

Ekspertarvamus
kollektiivse pöördumise "Nõuame 5G tehnoloogia paigaldamise peatamist
Eestis!" kohta

Hiie Hinrikus, PhD, DSc, Tallinna Tehnikaülikooli raadiofüüsika emeriitprofessor

Sisukord

1. Pöördumise põhjendatuse hinnang

1.1. Pöördumise põhjenduse punktide hinnang.

1.2. Ettepaneku hinnang

1.3. Kokkuvõte

Lisa A: Elektromagnetkiirguse levi atmosfääris

Lisa B: Elektromagnetkiirgus bioloogilises aines

Lisa C: Mikrolainekiirguse bioloogiline mõju

C1. Taust

C2. Toimemehhanism ja kiirgusnormid

C3. Uuringute tulemused

Lisa D: Millimeeterlainete omapära

Lisa E: Mõju lindudele ja mesilastele

Viited

1. Pöördumise põhjendatuse hinnang

Kollektiivne pöördumine "Nõuame 5G tehnoloogia paigaldamise peatamist Eestis!" (edaspidi Pöördumine) koosneb ettepanekust, neljapunktilisest põhjendusest ja viidetest.

Neljapunktiline põhjendus ja peamine nõue sisuliselt kordavad praeguseks 245 teadlase poolt allkirjastatud pöördumist Euroopa Komisjon poole (Appeal 2017).

1.1. Pöördumise põhjenduse punktide hinnang.

1. 5G toob kaasa juhtmevaba kiirgusega vältimatu kokkupuute massiivse suurenemise.

See seisukoht on kahtlemata põhjendatud: iga 5G tehnoloogiaga seotud uue sagedusdiapasooni kasutuselevõtt suurendab paratamatult kiirguse nivood keskkonnas. Kahtlemata peab ka tulevikus kõigi väljade summaarne võimsustihedus vastama kehtivatele kiirgusnormidele. 5G kasutuselevõtt võib kiirgusnormidele vastavusega probleeme tekitada (Lisa C3).

2. Raadiosageduslike elektromagnetväljade kahjulik mõju on juba tõestatud.

Raadiosagedusliku elektromagnetvälja bioloogiline mõju ja tervisemõju on tõesti tõestatud. Põhiprobleem on selles, et looduses puudub koherentne elektromagnetväli ja elusorganismid ei ole oma ajaloolise arengu käigus sellega kohanenud. Elusloodus on kohanenud mittekoherentssele päikesekiirgusele, mis tekitab aineosakeste juhusliku soojusliku liikumise. Koherentne väli mõjutab ühesuunaliselt üheaegselt paljusid aineosakesi ja selle mõju on seetõttu oluliselt suurem. Paratamatult tekivad bioloogilised muutused, milledele võib kaasneda ka terviserisk (Lisa C). Pöördumises toodud andmed on tõesed ja asjakohased.

3. Ettevaatuspõhimõte

Ettevaatuspõhimõtte järgimine on ülimalt oluline ja hetkel seoses elektromagnetväljadega ka ainuvõimalik, sest siiani ei ole teadlased suutnud määratleda tervisele ohutut elektromagnetvälja taset (Lisa C2).

4. Kehtivad kiirgusnormid kaitsevad tööstust, mitte tervist

Eestis kehtivad kiirgusnormid põhinevad ICNIRP (Mitteioniseeriva kiirguse kaitse rahvusvaheline komisjon) soovitusel, mis on võetud aluseks ka Euroopa Liidu normdokumentidele. ICNIRP on eraõiguslik isik, mis ise kutsub endale liikmeid. Liikmetest paljud on seotud telekommunikatsioonifirmadega. Ma ei ole kompetentne hindama huvide konflikti selles komisjonis. Küll tean, et mõne aasta eest astus tagasi WHO elektromagnetväljade projekti juht kahtlustatuna korruptsioonis.

1.2. Ettepaneku hinnang

Nõustades iga punktiga Pöördumise põhjenduses, ei saa ma siiski nõustuda selles tehtud ettepanekuga "5G paigaldamine tuleb peatada, kuni selle tehnoloogia võimalikke ohtlikke

mõjusid inimestele ja keskkonnale on täielikult uuritud tehnoloogiaärst sõltumatute teadlaste poolt ning oleme saanud neilt kinnituse, et see tehnoloogia on ohutu nii inimestele kui ka keskkonnale”.

Vaatamata aastakümnete jooksul tehtud tuhandetele uuringutele ei ole teadlased siiani suutnud kindlaks teha, milline kiirguse tase on ohutu (Lisa C). Elusloodus on koherentsete elektromagnetväljadega kokku puutunud umbes sajand. Koherentse kiirgusega kohanemiseks võib kuluda palju rohkem aega. Seega mingi mõju bioloogilistele protsessidele ja võimalik risk tervisele on vältimatud. Kinnitada, et 5G tehnoloogia on täiesti ohutu, ei ole võimalik ei nüüd ega ka peale tuhandet uut uuringut. Küll saab hinnata 5G puhul kasutatavate sageduste ohumäära.

Majandus - ja Kommunikatsiooniministeeriumi poolt koostatud Eesti 5G teekaart aastani 2025 näeb ette, et 2019-2020 kuulutatakse välja konkurss 5G tehnoloogias kasutatava keskmise 3400–3800 MHz ja madalama 694–790 MHz diapasooni sageduslubade osas. Kõrgema diapasooni sagedusalade 24,25–27,5 GHz, 3,8–4,2 GHz, 37,0–43,5 GHz, 40,0–43,5 GHz ja 66–71 GHz võimalikku kasutust arutatakse hiljem.

Nendest madalamad 694–790 MHz ja keskmised 3,4–4,2 GHz sagedusalad on lähedased juba kasutusel olevatele sagedustele ja nende bioloogilise mõju osas ei ole põhjust oodata mingeid erisusi (Lisa C). Sellepärast ei näe ma ka põhjust peatada nende sagedusalade kasutuselevõttu.

Kõrgemad sagedusalad 24,25–27,5 GHz, 37,0–43,5 ja 66–71 GHz kuuluvad juba millimeeterlainete diapasooni. Millimeeterlainetel 1) suureneb oluliselt kiirguse neeldumine (eriti linna saastunud) atmosfääris ja suurem osa võimsusest kulub atmosfääri kütmisele (Lisa B); 2) bioloogiline mõju on oluliselt suurem seoses resonantsnähtustega raku membraanil (Lisa D). See diapatoon on kindlasti suuremaks ohuks ka elusloodusele, kahjustades eelkõige lendavaid putukaid (Lisa E). Millimeeterlainete sagedusdiapasooni kasutamise peatamisest ei saa rääkida, kuna lähiaastatel seda kasutada ei kavatssetagi.

1.3. Kokkuvõte

Pöördumine on sisult kahtlemata teaduspõhine. Raadiokiirguse tervisemõjuga seotud probleemid vajavad tähelepanu ja lahendamist.

Raadiokiirgusega seotud terviseriske ilmselt ei saa täielikult vältida, aga neid saab vähendada, karmistades kehtivaid kiirgusnorme. Elanikkond peab olema teavitatud, et teha vabatahtlikult õigeid valikuid. On otstarbekas rakendada ettevaatuse ja mõistliku kasutuse printsiipi (Parliamentary Assembly 2011). Mitmed riigid ja piirkonnad on seda juba teinud. Eesti ei peaks riskeerima oma rahvastiku paljunemisevõime ja elu kvaliteediga.

Mõistlik oleks 5G asemel maksimaalselt panustada tervisele kahjutu optilise kaabelvõrgu, sh kohtvõrgu, kasutusele.

Arvesse võttes millimeeterlainete tugevat neeldumist atmosfääris, mis paratamatult tingib soojenemise, ja nende tugevama bioloogilise mõju võrreldes madalamate sagedustega, ei ole mõistlik millimeeterlaineid kasutusele võtta.

5G tehnoloogia kasutamisel tuleb tervisekaitse aspektist kehtestada piiranguid mitte ainult elektromagnetvälja summaarsele keskmisele võimsusele, vaid ka ülilühikeste pulsside võimsusele.

Lisa A

Elektromagnetkiirguse levi atmosfääris

Levil atmosfääri alumises kihis, troposfääris, mõjutavad elektromagnetkiirgust kaks tegurit, selektiivne neeldumine atmosfääri gaasidel (veeaur, hapnik) ja mitteselektiivne neeldumine ning hajumine atmosfääris hõljuvatel vedelatel (veetilgakesed) ja tahketel (tolm, jääkristallid) osakestel. Sumbuvus levil troposfääris sõltub lainepikkusest.

Troposfääri gaasid on praktiliselt läbipaistvad sagedusteni umbes 10 GHz (lainepikkus 3 cm). Laias spektri osas kõrgematel sagedustel algab tugev resonants neeldumine dipoolset elektrilist momenti omavatel veemolekulidel. Neeldumisjoonte kesksagedused on 22.2 GHz (lainepikkus 1.35 cm), 183 GHz (lainepikkus 1.64 mm), 325 GHz (lainepikkus 0.92 mm) ja edasi kõrgemad sagedused kuni infrapunase diapsoonini. Hapniku molekulide resonantssagedused on 60 GHz (lainepikkus 0.5 cm) ja 119 GHz (lainepikkus 0.252 cm). Hapniku molekuli tugev neeldumisjoon 60 GHz tingib neeldumise 16 dB/km. Horisontaalse levi puhul ulatub summaarne neeldumine atmosfääri gaasidel kuni 30 dB/km. Väiksem on neeldumine atmosfääri akendes.

Majandus - ja Kommunikatsiooniministeeriumi Eesti 5G Teekaart aastani 2025 kavandab 5G puhul peale madalamate sageduste 3400-3800 MHz ja 694-790 MHz kasutuselevõtu perspektiivis kaaluda ka millimeeterlainete 24,25–27,5 GHz, 40,5–43,5 GHz ja 66–71 GHz kasutamist. Need millimeeterlainete sagedused on väljaspool atmosfääri gaaside resonants neeldumisjooni. Aga ka väljaspool neeldumisjooni on kaod märgatavalt kõrgemad kui pikematel lainetel sagedustel 3400-3800 MHz ja 694-790 MHz.

Mitteselektiivne neeldumine atmosfääris hõljuvatel hüdrometeoridel (veetilgakesed) ja litometeoridel (tahked õhus hõljuvad osakesed) sõltub nende omadustest, kontsentratsioonist ning nende mõõtmete ja lainepikkuse suhtest. Hajumine atmosfääris hõljuvatel osakestel on tingitud lainete suuna muutusest peegeldumisel osakestest ja ka sekundaarsest kiirgusest, mida tekitavad osakestel primaarse kiirguse poolt indutseeritud voolud. Maksimaalne neeldumine ja hajumine leiavad aset resonantstingimustel, kui osakeste mõõtmed on võrreldavad lainepikkusega. Tolm, suits ja ilmastikunähtused (udu, vihm, lumesadu) suurendavad sumbuvalt oluliselt. Atmosfäärsete sademete puhul on sumbuvalt arvutatav, ulatub vihmas 50 dB/km ja on lumesajus mõnevõrra kõrgem. Täieti määramatult on neeldumine atmosfääris leiduvalt tolmul jt lisanditel, mis tase eriti linnas on kõrge.

Summaarne sumbuvalt atmosfääris võib ületada 50 dB/km.

Levitingimused atmosfääris on peamiseks põhjuseks, miks siiani ei kasutata millimeeterlaineid sides ega isegi mitte raadiolokatsioonis, kus väiksem lainepikkus annaks olulise eelise ruumilises eraldusvõimes. Vähegi vastuvõetava töökindluse saavutamiseks tuleks ületada sumbuvalt üle 30 dB/km. Eriti meie ilmastikutingimustes on millimeeterlainete kasutamine enam kui küsitav. Sama probleem peatas aastakümneid tagasi ka laserkiirguse vabalevi kasutuse atmosfääris. Teatavasti mindi kogu maailmas kiiresti üle optilisele kiule. Ka meie laserkiirguse levi uuringud Tallinnas

optilise kiirguse aknas 0,63 μ , arvestades pikaajalisi meteoandmeid, näitavad, et meie ilmastiku tingimustes ei ole reaalne saavutada nõutavat ajalist töökindlust 0,999.

Tugev neeldumine atmosfääri hapnikul isoleerib maapinna päikesekiirgusest lainepikkustel 0,45 - 0,55 cm. Elusloodus ei ole kiiritatud kiirgusega 60 GHz diapsoonis ega ole järelikult sellele kiirgusele ka kohanenud.

Atmosfääris neeldunud millimeeterlainete energia suurendab gaasimolekulide ja aineosakeste kineetilist energiat, muutudes hõõrdumise ja põrkumiste kaudu soojuseks. Arvestades kõrget energiakadu, kulub suurem osa millimeeterlainete energiast atmosfääri kütmisele. Isegi väikeste kauguste puhul (200 m) tuleks arvestada neeldumisega suurusjärgus 10 dB, st enamuse kiirgusenergiast (ca 90%) kulub atmosfääri kütmisele.

Ülaltoodu selgitab, miks levitingimused atmosfääris tingivad millimeeterlainete olulise mõju keskkonnale ja elusloodusele:

- Kõrge neeldumise tõttu kiirgus soojendab atmosfääri;
- Mõjutatavad on eelkõige lainepikkusega võrreldavaid isoleeritud objektid kui efektiivsed neeldumis-hajumistsentreid (putukaid).
- Kõrge neeldumise tõttu 60 GHz ribas on elusloodus olnud isoleeritud päikese kiirgusest neil sagedustel ega ole sellele kiirgusele kohanenud.

Detailid raadiolainete levi kohta troposfääris on leitavad paljudest allikatest, näiteks:

Naval Research Laboratory Report 1969:

<https://pdfs.semanticscholar.org/2880/4f82b1530c36bc77f8e0d7424eeabb985f3a.pdf>

Lisa B

Elektromagnetkiirgus bioloogilises aines

Inimkeha koosneb teatavasti umbes 80% ulatuses veest. Just dipolaarne vee molekul määrab elektromagnetkiirguse toimemehhanismi nii inimeste kui ka loomade ja taimede puhul. Koed jagunevad kõrge (veri, lihas, aju, maks jne) ja madala (rasvkude, luu) veesisaldusega kudedeks. Välise elektromagnetvälja mõjul orienteeruvad molekulid välja jõujoonte suunas ja tekib dielektriline polarisatsioon. Vahelduvvälja puhul hakkavad elementaarsed dipoolid pöörlema välja sagedusega. Just polarisatsioon iseloomustab välja mõju ainele. Dielektrilist polarisatsiooni kirjeldav suhteline dielektriline läbitavus sõltub välja sagedusest ja on kõrgemate sageduste poolt piiratud pöörlevate või nihkuvate molekulide inertsiga. Mikrolaine sagedustel kuni 1 GHz on kõrge veesisaldusega kudede dielektriline läbitavus lähedal 80-le, väheneb 50-40-ni sagedustel umbes 10 GHz ja läheneb väärtusele 2 sagedusel umbes 100 GHz. (Hasted 1973; Pethig 1979; Foster ja Schwan, 1995; Gabriel jt, 1996).

Inimkehas on kõrge veesisaldusega naha all madala veesisaldusega ja dielektrilise läbitavusega rasvakiht. Sellest kiirgus peegeldub, ja nahas tekib elektrivälja maksimum. Sellepärast neeldub nahas kuni 50% kehale langevast kiirgusest.

Polarisatsiooni tekkeks on oluline, et molekulid pöörleksid sünkroonselt. Järelikult peab väli olema monokromaatiline ja koherentne. Dipoolsete veemolekulide pöörlemisel tekib hõõrdumine ja soojus. Soojuse tekkeks ei ole oluline, et väli oleks koherentne. Aga koherentse kiirguse poolt tekitatavale soojenemisele kaasneb ka polarisatsioon ja see erineb tavalisest soojendamisest.

Sellepärast on koherentse mikrolainekiirguse mõju ainele palju tugevam kui mittekoherentse soojuskiirguse mõju (Hinrikus jt, 2018). See on põhjus, miks

- soojendamine mikrolainega on efektiivsem võrreldes tavalise soojendamisega
- ka nõrk elektromagnetkiirgus, mis soojenemist ei tekita, omab olulist bioloogilist mõju.

Koherentse mikrolainekiirgusega soojendamise on oma tulemuslikkust näidanud uues teadusharus – mikrolaine keemias, toetades keemilisi reaktsioone ja sünteesi, mis tavasoojendamisega ei toimiks (Galema 1997, Hos jt, 2005).

Teatavasti elektriväli tugevus väheneb eksponentsiaalselt tungides elektriliselt tihedasse keskkonda, nn skin efekt. Skinkihi sügavus väheneb pöördvõrdeliselt ruutjuurega sagedusest. Suuremate objektide puhul (inimesed, loomad, linnud) detsimeeterlined tungivad bioloogilistesse kudedesse mõnevõrra sügavamalt, sentimeeterlained pindmisemalt, ja siseorganites on väljatugevus väike. Millimeeterlained tungivad kehasse ainult mõne mm sügavusele ja suuremates objektides mõjutavad peamiselt nahka. Putukate puhul on aga (isegi millimeeterlainetel) skinkihi sügavus võrreldav putuka mõõtmetega ja kiirgus läbib kogu putuka keha.

Teatavasti elektrilised jõujooned tõmbuvad suurema dielektrilise läbitavusega keskkonda. Väikese isoleeritud objekti puhul, mille mõõtmed on skinkihi sügavusega võrreldavad, tekib kõrge energia kontsentratsioon.

Ülaltoodu, arvestades ka asjaolu, et neeldumine bioloogilises objektis on kõige tugevam, kui selle mõõtmed on võrreldavad lainepikkusega (lisa A) selgitab, miks elektromagnetkiirguse levi omapära bioloogilises materjalis tingib mikrolainekiirguse olulise mõju eelkõige just lindudele ja putukatele. Putukad on kõige tugevamini mõjutatavad just millimeeterlainetel.

Lisa C

Mikrolainekiirguse bioloogiline mõju

C1. Taust

Elektromagnetvälja, sealhulgas elektromagnetkiirguse, bioloogiline mõju ja mõju tervisele on teada üleelmisest sajandist. Huvitav on märkida, et kõrgsagedusliku elektrivälja füsioloogiline mõju, nn d'Arsonvali efekt, leiti mõned aastad varem (1889), kui Marconi demonstreeris elementaarset raadioühendust (1894). D'Arsonvali meetod on leidnud laialdast kasutust meditsiinis. Kaasaegses meditsiinis kasutatakse tulemuslikult ka mitmeid muid elektromagnetilisi meetodeid (erinevad aju- ja närvistimulatsioonid, hüpertermia, jt).

Kaasaegses sidetehnoloogias kasutatava mikrolainekiirguse (0,3-300 GHz, lainepikkused 1 m - 1 mm) mõju uurimine muutus aktuaalseks alates eelmise sajandi keskpaigast, kui see diapason laiemalt kasutusele võeti, eelkõige raadiolokatsioonis Teise maailmasõja ajal.

Seoses mobiilside kasutuselevõtuga, mis mõjutab kogu elanikkonda, intensiivistusid ka bioloogilise mõju ja tervisemõju uuringud. Viimastel aastatel avaldatakse arvestatavates teadusajakirjades ühes kuus umbes kümnekonna uuringu tulemused. Kaks ajakirja, Bioelectromagnetics (Wiley) ja Electromagnetic Biology and Medicine (Taylor & Francis) on spetsialiseerunud mitteioniseeriva kiirguse bioloogilisele mõjule. ISI Web of Science andmebaasides refereeritavate artiklite arv elektromagnetväljade mõju uurimisest ulatub tuhandetesse. Uuringute suur arv on seotud uuritavate objektide ja nende omaduste, aga ka elektromagnetväljade parameetrite (sagedused, väljatugevused, modulatsiooniviisid) paljude erinevate kombinatsioonide võimalikkusega. Sellepärast piirdun mikrolaine bioloogilise mõju ülevaateartiklitele viitamisega, tuues vajadusel välja spetsiifilisi originaaluuringuid. Osa viiteid on valitud viiteid varasemast perioodist, mil need teadmised olid veel uudsed.

Publikatsioonid jagunevad umbes pooleks alalis- või ülimaldalsageduslike (50 Hz) ja mikrolainesageduslike väljade vahel. On üllatav, et nii laias sagedusdiapsoonis on tulemused väga sarnased.

C2. Toimemehhanism ja kiirgusnormid

Põhiprobleem on selles, et looduses puudub koherentne elektromagnetväli ja elusorganismid ei ole sellega kohanenud. Elusloodus on kohanenud mittekoherentsele laia spektriga päikesekiirgusele, mis tekitab aineosakeste juhusliku soojusliku liikumise. Koherentne väli mõjutab ühesuunaliselt üheaegselt paljusid aineosakesi ja selle mõju on oluliselt suurem (Hinrikus jt, 2018). Saja aastaga ei ole elusloodus jõudnud kohaneda.

Kuna mitteioniseeriva mikrolainekiirguse sagedused on palju kõrgemad füsioloogiliste protsesside sagedustest, piirduti kiirguse mõju seletamisel kaua ainult keha soojenemisega. Sellepärast põhinevad Eestis kehtivad (ja ka Euroopa Liidu poolt soovitatavad) kiirgusnormid mikrolainekiirguse soojuslikul mõjul ((ICNIRP 1998). Kehtivad kiirgusnormid on hästi sobitatud eelmiste tehnoloogiate (3G, 4G) kiirgustasemega. Kuigi mõnigi kord on firmad olnud sunnitud telefone tagasi kutsuma, kuna need ei vastanud normidele Soojusliku mõju kõrval on ammu leidnud usaldusväärset kinnitust ka nõrga välja mittesoojuslik mõju (Adey, 1979; Adey jt, 1982; Lin-Liu ja Adey, 1982; Lai, 2005, Belyaev jt, 2016; Belpomme jt, 2018). Kehtivad normid on aegunud. Mitmed riigid on praeguseks kehtestanud rangemad normid.

ICNIRP ei ole kahjuks ka uuendatud kiirgusnormide projektis arvestanud vajadust norme karmistada: kiirgusnormide arväärtused on jäänud muutmata (ICNIRP 2018). Seda ICNIRP seisukohta ootasid juhtivad tehnoloogiafirmad, kes ei riskinud 5G tehnoloogiaga välja tulla mitte kindel olles neile soodsas otsuses, sest 5G tehnoloogias kasutatavate kiirguste lisandumine on kiirgusnormide aspektist kriitiline.

Kuna elektrilised jõud omavad olulist osa bioloogilistes struktuurides, sidudes aatomeid ja molekule, on loomulik, et väline koherentne elektromagnetväli võib mõjutada bioloogilisi struktuure ja füsioloogilisi protsesse ka siis, kui soojenemist ei toimu (Lai 2005; Belpomme et al., 2018). Elektromagnetväljad mõjutavad bioloogilisi struktuure ja järelikult võivad põhjustada riske tervisele ka väljatugevuste puhul, mis on nõrgemad soojusliku mõju tekke piirist. Toimemehhanismide detailid ja võimalike piirangute analüüs on toodud artiklites (Adair, 2002; Sheppard jt, 2008; Apollonio et al, 2013; Hinrikus et al., 2018). Toimemehhanismi aluseks on dipoolsete molekulide pöörlemine (Lisa B). Dipoolsete molekulide pöörlemine toimub mitte ainult mikrolaine diapsoonis, vaid ka ülimaldatel sagedustel. Sarnane toimemehhanism seletab bioloogilise mõju sarnasuse elektromagnetvälja sageduse muutumisel hertsidest gigahertsideni.

Kahjuks ei ole siiani selge, milline on bioloogiliste struktuuride piirtunglikkus elektromagnetkiirgusele. Kuna bioloogilistes struktuurides on võimalikud ostsilleruva iseloomuga protsessid, võib näiteks parameetiline ergutus viia tundlikkuse läve väga madalale (Hinrikus jt, 2011). Vaatamata pikaajalistele uuringutele, ei ole teadlased siiani suutnud määrata bioloogiliste objektide tundlikkuse läve ega ka sellega seotud teaduslikult põhjendatud tervisekaitse kiirgusnorme.

C3. Uuringute tulemused

Viimastel aastakümnetel on paljude laboratoorsete katsetega tõestatud mikrolainekiirguse oluline mõju bioloogilistele ja füsioloogilistele protsessidele ka siis, kui kiirguse võimsus on nõrk, madalam kiirgusnormidest, ja soojenemist ei toimu.

Katsed inimestel, laboratoorsetel loomadel ja rakukultuuridel on tõestanud, et elektromagnetväli mõjutab väga erinevaid bioloogilisi, füsioloogilisi ja psühholoogilisi protsesse.

Ammu ja hästi on teada, et elektromagnetkiirgus kiirgus kahjustab paljunemisorganeid ja mõjutab sigivust. Paljudes töodes on näidatud, et nii soojendav kui ka nõrk kiirgus vähendab spermatoosidide liikuvust, nende kontsentratsiooni ja eluvõimet, tekitab muutusi nende DNAs (Aitken, 1999; Aitken jt, 2005; Agarwal jt, 2008; Adams jt., 2014).

Ammu ja hästi on teada, et mikrolainekiirgus kahjustab silmi. On näidatud, et kiirgus kahjustab sarvkesta, tekitab katarakti, kahjustab läätse epiteelkudet, (Milroy ja Michaelson 1972; Lipman jt, 1988; [Yu Y ja Yao, 2010](#)).

Kiirgus mõjutab kesknärvisüsteemi ja kognitiivseid võimeid. Madalatasemeline mikrolainekiirgus muudab aju bioelektrilisi rütme ja elektroentsefalograafilist (EEG) signaali, mõjutab aju hematoloogilist barjääri, une kvaliteeti, vähendab õppimisvõimet ja mälu (Regel jt, 2007; Hinrikus jt, 2008, Valentini jt 2007; Nittby jt, 2008; Juutilainen jt, 2011; Stam 2010).

Tallinna Tehnikaülikoolis mitmetel tervete noorte inimeste gruppidel tehtud uuringud on näidanud, et kiirgus sagedusel 450 MHz võimsustihedusega 0.16mW/cm^2 (kordades madalam piirnormist) tekitab muutusi EEG signaalis kuni 30% uuritavatest, vähendab kognitiivset võimekust 5%, ja halvendab tulemusi raskemate tähelepanu ja mälu ülesannete lahendamisel (Hinrikus jt, 2008; Rodina jt, 2005; Lass jt, 2002).

Eriti mõjutatavad on lapsed. Teatavasti neeldub umbes pool kehasse sattuvast elektromagnetkiirgusest nahas (Lisa B). Lastel on nahk õhem, rohkem kiirgust satub sügavamale. Laste pead on väiksemad ja seega kiirgusele paremini läbitavad. Laste närvisüsteem on kujunemisjärgus ja kergemini mõjutatav (Abramson jt, 2009; Divan jt, 2012; Aydin jt, 2011; Aldad jt, 2012; Birks jt, 2017).

Elektromagnetiline kiirgus mõjutab olulisi protsesse rakkudes. Rohkearvulised katsed on näidanud, et madala tasemega kiirguse mõjul suureneb kaltsiumi ionide voog läbi rakumembraani, tõuseb vabade radikaalide tase, suureneb oksüdatiivset stressi ja tekivad muutused DNA struktuuris (Liu-Liu ja Adey, 1982; Leszczynski jt 2002; Blank ja Goodman 2009, De Iuliis jt, 2009, Blank ja Goodman 2011, Leszczynski jt 2012, Burlaka jt, 2013;)

Mikrolainekiirguse mõju seos väljatugevusega ei ole lineaarne. Mikrolainekiirguse poolt tekitatav muutus loomulikult väheneb väljatugevuse vähenemisega . Katsetes on aga märgatud nn “windows” efekti, mil mõju suureneb teatud võimsuseni, ja edasise võimsuse tõusiga hoopis väheneb (Salford jt, 1994). On üllatav, et välja võimsuse olulisele vähenemisele 20 dB kaasnes EEG signaalis registreeritud muutuste vähenemine ainult 5-8 dB (Suhhova et al., 2013). Mittelineaarne seos kiirgusvõimsuse ja kaasneva mõju vahel teeb keeruliseks bioloogiliste süsteemide tundlikkuse läve eksperimentaalse hinnangu.

Inimeste tundlikkus mikrolainekiirgusele on erinev. Muutused EEG signaalis leiti kuni 30% noortest tervetest inimestest (Hinrikus et al. 2008b). On teada ülitundlikkus elektromagnetväljadele (sarnane allergiale), mille puhul võib mõjuda isegi väga nõrk väli (Hedendahl jt, 2015). Need inimesed tunnevad ennast elektromagnetväljas halvasti. Ilmneb väsimus, unisus, peapööritus, kontsentreerumisvõime langus, probleemid mälu ja unehäired. Uuringute andmetel on elektromagnetväljale ülitundlikke Rootsis 1.5% ja Taiwanil 13.3% (Hedendahl jt, 2015) . Mõnes riigis käsitletakse ülitundlikkust kui haigust.

Mitte kõik muutused ei vii tervisehäireteni, vaid on lühiajalised (laboratoorsete katsete puhul) ning pöörduvad. Aga ohutus tervisele ei ole tõestatud. Kuna mõju on kumulatiivne, võib pikaajaline viibimine ka nõrgas elektromagnetväljas tekitada tervisehäireid.

Kantserogeenne mõju ilmneb vaid pikaajalise kiirituse puhul. Aastaid on mikrolainekiirguse kantserogeenne mõju olnud kahtluse all. Madala vähiriski tõttu andsid paljud laboratoorsed katsed hiirte või rottide väiksematel gruppidel (kuni parkümmend looma) juhuslikke vasturääkivaid tulemusi. Epidemioloogiliste uurimuste analüüs näitas küll mõningat mobiiltelefon kasutamise seotud vähiriski suurenemist, aga paljud muud samaaegselt mõjuvad tegurid ja pikk peiteaeg (kuni 10 a) muudavad need tulemused statistiliselt küsitavaks (Carlberg jt 2013).

Rahvusvaheline Vähiuuringute Agentuuri (IARC) poolt algatatud ulatusliku rahvusvahelise Interphone projekti (aastatel 2000-2006), kaasatud 13 maad) raames märgati kerget tõusu ajukasvajate esinemise tõenäosuses seoses kiirguses viibimise aja suuremisega (Berg jt,2006;

Interphone 2010). Hiljem õnnestus Kanada andmete osas kasvajate esinemise tõenäosust natuke korrigeerida (Momoli jt, 2017).

Lähtudes Interphone tulemustest, leidis IARC, et on olemas piiratud tõendus raadiokiirguse kantserogeensuse kohta inimeses, kuna positiivne seos oli ilmnenud traadita telefoni raadiosagedusliku kiirguse ning kasvajate (gloomi ja akustilise neuroomi) vahel. IARC klassifitseeris raadiosageduse kui võimaliku kantserogeeni inimeses (Grupp 2B) aastal 2013 (IARC 2013).

Otsustava tähtsusega on hiljuti avaldatud U.S. National Toxicology Program (NTP) tulemused (NTP 2016). NTP uuringus kiiritati kahe aasta jooksul 90 rottu või hiirt ühes grupis sagedustel 900 MHz (GSM) või 1900 MHz (CDMA) kolme erineva võimsusega (ainult üks üle piirväärtuse). Erinevates kiiritatud gruppides leiti 2-3 rottil ajukasvaja (malignant glioom) ja 1- 5 rottil südames harvaesinev kasvaja (schwannoom). Kontrollgrupis kasvajaid ei esinenud. Projekti tulemused on selgeks tõenduseks mikrolainekiirguse kantserogeensusest mõjust (nii arvasid ka projekti hindajad-ekspertid). Falciani grupi pikaajalise uuringu tulemused (ainult rottidel) kinnitavad NTP uuringu leide (Falcioni et al., 2018).

Viimaste aastatel, peale IARC otsust, avaldatud tulemused, eriti aga NTP uuring kinnitavad, et raadiosageduslik väli on pigem tõenäoline (Grupp 2A) või isegi kindel vähitekitaja (Grupp 1) (Lerchl et al. 2015, Miller et al., 2018; Hardell ja Calberg, 2019).

Ülatoodud väga eripalgelisi tulemusi analüüsidest võib järeldada, et:

- Inimesed ja loomad ei ole siiani kohanenud koherentse kiirgusega ja nende organismis võivad tekkida ettearvamatud anomaaliad;
- Lühiajalise elektromagnetkiirguses viibimisega seotud muutused on pöörduvad ega ohusta tervist (vähemalt pole seda täheldatud);
- Pikaajaline viibimine ka nõrgas koherentses elektromagnetkiirguses võib viia pöördumatute muutusteni ja võib ohustada tervist;
- Siiani ei ole suudetud leida teaduslikult põhjendatud ohutut kiirguse taset.

Lisa D

Millimeeterlainete omapära

Elektromagnetkiirguse bioloogiline mõju on osutunud sarnaseks väga laias sagedusdiapasoonis (Lisa C). Dielektriline läbitavus millimeeterlainetel küll väheneb, aga dipoolsete molekulide pöörlemine on küllaldane bioloogilise mõju tekkeks. Kuna toimemehhanism on sama, võib arvata, et ei ole ka suuri erinevusi ka millimeeterlainete bioloogilises mõjus, võrreldes madalamate sagedustega. Seda arvamust kinnitab ka leid, et DNA sidestus elektromagnetväljaga omab fraktaalset iseloomu ja jääb seega sarnaseks kõigil sagedustel (Blank ja Goodman, 2011).

Hästi on teada, et millimeeterlained mõjutavad peamiselt nahka ja silmi (Gandi ja Riazi, 1986; Zhadobov jt, 2011). Skinkiht on väga õhuke (Lisa B), kogu kiirguse energia neeldub väga

väikeses ruumis ja energia kontsentratsioon on kõrge. Rõivad kaitsevad tõhusalt. Mõju silmadele on tugevam kui madalamatel sagedustel. Närvilõpmete kaudu on nahk seotud teiste organitega ja naha häiritus kandub teiste organiteni. Millimeeterlainete eeliseks on kõrge ruumiline eraldusvõime (Zhadobov jt, 2015).

On põhjust arvata, et millimeeterlainete bioloogiline mõju ei piirdu siiski dipoolsete molekulide pöörlemisest tulenevate bioloogiliste muutustega. Arvestatavaid tulemusi millimeeterlainete kasutamisel meditsiinis on aastakümnete jooksul saanud N Liidus akadeemik Devjatkovi koolkonna poolt Frjazinos. Kiiritamine millimeeterlainetega võimsustihedusega mis on lähedane või väiksem kui soojuslik piir ($1\text{mW}/\text{cm}^2$), on osutunud väga tõhusaks ravimeetodiks. See leevendab valu, vähendab põletikku ja isegi ravib mitmeid haigusi (Zhadobov et al., 2011). Sellise ravi mehhanism ei ole siiani selge. Arvatakse, et millimeeterlained kutsuvad esile resonantsnähtused rakkude membraanides. Viimastel aastatel (seoses 5G tulekuga) on suurenenud huvi nende uuringute vastu kogu maailmas ja publikatsioone tõlgitakse.

Hiljuti avaldatud uuring näitas, et millimeeterlained tõesti mõjutavad raku membraani läbitavust (Le Pogam jt 2019). Kiiritamisel madalamate sagedustega seda ei ole täheldatud.

Ülaltoodust järeldub, et

- millimeeterlainete bioloogiline mõju on tugevam kui madalamatel sagedustel;
- meditsiiniline kogemus on näidanud millimeeterlainete terapeutilist mõju tervisele.

Lisa E

Mõju lindudele ja mesilastele

Kuna neeldumine ja hajumine atmosfääris on maksimaalsed atmosfääris hõljuvatel objektidel, mille mõõtmed on võrreldavad lainepikkusega (Lisa A), ja kiirgusenergia kontsentreerub just väikestes objektides (Lisa B), võib arvata, et kiirguse mõju on kõige tugevam just neile objektidele: putukatele millimeeterlainetel ja lindudele sentimeeter-detsimeeterlainetel.

Linnusulgede uuringud sagedustel 10 – 16 GHz on näidatud, et suled käituvad kui kiirguse vastuvõtjad ja neis tekib kiirguse modulatsioonisagedusega madalsageduslik vool (Bigu-del-Blanco and J., Romero-Sierra, C. 1975 a.b). Linnud tõenäoliselt tunnevad kiirgusväljas ebamugavust ja lahkuvad.

Elektromagnetkiirguse mõju lindulele on uuritud alates 1960-ndatel aastatest kaasates nii laboratoorseid kui väliuuringuid (Bryan and Gildersleeve, 1988).

Ülevaade elektromagnetkiirguse diapsoonis 10 MHz kuni 3,6 GHz mõju uurimise tulemustest sisaldab 26 uuringut lindudest, mõju leitud 18-s, 17 uuringut putukatest (mesilased, äädikakärbsed ja sipelgad), mõju leitud 15-s ja 16 uuringut taimedest, nendest mõju leitud 12-s (Cucurachi jt, 2013). Enamus uuringutest on laboratoorsed, väliuuringuid on üksikuid.

Laboratoorsed uuringud on näidanud suurenenud suremust ja kõrvalekaldeid embrüo arengus nii nõrga kui soojuslikust piirist tugevama kiirguse puhul. Kõrvalekalded normaalsest käitumisest ja paljunemise vähenemine ilmnesid kõigis uuringutes.

Kõik viis välisuuringut näitavad haudelindude asustustiheduse ja populatsiooni vähenemist elektromagnetkiirgusega ka siis, kui see ei ületanud kiirgusnorme.

Belgias tehtud uuring sagedustel 900 ja 1800 GHz kuues piirkonnas GSM mobiilimasti ümbruses näitas, et koduvarblaste arv oli statistiliselt olulises negatiivses seoses vaäjatugevusega (Everaert and Bauwens, 2007).

Mikrolainekiirguse mõju uuringud mesilastele on näidanud töomesilaste ebatavalist käitumist, ruumilise orintatsiooni hälbeid, emanukkude vähenemist haudes, nukkude ja mesilaste suurend suremust (Favre, 2011; Darney jt, 2016; Kumar, 2018; Odemer ja Odemer, 2019). Ka mesilasperede hukkumist on seostatud elektromagnetkiirguse mõjuga.

Kõik uuringud on tehtud detsimeeterlainete diapsoonis. Ei leidnud andmeid millimeeterlainetel tehtud eksperimentaaluuringutest.

Electromagnetkiirguse mõju võrdlus inimestel ja loomadel (Lisa C) mõjuga lindudele ja mesilastele näitab et

- Kiirguse mõju lindudele ja mesilastele on tugevam, ilmnevad massilised käitumishäireid, palju suurem osa elusolenditesst on mõjutatud kiirgusest. Mõju käitumisele või suremusele uuringutes välitingimustes inimestel ja loomadel (Lisa C) ei ole täheldatud.
- Kõigi elusolendite puhul mõjutab elektromagnetkiirgus tugevalt paljunemise füsioloogiat ja tulemuslikkust.

Viited

- Abramson MJ¹, Benke GP, Dimitriadis C, Inyang IO, Sim MR, Wolfe RS, Croft RJ. 2009. Mobile telephone use is associated with changes in cognitive function in young adolescents. *Bioelectromagnetics*. ;30(8):678-86. doi: 10.1002/bem.20534.
- Adair RK. 2002. Vibrational resonances in biological systems at microwave frequencies. *Biophys. J.* 82: 1147-1152.
- Adams JA¹, Galloway TS¹, Mondal D¹, Esteves SC², Mathews F. 2014. Effect of mobile telephones on sperm quality: a systematic review and meta-analysis. *Environ Int.* 70:106-12. doi: 10.1016/j.envint.2014.04.015.
- Adey WR 1979. Neurophysiologic effects of radiofrequency and microwave radiation. *Bull N Y Acad Med.* 55(11):1079-93.
- Adey WR, Bawin S, Lawrence AF. 1982. Effects of weak amplitude-modulated microwave fields on calcium efflux from awake cat cerebral cortex. *Bioelectromagnetics* 3:295-307.
- Agarwal A, Deepinder F, Sharma RK et al. 2008 Effect of cell phone usage on semen analysis in men attending infertility clinic: an observational study. *Fertility and Sterility* 89, 124–128.

- Aitken RJ 1999 The Amoroso Lecture. The human spermatozoon – a cell in crisis? *Journal of Reproduction and Fertility* 115, 1–7.
- Aitken RJ, L. E. Bennetts, Sawyer D *et al.* 2005 Impact of radio frequency electromagnetic radiation on DNA integrity in the male germline. *International Journal of Andrology* 28, 171–179.
- Aldad TS, Gan G, Gao XB, Taylor HS. 2012. Fetal radiofrequency radiation exposure from 800-1900 mhz-rated cellular telephones affects neurodevelopment and behavior in mice. *Sci Rep.* ;2:312. doi: 10.1038/srep00312.
- Apollonio F, Liberti M, Paffi A, Merla C, Marracino P, Denzi A, Marino C, d’Inzeo G. 2013. Feasibility for microwaves energy to affect biological systems via nonthermal mechanisms: a systematic approach. *IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques* 61:2031-2045.
- Appeal 2017. Scientists warn of potential serious health effects of 5G. Submitted by Rainer Nyberg Lennart Hardell, September 13, 2017. <http://www.5gappeal.eu/the-5g-appeal/>
- Aydin D, Feychting M, Schüz J, Andersen TV, Poulsen AH, Prochazka M, et al. 2011. Predictors and overestimation of recalled mobile phone use among children and adolescents. *Prog Biophys Mol Biol.*107:356–61.
- Belpomme D, Hardell L, Belyaev I, Burgio E, Carpenter DO. 2018. Thermal and non-thermal health effects of low intensity non-ionizing radiation: An international perspective. *Environ Pollut.*242:643-658. doi: 10.1016/j.envpol.2018.07.019.
- Belyaev I, Dean A, Eger H, Hubmann G, Jandrisovits R, Kern M, Kundi M, Moshhammer H, Lercher P, Müller K, Oberfeld G, Ohnsorge P, Pelzmann P, Scheingraber C, Thill R. EUROPAEM EMF Guideline 2016 for the prevention, diagnosis and treatment of EMF-related health problems and illnesses. *Rev Environ Health.* 2016 Sep 1;31(3):363-97. doi: 10.1515/reveh-2016-0011.
- Berg G, Spallek J, Schüz J, Schlehofer B, Böhler E, Schlaefer K, Hettinger I, Kunna-Grass K, Wahrendorf J, Blettner M; Interphone Study Group, Germany Occupational exposure to radio frequency/microwave radiation and the risk of brain tumors: Interphone Study Group, Germany. *Am J Epidemiol.* 2006 Sep 15;164(6):538-48.
- Bigu-del-Blanco, J., Romero-Sierra, C. 1975a. The properties of bird feathers as converse piezoelectric transducers and as receptors of microwave radiation. I. Bird feathers as converse piezoelectric transducers. *Biotelemetry* 2:341-353.
- Bigu-del-Blanco, J., Romero-Sierra, C. 1975b. The properties of bird feathers as converse piezoelectric transducers and as receptors of microwave radiation. II. Bird feathers as dielectric receptors of microwave radiation. *Biotelemetry* 2:354-364.
- Birks L, Guxens M, Papadopoulou E, Alexander J, Ballester F, Estarlich M, Gallastegi M, Ha M, Haugen M⁷, Huss A, Kheifets L, Lim H, Olsen J, Santa-Marina L, Sudan M, Vermeulen R, Vrijkotte T, Cardis E, Vrijheid M Maternal cell phone use during pregnancy and child behavioral problems in five birth cohorts. *Environ Int.* 2017 Jul;104:122-131. doi: 10.1016/j.envint.2017.03.024.
- Blank, M., Goodman, R., 1999. Electromagnetic fields may act directly on DNA. *J. Cell.Biochem.* 75, 369-374.
- Blank M, Goodman R. 2009. Electromagnetic fields stress living cells. *Pathophysiology*16:71–78.
- Blank M, Goodman R. 2011. DNA is a fractal antenna in electromagnetic fields, EMF. *Int. J. Radiation Biol* 87: 409-15.
- Blank, M., Goodman, R., 2011a. Electromagnetic fields stress living cells. *Pathophysiology* 16, 71-78.
- Bryan TE¹, Gildersleeve RP, Effects of nonionizing radiation on birds. *Comp Biochem Physiol A Comp Physiol.* 1988;89(4):511-30.

- Burlaka A, Tsybulin O, Sidorik E, Lukin S, Polishuk V, Tsehmistrenko S, Yakymenko I. 2013. Overproduction of free radical species in embryonal cells exposed to low intensity radiofrequency radiation. *Exp Oncol.* Sep;35(3):219-25.
- Carlberg M, Söderqvist F, Hansson Mild K, Hardell L. 2013. Meningioma patients diagnosed 2007--2009 and the association with use of mobile and cordless phones: a case--control study. *Environ Health.* 12(1):60. doi: 10.1186/1476-069X-12-60
- Cucurachi S, Tamis WLM, Vijver MG., Peijnenburg WJGM, Bolte JFB, de Snoo GR.2013. A review of the ecological effects of radiofrequency electromagnetic fields. *Environment International* 51:116–140
- Darney, K., Giraudin, A., Joseph, R. et al. 2016. Effect of high-frequency radiations on survival of the honeybee (*Apis mellifera* L. *Apidologie* 47: 703. <https://doi.org/10.1007/s13592-015-0421-7>
- Divan HA¹, Kheifets L, Obel C, Olsen J. 2012. Cell phone use and behavioural problems in young children. *J Epidemiol Community Health.*66(6):524-9. doi: 10.1136/jech.2010.115402.
- Everaert J, Bauwens. A 2007. Possible Effect of Electromagnetic Radiation from Mobile Phone Base Stations on the Number of Breeding House Sparrows (*Passer domesticus*) *Electromagnetic Biology and Medicine*, 26: 63–72, DOI: 10.1080/15368370701205693
- Foster KR, Schwan H. 1995. Dielectric properties of tissues. In C.Polk and E. Postow, eds. *Handbook of biological effects of electromagnetic fields*. Boca Raton, FL: CRC Press, pp 25–102.
- Gabriel C, Gabriel S, Corthout E. 1996a. The dielectric properties of biological tissues: I. Literature survey. *Phys Med Biol* 41:2231–2249.
- Gabriel S, Law RW, Gabriel C. 1996b. The dielectric properties of biological tissues: II. Measurements in the frequency range 10 Hz to 20 GHz. *Phys Med Biol* 41:2251–2269.
- Galema SA. 1997. Microwave chemistry. *Chem Soc Rev.* 26:233-238.
- Gandhi OP, Riaz A. 1986. Absorption of millimeter waves by human beings and its biological implications. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques.* MTT-34(2):228-235.. <http://bit.ly/2oS3rKD>
- Falcioni L, Bua L, Tibaldi E, Lauriola M, De Angelis L, Gnudi F, Mandrioli D, Manservigi M, Manservigi F, Manzoli I, Menghetti I, Montella R, Panzacchi S, Sgargi D, Strollo V, Vornoli A, Belpoggi F. Report of final results regarding brain and heart tumors in Sprague-Dawley rats exposed from prenatal life until natural death to mobile phone radiofrequency field representative of a 1.8 GHz GSM base station environmental emission. *Environ Res.* 2018 Aug;165:496-503. doi: 10.1016/j.envres.2018.01.037.
- Favre, D. 2011 Mobile phone-induced honeybee worker piping. *Apidologie* 42, 270–279
- Hardell L, Carlberg M. 2019. Comments on the US National Toxicology Program technical reports on toxicology and carcinogenesis study in rats exposed to whole-body radiofrequency radiation at 900 MHz and in mice exposed to whole-body radiofrequency radiation at 1,900 MHz. *Int J Oncol.* 54(1):111-127. doi: 10.3892/ijo.2018.4606.
- Hasted JB. 1973. *Aqueous dielectrics*. London: Chapman and Hall. 302p.
- Hedendahl L, Carlberg M, Hardell L. 2015. Electromagnetic hypersensitivity--an increasing challenge to the medical profession. *Rev Environ Health.* 30(4):209-15. doi: 10.1515/reveh-2015-0012.
- Hinrikus H., Bachmann M., Lass J., Tomson R., Tuulik V. 2008a. Effect of 7, 14 and 21 Hz modulated 450 MHz microwave radiation on human electroencephalographic rhythms. *Int J Rad Biol* 84:69-79.

- Hinrikus, H., Bachmann, M., Lass, J., Karai, D., Tuulik, V. 2008b. Effect of low frequency modulated microwave exposure on human EEG: individual sensitivity. *Bioelectromagnetics*, 29, 527-538.
- Hinrikus H, Bachmann M, Lass J. 2011. Parametric mechanism of excitation of the electroencephalographic rhythms by modulated microwave radiation. *Int J Rad Biol* 87:1077-1085.
- Hinrikus H, Bachmann M, Lass J. 2018. Understanding physical mechanism of low-level microwave radiation effect. *Int J Radiat Biol*. 94(10):877-882. doi: 10.1080/09553002.2018.1478158.
- Hoz A, Díaz-Ortiz A, Moreno A. 2005. Microwaves in organic synthesis. Thermal and non-thermal microwave effects. *Chem Soc Rev* 34:164-178.
- IARC 2013. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Nonionizing Radiation, Part 2: Radiofrequency Electromagnetic Fields Lyon, France, IARC Press. 102: 1-406.
- ICNIRP Guidelines. 1998. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). *Health Physics* 74: 484-522.
- ICNIRP Guidelines 2018. Draft. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (100 kHz to 300 GHz) International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection.
https://www.icnirp.org/cms/upload/consultation_upload/ICNIRP_RF_Guidelines_PCD_2018_07_11.pdf
- INTERPHONE Study Group. 2010. Brain tumour risk in relation to mobile telephone use: results of the INTERPHONE international case-control study. *International Journal of Epidemiology*. 39 (3): 675–694. doi:10.1093/ije/dyq079.
- Juutilainen J, Höytö A, Kumlin T, Naarala J. 2011. Review of possible modulation-dependent biological effects of radiofrequency fields. *Bioelectromagnetics* 32: 511-534.
- Kumar S. 2018. Colony Collapse Disorder (CCD) in Honey Bees Caused by EMF Radiation. *Bioinformation*. 14(9):421-424. doi: 10.6026/97320630014521. eCollection 2018.
- Lai, H. 2005. Biological Effects of Radiofrequency Electromagnetic Field. *Encyclopedia of Biomaterials and Biomedical Engineering* DOI: 10.1081/E-EBBE-120041846 Taylor & Francis.
- Lass J, Tuulik V, Ferenets R, Riisalo R, Hinrikus H. 2002. Effects of 7 Hz-modulated 450 MHz electromagnetic radiation on human performance in visual memory tasks. *Int J Radiat Biol*. 2002 Oct;78(10):937-44.
- Le Pogam P, Le Page Y, Habauzit D, Doué M, Zhadobov M, Sauleau R, Le Dréan Y, Rondeau D. 2019. Untargeted metabolomics unveil alterations of biomembranes permeability in human HaCaT keratinocytes upon 60 GHz millimeter-wave exposure. *Sci Rep.*;9(1):9343. doi: 10.1038/s41598-019-45662-6. Open access paper: <https://www.nature.com/articles/s41598-019-45662-6>
- Leszczynski D, Joenväärä S, Reivinen J, Kuokka R. 2002. Non-thermal activation of the hsp27/p38MAPK stress pathway by mobile phone radiation in human endothelial cells: molecular mechanism for cancer- and blood-brain barrier-related effects. *Differentiation*. 70(2-3):120-9
- Leszczynski D, de Pomerai D, Koczan D, Stoll D, Franke H, Albar JP. 2012. Review Five years later: The current status of the use of proteomics and transcriptomics in EMF research. *Proteomics* 12: 2493–2509.
- Lin-Liu., Adey,WR. 1982 Low frequency amplitude modulated microwave fields change calcium efflux rates from synaptosomes. *Bioelectromagnetics*, 3:309-322.
- Lipman RM, Tripathi BJ, Tripathi RC. 1988. Cataracts induced by microwave and ionizing radiation. Surv Ophthalmol. 1988 Nov-Dec;33(3):200-210.

- Miller AB, Morgan LL, Udasin I, Davis DL. 2018. Cancer epidemiology update, following the 2011 IARC evaluation of radiofrequency electromagnetic fields (Monograph 102). *Environ Res.* 167:673-683. doi: 10.1016/j.envres.2018.06.043. Epub 2018 Sep 6.
- Milroy WC, Michaelson SM. 1972. Microwave cataractogenesis: a critical review of the literature. *Aerosp Med.* 43(1):67-75.
- Momoli F, Siemiatycki J, McBride ML, Parent MÉ, Richardson L, Bedard D, Platt R, Vrijheid M, Cardis E, Krewski D. 2017. Probabilistic Multiple-Bias Modeling Applied to the Canadian Data From the Interphone Study of Mobile Phone Use and Risk of Glioma, Meningioma, Acoustic Neuroma, and Parotid Gland Tumors. *Am J Epidemiol.* 186(7):885-893. doi: 10.1093/aje/kwx157.
- Nittby H, Grafström G, Eberhardt JL, Malmgren L, Brun A, Persson BR, Salford LG. 2008. Radiofrequency and extremely low-frequency electromagnetic field effects on the blood-brain barrier. *Electromagn Biol Med.* 27(2):103-26. doi: 10.1080/15368370802061995.
- NTP 2016. Report of partial findings from the National Toxicology Program Carcinogenesis studies of cell phone radiofrequency radiation in Hsd: Sprague Dawley® SD rats (whole body exposures). Wyde M, Cesta M, Blystone C, Elmore S, Foster P, Hooth M, Kissling C, Malarkey D, Sills R, Stout M, Walker N, Witt K, Wolfe M, Bucher J. <http://dx.doi.org/10.1101/055699>.
- Odemer R, Odemer F. 2019. Effects of radiofrequency electromagnetic radiation (RF-EMF) on honey bee queen development and mating success. *Sci Total Environ.* 661:553-562. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.01.154. Epub 2019 Jan 15.
- Parliamentary Assembly. Council of Europe. 2011. Resolution 1815. The potential dangers of electromagnetic fields and their effect on the environment. <http://assembly.coe.int/nw/xml/XRef/Xref-XML2HTML-en.asp?fileid=17994>
- Pethig R. 1979. Dielectric and electronic properties of biological materials New York: John Wiley & Sons. 376 p.
- Regel SJ, Tinguely G, Schuderer J, Adam M, Kuster N, Landolt HP, Achermann P. 2007. Pulsed radio-frequency electromagnetic fields: dose-dependent effects on sleep, the sleep EEG and cognitive performance. *J Sleep Res.* 16(3):253-258.
- Rodina A, Lass J, Riipulk J, Bachmann T, Hinrikus H. 2005. Study of effects of low level microwave field by method of face masking. *Bioelectromagnetics.* 26(7):571-7
- Salford LG, Brun A, Stuesson K, Eberhardt JL, Persson BRR. 1994. Permeability of the blood-brain-barrier induced by 915 MHz electromagnetic-radiation, continuous wave and modulated at 8, 16, 50 and 200 Hz. *Microsc Res Tech* 6:535-542
- Sheppard AR, Swicord ML, Balzano Q. 2008. Quantitative evaluations of mechanisms of radiofrequency interactions with biological molecules and processes. *Health Phys.* 95:365-396.
- Stam R. 2010. Electromagnetic fields and the blood-brain barrier. *Brain Res Rev.* 65(1):80-97. doi: 10.1016/j.brainresrev.2010.06.001. Epub 2010 Jun 13.
- Suhhova A, Bachmann M, Karai, D, Lass J, Hinrikus H. 2013. Effect of microwave radiation on human EEG at two different levels of exposure. *Bioelectromagnetics* 34:264-274.
- Zhadobov M, Chahat N, Sauleau R, et al. 2011. Millimeter-wave interactions with the human body: state of knowledge and recent advances. *Int J Microw Wirel T*, 3:237-47.
- Zhadobov M, Alekseev SI, Le Dréan Y, et al. 2015. Millimeter waves as a source of selective heating of skin. *Bioelectromagnetics* 36:464-75

- Valentini E, Curcio G, Moroni F, Ferrara M, De Gennaro L, Bertini M. 2007. Neurophysiological effects of mobile phone electromagnetic fields on humans: a comprehensive review. *Bioelectromagnetics*. 28:415-432.
- Yu Y, Yao K. 2010. Non-thermal cellular effects of lowpower microwave radiation on the lens and lens epithelial cells. *J Int Med Res*. 38(3):729-736.