

2017

UNIVERZA NA PRIMORSKEM  
FAKULTETA ZA MATEMATIKO, NARAVOSLOVJE IN  
INFORMACIJSKE TEHNOLOGIJE

MAGISTRSKO DELO

MAGISTRSKO DELO

NEVROFIZIOLOŠKI VIDIKI UČENJA PRI NALOGI  
VIRTUALNE PROSTORSKE NAVIGACIJE

MANCA PESKAR

MANCA PESKAR

UNIVERZA NA PRIMORSKEM  
FAKULTETA ZA MATEMATIKO, NARAVOSLOVJE IN  
INFORMACIJSKE TEHNOLOGIJE

Magistrsko delo

**Nevrofiziološki vidiki učenja pri nalogi virtualne prostorske  
navigacije**

(Neurophysiological aspects of learning during virtual spatial navigation task)

Ime in priimek: Manca Peskar

Študijski program: Biopsihologija, 2. stopnja

Mentor: doc. dr. Vojko Kavčič

Somentor: prof. dr. Gorazd Drevenšek

Koper, avgust 2017

## Ključna dokumentacijska informacija

Ime in PRIIMEK: Manca PESKAR

Naslov magistrskega dela:

Nevrofiziološki vidiki učenja pri nalogi virtualne prostorske navigacije

Kraj: Koper

Leto: 2017

Število listov: 56

Število slik: 12

Število tabel: 6

Število prilog: 1

Št. strani prilog: 1

Število referenc: 127

Mentor: doc. dr. Vojko Kavčič

Somentor: prof. dr. Gorazd Drevenšek

UDK: 616.8:347.799.1(043.2)

Ključne besede: prostorska navigacija, virtualno okolje, EEG

Izvleček:

Navigacija je prepoznana kot kompleksen proces, k izgradnji katerega prispevajo številni miselni in zaznavni moduli. Primanjkljaj na področju navigiranja, ki je povezan s procesom staranja in je hkrati odraz patoloških sprememb ob razvoju demenc, lahko pomembno vpliva na kvaliteto življenja in varnost posameznika. Bistven izziv je zato prepoznavanje kritične populacije že v pred-kliničnem stadiju upada prostorskih sposobnosti in načrtovanju intervencij za krepitev kognitivnih sposobnosti, vezanih na navigacijske sposobnosti. Preko uporabe virtualnega labirinta smo želeli preučiti, kako se kognitivna obremenitev, vezana na navigiranje, odraža na možganski električni aktivnosti (EEG) teta valovanja, ter ali lahko na podlagi slednje sklepamo na uspešnost navigiranja samega. EEG podatke smo povezali z dosežki nevropsiholoških testov prostorskih in besednih sposobnosti ter oceno pozornosti. Pri nalogah navigiranja nismo zaznali razlik v ravneh izraženosti teta valovanja med pogojem učenja nove poti in pogojem priklica informacij. Teta valovi so se v najvišji meri pojavljali na fronto-centralni in okcipitalni regiji skalpa. Višje ravni izraženosti moči teta valovanja so se povezovale s slabšo izvedbo na testih prostorskih sposobnosti ter daljšim časom, v katerem so udeleženci nalogo labirinta opravili. Študija na podlagi rezultatov ne more podati jasnega mnenja o odnosu med kognitivnimi obremenitvami pri navigiranju skozi virtualni labirint in pojavnostjo teta valovanja.

## Key words documentation

Name and SURNAME: Manca PESKAR

Title of the master thesis:

Neurophysiological aspects of learning during virtual spatial navigation task

Place: Koper

Year: 2017

Number of pages: 56

Number of figures: 12

Number of tables: 6

Number of appendix: 1

Number of appendix pages: 1

Number of references: 127

Mentor: Assist. Prof. Vojko Kavčič, PhD

Co-Mentor: Prof. Gorazd Drevenšek, PhD

UDK: 616.8:347.799.1(043.2)

Keywords: spatial navigation, virtual environment, EEG

Abstract:

Navigation is considered a complex multi-modal process, which incorporates involvement of perceptive and cognitive skills. Decline in spatial navigation is associated with ageing and pathological dementia-related neuronal changes, and can severely affect individual's quality of life and safety. Therefore, detection of risky population in pre-clinical stages and implementation of interventions, such as cognitive spatial navigation training, are seen as crucial challenges. We used virtual maze to study the effects of cognitive load on electrical (EEG) theta activity of the brain, and to investigate whether theta spectral power is associated with rates of successful completion of navigation tasks. Correlations between EEG data and neuropsychological tests of spatial, verbal, and attention skills were carried out. There was no difference in theta power between the conditions of encoding and retrieval of spatial information during virtual maze task. Theta waves appeared to have the highest power on fronto-central and occipital regions. Moreover, higher theta power was associated with poorer performance on tests of spatial skills, and greater amount of time necessary to complete the maze task. According to the results, the study is unable to provide clear opinion on the relationship between cognitive demands in virtual navigation task and theta spectral power.

**KAZALO VSEBINE**

1	UVOD.....	1
2	PROSTORSKA NAVIGACIJA.....	2
2.1	Opredelitev prostorskih specifik.....	2
2.1.1	Vrste prostorskega znanja.....	2
2.1.2	Modeli ureditev procesa prostorskega učenja.....	2
2.1.3	Alocentrični in egocentrični referenčni okvir.....	3
2.2	Živalski modeli vedenjskih študij.....	4
2.3	Prostorska navigacija kot več razsežnostni kognitivno-zaznavni proces.....	4
2.4	Študije na ljudeh.....	5
2.5	Študije v virtualnem prostoru.....	6
2.5.1	Prednosti in omejitve uporabe virtualnih okolij.....	7
2.6	Primerjava med spoloma.....	9
2.7	Nevronska podlaga prostorske navigacije.....	10
2.7.1	Hipokampus.....	11
2.7.2	Parietalna skorja in kavdatno jedro.....	12
2.7.3	Retrosplenialna skorja.....	12
2.7.4	Parahipokampalni girus.....	13
2.7.5	Prefrontalna skorja.....	13
2.7.6	Okcipitalna skorja.....	14
2.7.7	Nevronska mreža – povezanost struktur.....	14
2.8	EEG in prostorska navigacija.....	16
2.8.1	Teta valovanje.....	17
2.8.2	Alfa valovanje.....	20
3	NAMEN IN CILJI NALOGE.....	21
3.1	Hipoteze.....	21
4	METODA.....	22
4.1	Vzorec.....	22
4.2	Pripomočki.....	22
4.2.1	Virtualni labirint.....	22
4.2.2	Nevropsihološki testi.....	24
4.2.3	EEG oprema.....	25
4.3	Postopek.....	26
4.3.1	Protokol EEG meritev.....	26
4.3.2	Protokol nevropsihološkega testiranja.....	27
5	POSTOPKI OBDELAVE PODATKOV.....	28
5.1	Nevropsihološki testi.....	28
5.2	Vedenjski rezultati labirinta.....	28
5.3	EEG podatki.....	28
6	REZULTATI.....	31
6.1	Nevropsihološki testi.....	31
6.2	Vedenjski rezultati labirinta.....	32
6.3	EEG podatki.....	33
6.3.1	Frekvenčni pas teta.....	33
6.3.2	Frekvenčni pas alfa.....	36
6.4	Povezanost vedenjskih rezultatov labirinta in dosežkov na testih.....	39
6.5	Povezanost EEG podatkov s testnimi in vedenjskimi dosežki.....	40
6.5.1	Povezanost vedenjskih rezultatov labirinta in moči teta valov.....	40

---

6.5.2	Povezanost dosežkov nevropsiholoških testov in moči teta valov .....	41
6.5.3	Povezanost vedenjskih rezultatov labirinta in moči alfa valov .....	41
6.5.4	Povezanost dosežkov nevropsiholoških testov in moči alfa valov .....	41
7	RAZPRAVA.....	42
8	ZAKLJUČEK .....	47
9	LITERATURA IN VIRI.....	48

## KAZALO PREGLEDNIC

Tabela 4.1 <i>Demografski podatki udeležencev, prikazani po spolu (N=31)</i> .....	22
Tabela 6.1 <i>Prikaz povprečnih dosežkov nevropsiholoških testov in primerjava po spolu</i> ..	31
Tabela 6.2 <i>Primerjava povprečnih dosežkov pri nalogah labirinta A1 in A2</i> .....	32
Tabela 6.3 <i>Primerjava povprečnih dosežkov nalog labirinta A1 in A2 med spoloma</i> .....	32
Tabela 6.4 <i>Prikaz povezanosti dosežkov nevropsiholoških testov s časi nalog labirintov A1 in A2 po spolu</i> .....	39
Tabela 6.5 <i>Povezanost jakosti teta valov po pogojih labirinta z dosežki nevropsiholoških testov</i> .....	41

## KAZALO SLIK IN GRAFIKONOV

<i>Slika 2.1</i> Prikaz nevronske mreže, vpletene v proces prostorskega navigiranja (povzeto po Vann idr., 2009).....	15
<i>Slika 2.2</i> Aktivacija nekaterih možganskih predelov pri nalogi prostorske navigacije med mlajšimi odraslimi (povzeto po Moffat idr., 2006). .....	16
<i>Slika 2.3</i> Topografski prikaz razporeditve in jakosti teta (A) in alfa (B) valovanja med različnimi pogoji vidno-prostorske naloge (povzeto po Jaiswal idr., 2010). .....	18
<i>Slika 4.1</i> Tipična perspektiva znotraj testnega labirinta – prikaz križišča in hodnikov (levo), ter prikaz oblike testnega labirinta s ptičje perspektive (desno).....	23
<i>Slika 4.2</i> Tipičen prikaz križišča v kontrolnem labirintu (levo) ter prikaz oblike kontrolnega labirinta K1 s ptičje perspektive (desno). .....	23
<i>Slika 5.1</i> Topografski prikaz pozicij elektrod in delitve na regije (ROI). .....	29
<i>Slika 6.1</i> Prikaz povprečne moči teta valov pri različnih pogojih labirinta glede na spol... 33	
<i>Slika 6.2</i> Prikaz statistično značilnih razlik (*) z intervali zaupanja (I) za interakcijo med pogoji in regijami za teta pas.....	35
<i>Slika 6.3</i> Topografski prikaz porazdelitve povprečne jakosti teta valovanja po pogojih. ...	36
<i>Slika 6.4</i> Prikaz povprečne moči alfa valov pri različnih pogojih labirinta glede na spol. .	36
<i>Slika 6.5</i> Prikaz statistično značilnih razlik (*) z intervali zaupanja (I) za interakcijo med pogoji in regijami za alfa pas.....	38
<i>Slika 6.6</i> Topografski prikaz porazdelitve povprečne jakosti alfa valovanja po pogojih....	39



## **KAZALO PRILOG**

### **PRILOGA A:**

**IZJAVA O SVOBODNI IN ZAVESTNI PRIVOLITVI ZA SODELOVANJE V  
RAZISKAVI**

## **SEZNAM KRATIC**

ANOVA – Analiza variance

AVLT - Test slušno-besednega učenja (*Auditory-Verbal Learning Test*)

EEG – Elektroencefalogram

fMRI – Funkcionalna magnetna resonanca

MRT - Test mentalne rotacije (*Mental Rotation Test*)

MVL – Morrisov vodni labirint

PET – Pozitronska emisijska tomografija

PTSOT - Test zavzemanja perspektive/prostorske orientacije (*Perspective Taking/Spatial Orientation Test*)

TMT - Test sledenja (*Trail Making Test*)

VO – Virtualno okolje

## ZAHVALA

Iskrena hvala mentorju, dr. Vojku Kavčiču, za vpeljavo na področje raziskovanja prostorske navigacije in profesionalne usmeritve tekom nastajanja pričujočega dela.

Hvala somentorju, prof. Gorazdu Drevenšku, za konstruktivne kritike, ki so pomembno prispevale k ohranjanju znanstvenega diskurza.

Iz srca hvala kolegu, Davidu Medici, za vso požrtvovalnost, entuziazem in posvečenost začrtani poti, ki so odločilno vplivali na nastanek naloge. Hvala za ohranjanje zagona kot tudi za vse dolge, v tišini preživete ure.

Hvala dr. Urošu Marušiču za razpoložljivost, praktične nasvete in nove priložnosti.

Hvala dr. Petri Dolenc, mentorici moje zaključne naloge, ki mi je stala ob strani in spodbujala nadaljnji profesionalni razvoj.

Hvala dr. Petru Roglju za vso naklonjenost in pomoč pri procesu obdelovanja EEG signalov.

Hvala dr. Bojanu Rojcu za strokovno mnenje in opolnomočenje.

Vsem udeležencem, ki so se nesebično in voljno odzvali na povabilo ter vložili svoje resurse za namene izvedbe študije. Hvala čisto vsakemu posebej.

Prisrčna in najgloblja hvala pa moji družini, tako krvni kot izbrani, za vso ljubezen, razumevanje, zaupanje in podporo.

“Live as if you were to die tomorrow.

Learn as if you were to live forever.”

— Mahatma Gandhi

---

Pričujoča naloga je plod sodelovanja dveh kolegov, Manca Peskar in Davida Medice. Podatki, uporabljeni v magistrskem delu, so bili pridobljeni v kontekstu širše raziskave, zasnovane in izpeljane izključno s strani Mance Peskar in Davida Medice, in sicer za namene magistrskih nalog omenjenih oseb.

Manca Peskar in David Medica soglašata, da so pridobljeni podatki v enakem deležu last vsakega izmed njiju in hkrati dovoljmeta njih souporabo za doseganje ciljev posameznega magistrskega dela.

Kakršna koli podobnost med magistrskimi nalogami omenjenih oseb se pripisuje in je posledica delovanja na skupni raziskavi. Avtorja s tem pripisom zagotavljata, da je posamezna magistrska naloga rezultat izvirnega individualnega dela posameznika, s čimer izključujeta možnost obstoja med-kolegialnega plagiatorstva na vseh nivojih.

## 1 UVOD

Vpetost v prostor je za časa življenja absoluten aspekt vsakega posameznika. Prostor nam omogoča prosto gibanje, premikanje z določene lokacije na neko drugo, hkrati pa smo nemalokrat primorani priti do cilja, ki nam je na primer nepoznan ali je lociran na točki v prostoru, kjer se še nikoli nismo nahajali. Naj gre za znan ali neznan cilj, pravimo, da navigiramo po prostoru.

Prostorska navigacija je kompleksna kognitivna sposobnost, ki jo neprestano uporabljamo in je nujno potrebna za uspešno funkcioniranje v lastnem okolju (Moffat, 2009). Trenutno največ pozornosti pri preučevanju prostorske navigacije zavzemajo primerjalne študije dosežkov starostnikov z mlajšimi odraslimi, in sicer z namenom doseganja globljega razumevanja o izraženosti sposobnosti prostorskega navigiranja tekom staranja (Moffat in Resnick, 2002; Moffat, Zonderman in Resnick, 2001; Taillade idr., 2013) ter identificiranju njenih nevronske mehanizmov (Gramann, Müller, Schönebeck in Debus, 2006; Lithfous idr., 2015; Mitchell, McNaughton, Flanagan in Kirk, 2008; Moffat, Elkins in Resnick, 2006; Shrager, Bayley, Bontempi, Hopkins in Squire, 2007). Sposobnost prostorskega navigiranja je ena izmed mnogih kognitivnih sposobnosti, ki je podvržena starostno pogojenemu upadu. Starejši odrasli napravijo več napak prostorskega spomina pri reševanju nalog virtualnega navigiranja kot mlajši odrasli (Moffat in Resnick, 2002). Omenjena sposobnost pa je še bolj prizadeta v primerih patološkega staranja, natančneje demence. Sposobnost prostorskega navigiranja je okrnjena v že zelo zgodnjih fazah demence in pogosto tudi že v pred-kliničnih fazah kognitivnega upada pri pacientih z blago kognitivno motnjo (Cushman, Strein in Duffy, 2008). Spremembe se dogodijo na nevronske ravni in posledično vse težje zagotavljajo oz. podpirajo uspešno navigiranje (Moffat, Kennedy, Rodrigue in Raz, 2007). Primanjkljaj navigacijskih sposobnosti močno vpliva na kvaliteto življenja prizadetih posameznikov, saj se tako v poznanem kot nepoznanem okolju lahko izgubijo, s čimer ogrožajo svoja življenja (Cushman idr., 2008).

Čeprav baterije kognitivnih testov pogosto izključujejo preverjanje navigacijske sposobnosti (Moffat, 2009), njenega pomena nikakor ne bi smeli pomanjševati. Simptomi, po katerih demenco diagnosticiramo, se namreč pojavijo naknadno oz. kot posledica že trajajočih nevrodegeneracijskih procesov, kar vodi v pospešeno napredovanje bolezenskega stanja (Lithfous, Dufour in Després, 2013). Upad sposobnosti prostorskega navigiranja pa se lahko pojavi že pri blagi kognitivni motnji, ki pogosto predstavlja predstopnjo demence, kar pomeni tudi pred nastopom simptomov, ki so za diagnosticiranje demence potrebni (Cushman idr., 2008). Z ocenjevanjem sposobnosti prostorskega navigiranja bi lahko kritično populacijo prepoznali že dovolj zgodaj, v pred-kliničnem stadiju upada, kar bi razširilo repertoar možnih intervencij za zamejitev oz. upočasnitev napredovanja bolezni preko različnih rehabilitacijskih programov, kot so na navigaciji temelječi kognitivni treningi (Lövdén idr., 2012).

## 2 PROSTORSKA NAVIGACIJA

Prostorska navigacija je definirana kot proces, s katerim organizem preko uporabe več virov iztočnic, kot so povezovanje poti, magnetni kazalniki, znamenitosti in drugi signalni objekti, določi pot do cilja in nato po tej poti potuje (Brodbeck in Tanninen, 2012). Povedano drugače, je proces določanja in ohranjanja smeri (tirnice) od neke točke v prostoru do druge (Gallistel, 1990; v Laczo idr., 2009). Ločimo aktivno ter pasivno obliko navigacije. Okoli njiju je osrediščena ideja, da aktivno, samo-usmerjevalno, prosto raziskovanje okolja omogoča superiorno prostorsko učenje v primerjavi s pasivno, opazovalno obliko učenja istega okolja, čeprav lahko opazimo tudi obraten trend (von Stülpnagel in Steffens, 2013).

### 2.1 OPREDELITEV PROSTORSKIH SPECIFIK

#### 2.1.1 Vrste prostorskega znanja

Mera, ki opisuje uspešnost prostorskega znanja med posamezniki, je pod vplivom apliciranega testa (Brooks, Attree, Rose, Clifford in Leadbetter, 1999; Péruch in Wilson, 2004). V splošnem testi preverjajo tri različne vrste na prostor vezanega znanja (von Stülpnagel in Steffens, 2013): *na orientacijske znake vezano znanje (landmark knowledge)* se nanaša na informacije o razlikovalnih, a stabilnih podobah okolja in ocena uspešnosti na tem področju je pogosto pridobljena preko nalog prepoznavne; *znanje o poti (route knowledge)* se nanaša na informacije o zaporedju prikazovanja prej omenjenih orientacijskih znakov ter na znanje o zavijanju (obratih) na sami poti in se lahko preverja z nalogami ponovitev; ter *zemljemersko znanje ali pregledno prostorsko znanje (survey knowledge)*, ki priskrbi informacije o uspešnosti zapomnitve prostorskih relacij specifičnih okoljskih objektov v obliki kognitivnega zemljevida, ki temelji na značilnostih realnega zemljevida, kot npr. evklidskih lastnostih fizičnega prostora. Tipične mere za ocenjevanje takšnega znanja vključujejo naloge označevanja smeri orientacijskega znaka, ki s trenutne lokacije ni na spregledu, ali izrisovanje zemljevida testnega okolja.

Znanje o orientacijskih točkah naj bi bilo podvrženo avtomatskemu procesiranju, medtem ko razvoj preglednega prostorskega znanja zahteva naporno, namensko procesiranje (van Asselen, Fritschy in Postma, 2006).

#### 2.1.2 Modeli ureditev procesa prostorskega učenja

Originalni model, ki sta ga prvič predstavila Siegel in White (1975), je predlagal ureditev procesa prostorskega učenja v hierarhično obliko. Končni produkt posameznikove vpetosti v novo in neznano okolje naj bi predstavljala kognitivna shema prostorskega zemljevida oz. karte. Po njunem mnenju naj bi tako v otroštvu, kot tudi v odrasli dobi kognitivne predstave prostorskega raziskovanja nepoznanega okolja sledile istemu bazičnemu sekvenčnemu poteku: sprva je pridobljeno znanje o orientacijskih točkah, temu sledi

učenje poti, ki povezuje obstoječe orientacijske točke, na koncu, po mnogih ponovitvah pa naj bi bile pridobljene tudi pregledne prostorske predstave o prostoru. Za prevajanje oz. prilagajanje informacij med različnimi vrstami predstav, je potrebna sposobnost mentalnega transformiranja le-teh; npr. mentalno rotiranje oz. sukanje objektov je predpogoj za sklepanje o poziciji objektov znotraj kartiranega prostora. Sodobnejši avtorji se zoperstavljajo strogemu stopnjastemu pristopu pri razlagi pridobivanja znanja o prostoru in predlagajo model kontinuiranega procesa razvoja prostorskega znanja. Ta vključuje simultano pridobivanje znanja o orientacijskih točkah in pregledno-prostorskih predstavah, pri čemer naj bi se z naraščanjem domačnosti v prostoru izboljševala tudi kvaliteta znanja (Montello, 1998; Taylor, Naylor in Chechile, 1999).

Sandamas in Foreman (2007) sta v nedavni študiji do neke mere potrdila prisotnost obeh predlaganih modelov. Pridobivanje preglednega prostorskega znanja naj bi zares sledilo določenemu zaporedju, pri čemer višja stopnja izpostavljenosti okolju rezultira v višji zmoglosti imaginacije okolja s pregledne perspektive. Pridobivanje znanja o orientacijskih točkah je povezano s procesom izgradnje preglednega znanja, saj progresivno pridobivanje znanja o orientacijskih točkah tekom časa, v katerem se hkrati izgrajuje tudi pregledno znanje, narekuje, da je pravilna zapomnitev orientacijskih točk lahko pomemben faktor pri generiranju uspešnejšega preglednega znanja.

### **2.1.3 Alocentrični in egocentrični referenčni okvir**

V kontekstu prostorske navigacije razlikujemo med alocentričnim in egocentričnim referenčnim okvirjem. Pri egocentrični navigaciji oseba za orientacijo upošteva lokacijo objekta v odnosu do sebe, pri čemer se koordinatni sistem prostora nanaša na pozicijo lastne telesne osi znotraj njega oz. je v relaciji z njo (Gramann idr., 2006). Egocentrična navigacija je pogosto v uporabi, kadar navigiramo po dobro poznanih poteh ali po okolju, v katerem izkušamo primanjkljaj vizualnih znakov. Omenjeno strategijo navigiranja lahko naslovimo tudi s terminom odzivnega učenja, saj se navigator pri učenju zanaša na asociacijo med značilnim orientacijskim znakom v povezavi z levim/desnim obratom telesa – gre torej za odziv organizma (Lithfous idr., 2013). Pri alocentrični navigaciji pa se oseba orientira glede na lokacijo določenega objekta v odnosu do nekega drugega objekta, ne v odnosu do lastne pozicije; pomeni, da so entitete v prostoru predstavljene v smislu koordinatnega sistema, ki leži zunaj samega navigatorja (Gramann idr., 2006). Alocentrične predstave se zanašajo na tvorbo in uporabo kognitivnega zemljevida, ki vključuje lokacije orientacijskih znakov in tudi razdalje oz. odnos med različnimi orientacijskimi znaki s pregledne perspektive. Takšen referenčni okvir dovoljuje učinkovito in prilagodljivo navigiranje po prostoru, saj posamezniku omogoča, da najde bližjo pot do določene lokacije ali načrtuje obvoz/obhod, kadar planirana pot ni na voljo (Lithfous idr., 2013).



Izgradnja kognitivnega zemljevida je odvisna od sposobnosti prevajanja egocentričnih informacij, pridobljenih preko aktivnega raziskovanja novega okolja s prvoosebne zemeljske perspektive, v alocentrične predstave prostorske razporeditve novega okolja, tj. predstave v pregledni perspektivi (Lithfous idr., 2013).

## 2.2 ŽIVALSKI MODELI VEDENJSKIH ŠTUDIJ

Prostorska navigacija je bila sprva v veliki meri preučevana pri ne-človeških vrstah. Uporabljeni so bili številni pristopi, katerih namen je bil pojasniti oz. osvetliti specifične vidike prostorske navigacije in najpogosteje so se problematike lotevali preko preučevanja sposobnosti podgan različnih starosti. Med drugim so dobro poznani Morrisov vodni labirint (MVL) (Morris, Garrud, Rawlins in O'Keefe, 1982), T-labirint (Barnes, 1979) in Barnesova platforma krožnega labirinta (McLay, Freeman, Harlan, Kastin in Zadina, 1999). Še posebej prvi predstavlja popularen in pogosto uporabljen pristop, predvsem zaradi znane povezanosti dosežka na testu MVL s hipokampalno formacijo (Morris idr., 1982). Žival je v MVL primorana najti platformo, ki se nahaja pod gladino vode v okroglem bazenu. Ker je očem skrita, se žival za lociranje položaja platforme in navigacijo do nje preko številnih ponovitev nauči zanašati na iztočnice oz. znake, ki so razporejeni po prostoru izven MVL. Uspešnejša, kot postaja pri opravljanju naloge, hitreje platformo doseže in preplavana razdalja se krajša. Bogat nabor podatkov iz številnih študij (Begega idr., 2001; Gallagher in Pelley, 1988; Lindner, 1997; Lukoyanov, Andrade, Madeira in Paula-Barbosa, 1999) nas je založil z jasno karakterizacijo, kako se s starostjo pogojen upad kognitivnega funkcioniranja odraža na nižji stopnji uspešnosti izvedene naloge MVL. Upad je povezan prav z lezijami na področju hipokampusu in MVL se je izkazal za izjemo občutljiv pripomoček pri ugotavljanju le-teh v kontekstu kognitivnega staranja.

## 2.3 PROSTORSKA NAVIGACIJA KOT VEČ RAZSEŽNOSTNI KOGNITIVNO-ZAZNAVNI PROCES

Navigacija je prepoznana kot kompleksen proces, k izgradnji katerega prispevajo številni miselni in zaznavni moduli.

*Gibanje* ali natančneje premikanje (*locomotion*) skozi prostor je osrednji element pri kakršni koli obliki navigiranja in kontrola nad gibanjem se zato zdi ključen vidik pri aktivni navigaciji (Weiner, Ehbauen in Mallot, 2009). V resničnem življenju posameznik tekom navigiranja prejema informacije o lastnem gibanju preko integracije treh večjih zaznavnih virov: *center za ravnotežje oz. vestibularni čut*, ki je odgovoren za zavedanje o premikih in spremembah telesne orientacije; *proprioceptiven čut* zagotavlja informacije in prinaša zavedanje o relativni poziciji posameznikovega dela telesa ter moči in naporu, ki sta pri gibanju prisotna, in sicer preko povratnih informacij iz mišic in sklepov; ter *vid* oz

natančneje preko mrežnice zaznan slikovni/vidni premik, poznan kot *optični tok* (*optic flow*) (Moffat, 2009). Ta vzorec vidnih stimulacij zagotavlja informacije o ubrani smeri ter strukturi vizualnega okolja (Lithfous idr., 2013).

Integracija informacij z omenjenih zaznavnih virov je ključna pri procesu, poznanem kot integracija poti. Ta organizmu omogoča, da sledi začrtani oz. trenutni smeri, in da oceni prepotovano razdaljo ter kotni premik v odnosu do začetne pozicije in orientacije. Prav tako pa integracija poti preko navigacijske izkušnje predstavlja temeljni proces pri izdelavi kognitivnega zemljevida (Lithfous idr., 2013).

Proces uspešne prostorske navigacije v veliki meri omogočajo kognitivne komponente. Spomin, ki je povezan s prostorom, t.i. prostorski spomin, predstavlja entiteto (procesor) v naših možganih, ki je odgovorna tako za shranjevanje kot tudi priklic informacij. Uporabljamo ga vsakič, kadar planiramo odhod na neko lokacijo, ko se spominjamo, kje je določen predmet lociran ali kje se je nek dogodek zgodil. Sposobnost posameznika, da se znajde v prostoru in se zaveda pozicij stvari znotraj njega, predstavlja ključen vsakodnevni proces, ki je prav tako v domeni prostorskega spomina (Brisby in Burgess, b.d.). Prostorski spomin ima pomembno funkcijo pri shranjevanju kognitivnih zemljevidov, ki si jih zgradimo med navigacijsko izkušnjo (Lithfous idr., 2013). Sprva so informacije zadržane v delovnem spominu – ta kognitivni sistem prehodno oz. do nekaj sekund hrani in manipulira omejeno količino informacij (Baddeley, 1992), nato pa informacije obdeluje epizodični spomin, za katerega se predvideva, da pridobljene informacije poveže z enotno epizodično predstavo, hkrati pa predstavlja vez med delovnim in dolgoročnim spominom (Baddeley, 2000).

## 2.4 ŠTUDIJE NA LJUDEH

Število študij, ki sistematično preučujejo vpliv starosti na uspešnost učenja poti oz. prostora, v zadnjem času narašča (Moffat, 2009). V študiji, pri kateri so v realni življenjski situaciji, natančneje supermarketu, preučevali navigacijske sposobnosti mladih in starejših žensk, so odkrili, da mlajše hitreje usvojijo na prostor vezano znanje tako v novih kot tudi poznanih supermarketih (Kirasic, 1991). Pri drugi študiji postavljeni v realno situacijo – bolnišnico, je bila ocenjevana sposobnost sledenja poti, ki je bila udeležencem predhodno predstavljena na zemljevidu. Starejši so za navigacijo potrebovali dlje časa in so pogosteje zavili v napačen hodnik kot mlajši. Čeprav so bili enako uspešni pri prepoznavi med potjo videnih predmetov, so pogosteje naleteli na težave ob umeščanju le-teh v ustrezno časovno sekvenco poti (Wilkniss idr., 1997). Starejši udeleženci so prav tako izkazali starostno pogojen primanjkljaj pri učenju prostora v študiji, ki je udeležencem narekovala čim bolj natančno postavitev palice nazaj na njeno originalno mesto znotraj krožnega ohišja. Na njem so bili prisotni znaki, ki so služili kot referenčne točke. Pri starejših so zaznali višjo

stopnjo napake – daljši razmik od izvirne pozicije v primerjavi z mlajšimi osebki (Newman and Kaszniak 2000).

Eden glavnih razlogov, zakaj je bilo preučevanje navigacijskih sposobnosti v procesu kognitivnega staranja dolgo časa zanemarjeno, poudarja njihov nepraktični vidik: človeška prostorska navigacija se vrši na prostranem območju, ki hkrati izključuje možnost stroge eksperimentalne kontrole. Razvoj tehnologije je možnost preučevanja prostorske navigacije premaknil v virtualna okolja (VO) (Moffat, 2009).

## 2.5 ŠTUDIJE V VIRTUALNEM PROSTORU

Moffat in sodelavci (2001) so zasnovali eno prvih študij, ki je svoj eksperimentalni načrt oblikovala na podlagi VO, z namenom preučitve razlik med mladimi in starejšimi odraslimi. Udeleženci so bili soočeni z računalniško nalogo učenja poti, pri kateri so hodniki iz več zavojev in križišč ultimativno vodili do cilja. Naročeno jim je bilo, naj najdejo pot do cilja in si le-to zapomnijo. Razlikovali so med informacijskimi napakami – prvi obisk na lokacijo napake, ko udeleženec še ni posedoval védenja, da dotični hodnik ne vodi do cilja; ter napakami prostorskega spomina – ponovljen obisk lokacije napake, čeprav naj bi udeleženec že bil vedel, da izbrana smer ne vodi do cilja. Starejši so napravili več napak prostorskega spomina ter prepotovali daljšo razdaljo za dosego cilja. Enako število informacijskih napak med starostnima skupinama po mnenju avtorjev priča o ustreznih računalniški pismenosti starejših.

Ena od omejitev študij, ki pri navigacijskih ponovitvah zmeraj pričnejo ter končajo na istih lokacijah, udeležencem omogoča uporabo egocentričnega oz. logično-strateškega pristopa namesto alocentričnega. Na sebe usmerjen referenčni okvir dopušča možnost usmerjanja na način levo-desno, medtem ko alocentrični od posameznika zahteva, da obdrži znanje o lastni poziciji glede na zunanji referenčni sistem (Moffat, 2009). Domneva se, da naloga MVL vodi do alocentričnega procesiranja sama po sebi, saj zahteva lociranje ciljne platforme glede na več položajev in v odnosu do objektov na teh položajih (Moffat, 2009).

Tako sta Moffat in Resnick (2002) razvila virtualno različico MVL namenjeno aplikaciji za ljudi. Mladi in starejši odrasli so se tekom šestih učnih seans naučili locirati skrito platformo, pri čemer so se lahko zanašali na znake s fiksnimi pozicijami znotraj sobe. Odkrili so znaten starostni učinek – starejši so prepotovali značilno daljše razdalje pri reševanju testa, kar nakazuje na slabšo natančnost zadržanja informacij o prostorskih lokacijah. Slednja se je odražala tudi v motnjah pri prostoročnem izrisovanju zemljevidov in lociranju platforme na njih. Starost pa ni izkazala učinka na uspešnost prepoznavne v testnem okolju videnih predmetov, kar je konsistentno tudi z rezultati prej omenjene študije iz realnega bolnišničnega okolja (Wilkniss idr., 1997). Moffat in Resnick (2002) domnevata, naj bi starejši odrasli imeli primerljivo raven ohranjenosti na predmete oz.

objekte vezanega spomina, vendar pa za razliko od mlajših odraslih več težav pri uporabljanju njih za pomoč pri navigacijskem vedenju.

Preučevanja učinkov navigacijskih namigov s pomočjo vpogleda v zemljevid smo se že dotaknili v kontekstu navigiranja po hodnikih bolnišnice (Wilkniss, 1997), Sjolinder in sodelavci (2005) pa so ga aplicirali tudi v virtualno okolje. Rezultati med študijama so konsistentni: mlajši odrasli so informacije z zemljevida uporabljali uspešneje kot starejši, tako v realnem kot tudi virtualnem okolju. Pri starejših odraslih je zabeležen tudi jasen primanjkljaj pri generiranju kognitivnega zemljevida (Iaria, Palermo, Committeri in Barton, 2009), kar nakazuje na nižjo sposobnost izgrajevanja preglednega prostorskega znanja.

### **2.5.1 Prednosti in omejitve uporabe virtualnih okolij**

Porajajoča omejitev uporabe na zaslonu temelječih VO pri preučevanju prostorske navigacije izhaja iz dejstva, da takšen način preučevanja od udeležencev ne zahteva dejanskega gibanja po prostoru, zaradi česar so le-ti prikrajšani prej omenjenih vestibularnih in propioceptivnih povratnih informacij (Berthoz in Viaud-Delmon, 1999). Zaradi njihove odsotnosti lahko podvomimo o upravičenosti do generaliziranja rezultatov na realne življenjske situacije. Uporaba pristopa VO pokrije aspekt, vezan na vid, vendar udeležence prikrajša za ostale. Tako ustvari neujemanje med vidnimi informacijami ter vestibularnimi in propioceptivnimi signali (Moffat, 2009).

Lövdén je s sodelavci (2005) preučeval vpliv starosti na uspešnost prostorskega navigiranja po virtualnem muzeju, pri čemer so udeleženci za premikanje skozi njega morali dejansko hoditi po tekalni stezi v resničnem svetu. Tako so organizmu zagotovili propioceptivne povratne informacije, ki so skladne z vidnimi dražljaji. Pogoju, pri katerem so se udeleženci tekom hoje držali za podporni drog z namenom ohranjanja ravnotežja, je zmanjšal (vendar ne odpravil) razlike med starostnimi skupinami pri navigacijski natančnosti. Raziskovalci domnevajo, da obstaja pomembna interakcija med kognitivnimi in zaznavno-motoričnimi komponentami prostorske navigacije. Hkrati pa rezultati študije namigujejo na še en pomemben vidik, ki opisuje, kako se sposobnost prostorske navigacije s starostjo spreminja.

Avtorji izpostavljajo, da lahko v zgoraj opisanem kontekstu zaznavno-motorična kontrola, ki je za premikanje njuno potrebna, udeležence postavi v situacijo »dvojnih zahtev«, saj se od njih pričakuje simultano opravljanje dveh opravil – hoje/premikanja ter kognitivnih aktivnosti. V primerjavi z mlajšimi odraslimi so s starostjo pogojene težave v takšni situaciji jasno dokumentirane (Li, Krampe in Bodnar, 2001), znano pa je tudi, da primanjkljaj na področju zaznavnega procesiranja pri starejših igra ključno vlogo pri starostno pogojenem kognitivnem upadu (Dennis in Cabeza, 2008). Kadar se od starejših

pričakuje obvladovanje več hkratnih procesov, naj bi se nagibali k postavljanju prioritete zaznavno-motorični kontroli, ki zahteva resurse delovnega spomina, in ne h kognitivni kontroli (Li idr., 2001). Poleg upada sposobnosti izvršilnega spomina bi omenjen fenomen lahko prispeval k splošnemu primanjkljaju na področju prostorskega spomina in nalogah iskanja poti, s sidriščem pri oteženem procesiranju informacij preko optičnega toka (Kavcic, Fernandez, Logan in Duffy, 2006), pri procesu integracije poti (Allen, Kirasic, Rashotte in Haun, 2004) ter izgradnji zemljemerskega znanja (Taillade idr., 2013).

Omenjena pomanjkljivost pa po drugi strani prinaša tudi prednost. Naloge VO lahko zdaj uporabljamo za preučevanje vidnih prispevkov k procesu prostorske navigacije oz. izolirano od ostalih vplivov. To predstavlja pomemben vidik pri določevanju specifičnih domen posameznih virov informacij, saj pri študijah, postavljenih v realen svet, do sedaj to ni bilo mogoče (Moffat, 2009).

Fenomen aktivne navigacije je danes v znanosti preučevan skoraj izključno v virtualnih okoljih, saj le-ta omogočajo celovito kontrolo nad vizualnimi okoljskimi specifikami, kompleksnostjo okolja ter manipulacijo poti in orientacijskih znakov. Hkrati dovoljujejo natančno in avtomatsko beleženje vedenjskih odzivov, s čimer optimizirajo proces meritev (Moffat, 2009; Stülpnagel in Steffens, 2013). Poleg tega je uporaba VO pomembna, saj omogoča simulacijo realističnih in obsežnih tri-dimenzionalnih predstav okolja. Slednje dejstvo ponuja premostitev primanjkljaja ekološke veljavnosti klasičnih vidno-prostorskih laboratorijskih testov, ki so bili v preteklosti množično uporabljeni za preučevanje prostorske navigacije (Hegarty in Waller, 2005). Kljub očitnim razlikam med navigacijo po realnem ali virtualnem svetu, Waller (2000) izpostavlja, da sam proces prostorskega učenja v mnogih aspektih ostaja med obema primerljiv, v kolikor so v eksperimentalni načrt vključene »dobre prakse«, ki npr. starejšim in računalniško slabše pismenim omogočajo obsežno urjenje oz. privajanje na virtualno okolje pred nastopom na samem testnem protokolu (Moffat, 2009). V njegovo podporo pričajo izsledki naslednjih študij.

Prostorsko znanje, ki je pridobljeno preko orodij VO, se dobro prenese v proces navigacije v realnem svetu. Točni in samozavestni odgovori v realnem labirintu predstavljajo posledico treninga v virtualnem labirintu (Arthur, Hancock in Chrysler, 1997; Witmer, Bailey in Knerr, 1996). Prav tako je prostoročno izrisan kognitivni zemljevid VO podoben zemljevidom, ki nastanejo preko raziskovanja realnega sveta (Ruddle, Payne in Jones, 1997). Študije kognitivnega staranja so vzporedno ocenjevale učinke realne kot tudi virtualne navigacije ter podale zaključke o identičnih rezultatih med omenjenimi pristopi navigiranja (Cushman idr., 2008; Karlova, Vlcek, Jarolimova in Bures, 2005). Predvsem slednje dejstvo dviguje zaupanje, da s pomočjo VO resnično zajamemo bistveno entiteto, ki je prisotna pri navigaciji po realnem prostoru.

Razlog za favoriziranje VO namesto realnih okolji predstavlja dejstvo, da VO omogoča sistematično preučevanje nevronske mehanizme prostorske navigacije (glej poglavje 2.7).

## 2.6 PRIMERJAVA MED SPOLOMA

Področje prostorskih sposobnosti predstavlja eno izmed najbolj zanesljivih področij kognitivnega delovanja, pri katerem lahko opazimo razlike med spoloma, in te pričajo v prid moškim. Kljub variiranju razsežnosti moškega prednjačenja študije narekujejo, naj bi moški konsistentno prekašali ženske pri dosežkih na številnih prostorskih testih, ki zahtevajo manipuliranje in transformiranje geometričnih figur (Hampson in Kimura, 1992; Voyer, Voyer in Bryden, 1995). Čeprav omenjeni testi v splošnem podajajo oceno vidno-prostorskih sposobnosti, naj bi se nanašali na dva ločena sistema procesiranja tovrstnih informacij, in sicer prostorske navigacije ter prostorske vizualizacije (Borich in Bauman, 1972).

Moška superiornost pri prostorskem učenju je bila zabeležena tudi pri drugih, ne-človeških vrstah sesalcev (Roof in Havens, 1992; Willims in Meck, 1991). Vseeno pa se način merjenja med vrstami razlikuje. Pri človeku je bila ocena le-te do poznih devetdesetih let prejšnjega stoletja najpogosteje pridobljena preko testov na papirju, ki so jih udeleženci reševali ročno oz. s svinčnikom, in so od njih zahtevali imaginarno manipuliranje geometričnih figur ali drugačnih vidnih transformacij. Medtem pa je bila pri ne-človeških vrstah tipična naloga prostorskega učenja zasnovana v obliki labirinta, po katerem so udeleženci morali dejansko navigirati ter si preko premikov lastnega telesa zapomniti pot skozi novo okolje (Moffat, Hampson in Hatzipantelis, 1998).

Kljub zasnovnim razlikam pri eksperimentalnem načrtu omenjenih študij so nekateri teoretiki predvidevali, da si človek z drugimi vrstami živalskih sesalcev deli skupen evolucijski izvor sposobnosti, vezane na upravljanje s prostorom. Ta naj bi svojo funkcijo udejanjila preko nadziranja prostranega teritorija, za prevlado katerega so moški pripadniki vrst med seboj tekmovali. Večji teritorij je pomenil večje število samic in prav to naj bi spodbujalo razvoj moške sposobnosti prostorskega navigiranja in učenja tako pri človeku kot pri ne-človeških sesalcih (Gaulin in Fritzgerald, 1986; Gaulin in Hoffman, 1988). Skupaj s predpostavko, da so moški v zgodnjih človeških družbah morali navigirati po prostranem območju, z namenom lovljenja živali za preživetje (Silverman in Eals, 1992), evolucijska razlaga prinaša perspektivo za opažene konsistentne razlike med spoloma.

Starejše študije (Galea in Kimura, 1993; Holding in Holding, 1989; McGuinness in Sparks, 1983) so docela preučile razlike med spoloma pri učenju poti, prikazane na dvo-dimenzionalnih zemljevidih. Moški so po podatkih Galea in Kimura (1993) storili številčno manj napak ter potrebovali manj poskusov za zapomnitev nove poti kot ženske.

Prav tako so moški izkazali boljše poznavanje evklidskih geometričnih zakonitosti zemljevida, medtem ko naj bi se ženske boljše odrezale pri nalogi prepoznavanja orientacijskih znakov. Odkrita je bila tudi pozitivna korelacija med uspešnostjo učenja nove poti in dosežkom na testu mentalnih rotacij (MRT). Kljub višji stopnji ekološke veljavnosti rezultatov omenjene študije v primerjavi s tradicionalnimi eksperimentalnimi načrti (papir-svinčnik), je njena upravičenost prevajanja na realne življenjske situacije še vedno vprašljiva, saj udeležencem med navigiranjem skozi mesto niso zagotovili opazovalčeve perspektive, pač pa so bili postreženi z zemljevidom ptičje perspektive (Moffat idr., 1998).

Moffat in sodelavci (1998) so zasnovali študijo, pri kateri so s pomočjo računalniške programske opreme udeležence preskrbeli z opazovalčevo perspektivo ter tako preučili razlike med spoloma pri egocentrični sposobnosti navigiranja po virtualnem labirintu. Moški so se hitreje priučili poti skozi simuliran labirint ter ob tem bili bolj natančni. Števila informacijskih napak – napake v prvem poskusu iskanja pravilne poti – med spoloma niso variirale, pač pa so moški prekašali ženske le v poskusih, ko so pravilno pot že poznali. Po analizi kovariat omenjene razlike ni moč pripisati višji stopnji računalniške pismenosti oz. izkušenj. Odsotnost dejanskega fizičnega premikanja skozi prostor dovoljuje interpretacijo omenjenih izsledkov v luči izoliranega vpliva na vidu temelječe egocentrične navigacije, ki izključuje ostale zaznavne vplive. Na podlagi nižanja števila napak in porabljenega časa tekom več ponovitev istega labirinta raziskovalci ugotavljajo, da so udeleženci za reševanje nalog opirali na dva vira stabilnih informacij. Prvi je optični tok, ki jih je založil z informacijami o premikih skozi prostor, drugi pa zanašanje na orientacijsko vodilo levo-desno ter sposobnost ohranjanja osredotočenosti kljub zavijanju in rotacijam. Močna povezanost je bila odkrita med dosežkom na testu MRT in uspešnostjo pri nalogi labirintom (število napak ter čas), kar nakazuje na skupne informacijsko-procesne zahteve omenjenih nalog oz. na njuno prekrivajočo naravo ter vpletenost iste temeljne sposobnosti, ki prostorsko procesiranje omogoča. Prav tako pa raziskovalci namigujejo na vključenost jezikovnih strategij, saj je bila pri ženskah opažena povezanost med uspešnostjo pri nalogah labirinta in testi verbalnih sposobnosti.

## 2.7 NEVRONSKA PODLAGA PROSTORSKE NAVIGACIJE

Funkcionalne tehnike slikanja možganov skupaj s študijami lezij odkrivajo kompleksno mrežo struktur, vključenih v proces prostorske navigacije. Natančneje naj bi k slednji v večjem deležu prispevali: hipokampus, parahipokampalni girus, parietalna skorja, posteriorni cingulatni girus, prefrontalna skorja in retrosplenialna skorja (Aguirre, Detre, Alsop in D'Esposito, 1996; Barrash, 1998; Gron, Wunderlich, Spitzer, Tomczak in Riepe, 2000; Katayama, Takahashi, Ogawara in Hattori, 1999; Maguire idr., 1998; Shrager idr., 2007).

### 2.7.1 Hipokampus

*Alocentrična strategija* navigiranja je globoko usidrana v področje medialnega senčnega oz. temporalnega režnja, predvsem na območje hipokampusa. Omenjeni strukturi sta bili v študiji funkcionalnega slikanja možganov povezani s tvorbo dolgoročnih prostorskih predstav, in sicer ob uporabi alocentrične strategije navigiranja ter pri izgradnji preglednega znanja o okolju (Burgess, Maguire in O'Keffe, 2002). Značilna višja aktivnost v hipokampusu je bila zaznana tudi ob uporabi prostorske (alocentrične) v primerjavi z odzivno (egocentrično) strategijo lokaliziranja tarčnih objektov (Iaria, Petrides, Dagher, Pike in Bohbot, 2003). Prav tako naj bi se aktivacija v omenjeni strukturi pojavila med procesom iskanja poti, pod pogojem, da so se udeleženci med navigacijo zanašali na mentalne predstave o prostorski razporeditvi (Gron idr., 2000). Poleg tega so v študiji virtualne navigacije, izvedene s pomočjo funkcionalne magnetne resonance (fMRI) dokazali pozitivno povezanost med stopnjo aktivacije v desnem posteriornem hipokampusu in natančnostjo navigiranja pri iskanju poti v primerjavi s pogojem sledenja poti (Hartley, Maguire, Spiers, in Burgess, 2003). Pri udeležencih, ki so nalogo navigiranja opravili z boljšim uspehom – hitrejša izgradnja kognitivnega zemljevida in učinkovitejša uporaba le-tega pri alocentričnemu načinu navigiranja, je bila zaznana tudi višja stopnja aktivacije desnega hipokampusa, v primerjavi s tistimi, ki pri nalogi navigiranja niso bili tako uspešni (Iaria, Lanyon, Fox, Giaschi in Barton, 2008).

V podporo pričajo tudi izsledki študije, izvedene s pozitronsko emisijsko tomografijo (PET), pri kateri so prav na področju desnega hipokampusa odkrili povišano raven pretoka krvi pri udeležencih, ki so nalogo navigacije po virtualnem mestu opravili z višjo stopnjo uspešnosti (Maguire idr., 1998). Preučena je bila tudi gostota sive možganovine v hipokampusu, in sicer se je izkazalo, da imajo osebk, ki so nagnjeni k uporabi alocentrične strategije navigiranja, višjo gostoto le-te v primerjavi s tistimi, ki se navadno poslužujejo uporabe egocentričnega referenčnega okvirja (Bohbot, Lerch, Thorndycraft, Iaria, in Zijdenbos, 2007). Študija opravljena na londonskih voznikih taksijev, katere lahko zaradi narave svojega dela in striktnih predhodnih preizkusov smatramo za izvedence na področju manipuliranja z mnogimi mentalnimi zemljevidi mesta, je v primerjavi s kontrolno skupino ne-taksi voznikov izkazala višjo prostornino sive možganovine na področju posteriornega hipokampusa v obeh možganskih poloblah pri taksi voznikih ter hkrati nižjo prostornino sive možganovine v anteriornem hipokampusu pri isti skupini (Maguire idr., 2000).

Če povzamemo, so alocentrične predstave o okolju ter na kognitivnih zemljevidih temelječa sposobnost izračunavanja najprimernejše poti do zastavljenega cilja vzdrževane preko hipokampalne strukture (Lithfous idr. 2013). Hipokampus omogoča navigacijo po v preteklosti usvojenih prostorih, predvsem kadar gre za kompleksne, široko-razsežne prostore, pri katerih je uspešna navigacija pogojena z detajlnimi prostorskimi predstavami (Spiers in Maguire, 2007). Poleg alocentrične strategije navigiranja se na hipokampus



zanaša tudi sposobnost integriranja poti, pri čemer se višja raven aktivnosti povezuje z uspešnejšim lociranjem izvora poti (Wolbers, Wiener, Mallot in Buchel, 2007).

Medialni temporalni reženj predstavlja področje, ki je bistvenega pomena za deklarativni spomin – zavesten faktografski in dogodkovni spomin. Sestoji iz sledečih anatomskih struktur: hipokampalno področje (natančneje regije Cornu Ammonis (CA), dentatni girus in subikularni kompleks), ter sosednje skorje (perirhinalna, entorhinalna in parahipokampalna) (Squire, Stark in Clark, 2004). Atrofije medialnega temporalnega režnja, ki se pojavijo v procesu normalnega staranja in so hkrati kot ene izmed prvih prisotne tudi pri Alzheimerjevi bolezni, naj bi se manifestirale preko funkcionalnih primanjkljajev na področju procesiranja prostorskih informacij in tako prizadele oz. okrnile sposobnost prostorskega navigiranja pri starejših (Raz idr., 2004).

### 2.7.2 Parietalna skorja in kavdatno jedro

*Egocentrična navigacija* naj bi temeljila na kortiko-striatni (področje skorje in striatuma) možganski aktivaciji. Študija izvedena s fMRI (Wolbers, Weiller in Buchel, 2004), pri kateri so preučevali povezanost med znanjem o poti in korespondenčni vpletenosti možganskih struktur, je odkrila od uspešnosti odvisno aktivacijo *inferiorne parietalne skorje*. To območje naj bi bilo vpleteno v proces vkodiranja prostorskih odnosov med zaporedno opaženimi orientacijskimi znaki z opazovalčeve perspektive pri navigaciji egocentrične strategije. Inferiorna parietalna skorja naj bi med navigiranjem sodelovala tudi pri izračunavanju levih ter desnih obratov v povezavi z orientacijskimi znaki (Maguire idr., 1998). V relaciji z odzivnim učenjem (egocentrično navigacijo) je bila v fMRI študiji izpostavljena tudi aktivnost v strukturi *caudate nucleus* oz. kavdatno jedro, medtem ko naj bi alocentrična strategija navigiranja sovpadala z aktivacijo *desnega hipokampusa* (Iaria idr., 2003). Spontana uporaba egocentrične strategije je med mladimi odraslimi izkazala pozitivno povezanost z višjo gostoto sive možganovine v kavdatnem jedru, hkrati pa se je uporaba alocentrične strategije povezovala z večjo prostornino hipokampusa (Bohbot idr., 2007). Aktivnost v kavdatnem jedru je bila zabeležena tudi pri sledenju dobro poznani poti, pri kateri je tekom mnogih ponovitev že prišlo do habituacije, kar ponovno namiguje na vpletenost kavdatnega jedra pri odzivni/egocentrični strategiji, ne alocentrični (Hartley idr., 2003). Bohbot in sodelavci (2007) predlagajo tekmovalno oz. sodelovalno interakcijo med nevronskima mrežama, ki sta aktivni pri različnih navigacijskih strategijah, in sicer na podlagi zahtev naloge ter učinkovitosti ene ali druge mreže za izpeljavo same naloge.

### 2.7.3 Retrosplenialna skorja

Aktivnost na področju *retrosplenialne skorje* je bila zabeležena tako pri tistih študijah prostorske navigacije, ki so preučevale pridobivanje preglednega prostorskega znanja (alocentrična strategija) kot tudi pri tistih, ki so se osredotočale na znanje poti (egocentrična strategija) (Wolbers idr., 2004; Wolbers in Buchel, 2005). Študija,

opravljena s fMRI (Spiers in Maguire, 2006), pri kateri so udeleženci navigirali po izjemno realističnem, a virtualno ustvarjenemu delu Londona, predstavlja poskus določanja domen posameznih možganskih struktur med specifičnimi zahtevami procesa navigiranja. Aktivnost v retrosplenialni skorji se je povečala predvsem v trenutku, ko so udeleženci pridobili nove topografske informacije ter ko so morali topografske predstave okolja posodobiti – jih integrirati ter manipulirati za namene planiranja poti. Procesiranje na področju retrosplenialne skorje naj med navigiranjem po znanem okolju ne bi bilo konstantno vzdrževano, pač pa raziskovalci predlagajo, da se raven njegove aktivnosti spreminja glede na okoliščine in prioritete. Slednje dejstvo skupaj z anatomsko pozicijo retrosplenialne skorje, ki je locirana med medialnim temporalnim režnjem in parietalno skorjo, s katerima ima vzpostavljene tudi močne nevronske povezave, namiguje na njeno vlogo pri *manipulaciji pretvorb egocentričnih predstav okolja v alocentrične* (Vann, Aggleton in Maguire, 2009). S takšno funkcijo naj bi retrosplenialna skorja pripomogla k izgradnji kognitivnih zemljevidov (Maguire, 2001), ki se v enaki meri zanašajo tako na delovanje hipokampusa kot retrosplenialne skorje (Iaria, Chen, Guariglia, Ptito in Petrides, 2007). Domneva se, da naj bi retrosplenialna skorja sodelovala tudi pri pretvorbi alocentričnih informacij v egocentrične (Lithfous idr., 2013).

#### **2.7.4 Parahipokampalni girus**

V kontekstu *prepoznavne orientacijskih znakov* izstopa predvsem območje, imenovano parahipokampalni girus. Aktivacija znotraj omenjenega girusa, natančneje v prostorski parahipokampalni regiji, je pomembna pri procesu vkodiranja prostorskih informacij oz. prostorskih scen. Pomembno je dodati, da se na zaznavo obrazov ali objektov, izvzetih iz prostorske scene, ne odziva v tolikšni meri (Epstein in Kanwisher, 1998). Epstein je s sodelavci (2007) omenjen fenomen s pomočjo fMRI podrobneje preučil in ugotovil, da sprva povišana aktivnost v omenjenem delu parahipokampalnega girusa začne po mnogih ponovitvah izpostavitve identični prostorski sceni, prikazani z istega zornega kota, slabeti. Hkrati pa slabljenja ni opazil, v kolikor je identično prostorsko sceno prikazoval z drugega zornega kota.

#### **2.7.5 Prefrontalna skorja**

Večji del pozornosti pri raziskovanju prostorske navigacije pri ljudeh je požela vloga hipokampusa in z njim povezanih struktur. Vendar pa Moffat in sodelavci (2007) opozarjajo na pomembnost vključenosti *izvršilnih in strateških vidikov* v proces človeške navigacije ter njihovo nevronsko-aktivacijsko podlago. Opirajo se na dejstvo, da naj bi uspešna navigacija od posameznika zahtevala ustrezno načrtovanje, izbiro primerne iskalne strategije, hkrati pa naj bi bila odvisna tudi od ustreznega nadzorovanja vedenja ter iskanja alternativ v primeru, ko se trenutno izbrana strategija navigiranja izkaže za neuspešno.

Upad sposobnosti prostorskega navigiranja med zdravo populacijo starejših odraslih (Newman in Kaszniak, 2000) ter motnje v prostorski navigaciji, ki so pogosto posledica zgodnjih faz razvoja demence (Klein idr., 1999) ni moč docela razložiti le z opaženo manjšo prostornino oz. atrofijo hipokampusa. Uspešnost pri takšnih nalogah se namreč povezuje tudi s superiornimi izvršilnimi sposobnostmi, prostorskim spominom ter hitrostjo procesiranja informacij. Kognitivne sposobnosti so odvisne oz. pogojene s prefrontalnimi izvršilnimi resursi (Moffat idr., 2007). V podporo pričajo izsledki, da je bila pri nalogi virtualnega MVL pri ljudeh uspešnost opravljanja le-te naloge pozitivno povezana s prostornino tako bele kot tudi sive možganovine v prefrontalni skorji, poleg tega pa sta z njo korelirali tudi dve meri izvršilnih oz. frontalnih funkcij (število napak in razpon delovnega spomina).

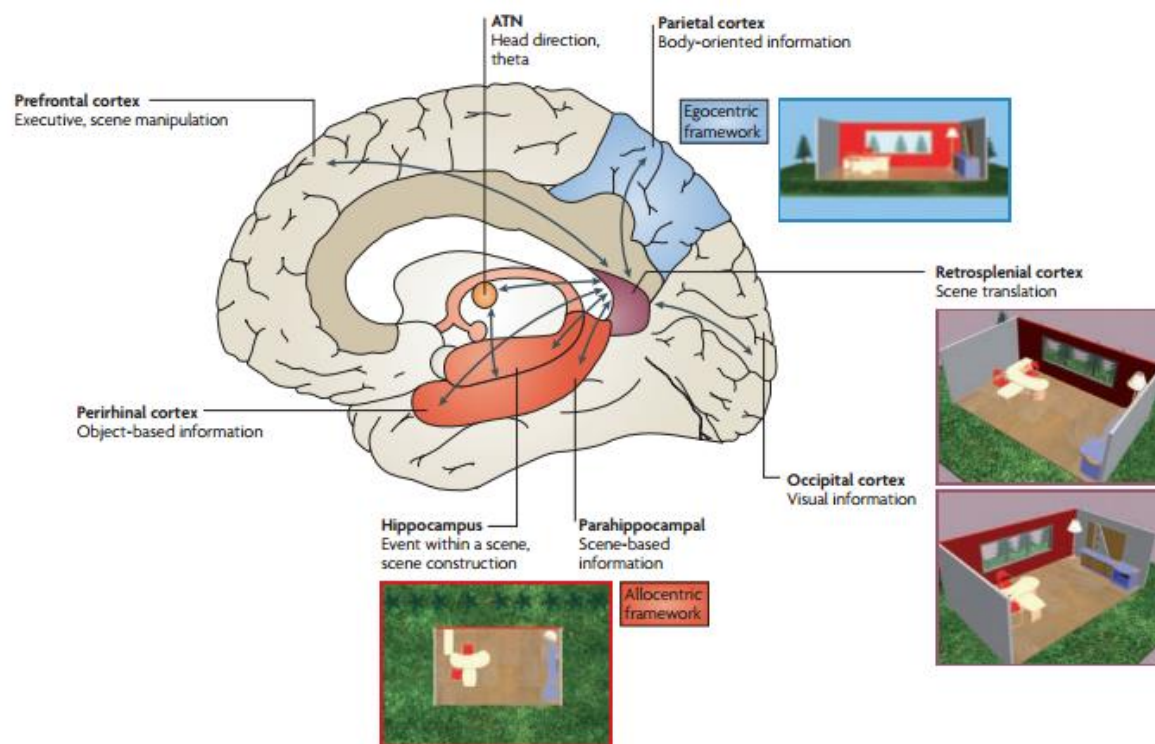
Uspešna navigacija tako od posameznika zahteva tudi uporabo nekih splošnih spretnosti, ki niso vezane ekskluzivno na prostor. Prefrontalna skorja predstavlja v tem kontekstu ključno strukturo, ki vzdržuje delovni spomin in izvršilne funkcije. Njena aktivacija med nalogami prostorskega navigiranja je dobro znana (Lithfous idr., 2013).

### 2.7.6 Okcipitalna skorja

Pri navigiranju po prostoru se aktivnost v okcipitalni skorji nanaša predvsem na *optični tok*, ki preko zaznavanja vidnih stimulacij prejema informacije iz prostora (Lithfous idr., 2013). Primarna vidna skorja (V1), poznana tudi kot striatna skorja, razpošilja informacije za nadaljnjo obdelavo v izven-striatna območja, in sicer po dorzalni poti preko območij V2, V5 in V6 do posteriornega dela parietalne skorje ter po ventralni poti preko območij V2 in V4 do inferiorne temporalne skorje (Wurtz in Kandel, 2000). Obe poti naj bi procesirali informacije o orientaciji in obliki. Dorzalna pot je hkrati odgovorna za lociranje pozicije vidnega objekta, s čimer izgrajuje egocentrične predstave z opazovalčeve perspektive, medtem ko je ventralna odgovorna še za prepoznavo objekta – alocentrične predstave, objektno centrirano vkodiranje (Milner in Goodale, 1993). Tako striatna kot izven-striatna vidna skorja sta v fMRI študiji potrdili svojo vpletenost pri procesiranju prostorskih informacij optičnega toka (Greenlee, 2000); aktivnost je bila zabeležena pri obeh procesnih poteh – dorzalni ter ventralni, pri čemer naj bi informacije prejeli iz območja okcipitalne skorje imenovane *cuneus* oz. kuneus (Aguirre idr., 1996).

### 2.7.7 Nevronska mreža – povezanost struktur

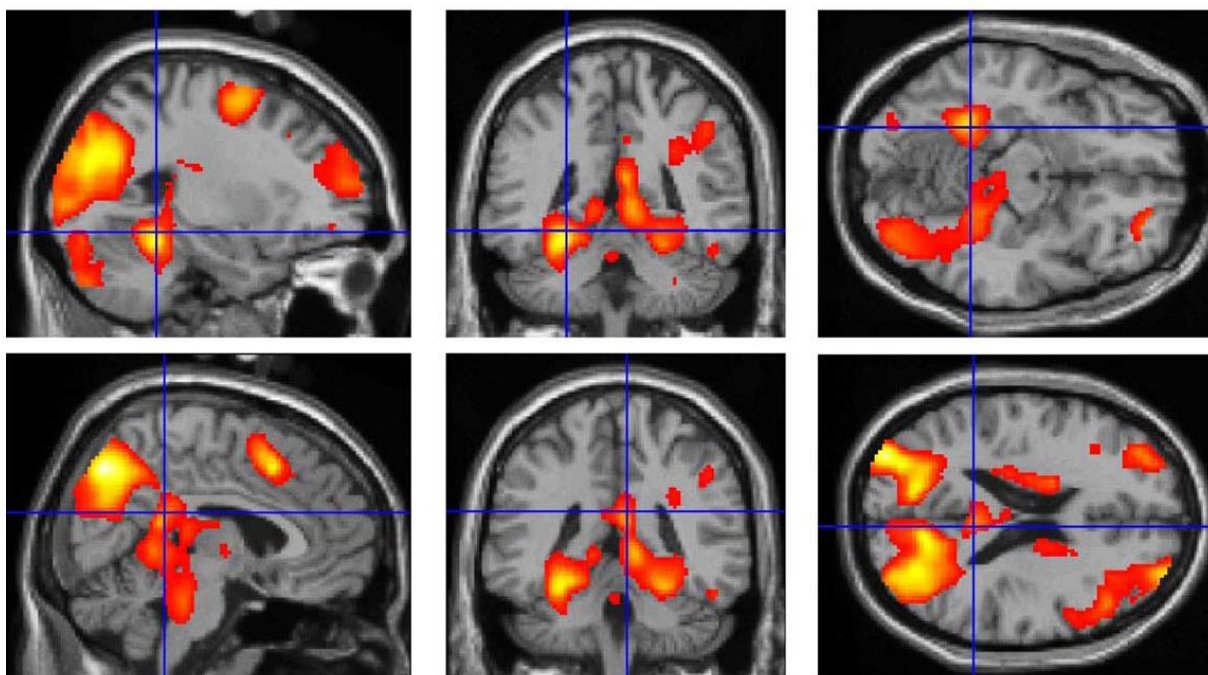
Kljub zgoraj opredeljeni razčlenitvi specifičnih funkcij posameznih možganskih struktur je pri nalogah prostorskega navigiranja zaradi kompleksne oz. več razsežne narave samega procesa uspešna navigacija vedno odvisna od aktivacije in sodelovalnega pristopa več nevronskih področij (Moffat idr., 2006). Nevronska mreža, ki opisane strukture povezuje, zagotavlja komunikacijo tako med bližnjimi kot bolj oddaljenimi regijami možganov (glej: *Slika 2.1*) (Vann idr., 2009).



Slika 2.1 Prikaz nevronske mreže, vpletene v proces prostorskega navigiranja (povzeto po Vann idr., 2009).

Slika 2.1 prikazuje možganske strukture, ki sodelujejo pri procesu prostorske navigacije, in sicer: prefrontalna, parietalna, okcipitalna in retrosplenialna skorja predstavljajo področja nove-skorje (*neocortex*), medtem ko ostala področja predstavljajo globlje locirane strukture, ki se nahajajo pod skorjo (subkortikalno).

Zgornji prikaz struktur predstavlja poenostavljen in hkrati nepopoln seznam predelov možganov in njihovih povezav, ki so vključeni v proces prostorskega navigiranja. Kompleksna mreža je za namene jasnejšega razumevanja namenoma poenostavljena. Natančnejša opredelitev področij, katerih doprinos je ključnega pomena za sposobnost prostorskega navigiranja, po podatkih Moffat in sodelavcev (2006) vključuje kuneus, prekuneus, okcipitalni girus, superiorni okcipitalni girus, srednji okcipitalni girus, inferiorni okcipitalni girus, male možgane, medialni frontalni girus, superiorni frontalni girus, inferiorni parietalni reženj, retrosplenialno skorjo, parahipokampalni girus, jezikovni girus, hipokampus, forniks, fusiformni girus ter subtalamična jedra (glej Slika 2.2). Glede na specifične eksperimentalne načrte in različnost posameznih računalniških programov za preučevanje virtualne navigacije ter njihovih zahtev lahko pri opredeljevanju aktivnih možganskih regij med nalogami virtualne prostorske navigacije naletimo na variabilnost (Jaiswal, Ray in Slobounov, 2010; Gramann idr., 2006).



Slika 2.2 Aktivacija nekaterih možganskih predelov pri nalogi prostorske navigacije med mlajšimi odraslimi (povzeto po Moffat idr., 2006).

Upad sposobnosti prostorskega navigiranja se lahko kaže kot posledica ene ali več oslabljenih povezav med omenjenimi strukturami ali kot posledica atrofije ter znižane ravni aktivacije samega predela, ki je za procesiranje ali izvedbo navigacijskega premika odgovoren. Pri starejših odraslih pogosto opazimo znižano aktivacijo na medialnem temporalnem področju oz. hipokampusu ter hkrati visoko aktivnost v frontalni skorji. Raziskovalci so opažanja interpretirali kot kompenzatorni mehanizem, pri katerem frontalna področja s svojo aktivnostjo kompenzirajo za primanjkljaj drugih področij (Moffat idr., 2006).

Kljub temu da je določevanje funkcij posameznih možganskih struktur bistvenega pomena za doseganje globljega razumevanja in identifikacijo prispevka vsake posamezne strukture, je pri ocenjevanju sposobnosti navigiranja potrebno razumeti vpetost individualnih komponent v kompleksen možganski sistem.

## 2.8 EEG IN PROSTORSKA NAVIGACIJA

Elektroencefalogram ali EEG je pripomoček, ki na neinvaziven način zaznava in snema električno aktivnost možganov. Posebni senzorji, imenovani elektrode, so na eni strani pritrjeni na površino glave, na drugi strani pa so povezani z računalnikom, ki omogoča prikaz signalov (WebMD, b.d.). Posnetki električne aktivnosti navadno zavzamejo ritmično obliko. Omenjene ritmične oscilacije, kot jim tudi pravimo, se dogodijo v ekscitatornih nevronskih vezjih, ki so povratno (rekurzivno) povezana. Pri ljudeh EEG ritme praviloma ločimo glede na njihova frekvenčna območja oz. pasove, znotraj katerih se

pojavnjajo, vendar ločnica med posameznimi pasovi ni absolutna. Delimo jih na: delta (0-4 Hz), teta (4-8 Hz), alfa (8-12 Hz), beta (13-30 Hz) ter gama (okoli 40 Hz) valove (Mitchell idr., 2008). Znano je, da se EEG signali spreminjajo glede na nalogo, ki jo testiranec medtem izvaja (Ahirwal in Iondhe, 2012). Zato eno od ključnih poslanstev tovrstnega raziskovanja predstavlja odkrivanje povezanosti med specifičnimi EEG signali in nalogami oz. kognitivnimi domenami, ki jih naloge naslavlja. Pri preučevanju virtualne prostorske orientacije je največ pozornosti požela vloga teta valovanja (Mitchell idr., 2008).

### 2.8.1 Teta valovanje

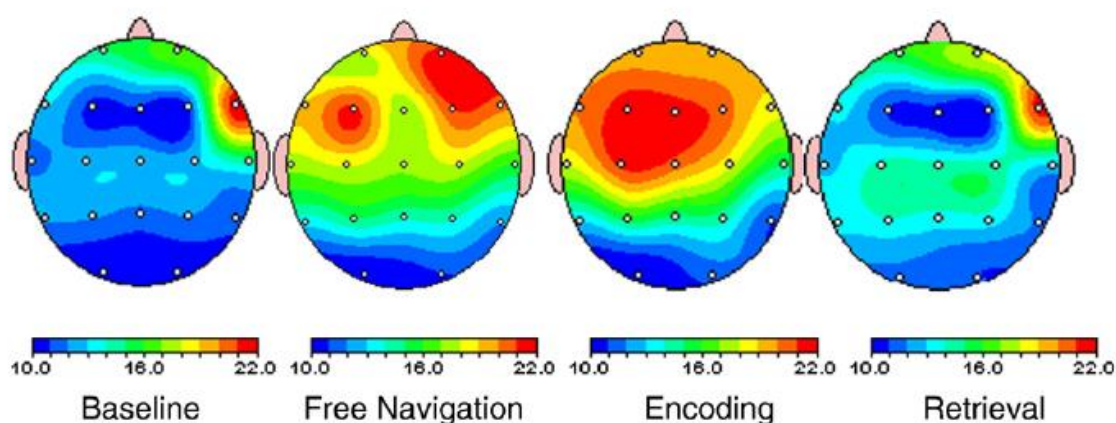
MacKay, Kirk, Hamm in Johnson (2001, v Mitchell idr., 2008) so preučili pojavnost teta valovanja tako pri nalogi jezikovnega delovnega spomina kot pri nalogi virtualnega labirinta. Teta se je pri obeh nalogah pojavljala razporejena po frontalnih regijah, pri nalogi delovnega spomina je izkazala tudi prisotnost na levem temporalnem območju, medtem ko se je pri nalogi labirinta sočasno pojavljala tudi na desnem temporalnem področju.

Uvid prinašajo tudi študije epileptičnih bolnikov, saj v nekaterih primerih njihove možganske oscilacije preučujemo s pomočjo invazivne EEG metode, pri kateri so elektrode nameščene direktno na površino možganov lahko pa tudi globlje – intrakranialni EEG (iEEG). Študija treh epileptičnih bolnikov razkriva povečano aktivnost tete pri daljših oz. bolj kompleksnih labirintih v primerjavi s krajšimi, z najbolj izrazito aktivnostjo na temporalnih področjih (Kahana, Sekuler, Caplan, Kirschen in Madsen, 1999). Teta se je izkazala kot dominanten ritmični signal, porazdeljen čez široko področje skorje, tudi med učenjem labirinta, pri čemer se je raven pojavnosti tete višala skupaj z daljšanjem labirinta (Caplan, Madsen, Raghavachari in Kahana, 2001). Pri nalogah raziskovanja ter iskanja cilja med navigiranjem po virtualnem prostoru so teta zabeležili na področju motorične, temporalne ter frontalne skorje. Moč teta valovanja je bila višja pri iskanju cilja v primerjavi z raziskovalnim pogojem (Caplan idr., 2003). Tekom virtualnega navigiranja so bile povišane ravni tete zabeležene tako na območjih skorje kot tudi v hipokampusu, pri čemer je pojavnost tete z omenjenih področij izkazala pozitivno povezanost (Ekstrom, idr. 2005).

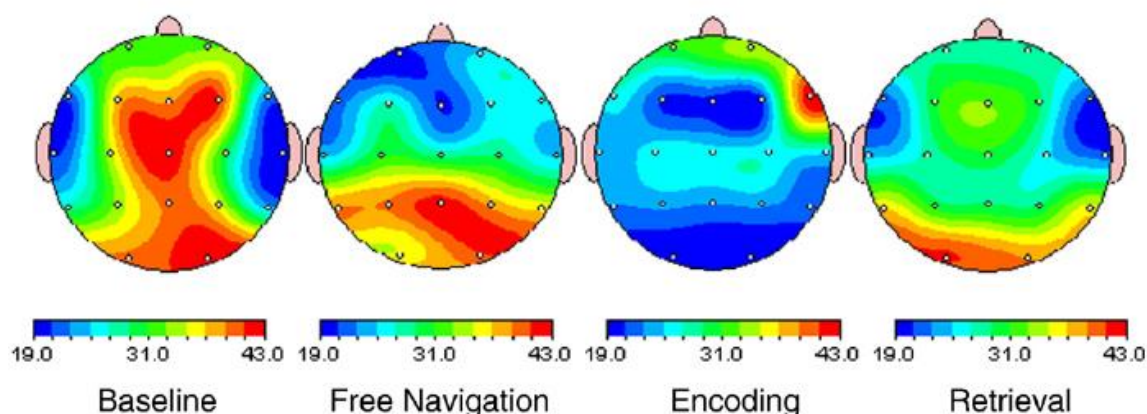
Naloge vidno-prostorskega delovnega spomina lahko razdelimo na fazo vkodiranja in fazo priklica informacij. Za prvega je značilno procesiranje zunanega dražljaja, medtem ko priklic informacij narekujejo notranji procesi. Proces vkodiranja in priklica informacij naj bi aktivirala tudi različne nevronske mreže, pri čemer je za proces vkodiranja značilna višja aktivacija dorzolateralne prefrontalne skorje, pri priklicu pa so višje ravni aktivnosti zabeležili v inferiornem parietalnem predelu ter prekuneus-u (Jaiswal idr., 2010). Pri slednji študiji (Jaiswal idr., 2010) so s pomočjo EEG preučevali različne faze prostorskega spomina in navigiranja, in sicer preko štirih pogojev:

- *osnovni pogoj (baseline)*, pri katerem so udeleženci na zaslonu opazovali statično sliko virtualnega hodnika;
- *prosta navigacija (free navigation)* je udeležencem omogočala raziskovanje virtualnih hodnikov preko prostega, naključnega navigiranja brez specifičnega cilja;
- *vkodiranje (encoding)* – udeleženci so bili soočeni s specifično navigacijsko potjo do tarčne sobe, pri čemer so si pot zaradi kasnejšega reproduciranja morali zapomniti;
- *priklic (retrieval)*, ki je od udeležencev zahteval navigiranje po točno tisti virtualni poti, ki jim je bila pri pogoju vkodiranja predstavljena.

(A) Theta band (4-8 Hz)



(B) Alpha band (8-12 Hz)



Slika 2.3 Topografski prikaz razporeditve in jakosti teta (A) in alfa (B) valovanja med različnimi pogoji vidno-prostorske naloge (povzeto po Jaiswal idr., 2010).

Ugotovili so povišano raven teta spektralne moči v desni frontalni in frontalno centralni regiji tako med vkodiranjem kot med prosto navigacijo v primerjavi s priklicem. Prav tako je bila izraženost tete v desnem frontalnem delu med vkodiranjem statistično značilno višja v primerjavi z osnovnim pogojem. Predstavljeno poenostavljeno, najvišjo stopnjo teta aktivnosti opazimo pri pogoju vkodiranja na fronto-centralnem predelu desne hemisfere (glej *Slika 2.3*).

Domneva se, da je proces vkodiranja prostorskih informacij resursno bolj potraten oz. zahteva višjo raven mentalnega napora kot priklic informacij, za kar imamo tudi direktne dokaze, in sicer: študije narekujejo višjo raven tete pri pomnjenju tistih predmetov, ki so bili kasneje uspešno priklicani iz spomina, ter nižjo raven tete pri tistih, katerih priklic ni bil uspešen (Summerfield in Mangels, 2005); vkodiranje informacij v delovni spomin je povezano z bolj izraženo teta sinhronizacijo (Stam, van Cappellen van Walsum in Micheloyannis, 2002); višja spektralna moč tete med fazo vkodiranja je povezana z višjo stopnjo uspeha pri priklicu (Klimesch idr., 2001); povišanje teta moči od osnovnega pogoja do vkodiranja ter padec teta moči od vkodiranja do priklica informacij (Jaiswal idr., 2010). Našteti izsledki namigujejo na pomembno funkcijo teta oscilacij pri integraciji novo predstavljenih informacij v kompleksne spominske sledi (Sauseng, Griesmayr, Freunberger in Klimesch, 2010). Na dodaten aspekt, ki potrjuje pomembnost teta ritma med nalogami prostorske navigacije, opozarjajo Jaiswal in sodelavci (2010). Namreč, pogoja proste navigacije in priklica sta vključevala motorično oz. gibalno komponento, medtem ko ta ni bila prisotna pri pogoju vkodiranja. Opažena teta pri slednjem pogoju tako nedvoumno odraža komponento učenja (najverjetneje izgradnjo kognitivnega zemljevida). Sklepajo tudi, da čeprav pogoj proste navigacije od udeležencev ni zahteval nikakršne zapomnitve, je komponenta učenja intrinzično vključena v proces; smiselnost slednjega podpira tudi evolucijska perspektiva (Silverman in Eals, 1992).

Pri primerjavi teta aktivnosti med mlajšimi in starejšimi odraslimi ugotovimo, da je pojavnost teta aktivnosti v levem frontalnem območju med fazo vkodiranja pozitivno povezana z natančnostjo prepoznave pri mlajših odraslih, ne pa pri starejših. Prav tako so starejši izkazali znižane ravni tete v omenjeni regiji ter hkrati slabše dosežke pri nalogi kognitivnega kartiranja. Izsledki študije so konsistentni s predhodno navedeno literaturo in namigujejo, da moč teta aktivnosti v fazi vkodiranja napoveduje uspešnost prostorsko-spominskih sposobnosti. Znižane ravni tete pri starejših lahko odražajo poslabšanje sposobnosti vkodiranja informacij ter hkrati pojasnijo upad sposobnosti prostorskega spomina (Lithfous idr., 2015).

Odkrita je bila tudi sinhrona teta aktivnost med prefrontalno in tempo-parietalno skorjo, medtem ko so udeleženci zadrževali jezikovne ali vidno-prostorske informacije v delovnem spominu, ter fronto-temporalna povezava teta aktivnosti v desni hemisferi tekom



zadrževanja vidno-prostorskega materiala v spominu (Sarnthein, Petsche, Rappelsberger, Shaw in Von Stein, 1998).

Študije narekujejo, da je teta, ki se pojavlja na možganski skorji, povezana s teto, ki je generirana v hipokampusu (Ekstrom idr., 2005). Kljub temu da naj teta na skorji ne bi predstavljala direktne projekcije hipokampalne tete (Mitchell idr., 2008), Young in McNaughton (2008) zagovarjata tezo, da je teta na skorji nekakšen odsev ritmične hipokampalne celične aktivnosti, ki vsaj občasno zavzame ritmično aktivnost, ki je koherentna s hipokampalno aktivnostjo.

### **2.8.2 Alfa valovanje**

Obraznava alfa valovanja v kontekstu virtualne prostorske navigacije nam odkriva svojo negativno povezanost s pojavnostjo teta valovanja. Višje ravni alfa valovanja so bile zabeležene pri osnovnem pogoju v primerjavi z vkodiranjem in priklicem informacij, in sicer so se razprostirale prek vseh regij skorje. V kolikor primerjamo prosto navigacijo s pogojema vkodiranja in priklica, lahko ponovno opazimo višje ravni alfe pri prosti navigaciji, in sicer na posteriornih predelih skorje. Hkrati pa je alfa aktivnost izkazala tudi statistično višje ravni izraženosti med pogojem priklica v primerjavi z vkodiranjem na desni parietalni, levi centralni, levi okcipitalni ter desni okcipitalni regiji (glej *Slika 2.3*; Jaiswal idr., 2010). Na kratko, najnižje ravni alfe so bile opažene pri pogoju vkodiranja.

Visoka raven alfa valovanja je načeloma značilna za sproščena stanja mirovanja, najpogosteje se na posteriornem predelu skorje pojavi, kadar imamo zaprte oči (WebMD, b.d.). Prav tako so povišane ravni značilne za stanje pri meditaciji (Halsband, 2012), medtem ko med procesom koncentriranja načeloma niso prisotne (WebMD, b.d.). V luči omenjenih izsledkov lahko tudi pojavnost alfa valovanja med posameznimi pogoji prostorskega navigiranja interpretiramo na način, da vkodiranje zahteva višjo stopnjo mentalnega napora in predstavlja zahtevnejši proces kor priklic informacij, kar rezultira v nižjih ravneh alfe med fazo vkodiranja informacij (Jaiswal idr., 2010).

### 3 NAMEN IN CILJI NALOGE

Namen magistrske naloge je ugotoviti, kakšen odtis na možganskem valovanju puščajo kognitivne obremenitve, ki so povezane z navigiranjem po virtualnem prostoru, ter natančneje razčleniti in osvetliti učinek vsakega izmed dveh specifičnih kognitivnih procesov: učenja oz. vkodiranja informacij ter priklica informacij iz spomina. Raziskati želimo, na katerih lokacijah oz. področjih možganske skorje je omenjen odtis najmočnejše prisoten ter tudi, ali gre za ritmično obliko signala, ki ga lahko poimenujemo in o pojavnosti katerega poročajo tudi predhodne raziskave – teta valovanje (Jaiswal idr., 2010).

Nadaljnje želimo ugotoviti, kako, če sploh, se uspešnost reševanja naloge virtualne navigacije povezuje z lokacijo ter jakostjo omenjenega tipa valov. Slednji rezultati bodo tako tudi ovrednotili potencial dotičnega pripomočka – Brain Powered Games: Maze Training (2016) – ter mu dodelili mesto znotraj nabora podobnih orodij. Drugi izmed ciljev naloge se navezuje na ugotavljanje povezanosti med vedenjskimi rezultati labirinta (skupni čas za dokončanje naloge in število prostorsko-spominskih napak) in testi sposobnosti, ki so vezani na spominske kapacitete, pozornost in predvsem prostor – predstavljenost pozicije predmetov v prostoru ter osne rotacije predmetov samih. Preučiti želimo tudi razlike med spoloma.

#### 3.1 HIPOTEZE

V luči dognanj preučene literature smo za svoj eksperimentalni protokol zastavili naslednje hipoteze:

- H1: Moški bodo v povprečju pri nalogi labirinta napravili manj napak kot ženske.
- H2: Opazili bomo pozitivno povezanost med uspešnostjo pri nalogi labirinta in uspešnostjo pri dosežkih nevropsiholoških testov.
- H3: Teta aktivnost bo močnejše izražena pri testnem labirintu pri pogoju učenja poti kot pri kontrolnem (brez učenja).
- H4: Teta aktivnost bo močnejše izražena pri pogoju učenja poti v primerjavi s pogojem priklica informacij.

## 4 METODA

### 4.1 VZOREC

V študijo je bilo vključenih 34 zdravih prostovoljcev s slovenskim državljanstvom, natančneje 17 moških in 17 žensk, starih od 31 do 38 let. Poziv za sodelovanje v raziskavi je udeležence dosegel preko ustnega povabila nas ter naših znancev. Pri izboru smo poleg dobrega splošnega zdravstvenega stanja in starostne omejitve upoštevali tudi izkazan interes za sodelovanje (vključitveni dejavniki). Pred sodelovanjem smo preverili obstoj izključitvenih dejavnikov, ob prisotnosti katerih sodelovanje v raziskavi ni bilo izvedljivo, in sicer: prisotnost epilepsije, prisotnost ali zgodovina možganskih poškodb (blagi pretresi možganov ne sodijo pod omenjeno kategorijo) ter jemanje zdravil, ki vplivajo na psihofizične sposobnosti. Udeleženci so predhodno izpolnili soglasje k sodelovanju v raziskavi (glej *PRILOGA A*), v katerem so bili seznanjeni z nameni in cilji raziskave, organizacijo in postopki meritev ter možnostjo prekinitve sodelovanja na kateri koli točki tekom raziskave. Hkrati smo jim zagotovili popolno anonimnost ter uporabo pridobljenih podatkov zgolj za namene pričujoče naloge.

Iz raziskave sta bili naknadno izključeni dve ženski udeleženci, saj se jima je med procesom EEG meritev pojavila slabost, zaradi česar smo postopek prekinili. Prav tako smo izključili enega moškega, ki se je v času EEG meritev nahajal v slabem psihofizičnem stanju, s čimer je onemogočal kvaliteten zajem podatkov. Končni vzorec zato zajema 31 udeležencev, 16 moških in 15 žensk. Vse nadaljnje analize so bile izvedene na slednjem vzorcu.

Tabela 4.1 Demografski podatki udeležencev, prikazani po spolu ( $N=31$ )

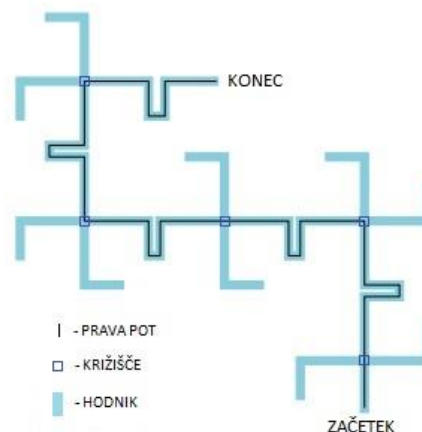
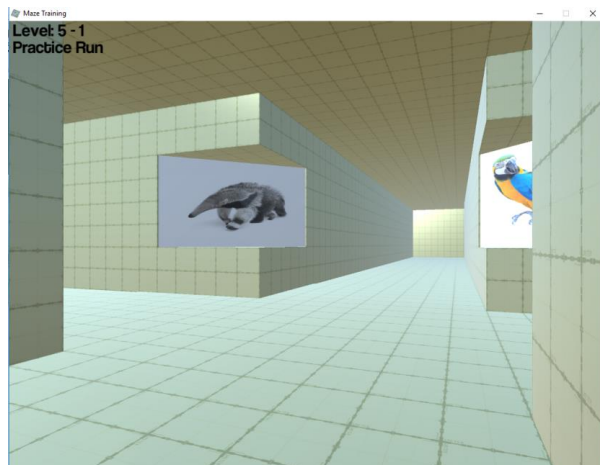
		<i>N</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>
<b>Starost</b>	M	16	34,69	2,55	31	38
	Ž	15	32,81	1,52	31	36
<b>Leta šolanja</b>	M	16	15,41	2,27	11	20
	Ž	15	17,44	1,50	16	21

### 4.2 PRIPOMOČKI

#### 4.2.1 Virtualni labirint

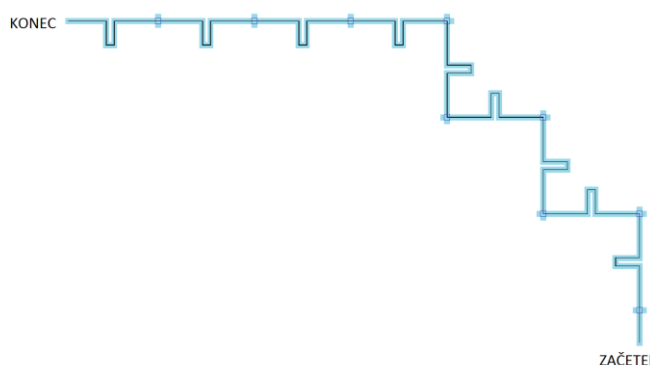
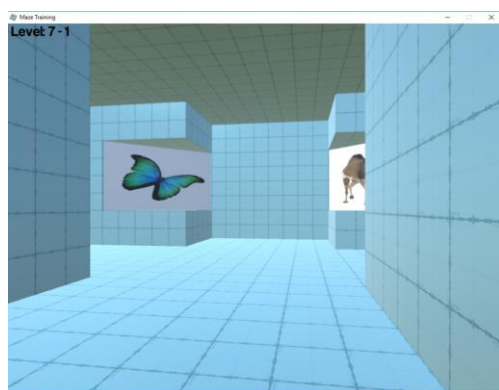
Uporabili smo programsko opremo Brain Powered Games: Maze Training (2016), ki omogoča aplikacijo različnih tipov labirintov. *Testni labirint* (PR) je sestavljen iz hodnikov in petih zaporednih križišč, na katerih lahko udeleženec izbere katerokoli izmed možnih poti – levo, naravnost, desno. Dve izmed njih zmeraj predstavljata slepi ulici. Vsako križišče je označeno z dvema slikama živali, ki služita za orientacijo. Naloga udeleženca je najti izhod ter si obenem zapomniti pravilno pot. Uspešnost zapomnitve le-te dokazuje z rezultatom na dveh sledečih ponovitvah istega labirinta (A1 – prva ponovitev; A2 – druga

ponovitev), oz. natančneje s časom, v katerem uspe opraviti nalogo, ter številom napak, ki jih na poti stori – tj. številom hodnikov, ki jih izbere in ne vodijo do cilja (vstop v slepe ulice).



Slika 4.1 Tipična perspektiva znotraj testnega labirinta – prikaz križišča in hodnikov (levo), ter prikaz oblike testnega labirinta s ptičje perspektive (desno).

*Kontrolni labirint* ima v primerjavi s testnim tri razlike: sestoji iz sedmih zaporednih križišč; pravilna pot je obenem tudi edina možna – vstop v slepe ulice je onemogočen, saj so zazidane že pri križišču (glej Slika 4.2); potrebno ni nikakršno pomnjenje ali učenje – udeleženec se po hodnikih sprehodi do konca labirinta (trofeje) in naloge ne ponavlja.



Slika 4.2 Tipičen prikaz križišča v kontrolnem labirintu (levo) ter prikaz oblike kontrolnega labirinta K1 s ptičje perspektive (desno).

Hodniki v labirintih so široki osem virtualnih metrov, prav tako je tudi višina sten enaka osmim virtualnim metrom. Dolžina labirinta variira glede na tip (testni, kontrolni) ter tudi glede na linijo, po kateri se znotraj širine hodnika udeleženci premikajo. Premike nadzorujejo preko tipkovnice, in sicer s pritiskanjem tipk s puščicami ( $\leftarrow$ ,  $\uparrow$ ,  $\downarrow$ ,  $\rightarrow$ ), pri čemer je hitrost premikanja konstantna. V primeru, da udeleženec oplazi, ali se zabije v steno, zasliši značilen zvok v opomin. Slike živali znotraj labirinta imajo fiksno mesto, kar

pomeni, da se vsaka podoba pojavi le na svoji unikatni poziciji znotraj izključno enega (testnega ali kontrolnega) labirinta. Konec vsakega labirinta je označen s trofejo.

#### 4.2.2 Nevropsihološki testi

V pričujoči študiji smo uporabili slovenske verzije testov, ki so bili iz angleškega jezika prevedeni ter oblikovani in prirejeni s strani avtoric Dolenc in Petrič (2013) za namene predhodne raziskave.

*Test slušno-besednega učenja (Auditory-Verbal Learning Test - AVLT)* (Ray, 1941) podaja oceno besednega spomina (Bean, 2011; Van der Elst, Van Boxtel, Van Breukelen in Jolles, 2005) in sestoji iz dveh seznamov po petnajst besed. Pri vsakem poskusu udeležencu preberemo seznam besed po eno na sekundo in njegova naloga je, da ko končamo, čim več slišanih besed ponovi. V petih zaporednih poskusih uporabimo prvi seznam – rezultat podaja oceno takojšnjega priklica/spomina. Pri šestem poskusu uporabimo drugi seznam, ki služi kot moteče orodje, saj v sedmem poskusu brez predhodnega prebiranja seznama preverjamo sposobnost priklica besed iz prvega seznama, pri čemer hkrati dobimo oceno posameznikove dovednosti za moteče dejavnike. Po 30-ih minutah sledi osmi poskus – odloženi priklic (OP) informacij: brez prebiranja besed prosimo udeleženca, naj pove čim več besed s prvega seznama; nato pri devetem poskusu prosimo udeleženca, da na delovnem listu obkroži tiste besede, ki so se pojavljale na prvem seznamu – naloga prepoznave. Zadnja dva poskusa preverjata sposobnost zadrževanja informacij v spominu. Vsaka pravilna beseda se točkuye z 1 točko, pri vsakem poskusu je možno dobiti od 0 – 15 točk. V pričujočem delu smo kot rezultat uporabili povprečen dosežek prvih petih poskusov učenja (AVLT-U) ter dosežek osmega poskusa (AVLT-OP).

*Test mentalne rotacije (Mental Rotation Test - MRT)* (Peters idr., 1995) ocenjuje sposobnost mentalnega rotiranja objekta. Sestoji iz 24 primerov 3-D teles, ki so zgrajeni iz desetih kock. Pri vsakem primeru mora udeleženec izmed štirih možnih teles na desni, ki so rotirani okoli neke svoje osi, izbrati natanko dva, ki sta popolnoma enaka izvornemu na levi. Po štirih primerih, ki jih udeleženec opravi za vajo, sledi testni del. Udeleženec ima za prvih 12 primerov na razpolago 3 minute časa, sledi dvo-minutni premor, nato pa v naslednjih 3 minutah reši še drugi del testa – zadnjih 12 primerov. Točko si prisluži za le, če pri posameznem primeru izbere obe pravilni alternativni. Na testu je tako možno dobiti od 0 – 24 točk.

*Test sledenja (Trail Making Test - TMT)* (Reitan, 1958) je nevropsihološki test vizualne pozornosti. Podaja informacijo o sposobnosti vidnega iskanja in skeniranja, hitrosti procesiranja informacij, mentalne fleksibilnosti in izvršilnih funkcij (Tombaugh, 2004). Del A sestoji iz petindvajsetih krogov, razporejenih po listu A4 formata, znotraj katerih so napisana števila od 1 do 25. Naloga udeleženca je povezati kroge v naraščajočem vrstnem

redu. Pri delu B pa se znotraj štiriindvajsetih krogov nahajajo števila od 1 do 12 ter črke od A do L (brez Č). Udeleženec mora v naraščajočem vrstnem redu izmenično povezati številko-črko-številko, tj. 1-A-2-B-3-C-...-12-L. Rezultat predstavlja število sekund, ki jih udeleženec porabi za dokončanje vsakega izmed delov – TMT-A in TMT-B. Višji rezultat namiguje na slabšo izvedbo.

*Test zavzemanja perspektive / prostorske orientacije (Perspective Taking / Spatial Orientation Test - PTSOT)* (Hegarty in Waller, 2004; Kozhevnikov in Hegarty, 2001) ocenjuje sposobnost posameznikovega zavzemanja perspektive oz. orientacije, in sicer glede na trenutni položaj v odnosu do referenčnih točk. Udeleženci so predočeni s shemo, na kateri se nahaja 7 predmetov. Vsak izmed 12 primerov testa udeleženca postavi na lokacijo enega predmeta (izhodiščna točka), hkrati pa določi drugi predmet, ki oznanjuje smer proti kateri je udeleženec obrnjen. Naloga od udeleženca zahteva, da v odnosu do omenjenih predmetov navede, kje se nahaja tretji predmet, po katerem vsaka naloga sprašuje. Udeleženec poda odgovor z risanjem puščice, in sicer iz središča kroga (izhodiščna točka) do krožnice same, pri čemer mora upoštevati kotno razdaljo med opredeljeno smerjo in tisto, po kateri naloga sprašuje. Vsak primer se nahaja na svoji strani lista A4 formata. Udeleženec ima na voljo 5 minut časa. Rezultat je predstavljen v stopinjah povprečnega odstopanja od pravilne smeri. Višji dosežek namiguje na slabšo izvedbo.

#### 4.2.3 EEG oprema

Meritve možganske aktivnosti smo izvedli z *g.tec GUGER TECHNOLOGIES OG EEG* opremo, ki sestoji iz naslednjih komponent:

- računalniški program za zajem podatkov – g.Recorder (2016),
- ojačevalc za signale oz. sistem za zajem podatkov – g.USBamp,
- napajalnik in gonilniški vmesnik – g.GAMMAbox,
- kapa z vrezanimi položaji elektrod po sistemu 10/20 – g.GAMMAcap,
- 32 (+2) aktivnih elektrod iz srebrovega klorida (Ag/AgCl) – g.SCARABEO,
- prevodni gel, ki elektrodam omogoča zaznavanje signalov s skalpa – g.GAMMAgel.

Komplet EEG opreme omogoča različne nastavitve. Za potrebe pričujoče raziskave smo določili sledeče specifikke. Elektrode smo namestili na standardne, mednarodno prepoznane lokacije, ki so določene po sistemu 10/20 (Trans Cranial Technologies, 2012), in sicer: Fp1, Fp2, AF3, AF4, F7, F3, Fz, F4, F8, FC5, FC1, FC2, FC6, T7, C3, Cz, C4, T8, CP5, CP1, CP2, CP6, P7, P3, Pz, P4, P8, PO3, PO4, O1, Oz in O2. Referenčno elektrodo smo namestili na levi ušesni mešiček, ozemljitvena elektroda pa je zasedla pozicijo AFz. Pri zajemu podatkov smo frekvenco vzorčenja nastavili na 512 Hz (512 vzorcev na sekundo), ter omejili razpon posnetih frekvenc z *band pass* filtrom, ki smo ga na njegovi spodnji meji

nastavili na 0,1 Hz in njegovi zgornji na 100 Hz. Uporabili smo tudi *notch* filter, ki odstranjuje artefakte, nastale zaradi električne napeljave – 50 Hz.

### 4.3 POSTOPEK

Meritve so potekale v obdobju od decembra 2016 do julija 2017. Testiranja so bila individualne narave, pri čemer se je vsak udeleženec udeležil dveh srečanj. Izvajala so se v mirnem in kontroliranem okolju. Udeleženci so imeli ves čas na voljo svežo vodo. Naročeno jim je bilo, da naj vsaj štiri ure pred sestankom ne uživajo kave, čajev ali drugih napitkov s poživitevni učinkom, ter naj s seboj prinesejo očala/leče, v kolikor jih uporabljajo. Z vsakim udeležencem smo vzpostavili dogovor, da nas v primeru pojavitve slabega počutja med snemanjem oz. testiranjem opozori in s početjem nemudoma prekinemo. Prav tako smo jih prosili, naj nas opozorijo, v kolikor se jim pojavi potreba po obisku sanitarij.

#### 4.3.1 Protokol EEG meritev

Prvo srečanje je bilo namenjeno zajemu EEG podatkov in se je izvajalo v Univerzitetnem Kampusu Livade 1.0 v Izoli. Na začetku smo udeležence povprašali po demografskih podatkih (spol, starost, leta šolanja, ročnost) ter ponovno preverili prisotnost izključitvenih dejavnikov. Namestili smo jim kapo z elektrodami ter orisali potek srečanja. Prosili smo jih, da tekom zajemanja podatkov oz. med izvajanjem nalog ne govorijo, se ne premikajo, ne napenjajo mišic ter poskušajo biti čim bolj sproščeni.

Na začetku so prestali standardi postopek zajema podatkov mirovnega stanja EEG valov, in sicer z zaprtimi očmi (3 minute), pri čemer smo jim oči prekrili s črno prevezo, in nato še z odprtimi očmi (3 minute) medtem ko so zrl v križec, označen na tabli pred njimi. Sledila je vaja privajanja na virtualni labirint – udeleženci so lahko prosto manevrirali po hodnikih z namenov osvojitve veščine premikanja in spoznavanja pravil labirinta. Ko so se počutili pripravljene, smo pričeli z zajemom EEG signalov v kontrolnem labirintu (K1). Prejeli so sledeče navodilo: »Pred vami je labirint, ki je organiziran v hodnike in križišča. Nekatere poti so zazidane, tako da je do cilja odprta natanko ena pot. Vaša naloga je, da se čim hitreje sprehodite po poti do konca labirinta.«

Po opravljeni nalogi je sledila naslednja – navigiranje po testnem labirintu (raziskovanje – PR, prva ponovitev – A1 in druga ponovitev – A2). Udeleženci so prejeli navodilo: »Pred vami je nov labirint in vaša naloga je čim hitreje najti izhod. V primerjavi s prejšnjim labirintom ima naslednji dve razliki. Prva je ta, da slepe ulice niso zazidane, zato lahko na vsakem križišču izbirate med tremi možnimi potmi – levo, desno, naravnost. Če zaidete v slepo ulico, se obrnete in greste nazaj na pravo pot. Druga razlika pa se nanaša na ponovitve: po končani nalogi boste še dvakrat postavljeni v isti labirint. Pri ponovitvah je

pomembno, da se čim boljše odrežete in na poti storite karseda malo napak oz. nič, če je mogoče. Torej, v prvem poskusu labirint raziščete, sledi 5-sekundni premor, nato vstopite v prvo ponovitev, za njo ponovno sledi 5-sekundni premor in nazadnje vstopite še v drugo ponovitev istega labirinta. Imate morda kakšno vprašanje?« V kolikor so se pri udeležencu pojavila dodatna vprašanja, smo podali ustrezna pojasnila.

Po končanem testnem labirintu so se udeleženci ponovno sprehodili čez kontrolni labirint (K2), ki je imel drugačno konfiguracijo v primerjavi s prvim kontrolnim labirintom, vendar pa so zanj veljala enaka pravila kot pri prvem. Snemanje smo zaključili z zgoraj opisanim standardnim postopkom zajema mirovnega stanja EEG valov pri odprtih in zaprtih očeh.

Udeležencem so se naloge predvajale na 17-paličnem ekranu, ki je bil oddaljen približno 50 centimetrov od njihovega obraza. Za izvajanje nalog so uporabljali tipkovnico. Celoten protokol je trajal približno eno uro in trideset minut.

#### **4.3.2 Protokol nevropsihološkega testiranja**

Drugo srečanje je bilo namenjeno izvajanju nevropsiholoških testov, pri katerih smo se držali vrstnega reda, ki je predstavljen v poglavju 4.2.2. Udeležencem smo priskrbeli svinčnik. Celoten protokol je trajal približno 45-60 minut.



## 5 POSTOPKI OBDELAVE PODATKOV

### 5.1 NEVROPSIHOLOŠKI TESTI

Dosežke udeležencev na nevropsiholoških testih smo obdelali s programom IBM SPSS Statistics (2012). Sprva smo preverili normalnost porazdelitve dosežkov za vsak test posebej, pri čemer smo upoštevali *Shapiro-Wilk* oceno kritičnega odstopanja od normalne distribucije. Teste AVLT-U, AVLT-OP, MRT, TMT-B in PTSOT je zaznamovala nenormalna porazdelitev ( $p < ,05$ ), pri testu TMT-A pa smo opazili normalno porazdelitev ( $p = ,479$ ). Pri vseh testih smo uporabili neparametrične statistične metode analize oz. natančneje: za preverjanje razlik med dosežki moških in žensk za posamezen nevropsihološki test smo uporabili *Mann-Whitney U* test.

### 5.2 VEDENJSKI REZULTATI LABIRINTA

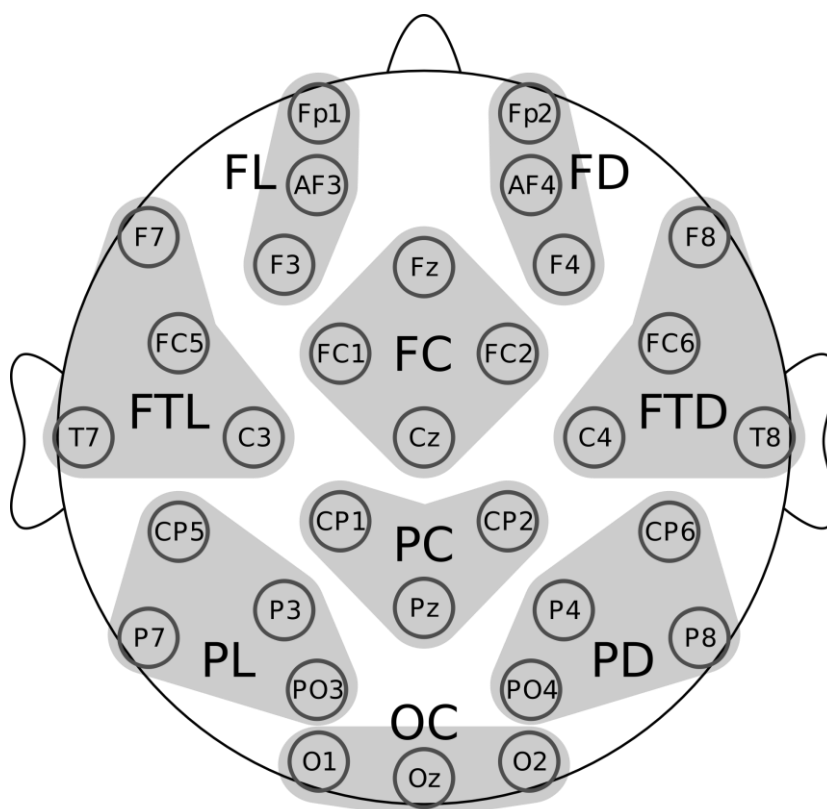
Dosežke udeležencev pri nalogah labirinta smo obdelali s programom IBM SPSS Statistics (2012). Sprva smo preverili normalnost porazdelitve dosežkov, in sicer za spremenljivko *Čas*, ki označuje število sekund, ki so jih udeleženci potrebovali za dokončanje naloge labirinta v prvem (A1) in drugem (A2) poskusu oz. ponovitvi, ter za spremenljivko *Napake*, ki prikazuje število storjenih napak pri vsakem izmed poskusov. Upoštevali smo *Shapiro-Wilk* oceno, ki priča o nenormalni porazdeljenosti obeh spremenljivk pri vsaki izmed ponovitev ( $p < ,001$ ). Za primerjavo rezultatov med prvo in drugo ponovitvijo smo uporabili neparametrični test *Wilcoxon Signed-Ranks*, za primerjavo rezultatov po spolu pa *Mann-Whitney U*.

### 5.3 EEG PODATKI

EEG podatki so bili procesirani v programskem paketu MATLAB – The MathWorks, Inc. (2016) oz. natančneje z njegovim kompatibilnim interaktivnim orodjem za obdelavo EEG signalov – EEGlab (Delome in Makeig, 2004). Sprva smo podatke re-referencirali – postopek obsega izračun povprečja signalov (napetost v enotah  $\mu\text{V}$ ) vseh elektrod za vsak posamezen časovni vzorec; pridobljeno povprečje se nato odšteje od vsake elektrode. Surovi EEG posnetki so bili nato ročno pregledani in v tej fazi smo odstranili artefakte, ki ne odražajo električne aktivnosti možganov (mišični artefakti, artefakti premikanja, t.i. *elektrode pop* artefakti, artefakti, ki so posledica slabega kontakta elektrode). Artefakti, vezani na premikanje oči in mežikanje, so bili odstranjeni s pomočjo orodja ICA (*Independent Component Analysis*) (Delome in Makeig, 2004; Plöchl, Ossandon in König, 2012), ki smo jo izvedli za vsakega udeleženca posebej na njegovih skupnih EEG podatkih. Slabe elektrode oz. elektrode s slabo kvaliteto signala, ki smo jih zaznali preko jasnega izstopanja po amplitudnih skokih, vsebnosti visoko-frekvenčnega šuma ali popolne sploščenosti (The Neurophysiological Biomarker Toolbox, 2017) smo izključili iz nadaljnje analize oz. statistične obdelave.

V naslednji fazi smo EEG posnetke segmentirali na 2-sekundne intervale (1024 vzorcev), pri čemer smo mero prekrivanja intervalov (*overlap*) nastavili na 128 vzorcev oz.  $\frac{1}{4}$  sekunde. Na očiščenih podatkih smo izvedli hitro Fourierjevo transformacijo (*fast Fourier transformation - FFT*), ki omogoča pretvorbo signalov iz njihove izvirne oblike (npr. čas) v reprezentacijo frekvenčne domene (MathWorks, b.d.). Z omenjenimi nastavitvami smo dobili izračunane vrednosti moči spektra ( $\mu\text{V}^2/\text{Hz}$ ) na 0,5 Hz, kar predstavlja resolucijo frekvenčnega spektra. Skupna moč tete je izražena kot vsota vrednosti na intervalu 4–7,5 Hz, medtem ko je skupna moč alfe izražena kot vsota vrednosti na intervalu 8–12 Hz.

Z namenom zmanjšanja števila neodvisnih spremenljivk (Jaiswal idr., 2010; Lithfous idr., 2015; Weidemann, Mollison in Kahana, 2009), smo 32 EEG kanalov oz. elektrod združili v devet topografskih regij interesa (*regions of interest - ROI*), in sicer: frontalno levo – FL (ki je vključevala elektrode na pozicijah Fp1, AF3 in F3), frontalno desno – FD (Fp1, AF4 in F4), fronto-centralno – FC (Fz, FC1, FC2 in Cz), fronto-temporalno levo – FTL (F7, FC5, T7 in C3), fronto-temporalno desno – FTD (F8, FC6, C4 in T8), posteriorno centralno – PC (CP1, CP2 in Pz), posteriorno levo – PL (CP5, P7, P3 in PO3), posteriorno desno – PD (CP6, P4, P8 in PO4) ter okcipitalno centralno – OC (O1, Oz in O2).



Slika 5.1 Topografski prikaz pozicij elektrod in delitve na regije (ROI).

EEG podatke smo nadaljnje analizirali s programom IBM SPSS Statistics (2012). Vse neodvisne spremenljivke frekvenčnih pasov tete in alfe smo sprva testirali po modelu *Shapiro-Wilk*. Test je razkril kritično odstopanje od normalne distribucije ( $p < ,05$ ) v 63 od skupno 90 primerih (45 spremenljivk za vsakega izmed frekvenčnih pasov), spremenljivke pa so izkazovale desno asimetrično porazdeljenost. Podatke vseh EEG spremenljivk smo transformirali z logaritemsko funkcijo, po aplikaciji katere je glede na *Shapiro-Wilk* oceno nenormalno porazdelitev ohranilo pet spremenljivk: v frekvenčnem območju tete regija FD pri pogoju drugega kontrolnega labirinta (K2\_teta\_FR,  $p = ,027$ ); v frekvenčnem območju alfe pa regija FL pri pogoju učenja labirinta (PR\_alfa\_FL,  $p = ,033$ ), regija FC pri pogoju učenja labirinta (PR\_alfa\_FC,  $p = ,042$ ), regija FL pri pogoju prve ponovitve poti v labirintu (A1\_alfa\_FL,  $p = ,023$ ) ter regija FC pri pogoju drugega poskusa ponovitve (A2\_alfa\_FC,  $p = ,047$ ). Kljub navedenim pomanjkljivostim smo podatke obdelovali po modelu mešane ANOVE, in sicer ločeno za frekvenčni pas tete in frekvenčni pas alfe.

## 6 REZULTATI

### 6.1 NEVROPSIHOLOŠKI TESTI

Spodaj je prikazan povprečen dosežek za posamezen test glede na spol ter statistični parametri *Mann-Whitney*-jevega testa primerjave med spoloma. Pri testih slušno-besednega spomina AVLT-U, odloženega priklica besed AVLT-OP ter mentalnih rotacij MRT višji rezultat kaže na uspešnejšo izvedbo, medtem ko višji rezultat na testih vizualne pozornosti TMT\_A in TMT\_B ter testu orientacije oz. zavzemanja perspektive PTSOT naznanja slabšo izvedbo.

Tabela 6.1 Prikaz povprečnih dosežkov nevropsiholoških testov in primerjava po spolu

Test	Spol	N	Mdn	Mann-Whitney U		
				U	p	r
AVLT-U	M	16	10,60	46,00	,003*	,526
	Ž	15	12,20			
AVLT-OP	M	16	10,00	47,00	,003*	,523
	Ž	15	13,00			
MRT	M	16	8,50	76,50	,086	,311
	Ž	15	6,00			
TMT-A	M	16	24,00	117,00	,922	,022
	Ž	15	24,00			
TMT-B	M	16	47,00	84,00	,163	,257
	Ž	15	42,00			
PTSOT	M	16	18,51	72,00	,060	,341
	Ž	15	28,67			

Mdn = mediana, U = testna statistika za Mann-Whitney test, \* = statistično značilna razlika, r = velikost učinka

Na testu besednega spomina AVLT-U so ženske v povprečju dosegle statistično značilno boljše rezultate kot moški ( $U=46,00$ ;  $p=,003$ ). Prav tako so se s statistično značilnostjo odrezale bolje na testu odloženega besednega priklica AVLT-OP v primerjavi z moškimi ( $U=47,00$ ;  $p=,003$ ).

Opazimo tudi tendenco k razlikam med povprečnimi dosežki moških in žensk pri testih MRT ( $p=,086$ ) in PTSOT ( $p=,060$ ), ki pričajo v korist moškim, čeprav statistična pomembnost razlik med skupinama pri verjetnosti  $\alpha=,05$  ni dosežena.

Na nivoju celotnega vzorca ( $N=31$ ) smo s Spearmanovo metodo opazili visoko pozitivno povezanost med dosežki na testih AVLT-U in AVLT-OP ( $r_s=,699$ ; 95% BCa CI [ ,459, ,838];  $p<,001$ ) ter zmerno pozitivno povezanost med dosežki na testih TMT-A in TMT-B ( $r_s=,435$ ; 95% BCa CI [ ,113, ,724];  $p=,014$ ). Zaznana je bila tudi zmerna negativna povezanost med dosežki testov MRT in AVLT-OP ( $r_s=-,430$ ; 95% BCa CI [ -,735, -,046];

$p=,016$ ) ter MRT in PTSOT ( $r_s=-,444$ ; 95% BCa CI  $[-,718, -,055]$ ;  $p=,012$ ). Med ostalimi primerjalnimi pari testov nismo zaznali statistično pomembnih korelacij.

## 6.2 VEDENJSKI REZULTATI LABIRINTA

Spodnja tabela prikazuje povprečne vrednosti na spremenljivkah *Čas* – število sekund, ki so jih udeleženci potrebovali za dokončanje naloge pri prvi ponovitvi (A1) ter drugi ponovitvi (A2) istega labirinta, ter *Napake* – število izbranih hodnikov, ki ne vodijo do cilja, t.i. slepe ulice, pri prvi (A1) in drugi (A2) ponovitvi istega labirinta.

Tabela 6.2 Primerjava povprečnih dosežkov pri nalogah labirinta A1 in A2

		A1		A2		Wilcoxon Signed-Ranks		
		<i>N</i>	<i>Mdn</i>	<i>N</i>	<i>Mdn</i>	<i>Z</i>	<i>p</i>	<i>r</i>
<b>Čas (s)</b>	Skupno	31	136	30	130	-1,77	,077	-,323
	M	16	135	15	128	-1,85	,064	-,479
	Ž	15	140	15	137	-,51	,608	-,132
<b>Napake</b>	Skupno	31	,00	15	,00	-2,39	<b>,017*</b>	-,436
	M	16	,00	15	,00	-2,05	<b>,041*</b>	-,374
	Ž	15	,00	15	,00	-1,19	,236	-,217

*Mdn* = mediana, *Z* = testna statistika za Wilcoxon Signed-Ranks test, *r* = velikost učinka, \* = statistično značilna razlika

Pri spremenljivki *Čas* nismo zaznali statistično značilne razlike med prvo in drugo ponovitvijo naloge labirinta na nivoju celotnega vzorca, prav tako pa tudi ne znotraj moške ali ženske skupine. Spremenljivka *Napake* je izkazala statistično pomembno razlikovanje med prvo in drugo ponovitvijo naloge na nivoju celega vzorca ( $p=,017$ ). Nadaljnja analiza je razkrila, da je do pomembne razlike v dosežku – nižje število napak v A2 v primerjavi z A1 – prišlo znotraj skupine moških ( $p=,041$ ), medtem ko pri ženskah razlika ni bila statistično značilna ( $p=,236$ ).

Tabela 6.3 Primerjava povprečnih dosežkov nalog labirinta A1 in A2 med spoloma

		<i>N</i>	<i>Mdn</i>	Mann-Whitney <i>U</i>		
				<i>U</i>	<i>p</i>	<i>r</i>
<b>M_Čas (s)</b>	M	15	134	151	,232	,224
	Ž	15	143			
<b>M_Napake</b>	M	15	,00	106	,599	,113
	Ž	15	,00			

M\_Čas = povprečje časov A1 in A2, M\_Napake = povprečje napak v A1 in A2, *Mdn* = mediana, *U* = testna statistika za Mann-Whitney test, *r* = velikost učinka

Povprečen dosežek prve in druge ponovitve se med moškimi in ženskami ni pomembno razlikoval – tako za čas kot tudi za število napak.

Pri celotnem vzorcu ( $N=30$ ; en moški udeleženec je bil izključen iz analize, zaradi nepopolnih podatkov ponovitve A2) smo s *Spearmanovo* metodo opazili močno pozitivno povezanost med časom A1 in številom napak A1 ( $r_s=,787$ ; 95% BCa CI [ ,578, ,917];  $p<,001$ ) ter zmerno pozitivno povezanost med časom A2 in številom napak A2 ( $r_s=,528$ ; 95% BCa CI [ ,272, ,722];  $p=,003$ ). Prav tako smo odkrili zmerno pozitivno povezanost med časom A1 in časom A2 ( $r_s=,593$ ; 95% BCa CI [ ,267, ,819];  $p=,001$ ).

### 6.3 EEG PODATKI

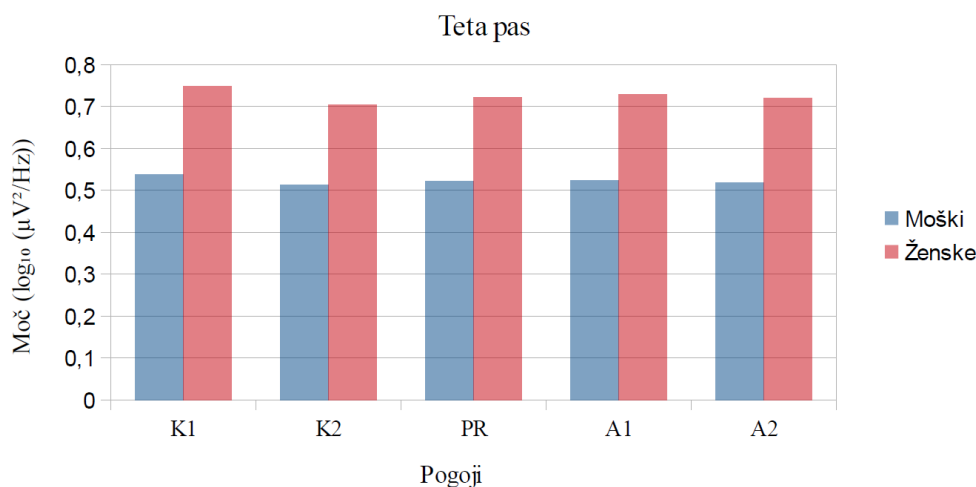
Podatki, predstavljeni v tem poglavju, so pridobljeni na vzorcu 28 udeležencev (15 moških in 13 žensk), saj smo zaradi slabe kvalitete zajetega signala bili primorani podatke 3 udeležencev (1 moškega in 2 žensk) od skupno 31 izključiti iz nadaljnje analize.

Podatki so bili analizirani po model mešane ANOVE z dvema znotraj-subjektima (*within-subject*) faktorjema – tip labirinta oz. *pogoj* (K1, K2, PR, A1 in A2) in *regija* (FL, FD, FC, FTL, FTD, PC, PL, PD in OC); ter enim med-subjektim (*between-subject*) faktorjem – *spol* (M in Ž). Podatke za frekvenčna pasova teta in alfa smo obdelovali ločeno.

#### 6.3.1 Frekvenčni pas teta

*Mauchly*-jev test je razkril kršitev predpostavke o sferičnosti za faktor *regija*,  $\chi^2(35)=56,2$ ,  $p=,014$ , zato smo pri navajanju podatkov upoštevali *Greenhouse-Geisser* popravek ( $\epsilon=,634$ ).

Rezultati med-subjektne faktorja *spol* so pokazali, da obstajajo pomembne razlike v moči teta valov med moškimi in ženskami,  $F(1, 26)=12,9$ ,  $p=,001$ ,  $\eta^2=,332$ , pri čemer so ženske v povprečju izkazale višjo spektralno moč teta v primerjavi z moškimi.



Slika 6.1 Prikaz povprečne moči teta valov pri različnih pogojih labirinta glede na spol.

Rezultati znotraj-subjektivnih faktorjev so razkrili statistično pomembno razliko teta moči za *pogoj*,  $F(4, 104)=6,38$ ,  $p<,001$ ,  $\eta^2=,197$ ; in *regija*,  $F(5,07, 132)=59,1$ ,  $p<,001$ ,  $\eta^2=,695$ . Prav tako se je kot pomembna izkazala tudi interakcija med faktorjema *pogoj* in *regija* (*pogoj\*regija*),  $F(32, 832)=2,12$ ,  $p<,001$ ,  $\eta^2=,075$ .

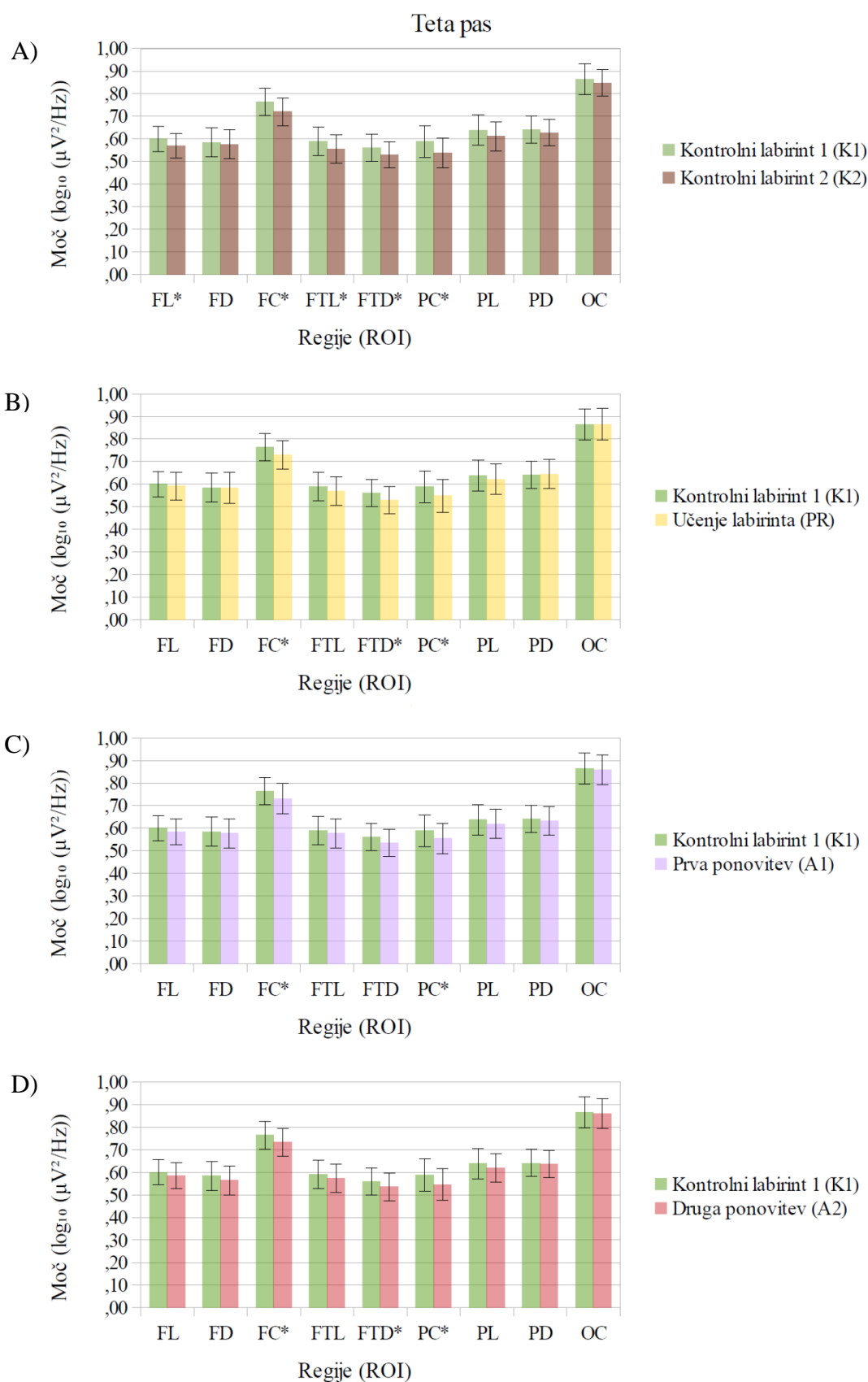
Želeli smo natančneje preučiti omenjeno interakcijo, zato smo opravili *post hoc* analizo parnih primerjav (*pairwise comparisons*) med faktorjema *pogoj* in *regija*. Upoštevali smo *Bonferroni*-jev popravek za večkratne primerjave.

Parne primerjave za interakcijo med faktorjema *pogoj* in *regija* so razkrile, da je na nivoju celotnega vzorca ( $N=28$ ) prišlo do statistično višjih nivojev teta moči pri kontrolnem labirintu K1 v primerjavi s kontrolnim labirintom K2 na sledečih regijah (glej *Slika 6.2 A*): frontalni levi ( $p=,010$ ), fronto-centralni ( $p<,001$ ), fronto-temporalno levi ( $p=,002$ ), fronto-temporalno desni ( $p=,004$ ) ter posteriorni centralni ( $p<,001$ ). Na ostalih regijah pri primerjavi pogojev K1 in K2 nismo zaznali pomembnih razlik ( $p>,066$ ).

Moč tete je bila pri pogoju kontrolni labirint K1 v primerjavi s pogojem učenje labirinta (PR) prav tako statistično značilno višja na (glej *Slika 6.2 B*) fronto-centralni ( $p=,007$ ), fronto-temporalno desni ( $p=,009$ ) in posteriorni centralni ( $p<,001$ ) regiji. Ostale regije pri omenjenih pogojih niso izkazale razlik v moči tete ( $p>,501$ ).

Višji nivoji teta moči so bili opaženi tudi pri pogoju kontrolni labirint K1 v primerjavi s pogojem prva ponovitev (A1; glej *Slika 6.2 C*) in pogojem druga ponovitev (A2; glej *Slika 6.2 D*), in sicer na fronto-centralni ( $p=,010$  za A1;  $p=,007$  za A2) in posteriorni centralni ( $p=,010$  za A1;  $p<,001$  za A2) regiji, pri primerjavi s pogojem A2 pa še na fronto-temporalno desni regiji ( $p=,020$ ). Pri ostalih regijah nismo zaznali pomembnih razlik pri primerjavi med kontrolnim labirintom K1 in prvo (A1) oz. drugo (A2) ponovitvijo ( $p>,054$ ).

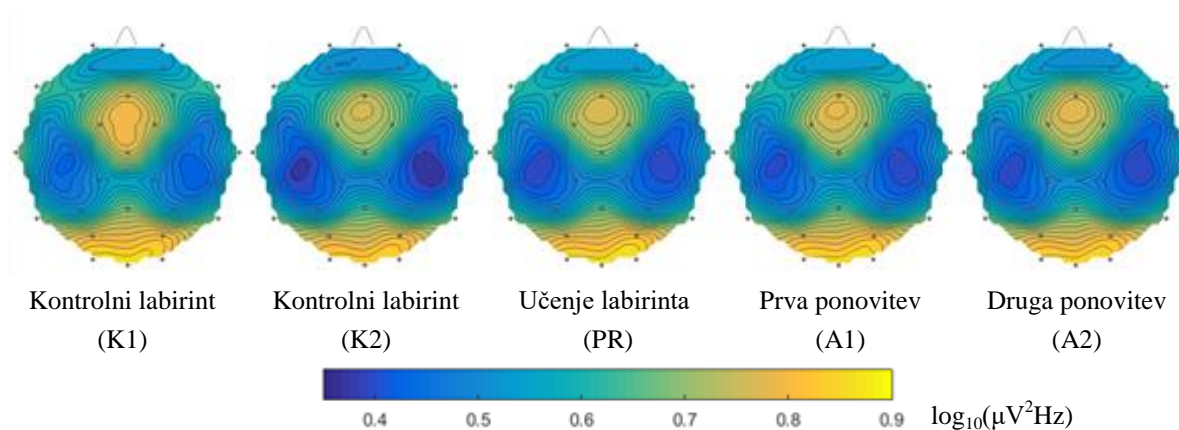
Pomembne razlike v jakosti tete smo opazili zgolj pri primerjavah med kontrolnim labirintom K1 z ostalimi pogoji. Parne primerjave pogojev, ki vključujejo statistično nepomembne razlike, smo izključili iz grafične predstavitve *Slika 6.2*.



Slika 6.2 Prikaz statistično značilnih razlik (\*) z intervali zaupanja (I) za interakcijo med pogoji in regijami za teta pas.



Spodnji prikaz povzema povprečno jakost teta valov glede na topografsko lokacijo in pogoj oz. nalogo v labirintu. Najvišji nivoji teta moči so bili opaženi na fronto-centralni in okcipitalni regiji pri vseh pogojih labirinta.

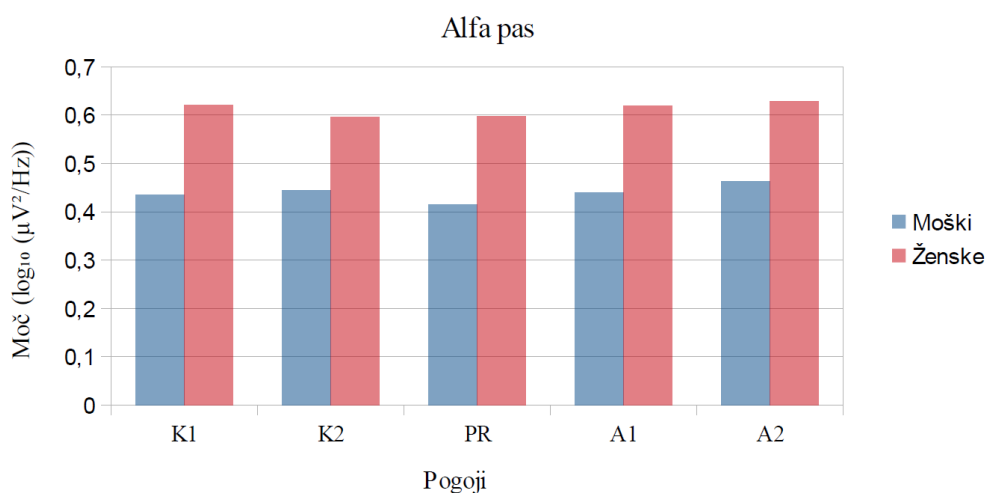


Slika 6.3 Topografski prikaz porazdelitve povprečne jakosti teta valovanja po pogojih.

### 6.3.2 Frekvenčni pas alfa

*Mauchly*-jev test je razkril kršitev predpostavke o sferičnosti za faktor *regija*,  $\chi^2(35)=88,3$ ,  $p<,001$ , zato smo pri navajanju podatkov upoštevali *Greenhouse-Geisser* popravek ( $\epsilon=,525$ ).

Rezultati med-subjektne faktorja *spol* so pokazali, da obstajajo pomembne razlike v moči alfa valov med moškimi in ženskami,  $F(1, 26)=4,48$ ,  $p=,044$ ,  $\eta^2=,147$ , pri čemer so ženske v povprečju izkazale višjo spektralno moč alfa v primerjavi z moškimi.



Slika 6.4 Prikaz povprečne moči alfa valov pri različnih pogojih labirinta glede na spol.

Rezultati znotraj-subjektivnih faktorjev so razkrili statistično pomembno razliko alfa moči za *pogoj*,  $F(4, 104)=5,03$ ,  $p=,001$ ,  $\eta^2=,162$ ; in *regija*,  $F(4,20, 109)=25,2$ ,  $p<,001$ ,  $\eta^2=,492$ . Prav tako se je kot pomembna izkazala tudi interakcija med faktorjema *pogoj* in *regija* (*pogoj\*regija*),  $F(32, 832)=2,12$ ,  $p<,001$ ,  $\eta^2=,075$ .

Z namenom doseganja globljega razumevanja smo za omenjeno interakcijo opravili *post hoc* analizo parnih primerjav (*pairwise comparisons*) med faktorjema *pogoj* in *regija*, pri kateri smo upoštevali *Bonferroni*-jev popravek za večkratne primerjave.

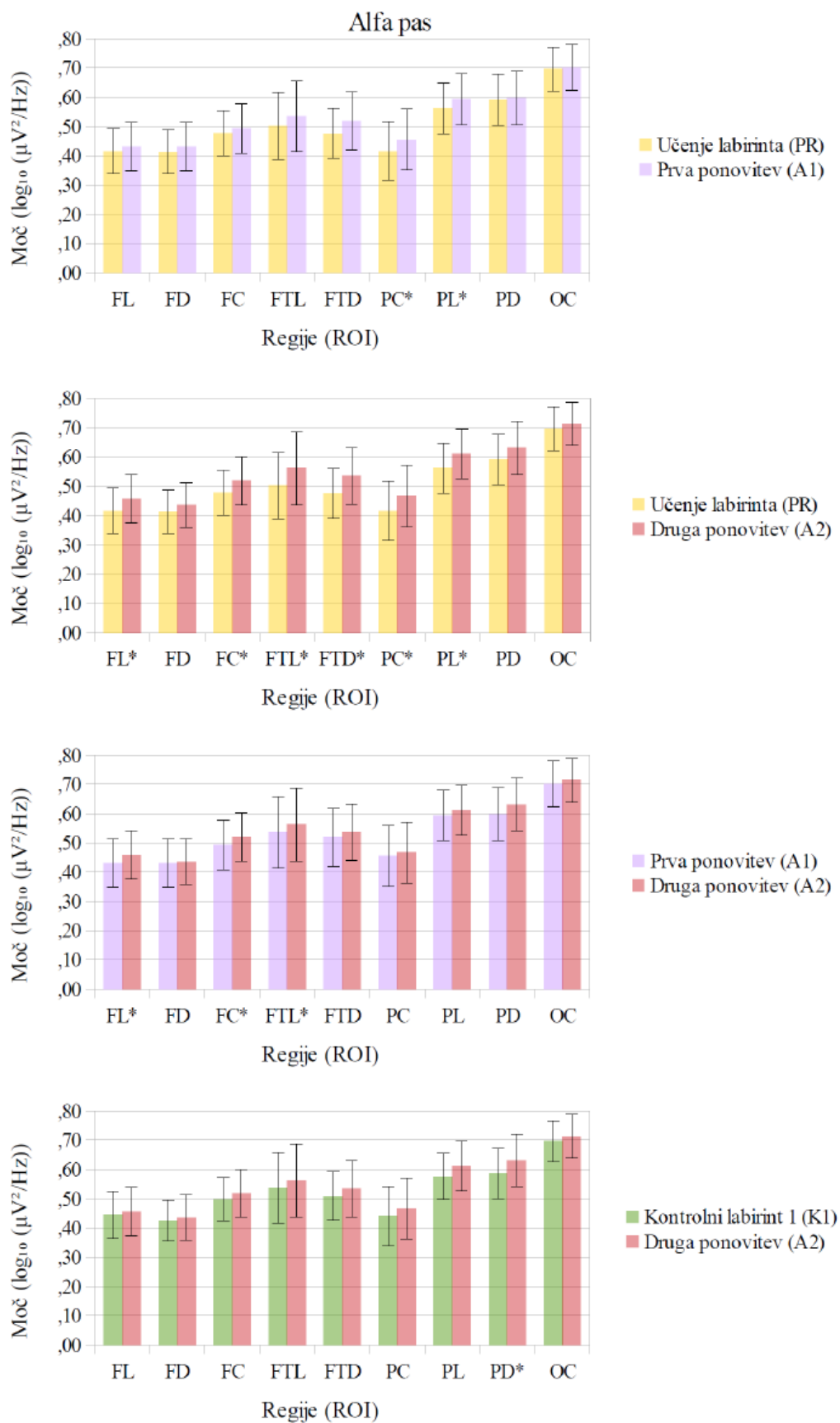
Analiza celotnega vzorca ( $N=28$ ) je razkrila statistično značilne višje nivoje alfa moči pri nalogi prve ponovitve labirinta (A1) v primerjavi s pogojem učenja labirinta (PR), in sicer na posteriorni centralni ( $p=,001$ ) in posteriorni levi ( $p=,044$ ) regiji (glej *Slika 6.5 A*). Na preostalih regijah pri primerjavi pogojev A1 in PR ni bilo razlik ( $p>,065$ ).

Višji nivoji alfa moči so bili opaženi tudi pri pogoju druge ponovitve labirinta A2 v primerjavi s pogojem učenja labirinta (PR) (glej *Slika 6.5 B*), natančneje na frontalni levi ( $p=,007$ ), fronto-centralni ( $p=,001$ ), fronto-temporalno levi ( $p=,005$ ), fronto-temporalno desni ( $p=,006$ ), posteriorni centralni ( $p=,001$ ) in posteriorni levi ( $p=,008$ ) regiji.

Statistično značilne razlike smo prav tako zabeležili pri primerjavi pogoja prve ponovitve labirinta (A1) s pogojem druge ponovitve (A2). Pri slednjem smo pomembno višje ravni alfe opazili na frontalni levi ( $p=,014$ ), fronto-centralni ( $p=,027$ ) ter fronto-temporalno levi ( $p=,049$ ) regiji (glej *Slika 6.5 C*). Ostale regije niso izkazale razlik pri omenjenih pogojih ( $p>,839$ ).

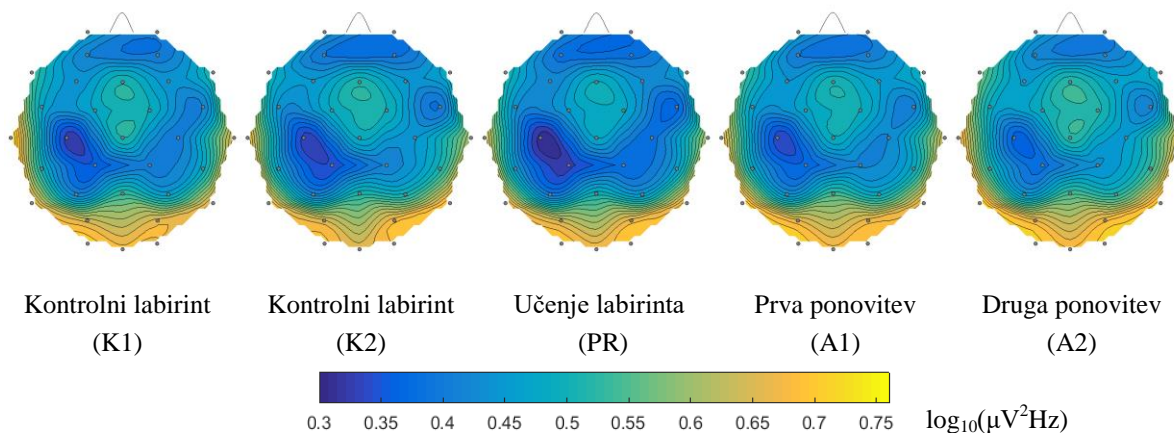
Zadnji par pogojev, pri katerih smo zaznali pomembno razliko v moči alfa spektra znotraj iste regije – parietalne desne, sta kontrolni labirint K1 in pogoj druge ponovitve (A2) ( $p=,042$ ). Slednjega je zaznamovala višja moč alfe (glej *Slika 6.5 D*). Preostalih osem regij se v jakost alfe pri omenjenih pogojih ni razlikovalo ( $p>,129$ ).

Parne primerjave pogojev, pri katerih ni prišlo do statistično značilnih razlik na niti eni izmed regij, smo iz grafične predstavitve *Slika 6.5* izpustili.



Slika 6.5 Prikaz statistično značilnih razlik (\*) z intervali zaupanja (I) za interakcijo med pogoji in regijami za alfa pas.

Spodaj je prikazana topografska razporeditev alfa valovanja glede na pogoj oz. tip labirinta. Najvišji nivoji alfa valovanja so bila zabeležena na okcipitalni regiji, in sicer pri vseh pogojih labirinta.



Slika 6.6 Topografski prikaz porazdelitve povprečne jakosti alfa valovanja po pogojih.

#### 6.4 POVEZANOST VEDENJSKIH REZULTATOV LABIRINTA IN DOSEŽKOV NA TESTIH

S *Spearmanovo* metodo smo preučili, kako se dosežki nevropsiholoških testov povezujejo z vedenjskimi rezultati pri nalogi ponovitev naučenih poti v labirintu – čas potreben za dokončanje prve ponovitve (Čas\_A1), čas potreben za dokončanje druge ponovitve (Čas\_A2), število napak v prvi ponovitvi (Napake\_A1) in število napak v drugi ponovitvi (Napake\_A2).

Tabela 6.4 Prikaz povezanosti dosežkov nevropsiholoških testov s časi nalog labirintov A1 in A2 po spolu

		Čas_A1			Čas_A2		
		<i>N</i>	<i>r<sub>s</sub></i>	<i>p</i>	<i>N</i>	<i>r<sub>s</sub></i>	<i>p</i>
M	AVLT-U	16	-,180	,504	15	-,445	,096
	AVLT-OP	16	,310	,242	15	-,093	,741
	MRT	16	-,075	,784	15	,007	,979
	TMT_A	16	,307	,248	15	<b>,606</b>	<b>,017*</b>
	TMT_B	16	,482	,058	15	<b>,661</b>	<b>,007*</b>
	PTSOT	16	,322	,225	15	,365	,181
Ž	AVLT-U	15	-,056	,843	15	<b>-,562</b>	<b>,029*</b>
	AVLT-OP	15	-,082	,771	15	-,170	,544
	MRT	15	,029	,918	15	<b>,529</b>	<b>,043*</b>
	TMT_A	15	,104	,712	15	,374	,169
	TMT_B	15	,148	,600	15	,063	,824
	PTSOT	15	-,154	,583	15	,340	,215

*r<sub>s</sub>* = Spearmanov korelacijski koeficient, \* = statistično značilna povezanost

Dosežki nevropsiholoških testov niso izkazali nikakršne povezanosti s časom prve ponovitve naloge labirinta tako pri moških kot pri ženskah. Čas druge ponovitve je pri moških izkazal močno pozitivno povezanost z dosežkom na testu TMT\_A ( $r_s=,606$ ,  $p=,017$ ) ter dosežkom na testu TMT\_B ( $r_s=,661$ ,  $p=,007$ ). Pri ženskah pa se je kot statistično značilna izkazala zmerna negativna povezanost med časom druge ponovitve in dosežkom na testu AVLT-U ( $r_s=,562$ ,  $p=,029$ ) ter zmerna pozitivna povezanost med časom ponovitve in dosežkom na testu MRT ( $r_s=,529$ ,  $p=,043$ ).

Število napak, storjenih v prvi in drugi ponovitvi testnega labirinta, ni izkazalo statistično značilne povezanosti z dosežki na nevropsiholoških testih; tako pri moških ( $p>,056$ ) kot tudi pri ženskah ( $p>,154$ ) pri vseh primerjalnih kombinacijah.

## 6.5 POVEZANOST EEG PODATKOV S TESTNIMI IN VEDENJSKIMI DOSEŽKI

Za namene ugotavljanja povezanosti med jakostjo EEG valov in ostalimi parametri smo sprva izračunali povprečno moč teta valov za vse elektrode oz. regije pri določenem pogoju labirinta. Enak postopek smo ponovili tudi za izračun povprečne alfa moči. Tako smo za posamezen pogoj labirinta pri vsakem udeležencu dobili vrednost njegove povprečne teta/alfa moči, ki je služila kot osnova za izračunavanje povezanosti z ostalimi spremenljivkami po *Spearmanovi* metodi ( $N=28$ ).

### 6.5.1 Povezanost vedenjskih rezultatov labirinta in moči teta valov

Edino statistično značilno mero povezanosti med jakostjo teta valov in vedenjskimi rezultati labirinta smo zasledili med spremenljivkama čas prve ponovitve labirinta in povprečna jakost teta valov pri pogoju prve ponovitve labirinta. Izkazali sta šibko pozitivno povezanost ( $r_s=,361$ ,  $p=,046$ ). Moč tete pri ostalih pogojih labirinta se ni povezovala s časom prve ali druge ponovitve labirinta, kot tudi ne s številom napak pri omenjenih ponovitvah ( $p>,076$  pri vseh primerjalnih kombinacijah).

### 6.5.2 Povezanost dosežkov nevropsiholoških testov in moči teta valov

S *Spearmanovo* metodo smo preverili, ali se dosežki nevropsiholoških testov povezujejo z jakostjo teta valov pri določenem pogoju labirinta.

Tabela 6.5 Povezanost jakosti teta valov po pogojih labirinta z dosežki nevropsiholoških testov

	K1		K2		PR		A1		A2	
	$r_s$	$p$	$r_s$	$p$	$r_s$	$p$	$r_s$	$p$	$r_s$	$p$
AVLT-U	,008	,966	-,043	,822	,008	,964	,053	,779	,047	,804
AVLT-OP	,234	,205	,269	,143	,305	,101	,276	,133	,286	,118
MRT	<b>-,399</b>	<b>,026*</b>	-,339	,067	<b>-,375</b>	<b>,038*</b>	<b>-,440</b>	<b>,013*</b>	<b>-,388</b>	<b>,034*</b>
TMT_A	,121	,517	,203	,281	,147	,431	,095	,610	,157	,407
TMT_B	,091	,625	,138	,467	,098	,602	,116	,533	,113	,551
PTSOT	<b>,513</b>	<b>,003*</b>	<b>,582</b>	<b>,001*</b>	<b>,494</b>	<b>,005*</b>	<b>,493</b>	<b>,005*</b>	<b>,527</b>	<b>,003*</b>

$r_s$  = Spearmanov korelacijski koeficient, \* = statistično značilna povezanost

Dosežek na testu mentalnih rotacij (MRT) je izkazal blago do zmerno negativno povezanost z jakostjo teta valov pri kontrolnem labirintu K1 ( $r_s=-,399$ ,  $p=,026$ ), pogoju učenja labirinta ( $r_s=-,375$ ,  $p=,038$ ), prvi ponovitvi naloge labirinta ( $r_s=-,440$ ,  $p=,013$ ) in drugi ponovitvi naloge labirinta ( $r_s=-,388$ ,  $p=,034$ ). Drugi test prostorskih sposobnosti iz našega nabora – test zavzemanja perspektive (PTSOT) – je izkazal zmerno pozitivno povezanost z močjo teta valov pri vseh pogojih labirinta, natančneje K1 ( $r_s=,513$ ,  $p=,003$ ), K2 ( $r_s=,582$ ,  $p=,001$ ), PR ( $r_s=,494$ ,  $p=,005$ ), A1 ( $r_s=,493$ ,  $p=,005$ ) in A2 ( $r_s=,527$ ,  $p=,003$ ).

Pri ostalih nevropsiholoških testih nismo zasledili značilne povezanosti z močjo teta valov pri nobenem pogoju naloge labirinta.

### 6.5.3 Povezanost vedenjskih rezultatov labirinta in moči alfa valov

Kot statistično značilna se je izkazala šibka negativna povezanosti med močjo alfa valov pri pogoju prve ponovitve in številom napak pri pogoju druge ponovitve ( $r_s=-,372$ ,  $p=,043$ ). Pri ostalih pogojih labirinta nismo zabeležili nikakršne pomembne povezanosti med močjo alfa valov in vedenjskimi spremenljivkami nalog labirinta ( $p>,055$ ).

### 6.5.4 Povezanost dosežkov nevropsiholoških testov in moči alfa valov

Pri preučevanju povezanosti med dosežki nevropsiholoških testov in močjo alfa valov, se je kot statistično značilna izkazala blaga pozitivna povezanost dosežkov na testu PTSOT z močjo alfa valov pri pogoju kontrolni labirint K1 ( $r_s=,379$ ,  $p=,036$ ) ter z močjo alfa valov pri kontrolnim labirintom K2 ( $r_s=,386$ ,  $p=,035$ ). Med ostalimi testi in alfa močjo nismo zasledili povezanosti ( $p>,072$ ).

## 7 RAZPRAVA

V pričujočem delu smo želeli preučiti, kako se možganska električna aktivnost odraža pri različnih nalogah navigacije skozi virtualni labirint. Primerjali smo moč teta in alfa valov med pogoji kontrolnega labirinta A1, učenja labirinta oz. poti (PR), prve ponovitve naučene poti (A1), druge ponovitve naučene poti (A2) ter kontrolnega labirinta K2. Uspešnost opravljenih nalog A1 in A2 glede na čas in število napak smo primerjali med spoloma ter preverili, kako se povezujeta z jakostjo omenjenih tipov valov. Prav tako smo preverili, ali obstajajo razlike med spoloma pri dosežkih na nevropsiholoških testih ter kako se ti povezujejo z uspešnostjo opravljenih nalog v labirintu ter z jakostjo teta in alfa valov pri različnih pogojih labirinta.

Primerjava dosežkov na nevropsiholoških testih med spoloma nam odkrije, da so se ženske bolje odrezale pri nalogah učenja/pomnjenja, ki so vezane na verbalne sposobnosti. Uspešnejše so bile pri takojšnjem priklicu besed – AVLT-U, kot tudi pri odloženem priklicu AVLT-OP. O omenjenem trendu pričajo tudi predhodne raziskave (Greffen, Moar, O'hanlon, Clark in Geffen, 1989; Vakil, Greenstein in Blachstein, 2009). Glede na razpoložljivo literaturo (Hampson in Kimura, 1992; Voyer, Voyer in Bryden, 1995) bi pričakovali boljšo zmogljivost na testih prostorskih sposobnosti (MRT in PTSOT) pri moških, česar pa v pričujočem delu nismo zasledili. Kljub višji stopnji uspešnosti pri moških razlike z ženskami niso statistično značilne – predvidevamo, da bi z večanjem vzorca razlike postale očitnejše.

Hipoteza H1 se dotika vedenjskih rezultatov labirinta in predvideva, da bodo moški v povprečju pri nalogi labirinta napravili manj napak kot ženske. Na podlagi vzorca, ki je bil vključen v študijo, hipoteze H1 nismo uspeli potrditi. Število napak, ki so jih moški v povprečju skozi potovanje po labirintu pri pogojih A1 in A2 napravili, se ni statistično značilno razlikovalo od števila napak pri ženskem delu vzorca. Moške superiornosti ne področju prostorskih sposobnosti, ki jo predhodne študije omenjajo (Galea in Kimura, 1993; Moffat idr., 1998), nismo uspeli replicirati. Kljub temu pa smo opazili statistično značilen trend izboljševanja oz. nižanja števila napak od ponovitve A1 do ponovitve A2 znotraj moške podskupine ( $Z=-2,05$   $p=,041$   $r=-,374$ ), kar bi lahko namigovalo na višjo stopnjo spretnosti in hitrejšo učenje med moškimi, o čemer poročajo tudi Moffat in sodelavci (1998). Slednji so izpostavili tudi dejstvo, da so moški naloge opravili hitreje kot ženske – tj. da so potrebovali manj časa, česar pa pri naši študiji nismo opazili. Naša programska oprema – labirint (Brain Powered Games: Maze Training, 2016) namreč ni omogočala premikanja po tunelih z različno hitrostjo, temveč zgolj s konstantno. Omenjeno dejstvo bi lahko predstavljalo ključen razlog za nizko variabilnosti na čas vezanih rezultatov, saj omejenost na konstantno hitrost onemogoča jasno odražanje posameznikovih spretnosti. Rezultat časa je tako do neke mere posledica zgoraj navedenih nastavitvev.

Analiza EEG podatkov je pri ženskah v primerjavi z moškimi razkrila višjo spektralno moč tako teta kot alfa valov, in sicer pri vseh petih pogojih labirinta. Vzrok za omenjen pojav so raziskovalci pretekle študije pripisali razlikam v lobanjskih karakteristikah med moško in žensko populacijo (Dijk, Beersma in Bloem, 1989). Pri moških je bila namreč odkrita povezava med nižjimi ravni EEG delta moči in večjo debelino lobanje. Prav tako je bila opažena zmerna pozitivna povezanost med šibkejšo močjo alfa valov in debelino lobanje (Hagemann, Hewig, Walter in Naumann, 2008).

Teta moč je v nasprotju s pričakovanji in izsledki predhodnih raziskav (Jaiswal idr., 2010) izkazala najvišjo moč pri pogoju kontrolnega labirinta K1 – tj. pri labirintu, ki od udeležencev ni zahteval nikakršnega pomnjenja oz. kognitivne obremenitve. Slednji je predstavljal edini pogoj, ki je izkazal statistično značilne razlike v primerjavi z ostalimi pogoji, medtem ko je primerjava ostalih parov pogojev odkrila, da med njimi ni razlik – povedano drugače, pogoji K2, PR, A1 in A2 se v moči tete niso razlikovali na niti eni regiji. Glede na izsledke Jaiswal in sodelavcev (2010) bi najvišje ravni teta moči pričakovali pri kognitivno najbolj zahtevnem pogoju, torej pri pogoju učenja labirinta, ki ga zaznamuje proces vkodiranja novih informacij. Omenjeni rezultati od nas zahtevajo, da ovržemo hipotezo H3, po kateri naj bi kontrolni labirint zaznamovala nižja raven teta moči v primerjavi s pogojem učenja poti pri testnem labirintu, česar pri naših podatkih nismo zasledili. Prav tako pa moramo ovreči tudi hipotezo H4, ki je narekovala višje ravni teta moči pri pogoju učenja labirinta v primerjavi s pogojem priklica oz. ponovitve labirinta, saj na zajetih podatkih med omenjenima pogojema niso našli razlik v moči teta valov.

Pogoj kontrolnega labirinta v naši študiji je z vidika kognitivne obremenitve najbolj podoben pogoju proste navigacije v študiji Jaiswal in sodelavcev (2010) – omenjena pogoja od udeležencev nista zahtevala nikakršnega mentalnega naprežanja, pomnjenja ali učenja. Čeprav sta se pogoja med seboj rahlo razlikovala (pri nas so udeleženci imeli cilj, saj so morali slediti poti in priti do konca labirinta, medtem ko so v primerjalni študiji le prosto navigirali po prostoru) opazimo med študijama podobne rezultate: primerjava moči teta valov pri pogoju K1 v pričujoči študiji je izkazala višji nivo izraženosti na fronto-centralni in posteriorni centralni regiji v primerjavi s pogojema prve (A1) in druge (A2) ponovitve, medtem ko je moč teta valov v študiji Jaiswal in sodelavcev (2010) pri pogoju proste navigacije izkazala višjo izraženost na fronto-centralni in frontalni desni regiji v primerjavi s pogojem ponovitve (priklicem). Vprašanje, ki se nam poraja, in zaradi katerega moramo biti previdni pri podajanju enoznačnih zaključkov, se nanaša na odsotnost opaženega fenomena višje teta moči na frontalnih regijah kontrolnega labirinta K2 v primerjavi s pogojema ponovitev poti A1 in A2. Labirinta K1 in K2 sta namreč z vidika zahtev popolnoma enaka, le v konfiguraciji se razlikujeta.



Moč tete na fronto-centralni regiji je bila pri pogoju kontrolni labirint K1 statistično značilno višja od moči tete na omenjeni regiji pri vseh ostalih pogojih, ne le v primerjavi s pogojema ponovitev poti A1 in A2. Ker je bil kontrolni labirint K1 tudi prvi izmed pogojev labirinta, ki so jih udeleženci opravljali, sklepamo, da bi omenjena razlika lahko bila odraz napetosti oz. tesnobe pred nepoznano situacijo, v kateri so se udeleženci v sklopu meritev znašli. Cavanagh in Shackman (2015) namreč opozarjata na visoke ravni teta moči na fronto-centralni regiji tako med kognitivno obremenjujočimi nalogami kot tudi v stanju anksioznosti oz. tesnobe. Teta aktivnost na fronto-centralnem področju naj bi na nevrofiziološki bazi služila kot mehanizem za optimalno prilagajanje vedenja negotovostim, ki v situacijah povzročajo anksioznost in zahtevajo kognitivni nadzor. Predvidevamo, da je po uspešno končani prvi nalogi – kontrolnemu labirintu K1 – pri udeležencih narasel občutek seznanjenosti oz. domačnosti ter hkrati upadel občutek tesnobe, kar bi lahko razložilo opažen fenomen najvišje teta moči na fronto-centralni regiji pri pogoju K1 v primerjavi z drugimi pogoji, ter nižanje teta moči na omenjeni regiji pri ostalih pogojih, ki so kontrolnemu labirintu K1 sledili.

Dodatno podporo za zgornja predvidevanja najdemo tudi pri rezultatih moči alfa valov, ki so sicer v splošnem značilna za stanja umirjenosti oz. sproščenosti (WebMD, b.d.) in se najpogosteje pojavljajo na okcipitalnih predelih, kar je opazno tudi pri rezultatih pričujoče študije. Namreč, pogoji učenja labirinta, prve ter druge ponovitve labirinta so si na meritvah sledili v zapisanem vrstnem redu in moč alfe je z vsakim naslednjim pogojem naraščala. Prav tako je bila moč alfe višja pri pogoju druge ponovitve v primerjavi s kontrolnim labirintom K1. Zato bi lahko sklepali, da so se udeleženci po začetni napetosti oz. tesnobi, ki je v pričujočem delu lahko videna kot visoka moč tete na FC regiji in nizka moč alfe na OC regiji, tekom trajanja meritev sprostiti in umirili, kar bi lahko rezultiralo v nižjih ravneh FC teta moči in višjih ravneh OC alfa moči ob koncu meritev.

Alfa valovanje naj med procesom koncentriranja ne bi bilo močno izraženo (WebMD, b.d.). V kolikor bi naloga učenja labirinta (PR) od udeležencev zahtevala visoke nivoje ohranjanja koncentracije oz. mentalnega naprežanja ob procesu vkodiranja novih informacij, bi pri omenjenem pogoju pričakovali nizke ravni alfe. Vendar pa se nivo alfa moči pri PR in razlikoval od nivoja alfa moči pri nobenem izmed kontrolnih labirintov (K1 in K2), ki mentalnega naprežanja niso izzivali. Predvidevamo, da je zahtevnost naloge učenja labirinta bila za naš vzorec prenizka oz. mentalno premalo naporna in zato ni izzvala visokih nivojev koncentriranja ter značilnega odtisa električnih možganskih valov, opaženega pri Jaiswal in sodelavcih (2010). Druga razlaga, ki bi potencialno lahko pojasnila neskladnosti z zgoraj izpostavljeno študijo, pa se nanaša na zgradbo samega labirinta. Namreč, pot med enim in drugim križiščem je zaradi konstantne hitrosti premikanja nemogoče prehoditi v manj kot 20 sekundah. Kognitivni napor, ki je povezan z zapornitvijo ustrezne smeri, pa je vezan le na pet točk znotraj labirinta – pet križišč. To

pomeni, da se lahko kognitivni napor, ki je sicer posledica ohranjanja informacij o pravi poti, nekako porazgubi v množici podatkov, ki pravzaprav izvirajo iz golega premikanja in ne odražajo kognitivnega napora.

Pri ugotavljanju povezanosti med dosežki nevropsiholoških testov in časom, v katerem udeleženci končajo nalogi ponovitev labirinta, samo pri moških opazili pozitivno povezanost med dosežki testov TMT\_A in TMT\_B s časom druge ponovitve labirinta. Udeleženci, ki so dlje časa potovali skozi labirint pri pogoju A2, so potrebovali tudi več časa za dokončanje testov TMT\_A in TMT-B, ki sicer odražata stopnjo vizualne pozornosti. Sklepamo, da je visok nivo vizualne pozornosti igral ključno vlogo pri uspešnosti omenjenih nalog. Pri ženskah pa smo opazili negativno povezanost med dosežkom na testu besednega spomina AVL-T-U in časom labirinta A2. Ženske, ki so se bolje odrezale na testu besednega spomina, so za potovanje po labirintu A2 potrebovale manj časa in obratno. Morda so ženske z bolj izraženo verbalno sposobnostjo, le-to uporabljale tudi pri navigiranju po labirintu, saj bi učinkovita strategija za navigacijo lahko bila samo-usmerjanje na način levo-desno-naravnost, torej preko besednih napotkov. Labirint A2 so z nižjim časom končale tudi ženske, ki so na testu mentalnih rotacij – MRT – dosegale slabše rezultate in obratno. Slednji rezultat podpira dognanja Borich in Bauman (1972), ki pravita, da naj bi sposobnost prostorskega navigiranja in sposobnost mentalnega manipuliranja objektov bili vezani na dva ločena sistema procesiranja vidno-prostorskih informacij. V luči omenjenih povezanosti med vedenjskimi rezultati labirinta in dosežki nevropsiholoških testov bi hipotezo H2 lahko pogojno potrdili. Uspešnejša izvedba nalog TMT\_A in TMT\_B pri moških ter AVL-T-U pri ženskah se je povezovala z uspešnejšim nastopom pri nalogi labirinta A2. Vendar pa smo nasprotno opazili pri dosežkih žensk na testu MRT v povezavi s časom A2, zaradi česa bi hipotezo H2 lahko tudi ovrgli. Prav tako povezanosti v ostalih primerih niti nismo zasledili, kar namiguje na bolj kompleksno, nelinearno relacijo med dosežki na nevropsiholoških testih in časom, v katerem udeleženci končajo nalogo labirinta.

Pozitivno povezanost sta izkazali tudi spremenljivki jakost teta valov pri labirintu A1 in čas labirinta A1. Daljši čas je bil povezan z višjo močjo teta valov. Omenjen rezultat lahko vidimo skozi prizmo tesnobnosti oz. napetosti, fenomenom razloženim zgoraj (Cavanagh in Shackman, 2015). Morda so udeleženci, ki so nalogo labirinta opravili malce manj spretno, ob tem doživljali tesnobna občutja, ki bi lahko rezultirali v višjih nivojih teta moči. Na frekvenčnem območju alfa pa smo zaznali negativno povezanost med močjo alfa valov pri A1 in številom napak pri A2. Rezultat lahko razumemo na način, da je sproščenost, ki naj bi se odražala kot višja alfa moč (WebMD, b.d.) pri pogoju A1, bila značilna za udeležence, ki so se pri labirintu A2 odrezali bolje. Morda je prav predhodna sproščenost pomembno prispevala k uspešni izvedbi naloge labirinta A2.

Statistično značilna negativna povezanost je bila opažena med dosežki na testu MRT in jakostjo teta valov pri pogojih K1, PR, A1 in A2. Udeleženci, ki so test MRT opravili z visoko uspešnostjo, so izkazovali tudi nizke nivoje teta moči pri omenjenih pogojih labirinta, medtem ko so udeleženci s slabšim rezultatom na testu MRT izkazovali visoke nivoje teta moči pri zgoraj zapisanih pogojih. Rezultati kažejo, da so posamezniki, ki so test MRT rešili maj uspešno (naloga je bila glede na njihove sposobnosti zahtevna in predvidevamo, da je terjala visok nivo kognitivne obremenjenosti) tudi pri omenjenih pogojih labirinta izkazovali višje nivoje teta moči, ki pa bi lahko prav tako odražali visoko stopnjo kognitivne aktivnosti (Jaiswal idr., 2010) ali pa visoko stopnjo napetosti oz. tesnobe (Cavanagh in Shackman, 2015). Visok nivo kognitivne aktivnosti bi v takšnem primeru lahko odražal stopnjo težavnosti, ki so jo posamezniki pripisovali nalogi ali jo med trajanjem naloge občutili. Do enakih zaključkov smo prišli pri interpretaciji povezanosti dosežkov na testu PTSOT z jakostjo teta valov pri vseh pogojih labirinta.

## 8 ZAKLJUČEK

V raziskavi, pri kateri smo preučevali odtis možganske električne aktivnosti pri nalogah navigiranja po virtualnem labirintu, nismo zaznali razlik med kognitivno najbolj obremenjujočim pogojem – učenje nove poti – in pogojem priklica naučenih informacij, ki naj bi se odražale v nivoju izraženosti teta valovanja. V skladu z dognanji pretekle študije (Jaiswal idr., 2010) smo opazili višje nivoje fronto-centralne moči teta valovanja pri pogoj labirinta, ki komponente učenja ni posedoval, v primerjavi s pogojem priklica informacij, tj. prve in druge ponovitve poti pri nalogi testnega labirinta. Kljub omenjeni skladnosti, pa opažene povezave med jakostjo teta valov in:

- količino časa, ki je bil potreben za dokončanje naloge priklica poti,
- slabšo izvedbo na testu mentalnih rotacij (MRT) in
- slabšo izvedbo na testu zavzemanja perspektive (PTSOT),

ne podpirajo dognanj predhodnih študij. Po pričakovanjih so se ženske v primerjavi z moškimi bolje odrezale na testih besedno-slušnega spomina.

Na podlagi omenjenih izsledkov pričujoča raziskava ne more podati jasnih zaključkov o odnosu med kognitivnimi obremenitvami pri navigiranju skozi virtualni labirint, pojavnostjo teta valovanja in izraženostjo prostorskih sposobnosti. Zaradi klinične potrebe po temeljitejši oceni sposobnosti prostorskega navigiranja je pripomoček virtualnega labirinta v nadaljnjih študijah z večjim številom vzorca smiselno evalvirati in optimizirati glede na parametre specifičnosti, občutljivosti, relevantnosti ter zanesljivosti.

## 9 LITERATURA IN VIRI

- Aguirre, G.K., Detre, J.A., Alsop, D.C. in D'Esposito, M. (1996). The parahippocampus subserves topographical learning in man. *Cerebral Cortex*, 6, 823–829.
- Allen, G.L., Kirasic, K.C., Rashotte, M.A. in Haun, D.B. (2004). Aging and path integration skill: Kinesthetic and vestibular contributions to wayfinding. *Perception and Psychophysics* 66, 170–179.
- Arhiwal, M.K. in Iondhe, N.D. (2012). Power Spectrum Analysis of EEG Signals for Estimating Visual Attention. *International Journal of Computer Applications*, 42 (15), 22–25.
- Arthur, E.J., Hancock, P.A., in Chrysler, S.T. (1997). The perception of spatial layout in real and virtual worlds. *Ergonomics*, 40, 69–77.
- Baddeley, A.D. (1992). Working Memory. *Science*, 255, 556–559.
- Baddeley, A.D. (2000). The episodic buffer: a new component of working memory? *Trends in Cognitive Science*, 4, 417–423.
- Barnes, C.A. (1979). Memory deficits associated with senescence: a neurophysiological and behavioral study in the rat. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 93(1), 74–104.
- Barrash, J. (1998). A historical review of topographical disorientation and its neuroanatomical correlates. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 20, 807–27.
- Bean, J. (2011). Ray Auditory Verbal Learning Test, Ray AVLTL. *Encyclopedia of Clinical Neuropsychology*, 2174-2175.
- Begega, A., Cienfuegos, S., Rubio, S., Santin, J.L., Miranda, R. in Arias, J.L. (2001). Effects of ageing on allocentric and egocentric spatial strategies in the Wistar rat. *Behavioural Processes*, 53, 75-85.
- Berthoz, A. in Viaud-Delmon, I. (1999). Multisensory integration in spatial orientation. *Current Opinion in Neurobiology*, 9(6), 708–712.
- Bohbot, V.D., Lerch, J., Thorndyraft, B., Iaria, G. in Zijdenbos, A.P. (2007). Gray matter differences correlate with spontaneous strategies in a human virtual navigation task. *Journal of Neuroscience*, 27, 10078–10083.
- Borich, G.D. in Bauman, P.M. (1972). Convergent and discriminant validation of the French and Guilford-Zimmerman spatial orientation and spatial visualization factors. *Educational and Psychological Measurement* 32, 1029–1033.
- Brain Powered Games: Maze Training [računalniški program] (2016). Department of Telecommunication, Information Studies and Media College of Communication Arts and Sciences, Games for Entertainment and Learning (GEL) Lab, Michigan State University.
- Brisby, J.A. in Burgess, N. (b.d.). *Spatial memory*. Pridobljeno 1.6.2017 s <https://www.britannica.com/topic/spatial-memory>
- Brodbeck D.R. in Tanninen S.E. (2012). Place Learning and Spatial Navigation. *Encyclopedia of the Sciences of Learning*, 2639-2641.

- Brooks, B.M., Attree, E.A., Rose, F.D., Clifford, B.R. in Leadbetter, A.G. (1999). The specificity of memory enhancement during interaction with a virtual environment. *Memory*, 7(1), 65–78.
- Burgess, N., Maguire, E.A. in O’Keefe, J. (2002). The human hippocampus and spatial and episodic memory. *Neuron* 35, 625–641.
- Caplan, J.B., Madsen, J.R., Raghavachari, S. in Kahana, M.J. (2001). Distinct patterns of brain oscillations underlie two basic parameters of human maze learning. *Journal of Neurophysiology*, 86, 368–380.
- Caplan, J.B., Madsen, J.R., Schulze-Bonhage, A., Aschenbrenner-Scheibe, R., Newman, E.L. in Kahana, M.J. (2003). Human theta oscillations related to sensorimotor integration and spatial learning. *Journal of Neuroscience*, 23, 4726–4736.
- Cavanagh, J.F. in Shackman, A.J. (2015). Frontal midline theta reflects anxiety and cognitive control: Meta-analytic evidence. *Journal of Physiology-Paris*, 109(1-3), 3–15.
- Cushman, L.A., Stein, K., in Duffy, C.J. (2008). Detecting navigational deficits in cognitive aging and Alzheimer disease using virtual reality. *Neurology*, 71(12), 888–895.
- Delorme, A. in Makeig, S. (2004). EEGLAB: an open source toolbox for analysis of single-trial EEG dynamics including independent component analysis. *Journal of Neuroscience Methods*, 134, 9–21.
- Dennis, N.A. in Cabeza, R. (2008). Neuroimaging of healthy cognitive aging. V F.I.M Craik in T.A. Salthouse (ur.) *The handbook of aging and cognition* (311–372). New York and Hove: Psychology Press.
- Dijk, D.J., Beersma, D.G.M. in Bloem, G.M. (1989) Sex differences in sleep EEG of young adults: visual scoring and spectral analysis. *Sleep*, 12(6), 500–506.
- Dolenc, P. in Petrič, M. (2013). The effects of prolonged physical inactivity induced by bed rest on cognitive functioning in healthy male participants. *Annales kinesiologiae*, 4(2), 129–143.
- Ekstrom, A.D., Caplan, J.B., Ho, E., Shattuck, K., Fried, I. in Kahana, M.J. (2005). Human hippocampal theta activity during virtual navigation. *Hippocampus* 15, 881–889.
- Epstein, R.A., Higgins, J.S., Jablonski, K. in Feiler, A.M. (2007). Visual scene processing in familiar and unfamiliar environments. *Journal of Neurophysiology*, 97, 3670–3683
- Epstein, R. in Kanwisher, N. (1998). A cortical representation of the local visual environment. *Nature*, 392, 598–601.
- g.Recorder [Računalniški program]. (2016). Schiedlberg, Austria: g.tec – medical engineering GmbH.
- Galea, L.A.M. in Kimura, D. (1993). Sex differences in route-learning. *Personality and Individual Differences*, 14, 53–65.
- Gallagher, M. in Pelley, M.A. (1988). Spatial learning deficits in old rats: a model for memory decline in the aged. *Neurobiology of Aging*, 9, 549–556.
- Gaulin, S.J.C. in Fitzgerald, R.W. (1986). Sex differences in spatial ability: an evolutionary hypothesis and test. *American Naturalist*, 127, 74–88.

- Gaulin, S.J.C. in Hoffman, H.A. (1988). Evolution and development of sex differences in spatial ability. V L. Betzig, M. Borgerhof-Mulder in P. Turke (ur.) *Human Reproductive Behaviour: A Darwinian Perspective* (129–152). Cambridge: Cambridge University Press.
- Gramann, K., Müller, H.J., Schönebeck, B. in Debus, G. (2006). The neural basis of ego- and allocentric reference frames in spatial navigation: Evidence from spatio-temporal coupled current density reconstruction. *Brain research*, 1118(1), 116-129.
- Greenlee, M. (2000). Human Cortical Areas Underlying the Perception of Optic Flow: Brain Imaging Studies. *International Review of Neurobiology*, 44, 269–92.
- Grefen, G., Moar, K.J., O'hanlon, A.P., Clark, C.R. in Geffen, L.B. (1990). Performance measures of 16- to 86-year-old males and females on the auditory verbal learning test. *The Clinical Neuropsychologist*, 4(1), 45–63.
- Gron, G., Wunderlich, A.P., Spitzer, M., Tomczak, R. in Riepe, M.W. (2000) Brain activation during human navigation: gender-different neural networks as substrate of performance. *Nature: Neuroscience*, 3, 404–8.
- Hagemann, D., Hewig, J., Walter, C. in Naumann, E. (2008). Skull thickness and magnitude of EEG alpha activity. *Clinical Neurophysiology*, 119(6), 1271–1280.
- Halsband, U. (2012). Attention, Memory, and Meditation. V N.M. Seel (ur.) *Encyclopedia of the Sciences of Learning* (362–366). New York: Springer.
- Hampson, E. in Kimura, D. (1992). Sex differences and hormonal influences on cognitive function in humans. V J.B. Becker, S.M. Breedlove in D. Crews (ur.) *Behavioral Endocrinology* (357–398). Cambridge: The MIT Press.
- Hartley, T., Maguire, E.A., Spiers, H.J. in Burgess, N. (2003). The well-worn route and the path less traveled: distinct neural bases of route following and wayfinding in humans. *Neuron*, 37, 877–888.
- Hegarty, M. in Waller, D. (2004). A dissociation between mental rotation and perspective-taking spatial abilities. *Intelligence*, 32, 175-191.
- Hegarty, M. in Waller, D. (2005). Individual differences in spatial abilities. V A. Miyake in P. Shah (ur.) *The Cambridge Handbook of visuospatial thinking* (121–169). New York: Cambridge University Press.
- Holding, C.S. in Holding, D.H. Acquisition of route knowledge by males and females. *The Journal of General Psychology*, 116, 29–41.
- Iaria, G., Chen, J.K., Guariglia, C., Ptito, A. in Petrides, M. (2007). Retrosplenial and hippocampal brain regions in human navigation: complementary functional contributions to the formation and use of cognitive maps. *The European Journal of Neuroscience*, 25, 890–899.
- Iaria, G., Lanyon, L.J., Fox, C.J., Giaschi, D. in Barton, J.J. (2008). Navigational skills correlate with hippocampal fractional anisotropy in humans. *Hippocampus*, 18, 335–339.
- Iaria, G., Palermo, L., Committeri, G., in Barton, J.J. (2009). Age differences in the formation and use of cognitive maps. *Behavioural Brain Research*, 196(2), 187–191.

- Iaria, G., Petrides, M., Dagher, A., Pike, B. in Bohbot, V.D. (2003). Cognitive strategies dependent on the hippocampus and caudate nucleus in human navigation: variability and change with practice. *Journal of Neuroscience*, 23, 5945–5952.
- IBM SPSS Statistics [Računalniški program]. (2012). Version 21.0. Armonk, NY: IBM Corp.
- Jaiswal, N., Ray, W. in Slobounov, S. (2010). Encoding of visual–spatial information in working memory requires more cerebral efforts than retrieval: Evidence from an EEG and virtual reality study. *Brain Research*, 1347, 80–89.
- Kahana, M.J., Sekuler, R., Caplan, J.B., Kirschen, M., in Madsen, J.R. (1999). Human theta oscillations exhibit task dependence during virtual maze navigation. *Nature*, 399, 781–784.
- Kalova, E., Vlcek, K., Jarolimova, E., in Bures, J. (2005). Allothetic orientation and sequential ordering of places is impaired in early stages of Alzheimer's disease: corresponding results in real space tests and computer tests. *Behavioural Brain Research*, 159(2), 175–186.
- Katayama, K., Takahashi, N., Ogawara, K. in Hattori, T. (1999). Pure topographical disorientation due to right posterior cingulate lesion. *Cortex*, 35, 279–82.
- Kavcic, V., Fernandez, R., Logan, D. in Duffy, C.J. (2006). Neurophysiological and perceptual correlates of navigational impairment in Alzheimer's disease. *Brain*, 129 (3), 736–746.
- Kirasic, K.C. (1991). Spatial cognition and behavior in young and elderly adults: implications for learning new environments. *Psychology and Aging*, 6(1), 10–18.
- Klein, D.A., Steinberg, M., Galik, E., Steele, C., Sheppard, J.M., Warren, A., Rosenblatt, A. in Lyketsos, C.G. (1999). Wandering behaviour in community-residing persons with dementia. *International Journal of Geriatric Psychiatry*, 14, 272-279.
- Klimesch, W., Doppelmayr, M., Yonelinas, A., Kroll, N.E., Lazzara, M., Rohm, D. in Gruber, W. (2001). Theta synchronization during episodic retrieval: neural correlates of conscious awareness. *Brain Research; Cognitive Brain Research*, 12, 33–38.
- Kozhevnikov, M. in Hegarty, M. (2001). A dissociation between object-manipulation and perspective-taking spatial abilities. *Memory & Cognition*, 29, 745-756.
- Laczó, J., Vlček, K., Vyhnálek, M., Vajnerová, O., Ort, M., Holmerová, I., Tolar, M., Andel, R., Bojar, M. in Hort, J. (2009). Spatial navigation testing discriminates two types of amnesic mild cognitive impairment. *Behavioural Brain Research*, 202(2), 252–259.
- Li, K.Z.H., Krampe, R.T. in Bondar, A. (2005). An ecological approach to studying aging and dual-task performance. V R.W. Engle, G. Sedek, U. von Hecker in D.N. McIntosh (ur.) *Cognitive limitations in aging and psychopathology* (190–218). Cambridge: Cambridge University Press.
- Lindner, M.D. (1997). Reliability, distribution, and validity of age-related cognitive deficits in the Morris water maze. *Neurobiology of Learning and Memory*, 68, 203-220.



- Lithfous, S., Dufour, A. in Després, O. (2013). Spatial navigation in normal aging and the prodromal stage of Alzheimer's disease: Insights from imaging and behavioral studies. *Aging research reviews*, 12, 201–213.
- Lithfous, S., Tromp, D., Dufour, A., Pebayle, T., Goutangny, R. in Després, O. (2015). Decreased theta power at encoding and cognitive mapping deficits in elderly individuals during a spatial memory task. *Neurobiology of Aging*, 36, 282–2829.
- Lövdén, M., Schaefer, S., Noack, H., Bodammer, N.C., Kühn, S., Heinze, H.J., Düzel, E., Bäckman, L. in Lindenberger, U. (2012). Spatial navigation training protects the hippocampus against age-related changes during early and late adulthood. *Neurobiology of Aging*, 33, 620.e9–620.e22.
- Lövdén, M., Schellenbach, M., Grossman-Hutter, B., Krüger, A. in Lindenberger, U. (2005). Environmental topography and postural control demands shape aging-associated decrements in spatial navigation performance. *Psychology of Aging* 20(4), 683–694.
- Lukoyanov, N.V., Andrade, J.P., Dulce Madeira, M. in Paula-Barbosa, M.M. (1999). Effects of age and sex on the water maze performance and hippocampal cholinergic fibers in rats. *Neuroscience Letter*, 269, 141-144.
- Maguire, E.A. (2001). The retrosplenial contribution to human navigation: a review of lesion and neuroimaging findings. *Scandinavian Journal of Psychology*, 42, 225–238.
- Maguire, E.A., Burgess, N., Donnett, J.G., Frackowiak, R.S., Frith, C.D. in O'Keefe, J. (1998). Knowing where and getting there: a human navigation network. *Science*, 280, 921–924.
- Maguire, E.A., Gadian, D.G., Johnsrude, I.S., Good, C.D., Ashburner, J., Frackowiak, R.S. in Frith, C.D. (2000). Navigation-related structural change in the hippocampi of taxi drivers. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 97, 4398–4403.
- MATLAB [Računalniški program]. (2016). Natick, MA: The MathWorks, Inc.
- MathWorks (b.d.) *FFT – fast Fourier transform*. Pridobljeno 6.8.2017 s <https://www.mathworks.com/help/matlab/ref/fft.html>
- McGuinness, D. in Sparks, J. (1983). Cognitive style and cognitive maps: sex differences in representations of a familiar terrain. *Journal of Mental Imagery* 7, 91–100.
- Milner, A.D. in Goodale, M.A. (1993). Visual pathways to perception and action. *Progress in Brain Research*, 95, 317–337.
- Mitchell, D.J., Mc Naughton, N., Flanagan, D. in Kirk, I.J. (2008). Frontal-midline theta from the perspective of hippocampal »theta. *Progress in Neurobiology*, 86, 156–186.
- Moffat, S.D. (2009). Aging and Spatial Navigation: What Do We Know and Where Do We Go? *Neuropsychology Review*, 19, 478-489.
- Moffat, S.D., Elkins, W. in Resnick, S.M. (2006). Age differences in the neural systems supporting human allocentric spatial navigation. *Neurobiology of Aging*, 27, 965–972.

- Moffat, S.D., Hampson, E. in Hatzipantelis, M. (1998). Navigation in a “Virtual” Maze: Sex Differences and Correlation With Psychometric Measures of Spatial Ability in Humans. *Evolution and Human Behavior*, 19, 73–87.
- Moffat, S.D., Kennedy K.M., Rodrigue, K.M. in Raz, N. (2007). Extrahippocampal Contributions to Age Differences in Human Spatial Navigation. *Cerebral Cortex*, 17, 1274-1282.
- Moffat, S.D. in Resnick, S.M. (2002). Effects of age on virtual environment place navigation and allocentric cognitive mapping. *Behavioral Neuroscience*, 116(5), 851–859.
- Moffat, S.D., Zonderman, A.B., in Resnick, S.M. (2001). Age differences in spatial memory in a virtual environment navigation task. *Neurobiology of Aging*, 22(5), 787–796.
- Montello, D.R. (1998). A new framework for understanding the acquisition of spatial knowledge in large-scale environments. V M.J. Egenhofer in R.G. Golledge (ur.), *Spatial and Temporal Reasoning in Geographic Information Systems* (143-154). New York: Oxford University Press.
- Morris, R.G., Garrud, P., Rawlins, J.N. in O’Keefe, J. (1982). Place navigation impaired in rats with hippocampal lesions. *Nature*, 297, 681--683.
- Newman, M. in Kaszniak, A. (2000). Spatial memory and aging: performance on a human analog of the Morris water maze. *Aging Neuropsychology and Cognition*, 7, 86-93.
- Péruch, P. in Wilson, P.N. (2004). Active versus passive learning and testing in a complex outside built environment. *Cognitive Processing*, 5, 218–227.
- Peters, M., Laeng, B., Latham, K., Jackson, M., Zaiyouna, R. in Richardson, C. (1995). A redrawn Vandenberg and Kuse Mental Rotations Test: Different versions and factors that affect performance. *Brain and Cognition*, 28, 39–58.
- Plöchl, M., Ossandon, J.P. in König, P. (2012). Combining EEG and eye-tracking: identification, characterization, and correction of eye movement artifacts in electroencephalographic data. *Frontiers in Human Neuroscience*, 6, Article 278, 1–23.
- Raz, N., Gunning-Dixon, F., Head, D., Rodrigue, K.M., Williamson, A. in Acker, J.D., (2004). Aging, sexual dimorphism, and hemispheric asymmetry of the cerebral cortex: replicability of regional differences in volume. *Neurobiology of Aging*, 25, 377–396.
- Reitan, R.M. (1958). Validity of the Trail Making test as an indicator of organic brain damage. *Perceptual and Motor Skills*, 8, 271–276.
- Rey, A. (1941). L’examen psychologique dans le cas d’encephalopathie traumatique. *Archives de Psychologie*, 28, 286–340.
- Roof, R.F. in Havens, M.D. (1992). Testosterone improves maze performance and induces development of a male hippocampus in females. *Brain Research*, 572, 310–313.
- Ruddle, R.A., Payne, S.J., in Jones, D.M. (1997). Navigating buildings in desk-top virtual environments: experimental investigations using extended navigational experience. *Journal of Experimental Psychology*, 3, 143–159.
- Sandamas, G. in Foreman, N. (2007). Drawing Maps and Remembering Landmarks after Driving in a Virtual Small Town Environment. *Journal of Maps*, 35-45.

- Sarnthein, J., Petsche, H., Rappelsberger, P., Shaw, G.L. in Von Stein, A. (1998). Synchronization between prefrontal and posterior association cortex during human working memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 95, 7092–7096.
- Sauseng, P., Griesmayr, Freunberger, R., in Klimesch, W. (2010). Control mechanisms in working memory: A possible function of EEG theta oscillations. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 34, 1015–1022.
- Shrager, Y., Bayley, P.J., Bontempi, B., Hopkins, R.O. in Squire, L.R. (2007). Spatial memory and the human hippocampus. *Proceedings of the National Academy of the United States of America*, 104(8), 2961–2966.
- Siegel, A.W. in White, S.H. (1975). The development of spatial representations of large-scale environments. V H.W. Reese (ur.). *Advances in Child Development and Behavior, Volume 10* (9–55). New York: Academic Press.
- Silverman, I. in Eals, M. (1992). Sex differences in spatial abilities: evolutionary theory and data. V J.H. Barkow, L. Cosmides in J. Tooby (ur.) *The Adapted Mind* (533–549). New York: Oxford.
- Sjolinder, M., Hook, K., Nilsson, L. G., in Andersson, G. (2005). Age differences and the acquisition of spatial knowledge in a three-dimensional environment: Evaluating the use of an overview map as a navigation aid International. *Journal of Human Computer Studies*, 63, 537–564.
- Spiers, H.J. in Maguire, E.A. (2006). Thoughts, behaviour, and brain dynamics during navigation in the real world. *NeuroImage*, 31(4), 1826–1840.
- Spiers, H.J. in Maguire, E.A. (2007). The neuroscience of remote spatial memory: A story of two cities. *Neuroscience*, 149, 7–27.
- Stam, C.J., van Cappellen van Walsum, A.M., Micheloyannis, S. (2002). Variability of EEG synchronization during a working memory task in healthy subjects. *International Journal of Psychophysiology*, 46, 53–66.
- Summerfield, C. in Mangels, J.A. (2005). Coherent theta-band EEG activity predicts item-context binding during encoding. *Neuroimage* 24, 692–703.
- Squire, L.R., Stark, C.E. in Clark, R.E. (2004). The medial temporal lobe. *Annual Review of Neuroscience*, 27, 279–306.
- Taillade, M., Sauzéon, H., Arvind Pala, P., Déjos, M., Larrue, F., Gross, C., in N’Kaoua, B. (2013). Age-Related Wayfinding Differences in Real Large-Scale Environments: Detrimental Motor Control Effects during Spatial Learning Are Mediated by Executive Decline? *PLoS ONE*, 8(7).
- Taylor, H.A., Naylor, S.J. in Chechile, N.A. (1999). Goal-specific influences on the representation of spatial perspective. *Memory & Cognition*, 27(2), 309–319.
- The Neurophysiological Biomarker Toolbox (2017). *How to remove bad channels and transient artifacts*. Pridobljeno 7.8.2017 s [https://www.nbtwiki.net/doku.php?id=tutorial:rejection\\_of\\_transient\\_artifacts](https://www.nbtwiki.net/doku.php?id=tutorial:rejection_of_transient_artifacts)
- Tombaugh, T.N. (2004). Trail Making Test A and B: Normative data stratified by age and education. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 19(2), 203–214.

- Trans Cranial Technologies (2012). *10/20 System Positioning: Manual*. Pridobljeno 30.6.2017 s [https://www.transcranial.com/local/manuals/10\\_20\\_pos\\_man\\_v1\\_0\\_pdf.pdf](https://www.transcranial.com/local/manuals/10_20_pos_man_v1_0_pdf.pdf)
- Vakil, E., Greenstein, Y. in Blachstein, H. (2009). Normative data for composite scores for children and adults derived from the Rey Auditory Verbal Learning Test. *The Clinical Neuropsychologist*, 24(4), 662–677.
- van Asselen, M., Fritschy, E. in Postma, A. (2006). The influence of intentional and incidental learning on acquiring spatial knowledge during navigation. *Psychological Research*, 70, 151–156.
- Van der Elst, W., Van Boxtel, M.P.J., Van Breukelen, G.J.P. in Jolles, J. (2005). Rey's Verbal Learning Test: Normative data for 1,855 healthy participants aged 24-81 years and the influence of age, sex, education, and mode of presentation. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 11, 290–302.
- Vann, S.D., Aggleton, J.P. in Maguire, E.A. (2009). What does retrosplenial cortex do? *Nature Reviews Neuroscience*, 10(11), 792–802.
- von Stülpnagel, R. in Steffens, M.C. (2013). Active route learning in virtual environments: disentangling movement control from intention, instruction specificity, and navigation control. *Psychological research*, 77, 555-574.
- Voyer, D., Voyer, S. in Bryden, M.P. (1995). Magnitude of sex differences in spatial abilities: a meta-analysis and consideration of critical variables. *Psychological Bulletin*, 117, 250–270.
- Young, C.K. in McNaughton, N. (2008). Coupling of theta oscillations between anterior and posterior midline cortex and with the hippocampus in freely behaving rats. *Cerebral Cortex*, 19(1), 24 – 40.
- Waller, D. (2000). Individual differences in spatial learning from computer-simulated environments. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 6(4), 307-321.
- WebMD. (b.d.) *Electroencephalogram (EEG)*. Pridobljeno 26.6.2017 s <http://www.webmd.com/epilepsy/electroencephalogram-21508#1>
- Weidemann, C.T., Mollison, M.V. in Kahana, M.J. (2009). Electrophysiological correlates of high-level perception during spatial navigation. *Psychonomic Bulletin & Review*, 16(2), 313–319.
- Wiener, J.M., Ehbauer, N.N. in Mallot, H.A. (2009). Planning paths to multiple targets: memory involvement and planning heuristics in spatial problem solving. *Psychological Research*, 73(5), 644–658.
- Wilkniss, S.M., Jones, M.G., Korol, D.L., Gold, P.E., in Manning, C.A. (1997). Age-related differences in an ecologically based study of route learning. *Psychology and Aging*, 12(2), 372–375.
- Williams, C.L. in Meck, W.H. (1991). The organizational effects of gonadal steroids on sexually dimorphic spatial ability. *Psychoneuroendocrinology*, 16, 155–176.
- Witmer, B.G., Bailey, J.H., in Knerr, B.W. (1996). Virtual spaces and real world places: transfer of route knowledge. *International Journal of Human Computer Studies*, 45, 413–428.

- Wolbers, T. in Buchel, C. (2005). Dissociable retrosplenial and hippocampal contributions to successful formation of survey representations. *Journal of Neuroscience*, 25, 3333–3340.
- Wolbers, T., Weiller, C. in Buchel, C. (2004). Neural foundations of emerging route knowledge in complex spatial environments. *Brain Research*, 21, 401–411.
- Wolbers, T., Wiener, J.M., Mallot, H.A. in Buchel, C. (2007). Differential recruitment of the hippocampus, medial prefrontal cortex, and the human motion complex during path integration in humans. *Journal of Neuroscience*, 27, 9408–9416.
- Wurtz, R.H. in Kandel E.R. (2000). Perception of Motion, Depth, and Form. V E.R. Kandel, J. H. Schwartz in T. M. Jessel (ur.) *Principles of neural science* (549–571). New York: McGraw-Hill.

## PRILOGA A:

### IZJAVA O SVOBODNI IN ZAVESTNI PRIVOLITVI ZA SODELOVANJE V RAZISKAVI

#### Raziskava: **Nevrofiziološki vidiki virtualne prostorske navigacije**

Vabljeni ste k sodelovanju v raziskavi, ki v poteka v okviru magistrskega študija biopsihologije na FAMNIT, Univerze na Primorskem, ki jo izvajata Manca Peskar in David Medica. Namen raziskave je osvetliti nevrofiziološke vidike virtualne prostorske navigacije in njihovo povezanost s kognitivnimi in prostorskimi sposobnostmi.

Udeleženci bodo opravljali naloge povezane z virtualno prostorsko navigacijo na računalniku med istočasnim zajemom EEG signala. V drugem delu raziskave bodo udeleženci reševali kognitivne teste in teste prostorskih sposobnosti.

Vaše sodelovanje v raziskavi je v celoti prostovoljno in ga lahko med preizkušnjo kadarkoli prekinete brez posledic.

Storili bomo vse, da zaščitimo vašo zasebnost. Rezultati preizkušnje in spremljajoči demografski podatki (starost in spol) bodo shranjeni pod raziskovalno šifro. Javno bodo objavljeni in dostopni le skupinski rezultati. Vaša identiteta v nobenem primeru ne bo razkrita.

V primeru morebitnih dodatnih vprašanj se lahko obrnete na:

- Manca Peskar [manca.peskar@gmail.com](mailto:manca.peskar@gmail.com) ali
- David Medica [medicadavid@gmail.com](mailto:medicadavid@gmail.com) .

S podpisom jamčim, da sem izjavo prebral/-a in da sem dobil/-a priložnost za postavitve vprašanj v zvezi z raziskavo. Potrjujem svojo privolitev za udeležbo v opisani raziskavi, "Nevrofiziološki vidiki virtualne prostorske navigacije" ter dovolim uporabo rezultatov v pedagoške in znanstveno-raziskovalne namene.

---

Ime, priimek in podpis udeleženca

---

Datum

---

Ime, priimek in podpis izvajalca raziskave

---

Datum

---

Ime, priimek in podpis izvajalca raziskave

---

Datum