

**PRILOG NEINVANZIVNOM INTERFEJSU MOZAK-RAČUNAR****A CONTRIBUTION TO THE NONINVASIVE BRAIN-COMPUTER INTERFACE**Marija Ivanković, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – BIOMEDICINSKO INŽENJERSTVO**

**Kratak sadržaj** – U radu su objašnjeni osnovni principi BCI odnosno interfejsa između mozga i računara. Prikazan je EEG uređaj Emotiv Insight dizajniran za BCI. Dat je opis hardvera uređaja kao i softvera koji su namenjeni ovom uređaju.

**Ključne reči:** Emotiv Insight, BCI, EEG

**Abstract** – The paper explains the basic principles of BCI that is the interface between the brain and the computer. The EEG device Emotiv Insight designed for BCI is shown. A description of the hardware of the device as well as the software intended for this device is given.

**Keywords:** Emotiv Insight, BCI, EEG

**1. UVOD**

BCI tehnologija predstavlja direktni komunikacioni sistem između mozga i računara ili nekog drugog spoljašnjeg uređaja. BCI prikupljene moždane signale pretvara u komande kojima se kontroliše neki spoljašnji uređaj. Cilj ovog sistema je da omogući upravljanje uređajima na osnovu signala dobijenih iz centralnog nervnog sistema. U poslednjih nekoliko godina BCI tehnologija je znatno napredovala. Naučni istraživači širom sveta razvijaju BCI sisteme koji su do pre nekoliko godina bili u domenu naučne fantastike. Ovi sistemi koriste različite moždane signale, metode snimanja i algoritme za obradu signala. Mogu da upravljaju raznim uređajima, od kursora na ekranima računara preko invalidskih kolica do robotskih ruku.

BCI tehnologija omogućava upravljanje spoljašnjim uređajem samo uz pomoć misli. U pozadini svih misli je komunikacija između neurona u mozgu koja se odvija preko električnih impulsa. Ovi električni impulsi se mogu detektovati primenom elektroencefalografije. Najčešće upotrebljavan BCI bazira se na snimanju EEG-a. Odlikuje se tehnikom korišćenja neinvazivnih elektroda koje se postavljaju na površinu glave. BCI detektuje promene u aktivnosti mozga i potom te signala prosleđuje algoritmu na bazi mašinskog učenja.

Emotiv Insight je elegantan višekanalni EEG uređaj dizajniran za BCI. Emotiv Insight meri i interpretira moždane signale. Ovaj uređaj pruža mogućnost praćenja kognitivnih performansi korisnika. Na taj način korisnik može da prati i otkrije kako da poboljša pažnju, fokus, angažovanje, interesovanje, uzbuđenje, interes, relaksa-

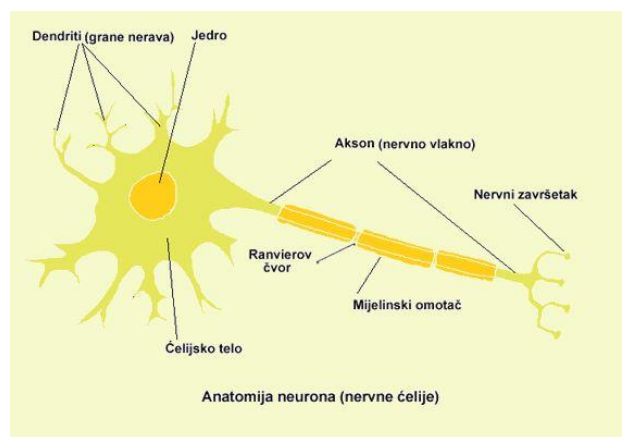
ciju i kako da smanji nivo stresa. Pored toga, uređaj nudi mogućnosti kao što su prepoznavanje mentalnih naredbi i prepoznavanje izraza lica.

**2. NERVNI SISTEM**

Organizam čoveka se sastoji iz više sistema organa. Nervni sistem je najkompleksniji sistem u čovekovom organizmu koji koordiniše radom svih ostalih sistema. Nervni sistem upravlja životnim procesima i odnosom organizma i spoljašnje sredine.

**2.1. Neuron**

Nervni sistem funkcioniše međusobnom komunikacijom neurona. Neuron ili nervna ćelija je osnovna morfološka i funkcionalna jedinica nervnog sistema. Na slici 1 je predstavljena osnovna građa neurona. Neuron je izgrađen iz tela i nastavaka. Telo je ispunjeno citoplazmam i sadrži jedro i ćelijske organe. Nervna ćelija sadrži jedan dugi nastavak koji se naziva akson i kraće nastavke koji se nazivaju dendriti. Dendriti su kraći, razgranati nastavci koji nervni impuls dovode do tela ćelije. Akson ili nervno vlakno služi za prenos nervnog impulsa od tela neurona ka sledećem neuronu.



Slika 1. Osnovna građa neurona

Dve najvažnije osobine nervne ćelije su nadražljivost i provodljivost. Nadražljivost predstavlja osobinu nervne ćelije da reaguje na draž dok provodljivost predstavlja osobinu nervne ćelije da prenosi nervni impuls. Prema pravcu prenošenja nadražaja neuroni se mogu podeliti na senzitivne, motorne i asocijativne.

Nervni impulsi su električni signali kojima se informacije prenose u nervnom sistemu. Nervni signali se prenose putem akcionog potencijala. Akcioni potencijal predstavlja naglu promenu membranskog potencijala. Nadražljivost nervne ćelije predstavlja njenu sposobnost da na nadražaj odreaguje promenom membranskog potencijala. Preno-

**NAPOMENA:**

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio prof. dr Platon Sovilj.

šenje impulsa sa jedne na drugu ćeliju vrši se preko sinapse.

### 2.1. Podela nervnog sistema

Nervni sistem se može podeliti na centralni nervni sistem i periferni nervni sistem.

Periferni nervni sistem povezuje centralni nervni sistem sa ostatkom tela. Periferni nervni sistem se sastoji od snopova aksona koji se nazivaju nervi. Deli se na somatski nervni sistemi i autonomni nervni sistem. Somatski nervni sistem je povezan sa svesnim aktivnostima. Autonomni nervni sistem je izvan područja dobrovoljne kontrole. Autonomni nervni sistem se može podeliti na simpatički i parasimpatički nervni sistem. Simpatički nervni sistem se aktivira u stresnim situacijama dok se parasimpatički sistem povezuje sa normalnim funkcionisanjem u opuštenim uslovima.

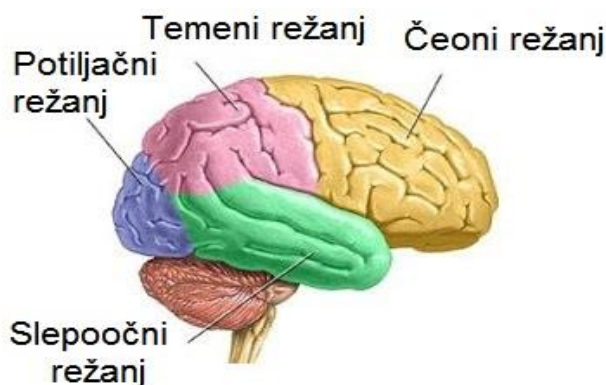
Centralni nervni sistem se sastoji iz mozga i kičmene moždine. Zauzima najveći deo nervnog sistema i utiče na pokretanje svih delova tela. Mozak se nalazi u lobanji dok se kičmena moždina nalazi u kičmenom kanalu.

Kičmena moždina predstavlja vezu između mozga i tela. Pored toga što prenosi informacije do mozga i od mozga poseduje niz automatskih funkcija koje se nazivaju refleksi. Iz kičmene moždine polazi 31 par nerava. Senzitivni nervi donose poruke dok motorni nervi šalju poruke mišićima i organima. Refleks je pokret kojim upravlja kičmena moždina a posledica je nekog nadražaja. Centri refleksnih lukova nalaze se u sivoj masi kičmene moždine. Siva masa nalazi se u unutrašnjosti kičmene moždine i izgrađena je od tela neurona. Bela masa se nalazi napoljašnjem delu kičmene moždine i izgrađena je od produžetaka neurona.

Mozak je jedan od najvećih i najkompleksnijih organa u čovekovom organizmu. Mozak se sastoji od prednjeg mozga, srednjeg mozga i zadnjeg mozga. Prednji mozak se sastoji od velikog mozga i međumozga. Zadnji mozak se sastoji od malog mozga, produžene moždine i moždanog mosta.

Moždana kora ili moždani korteks predstavlja površinu mozga koja je vrlo neravna i karakteriše je prepoznatljiv uzorak nabora ili izbočina i žlebova. Najistaknutiji žleb je poznat kao uzdužna pukotina, to je duboki žleb koji razdvaja mozak na dve polovine ili hemisfere. Moždana kora se sastoji od 16 milijardi neurona koji su poređani u određene slojeve. Korteks čine tela nervnih ćelija, na osnovu njihove boje korteks dobija ime - siva materija. Ispod korteksa nalaze se duga nervna vlakna koja međusobno povezuju područja mozga i koja se nazivaju bela materija. Desna hemisfera kontroliše levu polovinu tela dok leva hemisfera kontroliše desnu polovinu tela.

Korteks velikog mozga je povezan sa procesima višeg nivoa kao što su svest, misao, osećanja, rasuđivanje, jezik, pamćenje. Leva i desna hemisfera se mogu podeliti na četiri režnja: frontalni, parijetalni, temporalni i okcipitalni. Na slici 2 su prikazani režnjevi kore velikog mozga. Svaki režanj je povezan sa određenim funkcijama. Postoje vrlo složeni odnosi između režnjeva mozga i između desne i leve hemisfere. Nisu sve funkcije hemisfera zajedničke. Generalno, leva hemisfera kontroliše govor, razumevanje, računanje i pisanje. Desna hemisfera kontroliše kreativnost, prostorne sposobnosti, umetničke i muzičke veštine.



Slika 2. Režnjevi kore velikog mozga

Frontalni ili čeoni režanj se nalazi u prednjem delu mozga. Frontalni režanj je zadužen za ličnost, ponašanje, emocije, presudu, planiranje, rešavanje problema, govor i pisanje (Brokino područje), inteligenciju, koncentraciju, samosvest. Sadrži motorni korteks koji je uključen u planiranje i koordinaciji pokreta, prefrontalni korteks koji je odgovoran za kognitivno funkcionisanje na višem nivou.

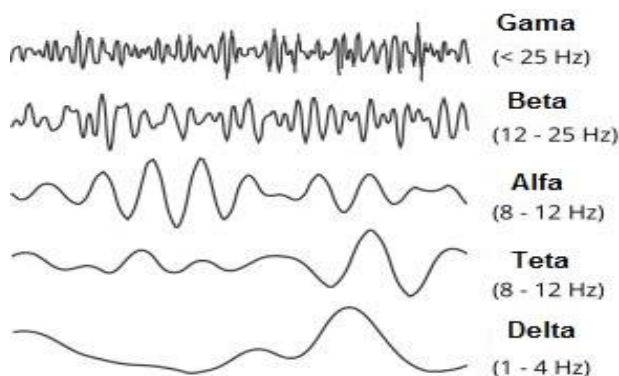
Parijetalni režanj nalazi se odmah iza frontalnog režnja i uključen je u obradi informacija iz telesnih čula. Parijetalni režanj tumači jezik, reči. Zadužen je vizuelnu i prostornu percepciju. Sadrži somatosenzorni korteks koji je neophodan za obradu senzornih informacija iz celog tela, kao što su dodir, temperatura i bol.

Temporalni ili slepoočni režanj nalazi se sa bočne strane glave. Povezan je sa sluhom, pamćenjem, emocijama i nekim aspektima jezika. Slušni korteks, glavno područje odgovorno za obradu slušnih informacija nalazi se unutar temporalnog režnja. Ovde se nalazi i Vernikeova zona, važna za razumevanje govora.

Okcipitalni režanj se nalazi na zadnjem delu mozga. Sadrži primarni vizuelni korteks koji je odgovoran za tumačenje dolaznih vizuelnih informacija.

### 3. ELEKTROENCEFALOGRAFIJA

Elektroencefalografija je metoda koja se koristi za merenje električne aktivnosti mozga. Elektrode se postavljaju na površinu glave ili unutar moždanog tkiva. Moždani talasi se prema frekvenciji mogu podeliti na delta, teta, alfa, beta i gama talase. Na slici 3. prikazani su moždani talasi.



Slika 3. Moždani talasi

Delta talasi su najsporiji talasi koji dostižu najveće amplitude. Ovi talasi se javljaju kod beba i kod odraslih u toku dubokog sna. Ako se pojave kod odrasle osobe u budnom stanju onda predstavljaju patološki nalaz. Određene frekvencije u delta rasponu utiču na lučenje hormona rasta koji je neophodan za regeneraciju organizma. Ovi talasi su dominantni u nesvesnom stanju.

Teta talasi se javljaju u toku sna i to kad osoba tone u san ili se budi. Aktivni su i u toku lucidnog sanjanja. Ovi talasi su spori i normalno se javljaju kod male dece uzrasta do 6,7 godina. Javljaju se i u toku duboke relaksacije. Preterana teta aktivnost je prisutna kod osoba sa poremećajem pažnje.

Alfa talasi su dominantni kada su oči zatvorene i u stanju relaksacije. Javljaju se u opuštenom stanju, kada osoba sanjari i u toku meditacije.

Beta talase mozak emituje u budnom stanju. Beta talasi su usko povezani sa mentalnim aktivnostima. Javljaju se pri pojačanoj pažnji i koncentraciji. To su brzi talasi, prisutni u toku rešavanja problema i rasuđivanja, donošenja odluka.

Gama talasi imaju najveću frekvenciju a najmanju amplitudu. Javljaju se pri pojačanom stresu, panici ili besu. Gama talasi predstavljaju stanje potpune fokusiranosti kada se postiže maksimalna koncentracija.

#### 4. BCI

BCI (*Brain Computer Interface*) ili u prevodu interfejs između mozga i računara je sistem koji omogućava direktnu komunikaciju između mozga i spoljašnjeg uređaja. BCI sistemi mere i koriste signale proizvedene od strane centralnog nervnog sistema. Namera korisnika da izvrši određenu radnju može se detektovati direktno na kortikalnom nivou bez korišćenja perifernih nerava ili aktivacije mišića. BCI sistem prikuplja moždane signale, analizira ih i prevodi u naredbe sposobne za kontrolu spoljašnjeg softvera ili hardvera. Namera korisnika da izvrši određene radnje se detektuje i prevodi u upravljački signal uređaja koji ostvaruje nameru korisnika. Namera korisnika može na primer biti da pomera kursor ili da upravlja invalidskim kolicima.

Postoji nekoliko različitih metoda koje se mogu koristiti za merenje moždane aktivnosti. U zavisnosti od načina merenje moždane aktivnosti BCI tehnologija se može podeliti na invazivnu i neinvazivnu. Najčešće korišćena metoda za beleženje moždane aktivnosti u BCI sistemima je EEG, jer je to tehnika koja je jednostavna, neinvazivna, prenosiva i jeftina. BCI tehnologija ima mnogobrojne primene u različitim oblastima. Prvenstveno ova tehnologije se koriste za pomoć osobama sa motornim deficitima, pre svega osobama obolelim od amiotrofične lateralne skleroze i osobama kod kojih je došlo do povrede kičmene moždine.

BCI se koristi u neurorehabilitaciji pacijenata čije su neuromuskularne funkcije oštećene bolešću ili traumom centralnog nervnog sistema. Tehnologija im pomaže da ponovo nauče kako da obavljaju motoričke funkcije sa veštačkim udovima, što dovodi do funkcionalnog oporavka.

BCI se koristi u kontrolisanju okruženja. Većina pacijenata koji izgube kontrolu mišića često su vezani za

kuću. Ova tehnologija ima za cilj da im omogući da kontrolišu sisteme u svom okruženju, kao što su svetla, televizori, telefoni i prednja vrata.

Koristi se i u oblasti komunikacija gde ima za cilj da osobama koje nisu u stanju da govore omogući da ponovo komuniciraju. Pored toga BCI se primenjuje i u video igrama i za zabavu i to su samo neke od mnogobrojnih primena ove tehnologije.

#### 5. EMOTIV KOMPANIJA

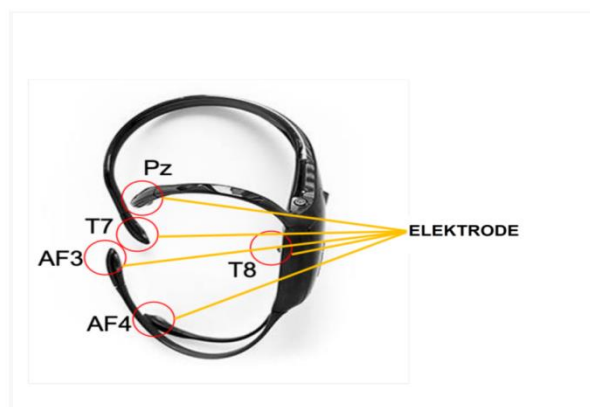
EMOTIV je bioinformatička kompanija koja se bavi razvojem EEG uređaja. Njihova misija je da podstaknu i ubrzaju istraživanja mozga širom sveta. Emotiv ima za cilj da stvori ogromno digitalno skladište podataka dobijenih snimanjem mozga i da razvije platformu koja bi omogućila deljenje podataka širom sveta. Kompaniju su osnovali 2011. godine Tan Lee i Dr. Geoff Mackellar. Sedište kompanije je u San Francisku.

EMOTIV tehnologija se primenjuje u industriji igara, psihologiji, medicini, robotici, automobilske industriji i to su samo neke od mnogobrojnih oblasti primene njihove tehnologije. EMOTIV proizvodi su namenjeni isključivo za istraživanja i ličnu upotrebu, ne prodaju se kao medicinski uređaji i nisu namenjeni za dijagnostiku ili lečenje bolesti. Ova kompanija je dizajnirala uređaj Emotiv Insight koji je od oktobra 2015. godine postao komercijalno dostupan.

#### 6. EMOTIV INSIGHT

Emotiv Insight je elegantan, višekanalni bežični EEG uređaj koji može da meri moždane talase. Emotiv Insight raspolaže inovativnom tehnologijom polusuvih polimernih senzora kojima se postiže odlična električna provodljivost. Polusuvni polimerni senzori su jednostavni za upotrebu i čišćenje.

Emotiv Insight raspolaže sistemom koji čini pet elektroda koje mere aktivnost iz ključnih područja korteksa i dve referentne elektrode. Elektrode su postavljene u skladu sa međunarodnim 10/20 sistemom. Elektrode su postavljene tako da pokrivaju prednji režanj, slepoočni režanj i parijetalni režanj. Nazivi elektroda su: AF3, AF4, T7, T8 i Pz. Na slici 4. su prikazane slušalice sa označenim elektrodama.



Slika 4. Emotiv Insight slušalice sa označenim senzorima



## 7. SOFTVERI

Neki od najčešće korišćenih softvera namenjenih za Emotiv Insight uređaj su EmotivBCI, EmotivPRO, EmotivBrainViz i MyEmotiv.

EmotivBCI je aplikacija koja omogućava obučavanje mentalnih komandi kako bi se postiglo upravljanje uređajem pomoću misli. Mentalne komande su povezane sa određenim mislima koje sistem treba da prepozna. Algoritam radi pomoću prepoznavanja obrazaca i zahteva da se obučeni najmanje jedno neutralno i jedno komandno stanje. Sistem uči da prepozna obrasce moždane aktivnosti koje su povezane sa komandnim stanjem poređenjem sa neutralnim stanjem. Komande su povezane sa pokretima kocke kako bi se postiglo uvežbavanje komandi na osnovu povratne informacije odnosno na osnovu kretanja kocke. Trebe odraditi što više treninga da bi sistem mogao što bolje da detektuje obrasce moždane aktivnosti a i da bi korisnik što bolje naučio da ponovo stvori određenu misao vezanu za određenu komandu u svom umu. Izvan aplikacije ove komande se mogu povezati sa bilo kojim odabranim digitalnim izlazom. Cilj je da misli koje su povezane sa komandama budu ponovljive i odvojive odnosno da se razlikuju za svaku komandu kako bi se algoritmi bazirani na mašinskom učenju lakše obučili. Aplikacija poseduje režim gde se kretanje kocke ostvaruje na osnovu aktivnosti mozga u realnom vremenu. Pored merenja električne aktivnosti mozga mere se i aktivnost mišića lica i oka. Ovi signali se koriste za identifikaciju izraza lica i pokreta očiju. Aplikacija omogućava i režim uživo gde će lice reagovati na aktivnost mozga u realnom vremenu. EmotivBCI omogućava i prikaz metrike performansi odnosno vrednosti stresa, relaksacije, angažovanja, interesa, fokusa i uzbuđenja u realnom vremenu. Aplikacija omogućava prikaz podataka sa senzora pokreta odnosno prikazuje podatke o položaju i orijentaciji slušalica.

EmotivPRO je namenjen za istraživanja u oblasti neuronauke i za edukaciju. EmotivPRO kao i EmotivBCI ima mogućnost prikaza metrike performansi i prikaz podataka sa senzora pokreta u realnom vremenu. Omogućava prikaz EEG signala i frekvencijske analize signala u realnom vremenu. Kada se slušalice konektovane prikazuju se EEG signal bez obzira na to da li se pravi snimak ili ne. Prikazuje se EEG signal za svaki kanal. Korisnik može izabrati kanale sa kojih želi da se prikazuje signal. Može se praviti neograničeni broj snimaka koji se mogu čuvati. Sačuvani snimci se mogu naknadno reprodukovati i eksportovati radi analize.

EmotivBrainViz je softver koji omogućava 3D vizuelizaciju moždane aktivnosti u realnom vremenu. 3D vizuelizacija mozga prikazuje moždanu aktivnost u realnom vremenu. EEG signal sa svakog kanala je raščlanjen na četiri različite frekvencijske komponente odnosno na teta, alfa, beta i gama talase. Svaki od ovih frekvencijskih opsega je kodiran posebnom bojom i distribuiran na 3D modelu mozga na osnovu mesta senzora koji je detektovao aktivnost. Ovaj softver pruža edukativni sadržaj o glavnim delovima mozga i frekvencijskim opsezima. Opisuje kakvo stanje mozga je povezano sa svakim od frekvencijskih opsega.

MyEmotiv je mobilna aplikacija za iOS i Android. Aplikacija je namenjena za praćenje moždane aktivnosti tokom svakodnevnog života u cilju poboljšanja mentalnih performansi. Ova aplikacija omogućava snimanje EEG signala i merenje šest kognitivnih stanja. Ima mogućnost 3D prikaza mozga u realnom vremenu.

Snimanje signala u toku obavljanja svakodnevnih aktivnosti može pružiti informacije o tome kako mozak reaguje na određene aktivnosti. Razumevanje mozga je prvi korak u optimizaciji performansi mozga. Ideja je da se podstaknu korisnici da što bolje razumeju svoj mozak, na primer da otkriju kada su najviše fokusirani ili šta dovodi do toga da budu relaksirani.

## 8. ZAKLJUČAK

Razvoj BCI tehnologije predstavlja multidisciplinarnu oblast u kojoj učestvuju neuronaučnici, inženjeri, matematičari, informatičari, psiholozi, neurolozi i specijalisti za kliničku rehabilitaciju. Tehnologija kao što je Emotiv Insight uređaj ima pozitivan uticaj na razvoj BCI zato što omogućava istraživanje mozga izvan laboratorije.

Ljudi širom sveta mogu da proučavaju mozak. Sve to dovodi to toga da se polje BCI tehnologije sve brže razvija. Većina BCI tehnologije je još uvek u ranoj fazi razvoja. BCI ima potencijal da utiče na sve aspekte života. Potencijalne primene ove tehnologije su neverovatne.

## 9. LITERATURA

- [1] <https://mayfieldclinic.com/pe-anatbrain.htm> (pristupljeno u septembru 2020.)
- [2] <https://imotions.com/blog/eeg/> (pristupljeno u septembru 2020.)
- [3] <https://emotiv.gitbook.io/emotiv-home/> (pristupljeno u septembru 2020.)
- [4] [http://www.fgcsic.es/lychnos/en\\_en/articles/Brain-Computer-Interface](http://www.fgcsic.es/lychnos/en_en/articles/Brain-Computer-Interface) (pristupljeno u septembru 2020.)
- [5] <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3497935/> (pristupljeno u septembru 2020.)

### Kratka biografija:



**Marija Ivanković** rođena je u Šapcu 1996. godine. Diplomirala je na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu na smeru Biomedicinsko inženjerstvo 2019. godine. Iste godine upisala je master studije na smeru Biomedicinsko inženjerstvo. Kontakt: [ivankovic.marija96@gmail.com](mailto:ivankovic.marija96@gmail.com)