

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA

SENZORSKE TEHNOLOGIJE

---

# Senzori za EEG

---

*Autori:*

Domagoj Jurić

Dominik Kisić

*Mentor:*

prof.dr.sc. Mario Cifrek

13. siječnja 2017.



## Sadržaj

<b>1</b>	<b>Uvod</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Elektroencefalografija</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>10–20 sustav postavljanja elektroda</b>	<b>2</b>
<b>4</b>	<b>Mjerni lanac</b>	<b>6</b>
<b>5</b>	<b>Elektrode</b>	<b>9</b>
5.1	Mokre elektrode . . . . .	9
5.2	Suhe elektrode . . . . .	10
<b>6</b>	<b>Primjena EEG-a</b>	<b>11</b>

## Popis slika

1	Regije mozga [3] . . . . .	3
2	Bočni prikaz 10–20 sustava za postavljanje elektroda [4] . . .	4
3	10–20 sustav za postavljanje elektroda [6] . . . . .	5
4	Mjerni lanac EEG-a . . . . .	6
5	Frekvencijska karakteristika EEG signala bez filtriranja [8] . .	7
6	Primjer bipolarnog prikaza EEG-a [10] . . . . .	8
7	Nadomjesna shema (a) mokre i (b) suhe elektrode [11] . . . .	9
8	Suhe čekinjaste polimerne elektrode (engl. <i>dry bristle polymer electrodes</i> ) [13] . . . . .	10
9	Primjer sučelja mozga i računala [15] . . . . .	12

## Popis tablica

1	Značenje kratica u 10-20 sustavu . . . . .	6
2	Karakteristike elektroda za različite materijale . . . . .	11

# 1 Uvod

Ovo je seminar u sklopu predmeta Senzorske tehnologije sa zadatakom proučiti senzore koji se koriste u elektroencefalografiji (EEG).

## 2 Elektroencefalografija

Živčani sustav u tijelu živih bića, tako i ljudi, prenosi informacije električnim signalima. Za snimanje različitih dijelova živčanog sustava razvile su se različite metode snimanja. Neke od osnovnih metoda su elektrokardiografija, elektromiografija i elektroencefalografija. Elektrokardiografija (EKG) je metoda snimanja električne aktivnosti srca, elektromiografija (EMG) je metoda snimanja električne aktivnosti mišića, a za centralni živčani sustav postoje dvije metode: elektroencefalografija (EEG) i elektrokortikografija (ECoG). [1] [2]

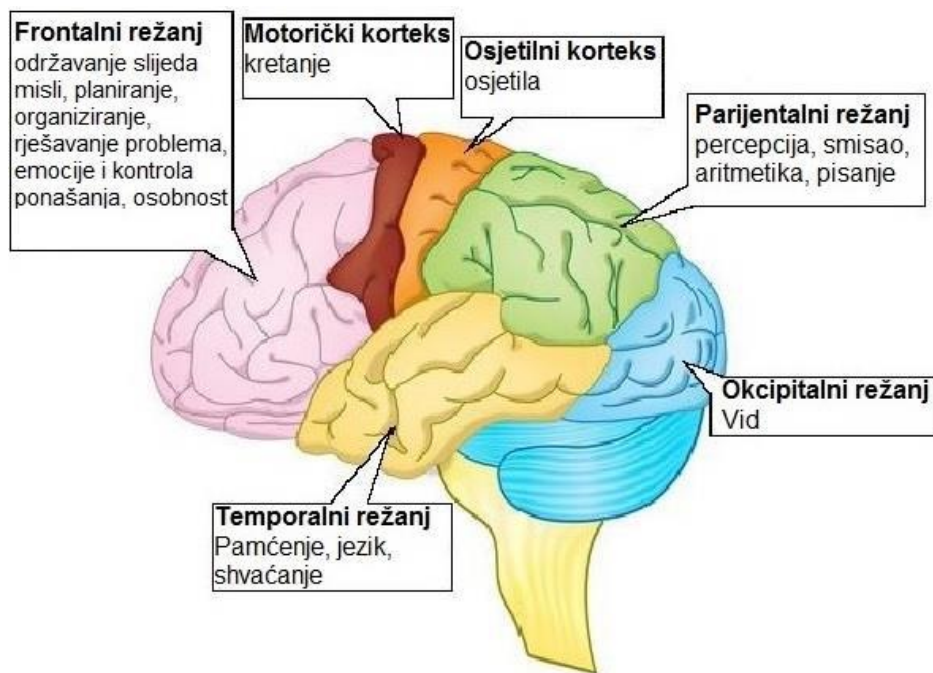
Obje spomenute metode snimanja centralnog živčanog sustava mjere električnu aktivnost mozga na njegovoj površini. Kod elektrokortikografije (ECoG) elektrode se postavljaju izravno na mozak. ECoG je invazivna metoda prilikom koje je nužno otvoriti lubanju ispitaniku kako bi se moglo pristupiti površini mozga. Elektroencefalografija je neinvazivna metoda kod koje se elektrode postavljaju na glavu ispitanika. Odnos signal-šum EEG-a je red veličine manji nego ECoG-a jer moždana ovojnica, lubanja i koža unose dodatno gušenje signala. Zato su signali mjereni EEG-om reda veličine  $10\mu V$  dok su kod ECoG-a  $100\mu V$  [3]. Obje metode imaju brzi vremenski odziv (moguće su primjene u stvarnom vremenu), ali je zbog svoje neinvazivnosti EEG popularnija metoda koja pronalazi sve više primjena u medicini i u znanosti, ali i u komercijalnim sustavima. ECoG je našao svoju primjenu kao nadzorna metoda za vrijeme operacija na mozgu prilikom kojih je neophodno otvaranje lubanje.

## 3 10–20 sustav postavljanja elektroda

Iako EEG ima brz vremenski odziv, zbog gušenja signala kroz kožu i moždane ovojnice, njegova prostorna razlučivost je ograničena.

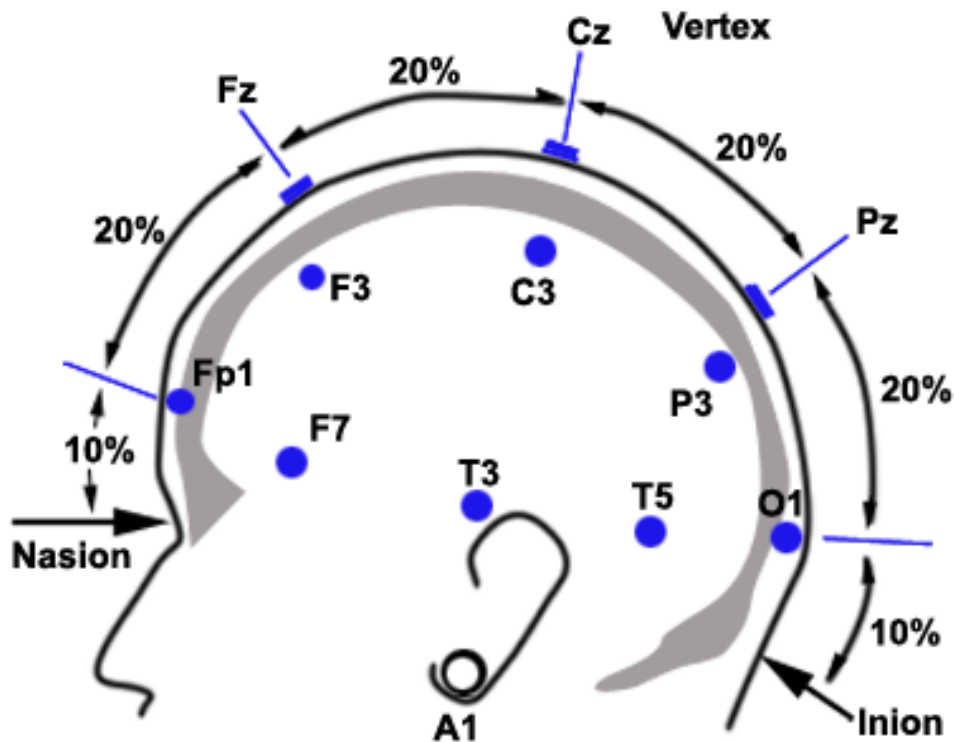
Pojedini neuron svojom aktivacijom stvara mali napon, ali je svaki neuron u mozgu povezan s mnoštvom drugih te kada se odrađuje neka složenija radnja, cijela regija u mozgu se aktivira, što se može mjeriti EEG-om. Korteks

ili kora mozga podijeljena je na četiri glavne vanjske regije (četiri režnja). Pozicije, naziv i uloge režnjeva opisane su na slici 1. Frontalni režanj nam služi za više kognitivne funkcije, planiranje i rješavanje problema. Rubni dio (gyrus) frontalnog režnja zadužen je za kretanje. Parietalni ili tjemeni režanj nam služi za osjetila, razumijevanje smisla, aritmetike i pisanje. Temporalni režnjevi su pozicionirani sa strane prema ušima te nam služe za sluh i razumijevanje jezika. Ispod temporalnog režnja (kada se moždano tkivo malo razmakne) nalazi se insularni režanj koji nije dio vanjske kore mozga te se ne može direktno mjeriti EEG-om. Okcipitalni ili zatiljni režanj služi nam za procesiranje vida.



Slika 1: Regije mozga [3]

Zbog preciznije ponovljivosti mjerenja i eksperimenata mjerenih s EEG-om, koristi se standardizirani 10–20 sustav postavljanja elektroda. U 10–20 sustavu kao referentne točke na glavi koriste se nazion i inion. Nazion je udubina koja se nalazi ispod čela i iznad nosa, a inion je udubina ispod zatiljka prije početka vrata. Njihove pozicije su prikazane na slici 2.

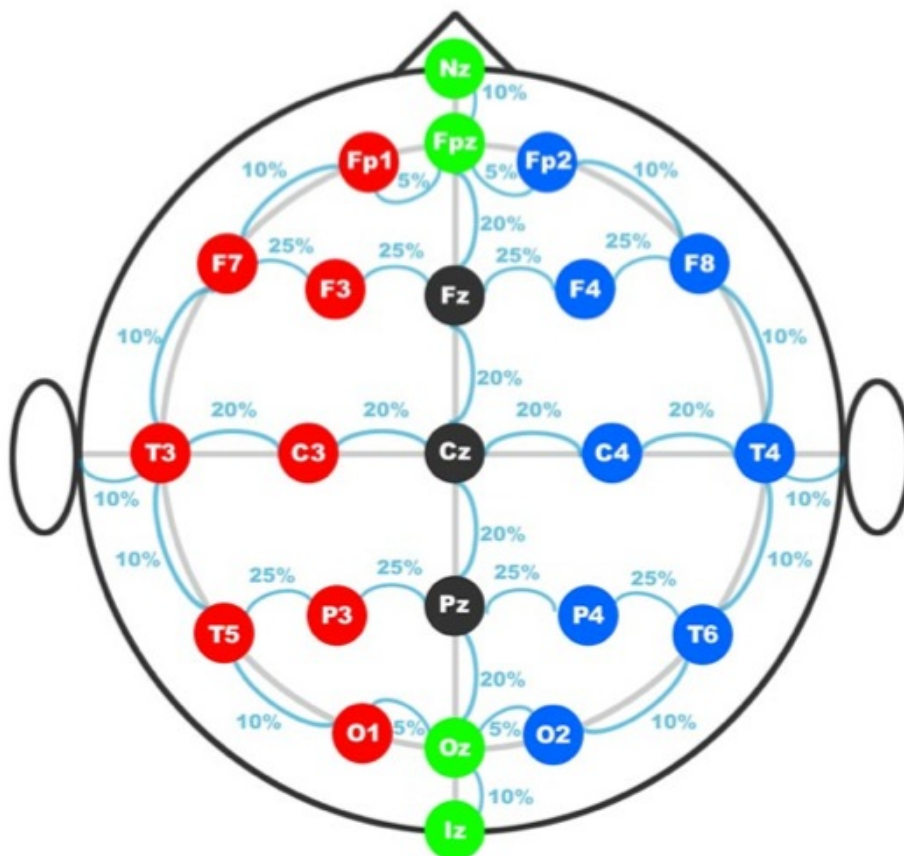


Slika 2: Bočni prikaz 10–20 sustava za postavljanje elektroda [4]

Druge dvije referentne točke se nalaze kod ušiju, a zovu se preaurikularne točke (engl. *preauricular points*) [5]. Pozicioniranje osnovnih elektroda radi se na sljedeći način:

- Izmjerimo udaljenost između iniona i naziona.
- Prvu elektrodu postavimo na udaljenost od naziona za 10% ukupne udaljenosti.
- Svaku sljedeću elektrodu postavimo za 20% ukupne udaljenosti bliže inionu.
- Ponovimo istu proceduru i za elektrode koje stavljamo okomito na ovih pet, od jednog uha do drugog.

Prikaz konačne pozicije elektroda možete vidjeti na slici 3.



Slika 3: 10–20 sustav za postavljanje elektroda [6]

Kao što nam slika 3 prikazuje, svaka elektroda ima svoju šifru kako bi se točno znalo gdje se ona nalazi. Naziv šifre se određuje prema režnjevima na kojem se elektroda nalazi. Frontalni režanj ima oznaku F, parijentalni P, temporalni T, a okcipitalni O. Oznaka C označava središnji dio skalpa, a elektrode Nz i Iz označavaju nazon i inion. Brojevi elektroda određeni su tako da su na lijevoj strani skalpa neparni brojevi, a na desnoj strani parni brojevi, s time da manji brojevi označavaju da je elektroda bliže središnjoj elektrodi. Sufiks *z* označava da je elektroda na srednjem dijelu skalpa[7].

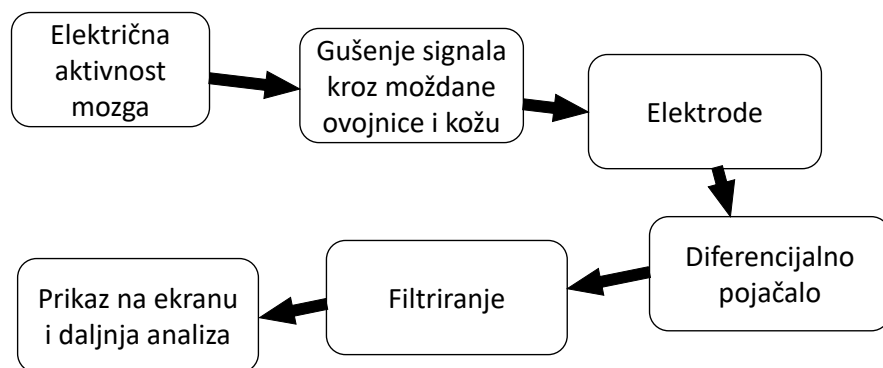
Tablica 1: Značenje kratice u 10-20 sustavu

10-20 Kratica	Naziv
<i>F</i>	Frontalni režanj
<i>C</i>	Centar
<i>P</i>	Parietalni režanj
<i>T</i>	Temporalni režanj
<i>O</i>	Okcipitalni režanj
<i>Nz</i>	Nazion
<i>Iz</i>	Inion

Također postoje i sustavi sa sitnijom (preciznijom) prostornom rezolucijom, npr. 5–10 sustav. Takvi sustavi dobivaju se analogno objašnjenom sustavu ili jednostavno dodavanjem po jedne elektrode između svake dvije elektrode u već postojeći sustav.

## 4 Mjerni lanac

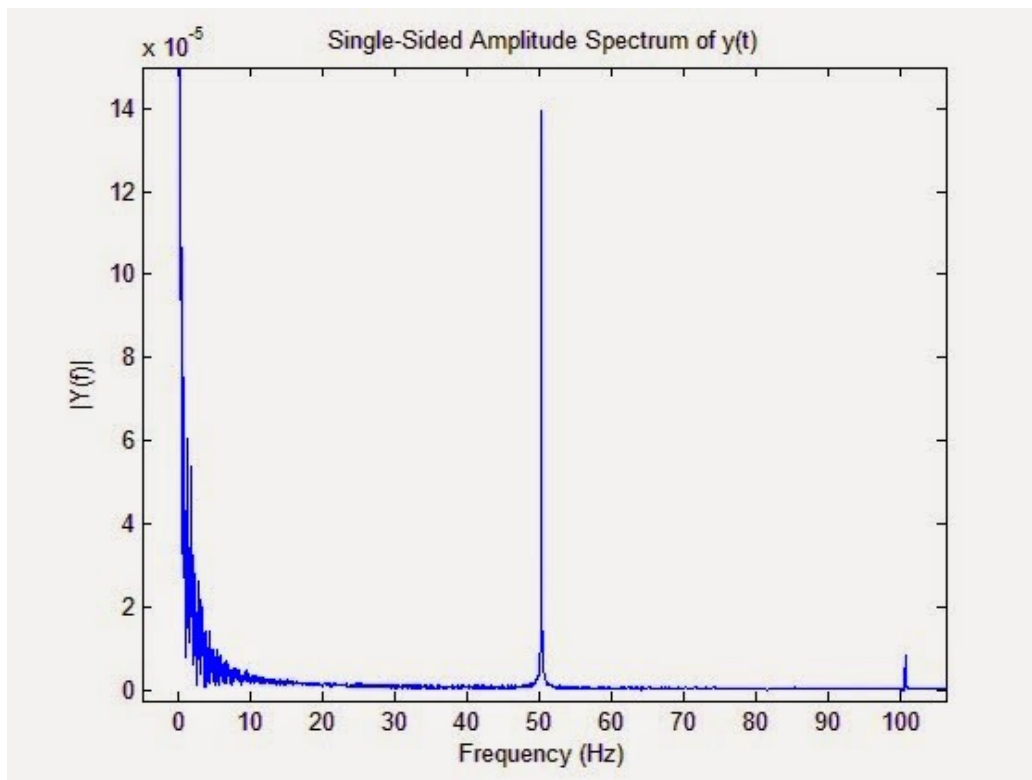
Mjerni lanac EEG-a prikazan je na slici 4.



Slika 4: Mjerni lanac EEG-a

Električna aktivnost, koju stvara mozak na svojoj površini, iznosi reda veličine  $100\mu\text{V}$ . Taj signal se prolaskom kroz moždanu ovojnicu, lubanju i kožu guši, ali i filtrira tako da se najviše prigušuju visoke frekvencije, što možemo predstaviti niskopropusnim filtrom. Kako bismo umanjili gušenje

kože, prilikom postavljanja elektroda potrebno je abrazivnom pastom očistiti od prljavština i masnoća mjesto na koje će elektroda doći, te nakon toga nanijeti vodljivi gel kojim se hidratizira koža tako da postaje vodljivija. Tim postupkom smanjuje se impedancija koju elektrode vide i uobičajene vrijednosti koje obećavaju kvalitetne signale su nekoliko  $k\Omega$ .



Slika 5: Frekvencijska karakteristika EEG signala bez filtriranja [8]

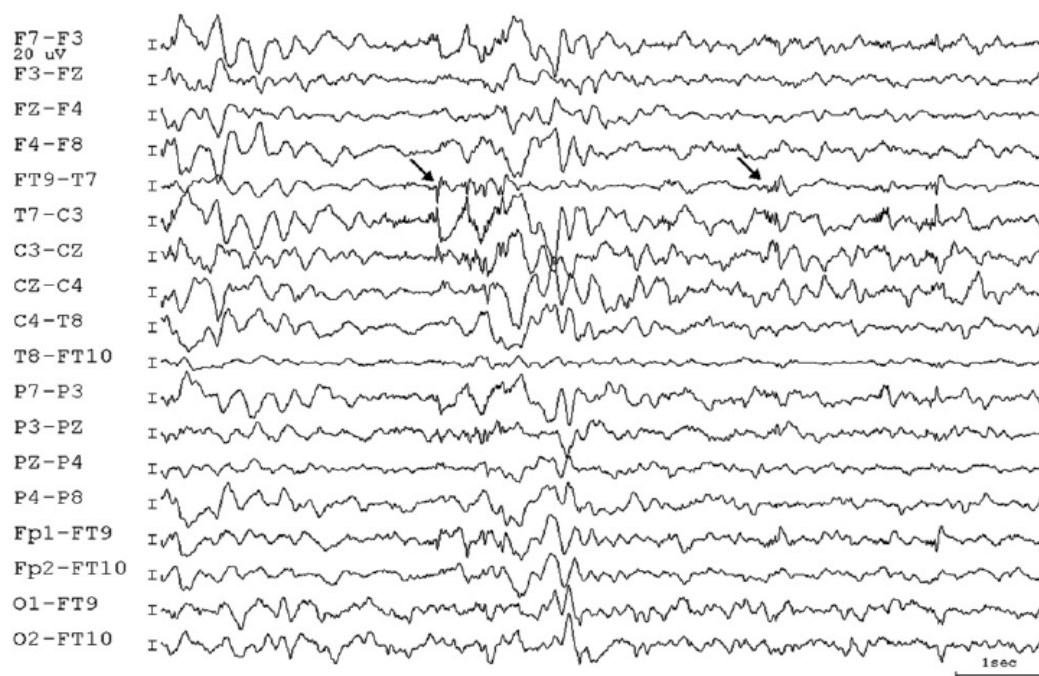
Signal koji elektrode snimaju šalje se na diferencijalno pojačalo kako bi se uklonile smetnje koje nastaju na putu prema pojačalu. Korištenje diferencijskog pojačala podrazumijeva korištenje dodatne elektrode kao referentnog signala. Referentna elektroda postavlja se kao kvačica na uho, ili iza uha na mastoidnu kost, ili na nazion [9].

Dobiveni signal potrebno je prije korištenja filtrirati kako bismo uklonili preostale nepotrebne smetnje. Najveći udio smetnji dolazi od elektromagnetskog zračenja elektroenergetske mreže kroz koju prolazi struja od 50Hz, što se može vidjeti na slici 5. U predobradi signala se tako signal filtrira s pojas-



nom branom na 50Hz, te propušta kroz visokopropusni i niskopropusni filter. Vrijednosti visokog i niskog propusta mogu se razlikovati, ali neke najviše vrijednosti niskopropusnog filtra su oko 100Hz, jer se zbog gušenja kože signali više frekvencije ni ne mogu mjeriti elektrodama. Za visoko propusni filter najniža vrijednost postavlja se oko 0.1Hz.

Nakon predobrade signala, isti se šalje na ekran gdje može biti prikazan u nekoliko različitih pogleda (engl. *montage*). Najosnovniji pogledi su monopolarni i bipolarni pogledi. Prikaz bipolarnog pogleda na EEG signal može se vidjeti na slici 6.



Slika 6: Primjer bipolarnog prikaza EEG-a [10]

Osim običnog pogleda EEG signala u vremenskoj domeni, moguća je i analiza EEG-a u frekvencijskoj domeni korištenjem Fourierove transformacije. Pogled na signal u frekvencijskoj domeni olakšava određivanje dominantnih moždanih ritmova.

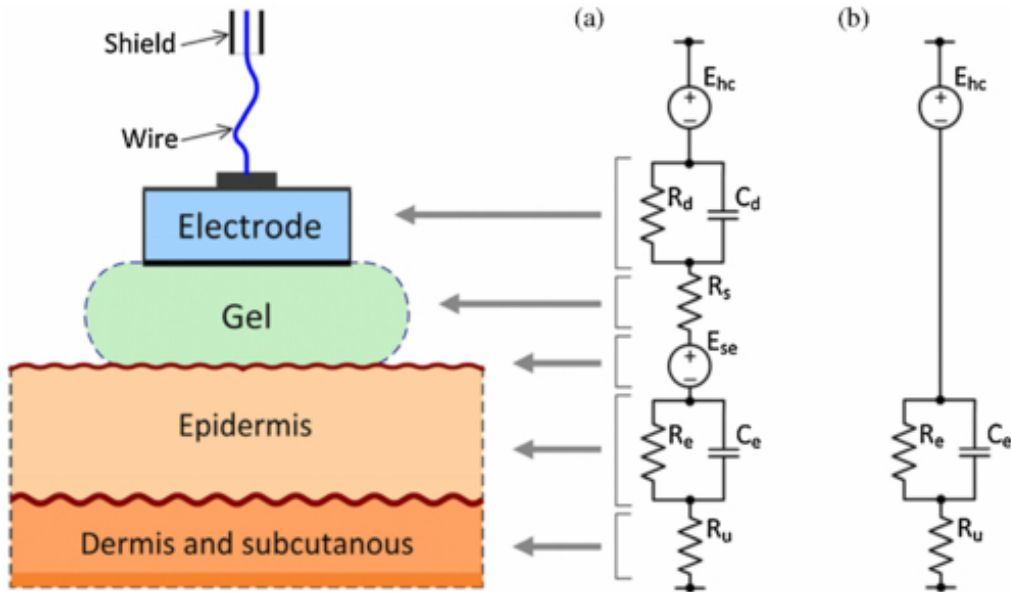
## 5 Elektrode

U suštini, elektroda je pretvornik signala - pretvara struju iona, koja dolazi iz ljudskog tijela, u struju elektrona koja se potom može mjeriti elektroničkom mjernom opremom.

Ključ za kvalitetu signala dobivenog iz EEG elektroda predstavljaju elektrokemijska svojstva materijala i premaza koji se koriste za formiranje elektroda. Ovisno o tome koristi li se premazivanje ili ne, razlikujemo dva tipa elektroda: mokre i suhe elektrode.

### 5.1 Mokre elektrode

Mokre elektrode su premazane elektrolitičkim (vodljivim) gelom. Na površini između elektrode i elektrolita, zbog prisutnosti nabijenih nosioca (iona), pojavljuje se napon pomaka (tzv. napon polućelije  $E_{hc}$ , engl. *half-cell potential*) koji uzrokuje dugoročno klizanje (engl. *drift*) mjerne karakteristike.



Slika 7: Nadomjesna shema (a) mokre i (b) suhe elektrode [11]

Standardne mokre elektrode prave se od srebra (podloga) s premazom od srebrovog klorida (AgCl) koji se sinterira da bi mu se poboljšala električna svojstva. Ove elektrode (Ag/AgCl) pružaju odlična elektro-fiziološka

svojstva pri mjerenju. Kao prvo, Ag/AgCl elektrode imaju vrlo mali napon polućelije, što pruža bolje performanse u pogledu klizanja karakteristike i šuma u DC području i području niskih frekvencija. Također, ne mogu se polarizirati, što osigurava dugoročnu stabilnost i manju podložnost artefaktima kretanja. Polarizacija je neželjeni učinak koji se dogodi prilikom nagomilavanja naboja na granici elektroda–elektrolit, koji se tada ponaša kao izolacijska barijera [12].

## 5.2 Suhe elektrode

Bez prisutnosti vodljivog gela kod suhe elektrode, sama površina elektrode najviše utječe na performanse, tj. na šum i na kontaktanu impedanciju.



Slika 8: Suhe čekinjaste polimerne elektrode (engl. *dry bristle polymer electrodes*) [13]

Posebno su zahtjevna mjerenja komponenti niskih frekvencija jer su zagađena

šumom i klizanjem karakteristike zbog napona polućelije. Materijal, koji pruža najbolje karakteristike za mjerenja u području niskih frekvencija, jest Ag/AgCl. Međutim, srebro i pozlaćeno srebro također pružaju dovoljno dobru karakteristiku za praktična EEG mjerenja. Npr., niskofrekvencijski *drift* srebrnih elektroda se stabiliza nakon otprilike 15 minuta (dok je Ag/AgCl elektrodi potrebna jedna minuta), no to je i dalje praktično izvedivo i primjenjivo, posebno ako se uzme u obzir da se niskofrekvencijski *drift* smanjuje s vremenom. U sljedećoj su tablici pokazane karakteristike pojedinih materijala koji se mogu koristiti za izradu površine EEG elektrode.

Tablica 2: Karakteristike elektroda za različite materijale

Materijal	Napon pomaka i otpor	Stopa klizanja	Razina šuma
Sinterirani Ag/AgCl	Vrlo mali	Vrlo mala	Niska
Jednokratni Ag/AgCl	Mali	Vrlo mala	Niska
Srebro	Promjenjiv	Promjenjiva	Niska
Pozlaćeno srebro	Promjenjiv	Promjenjiva	Niska
Platina	Vrlo velik	-	Niska
Nehrđajući čelik	Vrlo velik	-	Srednja
Kositar	Velik	Velika	Visoka

Postoje neka istraživanja koja pokazuju primjenjivost komercijalno dostupnih suhih zlatnih elektroda za aplikacije poput BCI-ja (engl. *Brain Computer Interface*). U jednom istraživanju, umjesto metalnih elektroda korištene su elektrode napravljene od vodljivih polimera te je istraživanje pokazalo da je impedancija elektroda linearno ovisna o kontaktnoj površini i da polimerne elektrode imaju bolju dugoročnu stabilnost u odnosu na mokre elektrode. Postoji nekoliko načina izvedbe suhih elektroda, od kojih su najčešći: češljaste elektrode (engl. *fingereled electrodes*), čekinjaste elektrode (engl. *bristle electrodes*, prikazane na slici 8), elektrode s mikroiglama (engl. *microneedle-based electrodes*), koje čak penetriraju vanjski sloj kože da bi ostvarile bolji kontakt itd.

## 6 Primjena EEG-a

EEG je izmislio Hans Berger 1924. godine [14], a zbog svoje jednostavnosti brzo je pronašao primjenu i u medicini i u znanosti te sve do danas gaji značajnu popularnost. U medicini je glavna primjena EEG-a u dijagnostici

epilepsije, ali se također koristi i za istraživanje faza snova. Jedna od popularnijih primjena EEG-a danas je u sučeljima mozga i računala (engl. *brain computer interfaces*)



Slika 9: Primjer sučelja mozga i računala [15]

Elektroencefalografija je interdisciplinarno područje koje svakim danom pronalazi nove primjene te će se sasvim sigurno nastaviti razvijati ubrzanim tempom u bližoj i daljoj budućnosti.

## Literatura

- [1] Šantić, A: "Biomedicinska elektronika", *Školska knjiga*, Zagreb 1995.
- [2] Hill, N.J.; Brunner, P.; Gunduz, A.; Adamo, M. A.; Ritaccio, A.; Scalk, G.: "Recording Human Electrographic (ECoG) Signals for Neuroscientific Research and Real-time Functional Cortical Mapping", *Journal of visualised experiments*, 2012.
- [3] Friganović, K.: "Valićna transformacija usustavima sučelja mozga i računala", *Diplomski rad, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Sveučilište u Zagrebu* 2016.
- [4] G—tec medical engineering: "Tips and FAQ" URL: [http : //www.gtec.at/Support-Offer/FAQ/Tips](http://www.gtec.at/Support-Offer/FAQ/Tips) , preuzeto 12. siječnja 2017.
- [5] Moeller, J.: "Introduction to EEG", *Youtube* 2014. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=XMizSS0ejg0\&list=PLxaiR6teSdjoEZWaDWm28A9QjFN7eguAp>, preuzeto 12. siječnja 2017.
- [6] DIY tDCS, "10/20 System Electrode Distances", 2012. URL: <http://www.diytdcs.com/tag/1020-system-positioning>, preuzeto 12. siječnja 2017.
- [7] Wikipedia: "10-20 system (EEG)", *Wikipedia* 2016. URL: [http://en.wikipedia.org/wiki/10-20\\_system\\_\(EEG\)](http://en.wikipedia.org/wiki/10-20_system_(EEG)), preuzeto 12. siječnja 2017.
- [8] Vo, T.: "Exploring EEG with STM32F4 and ADS1299", *Explore blog* 2014. URL: <http://eegexplore.blogspot.hr/2014/06/collecting-eeg-signal-with-armbrain.html>, preuzeto 12. siječnja 2017.
- [9] Chakraborty, I.R.: "Why is a typical EEG reference placed on mastoids, ears, or nasion as opposed to something more inert?", *Quora* 2014. URL: <https://www.quora.com/>, preuzeto 12. siječnja 2017.
- [10] Foldvary-Schaefer, N.; Grigg-Damberger, M.M.: "Identifying Interictal and Ictal Epileptic Activity in Polysomnograms", *Sleep Medicine Clinics*, 2012.

- [11] Meziane, N.; Webster, J.G.; Attari, M.; Nimunkar, A.J.: "Dry electrodes for electrocardiography", *Physiological Measurement, Volume 34, Number 9*, 2013.
- [12] Krachunov, S.; Casson, A.J.: "3D Printed Dry EEG Electrodes", *MDPI Open Access Journals* 2016.
- [13] Yun-Hsuan Chen, et al.: "Soft, Comfortable Polymer Dry Electrodes for High Quality ECG and EEG Recording", *MDPI Open Access Journals* 2014.
- [14] Wikipedia: "Electroencephalography", *Wikipedia* 2016. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Electroencephalography>, preuzeto 12. siječnja 2017.
- [15] BCITugraz: "Graz-BCI Game Controller - World of Warcraft Mind-controlled", *Youtube*, 2012. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=jXpjRwPQC5Q>, preuzeto 12. siječnja 2017.