

# PÉCSI TUDOMÁNYEGYETEM

BIOLÓGIAI ÉS SPORTBIOLÓGIAI DOKTORI ISKOLA

SZABÁLYOZÁSBIOLOGIAI PROGRAM

## **A Wi-Fi elektromágneses tér sugárzásának hatása a humán kognitív működésekre**

PhD értekezés tézisei

**Zentai Norbert**



Témavezető:

**Dr. Hernádi István**

habilitált egyetemi docens

**PÉCS, 2019**

# 1. Bevezetés

Az elektromágneses (EM) sugárzás életünk mindennapos velejárója. Az emberi szervezet működése olyanformán alakult, hogy a természetben fellépő, átlagos mértékű EM hatások közvetlenül nem befolyásolják az életfolyamatokat. A mesterséges sugárforrások megjelenésével, a mikrohullámú (MH) és rádiófrekvenciás (RF) sugárterhelés rohamos, a mobilkommunikációs eszközök használatának exponenciális növekedésével azonban számottevően megváltozott az élő szervezetek, közöttük az emberi szervezet reagálása az EM hatásokra. Mobiltelefonok által generált 450-2700 MHz frekvenciatartományba eső, 0,1-2 W teljesítményű EM terek humán szervezetre gyakorolt hatását az elmúlt két évtizedben szerteágazóan vizsgálták (IARC, 2011, WHO, 2011, EFHRAN, 2012). Az eredmények szerint a keletkező EM tér nem okoz inter- és intramolekuláris kötésfelhasításokat, azonban képes lehet megváltoztatni a biológiai rendszer energiaháztartását, normál működését. Kiemelten kutatott a mobiltelefonok hatása a kognitív működésekre. Az EEG-ben megjelenő hatásokkal kapcsolatos eredmények azonban inkonzisztensek (Juutilainen és mtsai., 2011): több kutatás azonosított moduláló hatást az EEG hullámkomponensekre (Borbely és mtsai., 1999; Croft és mtsai., 2010; Curcio és mtsai., 2005; Huber és mtsai., 2002; Leung és mtsai., 2011; Reiser és mtsai., 1995), azonban számos vizsgálat nem talált eltérést (Hietanen és mtsai., 2000; Kleinlogel és mtsai., 2008; Rösche és Mann, 1997; Trunk és mtsai., 2013). Ehhez hasonlóan, a kognitív funkciókkal kapcsolatos kutatási eredmények alapján sincsen egységes kép (van Rongen és mtsai., 2009; Kwon és Hamalainen, 2011), számos kutatás támasztotta alá az EM tér bizonyos módosító hatását (Preece és mtsai., 1999; Koivisto és mtsai., 2000a; 2000b; Edelstyn és Oldershaw, 2002; ), mások nem (Preece és mtsai., 2005; Regel és mtsai., 2007; Stefanics és mtsai., 2008; Trunk és mtsai., 2013, 2014, 2015; Haarala és mtsai., 2003, 2004, 2005, 2007)

A Wi-Fi-kompatibilis eszközök által generált EM terek egy jó része hasonló paraméterekkel jellemezhető a mobiltelefonok EM sugárzásához képest, és ezen eszközök robbanásszerű terjedése<sup>1</sup> indokolja ezek biológiai hatásainak vizsgálatát is. A Wi-Fi eszközök rohamos terjedésével párhuzamosan a Wi-Fi berendezések által kibocsájtott EM sugárzás mértékét és hatását élő szervezetre eddig számos állatkísérletben vizsgálták. Az élettani hatásokat illetően kiemelő, hogy több kutatás azonosította a 2,4 GHz Wi-Fi EM

---

<sup>1</sup><https://www.abiresearch.com/press/abi-research-anticipates-more-20-billion-cumulativ/>

tér oxidatív stressz növelő hatását a vérből, és hogy bizonyos metabolikus paraméterekben eltérést okozhat (Gumral és mtsai., 2009; Shekoohi-Shooli és mtsai., 2016). Az idegéletteni hatásokkal kapcsolatban a szakirodalmi adatok alapján megállapítható, hogy ezek a vizsgálatok módszertanukban különbözőek, eredményeikben némileg ellentmondásosak. Azonban a kutatások jelentős része kimutatott többféle idegrendszerre gyakorolt módosító hatást is. A Wi-Fi besugárzás oxidatív stressz növelő hatását találták az agykéregben (Celik és mtsai., 2016); szignifikánsan csökkent PKC enzim aktivitást mutattak ki a hippokampuszban, valamint megnövekedett gliasejtszámot (Paulraj és Behari, 2006); az agykéreg A, C és E-vitamin koncentrációjának csökkenését találták (Naziroglu és Gumral, 2009); valamint a sugárzás ronthatja mind az unimodális, mind pedig a keresztmodális információfeldolgozást (Hassanshahi és mtsai., 2017). Érdekes eredményt hozott Alzheimer-kór vizsgálata céljából tenyésztett transzgenikus egerek vizsgálata, mert az eredmények szerint a Wi-Fi sugárzás ez esetben memóriaserkentőnek mutatkozott (Banaceur és mtsai., 2013). Összegezve, amellet, hogy az állatkísérletek alapján egységes konklúzió nem vonható le, az eredmények felhívják a figyelmet a Wi-Fi EMF sugárzás számos lehetséges élettani és idegéletteni hatásával kapcsolatban.

A Wi-Fi eszközök által kibocsájtott EM sugárzásnak az emberi szervezetre gyakorolt hatásait korábban jellemzően modell kísérletekben vizsgálták. Ezen vizsgálatok döntően az EM jel elnyelődése mértékének, az abszorpció teljesítménysűrűség, nem és életkor szerinti függésének és mintázatának becslését tűzték ki célul (Schmid és mtsai., 2007a; Martinez-Burdalo és mtsai., 2009; Wang és Fujiwara, 2005; Wiart és mtsai., 2008; Findlay és Dimbylow, 2010; Fiocchi és mtsai., 2014). A humán modellezéses vizsgálatok eredményei azt mutatják, hogy több, különböző vizsgálati elrendezésben, a legnagyobb megengedett kimenő teljesítmény mellett is az elnyelt sugárzás mértéke a nemzetközi határértékek alatt maradt. Emellet azonban felhívják a figyelmet arra, hogy az abszorpció mértéke életkoronként és egyénenként is nagyon változó lehet.

A közvetlen Wi-Fi sugárzás humán kognícióra gyakorolt hatását jelen kutatásunkat megelőzően csak kevés tanulmány vizsgálta. Egy nem-modellezett humán vizsgálatban ERP mérésével azt vizsgálták, hogy a 2,4 GHz-es Wi-Fi sugárzás 1,5 méter távolságból okoz-e változást egy nyelvi feladatban nyújtott teljesítményben, illetve a kapcsolódó agyi oszcilláló tevékenységben (Papageorgiou és mtsai., 2011). Ezen kutatócsoport egy másik dolgozatában ugyanezen elrendezésben Wechsler-féle munkamemória feladat végzése során vizsgálták az alfa, béta, delta és théta hullámkomponensek teljesítményének változását (Maganioti és

mtsai., 2010). Előbbiben férfiak esetében a P300 hullámkomponens amplitúdójának csökkenését találták, míg a nőknél ennek növekedését; utóbbiban az alfa és béta komponensek esetén a jobb anterior illetve occipitális területekről elvezetett jel esetén a nőknél szignifikáns teljesítménycsökkenést tapasztaltak az EM sugárzás hatására. Munkáikban nem publikálták a besugárzó készülék precíz dozimetriájának és a vizsgálatok teljes menetének a leírását, illetve a statisztikai elemzések pontos eredményeit (F-érték, hatáserősség), mindezek miatt az eredményeik nem megfelelően értelmezhetők, és nem interpretálhatók általánosan elfogadható bizonyítékként az akut Wi-Fi sugárzásnak a kognitív teljesítményre gyakorolt potenciális hatásait illetően.

## **2. Problémafelvetés és célkitűzések**

Magas prioritású kutatási területté vált a Wi-Fi EM terek potenciális humán kognitív hatásainak vizsgálata. Ezért szükséges volt egy megbízhatóan működő besugárzó rendszer megépítése és dozimetriai bemérése, majd további jól kontrollált laboratóriumi körülmények között végzett besugárzási vizsgálatok kivitelezése.

Mindezeket szem előtt tartva a következő célokat jelöltük ki:

- Egy egyedileg tervezett, humán vizsgálatok céljára alkalmazható, stabil, pontosan kontrollálható Wi-Fi besugárzó rendszer építése.
- A rendszer teljesítményének dozimetriai vizsgálata: a) az eszköz által kibocsájtott jel minősége és teljesítményére, b) a rendszer működésének stabilitására vonatkozóan.
- Az így felépített rendszerrel célunk volt megfigyelni az akut Wi-Fi expozíció (60 perc, IEEE 802.11 b/g, 2,4 GHz, 100 mW, 40 cm távolságban) hatására regisztrálható potenciális változásokat a nyugalmi agyi oszcillációra (elektroencefalográfiás aktivitás, EEG).
- Továbbá a Wi-Fi besugárzás hatását vizsgálni a humán kognitív teljesítményre a pszichomotoros vigilancia tesztben (PVT).

### 3. Anyagok és módszerek

#### 3.1. A Wi-Fi besugárzó rendszer felépítése és dozimetriája

A biológiai vizsgálatok számára tervezett Wi-Fi besugárzó rendszert egyszerű, kereskedelmi forgalomban is kapható alkatrészekből (MikroTik<sup>2</sup> Co., Riga, Lettország) építettük. Úgy alakítottuk ki, hogy akár két mPCI foglalatba is csatlakoztatható EM-jelgenerátorral (R52 és R52n RouterBoard kártyával) is működhet. Az R52 típusú kártya IEEE 802.11 a/b/g szabvány kompatibilis, 20-80 mW (13-19 dBm) a maximális kimeneti teljesítménye. Az R52n típusú kártya IEEE 802.11 a/b/g/n szabványokat támogat, 20-200 mW (13-23 dBm) maximális kimeneti teljesítménnyel. Mindkét kártyát b/g transzfer módban használtuk. A rendszert 2 dBi teljesítményű körsugárzó antennákkal szereltük. A Wi-Fi besugárzó rendszer egy elérési pontból (access point – AP) és egy kliens egységből (client unit – CU) áll. Az AP router alaplapja MikroTik RB 433AH, a CU alaplapja MikroTik RB411AH típusú. Mindkét eszközt alumínium műszerházakban (RB433U, RB411) helyeztük el, a rendszer Router OS 4.10 operációs rendszert futtatott, a tápellátást POE tápegységgel biztosítottuk. Mindkét egység működését egy személyi számítógép kontrollálta Microsoft Windows operációs rendszer alatt futó WinBox v 2.2.18 szoftver (MikroTik Co.) segítségével.

A szabad levegőben történt méréseket az Országos Közegészségügyi Intézet (OKI) Közegészségügyi Igazgatóság (KI) Sugárbiológiai és Sugáregészségügyi Főosztály (SSFO)<sup>3</sup> budapesti kutatólaboratóriumában végeztük. Az AP-t és a CU-t is egy elektromágnesesen árnyékolt kamrába helyeztük. A keletkezett EM tér erősségét egy szélessávú elektromágneses szondával felszerelt Narda<sup>4</sup> PMM 805310 térerősségmérővel mértük. A CU antennák és a térerősségmérő közti távolságot 40 cm-re állítottuk be. Az adatokat gyűjtő két személyi számítógép a kamrán kívül kapott helyet. Számos Wi-Fi jel-konfigurációt teszteltünk: különböző adatátviteli protokollokkal (TCP, UDP), számos adatátviteli csatornán (1-13, 2412-2472 MHz), különböző vezeték nélküli kommunikációs szabványokkal (IEEE 802.11 b/g), és adatátviteli sebességekkel. Az AP és a CU között kialakítottuk a vezeték nélküli adatkapcsolatot, és sávszélességettel folyamatos adatforgalmat generáltunk.

---

<sup>2</sup> <https://mikrotik.com/>

<sup>3</sup> <http://www.osski.hu/>

<sup>4</sup> [http://narda-sts.it/narda/story\\_en.asp](http://narda-sts.it/narda/story_en.asp)

Ahhoz, hogy az épített Wi-Fi besugárzó rendszert a továbbiakban a kutatásban is tudjuk használni, a rendszer által generált EM tér energiájának az emberi szervezetben való elnyelődését először számítógépesen modelleztük. Kereskedelmi forgalomban elérhető SEMCAD X<sup>5</sup> szimulációs platform segítségével meghatároztuk a sugárzás elnyelődésének mértékét valóság-hű anatómiai emberi modellekben (10 g testszövetenként). A számításokhoz eredetileg 1 W kimeneti teljesítményű, 2,4 GHz-es jelet használtunk 100%-os kitöltési tényező mellett, azonban a szabad levegőben történt mérések eredményei alapján szükséges volt a kapott eredmények átszámítása 100 mW-os teljesítmény, 66,19%-os kitöltési tényező melletti értékekre. Két egyszalagos valóság-hű voxel embermodellt használtunk a kutatási célok számára elérhető virtuális családból (nő: “Ella”, férfi: “Duke”; Christ és mtsai., 2010), a különböző ülő pozíciókat a SEMCAD X programban található “Poser” (IT’ IS Foundation<sup>6</sup>) eszköz segítségével állítottuk be.

### **3.2. Akut Wi-Fi besugárzás hatásának vizsgálata az EEG hullámtevékenységre**

**Vizsgálati személyek és a spontán EEG vizsgálat menete.** A spontán EEG tevékenység (sEEG) mérésben 25 fő (15 nő, 10 férfi, átlag életkoruk 23,3 év, SEM 0,6) egészséges, jobbkezes egyetemi hallgató vett részt. Minden személy két ülésen vett részt, amelyek között legalább egy hét telt el, és az egyik ülés alatt 60 perces valódi, a másik alatt ál-besugárzásnak (nincs direkt sugárzás) tettük ki a feji régiót, kettős vak, kiegyenlített kísérleti elrendezésben. Az elektródok felhelyezésénél a nemzetközileg elfogadott 10-20-as rendszert használtuk, az agyi aktivitást három Ag/AgCl elektróda segítségével a középvonali Fz (frontális), Cz (centrális), és Pz (parietális) elektród pozíciókon rögzítettük. Az orra helyezett elektródát jelöltük ki referencia elektródnak, egy homlokra helyeztetet pedig földelésnek. A vízszintes és függőleges szemmozgások miatt potenciálisan keletkező mérési hibák kiküszöbölése céljából két elektrookulogram (EOG) elektródot helyeztünk el a szem külső sarka alá és fölé. Az összes elektród impedanciáját minden vizsgálat kezdetekor 5 kOhm alá állítottuk. A detektált elektromos jelet elsőként erősítettük, majd különböző szűrőkkel a frekvenciatartomány beszűkítése (jellemzően 0,5-től 100-200 Hz közé) azért, hogy kiszűrjük a jelből a nemkívánatos komponenseket annak érdekében, hogy ne torzítsák az EEG szignált, végül pedig az analóg jelet A/D konverterrel (CED<sup>7</sup> Power 1401, Cambridge, UK) az

---

<sup>5</sup> <https://www.speag.com/products/semcad/EuCAPAnimation/>

<sup>6</sup> <https://www.itis.ethz.ch/>

<sup>7</sup> <http://ced.co.uk/>

értékeléshez digitális adatokká alakítottuk. Vizsgálatunk során a jelet 1 kHz-es mintavételezési frekvenciával, 0,16-150 Hz-es sávszűréssel, 50 Hz-es lyukszűrővel (az elektromos hálózat által keltett zavarok kiszűrésére) digitalizáltuk. Az adatokat egy PC komputeren tároltuk a későbbi elemzéshez. Az ülés során három EEG-regisztrációs blokkot alakítottunk ki. Az elsőt közvetlenül a valódi/ál-besugárzás kezdete előtt rögzítettük (Pre), a másodikat pontosan a besugárzás közepére időzítettük (Mid), a harmadik blokkot pedig azonnal a besugárzás végét követően (Post) regisztráltuk.

**Spontán EEG adatok elemzése.** A vizsgálat közben a CED Spike2 programmal PC-n rögzített adatokat később Matlab programozói környezetben (MathWorks, Natick, MA) az EEGLAB<sup>8</sup> alkalmazással értékeltük ki. Az adatokat a három elektródapozíció (Fz, Cz, Pz) szempontjából elemeztük. A nyers adatokon szoftveresen 0,5-40 Hz közötti sávszűrést alkalmaztunk, 2 mp-es epochokra osztottuk, a  $\pm 100$  mV-ot meghaladó próbák adatait kizártuk, majd gyors Fourier-transzformációt (FFT) futtattunk le. Logaritmus-transzformációval számítottunk teljesítményértékeket az irodalomban fellelhető adatok alapján meghatározott frekvenciatartományokban (delta: 1-3 Hz, theta: 4-8 Hz, alfa1: 9-10 Hz, alfa2: 11-12 Hz, béta1: 13-18 Hz, béta2: 19-32 Hz). Három különböző analízist végeztünk azért, hogy megállapítsuk, van-e különbség a valódi és ál-besugárzási körülmények között. A definiált frekvenciatartományokon először három utas ismétléses varianciaanalízist (rANOVA) végeztünk. Majd a Wi-Fi besugárzás feltételezett múltó utóhatását teszteltük úgy, hogy a 10 perces Post blokkot felosztottuk további 2 perces szegmensekre, és az így kialakult alblokkokat teszteltük rANOVA segítségével. A harmadik analízis során a Wi-Fi sugárzás nemek szerinti hatását vizsgáltuk minden korábban specifikált EEG frekvenciatartományban, minden szegmensben, megismételve az előző számítást a nemmel, mint független szempont szerint alakított csoporttal kibővítve.

### **3.3. Akut Wi-Fi besugárzás hatásának vizsgálata a kognitív teljesítményre**

**Vizsgálati személyek és a pszichomotoros vigilancia vizsgálat menete.** A PVT mérésben 19 fő (10 nő, 9 férfi, átlag életkoruk 21,0 év, SEM 0,4) egészséges, jobbkezes egyetemi hallgató vett részt. Minden személy két ülésen vett részt, amelyek között legalább egy hét telt el, az egyik ülés alatt 60 perces valódi, a másik alatt ál-besugárzásnak (nincs direkt sugárzás) tettük ki a feji régiót, kettős vak, keresztezett elrendezésben. A PVT tesztet a nyílt

---

<sup>8</sup> <http://sccn.ucsd.edu/eeglab/>

forráskódú PEBL gyűjteményből választottuk (Mueller és Piper, 2014). Az általunk használt komputerezált változat egyszerű RT mérésre adott lehetőséget. A vizsgálati személyek feladata az volt, hogy a homogén sötétszürke képernyő közepén lévő fehér fixációs kereszt helyén, változó ingerkezdeti eltéréssel megjelenő vörös korong felvillanására a lehető leggyorsabban reagáljanak a szóköz billentyű lenyomásával. A programban a válaszadás időkorlátját minimálisan 100 ms, maximális 2000 ms-ban határoztuk meg. A PVT feladatot négy 15 perces részre (Blok I-IV) osztottuk. Egyénekenként egy-egy 15 perces blokkban 106 alkalommal történt reakcióidő mérés. Az első (Blok I) és második (Blok II) blokkok után 5-5 perces, a harmadik (Blok III) blokk után 5+20 perces szüneteket iktattunk be. A besugárzás 60 perces ideje tehát az első blokk kezdetétől a harmadik blokkot követő 5 perces szünet végéig tartott. A vizsgálatot a negyedik vagy besugárzás utáni PVT blokk (Blok IV) zárta.

Továbbá a PVT vizsgálat során a vizuális analóg skálát (VAS, Aitken, 1969) használtuk a fáradtság, a fáradás, az aktuális figyelem és a feladathelyzettel kapcsolatos motiváció mértékének szubjektív becslésére a PVT feladatblokkok (Blok I-III) előtt és után.

**Pszichomotoros vigilancia teszt és vizuális analóg skála adatok elemzése.** A program automatikusan egy fájlba menti a kapott RT adatokat. Az analízisek során használt átlagolt RT, illetve a kutatási gyakorlathoz illeszkedően azokból származtatott értékek a következők voltak: reakcióidő (RT), lapszusok száma (RT>500 ms), RT inverze ( $1/RT \times 1000$ ,  $1/RT$ ), variációs koefficiens (szórás/RT), a leggyorsabb RT-k (10-dik percentilis alatt) és a leglassabb RT-k (90-dik percentilis felett). Ahhoz, hogy részletesebben vizsgálhassuk a teljesítmény idői változásait, a PVT adatokat blokkonként három, egyenlő, 5 perces szakaszra bontottuk (Interval, Int 1-3). Az RT adatokon először három utas ismétléses varianciaanalízist (rANOVA) végeztünk a besugárzás, blokk és intervallum (szakasz) változókkal. A második analízis során ugyanezen elemzést végeztük el a nem (Férfi vs. Nő), faktorial kibővítve. A harmadik analízis során arra a kérdésre kerestük a választ, hogy vajon a besugárzás és a besugárzás utáni blokkban mérhető teljesítmények között jelentkezik-e különbség a besugárzás függvényében. Ennek megválaszolásához csak a harmadik és negyedik blokk összehasonlítását választottuk rANOVA-val. A negyedik elemzésünk során nem az eddigi, RT-n alapuló adatokat használtuk, hanem a VAS-skálákkal nyert, feladat-specifikus, szubjektív fáradás, motiváció és figyelmi kapacitás mértékének esetleges



különbségeit vizsgáltuk a besugárzás hatására, ismétléses varianciaanalízist (rANOVA) végeztünk a besugárzás (Valódi vs. Ál) és blokk (Blokk I-III) változókkal.

## **4. Eredmények**

### **4.1. A Wi-Fi besugárzó rendszer felépítése és dozimetriája**

A Wi-Fi technológia EM sugárzása komplex karakterisztikájának részletes kísérletes leírását elvégeztük, eredményeink alapján az alábbi beállításokat alkalmaztuk a továbbiakban: IEEE 802.11 b/g szabvány, 9-es csatorna (2452 MHz), 20 dBm/100 mW kimeneti teljesítmény, R52n kártya, UDP adatátviteli szabvány, mindkét antenna aktív, vertikálisan pozícionálva.

Az SAR modellezés során a hétköznapi valóságos használatot modellező vizsgálati elrendezésben a valódi felhasználási körülményeket, szokásokat és idő kereteket teszteltük. A számított elnyelődés mértékét valóságos, humán egész testet modellező számítógépes szimuláció segítségével becsültük meg. Az elnyelődés legnagyobb mértékben a feltételezéseknek megfelelően a homlok bőrén és az alatta elhelyezkedő agyszövetekben, a homloklebenyi agykéregben és axonpályákban volt detektálható.

### **4.2. Spontán EEG eredmények**

Az első analízis eredményei szerint, amikor a definiált frekvenciatartományokon három utas rANOVA-t végeztünk, a besugárzásnak nem volt szignifikáns hatása az amplitúdók által jellemzett spektrális teljesítményre. Szignifikáns időbeli hatást az alfa1 frekvenciatartományban rögzített amplitúdó értékekben tudtunk kimutatni [Blokk:  $F(2, 48)=4,74$ ,  $p<0,05$ , parciális éta-négyzet=0,16]. Tehát a különbséget az amplitúdó emelkedése okozta a harmadik (Post, átlag: 1,33  $\mu\text{V}$ , SEM: 0,09) blokkban az első (Pre, átlag: 1,27  $\mu\text{V}$ , SEM: 0,08) és második (Mid, átlag: 1,26  $\mu\text{V}$ , SEM 0,08) blokkokhoz képest.

Majd a Wi-Fi besugárzás feltételezett múltó utóhatását teszteltük úgy, hogy a 10 perces Post blokkot felosztottuk további 2 perces szegmensekre, és az így kialakult alblokkokat teszteltük rANOVA segítségével. Több ponton is mutatkoztak szignifikáns különbségek. Az alfa1 frekvenciatartományban [ $F(4, 96)=4,77$ ,  $p<0,001$ , parciális éta-négyzet=0,16] a Tukey HSD teszt eredményei rámutattak arra, hogy a negyedik szegmens (Seg 4, átlag: 1,25  $\mu\text{V}$ , SEM: 0,07) jelentősen különbözött mind az első (Seg 1, átlag: 1,37  $\mu\text{V}$ , SEM: 0,1), mind a második (Seg 2, átlag: 1,36  $\mu\text{V}$ , SEM: 0,09), mind pedig a harmadik (Seg 3, átlag: 1,35  $\mu\text{V}$ , SEM: 0,1) szegmensekben regisztrálható teljesítmény értékektől.

Szignifikáns főhatás volt detektálható az alfa2 tartomány esetén is [ $F(4, 96)=2,59, p<0,05$ , parciális éta-négyzet=0,09]. A Tukey HSD teszt azt mutatta, hogy a negyedik szegmensben (Seg 4, átlag:  $0,92 \mu\text{V}$ , SEM:  $0,05$ ) jelentősen alacsonyabb amplitúdó mutatkozott, mint az elsőben (Seg 1, átlag:  $0,97 \mu\text{V}$ , SEM:  $0,06$ ). Szintén jelentkezett szegmens hatás a béta2 [ $F(4, 96)=10,75, p<0,01$ , parciális étanégyzet=0,3) frekvenciatartományban úgy, hogy a negyedik (Seg 4, átlag:  $0,46 \mu\text{V}$ , SEM:  $0,02$ ) és az ötödik (Seg 5, átlag:  $0,47 \mu\text{V}$ , SEM:  $0,03$ ) szegmensben regisztrált amplitúdók átlaga jelentősen különbözött az első (Seg 1, átlag:  $0,44 \mu\text{V}$ , SEM:  $0,02$ ) és másodiktól (Seg 2, átlag:  $0,44 \mu\text{V}$ , SEM:  $0,02$ ). A besugárzás és szegmensek között azonban nem találtunk interakciót.

A harmadik analízis során, amikor a Wi-Fi sugárzás nemek szerinti hatását vizsgáltuk, a sugárzás és a nemek között nem mutatkozott interakció. Emellett a béta1 [ $F(1, 23)=4,392, p<0,05$ , parciális étanégyzet=0,16] és béta2 [ $F(1, 23)=8,607, p<0,01$ , parciális étanégyzet=0,27] frekvenciatartományokban – a besugárzástól függetlenül – különbség mutatkozott minden blokk esetében.

### **4.3. Pszichomotoros vigilancia teszt és vizuális analóg skála eredmények**

Az első analízisben az ismétléses varianciaanalízis [Besugárzás (Valódi vs. Ál)  $\times$  Blokk (Blokk I, Blokk II, Blokk III)  $\times$  Interval (Int 1, Int 2, Int 3)] eredményei szerint a romló teljesítmény és a megnövekedett feladattal töltött idő háttérben szignifikáns Blokk és Interval főhatások is állnak. A Blokk főhatás egyaránt érvényesül az átlagos reakcióidő tekintetében [átlagos RT:  $F(2, 36)=6,62, p<0,01$ , parciális éta-négyzet=0,27], az inverz reakcióidő [ $1/\text{RT}$ :  $F(2, 36)=7,85, p<0,01$ , parciális étanégyzet=0,30] és a leggyorsabb RT (10-dik percentilis alatt) [ $F(2, 36)=5,34, p<0,05$ , parciális éta-négyzet=0,23] esetében is. Szintén szignifikáns Interval hatást tudtunk kimutatni az átlagos reakcióidőben [átlagos RT:  $F(2, 36)=18,99, p<0,001$ , parciális étanégyzet=0,51], az inverz reakcióidő [ $1/\text{RT}$ :  $F(2, 36)=20,17, p<0,001$ , parciális étanégyzet=0,53] és a lapszusok számának növekedésénél [ $F(2, 36)=4,88, p<0,05$ , parciális étanégyzet=0,21]. Azonban a valódi besugárzásnak nem lehetett azonosítani moduláló szerepét sem az RT, sem az ebből származtatott értékek esetében sem.

A második, nem (Férfi vs. Nő) faktorával kiegészített analízis eredményeként szintén nem találtuk a besugárzásnak szignifikáns hatását.

A harmadik analízis során az EM sugárzás potenciális leépülő hatását vizsgáltuk. Az utolsó besugárzási blokkban (Blokk III) nyújtott teljesítményt hasonlítottuk össze a besugárzást követő blokkban (Blokk IV) mérhető adatokkal – a leglassabb RT (90-dik percentilis felett), a variabilitás és lapszusok száma kivételével –, a teljesítmény szignifikáns javulását találtuk a negyedik blokkban [átlagos RT:  $F(1, 18)=5,04$ ,  $p<0,05$ , parciális étanégyzet=0,22;  $1/RT$ :  $F(1, 18)=10,69$ ,  $p<0,05$ , parciális étanégyzet=0,37; leggyorsabb RT (10-dik percentilis alatt):  $F(1, 18)=10,45$ ,  $p<0,01$ , parciális étanégyzet=0,36]. A teljesítményben tapasztalt változást azonban nem befolyásolta a valódi besugárzás, semmilyen szignifikáns interakció nem mutatkozott a valódi besugárzás és a blokkok között egyik teljesítménytényező esetében sem. A besugárzást követő blokkban (Blokk IV) mért teljesítmény javulás háttérében az azt megelőző hosszabb (20 perces) pihenő idő hatása állhat.

Vizuális analóg skálán (VAS) alapuló szubjektív fáradás értékek varianciaanalízise azt mutatta, hogy a PVT teszt végzése során, az idő, a blokkok előre haladtával a fáradtság érzésének mértéke szignifikánsan nőtt [Blokk:  $F(3, 54)=20,89$ ,  $p<0,00$ , parciális étanégyzet=0,54]. Azonban ezen változás háttérében sem tudtuk kimutatni főhatásként a valódi besugárzást, illetve a besugárzás és a blokkok szignifikáns interakcióját. A motivációval [Blokk:  $F(3, 54)=9,42$ ,  $p<0,00$ , parciális étanégyzet=0,34] és a figyelemmel [Blokk:  $F(2, 36)=7,55$ ,  $p<0,00$ , parciális étanégyzet=0,3] kapcsolatban szignifikáns csökkenés mutatkozott a vizsgálat kezdetéhez képest. Ezen szubjektív becslések változásának háttérében szintén nem volt azonosítható a besugárzás, mint főhatás. A feltárt szignifikáns összefüggések jelzik az idő előre haladtával a teljesítmény változását és a fáradást. Azonban ezek egyike sem mutatott szignifikáns összefüggést a besugárzással.

## 5. Összefoglalás

A természetes háttérsugárzás mellett, a mikrohullámú és rádiófrekvenciás tartományba eső, környezeti elektromágneses sugárterhelés exponenciálisan megnövekedett az utóbbi évtizedekben. Bár a mobilkommunikációs eszközök használata közben keletkező EM tér energiája nem okoz molekuláris kötésfelhasításokat, ezek a nem-ionizáló sugárzások képesek megváltoztatni az emberi szervezet normál működését. Ezeknek az eszközöknek a rohamos elterjedését nem előzték meg olyan vizsgálatok, amelyek ezeket a potenciális hatásokat felderítették volna, ezért napjaink tudományos feladata az esetleges kölcsönhatások finom részleteinek feltárása. A mobiltelefonok GSM és UMTS

rendszereinek hatásával sok kutatás foglalkozik, de az utóbbihoz hasonló paraméterekkel jellemezhető Wi-Fi-kompatibilis eszközök által generált EM terek mindennapi és hosszabb távú használatából eredő sugárzásának vizsgálata még csak nemrég kezdődött. Ezért célul tűztük ki, hogy létrehozzunk egy olyan vizsgálati elrendezést, amely a valódi hétköznapi eszközhasználat jellemzőin alapul, és az EM sugárzást a protokolloknak és biztonsági előírásoknak megfelelően tudjuk modellezni. Kutatásunk első részeként megépítettünk egy egyedi, modulált Wi-Fi jelet használó WLAN EM sugárzást generáló eszközt, amelynek megbízható és biztonságos működését a minden paraméterre kiterjedő precíz dozimetria eredményei garantálják. Ezt követően, megvizsgáltuk egy 60 perces időtartamú, IEEE 802.11 b/g szabvány szerinti, 2,4 GHz-es, 9-es csatornán (2452 MHz), 100 mW kimeneti teljesítményű Wi-Fi besugárzás hatását a nyugalmi állapotú agytevékenységre és a fenntartott figyelem és fáradás vizsgálatára alkalmas pszichomotoros vigilancia tesztben nyújtott teljesítményre. Eredményeink szerint az egyszeri, akut, rövid idejű, Wi-Fi készülékek által jellemzően generált EM sugárzás nem gyakorol mérhető hatást sem a nyugalmi állapotban az éber EEG-ben regisztrálható spektrális aktivitásra, sem a fenntartott figyelmet igénylő kognitív folyamatokra. A GSM, UMTS és Wi-Fi technológiákkal kapcsolatos kutatások eredmények közötti eltérések, és a hatásokban mutatkozó látszólagos ellentmondások a különböző EM terek moduláció-specifikusságával magyarázhatók. Bár az általunk alkalmazott módszertan kellően robusztus volt ahhoz, hogy detektálni tudjuk a Wi-Fi sugárzás esetleges hatását és a vizsgált pszichofiziológiai változókra, és eredményeink összhangban vannak korábbi, UMTS EM sugárzással kapcsolatos vizsgálatainkban mért hasonló eredményekkel, további vizsgálatokat tartunk szükségesnek más Wi-Fi szabványok (IEEE 802.11 a, n és ac) és jel-modulációs elrendezések használatával ahhoz, hogy végső következtetéseket vonhassunk le a Wi-Fi EM sugárzás potenciális neurokognitív hatásait illetően.

## 6. Irodalomjegyzék

- Aitken, R. C. (1969). Measurement of feelings using visual analogue scales. *Proc R Soc Med*, 62(10), 989-993.
- Banaceur, S., Banasr, S., Sakly, M., Abdelmelek, H. (2013). Whole body exposure to 2.4 GHz WIFI signals: effects on cognitive impairment in adult triple transgenic mouse models of Alzheimer's disease (3xTg-AD). *Behav Brain Res*, 240, 197-201.
- Borbely, A. A., Huber, R., Graf, T., Fuchs, B., Gallmann, E., Achermann, P. (1999). Pulsed high-frequency electromagnetic field affects human sleep and sleep electroencephalogram. *Neurosci Lett*, 275(3), 207-210.
- Celik, O., Kahya, M. C., Naziroglu, M. (2016). Oxidative stress of brain and liver is increased by Wi-Fi (2.45GHz) exposure of rats during pregnancy and the development of newborns. *J Chem Neuroanat*, 75(Pt B), 134-139.
- Christ, A., Kainz, W., Hahn, E. G., Honegger, K., Zefferer, M., Neufeld, E., Rascher, W., Janka, R., Bautz, W., Chen, J., Kiefer, B., Schmitt, P., Hollenbach, H. P., Shen, J., Oberle, M., Szczerba, D., Kam, A., Guag, J. W., Kuster, N. (2010). The Virtual Family-development of surface-based anatomical models of two adults and two children for dosimetric simulations. *Phys Med Biol*, 55(2), N23-38.
- Croft, R. J., Leung, S., McKenzie, R. J., Loughran, S. P., Iskra, S., Hamblin, D. L., Cooper, N. R. (2010). Effects of 2G and 3G mobile phones on human alpha rhythms: Resting EEG in adolescents, young adults, and the elderly. *Bioelectromagnetics*, 31(6), 434-444.
- Curcio, G., Ferrara, M., Moroni, F., D'Inzeo, G., Bertini, M., De Gennaro, L. (2005). Is the brain influenced by a phone call? An EEG study of resting wakefulness. *Neurosci Res*, 53(3), 265-270.
- Edelstyn, N., Oldershaw, A. (2002). The acute effects of exposure to the electromagnetic field emitted by mobile phones on human attention. *Neuroreport*, 13(1), 119-121.
- EFHRAN. (2012). European Health Risk Assessment Network on EMF Exposure. Report on risk analysis of human exposure to electromagnetic fields [Internet]. *Letöltve: 2017. június. 23. Link: [http://efhran.polimi.it/docs/D2\\_Finalversion\\_oct2012.pdf](http://efhran.polimi.it/docs/D2_Finalversion_oct2012.pdf)*.
- Findlay, R. P., Dimbylow, P. J. (2010). SAR in a child voxel phantom from exposure to wireless computer networks (Wi-Fi). *Phys Med Biol*, 55(15), N405-411.

- Fiocchi, S., Parazzini, M., Liorni, I., Samaras, T., Ravazzani, P. (2014). Temperature increase in the fetus exposed to UHF RFID readers. *IEEE Trans Biomed Eng*, 61(7), 2011-2019.
- Gumral, N., Naziroglu, M., Koyu, A., Ongel, K., Celik, O., Saygin, M., Kahriman, M., Caliskan, S., Kayan, M., Gencil, O., Flores-Arce, M. F. (2009). Effects of selenium and L-carnitine on oxidative stress in blood of rat induced by 2.45-GHz radiation from wireless devices. *Biol Trace Elem Res*, 132(1-3), 153-163.
- Haarala, C., Bjornberg, L., Ek, M., Laine, M., Revonsuo, A., Koivisto, M., Hamalainen, H. (2003). Effect of a 902 MHz electromagnetic field emitted by mobile phones on human cognitive function: A replication study. *Bioelectromagnetics*, 24(4), 283-288.
- Haarala, C., Ek, M., Bjornberg, L., Laine, M., Revonsuo, A., Koivisto, M., Hamalainen, H. (2004). 902 MHz mobile phone does not affect short term memory in humans. *Bioelectromagnetics*, 25(6), 452-456.
- Haarala, C., Bergman, M., Laine, M., Revonsuo, A., Koivisto, M., Hamalainen, H. (2005). Electromagnetic field emitted by 902 MHz mobile phones shows no effects on children's cognitive function. *Bioelectromagnetics*, Suppl 7, S144-150.
- Haarala, C., Takio, F., Rintee, T., Laine, M., Koivisto, M., Revonsuo, A., Hamalainen, H. (2007). Pulsed and continuous wave mobile phone exposure over left versus right hemisphere: effects on human cognitive function. *Bioelectromagnetics*, 28(4), 289-295.
- Hassanshahi, A., Shafeie, S. A., Fatemi, I., Hassanshahi, E., Allahtavakoli, M., Shabani, M., Roohbakhsh, A., Shamsizadeh, A. (2017). The effect of Wi-Fi electromagnetic waves in unimodal and multimodal object recognition tasks in male rats. *Neurol Sci*, 38(6), 1069-1076.
- Hietanen, M., Kovalala, T., Hamalainen, A. M. (2000). Human brain activity during exposure to radiofrequency fields emitted by cellular phones. *Scand J Work Environ Health*, 26(2), 87-92.
- Huber, R., Treyer, V., Borbely, A. A., Schuderer, J., Gottselig, J. M., Landolt, H. P., Werth, E., Berthold, T., Kuster, N., Buck, A., Achermann, P. (2002). Electromagnetic fields, such as those from mobile phones, alter regional cerebral blood flow and sleep and waking EEG. *J Sleep Res*, 11(4), 289-295.
- IARC. (2011). IARC Report to the Union for International Cancer Control (UICC) on the Interphone Study [Internet]. *Letöltve: 2017. július. 15. Link: [http://interphone.iarc.fr/UICC\\_Report\\_Final\\_03102011.pdf](http://interphone.iarc.fr/UICC_Report_Final_03102011.pdf)*.

- Juutilainen, J., Hoyto, A., Kumlin, T., Naarala, J. (2011). Review of possible modulation-dependent biological effects of radiofrequency fields. *Bioelectromagnetics*, 32(7), 511-534.
- Kleinlogel, H., Dierks, T., Koenig, T., Lehmann, H., Minder, A., Berz, R. (2008). Effects of weak mobile phone - electromagnetic fields (GSM, UMTS) on event related potentials and cognitive functions. *Bioelectromagnetics*, 29(6), 488-497.
- Koivisto, M., Krause, C. M., Revonsuo, A., Laine, M., Hamalainen, H. (2000a). The effects of electromagnetic field emitted by GSM phones on working memory. *Neuroreport*, 11(8), 1641-1643.
- Koivisto, M., Revonsuo, A., Krause, C., Haarala, C., Sillanmaki, L., Laine, M., Hamalainen, H. (2000b). Effects of 902 MHz electromagnetic field emitted by cellular telephones on response times in humans. *Neuroreport*, 11(2), 413-415.
- Kwon, M. S., Hamalainen, H. (2011). Effects of mobile phone electromagnetic fields: critical evaluation of behavioral and neurophysiological studies. *Bioelectromagnetics*, 32(4), 253-272.
- Leung, S., Croft, R. J., McKenzie, R. J., Iskra, S., Silber, B., Cooper, N. R., O'Neill, B., Cropley, V., Diaz-Trujillo, A., Hamblin, D., Simpson, D. (2011). Effects of 2G and 3G mobile phones on performance and electrophysiology in adolescents, young adults and older adults. *Clin Neurophysiol*, 122(11), 2203-2216.
- Maganioti, A. E., Papageorgiou, C. C., Hountala, C. D., Kyprianou, M. A., Rabavilas, A. D., Papadimitriou, G. N., Capsalis, C. N. (2010). Wi-Fi electromagnetic fields exert gender related alterations on EEG [Internet]. *ResearchGate, Letöltve: 2017. július 15.* Link: [https://www.researchgate.net/publication/267816859\\_WI-FI\\_ELECTROMAGNETIC\\_FIELDS\\_EXERT\\_GENDER\\_RELATED\\_ALTERATIONS\\_ON\\_EEG](https://www.researchgate.net/publication/267816859_WI-FI_ELECTROMAGNETIC_FIELDS_EXERT_GENDER_RELATED_ALTERATIONS_ON_EEG).
- Martinez-Burdalo, M., Martin, A., Sanchis, A., Villar, R. (2009). FDTD assessment of human exposure to electromagnetic fields from WiFi and bluetooth devices in some operating situations. *Bioelectromagnetics*, 30(2), 142-151.
- Naziroglu, M., Gumral, N. (2009). Modulator effects of L-carnitine and selenium on wireless devices (2.45 GHz)-induced oxidative stress and electroencephalography records in brain of rat. *Int J Radiat Biol*, 85(8), 680-689.
- Mueller, S. T. és Piper, B. J. (2014). The Psychology Experiment Building Language (PEBL) and PEBL Test Battery. *J Neurosci Methods*, 222, 250-259.

- Papageorgiou, C. C., Hountala, C. D., Maganioti, A. E., Kyprianou, M. A., Rabavilas, A. D., Papadimitriou, G. N., Capsalis, C. N. (2011). Effects of wi-fi signals on the p300 component of event-related potentials during an auditory hearing task. *J Integr Neurosci*, 10(2), 189-202.
- Paulraj, R., Behari, J. (2006). Protein kinase C activity in developing rat brain cells exposed to 2.45 GHz radiation. *Electromagn Biol Med*, 25(1), 61-70.
- Preece, A. W., Iwi, G., Davies-Smith, A., Wesnes, K., Butler, S., Lim, E., Varey, A. (1999). Effect of a 915-MHz simulated mobile phone signal on cognitive function in man. *Int J Radiat Biol*, 75(4), 447-456.
- Preece, A. W., Goodfellow, S., Wright, M. G., Butler, S. R., Dunn, E. J., Johnson, Y., Manktelow, T. C., Wesnes, K. (2005). Effect of 902 MHz mobile phone transmission on cognitive function in children. *Bioelectromagnetics, Suppl 7*, S138-143.
- Regel, S. J., Gottselig, J. M., Schuderer, J., Tinguely, G., Retey, J. V., Kuster, N., Landolt, H. P., Achermann, P. (2007). Pulsed radio frequency radiation affects cognitive performance and the waking electroencephalogram. *Neuroreport*, 18(8), 803-807.
- Reiser, H., Dimpfel, W., Schober, F. (1995). The influence of electromagnetic fields on human brain activity. *Eur J Med Res*, 1(1), 27-32.
- Röschke, J., Mann, K. (1997). No short-term effects of digital mobile radio telephone on the awake human electroencephalogram. *Bioelectromagnetics*, 18(2), 172-176.
- Schmid, G., Lager, D., Preiner, P., Uberbacher, R., Cecil, S. (2007). Exposure caused by wireless technologies used for short-range indoor communication in homes and offices. *Radiat Prot Dosim*, 124(1), 58-62.
- Shekoohi-Shooli, F., Mortazavi, S. M., Shojaei-Fard, M. B., Nematollahi, S., Tayebi, M. (2016). Evaluation of the protective role of vitamin C on the metabolic and enzymatic activities of the liver in the male rats after exposure to 2.45 GHz of Wi-Fi routers. *J Biomed Phys Eng*, 6(3), 157-164.
- Stefanics, G., Thuróczy, G., Kellényi, L., Hernádi, I. (2008). Effects of twenty-minute 3G mobile phone irradiation on event related potential components and early gamma synchronization in auditory oddball paradigm. *Neuroscience*, 157(2), 453-462.
- Trunk, A., Stefanics, G., Zentai, N., Kovács-Bálint, Z., Thuróczy, G., Hernádi, I. (2013). No effects of a single 3G UMTS mobile phone exposure on spontaneous EEG activity, ERP correlates, and automatic deviance detection. *Bioelectromagnetics*, 34(1), 31-42.



- Trunk, A., Stefanics, G., Zentai, N., Bacskay, I., Felinger, A., Thuróczy, G., Hernádi, I. (2014). Lack of interaction between concurrent caffeine and mobile phone exposure on visual target detection: an ERP study. *Pharmacol Biochem Behav*, 124, 412-420.
- Trunk, A., Stefanics, G., Zentai, N., Bacskay, I., Felinger, A., Thuróczy, G., Hernádi, I. (2015). Effects of concurrent caffeine and mobile phone exposure on local target probability processing in the human brain. *Sci Rep*, 5, 14434.
- van Rongen, E., Croft, R., Juutilainen, J., Lagroye, I., Miyakoshi, J., Saunders, R., de Seze, R., Tenforde, T., Verschaeve, L., Veyret, B., Xu, Z. (2009). Effects of radiofrequency electromagnetic fields on the human nervous system. *J Toxicol Environ Health B Crit Rev*, 12(8), 572-597.
- Wang, J., Fujiwara, O. (2005). EM interaction between a 5 GHz band antenna mounted PC and a realistic human body model. *IEICE Trans Comm*, E88-B(6), 2604-2608.
- WHO. (2011). IARC classifies radiofrequency electromagnetic fields as possibly carcinogenic to humans. [Internet]. *Letöltve: 2017. június. 23.* Link: [http://www.iarc.fr/en/media-centre/pr/2011/pdfs/pr208\\_E.pdf](http://www.iarc.fr/en/media-centre/pr/2011/pdfs/pr208_E.pdf).
- Wiat, J., Hadjem, A., Wong, M. F., Bloch, I. (2008). Analysis of RF exposure in the head tissues of children and adults. *Phys Med Biol*, 53(13), 3681-3695.

## 7. Saját publikációs jegyzék

### A disszertáció témakörében készült publikációk:

1. **Zentai, N.**, Fiocchi, S., Parazzini, M., Trunk, A., Juhász, P., Ravazzani, P., Hernádi, I., Thuróczy, Gy. (2015). Characterization and evaluation of a commercial WLAN system for human provocation studies. *Biomed Res Internat*, Vol. 2015: Paper 289152. 10 p. **IF: 2,706**
2. **Zentai, N.**, Csathó, Á., Trunk, A., Fiocchi, S., Parazzini, M., Ravazzani, P., Thuróczy, Gy., Hernádi, I. (2015). No effects of acute exposure to Wi-Fi electromagnetic fields on spontaneous EEG activity and psychomotor vigilance in healthy human volunteers. *Rad Res*, 184(6):568-577. **IF: 2,539**

### A disszertáció alapjául szolgáló előadások:

1. **Zentai, N.**, Trunk, A., Csathó, Á., Juhász, P., Fiocchi, S., Thuróczy, Gy., Hernádi, I. (2014). Investigation of possible cognitive effects of Wi-Fi electromagnetic fields assessed by spontaneous EEG and psychomotor vigilance measures. 9<sup>th</sup> FENS Forum of Neuroscience, Milan, Italy. (Poster presentation, abstract)
2. **Zentai, N.**, Csathó, Á., Trunk, A., Hernádi, I. (2013). No effects of 60 minute Wi-Fi electromagnetic field exposure on human cognitive performance in a psychomotor vigilance task. II. Interdiszciplináris Doktorandusz Konferencia, Pécs, Magyarország. (Poster presentation, abstract)
3. **Zentai, N.**, Csathó, Á., Trunk, A., Hernádi, I. (2013). Investigation of possible effects of 60 minute Wi-Fi electromagnetic field exposure on human cognitive performance in a psychomotor vigilance task. 14<sup>th</sup> Conference of the Hungarian Neuroscience Society (MITT), Budapest, Hungary. (Poster presentation, abstract)
4. **Zentai, N.**, Trunk, A., Juhász, P., Thuróczy, Gy., Hernádi, I. (2012). The effects of 60 minute Wi-Fi electromagnetic field exposure on spontaneous EEG activity of healthy human volunteers. 8<sup>th</sup> FENS Forum of European Neuroscience, Barcelona, Spain. (Poster presentation, abstract)

5. **Zentai, N.**, Trunk, A., Stefanics, G., Hernádi, I. (2012). The effect of 60 minute Wi-Fi electromagnetic field exposure on skin surface temperature and spontaneous EEG activity of healthy human volunteers. IBRO International Workshop, Szeged, Hungary. (Poster presentation, abstract)
6. **Zentai, N.**, Trunk, A., Juhász, P., Stefanics, G., Thuróczy, G., Hernádi, I. (2011). The effect of a single 60 minute Wi-Fi electromagnetic field exposure on spontaneous EEG activity of healthy human volunteers. 13<sup>th</sup> Conference of the Hungarian Neuroscience Society (MITT), Budapest, Hungary. (Poster presentation, abstract)
7. **Zentai, N.**, Juhász, P., Trunk, A., Thuróczy, G., Hernádi, I. (2011). Evaluation of WLAN exposure system constructed from modular, commercially available parts for biological experimentation. 10<sup>th</sup> International Conference of the European Bioelectromagnetics Association (EBEA), Roma, Italy. (Poster presentation, abstract)
8. Fiocchi, S., Parazzini, M., Liorni, I., **Zentai, N.**, Guadagnin, V., Thuróczy, Gy., Ravazzani, P., (2014). SAR assessment in different models and positions from Wireless Local Area Networks (WLAN) system. Joint Annual Meeting of the Bioelectromagnetics Society (BEMS) and European Bioelectromagnetics Association (EBEA), Cape Town, South Africa. (Poster presentation, abstract)

#### **Egyéb publikációk:**

1. Trunk, A., Stefanics G., **Zentai, N.**, Bacskay, I., Felinger, A., Thuróczy Gy., Hernádi, I. (2015). Effects of concurrent caffeine and mobile phone exposure on local target probability processing in the human brain. *Sci Rep* 5, Article number: 14434. **IF: 4,259**
2. Trunk, A., Stefanics, G., **Zentai, N.**, Bacskay, I., Felinger, A., Thuróczy, Gy., Hernádi, I. (2014). Lack of interaction between concurrent caffeine and mobile phone exposure on visual target detection: An ERP study. *Pharmacol Biochem Behav*, 124: pp. 412-420. **IF: 2,820**
3. Trunk, A., Stefanics, G., **Zentai, N.**, Kovács-Bálint, Zs., Thuróczy, G., Hernádi, I. (2013). No effects of a single 3G UMTS mobile phone exposure on spontaneous EEG activity, ERP correlates, and automatic deviance detection. *Bioelectromagnetics*, 34:(1) pp. 31-42. **IF: 1,859**

### **Egyéb előadások:**

1. Horváth, Z., **Zentai, N.**, Jenák, I. (2017). Indoor autonomous drone development. 13th International Conference on Natural Computation, Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (ICNC-FSKD). Guilin, China. (Presentation, conference article)
2. Botzheim, L., Mravcsik, M., **Zentai, N.**, Malik, S., Laczkó, J. (2017). Body position affects muscle activity variances in the non-dominant arm during arm cycling. Neuroscience (SfN), Washington, USA. (Poster presentation, abstract)
3. **Zentai, N.**, Mravcsik, M., Botzheim, L., Malik, Sz., Laczkó J. (2016). Kinematic stability of arm cycling by the dominant and nondominant arm. 38<sup>th</sup> Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, Orlando, USA. (Poster presentation, abstract)
4. Botzheim, L., Malik, Sz., Mravcsik, M., **Zentai, N.**, Laczkó, J. (2016). Comparison of muscle activities during arm cycling in horizontal and vertical planes. V. International Scientific Conference - Motor Control, Wisła, Poland. (Poster presentation, abstract)
5. Mravcsik, M., **Zentai, N.**, Botzheim, L., Laczkó, J. (2016). Unimanual versus bimanual arm cycling movements – muscle activity variances. Neuroscience (SfN), San Diego, USA. (Poster presentation, abstract)
6. Mravcsik M., Botzheim L., **Zentai N.**, Laczkó J. (2015). Stabilization of arm configuration and muscle activity patterns during cycling arm movements against external resistances. Progress in Motor Control X. Conference, Budapest, Hungary. (Poster presentation, abstract)
7. Mravcsik, M., Botzheim, L., **Zentai N.**, Laczkó J. (2015). Variances of joint configuration and muscle activity patterns during arm cycling against external resistances. Neuroscience (SfN), Chicago, USA. (Poster presentation, abstract)
8. Trunk, A., Stefanics, G., **Zentai, N.**, Bacskay, I., Felinger, A., Thuróczy, Gy., Hernádi, I. (2014). Investigation of possible synergistic effects of caffeine intake and UMTS mobile phone-like exposure on human visual attention. 7<sup>th</sup> COURSE: “Biological effects of combined exposures to EMF and other chemical and physical agents”, Erice, Italy. (Poster presentation, abstract)
9. Trunk, A., **Zentai, N.**, Csathó, Á., Gács, B., Hernádi, I. (2014). Modulatory effects of

- caffeine on human visual attention indexed by the N200 event related potential. 9<sup>th</sup> Forum of Neuroscience (FENS), Milan, Italy. (Poster presentation, abstract)
10. Vecsei, Zs., **Zentai, N.**, Thuróczy, Gy., Hernádi, I. (2014). Twenty-Minute UMTS mobile phone exposure does not affect cognitive performance of young healthy volunteers evaluated on the basis of the Stroop color word test. International Brain Research Organization Workshop (IBRO), Debrecen, Hungary. (Poster presentation, abstract)
  11. Trunk, A., **Zentai, N.**, Csathó, Á., Hernádi, I. (2014). Koffein vizuális figyelmet javító hatása: eseményhez kötött potenciál vizsgálat. A Magyar Kísérletes és Klinikai Farmakológiai Társaság Experimentális Farmakológiai szekciójának VIII. szimpóziuma és az MBKE Gyógyszerbiokémiai Szakosztály XXVIII. Munkaértekezlete, Velence, Magyarország. (Poszter előadás, absztrakt)
  12. Trunk, A., **Zentai, N.**, Stefanics, G., Bacskay, I., Felinger, A., Thuróczy, Gy., Hernádi, I. (2013). No combined effects of caffeine and 3G mobile phone exposure on predictive coding in the human brain. 14<sup>th</sup> Conference of the Hungarian Neuroscience Society (MITT), Budapest, Hungary. (Poster presentation, abstract)
  13. Trunk, A., Stefanics, G., **Zentai, N.**, Bacskay, I., Felinger, A., Thuróczy, Gy., Hernádi, I. (2013). No evidence of interactions between caffeine intake and 3G mobile phone exposure on target expectancy in the human brain. II. Interdiszciplináris Doktorandusz Konferencia, Pécs, Hungary. (Poster presentation, abstract)
  14. Trunk, A., Stefanics, G., **Zentai, N.**, Bacskay, I., Felinger, A., Thuróczy, Gy., Hernádi, I. (2013). Investigation of possible synergistic effects of caffeine intake and UMTS mobile phone-like exposure on predictive coding in the human brain. 11<sup>th</sup> International Conference of the European Bioelectromanetics Association (EBEA), Thessaloniki, Greece. (Poster presentation, abstract)
  15. Vecsei, Zs., **Zentai, N.**, Juhász, P., Thuróczy, Gy. (2013). Possible effects of 20 min LTE mobile phone exposure on cognitive performance assessed by Stroop test in young healthy human volunteers. 11<sup>th</sup> International Conference of the European Bioelectromanetics Association (EBEA), Thessaloniki, Greece. (Poster presentation, abstract)
  16. Vecsei, Zs., Báló, V., **Zentai, N.**, Juhász, P., Thuróczy, Gy., Hernádi, I. (2013). Investigation of putative effects induced by acute LTE mobile phone-like exposure on cognitive

performance of healthy volunteers. II. Interdiszciplináris Doktorandusz Konferencia, Pécs, Hungary. (Poster presentation, abstract)

17. Bacskay, I., Trunk, A., **Zentai, N.**, Thuróczy, Gy., Hernádi, I., Felinger, A. (2012). Új generációs mobiltelefon sugárzás hatása a koffein nyálba történő kiválasztására emberben. Magyar Elválasztástudományi Vándorgyűlés, Hajdúszoboszló, Magyarország. (Poszter előadás, absztrakt)
18. Trunk, A., Stefanics, G., **Zentai, N.**, Bacskay, I., Felinger, A., Thuróczy, Gy., Hernádi, I. (2012). Novel experimental design to test potential synergistic effects of caffeine and 3G mobile phone exposure on human visual evoked potentials. 8<sup>th</sup> FENS Forum of European Neuroscience, Barcelona, Spain. (Poster presentation, abstract)
19. Trunk, A., Stefanics, G., **Zentai, N.**, Bacskay, I., Felinger, A., Thuróczy, Gy., Hernádi, I. (2012). Possible synergistic effects of caffeine and 3G mobile phone exposure on human reaction time and visual event-related potentials. IBRO International Workshop, Szeged, Hungary. (Poster presentation, abstract)
20. Trunk, A., **Zentai, N.**, Stefanics, G., Bacskay, I., Felinger, A., Thuróczy, Gy., Hernádi, I. (2012). Combined effects of caffeine and 3G mobile phone exposure on predictive coding in the human brain. ERNI-HSF. Brain oscillations in health and disease, Budapest, Hungary. (Poster presentation, abstract)
21. Trunk, A., Stefanics, G., **Zentai, N.**, Kovács-Bálint, Zs., Thuróczy, G., Hernádi, I. (2011). The effect of a single 30 minute long 3G EMF exposure on auditory evoked potentials, automatic deviance detection and spontaneous EEG (sEEG). 13<sup>th</sup> Conference of the Hungarian Neuroscience Society (MITT), Budapest, Hungary. (Poster presentation, abstract)
22. Trunk, A., Stefanics, G., **Zentai, N.**, Hernádi, I. (2011). A koffein hatása az emberi auditoros és vizuális eseményhez kötött kiváltott potenciálokra ingerdiszkriminációs paradigmában. Magyar Farmakológus Anatómus Mikrocirkulációs Élettani Társaságok Közös Tudományos Konferenciája (FAME), Pécs, Magyarország. (Poszter előadás, absztrakt)

Összesített impakt faktor: 14,183

Független idézetek száma: 59