenute metrike učinka.

BrainViz paket omogućava 3D prikaz moždane aktivnosti u realnom vremenu. Podaci sirovog EEG signala sa svih senzora se razlažu na 4 frekvencijska opsega – alfa, beta, gama i teta koji su različitim bojom predstavljeni i prikazani na 3D modelu mozga u zavisnosti od senzora s kog je aktivnost došla. U paketu je moguće podešavati pojačanja svakog opsega frekvencija u vizuelizaciji, kao i režim posmatranja 3D modela mozga (*AUTO*, *SIDE VIEW*, *TOP VIEW* i *MANUAL*) [1]. Pored toga, odeljak paketa *Frequencies* daje objašnjenje pojedinačnih frekvencijskih opsega, dok se u odeljku *Brain areas* može pronaći koje vrste moždanih funkcija su povezane sa kojim delom kortikalnog reznja ljudskog mozga. Za razliku od ostalih paketa, *BrainViz* nije besplatan, ali se prilikom prve instalacije dobija 7 dana probnog perioda sa svim pomenutim mogućnostima.

4. STUDENTSKA LICENCA I AKVIZICIJA EEG ODMERAKA

EmotivPRO aplikacija ima mogućnost da se rezultati obavljenih eksperimenata sačuvaju na lokalnom nivou, na udaljenoj lokaciji ili da se učine javno dostupnim. Akvizicija odbiraka se sprovodi procesima snimanja, skladištenja i eksportovanja podataka. Sa *EMOTIV Insight* uređajem i *EmotivPro* aplikacijom omogućeno je sakupljanje EEG podataka u kombinaciji sa razvijenom infrastrukturom računarstva u oblacima (*cloud computing*) i opcijom preuzimanja fajlova sa podacima snimljenih odmeraka na lokalni hard disk sa *cloud* platforme.

Kada je reč o licencama, postoji nekoliko ponuđenih licenci za korišćenje opcije snimanja odmeraka uz dodatne mogućnosti, odnosno postoji više paketa sa različitim cenama i opcijama prikupljanja i snimanja odmeraka u skladu sa potrebama istraživača. Za pojedince koji se interesuju za osnovno funkcionisanje uređaja data je licenca *Lite*, sa besplatnim pristupom osnovnim opcijama, uz otvaranje korisničkog naloga. Ove opcije podrazumevaju čitanje EEG podataka, aktiviranje mentalnih komandi i mogućnost do 5 snimaka.

PRO Student licenca je namenjena studentima koji koriste *EmotivPRO* za istraživanje. Da bi se korisnik kvalifikovao za studentsku licencu potrebna je validacija potvrde o akademskom učešću korisnika kao studenta, tj. popunjavanje upitnika o zemlji, gradu i adresi univerziteta kojem potencijalni budući korisnik licence *Student* pripada, fotografija ili skenirana slika prve dve stranice studentske identifikacione isprave, tj. studentskog indeksa, kao i broj indeksa. Student licenca, koja je korišćena prilikom ovog istraživanja, važi samo za jedan uređaj (personalni računar ili laptop) koji može da koristi studentsku licencu u isto vreme.

Osnovni elementi metodologije datog istraživanja putem *EMOTIV Insight* EEG uređaja čine kvantitativno istraživanje merenja, snimanja i skladištenja odmeraka učesnika istraživanja u csv fajlu, kreiranje istraživačkog okruženja i odabir učesnika, metode i procedure prikupljanja podataka, metode i procedure analize prikupljenih podataka. Akvizicija odmeraka se vrši pritiskom na dugme za snimanje, na dnu aplikacije čime se odmerci učesnika snimaju prvo na *cloud* datog studentskog naloga. Prilikom snimanja potrebno je navesti naziv fajla, ime ili redni broj ispitanika koji koristi *EMOTIV Insight* EEG uređaj i koji tog trenutka učestvuje u snimanju odmeraka. Nakon toga, uvid u ponovni prikaz signala učesnika na ekranu može se izvršiti selektovanjem sačuvanog fajla na *cloud-u*. Akvizicija odmeraka u vidu fajla i njegovo preuzimanje na disk lokalnog, korisnikovog računara, vrši se klikom na ikonicu *download* koja je ponuđena kao deo opcija u nastavku naziva snimka sačuvanog na *cloud-u*. Pre preuzimanja potrebno je naznačiti format u kojem se želi izvršiti preuzimanje, od kojih se u ovom istraživanju koristio csv (*commaseparated values*) ekstenzija fajla.

Studentska licenca *PRO Student* nudi neograničen broj snimanja odbiraka u toku pretplate, međutim sa samo jednog računara logovanog na studentski nalog u isto vreme [1]. To predstavlja ograničavajući faktor prilikom većih istraživanja, kada postoji veliki broj učesnika i više EEG uređaja na kojima se mere signali. Ovom licencom je omogućeno snimanje i preuzimanje odmeraka od strane studentskih i univerzitetskih istraživačkim grupa srednje veličine koje mogu da daju doprinos daljem unapređenju i razvijanju naučne oblasti mozak-računar interfejs, oblašću sa značajnom perspektivom u brojnim sferama savremenog društva, pogotovo u naučnoj oblasti medicine i obrazovanja.

5. PRIMERI EKSPERIMENATA

Prethodno opisana razvojna i eksperimentalna platforma kompanije *EMOTIV* daje mogućnost realizacije raznih eksperimentalnih scenarija [2][3]. U okviru platforme omogućeno je izvršavanje eksperimenata samostalno od početka do kraja, pomoću *EmotivPRO* Builder-a ili putem eksperimenata kreiranih izvan platforme, ili korišćenjem *EmotivLABS* paketa.

EmotivPRO Builder omogućava kreiranje eksperimenata od nule, u sledećim fazama: faza kalibracije signala, faza davanja instrukcija ispitaniku i faza stimulusa. Dok, *EmotivLABS* pruža mogućnost realizacije već formiranih eksperimentalnih scenarija, od kojih će dalje biti predstavljena dve - "*Cerebral Circles*" i "*Rainbow Receptors*" [1].

Pre početka eksperimenta potrebno je izvršiti adekvatnu pripremu koja je ista za sve igrice. Priprema obuhvata aplikaciju gela na elektrode, postavljanje elektroda tako da se ostvari odgovarajući kvalitet kontakta i kvalitet EEG signala. Nakon toga, na ekranu se pojavljuje znak "+", kao što je prikazano na slici 4, koga ispitanici treba da posmatraju tokom čeka je potrebno da se oni fokusiraju i usmere pažnju na zadatak. U tom periodu dobijamo osnovne (eng. *baseline*) podatke.



Slika 3. Uputstvo za igricu prikupljanje podataka i fokusiranje



Slika 4. Uputstvo za igricu "*Cerebral Circles*" osnovnih

Igrica "*Cerebral Circles*" omogućava praćenje kontrole impulsa, pažnje i vremena reakcije. Zadatak ispitanika jeste da pritisne taster *space* ukoliko je na ekranu homogeno obojen krug, dok ako je na ekranu prikazan fragmentiran krug ne treba da pritisne ništa, kao što je prikazano na slici 5.



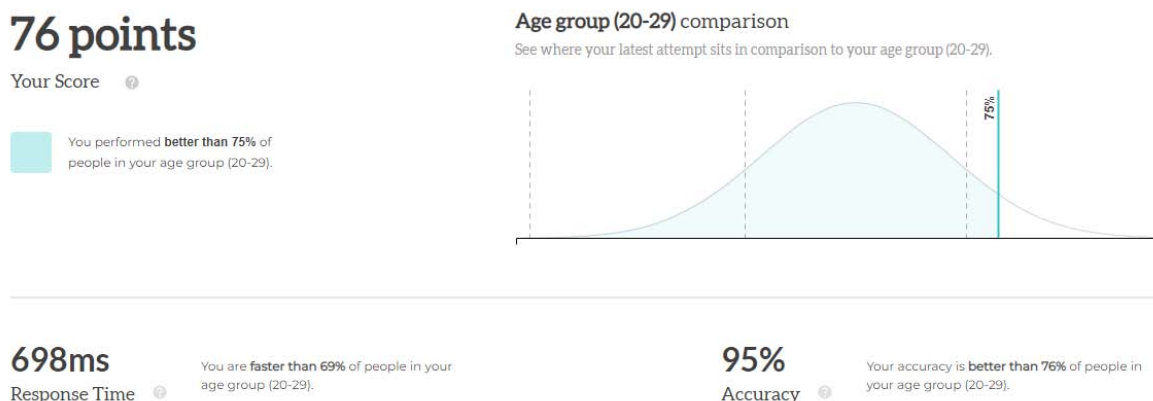
Slika 5. Uputstvo za igricu "*Rainbow Receptors*"

"*Rainbow Receptors*" predstavlja još jedan eksperimentalni scenario koji može da se posmatra i istražuje u okviru *EmotivLABS* paketa i omogućava ispitivanje razlike u brzini prepoznavanja boje i značenja reči. Kako čovek brže čita nego što prepoznaje boju reči, značenje prvo registrujemo, ovaj efekat je poznat kao Strupov efekat. Efekat dolazi do izražaja kada su boja i značenje reči različiti i značajan je u potiskivanju automatizovanog ponašanja, kao i za planiranje i donošenje odluka. Igra, čije se uputstvo vidi na slici 6, zahteva od ispitanika da pritisne dugme koje odgovara boji kojom je reč napisana, a ne koju predstavlja značenje reči.

Od samog početka eksperimenta, odnosno od pokretanja igrice, snimaju se EEG signali, promena položaja glave i ubrzanje pokreta glave. Ti podaci se nakon završetka eksperimenata sinhronizuju na *cloud*, nakon čega možemo da eksportujemo podatke kao *.edf* ili *.csv* fajlove. Tako eksportovani fajlovi sadrže podatke koje smo odabrali da sačuvamo, što mogu biti podaci o vremenskim trenucima odabiranja, vrednosti EEG signala sa elektroda, podaci sa senzora pokreta, frekvencijski opsezi, metrike učinka i drugi.

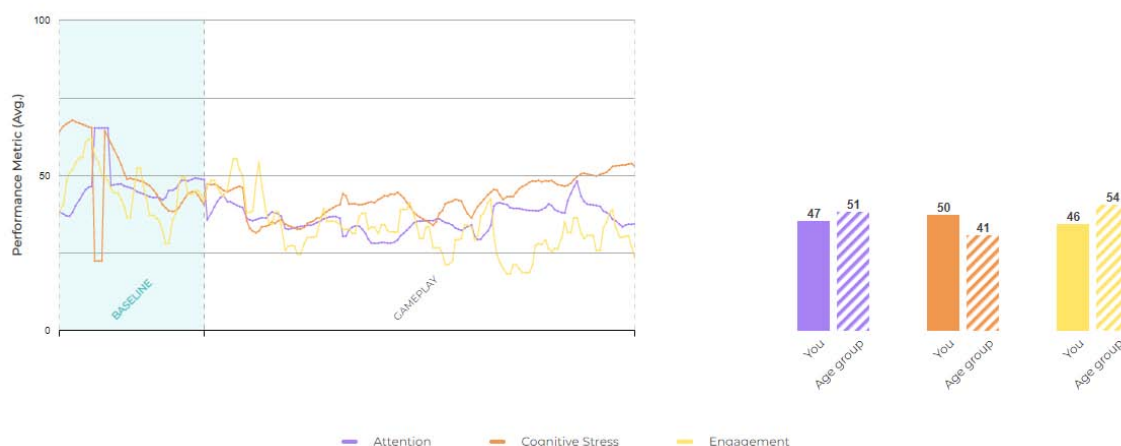
Po završetku svakog eksperimenta prikazuje se izveštaj sa izlaznim veličinama, odnosno, rezultatima eksperimenata. U odnosu na odgovore ispitanika, tj. rešenja određenih zadataka određuju se vreme reakcije u ms, kao i tačnost, odnosno, broj tačnih pokušaja u odnosu na ukupan broj pokušaja. Takođe, u odnosu na starosnu grupu kojoj

ispitanik pripada, postoji ocena njegove uspešnosti u odnosu na druge ispitanike iz iste starosne grupe. Na osnovu vremena reakcije, određuje se i od kog procenta ispitanika iz date starosne grupe je ispitanik brži u rešavanju određenog zadatka. Pored same informacije o tačnosti, dodatno postoji i informacija u odnosu na koji procenat starosne grupe dati ispitanik ima bolje rezultate u smislu tačnosti. Deo izveštaja koji sadrži navedene informacije prikazan je na slici 7.



Slika 7. Deo izveštaja koji prikazuje podatke o tačnosti i vremenu reakcije

Na osnovu signala koji se snimaju putem EEG uređaja, detektuje se aktivnost moždanog korteksa i određenim algoritmima (koji su korisniku softvera nepoznati) računaju se mere kao što su pažnja, kognitivni stres i angažovanje ispitanika pri vršenju eksperimenta. Navedene veličine se takođe prikazuju u okviru izveštaja na kraju eksperimenta, kao što je prikazano na slici 8. Na grafiku se prikazuju vrednosti parametara tokom kalibracije (*baseline*) i tokom eksperimenta (*gameplay*), a dodatno postoji i poređenje ovih veličina u odnosu na proseku za starosnu grupu ispitanika.



Slika 8. Deo izveštaja koji prikazuje podatke o pažnji, kognitivnom stresu i angažovanju

6. ZAKLJUČAK

U ovom radu je sažeto prikazana razvojna i eksperimentalna platforma koja se koristi u nastavnim aktivnostima iz oblasti interfejsa mozak-računar. U prvom poglavlju prikazana je hardverska osnova ove platforme – EEG uređaj “*EMOTIV Insight*”, proizvod kompanije *EMOTIV*. U poglavlju “Softverski paketi” dat je prikaz softverskih aplikacija koje se preporučuju od strane proizvođača, sa njihovim osnovnim mogućnostima i scenarijima korišćenja. U poglavlju “Studentska licenca i akvizicija EEG odmeraka” prikazane su mogućnosti i postupak aktiviranja studentske licence, sa posebnim akcentom na mogućnost akvizicije, arhiviranja i obrade EEG odmeraka. Na kraju, dati su primeri realizovanih eksperimentalnih scenarija uz pomoć opisane razvojne i eksperimentalne platforme.

Prikazana razvojna i eksperimentalna platforma pruža široke mogućnosti upotrebe ove platforme na različitim stepenima nastave i istraživanja. U sklopu osnovnih akademskih studija ova platforma predstavlja pogodno sredstvo za demonstraciju interfejsa mozak-računar, kao i za zadatke projektovanja i razvoja softverskih modula za merenje, akviziciju, obradu i neurofeedback. Na nivou master akademskih studija, ove pomenute mogućnosti se mogu proširiti upotrebom ove platforme za njen dalji razvoj, prvenstveno u smeru reprodukcije brojnih eksperimentalnih scenarija, poznatih i detaljno opisanih u do sada publikovanoj literaturi na temu interfejsa mozak-računar. Na kraju, na nivou doktorskih akademskih studija, ovu platformu je moguće koristiti za dizajn i sprovođenje novih eksperimentalnih

scenarija.

7. NAPOMENA

Ovaj rad je podržan od strane Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu, Centra za metrologiju, u okviru realizacije projekta pod nazivom "Razvoj naučno-stručnih metoda u oblasti merno-informacionih tehnologija, naučne i industrijske metrologije, i biomedicinskih merenja".

8. LITERATURA

- [1] Internet stranica <https://www.emotiv.com/emotivpro/>, januar 2023.
- [2] Steinhubl, Steven R., et al. "Cardiovascular and nervous system changes during meditation." *Frontiers in Human Neuroscience* 9 (2015): 145.
- [3] Louwerse, Max, and Sterling Hutchinson. "Neurological evidence linguistic processes precede perceptual simulation in conceptual processing." *Frontiers in psychology* (2012): 385.