

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA BIOLOGIJO

Matej Plankar

**BLIŽNJE ELEKTRIČNO POLJE KOT KAZALNIK
ČLOVEKOVEGA FIZIOLOŠKEGA STANJA**

DIPLOMSKO DELO

Univerzitetni študij

Ljubljana, 2007

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA BIOLOGIJO

Matej Plankar

**BLIŽNJE ELEKTRIČNO POLJE KOT KAZALNIK ČLOVEKOVEGA
FIZIOLOŠKEGA STANJA**

DIPLOMSKO DELO
Univerzitetni študij

**NEAR ELECTRIC FIELD AS A TOOL FOR MONITORING HUMAN
PHYSIOLOGICAL STATE**

GRADUATION THESIS
University Studies

Ljubljana, 2007

Diplomska naloga je zaključek Univerzitetnega študija biologije. Opravljena je bila na Inštitutu Bion v Ljubljani, kjer so bili izvedeni vsi poskusi.

Študijska komisija Oddelka za biologijo je za mentorja diplomske naloge imenovala prof. dr. Igorja Jermana in za somentorja prof. dr. Kazimirja Drašlarja.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik: prof. dr. Boris Bulog
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo

Član: doc. dr. Peter Stušek
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo

Član: prof. dr. Kazimir Drašlar
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo

Član: prof. dr. Igor Jerman
Inštitut Bion, Ljubljana

Datum zagovora: 8.10.2007

Naloga je rezultat lastnega raziskovalnega dela. Podpisani se strinjam z objavo svoje naloge v polnem tekstu na spletni strani Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete. Izjavljam, da je naloga, ki sem jo oddal v elektronski obliki, identična tiskani verziji.

Matej Plankar

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Dn
DK	537.8:613.648:612(043,2)=1636
KG	elektromagnetno polje/elektromagnetne interakcije/šibka sevanja/bližnje polje/bioelektromagnetno polje/biološka koherenca/fiziološko stanje
AV	PLANKAR, Matej
SA	JERMAN, Igor (mentor)/DRAŠLAR, Kazimir (somentor)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Večna pot 111
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo
LI	2007
IN	BLIŽNJE ELEKTRIČNO POLJE KOT KAZALNIK ČLOVEKOVEGA FIZIOLOŠKEGA STANJA
TD	Diplomska naloga (univerzitetni študij)
OP	XII, 67 s., 8 pregl., 13 sl., 5 pril., 86 vir.
IJ	sl
JI	sl/en
AI	Mnogo teoretičnih in eksperimentalnih raziskav nakazuje na obstoj nelokalnega, predvidoma visoko koherentnega endogenega bioelektromagnetnega polja. Menimo, da lahko to polje posredno zaznamo preko interakcije z bližnjim električnim poljem. V ta namen smo merili splošne značilnosti absorpcije bližnjega električnega polja pri človeku ter njeno odvisnost od telesnega psihofiziološkega statusa in od klasičnih fizikalnih parametrov absorpcije (teža, višina). Princip meritve je temeljil na prevajanju bližnjega električnega polja skozi človekov organizem, ki deluje kot posrednik med oddajnim sistemom, ki predstavlja vir zunanjega šibkega, definirane bližnjega električnega polja, in detekcijskim sistemom, kjer sta ključna elementa senzorja, ki oddano bližnje polje človeka prestrežeta oz. izmerita. Opazili smo značilen trend upadanja absorpcije skozi celotno časovno obdobje meritve (35 min), kljub temu, da se fizikalni absorpcijski parametri (masa, višina, prevodnost tkiv itd.) niso spremenili, kar pripisujemo splošni umiritvi organizma. Upad absorpcije je bil večji, kadar so prostovoljci pred meritvijo že bili splošno ali fizično aktivni. Po vnosu tekočine v organizem je absorpcija narastla bolj, kot bi pričakovali na račun večje telesne mase zaradi vnešene tekočine. Po seriji kratkih telesnih vaj smo opazili večjo variabilnost absorpcije v primerjavi z ostalimi testi. Telesna teža in višina kot klasična fizikalna absorpcijska parametra sta imela v večini primerov sicer značilen, vendar le manjšinski vpliv na absorpcijo. Odvisnost absorpcije od telesne teže je bila v nasprotju s pričakovanim manjša pri manjših razdaljah od telesne površine. Menimo, da se s približevanjem telesni površini postopoma ojačujejo interakcije s kolektivno organiziranimi endogenimi elektromagnetnimi polji, ki so vezana predvsem na splošno metabolno oz. fiziološko stanje organizma. Bližnje električno polje lahko na ta način predstavlja primerno orodje za detekcijo endogenih elektromagnetnih polj, po drugi strani pa kot kazalnik fiziološkega statusa organizma na nov, neinvaziven način.

KEY WORDS DOCUMENTATION

- DN Dd
- DC 537.8:613.648:612(043,2)=1636
- CX electromagnetic field/electromagnetic interactions/weak radiation/low energy fields/near field/bioelectromagnetic field/biological coherence/physiological state
- AU PLANKAR, Matej
- AA JERMAN, Igor (mentor)/DRAŠLAR, Kazimir (somentor)
- PP SI-1000 Ljubljana, Večna pot 111
- PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Biology
- PY 2007
- TI NEAR ELECTRIC FIELD AS A TOOL FOR MONITORING HUMAN PHYSIOLOGICAL STATE
- DT Graduation Thesis (University studies)
- NO XII, 67 p., 8 tab., 13 fig., 5 ann., 86 ref.
- LA Sl
- AL sl/en
- AB The existence of a non-local, probably highly coherent endogenous bioelectromagnetic field is suggested by many independent theoretical and experimental lines of research. We assume that such field could be indirectly detected through interaction with a near electric field. Therefore we measured the basic characteristics of the near electric field absorption on humans, it's dependence of the body's psycho-physiological state, and of basic physical absorption parameters (weight, height). The measurement was based on the conduction of the near electric field through the body, which acts as a mediator between emitter system that represents the source of external (near) field, and detection system, which detects and measures the emitted field from the body. As a general property we noticed significant lowering of the absorption throughout the whole time of the measurement (35 min), although classical absorption parameters such as body mass, height, and conductivity properties remained constant. Decrease of the absorption was found to be greater when individuals were more active before the measurement. Significant, and much greater than expected on the basis of increased body mass, rise in absorption was observed after drinking tap water. After a set of short physical exercise, greater variability of the absorption was observed compared to other tests. Body mass and height as classical physical absorption parameters were found to have distinct, but in most cases only minor influence on the absorption. Seemingly paradoxical picture emerged that correlations of absorption parameters with body mass decreased with decreasing distance from the surface of the body. We suggest that with approaching the body surface, progressively increasing collective endogenous electromagnetic forces arise, which are connected primarily with the general physiological status of the organism, as indicated. We conclude that the near electric field therefore might be an appropriate tool for detection of such endogenous fields, as well as for monitoring certain physiological states in a new and non-invasive way.

KAZALO VSEBINE

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA (KDI)	III
KEY WORDS DOCUMENTATION (KWD)	IV
KAZALO VSEBINE	V
KAZALO PREGLEDNIC	VIII
KAZALO SLIK	IX
OKRAJŠAVE IN SIMBOLI	X
SLOVARČEK	XI

1 UVOD	1
2 PREGLED OBJAV	3
2.1 ELEKTROMAGNETNO POLJE	3
2.1.1 Opredelitev	3
2.1.2 Časovno – prostorska dinamika	5
2.1.2.1 Bližnje in daljno polje	5
2.1.2.2 Valovna koherenca	7
2.1.2.3 Frekvenčna klasifikacija	8
2.1.3 Kvantizacija	8
2.2 INTERAKCIJE ORGANIZMOV Z ZUNANJIMI EM POLJI	9
2.2.1 Absorpcija EM polj v organizmih	9
2.2.1.1 Tipi interakcij z biološkimi molekulami	9
2.2.1.2 Absorpcija radiativnih termogenih polj	10
2.2.1.3 Absorpcija bližnjih polj	11
2.2.1.3.1 Električna polja	11
2.2.1.3.2 Magnetna polja	12
2.2.2 Atermični biološki učinki	12
2.2.2.1 Osnovne značilnosti in nekateri primeri	12
2.2.2.1.1 Raziskave in vitro	13
2.2.2.1.2 Raziskave in vivo	13
2.2.2.2 Mehanizem interakcije	14
2.3 ENDOGENA POLJA IN BIOLOŠKA KOHERENCA	14
2.3.1 Biofizikalne osnove	14
2.3.1.1 Termodinamski vidik	14
2.3.1.2 Elektromagnetne lastnosti bioloških molekul	15

2.3.1.2.1	Proteini	15
2.3.1.2.2	Citoskelet	16
2.3.1.3	Površinska voda in stabilizacija proteinov	16
2.3.1.4	Transport elektronov in protonov	18
2.3.1.5	Solitoni	19
2.3.1.6	Kvantna koherenca	19
2.3.2	Teorije endogenih bioloških polj	20
2.3.2.1	Uvod	20
2.3.2.2	Fröhlichova teorija koherentnih ekscitacij	21
2.3.2.2.1	Eksperimentalna podpora Fröhlichovi teoriji	23
2.3.2.3	Kvantna elektrodinamika milanske skupine	24
2.3.2.4	Biofotonsko polje	26
2.3.2.5	Biopolje	28
3	NAMEN IN HIPOTEZE	29
4	MATERIAL IN METODE	30
4.1	ZASNOVA EKSPERIMENTA	30
4.1.1	Vzorec	30
4.1.2	Opis eksperimenta	30
4.2	IZVEDBA MERITEV	31
4.2.1	Eksperimentalni sistem	31
4.2.2	Protokol meritev	32
4.2.3	Parametri	33
4.3	ANALIZA PODATKOV	35
5	REZULTATI	37
5.1	TESTI AKTIVNOSTI	37
5.1.1	Posamezni testi	37
5.1.1.1	Kontrolni test (K)	37
5.1.1.2	Test z vnosom tekočine (V)	37
5.1.1.3	Test s fizično aktivnostjo (P)	38
5.1.2	Primerjava testov	42
5.1.2.1	Primerjava normiranih povprečij	42
5.1.2.2	Primerjava variabilnosti	44
5.2	ODVISNOST ABSORPCIJSKIH IN FIZIKALNIH PARAMETROV	45
5.2.1	Primerjava povezanosti absorpcijskih parametrov	45
5.2.2	Odvisnost absorpcije od telesne teže in višine	46
5.3	ANALIZA PSIHO FIZIČNIH DEJAVNIKOV	47
5.3.1	Vpliv na spremembe absorpcije	47
5.3.2	Vpliv na stabilnost absorpcije	50

5.4 SPREMEMBE OBČUTLJIVOSTI SENZORJA K4	52
6 RAZPRAVA	53
6.1 TESTI AKTIVNOSTI	53
6.2 ZVEZE MED FIZIKALNIMI IN ABSORPCIJSKIMI PARAMETRI	55
6.3 VPLIV PSIHO FIZIČNIH DEJAVNIKOV	56
7 SKLEPI	59
8 POVZETEK.....	60
9 LITERATURA	62

ZAHVALA

PRILOGE

KAZALO PREGLEDNIC

Pregl. 1: Klasifikacija EM valovanj glede na frekvenco in valovno dolžino	8
Pregl. 2: Primerjava časovnih trendov in nekaterih specifičnih razlik med obravnavanji (časi posameznih meritev) absorpcije bližnjega električnega polja po posameznih absorpcijskih parametrih v testih aktivnosti (K, V in P)	38
Pregl. 3: Primerjava variabilnosti med testi po posameznih parametrih.	44
Pregl. 4: Korelacijski koeficienti (Pearson) absorpcijskih parametrov za posamezen senzor in med senzorjema	46
Pregl. 5: Odstotek pojasnenosti ($100R^2$) za variabilnost absorpcijskih parametrov v odvisnosti od telesne teže in višine in stopnja statistične značilnosti regresijskega modela	47
Pregl. 6: Primerjava vpliva psihofizičnih parametrov na spremembo absorpcije v času 0-35 min.	48
Pregl. 7: Primerjava vpliva psihofizičnih parametrov na velikost absorpcije, izračunane kot povprečje posameznih meritev.	49
Pregl. 8: Povezanost med psihofizičnimi parametri in nestabilnostjo absorpcijskega signala	50

KAZALO SLIK

Sl. 1: Sorazmernostni koeficienti jakosti električnega polja glede na razdaljo od izvora.....	7
Sl. 2: Shema detekcijskega sistema.....	32
Sl. 3: Primer značilnega signala posamezne meritve z izmerjenimi vrednostmi parametrov	34
Sl. 4: Primeri različnih zunanjih motenj.....	34
Sl. 5: Povprečne vrednosti absorpcije bližnjega električnega polja s 95% intervalom zaupanja v testu K po posameznih absorpcijskih parametrih.....	39
Sl. 6: Povprečne vrednosti absorpcije bližnjega električnega polja s 95% intervalom zaupanja v testu V po posameznih absorpcijskih parametrih.....	40
Sl. 7: Povprečne vrednosti absorpcije bližnjega električnega polja s 95% intervalom zaupanja v testu P po posameznih absorpcijskih parametrih	41
Sl. 8: Primerjava povprečij, normiranih na čas 0 med testi K, V in P po posameznih parametrih senzorjev K3 in K4.....	43
Sl. 9: Primerjava izmerjenih vrednosti absorpcije za posamezne osebe med testoma K in P pri parametru K4 Kh.....	45
Sl. 10: Vpliv parametrov fizične aktivnosti in stresnosti na velikost in na spremembo absorpcije v času 0-35 min	50
Sl. 11: Primeri različnih stabilnosti absorpcijskih signalov	51
Sl. 12: Odvisnost razmerja absorpcijskih parametrov K _p in K _{pm} senzorja K4 od zaporednega števila meritve	52
Sl. 13: Linearna odvisnost absorpcije bližnjega električnega polja od višine vodnega stolpca.....	53

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

B	bližinska meritev (parameter)
CD	koherenčna domena (Coherence Domain)
DL	zakasnjena luminiscenca (Delayed Luminiscence)
EM	elektromagneten <i>-no -ne -na</i>
<i>en.</i>	enačba
ELF	nizkofrekvenčna sevanja (Extremely Low Frequency)
HB	vodikova vez
HDW	voda z visoko gostoto (High Density Water)
ICNIRP	Mednarodna komisija za varstvo pred neionizirnimi sevanji (International Commission on Nonionizing Radiation Protection)
ICR	ionska ciklotronska resonanca (Ion Cyclotron Resonance)
IR	infrardeči valovi (Infrared)
LDW	voda z nizko gostoto (Low Density Water)
MT	mikrotubuli
MW	mikrovalovi (Microwave)
K3	Kanal 3 (senzor)
K4	Kanal 4 (senzor)
Kh	kontaktna meritev hkrati (parameter)
Kp	kontaktna meritev posamezno (parameter)
K _{pm}	maksimum kontaktne meritve posamezno (parameter)
KV %	koeficient variabilnosti
p.e.	poljubne enote
QED	kvantna elektrodinamika (Quantum Electrodynamics)
Rh	razlika hkrati (parameter)
Rp	razlika posamezno (parameter)
SD	standardna deviacija
<i>Sl.</i>	pojem je razložen v slovarju
UV	ultravijolični valovi (Ultraviolet)
VLF	nizkofrekvenčna sevanja (Very Low Frequency)

SLOVARČEK

- Boltzmannova (Maxwell-Boltzmannova) distribucija** funkcija porazdelitve energije med enakimi in razločljivimi delci; pove, da se verjetnost, da bo katerikoli delec zasedel določeno energijsko stanje, eksponentno zmanjšuje z naraščajočo energijo
- Bozoni** kvantni delci s celim spinom (0, 1, 2...), za katere ne velja izključitveno načelo (npr. fotoni)
- Citomatriks** citoskelet (miktotubuli, aktinski filamenti, intermediarni filamenti in organizacijski center mikrotubulov (MTOC)) skupaj z mikrotrabekularnim omrežjem
- Dielektrična konstanta** merilo sposobnosti materiala za skladiščenje elektrostatične energije zaradi prepustnosti električnega polja, E , odvisno od gostote električnega pretoka, D ; navadno uporabimo relativno dielektrično konstanto, ϵ_r , ki je razmerje specifične dielektričnosti snovi, ϵ_s , in dielektričnosti vakuuma, ϵ_0 : $\epsilon_r = \epsilon_s / \epsilon_0$
- Dielektričnost** stopnja prepustnosti materiala za električno polje, E , odvisna od sposobnosti orientacije električnih dipolov (polarizacije) materiala glede na smer električnega polja, v katerem se material nahaja; definirana je kot razmerje gostote električnega pretoka, D , in jakosti električnega polja, E : $\epsilon = D / E$
- Dielektrik** snov, v kateri lahko obstaja električno polje, ne da bi skozi njega tekla električni tok, tj. izolator z visoko dielektričnostjo
- Dipol (električni)** v *antenskih sistemih* eden od dveh krakov antene, katerih električni naboj izmenično oscilira; v *biologiji* lokalna neenakomerna porazdelitev (separacija) naboja znotraj molekule, ki jo opredelimo z dipolnim momentom; v primeru, da ima vsota vseh dipolnih momentov znotraj molekule vektorsko orientacijo ($\neq 0$) je celotna molekula dipol (polarna molekula)
- Dipolni moment (električni)** vektorska količina, ki določa (lokalno ali celotno) stopnjo neenakomernosti porazdelitve nabojev v molekuli zaradi prisotnosti nabitih skupin ali različne elektronegativnosti atomov (permanentni dipol), zaradi indukcije z električnim poljem (inducirani dipol) ali zaradi začasne naključne porazdelitve elektronov (temporalni dipol); definiran je s produktom velikosti separiranega naboja δ v razdalji d : $\mu = \delta d$, v enotah Cm (SI sistem) ali *Debye* ($3.33564 \cdot 10^{-30} Cm$)
- Disperzija** razklon, odvisnost hitrosti valovanja od frekvence
- Divergenca** vektorski diferencialni operator, ki opisuje tendenco vektorskega polja za izvor oz. ponor v prostoru
- Elektret** material, ki se v električnem polju polarizira in ob odstranitvi polja ohrani polarizacijo; električni analog magneta
- Elektronegativnost** afiniteta atoma za valenčne elektrone

Feroelektričnost lastnost feroelektrikov (dipolnih elektretov), da imajo v njih makroskopska območja dipolni moment; imajo zelo veliko dielektričnost

Fonon vibracijski kvant; mehanski analog fotonu

Izotropnost neodvisnost količine od orientacije v prostoru oz. smeri širjenja v materialu; nasprotje je anizotropija

Permeabilnost stopnja magnetizacije materiala v magnetnem polju (μ), odvisna od sposobnosti orientacije magnetnih dipolov; magnetni analog dielektričnosti

Piezoelektričnost lastnost nekaterih materialov, da ob mehanskem stresu generirajo električno napetost in nasprotno, ob spremembi napetosti spremenijo obliko

Polarizacijska gostota vektorsko polje, ki označuje gostoto električnih dipolnih momentov v dielektriku; opredelimo jo kot dipolni moment, μ , na enoto volumna, V :

$$P = \mu / V$$

Rotor vektorski diferencialni operator, ki opisuje rotacijsko tendenco vektorskega polja

Resonanca tendenca sistema, da oscilira z maksimalno amplitudo, ko mu vsiljujemo nihanje z določeno (lastno) frekvenco; manjše, ko je dušenje (zaradi notranjih trenj v sistemu), večja je amplituda in bolj je resonančna frekvenca podobna naravni frekvenci sistema (osnovna frekvenca oz. višji harmoniki)

Stopnje prostosti v *mehaniki* število oz. točka v faznem prostoru, ki opisuje stanje delca ali sistema delcev; vsaki smeri gibanja delca (x, y, z) pripišemo 2 stopnji prostosti, eno za pozicijo in drugo za gibalno količino

Stoječi (stacionarni) val nihanje, katerega amplituda ohranja konstantno pozicijo (v fiksnih prevojnih točkah je nična) zaradi konstruktivne interference med valovi, ki potujejo v različnih smereh (npr. zaradi odbojev, kjer valovna dolžina oz. harmoniki sovpadajo z dimanzijami sistema); pojav izkoriščamo npr. v mikrovalovnih pečicah

Vektorsko polje matematični ali fizikalni prostor, kjer obstaja funkcija ali fizikalna količina, ki vsaki točki prostora priredi vektor

1 UVOD

Organizmi so v okolju sočasno izpostavljeni različnim elektromagnetnim poljem naravnega in tehnogenega izvora. Med naravnimi viri so zlasti pomembni sončno sevanje, geomagnetno in geoelektrično polje ter Schumanove resonance, glavni viri tehnogenih sevanj pa so predvsem telekomunikacijski sistemi, daljnovodi ter gospodinske in industrijske električne naprave (Hyland, 2003a; Sienkiewicz, 1998). Življenjski procesi so neobhodno odvisni od elektromagnetnih sevanj, saj je toplota pogoj za potek vseh kemijskih in biokemičnih reakcij. Absorpcija sončne energije v rastlinah danes predstavlja temeljni vir dotoka energije v ekosisteme. Čutilni sistemi na podlagi vzorčnega prepoznavanja EM polj omogočajo orientacijo v prostoru, medvrstno in znotrajvrstno prepoznavanje ter komunikacijo; po drugi strani so se razvili filtrirni sistemi, ki ščitijo pred mutagenimi ionizirnimi sevanji (Frey, 1992).

Raziskave zadnjih 50 let so razkrile, da organizmi ne interagirajo samo z zunanjimi polji, temveč imajo tudi izrazit notranji (endogeni) elektromagnetni značaj (Liboff, 2004). Na biološke molekule, predvsem na vodo in polimere, lahko gledamo z vidika elektromagnetnih entitet, saj posedujejo polarne vezi, nabite skupine in delokalizirane elektrone/protone, ki variirajo v prostoru in času, kar omogoča nastanek lokalnih električnih in EM polj. Posamezne molekule ali verige molekul tako delujejo obenem kot EM oddajniki (emiterji) in sprejemniki (absorbenti) in se na ta način lahko med seboj prepoznavajo in interagirajo z visoko učinkovitostjo (Bistolfi, 1991; Cosic, 1994; Pokorný s sod., 2005a, 2005b). V zadnjih nekaj letih se, predvsem na področju sodobne biofizike, pojavlja vse več teoretične kot tudi eksperimentalne literature, ki z različnih zornih kotov nakazuje, da se posamična, lokalizirana EM polja pod določenimi pogoji preko kompleksnih interakcij na submolekulski oz. kvantni ravni, lahko kolektivno organizirajo na raven, ki ni več lokalna, temveč zaobjema organizem kot celoto in za katero je značilna visoka stopnja fazne korelacije ali koherence (Bischoff, 2003; Del Giudice s sod., 2005; Dürr, 2002; Jaeken, 2006, 2007; Jerman in Štern, 1996; Popp, 2003). Tovrstno bioelektromagnetno polje ne ponuja samo teoretičnega okvira za razumevanje občutljivosti bioloških sistemov na ultrašibka zunanja polja, temveč daje tudi vpogled v subtilno organizacijo biološke materije. Kljub številni literaturi z različnih področij raziskovanja ostaja, zaradi svoje nelokalne narave ter občutljivosti na izredno širok spekter dejavnikov, ki otežujejo eksperimentalno sledljivost, znanstvena terminologija še neenotna in konkretna narava tega polja v veliki meri neznana.

Izhodišče za pričujoče delo vidimo prav v kolektivni naravi in posledični občutljivosti endogenega elektromagnetnega polja na spremembe splošnega fiziološkega statusa organizma. Predpostavljamo, da lahko bližnje električno polje zaradi svoje kompleksne

strukture interagira z endogenim poljem na način, ki je do določene mere neodvisen od klasičnih fizikalnih parametrov in ki se kaže v odvisnosti absorpcije bližnjega električnega polja od splošnega fiziološkega statusa organizma. Človek je primeren objekt za proučevanje tega vpliva, saj lahko pridobimo informacije o posameznikovih aktivnostih in splošnemu počutju, s tem pa širšo sliko tistih dejavnikov, ki bi lahko vplivali na absorpcijo bližnjega električnega polja.

2 PREGLED OBJAV

2.1 ELEKTROMAGNETNO POLJE

2.1.1 Opredelitev

Klasično elektromagnetno (EM) polje je fizikalno polje, ki nastane zaradi gibanja električnih nabojev in se širi v prostor. Tvorijo ga 4 vektorska polja^{SI}, \mathbf{E} , \mathbf{D} , \mathbf{B} in \mathbf{H} (Hyland, 2003a):

\mathbf{E} je *električno polje*, katerega izvor je električni naboj. Elektrostatično je definirano kot prostor v okolici električnega naboja (z enoto C), na katerega deluje električna sila:

$$\mathbf{F} = q\mathbf{E} \quad \dots(1)$$

kjer je q velikost točkastega naboja in \mathbf{E} jakost električnega polja. Skladno s Coulombovim zakonom

$$\mathbf{E} = k \frac{q}{r^2} \quad \dots(2)$$

kjer je r razdalja od njega in k konstanta, ki jo izberemo glede na sistem merskih enot (navadno elektrostatična konstanta, k_C), se električno polje širi radialno od točkastega naboja in upada s kvadratom razdalje od njega. Smer polja dogovorno poteka od pozitivnega proti negativnemu naboju. Enota za jakost električnega polja je NC^{-1} oz. ekvivalent Vm^{-1} , kadar jakost polja izrazimo kot razliko v električnem potencialu, U (z enoto V) v razdalji d .

\mathbf{B} je *gostota magnetnega polja* ali *gostota magnetnega pretoka*; elektrostatično je definirano kot prostor v okolici gibajočega se naboja oz. električnega toka, kjer na naboj deluje magnetna sila:

$$\mathbf{F} = q\mathbf{v} \times \mathbf{B} \quad \dots(3)$$

kjer je v hitrost naboja in \mathbf{B} jakost magnetnega pretoka. Magnetna sila je pravokotna na smer magnetnega pretoka in smer gibanja naboja. Enota za gostoto magnetnega pretoka je $Vs/m^2 \equiv Js/m^2$ ali T .

Skupna sila na električni naboj q , gibajoč se hitrostjo v , je podana z Lorentzovo silo:

$$\mathbf{f}_L = q(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B}) \quad \dots(4)$$

\mathbf{D} je *gostota električnega polja* ali *gostota električnega pretoka*, katere izvor je gostota električnega naboja, ρ (z enoto C/m^3), v enotah $As/m^2 \equiv C/m^2$.

\mathbf{H} je *magnetno polje*, katerega izvor je gostota električnega toka, \mathbf{J} (z enoto A/m^2), v enotah A/m , kjer je $A \equiv C/s$.

Zvezi med \mathbf{B} in \mathbf{H} ter \mathbf{D} in \mathbf{E} sta dani z izrazoma:

$$\mathbf{D} = \epsilon_s \mathbf{E} \quad \dots(5)$$

$$\mathbf{B} = \mu_s \mathbf{H} \quad \dots(6)$$

kjer sta μ_s specifična magnetna permeabilnost^{Sl.} in ϵ_s specifična dielektričnost^{Sl.} medija in ju obravnavamo kot časovno neodvisni konstanti v nedisperzivnih^{Sl.}, izotropnih^{Sl.} in homogenih medijih.

\mathbf{E} , \mathbf{D} , \mathbf{B} in \mathbf{H} v EM polju variirajo v prostoru in času na način, kot ga predpisujejo Maxwelllove enačbe:

$$\text{rot}\mathbf{H} = \mathbf{J} + \frac{\delta\mathbf{D}}{\delta t} \quad \dots(7)$$

$$\text{rot}\mathbf{E} = -\frac{\delta\mathbf{B}}{\delta t} \quad \dots(8)$$

$$\text{div}\mathbf{D} = \rho \quad \dots(9)$$

$$\text{div}\mathbf{B} = 0 \quad \dots(10)$$

kjer sta *rotor* in *divergenca* vektorska diferencialna operatorja; *rotor* opisuje tendenco vektorskega polja za rotacijo in *divergenca* tendenco širjenja v prostor. En. (7) opisuje dinamiko izvora magnetnega polja iz električnega toka oz. spremembe električnega pretoka v smislu zaključenih zank s ploskvijo pravokotno na smer električnega toka/spremembo gostote električnega pretoka in z magnetnim poljem, tangencialnim glede

na obod ploskev. *En. (8)* povezuje električno in magnetno polje na način, da sprememba gostote magnetnega pretoka generira električno polje. V vodniku to pomeni nastanek električnega toka (elektromagnetna indukcija), katerega smer je takšna, da njegovo lastno magnetno polje v vsakem trenutku enakovredno nasprotuje spremembi, ki ga je povzročila, tako da je sprememba gostote magnetnega pretoka vedno enaka 0. *En. (9)* opisuje radialno dinamiko izvora gostote električnega pretoka iz gostote el. naboja, tj. izvor oz. ponor električnega polja je električni naboj, medtem ko *(10)* magnetno polje nima lastnega izvora ali lastnih nabojev (monopolov) (Swain, 2003).

EM polje je realizirano, kadar v danih pogojih obstajajo rešitve Maxwellovih enačb. V splošnem so rešitve zelo raznolike in so odvisne od lastnosti medija ter oddaljenostjo od vira (Detela, 2002).

2.1.2 Časovno – prostorska dinamika

Dokler je hitrost naboja enakomerna, je EM polje statično in ostane omejeno v neposredni bližini svojega vira ter ne izgublja energije. Kadar je hitrost naboja neenakomerna, tj. naboj se giblje s pospeškom oz. pojemkom, npr. oscilira, se odgovarjajoči spremembi električnega in magnetnega polja širita v prostor s hitrostjo c (Schmitt, 2000):

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu\epsilon}} \quad \dots(11)$$

2.1.2.1 Bližnje in daljno polje

Glede na način širjenja v prostor je EM polje sestavljeno iz vsaj dveh komponent, bližnjega in daljnega polja, katerih oddaljenost od vira je odvisna od frekvence, ν , oscilacij naboja oz. dipola^{Sl} (Morega, 2004).

Jakosti električnega in magnetnega polja imata naslednje frekvenčno – prostorske odvisnosti (Hyland, 2003a):

$$\mathbf{E} \sim \nu^2 \left(\frac{1}{r} \right), \nu \left(\frac{1}{r^2} \right), \left(\frac{1}{r^3} \right) \quad \dots(12)$$

$$\mathbf{H} \sim \nu^2 \left(\frac{1}{r} \right), \nu \left(\frac{1}{r^2} \right) \quad \dots(13)$$

V razdalji od vira, mnogo večji od valovne dolžine λ ($r \gg \lambda$), kjer prevladuje sorazmernostni faktor $1/r$, je realizirano daljno (radiativno, sevalno) polje ali EM valovanje. V homogenih, izotropnih in nedisperzivnih medijih dobiva jakosti električnega in magnetnega polja dinamično rešitev v obliki potujočih, sinusoidnih, ravnih valov, kjer sta polji v fazi ter pravokotni drug na drugega in glede na smer širjenja, z amplitudo $|\mathbf{E}|$ ($\approx 377 |\mathbf{H}|$ v zraku) ter frekvenco in valovno dolžino, povezanima z izrazom

$$c = v\lambda \quad \dots(14)$$

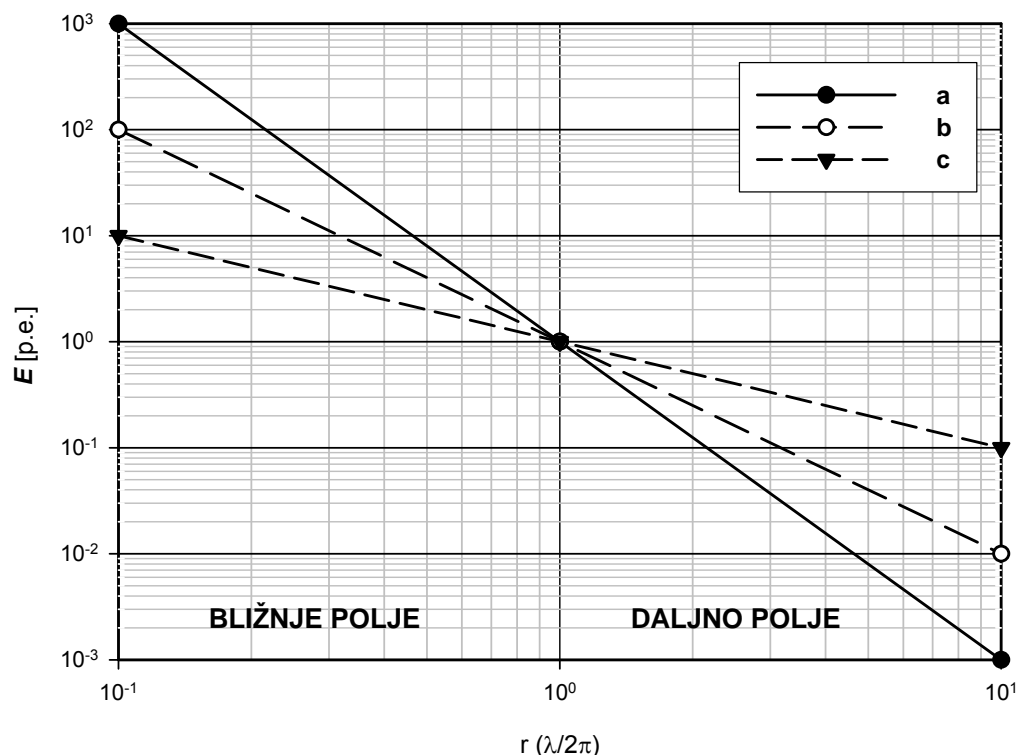
\mathbf{E} in \mathbf{H} sta v daljnem polju med seboj odvisni in se sinergistično vzdržujeta (en. (7) in (8)), zato je za to polje značilno, da seva v prostor poljubno daleč oz. dokler se ne absorbira. Sevanje pri tem nosi s seboj energijo, ki uhaja iz sistema in jo opredelimo kot gostoto energijskega toka, S , na enoto površine v danem času:

$$S = |\mathbf{E} \times \mathbf{H}| \quad \dots(15)$$

v enoti W/m^2 , $W = J/s$.

V razdaljah od vira $r \ll \lambda$, kjer prevladujeta sorazmernostna faktorja $1/r^2$ in $1/r^3$, je realizirano bližnje (neradiativno, reakcijsko, indukcijsko) polje, kjer postane struktura EM polja nelinearna in nehomogena. V nekaterih regijah je polje pretežno električno in v drugih pretežno magnetno, razmerje med komponentama pa je odvisno od narave vira: izvor z majhnim tokom v primerjavi z napetostjo kot npr. oscilirajoči dipol generira pretežno električno bližnje polje in izvor z majhno napetostjo v primerjavi s tokom (npr. tuljava) generira pretežno magnetno bližnje polje (Hyland, 2003a).

Bližnje električno polje dalje razdelimo na 2 komponenti. V neposredni bližini vira je skladno z odvisnostjo $1/r^3$ realizirano statično (kvazistatično, reaktivno) polje (Capps, 2001). V tem delu prevladuje longitudinalno električno polje v smeri osi osciliranja vira, zato električna in magnetna komponenta v bližnjem polju nista vedno pravokotni glede na smer širjenja. Skladno z odvisnostjo $1/r^2$ je realizirano indukcijsko (tranzicijsko, v antenskih sistemih Fresnelova cona) polje, kjer sta komponenti polja v faznem zamiku 90° , tj. električno polje je v fazi z naboji in magnetno v fazi s tokom oz. gostoto električnega pretoka. Pretok energije EM polja v bližnjem polju periodično, tj. skladno s frekvenco, niha med virom in neposredno okolico (ne izseva), zato energija ostane shranjena v sistemu (Hyland, 2003a). V primeru, da je v območju bližnjega polja navzoč prevoden objekt, le-ta absorbira energijo na račun oscilacijskega sistema. Energija se prenese na objekt induktivno ali kapacitivno (Schmitt, 2000).



Slika 1: Sorazmernostni koeficienti jakosti električnega polja glede na razdaljo od izvora. **a** statično polje, **b** indukcijsko polje, **c** radiativno polje (prirejeno po: Johansson in Lundgren, 1997)

Meja med bližnjim in daljnim poljem je določena kot razdalja, od katere naprej prevladuje pogoj $1/r$ in je določena kot $\lambda/2\pi$ od vira (Capps, 2001). Doseg bližnjega polja je dogovorno določen kot ena valovna dolžina od vira, λ , medtem ko je razdalja, kjer vpliv bližnjega polja postane zanemarljiv, $3\lambda - 10\lambda$ (Schmitt, 2000).

2.1.2.2 Valovna koherenca

EM valovanje sestoji iz sosledja sinusoidnih valovnih paketov s fiksno fazo in polarizacijsko ravnino (Hyland, 2003a). Običajno se zaradi nekoreliranosti oscilatornih sistemov v viru sevanja zaporedni paketi med seboj ne povežejo fazno stabilno. Linearna kombinacija ali superpozicija posameznih paketov zato rezultira v interferenci, ki je lahko konstruktivna (seštevek amplitud je večji od posameznih amplitud) ali destruktivna (seštevek je manjši) (Popp, 2003). Posledično dobimo razpon različnih valovnih dolžin, četudi imajo vsi posamezni paketi enako frekvenco (Hyland, 2003a).

Valovna koherenca je merilo fazne stabilnosti oz. poravnosti posameznih paketov. Stopnjo koherence lahko izrazimo s koherenčnim časom, τ_c , tj. trajanjem fazne stabilnosti, oz. z longitudinalno koherenčno dolžino, $l_L (=c\tau_c)$, razdalje od vira v smeri širjenja, v kateri je valovanje fazno stabilno (Hyland, 2003a).

Stopnjo koherence lahko izrazimo tudi prostorsko kot koherenčni volumen, V_C :

$$V_C \sim l_T^2 l_L \quad \dots(16)$$

kjer je l_T transverzalna koherenčna dolžina, ki je odvisna od velikosti vira sevanja transverzalno na smer širjenja, a , razdalje od njega, d in valovne dolžine, λ :

$$l_T = \lambda (d/a) \quad \dots(17)$$

2.1.2.3 Frekvenčna klasifikacija

Glede na frekvenco osciliranja vira razdelimo EM polje na naslednje osnovne razrede:

Preglednica 1: Klasifikacija EM valovanj glede na frekvenco in valovno dolžino (povteto po: Bistolfi, 1993 in Wikipedia: Electromagnetic radiation, ed. 23.4.2007)

Razred	Frekvenca (ν)	Valovna dolžina (λ)
ULF (Ultra Low Frequency)	0 Hz – 3 Hz	– 100 Mm
ELF (Extremely Low Frequency)	3 Hz – 3 kHz	100 Mm – 100 km
VLF (Very Low Frequency)	3 kHz – 30 kHz	100 km – 10 km
RF (radio frekvence)	30 kHz – 300 Mhz	10 km – 1 m
MW (mikrovalovi)	300 MHz – 300 GHz	1 m – 1 mm
IR (infrardeči valovi)	300 GHz – 395 THz	1 mm – 760 nm
Vidna svetloba	395 THz – 769 THz	760 nm – 390 nm
UV (ultravijolično sevanje)	769 THz – 30 PHz	390 nm – 10 nm
X – žarki (rentgensko sevanje)	30 PHz – 30 EHz	10 nm – 10 pm
γ – žarki (gama sevanje)	30 EHz –	10 pm –

2.1.3 Kvantizacija

Na molekularni ravni postanejo pomembne kvantne fluktuacije v mediju, zaradi česar je opis EM polja z Maxwelllovimi enačbami težaven; zato je potrebna kvantizacija polja v diskretne energijske pakete, ki omogoči obravnavo z vidika kvantne mehanike (Nagy s sod., 2006). Kvanti EM polja so fotoni z energijo E (Swain, 2003):

$$E = h\nu \quad \dots(18)$$

kjer je h Planckova konstanta. Enota za energijo fotona je eV .

2.2 INTERAKCIJE ORGANIZMOV Z ZUNANJIMI EM POLJI

2.2.1 Absorpcija EM polj v organizmih

Absorpcija EM polj v bioloških tkivih je nehomogena, mnogonivojska in odvisna od številnih dejavnikov kot so parametri zunanega polja (frekvenca, amplituda, čas izpostavljenosti, polarizacija, stopnja valovne koherence ter časovne modulacije teh parametrov), značilnosti objekta (lega in orientacija telesne osi glede na polje, velikost telesa, notranja in zunanja geometrija, električne lastnosti posameznih tkiv in metabolno stanje) ter zunanjih dejavnikov kot so ozemljitev in reflektivne lastnosti bližnjih objektov (ICNIRP, 1998).

Biološki materiali so fizikalno gledano večinoma dielektriki^{Sl} z ne-nižno električno prevodnostjo ($\sigma \neq 0$). Količine kot so ϵ , σ in μ nelinearno variirajo in so odvisne od vrste molekule oz. tkiva ter od intenzitete in frekvence okoliških EM polj. Pri tem je pomembno, v kakšnem metabolnem/fiziološkem stanju je objekt oz. ali je le-ta živ ali mrtev (Hyland, 2003a).

Po frekvenčni odvisnosti učinkov zunanjih polj na biološke sisteme razdelimo EM sevanja v najširšem smislu na ionizirna in neionizirna, slednja pa na termična in atermična (Bistolfi, 1993).

2.2.1.1 Tipi interakcij z biološkimi molekulami

EM polja interagirajo z električnimi naboji in dipolnimi momenti ter povzročajo spremembe molekulskih, elektronskih in ionskih stanj. Ionizirna sevanja imajo dovolj visoko energijo, da izbijajo zunanje ali notranje elektrone iz atomov (postanejo prosti elektroni) in ponavadi povzročijo izgubo biološke funkcije molekule; večina molekul se ionizira v zgornjem UV območju. Vidna svetloba lahko povzroči reverzibilno ekscitacijo valenčnih elektronov in načeloma ni ionizirna, razen v specifičnih primerih kot so npr. fotosistemi (Bistolfi, 1991).

Termična sevanja povzročijo posredno ali neposredno segrevanje tkiv; vse morebitne biološke učinke posledično pripisujejo direktnim posledicam termalizacije, čeprav so lahko tudi atermične narave (Leal, 1993). Sevanja v IR območju povečujejo vibracijsko energijo molekul in načeloma vodijo v direktno termalizacijo tkiv. MW in RF sevanja povečujejo rotacijsko energijo molekul, tj. električni dipoli molekul oscilirajo skladno z zunanjo frekvenco in prav tako povzročijo termalizacijo, vendar preko mehanizma dielektrične izgube (dielektrično segrevanje), kjer zaradi notranjih trenj med molekulami pride do razpršitve rotacijske energije v vibracijsko (Hyland, 2003a; Sienkiewicz, 1998).

Atermična sevanja imajo prešibko energijo za reorientacijo dipolov proti termičnemu vznurjenju molekul pri fiziološki temperaturi in posledično povzročitvi temperaturnih sprememb v tkivih. Frekvenčna meja, pod katero ne pride do merljivega segrevanja, je določena kot 100 kHz (ICNIRP, 1998). O bioloških učinkih atermične narave govorimo tudi pri sevanjih višjih frekvenc z dovolj majhno amplitudo oz. dozo, da ne pride do termalizacije (Hyland, 1998; Kositsky s sod., 2001).

2.2.1.2 Absorpcija radiativnih termogenih polj

V radiativnem polju sta električna in magnetna komponenta soodvisni in imata zato enako atenuacijo. Njuna amplituda v tkivu progresivno upada z atenuacijsko konstanto, α (Hyland, 2003a):

$$\alpha = \omega \sqrt{\left(\frac{\mu_0 \varepsilon_s}{2} \sqrt{1 + \frac{\sigma}{\omega \varepsilon_s}} - 1 \right)} \quad \dots(19)$$

kjer je ω krožna frekvenca ($= 2\pi\nu$). Z naraščajočo frekvenco ε nezvezno upada (npr. zaradi manjše sledljivosti dipolov vodnih molekul zunanji frekvenci – izguba dielektrika) in σ nezvezno narašča zaradi delokalizacije elektronov (Chang, 2003). Posledično se razmerje med uskladiščeno energijo sistema na račun dielektričnosti in energije, ki jo sistem izgubi na račun električnega toka, povečuje v korist slednjega, kar pomeni razpršitev energije v obliki termalizacije. Porazdelitev energije je odvisna od prevodnosti posameznih tkiv ter od velikosti objekta in njegove orientacije glede na smer širjenja sevanja in polarizacijo; največja je, kadar je longitudinalna os telesa vzporedna smeri širjenja sevanja in kadar zunanje dimenzije objekta pribl. sovpadajo z valovno dolžino, pri čemer pride do resonančnih^{Sl.} učinkov oz. stoječih valov^{Sl.}. Največkrat uporabljena dozimetrična enota prejete energije je SAR (Specific Absorption Rate), definirana kot absorbirana moč EM pretoka na 10 g tkiva v času 6 min (v enoti W/kg) (Hyland, 2003a):

$$SAR = \sigma E_i^2 / \rho \quad \dots(20)$$

kjer je E_i povprečna jakost internega električnega polja in ρ gostota materiala (kg/m^3).

2.2.1.3 Absorpcija bližnjih polj

Pri nizkofrekvenčnih sevanjih se objekt navadno nahaja v bližnjem polju. Električna in magnetna komponenta sta v bližnjem polju neodvisni, zato ju je potrebno obravnavati ločeno (Hyland, 2003b).

2.2.1.3.1 Električna polja

Električna prevodnost organizmov je mnogo večja od prevodnosti okolice (zraka), zato postane polje v bližini površine telesa distorzirano in se ojača na način, da je smer polja vedno pravokotna na površino, pri čemer se ekvipotencialne ploskve polja tik ob površini zgostijo. Zaradi relativno visoke prevodnosti je prodiranje polja omejeno na površino telesa (deluje kot Faradayeva kletka), z zelo majhno penetracijo v notranjost, kjer se njegova amplituda, upoštevaje specifičen faktor ojačitve glede na izpostavljen del telesa, pri človeku zmanjša za pribl. 10^{-7} pri 60 Hz in za 10^{-5} pri 6 kHz. Pri pogojih, kjer je valovna dolžina mnogo večja od velikosti objekta, velja t.i. kvazistatična aproksimacija, tj. polje se obnaša, kot bi bilo statično (Polk, 1991).

Zunanja električna polja interagirajo z električnimi naboji in električnimi dipoli in inducirajo (Hyland, 2003a):

a) gostoto električnega toka prostih nabojev, \mathbf{J} :

$$\mathbf{J} = \sigma \mathbf{E} \quad \dots(21)$$

kjer je σ specifična električna prevodnost (enota $S/m \equiv (\Omega m)^{-1}$),

b) polarizacijsko gostoto induciranih električnih dipolov (zaradi vezanih nabojev), \mathbf{P} (C/m^3):

$$\mathbf{P} = \varepsilon_0 \chi \mathbf{E} \quad \dots(22)$$

kjer je χ ($= \varepsilon_r - 1$) električna susceptibilnost medija, in

c) reorientacijo permanentnih električnih dipolov.

2.2.1.3.2 Magnetna polja

Permeabilnost biomaterialov za magnetno polje je približno enaka permeabilnosti zraka (večina biomaterialov je diamagnetnih ali rahlo paramagnetnih), zato prodrejo v notranjost telesa skoraj nedistorzirano (Polk, 1991). Magnetna polja interagirajo z električnimi mikrotokovi in magnetnimi momenti. Časovno odvisna magnetna polja inducirajo interna električna polja (*en. (8)*), ki ob prisotnosti prostih nabojev inducirajo gostoto električnega toka, \mathbf{J}_i (Hyland, 2003a):

$$|\mathbf{J}_i| \approx \pi R \sigma v \mathbf{B}_0 \quad \dots(23)$$

kjer je R polmer induktivne zanke, pravokotne na \mathbf{B} . Eden od bolj poznanih mehanizmov interakcije je npr. ionska ciklotronska resonanca (ICR), ki temelji na principu kroženja prostih ionov s ciklotronsko frekvenco, odvisno od mase in naboja iona ter parametrov magnetnega polja v homogenem magnetnem polju, kadar je vektor hitrosti iona pravokoten na smer polja (Kaiser, 1996). Zunanja magnetna polja, predvsem v ELF območju, lahko na ta način selektivno vplivajo na pretok ionov v biokemijskih procesih. Kaiser omenja tudi nekatere druge predlagane mehanizme interakcij kot so ionska paramagnetna resonanca (interakcije vezanih ionov s statičnimi in ELF magnetnimi polji), ligand-receptor vezavni model (vpliv električnih in magnetnih ELF polj na hitrost vezave ionov) in druge, vendar imajo teoretične omejitve in šibko eksperimentalno podporo.

2.2.2 Atermični biološki učinki

2.2.2.1 Osnovne značilnosti in nekateri primeri

Intenzitete EM polj, ki povzročajo biološke učinke oz. njihove interakcije z biološkimi molekulami, so pogosto zanemarljivo majhne v primerjavi z obstoječimi fiziološkimi električnimi polji in električnimi tokovi in se lahko pojavijo pri intenzitetah, manjših za 10 in več magnitud od dovoljenih mejnih izpostavitvev (Hyland, 1998). Značilni so specifični frekvenčni, amplitudni in časovni intervali sevalnih parametrov, znotraj katerih pride do značilnih bioloških učinkov, ki jih imenujemo fiziološka okna (Kaiser, 1996; Leal, 1993; Markov, 2005; Polk, 1991). Posebej izraziti so frekvenčni resonančni intervali, kjer pride do specifičnih učinkov samo pri specifičnih frekvencah, pri čemer intenziteta pogosto ne sme presegati določenega praga, da se ti sploh lahko pojavijo (Kositsky, 2001), oz. postane resonančni interval z nadaljnim manjšanjem intenzitete izrazitejši (Hyland, 1998). Dielektrični parametri ob tem izkazujejo mnogo šibkejšo frekvenčno odvisnost kot

rezonančni intervali. Te lastnosti nakazujejo, da so so mehanizmi atermičnih učinkov v principu drugačni kot učinki termalizacije in so izključno vezani na metabolno aktivne (žive) biološke sisteme (Hyland, 1998, 2003a). Raziskave zadnjih 30 let so pokazale širok spekter *in vitro* in *in vivo* bioloških učinkov, ki jih ne moremo pripisati ionizacijskim ali termalizacijskim učinkom (Hyland, 1998; Kositsky s sod., 2001; Leal, 1993).

2.2.2.1.1 Raziskave *in vitro*

Kontrolirani pogoji omogočajo boljši nadzor in ponovljivost eksperimentov, vendar pa je predvidevanje vseh možnih učinkov omejeno (Kositsky s sod., 2001). Hyland (1998) poroča o pozitivnih in negativnih resonančnih vplivih na rast bakterij in gliv, sinhroniziranih celičnih delitvah kvasovk pri specifični polarizaciji zunanega polja, povečani stopnji preživetja z UV sevanji poškodovanih celic, specifičnih epigenetskih efektih, povečani aktivnosti nekaterih encimov idr. Tsong (1994) npr. ugotavlja možnost aktivacije NaK-ATPaze izključno z izmeničnim električnim poljem. Leal (1993) omenja med drugim vplive na transkripcijo DNA ter sintezo DNA in proteinov (npr. melatonin), hormonski odziv, sproščanje nevrottransmiterjev in kalcijeve signalne poti. Kositsky s sod. (2001) omenja stimulacijo sinteze ATP v celicah zelenih listov, odvisnost učinkov od funkcionalnega statusa celice, agregacijo trombocitov, morfološke spremembe celic ledvic, apoptozo bakterijskih celic in drugo.

2.2.2.1.2 Raziskave *in vivo*

Najbolje dokumentirani efekti so vplivi časovno odvisnih magnetnih polj na rast in celjenje embrionalnih kosti. Več raziskav na živalih ugotavlja manjšo sintezo melatonina po izpostavitvi specifičnim električnim in magnetnim poljem ter določene metabolne modifikacije in anomalije (Leal, 1993). Raziskave na podganah so pokazale spremembe v gibalnih aktivnostih in pogojnih refleksih, zmanjšanje ефективne plodnosti, manjšo produkcijo krvi, fiziološke in metabolne spremembe idr. (Kositsky s sod., 2001). Znani biološki učinki na človeku so npr. ponovna vzpostavitev homeostaze pri različnih patoloških stanjih kot npr. regeneracija tkiv z MW resonančno terapijo, vplivi na razpoloženje (agitacija in somnolenca), spremembe krvnega pritiska in pulza in spremembe v elektroencefalogramu (Bistolfi, 1991; Hyland, 1998; Kositsky s sod, 2001; Sienkiewicz, 1998).

2.2.2.2 Mehanizem interakcije

Energije ultrašibkih sevanj so dovolj majhne v primerjavi s termičnim vzburljenjem molekul, da se porazgubijo v termičnem šumu, zato ta predstavlja glavno oviro pri klasični interpretaciji mehanizmov atermičnih učinkov (Chang, 2003). Izrazita nelinearna odvisnost bioloških učinkov od parametrov zunanjih polj nakazuje, da le-ta interagirajo z lastnimi, visoko organiziranimi endogenimi EM polji, ki izkazujejo določeno stopnjo makroskopske koherence in lahko na ta način izredno ojačajo šibka zunanja polja, v primeru da pride med njimi do frekvenčne sklopitve (Chang, 2003; Hyland, 1998, 2003a; Ho, 1995; Kositsky s sod., 2001). Predpostavljen interakcijski mehanizem je oscilatorna sklopitev endo- in eksogenih polj preko resonance, interference ali prenastavitve (entrainment) endogene faze ali periode (Hyland, 2003a).

2.3 ENDOGENA POLJA IN BIOLOŠKA KOHERENCA

2.3.1 Biofizikalne osnove

2.3.1.1 Termodinamski vidik

Ho (1994, 1995) predstavlja termodinamiko, uporabno za biološke sisteme, ki jo imenuje termodinamika organizirane kompleksnosti. Temelji na konceptu uskladiščene energije (stored mobilizable energy), ki ga je z namenom aplikacije termodinamike na posamezne molekule prvi predstavil McClare (1971; cit. Ho, 1995). Uskladiščena energija je vsaka oblika energije, ki se v značilnem času t ne termalizira (doseže termičnega ravnovesja oz. Boltzmannove distribucijeSt), temveč se ohranja v visoko organiziranem neravnovesnem stanju (Ho, 1994).

Termodinamski sistemi dosežejo največjo učinkovitost z maksimalnim razmerjem med delom in produkcijo entropije. Biološki sistemi so hitri in učinkoviti pretvorniki energije in imajo visoko toplotno kapaciteto; visoko učinkovitost dosežejo z minimizacijo razpršitve proste energije na način sklopitve endo- in eksotermnih energijskih pretvorb v reverzibilnih reakcijskih ciklih, po drugi strani pa z direktnim (resonančnim) prenosom energije med individualnimi reakcijskimi kompleksi, kjer dela ne opravi termalizacijska, pač pa uskladiščena energija. Hojeva poudarja, da se večina proste energije v bioloških sistemih ne termalizira, temveč se uskladišči v visoko organizirano energijo koherentne narave, ki omogoča visoko selektivnost in kooperativnost bioloških procesov z visokim izkoristkom. Energija je lahko uskladiščena npr. v vibracijah kemijskih vezi, mehanskih in polarizacijskih napetostih proteinov, vzbujenih elektronskih stanjih ali generalno v

endogenih koherentnih poljih (Ho, 1995). Stopnja uskladiščene energije ob stalnem energijskem pretoku je obratno sorazmerna produkciji entropije in je odvisna od učinkovitosti sklopljenih metabolnih ciklov; na ta način predstavlja mero organizirane kompleksnosti bioloških sistemov (van Wijk, 2003).

2.3.1.2 Elektromagnetne lastnosti bioloških molekul

Večina bioloških molekul, vključno z vodo, proteini in nukleinskimi kislinami, je električno polarnih, kar pomeni, da imajo vsaj en električni dipolni moment^{Sl.} (Jelínek in Pokorný, 2001). Permanentni dipol^{Sl.} ali multipol je posledica različne elektronegativnosti^{Sl.} atomov v molekuli in prisotnosti nabitih skupin, nastanek inducirane dipola pa omogočajo skupni delokalizabilni elektronski oblaki, npr. v aromatskih in metilnih skupinah aminokislin (Hameroff in Tuszynski, 2004).

Elektrostatične interakcije dipolov opisujejo van der Waalove sile, ki so treh tipov: a) permanentni dipol – permanentni dipol, b) permanentni dipol – inducirani dipol in c) inducirani dipol – inducirani dipol ali Londonove sile. Van der Waalove sile so pomembne predvsem pri hidrofobnih interakcijah proteinov, ki omogočajo vzpostavitev funkcionalne konformacije (Hameroff in Tuszynski, 2004). Elektrodinamične interakcije so posledica različnih gibalnih načinov molekul (vibracij, translacij, rotacij, ekscitacij). Vsaka molekula ali struktura z dipolnim momentom lahko generira lastno oscilirajoče EM polje z dominantno električno komponento, ki lahko nadalje inducira EM polje v drugi polarni ali polarizabilni molekuli pod pogojem, da je razdalja med njima dovolj majhna (Pokorný, 2001).

2.3.1.2.1 Proteini

Proteini imajo zaradi večnivojske tridimenzionalne zgradbe kompleksno mehanoelektrično dinamiko s časovnim razponom različnih tipov oscilacij (posamezni atomi in vezi, lateralne verige, sekundarne strukture in podenote, celoten protein) med 10^{-15} in 10^3 s in so posledično oddajniki širokofrekvenčnega EM spektra (Bistolfi, 1991). Spremembo oblike proteina oz. spremembo v vibracijskem režimu lahko povzročijo neurotransmiterji, ligandi, spremembe jakosti okoliškega električnega polja, oscilacije znotrajmolekulskih dipolov, znotrajmolekulski transport protonov in absorpcija fotonov. Iz zadnjega sledi, da vibracijski in EM režim vzajemno interagirata med seboj (foton/fonon^{Sl.} konverzija). Solitoni (Razdelek 2.3.1.5) kot predpostavljeni posredniki te interakcije omogočajo prenos informacij v obliki vibracijskih valov na daljše razdalje preko urejenih makromolekulskih verig, kot jih najdemo npr. v citoskeletu in predvidoma tudi med posameznimi celicami preko proteinov celičnih stikov in ekstracelularnega matriksa (Bistolfi, 1991).

Mnogo avtorjev opozarja na resonančni prenos energije glede na strukturo EM spektra kot mehanizma za medsebojno prepoznavanje in interakcijo proteinov, ki je mnogo bolj specifično v primerjavi z naključnim termičnim gibanjem; Cosic (1994) je razvila tudi aplikativno uporaben model RRM (Resonant Recognition Model).

2.3.1.2.2 Citoskelet

Citoskelet predstavlja zaradi svoje urejene filamentozne zgradbe pomemben medij za generacijo endogenih EM polj oz. prenos EM informacij v celici. V novejšem času se uveljavlja pogled, da citoskelet (v širšem smislu citomatriks^{Sl}), skupaj z bližinsko strukturirano vodo in ioni tvori enoten funkcionalni sistem ali celični matriks (cell-matrix), ki ima pomembno vlogo pri usmerjanju kemijske, električne in mehanske energije v biokemijskih procesih (Jaeken, 2007). Največ raziskav namenja pozornost mikrotubulom (MT), ki naj bi pri tem imeli temeljno vlogo. MT so cilindrični polimeri z zunanjim premerom 25 in notranjim 15 nm, katerih obod sestavlja 13 negativno nabitih, longitudinalnih tubulinskih heterodimer iz α in β podenote, pri čemer je večina negativnega naboja skoncentrirana v α monomeri, tako da vsaka tubulinska molekula predstavlja električni dipol (Hameroff in Tuszynski, 2004). Permanentna komponenta dipola znaša pribl. 1000 Debye (Pokorný, 2003) in inducirana 200-400 Debye (Stracke, 2002; cit. Pokorný, 2003). Zaradi urejene strukture dipolov (upognjena heksagonalna mreža) so MT fizikalno gledano elektreti^{Sl} s piezoelektričnimi^{Sl} in feroelektričnimi^{Sl} lastnostmi in lahko na ta način uskladiščijo polarizacijsko energijo. Nekateri avtorji (npr. Mavromatos, 2000; Mavromatos s sod., 1998; Pokorný, 2001; Popp, 2003) poudarjajo pomen strukturirane vode v notranjosti MT, za katero menijo, da lahko preko sklopitve dipolov s koherentnim EM poljem MT deluje kot valovni vodnik za neatenuiran prenos fotonov, kar imajo za optični analog supraprevodnosti.

2.3.1.3 Površinska voda in stabilizacija proteinov

Makromolekulski kompleksi v celici predstavljajo, predvsem na račun membranskih struktur, citoskeleta in drugih proteinov, obsežno notranjo površino celice. Clegg (1983; cit. van Wijk, 2003) ocenjuje samo površino citoskeletnih elementov med 47000 in 95000 μm^2 v celici s premerom 16 μm . Raziskave potrjujejo, da se večji del celične vode nahaja v neposredni bližini makromolekul (Bistolfi, 1991; Pollack, 2001, 2002; van Wijk, 2003).

Voda v bližini bioloških polimerov (bližinska, strukturirana) ima drugačno strukturo kot prosta voda (Ling, 1962; Drost-Hansen, 1965, 1971; Clegg, 1983, 1984; Clegg in Drost-Hansen, 1991, Wiggins, 1990, 1995, cit. van Wijk, 2003). Voda tvori tridimenzionalne mreže preko vodikovih vezi, ki nastanejo zaradi asimetrične porazdelitve električnih

nabojev (električni dipolni moment vode je 1,85 Debye), usmerjenih proti kotom približnega tetraedra (Pokorný s sod., 2005a). Makromolekulsko omrežje vzajemno interagira z vodo preko nabitih in hidrofilnih površin, ki povečujejo topnost ter hidrofobnih površin, ki topnost zmanjšujejo. Novejše raziskave kažejo, da celična voda obstaja v dveh stanjih z različno gostoto zaradi različne stopnje povezanosti z vodikovimi vezmi (HB) (Ho, 2006). Okoli nabitih skupin se formirajo cone gostejše vode (HDW), medtem ko se okoli hidrofobnih površin formira voda z nižjo gostoto (LDW) (van Wijk, 2003). V obeh primerih je termično gibanje vodnih molekul manjše kot v prosti vodi – zaradi atraktivne interakcije z nabitimi skupinami (HDW) oz. zaradi formacije t.i. klatratnega ovoja okoli hidrofobnih skupin (LDW), ki stabilizira in maksimizira HB med vodnimi molekulami oz. minimizira vezi med vodnimi molekulami in polimerom (Chaplin, 1999, 2004; Ide s sod., 1997). Kooperativnost vodikovih vezi vodi v oblikovanje večslojnega ovoja strukturiranih, kolektivno orientiranih vodnih molekul okoli površine makromolekule (van Wijk, 2003).

Urejena struktura dipolov površinske vode omogoča učinkovit resonančni prenos energije vzdolž ogrodja monomer oz. med različnimi molekulami, saj se molekule površinske vode kolektivno odzivajo na spremembe v okoliškem EM polju (Bistolfi, 1991); obenem omogoča večji elektrostatični privlak med proteini, zaradi česar se predpostavlja, da večina makromolekul, vključno z encimi, ne plava prosto v citosolu, temveč je vezana na notranje površinske elemente (Bischoff, 2003; Bistolfi, 1993; Pollack, 2001; van Wijk, 2003). Razmerje med HDW in LDW vpliva na konformacijo proteinov in agregacijo monomer ter posledično njihovo funkcijo. Na razmerje med HDW in LDW močno vpliva prisotnost ionov zaradi razlik v površinski gostoti naboja. LDW selektivno akumulira ione z majhno gostoto površinskega naboja (npr. Cl^- , K^+ , nabite aminokisljine) in izključuje visoko hidrirane ione (Mg^{2+} , Ca^{2+} , H^+ , Na^+) (van Wijk, 2003). Običajno je zaradi relativno visoke intracelularne koncentracije K^+ in nizke koncentracije Na^+ in Ca^{2+} večji del proteinov obdan z LDW, ki zaradi nizke stopnje vodikovih vezi s polimerom omogoča bolj odprto in fleksibilno konformacijo proteinov z več hidrofobnimi skupinami na površini (Chaplin, 1999; van Wijk, 2003) – in skupaj s strukturirano vodo tvori kvazikristalino ali gel fazo citoplazme (Bischoff, 2003; Pollack, 2001, 2002). Vdor Na^+ , Ca^{2+} ali drugih ionov z visoko afiniteto do vode poruši strukturo vodikovih vezi v LDW in povzroči stabilizacijo proteinov v nativno konformacijo ter agregacijo monomer (hidrofobna interakcija) ali sol fazo citoplazme (Chaplin, 2004; van Wijk, 2003).

Pollack (2001, 2002) meni, da prehodi gel-sol lahko opravljajo delo v obliki fizične sile ali ločitve vode od topljencev, ravnotežje med obema fazama pa je zelo labilno in odvisno od različnih dražljajev, ki so lahko zelo šibki, med drugim pH, temperatura, koncentracija ionov in zunanja EM polja. Pokorný (2005a) meni, da tudi endogena EM polja interagirajo z vodo in lahko vplivajo na razmerje med prosto in strukturirano vodo. Bistolfi (1991)

opozarja na omejeno absorpcijo strukturirane vode za MW in RF sevanja, kar lahko prispeva k stabilizaciji endogenih koherentnih polj v makromolekulskem omrežju.

2.3.1.4 Transport elektronov in protonov

Energije elektronskih stanj v bioloških molekulah so porazdeljene v več diskretnih nivojih in formirajo energijske ravni. Ob zadostnem dotoku energije, ki je lahko termične, kemijske ali EM narave, preidejo elektroni iz valenčne v prevodno raven, ki omogoča delokalizacijo (Pokorný, 2005b). Elektroni se lahko prenašajo preko manjših difuzibilnih molekul ali potujejo vzdolž verige monomer v makromolekulskih kompleksih; glede na razliko v energiji med valenčno in najnižjo prevodno ravnjo imajo nekatere makromolekule, predvsem DNA in proteini, lastnosti polprevodnikov in v določenih pogojih ter ob predpostavki, da so notranje koherentni, domnevno tudi supraprevodnikov. Elektroni lahko potujejo vzdolž polipeptidne verige ali nukleotidov v omejenem obsegu, glede na stopnjo prekrivanja prevodnostnih ravni, kar je odvisno od strukture oz. konformacijskega stanja makromolekule. Začetna in končna postaja sta odvisni od razlike v redoks potencialih donorja in akceptorja, medtem ko izven redoks območja na smer in hitrost prenašanja vpliva po eni strani naključno termično gibanje (Brownovo gibanje) in po drugi strani deterministično gibanje, vezano na endogena električna polja (Pokorný, 2005b).

Transport protonov, katerih vir so redoks procesi v celici oz. elektrokemični gradienti, poteka preko omrežja stabilnih HB v proteinih (sekundarne strukture), DNA in plasteh strukturirane vode v bližni makromolekul (Welch in Berry, 1983; cit. Bistolfi, 1991). Hojeva (2005) navaja raziskave, ki ugotavljajo pomen plasti strukturirane vode neposredno ob celičnih membranah. Zaradi visoke električne prevodnosti te plasti naj bi bili protoni vezani predvsem na površino membranskih kompartmentov in posledično podvrženi ploskovni difuziji, ki omogoča hitrejši prenos do protonskih kanalov kot prostorska difuzija, kar lahko razloži v nekaterih primerih opaženo višjo hitrost prevajanja protonov skozi kanale, kot to dopušča model klasične prostorske difuzije.

Delokalizirani elektroni in protoni so zaradi svoje mobilne narave pomemben medij za interakcije z zunanjimi EM polji ter lastnimi, endogenimi polji (Bistolfi, 1991). Poleg uravnavanja usmerjenega pretoka nabojev vzdolž membran in makromolekulskih verig imajo domnevno vlogo pri nastanku oz. interakciji s solitoni. Del Giudice s sod. (1988, cit. Bistolfi, 1991) meni, da je interakcija delokaliziranih elektronov s solitoni osnova za nekatere supraprevodnostne lastnosti pri fiziološki temperaturi.

2.3.1.5 Solitoni

Solitoni so notranje koherentni vibracijski valovi, ki potujejo vzdolž stabilnih mrež HB v α -heliksah proteinov brez izgube energije, tj. ne pojemajo z razdaljo kot običajni valovi. Nastanejo z nelinearno interakcijo (self-trapping model) med vibracijskimi načini CO in NH vezi (povezanima s HB) ter fononi v α -heliksah proteinov in domnevno tudi v drugih strukturah s stabilnim HB omrežjem (Edler, 2005; Falvo in Pouthier, 2004; Tsivlin s sod., 2006). Nastanek solitonov povzroči lokalna sprememba v vibracijskem režimu proteina, ki je lahko posledica vezave ATP, prerazporeditve znotrajmolekulskih nabojev, absorpcije fotona ali konformacijske spremembe celotnega proteina, npr. zaradi znotrajmolekulskih oscilacij dipolov (Bistolfi, 1991).

Obstoj solitonov je matematično napovedal Davydov leta 1973 in od takrat so jih opazili na več področjih raziskav (Scott, 1992). V α -heliksah proteinov so jih prvič eksperimentalno potrdili Edler s sod. (2004; cit. Tsivlin s sod., 2006). Vloga solitonov v bioloških sistemih še ni povsem pojasnjena, predpostavlja pa se, da sodelujejo pri skladiščenju oz. prenosu energije iz mesta sprostitve do mesta, kjer se porablja za biokemijske procese (Edler, 2005) oz. pri vzpostavitvi in prenosu koherentnega režima (Bistolfi, 1991; Jaeken, 2006; Pokorný s sod., 1997; Scott, 1992). Musumeci (2003) omenja možnost izjemno redkega razpada solitona kot izvora fotonov pri ultrašibki bioluminiscenci (Razdelek 2.3.2.4).

2.3.1.6 Kvantna koherenca

V kvantni fiziki lahko vsak delec ali skupino delcev (elektron, foton, atom itd.) obravnavamo kot kvantni sistem. Časovni razvoj kvantnega sistema opisuje Schrödingerjeva enačba, kjer je spremenljivka valovna funkcija, ψ . Valovna funkcija je kompleksna večkomponentna vektorska funkcija, katere komponente so t.i. opazljivke (observables), merljive lastnosti kvantnega sistema. Opazljivke so npr. energija, pozicija, spin, gibalna količina idr. Valovna funkcija opazljivkam ne pripiše diskretnih vrednosti, temveč jih obravnava kot verjetnostne porazdelitve, tj. verjetnosti vsakega od možnih izidov ob meritvi opazljivke. Valovna funkcija v danem trenutku je tako pojmovana kot superpozicija verjetnostnih porazdelitev ali kvantnih stanj (npr. verjetnostna gostota nevzbujenega elektrona v orbitali) v kvantnem sistemu. Skladno z načelom nedoločeniosti nikoli ne moremo natančno izmeriti vseh opazljivk hkrati, saj že meritev sama – zaradi nujne interakcije merilnega sistema s preučevanim sistemom – spremeni lastnosti kvantnega sistema. V trenutku meritve določene opazljivke sistem zavzame enega od t.i. lastnih stanj (eigenstate), npr. diskretno vrednost pozicije, zato superpozicija ne obstaja več, kar imenujemo kolaps valovne funkcije (Detela, 2002; Ho, 1997, 2004).

V kvantni superpoziciji imajo vsa kvantna stanja sistema fiksne fazne korelacije (zakoni o ohranitvi energije), kar pomeni, da je kvantni sistem, ki ga lahko opišemo s skupno valovno funkcijo, kvantno koherenten. Koherentna domena (CD) je prostorsko-časovna enota kvantnega sistema, pri čemer koherentni čas označuje trajanje kvantne superpozicije in posledične interference (ali čas, v katerem pride do dekoherence), koherentna dolžina oz. koherentni volumen pa temu ustrezna razdalja oz. prostor (Bischoff, 2003).

Kvantni efekti so načeloma omejeni v zelo majhnih prostorsko-časovnih skalah, saj se fazne korelacije valovnih funkcij posameznih kvantnih sistemov kot so atomi in molekule, v termičnem šumu izpovprečijo. Poznamo pa nekatere primere makroskopske kvantne koherence: supraprevodnost (električna prevodnost z ničnim uporom), superfluidnost (tekočinska pretočnost z nično viskoznostjo) in Bose-Einsteinov kondenzat (razdelek 2.3.2.2), ki obstajajo pri termičnem ravnovesju pod določeno kritično temperaturo, ter lasersko svetlobo pri termičnem neravnovesju, ki jo sproži nadkritičen dotok energije. Domnevno majo kvantni efekti pomembno vlogo tudi v bioloških sistemih (Dürr, 2002).

2.3.2 Teorije endogenih bioloških polj

2.3.2.1 Uvod

Razvoj teorije EM polja v 19.st. je odprl možnost za aplikacijo koncepta polja na biološke sisteme (Bischoff, 2003). V 1. pol. 20.st. se je uveljavil koncept morfogenetskega polja, s katerim so sprva skušali pojasniti nekatere pojave kot npr. embriogeneze metulja iz homogene celične mase bube (Detela, 2002) in kasneje izpeljati nekatere univerzalne zakonitosti biološke oblike oz. živega stanja, neodvisnih od genoma (Jerman in Štern, 2003). Sledili so različni koncepti bioelektromagnetnih polj (Burr, Gurwich, Lakhovsky, Laville idr.), ki so temeljili na eksperimentalnih spoznanjih o bioelektričnih potencialih in drugih EM lastnosti organizmov, vendar še niso imeli zadostnega teoretičnega ozadja o njihovi konkretni naravi (Bischoff, 2003).

Moderne teorije endogenih bioloških polj zahtevajo izrazito interdisciplinaren pristop, ki vključuje področja fizike, biologije, filozofije in kognitivnih znanosti. Njihov razvoj v 2. pol. 20.st. je omogočila predvsem aplikacija kvantne fizike v biologijo, katere mejnik predstavlja Schrödingerjev esej *What is Life?* (1944), ki je kasneje vplival tudi na razvoj molekularne biologije (Bischoff, 2003). Nemški biofizik Herbert Fröhlich danes velja za pionirja sodobnih teorij endogenih polj, saj so teoretični temelji, ki jih je razvijal od konca šestdesetih do konca osemdesetih let, postali izhodišče številnim sodobnim teorijam, kot so teorija bioplazme (Inyushin), QED teorija biološke koherence (Del Giudice), biofotonsko

polje (Popp), holografski koncept percepcije in spomina (Pribram), različni kvantni modeli zavesti (npr. Penrose-Hameroff) in drugo (Bischoff, 2003).

2.3.2.2 Fröhlichova teorija koherentnih ekscitacij

Fröhlich je z vpeljavo kvantne fizike kot teoretičnega orodja za razumevanje bioloških sistemov postavil koherenco, lastnost elementarnih komponent sistema, da oscilirajo z enakim ritmom in v isti fazi, v center biološke dinamike (Del Giudice s sod., 2005). Njegova teorija temelji na izrazitih dielektričnih in elastičnih lastnosti biomaterialov, kjer je zlasti pomembna visoka gostota dipolov ali polarizacijska gostota, P , ter na poteku življenjskih procesov ob visokem termodinamskem neravnovesju (metastabilnosti) (Hyland, 1998). Fröhlich je na modelu preprostega aktivnega biološkega sistema, sestojčega iz longitudinalnih električnih polarizacij – vezanih na nek konkreten dipolarni sistem in obdanih z okoljem mehanskih in električnih sil, pokazal, da se v določenem kritičnem intervalu stopnje dotoka metabolne energije ($s_0 < s < s_1$) presežna energija ne termalizira, temveč se, preko nelinearnih sklopitvenih procesov sočasne emisije in absorpcije, preusmeri oz. uskladišči v visoko organizirano kolektivno dinamično stanje s polarizacijskim režimom najnižje frekvence (limitni cikel), vezanim na celoten, makroskopski sistem dipolov (Hyland, 2003c)¹. Po določenem času postane ta kolektivni polarizacijski režim zaradi sklopitve z elastičnimi silami mehansko vzbujen mnogo močnejše kot pri termičnem ravnovesju in doseže makroskopski pomen kot koherentna ekscitacija, ki je na ta način EM (fotoni) in mehanske (fononi) narave (Ho, 1995). Do podobne ugotovitve je prišel že pred Fröhlichom Dicke (1954; cit. Bischoff, 2003), ki je pokazal, da skupine polarnih molekul z manjšimi medsebojnimi razdaljami kot je valovna dolžina oddajnega sevanja, vedno oddajajo koherentno, saj so vezane s skupnim EM (bližnjim) poljem, ki preprečuje neodvisnost sevalnih parametrov.

Glede na specifične dipolarnega sistema, na katerega so vezane oscilacije, je Fröhlich kot najprimernejši sistem za vzpostavitev koherentnega režima izpostavil regije celične membrane z vezanimi proteini, ki so zaradi močnega transmembranskega električnega

¹Fröhlich (1978) opozarja na analogijo tega procesa z znanim makroskopskim pojavom t.i. bozonske kondenzacije, kjer sistem bozonov^{Sl} pod določenim temperaturnim pragom zavzame enotno kvantno stanje z najnižjo energijo, tj. Bose-Einsteinov kondenzat (Milani s sod., 2005). Nastanek in pomen bozonskega kondenzata t.i. evanescentnih fotonov v strukturirani vodi znotraj celice in v njeni neposredni okolici opisuje z vidika kvantne elektrodinamike Jibu s sod., 1997, po mnenju katerega je ta interakcija fizikalna definicija živega stanja. Njegova izpeljava izhaja iz fenomena približevanja površinskih izrastkov gojenih celic oddaljenim ($< 50 \mu\text{m}$) točkam IR svetlobe, ki ga je opazil in eksperimentalno dokazal Albrecht-Buehler s sod. (1981, 1985, 1991, 1992, cit. Jibu s sod., 1997).

polja ($10^6 - 10^7 \text{ V/m}$) podvrženi izraziti električni polarizaciji oz. mehanski deformaciji (Fröhlich, 1978), ter komplekse makromolekul z lastnostmi elektretov kot so MT, ki lahko uskladiščijo visoko polarizacijsko gostoto; ocenjeni frekvenčni razpon oscilacij sega med 10^9 in 10^{12} Hz, pri čemer so možni različni harmoniki zaradi specifičnih lastnosti dipolov (npr. dimenzije dipolarnega sistema) oz. zaradi električne sklopitve oscilacij s plastjo strukturirane vode okoli makromolekul (Fröhlich, 1975). Pokorný, ki poudarja predvsem vlogo MT pri vzpostavitvi koherentnega režima (1997, 2003, 2005a, 2005b), je (2003) pokazal, da se, na osnovi visoke elastičnosti in deformabilnosti ter prisotnosti strukturirane vode (slip boundary condition), vibracije v MT izogonejo viskozno upornosti citosola; na ta način se lahko koherentni režim prenaša na makroskopske razdalje oz. na sosednje makromolekule z resonančnim prenosom energije.

Fröhlich je predvidel 2 osnovna modela koherentnih ekscitacij. Pri že omenjenem modelu dinamičnih koherentnih ekscitacij je možen nastanek selektivnih interakcij dolgega dosega: v primeru, da imata 2 oscilirajoča sistema podobno notranjo frekvenco ($\omega_1 \cong \omega_2$) in da ima okoliški medij specifične dielektrične lastnosti, pride med njima do privlačnih ali odbojnih interakcij, proporcionalnih R^{-3} , kjer je R razdalja med njima; v nasprotnem primeru obstajajo med sistemoma le van der Waalove interakcije, proporcionalne R^{-6} (Fröhlich, 1978). Na ta način se lahko celične komponente visoko specifično prepoznajo preko makroskopskih razdalj na osnovi frekvence endogenih EM polj; atraktivne sile se lahko vključujejo ali izključujejo glede na stopnjo dotoka metabolne energije, od katere je odvisna vzpostavitev koherentnega režima. V tem smislu so pomembna tudi zunanja EM polja, ki lahko z ustrežno frekvenco priskrbijo energijsko razliko (switch mehanizem), potrebno za stabilizacijo ali destabilizacijo koherence in na ta način ponujajo mehanizem za razumevanje atermičnih interakcij z zunanjimi EM polji (Fröhlich, 1975; Hyland, 2003c).

Drugi Fröhlichov model predvideva nastanek statičnih koherentnih ekscitacij iz dinamičnih in sicer tako, da sklopitev polarizacijskih oscilacij z elastičnimi silami »zamrzne« polarizacijsko frekvenco, ki na ta način postane statična ekscitacija (Hyland, 2003c). Pri tem nastane visoko polarno feroelektrično^{Sl} stanje, ki predstavlja ustrežno okolje za nastanek solitonov in s tem prenos aktivacijske ali druge oblike energije na makroskopske razdalje (Mesquita, 2004); obenem lahko predstavlja osnovo za orientacijo celic v prostoru in za prostorsko organizacijo njenih notranjih komponent (Fröhlich, 1988, cit. Jerman in Štern, 1996).

Koherentne ekscitacije nudijo, ne glede na specifičen mehanizem nastanka, način za elektrodinamično uskladičenje oz. transport proste energije in omogočajo nižjo aktivacijsko energijo biokemijskih procesov ter specifično prepoznavanje bioloških

molekul (Fröhlich, 1975); predstavljajo način globalne organizacije bioloških sistemov kot emergentne lastnosti samoorganizacijskih procesov (Hyland, 2003c).

2.3.2.2.1 Eksperimentalna podpora Fröhlichovi teoriji

O prvih eksperimentalnih rezultatih, skladnih z obstojem dinamičnih koherentnih ekscitacij, poročajo ruske raziskave v šestdesetih in sedemdesetih letih, ko govorijo o bioloških učinkih ultrašibkih MW sevanj, katerih skupna lastnost je močna odvisnost učinkov od frekvence, intenzitete in trajanja obsevanja (Devyatkov, 1974; Kositsky, 2001). Kasnejše evropske študije so potrdile obstoj atermičnih bioloških učinkov; Grundler in Kaiser (1992) npr. poročata o močni frekvenčni resonanci rastne krivulje kvasovk s centralnim maksimumom, obdanim z lokalnima minimuma, kar nakazuje na odziv, podoben notranjemu oscilatorju z limitnim (samovzdževanim) ciklom. Znani so tudi nekateri »switch-on« epigenetski efekti kot npr. indukcija λ -faga in stresnih faktorjev (Goodman in Blank, 2002; Lukashevsky in Belyaev, 1990).

Neposredna detekcija radiativnega koherentnega sevanja je težko merljiva, saj zaradi longitudinalne narave polarizacijskih ekscitacij moč sevanja zelo hitro upada z razdaljo (Hyland, 2003c). Hölzel (2001) povzema eksperimente na kvasovkah, bakterijah, algah in sesalčjih celicah z metodama mikrodielektroforeze (tehnika, kjer izmenična električna polja znotraj celice povzročijo privlak nevtralnih in visoko polarizabilnih delcev, npr. barijevega titanata, ob celično površino) in elektronske detekcije s posebej prirejenimi planarnimi elektrodami, s katerima lahko pridobijo informacije o prostorski in časovni porazdelitvi ter frekvenci in intenziteti endogenih električnih polj. Študije ugotavljajo prisotnost RF osilacij električnih polj v območju med 5 kHz in 80 MHz, s težiščem med 6 in 9 MHz, pri čemer je bila maksimalna aktivnost pogosto največja v M fazi celičnega cikla oz. bila odsotna pri mrtvih celicah (Hölzel in Lamprecht, 1994, 1995, Jafary-Asl s sod., 1983, Jelínek s sod., 1999, Pohl in Pollack, 1986, Pohl, 1985, cit. Hölzel, 2001; Pokorný s sod., 2001). Hölzel ob tem opozarja na omejene tehnične lastnosti merilnih inštrumentov in napoveduje možnost detekcije višjih frekvenc z izboljšanjem merilne tehnike. Z vidika neposredne detekcije mehanoelektričnih oscilacij je pomembna tudi raziskava Pellinga in sod. (2004), kjer so odkrili nanomehanične vibracije celične stene kvasovk s frekvenco 0,9-1,6 kHz (ELF). Pelling in sod. menijo, da so te vibracije metabolne narave in odražajo visoko organizirane, kolektivne procese v celici.

Nekateri eksperimenti podpirajo tudi druge vidike Fröhlichove teorije. Študije na tankih plasteh hemoglobina so pokazale, da se dielektrične lastnosti hemoglobina ob izpostavitvi zunanjemu električnemu polju nad določenim intenzitetnim pragom skokovito spremenijo in kažejo značilnosti feroelektretov^{Sl}, skladno z modelom statičnih koherentnih ekscitacij (Hasted, 1988, cit. Hyland, 2003c). Pojav vrstno specifične agregacije eritrocitov v obliki

svitkov (rouleaux formation) nakazuje na interakcije dolgega dosega: Rowlands (1994) je pokazal, da je pod določeno razdaljo med eritrociti, vendar še vedno mnogo večjo od dosega van der Waalsovih sil, stopnja njihove agregacije precej višja od pričakovane na podlagi Brownovega gibanja, pri čemer so privlačne sile obstajale le, kadar so bile v suspenzijskem mediju prisotne specifične komponente ekstracelularnega matriksa, npr. fibrinogen. V nasprotnem primeru in obenem tudi ob odstranitvi transmembranskega potenciala oz. inhibiciji metabolizma, so celice ponovno kazale zakonitosti Brownovega gibanja. Rowlands je opazil tudi težnjo do agregacije sesalčjih eritrocitov iste vrste, kar ima za nadaljno potrditev frekvenčno specifičnih interakcij. Možne so tudi drugačne interpretacije privlačnih sil, npr. Bradonjić s sod. (2004) razlaga pojav z vidika kvantne elektrodinamike.

Nagy in sod. (2006) povzemajo neodvisne raziskave z metodami multidimenzionalne koherentne spektroskopije z visoko časovno resolucijo, ki uporabljajo kratke laserske pulze v vidnem in IR spektru za določitev elektronskih in vibracijskih stanj v biokemijskih reakcijah. Mnoge raziskave ugotavljajo visoke korelacije primarnih dogodkov reakcij s časovnimi skalami dekoherence, ki kažejo na ohranitev faznih odnosov v prehodnih reakcijskih kompleksih in na ta način omogočajo uveljavitev kvantnih učinkov (kvantne interference), ki vplivajo na reakcijsko dinamiko (npr. Brixner s sod., 2005, Cho s sod., 2005, Wohlleben s sod., 2005, Prokhorenko s sod., 2006; cit. Nagy s sod., 2006). Engel in sod. (2007) so s podobno metodo prišli do neposredne potrditve visoko stabilnih (660 fs), svetlobno induciranih kvantno koherentnih stanj elektronov v celotnem bakterioklorofilnem kompleksu zelenih žveplovih bakterij. Po mnenju raziskovalcev ta stanja omogočajo resonančni prenos energije, ki lahko razloži visoko učinkovitost fotokemičnih reakcij. Vos in Martin (1999) na podlagi večletnih neodvisnih raziskav na različnih fotosenzitivnih proteinih, prav tako z metodami laserske spektroskopije, zaključujeta, da proteini izkazujejo koherentno elektronsko in vibracijsko notranjo konformacijsko dinamiko v femto- in pikosekundni časovni skali, s fazno korelacijo skozi več oscilacijskih period.

2.3.2.3 Kvantna elektrodinamika milanske skupine

Nadaljne temeljne teoretične raziskave endogenega koherentnega polja je razvila milanska skupina fizikov, zbrana okoli Emilia Del Giudiceja (Jerman in Štern, 1996), katere teoretično izhodišče je kvantna elektrodinamika (QED), ki preučuje interakcije električnih in magnetnih lastnosti delcev s kvantiziranim EM poljem. Del Giudice in sod. (2005) poudarjajo, da klasična fizika ne pojasni nekaterih bioloških fenomenov kot so npr. visoka selektivnost in učinkovitost encimov, določene upornostne lastnosti in visoka učinkovitost pretvorbe kemične energije v mehansko glede na majhne temperaturne razlike (termični

paradoks). Zakon maksimalne entropije po njihovem mnenju vsiljuje obstoj kolektivne dinamike bioloških molekul z omejenimi stopnjami prostosti^{Sl}, ki omogoča neposreden (rezonančni) prenos energije kemičnih reakcij v obliki elektrokemične energije, saj termalizacija kemične energije oz. njen majhen izkoristek ne zadosti energijskim potrebam bioloških sistemov.

V kvantni teoriji polja so spontane prostorsko-časovne kvantne EM fluktuacije vezane na EM potencial, A_μ , ki omogoča nastanek električnih in magnetnih polj. Prvi eksperimentalno opaženi primer interakcije snovi s kvantnimi fluktuacijami je dvig energije vodikovega atoma (Lamb shift) kot posledice sklopitve fluktuacij EM polja z električnim tokom elektrona (Del Giudice, 2005). QED predvideva, da v primeru kritične gostote delcev (N/V), odvisne od njihovih elektrodinamičnih lastnosti, predvsem polarizacijske gostote, \mathbf{P} , ter pod pogojem, da je sistem zmožen sprostiti energijo v okolico (disipativen), pride do faznega prehoda, kjer vse molekule sistema enotno oscilirajo med osnovno in vzbujeno konfiguracijo skladno s frekvenco kvantne fluktuacije, ki se na ta način ojača in ohranja fazno stabilnost sistema (Arani s sod., 1995; Del Giudice s sod., 1988). Prostorsko-časovna enota tega koherentnega sistema je koherentna domena (CD), ki vključuje valovno dolžino λ EM fluktuacije oz. molekule znotraj te regije, ki jih le-ta vzbudi. Molekule v CD predstavljajo osnovno energijsko stanje koherentnega sistema, saj ostane EM polje omejeno znotraj CD, kar pomeni, da sistem ne more nadalje izgubljati energije; nižja energija CD v primerjavi z nekoherentno frakcijo (energijska vrzel, δE) omogoča časovno stabilnost sistema in delno ščiti CD pred zunanjim termičnim vzbujenjem (Del Giudice s sod., 2005).

QED predvideva obstoj disperzivnih sil na meji CD (evanescentno polje (evanescentni fotoni – gl. Jibu s sod., 1997)), proporcionalnih vektorskemu potencialu EM polja, \vec{A} . V primeru, da imajo različne CD podobne notranje frekvenčne spektre, se njihove medsebojne disperzivne sile okrepijo in lahko postanejo značilno privlačne ali odbojne. Ob predpostavki, da je encim notranje koherenten, lahko celoten encim predstavlja CD, kjer se komponente ne prepoznavajo preko naključnih trčenj na osnovi termičnih gibanj (Brownovo gibanje), temveč po načelu visoko specifičnih resonančnih interakcij na bazi koherentnih endogenih EM polj. Na pomen vektorskih potencialnih polj v biokomunikaciji oz. resonančnem prenosu energije ter pri interakcijah z zunanjimi EM polji opozarjajo tudi drugi avtorji, npr. Hyland (2003a), Liboff (2005), Smith (2004).

Del Giudice in sod. (2005) predstavljajo model, po katerem encimi stalno nihajo med koherentno in nekoherentno fazo. V vzbujenem stanju koherentne faze se energija elektronov približa ionizacijski energiji, zato so elektroni na meji prostosti (kvaziprosti elektroni); aktivacija encima, npr. z ATP, prispeva dodatno energijo za sprostitvev

elektronov, kar omogoča njihovo delokalizacijo in s tem potek encimske reakcije, hkrati pa izguba elektrona destabilizira koherenco encima, ki postane začasno neaktiven. Regeneracija elektrona s koencimi omogoča ponovno vzpostavitev koherence; energija, ki se pri tem sprosti in se ne reabsorbira v sistem, predstavlja možen izvor fotonov ultrašibke bioluminiscence (Popp, 1992; cit. Del Giudice, 2005). Jaeken (2006) omenja kot posrednike pri vzpostavitvi koherentnega režima tudi solitone, v katere se lahko ujamejo prosti elektroni.

V prosti vodi imajo CD sferično obliko z izračunanim premerom pribl. 750 Å pri 300 K, pri čemer se velikost CD oz. razmerje koherentne in nekoherentne frakcije manjša z naraščajočo T zaradi naraščajočega termičnega vzburjenja, ki ruši koherentno frakcijo (Arani s sod., 1995; Del Giudice s sod., 1989). Površinska voda, ki obdaja ogrodje polimerov, se uredi v večslojne segmente strukturiranih vodnih molekul debeline pribl. 10 molekul (3 nm) in dolžine λ , od katerih vsaka plast predstavlja CD (Del Giudice s sod., 2005). Teorija predvideva, da je gostota vodnih molekul znotraj CD nekoliko nižja v primerjavi z nekoherentno frakcijo, kar se ujema z eksperimentalnimi ugotovitvami o prisotnosti pretežno LDW v bližini makromolekul. Metabolna, npr. hidroliza ATP ali druga oblika energije, ki ne presega energijske vrzeli (sicer se koherenca destabilizira), se preusmeri v segmente površinske vode zaradi močnejše urejenosti molekul in posledično večje prevodnosti, kjer ekscitacija elektronov inducira električni tok in posledično magnetno polje. Magnetizacija ima 2 posledici: možnost nastanka supraprevodnega režima, ki ščiti makromolekulsko omrežje pred termalizacijo in na ta način stabilizira koherenco, ter ujetje prostih ionov v ciklotronske orbite na zunanji površini segmentov (Del Giudice s sod., 1988, 2005). Tovrstna magnetizacija lahko na ta način predstavlja enega od možnih vzrokov za sicer težko razložljivo občutljivost organizmov na šibka magnetna polja (Jerman in Štern, 1996).

2.3.2.4 Biofotonsko polje

Teorijo biofotonskega polja in aplikacije razvija mednarodna skupina raziskovalcev, katerih dejavnost usmerja predvsem inštitut IIB (The International Institute of Biophysics) pod vodstvom Fritza-Alberta Poppa. Teorija temelji na univerzalnem fenomenu ultrašibke bioluminiscence, tj. spontanemu sevanju fotonov vseh živih organizmov, ki ni termične narave in obsega vsaj območje vidne svetlobe in UV, pri čemer so meje detekcije omejene s tehničnimi lastnostmi detekcijskih sistemov (fotopomnoževalk). Osnovna značilnost tega sevanja je njegova izredna šibkost (do pribl. 100 fotonov/(s cm^2) v normalnih fizioloških pogojih), kar nakazuje na kvantno naravo izvora biofotonov oz. obravnavo z vidika kvantne optike (Popp, 2003). Enakomerna porazdelitev sevanja vzdolž celotnega merljivega območja, ki se razlikuje za faktor od 10^{10} (pri rdeči svetlobi) do 10^{40} (v UV

območju) od intenzitet logaritemske porazdelitve pri termičnem ravnovesju (Boltzmannova distribucija), nakazuje, da biološki sistemi delujejo daleč od termodinamskega ravnovesja (Popp, 1999).

Metoda zakasnjene luminiscence (DL), kjer pride do začasno povečanega sevanja po kratki osvetlitvi vzorca z močno svetlobo, je pokazala, da relaksacija intenzitete sevanja ne sledi eksponentni krivulji, značilni za neodvisna vzbujena stanja (Musumeci, 2003), temveč hiperbolični krivulji ($1/t$) z dolgim relaksacijskim časom, kar priča o močnih kooperativnih procesih, ki so sposobni aktivno zadrževati svetlobo (Popp, 1984, cit. Jerman in Štern, 1996). Statistika fotonsega štetja kaže na Poissonovo distribucijo verjetnostne gostote fotonov, ki je pogoj za kvantno koherenco, v nasprotju z geometrično distribucijo, značilno za kaotične sisteme (Perina, 1971, cit. Popp, 1999). Značilna Poissonova distribucija vzdolž celotnega relaksacijskega časa DL je po mnenju raziskovalcev (Chang, 2003; Popp, 1999; Popp in Li, 1993) zadosten dokaz, da fotoni izvirajo v kvantno koherentnem biofotonskem polju. O koherentni naravi sevanja govorijo tudi nekatere druge lastnosti, npr. nelinearna temperaturna odvisnost sevanja (histereza, ojačanje sevanja z oddaljevanjem od optimalne fiziološke temperature in postopen padec na začetno vrednost), povečana intenziteta sevanja celic z intenzivnim metabolizmom (npr. mlada tkiva, maligne celice) ter celic oz. organizmov, podvrženim različnim stresom, in še posebej na videz paradoksalna zmožnost prodiranja biofotonov skozi plasti optično gostih medijev kot so biološka tkiva, z najmanj eno magnitudo nižjim ekstinkcijskim koeficientom v primerjavi z umetno svetlobo (Popp, 2003; Slawinski, 2003).

Cilento (1982, cit. Popp, 1999) je pokazal, da vsaj nekatere biokemijske reakcije potečejo na način, da foton iz okoliškega EM okolja vzbudi prehodni reakcijski kompleks in se po poteku reakcije vrne v ravnovesno stanje, kjer je dostopen za naslednjo reakcijo. V tipičnem tranzicijskem reakcijskem kompleksu 10^{-9} s lahko EM valovni paket prepotuje razdaljo 10 cm, kar pomeni, da se fazna informacija polja ohranja v makroskopskih razdaljah; kompleksni interferenčni vzorci, ki pri tem nastajajo v kvantni superpoziciji, naj bi bili osnova za biokomunikacijske procese. Z vidika stalne in vzajemne interakcije biomaterialov z EM okoljem v optično gostem celičnem mediju, Popp (1999, 2003) ne izključuje, da se stopnja koherence razvije do mere, ko ima vsaka molekula v sistemu potencial, da je sočasno povezana z vsemi molekulami v kvantno koherentnem polju, saj prostor in čas znotraj koherentnega volumna oz. CD nista definirana, kot je pokazal Li (1992, 1994, 1995; cit. Bischoff, 2003), zato CD predstavlja osnovno in nedeljivo celoto kvantnih sistemov.

Kompleksna narava živih organizmov domnevno nudi pogoje za soobstoj mnogih makroskopskih CD, ki se spreminjajo in interferirajo v času ter oblikujejo enotno,

nelokalno, koherentno endogeno polje – v nasprotju s tehničnimi sistemi kot so npr. laserji, ki imajo fiksne CD. Endogena koherentna polja naj bi tako imela aktivno vlogo pri usmerjanju biokemijskih celičnih in drugih homeostatskih procesov na ravni celotnega organizma (Bischoff, 2003).

2.3.2.5 Biopolje

Za skupnost mnogih, med seboj povezanih endogenih polj, se včasih uporablja izraz biološko polje ali biopolje. Rubik (2002) je definirala biopolje kot endogeno, kompleksno, dinamično elektromagnetno polje kot rezultat superpozicije elementarnih EM komponent, za katerega se domneva, da je vpleteno v regulacijo bioloških procesov. Rein (2004) je opis biopolja razširil na kvantni nivo in ga splošno definiral kot relacijo treh osnovnih energijskih komponent z naraščajočo gostoto: kvantna polja < potencialna polja < elektromagnetna polja.

3 NAMEN IN HIPOTEZE

V pričujoči diplomski nalogi izhajamo iz teoretičnih in eksperimentalnih spoznanj, da živa bitja posedujejo lastno, nelokalno, endogeno bioelektromagnetno polje, za katerega se predpostavlja, da ima pomembno vlogo pri usmerjanju bioloških procesov na vseh nivojih organizacije. S kvantitativnega vidika detekcije tega polja vpeljujemo do sedaj še neraziskano metodo detekcije preko bližnjega električnega polja, za katerega predpostavljamo, da je zaradi svoje kompleksne strukture sposobno z endogenim poljem interagirati na način, ki ni neposredno odvisen od klasičnih fizikalnih parametrov absorpcije kot sta telesna masa oz. višina in ki se kaže v spremembi absorpcije glede na določene zunanje pogoje. V ta namen nas je zanimalo, kakšne so osnovne značilnosti absorpcije bližnjega električnega polja pri človeku in kako se absorpcija spreminja v času ob spremembi fiziološkega statusa človekovega organizma, specifično ob vnosu tekočine v organizem in po kratki intenzivni fizični aktivnosti. Sočasno smo preverjali, ali lahko oz. na kakšen način vplivajo na absorpcijo morebitne predhodne aktivnosti in splošni parametri počutja.

V skladu s tem smo izdelali hipotetični model, po katerem se fiziološka stanja organizmov odražajo na dinamiki endogenega EM polja, slednje pa vpliva na raven in način absorpcije bližnjega električnega polja.

Naša osnovna delovna hipoteza je, da organizem ni samo pasiven sprejemnik (absorbent) in oddajnik EM valov, temveč jih aktivno procesira v skladu s svojim fiziološkim stanjem. Ta aktivni odziv se kaže na eni strani v neodvisnosti absorpcije od klasičnih fizikalnih absorpcijskih parametrov (masa, višina) in po drugi strani v spremembi absorpcije ob rahlih spremembah fiziološkega stanja, ki na te parametre ne vplivajo, kar posredno potrjuje pomembno vlogo endogenega EM polja v organizmih.

4 MATERIAL IN METODE

4.1 ZASNOVA EKSPERIMENTA

4.1.1 Vzorec

Vzorec prostovoljcev je zajemal 18 oseb večinoma študentske populacije, starih med 18 in 30 let, s težiščem (12 oseb) med 23 in 25 let, od tega je bilo 8 moških in 10 žensk. Merilo za sodelovanje ni vključevalo specifičnih lastnosti posameznikov. Pridobivanje prostovoljcev je potekalo po ustnem ali pisnem dogovoru, ob katerem so podpisali Izjavo o prostovoljnem sodelovanju v raziskavi (Priloga D), skladno z navodili Komisije za medicinsko etiko. Meritve so potekale na Inštitutu Bion, Stegne 21, Ljubljana, v času med 27.3.2006 in 25.10.2006.

4.1.2 Opis eksperimenta

Merili smo splošne značilnosti absorpcije bližnjega električnega polja in njeno odvisnost od fiziološkega stanja človeka ter od fizikalnih parametrov absorpcije. Princip meritev je temeljil na prevajanju (absorpcija in emisija) bližnjega polja skozi človekov organizem, ki deluje kot posrednik med oddajnim sistemom, ki predstavlja vir zunanjega bližnjega električnega polja, in detekcijskim sistemom, ki oddano bližnje polje človeka prestreže oz. izmeri. (Razdelek 4.2.1).

Eksperiment je bil razdeljen na 3 teste aktivnosti; vsak test je bil sestavljen iz 5 posameznih meritev absorpcije skozi časovno obdobje 35 min (Razdelek 4.2.2); različni testi za posamezno osebo so bili opravljeni ob različnih dnevih, s čemer smo omogočili variabilnost izhodiščnih psihofizioloških stanj. Kontrolni test (K) ni vključeval nobenih aktivnosti in je bil namenjen ugotavljanju splošnih časovnih trendov absorpcije. V testu z vnosom tekočine (V) so prostovoljci v času meritev v kratkem času popili večjo količino vodovodne vode; v testu s fizično aktivnostjo (P) so v času meritev izvedli kratko serijo enostavnih telesnih vaj do zadihanosti oz. do občutka mišične utrujenosti.

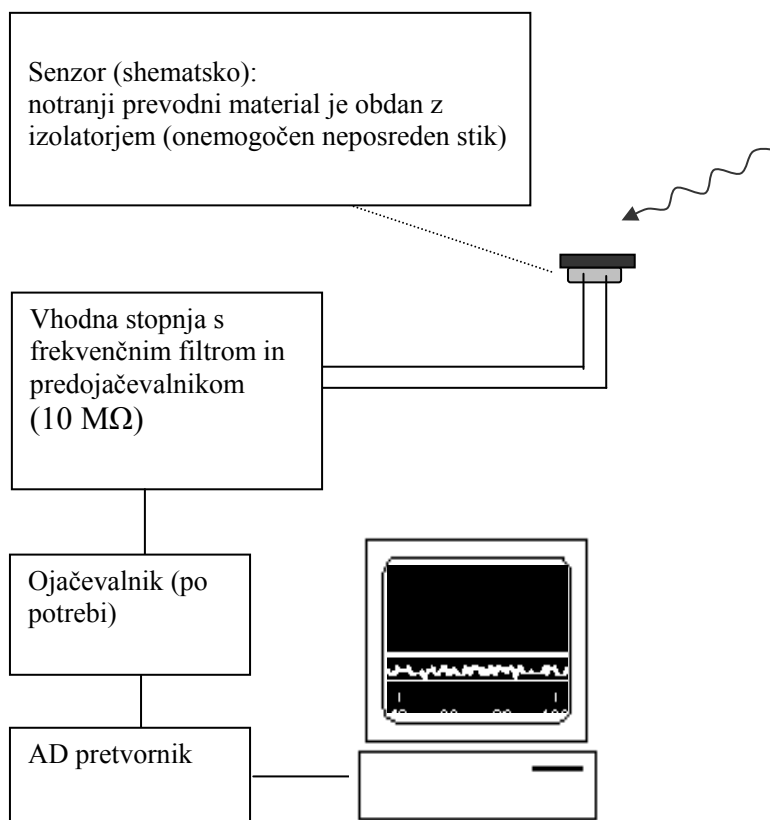
Sočasno smo analizirali, kako vplivata na absorpcijo splošna fizikalna absorpcijska parametra, telesna teža in višina ter predhodne aktivnosti in splošno počutje tekočega dne do pričetka meritev (Razdelek 4.2.3).

4.2 IZVEDBA MERITEV

4.2.1 Eksperimentalni sistem

Eksperimentalni sistem je bil sestavljen iz oddajnega in detekcijskega sistema. Oddajni sistem so sestavljali funkcijski generator GFG-8016G, bakrena plošča dimenzij 30 cm x 30 cm x 2 mm in povezovalni kabli. Sinusno moduliran izmenični električni tok z efektivno napetostjo 4,6 V (sinusna amplituda 6,5 V) ter frekvenco med 20,6 in 20,9 kHz (VLF območje) se iz generatorja prenaša na bakreno ploščo, ki deluje kot vir zunanega bližnjega električnega polja. Čez ploščo je bil pritrjen kos lepenke debeline pribl. 1 cm, ki je preprečeval neposreden stik s ploščo.

Detekcijski sistem so sestavljali 2 senzorja, vhodna stopnja s frekvenčnim filtrom in predojačevalnikom, ojačevalnik, A/D pretvornik (vse komponente lastne izdelave), računalnik in povezovalni kabli (Slika 2; shema vhodne stopnje je v Prilogi E). Senzorja sta bila sestavljena iz aktivnega notranjega, prevodnega materiala, obdanega z izolatorjem. Senzor K3 je bila v osnovi 9V cink-oksidsna baterija s predhodno zmanjšano napetostjo na 280 ± 20 mV, katere aktivni del je predstavljal elektrolit v notranjosti; baterija je bila obdana z izolacijskim samolepilnim trakom. Senzor K4 je bil steklen valj dolžine 10 in premera 5 cm, napolnjen z vodovodno vodo (območje Ljubljana), ki je predstavljala aktivni del senzorja. Senzorja delujeta kot anteni, tj. zaznavata razliko v električnem potencialu, ki v prevodnem materialu inducira električni tok. Signal iz senzorjev vodimo na RC vezje, ki deluje kot frekvenčni filter. Raven signal se nato prenese na predojačevalno stopnjo z upornostjo 10 M Ω , se po potrebi ojača (faktor ojačitve je bil 1,8 pri K4 oz. brez ojačitve pri K3) in pretvori v digitalno obliko. Računalniško kontrolirano vezje omogoča elektronsko meritev signala v obliki električne napetosti in spremljanje relativne emisije bližnjega polja v realnem času, pri čemer je bila programsko nastavljena časovna resolucija posamičnih vzorčenj 300 ms.



Slika 2: Shema detekcijskega sistema

Senzorji so splošno občutljivi na elektrostatične učinke in druge zunanje motnje. Predhodno opravljene analize o vplivu elektrostatike so pokazale, da so statični učinki prehodne narave in hitro izginejo zaradi izenačitve naboja med vhodnim signalom senzorja in visoko upornostno stopnjo, zato jih lahko dobro ločimo od vplivov bližnjega polja (Škarja s sod., 2005) (Slika 4).

4.2.2 Protokol meritev

Pred pričetkom vsake meritve prostovoljci najmanj 1 uro niso smeli uživati nobenih snovi, ki lahko spremenijo splošno fiziološko stanje in tako vplivajo na rezultat meritev (uživanje hrane in tekočin, kajenje). Pri kontrolnem testu (K) in pri testu z vnosom tekočine (V) smo čas prepovedi pitja tekočin podaljšali na 3 ure pred pričetkom meritve z namenom blage dehidracije.

Meritev je bila zasnovana tako, da oseba sedi na stolu, ob vznožju katerega je na tleh položena bakrena plošča z lepenco. Na levi sprednji nogi stola je pritrjen senzor K3 in na desni senzor K4. Absorpcija se meri v neposredni bližini senzorjev (bližinska meritev;

razdalja telesa pribl. 10 cm od senzorjev) in ob neposrednem stiku telesa s senzorjema (kontaktna meritev) na način, da se oseba s prsti izmenično dotika senzorjev vsakega posebej in obeh hkrati. Protokol meritve je bil naslednji:

1. aktivacija oddajnega sistema
2. oseba se namesti v osnovni položaj: vzravnano se usede na stol tako, da se s celotno površino stopal (brez obuval) dotika lepenke; kolena ima skupaj in roki položeni na stegna, z zaprto stranjo dlani vzporedno s stegni in v ravnini s senzorjema
3. aktivacija detekcijskega sistema in pričetek merjenja
4. čakanje na ustalitev signalov obeh senzorjev (navadno nekaj sekund)
5. z levo roko se dotakne senzorja K3: podlaht položi na naslonjalo stola in ukloni dlan tako, da iztegnjene srednje 3 prste prisloni ob zunanji del senzorja
6. po ustalitvi signala (nekaj sekund) se namesti v osnovni položaj
7. z desno roko se dotakne senzorja K4 na enak način kot v točki 5
8. po ustalitvi signala (pribl. 20 s) se namesti v osnovni položaj
9. z obema rokama se hkrati dotakne obeh senzorjev kot v točkah 5 oz. 7
10. po ustalitvi signala (pribl. 10 s) se namesti v osnovni položaj
11. izključitev detekcijskega sistema
12. ponovitev točk 2 do 11 po 5 min in nato 3 krat po 10 min (skupaj 5 posameznih meritev v času 35 min)
13. izključitev oddajnega sistema

Pri testu z vnosom tekočine (V) je takoj po prvi posamezni meritvi sledilo popitje 0,3 l vodovodne vode; pri testu s fizično aktivnostjo (P) so prostovoljci tik pred pričetkom tretje posamezne meritve naredili serijo 15-20 počepov.

4.2.3 Parametri

Absorpcijski parametri, ki smo jih upoštevali pri obdelavi podatkov, so bili naslednji:

B (bližinska meritev): vrednost ustaljene absorpcije v osnovnem položaju brez stika senzorjev (točka 4 protokola meritev (Razdelek 4.2.2); Slika 3a);

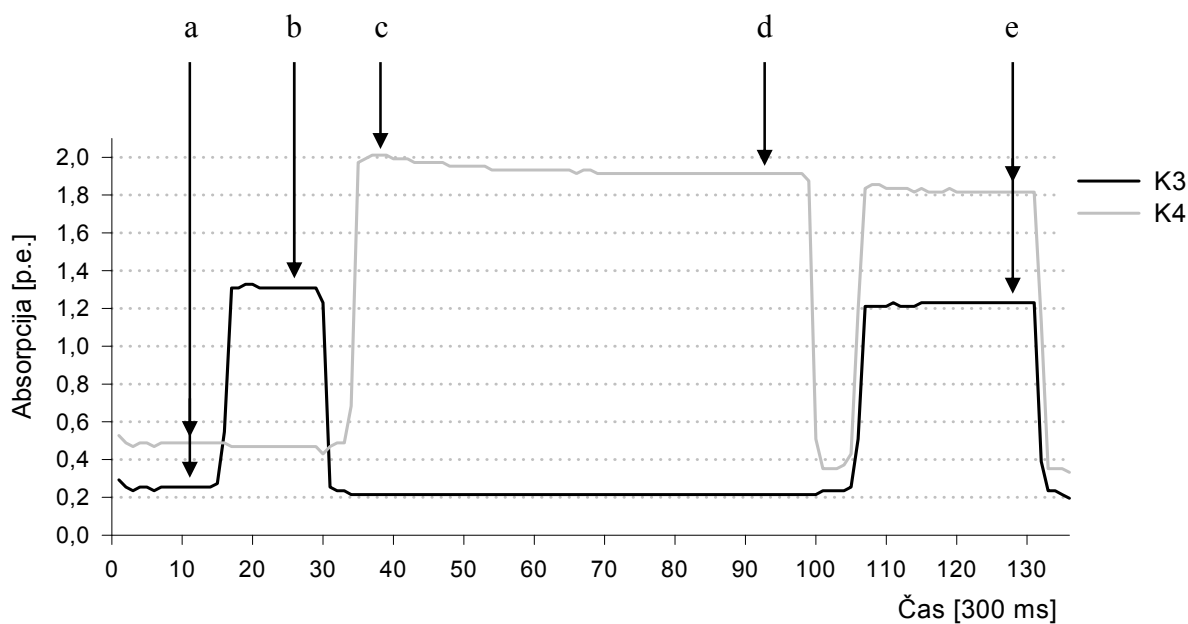
Kp (kontaktna meritev posamezno): vrednost ustaljene absorpcije ob stiku posameznega senzorja (točki 5 oz. 7; Slika 3 b in d)

Kpm: maksimalna vrednost absorpcije senzorja K4 (točka 7; Slika 3c)

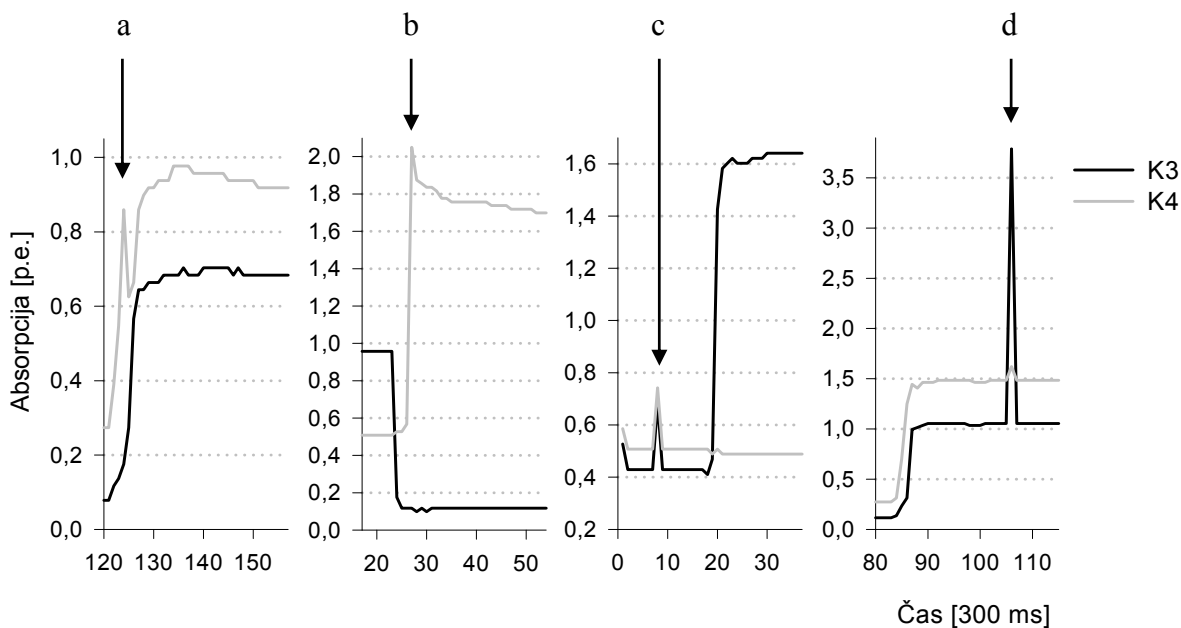
Kh (kontaktna meritev hkrati): vrednost ustaljene absorpcije ob hkratnem stiku senzorjev (točka 9; Slika 3e)

Rp (razlika posamezno): razlika med Kp in B ($Kp-B$) za vsak senzor

Rh (razlika hkrati): razlika med Kh in B ($Kh-B$) za vsak senzor



Slika 3: Primer značilnega signala posamezne meritve z izmerjenimi vrednostmi parametrov: **a** B (K3, K4), **b** K_p (K3), **c** K_{pm} (K4), **d** K_p (K4), **e** K_h (K3, K4)



Slika 4: Primeri različnih zunanjih motenj: **a** in **b** statični učinki, **c** in **d** artefakti

Kot izmerjeno vrednost parametra smo določili ustaljeno vrednost absorpcije po morebitnem začetnem nihanju signala, pri čemer smo upoštevali različno absorpcijsko dinamiko senzorjev ob različnih parametrih. V primeru, da se signal ni dokončno ustalil in je nihalo med dvema ali več vrednostmi, smo kot izmerjeno vrednost parametra določili

najpogostejšo vrednost signala. Zaradi značilne asimptotične krivulje absorpcijskega signala senzorja K4 smo poleg ustaljene (večinoma minimalne) vrednosti absorpcije upoštevali tudi maksimalno vrednost takoj po stiku s senzorjem (parameter Kpm), pri čemer smo izključili morebitne elektrostatične učinke (Slika 4 a in b).

Absorpcijske parametre smo analizirali v odvisnosti od fizikalnih parametrov telesne teže in višine ter od psihofizičnih (kategoričnih) parametrov splošnega počutja in predhodnih aktivnosti na dan meritev: predhodna splošna dejavnost (npr. študij, delo), predhodne fizične aktivnosti (npr. fizično delo, športne aktivnosti), utrujenost, stres ter različne kombinacije parametrov. Podatke o psihofizičnih parametrih smo pridobili ustno od testiranih oseb pred začetkom izvedbe meritev.

4.3 ANALIZA PODATKOV

Podatke smo analizirali s pomočjo standardnih statističnih metod. Za analizo smo uporabili programska paketa StatGraphics 4.0 in Microsoft Office Excel 2003. Eksperiment smo tretirali kot bločno zasnovano z osebami kot bloki ter časi posameznih meritev oz. testi aktivnosti kot obravnavanji.

Pri analizi posameznih testov aktivnosti smo za ugotavljanje časovnih trendov uporabili polinomske načrtovane primerjave (kontraste), za ugotavljanje sprememb med specifičnima obravnavanjema pa parne kontraste, oboje po metodi LSD. Za primerjavo normiranih povprečij med testi smo izmerjene vrednosti absorpcije normirali glede na začetno vrednost, test K smo primerjali ločeno s testoma V in P s parnim t-testom. Za primerjavo variabilnosti med testi aktivnosti oz. med posameznimi absorpcijskimi parametri smo uporabili povprečje standardnih deviacij posameznih oseb oz. povprečje koeficientov variabilnosti posameznih meritev. Za statistično analizo smo naredili načrtovano primerjavo (kontrast) za vrednosti standardnih deviacij med testom P in testoma K in V po metodi LSD. Vrednosti SD smo predhodno logaritemsko transformirali zaradi neenakih varianc.

Stopnjo povezanosti absorpcijskih parametrov smo analizirali s korelacijo, odvisnost absorpcije od fizikalnih absorpcijskih parametrov pa z linearno regresijo (Razdelek 5.2). Zaradi lažje primerjave smo pri vseh absorpcijskih parametrih uporabili enak (linearni) regresijski model. Kot izhodiščne vrednosti za analizo smo uporabili povprečja vseh meritev za posamezen absorpcijski parameter (iz 15 obravnavanj po časih in testih aktivnosti).

Za analizo vpliva psihofizičnih dejavnikov na velikost in spremembo absorpcije (Razdelek 5.3.1) smo uporabili podatke vseh treh testov aktivnosti (skupaj 54 meritev). Za vsak absorpcijski parameter smo analizirali variabilnost vzorcev (test homogenosti varianc). V primerih, ko se variance vzorcev med seboj niso statistično značilno razlikovale, smo za primerjavo uporabili enosmerno analizo variance (ANOVA), v primerih značilno različnih varianc pa Kruskal-Wallis test (test median).

Za analizo vpliva na stabilnost absorpcije (Razdelek 5.3.2) smo zapise absorpcijskih signalov razdelili v 2 skupini glede na stopnjo nihanja signala v realnem času. Ocena je temeljila na subjektivni presoji ob upoštevanju signalov obeh senzorjev skozi vse posamezne meritve. Kot stabilne ali delno stabilne smo upoštevali meritve, pri katerih v večini posameznih meritev v okviru posameznega absorpcijskega parametra ni prišlo do nihanj signalov, večjih od ene občutljivostne stopnje ali pa je do izrazitejših odstopanj prišlo le v omejenem času največ dveh posameznih meritev. Kot nestabilne smo upoštevali meritve, kjer je pri vsaj treh posameznih meritvah skozi večino časovnega obdobja prihajalo do izrazitejših odstopanj signala absorpcije ali pa je pri vsaj eni posamezni meritvi prišlo do zelo močnih odstopanj. Za statistično analizo smo uporabili χ^2 test in neparametrično statistiko za povezanost kategoričnih spremenljivk (kontingenčni koeficient).

Za analizo dolgoročnih sprememb v občutljivosti senzorja K4 smo uporabili linearni regresijski model. Za vsako zaporedno št. meritve smo izračunali povprečno razmerje (iz 5 obravnavanj po časih) parametrov K_p/K_{pm} senzorja K4. Upoštevali smo tudi podatke preliminarnih meritev (4).

5 REZULTATI

5.1 TESTI AKTIVNOSTI

5.1.1 Posamezni testi

Za vsak test aktivnosti (K, V in P) smo analizirali splošne časovne trende in razlike med nekaterimi specifičnimi časi posameznih meritev absorpcije bližnjega električnega polja po absorpcijskih parametrih B, Kp, Kpm, Kh, Rp in Rh senzorjev K3 in K4.

5.1.1.1 Kontrolni test (K)

Na Sliki 5 so prikazane povprečne vrednosti absorpcije bližnjega polja vseh upoštevanih parametrov s 95 % intervalom zaupanja v kontrolnem testu (K). Absorpcije ob kontaktnih meritvah (Kp, Kh, Rp in Rh) so bile večje od bližinske meritve (B); parameter Kp se je razlikoval za faktor 6,43 do 9,09 pri K3 oz. 3,39 do 3,56 pri K4, Kh pa za faktor 5,87 do 8,23 pri K3 oz. 3,13 do 3,29 pri K4. Absorpcija je bila večja ob posamični kot ob hkratni meritvi za faktor med 1,09 in 1,10 pri K3 oz. med 1,08 in 1,11 pri K4; vrednosti parametra Kpm senzorja K4 so bile večje od Kp za faktor med 1,07 in 1,09.

V kontrolnem testu (K; Preglednica 2, Slika 5) je bil skozi celotno časovno obdobje meritve (0-35 min) opazen statistično močno značilen linerni trend upadanja absorpcije pri vseh absorpcijskih parametrih obeh senzorjev, razen pri bližinski meritvi senzorja K4 (K4 B). Največji upad je imel parameter K3 B, sledijo neposredni kontaktni parametri K3 (Kp in Kh), vsi kontaktni parametri K4 (Kp, Kpm, Kh, Rp in Rh) in parametri razlike K3 (Rp, Rh). Pri bližinskem (B) ter neposrednih kontaktnih parametrih K3 (Kp, Kh) je bil upad najizrazitejši po prvih 5 min: B K3 (-19,7 %; $p < 0,001$), Kp K3 (-4,0 %; $p < 0,001$), Kh K3 (-4,3 %; $p < 0,001$).

5.1.1.2 Test z vnosom tekočine (V)

V testu z vnosom tekočine (V; Preglednica 2, Slika 6) je bil skozi celotno časovno obdobje meritve (0-35 min) opazen statistično močno značilen linerni trend upadanja absorpcije pri vseh absorpcijskih parametrih senzorja K3, pri senzorju K4 pa je bil, po začetnem upadu pri 5 min, v času od vnosa tekočine (5 min) do konca meritve (35 min) opazen splošen trend porasta absorpcije. Pri parametrih Kp, Kh in Rh senzorja K4 je bil za celoten čas meritve statistično značilen ali mejno značilen kvadratni trend spreminjanja absorpcije z

majhno in neznačilno razliko med začetnim in končnim časom ter vmesnim minimumom pri času 5 oz. 15 min. Linearni trend porasta absorpcije od minimuma (pri 5 min oz. pri parametru Kpm 15 min) do konca meritve (35 min) je bil statistično značilen ali mejno značilen za parametra Kp in Kpm, značilen je bil tudi porast absorpcije med časoma 5 min in 35 min pri parametru Kh (+2,7 %, $p < 0,05$).

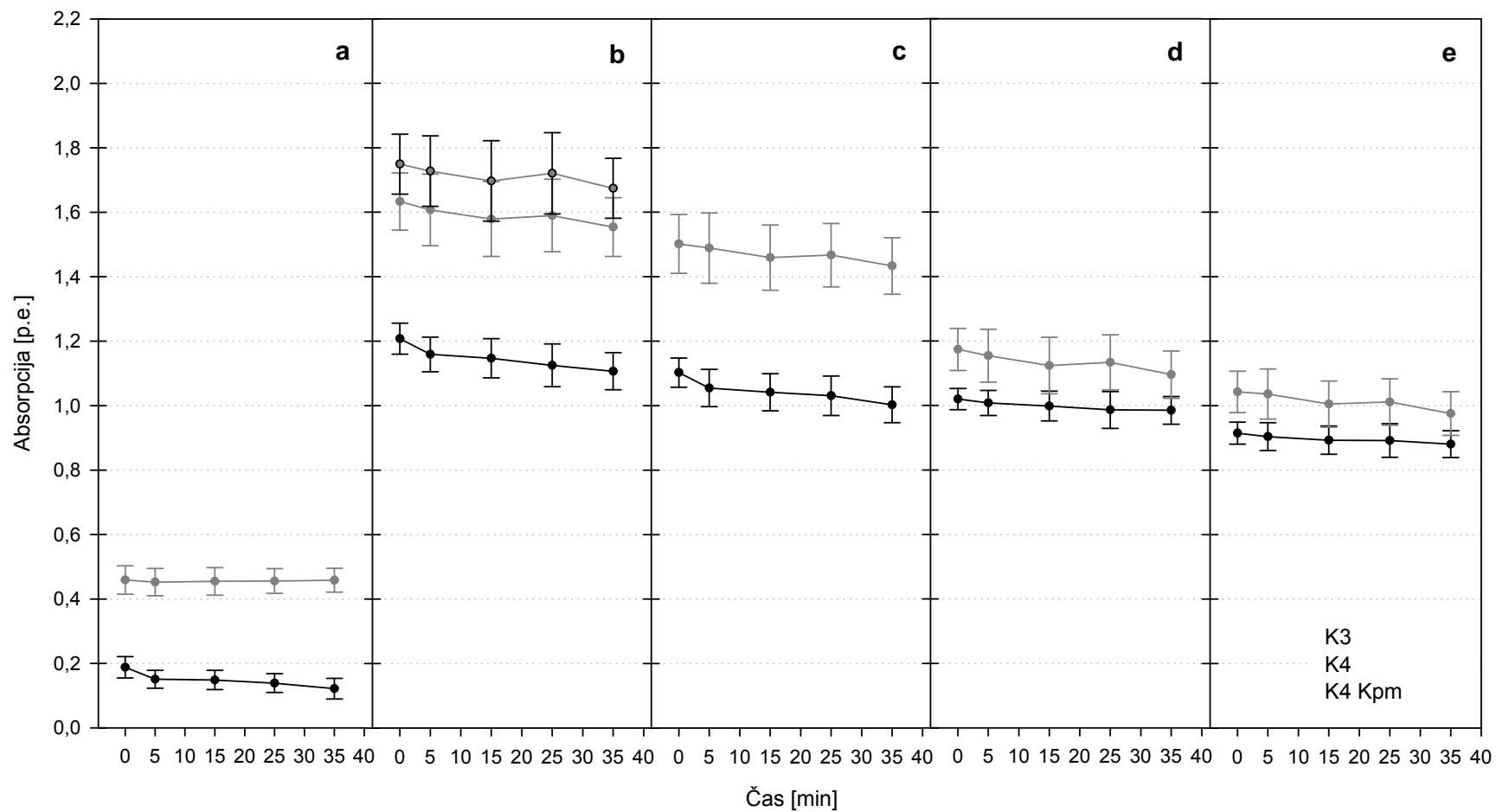
5.1.1.3 Test s fizično aktivnostjo (P)

V testu s fizično aktivnostjo (P; Preglednica 2, Slika 7) je bil skozi celotno časovno obdobje meritve (0-35 min) opazen statistično močno značilen linearni trend upadanja absorpcije pri vseh parametrih senzorja K3, medtem ko pri parametrih senzorja K4 ni bilo značilnih trendov spreminjanja absorpcije. Pri senzorju K4 je bil splošno značilen upad absorpcije od začetka meritve do časa 15 min oz. tik po izvedbi telesnih vaj ter porast absorpcije v času 25 min in nato ponoven upad. V časovnem razponu med 15 in 35 min je bil pri absorpcijskih parametrih Kp, Kpm in Rp senzorja K4 mejno statistično značilen kvadratni trend spreminjanja absorpcije z majhno in neznačilno razliko med časoma 15 in 35 min ter vmesnim porastom pri času 25 min. Porast med 15 in 25 min je bila mejno statistično značilna za parametra Kp in Kpm (+4,2 % in +4,1 %), upad med 25 in 35 min pa za parameter Rh (-3,8 %).

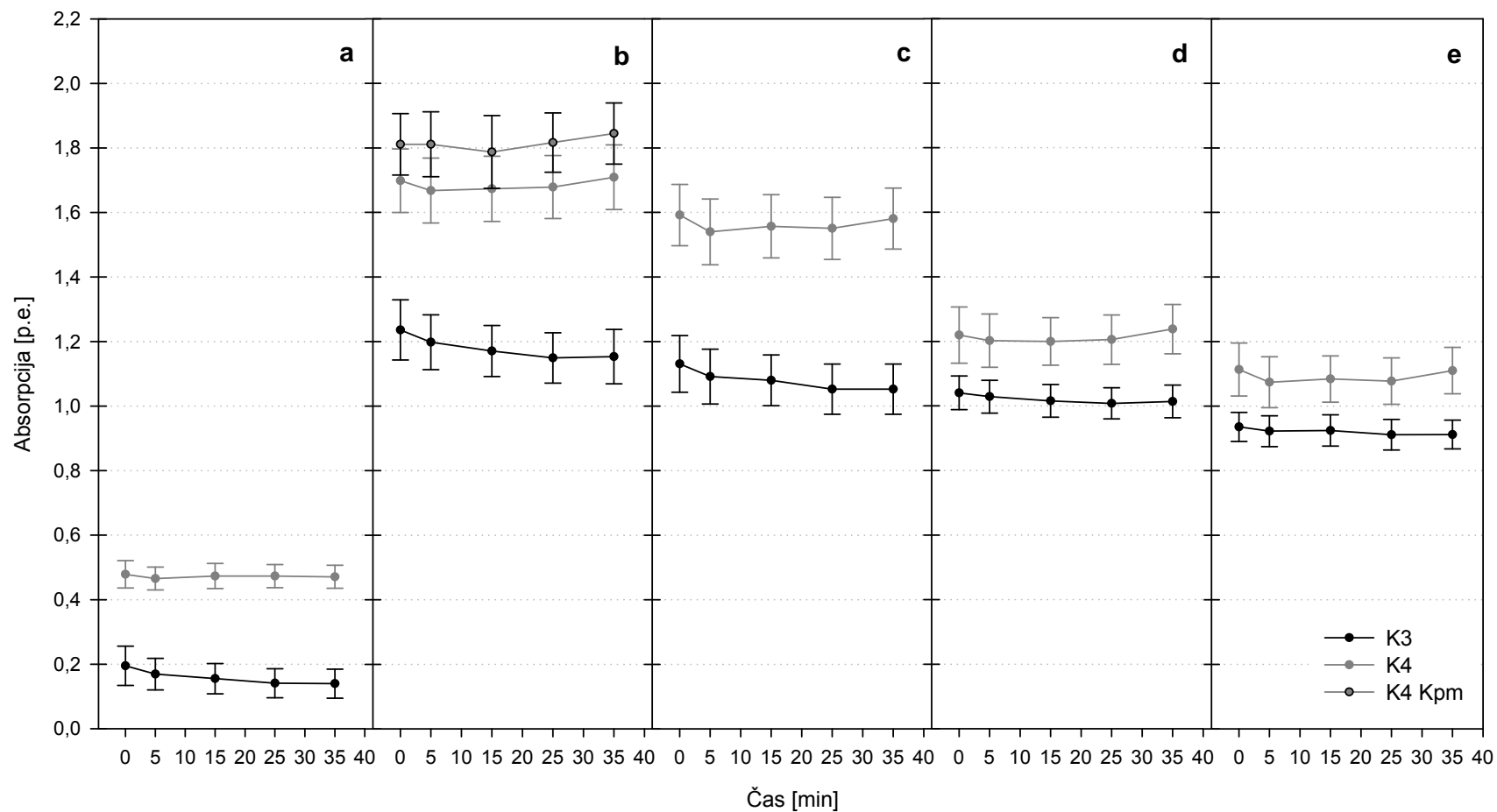
Preglednica 2: Primerjava časovnih trendov in nekaterih specifičnih razlik med obravnavani (časi posameznih meritev) absorpcije bližnjega električnega polja po posameznih absorpcijskih parametrih v testih aktivnosti (K, V in P). Prikazan je odstotek razlike v povprečni absorpciji za označen časovni razpon, vrsta časovnega trenda in stopnja statistične značilnosti

		K	V	P	V	P	P	P
		0-35	0-35	0-35	5/15-35	15-35	15-25	25-35
polin. kontr.	parni kontr.							
K3	B	-35,1 ^{l***}	-28,6 ^{l***}	-34,6 ^{l***}	/	/	/	/
	Kp	-8,4 ^{l***}	-6,7 ^{l***}	-9,9 ^{l***}	/	/	/	/
	Kh	-9,1 ^{l***}	-7,0 ^{l***}	-9,9 ^{l***}	/	/	/	/
	Rp	-3,4 ^{l**}	-2,6 ^{l***}	-3,9 ^{l***}	/	/	/	/
	Rh	-3,7 ^{l**}	-2,5 ^{l**}	-3,2 ^{l**}	/	/	/	/
K4	B	-0,2	-1,6	+1,0	+1,2	+3,9	+4,4	-0,5
	Kp	-4,9 ^{l***}	+0,6 ^{kms}	-2,6	+2,5 ^{lms}	+1,2 ^{ms}	+4,2 ^{ms}	-2,9
	Kpm	-4,3 ^{l**}	+1,9	-2,3	+3,2 ^{l*}	+0,9 ^{ms}	+4,1 ^{ms}	-3,1
	Kh	-4,6 ^{l**}	-0,7 ^{l**}	-1,7	+2,7	-0,3	+2,6	-2,9
	Rp	-4,6 ^{l***}	+1,6	-3,7	+3,0	+0,2 ^{ms}	+4,1	-3,8
	Rh	-6,5 ^{l***}	-0,3 ^{k*}	-2,8	+3,3	-1,2	+2,0	-3,8 ^{ms}

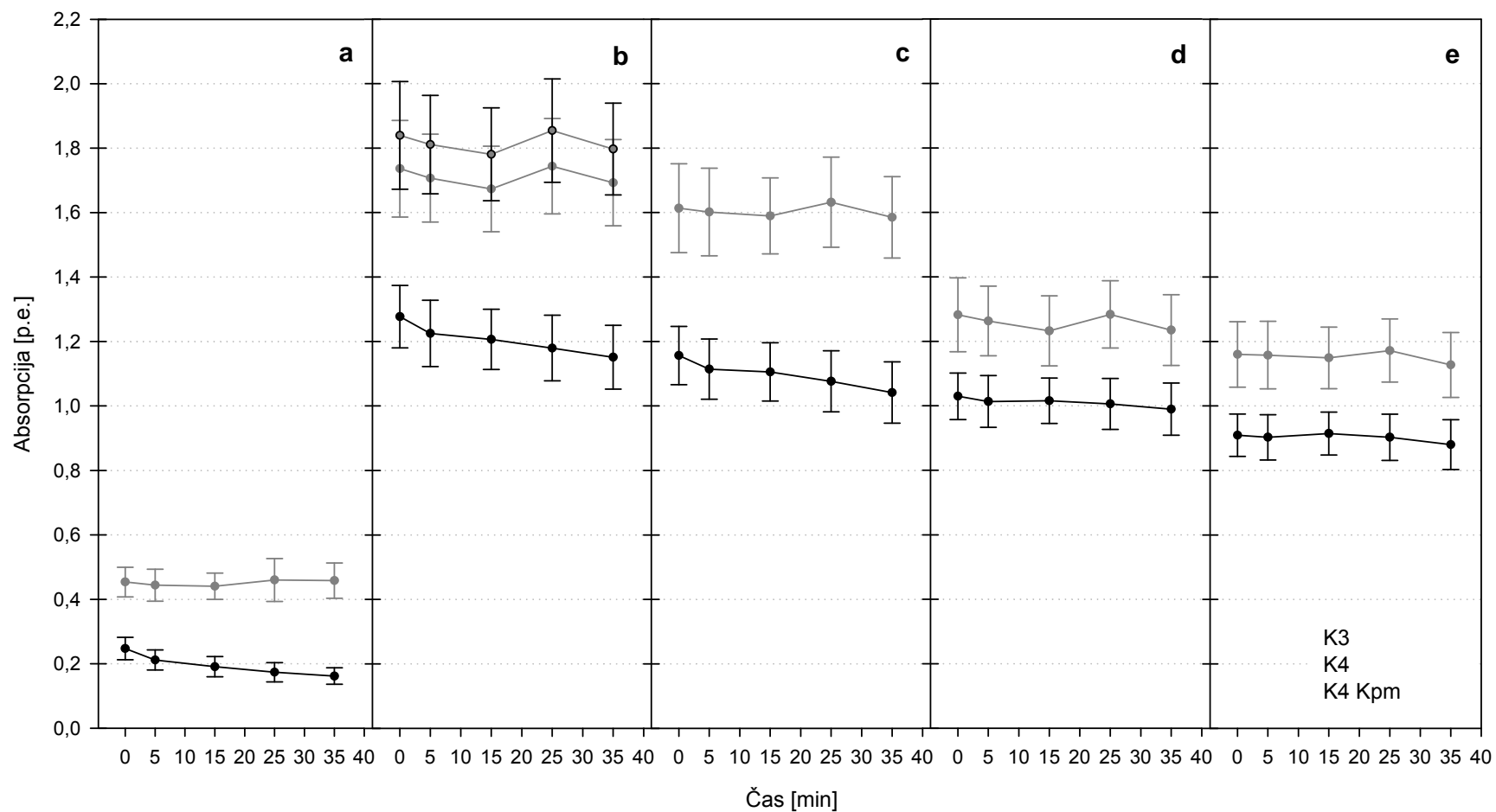
multifaktorska ANOVA, polinomski in parni kontrasti; l linearni trend; k kvadratni trend; *** $p < 0,001$; ** $p < 0,01$; * $p < 0,05$; ms $p < 0,1$ (mejna značilnost)



Slika 5: Povprečne vrednosti absorpcije bližnjega električnega polja s 95% intervalom zaupanja v testu **K** po posameznih absorpcijskih parametrih: **a** B, **b** Kp, **c** Kh, **d** Rp, **e** Rh



Slika 6: Povprečne vrednosti absorpcije bližnjega električnega polja s 95% intervalom zaupanja v testu V po posameznih absorpcijskih parametrih: a B, b Kp, c Kh, d Rp, e Rh



Slika 7: Povprečne vrednosti absorpcije bližnjega električnega polja s 95% intervalom zaupanja v testu **P** po posameznih absorpcijskih parametrih: **a** B, **b** Kp, **c** Kh, **d** Rp, **e** Rh

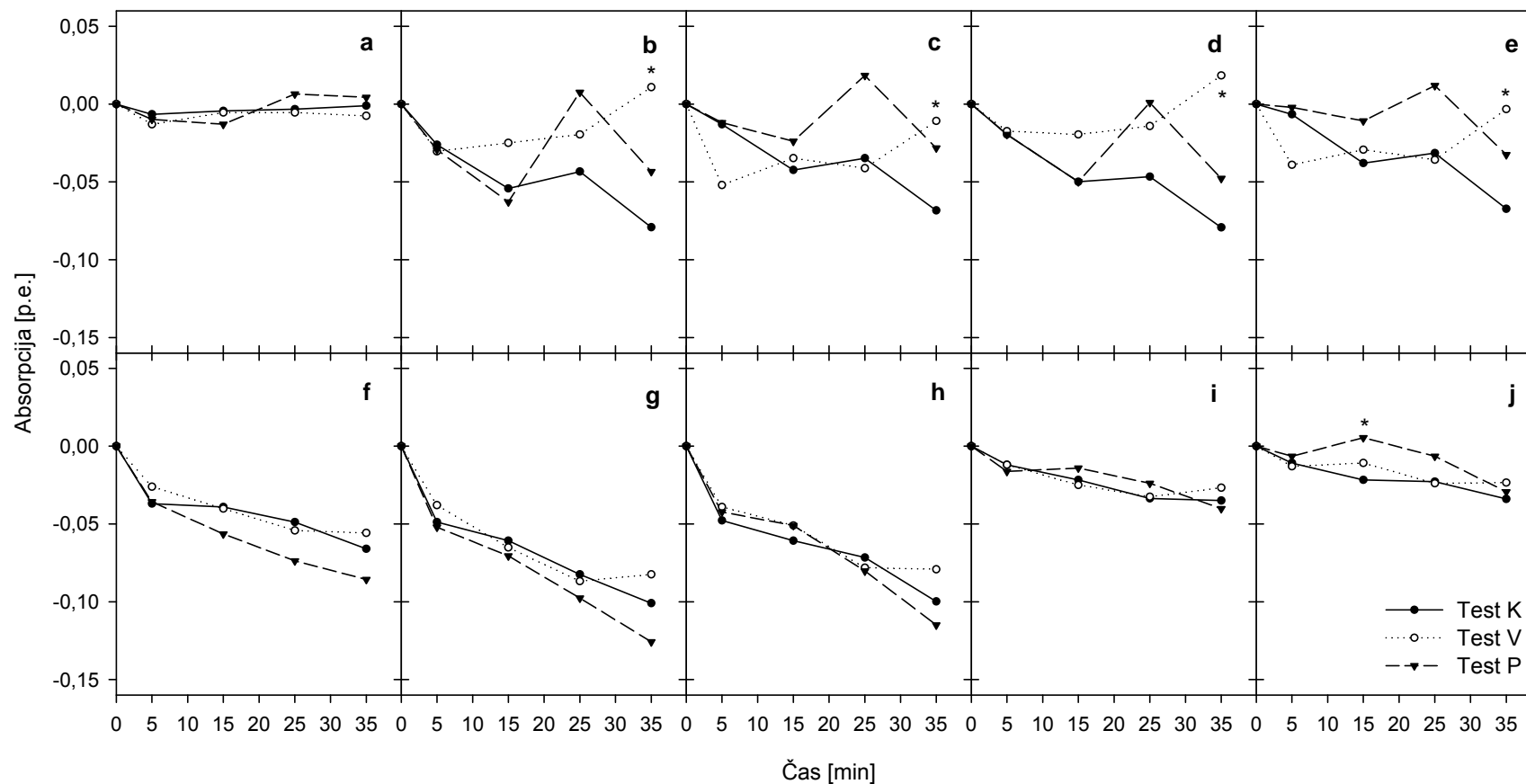
5.1.2 Primerjava testov

5.1.2.1 Primerjava normiranih povprečij

Na Sliki 8 je prikazana primerjava povprečnih vrednosti absorpcije bližnjega električnega polja med testi K, V in P po posameznih parametrih obeh senzorjev, kjer so vrednosti normirane na izhodiščno stanje v času 0.

Razlike med posameznimi testi so bile najizrazitejše pri kontaktnih parametrih senzorja K4. Testa K in V smo primerjali v času 35 min, kjer so bile razlike v največje na račun postopnega naraščanja absorpcije v testu V med časoma 5 in 35 min (Razdelek 5.1.2). Primerjava normiranih vrednosti je pokazala statistično značilno razliko vseh parametrov razen B, s stopnjo značilnosti $p < 0,01$ za parametra Kp in Kpm oz. $p < 0,05$ za parametre Kh, Rp in Rh (Slika 8 b, c, d in e; parameter Kpm ni prikazan). Testa K in P sta se najbolj razlikovala v času 25 min na račun večjega porasta absorpcije v testu P (Razdelek 5.1.3). Primerjava normiranih vrednosti ni pokazala statistično značilnih razlik na nobenem parametru K4.

Za parametre senzorja K3 je bil splošno značilen upad absorpcije v vseh treh testih brez izrazitejših odstopanj med posameznimi testi. Pri parametrih B, Kp in Kh so bile razlike največje v času 35 min (Slika 8 f, g in h). Pri testu V je bil upad od začetne vrednosti najmanjši, predvsem na račun prenehanja upadanja oz. zmernega porasta v času med 25 in 35 min. Največji upad od začetne vrednosti je bil pri testu P, kjer so se razlike med testi povečevale v času med 15 in 35 min (Slika 8 f in g). Pri parametrih razlike (Rp in Rh) so bile razlike med testoma K in P največje v času 15 in 25 min. Za parameter Rh je bila razlika v času 15 min statistično značilna s stopnjo značilnosti $p < 0,05$ (Slika 8 j).



Slika 8: Primerjava povprečij, normiranih na čas 0 med testi K, V in P po posameznih parametrih senzorjev K3 (spodaj) in K4 (zgoraj): B (a in f), Kp (b in g), Kh (c in h), Rp (d in i), Rh (e in j). * označuje značilno razliko s testom K

5.1.2.2 Primerjava variabilnosti

Variabilnost absorpcijskih parametrov smo analizirali na 2 načina: kot povprečno standardno deviacijo na posamezno osebo (SD) za primerjavo variabilnosti med testi in kot povprečen koeficient variabilnosti na posamezno meritev (KV %), ki omogoča poleg primerjave med testi tudi primerjavo med absorpcijskimi parametri.

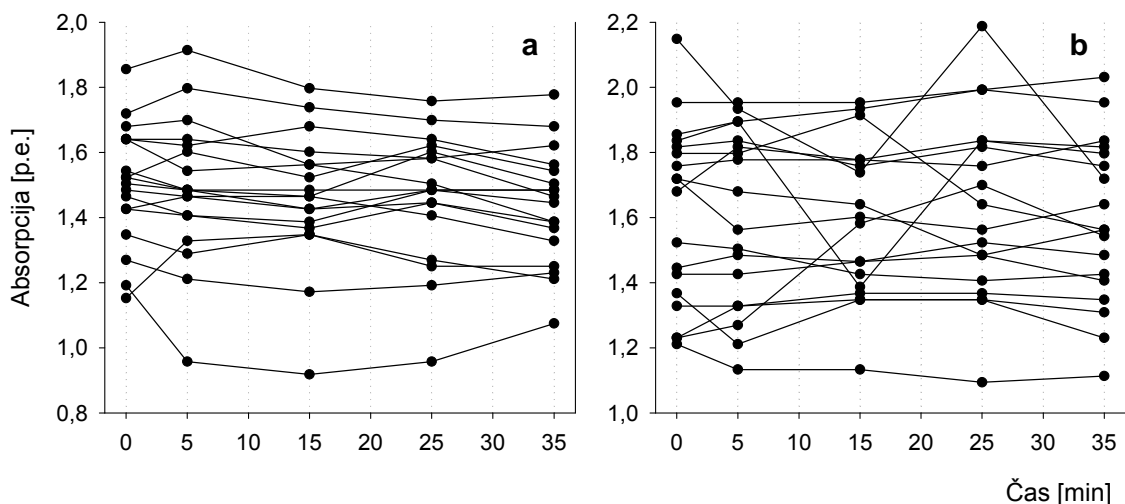
Preglednica 3 prikazuje SD in KV % vseh upoštevanih parametrov za vsak posamezen test. Iz primerjave KV % sledi, da je bila variabilnost absorpcije največja pri parametru K3 B, ki je v večini primerov presegala variabilnost ostalih parametrov za faktor med 2 in 6. Nekoliko izrazitejšo variabilnost je imel tudi parameter K4 B, vendar ostalih parametrov ni presegala za faktor nad 2. Variabilnost vseh ostalih (kontaktnih) parametrov je bila približno v enakem razredu. Primerjava med testi kaže, da je bil KV % pri vseh parametrih razen K3 B največji pri testu P. Odstopanja od testov K in V so bila izrazitejša pri vseh parametrih senzorja K4 ter pri parametrih razlike senzorja K3, kjer so bili koeficienti testov K in V podobni oz. nekoliko nekoliko manjši pri testu V (K4).

Primerjava testov z analizo SD (povprečna SD na osebo in statistična primerjava testa P s testoma K in V) kaže na podoben trend kot pri KV %, z največjo variabilnostjo v testu P vseh parametrov razen parametrov razlike K3 (Preglednica 3). Odstopanja od testov K in V so bila najizrazitejša pri neposrednih kontaktnih parametrih senzorja K4 (Kp, Kpm in Kh), kjer so bile razlike tudi statistično značilne. Slika 9 prikazuje primerjavo izmerjenih vrednosti absorpcij za posamezne osebe med testoma K in P za parameter K4 Kh.

Preglednica 3: Primerjava variabilnosti med testi po posameznih parametrih. Standardna deviacija (SD) je podana kot povprečne standardnih deviacij na osebo, koeficient variabilnosti (KV %) pa kot povprečne koeficientov variabilnosti posameznih meritev. * označuje značilno razliko s testoma K in V

		K		V		P	
		SD	KV %	SD	KV %	SD	KV %
K3	B	0,012	41,7	0,012	62,1	0,019	31,5
	Kp	0,025	10,1	0,023	14,3	0,028	16,5
	Kh	0,021	10,7	0,020	15,1	0,025	17,0
	Rp	0,020	8,8	0,017	9,9	0,013	15,2
	Rh	0,018	9,7	0,017	10,2	0,011	15,7
K4	B	0,009	18,0	0,020	16,0	0,034	22,9
	Kp	0,029	13,1	0,036	11,9	0,071*	16,5
	Kpm	0,034	12,8	0,039	11,0	0,078*	17,0
	Kh	0,026	13,3	0,025	12,5	0,066*	16,5
	Rp	0,030	14,0	0,045	13,1	0,050	17,4
	Rh	0,028	14,0	0,034	13,8	0,041	17,4

multifaktorska ANOVA, kontrast $P(-1) - K(0,5)V(0,5)$, LSD test pri $p < 0,05$



Slika 9: Primerjava izmerjenih vrednosti absorpcije posameznih oseb med testoma K in P pri parametru K4 Kh. **a** Test K **b** Test P

5.2 ODVISNOST ABSORPCIJSKIH IN FIZIKALNIH PARAMETROV

5.2.1 Primerjava povezanosti absorpcijskih parametrov

Z analizo korelacije smo primerjali stopnjo povezanosti absorpcijskih parametrov za posamezna sensorja in med sensorjema (Preglednica 4). Za analizo smo uporabili povprečja vseh meritev za posamezen parameter (skupaj 15 meritev za posamezno osebo). Korelacije med kontaktnimi parametri so bile močno pozitivne, s korelacijskimi koeficienti nad 0,90 med parametri istega sensorja oz. med 0,70 in 0,90 primerjalno med parametri obeh sensorjev. V splošnem je bil parameter B najšibkeje koreliran z ostalimi parametri, pri čemer so bili korelacijski koeficienti nižji pri sensorju K3 kot pri K4. Primerjalno med sensorjema so bili kontaktni parametri K4 močnejše korelirani z bližinskim parametrom K3 kot kontaktni parametri K3 z bližinskim parametrom K4.

Preglednica 4: Korelacijski koeficienti (Pearson) absorpcijskih parametrov za posamezen senzor in med senzorjema (kritična vrednost r pri $n=18$ je 0,4683)

		B	Kp	Kpm	Kh	Rp	Rh
K3	B		0,61		0,64	0,28	0,31
	Kp				0,99	0,93	0,93
	Kh					0,90	0,92
	Rp						0,99
K4	B		0,77	0,69	0,79	0,54	0,55
	Kp			0,98	0,99	0,95	0,94
	Kpm				0,95	0,96	0,94
	Kh					0,93	0,95
	Rp						0,98
K3\K4	B	0,68	0,54		0,59	0,39	0,45
	Kp	0,44	0,80		0,82	0,84	0,88
	Kh	0,48	0,80		0,83	0,83	0,88
	Rp	0,22	0,72		0,72	0,84	0,86
	Rh	0,26	0,73		0,74	0,84	0,87

5.2.2 Odvisnost absorpcije od telesne teže in višine

Z analizo linearne regresije smo za vsak absorpcijski parameter ocenili odvisnost absorpcije od telesne teže in višine (Preglednica 5, Priloga C). Za analizo smo uporabili povprečja vseh meritev za posamezen parameter kot v Razdelku 5.2.1. Absorpcija je bila večinoma statistično značilno linearno odvisna od obeh fizikalnih parametrov. Stopnja pojasnjene variabilnosti (R^2) je bila pri vseh absorpcijskih parametrih večja pri senzorju K4. Telesna višina je pojasnila približno enak delež variabilnosti pri vseh parametrih senzorja K4, medtem ko je bila stopnja pojasnjenosti pri senzorju K3 večja pri kontaktnih parametrih. Telesna teža je pri obeh senzorjih pojasnila manjši delež variabilnosti pri kontaktnih parametrih. Pri tem je bila stopnja pojasnjenosti manjša pri senzorju K3, kjer zveza tudi ni bila statistično značilna, skladno s šibkejšimi korelacijami bližinskega parametra K3 s kontaktnimi senzorja K3 oz. K4 (Razdelek 5.2.1). Pri senzorju K3 smo opazili tudi nekoliko večjo stopnjo pojasnjenosti variabilnosti parametra Kh v primerjavi s Kp pri obeh fizikalnih parametrih.

Preglednica 5: Odstotek pojasnenosti ($100R^2$) za variabilnost absorpcijskih parametrov v odvisnosti od telesne teže in višine in stopnja statistične značilnosti regresijskega modela

		B	Kp	Kpm	Kh	Rp	Rh
K3	Teža	41,3**	14,9		19,6 ^{ms}	2,9	5,6
	Višina	21,9 ^{ms}	32,4*		38,7**	22,5*	29,5*
K4	Teža	78,2***	52,0***	36,7**	53,1***	27,7*	28,3*
	Višina	51,1***	56,6***	42,4**	56,7***	42,3**	42,5**

linearna regresija; *** $p < 0,001$; ** $p < 0,01$; * $p < 0,05$; ms $p < 0,1$ (mejna značilnost)

5.3 ANALIZA PSIHOFIZIČNIH DEJAVNIKOV

5.3.1 Vpliv na spremembe absorpcije

Primerjali smo vpliv različnih psihofizičnih dejavnikov na velikost oz. spremembe v absorpciji bližnjega električnega polja. Analizirali smo 6 kategoričnih (0: dejavnik je odsoten; 1: dejavnik je prisoten) parametrov: splošna aktivnost, fizična aktivnost, utrujenost, stresnost ter kombinaciji splošne aktivnosti in utrujenosti ter splošne aktivnosti in stresnosti. Uporabili smo podatke vseh treh testov aktivnosti (skupaj 54 meritev). Za analizo vpliva teh parametrov na spremembe v absorpciji (Preglednica 6) smo primerjali deleže končne vrednosti absorpcije v času 35 min glede na vrednost izhodiščne meritve. Za primerjavo vpliva na velikost absorpcije (Preglednica 7) smo primerjali povprečja velikosti absorpcij posameznih meritev. Glede na homogenost varianc smo za primerjavo uporabili enosmerno ANOVO ali Kruskal-Wallis test.

Preglednica 6 prikazuje primerjavo spremembe absorpcije v času 35 min glede na začetno meritev ter stopnjo statistične značilnosti med skupinama 0 in 1 posameznega psihofizičnega parametra po posameznih absorpcijskih parametrih. V splošnem je senzor K3 zaznal večje spremembe kot senzor K4; razlike so bile največje in močno značilne (razen pri parametru B) pri meritvah, kjer so bile osebe predhodno fizično aktivne. Pri tej skupini (1) je bil upad absorpcije večji približno za faktor 2 ali več kot pri skupini 0 (Slika 10, str. 50). Podoben trend, vendar z manjšimi razlikami v upadu, je bil tudi pri parametru splošne aktivnosti. Pri parametrih stresnosti oz. kombinaciji stresnosti in splošne aktivnosti je bil upad absorpcije pri skupini 1 značilno večji pri absorpcijskih parametrih B, Kp, Kh oz. Kp, Kh, Rp; pri tem so bile stopnje statistične značilnosti večje pri kombinaciji stresnosti in splošne aktivnosti. Pri parametru utrujenosti ni bilo značilnih razlik med skupinama, prav tako tudi pri kombinaciji utrujenosti s splošno aktivnostjo.

Pri senzorju K4 so bile razlike v spremembi absorpcije med skupinama 0 in 1 kot tudi med posameznimi psihofizičnimi parametri v splošnem manj izrazite. Pri parametrih splošne

aktivnosti, utrujenosti in stresnosti so opazne posamezne značilne ali mejno značilne razlike med skupinama, pri čemer je bil upad vedno večji pri skupini 1; ob tem je nekoliko izstopal parameter stresnosti, ki je za absorpcijski parameter B pokazal visoko razliko z močno značilnim večjim upadom pri skupini 1, medtem ko pri ostalih parametrih ni bilo značilnih razlik (Slika 10, str. 50). Od teh parametrov se nekoliko razlikujeta parametra kombinacije splošne aktivnosti z utrujenostjo oz. stresnostjo, pri katerih je bil upad pri skupini 1 značilno ali mejno značilno večji pri večini absorpcijskih parametrov.

Preglednica 6: Primerjava vpliva psihofizičnih parametrov na spremembo absorpcije v času 0-35 min. Vrednosti označujejo delež absorpcije v času 35 min glede na izhodiščno meritev; vrednost levo: dejavnik ni prisoten (0); vrednost desno: dejavnik je prisoten (1)

		Splošna aktivnost	Fizična aktivnost	Utrujenost	Stresnost	Aktivnost + Utrujenost	Aktivnost + Stresnost
Št.0/1		33 / 21	46 / 8	28 / 26	42 / 12	40 / 14	48 / 6
K3	B	70 / 49	62,1 / 60,9	67,3 / 56,2	64,5 / 53,1	69,5 / 40,4	63,2 / 52,1
		ns	ns	ns	*	ns	ns
	Kp	93,0 / 90,0	92,9 / 85,1	91,5 / 92,0	92,8 / 88,0	91,9 / 91,2	92,7 / 84,0
		*	***	ns	*	ns	***
	Kh	92,5 / 89,5	92,5 / 84,7	91,4 / 91,2	92,3 / 87,9	91,4 / 91,0	92,2 / 84,6
		*	***	ns	*	ns	**
K4	Rp	98,3 / 94,1	97,7 / 90,9	96,5 / 96,8	97,0 / 95,7	97,2 / 95,2	97,3 / 91,4
		**	***	ns	ns	ns	**
	Rh	98,4 / 94,2	97,8 / 91,0	97,0 / 96,5	96,8 / 96,6	97,1 / 95,7	97,2 / 93,2
		**	***	ns	ns	ns	ns
	B	99,9 / 101,0	99,9 / 102,7	102,1 / 98,3	103,0 / 90,9	101,1 / 97,9	101,6 / 90,0
		ns	ns	ns	***	ns	**
K4	Kp	99,3 / 96,2	97,8 / 99,6	99,9 / 96,1	98,1 / 98,1	99,4 / 94,3	98,8 / 92,7
		ns	ns	ms	ns	*	ms
	Kh	99,5 / 95,6	98,2 / 96,7	100,4 / 95,4	98,2 / 97,3	99,6 / 93,5	98,7 / 92,1
		ms	ns	*	ns	**	*
	Rp	99,8 / 94,5	97,6 / 98,5	99,2 / 96,1	96,4 / 102,5	99,3 / 93,2	98,2 / 94,2
		ns	ns	ns	ns	ms	ns
K4	Rh	100,0 / 93,5	98,1 / 94,1	99,7 / 95,1	96,3 / 101,8	99,5 / 91,9	98,0 / 93,2
		*	ns	ns	ns	*	ns

enosmerna ANOVA in Kruskal-Wallis test; *** $p < 0,001$; ** $p < 0,01$; * $p < 0,05$; ms $p < 0,1$ (mejna značilnost); ns $p > 0,1$ (ni značilne razlike);

Preglednica 7 prikazuje primerjavo vpliva psihofizičnih parametrov na velikost absorpcije kot delež skupine 1 glede na skupino 0 po posameznih absorpcijskih parametrih ter stopnjo statistične značilnosti med skupinama. V splošnem pri večini parametrov ni bilo značilnih razlik med skupinama. Pri senzorju K3 so bile razlike med skupinama največje pri parametru fizične aktivnosti, kjer so bile pri kontaktnih absorpcijskih parametrih povprečne vrednosti absorpcije skupine 1 nižje za 6 do 12 % v primerjavi s skupino 0;

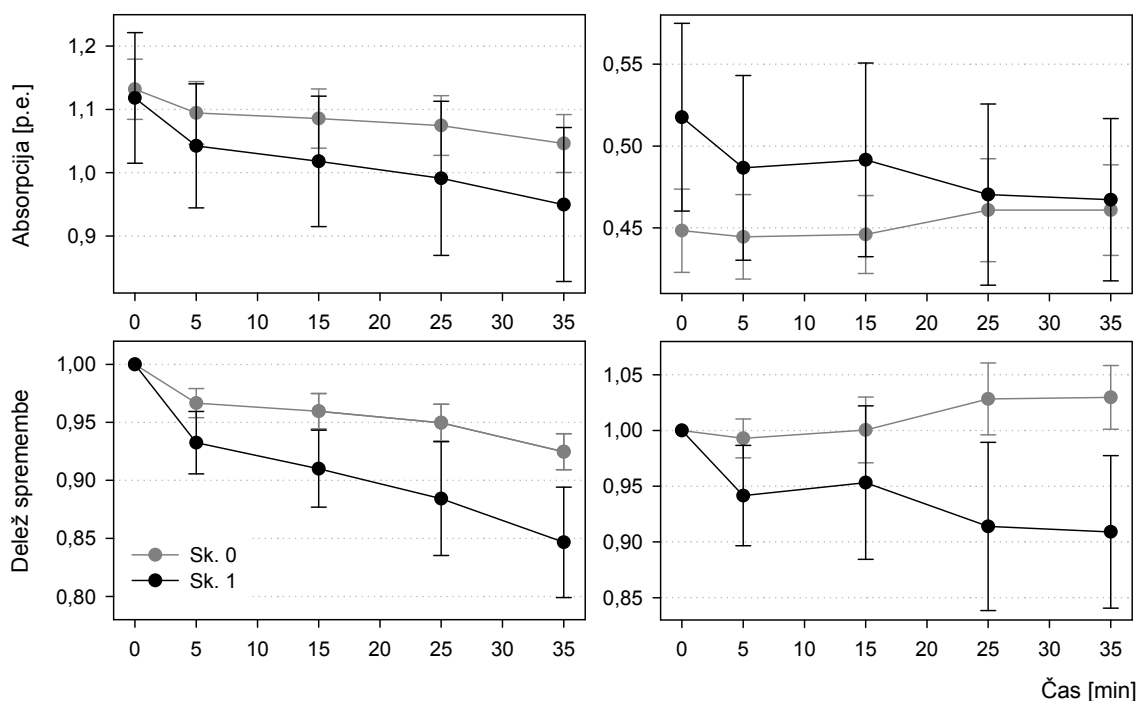
pri tem so bile razlike mejno značilne za parametra Rp in Rh. Pri ostalih psihofizičnih parametrih nismo opazili značilnih razlik.

Pri senzorju K4 so bile razlike med skupinama 0 in 1 nekoliko bolj izrazite kot pri K3. Pri parametrih splošne in fizične aktivnosti so bile vrednosti absorpcije pri vseh kontaktnih absorpcijskih parametrih skupine 1 nižje v primerjavi s skupino 0, pri tem so bile razlike v splošnem večje pri parametru fizične aktivnosti. Pri obeh parametrih so bile razlike značilne oz. mejno značilne za absorpcijske parametre Rp in Rh. Pri parametrih utrujenosti in stresnosti so bile vrednosti absorpcije za vse absorpcijske parametre skupine 1 višje kot v skupini 0, vendar je bila razlika značilna le za parameter utrujenosti (B). V splošnem so bile razlike večje pri parametru stresnosti, vendar značilnih razlik nismo opazili. Pri parametrih kombinacije splošne aktivnosti z utrujenostjo oz. stresnostjo so bile razlike v splošnem neizrazite in neznačilne za vse absorpcijske parametre.

Preglednica 7: Primerjava vpliva psihofizičnih parametrov na velikost absorpcije, izračunane kot povprečje posameznih meritev. Vrednost označuje % razlike skupine, kjer je dejavnik prisoten (1) glede na skupino 0

		Splošna aktivnost	Fizična aktivnost	Utrujenost	Stresnost	Aktivnost + Utrujenost	Aktivnost + Stresnost	
	Št.0/1	33 / 21	46 / 8	28 / 26	42 / 12	40 / 14	48 / 6	
K3	B	+8,9	+8,2	-2,4	+12,7	+11,9	+14,9	
		ns	ns	ns	ns	ns	ns	
	Kp	-2,6	-6,3	+0,0	+1,6	+1,7	-3,3	
		ns	ns	ns	ns	ns	ns	
	Kh	-2,6	-6,9	+0,3	+1,0	+1,7	-4,4	
		ns	ns	ns	ns	ns	ns	
	Rp	-4,6	-12,0	+0,3	-0,6	-0,2	-8,0	
		ns	ms	ns	ns	ns	ns	
	Rh	-5,0	-9,1	+0,8	-1,4	-0,3	-8,8	
		ns	ms	ns	ns	ns	ns	
	K4	B	+5,9	-0,2	+10,3	+7,2	+7,6	+5,4
			ns	ns	*	ns	ns	ns
Kp		-4,3	-6,3	+4,1	+6,3	-0,5	-2,5	
		ns	ns	ns	ns	ns	ns	
Kh		-4,0	-6,8	+3,8	+6,7	-0,0	-1,3	
		ns	ns	ns	ns	ns	ns	
Rp		-8,8	-8,0	+1,7	+6,4	-3,9	-5,2	
		*	ns	ns	ns	ns	ns	
Rh		-8,7	-10,6	+0,9	+6,1	-3,5	-4,2	
		ms	*	ns	ns	ns	ns	

enosmerna ANOVA in Kruskal-Wallis test; *** $p < 0,001$; ** $p < 0,01$; * $p < 0,05$; ms $p < 0,1$ (mejna značilnost); ns $p > 0,1$ (ni značilne razlike);



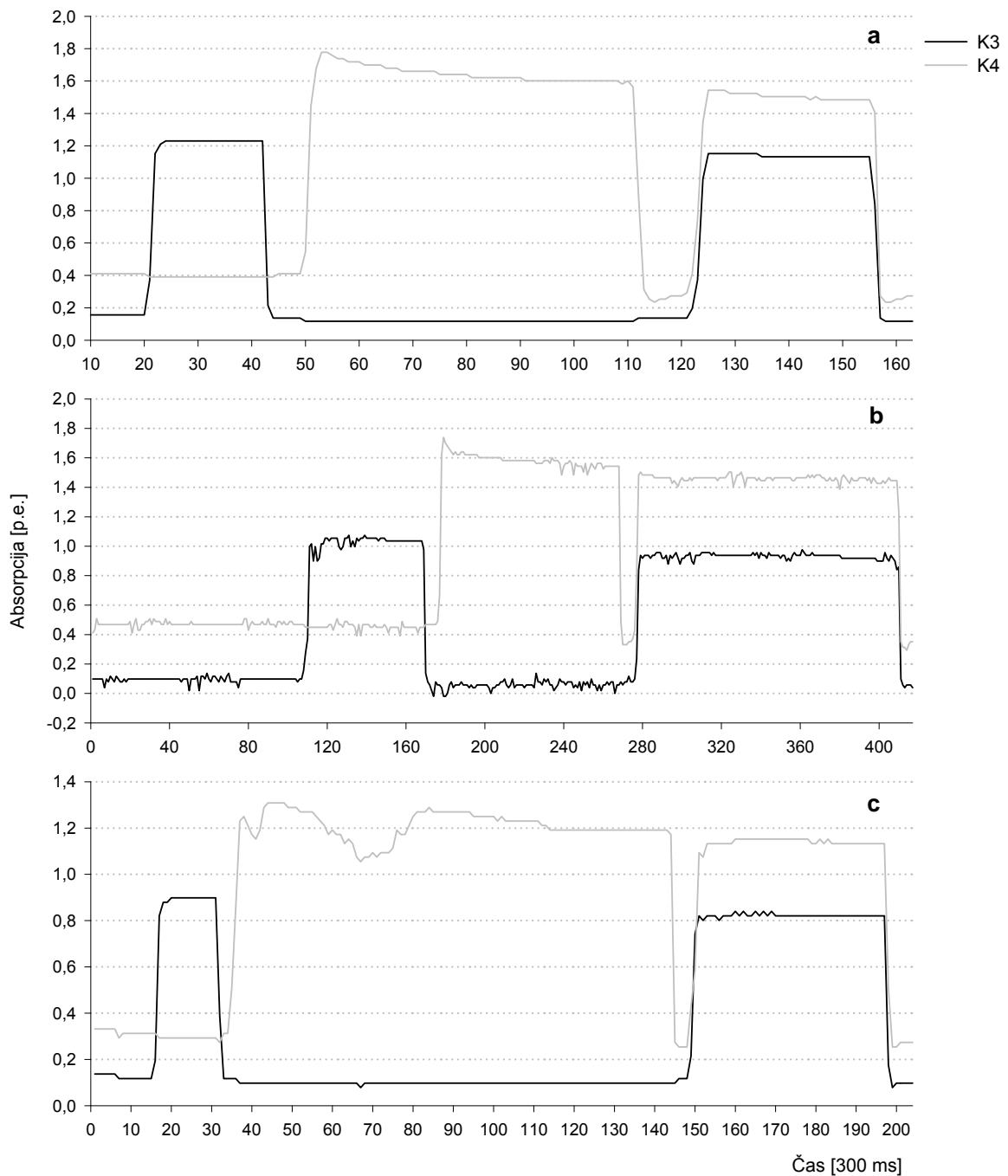
Slika 10: Vpliv parametrov fizične aktivnosti in stresnosti na velikost (**zgoraj**) in na spremembo (**spodaj**) absorpcije v času 0-35 min. **Levo:** fizična aktivnost pri absorpcijskem parametru K3 Kh **Desno:** Stres pri absorpcijskem parametru K4 B

5.3.2 Vpliv na stabilnost absorpcije

Ocenili smo stabilnost absorpcijskih signalov v realnem času za vse meritve (54) in jih razdelili v 2 skupini (41 stabilnih meritev, 13 nestabilnih meritev, Slika 11; protokol je opisan v Razdelku 4.3). S χ^2 testom in kontingenčnim koeficientom smo analizirali povezanost med psihofizičnimi parametri (skupine 1) in nestabilnostjo absorpcijskega signala (Preglednica 8). Pri vseh opazovanih parametrih, razen pri parametru fizične aktivnosti, je bila povezava z nestabilnostjo absorpcijskega signala statistično značilna. Po stopnji povezanosti sta izstopala predvsem parametra stresnosti in kombinacije splošne aktivnosti s stresnostjo.

Preglednica 8: Povezanost med psihofizičnimi parametri in nestabilnostjo absorpcijskega signala

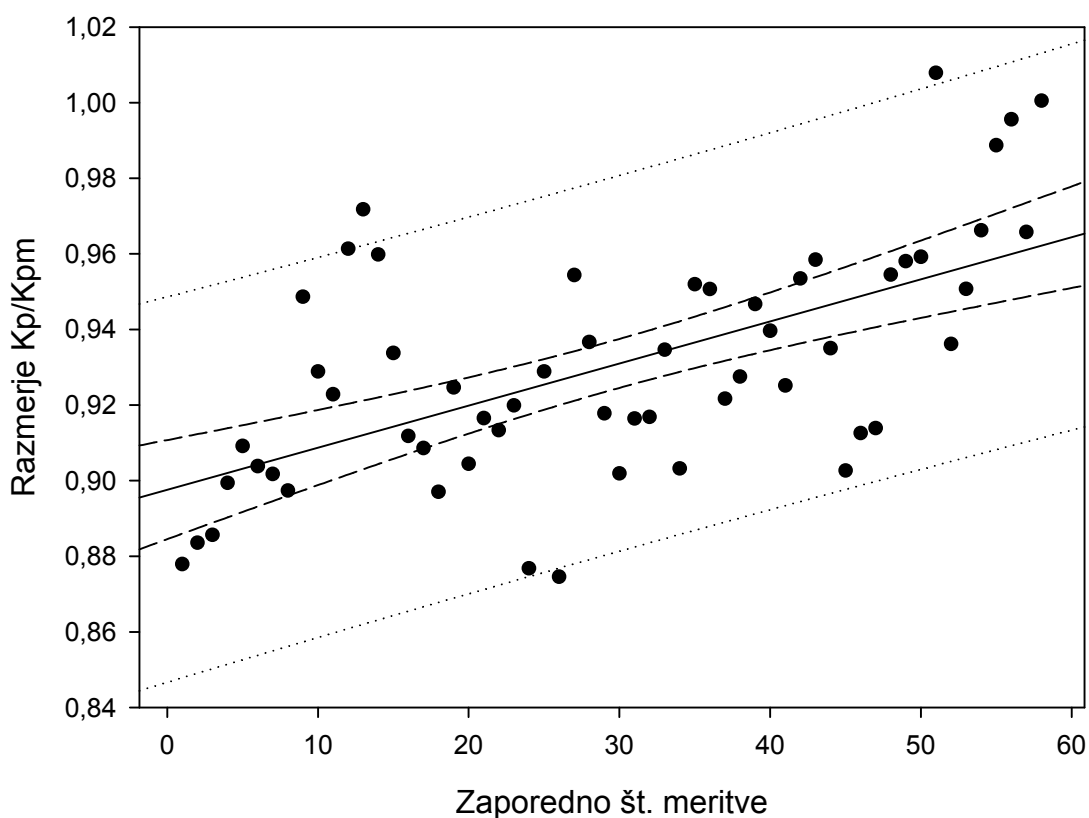
	Splošna aktivnost	Fizična aktivnost	Utrujenost	Stresnost	Aktivnost + Utrujenost	Aktivnost + Stresnost
χ^2 (vrednost p)	0,024	0,60	0,026	0,0004	0,023	0,0000
Kontingenčni koef.	0,33	0,13	0,33	0,47	0,34	0,53



Slika 11: Primeri različnih stabilnosti absorpcijskih signalov. **a** stabilen signal obeh sensorjev **b** nestabilen signal obeh sensorjev skozi celotno časovno obdobje posamezne meritve **c** začasno močno nestabilen signal sensorja K4 (pribl. 12 s)

5.4 SPREMEMBE OBČUTLJIVOSTI SENZORJA K4

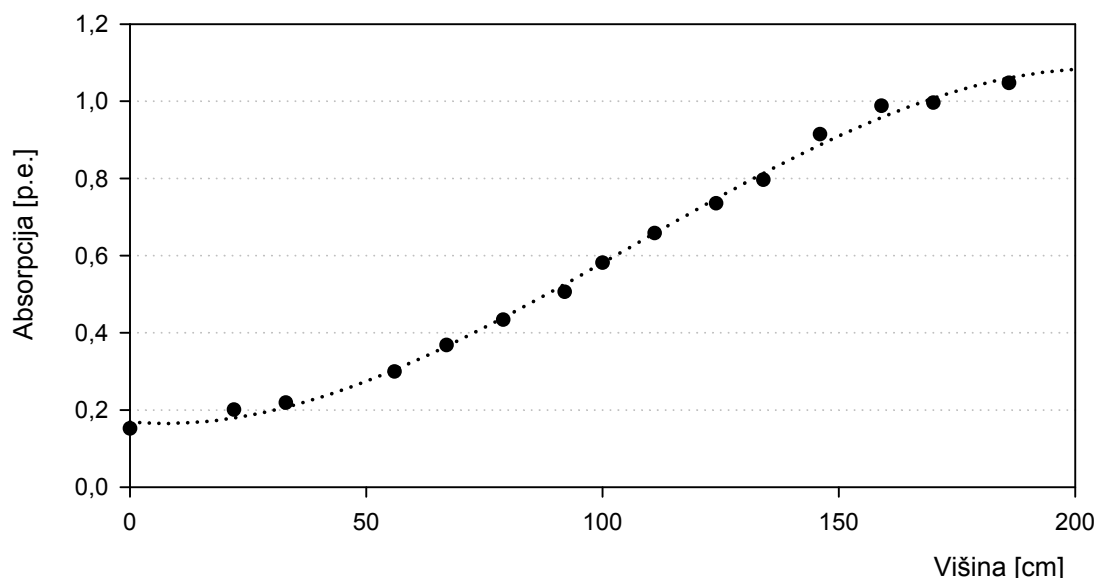
Tekom celotnega obdobja eksperimenta smo opazili pojav postopnega zmanjševanja razmerja med absorpcijskima parametroma K_p in K_{pm} senzorja K4. Analizirali smo povezavo med razmerjem K_p/K_{pm} in zaporednim številom meritve (Slika 12). Podatkom ustreza linearni regresijski model (ni studentiziranih ostankov nad $|3|$ ter vzvodnih in vplivnih točk), s statistično značilnim linearnim trendom naraščanja razmerja K_p/K_{pm} glede na zaporedno št. meritve ($p=0,0000$). Model razloži 36,9 % ($100R^2$) opazovane variabilnosti razmerja K_p/K_{pm} .



Slika 12: Odvisnost razmerja absorpcijskih parametrov K_p in K_{pm} senzorja K4 od zaporednega števila meritve. Prikazan je trend linearne regresije, 95 % interval zaupanja za povprečno napoved in 95 % interval zaupanja napovedanih vrednosti; $y = 0,898 + 0,00111 x$

6 RAZPRAVA

Vsa prevodna telesa absorbirajo energijo bližnjega električnega polja (Schmitt, 2000). Stopnja absorpcije je fizikalno v največji meri odvisna od dielektričnih lastnosti kot je polarizacijska gostota, ter od upornosti, mase, višine in površine prevodnega telesa (Škarja in sod., 2005). Zakonitosti vpliva teh parametrov lahko opazujemo na neživem prevodnem telesu kot je vodni stolpec, kjer jih lahko po potrebi spreminjamo (Slika 13).



Slika 13: Linearna odvisnost absorpcije bližnjega električnega polja od višine vodnega stolpca (vir: Inštitut Bion)

6.1 TESTI AKTIVNOSTI

Rezultati analize testov aktivnosti kažejo, da absorpcija bližnjega električnega polja pri človeku ne sledi nujno fizikalnim parametrom, saj le-ti pri posamezni osebi ostajajo bolj ali manj enaki in se v okviru meritve le zanemarljivo spreminjajo (npr. zmanjševanje mase zaradi izhlapevanja vode iz telesa, nihanja v upornosti telesne površine zaradi znojenja), medtem ko se absorpcija lahko značilno spremeni. Rezultati kontrolnega testa (K; Preglednica 2, Slika 5), kjer prostovoljci v času meritev niso izvajali nobenih konkretnih aktivnosti oz. niso zaužili nobenih snovi, ki bi utegnile spremeniti splošen telesni fiziološki status, kažejo izrazit in statistično močno značilen linearni trend upadanja absorpcije skozi celotno časovno obdobje meritve pri vseh upoštevanih absorpcijskih parametrov (z izjemo

parametra K4 B, kjer je absorpcija ostala skoraj nespremenjena) in se je gibal med 3,4 in 9,1 %, pri parametru K3 B pa je bila razlika med začetno in končno meritvijo 35,1 % (Preglednica 2, Razdelek 5.1.1.1). Pogosto je bil upad absorpcije, predvsem pri parametrih B, Kh in Kp senzorja K3, nekajkrat pa tudi pri senzorju K4, najizrazitejši v prvih 5 min meritve, iz česar sklepamo, da absorpcija ni upadala enakomerno, temveč je upad sledil logaritemski ali hiperbolični krivulji. Glede na to, da v času meritev nismo opazili sprememb v oddajnem ali detekcijskem sistemu (ne izključujemo možnosti kratkotrajnih motenj v električnem omrežju, ki bi lahko vplivale na absorpcijo), menimo, da je kljub temu, da prostovoljci niso izvajali nobenih specifičnih aktivnosti, v času meritve prišlo do določenih sprememb v splošnem fiziološkem statusu organizma, saj so prešli iz aktivnega budnega stanja v zunanjem okolju (npr. zaradi vožnje na mesto meritev) v manj aktivno stanje znotraj nespremenjenega notranjega okolja, kjer je sledila faza postopnega umirjanja organizma, ki se je kazala kot postopno upadanje absorpcije.

V testih V in P so prostovoljci namenoma izvajali specifične aktivnosti, za katere smo predpostavili, da izzovejo določene metabolne/fiziološke spremembe, vendar ne vplivajo na splošne fizikalne parametre absorpcije. Splošno značilen porast absorpcije pri kontaktnih parametrih senzorja K4 (med 5 in 35 min; Razdelek 5.1.1.2, Slika 6) v testu V, kjer je bila ob koncu meritve (35 min) absorpcija tudi statistično značilno višja v primerjavi s testom K (Razdelek 5.1.2.1, Slika 8), bi lahko na prvi pogled pripisali povečanju telesne mase za 0,3 kg na račun vnešene tekočine, skladno z naraščanjem absorpcije, ko povečujemo višino vodnega stolpca oz. maso vodnega telesa (Slika 13) ter obenem značilnem vplivu telesne teže in višine na absorpcijo (Preglednica 5, Razdelek 5.2.2). Vendar pa iz naklona regresijskih premic zvez med absorpcijskimi parametri in telesno težo (Priloga C) sledi, da se absorpcija poveča pribl. za 0,1 p.e. na vsakih 10 kg telesne teže (upoštevaje popolno prileganje premici), to pa pomeni, da bi se glede na dejansko porast absorpcije med 0,03 in 0,05 p.e. (Priloga A) morala telesna masa povečati za vsaj 3 kg, kar je za faktor najmanj 10 več, kot se je povečala zaradi popitja vode. Po drugi strani rezultati kažejo (Slika 7, Razdelek 5.1.2.1), da je absorpcija naraščala postopno – z največjim deležem porasti pri senzorju K4 oz. prenehanjem upadanja pri senzorju K3 – med 25 in 35 min oz. nad 20 min po popitju vode, kar je v nasprotju z neživim prevodnim telesom, kjer bi pričakovali trenutno spremembo ob povečanju mase. Na podlagi teh opažanj sklepamo, da sprememba absorpcije po popitju vode ni bila povezana s spremembami klasičnih fizikalnih parametrov absorpcije, temveč je bila posledica spremembe fiziološkega statusa zaradi vnosa tekočine, ki je vplival na spremembo endogenih EM lastnosti organizma in s tem na raven absorpcije.

V testu P smo pri kontaktnih parametrih senzorja K4 opazili šibek absorpcijski vrh pri času 25 min ali 10 min po izvedbi telesnih vaj, ki je bil mejno statistično značilen (Razdelek 5.1.1.3, Slika 7). Ob izvedbi dodatne posamezne meritve v času med 0 in 10 min po izvedbi vaj bi se morda pokazal bolj izrazit in značilen absorpcijski vrh.

V nasprotju z manj izrazitimi razlikami v povprečni velikosti absorpcije je analiza variabilnosti pokazala bolj izrazite odklone od testov K in V pri večini absorpcijskih parametrov, tako glede na posamezen čas (KV %) kot tudi glede na posamezno osebo (SD). Razlike so bile najbolj očitne pri kontaktnih parametrih senzorja K4, kjer je bila povprečna standardna deviacija na osebo (SD) statistično značilno večja v primerjavi s testoma K in V, katerih variabilnost je bila tudi sicer podobna pri obeh parametrih (Preglednica 3 in Slika 8, Razdelek 5.1.2.2). Iz tega sklepamo, da se absorpcija neposredno oz. v krajšem času po fizični aktivnosti ne spremeni nujno enosmerno, temveč na način, da so nihanja v absorpciji izrazitejša in se pri različnih osebah razlikujejo. Predvidevamo, da sta velikost tega nihanja in smer spremembe absorpcije odvisni od siceršnjega psihofiziološkega stanja človeka, npr. od predhodnih aktivnosti in dejavnikov splošnega počutja, vendar bi za analizo potrebovali več ponovitev meritve s telesnimi vajami.

6.2 ZVEZE MED FIZIKALNIMI IN ABSORPCIJSKIMI PARAMETRI

Z analizo linearne regresije smo preverili, v kolikšni meri sta vplivala na absorpcijo klasična fizikalna parametra absorpcije, telesna višina in teža. Stopnje pojasnjene variabilnosti regresijskega modela (R^2) so bile kljub relativno velikem vzorcu za izračun povprečnih absorpcijskih parametrov relativno majhne. Z vidika R^2 lahko kvečjemu za parameter K4 B zanesljivo trdimo, da je telesna teža prispevala daleč največji delež variabilnosti (78,2 %). Nad 50 % variabilnosti so prispevali tudi telesna višina parametru K4 B ter telesna teža in višina parametroma K4 Kp in K4 Kh. Za vse ostale parametre so nad 50 % celotne variabilnosti prispevali drugi dejavniki.

Primerjava R^2 je pokazala nekatere zanimive razlike med absorpcijskimi parametri (Preglednica 5, Razdelek 5.2.2). Zaradi manjše oddaljenosti od telesa smo pričakovali, da bodo R^2 obeh fizikalnih parametrov višje pri kontaktnih meritvah kot bližinskih, kar se je v grobem pokazalo za telesno višino (razlika je bila očitna le pri senzorju K3), ne pa tudi za težo, kjer je bila pri obeh senzorjih odvisnost absorpcije pri kontaktnih parametrih šibkejša kot pri bližinskih. Po drugi strani je bila primerjalno med senzorjema odvisnost pri kontaktnih parametrih močnejša pri senzorju K4 oz. pri K3 zveza niti ni bila statistično značilna. Vzroke vidimo v različni oddaljenosti aktivnih delov senzorjev od telesne

površine. Pri bližinski meritvi sta bila senzorja oddaljena pribl. 10 cm od telesa, medtem ko sta bila pri kontaktni meritvi v neposrednem stiku s telesom. Aktivni del senzorja K4 je bil obdan s pribl. 3 mm debelo plastjo stekla, aktivni del senzorja K3 pa z nekaj desetink mm debelim samolepilnim trakom. To pomeni, da je bila dejanska razdalja od telesa, pri kateri sta senzorja zaznavala spremembe električnega potenciala ob kontaktni meritvi, večja pri senzorju K4 vsaj za faktor 10. V grobem bi lahko rekli, da bolj kot se približujemo površini telesa, manjši vpliv ima na absorpcijo telesna masa. V skladu s tem je tudi splošna šibkejša korelacija parametra B s kontaktnimi parametri kot z le-temi med seboj in po drugi strani šibkejša korelacija kontaktnih parametrov K3 z bližinskim K4 kot kontaktnih K4 z bližinskim K3 (Preglednica 4, Razdelek 5.2.1). S to sliko se ne ujema edino relativno šibka zveza telesne teže s parametrom K3 B, kjer bi pričakovali podobno stopnjo povezanosti kot pri parametru K4 B, saj je pri razdalji 10 cm od telesne površine pomen različne debeline zunanega dela senzorjev zanemarljiv. Menimo, da je takšna razlika med senzorjema pri bližinski meritvi posledica različne notranje zgradbe in materialov senzorjev, vendar konkretnjših vzrokov zaenkrat ne poznamo. Kljub temu na podlagi vseh opažanj zaključujemo, da imata telesna teža in višina kot klasična fizikalna parametra absorpcije sicer značilen, vendar pa v večini primerov le manjšinski vpliv na absorpcijo bližnjega električnega polja. Ta vpliv se predvidoma manjša z zmanjševanjem razdalje od telesne površine zaradi postopoma močnejših interakcij z endogenimi EM polji, ki so vezana predvsem na metabolno oz. psihofiziološko stanje organizma.

6.3 VPLIV PSIHOFIZIČNIH DEJAVNIKOV

Analizirali smo vpliv psihofizičnih parametrov na povprečno velikost oz. velikost spremembe absorpcije. Iz preglednic 6 in 7 (Razdelek 5.3.1) sledi, da so imeli parametri predhodnih aktivnosti in splošnega počutja vpliv predvsem na hitrost spreminjanja absorpcije v času meritve in manj na samo velikost. Glede možnosti vpliva na absorpcijo bližnjega električnega polja izpostavljamo predvsem parametre splošne ter fizične aktivnosti in stresnosti.

Najmočnejši vpliv na absorpcijo se je pokazal pri meritvah, kjer so bile osebe predhodno že aktivne (parameter splošne aktivnosti), z značilno večjim upadom absorpcije skupine 1 v primerjavi s skupino 0 pri vseh kontaktnih parametrih senzorja K3. Razlika je bila izrazitejša, ko smo upoštevali samo meritve, pri katerih so bile osebe predhodno fizično aktivne, kar velja tako za upad absorpcije kot tudi za povprečno velikost, kjer so bile vrednosti skupin 1 obeh parametrov in pri obeh senzorjih manjše od skupin 0, vrednosti skupin 1 pri parametru fizične aktivnosti pa manjše kot pri parametru splošne aktivnosti. S temi rezultati se ujema tudi primerjalno največji upad absorpcijskih parametrov senzorja

K3 pri testu P v primerjavi s testoma K in V (Slika 7, Razdelek 5.1.2.1). Na podlagi teh rezultatov menimo, da ima predvsem fizična telesna dejavnost določen vpliv na absorpcijo bližnjega polja. Predvidevamo, da je pojav izrazitejšega upadanja absorpcije povezan s splošnim upadom (test K) kot posledici vračanja iz aktivnega v neaktivno ravnovesno stanje, ki je bil pri predhodno aktivnejših osebah bolj izrazit kot pri osebah, ki pred prihodom na meritev niso bile aktivne.

Iz vseh opažanj predpostavljamo hipotetičen model vpliva telesne aktivnosti na absorpcijo bližnjega električnega polja, kjer ta sprva destabilizira organizem iz ravnovesnega stanja, kar se še nekaj minut po koncu aktivnosti kaže predvsem kot izrazitejša nihanja v absorpciji, pri čemer le-ta v povprečju naraste, nato pa izrazito upade, ko se organizem vrača v stanje umirjenosti; v končni fazi je absorpcija nižja, kot če ne bi bilo predhodne fizične aktivnosti. Ob tem je pomembno opozoriti na razliko med obema senzorjema oz. med absorpcijskimi parametri, saj so bila nihanja v absorpciji in posledično večja variabilnost izrazita predvsem pri vmesni oddaljenosti od telesne površine (kontaktni parametri senzorja K4), neposredno ob površini telesa je bil izrazit predvsem upad absorpcije (kontaktni parametri senzorja K3), medtem ko bližinska meritev (parameter B) ni pokazala značilnih odstopanj. Eno od možnih razlag, zakaj prihaja do tovrstnih razlik med absorpcijskimi parametri, vidimo v interakciji senzorjev z večplastno strukturo oddanega bližnjega polja, npr. zaradi sočasne prisotnosti več odvisnostnih komponent v različnih razmerjih glede na oddaljenost od vira oz. telesne površine (Slika 1, Razdelek 2.1.2.1), ki posledično na različne načine interagirajo z endogenimi polji.

Pri parametru stresnosti so bile povprečne vrednosti absorpcije skupine 1 v splošnem višje od skupine 0, v nasprotju z nižjimi vrednostmi pri parametrih splošne in fizične aktivnosti. Z vidika upada absorpcije so bile razlike statistično značilne za bližinska absorpcijska parametra obeh senzorjev, pri senzorju K3 pa tudi za neposredna kontaktna parametra (Preglednici 6 in 7, Razdelek 5.3.1), kar lahko nakazuje na bolj splošen vpliv stresnosti na absorpcijo. Iz Slike 10, Razdelek 5.3.1, sledi, da je bila absorpcija višja ob začetku meritve in se je ob koncu približevala skupini 0, iz česar sklepamo, da je šlo tudi v primeru stresnosti za prehod iz aktivnejšega stanja v fazo umiritve. Po drugi strani se je pokazala relativno visoka povezanost stresnosti z nestabilnostjo absorpcijskega signala v realnem času (Preglednica 8 in Slika 11, Razdelek 5.3.2). Menimo, da prisotnost stresnih dejavnikov lahko vpliva na intenzivnost endogenih EM procesov, zaradi česar se organizmu predvidoma poveča zmožnost absorpcije bližnjega električnega polja. Obenem pa visoka korelacija z nestabilnostjo signala lahko nakazuje na določeno psihofiziološko neravnovesje.

Opozarjamo, da so rezultati pilotski in kot taki predvsem informativne narave, saj pogoji niso bili sistematično kontrolirani; dejavniki so bili prisotni naključno in posledično velikost vzorcev ni bila enakomerna, informacije o parametrih počutja pa subjektivne narave. Za nadaljnje delo bi morali upoštevati intenzivnost, čas trajanja in čas od prenehanja fizične aktivnosti ter predel največje obremenitve zaradi morebitnega postopnega prevajanja EM sprememb po telesu. Pri parametru stresnosti bi morali poleg lastne presoje upoštevati tudi nekatere objektivne kriterije, ki kažejo na prisotnost stresa. Kljub temu zaključujemo, da iz meritev absorpcije bližnjega električnega polja lahko dobimo določene informacije o stanju organizma. Z nadaljnimi raziskavami in razvojem ustreznih protokolov bi lahko bližnje električno polje uporabili kot indikator človekovega počutja oz. fiziološkega stanja na neinvaziven način, preko sklopitve bližnjega polja z endogenim EM poljem.

7 SKLEPI

- V diplomskem delu prvič omenjamo detekcijo endogenega elektromagnetnega polja preko bližnjega električnega polja.
- Potrjujemo delovno hipotezo, da se človekov organizem aktivno odziva na zunanje bližnje električno polje, s čimer posredno potrjujemo tudi pomembno vlogo endogenih EM polj v organizmih.
- Fizikalni absorpcijski parametri imajo na absorpcijo bližnjega električnega polja pri človeku značilen, vendar le manjšinski vpliv, ki se predvidoma manjša s približevanjem telesni površini.
- Na absorpcijo bližnjega električnega polja pri človeku ima zlasti pomemben vpliv telesni psihofiziološki status, kar lahko nakazuje na visoko organiziran, kolektiven ustroj endogenih EM polj.
- Z nadaljnimi raziskavami ter izdelavo ustreznih protokolov bi lahko bližnje električno polje uporabili kot kazalnik človekovega fiziološkega stanja.

8 POVZETEK

Sodobni koncept polja v biologiji se je začel uveljavljati zlasti z novejšimi biofizikalnimi spoznanji o izraziti elektromagnetni naravi bioloških molekul. Fröhlich je prvi opazil pomen izrazitih dielektričnih in mehanoelastičnih lastnosti nekaterih strukturnih elementov celice. Z vpeljavo orodij kvantne fizike je predpostavil, da se ob določenem kritičnem intervalu dotoka metabolne energije zgodi fazni prehod, kjer vse molekule dipolarnega sistema električno in mehansko oscilirajo z isto frekvenco in v isti fazi. Tovrstna biološka koherenca omogoča visoko specifično in učinkovito medsebojno prepoznavanje in interakcije v biokemijskih procesih. Danes obstajajo mnoge eksperimentalne potrditve biološke koherence kot tudi novejša teorije endogenih bioloških polj na submolekulski oz. kvantni ravni.

V diplomskem delu prvič omenjamo posredno detekcijo tovrstnega bioelektromagnetnega polja preko bližnjega električnega polja. Bližnje električno polje je EM polje v neposredni bližini vira in se bistveno razlikuje od daljnega (radiativnega) EM polja zaradi kompleksne, večnivojske strukturiranosti, ki kaže nekatere nelinearne značilnosti in vsebuje celotno informacijo o viru. Predpostavili smo, da človeški organizem ni samo pasiven sprejemnik (absorbent) in oddajnik EM valov, temveč jih aktivno procesira v skladu s svojim fiziološkim stanjem, kar se kaže skozi spremembe absorpcije bližnjega električnega polja ob spremembi fiziološkega stanja organizma in po drugi strani v delni neodvisnosti absorpcije od klasičnih fizikalnih parametrov absorpcije.

Eksperimentalni sistem je bil sestavljen iz oddajnega sistema, ki je generalno definirano šibko EM polje (VLF območje), in detekcijskega sistema, katerega ključni del sta predstavljala senzorja (K3 in K4), ki imata različno sestavo aktivnega notranjega materiala in zunanega dielektrika. Princip meritve je temeljil na prevajanju bližnjega polja skozi človekov organizem, ki deluje kot posrednik med oddajnim sistemom, ki predstavlja vir zunanega bližnjega električnega polja (absorpcija), in detekcijskim sistemom, ki oddano bližnje polje človeka prestreže oz. izmeri (emisija).

Eksperiment smo razdelili na 3 teste aktivnosti. V kontrolnem testu (K) prostovoljci niso izvajali nobenih specifičnih aktivnosti, v testu z vnosom tekočine (V) so v času meritve popili 0,3 l vodovodne vode, v testu s fizično aktivnostjo (P) so v času meritve izvedli kratko serijo telesnih vaj do zadihanosti oz. občutka mišične utrujenosti. Sočasno smo preverjali, ali so prostovoljci v času pred prihodom na meritev že bili aktivni oz. na kakšen način so bili aktivni (splošna, fizična aktivnost) ter dejavnike splošnega počutja (stres, utrujenost).

V testu K smo opazili statistično značilen in izrazit trend upadanja absorpcije skozi celoten čas meritve (35 min) pri skoraj vseh upoštevanih absorpcijskih parametrih, kljub temu, da so klasični fizikalni parametri absorpcije (telesna masa, višina, prevodnost tkiv idr.) ostali nespremenjeni. Menimo, da je bila v tem primeru sprememba absorpcije posledica spremembe fiziološkega statusa zaradi umirjanja organizma v času meritve. V testu V smo opazili splošno značilen trend porasta absorpcije pri senzorju K4 v celotnem časovnem obdobju po vnosu tekočine (30 min), ki ni bila posledica povečanja telesne mase na račun popite vode, kar ponovno kaže na fiziološko spremembo zaradi vnosa tekočine. V testu P smo opazili predvsem večjo variabilnost absorpcije, kar lahko kaže na določeno fiziološko neravnovesje zaradi izvajanja telesnih vaj.

Analizirali smo vpliv telesne teže in višine kot klasičnih fizikalnih parametrov absorpcije bližnjega polja, kjer se je pokazal v večini primerov značilen, vendar le manjšinski ($R^2 < 50\%$) vpliv na absorpcijo. V nasprotju s pričakovanjem se je izkazalo, da je bil vpliv telesne teže na absorpcijo manjši pri manjših razdaljah aktivnega dela senzorjev od telesne površine. Menimo, da je to posledica postopoma močnejših interakcij senzorjev z endogenimi EM polji, ki so vezana predvsem na metabolni oz. psihoferziološki status organizma.

Analizirali smo tudi morebiten vpliv predhodnih aktivnosti in počutja na absorpcijo bližnjega polja. Pri meritvah, kjer so bili prostovoljci splošno aktivni že pred prihodom na meritev, je bila povprečna velikost absorpcije v splošnem pri obeh senzorjih nekoliko nižja kot pri meritvah, pred katerimi niso bili aktivni, medtem ko je bil upad absorpcije med začetno in končno meritvijo statistično značilno večji pri kontaktnih parametrih senzorja K3. Iste razlike so bile še večje, ko smo upoštevali samo meritve, pri katerih so bili prostovoljci predhodno fizično aktivni. Menimo, da ima predvsem fizična telesna dejavnost določen vpliv na absorpcijo bližnjega polja, ki se prvih nekaj minut po aktivnosti kaže kot določena fiziološka nestabilnost (večja variabilnost absorpcije), nato pa kot izrazit upad absorpcije, ki je večji, kot če ne bi bilo fizične aktivnosti, in lahko nakazuje vračanje organizma v stabilno ravnovesno stanje. Pri meritvah, kjer so prostovoljci izjavili, da so pod stresom, smo prav tako opazili značilno večji upad absorpcije, povprečna velikost absorpcije pa je bila nekoliko višja. Pri istem parametru smo opazili tudi statistično močno značilno povezavo z nestabilnostjo absorpcijskega signala v realnem času, kar lahko nakazuje na izrazito notranje neravnovesje.

Potrdili smo delovno hipotezo, da se človekov organizem aktivno odziva na zunanje EM polje. Zaključujemo, da iz meritev absorpcije bližnjega električnega polja lahko pridobimo nekatere informacije o splošnem psihofiziološkem statusu organizma. S tem posredno potrjujemo pomembno vlogo visoko organiziranih endogenih EM polj v organizmu.

9 LITERATURA

- Arani R., Bono I., Del Giudice E. in Preparata G. 1995. QED coherence and the thermodynamics of water. *Journal of Modern Physics B* 9: 1813-1841.
- Bischoff M. 2003. Introduction to integrative biophysics. V: Popp F.-A. in Belousov L. (Eds.) *Integrative Biophysics: Biophotonics*, 1-115. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London.
- Bistolfi F. 1991. Biostructures and radiation order disorder. Edizioni Minerva Medica, Torino.
- Bradonjić K., Swain J.D. in Widom A. 2004. The Role of Molecular Quantum Electrodynamics in Linear Aggregations of Red Blood Cells. eprint arXiv:cond-mat/0412725.
- Chang J.-J. 2003. Biological effects of electromagnetic fields on living cells. V: Popp F.-A. in Belousov L. (Eds.) *Integrative Biophysics: Biophotonics*, 231-259. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London.
- Chaplin M. 1999. A proposal for the structuring of water. *Biophysical Chemistry* 83: 211-221.
- Chaplin M. 2004. The importance of cell water. *SiS* 23, ISIS Press Release 13.10.04, London.
- Capps C. 2001. Near field or far field?. *Electronics Design, Strategy, News* 8: 95-102 (<http://www.edn.com/article/CA82250.html>) (11.7.2006).
- Cosic I. 1994. Macromolecular Bioactivity: Is It Resonant Interaction Between Macromolecules? - Theory and Applications. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering* 12: 1101-1114.
- Del Giudice E., De Ninno A., Fleischmann M., Mengoli N., Milani M., Talpo G. in Vitiello G. 2005. Coherent Quantum Electrodynamics in Living Matter. *Electromagnetic Biology and Medicine* 24: 199-210.
- Del Giudice E., Doglia S., Milani M., Vitiello G. 1988. Coherence of electromagnetic radiation in biological systems. *Cell Biophysics* 13: 221-224.
- Del Giudice E. in Preparata G. 1989. A collective approach to the Dynamics of water. NATO ASI on the Hydrogen bonded liquids at Cargese (France), 3.-15.4.1989.
- Detela A. 2002. Magnetni vozli. *Littera picta*, Ljubljana.
- Devyatkov N.D. 1974. Influence of Millimeter-band Electromagnetic Radiation on Biological Objects. *Soviet Physics Uspekhi* 16(4): 568-569.
- Dürr H.-P. 2002. Are Biology and Medicine Only Physics? Building Bridges Between Conventional and Complementary Medicine. *Bulletin of Science, Technology & Society* 5: 338-351.
- Edler J. 2005. Femtosecond Spectroscopy on Vibrational Self-Trapping in Molecular Crystals and α -Helices. Dissertation zur Erlangung der naturwissenschaftlichen

- Doktorwürde, Mathematisch-naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Zürich, 124 str.
- Engel G.S., Calhoun T.R., Read E.L., Ahn T.K., Mancal T., Cheng Y.C., Blankenship R.E., Fleming G.R. 2007. Evidence for wavelike energy transfer through quantum coherence in photosynthetic systems. *Nature* 446(7137): 782-786.
- Frey A.H. 1998. Electromagnetic field interactions with biological systems. Annual Meeting of the Federation of American Societies for Experimental Biology by the International Society for Bioelectricity, 7.4.1992, Anaheim, California.
- Fröhlich H. 1975. The extraordinary dielectric properties of biological materials and the action of enzymes. *Proc. Nat. Acad. Sci.* 72(11): 4211-4215.
- Fröhlich H. 1978. Coherent Electric Vibrations in Biological Systems and the Cancer Problem. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques* 26(8): 613-617.
- Goodman R. in Blank M. 2002. Insights Into Electromagnetic Interaction Mechanisms. *Journal of Cellular Physiology* 192: 16-22.
- Grundler W. in Kaiser F. 1992. Experimental evidence for coherent excitations correlated with cell growth. *Nanobiology* 1: 149-176.
- Hameroff S. in Tuszynski J.A. 2004. Quantum states in proteins and protein assemblies: The essence of life? V: Abott D., Bezrukov S.M., Der A., in Sanchez A. (Eds.) *Fluctuations and Noise in Biological, Biophysical, and Biomedical Systems II. Proceedings of the SPIE* 5467: 27-41.
- Ho M.-W. 1994. What is Schrödinger's Negentropy? *Modern Trends in Biothermodynamics* 3: 50-61.
- Ho M.-W. 1995. Bioenergetics and the Coherence of Organisms. *Neuronetwork World* 5: 733-750.
- Ho M.-W. 1997. Quantum Coherence and Conscious Experience. *Kybernetes* 26: 265-276.
- Ho M.-W. 2004. Quantum Phases and Quantum Coherence. *ISIS Press Release* 17.3.2004, London.
- Ho M.-W. 2005. Positive Electricity Zaps Through Water Chains. *ISIS Press Release* 27.10.2005, London.
- Ho M.-W. 2006. Two-States Water Explains All? *ISIS Press Release* 25.10.2006, London.
- Hölzel L. 2001. Electric activity of non-excitabile biological cells at radio frequencies. *Electro- and Magnetobiology* 20(1): 1-13.
- Hyland G.J. 1998. Non-thermal bioeffects induced by low-intensity microwave irradiation of living systems. *Engineering Science and Educational Journal* 12: 261-268.
- Hyland G.J. 2003a. Bio-electromagnetism. V: Popp F.-A. in Belousov L. (Eds.) *Integrative Biophysics: Biophotonics*, 117-148. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London.
- Hyland G.J. 2003b. How Exposure to GSM & TETRA Base-station Radiation can Adversely Affect Humans. V: *ACTU Digest of OHS Information* 18: 27-30.

- Hyland G.J. 2003c. Herbert Fröhlich, FRS (1905–1991)—A Physicist Ahead of His Time. *Electromagnetic Biology and Medicine* 24: 161–182
- Ide M., Maeda Y. in Kitano H. 1997. Effect of Hydrophobicity of Amino Acids on the Structure of Water. *Journal of Physical Chemistry B* 101: 7022-7026.
- ICNIRP (International Commission on Nonionizing Radiation Protection) 1998. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). *Health Physics* 4: 494-522.
- Jaeken L. 2006. Linking Physiological Mechanisms of Coherent Cellular Behaviour with More General Physical Approaches Towards the Coherence of Life. *IUBMB Life (A Journal of the International Union of Biochemistry and Molecular Biology)* 11: 642-646.
- Jaeken L. 2007. A New List of Functions of the Cytoskeleton. *IUBMB Life (A Journal of the International Union of Biochemistry and Molecular Biology)* 3: 127-133.
- Jelínek F. in Pokorný J. 2001. Microtubules in biological cells as circular waveguides and resonators. *Electro- and Magnetobiology* 20(1), 75-80.
- Jerman I. in Štern A. 1996. Gen v valovih: porajanje nove biologije. Znanstveno in publicistično središče, Ljubljana.
- Jerman I. in Štern A. 2003. Evolucija s teoretično biologijo. Zbirka Scripta, Študentska založba, Ljubljana.
- Jibu M., Yasue K. in Hagan S. 1997. Evanescent (tunneling) photon and cellular 'vision'. *BioSystems* 42: 65–73.
- Johansson J. in Lundgren U. 1997. EMC of Telecommunication Lines: Theory. Technical report, 12/0363/2FCPA 109 0013. Telia Research AB, Luleå (<http://www.sm.luth.se/~urban/master/>) (18.3.2007).
- Kaiser F. 1996. External signals and internal oscillation dynamics: biophysical aspects and modelling approaches for interactions of weak electromagnetic fields at the cellular level. *Bioelectrochemistry and Bioenergetics* 41: 3-18.
- Kositsky N.N., Nizhelska A.I. in Ponezha G.V. 2001. Influence of High-frequency Electromagnetic Radiation at Non-thermal Intensities on the Human Body. No Place To Hide - Newsletter of the Cellular Phone Taskforce Inc. 1: 1-31.
- Leal J. 1993. EBC (European Bioelectromagnetics Center Project). The European Bioelectromagnetics Association (EBEA), Madrid
- Liboff A.R. 2004. Toward an Electromagnetic Paradigm for Biology and Medicine. *The Journal of Alternative and Complementary Medicine* 10: 41-47.
- Liboff A.R. 2005. A Rational Biology. *Electromagnetic Biology and Medicine* 24: 211–220.
- Lukashevsky K.V. in Belyaev I.Y. 1990. Switching of prophage lambda genes in *E. coli*. *Med. Sci. Res.* 18: 955-957.

- Markov M.S. 2005. Biological Windows: A Tribute to W. Ross Adey. *The Environmentalist* 25: 67–74.
- Mesquita M.V., Vasconcellos A.R., Luzzi R. in Mascarenhas C. 2004. Systems Biology: An Information-Theoretic-Based Thermo-Statistical Approach. *Brazilian Journal of Physics* 34(2A): 459-485.
- Milani M., Del Giudice E., Santisi G., Talpo G. in Vitiello G. 2005. Yeast Suspensions: A Controllable Example of a Coherent Quantum Machine? *Electromagnetic Biology and Medicine* 24: 331-340.
- Mavromatos N.E. 2000. Cell Microtubules as Cavities: Quantum Coherence and Energy Transfer? Invited talk at the 2000 International Conference on Mathematics and Engineering Techniques in Medicine and Biological Sciences, Monte Carlo Resort, Las Vegas (USA), June 26-29 2000.
- Mavromatos N.E., Mershin A., Nanopoulos D.V. 1998. QED-Cavity model of microtubules implies dissipationless energy transfer and biological quantum teleportation. *International Journal of Modern Physics B* 16 No 24: 3623-3642.
- Morega M. in Machedon A. 2004. EMF penetration in biological tissue when exposed in the near field of a mobile phone antenna. 4th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering. ATEE, November 25-26, 2004.
- Musumeci F. 2003. Physical basis and applications in delayed bioluminescence. V: Popp F.-A. in Belousov L. (Eds.) *Integrative Biophysics: Biophotonics*, 203-230. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London.
- Nagy A., Prokhorenko V. in Dwayne Miller R.J. 2006. Do we live in a quantum world? Advances in multidimensional coherent spectroscopies refine our understanding of quantum coherences and structural dynamics of biological systems. *Current Opinion in Structural Biology* 16: 654-663.
- Pelling A.E., Sehati S., Gralla E.B., Valentine J.S. in Gimzewski J.K. 2004. Local Nanomechanical Motion of the Cell Wall of *Saccharomyces cerevisiae*. *Science* 305: 1147-1150.
- Pokorný J. 2001. Endogenous electromagnetic forces in living cells: implications for transfer of reaction components. *Electro- and Magnetobiology* 20(1) 75-80.
- Pokorný J. 2003. Viscous Effects on Polar Vibrations in Microtubules. *Electromagnetic Biology and Medicine* 22(1): 15-29.
- Pokorný J., Hašek. J. in Jelínek F. 2005a. Endogenous Electric Field and Organization of Living Matter. *Electromagnetic Biology and Medicine* 24: 185-197.
- Pokorný J., Hašek. J. in Jelínek F. 2005b. Electromagnetic Field of Microtubules: Effects on Transfer of Mass Particles and Electrons. *Journal of Biological Physics* 31: 501-514.
- Pokorný J., Hašek J., Jelínek F., Šaroch J. in Palán B. 2001. Electromagnetic activity of yeast cells in the M phase. *Electro- and Magnetobiology* 20(3): 371–396.

- Pokorný J., Jelínek F., Trkal V., Lamprecht I. in Hölzel R. 1997. Vibrations in Microtubules. *Astrophysics and Space Science* 23: 171-179.
- Polk C. 1991. Biological Effects of Low-Level Low-Frequency Electric and Magnetic Fields. *IEEE Transactions on Education* 3: 243-249.
- Pollack G.H. 2001. Is the Cell a Gel – and why Does It Matter? *Japanese Journal of Physiology* 51: 649-660.
- Pollack G.H. 2002. The cell as a biomaterial. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine* 13: 811-821.
- Popp F.-A. in Li K.H. 1993. Hyperbolic relaxation as a sufficient condition of a fully coherent ergodic field. *International Journal of Theoretical Physics* 32(9): 1573-1583.
- Popp F.-A. 1999. About the Coherence of Biophotons. V: *Macroscopic Quantum Coherence, Proceedings of an International Conference on the Boston University and MIT, World Scientific, 1999.*
- Popp F.-A. 2003. Biophotons – background, experimental results, theoretical approach and applications. V: Popp F.-A. in Belousov L. (Eds.) *Integrative Biophysics: Biophotonics*, 387-438. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London.
- Pouthier V., Falvo C. 2004. Relaxation channels of two-vibron bound states in α -helix proteins. *Physical Review E* 69, 041906.
- Rein G. 2004. Bioinformation Within the Biofield: Beyond Bioelectromagnetics. *Journal of Alternative and Complementary Medicine* 10(1): 59-68.
- Rowlands S. 1994. Rouleaux formation of erythrocytes as evidence of Fröhlich's mechanism. *Neural Network World* 4: 339-356.
- Rubik B. 2002. The Biofield Hypothesis: Its Biophysical Basis and Role in Medicine. *The Journal of Alternative and Complementary Medicine* 8(6): 703–717.
- Schmitt R. 2000. Understanding electromagnetic fields and antenna radiation takes (almost) no math. *Electronics Design, Strategy, News* 3: 77-88 (<http://www.edn.com/article/CA82250.html>) (18.3.2007)
- Scott A. 1992. Davydov's soliton. *Physics Reports (Review Section of Physics Letters)* 217(1): 1-67.
- Sienkiewicz Z. 1998. Biological effects of electromagnetic fields and radiation. *J. Radiol. Prot.* 3: 185-193.
- Slawinski J. 2003. Photon emission from perturbed and dying organisms – the concept of photon cycling in biological systems. V: Popp F.-A. in Belousov L. (Eds.) *Integrative Biophysics: Biophotonics*, 307-329. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London.
- Smith C.W. 2004. Quanta and Coherence Effects in Water and Living Systems. *The Journal of Alternative and Complementary Medicine* 10(1): 69–78.
- Strnad J. 1991. *Fizika*, 4. izdaja. Leksikoni Cankarjeve založbe. Cankarjeva založba, Ljubljana

- Swain J. Detectors for the quantized electromagnetic field. V: Popp F.-A. in Belousov L. (Eds.) *Integrative Biophysics: Biophotonics*, 261-285. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London.
- Škarja M., Jerman I. in Leskovar R.T. 2005. Changes of electric potential of sensors due to near field contact with organisms. V: *Coherence and electromagnetic fields in biological systems*, Fröhlich Centenary International Symposium, July 1-4, Institute of Radio Engineering and Electronics 2005, Prague.
- Tsvilin D.V., Meyer H.-D. in May V. 2006. Vibrational excitons in α -helical polypeptides: Multiexciton self-trapping and related infrared transient absorption. *The Journal of Chemical Physics* 124(13):134907.
- Tsong T.Y. 1990. Electrical modulation of membrane proteins. *Annual Review of Biophysics and Chemistry* 19: 83-106.
- Vos M.H. in Martin J.-L. 1999. Femtosecond process in proteins. *Biochimica et Biophysica Acta* 1411: 1-20.
- van Wijk R. 2003. Cellular and molecular aspects of integrative biophysics. V: Popp F.-A. in Belousov L. (Eds.) *Integrative Biophysics: Biophotonics*, 179-201. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London.
- Wikipedia: Electromagnetic radiation, ed. 23.4.2007

ZAHVALA

Mentorju, prof. dr. Igorju Jermanu, se zahvaljujem za inspirativno vodenje skozi raziskavo.

Dr. Metodu Škarji sem hvaležen za pomoč pri izvedbi meritev in številne diskusije.

Hvala tudi prof. dr. Kazimirju Drašlarju za pomoč in posredovanje pri pisanju prošnje Komisiji za medicinsko etiko ter za koristen nasvet.

Hvala Mateji, Petri, Titu, Tei T. in Tei R., Saši Ž. in obema Sašama K., Hani, Roku, Ojbiju in Diani, Davidu, Luki, Tomažu, Vidu in Nejcu, da ste mi omogočili izvedbo diplomske naloge.

Petra, hvala ti za vso podporo tekom študija, za neskončno razumevanje in prijaznost.....in za rožice na prvih vajah botanike.

PRILOGA A

Izmerjeni absorpcijski parametri po posameznih časih testov aktivnosti (K, V, P) s povprečji posameznih parametrov. Podatki so preračunani na 3 decimalna mesta

Test	Čas	Os.	K3					K4					
			B	Kp	Kh	Rp	Rh	B	Kp	Kpm	Kh	Rp	Rh
K0	1		0,234	1,211	1,094	0,977	0,859	0,43	1,328	1,465	1,152	0,898	0,723
	2		0,156	1,113	1,035	0,957	0,879	0,352	1,406	1,523	1,27	1,055	0,918
	3		0,176	1,27	1,172	1,094	0,996	0,488	1,758	1,914	1,523	1,27	1,035
	4		0,137	1,172	1,074	1,035	0,938	0,43	1,523	1,68	1,484	1,094	1,055
	5		0,215	1,25	1,172	1,035	0,957	0,488	1,738	1,797	1,641	1,25	1,152
	6		0,273	1,289	1,191	1,016	0,918	0,508	1,621	1,777	1,543	1,113	1,035
	7		0,293	1,328	1,191	1,035	0,898	0,684	1,914	2,168	1,855	1,23	1,172
	8		0,273	1,27	1,172	0,996	0,898	0,625	1,836	1,914	1,719	1,211	1,094
	9		0,195	1,25	1,133	1,055	0,938	0,371	1,563	1,699	1,426	1,191	1,055
	10		0,176	1,27	1,152	1,094	0,977	0,41	1,66	1,816	1,504	1,25	1,094
	11		0,254	1,387	1,23	1,133	0,977	0,488	1,816	1,914	1,641	1,328	1,152
	12		0,117	1,035	0,918	0,918	0,801	0,371	1,348	1,484	1,191	0,977	0,82
	13		0,156	1,074	0,977	0,918	0,82	0,43	1,523	1,543	1,426	1,094	0,996
	14		0,176	1,113	0,996	0,938	0,82	0,391	1,484	1,543	1,348	1,094	0,957
	15		0,098	1,152	1,055	1,055	0,957	0,488	1,875	1,934	1,641	1,387	1,152
	16		0,137	1,094	0,977	0,957	0,84	0,488	1,563	1,738	1,465	1,074	0,977
	17		0,059	1,172	1,113	1,113	1,055	0,352	1,68	1,797	1,523	1,328	1,172
	18		0,254	1,289	1,191	1,035	0,938	0,469	1,758	1,777	1,68	1,289	1,211
	Av.		0,188	1,208	1,102	1,02	0,915	0,459	1,633	1,749	1,502	1,174	1,043
K5	1		0,195	1,152	1,055	0,957	0,859	0,41	1,406	1,582	1,328	0,996	0,918
	2		0,137	1,113	0,996	0,977	0,859	0,313	1,387	1,563	1,211	1,074	0,898
	3		0,156	1,25	1,113	1,094	0,957	0,469	1,621	1,855	1,602	1,152	1,133
	4		0,137	1,191	1,094	1,055	0,957	0,449	1,582	1,758	1,465	1,133	1,016
	5		0,176	1,23	1,113	1,055	0,938	0,488	1,738	1,836	1,641	1,25	1,152
	6		0,195	1,23	1,133	1,035	0,938	0,488	1,699	1,797	1,484	1,211	0,996
	7		0,234	1,25	1,191	1,016	0,957	0,645	2,012	2,168	1,914	1,367	1,27
	8		0,215	1,27	1,191	1,055	0,977	0,625	1,914	1,973	1,797	1,289	1,172
	9		0,137	1,211	1,094	1,074	0,957	0,371	1,523	1,699	1,406	1,152	1,035
	10		0,156	1,23	1,133	1,074	0,977	0,41	1,602	1,777	1,484	1,191	1,074
	11		0,234	1,289	1,152	1,055	0,918	0,508	1,738	1,855	1,543	1,23	1,035
	12		0,098	0,879	0,742	0,781	0,645	0,371	1,055	1,172	0,957	0,684	0,586
	13		0,137	1,074	0,977	0,938	0,84	0,449	1,602	1,641	1,465	1,152	1,016
	14		0,117	1,035	0,918	0,918	0,801	0,371	1,387	1,484	1,289	1,016	0,918
	15		0,059	1,074	0,977	1,016	0,918	0,469	1,836	1,953	1,621	1,367	1,152
	16		0,098	1,035	0,918	0,938	0,82	0,469	1,445	1,523	1,406	0,977	0,938
	17		0,039	1,113	1,035	1,074	0,996	0,371	1,621	1,719	1,484	1,25	1,113
	18		0,195	1,23	1,152	1,035	0,957	0,469	1,758	1,738	1,699	1,289	1,23
	Av.		0,151	1,159	1,055	1,008	0,904	0,452	1,607	1,727	1,489	1,155	1,036
K15	1		0,215	1,191	1,094	0,977	0,879	0,41	1,367	1,465	1,348	0,957	0,938
	2		0,137	1,074	0,977	0,938	0,84	0,332	1,289	1,426	1,172	0,957	0,84
	3		0,176	1,23	1,113	1,055	0,938	0,488	1,68	1,836	1,523	1,191	1,035
	4		0,137	1,172	1,074	1,035	0,938	0,449	1,563	1,738	1,426	1,113	0,977
	5		0,176	1,191	1,113	1,016	0,938	0,508	1,699	1,777	1,602	1,191	1,094
	6		0,195	1,23	1,094	1,035	0,898	0,488	1,699	1,836	1,465	1,211	0,977

Test	K3						K4						
	Čas	Os.	B	Kp	Kh	Rp	Rh	B	Kp	Kpm	Kh	Rp	Rh
	7		0,234	1,211	1,074	0,977	0,84	0,645	1,934	2,109	1,797	1,289	1,152
	8		0,215	1,289	1,191	1,074	0,977	0,605	1,875	1,992	1,738	1,27	1,133
	9		0,117	1,133	1,035	1,016	0,918	0,371	1,523	1,699	1,387	1,152	1,016
	10		0,137	1,191	1,094	1,055	0,957	0,391	1,563	1,758	1,484	1,172	1,094
	11		0,234	1,289	1,172	1,055	0,938	0,527	1,738	1,914	1,563	1,211	1,035
	12		0,078	0,742	0,684	0,664	0,605	0,352	0,977	1,094	0,918	0,625	0,566
	13		0,117	1,074	0,977	0,957	0,859	0,449	1,426	1,504	1,465	0,977	1,016
	14		0,117	1,113	0,938	0,996	0,82	0,41	1,523	1,543	1,348	1,113	0,938
	15		0,078	1,133	1,035	1,055	0,957	0,469	1,914	2,051	1,68	1,445	1,211
	16		0,098	1,074	0,938	0,977	0,84	0,469	1,484	1,621	1,367	1,016	0,898
	17		0,02	1,094	1,016	1,074	0,996	0,332	1,543	1,641	1,426	1,211	1,094
	18		0,195	1,211	1,133	1,016	0,938	0,488	1,621	1,543	1,563	1,133	1,074
	Av.		0,149	1,147	1,042	0,998	0,893	0,455	1,579	1,697	1,459	1,124	1,005
K25	1		0,195	1,094	1,035	0,898	0,84	0,391	1,328	1,465	1,25	0,938	0,859
	2		0,137	1,035	0,977	0,898	0,84	0,332	1,289	1,387	1,191	0,957	0,859
	3		0,176	1,289	1,172	1,113	0,996	0,508	1,719	1,934	1,621	1,211	1,113
	4		0,137	1,191	1,094	1,055	0,957	0,449	1,563	1,719	1,445	1,113	0,996
	5		0,176	1,191	1,094	1,016	0,918	0,508	1,719	1,836	1,582	1,211	1,074
	6		0,195	1,25	1,133	1,055	0,938	0,508	1,777	1,914	1,602	1,27	1,094
	7		0,215	1,152	1,016	0,938	0,801	0,605	1,914	2,109	1,758	1,309	1,152
	8		0,176	1,25	1,172	1,074	0,996	0,566	1,797	1,855	1,699	1,23	1,133
	9		0,117	1,191	1,074	1,074	0,957	0,391	1,602	1,738	1,484	1,211	1,094
	10		0,117	1,172	1,074	1,055	0,957	0,41	1,543	1,738	1,484	1,133	1,074
	11		0,234	1,289	1,172	1,055	0,938	0,527	1,738	1,934	1,504	1,211	0,977
	12		0,098	0,762	0,703	0,664	0,605	0,371	1,035	1,133	0,957	0,664	0,586
	13		0,117	1,016	0,938	0,898	0,82	0,469	1,504	1,543	1,406	1,035	0,938
	14		0,078	0,938	0,879	0,859	0,801	0,371	1,348	1,406	1,27	0,977	0,898
	15		0,039	1,074	0,918	1,035	0,879	0,488	1,875	2,07	1,641	1,387	1,152
	16		0,098	1,035	0,918	0,938	0,82	0,469	1,543	1,738	1,445	1,074	0,977
	17		0,02	1,152	1,094	1,133	1,074	0,352	1,641	1,758	1,484	1,289	1,133
	18		0,176	1,172	1,094	0,996	0,918	0,488	1,68	1,699	1,582	1,191	1,094
	Av.		0,139	1,125	1,031	0,986	0,892	0,456	1,59	1,721	1,467	1,134	1,011
K35	1		0,195	1,152	1,055	0,957	0,859	0,43	1,387	1,523	1,25	0,957	0,82
	2		0,117	1,094	0,977	0,977	0,859	0,332	1,367	1,563	1,23	1,035	0,898
	3		0,156	1,23	1,133	1,074	0,977	0,488	1,641	1,797	1,543	1,152	1,055
	4		0,117	1,133	1,035	1,016	0,918	0,449	1,465	1,68	1,387	1,016	0,938
	5		0,156	1,152	1,055	0,996	0,898	0,566	1,738	1,855	1,621	1,172	1,055
	6		0,176	1,172	1,055	0,996	0,879	0,527	1,621	1,738	1,504	1,094	0,977
	7		0,234	1,211	1,074	0,977	0,84	0,566	1,855	1,895	1,777	1,289	1,211
	8		0,176	1,23	1,152	1,055	0,977	0,566	1,758	1,816	1,68	1,191	1,113
	9		0,098	1,152	1,035	1,055	0,938	0,371	1,563	1,719	1,445	1,191	1,074
	10		0,117	1,191	1,055	1,074	0,938	0,43	1,641	1,836	1,484	1,211	1,055
	11		0,195	1,191	1,074	0,996	0,879	0,508	1,563	1,68	1,387	1,055	0,879
	12		0,078	0,82	0,742	0,742	0,664	0,391	1,152	1,27	1,074	0,762	0,684
	13		0,098	1,035	0,938	0,938	0,84	0,488	1,387	1,426	1,328	0,898	0,84
	14		0,039	0,918	0,801	0,879	0,762	0,371	1,309	1,367	1,211	0,938	0,84
	15		0,021	0,996	0,898	0,975	0,877	0,449	1,797	1,953	1,563	1,348	1,113
	16		0,042	0,957	0,859	0,915	0,817	0,47	1,543	1,699	1,367	1,073	0,897
	17		0,02	1,152	1,055	1,133	1,035	0,352	1,602	1,738	1,484	1,25	1,133
	18		0,156	1,133	1,055	0,977	0,898	0,488	1,582	1,582	1,465	1,094	0,977

Test		K3					K4					
Čas	Os.	B	Kp	Kh	Rp	Rh	B	Kp	Kpm	Kh	Rp	Rh
	Av.	0,122	1,107	1,003	0,985	0,881	0,458	1,554	1,674	1,433	1,096	0,975
V0	1	0,234	1,25	1,133	1,016	0,898	0,449	1,406	1,523	1,387	0,957	0,938
	2	0,117	1,133	0,977	1,016	0,859	0,293	1,406	1,602	1,25	1,113	0,957
	3	0,02	1,094	0,996	1,074	0,977	0,449	1,797	1,934	1,719	1,348	1,27
	4	-0,02	0,898	0,859	0,918	0,879	0,391	1,426	1,66	1,465	1,035	1,074
	5	0,117	1,113	1,016	0,996	0,898	0,508	1,699	1,836	1,582	1,191	1,074
	6	0,156	1,152	1,055	0,996	0,898	0,527	1,816	1,953	1,68	1,289	1,152
	7	0,41	1,543	1,426	1,133	1,016	0,566	2,109	2,168	1,992	1,543	1,426
	8	0,273	1,25	1,191	0,977	0,918	0,566	1,738	1,758	1,66	1,172	1,094
	9	0,156	1,25	1,133	1,094	0,977	0,449	1,777	1,934	1,66	1,328	1,211
	10	0,117	1,211	1,094	1,094	0,977	0,43	1,758	1,934	1,582	1,328	1,152
	11	0,059	1,191	1,035	1,133	0,977	0,332	1,543	1,68	1,367	1,211	1,035
	12	0,176	0,898	0,82	0,723	0,645	0,605	1,406	1,465	1,309	0,801	0,703
	13	0,313	1,387	1,309	1,074	0,996	0,566	1,719	1,797	1,66	1,152	1,094
	14	0,176	1,25	1,133	1,074	0,957	0,41	1,621	1,66	1,504	1,211	1,094
	15	0,254	1,367	1,25	1,113	0,996	0,488	1,855	1,992	1,758	1,367	1,27
	16	0,273	1,348	1,211	1,074	0,938	0,527	1,797	1,914	1,582	1,27	1,055
	17	0,43	1,641	1,504	1,211	1,074	0,508	1,953	2,07	1,875	1,445	1,367
	18	0,254	1,27	1,211	1,016	0,957	0,547	1,738	1,719	1,621	1,191	1,074
	Av.	0,195	1,236	1,131	1,041	0,935	0,479	1,698	1,811	1,592	1,22	1,113
V5	1	0,156	1,113	1,055	0,957	0,898	0,41	1,563	1,699	1,348	1,152	0,938
	2	0,098	0,996	0,957	0,898	0,859	0,332	1,289	1,484	1,172	0,957	0,84
	3	0,039	1,113	0,996	1,074	0,957	0,43	1,816	1,992	1,66	1,387	1,23
	4	0,02	1,016	0,918	0,996	0,898	0,41	1,484	1,738	1,406	1,074	0,996
	5	0,117	1,113	1,035	0,996	0,918	0,508	1,719	1,855	1,602	1,211	1,094
	6	0,117	1,113	0,996	0,996	0,879	0,508	1,719	1,895	1,543	1,211	1,035
	7	0,391	1,563	1,465	1,172	1,074	0,566	2,07	2,285	1,934	1,504	1,367
	8	0,254	1,23	1,152	0,977	0,898	0,566	1,777	1,777	1,641	1,211	1,074
	9	0,117	1,211	1,094	1,094	0,977	0,43	1,719	1,895	1,582	1,289	1,152
	10	0,117	1,211	1,094	1,094	0,977	0,43	1,758	1,953	1,582	1,328	1,152
	11	0,098	1,172	0,938	1,074	0,84	0,371	1,523	1,641	1,328	1,152	0,957
	12	0,137	0,898	0,801	0,762	0,664	0,449	1,367	1,543	1,23	0,918	0,781
	13	0,254	1,289	1,191	1,035	0,938	0,527	1,719	1,797	1,621	1,191	1,094
	14	0,156	1,172	1,055	1,016	0,898	0,391	1,465	1,582	1,328	1,074	0,938
	15	0,195	1,289	1,152	1,094	0,957	0,449	1,836	1,992	1,699	1,387	1,25
	16	0,195	1,23	1,113	1,035	0,918	0,508	1,602	1,777	1,504	1,094	0,996
	17	0,352	1,582	1,484	1,23	1,133	0,527	1,992	2,051	1,855	1,465	1,328
	18	0,234	1,25	1,152	1,016	0,918	0,566	1,602	1,641	1,68	1,035	1,113
	Av.	0,169	1,198	1,092	1,029	0,922	0,465	1,668	1,811	1,54	1,202	1,074
V15	1	0,156	1,133	1,055	0,977	0,898	0,41	1,484	1,602	1,445	1,074	1,035
	2	0,098	1,074	0,938	0,977	0,84	0,313	1,23	1,328	1,152	0,918	0,84
	3	0,059	1,113	1,035	1,055	0,977	0,449	1,855	1,992	1,777	1,406	1,328
	4	0,059	1,016	0,938	0,957	0,879	0,488	1,563	1,699	1,465	1,074	0,977
	5	0,098	1,094	0,996	0,996	0,898	0,469	1,719	1,875	1,582	1,25	1,113
	6	0,117	1,113	1,016	0,996	0,898	0,508	1,699	1,816	1,543	1,191	1,035
	7	0,371	1,484	1,367	1,113	0,996	0,605	1,914	2,012	1,875	1,309	1,27
	8	0,215	1,211	1,113	0,996	0,898	0,566	1,758	1,758	1,699	1,191	1,133
	9	0,098	1,191	1,074	1,094	0,977	0,43	1,699	1,855	1,582	1,27	1,152
	10	0,098	1,191	1,074	1,094	0,977	0,449	1,758	1,953	1,602	1,309	1,152
	11	0,039	1,152	1,074	1,113	1,035	0,371	1,543	1,738	1,406	1,172	1,035

Test	Čas	Os.	K3					K4					
			B	Kp	Kh	Rp	Rh	B	Kp	Kpm	Kh	Rp	Rh
	12		0,098	0,781	0,723	0,684	0,625	0,391	1,367	1,348	1,27	0,977	0,879
	13		0,215	1,23	1,152	1,016	0,938	0,547	1,738	1,836	1,563	1,191	1,016
	14		0,117	1,074	0,996	0,957	0,879	0,391	1,406	1,523	1,309	1,016	0,918
	15		0,195	1,289	1,172	1,094	0,977	0,527	1,992	2,168	1,816	1,465	1,289
	16		0,215	1,25	1,152	1,035	0,938	0,527	1,816	1,992	1,641	1,289	1,113
	17		0,352	1,484	1,445	1,133	1,094	0,527	1,875	1,953	1,797	1,348	1,27
	18		0,195	1,191	1,113	0,996	0,918	0,547	1,699	1,719	1,504	1,152	0,957
	Av.		0,155	1,171	1,08	1,016	0,924	0,473	1,673	1,787	1,557	1,2	1,084
V25	1		0,137	1,074	0,957	0,938	0,82	0,43	1,406	1,543	1,25	0,977	0,82
	2		0,098	1,016	0,957	0,918	0,859	0,352	1,387	1,602	1,328	1,035	0,977
	3		0,039	1,133	1,016	1,094	0,977	0,469	1,855	1,992	1,758	1,387	1,289
	4		0,059	1,055	0,938	0,996	0,879	0,469	1,504	1,758	1,426	1,035	0,957
	5		0,098	1,094	0,996	0,996	0,898	0,469	1,719	1,875	1,582	1,25	1,113
	6		0,117	1,074	0,977	0,957	0,859	0,488	1,641	1,816	1,543	1,152	1,055
	7		0,371	1,484	1,387	1,113	1,016	0,625	2,07	2,148	1,953	1,445	1,328
	8		0,195	1,172	1,074	0,977	0,879	0,566	1,777	1,797	1,641	1,211	1,074
	9		0,078	1,172	1,074	1,094	0,996	0,43	1,777	1,914	1,582	1,348	1,152
	10		0,098	1,191	1,094	1,094	0,996	0,469	1,777	1,992	1,621	1,309	1,152
	11		0,02	1,016	0,938	0,996	0,918	0,371	1,387	1,582	1,211	1,016	0,84
	12		0,078	0,82	0,723	0,742	0,645	0,371	1,66	1,719	1,426	1,289	1,055
	13		0,195	1,191	1,133	0,996	0,938	0,527	1,66	1,719	1,504	1,133	0,977
	14		0,117	1,113	0,977	0,996	0,859	0,41	1,563	1,699	1,406	1,152	0,996
	15		0,156	1,23	1,152	1,074	0,996	0,527	1,953	2,148	1,777	1,426	1,25
	16		0,176	1,172	1,094	0,996	0,918	0,488	1,504	1,66	1,523	1,016	1,035
	17		0,313	1,504	1,387	1,191	1,074	0,508	1,875	2,012	1,777	1,367	1,27
	18		0,195	1,172	1,074	0,977	0,879	0,547	1,699	1,719	1,602	1,152	1,055
	Av.		0,141	1,149	1,053	1,008	0,911	0,473	1,679	1,816	1,551	1,206	1,077
V35	1		0,156	1,133	1,035	0,977	0,879	0,43	1,543	1,68	1,406	1,113	0,977
	2		0,078	1,035	0,938	0,957	0,859	0,352	1,387	1,641	1,406	1,035	1,055
	3		0,059	1,113	0,996	1,055	0,938	0,469	1,855	1,973	1,738	1,387	1,27
	4		0,059	1,016	0,938	0,957	0,879	0,469	1,504	1,699	1,426	1,035	0,957
	5		0,09	1,094	0,996	1,004	0,906	0,469	1,699	1,895	1,563	1,23	1,094
	6		0,117	1,133	1,016	1,016	0,898	0,508	1,738	1,914	1,563	1,23	1,055
	7		0,371	1,523	1,387	1,152	1,016	0,605	2,129	2,188	1,973	1,523	1,367
	8		0,195	1,172	1,074	0,977	0,879	0,547	1,836	1,836	1,738	1,289	1,191
	9		0,098	1,191	1,074	1,094	0,977	0,43	1,758	1,914	1,641	1,328	1,211
	10		0,078	1,152	1,055	1,074	0,977	0,449	1,738	1,914	1,602	1,289	1,152
	11		0,02	1,016	0,898	0,996	0,879	0,352	1,484	1,641	1,27	1,133	0,918
	12		0,078	0,801	0,723	0,723	0,645	0,391	1,563	1,621	1,426	1,172	1,035
	13		0,215	1,23	1,152	1,016	0,938	0,547	1,719	1,816	1,582	1,172	1,035
	14		0,098	1,055	0,957	0,957	0,859	0,391	1,484	1,582	1,328	1,094	0,938
	15		0,156	1,25	1,152	1,094	0,996	0,488	1,973	2,188	1,816	1,484	1,328
	16		0,176	1,211	1,074	1,035	0,898	0,508	1,563	1,719	1,523	1,055	1,016
	17		0,313	1,523	1,387	1,211	1,074	0,508	1,973	2,129	1,855	1,465	1,348
	18		0,156	1,113	1,074	0,957	0,918	0,566	1,816	1,855	1,602	1,25	1,035
	Av.		0,14	1,153	1,051	1,014	0,912	0,471	1,709	1,845	1,581	1,238	1,11
P0	1		0,254	1,133	1,055	0,879	0,801	0,391	1,367	1,406	1,367	0,977	0,977
	2		0,195	1,055	0,957	0,859	0,762	0,313	1,328	1,348	1,23	1,016	0,918
	3		0,391	1,602	1,484	1,211	1,094	0,449	2,031	2,129	1,953	1,582	1,504
	4		0,215	1,191	1,074	0,977	0,859	0,449	1,641	1,699	1,523	1,191	1,074

Test Čas	Os.	K3					K4					
		B	Kp	Kh	Rp	Rh	B	Kp	Kpm	Kh	Rp	Rh
	5	0,195	1,113	1,035	0,918	0,84	0,41	1,523	1,602	1,426	1,113	1,016
	6	0,176	1,133	1,035	0,957	0,859	0,332	1,406	1,543	1,328	1,074	0,996
	7	0,254	1,191	1,074	0,938	0,82	0,566	1,777	1,914	1,719	1,211	1,152
	8	0,137	1,055	0,957	0,918	0,82	0,566	1,953	2,07	1,855	1,387	1,289
	9	0,215	1,484	1,328	1,27	1,113	0,43	1,934	2,051	1,816	1,504	1,387
	10	0,234	1,484	1,348	1,25	1,113	0,488	1,992	2,168	1,836	1,504	1,348
	11	0,215	1,113	0,977	0,898	0,762	0,391	1,348	1,445	1,23	0,957	0,84
	12	0,234	1,094	0,977	0,859	0,742	0,352	1,348	1,445	1,211	0,996	0,859
	13	0,293	1,426	1,289	1,133	0,996	0,469	2,031	2,129	1,68	1,563	1,211
	14	0,234	1,328	1,094	1,094	0,859	0,371	1,582	1,738	1,445	1,211	1,074
	15	0,254	1,211	1,113	0,957	0,859	0,664	2,324	2,598	2,148	1,66	1,484
	16	0,41	1,621	1,465	1,211	1,055	0,527	1,973	2,051	1,797	1,445	1,27
	17	0,332	1,523	1,426	1,191	1,094	0,469	1,875	1,934	1,758	1,406	1,289
	18	0,215	1,23	1,133	1,016	0,918	0,527	1,816	1,836	1,719	1,289	1,191
	Av.	0,247	1,277	1,157	1,03	0,909	0,454	1,736	1,839	1,613	1,283	1,16
P5	1	0,195	1,055	0,938	0,859	0,742	0,391	1,328	1,367	1,211	0,938	0,82
	2	0,156	1,016	0,918	0,859	0,762	0,313	1,426	1,523	1,328	1,113	1,016
	3	0,352	1,621	1,465	1,27	1,113	0,43	2,109	2,188	1,953	1,68	1,523
	4	0,176	1,172	1,055	0,996	0,879	0,449	1,563	1,699	1,504	1,113	1,055
	5	0,156	1,113	1,016	0,957	0,859	0,371	1,543	1,621	1,426	1,172	1,055
	6	0,137	1,133	1,016	0,996	0,879	0,332	1,465	1,641	1,328	1,133	0,996
	7	0,234	1,035	0,977	0,801	0,742	0,547	1,758	1,719	1,68	1,211	1,133
	8	0,156	1,055	0,977	0,898	0,82	0,625	2,012	2,09	1,895	1,387	1,27
	9	0,195	1,445	1,309	1,25	1,113	0,43	1,914	2,012	1,836	1,484	1,406
	10	0,234	1,465	1,328	1,23	1,094	0,488	2,09	2,285	1,895	1,602	1,406
	11	0,176	1,055	0,938	0,879	0,762	0,371	1,406	1,504	1,27	1,035	0,898
	12	0,176	0,957	0,859	0,781	0,684	0,313	1,27	1,309	1,133	0,957	0,82
	13	0,254	1,309	1,23	1,055	0,977	0,488	1,914	2,012	1,816	1,426	1,328
	14	0,176	1,27	1,094	1,094	0,918	0,352	1,66	1,777	1,484	1,309	1,133
	15	0,215	1,172	1,074	0,957	0,859	0,645	2,07	2,266	1,934	1,426	1,289
	16	0,352	1,582	1,426	1,23	1,074	0,508	1,836	2,109	1,797	1,328	1,289
	17	0,273	1,465	1,348	1,191	1,074	0,41	1,797	1,914	1,777	1,387	1,367
	18	0,195	1,133	1,094	0,938	0,898	0,527	1,563	1,563	1,563	1,035	1,035
	Av.	0,212	1,225	1,114	1,013	0,903	0,444	1,707	1,811	1,602	1,263	1,158
P15	1	0,176	1,055	0,957	0,879	0,781	0,391	1,348	1,406	1,348	0,957	0,957
	2	0,137	1,055	0,938	0,918	0,801	0,313	1,504	1,543	1,367	1,191	1,055
	3	0,273	1,484	1,348	1,211	1,074	0,43	2,051	2,148	1,953	1,621	1,523
	4	0,156	1,133	1,016	0,977	0,859	0,449	1,504	1,602	1,426	1,055	0,977
	5	0,137	1,094	1,016	0,957	0,879	0,371	1,543	1,66	1,465	1,172	1,094
	6	0,137	1,074	0,977	0,938	0,84	0,332	1,426	1,563	1,348	1,094	1,016
	7	0,234	1,113	1,016	0,879	0,781	0,566	1,758	1,836	1,641	1,191	1,074
	8	0,137	1,055	0,977	0,918	0,84	0,449	1,484	1,543	1,387	1,035	0,938
	9	0,176	1,387	1,27	1,211	1,094	0,449	1,855	1,973	1,758	1,406	1,309
	10	0,215	1,426	1,328	1,211	1,113	0,488	2,07	2,227	1,934	1,582	1,445
	11	0,117	1,016	0,898	0,898	0,781	0,508	1,719	1,973	1,582	1,211	1,074
	12	0,117	0,898	0,82	0,781	0,703	0,313	1,191	1,25	1,133	0,879	0,82
	13	0,234	1,387	1,289	1,152	1,055	0,488	1,895	1,973	1,777	1,406	1,289
	14	0,156	1,25	1,094	1,094	0,938	0,332	1,348	1,523	1,465	1,016	1,133
	15	0,215	1,172	1,074	0,957	0,859	0,488	1,875	2,07	1,738	1,387	1,25
	16	0,352	1,504	1,406	1,152	1,055	0,547	1,992	2,129	1,914	1,445	1,367

Test	Čas	Os.	K3					K4					
			B	Kp	Kh	Rp	Rh	B	Kp	Kpm	Kh	Rp	Rh
	17		0,254	1,465	1,367	1,211	1,113	0,469	1,914	2,012	1,777	1,445	1,309
	18		0,215	1,152	1,113	0,938	0,898	0,547	1,641	1,621	1,602	1,094	1,055
	Av.		0,191	1,207	1,106	1,016	0,915	0,441	1,673	1,781	1,59	1,233	1,149
P25	1		0,176	0,996	0,918	0,82	0,742	0,371	1,367	1,484	1,348	0,996	0,977
	2		0,117	1,016	0,918	0,898	0,801	0,313	1,426	1,426	1,367	1,113	1,055
	3		0,234	1,484	1,348	1,25	1,113	0,43	2,09	2,227	1,992	1,66	1,563
	4		0,098	1,074	0,977	0,977	0,879	0,391	1,504	1,602	1,406	1,113	1,016
	5		0,137	1,035	1,016	0,898	0,879	0,371	1,504	1,641	1,484	1,133	1,113
	6		0,137	1,055	0,957	0,918	0,82	0,352	1,465	1,621	1,348	1,113	0,996
	7		0,176	0,977	0,879	0,801	0,703	0,508	1,563	1,602	1,484	1,055	0,977
	8		0,137	1,074	0,957	0,938	0,82	0,605	1,973	2,09	1,836	1,367	1,23
	9		0,195	1,406	1,25	1,211	1,055	0,43	1,914	2,07	1,816	1,484	1,387
	10		0,215	1,445	1,348	1,23	1,133	0,508	2,129	2,285	1,992	1,621	1,484
	11		0,137	1,016	0,898	0,879	0,762	0,547	1,914	2,07	1,699	1,367	1,152
	12		0,078	0,859	0,762	0,781	0,684	0,293	1,27	1,328	1,094	0,977	0,801
	13		0,215	1,348	1,25	1,133	1,035	0,488	1,914	2,051	1,836	1,426	1,348
	14		0,117	1,191	1,055	1,074	0,938	0,352	1,66	1,797	1,523	1,309	1,172
	15		0,215	1,191	1,094	0,977	0,879	0,879	2,344	2,48	2,188	1,465	1,309
	16		0,313	1,465	1,348	1,152	1,035	0,488	1,68	1,836	1,641	1,191	1,152
	17		0,254	1,484	1,348	1,23	1,094	0,469	1,934	2,012	1,758	1,465	1,289
	18		0,176	1,113	1,055	0,938	0,879	0,488	1,738	1,758	1,563	1,25	1,074
Av.		0,174	1,179	1,076	1,006	0,903	0,46	1,744	1,854	1,632	1,284	1,172	
P35	1		0,156	1,016	0,879	0,859	0,723	0,371	1,309	1,406	1,23	0,938	0,859
	2		0,117	0,977	0,898	0,859	0,781	0,293	1,406	1,504	1,348	1,113	1,055
	3		0,195	1,445	1,309	1,25	1,113	0,43	2,148	2,266	2,031	1,719	1,602
	4		0,098	1,035	0,957	0,938	0,859	0,43	1,523	1,66	1,426	1,094	0,996
	5		0,117	1,035	0,957	0,918	0,84	0,371	1,465	1,582	1,406	1,094	1,035
	6		0,117	1,055	0,938	0,938	0,82	0,352	1,465	1,641	1,309	1,113	0,957
	7		0,176	0,957	0,84	0,781	0,664	0,527	1,66	1,758	1,563	1,133	1,035
	8		0,156	1,035	0,938	0,879	0,781	0,645	1,895	1,973	1,797	1,25	1,152
	9		0,156	1,348	1,25	1,191	1,094	0,449	1,797	1,914	1,758	1,348	1,309
	10		0,195	1,445	1,289	1,25	1,094	0,527	2,109	2,266	1,953	1,582	1,426
	11		0,137	0,957	0,84	0,82	0,703	0,547	1,699	1,875	1,543	1,152	0,996
	12		0,059	0,82	0,723	0,762	0,664	0,293	1,23	1,25	1,113	0,938	0,82
	13		0,234	1,348	1,23	1,113	0,996	0,508	2,031	2,129	1,816	1,523	1,309
	14		0,137	1,191	1,055	1,055	0,918	0,352	1,68	1,758	1,484	1,328	1,133
	15		0,195	1,133	1,016	0,938	0,82	0,684	1,836	2,031	1,719	1,152	1,035
	16		0,254	1,348	1,289	1,094	1,035	0,469	1,641	1,719	1,563	1,172	1,094
	17		0,234	1,465	1,328	1,23	1,094	0,469	1,973	2,031	1,836	1,504	1,367
	18		0,176	1,113	1,016	0,938	0,84	0,527	1,602	1,582	1,641	1,074	1,113
Av.		0,162	1,151	1,042	0,99	0,88	0,458	1,693	1,797	1,585	1,235	1,127	

K: Kontrolni test; V: Test z vnosom tekočine; P: Test s fizično aktivnostjo; Os.: zaporedno št. prostovoljca; Av.: povprečje; K3: Senzor K3; K4: Senzor K4; B, Kp, Kpm, Rh in Rp: absorpcijski parametri

PRILOGA B

Fizikalni parametri in stabilnost absorpcije ter psihofizični parametri predhodnih dejavnosti in splošnega počutja, prikazani po posameznih testih aktivnosti (K/V/P)

Os.	T	V	SS	SA	FA	U	S	SA+U	SA+S
1	55	164	S/S/S	0/0/0	0/0/0	0/0/0	0/0/0	0/0/0	0/0/0
2	41	155	S/S/S	0/0/0	0/0/0	0/0/0	0/0/0	0/0/0	0/0/0
3	64	176	S/S/S	1/0/0	0/0/0	1/1/1	0/0/1	1/0/0	0/0/0
4	55	167	S/S/N	1/1/1	0/0/0	1/1/1	0/0/1	1/1/1	0/0/1
5	71	171	S/S/S	0/0/0	0/0/0	1/0/0	0/0/0	0/0/0	0/0/0
6	57	164	S/S/S	0/1/1	0/0/1	1/1/0	0/0/0	0/1/0	0/0/0
7	87	173	N/N/N	1/1/1	0/0/1	1/1/0	1/0/1	1/1/0	1/0/1
8	76	180	S/S/S	0/0/0	0/0/0	1/1/0	1/0/0	0/0/0	0/0/0
9	50	163	S/S/S	0/0/0	0/0/0	0/0/0	0/0/0	0/0/0	0/0/0
10	60	175	S/S/S	1/0/0	0/0/0	0/0/0	0/0/1	0/0/0	0/0/0
11	62	176	N/S/S	1/0/1	1/0/1	1/1/0	0/0/0	1/0/0	0/0/0
12	49	155	N/N/N	1/0/1	0/0/1	0/1/1	0/1/1	0/0/1	0/0/1
13	81	174	S/S/S	0/1/0	0/1/0	1/1/0	0/0/0	0/1/0	0/0/0
14	49	160	S/S/N	0/1/0	0/1/0	0/1/0	0/0/0	0/1/0	0/0/0
15	82	180	N/S/N	0/0/0	0/0/0	1/0/1	1/1/0	0/0/0	0/0/0
16	54	163	N/S/N	1/1/1	0/0/0	1/0/1	1/0/1	1/0/1	1/0/1
17	65	181	S/S/S	0/0/0	0/0/0	0/0/0	0/0/0	0/0/0	0/0/0
18	80	188	S/S/S	0/1/1	0/1/0	0/0/1	0/0/0	0/0/1	0/0/0

Os.: zaporedno št. prostovoljca; T: Telesna teža [kg]; V: Telesna višina [cm]; SS: Stabilnost absorpcijskega signala (S: stabilno, N: nestabilno); SA: Splošna aktivnost; FA: Fizična aktivnost; U: Utrujenost; S: Stresnost; SA+U: Splošna aktivnost in Utrujenost; SA+S: Splošna aktivnost in Stresnost (0: dejavnik je odsoten, 1: dejavnik je prisoten)

PRILOGA C

Funkcije linearne regresije ($y=a+bx$) odvisnosti absorpcijskih parametrov od telesne teže in višine

	B	Kp	Kpm	Kh	Rp	Rh
K3 Teža	0,038 +	0,973 +		0,846 +	0,935 +	0,808 +
	0,0021 x	0,0033 x		0,0036 x	0,0012 x	0,0016
Višina	-0,201 +	-0,003 +		-0,173 +	0,198 +	0,029 +
	0,0022	0,0069 x		0,0073 x	0,0048 x	0,0052 x
K4 Teža	0,170 +	1,019 +	1,210 +	0,918 +	0,849 +	0,748 +
	0,0046 x	0,0102 x	0,0090 x	0,0099 x	0,0056 x	0,0054 x
Višina	-0,447 +	-0,936 +	-0,596 +	-0,966 +	-0,489 +	-0,518 +
	0,0054 x	0,0153 x	0,0140x	0,0148 x	0,0099	0,0094 x

K3: Senzor K3; K4: Senzor K4; B, Kp, Kpm, Kh, Rp in Rh: absorpcijski parametri

PRILOGA D

Izjava o prostovoljnem sodelovanju v raziskavi

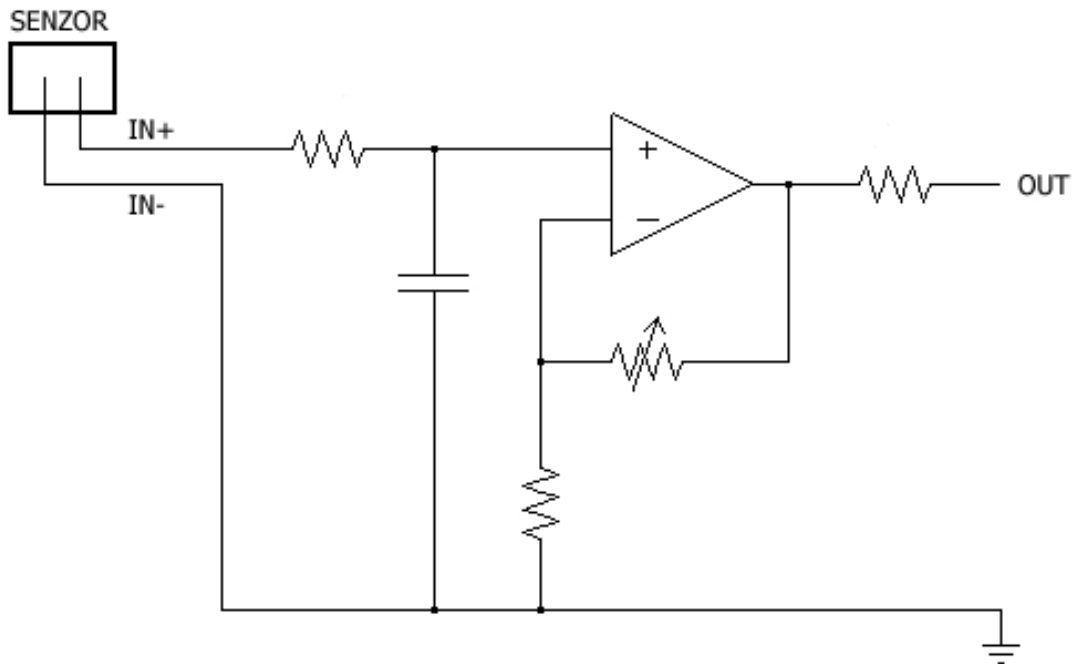
Zavestno in svobodno soglašam, da sem pripravljen/a sodelovati v raziskavi z naslovom: *Bližnje električno polje kot kazalnik človekovega fiziološkega stanja*. Primerno sem seznanjen/a s potekom raziskave ter načinom in časovnem okviru izvajanja meritev, kot tudi z vsemi morebitnimi neprijetnostmi in tveganji. Kot prostovoljni udeleženec imam pravico, da od raziskave v katerem koli trenutku odstopim, ne da bi to imelo zame kakršne koli neugodne posledice.

Datum: _____

Podpis preiskovanca: _____

Podpis raziskovalca: _____

PRILOGA E



Vezje vhodne stopnje