
UDK 82.0:616.831-073-71

Urška Perenič

Filozofska fakulteta Univerze v Ljubljani

Jurij Bon

Laboratorij za kognitivno nevroznanost, Nevrološka klinika UKC Ljubljana

EKSPERIMENTALNA UPORABA KVANTITATIVNE
ELEKTROENCEFALOGRAFIJE PRI ANALIZI (LITERARNEGA) BRANJA:
Z DOGODKOM POVEZANI ERP VALOVI (*EVENT-RELATED-POTENTIALS*)

Članek je prvi del dvodelno in pregledno zasnovanega prispevka o uporabi elektroencefalografske (EEG) metode za namene analize (literarnega) branja. Najprej sta predstavljeni metoda EEG in vsebina EEG zapisa. Ta beleži kontinuirane spremembe električne napetosti na površju glave (članek I), ki odražajo spremembe možganskih ritmov (članek II). Zatem je pozornost namenjena metodi ERP povprečenja. Z njo spremljamo povprečne spremembe elektrofizioloških signalov med večjim številom ponovitev miselnih poskusov, kar nam omogoča časovno natančno beleženje sprememb v možganski aktivnosti pri branju določene besede, besedne zveze ali stavka. Rezultati ERP raziskav predstavljajo referenčni okvir, ko se lotevamo eksperimentalnega raziskovanja možganskih aktivnosti pri branju literarnih besedil.

Ključne besede: EEG, električni potenciali možganov, metode analize signala, ERP povprečenje, [tiho] branje, jezikovna obdelava, kognitivna nevroznanost, empirična literarna znanost (ELZ)

The article is the first part of a two-part survey on the use of the electroencephalogram (EEG) method in the analysis of (literary) reading. The authors first present the EEG method and the content of the EEG recording. The latter registers continuous changes in voltage on the head's surface (article I), which reflect changes in the brain's rhythm (article II). After that, they focus on the method of ERP averaging, with which they observe average changes in the electrophysiological signals between numerous repetitions of the thought experiment; that enables a precise recording of the changes in brain activity during reading of a certain word, word phrase, or sentence. The results of the ERP studies represent a referential framework for tackling experimental research in brain activity during reading of literary texts.

Keywords: EEG, electrical potential of the brain, the signal analysis methods, ERP averaging, [silent] reading, linguistic processing, cognitive neuroscience, empirical literary studies (ELW)

I

0 Kaj je elektroencefalografija?

Elektroencefalografija, na kratko EEG, je ena izmed neinvazivnih metod slikanja možganov,¹ s katero merimo kontinuirano električno aktivnost možganov. Zajeti

¹ Druge neinvazivne metode, ki so posebej primerne za kognitivne nevroznanstvene raziskave, so fMR (funkcijska magnetna resonanca), MEG (magnetoencefalografija), PET (pozitronska emisijska tomografija).

električni signal je »seštevek električne aktivnosti večjega števila [živčnih] celic možganske skorje«, na njegove lastnosti pa vplivajo tako lastnosti nevronov kakor medsebojni odnosi med nevronskimi omrežji v možganih. Spremembe v EEG signalu so posledica bolj ali manj usklajenega (so)delovanja nevronskih omrežij, ki se v EEG zapisu odraža v spreminjajočih se amplitudah živčne aktivnosti možganske skorje v različnih frekvenčnih spektrih. (Silva 1991; Coenen 1995; Whittington idr. 2000; Brežan idr. 2004: 63) Signal se zajema s pomočjo elektrod, ki se namestijo na površini glave (skalpu). Elektroencefalografija se na področju medicine uporablja predvsem preko kvalitativne ocene neposredno vidnih značilnosti signala – v nevrologiji in psihiatriji npr. za diagnosticiranje epilepsije, ugotavljanje možganskih disfunkcij, motenj pozornosti. Kvantitativni načini obdelave signala pa obsegajo različne in bolj ali manj kompleksne transformacije po principih teorije obdelave signalov, ki dovoljujejo določanje specifičnih komponent v signalu, ki so v kontinuiranem posnetku sicer prekrite z električnim šumom okolice. Kvantitativno analizo prakticirajo predvsem na področjih kognitivne psihologije in kognitivne nevroznanosti, ker omogoča najbolj natančno mero časovnega poteka zaznavnih in kognitivnih procesov v možganih, z milisekundno ločljivostjo, pri čemer pa se je potrebno zavedati, da je prostorska ločljivost metode v primerjavi z drugimi metodami funkcijskega slikanja možganov slaba. Z drugimi besedami lahko z EEG metodami časovno natančno merimo odziv možganov kot celote, medtem ko težje sklepamo na doprinos različnih delov možganov, za kar so uporabnejše druge omenjene neinvazivne metode slikanja. EEG se vse pogosteje uporablja tudi na sorazmerno novih, komercialnih področjih, kakor je nevromarketing, kjer je lahko učinkovit pri odkrivanju vzorcev ravnanj potrošnikov. V empirični literarni znanosti (ELZ) za to metodo nimamo relevantnejših zgledov.² Zato je zanjo metodološko in vsebinsko najzanimivejše široko in v zadnjih petindvajsetih letih hitro rastoče področje eksperimentalnih nevrolingvističnih raziskav. Med njimi pozornost vzbuja skupina raziskav, ki jih zanimajo elektrofiziološke podlage jezikovne obdelave. Ukvarjajo se z merjenjem in analizo sprememb v električnih potencialih možganov in njihovih ritmih, kakor jih izzove kognitivno procesiranje različnih vrst jezikovnih podatkov pri branju in pri bralnem razumevanju.

1 EEG zapis sprememb električne napetosti in možganskih ritmov

Iz kontinuiranega EEG zapisa lahko razberemo podatke o periodičnih³ spremembah **električne napetosti na površini glave**, na katerih dinamiko vplivajo kognitivni dogodki oz. senzorični dražljaji in se običajno merijo v mikrovoltih (μV); amplituda valov je lahko negativna ali pozitivna, razberemo pa lahko tudi prevladujočo frekvenco signala.

² V povezavi z literarnim branjem govori o nevrofizioloških kazalnikih David S. Miall (2007). Vendar ga najbolj zanima vloga emocij pri kognitivnem procesiranju. Pri sklicevanju na izsledke nevropsihologije omenja zlasti J. Hoorna, ki je v sredini 90. let prejšnjega stoletja pisal o psihofizioloških podlagah literarnega branja; zanimali so ga odzivi možganov na besednopomenske in fonološke odklone pri branju verzov (1996).

³ Ponavljajoče se spremembe.

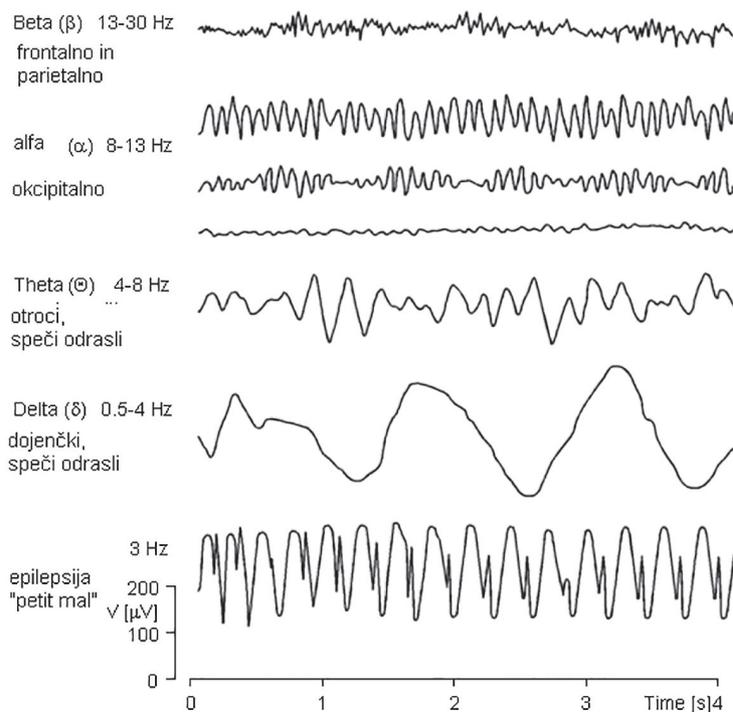
Z matematično metodo hitre Fourierjeve transformacije signal razstavimo na ločene frekvence in opazujemo dinamiko frekvenčnih pasov ali **možganskih ritmov**, ki se merijo v nihajih na sekundo (enota Hertz, Hz). S kognicijo povezano možgansko valovanje se pri človeku giblje v razponu med frekvenčnima pasovoma theta in gama. Spremembe v možganskih ritmih so povezane z različnimi stanji budnosti (miselnimi idr. procesi) in spanja. Ritmi so glede na frekvenčna področja hitri in počasni.

Hitri možganski ritmi so:

- ritem alfa (8–13 Hz),
- ritem beta (13–30 Hz);⁴
- električna aktivnost možganov nad 30 Hz je opredeljena kot aktivnost gama.

Počasni ritmi v stanjih budnosti pri zdravem človeku v kontinuiranem posnetku praviloma ne prevladujejo. Gre za:

- ritem theta (4–7 Hz),
- ritem delta (0,5–4 Hz).



Slika 1: EEG zapis možganskih ritmov.⁵

⁴ Znotraj frekvenčnega pasu beta je vzpostavljeno razlikovanje med nizkimi in visokimi oz. počasnimi in hitrimi ritmi beta (13–21 oz. 21–30 Hz).

⁵ Towards an Atlas of Human Neocortical Oscillations. Spikes & Waves: Cognitive science & neuroscience. 24. dec. 2014. Splet.

Ritem alfa je značilen tako za stanje telesne kot duševne sproščenosti in je najizrazitejši, ko imamo zaprte oči (ob odprtju oči praviloma nastopi ritem beta). Pojavlja se v zadajšnjih predelih možganske skorje, v zatilnem (okcipitalnem) režnju. Možgansko aktivnost beta spodbudijo duševna aktivnost in kognitivni procesi, povezana je s pozornostjo in opravljanjem motoričnih nalog. Pojavlja se predvsem frontalno, centralno in parietalno, lahko pa tudi porazdeljeno po različnih drugih predelih možganske skorje. Pozornost in kognitivni procesi, pri katerih pride do povezovanja možganskih omrežij med predeli možganske skorje in področji globlje v možganovini, so povezani z aktivnostjo gama. (Brežan idr. 2005: 5) Medtem ko je ritem delta povezan z globokim spancem, je med počasnimi ritmi in iz gledišča EEG spremljanja možganskih odzivov pri jezikovni obdelavi zanimivo frekvenčno območje theta. Ne pojavlja se namreč le pri spanju in nekaterih bolezenskih stanjih, ampak je povezano s procesi (delovnega) spomina, zajema tudi čustvene procese in je značilno za stanje notranje pozornosti, kar je npr. pomembno za opravljanje zahtevnejših kognitivnih nalog. V možganski skorji se pojavlja porazdeljeno.

2 Metode merjenja in obdelave EEG signala

Obstajajo različni načini za merjenje električne aktivnosti možganov pri branju oz. jezikovni obdelavi in za analiziranje elektrofizioloških signalov. Metode se uporabljajo ločeno ali v kombinacijah. Med klasičnimi kvantitativnimi metodami izstopa metoda ERP povprečenja oz. metoda določanja z dogodkom povezanih potencialov; začetki segajo v trideseta leta 20. stoletja, v polnem razmahu pa so bile ERP raziskave od osemdesetih let. Med sodobnejšimi metodami za zajem sprememb vzorcev možganskih ritmov in analizo signala so vse bolj v veljavi mere spektralne moči po posameznih frekvenčnih področjih in mere spektralne koherence, ki se uporabljajo za določanje sprememb v povezanosti možganskih omrežij pri različnih pogojih branja. V tem članku si bomo natančneje ogledali metodo ERP povprečenja.

Zakaj so rezultati ERP raziskav sploh lahko zanimivi za empirično obravnavo branja, kaj se lahko naučimo iz njih v zvezi z literarnim branjem in kakšne možnosti nam ponuja elektroencefalografska metoda ERP povprečenja pri nadaljnjem preučevanju (literarnega) branja?

Ob tehtanju uporabnosti ERP metode nas verjetno najprej prepriča dejstvo, da gre za eksperimentalni pristop in da je v eksperimentih dosežena razmeroma visoka stopnja vzorčenja. V njih v idealnem primeru sodeluje med 20 in 30 udeležencev.⁶ Iz perspektive empirične literarne vede, ki si prizadeva za preverljivost in stabilnost rezultatov, so rezultati, dobljeni na večjih vzorcih populacije, spodbudni zato, ker omogočajo objektivizacijo rezultatov, konkretno o elektrofizioloških korelatih literarnega načina branja (preprosteje rečeno, o tem, kaj se pri branju literarnih besedil dogaja v možganih).

Če se navdušujemo nad merodajnostjo rezultatov, ki so dobljeni na večjih vzorcih, pa smo se morali prej strinjati okrog tega, da branje literarnih besedil ni zgolj stvar

⁶ Ti v namene čim večje objektivnosti rezultatov ne smejo biti vnaprej in natančno seznanjeni s smotri eksperimentiranja.

literarnih izvedencev, ampak da nas vsaj enako zanimajo vsa posamezna branja. D. Miall (2007) pravi, da naj bi v empiričnem raziskovanju razumevanje literarnega branja slonelo na dokazih, zbranih na podlagi odzivov dejanskih bralcev.⁷ V ERP raziskavah so le ti dokumentirani v obliki EEG zapisov.

3 Branje in spremembe elektrofizioloških signalov: Metoda ERP povprečenja (ang. *Event-Related-Potential*, nem. *Ereigniskorrelierte Potentiale*)

Ko merimo spremembe napetosti na površini glave pri branju, je samoumevno, da gre za tihi način branja.⁸ Če bi namreč brali naglas, bi se v elektroencefalografskem zapisu pojavljale dodatne motnje zaradi aktivnosti in naprejanja mišic na obrazu in vratu pri govoru. Osnovna predpostavka EEG snemanja je, da imajo kognitivni (in čustveni) procesi v poteku jezikovne obdelave in bralnega razumevanja vpliv na spreminjanje EEG signala, kar pomeni, da je iz teh sprememb mogoče sklepati na razlike v kognitivnem procesiranju jezikovnih podatkov (npr. na semantično obdelavo, obdelavo sintaktičnih struktur). Kognitivne nevroznanstvene raziskave, ki se (tihega) branja lotevajo s pomočjo ERP metode, je mogoče v grobem razdeliti na tiste, ki se ukvarjajo z merjenjem in analizo električne aktivnosti celic možganske skorje pri branju (samo) posameznih besed (ang. *Word-by-Word-Processing*), in raziskave, ki jih zanima električni potencial možganov pri branju in razumevanju stavkov (ang. *Sentence Reading/Sentence Comprehension*). V nevrolingvističnih ERP raziskavah se povprečni električni odziv možganov na posamezne besede ugotavlja z ozirom na psiholingvistične dejavnike, kakor so pogostnost pojavljanja besede, njena besednovrstna pripadnost ipd.; besede so za namene eksperimenta bodisi razvrščene v naborne nize oz. sezname bodisi tvorijo besedne pare, tako da je mogoče primerjati odziv možganov na besednovrstno različne besede, na različno frekventne besede itd. Besede so lahko vpete v stavke. Pri procesiranju stavkov se uporabljata dve vrsti jezikovnega oz. stavčnega gradiva. Ena vrsta stavkov vsebuje različne nepravilnosti oz. odklone, ki jih je mogoče večinoma umestiti na leksikalno-semantično in morfo-sintaktično raven, druga vrsta gradiva je ustrezno tvorjena na vseh jezikovnih ravneh. Obe vrsti gradiva se v nevrolingvističnih eksperimentih uporabljata vzporedno, ker pri funkcijskih slikovnih raziskavah možganov prideta v poštev ponavljanje podobnih dogodkov in primerjava med deloma različnimi dogodki (eksperimentalni pogoji), da lahko z analizo signalov izluščimo relativne

⁷ Opis realnih procesov v možganih govorcev in poslušalcev oz. tistih, ki percipirajo, je bil pravzaprav od vsega začetka glavna namera nevropsihološke analize govorne komunikacije, za katere začetnika velja Aleksander R. Lurie. Strukturo delovanja možganov v procesu dekodiranja sporočila je preučeval na pacientih s poškodbami možganov, zaradi katerih je prišlo do različnih motenj kognitivnih funkcij. V primerjavi z nevropsihološko analizo procesa razumevanja posameznih besed in različnih skladišnih struktur je bilo še zahtevnejše analiziranje razumevanja besedil. Ta proces ima namreč drugačno psihološko strukturo, ki presega okvire jezikoslovja in je spodbudil interdisciplinarno sodelovanje lingvistike in psihologije. Lurie je na več mestih tudi zapisal, da o procesu razumevanja različno obsežnih besedil, ki presegajo raven stavka, vemo bolj malo.

⁸ Besede in stavki so običajno vizualno prikazani prek računalniškega zaslona.

razlike možganov med pogoji in zmanjšamo vpliv naključnega električnega šuma. Nevrolingvistična raziskava torej preverja, v čem je električna aktivnost možganov, ki jo izzovejo pravilno/ustrezno tvorjene besede ali stavki, kakovostno drugačna od tiste, ki jo izzovejo oblikoslovno-skladenjski in besednopomenski odkloni.

Naštete vrste odklonov oz. nepravilnosti so v eksperimentih vnesene v obliki primerjave posameznih jezikovnih dražljajev ali pa s primerjavami povprečne aktivnosti med daljšimi odseki branja, ki se razlikujejo po bistvenih lastnostih. ERP povprečenje poteka tako, da z elektrodami na glavi merimo kontinuirani električni signal možganov med izvajanjem eksperimenta, ki ga sestavlja večje število ponovitev raziskovalnih pogojev. Signal se nato razdeli na časovne odseke (epohe), ki odražajo časovno povsem poravnane ponavljajoče se procese zgodnje zaznave dražljaja in njegove kasnejše kognitivne obdelave.⁹ Ker signal, ki ga oddajajo možgani, zaradi vpliva lobanje ob prehodu na površje precej ošibi, ga EEG aparat najprej ojača.¹⁰ V nasprotnem primeru bi iz EEG zapisa težko razbrali odzive možganov. Nato se s preprocesiranjem izboljša kvaliteta signala in zmanjšajo viri šuma, ki se jim ne moremo izogniti vnaprej (gibi oči, spontana aktivnost mišic obraza in glave, motnje v stiku med elektrodo in kožo skalpa).

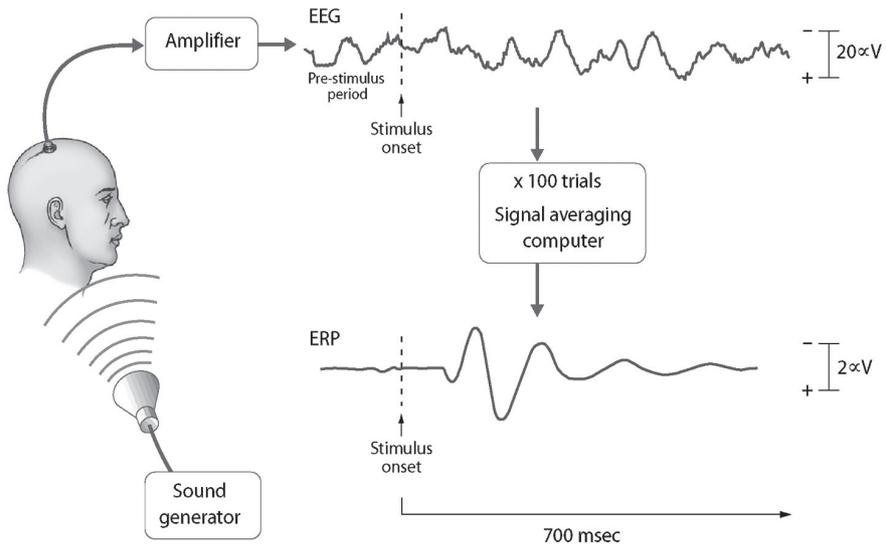
Bistvo nadaljnega izboljševanja razmerja med signalom in šumom je povprečenje velikega števila ponovitev poskusa, ki predstavlja temelj metode ERP povprečenja in najbolj učinkovito prikaže značilne, z dogodkom povezane potenciale. Ti so glede na časovni potek zgodnji evocirani potenciali (EP), ki so bolj povezani s senzoričnimi lastnostmi dražljajev, in pozni, z dogodkom povezani potenciali (ERP valovi), ki odražajo bolj ali manj zavestno kognitivno procesiranje. V tipičnem nevrolingvističnem eksperimentu predstavlja dražljaj npr. besednopomensko neustrezna beseda v stavku, ki ga morajo udeleženci v eksperimentu prebrati večkrat.

V EEG raziskavah so z metodo ERP povprečenja ugotovili več vrst električnih potencialov oz. ERP komponent, ki so značilne za obdelavo jezikovnih podatkov v možganih. Komponente se razlikujejo glede na polariteto amplitude (pozitivnost/negativnost vala)¹¹ in latenco (čas, ki je potreben za obdelavo dražljaja); na površini glave so različno izrazite. (Hillyard/Picton 1987; Bressler 2002: 412 sl.; Handy 2005, Luck 2005 idr.)

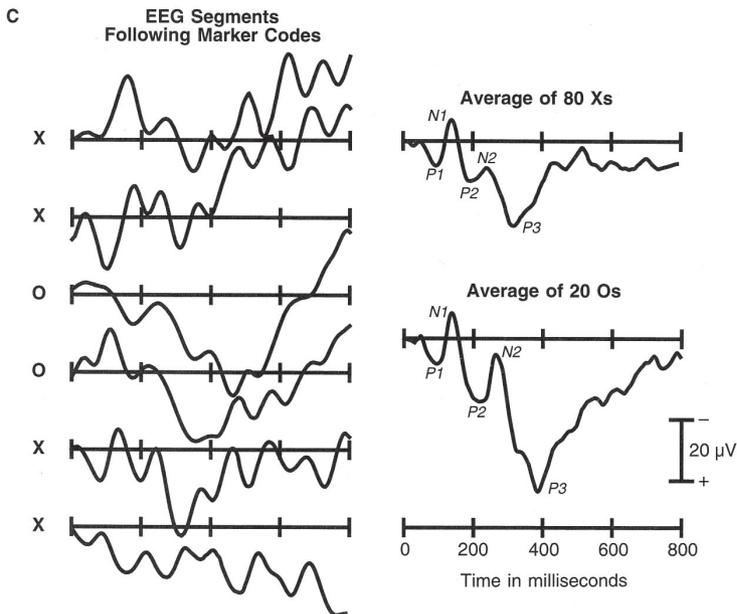
⁹ ERP nevronski signal izhaja iz sinhronih interakcij med velikim številom sodelujočih nevronov v možganih. Vsebuje različne oscilacije različnih frekvenčnih pasov (npr. theta, beta).

¹⁰ Razvoj računalniških tehnologij, s pomočjo katerih se da izmerjeni signal digitalizirati, je omogočil tudi sodobne in računalniško podprte načine za analizo velikih količin EEG podatkov.

¹¹ Napetost je večja takrat, ko nevroni delujejo sinhrono (sinhronizacija), in se zmanjša, ko pride v delovanje nevronov do desinhronizacije (Pfurtscheller/Silva 1999; Bressler [1995] 2002: 413).



Slika 2: Merjenje EEG signala s ponovitvami raziskovalnih pogojev ter z uporabo ojačevalnika in računalniškega pretvornika.¹²

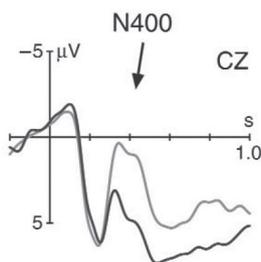


Slika 3: Shematski prikaz ERP komponent (N1, P1 idr.) [Luck 2005].

¹²Neuroimaging Methods. Study Blue 9. feb. 2012. Splet.

4 Komponente ERP in procesne ravni jezikovne obdelave

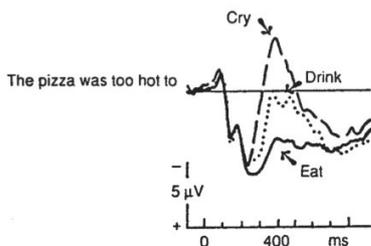
Za analizo branja literarnih besedil s pomočjo metode ERP je potrebno poznavanje komponent, ki so občutljive na obdelavo jezikovnih podatkov. Mišljeni sta zlasti komponenti **N400** (Slika 4) in **P600**,¹³ ki sta povezani z jezikovno obdelavo informacij na semantični ter morfo-sintaktični ravni. V nevrolingvistiki obstajajo različni pogledi na to, kako natanko so ti delni procesi vpleteni v jezikovno obdelavo, vendar so si raziskovalci enotni v stališču, da je na podlagi nevrofizioloških indikatorjev smiselno razlikovati med konceptualno-semantično, sintaktično pa tudi ortografsko-fonološko obdelavo (Jackendoff 1999; 2002; Levelt 1999; Hagoort idr. 1999; 2003; Liu idr. 2003).



Slika 4: Komponenta N400 (Koelsch idr. 2004).

4.1 Jezikovna obdelava in N400

Komponento N400 sta z nevrolingvističnim eksperimentom, v katerem sta uporabljena pare stavkov s semantično ustrezno oz. neustrezno besedo na koncu, dokazala M. Kutas in S. A. Hillyard. Ugotovila sta, da večina jezikovnih dražljajev izzove negativni val (N) z vrhom ok. 400 ms (latenca) po prejemu dražljaju. Amplituda in latenca vala sta odvisni od ne/pravilnosti besede oz. vrste jezikovne manipulacije. (Kutas/Hillyard 1980a; 1980b; 1980c; Kutas/van Petten 1994: 102)



Slika 5: ERP učinek N400 je pozitiven pri kontekstualno ustrezni besedi (*eat*; polna črta), negativnost vala je največja pri nepričakovani besedi (*cry*; črtkana črta), učinek N400 je zmanjšan pri neustrezni besedi, ki je povezana s pričakovano in končno besedo (*drink*; pikčasta črta). (Kutas/Hillyard 1984; Kutas/van Petten 1994: 103)

¹³ Obdelava slušnih, vizualnih, somatosenzoričnih dražljajev izzove drugačne učinke ERP; sem sodi npr. komponenta N100, ki za obravnavo bralnega razumevanja ni zanimiva v enaki meri. V primerjavi z ERP komponentami, ki so povezane s kognitivno obdelavo jezikovnih podatkov, je njena latenca krajša. Prav tako nista tipični za jezikovno obdelavo komponenta CNV (kontingent negativne variacije) in (pozitivna = P) komponenta P300. Kutas in Hillyard sta pri merjenju električnega odziva možganov v primeru stavkov s semantičnimi odkloni pričakovala zgodnejši in bolj splošen odziv na nepričakovane dražljaje, tj. val P300, dokazala pa komponento N400. (Kutas/Hillyard 1980a; Kutas/van Petten 1994: 112)

Komponenta ali val N400 je torej privzet oz. normalen električni odziv možganov na različno smiselne besede. Negativnost amplitude vala, ki se giblje med -5 in $5 \mu\text{V}$, je večja pri semantično neustreznih besedah, čas normalnega odzivanja možganov je v obeh primerih ok. 400 ms po dražljaju, pri čemer je razlika v amplitudi pri obdelavih ustreznih oz. neustreznih besed iz EEG zapisa razvidna pribl. 200 ms po prikazu dražljaja.¹⁴ Obstaja manjša razlika med latencama, če je semantično neustrezna beseda v sredini ali na koncu stavka; v prvem primeru je reakcijski čas ok. 430 ms, kar pomeni, da možgani za obdelavo vmesnih anomalij potrebujejo nekaj več časa.

Komponenta N400 se na površini glave pojavlja porazdeljeno. Pri obdelavi semantičnih neustreznosti je izrazitejša v senčnem, temenskem in zadajšnjem predelu glave (in ne čelno), nekoliko izrazitejša je nad desno hemisfero možganov. (Kutas/Hillyard 1980a; 1980b; 1980c; Kutas/van Petten 1994: 102–10; Bressler 2002: 414; Kutas/Federmeier 2000; Sereno/Rayner 2003: 491)

Izmed študij, ki ugotavljajo ERP učinke pri prepoznavanju posameznih besed, izstopajo tiste, ki jih zanima, kako na električni odziv možganov vpliva **pogostnost** pojavljanja besed, kakšen je vpliv različne **besednovrstne pripadnosti** besede, kako se v vzorcih možganskih aktivnosti kaže vpliv **abstraktnosti** oz. **konkretnosti** pomena besede, kakšen je vpliv **pomenskih lastnosti** besed na odziv možganov (npr. polnopomenske nasproti nepolnopomenskim besedam).¹⁵ Nepolnopomenske besede praviloma izzovejo manjšo amplitudo vala N400, kar je mogoče pojasniti z njihovo večjo pogostnostjo v različnih (stavčnih) pogojih in sorazmerno visoko stopnjo predvidljivosti. Konkretna vsebina lahko izzove večjo negativnost amplitude kakor beseda, ki je nosilka abstraktnega pomena.¹⁶ Amplituda vala N400 je večja tudi v primeru, ko se v naboru besed, ki spadajo k isti besedni vrsti, pojavi beseda, ki izkazuje drugačno besednovrstno pripadnost. (Fischler idr. 1983; Neville idr. 1986; Kutas/van Petten 1994: 120) Visokofrekventne besede¹⁷ izzovejo manjšo amplitudo vala N400 kakor nizkofrekventne besede. Vendar se učinek N400 v drugem primeru pojavlja nesorazmerno, tako da ga lahko povežemo predvsem s ponavljanji.

Poleg frekvence besede ima na amplitudo lahko (bolj kot sama jezikovna obdelava) vpliv spomin; gre za to, ali se je bralec s konkretno besedo srečal že kdaj prej oz. ali pozna njen pomen (amplituda vala je tudi v tem primeru manjša). Še en pomemben dejavnik je kontekst; lahko se celo zgodi, da ta povsem izniči učinek N400.¹⁸ (Smith/Halgren 1987; Rugg 1990; Besson idr. 1992; Kotz idr. 1992; Kutas/van Petten 1994: 122–23)

¹⁴Hillyard in Kutas sta merila tudi razliko med t. i. psevdobesedami, ki so izgovorljive, vendar nimajo nikakršnega pomena, in t. i. nebesedami, ki niso izgovorljive in nimajo pomena. Samó branje prvih je izzvalo učinek N400, kar kaže na to, da je moral biti vložen določen kognitivni napor, preden je bralec ugotovil, da gre za nepomenonosno enoto. To posredno potrjuje, da val N400 predstavlja običajen ERP potencial pri procesiranju besed.

¹⁵Za pregled meritev električnega odziva možganov na besede, ki izkazujejo različno besednovrstno pripadnost, vendar s pomočjo EEG koherence, gl. npr. Weiss/Müller 2003: 330 sl.

¹⁶Študije so dale različne rezultate, ki jih je težko posplošiti.

¹⁷Podobne učinke so ugotovili, ko je šlo za ponavljanje na ravni stavka.

¹⁸Nekaj podobnega opazimo v primeru, ko se besede pojavljajo v seznamih oz. ko se ponavljajo celi stavki, saj se njihova pogostnost ne odrazi v učinku oz. amplitudi N400.

Učinek N400 je lahko rezultat hkratnega součinkovanja več dejavnikov, npr. frekvenca pojavljanja določene besede in predhodnega stavčnega konteksta. To so ugotovili z navzkrižnim primerjanjem odzivov možganov na večpomensko besedo, ki se je pojavljala v dveh različnih kontekstih. Enkrat v nevtralnem kontekstu, drugič v (zahtevnejšem) kontekstu, ki naj bi bolj spodbujal identificiranje podrejenih pomenov izbrane in ambivalentne besede oz. pojma. ERP povprečenje je pokazalo, da je odziv možganov v prvi situaciji primerljiv z odzivom na pojavljanje visokofrekventnih besed, ki so bile v poizkusu v vlogi kontrolnih besed. Nasprotno je bil odziv možganov v drugi situaciji primerljiv s tistim na nizkofrekventne besede. Frekvenca besed in (pozitivni) učinki konteksta na prepoznavanje besede in identificiranje njenega pomena se ne odrazijo samo v manjši izmerjeni amplitudi, ampak tudi v krajši latenci vala; v konkretnem primeru je šlo za časovno okno med 132 in 192 ms po prikazanem dražljaju (v času komponente N1). Ena od pomembnejših ugotovitev je bila tudi, da kontekst lahko že relativno zgodaj vpliva na izbiro ustreznega pomena besede,¹⁹ ko so bili dejansko že preverjeni vsi potencialni pomeni pojma. (Sereni idr. 2003)²⁰

Zaradi tega je električni odziv možganov na različno smiselne besede problematično meriti zgolj s primerjavo posameznih besed in ločeno od stavčne strukture oz. širšega (stavčnega) konteksta. Za povprečenje električnega potenciala možganov na besede v stavčnem kontekstu (naj)pogosteje vzamejo tip jezikovne naloge zapolnjevanja praznih mest v stavku (ang. *Cloze Probability Test*, nem. *Lückentexttest*); praznina je običajno na koncu stavka. Tip naloge sta uporabila že Kutasova in Hillyard. Pokazala sta, da je komponenta N400 občutljiva na kontekstualno ne/ustreznost besede na koncu stavka (nepričakovana beseda je izzvala negativnejši val N400). Vendar ni mogoče spregledati vpliva, ki ga ima na komponento preostanek stavka oz. predhodni stavčni kontekst, saj v bistvu tlakuje pot besedi, s katero bralec nato zapolni prazno mesto na koncu stavka. Amplituda N400 je torej odvisna od povezanosti s prejšnjimi besedami v stavku, bralčevimi pričakovanji, kakor se oblikujejo v poteku branja, kar pomeni, da učinek N400 odraža tudi vpliv predhodnega besednega oz. stavčnega konteksta.²¹ (Kutas/Hillyard 1984; van Petten/Kutas 1987; Osterhaut/Holcomb 1992: 786–87; Kutas/van Petten 1994: 120)²² Podoben tip jezikovne naloge vključuje stavčne pare, samo da ti vsebujejo vse besede, eden od stavkov pa se zaključí s pomensko oz. kontekstualno neustrezno besedo. Ilustrativen primer je ERP raziskava nizozemskih raziskovalcev²³ (Hald idr. 2006).

¹⁹ V prid temu stališču npr. Fodor 1983; Forster 1979; Sereni idr. 2003: 328.

²⁰ Čas prepoznavanja večpomenskih besed oz. trajanja osredotočenosti na posamezno besedo so ugotavljali z s psihološko metodo sledenja pogledu (ang. *Eye Tracking*; prim. Duffy idr. 1988; Sereni 1995; Sereni idr. 2003).

²¹ Električni odziv možganov so povprečili na primeru zapolnjevanja besed v sredini in v začetnih delih stavka. Odvisno od prazne pozicije v stavku se spreminja amplituda N400, ki po pravilu upada v smeri proti začetku stavka. (Kutas idr. 1988; Kutas/van Petten 1994: 119)

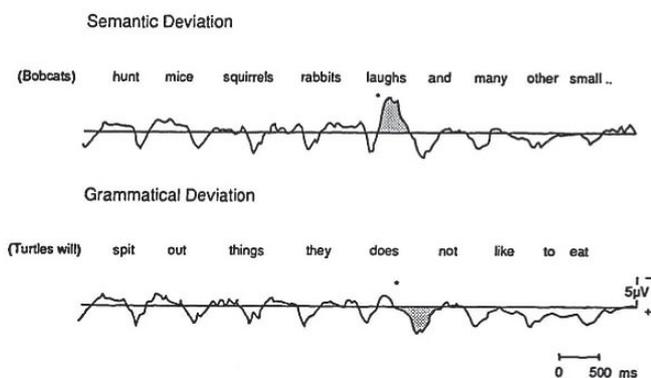
²² Glede vpliva konteksta in védenja na prepoznavanje semantično ne/ustreznih besed v stavku in v okviru komponente N400 gl. tudi Hald idr. 2007; van Berkum idr. 1999.

²³ Med ERP raziskavami igra nizozemščina opazno vlogo, verjetno še vedno prednjačijo študije na primeru angleščine, pomembno mesto ima nemščina, razmeroma veliko je ERP in drugih vrst EEG raziskav (vzhodno)azijskih jezikov (npr. japonsščina, kitajščina).

Pri stavkih, ki so vsebovali semantične anomalije, je bila ugotovljena negativnejša amplituda vala N400.²⁴

4.2 Jezikovna obdelava in P600

Stavčni pari lahko vsebujejo še eno vrsto anomalije, ki je morfo-sintaktične oz. slovnične narave (npr. sklonska neujemalnost pridevnika v vlogi levega prilastka, napake v številu samostalnika ali glagola itd.). Napaka v številu glagola je bila eden od morfo-sintaktičnih dražljajev, na podlagi katerega sta z metodo ERP ugotavljala električni odziv možganov Kutas in Hillyard (1983; Osterhaut/Holcomb 1992: 787). Medtem ko semantični odklon v stavku izzove poudarjeno negativnost vala N400, je primerjalna analiza za stavek, ki je vseboval glagolsko obliko v napačnem številu (ang. *does* namesto *do*), pokazala, da ta vrsta slovnične napake povzroči poudarjeno in zapoznelo pozitivnost amplitude vala.



Slika 6: Zgoraj je prikazan povprečni ERP učinek stavka s semantično nepredvidljivo besedo (*laughs*; N400), spodaj za stavek, ki vsebuje morfo-sintaktično napako (**does*; izmerjena pozitivna amplituda vala). (Kutas/Hillyard 1983 v Kutas/van Petten 1994: 128)

Od tod je mogoče sklepati na razlike v možganski aktivnosti pri obdelavi morfo-sintaktičnih nasproti semantičnim informacijam. 1992 sta Osterhaut in Holcomb izvedla prvi relevantnejši eksperiment. Dokazala sta, da je za jezikovno obdelavo skladenjskih oz. gramatičnih napak značilna ERP komponenta P600, ki ima pozitivno amplitudo vala (P), povprečni električni odziv možganov nastopi pribl. 500 ms po prejemu jezikovnem dražljaju z vrhom okoli 600 ms.²⁵ Najizrazitejša je na centralnih in parietalnih elektrodah.

V prvem eksperimentu sta vzela dva seta, sestavljena iz tridesetih stavkov, razvrščenih v pare. Eden od stavkov je vseboval slovnično napako; v konkretnem primeru

²⁴ Med novejšimi raziskavami, ki ugotavljajo učinke N400 na primeru narativnih in nefikcijskih besedil, omenimo vsaj še raziskave Barette idr.

²⁵ Z metodo sledenja pogledu pa so ugotovili, da pride v takih primerih do daljše fiksacije oči (Rayner idr. 1983; Frazier 1987; Osterhaut/Holcomb 1992: 788).

je bila povzročena z nepravilno rabo prehodnega glagola, ki je ob sebi zahteval predmet v tožilniku. Predpostavljala sta, da bo bralec zaznal anomalijo, in sicer odsotnost predmeta *him*, ko bo naletel na členek *to*, ki napoveduje nedoločnik *to answer* (*napačna raba *persuaded to*).

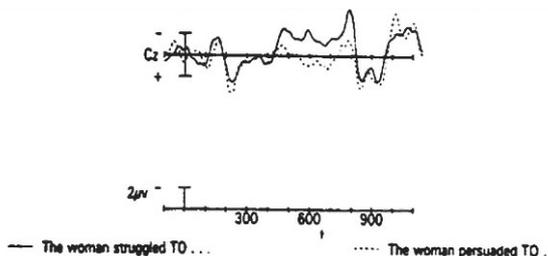
Primer (Osterhaut/Holcomb 1992: 788):

(1) *The woman struggled to prepare the meal.*

(*neprehodna glagolska oblika*)

(2) **The woman persuaded to answer the door.*

(*prehodna glagolska oblika*)



Slika 7: ERP učinek P600 je razviden za primer obdelave stavka z nepravilno rabo nedoločnika **to* ob prehodnem glagolu (prekinjena črta). Pojavi se v časovnem oknu 500–800 ms, vrh doseže ok. 600 ms po nastopu dražljaja. (Osterhaut/Holcomb 1992: 790)

Cz pomeni lokacijo elektrode centralno v sredinski liniji na glavi. Pozitivni val je najizrazitejši čelno in centralno ter nad desno hemisfero. (Neville idr. 1985; Osterhaut/Holcomb 1992: 790–91)

Osterhaut in Holcomb sta želela preveriti, kakšen je odziv možganov, če skladenjske anomalije kombiniramo s semantičnimi. Osredotočila sta se na izmerjeni električni potencial možganov pri zadnji besedi, enkrat v pravilnem, drugič v skladenjsko nepravilnem stavku. Negativn(ejš)o amplitudo vala je izzvala zadnja beseda v nepravilno tvorjenem stavku (*door*) z vrhom okoli 400 ms po začetku dražljaja (Osterhaut/Holcomb 1992: 792), s čimer sta potrdila ugotovitve Hillyarda in Kutasove.

Na vprašanje, ali lahko trdimo, da sta P600 in N400 elektrofiziološka označevalca skladenjskih in besednopomenskih odklonov, Holcomb in Osterhaut odgovarjata s pridržkom. V zgornjem eksperimentu je bila namreč pozornost na nepolnopomenski besedi (*to*), medtem ko sta Kutas in Hillyard eksperimentirala s polnopomenskimi besedami (samostalniki, glagoli).²⁶ Ob tem je šlo v vseh napačno tvorjenih stavkih tudi za napake, ki so otežkočale izpeljavo pomena iz stavka, tako da je bil učinek P600 lahko izzvan tudi prek obdelave na semantični ravni. Ob upoštevanju obeh ugovorov ter raziskav Nevillea idr., ki so pokazale, da kontekstualno ustrezne besede v stavčnih okoljih, kjer so kršena pravila skladnje, izzovejo učinke, podobne tistim v

²⁶ So pa tako za nepolnopomenske kot polnopomenske besede ugotovili, da povzročijo večjo negativnost vala, če so vpete v stavke, za katere so značilni skladenjski in semantični odkloni (Osterhaut/Holcomb 1992: 798).

okviru komponente P600 – in različne od tistih, ki jih izzovejo semantično neustrezne besede –, zato previdneje trdita, da je komponenta P600 edinstveno občutljiva na obdelavo, povezano s skladiščno analizo stavkov. (Neville idr. 1991; Osterhaut/Holcomb 1992: 798)

Novejši pogledi o tem, kako v možganih poteka skladiščna obdelava oz. kako k njej prispeva obdelava semantičnih tipov podatkov, si niso enotni. Nekateri zagovarjajo stališče, da obdelava na ravni skladiščnih struktur poteka razmeroma samostojno in ni pod vplivom semantičnih spremenljivk. Friedericijeva predlaga tristopenjski model stavčnega razumevanja, v katerem je obdelava stavka na goli skladiščni ravni (prepoznavanje stavčnih členov, strukture stavka) [1. stopnja] ločena od leksikalno semantičnih in morfo-sintaktičnih procesov [2. stopnja] ter povezovanja različnih vrst jezikovnih informacij, kar je pomembno za dokončno interpretacijo stavka [3. stopnja]. (Friederici 2002; Hagoort 2003: 19, O'Seaghdha 1997) Na drugi strani so zagovorniki stališča, da obdelava semantičnih informacij prispeva k obdelavi informacij na skladiščni ravni. Zlasti se to stališče opira na raziskave, v katerih so pokazali, da je branje skladiščno nejasnih oz. ambivalentnih stavkov, ki dopuščajo različne interpretacije, pod neposrednim vplivom semantičnih informacij v stavku. Hagoort je to preverjal z nizozemskimi stavki. Pokazal je, da lahko bralec iz besede ekstrahira semantične informacije, še preden identificira njeno besednovrstno pripadnost (korena samostalnika in glagola sta v konkretnem primeru identična, šele pripona vzpostavi besednovrstno razlikovanje), kar neposredno vpliva na obdelavo stavka na morfo-sintaktični ravni. (npr. Trueswell idr. 1993; 1994; Hagoort 2003: 19, 22)

V več ERP raziskavah je bila v povezavi z jezikovno obdelavo v možganih ugotovljena prisotnost komponente **(E)LAN** (*early anterior negativity*). Gre za odziv možganov, za katerega je značilen negativni val,²⁷ ki je bolj kakor za semantično obdelavo značilen za obdelavo na skladiščni ravni oz. je povezan z oblikoslovno-skladišjskimi odkloni v stavku. Najzgodnejši val je bil izmerjen pri rabi neustrezne besedne vrste v stavku, in sicer z latenco pribl. 100–300 ms po dražljaju in z vrhom okrog 200 ms, medtem ko so pri obdelavi odklonov, ki so morfo-sintaktične narave (npr. zamenjani besedni red, napake v številu, sklonu, spolu, glagolskem času), izmerili negativni val z latenco pribl. 300–500 ms. (Neville idr. 1991; Friederici idr. 1993; Friederici 2002; Hagoort 2003: 20–21)

4.3 Zdi se, da je še večja uganka merjenje možganskih potencialov in njihovega časovnega poteka pri **jezikovni obdelavi ortografsko-fonoloških informacij**,²⁸ saj so raziskave pokazale obstoj različnih ERP učinkov. Na podlagi njihovih dokazov je v časovnem pogledu smiselno razlikovati med ortografsko in fonološko obdelavo, ki naj bi bila zgodnejša možganska procesa²⁹ nasproti semantični in skladišjski obdelavi.

²⁷ Kakor pove ime komponente, je izrazitejša nad levo hemisfero in sprednjimi predeli glave. Iz latence vala je razvidno, da se odziv možganov pojavi bolj zgodaj.

²⁸ Ortografski vidik zlasti pokriva stvarno, grafično podobo besede, zapis, fonološki njeno izgovarjavo. Obdelava informacij se najpogosteje ugotavlja s pomočjo rimanih (parov) besed.

²⁹ Z ozirom na časovni potek jezikovne obdelave v možganih na splošno velja, da gre ta od ortografske (pribl. 43 ms) prek glasoslovne (57 ms) do pomenske informacije (85 ms). (npr. Perfetti/Tan 1998; Liu idr. 2003: 1231)

vi. A tako kot ni jasno, kdaj in kako točno semantične informacije vplivajo na identifikacijo skladijskih struktur, tako ni docela jasno, kako glasoslovna ali grafična podoba dejansko vplivata na identifikacijo pomena besede oz. stavka.³⁰

Bentin idr. (1999) so s pomočjo naloge, ki je vsebovala besede v različnih fontih, črkovne in alfanumerične nize, izmerili ERP učinek N170 (negativnost vala) z vrhom okoli 170 ms po začetku dražljaja. Nasprotno so z nalogo, ki je od udeležencev zahtevala, da med ponujenimi besedami izberejo tiste, ki se rimajo, ugotovili prav tako negativni učinek, vendar z vrhom okoli 320 ms po dražljaju.³¹ Od tod je razviden zgodnejši učinek na vizualni ravni. Kramer in Donchin (1987) sta na primeru ne/rimanih besed v okviru komponente N400 ugotovila zmanjšani učinek v primeru, ko so se besede rimala (tudi če med njimi ni bilo ortografske podobnosti). Podoben učinek N400 je potrdila tudi raziskava na kitajščini, ko sta imela znaka isto izgovarjavo (Zhang idr. 1993). Isti tip naloge sta v hebrejščini uporabila Barnea in Breznitz (1998) in izmerila ERP učinek P200 (pri rimanih parih besed). Zmanjšana negativnost amplitude vala z latenco do približno 400 ms kaže na ločeno obdelavo informacij na ortografski in fonološki ravni. (Bentin idr. 1999; Kramer/Donchin 1987; Barnea/Breznitz 1998; Valdes-Sosa idr. 1993 v Liu idr. 2003: 1232)

Liu, Perfetti in Hart ne opozarjajo samo na nekonsistentnost dobljenih rezultatov, ampak tudi dodajajo, da so bili vsi naštetni učinki izmerjeni v eksperimentih, ki so od udeležencev izrecno zahtevali, da so pozorni na fonološke oz. ortografske vidike besed. To bi pomenilo, da torej lahko pričakujemo drugačne rezultate, če od udeležencev tega ne zahtevamo izrecno oz. ko berejo predvsem z namenom, da bi razumeli pomen besed. Med raziskavami, ki so dale navzkrižne rezultate, med drugim navaja ERP raziskavo (Nizkiewicz/Squires 1996), v kateri so povečano komponento N200 ugotovili pri enakoglasnicah (Liu idr. 2003: 1232; Nizkiewicz/Squires 1996 v Liu idr. 2003: 1232), kar pomeni, da je N200 občutljiva tudi na ortografske informacije. Da bi dobili natančnejši vpogled v časovni potek na fonološki in semantični ravni, so izvedli dva ločena eksperimenta: udeležence so enkrat prosili, da so pozorni na glasoslovni vidik besed oz. njihovo izgovarjavo, drugič pa na pomen (kitajskih) znakov. Časovni vpogled v obdelavo na ortografski ravni (in njen vpliv na identifikacijo pomena) so skušali zagotoviti tako, da so v nalogo vključili grafično podobne znake, ki so bili bodisi pomensko sorodni bodisi različni. Potrdili so, da fonološke informacije hitro prispevajo k semantični obdelavi,³² bolj sveže pa je spoznanje o večjem vplivu grafične podobe znaka tako na fonološko kot semantično obdelavo.³³ (za več gl. Liu idr. 2003: 1235 sl.)

³⁰ Raziskave na kitajščini so pokazale sorazmerno hiter vpliv izgovarjave besede na pomen znaka in obratno (po pribl. 90 oz. 140 ms). Vendar teh rezultatov ni mogoče preprosto prenesti na druge pisave oz. jezike, saj pri slikovni pisavi znak nima fonemske vrednosti, ampak znaki predstavljajo zloge. Druga vrsta raziskav je pokazala še zgodnejši vpliv grafične podobe besede na identifikacijo pomena znaka, in sicer po 43 ms. (Perfetti/Zhang 1995; Perfetti/Tan; Liu idr. 2003: 1231)

³¹ Z vidika distribucije potenciala na površini glave je zanimivo, da sta bili obe komponenti izrazitejši nad levo hemisfero.

³² Gre za učinek z latenco pribl. 46–52 ms. Za učinek z latenco 23 ms navajajo, da ni statistično relevanten. Ob upoštevanju rezultatov različnih meritev povzemajo, da je vpliv glasoslovne informacije na pomensko identifikacijo oznake mogoče opredeliti s časovnim oknom do okoli 500 ms.

³³ Vprašanje je, v kakšni meri lahko dognanja s slikovnih prenesemo na črkovne pisave.

5 Rezultati ERP raziskav in njihova uporabnost v ELZ

Rezultati ERP raziskav se zdijo posebej zanimivi v kontekstu skupine empiričnih raziskav, ki jih zanima bralčev odziv in ki posredno načenjajo dilemo okrog literarnosti. Vprašanja, ali je to predvsem funkcija besedil (in zato opredeljiva v razmerju do literarnih delovalnih vlog) ali je treba literarnost opredeliti predvsem skozi oblikovno-formalne vidike besedil, ne razrešijo. Vendar na podlagi odzivov bralcev prepričljivo pritrjujejo obstoju glavnih značilnosti (ang. *Foregrounded Features*) literarnih besedil, kakor so aliteracija, asonanca, rima, metrični vzorci, metaforika, obrnjeni besedni red idr. (Miall 2007: 18) V več eksperimentih je bilo ugotovljeno, da te ne samo zahtevajo od bralca več časa za obdelavo, ampak da nasploh bolj pritegnejo bralčevo pozornost, imajo večjo sugestivno moč pri spodbujanju interpretacij ter pri oživljanju bralčevih individualnih izkušenj.³⁴ To je med drugim mogoče razložiti z njihovim izstopanjem iz prevladujoče norme besedila. (Andringa, Bartolussi/Dixon, Ericsson/Simon, Halász, Hayles, Kuiken/Miall/Sikora, Miall/Kuiken, Nisbett/Wilson, Van Peer, Seilman/Larsen, Vipond/Hunt, Zwaan v Miall 2007: 26–32)

Značilnosti besedil, ki jih imamo za literarna, je mogoče uvrstiti na fonološko, semantično in sintaktično raven, kar so procesne ravni, na katerih so ugotovili učinke ERP. Ugotavljanje možganskih odzivov pri jezikovni obdelavi besed pravzaprav sloni na psiholingvističnih manipulacijah (prim. Kutas/van Petten 1994), ki so različni jezikovni odkloni in bi jim v literarnih besedilih lahko iskali vzporednice v naštetih figurativnih vidikih. Pri tem se zastavlja vprašanje, ali so odzivi možganov pri procesiranju tovrstnih elementov v literarnih besedilih, ki povrh presegajo dolžino enega stavka, podobni privzetim ERP učinkom ali gre pričakovati drugačne rezultate. V njih namreč nimajo vloge odklona oz. napake, temveč prej pomenijo dejstvo in nekakšno naravno danost besedila, ki velja za literarno. V tem primeru bi lahko pričakovali oslabitev ali celo izničenje posamičnih učinkov ERP. Ker je pri eksperimentalnem študiju namen zagotoviti dokaze o dejanskih odzivih bralcev na prebrano, se tudi postavlja vprašanje, na katere druge vrste značilnosti oz. dražljajev se bodo bralci še odzvali. Metoda ERP povprečenja bi bila zato lahko v pomoč pri določanju literarnosti (v razmerju do dejanskega bralca). Z največjo robustnostjo rezultatov smo soočeni pri jezikovni obdelavi na ortografski in fonološki ravni, zaradi česar utegne biti intrigantno ugotavljanje bralčevega odziva pri branju pesniških besedil, ki se mdr. »poigravajo« z glasoslovnimi prvinami.

Čeprav smo v resnici daleč od tega, da bi povsem razumeli delovanje možganov pri bralnem razumevanju literarnih besedil (v različnih delih možganov poteka hkrati več procesov), lahko védenje o fiziologiji kognitivnih procesov pri jezikovni obdelavi prispeva tako k boljšemu razumevanju procesov, ki so značilni za tak način branja, kakor k objektivizaciji njihovih razlag. Za ERP metodo je v primerjavi z uvodoma omenjenima drugima metodama za merjenje in obdelavo EEG signala značilna dobra časovna ločljivost. Njena prostorska ločljivost pa je slabša. Vzorce povezanosti nevronske omrežij v različnih predelih možganov, ki sodelujejo pri

³⁴ V tej zvezi je še posebej intrigantna ugotovitev, da se bralci ne glede na stopnjo izurjenosti v branju na posebnosti literarnih besedil odzivajo približno enako oz. so vsi dovzetni za te posebnosti. (Miall/Kuiken 1994 v Miall 2007: 27), s čimer se dokončno decentralizira vloga t. i. profesionalnih bralcev.

kognitivnem procesiranju jezikovnih podatkov na različnih ravneh, pomaga pojasniti koherenčna analiza. Sodobnejša dognanja o delovanju možganov namreč pravijo, da se možganski predeli med seboj funkcijsko povezujejo.

Se nadaljuje.

VIRI IN LITERATURA

- A. BARNEA, Z. BREZNITZ, 1998: Phonological and orthographic processing of Hebrew words. *Journal of genetic psychology* 159. 492–504.
- S. BENTIN, Y. MOUCHETANT-ROSTAING, M. H. GIARD, J. F. ECHALLIER, J. PERNIER, 1999: ERP manifestations of processing printed words at different psycholinguistic levels. *Journal of cognitive neuroscience* 11. 235–60.
- J. J. A. van BERKUM, C. M. BROWN, P. HAGOORT, 1999: Early referential context effects in sentence processing. *Journal of memory and language* 41. 147–82.
- M. BESSON, M. KUTAS, C. K. van PETTEN, 1992: An event-related potential (ERP) analysis of semantic congruity and repetition effects in sentences. *Journal of cognitive neuroscience* 4/2. 132–49.
- S. L. BRESSLER, [1995] 2002: Event-related potentials. *The handbook of brain theory and neural networks*. Ur. Michael A. Arbib. Cambridge: MIT Press. 412–15.
- S. BREŽAN, V. RUTAR, V. LOGAR, B. KORITNIK, G. KURILLO, A. BELIČ, T. BAJD, J. ZIDAR, 2004: Elektroencefalografska koherenca. *Psihološka obzorja* 13/2. 61–69.
- S. BREŽAN, V. RUTAR, V. LOGAR, 2005: Elektroencefalografska koherenca med vidnimi in motoričnimi področji možganske skorje pri vidno-motorični nalogi. *Medicinski razgledi* 44. 3–22.
- A. M. L. COENEN, 1995: Neuronal activities underlying the electroencephalogram and evoked potentials of sleeping and waking. *Neuroscience and biobehavioral reviews* 19. 447–63.
- S. A. DUFFY, R. K. MORRIS, K. RAYNER, 1988: Lexical ambiguity and fixation times in reading. *Journal of memory and language* 27. 429–46.
- I. S. FISCHLER, P. A. BLOOM, D. G. CHILDERS, S. E. ROUCOS, N. W. PERRY, 1983: Brain potentials related to stages of sentence verification. *Psychophysiology* 20. 400–09.
- J. A. FODOR, 1983: *Modularity of mind*. Cambridge: MIT Press.
- K. I. FORSTER, 1979: Levels of processing and the structure of the language processor. *Sentence processing*. Ur. W. E. Cooper, E. Walker. Hillsdale: Erlbaum. 27–85.
- L. FRAZIER, 1987: Sentence processing. *Attention and performance XII*. Ur. M. Coltheart. Hillsdale: Erlbaum.
- A. D. FRIEDERICI, E. PFEIFER, A. HAHNE, 1993: Event-related brain potentials during natural speech processing. *Cognitive brain research* 1. 183–92.
- A. D. FRIEDERICI, 2002: Towards a neural basis of auditory sentence processing. *Trends in cognitive sciences* 6. 78–84.

- P. HAGOORT, 2003: How the brain solves the binding problem for language. *NeuroImage* 20. 18–29.
- P. HAGOORT, C. BROWN, L. OSTERHAUT, 1999: The neurocognition of syntactic processing. *Neurocognition of language*. Ur. C. M. Brown, P. Hagoort. Oxford: UP. 273–317.
- L. A. HALD, M. C. M. BASTIAANSEN, P. HAGOORT, 2006: EEG theta and gama responses to semantic violations in online sentence processing. *Brain and language* 96. 90–105.
- L. A. HALD, E. G. STEENBEEK-PLANTING, P. HAGOORT, 2007: The interaction of discourse context and world knowledge in online sentence comprehension. *Brain research* 1146. 210–18.
- T. C. HANDY, 2005: *Event related potentials*. Cambridge, Bradford: MIT Press.
- S. A. HILLYARD, T. W. PICTON, 1987: Electrophysiology of cognition. *Handbook of physiology*. Ur. F. Plum. New York: American Physiological Society. 519–84.
- J. HOORN, 1996: Psychophysiology and literary processing. *Empirical approaches to literature and aesthetics*. Ur. R. J. Kreuz, M. S. MacNealy. Nowrood: Ablex. 339–58.
- R. JACKENDOFF, 1999. The representational structures of the language faculty and their interactions. *The neurocognition of language*. Ur. C. M. Brown, P. Hagoort. Oxford: UP. 37–79.
- , 2002: *Foundations of language*. Oxford: UP.
- S. A. KOTZ, P. J. HOLCOMB, I. KOUNIOS, 1992: A comparison of semantic and repetition Priming. *Psychophysiology* 2. 46.
- A. F. KRAMER, E. DONCHIN, 1987: Brain potentials as indices of orthographic and phonological interaction during word matching. *Journal of experimental psychology* 13. 76–86.
- M. KUTAS, S. A. HILLYARD, 1980a: Event-related brain potentials to semantically inappropriate and surprisingly large words. *Biological psychology* 11. 99–116.
- , 1980b: Reading between the lines. *Brain and language* 11. 354–73.
- , 1980c: Reading senseless sentences. *Science* 207. 203–05.
- , 1983: Event-related brain potentials to grammatical errors and semantic anomalies. *Memory and cognition* 11. 539–50.
- , 1984: Brain potentials during reading reflect word expectancy and semantic association. *Nature* 307. 161–63.
- M. KUTAS, C. K. van PETTEN, M. BESSON, 1988: Event-related potential asymmetries during the reading of sentences. *Electroencephalography and clinical neurophysiology* 69. 218–33.
- M. KUTAS, C. K. van PETTEN, 1994: Psycholinguistics electrified. *Handbook of psycholinguistics*. Ur. Morton A. Gernsbacher. San Diego: Academic Press. 83–143.

- M. KUTAS, K. D. FEDERMEIER, 2000: Electrophysiology reveals semantic memory use in language comprehension. *Trends in cognitive sciences* 4. 463–70.
- Y. LIU, C. A. PERFETTI, L. HART, 2003: ERP evidence for the time course of graphic, phonological, and semantic information in Chinese meaning and pronunciation decisions. *Journal of experimental psychology* 29/6. 1231–47.
- W. J. M. LEVELT, 1999. Producing spoken language. *The neurocognition of language*. Ur. C. M. Brown, P. Hagoort. Oxford: UP. 83–122.
- Steven J. LUCK, 2005: *An introduction to the event-related potential technique*. Cambridge: MIT Press.
- S. J. LUCK, E. S. KAPPENMAN (ur.), 2012: *The Oxford handbook of event-related potential components*. Oxford: UP. 664.
- A. R. LURIE, 1982: *Osnovi neurolingvistike*. Prev. M. Glumac Radnović. Beograd: Nolit.
- D. S. MIALL, 2007: *Literary reading*. New York: P. Lang.
- H. J. NEVILLE, M. KUTAS, G. CHESNEY, A. SCHMIDT, 1986: Event-related brain potentials during the initial encoding and subsequent recognition memory of congruous and incongruous words. *Journal of memory and language* 25. 75–92.
- H. J. NEVILLE, J. NICOL, A. BARSS, K. I. FORSTER, M. F. GARRETT, 1991: Syntactically based sentence processing classes. *Journal of cognitive neuroscience* 3. 151–65.
- M. NIZNIKIEWICZ, N. K. SQUIRES, 1996: Phonological processing and the role of strategy in silent reading. *Brain and language* 52. 342–64.
- P. G. O. O'SEAGHDHA, 1997: Conjoint and dissociable effects of syntactic and semantic context. *Journal of experimental psychology* 23. 807–28.
- L. OSTERHAUT, P. J. HOLCOMB, 1992: Event-related brain potentials elicited by syntactic anomaly. *Journal of memory and language* 31. 785–806.
- C. A. PERFETTI, S. ZHANG, 1995: Very early phonological activation in Chinese reading. *Journal of experimental psychology* 21. 24–33.
- C. A. PERFETTI, L. H. TAN, 1998: The time course of graphic, phonological, and semantic activation in Chinese character identification. *Journal of experimental psychology* 24. 101–18.
- C. K. van PETTEN, M. KUTAS, 1987: Ambiguous words in context. *Journal of memory and language* 26. 188–208.
- G. PFURTSCHELLER, F. H. Lopes da SILVA, 1999: Event-related EEG/MEG synchronization and desynchronization. *Clinical neurophysiology* 110. 1842–57.
- K. RAYNER, M. CARLSON, L. FRAZIER, 1983: The interaction of syntax and semantics during sentence processing. *Journal of verbal learning and verbal behavior* 22. 358–74.
- M. D. RUGG, 1990: Event-related brain potentials dissociate repetition effects of high- and low-frequency words. *Memory & Cognition* 18. 367–79.

- S. C. SERENO, 1995: Resolution of lexical ambiguity. *Journal of experimental psychology* 21. 582–95.
- S. C. SERENO, C. C. BREWER, P. O'DONNELL, 2003: Context effects in word recognition. *Psychological science* 14/4. 328–33.
- F. H. Lopes da SILVA, 1991: Neural mechanisms underlying brain waves: From neural membranes to networks. *Electroencephalography and clinical neurophysiology* 79. 81–93.
- M. E. SMITH, E. HALGREN, 1987: Event-related potentials during lexical decision. *Current trends in event-related potential research*. Ur. R. Johnson ml., J. W. Rohrbaugh, R. Parasuraman. Amsterdam: Elsevier. 417–21.
- J. C. TRUESWELL, M. K. TANENHAUS, C. KELLO, 1993: Verb-specific constraints in sentence processing. *Journal of experimental psychology* 19. 528–53.
- M. VALDES-SOSA, A. GONZALEZ, X. LIU, X. ZHANG, 1993: Brain potentials in a phonological matching task using Chinese characters. *Neuropsychologia* 31. 853–64.
- S. WEISS, H. M. MÜLLER, 2003: The contribution of EEG coherence to the investigation of language. *Brain and language* 85. 325–43.
- M. A. WHITTINGTON, R. D. TRAUB, N. KOPELL, B. ERMENTROUT, E. H. BUHL, 2000: Inhibition-based rhythms. *International journal of psychophysiology* 38. 315–36.
- S. ZHANG, C. A. PERFETTI, 1993: The tongue-twister effect in reading Chinese. *Journal of experimental psychology* 19. 1082–93.

SUMMARY

The article is the first part of a two-part survey on the use of the electroencephalogram (EEG) method in the analysis of (literary) reading. The authors first present the EEG method and the content of the EEG recording. The latter registers continuous changes in voltage on the head's surface (article I), which reflect changes in the brain's rhythm (article II). After that, they focus on the method of ERP averaging, with which they observe average changes in the electrophysiological signals between numerous repetitions of the thought experiment; that enables a precise recording of the changes in brain activity during reading of a certain word, word phrase, or sentence. The authors present the main ERP components or waves, which are directly linked to the linguistic processing on the lexical-semantic and morphosyntactic level. During the processing of orthographic and phonological information, various studies confirmed their connection to the changes in specific ERP waves. The results of the ERP studies represent a referential framework for tackling experimental research in brain activity during reading of literary texts. The concrete measurements will be able to show the existence of possible differences in amplitudes and latencies of the ERP waves when comparing different types of reading. Based on that, it will be possible to ascertain differences in the brain during literary processing of the linguistic information.