

# O METODOLOGIJI ANALIZE EEG SIGNALA U STANJIMA IZMENJENE SVESTI

Emil Jovanov

Institut "Mihajlo Pupin", Laboratorija za Računarske Sisteme, POB 15, 11000 Beograd  
e-mail: ejovano@ubbg.etf.bg.ac.yu

&

Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu, POB 816, 11001 Beograd

*If the doors of perception were cleansed  
every thing would appear to man as it is, in-  
finite.*

(William Blake)

**Rezime.** Stanja izmenjene svesti su karakterisana suptilnim EEG promenama za koje je nephodan pažljiv izbor metodologije i procedura za obradu signala. U radu je predstavljen generalisani psiho-fizički model Sopstva da bi se ukazalo na moguće izvore ekscitacije nervnog sistema u stanjima izmenjene svesti. Predložena metodologija karakterizacije neurofizioloških promena je kombinacije statičke i dinamičke analize. Statička analiza koristi EEG signal bez artefakata, dok se u dinamičkoj analizi obrađuje originalni signal. Otvoreno softversko okruženje **STATE** (Spatio-Temporal EEG Alteration Tracing Environment) je razvijeno da bi omogućilo primenu ove metodologije i specifičnih procedura za obradu signala i efikasnu vizuelizaciju. Predložena metodologija i softversko okruženje su korišćeni u analizi moždane aktivnosti u stanjima izmenjene svesti za vreme seanse isceljenja. Predstavljene su dobijeni rezultati, kao i novi parametri u kvantitativnoj EEG analizi koji se mogu efikasno primeniti u karakterizaciju stanja svesti.

**Ključne reči:** EEG, metodologija, svest, obrada signala, envelope, isceljenje.

## 1. UVOD

Na samom kraju XX veka, savremena nauka se osetila dovoljno spremnom za analizu najveće tajne prirode - *Svesti*. Filozofi, psiholozi, neurofiziolozi, fizičari, inženjeri i drugi naučnici istražuju ovaj fenomen svako iz svog ugla posmatranja, kao senke na zidu Platonove pećine, ali odgovor mora biti jedan i jedinstven, kao i svest sama. Kako EEG signal, kao gruba mera aktivnosti  $10^{10}$  neurona, može da pomogne u

analizi ovako suptilnog fenomena? Da parafraziramo geštalt psihologa Kurta Goldstein-a, ako se svest javlja na mestima spoja organizma i okruženja, tada su EEG i MEG pravi alati za analizu.

Veza EEG signala i krupnih neurofizioloških promena u stanjima izmenjene svesti (budnost/san, faze sna, koma, epileptični napadi, itd.) je dobro uspostavljena i detaljno analizirana [1-4]. Analiza suptilnih promena je mnogo neizvesnija, ali mi verujemo da svaka suptilna neurofiziološka promena ima svoj fizički ekvivalent (i obratno). Osim toga, stanja izmenjene svesti kao ekstremni slučajevi su nezamenljiva u proučavanju same prirode svesti.

Postoje dva osnovna pristupa u analizi i modeliranju svesti. Uspešno modeliranje delova nervnog sistema na osnovu neuralnih mreža inspirisao je takozvani "konekcionistački" pristup u analizi gde svest ne predstavlja "u osnovi ne više od ponašanja ogromnog broja nervnih ćelija sa pridruženim molekulima" [5]. Najveći problem u ovom pristupu je kako objasniti integraciju pojedinačnih informacija dobijenih od visokospecijalizovanih skupova neurona u jedinstveni percept ili misao ("*binding problem*"). Konekcionistački pristup teško može da objasni gotovo trenutni nastanak geštalt percepta iz velike količine senzornih informacija.

Drugi pristup objašnjavanja fenomena svesti je baziran na elektromagnetnom polju moždanih talasa. Pretpostavlja se da se integracija pojedinačnih informacija vrši preko elektromagnetnog polja [6-10]. Aktivnost moždanih talasa predstavlja interni "jezik" mozga i kreira lokalne rezonance (v. Adey, John, Başar, i Leinfellner [4]). Osnovu ovog pristupa čini teorija uparenih oscilatora i spontana sinhronizacija bioloških sistema [11].

Tokom poslednje decenije često je korišćena teorija determinističkog haosa za objašnjenje dinamike moždane aktivnosti. Ovakvi sistemi mogu da generišu originalne uzorke aktivnosti, čime se može objasniti kreativnost i rešavanje problema višestrukim pokušajima i učenjem na greškama.

Pretpostavlja se da izvesni uzorci aktivnosti elektromagnetnog polja moždanih talasa predstavljaju osnovu na kojoj nastaju različita stanja svesti. Mi pretpostavljamo da se ovi uzorci aktivnosti, ma kako suptilni, mogu detektovati u električnoj aktivnosti mozga. U ovom radu je predstavljena metodologija analize koja se može koristiti za karakterizaciju suptilnih EEG promena.

## 2. GENERIČKI MODEL

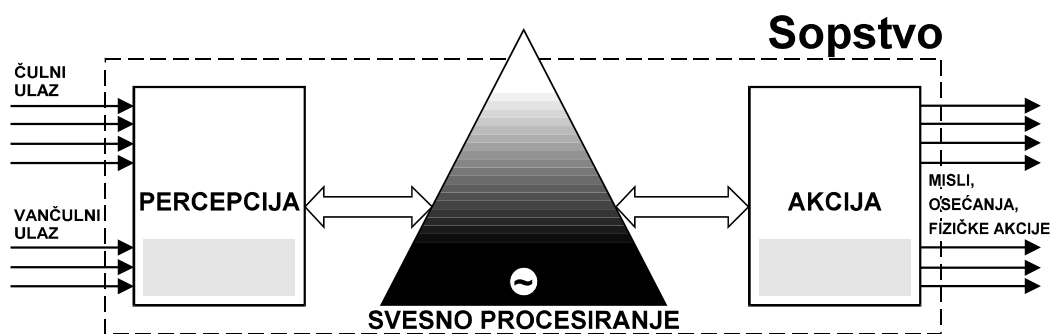
Pošto za sada nije poznato šta je to svest, koristićemo generički model *Sopstva* kao svestnog entiteta. Na Sl. 1 predstavljen je generički psiho-fizički model *Sopstva* napravljen u obliku "crne kutije". Model se sastoji od tri osnovna bloka:

- (1) *Percepcija* je ulazni blok senzornih ulaza (čula vida, sluha, dodira, ...);

(2) *Akcija* je izlazni blok (koji generiše misli, emocije, fizičke akcije, ...);

(3) *Svesno procesiranje* vrši interakciju sa oba bloka i utiče na njihovu aktivnost prema genetskom nasleđu i istoriji procesiranja (sekvenci ulaza i povratnoj sprezi na osnovu izlaza sistema koji predstavljaju iskustvo). Neke od ovih funkcija su jednostavno veze između neurona (kao što su refleksi), dok druge funkcije nastaju kao rezultat kompleksnih interakcija.

Uprkos jednostavnosti modela koja dovodi do značajne kompleksnosti pojedinih blokova (najdrastičnije u slučaju bloka *svesnog procesiranja*), ovakav model može da ukaže na značajne aspekte funkcionalnosti sistema.



Slika 1 Generalisani psiho-fizički model *Sopstva*

Stanja izmenjene svesti su najčešće u vezi sa izmenjenom funkcionalnošću bloka *Percepcije*. Izmena percepcije nastaje kao rezultat preopterećenja čula, senzorne deprivacije ili promene fizičke aktivnosti primenom droga ili medikamenata [12]. Imajući u vidu da u ovim stanjima blok *Akcije* ne smanjuje svoju aktivnost nego je modifikuje, možemo zaključiti da u generičkom modelu moraju postojati ili interni generatori ili skupovi ulaza koji ne potiču od čula. Uključićemo u naš model obe mogućnosti:

- (1) *Interni generatori signala* u okviru bloka *Svesnog procesiranja*, predstavljeni belim krugom.
- (2) *Ekstrasenzorni ulazi* kao dodatna veza sa okruženjem, predstavljeni kao skup posebnih ulaza u blok *Perceprije*.

*Interni generatori signala* najčešće predstavljaju fiziološke kontrolne petlje u organizmu, kao što su kontrola rada srca ili disanja. Oni značajno utiču na svesno procesiranje, ali i zavise od ukupnog stanja generisanog svesnim procesiranjem. Posebno je značajna petlja kontrole disanja jer se može lako svesno kontrolisati. Pokazano je da kombinacija jogističkih tehnika disanja i relaksacije (Santhi Kriya) dovodi do smirivanja stanja i povećanja  $\alpha$ -aktivnosti u okcipitalnim i prefrontalnim regionima mozga [13].

*Ekstrasenzorni ulazi* mogu da pomognu u razjašnjavanju transpersonalnih fenomena [14]. Ako pretpostavimo da elektromagnetno polje moždanih talasa igra ključnu ulogu u objašnjenju viših moždanih funkcija, tada se to mora uzeti u obzir i u analizi transpersonalnih uticaja. Iako se može tvrditi da je intenzitet ovakvih polja zanemarljiv, treba imati u vidu da su osnovni moždani procesi bazirani na rezonanci [10], tako da i polja niskog intenziteta mogu da izgenerišu rezonantne uzorke aktivnosti [15]. Teoretski okvir ovakve analize predstavlja model D.Rakovića [16-19].

Naše istraživanje je usmereno u pravcu nalaženja *naučnih* dokaza kojima bi se pokazalo postojanje (nepostojanje) opisanih generatora u našem modelu, i karakterisao njihov uticaj na svest. Verujemo da odgovori na ta pitanja mogu predstavljati ključ za razumevanje samog fenomena svesti.

### 3. EEG PROMENE U STANJIMA IZMENJENE SVESTI

Imajući u vidu okvir našeg istraživanja i predstavljeni generički model, posvetićemo posebnu pažnju svesnim promenama stanja svesti i transpersonalnim interakcijama. Najznačajnije primere prve vrste predstavljaju tehnike meditacije i relaksacije, dok najintenzivniji proces druge vrste predstavlja seansa isceljenja. Mi smo istraživali proces isceljenja kao posebno intenzivan svesni napor za uspostavljanje transpersonalne komunikacije i pomoć pacijentu [20-21].

Veći deo istraživanja promena električne aktivnosti mozga u stanjima izmenjene svesti vezan je za meditaciju [22-29]. Najznačajnije promene nađene u EEG-u tokom meditacije su sledeće:

- (a) Uspostavljanje  $\alpha$ -aktivnosti i pored otvorenih očiju (Hirai [22]);
- (b) Povećanje intenziteta  $\alpha$ -aktivnosti (Hirai [22], Banquet [23,24], Wallace [25]);
- (c) Usporenje  $\alpha$ -aktivnosti (Hirai [22], Banquet [23,24], Wallace [25]);
- (d) Uspostavljanje ritmične  $\theta$ -aktivnosti (Hirai [22], Banquet [23,24], Wallace [25]);
- (e) Povećanje sinhronizacije (*hypersinhronizacija* - Banquet [23,24]);
- (f) Razdvajanje percepcije od čulnih organa (Hirai [22], Ray [27]);
- (g) Pojava transcendentnog signala (Ray [27,28]);
- (h) Povremena aktivnost brzih  $\beta$ - i  $\gamma$ -talasa (Banquet [24], Das i Gastaut [25], i Ray [27]).

Prve četiri promene su nađene u okviru istraživanja EEG-a u toku Zen meditacije [22]. Kasamatsu i Hirai su rangirali promene na ovaj način i pokazali da nastajanje i intenzitet promena direktno zavise od mentalnog stanja i iskustva u meditaciji.

Za vreme zazena (Zen meditacije)  $\alpha$ -aktivnost se usporava (na 7-8 Hz), a u poslednjoj fazi se pojavljuju i ritmični  $\theta$ -talasi od 6 do 7 Hz. Poslednja faza je nađena samo kod obučениh kaluđera, sa dugogodišnjim meditativnim iskustvom.

Pored aktivnosti u standardnim frekventnim opsezima, Ray je otkrio aktivnost u frekventnom  $\gamma$ -opsegu oko 38 Hz. Ova frekventna komponenta je otkrivena u *Dharana* periodu *Rajayoga* meditacije [26]. *Dharana* predstavlja fiksiranje uma na određeni predmet. Ray je pretpostavio da ova aktivnost predstavlja funkcionalnu komponentu procesa pažnje, pa je nazvana aktivnošću fokusiranog buđenja ("*focused arousal*").

U mnogim istraživanjima je nađena promena percepcije u toku meditacije. Ovo stanje se najčešće definiše kao relaksirana svesnost sa stabilnom prijemčivošću. Mi definišemo ovo stanje kao odvajanje percepcije od čulnih organa. Kvantitativnu procenu ovog fenomena je izvršio Hirai, i pokazao da u toku zazena dolazi do dehabituacije  $\alpha$ -bloka [22].

Za analizu je posebno težak problem pojava *transcedentnog signala*. Ray ga je definisao kao "signal koji ne zavisi od vremenskog okvira niti podleže bilo kom zakonu vremenskog domena" [26]. Njegova istraživanja transcedentnog signala bila su u vezi sa stanjima velikog uzbuđenja i estetskog divljenja kod dece [27]. Iako transcedentni signal ne podleže zakonima vremenskog domena, može se očekivati njegova korelisanost sa osnovnim taktovima organizma. Ova stanja karakteriše veliki broj EEG šiljaka, i povećanje intenziteta sporih talasa ( $\theta$ - i posebno  $\delta$ -talasi).

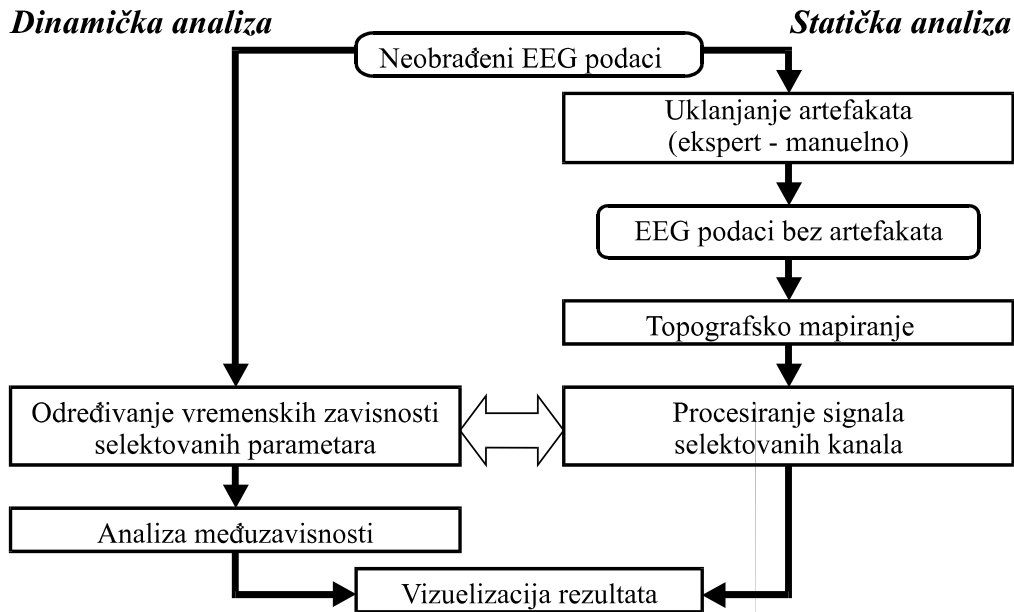
U nekim istraživanjima je prijavljena brzotalasna aktivnost [24,25,27]. Banquet je identifikovao sinhronu  $\beta$ -talase skoro konstantne frekvencije i amplitude iz svih moždanih regiona [24]. Ova aktivnost je nađena kod četiri napredna meditanta u toku subjektivno karakterisane najdublje meditacije. Das i Gastaut su izvršili elektroencefalografsku analizu sedam jogina i ustanovili da se tokom meditacije umesto  $\alpha$ -aktivnosti pojavljuje izrazito brzo-talasna  $\gamma$ -aktivnost u opsegu 40-45 Hz, a da se ova aktivnost smanjuje sa povratkom sporih  $\alpha$ - i  $\theta$ -talasa [25]. Ray je takođe otkrio neobično intenzivnu aktivnost u frekventnom opsegu 16-18 Hz, u stanju velikog uzbuđenja i estetskog divljenja kod dece [27].

Koliko je nama poznato, EEG promene u toku seanse isceljenja su retko istraživane. Zhang je izvestio o premenama  $\alpha$ -aktivnosti u Qi Gong stanju, pretežno u prednjim regionima [29]. Frekvencija  $\alpha$ -aktivnosti je niža nego u relaksiranom stanju, a promene u prednjim i zadnjim regionima imaju negativnu korelaciju. Može se zaključiti da su ove promene slične istraženim promenama u toku meditacije.

#### 4. PREDLOŽENA METODOLOGIJA

U ovom radu je predložena metodologija karakterizacije određenih neurofizioloških stanja, koja se bazira na praćenju karakterističnih prostorno-vremenskih uzoraka EEG aktivnosti. Blok šema predložene metodologije data je na Sl. 2.

Analiza je podeljena na dva dela: *statički* i *dinamički*.



Slika 2 Blok dijagram predložene metodologije

(1) **Statička analiza** koristi delove EEG-a očišćene od artefakata za karakterizaciju srednje (prosečne) aktivnosti. Izbacivanjem delova sa artefaktima se gubi korelacija signala sa vremenom.

(2) **Dinamička analiza** se vrši na originalnom signalu radi praćenja toka promene uzoraka aktivnosti u vremenu, kao i kratkotrajnih promena moždane aktivnosti.

Analiza počinje tako što ekspert očisti snimak od artefakata. I pored obećavajućih rezultata automatskih programa za čišćenje od artefakata, još uvek se radi pouzdanosti ova operacija obavlja ručno i uz pomoć eksperta. Zatim se kreiraju topografske mape aktivnosti signala bez artefakata, da bi se ukazalo na dominantnu aktivnost u određenim frekventnim opsezima ( $\delta$ ,  $\theta$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$ , itd.). Najinteresantniji EEG kanali se zatim koriste u ostalim procedurama za procesiranje signala (spektralna analiza, koherencija, "wavelet", analiza determinističkog haosa, i dr.).

Zatim se na selektovanim kanalima vrši dinamička analiza radi dobijanja grafika vremenske zavisnosti selektovanih parametara (spektrogram, dominantna frekvencija u opsegu, animacija topografskih mapa, koherencija, itd.). Dinamička analiza može da ukaže na vremenske intervale sa značajnim promenama osnovnih parametara, koji se zatim dodatno obrađuju u procedurama za statičku analizu. Prema

našem dosadašnjem iskustvu, ovakva interakcija statičke i dinamičke analize dovodi do najbolje karakterizacije neurofizioloških promena.

Konačno, analiza međuzavisnosti treba da omogući informacije o suptilnim promenama moždane aktivnosti subjekata u interaktivnom stanju uma.

Pored standardne analize u frekventnom domenu, kao nezamenljive procedure u analizi signala, pokazalo se da je veoma korisna analiza u vremenskom domenu. Vremenskom analizom signala u određenom opsegu naglašavaju se kratkotrajne promene, kao i statističke promene parametara signala u dužem vremenskom periodu.

Određeni frekventni opsezi mogu da predstavljaju aktivnost na različitim hijerarhijskim nivoima obrade, kao što je to predstavljeno u Tabeli 1. Izvori aktivnosti u  $\gamma$ -,  $\beta$ - i  $\alpha$ -frekventnom opsegu detaljno su istraženi. Mi uvodimo hipotetički okvir za analizu  $\theta$ -,  $\delta$ - i sub- $\delta$ -opseg, polazeći od hipoteze da *niža frekvencija predstavlja viši nivo integracije informacija*. Ovo je svakako tačno u slučaju viša tri frekventna opsega. Zato bi aktivacija određenog frekventnog opsega mogla da indicira aktivnost na odgovarajućem nivou svesti. Predložena podela može da korespondira sa Jungovom strukturom "ego/svest/individualno nesvesno/kolektivno nesvesno".

**Tabela 1.** Mogući izvori aktivnosti određenih EEG frekventnih opsega

Frekventni opseg	Aktivnost
Gama ( $\gamma$ )	Pojedinačni neuroni
Beta ( $\beta$ )	Specijalizovane moždane regije
Alfa ( $\alpha$ )	Fizička svesnost
Teta ( $\theta$ )	Mentalna svesnost
Delta ( $\delta$ )	Viši nivoi svesti
sub - Delta	Kolektivna svest

## 5. OSNOVNE KARAKTERISTIKE OKRUŽENJA ZA ANALIZU

I pored značajne podrške za standardne obrade EEG signala, postojeći programski paketi nisu dovoljno fleksibilni za analizu suptilnih EEG promena. Zato smo odlučili da razvijemo sopstveno programsko okruženje. Najvažnije prednosti ovakvog pristupa su: (a) totalna kontrola parametara procedura (dužine epohe, vrsta prozora,

itd.), i (b) mogućnost razvoja originalnih ili poboljšanja postojećih procedura za procesiranje signala.

Razvijen je programski paket **STATE** (Spatio-Temporal EEG Alteration Tracing Environment) realizovan kao otvoreno softversko okruženje [30-31]. Pored niza funkcija za obradu signala, realizovan je čitav niz funkcija i metoda za efikasnu vizuelizaciju podataka. Organizacija programa podržava predloženu metodologiju praćenja suptilnih EEG promena.

Programski paket **STATE** je razvijen kao interaktivno otvoreno okruženje za rad pod Windows 3.11 operativnim sistemom. Većina procedura je realizovano korišćenjem MATLAB 4.0 [33], dok je deo procedura razvijen u C-jeziku i integrisan u okruženje. Okruženje podržava sledeće analize (za detalje videti [30-32]):

- Spektralna i korelaciona analiza EEG signala (sa opcionim ukljanjanjem artefakata). Za uvedene pretpostavke, dužinu epohe i ostale detalje v. [31,34,35];
- Analiza spektrograma;
- "Cepstrum" analiza;
- Topografsko mapiranje (za detalje v. [36]) različitih parametara kao što su:
  - \* apsolutne i relativne snage pojedinih EEG opsega;
  - \* odnosi snaga između opsega;
  - \* "z-score" vrednosti;
  - \* koherencija;
- Praćenje vremenskih promena određenih parametara (kros-korelacija, animacija topografskih mapa, trenutna envelope i frekvencija, indeksi amplitudske i frekventne modulacije, ...);
- "Wavelet" analiza ("wavelet" dekompozicija korišćenjem banke filtara);
- Analiza determinističkog haosa (određivanje korelacione dimenzije čudnih atraktora).

Pokazano je da je za ovaj tip problema posebno interesantna analiza signala u vremenskom domenu. Analiza se najčešće obavlja na trenutnoj envelope i fazi EEG signala, koji se dobijaju različitim tehnikama za obradu signala [37]. Trenutna envelope je proporcionalna trenutnoj srednjoj kvadratnoj vrednosti signala, tako da se njenom analizom može pratiti trenutna promena energije određenog frekventnog opsega u vremenu.

EEG signal se takođe može posmatrati kao poseban slučaj amplitudski i fazno modulisanog signala [37]. Ovaj tip analize je korišćen za kvantifikaciju modulacije  $\alpha$ -ritma u zavisnosti od moždanog protoka krvi [38]. Mi smo utvrdili da koeficijenti



modulacije EEG signala veoma dobro karakterišu promenu kod oba subjekta u toku seanse isceljenja.

Najvažniji parametri za karakterizaciju EEG signala u stanjima izmenjene svesti su:

- Histogram vremenske aktivnosti kanala (prema trenutnoj vrednosti envelope);
- Periodičnost anvelope signala;
- Trenutna frekvencija u određenom frekventnom opsegu
- Vreme između maksimuma snage signala određenog frekventnog opsega [39];
- Indeks amplitudske modulacije;
- Indeks frekventne modulacije.

## 5.1 Experimentalni uslovi

Sva snimanja su obavljena u elektromagnetno izolovanoj sobi (Faradejev kavez) na 18 kanalnom EEG uređaju MEDELEC 1A97, korišćenjem 16 EEG kanala sa zajedničkom referencom. Elektrode su postavljene prema internacionalnom standardnom sistemu 10-20: F7, F8, T3, T4, T5, T6, Fp1, Fp2, F3, F4, C3, C4, P3, P4, O1, O2. Korišćene su Ag/AgCl elektrode, sa impedansom manjom od 5 K $\Omega$ . Za filtriranje signala je korišćen filter propusnik opsega 0.5-30 Hz, dok filtriranje napajanja ("notch" filter 50 Hz) nije korišćeno. Digitalizacija signala je obavljena korišćenjem PC AT računara sa AD konvertorskom pločom Data Translation 2801 (16-to kanalna) i učestanošću odabiranja 128 Hz. Program za standardno topografsko mapiranje je RHYTHM V.8.0, Stellate Systems Inc., Quebec, Canada. U spektralnoj analizi su korišćeni segmenti dužine 20 sekundi sa opcionim manuelnim uklanjanjem artefakata.

EEG je sniman posebno za dva subjekta (iscelitelj i pacijent) pre, za vreme i nakon seanse u trajanju od po 120 sekundi. Pacijent je ležao opušteno sa zatvorenim očima. Iscelitelj je imao zatvorene oči i koristio samo mentalni napor (nije se pokretao). Subjekti nisu bili ni u kakvoj fizičkoj vezi.

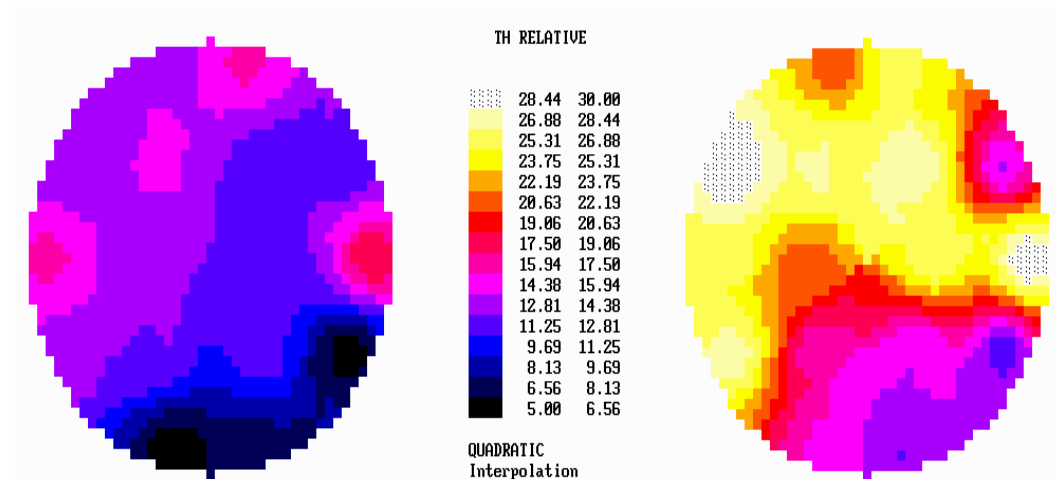
Iscelitelj je u toku seanse imao stabilne fiziološke parametre: broj otkucaja srca (72 u minuti), disanje (4 do 5 udisaja u minuti) i zanemarljive pokrete očiju.

## 6. REZUTATI ANALIZE

Analiza električne aktivnosti mozga dovela je do sledećih zaključaka:

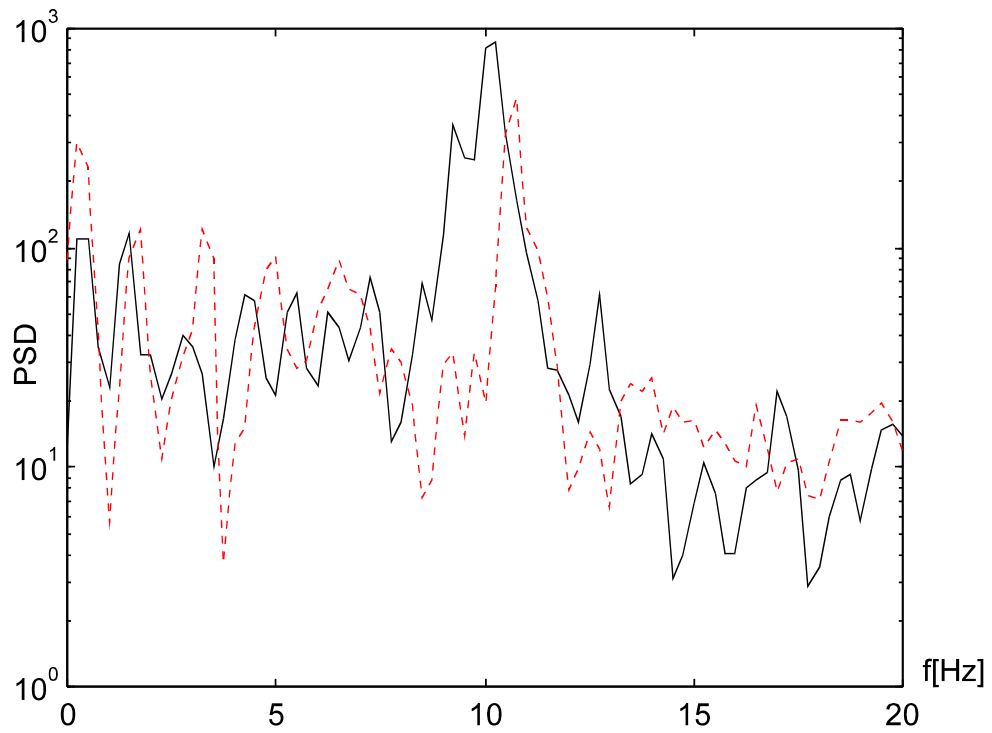
(a) Električna aktivnost mozga iscelitelja u toku seanse pokazuje pomeraj ka nižim frekvencijama u odnosu na period pre i nakon seanse. Ovo je najviše naglašeno

u  $\theta$ -opsegu, kao što je prikazano na Sl. 3. Dominantne promene su locirane u frontalnom i prednjem temporalnom regionu. U toku seanse se povećava i simetrija aktivnosti. Ovakve promene ne predstavljaju korelat intenzivnog mentalnog napora [3], a nisu ni posledica dremljivosti što se vidi iz neopadanja snage signala u  $\alpha$ -opsegu kao i odsustva usporenja dominantne  $\alpha$ -frekvencije. Sve je to u skladu i sa samom paradigmom u toku koje je terapeut budan i intenzivno mentalno aktivan. Snimanje je trajalo samo dva minuta.

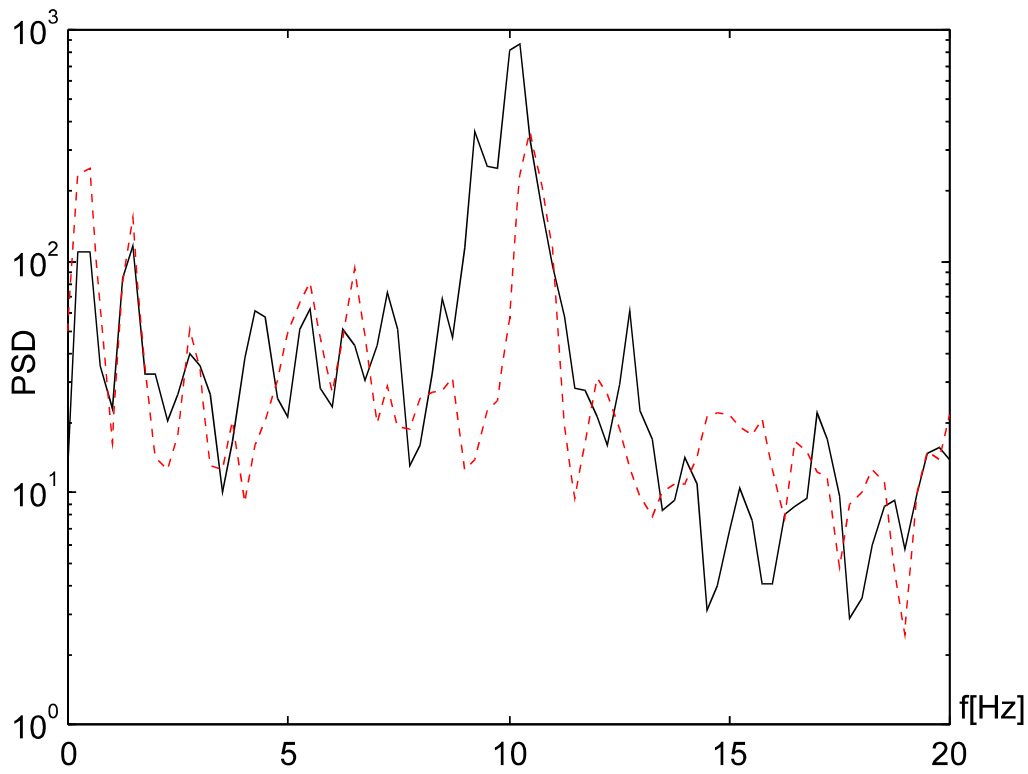


**Slika 3** Topografske mape snage u  $\theta$ -opsegu pre (levo) i za vreme seanse (desno); Segmenti dužine 20 sekundi bez artefakata.

(b) Smanjenje snage  $\alpha$ -aktivnosti i ubrzanje vršne  $\alpha$ -frekvencije za vreme i neposredno nakon seanse isceljenja (v. Sl. 4 i 5). Obe karakteristike se značajno razlikuju od promena u meditativnom stanju svesti [22-25].



**Slika 4** Spektralna gustina snage kanala F3 iscelitelja pre (puna linija) i u toku seanse (isprekidana linija); signal bez aretefakata; vreme u toku seanse, 80-110 s.



**Slika 5** Spektalna gustina snage kanala F3 iscelitelja pre (puna linija) i neposredno posle seanse (isprekidana linija); signal bez aretefakata.

(c) Smanjenje broja diskretnih frekventnih komponenti u spektru, što predstavlja stabilizaciju električne aktivnosti u frekventnom domenu.

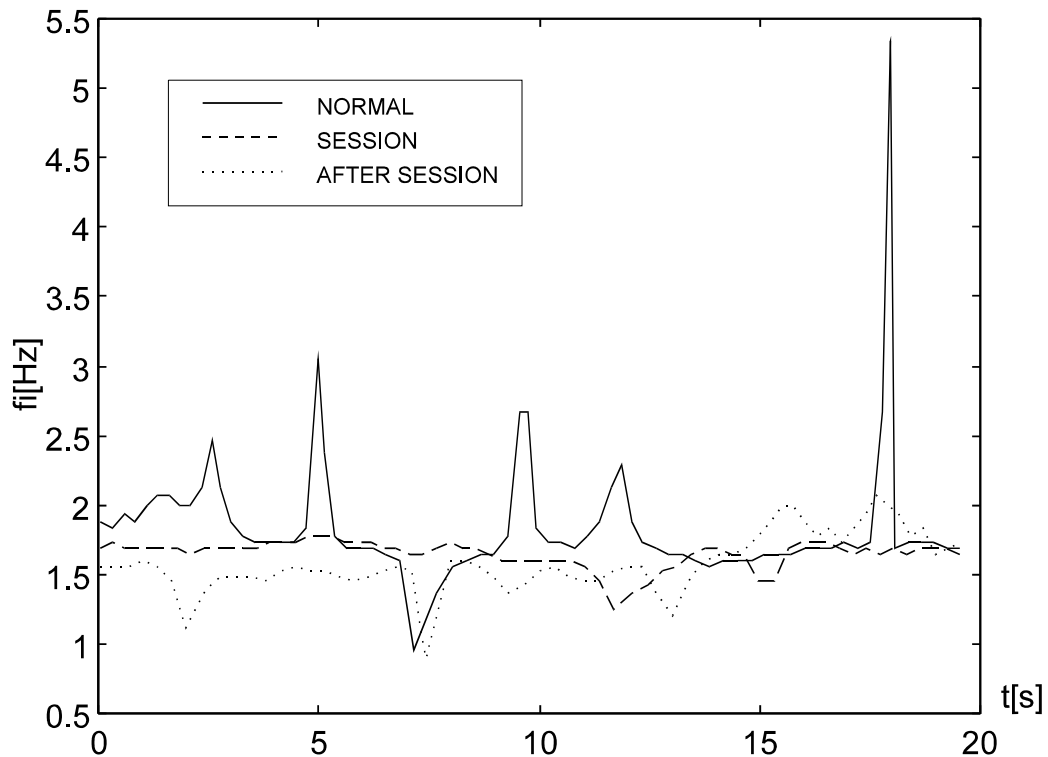
(d) Koherencija električne aktivnosti parova elektroda (8 parova), kao mera funkcionalne povezanosti homolognih regiona leve i desne hemisfere mozga pokazuje značajne promene. Koherencija prefrontalnih i frontolateralnih regiona (Fp1/Fp2, F7/F8) je značajno povećana u toku seanse u  $\delta$ - i  $\theta$ -opsegu, a zatim se vraća na vrednosti pre seanse u kanalima F7/F8. Nasuprot njima, frontalni-parasagitalni regioni (F3/F4) povećavaju koherenciju posle seanse i samo u  $\theta$ -opsegu. Ovi spacio-temporalni obrasci aktivacije/deaktivacije određenih regiona mozga u seansi i van seanse jasno su se razlikovali jedan od drugog, što ukazuje na različito stanje aktivnosti mozga u ovim periodima.

(e) Topografski obrazac električne aktivnosti mozga iscelitelja je na sličan način indukovani kod pacijenta u toku seanse.

(f) Neki pacijenti su prijavili ritmične promene tenzije mišića vilice u toku seanse, sa frekvencijom ispod 1 Hz. Promene EEG signala koje odgovaraju ovom feno-

menu je teško analizirati konvencionalnim metodama, ali analiza envelope signala u određenom frekventnom opsegu ukazuje na moguće potvrde ovakvih promena. Dalja istraživanja sporih promena EEG-a su u toku i daju dobre rezultate.

(g) Značajna stabilizacija trenutne frekvencije u nižim frekventnim opsezima, kao što je predstavljeno na Sl. 6.

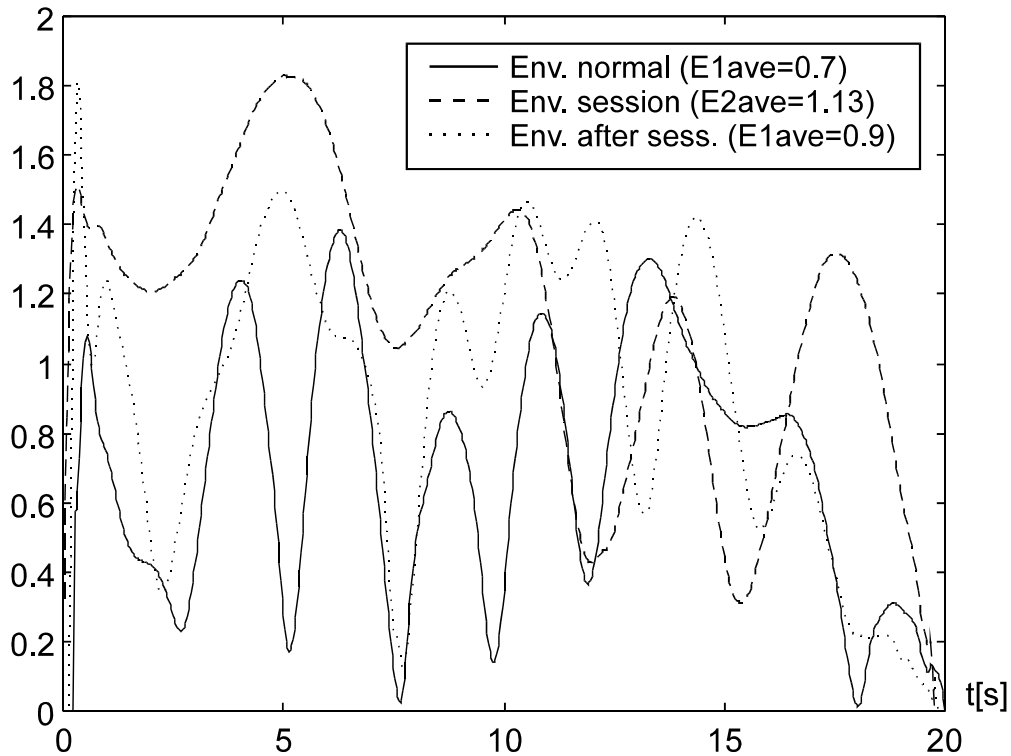


**Slika 6** Trenutna frekvencija signala u opsegu (1.5-2 Hz) pre (puna linija), za vreme (isprekidana linija) i nakon seanse isceljenja (tačkasta linija); signal bez aretefakata; vreme u toku seanse 80-110 s; kanal F3.

(h) Stabilizacija fluktuacije energije na nižim frekvencijama, na osnovu promena anvelope (v. Sl. 7). Prikazane su vremenske promene envelope u toku i posle seanse isceljenja. Obratiti pažnju na povećanje srednje snage u  $\delta$ -opsegu.

(i) Pojava slučajeva sinhronne promene modulacije para kanala, kao što je predstavljeno na Sl. 8.

(j) Stabilna modulacija signala  $\delta$ -opsega sa približnom periodom od oko pet sekundi.



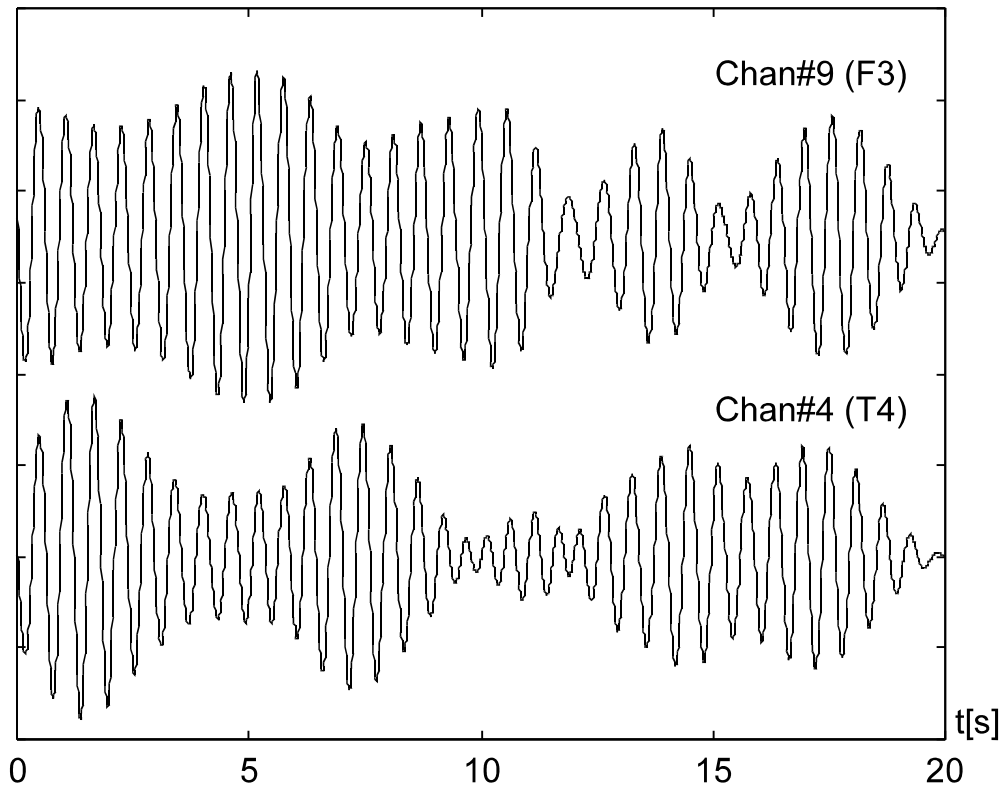
*Slika 7* Envelopa signala u opsegu 1,5-2 Hz pre (puna linija), za vreme (isprekidana linija) i nakon seanse isceljenja (tačkasta linija); signal bez artefakata; vreme u toku seanse 80-110 s; kanal F3.

## 6. ZAKLJUČAK

Proučavanje stanja svesti praćenjem elektroencefalografskih korelata zahteva brižljivo odabranu metodologiju i specifične procedure za obradu signala i vizuelizaciju rezultata. Standardne metode EEG analize često propuštaju kratkotrajne promene aktivnosti. Posebno treba obratiti pažnju na moguće odbacivanje značajnih promena kao artefakata. U radu je ukazano na potrebu pažljivog izbora metodologije i interaktivnu kombinaciju statičke i dinamičke analize. Predloženo je "markiranje", umesto izbacivanja sekcija sa promenama koje liče na artefakte. Predložena metodologija i razvijeno softversko okruženje (**STATE**) su korišćeni u analizi neurofizioloških promena u toku seanse isceljenja.

Utvdili smo da promene EEG-a u toku seanse isceljenja predstavljaju značajnu osnovu za analizu stanja izmenjene svesti, kao i za proučavanje transpersonalne interakcije između subjekata. Najveći problem u ovakvom istraživanju je nalaženje karak-

terističnih subjekata, ali mi smo uspeli da selektujemo nekoliko subjekata koji pokazuju statistički značajne promene EEG aktivnosti u toku seanse.



**Slika 8** Uzorak sinhrono prostorne promene envelope signala u opsegu 1,5-2 Hz u toku seanse isceljenja; kanali F3 i T4 bez artefakata; vreme u toku seanse 80-100 s.

Analiza je ukazala na značaj praćenja prostorno-vremenskih promena EEG aktivnosti, i posebno na praćenje vremenskih promena parametara modulacije signala. Ovaj pristup je ukazao na promene sa jako niskom frekvencijom (ispod 1 Hz), koji se po pravilu odbacuju u standardnim kompjuterizovanim EEG analizama.

Dalja istraživanja treba da ukažu na statistički najznačajnije parametre iz veće serije eksperimenata, i na preciznu kvantifikacija interakcionih korelata.

## LITERATURA

- [1] A.Gevins and A.Rémond, (Eds.), *Handbook of EEG and Clinical Neurophysiology, Vol.1: Methods of analysis of brain electrical and magnetic signals* (Elsevier Science Publishers, Amsterdam, 1987).
- [2] F.H.Lopes da Silva, W.S. van Leeuwen, and A. Rémond, eds., *Handbook of EEG and Clinical Neurophysiology, Vol.2: Clinical applications of computer analysis of EEG and other neurophysiological signals* (Elsevier Science Publishers, Amsterdam, Holland, 1986).
- [3] E.Başar, *EEG Brain Dynamics* (Elsevier, Amsterdam, 1980).
- [4] E.Başar, ed., *Dynamics of Sensory and Cognitive Processing by the Brain* (Springer Verlag, Berlin, 1988).
- [5] F.Crick, *The astonishing hypothesis. The scientific search for soul* (Charles Scribner's Sons, and Maxwell Macmillan International, 1994).
- [6] C.M.Gray, P.König, A.K.Engel, and W.Singer, Oscillatory responses in visual cortex exhibit inter-columnal synchronization which reflects global stimulus properties, *Nature* 338 (1989), pp. 334-337.
- [7] E.R.John, T.Yang, A.B.Brill, R.Young, and K.Ono, Double-labeled metabolic maps of memory, *Science* 233 (1986), pp. 1167-1175.
- [8] G.C.John, Switchboard versus statistical theories of learning and memory, *Science* 177 (1972), pp. 850-864.
- [9] M.P.Stryker, Is grandmother an oscillation?, *Nature* 338 (1989), pp. 297-298.
- [10] W.Singer, Synchronization of cortical activity and its putative role in information processing and learning, *Annu. Rev. Physiol.* 55 (1993), pp. 349-374.
- [11] S.H.Strogatz and I.Stewart, Coupled Oscillators and Biological Synchronization, *Scientific American*, December 1993, pp. 68-75.
- [12] C.Tart, ed., *Altered states of consciousness* (Academic, New York, 1972).
- [13] M.Satyanarayana, K.R.Rajeswari, N.J.Rani, C.S.Krishna, and P.V.Rao, Effect of Santhi Kriya on certain psychophysiological parameters: a preliminary study, *Indian J. Physiol. Pharmacol.* 36 (1992), pp. 88-92.
- [14] R.G.John, The persistent paradox of psychic phenomena: An engineering perspective, *Proc. IEEE* 70 (1982), pp 136-170.
- [15] W.R.Adey, Tissue interactions with nonionizing electromagnetic fields, *Physiol. Rev.* 61 (1981), pp. 435-514.
- [16] D.Raković, Neural networks, brainwaves, and ionic structures: Acupuncture vs. altered states of consciousness, *Acup. & Electro-Therap. Res., Intl. J.* 16 (1991), pp. 89-99.



- [17] D.Raković, Neural networks vs. brainwaves: Biophysical model for ELF interactions, *Proc. Ann. Int. Conf. IEEE/EMBS* 14 (1992), pp. 2750-2751.
- [18] D.Raković, Moždani talasi, neuronske mreže i jonske strukture: Biofizički model izmenjenih stanja svesti, *ovaj zbornik*.
- [19] D.Raković, *Osnovi biofizike* (Grosknjiga, Beograd, 1994 i 1995).
- [20] K.C.Markides, *Fire in the Heart. Healers, Sages and Mystics* (Paragon House, New York, 1990).
- [21] Y.Omura, T.L.Lin, L.Debreceni, B.M.Losco, S.Freed, T.Muteki, and C.H.Lin, Unique changes found on the qi gong (chi gong) master's and patient's body during qi gong treatment: Their relationship to certain meridians & acupuncture points and the re-creation of therapeutic qi gong states by children & adults, *Acunp. & Electro-Therap. Res. Int. J.* 14 (1989), pp. 61-89.
- [22] T.Hirai, Electroencephalographic Study of Zen Meditation, *Psychiat. Neurol. Jap.* 62 (1960), pp. 76-105.
- [23] J.P.Banquet, EEG and Meditation, *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology* 33 (1972), pp. 449-458.
- [24] J.P.Banquet, Spectral Analysis of the EEG in Meditation, *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology* 35 (1973), pp. 143-151.
- [25] R.K.Wallace and H.Benson, The Physiology of Meditation, *Scientific American* 226 (1972), p. 84.
- [26] G.C.Ray, Higher Stages of Rajayoga and Its Possible Correlation with Process of Evolution, *Journal of the Institution of Engineers (India)*, ID 68 (1988), pp. 37-42.
- [27] G.C.Ray, A.Y.Kaplan, Transcendent Signal and its Possible Signature on Electroencephalogram, *Journal of the Institution of Engineers (India)* 74 (1994), pp. 22-31.
- [28] G.C.Ray, r-parameter: A new measure of level of consciousness, unpublished paper.
- [29] J.Z.Zhang, J.Zhao, and Q.N.He, EEG findings during special psychical state (Qi Gong State) by means of compressed spectral array and topographic mapping, *Computers in Biology and Medicine* 18 (1988), pp. 455-463.
- [30] E.Jovanov, D.Raković, V.Radivojević, D.Kušić, P.Šuković, and M.Car, Evaluation of state of consciousness using software support for monitoring spatio-temporal EEG changes, *Proc. ISCA Int. Conf. on Computer Applications in Engineering and Medicine* (1995).
- [31] D.Kušić, *Integracija softverskog okruženja za EEG analizu*, B. Sc. thesis, Faculty of Electrical Engineering, University of Belgrade, 1994.
- [32] P.Šuković, *EEG korelati izmenjenih stanja svesti*, Diplomski rad, Elektrotehnički fakultet, Beograd, 1994.
- [33] *MATLAB 4.2 User's guide* (The MathWorks, Inc., Natick, USA, 1994).
- [34] B.W.Jervis, M.Coelho, and G.W.Morgan, Spectral analysis of EEG responses, *Medical & Biological Engineering & Computing*, May 1989, pp. 230-238.

- [35] B.A.Cohen, A.Sances, Stationarity of the human electroencephalogram, *Medical & Biological Engineering & Computing*, September 1977, pp. 513-518.
- [36] F.H.Duffy, ed., *Topographic Mapping of Brain Electrical Activity* (Butterworths, Boston, 1986).
- [37] P.Y.Ktonas, N.Papp, Instantaneous envelope and phase extraction from real signals: Theory, implementation and an application to EEG analysis, *Signal Processing 2* (1980), pp. 373-385.
- [38] Ok J.G.yere, P.Y.Ktonas, and J.S.Meyer, Quantification of the Alpha EEG Modulation and Its Relation to Cerebral Blood Flow, *IEEE Transactions on Biomedical Engineering* BME-33 (1986), pp. 690-696.
- [39] E.Jovanov, D.Raković, V.Radivojević, and D.Kušić, Band power envelope analysis - a new method in quantitative EEG, *Proc. Ann. Int. Conf. IEEE/EMBS 17* (1995).