

NAPREDNI ISTRAŽIVAČKI ALATI U ISTRAŽIVANJU OBRAZOVANJA: INTERFEJS MOZAK-RAČUNAR I STRUPOV EFEKAT

Vladimir Pejanović¹, Sanja Mandić², Jelena Đerić³, Nina Evetović⁴, Sara Miljuš⁵,
Platon Sovilj⁶

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

¹vladimirpejanovic@uns.ac.rs, ²sanja.mandic@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 dat je pregled postojećih istraživanja na temu Strupovog efekta, kao i zavisnosti pažnje, učenja i Strupovog efekta. Takođe, u radu je opisan realizovani eksperiment čiji je cilj ispitivanje strupovog efekta kod ispitanika različitog pola i starosne dobi. Eksperiment je realizovan upotrebom "EMOTIV" eksperimentalne platforme, koja u okviru softvera "EMOTIVLabs" daje eksperiment, čija je uloga upravo ispitivanje Strupovog efekta, a koji je korišćen u okviru ovog rada. U cilju prikupljanja podataka i rezultata eksperimenta upotrebljen je petokanalni EEG uređaj "EMOTIV Insight". Ovaj EEG uređaj kompatibilan je za rad sa "EMOTIV" eksperimentalnom platformom i odgovarajućim softverskim paketima u okviru nje. U radu je dat prikaz eksperimentalne postavke, kao i analiza i prikaz rezultata eksperimenta.

Ključne reči: mozak-računar interfejs, elektroencefalografija, kognitivne nauke, Strupov efekat, pažnja, učenje

ADVANCED TOOLS IN EDUCATION RESEARCH: THE BRAIN-COMPUTER INTERFACE AND THE STROOP EFFECT

Abstract: This paper provides an overview of existing research on the subject of the Stroop effect, as well as the mutual correlation of attention, learning, and the Stroop effect. Furthermore, the paper describes an experiment, which aim was to examine the Stroop effect in subjects of different genders and ages. The experiment was realized using the EMOTIV experimental platform, which provides an experiment within the EMOTIVLabs software, whose role is to examine the Stroop effect, and which was used in this work. To collect data and the results of the experiment, a five-channel EEG device EMOTIV Insight was used. This EEG device is compatible to work with the EMOTIV experimental platform and the corresponding software packages within it. The paper describes the experimental setting and gives the analysis and presentation of the results of the experiment.

Key Words: brain-computer interface, electroencephalography, cognitive science, Stroop effect, attention, learning

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. Ova tehnologija predstavlja značajan alat u oblasti kognitivnih neuronauka, alat koji omogućuje značajne uvide u brojne spoznajne procese, uključujući i proces učenja. Međutim, ne samo uvide u ove procese nego i mogućnosti da se ovi procesi usmeravaju, odnosno efikasno primenjuju od strane uvežbanih korisnika tehnologije interfejsa mozak-računar. U ovom preglednom radu sagledavaju se i analiziraju odabrana istraživanja fokusirana upravo na proces učenja i zasnovana na interfejsu mozak-računar i pojavi poznatoj kao Strupov efekat.

Strupov efekat je otkrio američki psiholog Ridli Strup 1935. godine. Strup je spojio dve dimenzije stimulusa, to jest stimulacije reči i objekta odnosno boje u jedinstvenu celinu, na taj način kreirajući konfliktan scenario kao odgovor. Čitanje reči je uvek brže od prepoznavanja boja, pa će, stoga, značenje reči prvo doći do izražaja. Ukoliko je boja reči različitog značenja od same reči, prepoznavanje boje će biti u većoj meri otežano. Dakle, Strupov efekat predstavlja razliku u brzini prepoznavanja boje i značenja reči. Ovaj efekat igra važnu ulogu kada ljudi žele da prevaziđu automatizam u ponašanju ili kada je određeni zadatak nepoznat i/ili zahteva planiranje i donošenje odluka.

2. PREGLED I ANALIZA ISTRAŽIVANJA

Studija [1] proučava Strupov efekat među studentima sa zavisnošću od pametnih telefona i usmerena je ka istraživanju psiholoških mehanizama smanjene kognitivne kontrole kod studenata sa zavisnošću od pametnih telefona. U istraživanju je korelaciona analiza pokazala jasnu pozitivnu korelaciju između zavisnosti od pametnih telefona i broja grešaka u konfliktanom stanju Strupovog zadatka. Interni uzroci, iliti okidači zavisnosti od pametnih telefona mogu biti želja studenata za informacijama, psihologija grupe studenata i emotivni transfer studenata. Istraživanje je

obuhvatilo testove za Strupov efekat putem reči u bojama u vidu Strupovog zadatka i to za grupu sa problemom zavisnosti od pametnih telefona i kontrolnu grupu. Kao rezultat Strupovog zadatka vreme odgovora grupe sa zavisnošću od pametnih telefona je bilo značajnije duže od kontrolne grupe. Pozitivna korelacija je zabeležena između broja grešaka i grupe sa zavisnošću od pametnih telefona. Ovi rezultati u značajnoj meri ukazuju na to da je sposobnost kognitivne kontrole studenata sa zavisnošću od mobilnih pametnih telefona u određenoj meri smanjena, kao i da je njihov nivo kognicije opao [1].

Najnovija istraživanja su otkrila da prisustvo mobilnih telefona smanjuje pažnju tokom učenja. Studija [2], sprovedena od strane A. Kaminske i drugih, je za cilj imala bolje razumevanje datog fenomena mereći efekte koje uzrokuje prisustvo mobilnih telefona, i to mereći notifikaciju mobilnog telefona, kao i samo posedovanje mobilnog telefona i njegov uticaj na pažnju. Prema zaključcima autora istraživanja notifikacija mobilnih telefona je izazivala skretanje pažnje povećavajući vreme potrebno da se završi zadatak. Pažnju je grupa autora merila Stupovim zadatkom. Nije, međutim, otkriveno da li samo prisustvo mobilnog telefona doprinosi ometanju pažnje. Notifikacije mobilnih telefona su najčešće zvučnog karaktera, ali može biti i vibracija i svetlosnog tipa. Ukoliko nabrojimo koje sve vrste notifikacija postoje na jednom pametnom telefonu to podrazumeva značajno skretanje pažnje njegovog korisnika. Notifikacija predstavlja poruku, uzbunu ili status aplikacije (koja radi u pozadini) koja je vidljiva, koja se drugim čulima može registrovati ili je predstavljena na korisničkom interfejsu pametnog telefona [2].

Takozvane "push" notifikacije predstavljaju razrađen i siguran način da se korisnik vrati mobilnom telefonu ili aplikaciji na njemu. Postale su u potpunosti integrisane u naš društveni, ali i svakodnevni život. Prema određenim procenama najčešći podsticaj na koji moderni čovek reaguje je zvuk ili svetlost sa pametnih telefona. Brojni su tipovi "push" notifikacija: app push notifikacije, web notifikacije (povezane sa pretraživačima interneta na pametnom telefonu), notifikacije na pametnim satovima, pristigla email poruka (takozvane inbox "push" notifikacije) itd. Kada se tome doda činjenica o broju poruka, da li sms, email, "messaging" aplikacija, alarma podsetnika koje primamo u toku dana, dolazimo do zaključka da je skretanje pažnje postalo učestalije u ukupnom vremenu koje student ili mladi čovek provede učeći. To u značajnoj meri kumulativno utiče na proces učenja i kvalitet obrazovanja [3].

Grupa autora, M. Bilal, M. Marouf, S. Rizvi, F. Bashir, M. Shahzad, JA Bhutta, je koristiti upravo Emotiv Insight BCI uređaj i došli su do zaključka da je BCI sistem od važnosti za monitoring aktivnosti mozga studenta tokom procesa učenja. Time se pokazuje, ne samo da pomenuti sistem omogućava detekciju smanjene pažnje i kognitivne kontrole putem registrovanja Strupovog efekta, već služi praćenju, kao i poboljšanju pažnje prilikom procesa učenja [4]. Dat je primer učenika kod kojih je BCI uređaj služio kao korektivna alatka za poboljšanje pažnje i to ne u eksperimentalnim uslovima, već tokom same nastave. Ovaj slučaj pokazuje da potencijal BCI uređaja nije samo upotreba za studente i njihovo obrazovanje, već ga mogu koristiti i profesori u cilju razumevanja procesa obrazovanja, pripreme predavanja, materijala i skretanja pažnje studentima na ključne delove izlaganja u određenom trenutku, kada je pažnja studenata, pa samim tim i sposobnost pamćenja, na visokom nivou.

Prethodno pomenuti primer, je zasnovan na studiji Szafir-a i Mutlu-a (2012) koja je koristila frontalnu elektrodu na lokaciji Fp1 u sistemu 10–20 za praćenje nivoa pažnje učenika dok je učenik slušao japansku narodnu priču koju recituje humanoidni robot. Tokom 10 minuta robotskog pripovedanja, kad god je sistem otkrio (iz EEG signala) da je nivo pažnje učenika pao, robot je podigao glas ili je pokretao ruke kako bi vratio učenikovu pažnju. Istraživači su otkrili da su učenici koji su čuli priču od robota, čije je ponašanje zavisilo od BCI-ja koji otkriva pažnju, bili mnogo bolji u odgovaranju na pitanja o narodnoj priči, odgovarajući u proseku tačno na 9 od 14 pitanja, u poređenju sa učenicima za koje robot nije korigovao tj. vraćao pažnju. Rani rezultati o kojima se raspravljalo gore, ukazuju na to da bi BCI sistemi mogli pružiti vredne povratne informacije nastavnicima kao i studentima, omogućavajući preduzimanje odgovarajućih koraka za prilagođavanje obrazovnih strategija, paradigmi interakcije i lekcija prema željama svakog učenika, trenutnog stanja pažnje i potreba. Mogućnost otkrivanja učenicke angažovanosti ili nivoa pažnje može biti posebno korisna za obrazovne napore na mreži (kao što su oni kojima se bave Khan Academy, Coursera, EdX i Udacity) gde ne postoji ljudski učitelj koji bi procenio angažman učenika, dok učenik gleda materijale predstavljene online video snimku [5].

Rad Sethia, Kamlesh-a, Singh-a, Ray-a je za cilj imao da istraži kratkoročni efekat fizičkog vežbanja na selektivnu pažnju studenata. Selektivna pažnja omogućava učesniku da se fokusira na bitne detalje zanemarujući druge trivijalne informacije. Strupov zadatak je test koji se široko koristi za proučavanje selektivne pažnje. Autori su dokazali da je vreme odgovora, statistički, nakon Strupovog zadatka, nakon HIIT-a (Interval vežbi visokog intenziteta) značajno manje nego kod Strupovog zadatka pre HIIT-a [6].

Studija Hill-a, Gibson-a, Wagerman-a, Flores-a i Kelly-a u radu "The effects of aerobic and resistance exercise on state anxiety and cognitive function" časopisa Science & Sports iz Septembra 2019. koja je imala za cilj da istraži efekte aerobnih vežbi i vežbi snage na stanje anksioznosti i kognitivnih funkcija došla je do zaključka da kratka aerobna vežba sa intenzitetom koji sami birate može biti efikasan način za smanjenje stanja anksioznosti i poboljšanje kognitivnih funkcija, u poređenju sa sedenjem ili treningom snage. Dakle, kratka aerobna aktivnost doprinosi poboljšanju kognitivnih funkcija, dok za vežbe snage nije pronađena veza sa poboljšanjem kognitivnih funkcija. Sedenje kao vid stanja tela, kome su mlade generacije sklone tokom korišćenja novih tehnologija pogotovo ne doprinosi oporavku funkcija mozga [7].

U sklopu neuror rehabilitacije dostupan je paket igara sa sistemom koji podstiče rehabilitaciju na ekranu. Korišćenje tehnologije i robotskih terapija je efikasno što je dokazano istraživanjem. Naročito je izražen razvoj video

igara za specifične potrebe. Video igre se mogu prilagoditi tako da ponude funkcije kao što je fokusiranje na korišćenje ručnog zgloba i njegovog pokreta, tj. korišćenje samo pokreta zgloba. Druge igre su zasnovane na neuropsihološkim testovima, odnosno okrenuti kognitivnom aspektu problema. Na primer, postoji igra inspirisana Strupovim testom koji je neuropsihološki, pa se pacijenti mogu fokusirati i na kognitivni oporavak pored motoričke rehabilitacije [8].

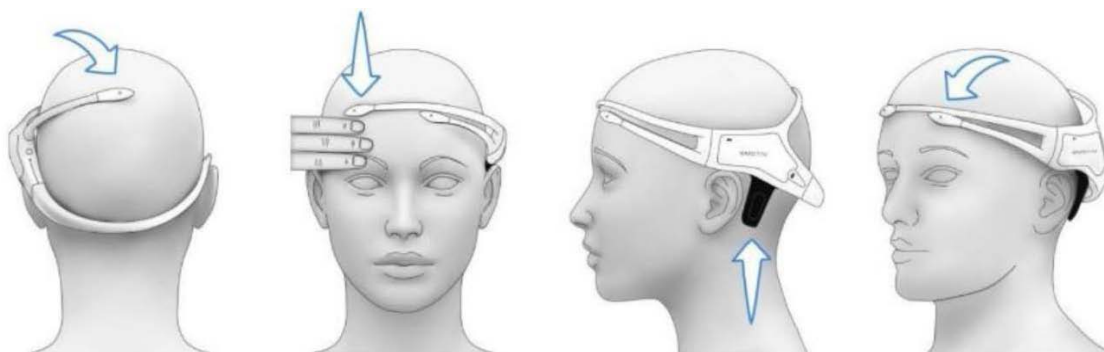
3. ISPITIVANJE STRUPOVOG EFEKTA UPOTREBOM "EMOTIV INSIGHT" EEG UREĐAJA I "EMOTIV LABS" PLATFORME

3.1 Eksperimentalna postavka

U ovom radu vršeno je ispitivanje Strupovog efekta kod 20 ispitanika različitog pola i uzrasta. Strupov efekat ispitivan je snimanjem moždane aktivnosti EEG uređajem „*EMOTIV Insight*“ (slika 1), kao i na osnovu odgovora ispitanika na zadatke u okviru eksperimenta. Eksperiment je dat u okviru „*EMOTIV Labs*“ softvera pod nazivom „*Rainbow Receptors*“. Pre izvršavanja samih zadataka, na glavu ispitanika postavljan je petokanalni EEG uređaj. EEG uređaj „*EMOTIV Insight*“ bežično se povezuje sa računarom, na koji šalje digitalizovane EEG signale koji opisuju moždanu aktivnost ispitanika. U okviru odgovarajućeg softvera „*EMOTIV*“ platforme sa kojom sam EEG uređaj komunicira, moguće je vizualizovati EEG signale i snimiti ih u odgovarajuće .csv datoteke. Korišćeni uređaj sadrži polusuve polimerne elektrode koje se postavljaju na tri značajna regiona sa kojih se snimaju moždane aktivnosti – frontalni, temporalni i parijetalni režanj. Dodatno, referentna elektroda postavlja se na mastoidnu kost, iza levog uha ispitanika. Dakle, dve elektrode, označene kao AF3 i AF4 postavljaju se na čelo ispitanika, i tokom snimanja prikupljaju signale sa frontalnog režnja moždanog korteksa. Brojevi 3 i 4 označavaju levu i desnu hemisferu, redom. Elektrode označene sa T7 i T8 postavljaju se na temporalnu regiju leve, odnosno, desne hemisfere, dok se elektroda Pz postavlja na parijetalni deo i prikuplja signale sa parijetalnog režnja moždanog korteksa. Na svaku od elektroda postavlja se provodni gel čija je uloga poboljšanje kontakta na interfejsu elektroda-koža. U okviru „*EMOTIV*“ softvera, pri svakom postavljanju uređaja na glavu ispitanika, proverava se kvalitet kontakta svake od elektroda sa kožom glave, kao i kvalitet EEG signala na svakom od pet kanala. Tek ukoliko je ostvaren dobar kontakt elektroda i tkiva, i EEG signal odgovarajućeg kvaliteta, moguće je započeti eksperiment. Dakle, kada se EEG uređaj postavi na glavu ispitanika, kao što je prikazano na slici 2, vrši se provera i prilagođavanje EEG uređaja sve dok se ne ostvari optimalna postavka i kvalitet signala.



Slika 1. „*EMOTIV Insight*“ EEG uređaj

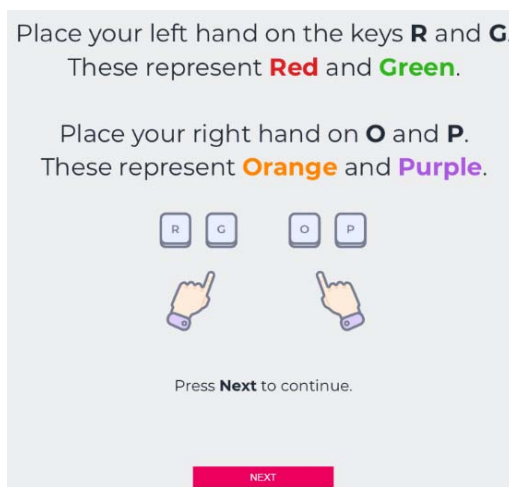


Slika 2. Postavljanje „*EMOTIV Insight*“ EEG uređaja na glavu ispitanika

Po postavci uređaja, neophodno je da se ispitanik relaksira i fokusira na tekst prikazan na ekranu računara. Pre svakog eksperimenta, u cilju vršenja kalibracije, od ispitanika se zahteva da nekoliko sekundi gleda u znak „+“

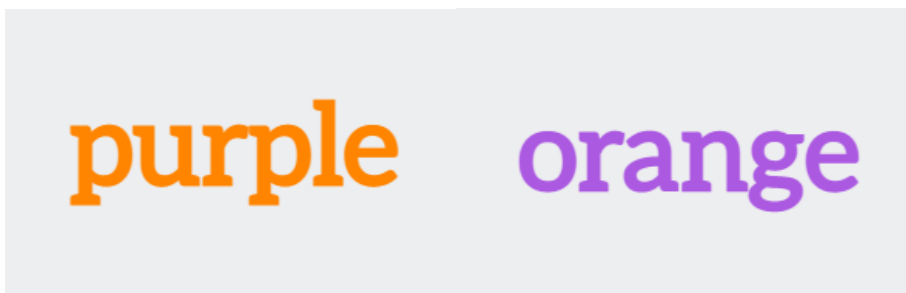
koji se prikazuje na belo obojenom ekranu. Nakon kalibracije i provere nivoa zvuka na računaru, ispitaniku se prikazuje tekst sa uputstvom za dati eksperiment.

Eksperiment "Rainbow Receptors" namenjen je upravo za ispitivanje Strupovog efekta. Na slici 3 prikazan je tekst sa uputstvom za izvršavanje zadatka navedenog eksperimenta, koji se prikazuje ispitaniku.



Slika 3. Uputstvo za eksperiment ispitivanja Strupovog efekta „Rainbow Receptors“

Naime, ispitanik treba da postavi prste na tastere R, G, O, P, koji odgovaraju bojama *red*, *green*, *orange* i *purple*, redom. Tokom eksperimenta na ekranu se prikazuju reči *red*, *green*, *orange* i *purple*, u nasumičnom poretku, ispisane nekom od četiri navedene boje. Na slici 4 prikazani su primeri ispisa reči *purple* i *orange*, narandžastom i ljubičastom bojom. Od ispitanika se zahteva da pritisne onaj taster koji odgovara boji, a ne reči koja je prikazana. Dakle ukoliko je reč *red* prikazana zelenom bojom, ispitanik treba da pritisne taster G koji odgovara zelenoj boji (*green*). Od ispitanika se zahteva što manje vreme reakcije, kao i što veća tačnost. Pored vizuelne informacije o tačnosti trenutnog pogađanja boje, postoji i auditorna informacija u vidu zvuka za tačan pokušaj i netačan pokušaj. Ukoliko ispitanik pogrešno odredi koja je boja u pitanju, ima mogućnost ponovnog pokušaja.



Slika 4. Prikaz reči različitim bojama u okviru eksperimenta „Rainbow Receptors“

Za svaki eksperiment postoji nekoliko izlaznih veličina, u okviru izveštaja na kraju svakog eksperimenta. Kao što je prethodno navedeno, prate se vreme reakcije u ms, i tačnost, kao udeo tačnih odgovoru u ukupnom broju odgovora, izražena u procentima. Navedena dva parametra zavise isključivo od odgovora ispitanika pritiskom na tastere. Pored ovih parametara, prate se dodatna tri parametra na osnovu snimaka sa EEG uređaja. Ti parametri su pažnja, kognitivni stres i angažovanje, a izražavaju se u procentima.

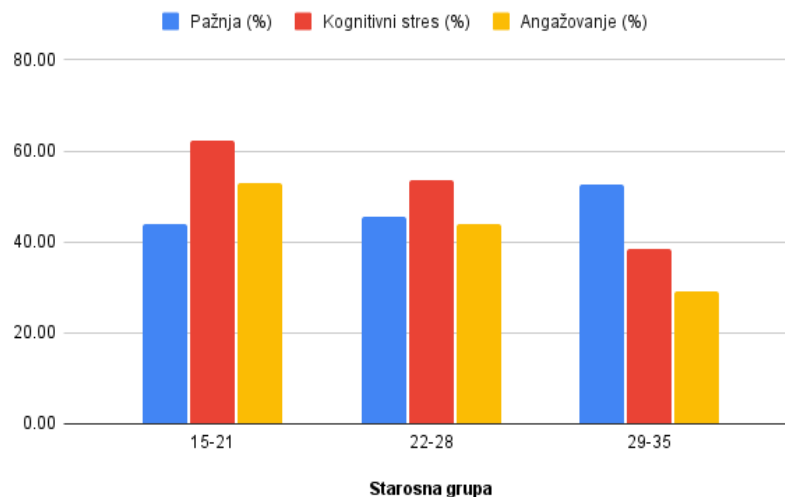
3.2 Rezutati

U opisanom eksperimentu učestvovalo je 20 ispitanika, muškog i ženskog pola i različite starosne dobi. Svaki ispitanik imao je jedan pokušaj za zadatke u okviru eksperimenta. Svi eksperimenti vršeni su u istim uslovima spoljašnje sredine. Parametri u okviru izveštaja, koji se dobija kao krajnji rezultat eksperimenta, beleženi su za svakog od ispitanika i prikazani su u okviru tabele 1. U prve dve kolone tabele 1 uneti su podaci o polu i godini rođenja, dok su u narednim kolonama tabele beleženi rezultati na osnovu odgovora ispitanika na zadatke, a zatim i rezultati analize EEG signala.

Tabela 1 – Rezultati eksperimenta *Rainbow Receptors*

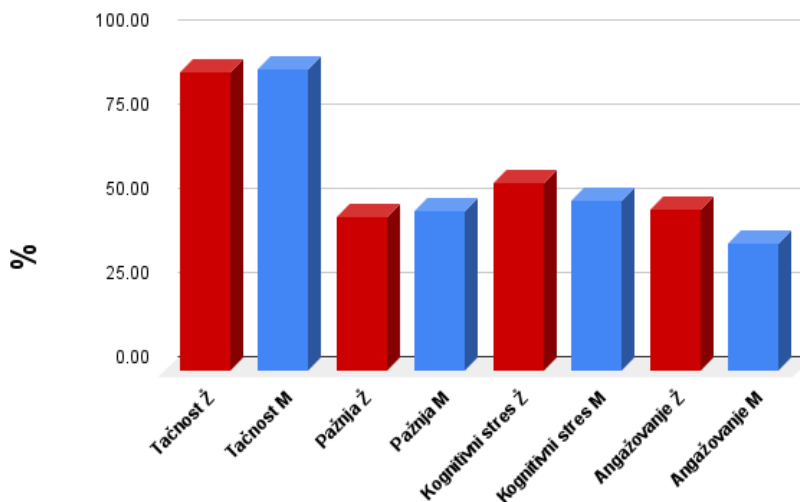
Podaci o ispitaniku		Rezultati eksperimenta				
ol	Godina rođenja	Vreme reakcije (ms)	Tačnost (%)	Pažnja (%)	Kognitivni stres (%)	Angažovanje (%)
	1999.	870	96	59	14	43
	2003.	671	88	34	66	36
	1999.	764	97	53	44	45
	1999.	785	78	59	63	50
	2004.	825	97	47	58	69
	2003.	760	86	51	63	54
	1993.	970	90	65	35	29
	1998.	901	91	50	43	45
	1997.	851	83	41	61	44
	2001.	957	92	39	71	46
	2001.	744	91	37	52	36
	1998.	775	83	61	32	25
	1999.	775	75	38	55	54
	1999.	644	87	29	63	41
	1999.	753	98	47	66	44
	1988.	648	91	40	42	29
	1998.	986	92	45	66	48
	1998.	698	95	42	72	45
	1998.	742	91	47	47	43
	1998.	972	75	38	57	51

U odnosu na broj godina, svi ispitanici podeljeni su u tri starosne grupe: od 15 do 21, od 22 do 28 i od 29 do 35 godina. Na osnovu rezultata eksperimenta pokazano je da za zadatke ispitivanja Strupovog efekta pažnja raste sa porastom godina, dok kognitivni stres i angažovanje opadaju sa porastom godine (slika 5). Najveći kognitivni stres pri izvršavanju zadatka „*Rainbow Receptors*“ ispoljava se kod ispitanika starosne dobi od 15 do 21 godinu, sa 62,33 %, dok je kognitivni stres najmanji za starosnu grupu od 29 do 35 godina, i iznosi 38,50 %. Prosečan kognitivni stres za starosnu grupu od 22 do 28 godina iznosi 53,73 %. Angažovanje u vršenju zadataka „*Rainbow Receptors*“ je veličina sa najvećim opsegom vrednosti, od 29,00 %, za ispitanike starosti od 29 do 35 godina, do 53,00 %, za ispitanike starosti od 15 do 21 godinu. Prosečna vrednost pažnje za uzrast od 15 do 21 godinu je 44,00 %, za uzrast od 22 do 28 godina je 45,67 %, dok je prosečna pažnja ispitanika starosti od 29 do 35 godina najveća i iznosi 52,50 %.



Slika 5. Prosečne izlazne veličine eksperimenta za ispitanike iz tri starosne grupe

Za svaki od parametara izračunata je prosečna vrednost za ispitanike muškog i ženskog pola. Sa slike 6 moguće je uočiti da su kognitivni stres i angažovanje ispoljeni u nešto većoj meri kod ispitanika ženskog pola u odnosu na ispitanike muškog pola. Kognitivni stres je u proseku veći za 5,42 % kod ispitanika ženskog pola u odnosu na ispitanike muškog pola, dok je angažovanje veće za 10,17 %. Kod ispitanika muškog pola pokazane su veća tačnost u zadatku ispitivanja Strupovog efekta, kao i veća pažnja tokom vršenja opisanog eksperimenta.



Slika 6. Prosečne izlazne veličine eksperimenta za ispitanike ženskog i muškog pola

4. ZAKLJUČAK

U ovom radu prethodno je opisan eksperimentalni postupak koji analizira Strupov efekat i njegov odnos sa pažnjom, kognitivnim stresom i angažovanjem ispitanika. Eksperiment je izvršen primenom softverskih alata kompanije *Emotiv* i *Emotiv Insight* uređaja za snimanje EEG signala. Prikazani su rezultati ispitanika, koji su bili podeljeni u tri starosne grupe. Posmatranjem dobijenih rezultata zaključeno je da su u proseku kognitivni stres i angažovanje bili najveći u starnosnoj grupi od 15 do 21 godine, a pažnja u starosnoj grupi od 29 do 35 godina. Tačnost u izvršavanju zadatka je za sve starosne grupe bila iznad 88%, a uočeno je da je procenat tačnosti veći kod ispitanika muškog pola. Dakle, dobijeni rezultati jasno pokazuju odnos Strupovog efekta sa pomenutim parametrima, kao i odnos performansa prilikom izvršavanja zadatka kod ispitanika različitog pola i u različitim starosnim dobima.

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".

5. LITERATURA

- [1] Zhang T, Gong N, Jia R, Li H, Ni X., Stroop effect in smartphone addiction among college students, *Medicine* (Baltimore), 2021.
- [2] A. Kaminske, A. Brown, A. Aylward, M. Haller, Cell Phone Notifications Harm Attention: An Exploration of the Factors that Contribute to Distraction, *European Journal of educational Research*, 1487-1494, 2022.
- [3] Internet stranica <https://gravitec.net/blog/types-of-push-notifications-all-you-need-to-know/>, Januar 2023.
- [4] M. Bilal, M. Marouf, S. Rizvi, F. Bashir, M. Shahzad, JA Bhutta, EEG-Based BCI for Attention Assessment in E-learning Environment using SVM, *KIET Journal of Computing and Information Sciences*, Vol. 5, No. 1, 2022.
- [5] Rajesh PN Rao, Brain-Computer Interfacing, An Introduction, Cambridge University Press, SAD, Njujork, 2013.
- [6] D. Sethia, T. Kamlesh, M. Singh and S. B. Ray, "Short Term Effect of Physical Exercise on Selective Attention using Eeg and Stroop Task," 2022 14th International Conference on COMMunication Systems & NETWORKS (COMSNETS), 2022, pp. 789-793.
- [7] M.D. Hill, A.-M. Gibson, S.A. Wagerman, E.D. Flores, L.A. Kelly, The effects of aerobic and resistance exercise on state anxiety and cognitive function, *Science & Sports*, Volume 34, Issue 4, 2019, Pages 216-221.
- [8] Internet stranica <https://www.news-medical.net/news/20221201/Embracing-Robotic-Assistance-in-Neurorehabilitation.aspx>, Januar 2023.