

Tallinna Tehnikaülikool

Projekti 5GEMF1 lõpparuanne

Hinnang praegustele ja 5G kasutuselevõtmisega kaasnevatele võimalikele tervisemõjudele, mis on seotud mitteioniseeriva kiirgusega

Tallinn 2022

**TAL
TECH**

Tellija: Eesti Vabariigi Sotsiaalministeerium

Rahastaja: Eesti Vabariigi Majandus- ja kommunikatsiooniministeerium

Koostajad:

Maie Bachmann, PhD, projekti juht, Tallinna Tehnikaülikool, infotehnoloogia teaduskond, tervisetehnoloogiate instituut

Hiie Hinrikus, PhD, DSc, Tallinna Tehnikaülikool, infotehnoloogia teaduskond, tervisetehnoloogiate instituut

Tarmo Koppel, PhD, Tallinna Tehnikaülikool, majandusteaduskond, ärikorralduse instituut

Jaanus Lass, PhD, Tallinna Tehnikaülikool, infotehnoloogia teaduskond, tervisetehnoloogiate instituut

Hans Orru, PhD, Tartu Ülikool, meditsiiniteaduste valdkond, peremeditsiini ja rahvatervise instituut

Priit Roosipuu, MSc, Tallinna Tehnikaülikool, infotehnoloogia teaduskond, elektroonika instituut

Projekti juht: Maie Bachmann

(allkirjastatud digitaalselt) _____

Kinnitaja: Maia-Liisa Anton, Tallinna Tehnikaülikooli teadusosakond

(allkirjastatud digitaalselt) _____

Kokkuvõte

Projekti „Hinnang praegustele ja 5G kasutuselevõtmisega kaasnevatele võimalikele terviseohtudele, mis on seotud mitteioniseeriva kiirgusega“ (5GEMF1) eesmärk on lähteülesandes formuleeritud järgmiselt: „Uuringu eesmärgiks on analüüsida avaldatud tõenduspõhiste uuringute tulemusi ning anda nende põhjal Eesti teadlaskonna poolt hinnang mitteioniseeriva kiirguse, sh mobiilside 5G võimalikest mõjudest tervisele ning sõltuvalt sellest ka sisend mitteioniseeriva kiirguse nõuete ajakohastamiseks. Lisaks on eesmärgiks mõõta (erijuhtudel modelleerida) aktuaalseid tasemeid ning määrata 'worst case' raadiokiirguse tasemed piisava valiku Eesti mobiilside-tugijaamade, sh 5G-tugijaamade lähialadel, et analüüsida raadiokiirgussituatsiooni avalikus ruumis.“

Vastavalt projekti 5GEMF1 (09.2021–08.2022) eesmärgile, jagunes töö projekti raames kolme ossa: esiteks, kirjanduse ülevaade ja normmaterjalide analüüs; teiseks, eksperimentaalne osa hõlmates mõõtmistel põhineva raadiokiirgussituatsiooni hinnangu ja simulatsiooni; ning kolmandaks, raadiokiirguse võimaliku terviseohtu hinnangud, ettepanekud terviseohtu vähendamiseks ja mitteioniseeriva kiirguse määruete ajakohastamiseks.

Kirjanduse ülevaade ja normdokumentide analüüs

Lähteülesanne sätestas projekti esimese osa sisu järgmiselt:

1) Vaja on ülevaadet faktipõhistest, sh WHO, ICNIRP, ITU jt rahvusvaheliste pädevate asutuste avaldatud uuringutest/soovitustest ning nendel tuginevat analüüsi ja järeldust 5G kasutuselevõtmisega kaasnevate võimalike terviseohtude osas, mis võivad olla seotud raadiokiirgussituatsiooni prognoositava muutusega. Tuleb esile tõsta meetmeid/ettepanekuid, mis võimaldavad raadiokiirguse võimalikku kahjulikku terviseohtu vältida/vähendada.

2) Analüüsida teiste EL riikide (vähemalt 4, sh 1-2 lähinaabrit) normatiivide põhjal (tervisekaitse kriteeriumid, piirväärtused) argumentatsiooni ja alusuuringute tulemusi rangemate või leebemate piirväärtuste kehtestamisel ning tendentse selles valdkonnas.

Teaduskirjanduse ülevaate koostamisel kasutati publikatsioonide leidmiseks EMF- Portal andmebaasi. Ülevaatega haarati nimuuringud aju füsioloogia, tunnetuse ja käitumise alal aastatel 2007 kuni 2021 ning samasuunalised rahvastikupõhised epidemioloogilised uuringud ja vähiuuringud.

Normdokumentide analüüsi osas lähtuti rahvusvaheliste pädevate institutsioonide nagu Maailma Terviseorganisatsiooni (WHO), Euroopa Parlamentaarne Assamblee (EP), Euroopa Komisjoni (EK) ja Rahvusvaheline Mitteioniseeriva Kiirguse Kaitse Komisjon (ICNIRP) viimase kümne aasta jooksul avaldatud ülevaadetest, suunistest ja soovitustest.

Teaduskirjanduse ülevaates haaratud ja analüüsitud eksperimentaalsed uuringuid raadiokiirguse mõju kohta inimese EEG-le, ERP-le, tunnetusele ja käitumisele olid tehtud mobiilside- ja raadiotehnoloogia 2G, 3G ja 4G põlvkondade tüüpilistes tingimustes sagedustel 450 – 2500 MHz viimase viieteistkümne aasta jooksul. Publikatsioonide otsing ei toonud välja

inimese EEG, ERP, tunnetuse ja käitumise uuringuid 5G osas ega ka raadiokiirguse sagedustel, mis on kõrgemad kui 2500 MHz.

Eksperimentaaluuringu analüüs näitas, et viimasil viieteistkümnel aastal raadiokiirguse mõju tuvastanud uuringud on tehtud domineerivas enamuses (44 uuringut 46-st, 95,7%) raadiokiirguse tasemetel, mis on allpool kehtivat piirnormi 2 W/kg.

Eksperimentaasete inimuuringute analüüs näitab, et

- madala tasemega raadiokiirguse toimeävi ei ole teada;
- mõju sõltub raadiokiirguse sagedusest ja tõenäoliselt väheneb sageduse tõusuga;
- oluline on signaali struktuur ja füsioloogilistele sagedustele lähedaste madalsageduslike komponentide olemasolu raadiokiirguse spektris;
- telekommunikatsioonitehnoloogia erinevad põlvkonnad (2G–4G) tekitavad sarnaseid mõjusid ajutegevusele; konkreetse erimõjuga seotud raadiosagedust ega signaalstruktuuri ei ole tuvastatud.

Käesoleval ajal puuduvad andmed 5G telekommunikatsioonisüsteemidega seotud raadiokiirguse mõjust inimese ajule. Kombineerides katsetulemuste andmeid olemasolevate teadmistega raadiokiirguse mõjude mehhanismide kohta, saab teha mõningaid järeldusi võimalike 5G mõjude kohta:

- raadiosagedustel, mis on madalamad kui 10 GHz (5G NR FR1), ei tohiks 5G mõjul olla põhimõttelisi erinevusi võrreldes eelmiste põlvkondadega;
- 5G NR FR1 signaali struktuur on sarnane 4G omaga, seetõttu peaksid ka võimalikud tervisemõjud olema sarnased;
- 5G kasutab kõrgemaid sagedusi kui 2G–4G, mistõttu mõju on pigem madalam kui eelmistel põlvkondadel;
- raadiosagedustel, mis on kõrgemad kui 10 GHz (5G NR FR2), võib mõjude mehhanism muutuda ja seega muutub võimaliku mõju iseloom ettearvamatuks;
- millimeeterlainete (5G NR FR2) mõju ei piirdu eeldatavalt ainult nahaga, vaid laieneb närvisüsteemi ergastuse kaudu.

Olemasolevad piiratud teadmised raadiokiirguse mõjude mehhanismi kohta ja eksperimentaalsete andmete puudulikkus millimeeterlainetel ei võimalda teha usaldusväärseid järeldusi 5G NR FR2 võimalike tervisemõjude osas.

Kõige paremini saab tervisemõju inimesele tõendada rahvastikupõhiste epidemioloogiliste uuringutega. Ent teaduskirjanduse analüüsis ilmnes, et rahvastikupõhistes uuringutes puudub hetkel ühene tõendus raadiokiirguse tervisemõjude või ohutuse kohta. Mõnedes epidemioloogilistes (peamiselt juht-kontroll) uuringutes on näidatud võimalikku kantserogeenset mõju (aju- ja süljenäärme vähi ning glüoomi ja akustiline neuroomi riski suurenemine), samas kui mitmetes teistes suuremates kohortuuringutes pole sarnane mõju ilmnud. Kõige enam on tõendust leidnud raadiokiirguse mõju erinevate neurofüsioloogiliste tervisesümptomite ja keskkonnatundlikkuse tekkele ning mõningane mõju meeste viljakusele.

Rahvusvaheliste pädevate institutsioonide nagu WHO, EP, EK, ja ICNIRP soovitusel tervisemõjude osas põhinevad soojuslikul mõjul ning epidemioloogilisel tõendusel. Soojusliku

mõju piiramine on kahtlemata oluline ja kehtestatud piirangud eeldatavalt asjakohased. Paraku on epidemioloogilistel uuringutel mitmeid piiranguid nagu: (1) kiirgusvaba võrdlusgruppi ei ole võimalik leida, (2) ebatäpsed andmed raadiokiirguse tasemetega kokkupuute kohta, ning (3) ebapiisavalt andmeid kaasuvate ohutegurite kohta, mis võivad niisamuti mõjutada tervist, neist ühte – raadiokiirgust – on äärmiselt keeruline eristada.

ICNIRP on oma hiljutistes soovitustes jäänud seisukohale, et praegused raadiokiirguse soojustuslikul mõjul põhinevas piirnormid on piisavad ja mitmed teised rahvusvahelised institutsioonid on järginud ICNIRPi soovitusi. Samas on oluline välja tuua, et paljudes eksperimentaalsetes ja ka osades epidemioloogilistes uuringutes tuvastatud mõjud on avaldunud raadiokiirguse tasemete juures, mis on oluliselt madalamad ICNIRP soovitatud piirväärtustest. Eksperimentaaluuringu andmebaasi analüüs näitas, et 46 uuringust, mis tuvastasid raadiokiirguse mõju, 44 olid tehtud kiirguse tasemetel alla ICNIRPi soovitatava piirväärtuse. Viimasel aastakümnel on ainult Euroopa Parlamentaarne Assamblee tungivalt soovitanud rakendada madalamaid piirväärtusi ja lähtuda ennetamise-ettevaatlikkuse printsiibist ning ALARA (*as low as reasonably achievable*) põhimõttest.

Erinevates Euroopa Liidu riikides kehtivad normatiivid järgivad ICNIRPi soovitusi lähtudes peamiselt poliitilistest otsustest normatiivide harmoniseerimiseks. Kehtivad normatiivid ei ole arvestanud raadiokiirguse mittesoojusliku mõju olemasolu, pikaajalist mõju ega ka vajadust nii kõrgete piirväärtuste järele. Käesoleval hetkel on Belgias ja Itaalias rangemad nõuded pikaajalistele raadiokiirguse rajatistele.

Rahvastikupõhiste uuringute tulemuste ebamäärasusest tingituna rõhutavad kõik rahvusvahelised organisatsioonid uuringute vähesust ja vajadust täiendavate uuringute järele. Kuigi Maailma Terviseorganisatsioon on alustanud uute süstemaatiliste ülevaadete koostamisega, Euroopa Parlament avaldamas uusi ülevaateid ja Euroopa Komisjoni rahastamas uusi teadusuuringuid, ei too see tõenäoliselt suurt muutust seisukohtades, mis tuginevad epidemioloogilistel uuringutel.

Eksperimentaalsed uuringud ja simulatsioon

Lähteülesandes on eesmärgiks seatud mõõta (erijuhtudel modelleerida) aktuaalseid tasemeid ning määrata 'worst case' raadiokiirguse tasemed piisava valiku Eesti mobiilsidetugijaamade, sh 5G-tugijaamade lähialadel, et analüüsida raadiokiirgussituatsiooni avalikus ruumis.

Raadiokiirguse tase keskkonnas määratakse kõigil sagedusaladel vabalevi kasutatavate raadioringhäälingu, televisiooni ja telekommunikatsiooni süsteemide kiirgusega. Sellepärast ei piiratud projektis mõõtmistega kõrgematel telekommunikatsiooni sagedusaladel, vaid kaasati ka mõõtmised madalamatel raadioringhäälingu ja TV sagedusaladel.

Raadiokiirgussituatsiooni hinnati johtuvalt statistilise analüüsi tulemustest lähtudes kõikidest mõõtetulemustest, mitte üksikmõõtmiste geograafilisest jaotusest. Selline lähenemine annab oluliselt usaldusväärsema tulemuse, kuna raadiokiirguse tase on dünaamiline, muutub pidevalt ajas sõltuvalt baasjaamade koormusest jt teguritest. Sellepärast ühekordne mõõtmine mingis asukohas, mis oli eeldatud ja ainsana võimalik antud projekti raames, ei annaks adekvaatset pilti kiirgustasemest. Ka on üksikmõõtmiste mõõtemääramatus suur. Statistilise

analüüsi puhul, tänu suure arvu erinevate sõltumatute mõõtmiste tulemuste kaasamisele, üksiku mõõtmise mõõtemääramatus tulemust praktiliselt ei mõjuta.

Mõõtmised viidi läbi perioodil 20.01–26.02.2022. Raadiokiirgussituatsiooni hindamiseks tehti Eestis 602 raadiokiirguse taseme mõõtmist üheksal erineval sagedusalal 170 erinevas asukohas (suuremad ja väiksemad Eesti linnad, asulad maapiirkondades) ja halvima juhu arvutisimulatsioonid. Kuna mõõtmiste perioodil ei olnud Eestis ühtki 5G sagedustel töötavat tugijaama, on 5G mõju hindamisel raadiokiirguse tasemele kasutatud Lõuna-Koreas hiljuti tehtud mõõtmiste tulemusi, kus töötavad tuhanded 5G tugijaamad.

Projekti käigus erinevates asukohtades tehtud 602 mõõtmise tulemuste statistiline analüüs võimaldab teha rida järeldusi, mis on olulised määruse kaasajastamise aspektist:

- raadioringhäälingu sagedusala keskmine kiirgustase on Eestis madalam, aga samas suurusjärgus telekommunikatsiooni sagedusalade keskmine kiirgustasemega – võimsustiheduse maksimum ulatub 53% summaarse kiirgusvälja maksimumist;
- 95% tõenäosusega ei ületa raadiokiirguse summaarne väljatugevus 0,97 V/m ja võimsustihedus 2,49 mW/m²;
- kõige kõrgem on raadiokiirguse keskmine tase linnakeskustes 1,32 V/m (4,62 mW/m²), mis on heas kooskõlas kiirguse tasemega Lõuna-Korea suurlinnades 1,85 V/m, kus mõõtmistel ka 3,6–3,8 GHz sagedusala oli kaasatud;
- vanema generatsiooni telekommunikatsioonitehnoloogia (2G, 3G) kasutamisega kaasneb umbes kaks korda kõrgem kiirguse võimsustihedus kui uuema 4G puhul. See näitab uuema põlvkonna tehnoloogia ökonoomsemat kiirgusvõimsuse kasutamist ja võimekust tagada kvaliteetne side nõrgema kiirgustaseme juures.

Halvima juhu '*worst case*' modelleerimiseks kasutati Matlabi Antenna ja Phased Array System Toolboxe, mis võimaldavad '*worst case*' simulatsiooni lahendada kaasates ka 5G simulatsiooni. Simulatsiooni (kolm mõnesaja meetri ulatuses paiknevat tugijaama, igas kolm operaatorit, kes kõik samaaegselt kasutavad maksimaalvõimsusel kolme erinevat sagedust) tulemused toetavad mõõtetulemuste statistilise analüüsi järeldusi:

- simulatsioon näitab sagedusalades 1800 MHz ja 2600 MHz 4G LTE (kolm operaatorit) väljatugevuse 5,74 V/m (86,2 W/m²), kolme tugijaama peale kokku 8,58 V/m (193 W/m²);
- simuleeritud halvim juhul on kõige ekstreemsem ja mitteotstarbekam, mis praktiliselt kunagi ei tohiks realiseeruda. Sellist juhust peavad piirnormid välistama, kuigi operaatorid ilmselt sellist variant kunagi ei kasutakski;
- 5G NR raadiokiirguse tase on palju väiksem 4G LTE kiirguse tasemest ja moodustab keskmiselt 15% kogu kiirguse võimsustihedusest (12% väljatugevusest). See tulemus langeb hästi kokku mõõtmiste tulemusega, mis on tehtud Lõuna-Koreas, kus on tuhandeid töötavaid 5G tugijaamu.

Raadiokiirguse võimaliku tervisemõju hinnang ja ettepanekud tervisemõju vähendamiseks ning mitteioniseeriva kiirguse määrase nõuete ajakohastamiseks

Mitteioniseeriva raadiokiirguse tervisemõju mudelite puhul tuleb rääkida kahest toimetudelist: raadiokiirguse soojusliku mõju mudelist ja nõrga raadiokiirguse mittesoojusliku mõju mudelist. ICNIRP juhised põhinevad soojusliku mõju mudelil. Soojusliku mõju mudel on lävendiga mudel, mis eeldab mõju seost neeldunud EMV võimsusega. Soojusliku mõju mudelil põhinevad ka Eestis kehtivad tervisekaitse normatiivid. EMV mittesoojusliku mõju mudel kirjeldab nõrga, temperatuuri tõusu mitte tekitava raadiokiirguse mõju. Raadiokiirguse otsene mittesoojuslik mõju on seotud koherentse elektromagnetvälja väljatugevusega. Mittesoojusliku mõju mudel on lävendita mudel.

Raadiokiirguse taseme piirangud seoses võimaliku tervisemõjuga peavad arvestama nii soojuslikku kui mittesoojuslikku mõju. Teaduslikult põhjendatud lävendi puudumise tõttu saab lävendit hinnata ainult kaudsete kriteeriumide alusel. Selleks võib olla kas 1) minimaalne raadiokiirguse tase, mille puhul on tuvastatud bioloogilise mõju, või 2) pikaajalise raadioringhäälingu sagedusala kiirguse tase, kuna selle puhul ei ole märgatud terviseriski suurenemist.

Arvesse võttes nii raadiokiirguse taseme mõõtetulemusi kui ka halvima juhu simulatsiooni, leidsime, et 6 V/m ($0,1 \text{ W/m}^2$) on tase, mis peaks tagama raadiokiirguse tervisemõju minimaalse tõenäosuse seejuures mitte piirates tehnoloogilisi rakendusi ega tehnoloogia arengut. See tase on mõnevõrra kõrgem, aga samas suurusjärgus kui eksperimentaalsetes uuringutes täheldatud minimaalne bioloogilise mõju tasemega 2,45 V/m. Võimsustihedus $0,1 \text{ W/m}^2$ on ka raadioringhäälingu kiirguse tase 99% elanike jaoks USA suurlinnades 1979. aastal, seega sellise kiirgustasemega on inimesed kohanenud ja sellele ei kaasne märgatavat terviseriski tõusu.

Terviseriski ei ole võimalik täielikult vältida sidudes seda raadiokiirguse mõju lävendiga, kuna nii bioloogilise kui ka tervisemõju lävend põhimõtteliselt puudub. Seega ei ole võimalik tagada, et raadiokiirguse tasemetel alla 6 V/m tervisemõju puudub, aga selle tõenäosus on väike, arvestades inimkonna pikaajalist elukogemust raadioringhäälingu väljas, mille maksimaalväärtused on samas suurusjärgus. Raadiokiirguse mõju sageduse tõusuga põhimõtteliselt väheneb, seega võib eeldada, et telekommunikatsiooni sagedustel on sama piirangu taseme puhul kiirguse mõju väiksem kui raadioringhäälingu sagedustel. Raadioringhäälingu sageduste kiirgustaseme põhjal valitud lävend tagab telekommunikatsiooni sagedusalal minimaalse terviseriski.

Teaduslikult põhjendatud järeldused-soovitused on võimalikud sagedusdiapasoonis kuni 10 GHz. Millimeeterlainete alal usaldusväärsed teadmised puuduvad.

Põhimõtteliselt peaks raadiokiirguses viibimise kestus olema piirangutes arvestatud. Elanikkonna normatiivide puhul tuleb silmas pidada, et tänapäeval viibivad inimesed raadiokiirguses pidevalt, seega normatiive kiirguses viibimise ajaga siduda ei saa. Küll on võimalik terviseriski minimiseerida sidudes tervisekaitse piirväärtused kiirguse tasemega, mille puhul pika toimeaja jooksul ei ole märgatud olulist tervisemõju (raadioringhäälingu kiirgustase).

Elanikkonna terviseriski vähendamiseks tuleb lähtuda ennetuse-ettevaatlikkuse põhimõttest, kasutades kõiki võimalikke meetmeid, et vähendada raadiokiirguse taset ja samaaegselt tagada raadiokiirgust kasutatavate seadmete kasutus – ALARA printsiip. Selleks tuleb kasutada nii teavitust, riskirühmade kaitset, kui ka tehnoloogilisi lahendusi. On tervisesõbralikum kasutada kaabelühendusi, kui mobiilsust pole vaja tagada. Tehnoloogia arenguga kaasnev vanemate generatsioonide (2G, 3G) väljalülitamine vähendab oluliselt raadiokiirguse taset. Et võimalikku terviseriski ja kiirgustaset alandada, tuleb liikuda mitte uuemate generatsioonide (5G) keelustamise, vaid just vanemate generatsioonide väljavahetamise suunas.

Lähtudes ülaltoodust, on ettepanekud Sotsiaalministri määruse „Nõuded mitteioniseeriva kiirguse ohutuse tagamiseks elukeskkonnas ning mitteioniseeriva kiirguse tasemete mõõtmise meetodid“ kavandi muutmiseks järgmised:

- erineelduvus ja erineelduvuskiirus (SAR) ei ole kohased ega vajalikud kasutamiseks elukeskkonnas;
- baaspiirang ei ole rakendatav ega vajalik kiirgustaseme kontrollimisel elukeskkonnas
- kehtestada sagedusalal 10 MHz kuni 10 GHz piirväärtusteks elektrivälja tugevus 6 V/m ja võimsustihedus 0,1 W/m²;
- raadiokiirguse taseme kontrollimiseks elukeskkonnas saab ja tuleb kasutada mõõtetehnikas kasutatavaid ja aktsepteeritud meetodeid.

Projekti tulemused on osaliselt avaldatud artiklites:

Hinrikus H, Lass J, Bachmann M. Threshold of radiofrequency electromagnetic field effect on human brain. *Int. J. Radiation Biology*, 2021, VOL. 97, NO. 11, 1505-1515. <https://doi.org/10.1080/09553002.2021.1969055>

Hinrikus H, Koppel T, Lass J, Orru H, Roosipuu P, Bachmann M. Possible health effects on the human brain by various generations of mobile telecommunication: a review based estimation of 5G impact. *Int. J. Radiation Biology*, 2022, VOL. 98, NO. 7, 1210–1221. <https://doi.org/10.1080/09553002.2022.2026516>

Summary

The goal of the Project "Assessment of the current and associated with the implementation of 5G possible health effects, which are related to non-ionizing radiation" (5GEMF1) is formulated in the Project's task as follows: "The purpose of the study is to analyse the results of published evidence-based studies and, based on them, to give an assessment by the Estonian scientific community of the possible effects of non-ionizing radiation, including mobile communication 5G effects on health and, depending on this, input for updating the requirements of non-ionizing radiation. The additional goal is to measure (in special cases, model) current levels and determine worst case radiofrequency radiation levels in the vicinity of a sufficient selection of Estonian mobile communication base stations, including 5G base stations, in order to analyse the radiofrequency radiation (RFR) situation in public areas."

According to the goal of the Project (from September 2021 to August 2022), the work within the project is divided into three parts: first, literature review and analysis of normative materials; secondly, the experimental part including the assessment and simulation of the RFR situation based on measurements; and thirdly, assessments of the possible health effects of RFR, proposals for reducing health effects and updating the requirements of the regulation on non-ionizing radiation.

Literature review and analysis of normative documents

According to the Project's task, the aims of the first part of the Project are following:

1) A review of evidence-based research and recommendations published by international competent authorities, including WHO, ICNIRP, ITU and others, is needed, as well as an analysis and conclusion based on these regarding the possible health effects associated with the introduction of 5G, which may be related to the predictable change in the radiofrequency radiation situation. Measures/proposals that allow to avoid/reduce the possible harmful health effects of exposure by radiofrequency radiation should be highlighted.

2) Based on the norms of other EU countries (at least 4, including 1-2 close neighbors) and the results of basic research to analyse the argumentation in establishing stricter or lenient limit values (health protection criteria, limit values) and tendencies in this field.

The EMF-Portal database was used to find publications for the review of scientific literature. The review included *in vivo* human studies in brain physiology, cognition, and behaviour from 2007 to 2021, as well as epidemiologic (incl. cancer) studies in the same period.

The analysis of normative documents was based on reviews, guidelines and recommendations published by competent international institutions such as the World Health Organization (WHO), the European Parliamentary Assembly (EP), the European Commission (EC) and the International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) over the last ten years.

The experimental studies on the effect of RFR on the human EEG, ERP, cognition and behaviour analysed in the review of the scientific literature were carried out under typical

conditions of the 2G, 3G and 4G generations of mobile communication technology at frequencies of 450 - 2500 MHz during the last fifteen years. A search of publications did not reveal human EEG, ERP, cognition, and behaviour studies for 5G, nor for frequencies higher than 2500 MHz.

The analysis of experimental studies showed that the studies that identified the effects of RFR in the last fifteen years were conducted in the dominant majority (44 out of 46 studies, 95.7%) at radio radiation levels below the current limit of 2 W/kg.

Analysis of experimental human studies shows that

- the threshold of low-level RFR is not known;
- the effect depends on the frequency of the RFR and the effect probably decreases with increasing frequency;
- the structure of the signal and the presence of low-frequency components close to physiological frequencies in the spectrum of RFR are important;
- different generations of telecommunication technology produce similar effects on brain activity; no radio frequency nor signal structure associated with a specific special effect has been identified.

Currently, there are no data on the effect of RFR related to 5G telecommunication systems on the human brain. However, by combining the data from the research results with the existing knowledge about the mechanisms of the effects of RFR, some conclusions can be drawn about the possible effects of 5G:

- at radio frequencies lower than 10 GHz (5G NR FR1), the impact of 5G should not have fundamental differences compared to previous generations;
- 5G uses higher frequencies than 2G-4G, so the impact is rather lower than in previous generations;
- The structure of the 5G NR FR1 signal is similar to that of 4G, therefore the potential health effects should also be similar;
- at radio frequencies higher than 10 GHz (5G NR FR2), the mechanism of effects may change and thus the nature of possible effects becomes unpredictable;
- the effect of millimetre waves (5G NR FR2) is not limited to the skin, but extends through the excitation of the nervous system.

The limited knowledge available about the mechanism of RFR effects and the lack of experimental data at millimetre waves do not allow reliable conclusions about the possible health effects of 5G NR FR2.

Human health effects can be detected using population-based studies. However, the analysis of the scientific literature revealed that there is currently no single evidence of the health effects or safety of RFR in population-based studies. Some epidemiological (mainly case-control) studies have shown a possible carcinogenic effect (increased risk of brain and salivary gland cancer and glioma and acoustic neuroma), while several other larger cohort studies have shown no effect. The most evidenced is the effect of RFR on the development of various neurophysiological health symptoms and environmental sensitivity, as well as some effect on male fertility.

The recommendations of international competent institutions such as WHO, EP, EC, and ICNIRP regarding health effects are based on thermal effects and epidemiological evidence. Limitation of thermal effects is undoubtedly important and the established restrictions are appropriate in this aspect. Unfortunately, epidemiological studies have several limitations such as: (1) it is not possible to find a radiation-free comparison group, (2) inaccurate data on the level of RFR, and (3) insufficient data on concomitant factors that can also affect health; one of them - RFR - is extremely difficult to be distinguished.

ICNIRP has maintained in its recent recommendations that the current limit values based on the thermal effect of RFR are sufficient. Many other international institutions have followed the ICNIRP recommendations. At the same time, it is important to point out that the effects detected in many experimental and also in some epidemiological studies have been detected at RFR levels that are significantly lower than the limit values recommended by ICNIRP. An analysis of the Experimental Studies Database created in the Project showed that of the 46 studies that identified exposure to RFR, 44 were conducted at radiation levels below the limits recommended by ICNIRP. Only the European Parliamentary Assembly has strongly recommended the application of lower limit values and the implementation of prevention-precautionary approach and the ALARA (as low as reasonably achievable) principle.

The regulations in force in different countries of the European Union follow ICNIRP's recommendations based mainly on political decisions to harmonize regulations. Current regulations have not considered the existence of non-thermal effects of RFR, the long-term effects, nor the need for such high limit values. Currently, Belgium and Italy have stricter requirements for long-term RFR radiation facilities.

Due to the uncertainty of the results of population-based studies, all international organizations emphasize the lack of knowledge and the need for additional studies. Although the World Health Organization has started to prepare new series of systematic reviews, the European Parliament is publishing new reviews, and the European Commission is funding new research, it is unlikely to bring much change in the positions based on epidemiological studies.

Experimental studies and simulation

According to the Project's task, the aim is to measure (in special cases, model) the current levels and determine the worst case radiofrequency radiation levels in the vicinity of a sufficient selection of Estonian mobile communication base stations, including 5G base stations, in order to analyse the radiofrequency radiation situation in public areas.

The level of RFR in the environment is determined by the radiation of all frequency bands using free propagation, including radio broadcasting, television and telecommunication systems. That is why the measurements in the Project were not limited to higher telecommunication frequency bands, but also included measurements in lower radio broadcasting and TV frequency bands.

The RFR situation was assessed based on the results of the statistical analysis of all measurement results, not on the geographical distribution of individual measurements. This approach gives a more reliable result, since the level of RFR is dynamic, constantly changes over

time depending on the load of the base stations and other factors. Therefore, a one-time measurement in a certain location, which was presumed and the only one possible within the Project, does not give an adequate picture of the radiation level. The measurement uncertainty of a single measurement is large. In statistical analysis, thanks to the inclusion of the results of a large number of different independent measurements, the measurement uncertainty of a single measurement practically does not affect the result.

The measurements were carried out in the period 20.01-26.02.2022. In order to assess the RFR situation in Estonia, 602 measurements were made in nine different frequency bands in 170 different locations (larger and smaller cities, settlements in rural areas) and computer simulations of the worst case was done. During the measurement period, there was not a single base station operating on 5G frequencies in Estonia. That is why the results of measurements recently made in South Korea, where thousands of 5G base stations are operating, have been used in evaluating the impact of 5G on RFR levels.

The statistical analysis of the results of 602 measurements made in different locations during the project allows to draw a series of conclusions that are important from the aspect of modernization of the regulation:

- The average radiation level of the radio broadcasting frequency band is lower, but in the same order of magnitude as the average radiation level of telecommunication frequency bands, but the maximum of its power density reaches 53% of the maximum of the total radiation field.
- With a probability of 95%, the total field strength of the radiation does not exceed 0.97 V/m and the power density does not exceed 2.49 mW/m².
- The highest average level of RFR of 1.32 V/m (4.62 mW/m²) is in urban centers, which is in good agreement with the radiation level in South Korean much bigger cities of 1.85 V/m, where also 5G band 3.6-3.8 GHz was included.
- The use of older generation telecommunication technology (2G, 3G) uses approximately twice higher radiation power density than the newer 4G. This demonstrates the more economical use of radiation power by the newer generation technology and the ability to ensure high-quality communication at a lower radiation level.

Matlab Antenna and Phased Array System Toolboxes were used to model the worst case, which enable the simulation to be solved including 5G simulation. The results of the simulation (three base stations located a few hundred meters apart, each with three operators who all simultaneously use three different frequencies at maximum power) support the conclusions of the statistical analysis of the measurement results:

- The simulation shows a field strength of 5.74 V/m (86.2 W/m²) in the frequency bands 1800 MHz and 2600 MHz 4G LTE (three operators), a total of 8.58 V/m (193 W/m²) over three base stations. The simulated worst case is the most extreme and impractical, which should practically never materialize. Such a case must be ruled out by the limit norms, although the operators would probably never use such an option.

- The level of 5G NR radio radiation is much lower than the level of 4G LTE radiation and forms an average of 1.5% of the total radiation power density (12% of the field strength). This result coincides well with the result of measurements made in South Korea (15% of field strength), where there are thousands of working 5G base stations.

Assessment of the possible health effects of RFR and proposals for reducing the health effects and updating the requirements of the regulation on non-ionizing radiation

In the case of the health effects of non-ionizing radiation, two models must be taken into account: the model of the thermal impact of stronger RFR and the model of the non-thermal impact of weak RFR. The ICNIRP guidelines are based on the thermal model. The model of the thermal impact is a threshold model that assumes a relation of the effect to the absorbed RFR power. The health protection regulations in force in Estonia are also based on the thermal model.

The RFR non-thermal impact model describes the effect of weak RFR without increase of temperature by RFR. The direct non-thermal effect of RFR is related to the electric field strength of the coherent electromagnetic field. The non-thermal impact model is a non-threshold model. Limitations of RFR levels in relation to possible health effects must take into account both thermal and non-thermal effects. Due to the lack of a scientifically based threshold, the threshold can only be assessed based on indirect criteria. This can be either 1) the minimum level of RFR at which a biological effect has been detected, or 2) the level of a long-term RFR since not caused detectable increase in observed health risk – the level of radio broadcast radiation.

Considering both the measurement results of the RFR level and the worst-case simulation, 6 V/m (0.1 W/m²) is the level that should ensure the minimum probability of health effects of RFR, while not limiting technological applications or development of telecommunication technology. This level is somewhat higher, but in the same order of magnitude, as the minimum biological effect level of 2.45 V/m observed in experimental studies. A power density of 0.1 W/m² was also the level of broadcast radiation for 99% of the population in US metropolitan areas in 1979.

It is not possible to avoid the health risk by linking this RFR effect to a threshold, since there is basically no threshold for both biological and health effects. Thus, it is not possible to guarantee that RFR levels below 6 V/m do not have health effects, but the probability of this is small, considering the long-term experience of mankind in the field of radio broadcasting, the maximum values of which are in the same order of magnitude. The effect of RFR basically decreases with increasing frequency, so it can be assumed that telecommunication frequencies, higher than broadcasting ones, have a lower effect than radio broadcasting frequencies at the same level of restriction. The limit chosen on the basis of the radiation level of radio broadcasting ensures a minimal health risk in the telecommunications frequency band.

Scientifically based conclusions-recommendations are possible in the frequency range up to 10 GHz. There is no reliable knowledge in the field of millimetre waves.

In principle, the duration of exposure to RFR should be considered in the limits. In the case of norms for the population, it must be kept in mind that nowadays people are constantly exposed to RFR, so the norms cannot be linked to the time spent in radiation. However, it is possible to

minimize the health risk by linking the limit values of health protection to the level of radiation, in which no significant health effects have been noticed during a long period of action (radiation level of radio broadcasting).

To reduce the health risk of the population, it is necessary to follow the principle of prevention and precaution, using all possible measures to reduce the level of RFR and at the same time ensure the operation of devices that use the radiation - the ALARA principle. For this purpose, all possibilities as notification of population, protection of risk groups, and technological solutions must be applied. It makes sense to use cable connections if there is no need to ensure mobility. Switching off older generations (2G, 3G) accompanying the development of technology significantly reduces the level of RFR. In order to reduce the possible health risk and radiation level, it is necessary to move in the direction of replacing older generations not of banning newer generations (5G).

Based on the conclusions above, the proposals for amending the draft of the Regulation of the Minister "Requirements for ensuring the safety of non-ionizing radiation in the living environment and methods for measuring the levels of non-ionizing radiation" are as follows:

- Specific absorption and specific absorption rate (SAR) are not appropriate or necessary for use in a living environment.
- The basic restrictions are neither applicable nor necessary when controlling the level of radiation in the living environment
- Establish reference values for electric field strength of 6 V/m and power density of 0.1 W/m² in the frequency range from 10 MHz to 10 GHz.
- To control the level of radiofrequency radiation in the living environment, the methods accepted for use in electrical measurements can and must be used.

The Project 5GEMF1 has been initiated by the Ministry of Social Affairs and funded by the Ministry of Economic Affairs and Communications of the Republic of Estonia.

The results of the project are partially published in articles:

Hinrikus H, Lass J, Bachmann M. Threshold of radiofrequency electromagnetic field effect on human brain. *Int. J. Radiation Biology*, 2021, VOL. 97, NO. 11, 1505-1515. <https://doi.org/10.1080/09553002.2021.1969055>

Hinrikus H, Koppel T, Lass J, Orru H, Roosipuu P, Bachmann M. Possible health effects on the human brain by various generations of mobile telecommunication: a review based estimation of 5G impact. *Int. J. Radiation Biology*, 2022, VOL. 98, NO. 7, 1210–1221. <https://doi.org/10.1080/09553002.2022.2026516>

Sisukord

Kokkuvõte.....	3
Summary	9
Sisukord	15
1. Eessõna.....	18
2. Teadustulemuste ülevaade ja andmebaasi koostamine (Tegevus 1.1).....	19
2.1. Ülevaade eksperimentaaluuringutest: raadiokiirguse mõju ajutegevusele.....	19
2.1.1. Eksperimentaaluuringute ülevaate koostamise põhimõtted.....	19
2.1.2. Publikatsioonide otsing	20
2.1.3. Mõjud ajutegevusele.....	21
2.1.3.1. Puhkeoleku EEG.....	22
2.1.3.2. Une EEG ja une kvaliteet	23
2.1.3.3. Sündmus-seosega potentsiaalid (ERP), käitumine ja tunnetus.....	23
2.1.3.4. Muud leiud	23
2.1.4. Sõltuvus raadiokiirguse tasemest.....	23
2.1.5. Sõltuvus raadiokiirguse sagedusest.....	26
2.1.6. Sõltuvus signaali struktuurist	29
2.1.7. Millimeeterlainete mõju.....	31
2.1.8. Pikaajaline mõju tervisele.....	32
2.1.9. Järeldused.....	34
Viited	35
2.2. Ülevaade rahvastikupõhistest uuringutest	44
2.2.1. Maailma Terviseorganisatsioon	44
2.2.2. Euroopa Parlament ja Euroopa Komisjon	45
2.2.3. Rahvusvaheline Mitteioniseeriva Kiirguse Kaitse Komisjon.....	47
2.2.3.1. Aju füsioloogia ja funktsioon	47
2.2.3.2. Kuulmise ja nägemise funktsioon.....	47
2.2.3.3. Endokriinsüsteem.....	48
2.2.3.4. Neurodegeneratiivseid haigused.....	48
2.2.3.5. Südame-veresoonkond, autonoomne närvisüsteem ja termoregulatsioon	48
2.2.3.6. Immuunsüsteem ja vereloome	48
2.2.3.7. Fertiilsus, reproduktiivsüsteem ja laste areng	48
2.2.3.8. Vähk.....	48

2.2.4. Hiljutised teadusartiklid.....	49
2.2.4.1. Süstemaatilised ülevaated ja metanalüüsid.....	49
2.2.4.2. Originaaluuringud.....	50
2.2.5. Järeldused.....	51
Viited	52
3. Telekommunikatsioonis kasutatavate signaalide analüüs (Tegevus 1.2).....	56
4. Ülevaade rahvusvaheliste pädevate institutsioonide avaldatud uuringutest ja soovitudest (Tegevus 1.3).....	61
4.1. Rahvusvaheliste institutsioonide avaldatud uuringud ja seisukohad tervise mõjust	61
4.2. Rahvusvaheliste institutsioonide soovitudest ja suunised tervisekaitse nõuetele	63
4.3. Järeldused.....	65
Viited	65
5. EL riikide normatiivide analüüs, intervjuud välisriikide valdkonna ametiasutuste esindajate ja mitteioniseeriva kiirguse spetsialistidega (Tegevus 1.4).....	68
5.1. Ülevaade Euroopa riikides kehtivatest normatiividest	68
5.2. Esindajate ja spetsialistide küsitlused	70
5.2.1. Austria	70
5.2.2. Leedu	70
5.2.3. Läti	71
5.2.4. Itaalia	73
5.2.5. Poola.....	73
5.2.6. Belgia	75
5.2.7. Soome.....	76
5.3. Järeldused.....	77
Viited	77
6. Järeldused ülevaatest.....	81
7. Eksperimentaalsed uuringud.....	83
7.1. Eksperimentaalsete uuringute plaani koostamine (Tööpakett 2).....	83
7.2. Mõõtmiste metoodika (Tööpakett 2).....	85
7.2.1. Seadmed.....	85
7.2.2. Mõõtmiste protseduur	85
7.2.3. Statistiline analüüs	86
7.3. Mõõtmiste tulemused (Tööpakett 3, Tööpakett 4.6).....	87
7.4. Mõõtmistulemuste analüüs alamvalimite lõikes (Tööpakett 4.6)	89

7.4.1. Kiirgustaseme sõltuvus asula tüübist	89
7.4.2. Kiirgustaseme sõltuvus antenni asukohast	91
7.4.3. Kiirgustaseme sõltuvus mõõtmise ajast	93
7.5. Järeldused.....	95
8. Halvima juhu ('worst case') simulatsioon (Tööpakett 4.5).....	97
8.1. Simulatsiooni meetodika.....	97
8.1.1. Simulatsiooni programmi valik.....	97
8.1.2. Simulatsiooni disain.....	98
8.1.3. Tugijaamade antennide kiirgussuunad	99
8.2. 'Worst case' hinnangud 4G LTE 2,6 ja 1,8GHz sagedusalades	101
8.3. 'Worst case' 5G NR 3,5GHz väljatugevuse simulatsioonid.....	106
8.4. Halvima juhu hinnang.....	112
8.5. Järeldused.....	113
9. Mitteioniseeriva kiirguse tervisemõju mudelid (Tegevus 4.1)	114
9.1. Soojuslik mõju ja elektrivälja mõju.....	114
9.2. Sõltuvus EMV võimsustihedusest/väljatugevusest ja lävend.....	114
9.3. Sõltuvus sagedusest	120
9.4. Sõltuvus signaali tüübist.....	121
9.5. Pikaajaline mõju ja sõltuvus kiirituse kestusest	121
9.6. Eksperthinnangud pikaajalise mõju ja terviseriski kohta (Tegevused 4.2 ja 4.3).....	122
9.7. Meetmeid/ettepanekuid, mis võimaldavad raadiokiirguse võimalikku kahjulikku tervisemõju vähendada (Tegevus 4.4)	124
9.8. Järeldused.....	125
Viited	126
10. Ettepanekud määruse nõuete ajakohastamiseks (Tööpakett 5).....	130
Lisa 1 Eksperimentaaluuringute andmebaas	132
Lisa 2. Mõõtmiste asukohtade tabel	137
Lisa 3.1. Elektrivälja tugevus (V/m) asukohtades igal sagedusalal.....	145
Lisa 3.2. Võimsustihedus (mW/m ²) asukohtades igal sagedusalal.....	149

1. Eessõna

Projekti eesmärk on formuleeritud lähteülesandes järgmiselt: „Uuringu eesmärgiks on analüüsida avaldatud tõenduspõhiste uuringute tulemusi ning anda nende põhjal Eesti teadlaskonna poolt hinnang mitteioniseeriva kiirguse, sh mobiilside 5G võimalikest mõjudest tervisele ning sõltuvalt sellest ka sisend mitteioniseeriva kiirguse nõuete ajakohastamiseks.“ Lähteülesandele vastavad tegevused toimusid alates 1. septembrist 2021 kuni 30 augustini 2022.

Projekti tulemused esitatakse üheksas peatükis (numeratsioon 2-10), millest igaühes näidatakse lähteülesandes formuleeritud konkreetne eesmärk, mille lahendamist antud peatükis käsitletakse. Iga peatüki (v.a. 10. pt, mis kujutab endast kogu projekti kokkuvõtte) lõpus tuuakse järeldused läbiviidud uuringutest ja vajadusel viited kirjandusele või teistele allikatele.

Teises peatükis antakse ülevaade teaduskirjandusest raadiokiirguse tervisemõju kohta. Töö esimese etapis koostati andmebaas (lisa 1) raadiokiirguse mõju uuringute tulemustest inimese ajule viimase 15 aasta publikatsioonide põhjal. Andmebaasi analüüs võimaldab teha olulisi järeldusi raadiokiirguse mõju seostest kiirguse taseme, sageduse jt. parameetritega.

Kolmandas peatükis seletatakse lahti signaalide struktuur erinevate generatsioonide telekommunikatsioonitehnoloogiate puhul. Näidatakse, et bioloogilise mõju aspektist olulised madalsageduslikud komponendid on sarnased kõigi generatsioonide signaalide struktuuris.

Neljandas peatükis tehakse ülevaade rahvusvaheliste organisatsioonide (WHO, Euroopa Parlament ja Komisjon, ICNIRP) viimase 10 aasta juhenditest-soovitustest raadiokiirguse tervisemõju osas.

Viendas peatükis tuuakse ülevaade Euroopa riikides kehtivatest normatiividest, kaasates andmed (piirväärtused, normatiivide alused, muutmise tendentsid, jm) seitsmest riigist ja intervjuud nende riikide esindajatega.

Kuues peatükk teeb kokkuvõtte projekti ülevaatliskust osast, tuues esile tervisemõju aspektist olulised punktid ja näidates puudujääke teadmistes, samuti normatiivide vastavusest teadustulemustele.

Seitsmes peatükk on pühendatud eksperimentaaluurimistele. Peatükk sisaldab mõõtmiste plaani, meetodikast, ja mõõtetulemusi. Peatükk toob ära ka mõõtetulemuste statistilise analüüsi, olles seega kombinatsioon mitmest töopaketest.

Kaheksas peatükk vaatleb kiirgussituatsiooni halvima juhu stimulatsiooni meetodikast ja toob ära halvima juhu stimulatsioon tulemused konkreetsetes tingimustes.

Üheksas peatükk, kaasates eelnevate peatükkide tulemusi, analüüsib raadiokiirguse mõju mudeleid ja teeb tervisemõju aspektist olulised järeldused normatiivide (piirväärtused, sagedused, jm.) osas. Tuuakse välja ka erinevate tasandite meetmed raadiokiirguse võimaliku tervisemõju vähendamiseks.

Kümnes peatükk, võttes kokku kogu projektis saadud teave, formuleerib ettepanekud mitteioniseeriva kiirguse nõuete ajakohastamiseks.

Projekti teadustulemused on avaldatud kahes rahvusvahelise artiklis.

2. Teadustulemuste ülevaade ja andmebaasi koostamine (Tegevus 1.1)

2.1. Ülevaade eksperimentaaluuringutest: raadiokiirguse mõju ajutegevusele

2.1.1. Eksperimentaaluuringute ülevaate koostamise põhimõtted.

Lähtume lähteülesandes formuleeritud eesmärgist „*Uuringu eesmärgiks on analüüsida avaldatud tõenduspõhiste uuringute tulemusi ning anda nende põhjal Eesti teadlaskonna poolt hinnang mitteioniseeriva kiirguse, sh mobiilside 5G võimalikest mõjudest tervisele ning sõltuvalt sellest ka sisend mitteioniseeriva kiirguse nõuete ajakohastamiseks.*“ **Seega on primaarsed antud uuringus avaldatud tõenduspõhiste uuringute tulemused.**

Andmebaasi kaasatakse ainult originaalsete tõenduspõhiste uuringute tulemused. Tõenduspõhiseks loetakse uuringud, mis on läbi viidud vastavuses elektromagnetväljade (EMV) teadusuuringutes kehtivate hea tava reeglitega (ammendavad andmed kiirguse kohta, küllaldane eksperimendi mõõde, kontroll-sham võrdlus jt). Tulemuste esitamisel kasutatakse autorite formuleeringuid.

Publikatsioonide leidmiseks kasutatakse EMF-Portal andmebaasi. Andmebaasi eeliseks on asjaolu, et selles tuuakse ära kõigis teistes (WoS, Scopus, PubMed jt) andmebaasides olemasolevad publikatsioonid. EMF-Portal andmebaasi haldab ja finantseerib RWTH Acheni ülikool, kaasfinantseerivad Deutsche Telekom AG, German Federal Office for Radiation Protection, German Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear safety jt organisatsioonid.

Eksperimentaaluuringute arv EMF portaalis raadio- ja mobiilside sageduste alal on 3732, epidemioloogiliste uuringute arv on 460 (seisuga 01.09.21). Nii suure arvu uuringute käsitlemine ei mahu antud projekti raamidesse. Sellepärast tehakse valik keskendudes olulisematele suundadele ja probleemidele.

Kuna eesmärgiks on *hinnang mitteioniseeriva kiirguse, sh mobiilside 5G võimalikest mõjudest tervisele*, lähtutakse eelkõige inimuuringutest. Eksperimentaaluuringute arv märksõna *Humans* on kokku 1296, *Humans in vivo* 224, *in vitro* 326. Epidemioloogiliste uuringute arv märksõnaga *Humans* on 354. Lõpptulemusena on meil vaja hinnata mitteioniseeriva kiirguse, sh mobiilside ja 5G võimalikku mõju tervisele, seepärast on mõistlik aluseks võtta vaja *Humans in vivo* uuringud.

Et teha põhjendatud ettepanekuid Eestis kehtivate elukeskkonna mitteioniseeriva kiirguse nõuete ajakohastamisel, on eelkõige vaja teada

1) kuidas sõltub mõju kiirguse tasemest ja milline on ohutust tagav kiirguse tase;

2) kuidas sõltub mõju kiirguse sagedusest ja signaali parameetritest (5G eripära).

EMV mõju on tõenäoliselt erinev erinevatele organitele ja füsioloogilistele protsessidele. Sellepärast on otstarbekas valida kiirguse suhtes kõige tundlikum organ/füsioloogiline protsess, ja hinnata selles muutusi tekitava kiirguse minimaalset taset. Teatavasti on kõige tundlikum välismõjudele inimese närvisüsteem ja ajus toimuvad protsessid. Kuna närvisüsteem on kõige tundlikum ja reageerib peiteajata, võetakse mõju hindamisel aluseks mõju inimese

kesknärvisüsteemile, eelkõige ajule. Kuna EMV puhul on tegemist elektromagnetilise stressoriga, tuleks lähtuda ajutegevuse elektrilistest mõõdikutest, elektroentsefalograafia (EEG) ja sündmusseosega potentsiaal (*event related potential*, ERP), valides ka ajuga-kesknärvisüsteemiga seotud tunnetuse (*cognition*) ja käitumise (*behavior*).

Eksperimentaalsed uuringud võimaldavad tuvastada raadiokiirgusest põhjustatud muutusi ajutegevuses, mitte otseselt hinnata selle mõju tervisele. Sellepärast tuleks täiendavalt vaadata epidemioloogilisi uuringuid mis on suunatud neurofüsioloogiliste sümptomite seoste hindamisele raadiokiirgusega (punkt 1.2). Kuna inimesi huvitab eelkõige vähki haigestumise risk, tuleks hinnata ka seda. Inimuuringute puhul saavad siin aluseks olla ainult epidemioloogilised uuringud.

2.1.2. Publikatsioonide otsing

Andmebaasi kaasati viimase viieteistkümne aasta (2007–2021) eelretsenseeritud ajakirjades avaldatud eksperimentaalsed *in vivo* inimuuringud raadiosagedusalas 0,01–300 GHz, sealhulgas igat tüüpi telekommunikatsioonisignaale ja pulssmoduleeritud (PM) raadiosageduslik kiirgus.

Andmebaasi kaasamisel järgiti järgmisi uuringu kvaliteedi kriteeriume:

1. Uuringu maht peab olema piisav, et tagada tulemuste ja järelduste usaldusväärsus. Uuritavate arv rühmas peab olema suurem kui 10.
2. Uuring peab sisaldama vähemalt ühte võlts- (*sham*) või kontrollvõrdlust.
3. Uuring peab olema vähemalt ühekordselt pimestatud (*single-blinded*).
4. Ekspositsiooni tingimused peavad olema korrektselt kindlaks määratud; katsete ajal tuleb mõõta väljatugevust või võimsustihedust.
5. Kasutatud statistiline hindamine peab olema korrektne, kaasates korrektsiooni mitmekordsete võrdluste puhul. Arvesse võetakse ainult tulemused, mille statistiline olulisus on kinnitatud (korrigeeritud olulisusnivoo $p < 0,05$).

Publikatsioonide otsimiseks kasutati andmebaasi EMF-Portal. Esiteks kasutati filtreid "eksperimentaalsed uuringud (*experimental studies*)", "raadiosagedus (≥ 10 MHz) (*radio frequency*)" ja "mobiilside (*mobile communication*)". Teiseks kasutati otsingusõnu "EEG" või "ERP" või "kognitsioon (*cognition*)" või "käitumine (*behaviour*)". Kolmandaks jäeti välja loomkatsed. Neljandaks jäeti välja konverentsi publikatsioonid ja mitte-eelretsenseeritavate ajakirjade artiklid. Lõpuks viidi uuringute kvaliteedi hindamine läbi ülaltoodud kriteeriumide järgi. Otsinguvoo protsessi on detailselt kujutatud artiklis (Hinrikus et al., 2021b) ja see sisaldab järgmisi etappe:

1. Andmebaasist EMF- Portal leitud publikatsioonide arv $n=403$;
2. Loomuuringute välistamine, $n=281$, jääb analüüsi $n=122$;
3. Konverentsi ja mitte-eelretsenseeritavate publikatsioonide välistamine, $n=19$, jääb analüüsi $n=103$;
4. Ainult meetodikat sisaldavate uuringute välistamine, $n=3$, jääb analüüsi $n=100$;
5. Väikse uuritavate arvuga publikatsioonide välistamine, $n=3$, jääb analüüsi $n=97$;
6. Välistades publikatsioonid mitteküllaldaste andmetega raadiokiirguse parameetrite kohta, $n=24$, jääb analüüsi $n=73$.

Lõpptulemisena kaasati analüüsi 73 uuringut. Eksperimentaaluuringute analüüsi koostamise aluseks olev andmebaas on toodud lisas 1.

2.1.3. Mõjud ajutegevusele

Tabelis 2.1 on kokkuvõtte uuringusse kaasatud publikatsioonides kirjeldatud kiirguse mõjudest. Tulemused esitatakse vastavalt autorite kasutatud formuleeringutele. Kahjuks ei esita enamik uuringuid mõju kohta kvantitatiivset teavet - analüüsitud parameetrite arvvaartusi (nt EEG- rütmide võimsuse või muude parameetrite muutuste arv-väärtusi või suhteliste muutuste protsente).

Mõjud jagunevad nelja kategooriasse: 1) muutused puhkeoleku EEG signaalis, 2) muutused une EEG-s ja une kvaliteedis, 3) muutused sündmus- seosega potentsiaalides (ERP), tunnetuses või käitumises ja 4) muud leiud (muutused ajukoore hapnikuga varustamises ja aju glükoosi metabolismis).

Tabel 2.1. Uuringute jaotus vastavalt kiirguse mõjudele erinevates kategooriates

<i>Puhkeoleku EEG</i>	
Teeta võimsuse tõus	Bardasano et al., 2007
Alfa võimsuse tõus	Loughran et al., 2019, Hinrikus et al., 2017, Roggeveen et al., 2015; Ghosn et al., 2015; Suhhova et al., 2013; Hinrikus et al., 2011b; Croft et al., 2010;; Hinrikus et al., 2009; Hinrikus et al., 2008a; Croft et al., 2008; Bardasano et al., 2007; Regel et al., 2007b; Veccio et al., 2007; Krause et al., 2007
Alfa võimsuse langus	Vecsei et al., 2018; Yang et al., 2017
Beeta võimsuse tõus	Hinrikus et al., 2017; Roggeveen et al., 2015; Suhhova et al., 2013; Hinrikus et al., 2011b; Hinrikus et al., 2008b; Bachmann et al., 2007
Beeta võimsuse langus	Yang et al., 2017
Gamma võimsuse tõus	Roggeveen et al., 2015; Curcio et al., 2015; Hinrikus et al., 2009
Keerukuse tõus	Hinrikus et al., 2011a (HFD); Veccio et al., 2010 (koherents); Bachmann et al., 2007 (LDLVP)
Mõju ei tuvastatud	Nakatani-Enomoto et al., 2020; Zentai et al., 2015; Eggert et al., 2015; Trunk et al., 2015; Trunk et al., 2013; Loughran et al., 2013; Kleinlogel et al., 2008a;
<i>Une EEG ja une kvaliteet</i>	
Spindlite taseme tõus 11-12 Hz	Lowden et al., 2019; Schmid et al., 2012a
Delta ja teeta võimsuse tõus	Lustenberger et al., 2015;
Aeglaste lainete tõus 0.75-4.5 Hz	Lustenberger et al., 2013;
Delta, teeta ja alfa lainete tõus	Schmid et al., 2012b
Mõju ei tuvastatud	Danker-Hopfe et al., 2020; Nakatani-Enomoto et al., 2013; Danker-Hopfe et al., 2011; Danker-Hopfe et al., 2010, Leitgeb et al., 2008; Regel et al., 2007a; Frizer et al., 2007;

<i>Sündmus- seosega potentiaalid (ERP), tunnetus ja käitumine</i>	
Paranenud mälu ja motoorne võimekus	Meo et al., 2019;
Visuaalne ERP, P1 amplituudi ja N1 hilinemisaja tõus	Dalecki et al., 2018
Vähenenud reaktsiooniaeg	Verrender et al., 2016;
Vähenenud õigete vastuste arv	Sauter et al., 2015
Valuläve tõus	Vesei 2013
N100 tõus	Leung et al., 2011
Akustiline ERP, amplituud langeb, adaptatsioon tõuseb	de Tommaso et al., 2009
Reaktsiooniaja muutus	Luria et al., 2009;
Vähenenud psühholoogiline ärksus	Augner et al., 2009
Tähelepanu langus	Wilholm et al., 2009
Mõju ei tuvastatud	Hosseini et al., 2019; Vecsei et al., 2018; Loughran et al., 2013, Sauter et al., 2011; Riddervold et al., 2010; Kwon et al., 2010; Eltiti et al., 2009; Kwon et al., 2009; Cinel et al., 2008; Stefanics et al., 2009; Kleinlogel et al., 2008b; Curcio et al., 2008; Hiller et al., 2008; Regel et al., 2007b; Haarala et al., 2007; Krause et al., 2007
<i>Muud leiud</i>	
Ajukoore hapnikuvarustuse muutus	Curcio et al., 2009
Aju glukoosi metabolismi muutus	Kwon et al., 2011b; Volkow et al., 2011

Puhkeoleku EEG moodustab suurima osa 47% kogu uuringutest. Une EEG ja une kvaliteedi uuringute osa moodustab 15%. Tunnetus- ja käitumismõjudega seotud sündmus-seosega potentsiaalide (ERP) osa moodustab 34% kogu leidudest ja muude leidude osa vaid 4%.

2.1.3.1. Puhkeoleku EEG

Positiivsete leidude määr puhkeoleku EEG kategoorias (kokku 37 uuringut, neist 30 näitavad statistiliselt olulist mõju) on 81%. Suhteline osa uuringutest, mis teatasid mõjust puhkeoleku EEG kategoorias, on umbes kaks korda suurem kui teistes une EEG või ERP kategooriates. Kõige sagedamini teatati suurenenud alfa-võimsusest (14 uuringut). Mõnevõrra vähem uuringuid teatas suurenenud beeta võimsusest (6 uuringut). Alfa võimsuse vähenemine ilmnes ainult kahes uuringus ja beeta võimsuse vähenemine ühes uuringus. Gamma võimsuse suurenemine tuvastati kolmes ja teeta võimsuse suurenemine ühes uuringus. Suurenenud keerukus ilmnes kolmes uuringus. Teatatud mõjude selline jaotus on ilmselgelt põhjustatud puhkeoleku suletud silmadega EEG omadustest, kus alfa võimsuse (8 - 12 Hz) tipp on teiste sagedusribade võimsustest palju kõrgem. Seetõttu on alfa muutused hõlpsamini tuvastatavad.

Vaid vähesed uuringud on rakendanud täiustatud EEG analüüse, et tuvastada muutusi aju keerulisemates mittelineaarsetes protsessides (Hinrikus et al., 2011a; Bachmann et al., 2007). Nende uuringute tulemused näitasid, et raadiokiirgus mõjutas aju bioelektrilise aktiivsuse keerukust. Kiirgus suurendas mõlema rakendatud moodsiku, Higuchi fraktaalimõõdme (HFD) ja madala varieeruvuse perioodide pikkuse jaotuse (LDLVP) skooore.

Tulemused näitavad, et kiirgus põhjustab aju rütmide ergutust ja sellega seotud puhkeoleku EEG alfa- ja beetaribade võimsuse suurenemist. Kokkupuude kiirgusega põhjustab ka aju bioelektrilise aktiivsuse keerukuse tõusu.

2.1.3.2. Une EEG ja une kvaliteet

Positiivsete leidude määr une EEG ja unekvaliteedi rühmas on 41,7%. Kõik viis uuringut, mis tuvastasid mõju, teatasid une EEG-rütmide või spindlite suurenemisest. Kasv oli ilmne aeglases ribas (delta ja teeta) ja alfa-ribas. Unekvaliteedi häireid ei täheldatud.

Need tulemused viitavad, et kiirgus põhjustab neuronite aktiivsuse muutusi varem, kui ilmneb subjektiivne tunnetus.

2.1.3.3. Sündmus-seosega potentsiaalid (ERP), käitumine ja tunnetus

Positiivsete leidude määr ERP, käitumise ja tunnetuse rühmas on 38,5%. Esitatud leiud on mitmekesised. Kaks uuringut teatasid muutustest ERP-s. Käitumise paranemist (mälu, tähelepanu, reaktsiooniaeg) demonstreeriti neljas uuringus ja käitumise halvenemist (psühholoogiline erutus, õiged vastused, valulävi) samuti neljas uuringus.

Kokkupuude madala tasemega kiirgusega, mis stimuleerib aju, võib põhjustada käitumise mõningast paranemist. Teisest küljest on täheldatud negatiivset mõju käitumisele ja erutuvusele.

2.1.3.4. Muud leiud

Positronemissioontomograafia (PET) uuring näitas märkimisväärselt korrelatsiooni kiirguse taseme ja muutuste vahel aju glükoosi metabolismis ning selle suurenemist antennile lähimas piirkonnas (Volkow et al., 2011). Teine PET-uuring näitas aju ainevahetuse kiiruse vähenemist antenni lähedases piirkonnas (Kwon et al., 2011b). Kiirgus ei mõjutanud aga etteantud ülesande täitmist (reaktsiooniaeg ja veamäär ei muutunud). Uuring, milles kasutati funktsionaalset lähiinfrapuna-spektroskoopiat, teatas kiirguse vähesest mõjust eesmise ajukoore hapnikuga varustamisele (Curcio et al., 2009).

Need tulemused toetavad väidet, et lühiajalised muutused aju füsioloogias ei tingi ilmtingimata muutusi inimese kognitiivses võimekuses.

2.1.4. Sõltuvus raadiokiirguse tasemest

Sõltuvuse uurimiseks kiirguse tasemest jagatakse uuringud SAR tasemete järgi rühmadesse (tabel 2.2; Hinrikus et al., 2021a). Kui uuringuid SAR > 2 W/kg puhul käsitleda ühe rühmana, siis uuringute arvud rühma kohta on järgmised: 7 uuringut SAR > 2 rühmas; 22 uuringut rühmas

SAR=2-1,5 W/kg; 19 uuringut rühmas SAR=1,5-1 W/kg ; 10 uuringut rühmas SAR=1-0,5 W/kg; 15 uuringut rühmas SAR =0,5 - 0,1 W/kg; ja 3 uuringut rühmas SAR <0,1 W/kg.

SAR W/kg	Effect	No effect
10.98		Sauter et al., 2011
7.82		Sauter, et al., 2011
6	Sauter et al., 2015	Eggert, et al., 2015
5		Regel, et al., 2007
3.75		Trunk, et al., 2013
2.18	Lv et al., 2014	
2-1.5	Loughran et al., 2019; Lowden et al., 2019; Vecsei et al., 2018; Dalecki et al., 2018; Yang et al., 2017; Verrender et al., 2016; Sauter et al., 2015; Lustenberger et al., 2015; Vecsei et al., 2013; Schmid et al., 2012; Leung et al., 2011; Lowden et al., 2011; Croft et al., 2010	Nakatani-Enomoto et al., 2020; Trunk et al., 2015; Eggert et al., 2015; Nakatani-Enomoto et al., 2013; Danker-Hopfe et al., 2011; Danker-Hopfe et al., 2011; Croft et al., 2010; Riddervold et al., 2010; Stefanics et al., 2008.
1.5-1	Loughran et al., 2019; Dalecki et al., 2018; Yang et al., 2017; Verrender et al., 2016; Lustenberger et al., 2015; Luria et al., 2009; Wilholm et al., 2009; Regel et al., 2007b; Hung et al., 2007; Krause et al., 2007 PM	Kwon et al., 2011; Lougran et al., 2013; Kwon et al., 2010; Kwon et al., 2009; Kleinlogel et al., 2008; Hillert et al., 2008; Frizer et al., 2007; Haarala et al., 2007; Krause et al., 2007 CW
1-0.5	Ghosn et al., 2015; Curcio et al., 2015; Leung et al., 2011; Croft et al., 2010; Veccio et al., 2010; deTommaso et al., 2009; Curcio et al., 2009; Curcio et al., 2008; Croft et al., 2008; Bardanosso et al., 2007;	
0.5-0.1	Bachmann et al., 2018; Misek et al., 2018; Hinrikus et al., 2017; Lustenberger et al., 2013; Suhhova et al., 2013; Hinrikus et al., 2011a; Hinrikus et al., 2011b; Hinrikus et al., 2009; Suhhova et al., 2009; Hinrikus et al., 2008a, Hinrikus et al., 2008b, Bachmann et al., 2007; Hung et al., 2007	Eltiti et al., 2009; Regel et al., 2007
<0.1	Suhhova et al., 2013	Bueno-Lopez et al., 2020; Zentai et al., 2015;

Tabel 2.2. Kiirguse taseme järgi grupeeritud uuringud

Tabel 2.3. Raadiokiirguse mõju tuvastanud uuringute arv ja osakaal kiirguse erinevate tasemete puhul

Kiirguse tase W/kg	Mõju tuvastanud uuringute arv	Mõju tuvastanud uuringute osakaal
SAR>2	2	28%
SAR= 2-1.5	13	59%
SAR=1.5-1	10	53%
SAR=1-0.5	10	100%
SAR=0.5-0.1	13	87%
SAR<0.1	1	33%

Tabel 2.3 esitab kiirguse mõju tuvastanud uuringute osakaalu erineva SAR tasemega rühmades. **Mingit korrapärast suundumust mõju sõltuvuses SAR tasemest ei esine.** Kahjuks esitavad vaid väga vähesed uuringud kvantitatiivseid andmeid tuvastatud mõju intensiivsuse kohta. Tulemuste erinevused võivad tuleneda pigem kasutatavate meetodite ja kasutatavate kiirgusliikide mitmekesisusest. Asjaolu, et kõik uuringud SAR = 1–0,5 W/kg juures näitasid mõju, võib pidada juhuseks. Rühm hõlmab erinevate rühmade uuringuid ja erinevat tüüpi mõjusid, süstemaatilise eelise saamiseks pole põhjust. Kõrge avastamismäär 87% grupis SAR = 0,5–0,1 W/kg on seletatav asjaoluga, et suurem osa uuringuid kuulub ühele grupile. Töörühm (Bachmann, Hinrikus, Suhhova jt) on modifitseerinud Dicke'i radiomeetris (Tiuri 1964) kasutatud modulatsioonimeetodit, et suurendada EEG muutuste tuvastamise tundlikkust. Seetõttu on võimalik tuvastada EEG signaali varieeruvuses peidetud väikesi muutusi mitte ainult alfa-, vaid ka beeta- ja gamma ribade võimsustes.

Analüüsitulemuste ebakindluse teine põhjus on see, et enamik uuringuid on tehtud üsna kitsas SAR-i tasemete vahemikus 2–0,1. Ainult vähesed uuringud kasutasid kõrgemat ja madalamat kiirguse taset.

Madala tasemega raadiokiirguse mõju teadaolevat mehhanismi järgides on mõju seotud dipolaarsete molekulide pöörlemist põhjustava elektrivälja tugevusega, mitte neelduva võimsusega, mis on määrav tugevama kiirguse poolt tekitatava soojusliku mõju puhul. Seetõttu on elektrivälja tugevus sobivam parameeter katsetingimuste hindamiseks. Kahjuks on vaid väga vähesed autorid märkinud oma katsetes kasutatud väljatugevust.

Mõju sõltuvust kiirguse tasemest saab paremini hinnata, võrreldes sama uuringu kahe või enama kiirguse taseme andmeid. Mitmes uuringus tehti katseid kahe erineva SAR-i väärtusega. Mõnedes neist uuringutest ei tuvastatud mõju (Eggert 2015; Sauter 2011; Danker-Hopfe 2011; Kleinlogel 2008a ja b). Mõned teised uuringud, milles mõju tuvastati, ei esitanud tulemuste kohta kvantitatiivseid andmeid (Dalecki 2018; Verrender 2016; Sauter 2015; Loughran 2015; Leung 2011). Ainult ühes uuringus esitati kvantitatiivsed andmed muutuste kohta kahel erineval kiirguse tasemel (Suhhova et al., 2013). Kõrgemal SAR=0,303 W/kg ($E=24,5$ V/m) tasemel tuvastati EEG beeta2 (157%), beeta1 (61%) ja alfa (68%) sagedusribade võimsuse tõus. Madalamal SAR=0,003 W/kg (2,45 V/m) tasemel ilmnes võimsuse tõus ainult beeta2 (39%) sagedusribas. Mõju intensiivsuse vähenemine madalamal tasemel umbes 4 korda on SAR-i languse järgi (100 korda) oodatust palju väiksem. Mõju suhteline vähenemine on pigem lähedane väljatugevuse muutusele (10 korda).

Tehtud analüüsist on vähe abi selgitamiseks korrapärasust raadiosagedusliku kiirguse mõju sõltuvuses kiirguse tasemest. Ilmselgelt mängivad olulist rolli ka muud tegurid peale kiirguse taseme (nt modulatsioonisagedus). Käesolevas ülevaates analüüsitud uuringute kohaselt on väikseim elektrivälja tugevus, mille juures mõju tuvastati, 2,45 V/m (SAR=0,003 W/kg) (Suhhova et al., 2013).

Mõnede uuringute tulemused näitavad, et raadiokiirguse sama taseme ja identsete tingimuste korral on mõjutatud ainult osa inimestest (Hinrikus et al., 2008b; Bachmann et al., 2007). Tundlike inimeste osakaal varieerub sõltuvalt modulatsioonisagedusest 13%-st 31%-ni (Hinrikus et al., 2008a). Ei ole selge, kas mõned inimesed on kiirguse suhtes püsivalt

või aeg-ajalt immuunsed. Seos "immuunsuse" ja ülitundlikkuse vahel on oluline kiirguse võimalike tervise mõjude tõlgendamisel.

Uuringute tulemused näitavad, et kiirgusega seotud muutused närvisüsteemis (EEG- signaalis) on palju sagedasemad kui subjektiivses käitumises (Vecsei et al., 2018). Kiirgusest põhjustatud mõjusid on täheldatud objektiivsetes näitajates (EEG, glükoosi metabolism), kuid mitte kognitiivses võimekuses (Schmid 2012a; Kwon et al., 2011b). Seetõttu inimesed sageli ei tunnetata ega maini raadiosagedusliku elektromagnetvälja mõjul tekkivaid tervisesümptomeid. Olukord, et objektiivsed füsioloogilised sümptomid ilmnevad varem kui enesetunde muutus ja subjektiivsed sümptomid, on paljude haiguste puhul tavaline.

Kiirguse bioloogiliste mõjude muundumine tervise mõjudeks on kaootiline protsess. **Väga nõrk esialgne muutus neuronaausel või molekulaarsel tasandil võib viia ettearvamatute tagajärgedeni – või mitte põhjustada märkimisväärset tervise mõju. Seetõttu ei ole võimalik kindlaks määrata raadiosagedusliku kiirguse tervise mõjude künnist.** Sama olukord on ka ioniseeriva kiirgusega, kus siiani kasutatakse ilma künniseta mudelit. Raadiokiirguse piirtundlikkuse teaduslik analüüs, lähtudes toimemehhanismist, on toodud hiljuti avaldatud artiklis (Hinrikus et al., 2021a).

2.1.5. Sõltuvus raadiokiirguse sagedusest

Tabelis 2.4 on esitatud uuringud, mis näitavad raadiokiirguse mõju või selle puudumist erinevate sageduste ja signaalstruktuuride puhul. Sagedused on tabelis toodud vastavuses uuringus kasutatutele, mis ei pruugi alati kokku langeda konkreetsetes kasutusel olevates telekommunikatsioonisüsteemides kasutatavatega.

Enamikus uuringutes on kasutatud 900 MHz sagedusala ja 2G (GSM) signaale. Võimalik ajalooline põhjus on 2G telekommunikatsioonitehnoloogia pikaajaline kasutamine. Ainult vähesed uuringud on uurinud 4G (LTE) mõjusid ja mitte üksi 5G (NR) tehnoloogia mõju.

Tabel 2.4. Raadiokiirguse mõjud erinevate raadiokiirguse sageduste ja signaali struktuuride puhul

Standart	Sagedus MHz	Mõju tuvastatud uuringud			
		Puhkeoleku EEG	Une EEG ja une kvaliteet	ERP, tunnetus ja käitumine	Aju metabolism
2G GSM	900; 902.4; 920; 894.6; 895; 900; 880-960; 902; 450; 1929-1939	Loughran et al., 2019, Ghosn et al., 2015; Curcio et al., 2015; Croft et al., 2010; Vecchio et al., 2010; Croft et al., 2008; Vecchio et al., 2007		Dalecki et al., 2018; Verrender et al., 2016; Leung et al., 2011; de Tommaso et al., 2009; Luria et al., 2009; Augner et al., 2009; Wilholm et al., 2009	Curcio et al., 2009; Kwon et al., 2011;
3G WCDMA	1947 1750; 1610; 2573	Vecsei et al., 2018; Roggeveen et al., 2015	Lowden et al., 2019;	Vesei 2013; Leung et al., 2011	Volkow et al., 2011
4G LTE	450 1929-1939 1610	Vecsei et al., 2018; Yang et al., 2017; Lv et al., 2014			

5G-NR		Uuringud puuduvad	Uuringud puuduvad	Uuringud puuduvad	Uuringud puuduvad
WiFi	1929-1939 902 450		Papageorgiou et al., 2011		
TETRA	385			Sauter et al., 2015	
Base station	900			Meo et al., 2019	
Pulss- modulatsioon (PM)	450; 880-940; 900; 902	Hinrikus et al., 2017; Suhhova et al., 2013; Hinrikus et al., 2011a ; Hinrikus et al., 2011b; Hinrikus et al., 2009; Hinrikus et al., 2008a; Hinrikus et al., 2008b; Bachmann et al., 2007; Bardasano et al., 2007; Regel et al., 2007b; Krause et al., 2007;	Lustenberger et al., 2015; Lustenberger et al., 2013 Schmid et al., 2012a,b;		
Mõju ei tuvastatud GSM LTE WCDMA TETRA WiFi	385; 420; 884; 888; 900; 902; 1750;1900; 1947; 1950; 1966; 2020; 2400; 2450; 2500	Nakatani-Enomoto et al., 2020; Zentai et al., 2015; Eggert et al., 2015; Trunk et al., 2015; Trunk et al., 2013; Loughran et al., 2013; Kleinlogel et al., 2008a	Danker-Hopfe et al., 2020; Nakatani- Enomoto et al., 2013; Danker-Hopfe et al., 2011; Danker-Hopfe et al., 2010, Leitgeb et al., 2008; Regel et al., 2007a; Frizer et al., 2007;	Hosseini et al., 2019; Vecsei et al., 2018; Loughran et al., 2013, Sauter et al., 2011; Riddervold et al., 2010; Kwon et al., 2010; Eltiti et al., 2009; Kwon et al., 2009; Cinel et al., 2008; Stefanics et al., 2008; Kleinlogel et al., 2008b; Curcio et al., 2008; Hiller et al., 2008; Regel et al., 2007b; Haarala et al., 2007; Krause et al., 2007	

Tabelist 2.4. ei ilmne selget vastastikust sõltuvust telekommunikatsioonitehnoloogia generatsioonide ja raadiosagedusliku kiirguse mõju olemuse vahel. Kõik mõjude kategooriad, nagu ka mõju mitte tuvastatud uuringud, on seotud erinevate põlvkondade telekommunikatsioonisüsteemide ja erinevate raadiosagedustega.

Enamik uuringuid teatas ainult täheldatud muutustest, mitte registreeritud parameetrite muutuste kvantitatiivsetest väärtustest. Ainult mõnedes publikatsioonides on näidatud kvantitatiivseid tulemusi, EEG-ribade võimsuste muutuste taset või mõjutatud uuritavate arvu (Hinrikus et al., 2008a; Hinrikus et al., 2008b; Schmid et al., 2011; Suhhova et al., 2013).

Tabelis 2.5 on toodud raadiokiirguse mõju tuvastatud uuringute arvu ja osakaalu jaotus telekommunikatsioonisüsteemides kasutatavate sagedusalade järgi. Sagedusribade piires on katsetes kasutatud kiirguse sagedus erinev: 450 MHz riba sisaldab sagedusi 385 MHz kuni 450 MHz, 900 MHz sagedusala 837,8 kuni 925 MHz, 1800 MHz sagedusala 1788 MHz kuni 1990 MHz ja 2450 MHz sagedusala 2610 MHz kuni 240 MHz.

Tabelis 2.5 esitatud **tulemused näitavad raadiokiirguse mõju osakaalu vähenemise trendi seoses kiirguse sageduse tõusuga**. Sõltuvus kiirguse sagedusest on seotud raadiokiirguse mõju toimemehhanismiga. Mõju aluseks on elektrivälja poolt tekitatav dipoolsete molekulide pöörlemine raadiokiirguse väljas. Molekulide inertsi tõttu nende pöörlemise väheneb kui välja sagedus suureneb. Järelikult ka kiirguse mõju kiirguse sageduse tõusuga väheneb. Detailsem selgitus on toodud ajakirja esitatud artiklis (Hinrikus et al., 2021b).

Tabel. 2.5. Raadiokiirguse mõju sõltuvus sagedusest

	Uuringute arv milles mõju on tuvastatud	Uuringute arv, milles mõju ei ole tuvastatud	Mõju tuvastanud uuringute osakaal
450 MHz	11	3	78,60%
900 MHz	24	12	66,70%
1800 MHz	7	9	43,70%
2450 MHz	4	3	57,10%

Tuvastatud raadiokiirguse mõju määr on maksimaalne sagedusalas 450 MHz, mõnevõrra väiksem sagedusalas 900 MHz ja veel väiksem sagedusalades 1800 ja 2500 MHz. Tulemustesse tuleb suhtuda teatud ettevaatlikkusega, kuna publikatsioonide arv on ei ole suur: Koos võimaliku regulaarse sagedussõltuva trendiga võib langus olla seotud ka muude teguritega: signaalstruktuuride erinevustega ja erinevates sagedusgruppides tehtud katsete arvuga. 450MHz ja 1800 MHz tulemuste erinevus võib osaliselt olla seotud rakendatud kiirguse iseloomuga: sagedusel 450 MHz on tähelepanuväärses osas uuringutes kasutatud meander-laadseid pulssmoduleeritud, mitte telekommunikatsiooni signaale.

Me ei leidnud ühtegi uuringut, mis oleks läbi viidud erinevate raadiokiirguse sagedustega muudel samadel tingimustel (väljatugevus, signaali struktuur, uuritavad). Väga vähesed teadlased on ühes ja samas uuringus kasutanud erinevaid sagedusi ja signaalstruktuure (Eltiti et al., 2009; Croft et al., 2010; Leung et al., 2011; Sauter et al., 2011; Danker-Hopfe et al., 2013; Vecsei et al., 2018).

Kolm uuringut ei näidanud mõju kummagi kiirguse taseme korral. Eltiti et al. uuring. (2009) ei tuvastanud muutusi kognitiivses funktsioonides ega mõõdetud füsioloogilistes parameetrites GSM-signaali sagedustel 900 MHz ja 1800 MHz ega ka WCDMA signaaliga sagedusel 2020 MHz võimsusvoo tihedusel 10 mW/m². Sauteri et al. uuring (2011) kasutas GSM signaale sagedusel 900 MHz ja WCDMA signaale sagedusel 1966 MHz. Kognitiiv-käitumuslikus uuringus uuriti psühholoogiliste testide abil tähelepanu, mälu ja valvsuse taset. Muutused kiirgusega ja sham uuritavate vahel (lühem reaktsiooniaeg ja suurem osa õiged vastused) olid olulised 900 MHz (SAR 7,85 W/kg) puhul. Kiirgus 1966 MHz (SAR 10,98 W/kg) põhjustas mõningaid muutusi (pikem reaktsiooniaeg ja väiksem õigete vastuste arv) kiirgusega ja sham gruppide vahel. Kuid pärast kordus-testimise korrigeerimist jäi oluliseks ainult kellaaja mõju. Autorid väitsid, et RF EMF ei mõjuta tunnetusvõimet (Sauter et al., 2011). Danker-Hopfe et al. uuring une makrostruktuuri kohta viidi läbi 900 MHz GSM (SAR 2 W/kg) ja 1966 MHz WCDMA (SAR 2 W/kg). Uuriti une makrostruktuuri (uneperiood, kogu uneaeg, ärkamine pärast une algust, 1. faasi latentsus, REM- une latentsus, une efektiivsus, aeglase laine uni jne). Kokku erines kiirgusega ja sham gruppide vahel GSM puhul 13 une makrostruktuuri iseloomustavast näitajat 177-st ja 3 WCDMA. Autorite väitel ei ole tõendeid GSM ja WCDMA und häiriva mõju kohta (Danker-Hopfe et al., 2011).

Üks uuring näitas identset mõju mõlema kiirguse korral. Vecsei et al. uuris kiirguse mõju EEG aktiivsusele ja kognitiivsele võimekusele. Kasutati WCDMA 1947 MHz signaali ribalaiusel 5 MHz ja LTE-d 1750 MHz signaali ribalaiusel 20 MHz. SAR väärtused olid mõlemal puhul alla 2 W/kg. Mõlemad kiirgused põhjustasid EEG alfa võimsuse vähenemise, samas kui kognitiivsete testide mõju ei ilmnenud (Vecsei et al., 2018).

Kaks uuringut teatasid mõningatest erinevustest mõjudes 2G ja 3G kiirguste tingimustes. Crofti et al. uuring (2010) kasutasid 2G sagedusel 894,6 MHz (keskmine väljundvõimsus 250 mW) ja 3G sagedusel 1900 MHz (keskmine väljundvõimsus 125 mW). Välja valiti kolm erinevas vanuses rühma: 13–15-aastast, 19–40-aastast ja 55–70-aastast. Autorid teatasid, et noorte täiskasvanute alfa oli 2G puhul kõrgem kui shamiga, kuid noorukite ega eakate rühmades ei täheldatud mõju ning 3G ei mõju tuvastatud üheski rühmas (Croft et al., 2010). Kuid tingimused 2G ja 3G juures ei taganud kiirguse tasemete võrdsust. Seetõttu pole selge, kas 2G ja 3G tulemuste erinevused olid tingitud sageduse, signaali struktuuri või kiirguse tasemete erinevusest. Leungi et al. (2011) uuring viidi läbi kasutades 2G 894,6 MHz (väljundvõimsus 250 mW) ja 3G sagedust 1900 MHz (125 mW) ning hinnates mõju kuulmisreaktsioonile ja kognitiivsetele testidele. Tulemused näitavad ERP signaalikomponendi N1 tõusu 2G- korral ja väiksemat täpsust 3G-ajal käitumistestis. Alfa vastuse viivitus oli ilmne nii 3G kui ka 2G tingimustes.

Kõigis kuues eespool vaadeldus uuringus varieerusid rakendatud raadiosagedus ja signaalstruktuur samaaegselt. Seetõttu ei ole võimalik eraldi kvantitatiivselt hinnata raadiokiirguse sageduse ja selle mõju vahelist seost.

2.1.6. Sõltuvus signaali struktuurist

Tabelis 2.6 on toodud uuringute jaotus telekommunikatsioonisüsteemides kasutatavate signaalide struktuuri järgi .

Tabel 2.6. Raadiokiirguse mõju tuvastanud/mittetuvastanud uuringute arvud signaali erinevate struktuuride puhul

Telekommunikatsioon standard	Mõju tuvastanud uuringute arv	Mõju mitte tuvastanud uuringute arv	Mõju tuvastanud uuringute osakaal
GSM	21	12	63,6%
WCDMA	6	7	46,2%
LTE	3	1	75%
TETRA	1	2	33,3%
WiFi	1	3	25%

Nendesse protsentidesse tuleks suhtuda ettevaatusega, kuna uuringute arv on väike. Võib täheldada mõningaid suundumusi: raadiokiirguse mõju tuvastanud uuringute osakaal on LTE- ja GSM-signaalide puhul suurem kui 50%, WCDMA- ja TETRA-signaalide puhul alla 50% ning WiFi-signaalide puhul kõige väiksem. WiFi tulemus langeb hästi kokku hiljuti avaldatud ülevaate

järeldustega (Dongus et al., 2021). See suundumus ei ole kooskõlas võimaliku sõltuvusega kasutatavast raadiosagedusest ja vajab selgitust kasutatud signaalide struktuuride eripära põhjal. Sõltuvust signaali struktuurist on detailsemat uuritud ajakirja esitatud artiklis (Hinrikus et al., 2021b).

Vaid vähesed uuringud on sama uuringu raames uurinud mõjusid erinevatele signaalstruktuuride puhul (Eltiti et al., 2009; Leung et al., 2011; Sauter et al., 2011; Danker-Hopfe et al., 2013; Vecsei et al., 2018). Neid on analüüsitud alajaotuses 1.1.5 ja leitud, radiokiirguse sageduse või signaali struktuuriga seotud muutusi ei ole võimalik eristada.

Ainult kahes uuringus hinnati kvantitatiivselt mõju sõltuvust signaali iseloomust, kasutades impulssmoduleeritud RF EMF-i muutuvat modulatsioonisagedust fikseeritud RF EMF-i sagedusel (Hinrikus et al., 2008b; Schmid et al., 2012).

Puhkeoleku EEG-l põhinev uurimus (Hinrikus et al., 2008b) individuaalse tundlikkuse kohta kasutab sagedust 450 MHz (SAR 0,303 W/kg, välja võimsustihedus 0,16 mW/cm²) ja meanderlaadset madalsageduslikku pulssmodulatsiooni 7, 14, 21, 40, 70, 217 ja 100 Hz sagedustel. EEG beeta1 võimsuse suhtelised muutused P3-P4 kanalites valiti individuaalse tundlikkuse hindamiseks neljas tervete noorte katsealuste rühmas. Oluliselt mõjutatud katsealuseid tuvastati kõigil modulatsioonisagedustel, välja arvatud 1000 Hz. Statistiliselt oluliselt mõjutatud isikute arv varieerus sõltuvalt modulatsioonisagedusest: 3 katsealust (osakaal 16%) 7 Hz modulatsiooniga, 4 katsealust (osakaal 31%) 14 Hz modulatsiooniga, 3 katsealust (osakaal 23%) 21 Hz modulatsiooniga, 3 katsealust (osakaal 20%) 40 Hz modulatsiooniga, 2 katsealust (13%) 70 Hz modulatsiooniga, 3 katsealust (16%) 217 Hz modulatsiooniga ja 0 katsealust 1000 Hz modulatsioonisagedusega. Autorid teatasid EEG võimsuse suurenemisest alfa-, beeta1- ja beeta2-sagedusribades. EEG beeta1 võimsuse maksimaalne kasv oli 25% sagedusel 7 Hz, 52% sagedusel 14 Hz, 29% 21 Hz, 35% 40 Hz, 27% 70 Hz, 32% sagedusel 217 Hz ja langes 19% (statistiliselt mitteoluline) modulatsioonisagedusel 1000 Hz (Hinrikus et al., 2008b). Tulemused näitasid, et RF EMF mõju sõltus modulatsiooni sagedusest: kõige tõhusamad modulatsiooni sagedused olid 14, 21 ja 40 Hz, samas kui 1000 Hz modulatsiooni puhul mõju ei tuvastatud.

Schmidi et al. uuringus aju elektrilise aktiivsuse kohta une ajal kasutati radiokiirgust sagedusel 900 MHz, mida moduleeriti 14 Hz ja 217 Hz sagedusega. SAR väärtus 2 W/kg oli mõlema modulatsiooni puhul sama. Autorid teatasid EEG spindlite suurenemisest sagedusvahemikus 12–24 Hz modulatsioonisagedusel 14 Hz. Maksimaalne tõus 23 % ilmnes EEG spektris 13 Hz juures. Sarnast spektraalvõimsuse suurenemist täheldati ka 217 Hz impulssmodulatsiooni tingimustes (ligikaudu 16%); mis aga ei osutunud statistiliselt oluliseks (Schmid et al., 2012).

EEG võimsuse suhtelised muutused kahes publikatsioonis (Hinrikus et al., 2008b ja Schmid et al., 2011) on erinevad. Erinevused on tingitud meetodite erisustest: publikatsioon Schmid et al., 2011 kasutab gruppide lõikes keskmistatud andmeid, Hinrikus et al., 2008b uuring kasutab üksikisiku andmeid elektroodidelt, mis asuvad aju kõige tundlikumas parietaalpiirkonnas. EEG võimsuse suurenemine muutub statistiliselt mitteoluliseks 217 Hz modulatsioonil uuringus Schmid et al., 2011 ja 1000 Hz modulatsioonil uuringus Hinrikus et al., 2008b. **Vaatamata meetodite erinevustele on märgata üldisi trende: modulatsioonisageduse suurenemisega kaasneb mõju taseme aeglane langus.**

Inimese füsioloogilised sagedused kuuluvad madalate sageduste vahemikku. Näiteks südame rütm on umbes 1 Hz, aju bioelektriliste võnkumiste maksimum leiab aset sagedustel 8- 12 Hz (EEG alfa riba) ja üksiku neuroni vilkumise sagedus on piiratud 2000 Hz-ga. Aju ja südame bioelektrilistel signaalidel on kõrgemad komponendid kuni 200 Hz. Seega on põhjendatud ootus ja ka kliinilised EEG uuringud valgusstimulatsiooniga on näidanud, et füsioloogiliste sagedustega võrdse või sellele lähedase sagedusega väline stressor põhjustab tugevamat mõju. Varasemad raadiokiirguse mõju uuringud on näidanud, et raadiosagedusliku kiirguse madalsagedusmodulatsioon on bioloogilise mõju juures oluline (Juutilainen et al., 2011; Hinrikus et al., 2011).

Telekommunikatsioonisüsteemides kasutatava raadiosageduse spektri madalsageduslikud komponendid on toodud tabelis 3.2. Tabelis 3.2 toodud väärtused näitavad, et ajapilu pikkusega seotud madalsageduslik komponent 2G, 3G, 4G ja 5G süsteemide spektris, mis on võrdne või suurem kui 1000 Hz, on liiga kõrge tekitamaks aju füsioloogilistes protsessides märkimisväärset mõju. Raadiokiirguse madalama sagedusega komponente saab seostada Up-link ja Down-link slottide suhtega, kaadri pikkuse ja kontroll-, piloot-, sünkronisatsioon- sagedustega. Nii on Up-link ja Down-link slottide suhtega seotud 50 Hz madalsageduslik komponent 5G signaalides. Kaadripikkusega seotud 100 Hz komponent esineb 3G-, 4G- ja 5G-signaalides. Need sagedused on lähedased aju elektroentsefalograafiliste protsesside spektrile ja võivad esile kutsuda muutusi aju füsioloogias. Abisignaalide madalsageduslikud komponendid on 217 Hz (2G), 200 Hz ja 25 Hz (4G) ning 12,5 Hz (5G). Väiksem hulk madalsageduslikke komponente 3G signaalis (ainult kaadriga seotud komponent) võib olla põhjuseks, miks raadiokiirguse mõju tuvastanud uuringute osakaal on väiksem kui 2G ja 4G puhul (tabel 2.6).

Telekommunikatsioonisüsteemides kasutatava raadiosageduse spekter sisaldab madalsageduslikke komponente, mis, lähtudes parameetrilise ergutuse põhimõttest, võivad mõjutada aju füsioloogilisi sagedusi.

2G, 3G, 4G tehnoloogias kasutatavate raadiokiirguste madalsageduslike komponentide sarnasus selgitab käesoleva ülevaate tulemusi (tabel 1.2): ei ole selgeid erinevusi mõjude vahel, mis on seotud erinevate põlvkondade (2G, 3G ja 4G) tehnoloogiatega. Andmed 5G mõjudest puuduvad. Arvestades, et 5G spektri madalsageduslikud komponendid on sarnased 4G spektri omadega, on erinevused mõjude tasemes ja iseloomus tõenäoliselt minimaalsed.

2.1.7. Millimeeterlainete mõju

Antud projektis tehtud kirjandusandmete analüüs, kuna sageduste piirid selles osutusid suhteliselt kitsaks, ei võimalda millimeeterlainete omapära hinnata. Sellepärast kasutame siin täiendavaid kirjandusallikaid.

Sagedustel, mis on kõrgemad kui 10 GHz, muutub dielektriline polarisatsioon, mis on nõrga raadiokiirguse toimemehhanismi peamine allikas, väikeseks ja seega dipolaarsete molekulide pöörlemise mõju muutub ebaoluliseks (Foster and Swan, 1995; Gabriel C et al., 1996; Gabriel S et al., 1996; Sasaki et al., 2014). Seetõttu dipolaarsete molekulide pöörlemisega seotud raadiokiirguse mõju väheneb oluliselt. **Sellele vaatamata on millimeeterlained näidanud**

märkimisväärset bioloogilist mõju ja efektiivsust meditsiinilistes rakendustes sagedustel 37–78 GHz (Radzievsky et al., 2000; Radzievsky et al., 2001; Ziskin 2006; Radzievsky et al., 2008; Zadobov et al., 2011). Alternatiivse võimaliku toimemehhanismina on pakutud struktuurseid muutusi rakumembraanides (Szabo et al., 2006). Soubere Mahamoudi et al. (2016) uuring näitab otseselt raadiokiirguse mittetermist mõju sagedusel 60,4 GHz (5G NR FR2 sagedus) raku metabolismile. **Millimeeterlainete mõju toimemehhanismid ei ole siiani selged.**

5G võimalike tervisemõjude analüüsil tuleb kahtlemata arvestada ka asjaoluga, et kiirgus kõrgematel raadiosagedustel ei tungi sügavale kehasse. Raadiokiirguse kehasse tungimise sügavus sõltub selle sagedusest. Läbitungimissügavus väheneb pöördvõrdeliselt ruutjuurega sagedusest. Ühest küljest kaitseb läbitungimissügavuse vähenemine sagedusega sisekudesid kiirguse eest. Kõrgemate raadiosageduste kasutamine 5G juures vähendab läbitungimissügavust, mis võib olla seotud tervisemõjude väiksema ulatusega.

Teisest küljest põhjustab läbitungimissügavuse vähenemine sagedusega neeldunud kiirguse võimsustiheduse suurenemist nahas ja naha temperatuuri tõusu, mis muutub kõige kriitilisemaks millimeeterlainete korral. Arvutused sagedustel vahemikus 10 GHz kuni 1 THz, näitasid maksimaalse temperatuuri tõusu väärtusi 0,2 C piires kiirguse võimsustiheduse puhul 10 W/m² (Sasaki et al., 2017). **Seetõttu ei tohiks naha temperatuuri tõus raadiokiirguse võimsustiheduse korral alla 10 W/m² suurendada tervisemõju tõenäosust.**

Vaatamata sellele, et kõrgema sagedusega kiirgus mõjutab otseselt nahka, ei ole võimalikud tervisemõjud seotud ainult nahaga. Perifeerne närvisüsteem, mida ergutavad nahas paiknevad närvilõpmed, käivitab füsioloogiliste protsesside ahela. Millimeeterlainete mõjude võimalike mehhanismide selgitamiseks on välja pakutud kaks mudelit: 1) naharakkude otsene aktiveerimine kutsub esile molekulaarsete signaalfaktorite sekretsiooni üldises vereringes ja 2) perifeerse närvisüsteemi stimuleerimine aktiveerib kesknärvisüsteemi ja indutseerib opioidpeptiidide sekretsiooni (Radzievsky et al., 2001). Perifeerse närvisüsteemi olulist rolli millimeeterlainete mõju puhul kinnitavad katsed, mis näitasid, et kiirgus põhjustab tugevamat mõju, kui eksponeeritakse kõrge närvilõpmete kontsentratsiooniga nahapiirkondi (Radzievsky et al., 2000).

Millimeeterlainete bioloogiliste mõjude mehhanismid ja võimalikud tagajärjed tervisele ja loodusele on keerulisemad kui mõjud madalamatel raadiosagedustel. Hiljuti avaldatud ülevaated rõhutavad, et kõrgematel sagedustel 24–100 GHz (5G FR2) ei ole tehtud piisavaid uuringuid (Belpoggi, 2021; Thielens, 2021; Simko and Mattson, 2019).

2.1.8. Pikaajaline mõju tervisele

Eksperimentaaluurinud inimestel on arusaadavalt lühiajalise kestusega. Katseprotokollid varieeruvad suurtes piirides, sisaldades erineva kestusega nii pidevat kui tsüklilist kiiritamist (tulp 4, Eksp kestus andmebaasi tabelis lisas 1). Kiirituse kestused ulatuvad mõnest minutist mõne tunnini. Une EEG ja une kvaliteedi uuringud toimuvad tavaliselt kuni kümme tundi öö jooksul.

Ainult üks uuring andmebaasis (Meo et al., 2019) esitab tulemused raadiokiirguse mõjust kahe aasta kestel. Antud uuringus võrreldakse kahes erinevas koolis õppivaid õpilasi, kes viibivad koolis kuus tundi päevas. Ühes koolis on raadiokiirguse tase 2 µW/cm² (0,002 W/cm²), (teises

10 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ (0,01 W/cm^2). Autorid on leidnud mootorsete võimete täpsuse, mälu ja tähelepanu halvenemise noorukitel kõrgema raadiokiirguse tasemega koolis. Põhimõtteliselt võib aju stimulatsioon nõrga mikrolainega mõjuda, aga on võimalik ka uuringutingimuste erinevus. Kuigi uuritavad grupid olid tasakaalustatud sooliselt, vanuseliselt, kaalult, jne., ei ole antud uuringu puhul siiski välistatud muude tingimuste (nt. õpetamismetoodika, valgustus, ventilatsioon, jmt) kaasnev mõju. Puhast eksperimenti, kasutades võrdluseks kontrollgruppi raadiokiirguseta ruumis, ei ole kaasajal võimalik teha.

Pikaajalisest mõjust rääkides on aga isegi kaheaastane periood lühike inimese elueaga võrreldes. Kaheaastast uuringut rottidel, kelle eluiga on 2-3 aastat, võib pidada arvestatavaks mudeliks, mis vastab inimese pikaajalisele kiiritamisele elu jooksul. Pikaajalisi rottide surmani kestvad uuringuid on meile teadaolevalt kaks, USA Rahvusliku Toksikoloogia Programmi (NTP) raames tehtud uuring ja kordusuuring Ramazzini instituudis Itaalias (NTP 2016; Falcioni et al., 2018). NTP uuring näitas kasvajate arvu suurenemist GSM signaali kasutamise puhul SARI tasemetel 1,5 W/kg ja 3 W/kg . Ramazzini uuring kinnitas NTP uuringu tulemusi ja näitas aju kasvajate arvu suurenemist isastel rottidel ja südame kasvajate arvu suurenemist nii isastel kui emastel rottidel kiiritamisel GSM signaaliga väljatugevusel 50 V/m (Falcionet et al., 2018). Mõlemas uuringus avaldus raadiokiirguse pikaajaline mõju allpool ICNIRP soovitatud piirväärtusi (4 W/kg , 61 V/m). Kahjuks on nii NTP kui Ramazzini uuringute disainis ja meetodites puudusi, (näiteks kontroll-sham võrdluse puudumine, mitmekordsete statistiliste hinnangute korrektsiooni puudumine), mis vähendavad tulemuste usaldusväärsust (ICNIRP 2020b). Pealegi, loomuuuringute tulemused ei pruugi olla üheselt ülekantavad inimestele.

Kumbki uuring ei sisaldanud kahjuks neurofüsioloogiliste näitajate uurimist. Siiani puuduvad andmed raadiokiirguse pikaajalisest mõjust ajutegevusele.

Pikaajaline mõju tervisele on seotud erinevate bioloogiliste-füsioloogiliste muutustega, mis eelnevad tunnetavatele tervisehäiretele ja kliinilistele sümptomitele. Hiljutine suuremahuline uuring näitas, et muutused inimese ajus toimuvad kümnekond aastat enne Alzheimeri sümptomite ilmnemist (Habes et al., 2021). Halvaloomuliste kasvajate peiteaeg on umbes 8-10 aastat. Pikaajalised põletikulised protsessid organismis, mis on seotud oksüdatiivse stressi tõusuga, võivad põhjustada haigestumist, aga inimesed ei tunneta kaua mingeid sümptomeid. Ülaltoodut silmas pidades on selge, miks haiguse algpõhjust on ülimalt keeruline tuvastada.

Seos raadiokiirguse ja oksüdatiivse stressi tõusu vahel on kinnitust leidnud in vitro uuringutes, kus on tuvastatud oksüdatiivse stressi taseme tõus raadiokiirguse mõjul (Castello et al., 2014; Xeng et al., 2016; Marjanovic Cermak et al., 2018). Schuermanni ja Mevisseni (2021) ulatuslik ülevaade annab ammendava pildi raadiokiirguse mõjust oksüdatiivsele stressile ja ka selle võimalikust seosest närvisüsteemiga.

Nõrga raadiokiirguse mittesoojusliku mõju mehhanisme, kaasates nii oksüdatiivse stressi kui närvisüsteemi, on analüüsitud hiljutises ülevaates (Hinrikus et al., 2021a), milles on jõutud järeldusele, et raadiokiirguse bioloogilise mõju muundumine tervisemõjuks on kaootiline protsess. Ka nõrk raadiokiirgus võib esile kutsuda esialgsed muutused, mis võivad tekitada, või ka mitte tekitada, riski tervisele.

Raadiokiirguse pikaajalisest mõjust ei teata hetkel kuigi palju. Seda on äärmiselt raske, kui mitte võimatu kindlaks teha paljude teiste kaasnevate mõjude tõttu. Keha soojenemise mõju hindamine 6 või 30 min jooksul ei võimalda välja selgitada pikaajalist tervisemõju ega garanteerida selle puudumist. Raadiokiirguse pikaajalise mõju uuringutele on siiani vähe tähelepanu pööratud. Selle põhjusteks võivad olla nii uuringute keerukus ja väga kõrge hind (nt NTP uuring) kui ka asjaolu, et WHO on oma raadiosageduslike väljade teadusuuringute agendast prioriteetsete hulgast välja jätnud raadiokiirguse tervisemõju aspektist väga olulised pikaajalised uuringud (WHO 2010).

2.1.9. Järeldused

Käesolevas ülevaate punktis analüüsiti eksperimentaalseid uuringuid raadiokiirguse mõju kohta inimese EEG-le, ERP-le, tunnetusele ja käitumisele mobiilsidetehnoloogia 2G, 3G ja 4G põlvkondadele tüüpilistes tingimustes sagedustel 450–2500 MHz viimase viieteistkümneme aasta jooksul. Publikatsioonide otsing ei toonud välja inimese EEG, ERP, tunnetuse ja käitumise uuringuid 5G puhul ega ka raadiokiirguse sagedustel, mis on kõrgemad kui 2500 MHz.

Käesoleva ülevaate tulemused ei näita regulaarset seost raadiosagedusliku elektromagnetvälja mõju tugevuse ja selle iseloomu ning raadiokiirguse taseme ega ka mobiilsidetehnoloogia eri põlvkondade (2G, 3G, 4G) parameetrite vahel.

Publikatsioonide analüüs, kaasates raadiokiirguse toimemehhanisme sisaldavaid uuringuid, võimaldab formuleerida järgmised järeldused:

1. Raadiokiirguse mõju selle taseme (SAR väärtused) vahel ei ole korrapärast sõltuvust (tabel 1.3).

2. Eksperimentaalsed uuringud ega ka nõrga raadiokiirguse toimemehhanismide analüüs ei võimalda tuvastada mõju läve. Sama olukord on ka madala tasemega ioniseeriva kiirguse puhul.

3. Uuringusse kaasatud publikatsioonide põhjal on kõige nõrgem ajutegevust mõjutanud raadiokiirguse väljatugevus 2,45 V/m (SAR=0,003 W/kg).

4. Telekommunikatsioonitehnoloogia erinevad põlvkonnad tekitavad sarnaseid mõjusid ajutegevusele. Konkreetse mõjuga seotud raadiosagedust ega signaalstruktuuri ei ole.

5. Raadiosageduse suurenemisega võib märgata mõjusid tuvastanud uuringute osakaalu langust (tabel 2.5). Nõrga raadiokiirguse mõju langus sageduse tõusuga on seletatav selle algpõhjuse, dielektrilise polarisatsiooni, vähenemisega kõrgematel sagedustel.

6. Aju rütmidele lähedaste madalsageduslike komponentide olemasolu raadiokiirguse spektris on oluline tegur, mis tingib kiirguse mõju ajutegevusele (tabel 2.6).

Praegu puuduvad andmed 5G telekommunikatsioonisüsteemidega seotud raadiokiirguse mõjude osas. Kombineerides katsetulemuste andmeid olemasolevate teadmistega raadiokiirguse mõjude mehhanismide kohta, saab teha mõningaid järeldusi võimalike 5G mõjude kohta:

1. Raadiosagedustel, mis on madalamad kui 10 GHz, ei tohiks 5G NR FR1 mõjul olla põhimõttelisi erinevusi võrreldes eelmiste põlvkondadega.
2. 5G-s kasutatavad sagedused on kõrgemad, mistõttu on mõju pigem madalam kui eelmistel põlvkondadel.

3. 5G NR FR1 signaali struktuur on sarnane 4G omaga. Seetõttu peaksid võimalikud tervisemõjud olema samal tasemel.
4. Raadiosagedustel, mis on kõrgemad kui 10 GHz, võib mõjude mehhanism muutuda ja seega 5G NR FR2 võimalik mõju muutub ettearvamatuks.
5. Millimeeterlainete (5G NR FR2) mõju ei piirdu ainult nahaga, vaid laieneb närvisüsteemi ergastuse kaudu.

Olemasolevad piiratud teadmised raadiokiirguse mõjude mehhanismi kohta ja eksperimentaalsete andmete puudulikkus millimeeterlainetel ei võimalda teha usaldusväärseid järeldusi 5G NR FR2 võimalike mõjude osas.

Raadiokiirguse bioloogilise mõju muundumine tervisemõjuks on kaootiline protsess. Ka nõrk raadiokiirgus võib esile kutsuda esialgsed muutused, mis võivad tekitada, või ka mitte tekitada, riski tervisele. Raadiokiirguse tervisemõju aspektist väga oluliste pikaajaliste uuringute andmete puudulikkus ei võimalda teha usaldusväärseid järeldusi tervisemõjude osas.

Viited

- Bachmann M, Tomson R, Kalda J, Säkki M, Lass J, Tuulik V, Hinrikus H. 2007. Individual changes in human EEG caused by 450 MHz microwave modulated at 40 and 70 Hz. *The Environmentalist*, 27 (4): 511-517.
- Bachmann M, Hinrikus H, Adamsoo K, Vohma U, Lass J, Rubljova J, Suhhova A, Tuulik V. 2007b. Modulated microwave effects on individuals with depressive disorder. *The Environmentalist* 27 (4): 505-510.
- Bachmann M, Päeske L, Ioannides AA, Lass J, Hinrikus H. 2018. After-effect induced by microwave radiation in human electroencephalographic signal: a feasibility study. *Int J Radiat Biol* 94: 896-901.
- Bardasano JL, Alvarez-Ude J, Gutierrez I, Raposo M, Goya R. 2007. EEG bioeffects on cochlear deaf from cellular phones. *Environmentalist* 27 (4): 519-523.
- Belpoggi, F. (2021) Health impact of 5G, 175 p. Panel for the Future of Science and Technology (STOA). European parliament, Brussels, European Union. 2021. [EPRS_STU\(2021\)690012_EN.pdf](#)
- Bueno-Lopez A, Eggert T, Dorn H, Schmid G, Hirtl R, Danker-Hopfe H. 2020. Effects of 2.45 GHz Wi-Fi exposure on sleep-dependent memory consolidation. *J Sleep Res*: e13224
- Castello PR, Hill I, Sivo F, Portelli L, Barnes F, Usselman R, Martinoet CF. 2014. Inhibition of cellular proliferation and enhancement of hydrogen peroxide production in fibrosarcoma cell line by weak radio frequency magnetic fields. *Bioelectromagnetics* 35(8): 598-602
- Cinel C, Boldini A, Fox E, Russo R. 2008. Does the use of mobile phones affect human short-term memory or attention? *Appl Cognit Psychol* 22 (8): 1113-1125.
- Croft RJ, Hamblin DL, Spong J, Wood AW, McKenzie RJ, Stough C. 2008. The effect of mobile phone electromagnetic fields on the alpha rhythm of human electroencephalogram. *Bioelectromagnetics* 29 (1): 1-10.

- Croft RJ, Leung S, McKenzie RJ, Loughran SP, Iskra S, Hamblin DL, Cooper NR. 2010. Effects of 2G and 3G mobile phones on human alpha rhythms: Resting EEG in adolescents, young adults, and the elderly. *Bioelectromagnetics* 31 (6): 434-444.
- Curcio G, Valentini E, Moroni F, Ferrara M, De Gennaro L, Bertini M. 2008. Psychomotor performance is not influenced by brief repeated exposures to mobile phones. *Bioelectromagnetics* 29 (3): 237-241.
- Curcio G, Ferrara M, Limongi T, Tempesta D, Di Sante G, De Gennaro L, Quaresima V, Ferrari M. 2009. Acute mobile phones exposure affects frontal cortex hemodynamics as evidenced by functional near-infrared spectroscopy. *J Cereb Blood Flow Metab* 29 (5): 903-910.
- Curcio G, Mazzucchi E, Della Marca G, Vollono C, Rossini PM. 2015. Electromagnetic fields and EEG spiking rate in patients with focal epilepsy. *Clin Neurophysiol* 126 (4): 659-666.
- Dalecki A, Loughran SP, Verrender A, Burdon CA, Taylor NAS, Croft RJ. 2018. Does acute radio-frequency electromagnetic field exposure affect visual event-related potentials in healthy adults? *Clin Neurophysiol* 129 (5): 901-908.
- Danker-Hopfe H, Dorn H, Bornkessel C, Sauter C. 2010. Do mobile phone base stations affect sleep of residents? Results from an experimental double-blind sham-controlled field study. *Am J Hum Biol* 22 (5): 613-618.
- Danker-Hopfe H, Dorn H, Bahr A, Anderer P, Sauter C. 2011. Effects of electromagnetic fields emitted by mobile phones (GSM 900 and WCDMA/UMTS) on the macrostructure of sleep. *J Sleep Res* 20 (1): 73-81.
- de Tommaso M, Rossi P, Falsaperla R, Francesco Vde V, Santoro R, Federici A. 2009. Mobile phones exposure induces changes of contingent negative variation in humans. *Neurosci Lett* 464 (2): 79-83.
- Dongus S, Jalilian H, Schürmann D, Rösli M. 2021. Health effects of WiFi radiation: a review based on systematic quality evaluation. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. Ahead of print DOI: 10.1080/10643389.2021.1951549
- Eggert T, Dorn H, Sauter C, Marasanov A, Hansen ML, Peter A, Schmid G, Bolz T, Danker-Hopfe H. 2015. Terrestrial Trunked Radio (TETRA) exposure and its impact on slow cortical potentials. *Environ Res* 143 Pt A: 112-122.
- Eltiti S, Wallace D, Ridgewell A, Zougkou K, Russo R, Sepulveda F, Fox E. 2009. Short-term exposure to mobile phone base station signals does not affect cognitive functioning or physiological measures in individuals who report sensitivity to electromagnetic fields and controls. *Bioelectromagnetics* 30 (7): 556-563.
- 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. 2018. 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*.165:496-503. doi: 10.1016/j.envres.2018.01.037.

- 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.
- Fritzer G, Göder R, Friege L, Wachter J, Hansen V, Hinze-Selch D, Aldenhoff JB. 2007. Effects of short- and long-term pulsed radiofrequency electromagnetic fields on night sleep and cognitive functions in healthy subjects. *Bioelectromagnetics* 28 (4): 316-325.
- Gabriel C, Gabriel S, Corthout E. 1996. The dielectric properties of biological tissues: I. Literature survey. *Phys Med Biol* 41:2231–2249.
- Gabriel S, Law RW, Gabriel C. 1996. The dielectric properties of biological tissues: II. Measurements in the frequency range 10 Hz to 20 GHz. *Phys Med Biol* 41:2251–2269.
- Ghosn R, Yahia-Cherif L, Hugueville L, Ducorps A, Lemarechal JD, Thuroczy G, de Seze R, Selmaoui B. 2015. Radiofrequency signal affects alpha band in resting electroencephalogram. *J Neurophysiol* 113 (7): 2753-2759.
- Haarala C, Takio F, Rintee T, Laine M, Koivisto M, Revonsuo A, Hämäläinen H. 2007. Pulsed and continuous wave mobile phone exposure over left versus right hemisphere: effects on human cognitive function. *Bioelectromagnetics* 28 (4): 289-295. The Brain Chart of Aging: Machine-learning analytics reveals links between brain aging, white matter disease, amyloid burden, and cognition in the iSTAGING consortium of 10,216 harmonized MR scans.
- Habes M, Pomponio R, Shou H, Doshi J, Mamourian E, Erus G, Nasrallah I, Launer LJ, Rashid T, Bilgel M, Fan Y, Toledo JB, Yaffe K, Sotiras A, Srinivasan D, Espeland M, Masters C, Maruff P, Frapp J, Völzk H, Johnson SC, Morris JC, Albert MS, Miller MI, Bryan RN, Grabe HJ, Resnick SM, Wolk DA, Davatzikos C; iSTAGING consortium, the Preclinical AD consortium, the ADNI, and the CARDIA studies. *Alzheimers Dement.* 2021 Jan;17(1):89-102. doi: 10.1002/alz.12178.
- Hasted JB. 1973. Aqueous dielectrics. London: Chapman and Hall. p. 302
- Hillert L, Akerstedt T, Lowden A, Wiholm C, Kuster N, Ebert S, Boutry C, Moffat SD, Berg M, Arnetz BB. 2008. The effects of 884 MHz GSM wireless communication signals on headache and other symptoms: an experimental provocation study. *Bioelectromagnetics* 29 (3): 185-196.
- 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 Radiat Biol* 84 (1): 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 (7): 527-538.
- Hinrikus H, Bachmann M, Lass J, Tuulik V. 2009. Effect of modulated at different low frequencies microwave radiation on human EEG. *Environmentalist* 29 (2): 215-219.
- Hinrikus H, Bachmann M, Karai D, Klonowski W, Lass J, Stepien P, Stepien R, Tuulik V. 2011a. Higuchi's fractal dimension for analysis of the effect of external periodic stressor on electrical oscillations in the brain. *Med Biol Eng Comput* 49 (5): 585-591.

- Hinrikus H, Bachmann M, Lass J. 2011b. Parametric mechanism of excitation of the electroencephalographic rhythms by modulated microwave radiation. *Int J Radiat Biol* 87 (11), 1077-1085.
- Hinrikus H, Bachmann M, Karai D, Lass J. Mechanism of low-level microwave radiation effect on nervous system. 2017. *Electromagn Biol Med* 36 (2): 202-212.
- Hinrikus H, Bachmann M, Lass J. 2018. Understanding physical mechanism of low-level microwave radiation effect. *Int J Radiat Biol.* 94(10):877–882.
- Hinrikus H, Lass J, Bachmann M. 2021a. Threshold of radiofrequency electromagnetic field effect on human brain. *Int J Radiat Biol.* 97(11):1505-1515.
- Hinrikus H, Koppel T, Lass J, Orru H, Roosipuu P, Bachmann M. 2021b. Possible health effects on the human brain by various generations of mobile telecommunication: a review based estimation of 5G impact. *Int J Radiat Biol* (submitted Oct 27, 2021)
- Hosseini MA, Hosseini A, Jarideh S, Argasi H, Shekoohi-Shooli F, Zamani A, Taeb S, Haghani M. 2019 Evaluating short-term exposure to Wi-Fi signals on students' reaction time, short-term memory and reasoning ability. *Radiat Prot Dosimetry* 187: 279-228.
- Hung CS, Anderson C, Horne JA, McEvoy PD. 2007. Mobile phone 'talk-mode' signal delays EEG-determined sleep onset. *Neurosci Lett* 421 (1): 82-86.
- 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 2020a. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP). Guidelines for Limiting Exposure to Electromagnetic Fields (100 kHz to 300 GHz). *Health Phys.* 118(5):483-524.
- ICNIRP 2020b. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP). Note: Critical Evaluation of Two Radiofrequency Electromagnetic Field Animal Carcinogenicity Studies Published in 2018. *Health Phys.* 2020 May;118(5):525-532.
- Juutilainen J, Hoyto A, Kumlin T, Naarala J. 2011. Review of possible modulation-dependent biological effects of radiofrequency fields. *Bioelectromagnetics.* 32(7):511–534.
- Kleinogel H, Dierks T, Koenig T, Lehmann H, Minder A, Berz R. 2008a. Effects of weak mobile phone - electromagnetic fields (GSM, UMTS) on well-being and resting EEG. *Bioelectromagnetics* 29 (6): 479-487.
- Kleinogel H, Dierks T, Koenig T, Lehmann H, Minder A, Berz R. 2008b. Effects of weak mobile phone - electromagnetic fields (GSM, UMTS) on event related potentials and cognitive functions. *Bioelectromagnetics* 29 (6): 488-497.
- Krause CM, Pesonen M, Haarala Björnberg C, Hämäläinen H. 2007. Effects of pulsed and continuous wave 902 MHz mobile phone exposure on brain oscillatory activity during cognitive processing. *Bioelectromagnetics* 28 (4): 296-230.
- Kwon MS, Kujala T, Huotilainen M, Shestakova A, Naatanen R, Hämäläinen H. 2009. Preattentive auditory information processing under exposure to the 902 MHz GSM mobile phone electromagnetic field: a mismatch negativity (MMN) study. *Bioelectromagnetics* 30 (3): 241-248.

- Kwon MS, Huotilainen M, Shestakova A, Kujala T, Näätänen R, Hämäläinen H. 2010. No effects of mobile phone use on cortical auditory change-detection in children: an ERP study. *Bioelectromagnetics* 31 (3): 191-199.
- Kwon MS, Hämäläinen H. 2011a. Effects of mobile phone electromagnetic fields: critical evaluation of behavioral and neurophysiological studies. *Bioelectromagnetics* 2011; 32: 253-272.
- Kwon MS, Vorobyev V, Kännälä S, Laine M, Rinne JO, Toivonen T, Johansson J, Teras M, Lindholm H, Alanko T, Hamalainen H. 2011b. GSM mobile phone radiation suppresses brain glucose metabolism. *J Cereb Blood Flow Metab* 31 (12): 2293-2301.
- Leitgeb N, Schröttner J, Cech R, Kerbl R. 2008. EMF-protection sleep study near mobile phone base stations]. *Somnologie (Somnology)* 12 (3): 234-243.
- Leung S, Croft RJ, McKenzie RJ, Iskra S, Silber B, Cooper NR, O'Neill B, Cropley V, Diaz-Trujillo A, Hamblin D, Simpson D. 2011. Effects of 2G and 3G mobile phones on performance and electrophysiology in adolescents, young adults and older adults. *Clin Neurophysiol* 122 (11): 2203-2216.
- Loughran SP, McKenzie RJ, Jackson ML, Howard ME, Croft RJ. 2012. Individual differences in the effects of mobile phone exposure on human sleep: Rethinking the problem. *Bioelectromagnetics* 33 (1): 86-93.
- Loughran SP, Benz DC, Schmid MR, Murbach M, Kuster N, Achermann P. 2013. No increased sensitivity in brain activity of adolescents exposed to mobile phone-like emissions. *Clin Neurophysiol* 124 (7): 1303-1308.
- Loughran SP, Verrender A, Dalecki A, Burdon CA, Tagami K, Park J, Taylor NAS, Croft RJ. 2019. Radiofrequency Electromagnetic Field Exposure and the Resting EEG: Exploring the Thermal Mechanism Hypothesis. *Int J Environ Res Public Health* 16 (9): e1505
- Lowden A, Akerstedt T, Ingre M, Wiholm C, Hillert L, Kuster N, Nilsson JP, Arnetz B. 2011. Sleep after mobile phone exposure in subjects with mobile phone-related symptoms. *Bioelectromagnetics* 32 (1): 4-14.
- Lowden A, Nagai R, Åkerstedt T, Hansson Mild K, Hillert L. 2019. Effects of evening exposure to electromagnetic fields emitted by 3G mobile phones on health and night sleep EEG architecture. *J Sleep Res* 28 (4): e12813
- Lv B, Chen Z, Wu T, Shao Q, Yan D, Ma L, Lu K, Xie Y. 2014 The alteration of spontaneous low frequency oscillations caused by acute electromagnetic fields exposure. *Clin Neurophysiol* 125 (2): 277-286.
- Luria R, Eliyahu I, Hareuveny R, Margalioth M, Meiran N. 2009. Cognitive effects of radiation emitted by cellular phones: the influence of exposure side and time. *Bioelectromagnetics* 30 (3): 198-204.
- Lustenberger C, Murbach M, Dürr R, Schmid MR, Kuster N, Achermann P, Huber R. 2013. Stimulation of the brain with radiofrequency electromagnetic field pulses affects sleep-dependent performance improvement. *Brain Stimul* 6 (5): 805-811.

- Lustenberger C, Murbach M, Tushaus L, Wehrle F, Kuster N, Achermann P, Huber R. 2015. Inter-individual and intra-individual variation of the effects of pulsed RF EMF exposure on the human sleep EEG. *Bioelectromagnetics* 36 (3): 169-177.
- Marino AA, Carrubba S. The effects of mobile phone electromagnetic fields on brain electrical activity: a critical analysis of the literature. *Electromagn. Biol.Med.* 2009; 28: 250-274.
- Marjanovic Cermak, A.M.; Pavicic, I.; Trosic, I. Oxidative stress response in SH-SY5Y cells exposed to short-term 1800 MHz radiofrequency radiation. *J. Environ. Sci. Health Part A Toxic/Hazard. Subst. Environ. Eng.* 2018, 53, 132–138.
- Meo SA, Almahmoud M, Alsultan Q, Alotaibi N, Alnajashi I, Hajjar WM. 2019. Mobile Phone Base Station Tower Settings Adjacent to School Buildings: Impact on Students' Cognitive Health. *Am J Mens Health* 13 (1): 1557988318816914
- Mudgett E. 1985. Dielectric properties of foods. In De Careau R V ed. *Microwaves in the Food Processing Industry*. New York: Academic Press.
- Nakatani-Enomoto S, Furubayashi T, Ushiyama A, Groiss SJ, Ueshima K, Sokejima S, Simba AY, Wake K, Watanabe SI, Nishikawa M, Miyawaki K, Taki M, Ugawa Y. 2013. Effects of electromagnetic fields emitted from W-CDMA-like mobile phones on sleep in humans. *Bioelectromagnetics* 34 (8): 589-598
- Nakatani-Enomoto S, Yamazaki M, Nishiura K, Enomoto H, Ugawa Y. 2020. Effects of electromagnetic fields from long-term evolution on awake electroencephalogram in healthy humans. *Neurosci Res* 156: 102-107.
- 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>.
- Papageorgiou, C. C., Hountala, C. D., Maganioti, A. E., Kyprianou, M. A., Rabavilas, A. D., Papadimitriou, G. N., & Capsalis, C. N. (2011). Effects of WI-FI signals on the p300 component of event-related potentials during an auditory hayling task. *Journal of Integrative Neuroscience*, 10(2), 189–202.
- Pethig R. 1979. *Dielectric and electronic properties of biological materials*. New York: John Wiley & Sons. 376 p.
- Radzievsky AA, Rojavin MA, Cowan A, Alekseev SI, Ziskin MC. 2000. Hypoalgesic effect of millimeter waves in mice: dependence on the site of exposure. *Life Sci.* 66 (21): 2101-2111.
- Radzievsky AA.; Rojavin, M.A.; Cowan, A.; Alekseev, S.I.; Radzievsky, A.A. Jr.; Ziskin, M.C. 2001. Peripheral neural system involvement in hypoalgesic effect of electromagnetic millimeter waves. *Life Sci.* 68:1143–1151.
- Radzievsky AA, Gordiienko OV, Alekseev S, Szabo I, Cowan A, Ziskin MC. 2008. Electromagnetic millimeter wave induced hypoalgesia: frequency dependence and involvement of endogenous opioids. *Bioelectromagnetics* 29(4):284-95.

- Regel SJ, Gottselig JM, Schuderer J, Tinguely G, Retey JV, Kuster N, Landolt HP, Achermann P. 2007a. Pulsed radio frequency radiation affects cognitive performance and the waking electroencephalogram. *NeuroReport* 18:803–807.
- Regel SJ, Tinguely G, Schuderer J, Adam M, Kuster N, Landolt HP, Achermann P. 2007b. Pulsed radio-frequency electromagnetic fields: Dose-dependent effects on sleep, the sleep EEG and cognitive performance. *J Sleep Res* 16:253–258.
- Riddervold IS, Kjaergaard SK, Pedersen GF, Andersen NT, Franek O, Pedersen AD, Sigsgaard T, Zachariae R, Molhave L, Andersen JB. 2010. No effect of TETRA hand portable transmission signals on human cognitive function and symptoms. *Bioelectromagnetics* 31 (3): 191-199.
- Roggeveen S, van Os J, Viechtbauer W, Lousberg R. 2015a. EEG changes due to experimentally induced 3G mobile phone radiation. *PLoS One* 10 (6): e0129496
- Roggeveen S, van Os J, Lousberg R. Does the brain detect 3G mobile phone radiation peaks? An explorative in-depth analysis of an experimental study. 2015b. *PLoS One* 10 (5): e0125390
- Sasaki K, Wake K, Watanabe S. 2014. Measurement of the dielectric properties of the epidermis and dermis at frequencies from 0.5 GHz to 110 GHz. *Phys. Med. Biol.* 59:4739–4747.
- Sasaki K, Mizuno M, Wake K, Watanabe S. 2017. Monte Carlo simulations of skin exposure to electromagnetic field from 10 GHz to 1 THz. *Phys. Med. Biol.* 62: 6993–7010.
- Sauter C, Dorn H, Bahr A, Hansen ML, Peter A, Bajbouj M, Danker-Hopfe H. 2011. Effects of exposure to electromagnetic fields emitted by GSM 900 and WCDMA mobile phones on cognitive function in young male subjects. *Bioelectromagnetics* 32 (3): 179-190.
- Sauter C, Eggert T, Dorn H, Schmid G, Bolz T, Marasanov A, Hansen ML, Peter A, Danker-Hopfe H. 2015. Do signals of a hand-held TETRA transmitter affect cognitive performance, well-being, mood or somatic complaints in healthy young men? Results of a randomized double-blind cross-over provocation study. *Environ Res* 140: 85-94.
- Schmid MR, Murbach M, Lustenberger C, Maire M, Kuster N, Achermann P, Loughran SP. 2012a. Sleep EEG alterations: effects of pulsed magnetic fields versus pulse-modulated radio frequency electromagnetic fields. *J Sleep Res* 21 (6): 620-629.
- Schmid MR, Loughran SP, Regel SJ, Murbach M, Bratic Grunauer A, Rusterholz T, Bersagliere A, Kuster N, Achermann P. 2012b. Sleep EEG alterations: effects of different pulse-modulated radio frequency electromagnetic fields. *J Sleep Res* 21 (1): 50-58.
- Schuermann, D.; Mevissen, M. Manmade Electromagnetic Fields and Oxidative Stress—Biological Effects and Consequences for Health. *Int. J. Mol. Sci.* 2021, 22, 3772. <https://doi.org/10.3390/ijms22073772>
- Simkó M, Mattsson M-O. 2019. 5G Wireless Communication and Health Effects—A Pragmatic Review Based on Available Studies Regarding 6 to 100 GHz. *J. Environ. Res. Public Health*, 16: 3406; doi:10.3390/ijerph16183406
- Soubere Mahamoud Y, Aite M, Martin C, Zhadobov M, Sauleau R, Le Dréan Y, Habauzit D. 2016. Additive Effects of Millimeter Waves and 2-Deoxyglucose Co-Exposure on the Human Keratinocyte Transcriptome. *PLoS ONE* 11(8):e0160810. doi:10.1371/journal.pone.0160810

- Stefanics G, Thuroczy G, Kellenyi L, Hernadi I. 2008. Effects of twenty-minute 3G mobile phone irradiation on event related potential components and early gamma synchronization in auditory oddball paradigm. *Neuroscience* 157 (2): 453-462.
- Suhhova A, Bachmann M, Lass J, Karai D, Hinrikus H. 2009. Effect of modulated microwave radiation on human EEG asymmetry. *Environmentalist* 29 (2): 210-214.
- 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 (4): 264-274.
- Szabo I; Kappelmayer J; Alekseev SI, Ziskin MC. 2006. Millimeter wave induced reversible externalization of phosphatidylserine molecules in cells exposed in vitro. *Bioelectromagnetics*, 27: 233–244.
- Tiuri ME. 1964. Radio astronomy receivers. *IEEE Trans Ant Prop.* 12(7):930–938.
- Thielens A. 2021. Environmental impacts of 5G. A literature review of effects of radio-frequency electromagnetic field exposure of non-human vertebrates, invertebrates and plants. 136 p. Panel for the Future of Science and Technology (STOA). European parliament, Brussels, European Union. [EPRS_STU\(2021\)690021_EN.pdf](#)
- Trunk A, Stefanics G, Zentai N, Kovacs-Balint Z, Thuroczy G, Hernadi. 2013. No effects of a single 3G UMTS mobile phone exposure on spontaneous EEG activity, ERP correlates, and automatic deviance detection. *Bioelectromagnetics* 34 (1): 31-42
- Trunk A, Stefanics G, Zentai N, Bacskay I, Felinger A, Thuroczy G, Hernadi I. 2015. Effects of concurrent caffeine and mobile phone exposure on local target probability processing in the human brain. *Sci Rep* 5: 14434
- 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.
- Vecchio F, Babiloni C, Ferreri F, Curcio G, Fini R, Del Percio C, Rossini PM. 2007. Mobile phone emission modulates interhemispheric functional coupling of EEG alpha rhythms. *Eur J Neurosci* 25 (6): 1908-1913.
- Vecchio F, Babiloni C, Ferreri F, Buffo P, Cibelli G, Curcio G, van Dijkman S, Melgari JM, Giambattistelli F, Rossini PM. 2010. Mobile phone emission modulates inter-hemispheric functional coupling of EEG alpha rhythms in elderly compared to young subjects. *Clin Neurophysiol* 121 (2): 163-171.
- Vecchio F, Buffo P, Sergio S, Iacoviello D, Rossini PM, Babiloni C. 2012. Mobile phone emission modulates event-related desynchronization of alpha rhythms and cognitive-motor performance in healthy humans. *Clin Neurophysiol* 123 (1): 121-128
- Vecsei Z, Csatho A, Thuroczy G, Hernadi I. Effect of a single 30 min UMTS mobile phone-like exposure on the thermal pain threshold of young healthy volunteers. 2013. *Bioelectromagnetics* 34 (7): 530-541.
- Vecsei Z, Knakker B, Juhász P, Thuróczy G, Trunk A, Hernádi 2018. Short-term radiofrequency exposure from new generation mobile phones reduces EEG alpha power with no effects on cognitive performance. *Sci Rep* 8 (1): 18010

- Verrender A, Loughran SP, Dalecki A, McKenzie R, Croft RJ. 2016. Pulse modulated radiofrequency exposure influences cognitive performance. *Int J Radiat Biol*: 92 (10): 603-610.
- Volkow ND, Tomasi D, Wang GJ, Vaska P, Fowler JS, Telang F, Alexoff D, Logan J, Wong C. 2011. Effects of cell phone radiofrequency signal exposure on brain glucose metabolism. *JAMA* 305 (8): 808-813.
- WHO 2010. WHO research agenda for radiofrequency fields. World Health Organization, WHO Press 2010, 38 p.
- Wiholm C, Lowden A, Kuster N, Hillert L, Arnetz BB, Akerstedt T, Moffat SD. 2009. Mobile phone exposure and spatial memory. *Bioelectromagnetics* 30 (1): 59-65.
- Xing F, Zhan Q, He Y, Cui J, He S, Wang G. 2016. 1800MHz Microwave induces p53 and p53-mediated Caspase-3 activation leading to cell apoptosis in vitro. *PLoS ONE* 11(9): e0163935. doi:10.1371/journal.pone.0163935
- Yang L, Chen Q, Lv B, Wu T. 2017. Long-Term Evolution electromagnetic fields exposure modulates the resting state EEG on alpha and beta bands. *Clin EEG Neurosci* 48 (3): 168-175
- Zentai N, Csatho A, Trunk A, Fiocchi S, Parazzini M, Ravazzani P, Thuroczy G, Hernadi I. 2015. No Effects of Acute Exposure to Wi-Fi Electromagnetic Fields on Spontaneous EEG Activity and Psychomotor Vigilance in Healthy Human Volunteers. *Radiat Res* 184 (6): 568-577.
- Zhadobov M, Chahat N, Sauleau R, Le Quement C, Le Drean Y. 2011. Millimeter-Wave Interactions with the Human Body: State of Knowledge and Recent Advances. *International Journal of Microwave and Wireless Technologies*, 3: 237-247.
- Ziskin M.C. (2006) Physiological mechanisms underlying millimeter wave therapy. In: Ayrapetyan S.N., Markov M.S. (eds) *Bioelectromagnetics Current Concepts*. NATO Security Through Science Series. Springer, Dordrecht . https://doi.org/10.1007/1-4020-4278-7_14

2.2. Ülevaade rahvastikupõhistest uuringutest

Kõige täpsema ülevaate raadiosagedusliku elektromagnetvälja mõjust inimese tervisele annavad rahvastikupõhised uuringud. Kui rahvastikupõhises uuringus näidatakse mõju inimese tervisele, siis saame teha kõige kindlamaid järeldusi teguri tervisemõjude kohta. Kuigi ka loomkatse annab häid andmeid teguri bioloogilise mõju kohta, jääb alati õhku küsimus katselooma ja inimese erinevustest.

Rahvastikupõhistel uuringutel on ka piiranguid, millest suurimaks on mitteküllaldased andmed kokkupuute kohta ohuteguriga (näiteks täpsed kiirgusdoosid) ning samaaegne kokkupuude erinevate ohuteguritega (lisaks kiirgusele veel teised ohutegurid nagu kemikaalid jne). Samas püütakse saadavaid kiirgusdoose järjest enam täpsustada, et uurida võimalikult põhjalikult võimalikke tervisemõjusid. Käesolevas ülevaates keskendume enam närvisüsteemi mõjule ning vähi riski suurenemisele, kuid puudutame ka teisi uuritud võimalikke tervisemõjusid.

Suures plaanis saab rahvastikupõhised uuringud jaotada epidemioloogilisteks ning eksperimentaalseteks uuringuteks. Epidemioloogiliste uuringute alla kuuluvad näiteks kohort uuring, juht-kontroll uuring ning läbilõikeline ja ökoloogiline uuring (küll peetakse kahe viimase usaldusväärsust teistest oluliselt madalamaks). Eksperimentaalse uuringu alla kuulub eeskätt kontrollitud katse (näiteks inimeste tervisenäitajate jälgimine laboritingimustes puutudes kokku raadiosagedusliku elektromagnetväljaga, mille suurus on sarnane sellega millega igapäeva elus kokku puututakse). Küll saab selliste uuringutega uurida suhteliselt kergeid mõjusid nagu häiritus, kuna uuringu käigus ei tohi kahjustada inimeste tervist.

Järgnevalt antakse johtuvalt uuringu lähteülesandest ülevaade olulisemate rahvusvaheliste organisatsioonide seisukohtadest mõjust inimese tervisele, nende tellitud teaduslikest ülevaadetest ning kõige uuematest teadusartiklitest, mis käsitlevad raadiosagedusliku elektromagnetvälja mõju rahvastikupõhistes epidemioloogilistes uuringutes.

2.2.1. Maailma Terviseorganisatsioon

Maailma Terviseorganisatsiooni (WHO) viimane ülevaade raadiosagedusliku elektromagnetvälja mõjudest on pärit 1993. aastast (WHO, 1993). Kuna tegemist on küllaltki vananenud infoga, on WHO koostamas uuendatud süstemaatilisi ülevaateid (SÜ) alljärgnevates valdkondades:

- SÜ 1 – vähk (epidemioloogilised uuringud)
- SÜ 2 – vähk (loomkatsed)
- SÜ 3 – reproduktiivsüsteem (epidemioloogilised uuringud)
- SÜ 4 – reproduktiivsüsteem (loomkatsed ja *in vitro* uuringud)
- SÜ 5 – kognitiivne võimekus (epidemioloogilised uuringud)
- SÜ 6 – kognitiivne võimekus (inimeste eksperimentaalsed uuringud)
- SÜ 7 – sümptomid (epidemioloogilised uuringud)
- SÜ 8 – sümptomid (inimeste eksperimentaalsed uuringud)
- SÜ 9 – biomarkerid ja oksüdatiivne stress
- SÜ 10 – kokkupuude soojusega ning valu, põletus, katarakt ning kuumahaigused

Käesolevaks hetkeks on teadusajakirjades avaldatud nelja süstemaatilise ülevaate uuringuprotokollid: SÜ1 – (Lagorio et al., 2021); SÜ4 – (Pacchierotti et al., 2021); SÜ6 – (Pophof et al., 2021); SÜ7 – (Rööslī et al., 2021). Teiste süstemaatiliste ülevaadete puhul on käimas meeskondade planeerimine ja meetodika koostamine. Ülevaadete üheks eesmärgiks on ka sisendi pakkumine Rahvusvahelise Mitteioniseeriva Kiirguse Kaitse Komisjonile (ICNIRP, *International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection*) oma järgnevate suuniste kujundamisel.

Lisaks sellele on WHO allasutus Rahvusvaheline Vähiuurimise Keskus (IARC) 2011. aastal lugenud raadiosagedusliku elektromagnetvälja võimalikuks vähki tekitavaks teguriks (2B). Klass 2B alusel on vaid piiratud hulgal teaduslikke tõendeid selle kohta, et tegur suurendab inimestel vähiriski, ent on piisavalt tõendeid suurenenud vähiriski kohta katseloomadel.

2.2.2. Euroopa Parlament ja Euroopa Komisjon

Euroopa Komisjoni poolt on raadiosagedusliku elektromagnetväljade tervisemõju analüüsi teostanud Tekkivate ja uute tuvastatud terviseriskide teaduskomitee (SCENIHR, *Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks*). Nende poolt 2015. aastal koostatud ülevaates ja selle põhjal ilmunud teadusartiklis on jällegi vaadatud võimalikke mõjusid haigusrühmade kaupa (SCENIHR, 2015a, b).

SCENIHR seisukohast ei näita epidemioloogilised uuringud üheselt raadiosagedusliku elektromagnetvälja seoseid ajuvähiga ning ka teiste vähkidega pea ja kaela piirkonnas. Ka nende analüüsis käsitleti kuulmisnärvī neuroomi ja glioomi. SCENIHR järeldas, et glioomi puhul puudub tõendus ning kuulmisnärvī neuroomi puhul jääb nende seisukoht veel lahtiseks (SCENIHR, 2015a, b). Samuti ei näita SCENIHR arvates epidemioloogilised uuringud suurenenud riski haigestumaks teistesse pahaloomulistesse kasvajatesse sh lapsea kasvajatesse.

Une mõju osas on SCENIHR seisukohast leitud mõju NREM (kiire silmaliigutusega) unele, ent võttes aluseks erinevused une väljundites, kokkupuute ajas, statistilistes meetodites jt tegurites, on raske teha üheseid järeldusi.

Niisamuti on SCENIHR seisukohast tulemused peaju bioelektriliste võnkumiste osas vastuolulised: on ebaselgus mehhanismide osas ja kuivõrd sellised väikesed muutused võiksid olla relevantsed. Uuringutes, kus on vaadeldud raadiosagedusliku elektromagnetvälja mõju kognitiivsele võimekusele on SCENIHR arvates keskendunud vähestele vastustele ning erinevate uuringute vahel on vähe kooskõla.

SCENIHR tõi ka välja, et raadiosageduslik elektromagnetväli võiks halvendada heaolu ja põhjustada erinevaid tervisesümptomeid. SCENIHRi ülevaatesse kaasatud uuringutes on heaolu ja tervisesümptomite all käsitletud stressi, ärrituvust, depressiooni, migreeni, peavalu, tinnitust, halba tervise enesehinnangut, madalat enesehinnangulist heaolu jms. Ent lühiajalise kokkupuute puhul on leitud, et tegemist ei ole pigem otsese raadiosagedusliku elektromagnetvälja mõjuga ja seda mõjutab ka keskkonnatundlikkus (*idiopathic environmental intolerance*). Teisalt pikaajaliste mõjude osas on SCENIHR seisukohast mõju sümptomite esinemisele olemas, ent seda mõjutav kokkupuute vajaks täpsemat väljaselgitamist.

Neuroloogiliste haiguste ja sümptomite osas ei näi olevat selget mõju, kuid tõendid on ka piiratud. Uuringud laste arengu ja käitumisprobleemide osas näitavad vastandlikke tulemusi ja uuringutes on selged meetodilised piirangud. Uuringud raadiosagedusliku elektromagnetväljade mõjust meeste fertiilsusele on SCENIHR seisukohast madala kvaliteediga ja omavad väikest tõendust.

Kuna paljudes valdkondades on tõenduse hulk piiratud, on Euroopa Komisjon initsieerinud uute uuringute alustamist. Näiteks on hetkel käimas mitmed üle-Euroopalised uuringud nagu COSMOS (Cohort Study of Mobile Phone Use and Health), GERoNiMO (Generalised EMF Research using Novel Methods) jt. Lisaks toimus 2021. aasta sügisel uus Euroopa Komisjoni Horizon Europe kutsung „Kokkupuude elektromagnetväljadega ja tervis“, mille raames initsieeritakse mitmeid uusi üle-Euroopalisi uuringuid.

Lisaks sellele on Euroopa Komisjoni Tervise, keskkonna ja tekkivate riskide teaduskomitee (SCHEER, *Scientific Committee on Health, Environmental and Emerging Risks*) läbi viimas uut analüüsi, et uuendada teaduslikku arvamust elektromagnetväljade ohutusest. Selle raames peab esialgne seisukoht tulema välja juulis 2022.

Euroopa Parlamendile on hiljuti koostatud ka taustateabe raport „*Current state of knowledge of 5G-related carcinogenic and reproductive/developmental hazards as they emerge from epidemiological studies and in vivo experimental studies*“ (Belpoggi, 2021). Selle raames tegi Dr. Bepoggi Teaduse ja Tehnoloogia Tuleviku Paneeli (STOA, *Panel for the Future of Science and Technology*) tellimisel ülevaate epidemioloogilistest uuringutest ja loomkatsetest, kus on vaadatud 5G võimalikke tervisemõjusid.

Antud raportis toodi välja, et ICNIRP ei ole oma 2020. aasta suuniste (ICNIRP 2020a) määramisel arvestatud raadiosagedusliku elektromagnetvälja mittesoojuslikke bioloogilisi mõjusid, hoolimata mitmetest teaduspublikatsioonidest, mis näitavad kahjulikkust või potentsiaalset mõjude kahjulikkust (Belpoggi, 2021). Atermilised bioreaktsioonid on olemas, sest teatud sagedusi kasutatakse isegi terapeutilistel eesmärkidel meditsiinis, ent mittesihipärasel kasutamisel võib kaasneda ka mõningaid kahjulikke mõjusid. Niisiis, nii soojuslikke kui ka mittesoojuslikke efekte tuleks arvestada raadiosagedusliku elektromagnetväljade riskide hindamisel.

Ka Belpoggi (2021) tõi välja, et viimase kümne aasta jooksul on ilmnenud mitmeid uuringuid, mis viitavad kuulmisnärv neuroomi ja glioomi riski suurenemisele suuremal kokkupuutel raadiosageduslike elektromagnetväljadega, ent nagu on ka eelnevalt välja toodud, on epidemioloogiline tõendus endiselt piiratud. Niisamuti viitab ta oma raportis piiratud tõendusele, et raadiosageduslikud elektromagnetväljad võivad mõjutada meeste fertiilsust. Samas erinevalt eelnevatest raportitest viitab Belpoggi ka võimalikule mõjule naiste hulgas. Eraldi tuuakse antud töös välja, et kui madalamatel sagedustel (450–6000 MHz) on uuringuid läbi viidud, siis kõrgematel sagedustel (24–100 GHz) uuringud täiesti puuduvad.

Erinevalt eelnevatest raportitest on Belpoggi (2021) oma lõpphinnangutes otsustavam, tuues välja, et madalamatel sagedustel on raadiosageduslikud elektromagnetväljad tõenäoliselt vähki tekitavad (2A), samas on ametlik IARC klassifikatsioon hetkel 2B, kui võimalik vähki tekitav. Peale selle mõjutavad tema seisukohast madalamate sagedustega raadiosageduslikud

elektromagnetväljad meeste viljakust. Võimalik, et mõjutavad ka naiste viljakust ning loote ja vastsündinu arengut.

2.2.3. Rahvusvaheline Mitteioniseeriva Kiirguse Kaitse Komisjon

Rahvusvahelise Mitteioniseeriva Kiirguse Kaitse Komisjoni (ICNIRP, *International Agency for Research on Cancer*) kõige uuemad suunised raadiosagedusliku elektromagnetvälja kokkupuute osas pärinevad 2020. aastast (ICNIRP, 2020). Antud suuniste eesmärgiks on luua juhised, et piirata inimeste lühiajalist, pikaajalist, pidevat ja/või katkendlikku kokkupuudet raadiosageduslike elektromagnetväljadega kaitsmaks inimeste tervist. Ülevaade terviseriskide hindamise aluseks olnud kirjandusest on antud ICNIRP (2020) juhiste raporti lisas B. Selle käigus käsitleti eraldi aju füsioloogiat ja funktsioone, kuulmise ja nägemise funktsioone, endokriinsüsteemi, neurodegeneratiivseid haiguseid, südame-veresoonkonda, autonoomset närvisüsteemi ja termoregulatsiooni, immuunsüsteemi ja vereloomet, fertiilsust, reproduktiivsüsteemi ja laste arengut ning vähki. Järgnevalt antakse ICNIRPi hinnang tõenduse kohta nendest valdkondades.

2.2.3.1. Aju füsioloogia ja funktsioon

Hetkel on vaid piiratud hulgal uuringuid selle kohta, kuidas mõjutavad raadiosageduslikud elektromagnetväljad kognitiivset võimekust – uuringutes on näidatud kognitiivse võimekuse muutuseid, kuid ei ole ICNIRP seisukohast üheselt tõendatud, et see on kokkupuute tõttu elektromagnetväljadega. Erinevate tervisesümptomite ja heaolu osas ei ole niisamuti suudetud piisavalt üheselt teha vahet raadiosagedusliku elektromagnetväljaga kokkupuutest ja muudest mobiiltelefoni kasutamise tagajärgedest (näiteks öine kasutus) põhjustatud mõjust unekvaliteedile jt tervisemõjudele. Küll on ICNIRP hinnangul tõestust leidnud valu riski suurenemine suurel kokkupuutel elektromagnetväljadega. Valu riski all on mõeldud seda, et raadiokiirgusega enam kokku puutuvatel inimestel esineb sagedamini valu: ICNIRPi viidatud uuringutes oli uuritud peavalu, migreeni, pingevalu, kaelavalu, liigesvalu. Muude aju füsioloogia ja sellega seotud funktsioonide osas on ICNIRP viidanud eeskätt *in vitro* uuringutele ja loomkatsetele ning järeldatud, et elektromagnetväljadel pole tõendatud mõju inimestele. ICNIRP juhiste lisas B on öeldud, et uuringud on usaldusväärselt näidanud raadiosagedusliku EMV mõju ärkveloleku EEG alfariba 8–13 Hz sagedustele ja une EEG sagedusvahemikule 10–14 Hz kui SAR <2 W/kg, kuid puuduvad tõendid selle kohta, et need muutused on tervisele kahjulikud, viidates nt Loughran et al. (2012) uuringule. Samas, selle projekti käigus läbiviidud kirjanduse analüüs ptk. 1.1 Ülevaade eksperimentaaluuringutest: raadiokiirguse mõju ajutegevusele esitab hoopis põhjalikuma ülevaate raadiosagedusliku EMV mõjust aju füsioloogiale ja funktsioonile.

2.2.3.2. Kuulmise ja nägemise funktsioon

ICNIRP hinnangul on siiani väga vähe epidemioloogilisi uuringuid, mis käsitlevad raadiosageduslike elektromagnetväljade sensoorseid mõjusid. Olemasolevad uuringud on keskendunud mobiiltelefonide kasutamisele, mis ei anna ühest tõendust raadiosageduslike

elektromagnetväljade seostele suurenenud tinnituse, kuulmiskahjustuse ning vestibulaarse või silmafunktsiooni riskiga.

2.2.3.3. Endokriinsüsteem

Epidemioloogilised uuringud on näidanud võimalike mõjusid melatoniini tasemetele kokkupuutel raadiosageduslikest elektromagnetväljadega, ent need tulemused on vastuolulised ja meetoodiliste piirangutega. Muude hormonaalsete muutuste korral ei ole tuvastatud piisava teadusliku kvaliteediga epidemioloogilisi uuringuid.

2.2.3.4. Neurodegeneratiivseid haigused

Oma analüüsis viitab ICNIRP eeskätt epidemioloogilisele uuringule Taanis (Schüz et al., 2009), kus näidati teatavat mõju sclerosis multiplex haigestumisele, ent piiripealne mõju ilmnes vaid naistel ning mõju teistele neurodegeneratiivsetele haigustele ei ilmnenud. Seega on tõendus ICNIRP hinnangul hetkel ebapiisav.

2.2.3.5. Südame-veresoonkond, autonoomne närvisüsteem ja termoregulatsioon

Vähe on epidemioloogilisi uuringuid, mis käsitlevad raadiosagedusliku elektromagnetväljade mõju südame-veresoonkonnale, autonoomsele närvisüsteemile või termoregulatsioonile. ICNIRP hinnangul ei ole vähesed läbiviidud uuringud näidanud seost raadiosagedusliku elektromagnetväljaga kokkupuute ja südame-veresoonkonna mõjude vahel.

2.2.3.6. Immuunsüsteem ja vereloome

Antud valdkonnas epidemioloogilised uuringud puuduvad ning teised uuringud pole niisamuti mõju näidanud.

2.2.3.7. Fertiilsus, reproduktiivsüsteem ja laste areng

Antud valdkonnas on läbi viidud mitmeid epidemioloogilisi uuringuid. Mõned epidemioloogilised uuringud on näidanud seoseid raadiosageduslike elektromagnetväljade ja sperma kvaliteedi või meeste viljatuse vahel, kuid ICNIRP hinnangul ei anna olemasolevad uuringud ühest tõendust seostele raadiosagedusliku elektromagnetkiirgusega, kuna uuringute disainis on piiranguid ning kiirgusega kokkupuute hindamine ei ole olnud piisavalt täpne. Teostatud on ka mitmeid epidemioloogilisi uuringuid emade mobiiltelefonide kasutamise kohta raseduse ajal ja võimalike mõjude kohta lapse närvisüsteemi arengule. Ent ICNIRP hinnangul puudub ikkagi põhjendatud tõendus, et ema mobiiltelefoni kasutamisel tekkiv raadiosageduslike elektromagnetväli mõjutaks lapse kognitiivseid võimeid või põhjustaks vaimse arengu mahajäämist.

2.2.3.8. Vähk

Antud valdkonnas on läbi viidud hulgaliselt epidemioloogilisi uuringuid. Enamik neist on keskendunud ajukasvajatele, kuulmisnärv neuroomile ja süljenäärme kasvajatele, kuna need esinevad allika vahetus läheduses tavapärasel mobiiltelefoniga kokkupuutel (Röösli et al., 2019). Siiski on läbi viidud ka mõned uuringud, mis käsitlevad muud tüüpi kasvajaid, nagu leukeemiat,

lümfoomi, hüpfüüsi kasvajaid, munandivähki ja melanoomi. Enamik uuringutest on kasutanud juht-kontrolluuringu disaini ning on tuginetud tagasiulatuvalt kogutud valdavalt eneseraporteeritud teabele mobiilside kasutamise kohta. Ainult kaks käsitletud uuringutest olid kohortuuringud, kus on olemas edasi vaatav teave kokkupuute kohta. ICNIRP ülevaates on ka toodud välja, et mitmetes uuringutes on olnud jälgimisaeg liiga lühike: kas siis kohortuuringutes kasvajate ilmumise osas või juht-kontroll uuringutes tagasivaatavalt kokkupuute info osas.

ICNIRP hinnangul ei tõestanud suur Interphone uuring vähiriski suurenemist tavalistel mobiiltelefoni kasutajatel. Kuigi teatav kuulmisnärv neuroomi ja glioomi riski suurenemine ilmnes väga tihedasti mobiiltelefoni kasutajatel, ei saa ICNIRP hinnangul seda üle kanda tavapärastele mobiiltelefoni kasutajatele. Niisamuti ei saa ICNIRPi arvates Rootsisis Hardelli uurimisrühma poolt teostatud juht-kontrolluuringutes (Hardell et al., 2013) leitud suurenenud kuulmisnärv neuroomi ja pahaloomuliste ajukasvajate riski suurenemist üle kanda kogupopulatsioonile, kuna enamikes riikides on vähihaigestumus erinev ning teistes uuringutes pole mõju leitud. Samas on Hardell ja Carlberg (2017) hilisemas analüüsis toonud välja, et paljud ajukasvajad on tegelikult aladiagnostitud ja tegelik mõju võib olla suuremgi. Teiste vähipaikmete puhul ei ole ICNIRP hinnangul piisavat tõendust raadiosageduslike elektromagnetväljade mõju kohta.

Kokkuvõttes hindas ICNIRP oma 2021. aasta raportis, et hetkel puudub piisav tõendus raadiosagedusliku elektromagnetvälja kahjulikest tervisemõjudest ICNIRP (1998) juhistes sätestatud piirangutasemetest madalamate kokkupuutetasemetete korral. Lisaks puudub ICNIRP hinnangul tõendus koostoimemehhanismide kohta, mis võiks põhjustada tervisemõjusid piirangutasemetest allapoole jääva kokkupuute korral raadiosageduslike elektromagnetväljadega.

2.2.4. Hiljutised teadusartiklid

2.2.4.1. Süstemaatilised ülevaated ja metanalüüsid

Lisaks eelnevatele raportitele analüüsisime käesolevas töös viimase viie aasta jooksul ilmunud teadusartikleid, mis on võinud välja jääda eelnevatest analüüsides. Aastatel 2017–2021 on meile teadaolevalt ilmunud kokku viis aktsepteeritavat süstemaatilist ülevaadet ja metaanalüüsi, mis käsitlevad raadiosageduslike elektromagnetväljade mõju vähihaigestumusele.

Karipidis et al. (2021b) ülevaade hõlmas 31 epidemioloogilist uuringut, milles uuriti kokkupuudet radaritest tuleneva kiirgusega, mis kasutab raadiosagedusvälju sagedusega üle 6 GHz, mida võiks potentsiaalset tulevikus kasutada 5G puhul. Nende hinnangul on epidemioloogilised uuringud andnud vähe tõendeid tervisemõjude kohta ning Karipidis et al. (2021b) järeldasid, et hetkel ei ole ilmnenud ühtegi kinnitatud tõendit selle kohta, et üle 6 GHz madala tasemega raadiosagedusväljad, näiteks need, mida tulevikus kasutaks 5G võrk, on inimeste tervisele ohtlikud.

Choi et al. (2020) jagas oma metaanalüüsis erinevad uuringud kolme rühma: nn Hardell et al. uuringud, nn INTERPHONEga seotud uuringud ning nn teiste teadusrühmade uuringud. Kui Hardell et al. uuringute metakoefitsient näitas statistiliselt olulist negatiivset mõju,

siis INTERPHONEga seotud uuringud hoopis statistiliselt olulist positiivset mõju ning teiste uuringutest statistiliselt olulist mõju ei ilmnenud. Selle põhjal järeldasid Choi et al. (2021), et mobiiltelefoni kasutamine kumulatiivse kõneajaga üle 1000 tunni suurendab statistiliselt oluliselt kasvajate riski, tuginedes eeskätt Hardell et al. uurimisrühma tulemustele.

Bortkiewicz et al. (2017) kaasas metaanalüüsi 24 uuringut ning täheldas statistiliselt oluliselt suuremat riski intrakraniaalse ja ipsilateraalse kasvaja tekkeks mobiiltelefoni kasutamise perioodil üle 10 aasta. Nende tulemused toetavad hüpoteesi, et mobiiltelefoni pikaajaline kasutamine suurendab intrakraniaalsete kasvajate riski, eriti ipsilateraalse kokkupuute korral.

De Siqueira et al. (2017) analüüs hõlmas 37 artiklit, millest kolm võeti metanalüüsi. Ilmnes, et suurem mobiiltelefoni kasutus võib olla seotud süljenäärmevähi riski suurenemisega, ent väikse arvu uuringute tõttu tuleks tulemusesse suhtuda reservatsiooniga.

Röösli et al., (2019) järeldasid seevastu oma metaanalüüsi põhjal, et suurem mobiiltelefoni kasutus ei ole seotud aju- ja süljenäärme vähi haigestumusega ning glüoomi ja akustilise neuroomi osas on tulemused vastandlikud.

2.2.4.2. Originaaluuringud

Teadusuuringuid otsiti portaalist www.emf-portal.org. Otsing teostati vaid epidemioloogiliste uuringute osas ja kokkupuute kohta raadiosageduslike elektromagnetlainete või mobiiltelefonidega. Uuringusse kaasati viimase viie aasta jooksul ilmunud teadusartiklid vähi ja närvisüsteemi osas.

Kokku leiti 23 originaaluuringut, millest 22 olid seotud vähi uurimisega. Küll oli valdav osa nendest vähitrendide uuringud, milles võrreldi vähitrende mobiiltelefoni kasutamise trendidega (Karipidis et al., 2018, Keinan-Boker et al., 2018, de Vocht, 2019, Carlberg et al., 2020, Mialon and Nesson, 2020, Choi et al., 2021, de Vocht, 2021, Karipidis et al., 2021a, Villeneuve et al., 2021) ning osadel juhtudel oli esitatud vaid vähitrendid (Natukka et al., 2019, Nilsson et al., 2019, Withrow et al., 2021). Mõnedes uuringutes võrreldi ka vähihaigestumist erinevates piirkondades ning baasjaamade hulka erinevates piirkondades (Rodrigues et al., 2021). Gonzalez-Rubio et al. (2017) vaatasid lümfooni ja ajukasvajate levikut Albacetes Hispaanias, ent ei leidnud erinevusi linna eri osades, kus võiks oodata erinevat kokkupuudet raadiosageduslike elektromagnetväljadega. Shen et al. (2018) vaatasid oma uuringus ka süljenäärme kasvajate esinemist parema või vasakul pool ning võimalikke seoseid mobiiltelefoni kasutamise harjumusega. Epidemioloogiliste uuringute mõttes on kõigis antud lõigus viidatud uuringute puhul tegemist ökoloogilise uuringu kavandiga, mida loetakse üheks ebatäpsemaks. Sellises uuringus puudub teave iga konkreetse inimese kokkupuute kohta raadiosageduslike elektromagnetlainetega – teave on saadaval vaid rühma või rahvastiku tasemel, mis ei ole aga eriti täpne. Lisaks puudub antud uuringu disaini puhul teave teiste ohutegurite kohta.

Lopez et al. (2021) läbilõikelises uuringus kasutati kokkupuute osas enese-raporteeritud andmeid. Antud uuringus leiti kõige enam kiirgusega kokkupuutunud tertsiilis (kolmandikus) üldrahvastikust kõrgem vähi levimus. Kuna tegemist on läbilõikelise uuringuga võib siin esineda teatav nihe – uuringule vastasid suurema tõenäosusega inimesed, kellel juba on terviseprobleemid.

Neljal juhul oli tegemist ka juhtkontrolluuringutega. Vila et al. (2018) ei leidnud oma uuringus seost raadiosagedusliku elektromagnetvälja ja erinevate ajukasvajate vahel, hoolimata sellest et püüti kasutada täpsemaid andmed elektromagnetväljadega kokkupuute kohta. Luo et al. (2019) uurisid kilpnäärme vähi juhtumeid ning ei leidnud, et sagedasem mobiiltelefoni kasutus suurendaks vähiriski. Ent oma järgnevas uuringus uurisid Luo et al. (2020) ka geneetilist vastuvõtlikkust ning leidsid, et teatud nukleotiitide polümorfismide korral on mobiiltelefoni suurematel kasutajatel kilpnäärme vähi riski siiski statistiliselt oluliselt suurem. Belekouzou et al. (2017) viisid läbi juht-kontroll uuringu Kesk-Aafrika vabariigis ning leidsid teatava rinnavähi riski suurenemise kiirguse tõttu, ent andmed kiirguse kokkupuute kohta olid eneseraporteeritud ning ebatäpsed – seega ei saa seda uuringut lugeda usaldusväärseks.

Ühel juhul oli tegemist ka registripõhise kohortuuringuga Briti politseis, kus uuriti TETRA sidesüsteemi kasutamise seotud vähiriske. Antud uuringus ei leitud, et TETRA sagedasem kasutamine suurendaks vähiriski (Gao et al., 2019). Teine kohortuuring käsitles raadiosagedusliku kiirguse mõju laste närvisüsteemi arengule lapse ema sünnieelse mobiiltelefoni kasutuse korral (Choi et al., 2017). Antud uuringus ei ilmnenud seost sünnieelse kiirgusega kokkupuute ja lapse neuroloogilise arengu vahel esimese kolme eluaasta jooksul. Edasi vaatavas uuringus on Olsson et al. (2019) vaadanud ka mobiiltelefonide kasutamise mõju glioomi haigete elulemusele, ent nad ei leidnud statistiliselt olulist mõju.

Kaks esimest tulemust on avaldatud ka COSMOS kohortuuringu põhjal. Tettamanti et al. (2020) järeldus sarnaneb varasematele tulemustele, kus leiti teatav mõju unetusele kõige enam mobiiltelefoni kasutanud isikute hulgas, kuid tõenäoliselt on see seotud teiste tegurite ja öhtuse/öise mobiiltelefoni kasutamise, mitte otseselt raadiosagedusliku elektromagnetväljaga. Auvinen et al. (2019) analüüsis ilmselt mõju peavalu sagenemisele, ent ka see mõju nõrgenes peale kohandamist teistele ohuteguritele.

2.2.5. Järeldused

Käesoleval hetkel puudub rahvastikupõhistes uuringutes ühene tõendus raadiosageduslike elektromagnetväljade tervisemõjude või ohutuse kohta. Mõnedes epidemioloogilistes (peamiselt juht-kontroll) uuringutes on näidatud võimalikku kantserogeenset mõju (aju- ja süljenäärme vähi ning glioomi ja akustiline neuroomi riski suurenemine), samas kui mitmetes teistes suuremates kohortuuringutes mõju pole ilmnenud. Peale selle näitavad mitmed uuringud, et raadiosageduslikud elektromagnetväljad võiks mõjutada meeste viljakust, samas on nende uuringute kvaliteet suhteliselt madal. Kõige enam on tõendust leidnud raadiosageduslike elektromagnetväljade mõju erinevate tervisesümptomite ja keskkonnatundlikkuse tekkele.

Kuigi käesoleval hetkel on Maailma Terviseorganisatsioon alustanud uute süstemaatiliste ülevaadete koostamisega, ei too see tõenäoliselt suurt muutust eelnevates seisukohtades, sest viimase viie aasta jooksul ei ole ilmunud uusi uuringuid, mis praeguseks teadaolevat teadmist oluliselt muudaks. Käesolevas kirjanduse analüüsis ilmselt osade teadlaste soovitusel alusel võiks raadiosageduslikud elektromagnetväljad lugeda tõenäoliselt vähki tekitavaks – samas tõendus selles osas võib olla hetkel ebapiisav, mistõttu on Euroopa Komisjon rahastamas uusi

teadusuuringuid. Mõnevõrra erinesid ka erinevate ülevaadete järeldused, hoolimata sellest, et nad baseeruvad suures osas samadel originaaluuringutel. Kuna tulemused on piiripealsed või eri uuringutes hoopis vastandlikud, muutuvad tulemused kohandamisel erinevatele kaasuvatele teguritele jne, siis jätab see võimaluse tulemusi erinevalt interpreteerida.

ICNIRP on oma hiljutises ülevaates jäänud seisukohale, et praegused piirnormid on piisavad. Samas on oluline välja tuua, et osades epidemioloogilistes uuringutes ilmnunud mõjud on avaldunud sisalduste juures, mis vastavad ICNIRP soovitudele (raadiosagedusliku elektromagnetvälja väärtused jäävad hetkel soovitatust väiksemaks) ning osade teadlaste arvates ei ole arvestatud ka mittesoojusliku mõjuga. Seega on rahvatervise seisukohast soovituslik hoida kokkupuude ikkagi võimalikult madalana.

Viited

- Auvinen, A., M. Feychting, A. Ahlbom, L. Hillert, P. Elliott, J. Schüz, H. Kromhout, M. B. Toledano, C. Johansen, A. H. Poulsen, R. Vermeulen, S. Heinävaara, K. Kojo, and G. Tettamanti. 2019. Headache, tinnitus and hearing loss in the international Cohort Study of Mobile Phone Use and Health (COSMOS) in Sweden and Finland. *International journal of epidemiology* 48(5):1567-1579.
- Balekouzou, A., P. Yin, H. K. Afewerky, C. Bekolo, C. M. Pamatika, S. W. Nambei, M. Djeintote, A. Doui Doumgbā, C. D. Mossoro-Kpindé, C. Shu, M. Yin, Z. Fu, T. Qing, M. Yan, J. Zhang, S. Chen, H. Li, Z. Xu, and B. Koffi. 2017. Behavioral risk factors of breast cancer in Bangui of Central African Republic: A retrospective case-control study. *PloS one* 12(2):e0171154.
- Belpoggi, F. 2021. Health impact of 5G. Current state of knowledge of 5G-related carcinogenic and reproductive/developmental hazards as they emerge from epidemiological studies and in vivo experimental studies. European Parliament, Brussels.
- Bortkiewicz, A., E. Gadzicka, and W. Szymczak. 2017. Mobile phone use and risk for intracranial tumors and salivary gland tumors - A meta-analysis. *International journal of occupational medicine and environmental health* 30(1):27-43.
- Carlberg, M., T. Koppel, L. K. Hedendahl, and L. Hardell. 2020. Is the Increasing Incidence of Thyroid Cancer in the Nordic Countries Caused by Use of Mobile Phones? *International journal of environmental research and public health* 17(23):9129.
- Choi, K. H., J. Ha, S. Bae, A. K. Lee, H. D. Choi, Y. H. Ahn, M. Ha, H. Joo, H. J. Kwon, and K. W. Jung. 2021. Mobile phone use and time trend of brain cancer incidence rate in Korea. *Bioelectromagnetics*.
- Choi, K. H., M. Ha, E. H. Ha, H. Park, Y. Kim, Y. C. Hong, A. K. Lee, J. Hwa Kwon, H. D. Choi, N. Kim, S. Kim, and C. Park. 2017. Neurodevelopment for the first three years following prenatal mobile phone use, radio frequency radiation and lead exposure. *Environmental research* 156:810-817.
- Choi, Y. J., J. M. Moskowitz, S. K. Myung, Y. R. Lee, and Y. C. Hong. 2020. Cellular phone use and risk of tumors: systematic review and meta-analysis. *International journal of environmental research and public health* 17(21).

- de Siqueira, E. C., F. T. A. de Souza, R. S. Gomez, C. C. Gomes, and R. P. de Souza. 2017. Does cell phone use increase the chances of parotid gland tumor development? A systematic review and meta-analysis. *Journal of Oral Pathology & Medicine* 46(7):480-483.
- de Vocht, F. 2019. Analyses of temporal and spatial patterns of glioblastoma multiforme and other brain cancer subtypes in relation to mobile phones using synthetic counterfactuals. *Environmental research* 168:329-335.
- de Vocht, F. 2021. Interpretation of timetrends (1996-2017) of the incidence of selected cancers in England in relation to mobile phone use as a possible risk factor. *Bioelectromagnetics*.
- Gao, H., M. Aresu, A.-C. Vergnaud, D. McRobie, J. Spear, A. Heard, H. W. Kongsgård, D. Singh, D. C. Muller, and P. Elliott. 2019. Personal radio use and cancer risks among 48,518 British police officers and staff from the Airwave Health Monitoring Study. *British Journal of Cancer* 120(3):375-378.
- Gonzalez-Rubio, J., E. Arribas, R. Ramirez-Vazquez, and A. Najera. 2017. Radiofrequency electromagnetic fields and some cancers of unknown etiology: An ecological study. *Science of The Total Environment* 599-600:834-843.
- Hardell, L. and M. Carlberg. 2017. Mobile phones, cordless phones and rates of brain tumors in different age groups in the Swedish National Inpatient Register and the Swedish Cancer Register during 1998-2015. *PloS one* 12(10):e0185461.
- Hardell, L., M. Carlberg, F. Söderqvist, and K. H. Mild. 2013. Pooled analysis of case-control studies on acoustic neuroma diagnosed 1997-2003 and 2007-2009 and use of mobile and cordless phones. *International journal of oncology* 43(4):1036-1044.
- ICNIRP. 1998. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz). *Health Physics* 74(4):494-522.
- ICNIRP. 2020. Guidelines for limiting exposure to electromagnetic fields (100 kHz to 300 GHz). *Health Physics* 118(5).
- Karipidis, K., M. Elwood, G. Benke, M. Sanagou, L. Tjong, and R. J. Croft. 2018. Mobile phone use and incidence of brain tumour histological types, grading or anatomical location: a population-based ecological study. *BMJ open* 8(12):e024489.
- Karipidis, K., R. Mate, M. Sanagou, C. Brzozek, D. Urban, and M. Elwood. 2021a. Mobile phone use and trends in the incidence of cancers of the parotid and other salivary glands. *Cancer epidemiology* 73:101961.
- Karipidis, K., R. Mate, D. Urban, R. Tinker, and A. Wood. 2021b. 5G mobile networks and health—a state-of-the-science review of the research into low-level RF fields above 6 GHz. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology* 31(4):585-605.
- Keinan-Boker, L., E. Friedman, and B. G. Silverman. 2018. Trends in the incidence of primary brain, central nervous system and intracranial tumors in Israel, 1990–2015. *Cancer epidemiology* 56:6-13.
- Lagorio, S., M. Blettner, D. Baaken, M. Feychting, K. Karipidis, T. Loney, N. Orsini, M. Rössli, M. S. Paulo, and M. Elwood. 2021. The effect of exposure to radiofrequency fields on cancer risk in the general and working population: A protocol for a systematic review of human observational studies. *Environment International* 157:106828.

- López, I., N. Félix, M. Rivera, A. Alonso, and C. Maestú. 2021. What is the radiation before 5G? A correlation study between measurements in situ and in real time and epidemiological indicators in Vallecas, Madrid. *Environmental research* 194:110734.
- Luo, J., N. C. Deziel, H. Huang, Y. Chen, X. Ni, S. Ma, R. Udelsman, and Y. Zhang. 2019. Cell phone use and risk of thyroid cancer: a population-based case-control study in Connecticut. *Annals of epidemiology* 29:39-45.
- Mialon, H. M. and E. T. Nesson. 2020. The association between mobile phones and the risk of brain cancer mortality: a 25-year cross-country analysis. *Contemporary Economic Policy* 38(2):258-269.
- Natukka, T., J. Raitanen, H. Haapasalo, and A. Auvinen. 2019. Incidence trends of adult malignant brain tumors in Finland, 1990–2016. *Acta Oncologica* 58(7):990-996.
- Nilsson, J., J. Järås, R. Henriksson, G. Holgersson, S. Bergström, J. Estenberg, T. Augustsson, and M. Bergqvist. 2019. No evidence for increased brain tumour incidence in the Swedish National Cancer Register between years 1980-2012. *Anticancer research* 39(2):791-796.
- Olsson, A., L. Bouaoun, A. Auvinen, M. Feychting, C. Johansen, T. Mathiesen, B. Melin, A. Lahkola, S. Larjavaara, A.-S. Villegier, G. Byrnes, I. Deltour, and J. Schüz. 2019. Survival of glioma patients in relation to mobile phone use in Denmark, Finland and Sweden. *Journal of Neuro-Oncology* 141(1):139-149.
- Pacchierotti, F., L. Ardoino, B. Benassi, C. Consales, E. Cordelli, P. Eleuteri, C. Marino, M. Sciortino, M. H. Brinkworth, G. Chen, J. P. McNamee, A. W. Wood, C. R. Hooijmans, and R. B. M. de Vries. 2021. Effects of radiofrequency electromagnetic field (RF-EMF) exposure on male fertility and pregnancy and birth outcomes: Protocols for a systematic review of experimental studies in non-human mammals and in human sperm exposed in vitro. *Environment International* 157:106806.
- Pophof, B., J. Burns, H. Danker-Hopfe, H. Dorn, C. Egblomassé-Roidl, T. Eggert, K. Fuks, B. Henschenmacher, J. Kuhne, C. Sauter, and G. Schmid. 2021. The effect of exposure to radiofrequency electromagnetic fields on cognitive performance in human experimental studies: A protocol for a systematic review. *Environment International* 157:106783.
- Rodrigues, N. C. P., A. C. Dode, M. K. de Noronha Andrade, G. O'Dwyer, D. L. M. Monteiro, I. N. C. Reis, R. P. Rodrigues, V. C. Frossard, and V. T. S. Lino. 2021. The effect of continuous low-intensity exposure to electromagnetic fields from radio base stations to cancer mortality in Brazil. *International journal of environmental research and public health* 18(3).
- Röösli, M., S. Dongus, H. Jalilian, M. Feychting, J. Eyers, E. Esu, C. M. Oringanje, M. Meremikwu, and X. Bosch-Capblanch. 2021. The effects of radiofrequency electromagnetic fields exposure on tinnitus, migraine and non-specific symptoms in the general and working population: A protocol for a systematic review on human observational studies. *Environment International* 157:106852.
- Röösli, M., S. Lagorio, M. J. Schoemaker, J. Schüz, and M. Feychting. 2019. Brain and Salivary Gland Tumors and Mobile Phone Use: Evaluating the Evidence from Various Epidemiological Study Designs. *Annual review of public health* 40:221-238.

- SCENIHR. 2015a. Opinion on potential health effects of exposure to electromagnetic fields. *Bioelectromagnetics* 36(6):480-484.
- SCENIHR. 2015b. Opinion on potential health effects of exposure to electromagnetic fields. Pages 480-484. European Commission, Luxembourg.
- Schüz, J., G. Waldemar, J. H. Olsen, and C. Johansen. 2009. Risks for central nervous system diseases among mobile phone subscribers: a Danish retrospective cohort study. *PloS one* 4(2):e4389.
- Shen, S. Y., W. H. Wang, R. Liang, G. Q. Pan, and Y. M. Qian. 2018. Clinicopathologic analysis of 2736 salivary gland cases over a 11-year period in Southwest China. *Acta oto-laryngologica* 138(8):746-749.
- Tettamanti, G., A. Auvinen, T. Åkerstedt, K. Kojo, A. Ahlbom, S. Heinävaara, P. Elliott, J. Schüz, I. Deltour, H. Kromhout, M. B. Toledano, A. H. Poulsen, C. Johansen, R. Vermeulen, M. Feychting, and L. Hillert. 2020. Long-term effect of mobile phone use on sleep quality: Results from the cohort study of mobile phone use and health (COSMOS). *Environ Int* 140:105687.
- Vila, J., M. C. Turner, E. Gracia-Lavedan, J. Figuerola, J. D. Bowman, L. Kincl, L. Richardson, G. Benke, M. Hours, D. Krewski, D. McLean, M. E. Parent, S. Sadetzki, K. Schlaefer, B. Schlehofer, J. Schüz, J. Siemiatycki, M. van Tongeren, and E. Cardis. 2018. Occupational exposure to high-frequency electromagnetic fields and brain tumor risk in the INTEROCC study: An individualized assessment approach. *Environ Int* 119:353-365.
- Villeneuve, P. J., F. Momoli, M. Parent, J. Siemiatycki, M. C. Turner, and D. Krewski. 2021. Cell phone use and the risk of glioma: are case-control study findings consistent with Canadian time trends in cancer incidence? *Environmental research* 200:111283.
- WHO. 1993. Electromagnetic fields (300 Hz to 300 GHz). World Health Organization.
- Withrow, D. R., S. S. Devesa, D. Deapen, V. Petkov, A. L. Van Dyke, M. Adamo, T. S. Armstrong, M. R. Gilbert, and M. S. Linet. 2021. Nonmalignant meningioma and vestibular schwannoma incidence trends in the United States, 2004-2017. *Cancer* 127(19):3579-3590.

3. Telekommunikatsioonis kasutatavate signaalide analüüs (Tegevus 1.2)

Telekommunikatsioonis kasutatava kiirguse mõju määravad selle füüsilised parameetrid: sagedus, väljatugevus ja modulatsioonisagedus. Sellepärast on oluline viia vastavusse erinevate raadiokiirgust kasutatavate süsteemide 2G, 3G, 4G, 5G, WiFi jt. infotehnoloogilised põhimõtted (kodeerimisviisid), tehnilised näitajad ja füüsilised parameetrid. Üldiselt sisaldavad mobiilside signaalid lühikeste impulsside mitteperioodiliste aegridade segu, mis on grupeeritud vastavalt eelnevalt kindlaksmääratud ajapiludele ja kaadritele. Tabel 3.1 esitab standardite ja tehnilise dokumentaiooni (vt. Referentsid) põhjal koostatud kokkuvõtte erinevate telekommunikatsioonisüsteemide näitajatest.

Tabel 3.1. Telekommunikatsioonisüsteemide tehnilised näitajad

Standard	Kesk sagedus	Kasutaja sagedus kanal	Kasutaja ajapilu (slot) kestvus	Ühe alam sagedus -kanali laius:	Märkused/ selgitused:	Modulatsioon	Kontrollsignaalide intervall (BCCH, RS jne)
2G GSM, EDGE	900 ja 1800 MHz	200 kHz kanalid millest igal kanal on 8 ajapilu	0,577 ms	200 kHz	Kasutajale saab anda kuni 3 järjestikust slotti (GPRS)	Gaussian minimum Shift Keying (GMSK), impulsid on Gaussi filtriga kujundatud, signaalil pidev faas ja konstatne envelope. 8PSK on kasutusel GSM data saatmisel (EDGE)	Kärjes esimese sageduskanali 1-ne ajapilu on kontrollsignaalide e BCCH, kordussagedus 216,68 Hz (saadetakse tugijaama maksimum võimsusega)
3G WCDMA, ja HSPA	2100 ja 900 MHz	5 MHz	0,666 ms	3,84 MHz	Kasutajale saab anda järjestikuseid slotte	QPSK (WCDMA korral), QPSK ja 16QAM HSPA (High Speed Packet Access) korral	Kasutatakse piloot signaali mis on pidevalt saadetud 5 MHz ribas tugevusega keskmiselt 8% tugijaama võimsusest (tüüpiliselt 27dBm), Saatevõimsuse kontroll signaalid sagedusega 1500Hz
4G LTE	2600, 1800, 800 MHz	Min 180kHz – max 18MHz, jagatakse 180kHz (12*15kHz) blokkidena	1,0 ms slot, sisaldab 14 OFDM sümbolit	15kHz	Slot-i sees minimaalselt 14 OFDM sümbolit kasutajale	QPSK, 16QAM, 64QAM, modulatsiooni vahetatakse vastavalt signaali kvaliteedile	SSS ja PSS (sünkronisatsiooni signaalid) kordussagedusega 200Hz (intervalliga 5ms), RS (Reference Signal)

							kordussagedusega 200Hz (intervalliga 5ms), PBCH (broadcast controll signaalid) kordussagedusega 25Hz (intervalliga 40 ms).
5G NR FR1	700 MHz 3,6 GHz	jagatakse 180kHz (12*15kHz) või 360kHz (12*30kHz) blokkidena, max 100MHz	1,0 ms või 0,5 ms sisaldab 14 OFDM sümbolit	15kHz või 30kHz	Alamsageduste jaotuse valik operaatori otsustada, Slot-i sees minimaalselt kaks OFDM sümbolit kasutajale	QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM, modulatsiooni vahetatakse vastavalt signaali kvaliteedile	RS signaalid puuduvad võrreldes 4G-ga, sagedusribad erinevatele teenustele operaatori poolt konfigureeritavad, PBCH (broadcast controll signaalid) kordussagedusega 12,5Hz (intervalliga 80 ms).
5G NR FR2	26 GHz	Jagatakse 360kHz (12*30kHz), 720kHz (12*60kHz) või 1440kHz (12*120kHz) või 2880kHz (12*240kHz) blokkidena, max 200MHz	0,5 ms või 0,25 ms või 0,125 ms või 0,0625 ms sisaldab 14 OFDM sümbolit	30kHz, või 60kHz, või 120kHz, või 240 kHz	Alamsageduste jaotuse valik operaatori otsustada, Slot-i sees minimaalselt kaks OFDM sümbolit kasutajale	QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM, modulatsiooni vahetatakse vastavalt signaali kvaliteedile	RS signaalid puuduvad võrreldes 4G-ga, sagedusribad erinevatele teenustele operaatori poolt konfigureeritavad, PBCH (broadcast controll signaalid) kordussagedusega 12,5Hz (intervalliga 80 ms).
Tetra	400 MHz	25kHz kanalid, igal kanalil 4 ajapilu	14,167 ms, ajapilus andmeedastus kiirus 7,2kbps	25kHz	Kasutaja kasutab maksimaalselt ühte ajapilu, kasutatakse grupi kõnesid kus üks kõne on suunatud paljudele kasutajatele	Pi/4 DQPSK – pi/4Differential Quaternary Phase Shift Keying, signaalis 4 erinevat faasi nihet, iga sümboliga saadetakse 2 bitti	Kärjes esimese sageduskanali 1-ne ajapilu on kontrollisignaalidel e MCCH, kordussagedus 17,63Hz (saadetakse tugijaama maksimum võimsusega)
WiFi	2,4GHz, 5GHz	20, 40, 80 või 160MHz	1 OFDM sümbol kestusega 4us, kaadrite pikkused on muutuvad, üldjuhul vähemalt 10 sümbolit kaadris	20, 40, 80 ja 160 MHz		BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM, modulatsiooni vahetatakse vastavalt signaali kvaliteedile	Üks kasutaja saab kasutada 1 kuni 4 (uue versioonil kuni 8 samaaegset andmevoogu).

Tabelis on näidatud Euroopas kasutatavad tüüpilised mobiilside sagedused. Mõned riigid kasutavad veel lisaks alljärgnevaid sagedusi teenuste edastamiseks: 5G NR - 2570-2620 MHz, kasutusel Rootsis ühe operaatori poolt ("3"); 5G NR - 28 703-803 MHz, kasutusel Rootsis (Telia) ja Soomes (Elisa, Telia); 4G LTE - 2300-2400 MHz, kasutusel Lätis, Leedus, UK-s, Venemaal; 4G LTE - 452-467 MHz, kasutusel vähese asustustihedusega aladel teenuse osutamisel Taanis, Norras, Rootsis, Soomes, Venemaal.

Telekommunikatsioonitehnoloogia arengus ilmnevad iseloomulikud suundumused: uuemate tehnoloogiate puhul suureneb kasutatava raadiokiirguse sagedus, ribalaius muutub laiemaks ja signaalid keerukamaks. 5G eripära avaldub kõrgemates raadiosagedustes, kandevasagedustes ja kasutatava riba laiuses. 5G puhul on tegemist sarnaste signaalidega nagu 4G-s, lihtsalt ribalaius suureneb, ja juhul kui alamsageduste laius suureneb siis vastavalt lüheneb OFDM sümbolite kestvus. Suurenenud raadiosageduse ja muutunud signaalstruktuuri mõju võivad olla võimalikud põhjused, miks 5G-st tulenevad tervisemõjud erinevad võrreldes varasemate põlvkondadega.

Telekommunikatsioonisüsteemides kasutatavad võimsused muutuvad suurtes piirides sõltuvalt kasutajate arvust, kaugusest, levitingimustest ja teistest teguritest:

- 2G (GSM, GPRS) ühe kanali kohta 10W, 20W maanteedel mastides ka kuni 40W; arvestades antenni võimendust 15-18 dB siis ekvivalentne isotroopne kiirgusvõimsus $EiRP=55 - 60$ dBm, mastides 65 dBm;
- 3G (UMTS) koguvõimsus 5MHz kanalis 20-30W, piloot signaal üldjuhul 7-8% koguvõimsusest seega umbes 1 W (27-30 dBm), arvestades antenni võimendust 15 dB $EiRP= 45$ dBm. Kasutaja signaal üldjuhul maksimaalselt 5-6% koguvõimsusest aga sõltub palju kärje suurusest ja kasutajate arvust kärjes.
- 4G (LTE) koguvõimsus 20MHz kanalis tüüpiliselt 40W (46 dBm), kuna tegemist üldjuhul kahe saateantenniga siis ühes antenni pordis 20W (43dBm), kokku 20 MHz ribas 1200 alamsagedust, alamsagedusel ühe OFDM sümboli võimsus umbes 15 dBm, arvestades antenni võimendust 15 dB on kiirgusvõimsus $EiRP=30$ dBm ühel alamsagedusel 15kHz. Palju alamsagedusi korruga kasutusel on sõltub teenindavate mobiilide arvust.
- 5G (NR) alla 6 GHz koguvõimsus 100 MHz kanalis (alamkandjad 30 kHz) 200 W (53 dBm), saatja TX porte 8 (4 antenni kiirt) , Tx pordi kohta võimsus 44 dBm ja antenni võimendust 20 dB arvestades $EiRP = 64$ dBm. Sellisel juhul sünkrosignaali SSS ressursielemendi (üks OFDM sümbol, 30 kHz kanalil) võimsus kiire kohta 8,85 dBm, kõikide SSS ressursielementide võimsus kokku ühel kiirel 29,88 dBm (see on sagedusribas 7,2 MHz - kuna SSB signaalid saadetakse vaid bandi keskosas).

5G tehnoloogiat kasutatakse mõningatel juhtudel ka madalamatel raadiosagedustel. Sellistes süsteemides on kasutatavad ribalaiused ja vastavalt ka võimsused väiksemad. Sellised sidesüsteemid ei erine põhimõtteliselt 4G-st.

Erinevates telekommunikatsioonisüsteemis kasutatavate signaalide füüsikalised parameetrid on määratud nendes süsteemides rakendatavate informatsiooni kodeerimise ja edastamise põhimõtete ja tehniliste näitajatega. Tehniliste näitajate põhjal on võimalik välja tuua

raadiokiirguse aeg-sagedus parameetrid ja selle spekter. Erinevates mobiilsidesüsteemides (2G, 3G, 4G, 5G, TETRA ja WiFi) kasutatava raadiokiirguse madalsageduslikud spektrikomponendid on toodud tabelis 3.2.

Tabel 3.2. Madalsageduslikud komponendid telekommunikatsioonisüsteemides kasutatava raadiokiirguse spektris

Standard	Ajapiluga (sümboliga) seotud sageduskomponent, Hz	Kaadriga seotud sageduskomponent, Hz	Kontroll-, piloot-, sünkronisatsioon-sagedused, Hz
2G - GSM	1733	216.63	216.68
3G – WCDMA	1501.5	100	1500 Hz
4G - LTE	1000	100	200 25
5G - NR FR1	2000 1000 500* 200* 50*	100	12,5
5G - NR FR2	16 000 8000 4000 2000 500* 200* 50*	100	12,5
TETRA	70.59	17.65	17.63
WiFi	250	25	10

* märgistatud 5G komponendid tulenevad UpLink ja DownLink slottide suhtest; neid 4G ja ka madalamat radio-sagedust kasutavas 5G ei ole.

Telekommunikatsioonisüsteemide signaalide analüüs näitab, et kõigis süsteemides kasutatavad raadiokiirgused sisaldavad spektri madalsageduslikke komponente, mis on olulised kiirguse bioloogilise mõju ja võimaliku tervisemõju puhul.

Kasutatud dokumendid

Technical Specification 3GPP TS 38.104 V16.9.0 (2021-09); 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; NR; Base Station (BS) radio transmission and reception (Release 16); [Specification # 38.104 \(3gpp.org\)](https://www.3gpp.org/specifications/specification.php?id=38104)

Technical Specification 3GPP TS 36.104 V17.3.0 (2021-09); 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Base Station (BS) radio transmission and reception (Release 17), [Directory Listing /ftp/Specs/archive/36_series/36.104/ \(3gpp.org\)](https://www.3gpp.org/specifications/directory_listing/ftp/Specs/archive/36_series/36.104/)

Technical Specification 3GPP TS 25.104 V16.0.0 (2018-12); 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Base Station (BS) radio transmission and reception (FDD) (Release 16), [Directory Listing /ftp/Specs/archive/25_series/25.104/ \(3gpp.org\)](#)

Technical Specification 3GPP TS 45.005 V16.1.0 (2020-03); 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; GSM/EDGE Radio transmission and reception (Release 16); [Directory Listing /ftp/Specs/archive/45_series/45.005/ \(3gpp.org\)](#)

ETSI TETRA Technical Specification ETS 300 392-1; Radio Equipment and Systems (RES); Trans-European Trunked Radio (TETRA); Voice plus Data (V+D); Part 1: General network design; [ETS 300 392-1 - Radio Equipment and Systems \(RES\); Trans-European Trunked Radio \(TETRA\); Voice plus Data \(V+D\); Part 1: General network design \(etsi.org\)](#)

IEEE 802.11 standards; [IEEE 802.11 - Wikipedia](#)

IEEE 802.11 Working Group; IEEE Standards Association [IEEE 802.11, The Working Group Setting the Standards for Wireless LANs](#)

IEEE Standard for Information Technology—Telecommunications and Information Exchange between Systems; Local and Metropolitan Area Networks—Specific Requirements; Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications; [IEEE Xplore Full-Text PDF:](#)

4. Ülevaade rahvusvaheliste pädevate institutsioonide avaldatud uuringutest ja soovitudest (Tegevus 1.3)

4.1. Rahvusvaheliste institutsioonide avaldatud uuringud ja seisukohad tervisemõjust

Lähteülesandes soovitakse ülevaadet faktipõhistest, sh WHO, ICNIRP, ITU jt avaldatud uuringutest ning järeldust 5G kasutuselevõtmisega kaasnevate võimalike tervisemõjude osas, mis võivad olla seotud raadiokiirgussituatsiooni prognoositava muutusega. Kuna rõhk on 5G kasutuselevõtmisega seotud võimalikel tervisemõjudel, on mõistlik vaadata rahvusvaheliste institutsioonide avaldatud uuringute tulemusi ja seisukohti umbes viimase 10 aasta kestel, mil see probleem hakkas päevakorda jõudma, sest loomulik on eeldada, et 5G võimalikku tervisemõju hinnati ja uuringuid tehti enne selle generatsiooni seadmete kasutuselevõttu.

Lähteülesandes mainitud ITU (*International Telecommunication Union*) soovitusel on loodus- ja tervisekaitse aspektist suunatud elektroonika reostuse probleemile ega ole kuidagi seotud raadiokiirguse tervisemõjuga. Maailma Terviseorganisatsiooni (WHO), Euroopa Parlamendi (EP), Euroopa Komisjoni (EK) ja Rahvusvaheline Mitteioniseeriva Kiirguse Kaitse Komisjoni (ICNIRP) avaldatud rahvastiku põhiseid uuringuid on detailselt käsitletud antud vahearuande vastavas osas (p. 2.2). sellepärast piirdume siin kokkuvõttega nende järeldustest raadiokiirguse võimalike tervisemõjude kohta ja nende seisukohtade võrdlusega (tabel 3.1). Tabelis on märgitud hinnang tõendusele vaid juhul, kui antud mõju oli vastava pädeva institutsiooni ülevaates käsitletud.

Tabel 4.1. Erinevate rahvusvaheliste institutsioonide hinnangud raadiokiirguse tervisemõjude tõendatusele

	WHO IACR 2011	Euroopa parlament 2021	Euroopa komisjon SCENIHR 2015	ICNIRP 2020
Aju füsioloogia (EEG, ERP jt)			Ei ole võimalik teha kindlaid järeldusi	Muutus on, aga tervisemõju pole tõendatav
Tunnetus ja käitumine (kuulmine, tähelepanu, sümptomid jt)			Mõju puudub	Ei ole ühest tõendust
Neurodegeneratiivseid haigused			Mõju ebaselge	Tõendus ebapiisav, vähe uuringuid
Kardiovaskulaarsed protsessid, ANS, termoregulatsioon				Seost ei ole näidatud, vähe uuringuid
Fertiilsus, reproduktiivsüsteem ja laste areng		Tõendus on meeste viljakusele; võimalik mõju naiste viljakusele ja laste arengule	Mõju on nõrk	Põhjendatud tõendus puudub
Vähk	Klassifitseeritud kui võimalik vähki tekitav tegur (2B)	Võiks lugeda tõenäoliselt vähki tekitavaks (2A)	Ei suurenda vähi riski	Ei ole piisavat tõendust

2011. aasta mais hindas WHO Rahvusvaheline Vähiuuringute Agentuur (IARC) raadiokiirgust sagedusvahemikus 30 kHz–300 GHz võimalikuks inimese kantserogeeniks, rühm 2B [IARC 2013). Otsus mobiiltelefonide osas põhines peamiselt kahel juhtumikontrolli (case-control) inimuuringul: Hardelli rühma uuringud Rootsis (Hardell et al., 2006a; Hardell et al., 2006b; Hardell et al., 2011) ja IARC Interphone uuringul (INTERPHONE 2010; INTERPHONE 2011). Mõlemad andsid toetavaid tõendeid aju- ja peakasvajate, st glioomi ja akustilise neuroomi suurenenud riski kohta. WHO on algatanud raadiokiirguse tervise mõjude uute süstemaatiliste ülevaadete koostamise, kokku kümme monograafiat.

Euroopa Nõukogu Parlamentaarne Assamblee oma resolutsioonis 8015 27. maist 2011 soovib tervisekaitse meetmena, järgides ennetuse põhimõtet, vähendada raadiokiirguse väljatugevust esialgu 0,6 V/m ja perspektiivis 0,2 V/m (mis on lähedane raadio- ja TV väljatugevustele) (Parliamentary Assembly, Council of Europe. 2011). Eriti rõhutatakse vajadust kaitsta lapsi ja noori ning piirata traadivaba tehnoloogia kasutamist koolides ja lasteaedades. Resolutsioon soovib järgida ennetuse ja ALARA (*as low as reasonably achievable*) printsiipe.

Euroopa Parlament avaldas 2021 aastal taustateabe raporti 5G tervise mõjust, milles hinnatakse võimalikku mõju reproduktiivsüsteemile ja vähiriski lähtudes epidemioloogilistest uuringutest ja loomkatsetest (Belpoggi, 2021). Raport, võttes arvesse uusi tulemusi võrreldes IARC 2011 aasta otsuse aluseks olnutega, liigitab vähi riski võimalikust tõenäoliseks. Otsus põhineb peamiselt kahe uuringu tulemustel (NTP 2016; Falcioni et al., 2018). Epidemioloogilised uuringud näitavad kindlalt meeste seemne kvaliteedi langust sagedustel 450-600 MHz. Raport leiab, et 5G NR FP2 sagedustel 24 – 100 GHz ei ole küllaldaselt uuringuid järeluste tegemiseks tervise mõju kohta (Belpoggi, 2021).

Euroopa Komisjoni nõustava SCENIHR (*Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks*) elektromagnetväljade ekspertrühm avaldas aruande 2015. aastal, mis hindas muutusi teadmistes elektromagnetväljade mõjust tervisele võrreldes eelmise 2009. aasta aruandega (SCENIHR 2015). Selle aruande peamine järeldus, et glioomide ja meningioomide esinemissagedus ei tõuse mobiiltelefonide kõrgeima levimusega vanuserühmades, annab tunnistust sellest, et mobiiltelefonide tavaline kasutamine ei ole tõenäoliselt seotud nende ajukasvajate suurenenud riskiga. See järeldus põhineb peamiselt kahel uuringul, Taani kohordiuuring, ja Ühendkuningriigi laiaulatuslik miljonite naiste uuring (Frey et al., 2011; Besnson et al., 2013).

ICNIRP hinnangud raadiokiirguse tervise mõjudele on esitatud ICNIRPi suuniste lisa B: "Terviseriski hindamise kirjandus" (ICNIRP 2020a). Kõigil juhtudel (vt tabel 3.1) leitakse, et pole piisavat tõendust raadiokiirguse tervise mõju olemasolu kohta. Aga ei ole esitatud ka piisavat tõendust selle puudumise kohta. Mõnede mõjude puhul leitakse, et uuringuid on liiga vähe. Aju füsioloogiliste muutuste olemasolu loeb ICNIRP tõendatuks, viidates ühele publikatsioonile (Loughran et al., 2012), selle seos tervise mõjuga aga loetakse mitte tõendatuks.

4.2. Rahvusvaheliste institutsioonide soovitusel ja suunised tervisekaitse nõuetele

Rahvusvaheline Mitteioniseeriva Kiirguse Kaitse komisjon (ICNIRP) avaldas 2020. aastal uuendatud suunised raadiokiirguse tervisekaitse nõuetele sagedusvahemikus 100 kHz kuni 300 GHz (ICNIRP 2020a).

ICNIRPi soovitusi raadiokiirguse normatiivide osas järgivad nii WHO kui SCENIHR, kes nõustab Euroopa Komisjoni. Euroopa Nõukogu Parlamentaarne Assamblee soovitab üleminekut oluliselt madalamale raadiokiirguse tasemele ja peab vajalikuks ennetuse põhimõtte ja ALARA printsiibi rakendamist.

Alltoodud tabel 4.2 võrdleb uuendatud ICNIRPi suuniseid endiste 1998. aasta suunistega (ICNIRP 1998; ICNIRP 2020a). Arvutatud väärtused on suvaliste sageduste jaoks iga määratud sagedusala kohta; mobiilside sagedusribad on piirkonniti erinevad. ICNIRPi 1998. aasta juhistes põhinevad võrdlustasemed sagedustel üle 10 MHz elektri- ja magnetvälja tugevustel kogu keha SAR-i põhipiirangutel, mis on tuletatud arvutisimulatsioonide ja katseandmete põhjal (ICNIRP 1998). Uuendatud suunistes kehtestatakse kohaliku kokkupuute tasemed (ICNIRP 2020a). Uuendatud suunistes on kogu keha võrdlustasemetel keskmistamisaega suurendatud 6 minutilt 30 minutile, mis ICNIRPi väitel sobib paremini keha sisetemperatuuri tõusuks kuluva aja (ICNIRP 2020a). ICNIRP 2020 võrdlustasemed põhinevad ajaliselt keskmistatud kokkupuutel 6 minuti või 30 minuti jooksul. Need suunised, nagu ka varasemad (ICNIRP 1998), arvestavad ainult kiirguse soojuslikku mõju suhteliselt lühikese (30 min) aja jooksul.

Tabel 4.2. ICNIRP 1998. ja 2020. aasta normatiivide võrdlus mobiilsidesageduste lõikes (W/m^2)

Sagedus (MHz)	ICNIPR 1998 reference level, 6 min	ICNIPR 2020 reference level, kogu keha kokkupuude, 30 min	ICNIPR 2020 reference level, lokaalne kokkupuude, 6 min
800	4	4	18.2
900	4.5	4.5	20.1
1800	9	9	36.6
1900	9.5	9.5	38.3
2100	10	10	40
2400	10	10	40
2600	10	10	40
3500	10	10	40
5500	10	10	40
26 000	10	10	30.9

Uute võrdlustasemetega (ICNIRP 2020a) eristab a) kokkupuudet üle kogu keha ja b) kokkupuudet osaga kehapiirkondadest, võttes kasutusele kaks erinevat võrdlustasemete klassi.

ICNIRP 2020a lubab nüüd suuremat kokkupuudet rakendusväärtuste järgi hinnates; samas põhipiirangud on jäänud samaks. ICNIRP väidab, et selle põhjuseks on parem teaduslik arusaam 1998. aasta suunistest.

Uued ICNIRP 2020 suunised töötati välja 5G-d silmas pidades, eriti arvestades sagedusi, mis on kõrgemad kui praegu kasutatavad mobiilside sagedused. Inimese tervise kaitsmise eeldus on jäänud samaks – vältida soojuslikku mõju. ICNIRPi uuendatud juhised põhinevad, nagu ka endised, ainult soojusmõjul, st mobiilsideadmete raadiosageduskiirguse tase võib olla kõrge seni, kuni see ei põhjusta kudede kuumenemist. See võib olla problemaatiline millimeeterlainete puhul, kuna kiirgus võib põhjustada pindmist kuumenemist nahal. Juhendites seda probleemi ei arvestata.

Signaali struktuur 5G puhul on keerukam ja väljatugevuse tippväärtuse-keskmise suhe tõuseb. Süstemaatiline ülevaade 5G ohutuspiiride kohta, mis põhinevad soojuslikul doosil, jõudis järeldusele, et: "Tulemused näitavad ka, et kui ekspositsiooni tippväärtuse ja keskmise suhe on 1000, mida muuseas lubavad ICNIRPi juhised - võib isegi lühike kokkupuude põhjustada püsivat koekahjustust, mis rõhutab olemasolevate kokkupuutejuhiste uuesti läbivaatamise tähtsust" (Neufeld ja Kuster, 2018).

Kahtlemata on soojuslik mõju oluline ja keha soojenemise vältimine tervise aspektist tähtis. Aga mitte vähem oluline on mittesoojuslik mõju madala nivooga raadiokiirguse puhul. Paljud uuringud on tõestanud nõrga raadiokiirguse bioloogilist ja füsioloogilist mõju inimestele, loomadele ja rakkudele mis toimib ilma temperatuuri tõusuta. Eriti selgelt ilmneb see mõju närvisüsteemi puhul: antud aruande p. 1.1 tehtud analüüs eksperimentaalsetest inimuuringutest näitab, et domineeriv enamus uuringuid, milles mõju aju füsioloogiale tuvastati, olid tehtud raadiokiirguse tasemetel mis olid oluliselt madalamad ICNIRPi soovitatud tasemest. Mittesoojusliku mõju mitte arvestamist ICNIRPi suuniste juures on kritiseerinud ka Euroopa Parlamendi avaldatud raport (Belpoggi, 2021).

ICNIRPi suuniste aluseks on võetud lühiajalised soojusmõjud. Tegelikult kaasajal elanikkond viibib elektromagnetväljades pidevalt. Pikaajalise raadiokiirguse võimalikule tervisemõjule ei ole juhistes mingit tähelepanu pööratud.

Arvestades olukorda, kus siiani on liiga vähe teadmist ja uuringuid 5G tervisemõju usaldusväärseks hindamiseks, on nii WHO kui Euroopa Komisjon käivitanud tegevused selle lünga kõrvaldamiseks. EK on alustamas uuringute finantseerimist elektromagnetkiirguse tervisemõjude alal pidades silmas eelkõige 5G sagedusi, taotlusvoor 2021. WHO on alustanud süstemaatiliste ülevaadete seeria koostamist, mis koosneb kümnest monograafiast. Siiani valitakse ülevaadete koostajaid ja mõnede teemade osas on avaldanud planeeritava ülevaate koostamise meetodikad (WHO 2021).

4.3. Järeldused

Rahvusvaheliste organisatsioonide, Maailma Terviseorganisatsiooni, Euroopa Parlamendi, Euroopa Komisjoni ja Rahvusvaheline Mitteioniseeriva Kiirguse Kaitse Komisjon (ICNIRP) soovitud tervisemõjude osas põhinevad kahel alusel:

- 1) keha soojenemine, vältimaks temperatuuri tõusu kehas üle kindla piiri pikema või lühema aja jooksul;
- 2) rahvastikupõhiste uuringute tulemustel raadiokiirguse tervisemõjust.

Soojusliku mõju piiramine on kahtlemata oluline ja kehtestatud piirangud tõenäoliselt asjakohased. Tervisemõju inimestele saab otseselt tõendada ainult rahvastikupõhiste uuringutega. Kahjuks ei anna rahvastikuuuringud adekvaatset pilti tegelikust tervisemõjust. Peamiseks põhjuseks on asjaolu, et

- raadiokiirguse tase ja toime aeg ei ole teada;
- ei ole teada madala tasemega raadiokiirguse mittesoojuslik toimeävi;
- on palju üheaegselt mõjuvaid tegureid, mis võivad mõjutada tervist, neist ühte – raadiokiirgust- on äärmiselt keeruline eristada.

Sellega on ka seletatav, et rahvastikupõhiste uuringute tulemused on piiripealsed ja varieeruvad. Rahvusvaheliste institutsioonide otsustused on tehtud sageli ainult üksikute, kas mõju näidanud või mitte näidanud, uuringute alusel.

ICNIRP on oma hiljutistes soovitustes jäänud seisukohale, et praegused piirnormid on piisavad. Rahvusvahelised organisatsioonid on järginud ICNIRPi soovitusi. Samas on oluline välja tuua, et paljudes eksperimentaalsetes ja ka osades epidemioloogilistes uuringutes ilmnenud mõjud on avaldunud raadiokiirguse tasemete juures, mis on oluliselt madalam ICNIRP soovitatud piirväärtustest. Viimasel aastakümnel on ainult Euroopa Nõukogu Parlamentaarne Assamblee tungival soovitanud rakendada madalamaid piirväärtusi ja lähtuda ennetamise-ettevaatlikkuse printsiibist ning ALARA põhimõttest.

Kuigi käesoleval hetkel on Maailma Terviseorganisatsioon alustanud uute süstemaatiliste ülevaadete koostamisega, Euroopa Parlament avaldamas uusi ülevaateid ja Euroopa Komisjon rahastamas uusi teadusuuringuid, ei too see tõenäoliselt suurt muutust tervisemõjude tõendamises, sest rahvastikupõhistel uuringutel põhinevad seisukohad jäävad endiselt häguseks.

Viited

- Belpoggi, F. 2021. Health impact of 5G. Current state of knowledge of 5G-related carcinogenic and reproductive/developmental hazards as they emerge from epidemiological studies and in vivo experimental studies, 175 p. Panel for the Future of Science and Technology (STOA). European parliament, Brussels, European Union. EPRS_STU(2021)690012_EN.pdf
- Benson VS, Pirie K, Schüz J, et al. 2013. Mobile phone use and risk of brain neoplasms and other cancers: prospective study. *Int J Epidemiol* 42: 792-802.
- 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. 2018. 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.* Aug;165:496-503. doi: 10.1016/j.envres.2018.01.037.
- Frei P, Poulsen AH, Johansen C, et al. Use of mobile phones and risk of brain tumours: update of Danish cohort study. *BMJ* 343 (2011): d6387.
- Hardell L, Carlberg M, Hansson Mild K. 2011. Pooled analysis of case-control studies on malignant brain tumours and the use of mobile and cordless phones including living and deceased subjects. *Int J Oncol* 38: 1465-1474.
- Hardell L, Carlberg M, Hansson Mild K. 2006a. Pooled analysis of two case-control studies on use of cellular and cordless telephones and the risk for malignant brain tumours diagnosed in 1997-2003. *Int Arch Occup Environ Health* 79: 630-639.
- Hardell L, Carlberg M, Hansson Mild K. 2006b. Pooled analysis of two case-control studies on the use of cellular and cordless telephones and the risk of benign brain tumours diagnosed during 1997-2003. *Int J Oncol* 28: 509-518.
- IARC 2013. Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Non-ionizing radiation, Part 2: Radiofrequency electromagnetic fields. *IARC Monogr Eval Carcinog Risks Hum* 102: 1-460.
- ICNIRP 2020a. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Guidelines for limiting exposure to electromagnetic fields (100 kHz to 300 GHz). *Health Phys* 118 (2020): 483-524.
- ICNIRP 2020b International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) Note: Critical Evaluation of Two Radiofrequency Electromagnetic Field Animal Carcinogenicity Studies. *Health Phys.* 2020 May;118(5):525-532. doi: 10.1097/HP.0000000000001137
- ICNIRP 1998. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). *Health Phys* 74 (1998): 494-522.
- INTERPHONE Study Group. 2011. Acoustic neuroma risk in relation to mobile telephone use: results of the INTERPHONE international case-control study. *Cancer Epidemiol* 35: 453-464.
- INTERPHONE Study Group. 2010. Brain tumour risk in relation to mobile telephone use: results of the INTERPHONE international case-control study. *Int J Epidemiol* 39: 675-694.
- Loughran SP, McKenzie RJ, Jackson ML, Howard ME, Croft RJ. 2012. Individual differences in the effects of mobile phone exposure on human sleep: rethinking the problem. *Bioelectromagnetics*, 33:86–93.
- Neufeld E, Kuster N. 2018. Systematic derivation of safety limits for time-varying 5G radiofrequency exposure based on analytical models and thermal dose. *Health Physics* 115 (2018): 705-711.
- 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>.

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>

SCENIHR 2015. Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks. Opinion on potential health effects of exposure to electromagnetic fields (EMF), European Commission, Doi: 10.2772/75635

WHO 2021a World Health Organization. Electromagnetic fields (EMF). An Environmental Health Criteria Monograph. Available online: http://www.who.int/peh-emf/research/rf_ehc_page/en/.

WHO 2021b World Health Organization. Electromagnetic fields (EMF). Standards and guidelines. Available online: <https://www.who.int/peh-emf/standards/en/>.

5. EL riikide normatiivide analüüs, intervjuud välisriikide valdkonna ametiasutuste esindajate ja mitteioniseeriva kiirguse spetsialistidega (Tegevus 1.4)

5.1. Ülevaade Euroopa riikides kehtivatest normatiividest

Käesolevas tegevuses hõlmati valitud Euroopa riigid, millised on Eesti lähinaabruses või regioonis. Lisaks oli vaatluse all riike, milliste normid on oluliselt rangemad tüüpilistest normide tasemest enamikes ELi riikides.

Valimisse hõlmati järgnevad riigid:

- Austria,
- Belgia,
- Itaalia,
- Läti,
- Leedu,
- Poola,
- Rootsi
- Soome.

Valimisse hõlmatud riikide osas viidi läbi dokumentide analüüs, sealhulgas valitud riikide avalikke kokkupuute norme raadiosagedusliku elektromagnetvälja osas.

Valitud Euroopa riikide ekspertidega võeti ühendust kirja ja/või telefoni teel, et selgitada tegevuse 1.4. üksikasju. Tabel 5.1 esitab ülevaatlikult tulemused tegevuse 1.4. kohta.

Ekspertidele esitati alljärgnevaid küsimusi:

1. Milline on riiklik avaliku kokkupuute piirmäär mobiiltelefoni sagedustel (V/m või W/m²);
2. Millal viimati norme muudeti;
3. Millistel rahvusvahelistel soovitusel riiklikud normid põhinevad;
4. Kas riiklike norme on tulevikus kavas muuta;
5. Kui on kavas norme muuta – mis ajendil, – mis suunas normid muutuvad;
6. Millist meetodikat kasutatakse või kavatsetakse kasutada 5G tasemete mõõtmiseks/modelleerimiseks;
7. Kuidas jälgib valitsus avalikku turvalisust seoses avaliku kokkupuutega;
8. Kas on mingeid konkreetseid meetmeid/piiranguid normide ületamise vältimiseks (nt tugijaamade keelamine lasteasutuste katustel; tugijaamade ja eluruumide vahelise minimaalse vahemaa piirangud jne).

Lisaks ettevalmistatud küsimustele, võisid küsitlustes eksperdid esile tuua ka muid asjaolusid ja fakte, mida nad pidasid oluliseks.

Tabel 5.1. Valitud Euroopa riikide avaliku kokkupuute normid ja taustinfo

Riik	Viimane muutmine (aasta)	Dokument	Normid	Normide alus	Lähiajal plaanis
ROOTSI	2008	SE2008	Reference values ($1,375 \cdot f^{1/2}$)/1000V/m or $f/(2 \cdot 10^8)$ W/m ² @400 MHz - 2 GHz E.g. 41V/m(4,5W/m ²)@900MHz; 58V/m(9W/m ²)@1800MHz; 61V/m(10W/m ²)@2100MHz; 61V/m(10W/m ²)@2-300GHz	ICNIRP 1998 ja 1999/519/EC	Plaanid muutmiseks puuduvad
AUSTRIA	2017, mil lisati OVE R23 osa 1 (standard)	AT2017	41V/m(4,5W/m ²)@900MHz; 58V/m(9W/m ²)@1800MHz; 61V/m(10W/m ²)@2100MHz	INCIRP 2010 ja raadiosageduste osas ICNIRP 1998; CR 1999/519/EC	Plaanis norme muuta ei ole. Plaanis lisada ainult OVE R23 2. osa "hindamine", kuid see ei puuduta OVE R23 1. osas sätestatud piirväärtusi
LEEDU	2020, 6. märts	LT2020	4,5 W/m ² @900 MHz (f/200; f – frequency MHz); 9,0 W/m ² @1800MHz (f/200; f – frequency, MHz); 10 W/m ² @2100MHz	1999/519/EC ja ICNIRP 1998/2020	Hetkel pole muutusi plaanis. Plaanitakse muutusi, mil EK uuendab 1999/519/EC. Leedu eelistab näha tulevikus EP/EK direktiivi (mitte soovitusi).
LÄTI	2018, 16. oktoober, mil normid kehtestati; varasemalt riiklik õigusakt puudus ning lähtuti rahvusvahelistest soovitusetest	LV2018	$f/200(W/m^2)$ @400–2000 MHz; 10W/m ² @2–300 GHz	ICNIRP 1998 ja 1999/519/EC	Norme ei ole kavas muuta, kui ICNIRP ega Euroopa Komisjon neid ei muuda.
ITAALIA	Väärtus 6 V / m kehtestati püsiantennide jaoks 1998. aastal ja see kinnitati uuesti 2001 ja 2003. aastal, kui määrati kindlaks kõigi allikate piirangud.	IT2001	6V/m(0,1W/m ²) mobiilside raadiosagedustel	üldine kokkupuute EMVdega - ICNIRP 1998 ja 1999/519/EC	Hetkel puudub institutsionaalne initsiatiiv ega plaanita riiklikke norme muuta
POOLA	2020	PL2020, PL2003	61 V/m (10W/m ²) @2100MHz mobiilside raadiosagedustel	1999/519/EC – fikseeritud asukohaga raadiosageduslike allikate puhul, mille võimsus ületab 15W.	Hetkel ei plaanita norme muuta.

BELGIA	2019	Erinevad õigusaktid kolmes regioonis, sh Wallonia piirkond – BE2009 Brüsseli piirkond – BE2007 Flaami piirkond – BE2011a, BE2011b	Alates 2014, Brüsselis kehtib kumulatiivne norm 6 V/m @ 900 MHz vahemikus 100 kHz - 300 GHz. Praeguseni on Flandersis kumulatiivne norm 20,6 V/m (25% of 1999/519/EC RL) vahemikus 10 MHz - 10 GHz, sealjuures lisaks norm iga antenni kohta (spetsiifiliselt mobiilsides tugijaamadele) 3 V/m @ 900 MHz per tehnoloogia. Praeguseni on Wallonias üks norm 3 V/m @ igal mobiilsidesagedusel vahemikus 100 kHz - 300 GHz, antenni kohta (= per tehnoloogia).	ICNIRPi rakendusväärtused - Brüssel ja Flanders	Flandersis ja Wallonias muudetakse normi vähem karmimaks. Flanders muudab normi: 3 V/m antenni kohta > 9,2 V/m @ 900 MHz operaatori kohta (5% 1999/519/EC RL); kumulatiivne norm jääb samaks. Sagedusvahemik on nüüd sama, mis teistel rajoonidel: 100 kHz - 300 GHz. Brüssel jätab kumulatiivse normi kontseptsiooni, kuid tase saab olema 14,5 V/m @ 900 MHz. Wallonias peetakse diskussioone normide muutmiseks, mis toimub eeldatavalt 2022.a.
SOOME	2018	FI2018.	Action levels (rakendusväärtused) 4,5 W/m ² @ 900 MHz , 9,0 W/m ² @ 1800 MHz ja 10 W/m ² kui üle 2 GHz	ICNIRP 2009 @ 0 Hz; ICNIRP 2010 @ 1 Hz – 100 kHz; ICNIRP 1998 @ 100 kHz – 300 GHz.	Hetkel plaanid muutmiseks puuduvad. Oodatakse uusi soovitusi ELi Nõukogult, mis võib kaaluda ICNIRP2020 omaksvõtmist.

5.2. Esindajate ja spetsialistide küsitlused

5.2.1. Austria

Austria ekspert täpsustas 5G mõõtmismetoodika osas, et riiklikult ei ole kehtestatud ühtegi konkreetset standardit, mille alusel järelvalvet teostatakse. Samas, kõige enam on kasutatav IEC 62232 või selle EN ekvivalent. Austrias teostab avalikkuse eksoptsiooni järelvalvet ja kontrolli raadiosageduste osas Oberste Fernmeldebehörde” (<https://www.fb.gv.at/>). Madalate ja kesk-sageduste osas kontrolli teostavat organit ei ole.

5.2.2. Leedu

Leedu muutis 2020.a.-l oma norme lõdvemaks: enne oli 1W/m², nüüd 10W/m² (LT2019, LT2020). Varasemalt olid need rangemate seas Euroopas. Muutuse põhjust päriti Leedu eksperdi käest, vastuseks:

„I think that this was a political decision related to the planned 5G connection in Lithuania. This decision also concerns the harmonization of national legislation with recommendations of the European Union and international guidelines.“

5G mõõtmismetoodika osas järgib Leedu järgmisi standardeid ja dokumente, mis seonduvad mõõtmistega:

- LST EN 50413
„Basic standard on measurement and calculation procedures for human exposure to electric, magnetic and electromagnetic fields (0 Hz - 300 GHz)“;
- FT-SVP-15:2021
Standard laboratory procedure of the National Laboratory the Physical Factors Division (Leedu keeles ning mitte tasuta kättesaadav);
- Lithuanian Hygiene Norm HN 80:2015
„Electromagnetic fields in the residential environment“;
- Normative parameter values and measurement requirements for the 10 kHz-300 GHz radio frequency band“ Chapter IV „Requirements for the measurement of electromagnetic field intensity properties“ (LT2011)
- ITU-T K.100:2019
„Measurement of radio frequency electromagnetic fields to determine compliance with human exposure limits when a base station is put into service“
(mõõtmiste/modelleerimise osa).

Leedus teostab avaliku ekspositsiooni osas järelevalvet Rahvuslik Rahvatervisekeskus, mis tegutseb Tervishoiuministeeriumi all. Kontrolli teostatakse kümne osakonna kaudu, mis jaotuvad üle riigi. Vt lisa: <https://nvsc.lrv.lt/en/>

Normide ületamise vältimiseks on Leedu õigusaktides/juhistes spetsiifilised piirangud esitatud järgnevas:

„Description of the procedure for the granting of endorsements for designs of the radio equipment component of radiocommunications sites and for their electromagnetic radiation monitoring maps“, as adopted by Order No V-200 of the Minister for Health of the Republic of Lithuania of 2 March 2011, chapter IV (LT2011):

Requirements and establishment of an electromagnetic radiation monitoring plan „33. In addition, one monitoring point for electromagnetic radiation shall be established in the nearest children's playground in the field of vision of the antenna of the radio technical object, in the territory of educational and health care institutions providing inpatient personal health care services, in the nearest open sports ground...“

Leedus on esimesed 5G kommertsjaamad plaanis kasutusele võtta 2022.a. keskpaiku; need tugijaamad alustavad tööd 700 MHz sagedusribas. Mitte-kommertskasutuses olevaid 5G tugijaamad on töös juba 2020 a. novembrist ning neid on kokku 32 jaama; sagedusriba 3,5 GHz (BNS 2021.10.25).

5.2.3.Läti

Läti ekspert tõi välja et avalikkuse ohutus elektromagnetväljade suhtes on reguleeritud võttes aluseks kaks alljärgnevat õigusakti:

1. Uutele rajatavatele mobiilside tugijaamadele on seatud nõue mõõta ümbritsevas keskkonnas elektromagnetvälju ning kasutusluba antakse alles pärast Terviseinspektsiooni hinnangut. Mõõtmise peab tegema erapooletu mõõtja. LV2014 -

Regulations of the Cabinet of Ministers Nr. 501, Procedures for the Installation, Construction and Supervision of Electronic Communications Networks, 19.08.2014.

2. Riiklikud avaliku ohutuse piirangud, mis põhinevad täielikult ICNIRPi soovitusel ja ELi Nõukogu 12. juuli 1999. aasta soovitusel üldsuse elektromagnetväljadega (0 Hz kuni 300 GHz) kokkupuute piiramise kohta. LV2018 - Regulations of the Cabinet of Ministers Nr. 637, Rules for the assessment and limitation of exposure to electromagnetic fields to the population, 16.10.2018.

Läti ekspert täpsustas, et kuigi kõnealused Läti määrused anti välja 2018. aastal, on varasemalt siiski järgitud ICNIRP ja EL soovitusi alates sellest ajast, mil mobiilside tugijaamad välja ilmusid. Läti ei näe põhjust riiklike normide karmistamiseks, kuna tugijaamade ümbruses on mõõdetud väärtused avalikult juurdepääsetavas keskkonnas vaid paar protsenti soovitatud väärtustest.

Läti ei kavatse praegu 5G jaamade EMV mõõtmise meetodikat muuta võrreldes 4G-ga. Tugijaamade puhul teostatakse mõõtmised jaama tehnilises kirjelduses ette nähtud domineeriva kiirguse suundades üldjuhul 50 – 150 m kaugusel jaamast maapinnal. Erandjuhtudel saab elanikelt saadud murede või kaebuste põhjal teha täiendavaid mõõtmisi, näiteks korterites, mis on näiliselt avatud tugijaamadele. Praegu pole me kindlad, mida teha tänavatasandil asuvate niinimetatud 5G väikeste kärjejaamadega, st paiknevad tugijaama langeva kiire teel. Ilmselt tehakse mõningaid indikaativseid ja selektiivseid mõõtmisi, kuid seda pole õigusaktides üksikasjalikult kirjeldatud. Teisest küljest, menetletakse ideed luua üldine elektromagnetväljade seireprogramm, et määrata kindlaks võimalikku "elektromagnetilist sudu" suurlinnades. Lätil on seega plaan välja töötada selline EMV-de seireprogramm, mis peaks olema osa riiklikust keskkonnaseirest tervikuna.

Tugijaamadega seotud EMV normide ületamist, paljude tänaseni tehtud mõõtmiste põhjal, ei eeldata. Lähenetakse loogikaga, et rohkem tugijaamu, seda vähem on vaja jaama kiirgust (tehnilist võimsust), et tagada nende kvaliteet. sidevõrkude jõudlus. Õigusaktides on kirjas, et kui keskkonnas ületatakse sihtväärtusi (rakendusväärtused nagu ICNIRP juhendis), mida mõõdetakse ja hinnatakse, tuleb hinnata piirväärtusi (baaspiirangud ICNIRPi juhistes) inimeste otsese kokkupuute suhtes.

Lasteasutuste katustele või tugijaamade ja eluruumide vahelisele minimaalsele kaugusele ei ole seadusega kehtestatud piiranguid, kuid seda võetakse arvesse mitteametlikult projektide väljatöötamise käigus, kui hoone omanik või haldaja sõlmib lepingu operaatoriga tugijaama paigutamiseks. Üsna sageli ei ole lapsevanemad nõus, et tugijaam pannakse kooli katusele vm analoogsesse kohta. Selliselt võidakse nõuda ka juba paigaldatud jaama eemaldamist, kui nendega pole varem konsulteeritud ja tegemist oli ainult kooli administratsiooni otsusega. Viimaselt, saavad elanikud ka terviseinspeksioonile kaebuse esitada ning siis suheldakse operaatoriga, et soovitada tugijaam välja vahetada, eriti kui see näiliselt otse suunatud lähedal asuvate eluruumidele, akendele.

5.2.4. Itaalia

Itaalias seadusandja asutus võttis omaks ettevaatlikuma hoiaku kui enamik teisi Euroopa valitsusi, järgides ettevaatlikkuse põhimõtet. Itaalia õigusaktid eristavad üldsuse kokkupuute piirmäärasid (mis ei ole täpselt sama, mis "avalikud kohad") vastavalt kiirguse allikatele. Üldise raadiosageduslike elektromagnetväljade puhul, näiteks mobiiltelefonide kiirgavate väljade puhul, rakendatakse 1999. aasta Euroopa soovitus nr 519, mis põhineb 1998. aasta ICNIRP-i piirmääradel kindlaksmääratud lühiajaliste mõjude kaitsmiseks. Fikseeritud asukohaga antennide, sh raadio- ja televisioonisüsteemid ning mobiilside, näiteks mobiilside tugijaamad, on kehtestatud ettevaatusabinõuna võimalike pikaajaliste mõjude suhtes rangemad piirid (6 V/m, mis vastab 0,1 W/m²-le). See puudutab nii hooneid ja piirkondi, kus võib oodata üldsuse pikaajalist viibimist, kui ka eramuid. Seega, Itaalia õigusaktid põhinevad lühiajaliste ja pikaajaliste mõjude erisusel, kus pikaajalise mõju allikateks loetakse fikseeritud asukohaga saatejaamu, baasjaamu ning lühiajalise kokkupuute allikateks kaasakantavaid seadmeid, mis ei tekita püsiekspositsiooni. Pikaajalise toime eest otsitakse kaitset nn tähelepanulävede kehtestamisega, mida ei tohi ületada elamurajoonides, koolides ja mujal keskkonnas, kus inimesed võivad viibida pikemat aega (kauem kui 4 tundi).

Itaalias teostab järelvalvet Regional Agencies for Environmental Protection (ARPA), mis tegutseb peaaegu igas piirkonnas. Amet nõuab süstemaatilist kontrolli iga üksiku tugijaama või ringhäälinguantenni üle, et oleks tagatus selle vastavus riiklikule normile või piiravamate kohalike piirangutega. Lisaks tegutseb Itaalias rahvuslik elektromagnetvälja monitoorimise võrgustik, mis on Itaalia Kommunikatsiooniministeeriumi eriprojekt.

5.2.5. Poola

Ajalooliselt, Poola normid - raadiosagedusi käsitlevad õigusaktid ei keskendu inimestele, vaid raadiosageduste allikatele: (a) fikseeritud raadiosaatjad – esitatakse tingimused antennide asukohale, mis on määratletud asukoha kirjeldusega või antennide läheduses asuvate elektromagnetväljade tasemete määramisega, (b) terminalid – kasutaja mudelites määratletud emiteeritud võimsuse või SAR-i väärtustega - mõlemal juhul kasutatakse SAR-põhist hindamist. Kui on tegemist ühe allikaga, nt. nutitelefoni puhul kasutatakse 100% SAR-i piirangut. Kui on olemas ka tagasisignaali (Downlink) baasjaama antennidelt, siis ka see annab teatud panuse resultant-SAR-i, ning terminali seadet tuleb hinnata vähendatud suurusega näiteks 70% või 50%.

Poola avalikkuse kokkupuute normid olid veel hiljuti (kuni 2019) 20 kuni 100 korda rangemad kui ICNIRP-i juhised. Varem kasutas Poola veelgi rangemaid piiranguid - kahte kokkupuutepiirangutsooni: ajutine kohalolek ja pidev kohalolek (nt majad), minimaalne tsooni piirmäär oli 0,1 W/m² ja teine tsoon oli 0,025 W/m². Alates 1998. aastast oli vaid üks piirnorm 0,1 W/m² (kuni 2019).

Poola avalikkuse kokkupuudet raadiosageduslike elektromagnetväljadega on varem katnud järgmised õigusaktid

- PL2003 - Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 30 października 2003 r. Sprawie dopuszczalnych poziomów pól elektromagnetycznych w środowisku oraz sposobów sprawdzania dotrzymania tych poziomów. DzU z 2003 r. nr 192, poz. 1883.
- PL2007 – Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 12 listopada 2007r. Sprawie zakresu i sposobu prowadzenia okresowych badań poziomów pól elektromagnetycznych w środowisku. D zU nr 221, poz. 1645.

Poolas kehtis kuni 2019. aastani üldine avaliku ohutuse piirmäär tasemel $0,1 \text{ W/m}^2$ (7 V/m) sagedusalas 300 MHz–300 GHz. Alates 1. jaanuarist 2020 muudeti piiranguid seoses 5G-süsteemide kasutuselevõtuga – sagedusel üle 1 kHz võeti üle nõukogu soovitus 1999/519/EC ning kopeeriti see riiklikesse seadustesse. Tegemist oli puhtalt administratiivse otsusega, mille vastu protesteerisid erinevad teadusringkonnad, kuid tulutult. Koos piirmääradega on avaldatud ka määrus elektromagnetvälja mõõtmise kohta selle hindamise eesmärgil keskkonnas (PL2020).

Seni pole Poolas veel installeeritud 5G süsteeme, nende eeldatavate edastusparameetritega (nt andmeedastus kuni 20 Gb/s vaid mõne millisekundilise viitega). Selleks on vaja uusi sagedusribasid, mida pole veel operaatoritele kättesaadavaks tehtud. Operaatorid pakuvad tinglikku 5G sidet praegu 4G ribades TDD (Time Domain Duplex) või FDD (Frequency Domain Duplex) režiimis ja samal ajal DSS-i (Dynamic Spectrum Sharing).

Uute tugijaamade asukoha määramisel või olemasolevate tugijaamade parameetrite muutmisel peavad operaatorid tõendama, et asustatud aladel ei ületata kokkupuute piirnorme. Operaatorid või muud üksused, nt. elanikud, peavad tellima mõõtmised uurimislaboritest. Akrediteeritud laborid teostavad mõõtmisi vastavalt eelnimetatud aktis sätestatud meetodikale. Aruanded edastatakse riiklikule sanitaarinspektsioonile, keskkonnakaitsele ja kohalikele ametiasutustele, kus tugijaamad asuvad. Juurdepääs aruannetele on avalikult kõigile kättesaadav. Juba mõnda aega on tulemused kantud andmebaasi, mis illustreerib ekspositsiooni taset kaartide kujul.

Formaalselt teostab üld- ja elukeskkonna ja seal tekkiva elektromagnetväljaga kokkupuute üle järelevalvet kliima- ja keskkonnaminister. Samas nüüd hiljuti, esimest korda ajaloos, sätestas uued normid terviseminister. Poolas ei ole ametlikult sätestatud keelde saatejaamade ja tugijaamade asukoha kohta koolide, haiglate jms läheduses. Ülimalt tähtsaks peetakse ohutushoiu ja kokkupuute järgimist kohtades, kus inimesed vaba aega veedavad. Varasemalt oli kokkupuute piirmääraks 7 V/m ning sellega tuldi toime (mobiilsideteenuse osutajad), kuid nüüd mil piir on tõstetud kuni 61 V/m , võib oodata proteste.

2020. a.-l kogunes Poolas teadlaste ekspertkomisjon, et hinnata Poola rangemate normide sobivust 5G teenuste osutamisel – kas kehtiva kokkupuute piirmäär 7 V/m tingimustes on võimalik edastada kvaliteetset 5G teenust, arvestades et jätkub ka ekspositsioon olemasolevatest 2G, 3G, 4G tugijaamadest. Ekspertkomisjoni töö tulemus, seisukoht on esitatud teadusartiklina (Bieńkowski et al., 2020).

Komisjon järeldas – „Kavandatavate tehniliste standardite kättesaadavale dokumentatsioonile tuginedes näitab 5G süsteemide kiiritava elektromagnetväljaga kokkupuute

teoreetiline analüüs, et ratsionaalse võimsuste haldamise korral saavutatakse välitingimustesse paigaldatud tugijaamade kaudu ühenduste eeldatav (5G standarditega ühilduv) kvaliteet. 5G suunatavate kiirtega intelligentsete antennisüsteemide abil on võimalik hoida elektrivälja tugevust ja võimsustihedust allpool kehtivaid piirväärtusi avalikes kohtades ($<7 \text{ V/m}$, $<0,1 \text{ W/m}^2$).

5.2.6. Belgia

Normid Belgias põhinevad ettevaatusprintsibil ning on kehtestatud rangemad rakendusväärtused. Valitud normid on rajatud põhimõttel „nii madalad, kui mõistlikult võimalik, ilma teenust ohustamata”. Ilma teenust osutamata – viitab mobiilside teenuse osutamisele. Ohutushoid raadiokiirguse suhtes on Belgias pälvinud reguleerimist ka muul moel - spetsiaalselt alla 7-aastastele lastele mõeldud mobiiltelefonide reklaam ja müük on keelatud. Kõigi muude telefonide puhul tuleb esitada teave erineeldumiskiiruse (SAR) ja kokkupuute vähendamise võimaluste kohta.

Kokkupuute piirnormide reguleerimine Belgias on kolme detsentraliseeritud piirkonna pädevuses. Belgias on riik jagatud kolmeks rajooniks, kus igal rajoonil on omad avaliku kokkupuute seadusandlikud aktid - “Région de Bruxelles-Capitale”, “Région flamande” and “Wallonie”. Seega, üleriiklikku akti, mis avalikkuse kokkupuudet raadiokiirgusega reguleeriks, ei ole. Flandrias on telekommunikatsiooni antenni elektrivälja tugevuse piirang 7% ELi soovitusel võrdlustasemest sellistes kohtades nagu kodud, koolid, puhkekodud ja lasteaiad. Maksimaalne kokkupuute kõrgus avalikult juurdepääsetavates kohtades on 50% võrdlustasemest sagedustel 10 MHz - 10 GHz. Brüsseli piirkond piirab 100 kHz - 300 GHz sagedusega eluruumides kokkupuudet võimsustihedusega 2% ELi soovitusel võrdlustasemest (vastab 15% elektrivälja tugevusele). Sama sagedusvahemiku jaoks kehtestab Valloonia elektrivälja tugevuse ühe antenni kohta eluruumides, mis on 7% võrdlustasemest 900 MHz juures. Samas, Belgia ekspert teatas kõikides rajoonides ka normide tõstmise plaanidest.

Nagu eeltoodust lähtub, siis Belgias osutatakse eraldi tähelepanu üksikutest baasjaamadest/tehnoloogiatest tulevale raadiokiirgusele. Näiteks, Flaami valitsus töötas välja uue veebitööriista, et pakkuda Flandria antennide (RF) vastavussertifikaate (2017). Antennide kasutamine on keelatud ilma Flaami valitsuse väljastatud tõendita. Uus tööriist kasutab GIS- tehnoloogiat, et operaatorid saaksid kaardil näidata antennide asukohta. Seejärel kasutatakse ümbruskonna kokkupuute arvutamiseks teavet hoonete ja maastike kohta. Ainult siis, kui standardid on täidetud, saab operaator tõendi koos arvutustega. Tunnistused avaldatakse ka avalikul kaardil.

Föderaalparlamendi 2009. aastal vastu võetud resolutsiooni rakendamisel on föderaalvalitsus avaldanud kuninglikud dekreedid, mis sisaldavad mobiiltelefonide tarnijate ja müüjate kohustust esitada koos mobiiltelefoniga SAR-i väärtus. Samuti on kehtestatud väikelaste mobiiltelefonide kasutamise reklaami keeld ja spetsiaalselt neile mõeldud mobiiltelefonide keeld.

Brüsseli piirkonna valitsus on vastanud kodanike muredele raadiokiirguste osas avades avaliku veebiteenuse - antennide kõigi asukohtade kaart, kus on loetletud iga tugijaama tehnilised

andmed, sh keskkonnalaad/-piirangud www.environnement.brussels, sealhulgas on märkimisväärt, et raadiokiirgusega kokkupuute kontrollmõõtmisi saab igaüks küsida tasuta. Ka Valloonia ja Flaami piirkonna valitsus pakub tasuta kontrollmõõtmise teenust, kuid ainult neile, kes asuvad antennide läheduses (Vallooonias 200m) Vallooonias, kõigi keskkonnadeklaratsiooni nõudvate antennide asukohtade kaart on kättesaadav veebilehel www.sites.bipt.be, samuti saab kätte kontrollaruannete koopiad, mis sisaldavad ka tehnilisi andmeid, et ohutuses veenduda. Flaami piirkonna valitsus avas kaarditeenuse 2011.aastal kõigi Flandria mobiilioperaatorite antennidega veebisaidil www.lne.be/zendantennes, kus avalikkusel on võimalik alla laadida ka tehnilisi vastavustunnistusi. Brüsseli piirkonna elektromagnetväljadega kokkupuute seadusandlike aktide nimistu leiab regiooni keskkonnatervise portaalist (<https://environnement.brussels/thematiques/ondes-et-antennes/quelles-sont-les-normes/respect-de-la-norme>).

5.2.7. Soome

Soome eksperdi sõnul hetkel plaanid normide muutmiseks puuduvad. Oodatakse uusi soovitusi ELi Nõukogult, mis võib kaaluda ICNIRP2020 omaksvõtmist. Kui Nõukogu võtab üle ICNIRP 2020 suuniseid, siis kokkupuute piirväärtustes ja meetmete tasemetes olulisi muudatusi ei toimu. 5G mõõtetemethodika osas, lisab ekspert, et kui tugijaamade läheduses on vaja hinnata inimeste RF kokkupuudet, siis tugijaamade tekitatud elektromagnetvälju mõõdetakse vastavalt standardile EN/IEC 62232 RF väljatugevuse, võimsustiheduse ja SAR-i määramine osas. 5G tugijaamade mõõtmismeetod on alles väljatöötamisel ja standardi EN/IEC 62232 uusim versioon avaldatakse 2022. aasta juunis.

Teleoperaatorid vastutavad tugijaamade ohutu paigaldamise eest. Need tuleb paigaldada nii, et avalikes kohtades ei ületataks rakendusväärtusi (action levels). Üldsuse elektromagnetväljadega kokkupuute järelevalve eest vastutab STUK - Kiirgus- ja Tuumaohutusamet. Neil ei ole keskkonna elektromagnetväljade jaoks pidevat seire- ega seirevõrke, seevastu nad teevad mõõtmiskampaaniaid. Aeg-ajalt saab STUK kodanikelt teateid tugijaamade kohta, mis ei tundu olevat ohutult paigaldatud. Sellistel juhtudel palub STUK teleoperaatoril edastada STUK-ile tugijaama ohutushinnang. Kui ohutushinnang ja STUKi enda ligikaudsetel konservatiivsetel arvutustel põhinev ohutushinnang näitavad, et avalik/elanikkonna kokkupuude on rakendusväärtuste lähedal või isegi ületab seda, teostatakse mõõtmised. Kui mõõtmistel selgub, et avalikes kohtades ületatakse rakendusväärtusi, annab STUK teleoperaatorile korralduse eemaldada tugijaam või vähendada avalikkuse kiiritust allapoole rakendusväärtusi. Seni on elektromagnetväljade tase avalikes kohtades olnud selgelt alla rakendusväärtuse.

Soomes konkreetseid meetmeid normide ületamise vältimiseks pole. Kõige enam pööratakse tähelepanu olulise nõude täitmisele - et kokkupuude ei ületaks rakendusväärtusi kohtades, kuhu üldsusel on vaba juurdepääs

5.3. Järeldused

Valdav osa Euroopa riikidest järgivad avaliku kokkupuute osas raadiokiirgusega ICNIRPi suuniseid. Meie valimisse hõlmatud riikidest on karmimad normid Belgias ja Itaalias. Ka Poolas olid 2020. aastani oluliselt konservatiivsemad normid, kuid Digiministeeriumi eestvedamisel lõdvendati norme ICNIRPi tasemetele, vaatamata teadlaste vastuseisust. Digiministeeriumi seisukoha järgi oleks raske vanade normide järgi 5G teenust osutada. Teadlaste analüüsi kohaselt oleks 5G teenuse osutamine võimalik ka vanade, karmimate normide kohaselt, kuid mobiilside operaatorid peaksid rajama rohkem tugijaamu, mis töötaksid nõrgematel võimsustel. Belgias, Itaalias on karmimad nõuded peamiselt kahel argumendil: 1) kumulatiivsete mõjude vältimiseks ning 2) ettevaatlikkuse printsiibi rakendamiseks. Kumulatiivsed mõjud viitavad pikaajalistele mõjudele, mida ICNIRPi suunised ei kata. Näiteks ka ELi viimane elektromagnetväljade alane direktiiv 2013/35/EU (elektromagnetväljade ohutus töökohtadel) toob selgelt välja, et need normid tuginevad lühiajaliste tervisemõjude uuringutel ning ei kata pikaajalisi mõjusid. Seega võib Euroopa riike eristada nende seadusandluse järgi kaheks: 1) riigid mis järgivad ICNIRPi suuniseid ning baseeruvad oma regulatsiooni lühiajaliste tervisemõjude vältimiseks ning 2) riigid mis järgivad ICNIRPi suuniseid ja lisaks ka pikaajaliste tervisemõjude uuringute järeldusi, millega kaetakse mõlemat tüüpi tervisemõjud.

Viited

- AT2017 - Elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder im Frequenzbereich von 0 Hz bis 300 GHz – Beschränkung der Exposition von Personen. Eesti k.: Elektriline, magnetiline ja elektromagnetiline väli sagedusvahemikus 0 Hz kuni 300 GHz - piirangud inimeste kokkupuutele
- BE2007 - HOOFDSTEDELIJK PARLEMENT GEWONE ZITTING 2006-2007, 30 JANUARI 2007 VOORSTEL VAN ORDONNANTIE betreffende de bescherming van het leefmilieu tegen de eventuele schadelijke effecten en hinder van niet-ioniserende stralingen, VERSLAG, uitgebracht namens de Commissie, voor Leefmilieu, Natuurbehoud, Waterbeleid en Energie, door mevrouw Amina DERBAKI SBAÏ
- BE2009 - Documents du Parlement wallon, 941 (2008-2009), nos 1 à 4., 03 avril 2009, Décret relatif à la protection contre les éventuels effets nocifs et nuisances provoqués par les rayonnements non ionisants générés par des antennes émettrices stationnaires. Ce décret a été modifié par le décret-programme du 22 juillet 2010 <https://wallex.wallonie.be/eli/loi-decret/2009/04/03/2009201985/2021/04/02#>
- BE2011a - Arrêté du Gouvernement flamand modifiant l'arrêté du Gouvernement flamand du 1er juin 1995 fixant les dispositions générales et sectorielles en matière d'hygiène de l'environnement, pour ce qui concerne les normes d'antennes émettrices fixes et temporaires pour des ondes électromagnétiques entre 10 MHz et 10 GHz. 19 novembre 2010. (M.B. 13.01.2011)

- BE2011b - 16 décembre 2011. — Arrêté du Gouvernement flamand modifiant diverses dispositions de l'arrêté du Gouvernement du 1er juin 1995 fixant les dispositions générales et sectorielles en matière d'hygiène de l'environnement et l'arrêté du Gouvernement flamand du 19 novembre 2010 pour ce qui concerne les normes d'antennes fixes et temporaires pour des ondes électromagnétiques entre 10 MHz et 10 GHz (M.B. 13.01.2012)
- Bieńkowski, P., Zmysłony, M., Karpowicz, J., Politański, P., Bortkiewicz, A., Kieliszek, J., and Rydzyński, K. (2020). Conditionings of population exposure to electromagnetic fields associated with the rational use of 5G radiocommunication networks in Poland. *Medycyna Pracy*, 71(2), pp.245-253. <https://doi.org/10.13075/mp.5893.00920>
<http://medpr.imp.lodz.pl/Uwarunkowania-ekspozycji-ludnosci-na-pole-elektromagnetyczne-zwiazane-z-uzytkowaniem,114070,0,2.html>
- BNS 2021.10.25, „Telia“,
„Tele2“ ir „Bitė“ dalyvaus pirmajame 5G ryšio aukcione Remigijus Bielinskas, <https://www.lrt.lt/naujienos/verslas/4/1528132/telia-tele2-ir-bite-dalyvaus-pirmajame-5g-ryσιο-aukcione>
- FI2018 - Sosiaali- ja terveystieteiriön asetus ionisoimattoman säteilyn väestölle aiheuttaman altistuksen rajoittamisesta, 22.11.2018/1045.
Ing.k.: Decree of the Ministry of Social Affairs and Health on the limitation of public exposure to non-ionizing radiation (1045/2018). <https://www.stuklex.fi/fi/ls/20181045>.
Eesti k.: Sotsiaal- ja Tervishoiuiniisteeriumi määrus elanikkonna mitteioniseeriva kiirgusega kokkupuute piiramise kohta, 22.11.2018 / 1045.
- IT2001 - Legge 22 febbraio 2001, n.36. Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici. Gazzetta Ufficiale del 7.3.2001.
- LT2011 -
Lietuvos Respublikos sveikatos apsaugos ministro įsakymo „Dėl Lietuvos Respublikos sveikatos apsaugos ministro 2011 m. kovo 2 d. įsakymo Nr. V-199 „Dėl Lietuvos higienos normos HN 80:2011 „Elektromagnetinis laukas darbo vietose ir gyvenamojoje aplinkoje. Parametrų normuojamos vertės ir matavimo reikalavimai 10 kHz–300 GHz radijo dažnių juostoje“ patvirtinimo“ pakeitimo“ projektas. Draft Order of the Minister for Health of the Republic of Lithuania amending Order No V-199 of 2 March 2011 on the approval of the Lithuanian Hygiene Norm HN 80:2011 'Electromagnetic fields in the workplace and in the residential environment - Normative parameter values and measurement requirements for the 10 kHz–300 GHz radio frequency band'. Notification Number: 2015/286/LT. <https://ec.europa.eu/growth/tools-databases/tris/en/index.cfm/search/?trisation=search.detail&year=2015&num=286&Lang=LT>
- LT2011 - Seimas, 2011.03.02 - Suvestinė redakcija nuo 2021-11-01. Įsakymas paskelbtas: Žin. 2011, Nr. 32-1506, i. k. 1112250ISAK000V-200. LIETUVOS RESPUBLIKOS SVEIKATOS

APSAUGOS MINISTRO. ĮSAKYMAS. DĖL RADIOTECHNINIO OBJEKTO RADIOTECHNINĖS DALIES PROJEKTO IR ELEKTROMAGNETINĖS SPINDULIUOTĖS STEBĖSENOS PLANO DERINIMO TVARKOS APRAŠO PATVIRTINIMO. 2011 m. kovo 2 d. Nr. V-200. Vilnius. „Description of the procedure for the granting of endorsements for designs of the radio equipment component of radiocommunications sites and for their electromagnetic radiation monitoring maps“, as adopted by Order No V-200 of the Minister for Health of the Republic of Lithuania of 2 March 2011. <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.394370/asr>

- LT2019 - Lietuvos Respublikos sveikatos apsaugos ministerija, 2019. Notification Detail 2019/0527/LT. Draft Order of the Minister for Health of the Republic of Lithuania amending Order No V-199 of the Minister for Health of the Republic of Lithuania of 2 March 2011 on the Lithuanian Hygiene Norm HN 80:2015 ‘Electromagnetic fields in the residential environment - Normative parameter values and measurement requirements for the 10 kHz-300 GHz radio frequency band’. <https://ec.europa.eu/growth/tools-databases/tris/en/search/?trisaction=search.detail&year=2019&num=527>
- LT2020 - Seimas, 2020.03.04, LIETUVOS RESPUBLIKOS SVEIKATOS APSAUGOS MINISTRAS. ĮSAKYMAS. DĖL LIETUVOS RESPUBLIKOS SVEIKATOS APSAUGOS MINISTRO 2011 M. KOVO 2 D. ĮSAKYMO NR. V-199 „DĖL LIETUVOS HIGIENOS NORMOS HN 80:2015 „ELEKTROMAGNETINIS LAUKAS GYVENAMOJOJE APLINKOJE. PARAMETRŲ NORMUOJAMOS VERTĖS IR MATAVIMO REIKALAVIMAI 10 KHZ–300 GHZ RADIJO DAŽNIŲ JUOSTOJE“ PATVIRTINIMO“ PAKĖITIMO. 2020 m. kovo 4 d. Nr. V-284. Vilnius. Eesti k.: Leedu Vabariigi tervishoiuministri korralduse eelnõu, millega muudetakse Leedu Vabariigi tervishoiuministri 2. märtsi 2011. aasta korraldust nr V-199 Leedu hügieenistandardi HN 80:2015 „Elektromagnetväljad elukohas – normatiivsed parameetriväärtused ja mõõtmise nõuded 10 kHz–300 GHz raadiosagedusalas“ kohta
- LV2014 - Elektronisko sakaru tīklu ierīkošanas, būvniecības un uzraudzības kārtība. Ministru kabineta noteikumi Nr.501. Rīgā 2014.gada 19.augustā (prot. Nr.44 53.§). Regulations of the Cabinet of Ministers Nr. 501 Inglise k.: Procedures for the Installation, Construction and Supervision of Electronic Communications Networks, 19.08.2014. <https://likumi.lv/ta/id/269032-elektronisko-sakaru-tiklu-ierikšanas-buvniecibas-un-uzraudzibas-kartiba>
- LV2018 - Elektromagnētiskā lauka iedarbības uz iedzīvotājiem novērtēšanas un ierobežošanas noteikumi, Ministru kabineta noteikumi Nr. 637, Rīgā 2018. gada 16. oktobrī (prot. Nr. 48, 14. §). Regulations of the Cabinet of Ministers Nr. 637 Inglise k.: Rules for the assessment and limitation of exposure to electromagnetic fields to the population, 16.10.2018. <https://likumi.lv/ta/id/302355-elektromagnetiska-lauka-iedarbibas-uz-iedzivotajiem-novertesanas-un-ierobezosanas-noteikumi>

- Eesti k.: Ministrite kabineti määrused nr. 637 Riia, 16. oktoober 2018 (protokoll nr 48 p 14) Üldsuse elektromagnetväljadega kokkupuute hindamise ja piiramise eeskirjad
- PL2003 – Rozporządzeni Ministra Środowiska z dnia 30 października 2003 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów pól elektromagnetycznych w środowisku oraz sposobów sprawdzania dotrzymania tych poziomów. DzU z 2003 r. nr 192, poz. 1883. <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU20031921883>
- Eesti k.: Keskkonnaministri 30. oktoobri määrus 2003 elektromagnetväljade lubatud tasemete kohta keskkonnas ja kontrollimeetodites nende tasemete täitmiseks. Õiguste Teataja 2003 nr 192, üksus 1883
- PL2007 – Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 12 listopada 2007 r. w sprawie zakresu i sposobu prowadzenia okresowych badań poziomów pól elektromagnetycznych w środowisku. DzU nr 221, poz. 1645. Regulation of the Minister of the Environment of November 12 2007 on the scope and method of conducting periodicals testing the levels of electromagnetic fields in the environment. Journal of Laws No. 221, item 1645.
- PL2020 - Dziennik Ustaw 2020, nr 258. Rozporządzenie Ministra Klimatu z dnia 17 lutego 2020 r. w sprawie sposobów sprawdzania dotrzymania dopuszczalnych poziomów pól elektromagnetycznych w środowisku. <http://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU20200000258>
- SE2008 – Strålsäkerhetsmyndighetens författningssamling. Strålsäkerhetsmyndighetens allmänna råd om begränsning av allmänhetens exponering för elektromagnetiska fält;1 beslutade den 19 december 2008. SSMFS 2008:18. Eesti k.: Rootsi Kiirgusohutusameti üldised nõuanded piirata avalikkuse kokkupuudet elektromagnetväljad; 19. detsembril 2008. SSMFS 2008: 18

6. Järeldused ülevaatest

Projektis analüüsiti johtuvalt teaduskirjandusest raadiokiirguse võimaliku tervisemõju erinevaid aspekte ja võrreldi rahvusvaheliste pädevate Institutsioonide arvamusi/soovitusi ning erinevate riikide normatiive.

Teaduskirjanduse ülevaatesse kaasatud ja analüüsitud eksperimentaalsed uuringuid raadiokiirguse mõju kohta inimese EEG-le, ERP-le, tunnetusele ja käitumisele olid tehtud mobiilsidetehnoloogia 2G, 3G ja 4G põlvkondade tüüpilistes tingimustes sagedustel 450 – 2500 MHz viimase viieteistkümne aasta jooksul. Publikatsioonide otsing ei toonud välja inimese EEG, ERP, tunnetuse ja käitumise uuringuid 5G puhul ega ka raadiokiirguse sagedustel, mis on kõrgemad kui 2500 MHz. Eksperimentaaluuringu analüüs näitas, et viimase viieteistkümne aasta uuringud on tehtud domineerivas enamuses (66 uuringut 73-st) raadiokiirguse tasemetel, mis on allpool kehtivat piirnormi 2 W/kg.

Eksperimentaalsete inimuuringute analüüs näitab, et

- madala tasemega raadiokiirguse toimeävi ei ole teada;
- mõju sõltub raadiokiirguse sagedusest ja mõju tõenäoliselt väheneb sageduse tõusuga (tabel 2.5);
- oluline on signaali struktuur ja füsioloogilistele sagedustele lähedaste madalsageduslike komponentide olemasolu raadiokiirguse spektris (tabel 2.6);
- telekommunikatsioonitehnoloogia erinevad põlvkonnad tekitavad sarnaseid mõjusid ajutegevusele; konkreetse mõjuga seotud raadiosagedust ega signaalstruktuuri ei ole tuvastatud.

Puuduvad andmed 5G telekommunikatsioonisüsteemidega seotud raadiokiirguse mõjust inimese ajule. Kombineerides katsetulemuste andmeid olemasolevate teadmistega raadiokiirguse mõjude mehhanismide kohta, saab siiski teha mõningaid järeldusi võimalike 5G mõjude kohta:

- raadiosageduste, mis on madalamad kui 10 GHz (5G NR FR1), mõjul ei tohiks 5G puhul olla põhimõttelisi erinevusi võrreldes eelmiste põlvkondadega;
- 5G kasutab kõrgemaid sagedusi 2G-4G, mistõttu on mõju pigem madalam kui eelmistel põlvkondadel;
- 5G NR FR1 signaali struktuur on sarnane 4G omaga, seetõttu peaksid ka võimalikud tervisemõjud olema sarnased;
- raadiosagedustel, mis on kõrgemad kui 10 GHz (5G NR FR2), võib mõjude mehhanism muutuda ja seega muutub võimaliku mõju iseloom ettearvamatuks;
- millimeeterlainete (5G NR FR2) mõju ei piirdu ainult nahaga, vaid laieneb närvisüsteemi ergastuse kaudu.

Olemasolevad piiratud teadmised raadiokiirguse mõjude mehhanismi kohta ja eksperimentaalsete andmete puudulikkus millimeeterlainetel ei võimalda käesoleval hetkel teha usaldusväärseid järeldusi 5G NR FR2 võimalike mõjude osas.

Kõige paremini saab tervisemõju inimestele tõendada rahvastikupõhiste uuringutega. Ent kirjanduse analüüsis ilmnas, et rahvastikupõhistes uuringutes puudub ühene tõendus

raadiokiirguse tervisemõjude või ohutuse kohta. Mõnedes epidemioloogilistes (peamiselt juhtkontroll) uuringutes on näidatud võimalikku kantserogeenset mõju (aju- ja süljenäärme vähi ning glüoomi ja akustiline neuroomi riski suurenemine), samas kui mitmetes teistes suuremates kohortuuringutes pole mõju ilmnenud. Rahvastikupõhised uuringud on näidanud, et raadiokiirguse mõju on leidnud kõige enam tõendust erinevate neurofüsioloogiliste tervisesümptomite ja keskkonnatundlikkuse tekkes ning mõningast tõendust meeste viljakuse languses.

Rahvusvaheliste pädevate institutsioonide nagu Maailma Terviseorganisatsiooni, Euroopa Nõukogu Parlamentaarne Assamblee, Euroopa Komisjoni ja Rahvusvaheline Mitteioniseeriva Kiirguse Kaitse Komisjon (ICNIRP) soovitusel tervisemõjude osas põhinevad soojuslikul mõjul ning epidemioloogilisel tõendusel. Soojusliku mõju piiramine on kahtlemata oluline ja kehtestatud piirangud tõenäoliselt asjakohased. Paraku on epidemioloogilistel uuringutel mitmeid piiranguid nagu: (1) ebatäpsed andmed raadiokiirgusega kokkupuute kohta, (2) puudub teadmine toimetähe kohta ning (3) ebapiisavalt andmeid kaasuvate tegurite kohta, mis võivad niisamuti mõjutada tervist, neist ühte – raadiokiirgust – on äärmiselt keeruline eristada.

ICNIRP on oma hiljutistes soovitustes jäänud seisukohale, et praegused piirnormid on piisavad. Paljud teised rahvusvahelised institutsioonid on järginud ICNIRPi soovitusi. Samas on oluline välja tuua, et paljudes eksperimentaalsetes ja ka osades epidemioloogilistes uuringutes tuvastatud mõjud on avaldunud raadiokiirguse tasemete juures, mis on oluliselt madalamad ICNIRP soovitatud piirväärtustest. Eksperimentaaluuringu analüüs näitas, et 46 uuringust, mis tuvastasid raadiokiirguse mõju, 44 olid tehtud kiirguse tasemetel alla ICNIRPi soovitatava piirväärtuse. Viimasel aastakümnel on ainult Euroopa Nõukogu Parlamentaarne Assamblee tungivalt soovitanud rakendada madalamaid piirväärtusi ja lähtuda ennetamise-ettevaatlikkuse printsiibist ning ALARA põhimõttest.

Erinevates Euroopa Liidu riikides kehtivad normatiivid järgivad ICNIRPi soovitusi lähtudes peamiselt poliitilistest otsustest normatiivide harmoniseerimiseks. Kehtivad normatiivid ei ole arvestanud raadiokiirguse mittesoojusliku mõju olemasolu, pikaajalist mõju ega ka vajadust nii kõrgete piirväärtuste järele. Käesoleval hetkel on Belgias ja Itaalias rangeimad nõuded pikaajalistele raadiokiirguse rajatistele.

Rahvastikupõhiste uuringute tulemuste ebamäärasusest tingituna rõhutavad kõik rahvusvahelised organisatsioonid uuringute vähesust ja vajadust täiendavate uuringute järele. Kuigi Maailma Terviseorganisatsioon on alustanud uute süstemaatiliste ülevaadete koostamisega, Euroopa Parlament avaldamas uusi ülevaateid ja Euroopa Komisjon rahastamas uusi teadusuuringuid, ei too see tõenäoliselt suurt muutust seisukohtades, mis tuginevad epidemioloogilistel uuringutel.

7. Eksperimentaalsed uuringud

Eksperimentaaluuringute eesmärk

Lähteülesandes on eesmärgiks seatud mõõta (erijuhtudel modelleerida) aktuaalseid tasemeid ning määrata 'worst case' raadiokiirguse tasemed piisava valiku Eesti mobiilsidetugijaamade, sh 5G-tugijaamade lähialadel, et analüüsida raadiokiirgussituatsiooni avalikus ruumis.

Raadiokiirguse tase keskkonnas määratakse kõigil sagedusaladel vabalevi kasutatavate raadioringhäälingu, televisiooni ja telekommunikatsiooni süsteemide kiirgusega. Sellepärast ei piiratud projektis mõõtmistega kõrgematel telekommunikatsiooni sagedusaladel, vaid kaasati ka mõõtmised madalamatel raadioringhäälingu ja TV sagedusaladel.

Raadiokiirgussituatsiooni hinnati lähtudes kõigi mõõtetulemuste statistilise analüüsi tulemustest, mitte üksikmõõtmiste geograafilisest jaotusest. Selline lähenemine annab oluliselt usaldusväärsema tulemuse, kuna raadiokiirguse tase on dünaamiline, muutub pidevalt ajas sõltuvalt baasjaamade koormusest jt teguritest. Sellepärast ühekordne mõõtmine mingis asukohas ei anna adekvaatset pilti kiirgustasemest. Üksikmõõtmise mõõtemääramatus on suur. Statistilise analüüsi puhul, tänu suure arvu erinevate sõltumatute mõõtmiste tulemuste kaasamisele, üksiku mõõtmise mõõtemääramatus tulemust praktiliselt ei mõjuta.

Mõõtmised viidi läbi perioodil 20.01-26.02.2022. Raadiokiirgussituatsiooni hindamiseks tehti Eestis 602 raadiokiirguse taseme mõõtmist üheksal erineval sagedusalal 170 erinevas asukohas ja halvima juhu arvutisimulatsioonid. Mõõtmiste perioodil ei olnud Eestis ühtki 5G sagedustel töötavat tugijaama. Sellepärast on 5G mõju hindamisel raadiokiirguse tasemele kasutatud Lõuna-Koreas hiljuti tehtud mõõtmiste tulemusi kus töötavad tuhanded 5G tugijaamad (Selmaoui et al., 2021).

7.1. Eksperimentaalsete uuringute plaani koostamine (Tööpakett 2)

Mõõtmisuuringu eesmärgiks oli mõõta aktuaalsed raadiokiirguse tasemed mobiilsidetugijaamade lähialadel avalikus ruumis ning elamupiirkondades ning teostada mõõtetulemuste analüüs.

Sagedusalad

Mõõtmistel hõlmati Eestis praegu kasutusel olevad või plaanitavad mobiilsides peamised tugijaamade (*downlink*) sagedused (tabel 7.1). Kuna tervisemõju hindamisel on oluline võrdlus pikaajaliselt kasutuses olnud raadioringhäälingu ja TV kasutatava kiirgusega, tehti mõõtmised ka neil sagedusaladel (tabel 7.1)

Tabel 7.1. Eestis kasutatavad raadiokiirguse sagedusalad

Sagedusvahemik MHz	Tähistus	Kasutus
87-107	FM	RR, FM
174-223	TV VHF	TV, VHF
470-615	TV45	TV, UHF
791-821	b20	4G

925-960	b8	2G, 3G, 4G
1805-1880	b3	2G, 4G
2110-2170	b1, n1	3G, 4G
2570-2620	b38, n38	4G
2620-2690	b7	4G
3300-3800	n78	5G

Asukohad

Mõõtmiste eksperimentaalses uuringus hõlmati valimisse erinevat tüüpi keskkond, sh avalik ruum ja elamupiirkonnad.

Erinevat tüüpi alad on jaotatud järgmiselt:

- SLK - avalik ruum suurlinna keskkuses,
- VLK - avalik ruum väikelinna keskkuses,
- SLE - elamupiirkonnad suurema linnades,
- LLE - elamupiirkonnad suuremate linnade lähinaabruses,
- VLE - elamupiirkonnad väikelinnas,
- MAE - elamupiirkonnad maal.

Geograafiliselt hõlmati piirkonnad üle Eesti, sh viis suuremat linna (SL) ning seitse väiksemat linna (VL), vt tabel 7.2; elanikkond põhineb Statistikaameti arvutustel 2021 a. kohta.

Tabel 7.2. Valimisse hõlmatud linnad

Linn	Suurus	Elanikkond
Tallinn	SL	438 341
Tartu	SL	91 407
Narva	SL	53 424
Pärnu	SL	38 347
Kohtla-Järve	SL	32 577
Rakvere	VL	14 984
Sillamäe	VL	13 288
Paide	VL	7544
Saue	VL	5831
Sindi	VL	3744
Põltsamaa	VL	3847
Kunda	VL	3059

Valimisse hõlmati asukohad erinevate raadiokiirguse stsenaariumidega, sh

- 1) kus mobiilside tugijaama antennid olid läheduses ning neile avanes otsenähtavus (tulemuste tabelis märgitud d – kiirgus ühest allikast, dd/ddd – kiirgus kahest või enamast allikast,
- 2) kus mobiilside tugijaama antennid olid läheduses, kuid varjatud hoonete või looduse n puude poolt (tulemuste tabelis märgitud b),

3) kus tugijaamad jäid mõõteasukohast kaugemale (tulemuste tabelis märgitud f).

Enamus mõõtepunkte paiknes välitingimustes, kuid osa ka sisetingsimustes, avalikes hoonetes nagu kaubanduskeskused. Sisetingsimustes valiti mõõtepunktid antennist minimaalsel kaugusel, kuhu inimestel ligipääs, samuti siseantennidest veidi eemal (5m).

Valitud mõõtekohad, nende geograafilised koordinaadid, antenni nähtavus, mõõtmise ajad ja ilmastikuolud on toodud **lisas 2 Mõõtmiste asukohtade tabel**. Mõõtmiste asukohad (asukohtade numeratsioon) on ühene teiste toodud tabelitega.

7.2. Mõõtmiste metoodika (Tööpakett 2)

7.2.1. Seadmed

Mõõtmised tehti seadmega EME Spy Evolution (MVG-Microwave Vision Group, Prantsusmaa).

Mõõteseadme tehnilised parameetrid:

Tundlikkus/Sensitivity • 0.05 V/m (80 MHz – 0.7 GHz, 3 GHz – 6 GHz);

• 0.02 V/m (0.7 GHz – 3 GHz);

Dünaamika/Dynamic 56 dB (up to 6V/m);

Isotroopsus/Isotropy ± 1.5 dB (80 MHz – 4 GHz);

± 2.5 dB (4 GHz – 6 GHz).

Seade on mõeldud tööks väliskeskonnas erinevate ilmaoludega, see on pritsmekindel ning selle liidesed varustatud kummitihenditega. Mõõtmiste periood sattus kõige niiskemale perioodile aastas. Õhuniiskuse alandamiseks vahetult mõõteseadme ümber kasutati katsemeetmeid, et vältida kõrge niiskustaseme võimalikku mõju seadmele.

7.2.2 Mõõtmiste protseduur

Mõõtmised viidi läbi vastavalt mõõteseadme tootja juhistele. Mõõtmised tehti sagedusselektiivselt kõigis lisas 3.1 esitatud tabelis näidatud sagedusalades.

Et vähendada mõõteseadme varjestamist mõõtja poolt, asetati seade mõõtmiste ajaks mõõtjast vähemalt 1 m kaugusele. Et vähendada kinnitusluse mõju kiirgusele, kinnitati mõõteseadme raadiolaineid vähe häirivast materjalist hoidikule.

Andmeid koguti kuue minuti vältel, ja jaanuarikuus tehtud mõõtmised, mil kestuseks oli vähemalt üks minut.

Raadiokiirguse puhul on linnaruumis tegemist paljude kiirgustega, lainete liitumise, peegeldumise ja mitmekiirelise leviga. Sellepärast on kiirgusvälja ruumiline jaotus väga ebahülglane; tekivad miinimumid ja maksimumid, raadiokiirguse taseme ruumilised kõikumised võivad ulatuda kuni ca 3 dB. Sellepärast tehti igas asukohas mõõtmised vähemalt kolmes erinevas ruumi punktis. Raadiokiirguse väljatugevus igas asukohas leiti kui ruutkeskmise selle asukoha erinevates punktides tehtud mõõtmiste tulemustest vastavalt valemile

$$E = \sqrt{\frac{1}{n}(E_{p1}^2 + E_{p2}^2 + \dots + E_{pn}^2)} \quad (1)$$

kus E_{pi} on elektrivälja tugevus ühes mõõtepunktis ja n on mõõtepunktide arv.

Mõõtetulemused esitatakse nii sageduselektiivselt peamiste mõõdetud mobiilside sagedusribade kohta kui ka antud mõõtepunktis vaadeldavate allikate kogukiirguse tasemel. Kogukiirguse elektivälja tugevuse tase (E_T) arvutati sageduselektiivsete mõõtmiste põhjal vastavalt valemile

$$E_T = \sqrt{E_{b1}^2 + E_{b2}^2 + \dots + E_{bn}^2} \quad (2)$$

kus E_{bi} on elektrivälja tugevus ühes sagedusalas ja n on sagedusalade arv.

Kogukiirguse võimsustiheduse tase W_T arvutati kui erinevate sagedusalade võimsustiheduste summa vastavalt valemile

$$W_T = w_1 + w_2 + \dots + w_n \quad (3)$$

kus w_i on raadiokiirguse võimsustihedus ühes sagedusalas ja n on sagedusalade arv.

Viies erinevas asukohas tehti aegvõrdlevad mõõtmised viiel erineval ajal (päevad, kellajad). Mõteperioodide valikul jälgiti, et inimtegevuse seisukohast oleks esindatud järgnevad kategooriad: tööpäev, puhkepäev, hommik, pärastlõuna, õhtu.

Mõõtetulemused talletatakse Töövõtja andmekandjatel vastavalt organisatsiooni andmekäitluspõhimõtetele.

Igas mõõtepunktis registreeriti mõõtmiste ajal temperatuur, õhuniiskus ja sademed. Mõõtmise asukohtades teostati ka baasjaama allika ja ümbruskonna fotografeerimine. Kuna fotomaterjal on väga suures arvulises ja andmemahulises koguses siis käesolevas dokumendis seda ei esitada ning esitatakse vastavalt päringule.

7.2.3. Statistiline analüüs

Statistiline analüüs tehti eraldi iga sagedusala ja kogukiirguse jaoks. Analüüsi kaasati kõik 170 asukohas tehtud 602 mõõtmist. Mõõtmiste näidud loetakse sõltumatuteks juhuslikeks suurusteks. Arvutatakse keskväärtused, standardhälbed, mediaanid, ja 95% usaldusintervall. Leitakse miinimum- ja maksimaalväärtus igas sagedusalas. Arvutamiseks kasutati Microsoft Exceli ja IBM SPSS Statistics 27.0 tarkvara.

Täiendavalt hinnatakse raadiokiirguse taseme statistiliselt olulist erinevust erinevate alamvalimite vahel. Projekt on suunatud eelkõige telekommunikatsiooni sagedusalade tervisemõju hindamisele. Sellepärast tehakse alamvalimite statistiline analüüs seitsmel telekommunikatsiooni sagedusaladel võttes aluseks telekommunikatsiooni sagedusalade kogukiirguse.

Uuringu valimisse hõlmatud mõõtepunktid jaotatakse alamvalimiteks kolme kriteeriumi alusel:

- A. asulatüübi järgi;
- B. antenni läheduse järgi;
- C. mõõtmiste ajamomendi järgi.

Statistiliselt olulist erinevust alamvalimite vahel hinnatakse kasutatades ühesuunalist ANOVA testi ja IBM SPSS Statistics 27.0 tarkvara. Konfidentsiaalsuse tase $p < 0,05$ loetakse statistiliselt oluliseks.

7.3. Mõõtmiste tulemused (Tööpakett 3, Tööpakett 4.6)

Raadiokiirguste mõõtmised viidi läbi üle Eesti ajavahemikus 20.01-26.02.2022.

Kokku teostati mõõtmisi 170 asukohas, mille sees on ka kordumõõtmised ning sisealade mõõtmised. Kokku tehti 602 välimõõtmist ($N=602$) kõik kümnes erinevas sagedusalas: kolm raadioringhäälingu ja seitse telekommunikatsiooni sagedusala. Sisemõõtmised teostati avalikes hoonetes (kaubanduskeskustes). Viies asukohas teostati kordumõõtmiste eesmärgil mõõtmisi viiel erineval ajal, mis kokku moodustavad 25 asukoht-kord mõõtmist.

Mõõtetulemused erinevates asukohtades on toodud tabelites **lisas 3.1 Elektrivälja tugevus (V/m) asukohtades igal sagedusalal ja lisas 3.2 Võimsustihedus (mW/m^2) asukohtades igal sagedusalal.**

Tabelid 7.3 ja 7.3a näitavad mõõtetulemuste statistilise analüüsi tulemusi erinevatel sagedusaladel. Joonis 7.1 esitab elektrivälja tugevuste karpdiagrammi erinevatel sagedusaladel.

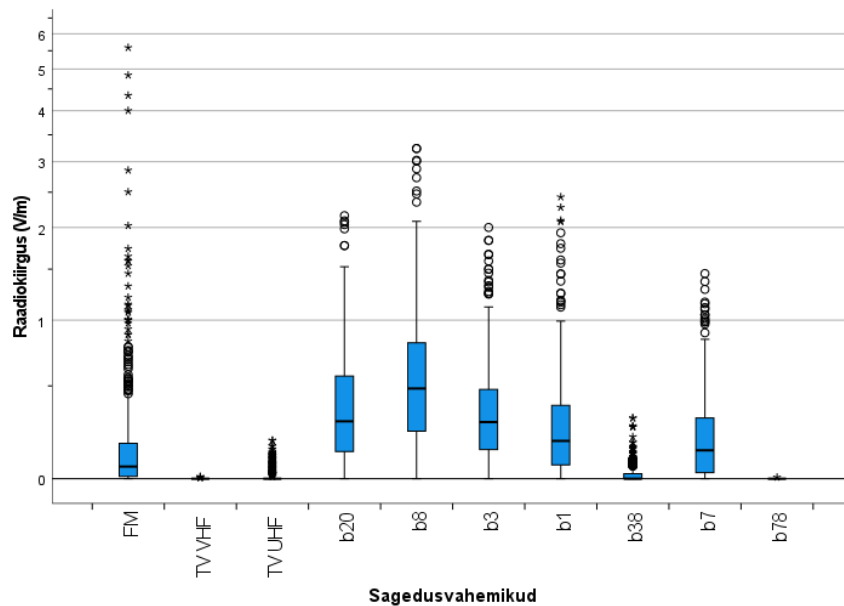
Tabel 7.3. Elektrivälja tugevuse (V/m) statistilised näitajad erinevatel sagedusaladel

Sagedusala	N	Me diaan	Kesk väärtus	Stan dard hälve	95% usaldusintervall		Miini mum	Maksi mum
					Alampiir	Ülem piir		
FM, 87-107 MHz	602	0,05	0,19	0,48	0,15	0,23	0,00	5,59
TV VHF, 174-223 MHz	602	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
TV UHF, 470-615 MHz	602	0,00	0,01	0,03	0,01	0,01	0,00	0,18
b20, 791-821 MHz	602	0,29	0,40	0,36	0,37	0,43	0,00	2,16
b8, 925-960 MHz	602	0,48	0,60	0,51	0,55	0,64	0,00	3,24
b3, 1805-1880 MHz	602	0,28	0,35	0,30	0,33	0,38	0,00	2,00
b1, n1, 2110-2170 MHz	602	0,18	0,28	0,33	0,25	0,31	0,00	2,43
b38, n38, 2570-2620 MHz	602	0,00	0,02	0,04	0,01	0,02	0,00	0,30
b7, 2620-2690 MHz	602	0,13	0,20	0,23	0,19	0,22	0,00	1,45
b78, n78, 3300-3800 MHz	602	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
Kõik koos	602	0,67	0,89	0,94	0,82	0,97	0	7,65

Tabel 7.3a. Võimsustiheduse (mW/m^2) statistilised näitajad erinevalel sagedusaladel

Sagedusala	N	Me diaan	Kesk väärtus	Standard hälve	95% usaldusintervall keskmistele		Miini mum	Maksi mum
					Alampiir	Ülempiir		
FM, 87-107 MHz	602	0,008	0,091	0,609	0,060	0,136	0,000	82,916
TV VHF, 174-223 MHz	602	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
TV UHF, 470-615 MHz	602	0,000	0,000	0,002	0,000	0,001	0,000	0,089

b20, 791-821 MHz	602	0,215	0,418	0,350	0,358	0,485	0,000	12,376
b8, 925-960 MHz	602	0,619	0,941	0,688	0,816	1,073	0,000	27,845
b3, 1805-1880 MHz	602	0,209	0,327	0,243	0,286	0,374	0,000	10,621
b1, n1, 2110-2170 MHz	602	0,086	0,207	0,293	0,172	0,248	0,000	15,650
b38, n38, 2570-2620 MHz	602	0,000	0,001	0,004	0,001	0,001	0,000	0,245
b7, 2620-2690 MHz	602	0,046	0,108	0,140	0,091	0,132	0,000	5,600
b78, n78, 3300-3800 MHz	602	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Kõik koos	602	1,179	2,115	2,319	1,776	2,485	0	155,28



Joonis 7.1. Raadiokiirguse väljatugevuse karpdiagramm vastavalt sagedusaladele. Must horisontaaljoon kasti sees tähistab mediaani; kastide ülemine ja alumine osa näitavad esimest ja kolmandat kvartiili; vuntside lõpp arvutatakse kui 1,5-kordne kvartiilide vahemik; väikesed ringid tähistavad erandlikke ekstreemväärtusi (*outliers*)

Analüüsi tulemused näitavad selgelt, et tõenäolised raadiokiirguse tasemed on kordades madalamad kui mõõtmistel esinenud üksikud maksimumväärtused. Kõigil juhtudel on mediaanväärtused väiksemad kui keskväärtused. See näitab, et mõõtetulemuste jaotus on ebasümmeetriline ja enamus tulemusi on allpool keskväärtust.

Tulemustest näeme, et kõige kõrgema raadiokiirguse tasemega on sagedusala b8 (2G, 3G), millele järgnesid b20 (4G) ja b3 (2G, 4G). See näitlikustab, et tugijaama signaal (*downlink*) peab olema kõrgem vanemate tehnoloogiate (2G, 3G) puhul, et luua ühendus klientseadmega. Uuema 4G tehnoloogia puhul on tugijaama kiirguse võimsustihedus ligi kaks korda nõrgem, sest nii tugijaam kui klientseadmed suudavad ühenduse luua nõrgema signaali taseme juures.

Telekommunikatsiooni sagedusaladest on raadiokiirguse tase kõige kõrgem 900 MHz sagedusalal (G2, G3), keskväärtus 0,6 V/m (0,94,8 mW/m²), 95% tõenäosuse ülempiiriga 0.64 V/m

(1,07 mW/m²), maksimumiga 3,24 V/m (27,8 mW/m²). Selle sagedusala keskmine tase on kordades kõrgem kui raadioringhäälingu sagedusalade keskmine.

FM raadioringhäälingu kiirguse maksimum 5,59 V/m (82,9 W/m²) on kordades kõrgem kui teistel sagedusaladel. Seejuures raadioringhäälingu kiirguse keskväärtus on samal tasemel kui telekommunikatsiooni sagedusaladel. See asjaolu on seletatav sellega, et raadioringhäälingu saatejaamad paiknevad hajali üksteisest kaugel; seetõttu kasutatakse suuremaid võimsusi. Saatejaamale lähemal on kiirgustase märgatavalt kõrgem, aga kauguse suurenedes väheneb kiiresti ja enamikul territooriumist on tase ca 0,2 V/m (0,1 mW/m²), mis on madalam kui mobiilside sagedusaladel. See tase on heas koosölas 1979. aastal 15 USA suurlinnas tehtud mõõtmiste tulemustega, mis näitasid, et raadioringhäälingu UHV ja VHV tase 99% elanikkonna jaoks ei ületa 0,1 mW/m² (Tell & Mantiply,1980).

Raadioringhäälingu FM sagedusala 87-107 MHz annab üle poole (53%) kiirguse võimsustihedusest, kui hinnata maksimumi järgi, aga ainult 4% keskmisest võimsustihedusest. Raadiokiirguse maksimumid mis ületavad 900 MHz sagedusala taset 3,24 V/m (27,84 mW/m²) on seotud ainult raadioringhäälingu kiirgusega. Summaarse raadiokiirguse 95% tõenäosuse ülempiir on 0,97 V/m (2,49 mW/m²).

7.4. Mõõtmistulemuste analüüs alamvalimite lõikes (Tööpakett 4.6)

7.4.1. Kiirgustaseme sõltuvus asula tüübist

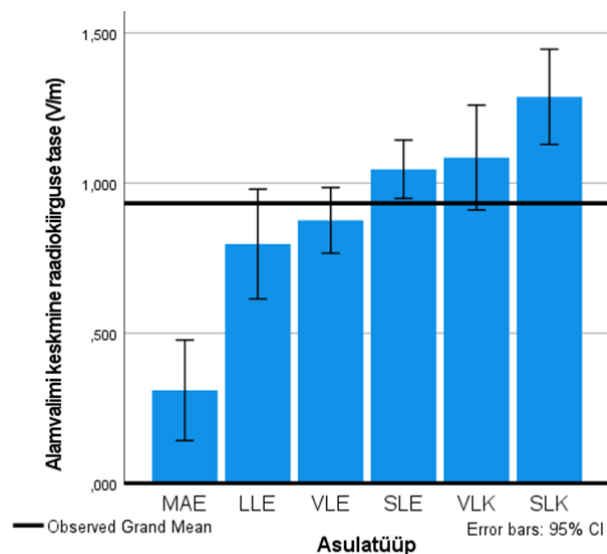
Tabel 7.4 esitab statistilise analüüsi tulemused raadiokiirguse tasemete kohta asulatüüpide alamvalimite lõikes.

Tabel 7.4. Telekommunikatsiooni sagedusalade kogukiirguse statistilised näitajad erinevates asulatüüpides; elektriväli (V/m)

Alamvalim	N	Keskvärtus	Standardhälve	95% usaldusintervall keskmistele		Miinimum	Maksimum
				Alampiir	Ülempiir		
MAE - elamupiirkonnad maal	62	0,33	0,25	0,27	0,39	0,05	1,30
LLE - elamupiirkonnad suuremate linnade lähinaabruses	52	0,81	0,64	0,63	0,99	0,09	3,13
VLE - elamupiirkonnad väikelinnas	145	0,90	0,62	0,79	1,00	0,02	3,10
SLE - elamupiirkonnad suuremates linnades	184	1,07	0,71	0,97	1,17	0,14	4,33
VLK - avalik ruum väikelinna keskses	57	1,11	0,88	0,87	1,34	0,07	4,20
SLK - avalik ruum suurema linna keskses	69	1,32	0,83	1,12	1,52	0,29	3,53
Kõik koos	569	0,96	0,73	0,90	1,02	0,02	4,33

Tabel 7.4a. Telekommunikatsiooni sagedusalade kogukiirguse statistilised näitajad erinevates asulatüüpides; võimsustihedus (mW/m²)

Alamvalim	N	Keskväär tus	Standardhä lve	95% usaldusintervall keskmistele		Miini mum	Maksi mum
				Alampiir	Ülempiir		
MAE - elamupiirkonnad maal	62	0,289	0,166	0,193	0,403	0,007	4,483
LLE - elamupiirkonnad suuremate linnade lähinaabruses	52	1,740	1,086	1,053	2,600	0,021	25,986
VLE - elamupiirkonnad väikelinnas	145	2,149	1,020	1,655	2,653	0,001	25,491
SLE - elamupiirkonnad suuremates linnades	184	3,037	1,337	2,496	3,631	0,052	49,732
VLK - avalik ruum väikelinna keskses	57	3,268	2,054	2,008	4,763	0,013	46,790
SLK - avalik ruum suurema linna keskses	69	4,622	1,827	3,327	6,128	0,223	33,053
Kõik koos	569	2,445	1,414	2,149	2,760	0,001	49,732



Joonis 7.2. Keskväärtused ja 95% usaldusintervall asulatüüpide alamvalimite lõikes, aluseks sagedusvahemike kogukiirgus kõikides mõõtepunktides; horisontaaljoon näitab kogu valimi keskmist

Alamvalimite keskvalimite näitavad loogilist järjekorda – mida suurema asustustihedusega piirkond, seda kõrgem ekspositsioon (joonis 7.2). Kõige madalam on radiokiirguse tase maa elamupiirkondades (MAE), millel on statistiliselt oluline erinevus kõikide muude piirkondadega ($p < 0,05$). Kõige suurem kontrast oli maa elamupiirkondade (MAE) ja suurlinna keskuste (SLK) vahel, $p > 0,001$.

Kõige kõrgem on raadiokiirguse tase suurlinnade keskustes (SLK), keskväärtus 1,29 V/m. Väikelinna keskused (VLK) asuvad sarnasel nivool suurlinnade elamupiirkondadega (SLE), keskväärtused vastavalt 1,09 ja 1,05 V/m. Samas tuleb mainida et tase suurlinnade keskustes (SLK) ei olnud statistiliselt oluliselt erinev tasemetest väikelinna keskustes (VLK) ja suurlinnade elamupiirkondades (SLE), $p > 0,05$. Järgmise madalama raadiokiirguse nivooga grupi moodustavad väikelinnade elamupiirkonnad (VLE) ja elamupiirkonnad suurlinnade lähinaabruses (LLE), keskväärtused vastavalt 0,88 ja 0,80 V/m. Raadiokiirgustase mainitud grupis VLE ja LLE oli statistiliselt erinev suurlinnade keskuste tasemetest (SLK), $p < 0,05$.

7.4.2. Kiirgustaseme sõltuvus antenni asukohast

Tabelid 7.5 ja 7.5a näitavad raadiokiirguse taset viies alamvalimis erinevate antenni kauguste ja otsenähtavuse tingimuste puhul.

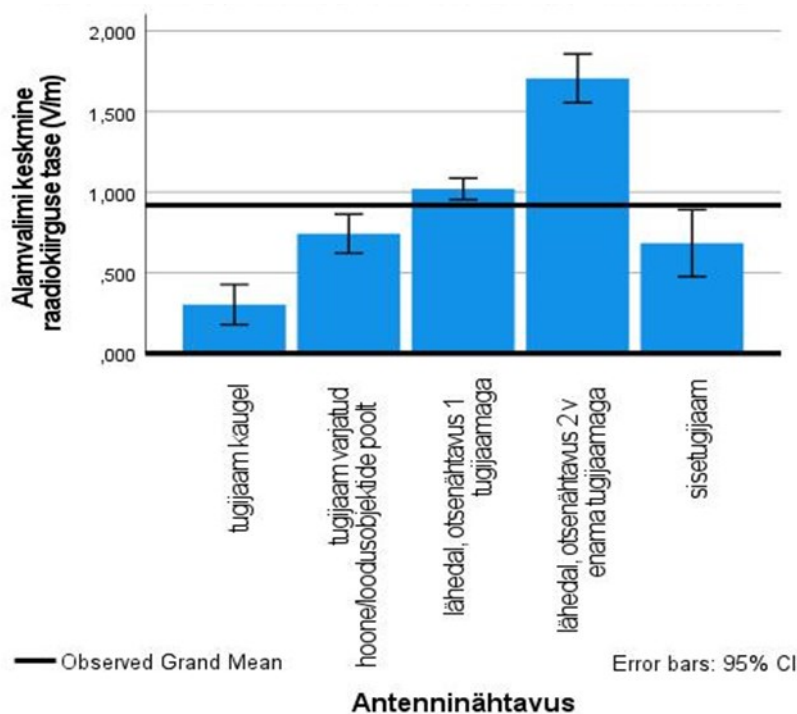
Tabel 7.5. Telekommunikatsiooni sagedusalade kogukiirguse elektrivälja (V/m) statistilised näitajad erinevate tugijaama antenni stsenaariumide puhul

Alamvalim	N	Keskvärtus	Standardhälve	95% usaldusintervall keskmiste jaoks		Miinimum	Maksimum
				Alampiir	Ülempiir		
1 - tugijaam kaugel	91	0,31	0,34	0,24	0,38	0,02	2,01
2 - tugijaam lähedal, kuid varjatud hoone v loodusobjektide poolt	97	0,75	0,64	0,62	0,88	0,09	4,20
3 - lähedal, otsenähtavus 1 tugijaamaga	319	1,04	0,62	0,98	1,12	0,19	3,53
4 - lähedal, otsenähtavus 2 v enama tugijaamaga	62	1,74	0,87	1,52	1,96	0,66	4,33
5 - sisetugijaam	33	0,69	0,48	0,52	0,86	0,07	1,86
Kõik koos	602	0,94	0,72	0,88	0,99	0,02	4,32

Tabel 7.5a. Telekommunikatsiooni sagedusalade kogukiirguse võimsustiheduse (mW/m^2) statistilised näitajad erinevate tugijaama antenni stsenaariumide puhul

Alamvalim	N	Keskvärtus	Standardhälve	95% usaldusintervall keskmiste jaoks		Miinimum	Maksimum
				Alampiir	Ülempiir		
1 - tugijaam kaugel	91	0,255	0,307	0,153	0,383	0,001	10,716
2 - tugijaam lähedal, kuid varjatud hoone v loodusobjektide poolt	97	1,492	1,086	1,020	2,054	0,021	46,790
3 - lähedal, otsenähtavus 1 tugijaamaga	319	2,869	1,020	2,547	3,327	0,096	33,053
4 - lähedal, otsenähtavus 2 v enama tugijaamaga	62	8,031	2,008	6,128	10,190	1,155	49,732
5 - sisetugijaam	33	1,263	0,611	0,717	1,962	0,013	9,177
Kõik koos	602	2,344	1,375	2,054	2,600	0,001	49,502

Alamvalimite keskvärtused väljendavad loogilist järjekorda (joonis 7.3) – mida lähemal on mõõtepunkt tugijaama antennile, seda kõrgem raadiokiirguse tase.



Joonis 7.3. Keskvärtused ja 95% usaldusintervall antenniläheduse alamvalimite lõikes, aluseks sagedusvahemike kogukiirgus kõikides mõõtepunktid; horisontaaljoon näitab kogu valimi keskmist

Analüüsi tulemused kinnitavad, et kiirguse tase on kõrgem antenni otsenähtavuse puhul. Kõige madalam on kiirguse tase mõõtepunktides, mis jäävad tugijaamadest kaugemale (alamvalim 1), millel on ka statistiliselt oluline erinevus kõikide muude piirkondadega ($p < 0,05$). Ka kõik teised alamvalimid olid üksteisest statistiliselt oluliselt erinevad ($p < 0,05$), ainukeseks erandiks oli suhe alamvalimi 2-tugijaam varjatud hoone/loodusobjektide poolt ning 5-sisetugijaam vahel.

Tulemused näitavad ka märgatavat kiirgustaseme kasvu, kui ühe tugijaama asemel (keskväärtus 1,02 V/m) on otsenähtavus kahe või enama tugijaamaga (keskväärtus 1,71 V/m), milline erinevus on ka statistiliselt oluline ($p < 0,001$).

Valimisse hõlmatud punktides, sisetugijaamade (alamvalimi 5) poolt tekitatavat raadiokiirgust hinnates näeme, et sisetugijaamade alamvalimi keskväärtus (0,68 V/m) jääb lähedasse vahemikku alamvalimiga 2 - tugijaam lähedal, kuid varjatud hoone v loodusobjekti poolt (0,74 V/m). Mainitud kahe alamvalimi sarnasust kinnitab ka statistilise erinevuse puudumine ($p = 0,981$). Samas tuleb arvestada, et käesolevas töös teostati mõõtmisi peamiselt kaubanduskeskustes asuvate sisetugijaamade suhtes ning muudes asukohtades, näiteks ärihoonetes võib teist laadi kasutusolude tõttu olla tugijaamadest lähtuv raadiokiirgustase erinev.

Eeltoodud tulemused võivad aga teisalt viidata, et laialdane sisetugijaamade rakendamine võiks oluliselt madaldada avalikes kohtades raadiokiirguse taset – kuna klientseadmed loovad ühenduse tugijaama antenniga, mis on lähedal ning nõrga väljundvõimsusega. Lähedal asub tugijaam tähendab omakorda, et klientseade reguleerib väljundvõimsuse minimaalseks, vähendades seega kasutaja kiiritamist drastiliselt.

7.4.3. Kiirgustaseme sõltuvus mõõtmise ajast

Mõõtmine viidi läbi viiel erimeval ajavahemikul viies asukohas. Raadiokiirguse taseme võrdlemisel erinevatel ajavahemikel moodustub seega viis alamvalimit, kus igas alamvalimis on kõikide kõigi asukohtade (kokku 5) mõõtepunktide (igas asukohas 3) tulemused antud ajavahemikus. Ajavahemikud, mille jooksul 5 mõõtepunktis mõõtmised tehti, jagunevad järgnevalt:

1. P, 20.02.2022 09:30-11.30 (puhkepäeva hommik), tähistus PH;
2. E, 21.02.2022 19:30-21.30 (tööpäeva õhtu), tähistus TÕ;
3. R, 25.02.2022 08:17-10.20 (tööpäeva hommik), tähistus TH;
4. R, 25.02.2022 16:40-18.40 (tööpäeva pärastlõuna), tähistus TP;
5. L, 26.02.2022 14:58-16.50 (puhkepäeva pärastlõuna), tähistus PP.

Tabelid 7.6 ja 7.6a näitavad raadiokiirguse taset erinevates ajavahemikes.

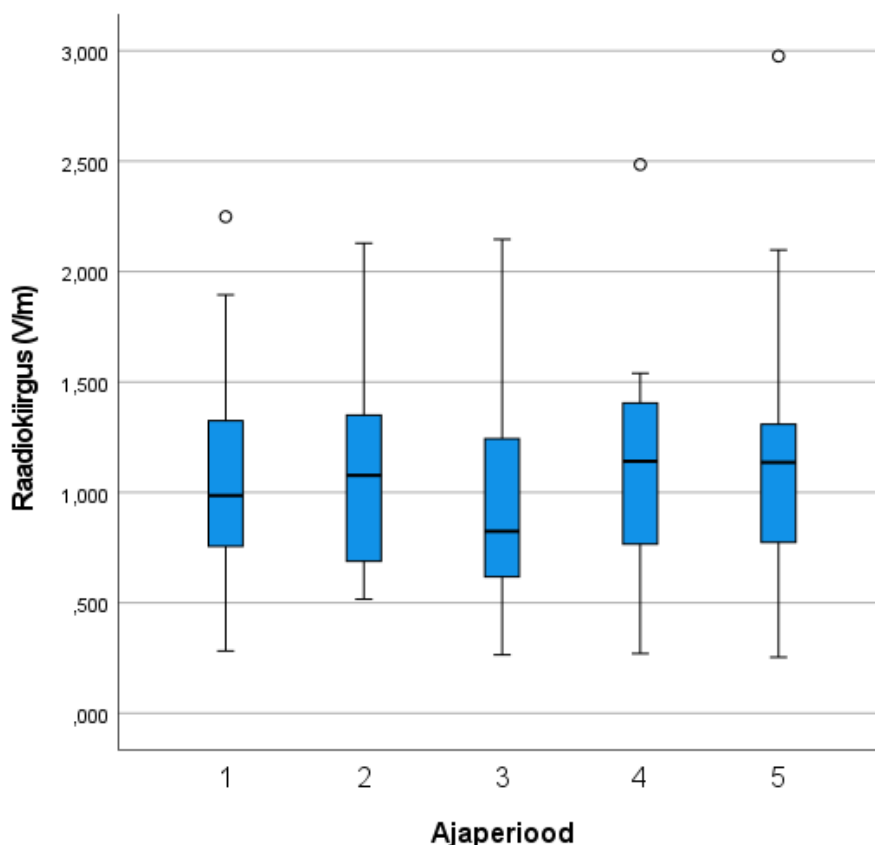
Tabel 7.6. Telekommunikatsiooni sagedusalade kogukiirguse elektrivälja (V/m) statistilised näitajad erinevatel ajavahemikel

Ajaperiood	N	Keskvärtus	Standardhälve	95% usaldusintervall		Miinimum	Maksimum
				Alampiir	Ülempiir		
1-PH	15	1,09	0,52	0,80	1,38	0,28	2,25
2-TÕ	15	1,12	0,48	0,86	1,39	0,52	2,13
3-TH	15	0,98	0,53	0,68	1,27	0,27	2,15
4-TP	15	1,12	0,55	0,82	1,43	0,27	2,49
5-PP	15	1,16	0,67	0,79	1,54	0,25	2,98
Kõik koos	75	1,10	0,54	0,97	1,22	0,25	2,98

Tabel 7.6a. Telekommunikatsiooni sagedusalade kogukiirguse võimsustiheduse (mW/m²) statistilised näitajad erinevatel ajavahemikel

Ajaperiood	N	Keskvärtus	Standardhälve	95% usaldusintervall		Miinimum	Maksimum
				Alampiir	Ülempiir		
1-PH	15	3,151	0,717	1,698	5,051	0,208	13,428
2-TÕ	15	3,327	0,611	1,962	5,125	0,717	12,034
3-TH	15	2,547	0,745	1,227	4,278	0,193	12,261
4-TP	15	3,327	0,802	1,784	5,424	0,193	16,446
5-PP	15	3,569	1,191	1,655	6,291	0,166	23,555
Kõik koos	75	3,210	0,773	2,496	3,948	0,166	23,555

Joonis 7.4 esitab mõõtetulemuste jaotuse ajavahemike lõikes. Iga ajavahemiku kohta on esitatud karpdiagramm, mis kirjeldab antud ajavahemikul kõigis asukohtades saadud mõõtetulemusi.



Joonis 7.4. Raadiokiirguse tasemete jaotus viiel erineval ajavahemikul; iga ajavahemik hõlmab viies erinevas asukohas kogutud mõõtetandmeid. Must horisontaaljoon kasti sees tähistab mediaani; kastide ülemine ja alumine osa näitavad esimest ja kolmandat kvartiili; vuntside lõpp arvutatakse kui 1,5-kordne kvartiilide vahemik; väikesed ringid tähistavad erandlikke ekstreemväärtusi (outliers)

Ühesuunaline ANOVA ei näidanud statistiliselt oluliselt erinevust kahe erineva ajaperioodi mõõtetulemuste vahel ühegi alamvalimite paaride kombinatsiooni puhul ($F(4, 70) = [0,21]$, $p = 0,94$). See asjaolu võib olla seotud konkreetsete asukohtadega (elurajoon, talvine aeg, COVID 19) ega pruugi kehtida teiste asukohtade/aegade puhul.

7.5. Järeldused

Projekti käigus erinevates asukohtades tehtud 602 mõõtmise tulemuste statistiline analüüs võimaldab teha rida järeldusi, mis on olulised määruse kaasajastamise aspektist:

- Raadioringhäälingu sagedusala keskmine kiirgustase on samas suurusjärgus, kuigi kordades madalam telekommunikatsiooni sagedusalade keskmisest kiirgustasemest, aga selle võimsustiheduse maksimum ulatub 53% summaarse kiirgusvälja maksimumist.
- Tõenäosusega 95% raadiokiirguse summaarne väljatugevus ei ületa 0,97 V/m ja võimsustihedus 2,49 mW/m².

- Kõige kõrgem on raadiokiirguse keskmine tase linnakeskustes 1,32 V/m (4,62 mW/m²), mis on heas kooskõlas kiirguse tasemega Lõuna-Korea suurlinnades 1,85 V/m kus mõõtmistel oli kaasatud ka 3,6-3,8 GHz sagedusala.
- Vanema generatsiooni telekommunikatsioonitehnoloogia (2G, 3G) kasutamisega kaasneb umbes kaks korda kõrgem kiirguse võimsustihedus kui uuema 4G puhul. See näitab uuema põlvkonna tehnoloogia ökonoomsemat kiirgusvõimsuse kasutamist ja võimekust tagada kvaliteetne side nõrgema kiirgustaseme juures.
- Erineva asustustihedusega asulatüüpides on raadiokiirguse tasemed statistiliselt oluliselt erinevad. Asustustiheduse tõusuga kiirguse tase tõuseb kuna mobiilside kasutus intensiivistub.
- Kiirgustase tõuseb kui asukohal on otsenähtavus tugijaama antenniga.

Viited

- Regio, Eesti haldusjaotuse kaart <https://www.regio.ee/toode/eesti-haldusjaotuse-kaart-uldisem>
- Selmaoui B., Mazet P., Petit P.-B., Kim K., Choi D., de Seze R. 2021. Exposure of the South Korean population to the 5th generation (5G) of mobile phone networks (3.4 to 3.8 GHz) and its respective contribution among other radio frequencies in the country. URSI GASS 2021, Rome, Italy, 28 August - 4 September 2021.
- Tell R.A., Mantiply E.D. 1980. Population exposure to VHF and UHF broadcast radiation in the United States. Proceedings of the IEEE, 68(1):6-12.

8. Halvima juhu ('worst case') simulatsioon (Tööpakett 4.5)

8.1. Simulatsiooni meetodika

8.1.1. Simulatsiooni programmi valik

Elektromagnetvälja modelleerimine on äärmiselt keeruline ja arvutuslikult töömahukas ülesanne. Raadiovõrkude planeerimiseks väljstootatud rakenduslikud programmid võimaldavad hinnata raadiokiirguse taseme jaotust arvestades saatjate võimsusi ja antennide tüüpe erinevates sagedusalades. 5G antennide ja sagedusi katavad järgmised programmid:

EDX Wireless <https://edx.com/5g/> --- Toetab 5G üleslüli (UL) kui ka allalüli (DL) planeerimist, toetatud FR1 ja FR2 sagedusribad, samuti MIMO võimalused ning Fixed Wireless Access (FWA) funktsionaalsus. 2D ja 3D kaartide andmebaasid toetatud. Võimalik pilve- ja kasutus põhine litsenseerimine.

Forsk <https://edx.com/5g/> --- Toetab nii 5G üleslüli (UL) kui ka allalüli (DL) planeerimist, toetatud FR1 ja FR2 sagedusribad, samuti MIMO ja massive MIMO võimalused. 5G NR maatriks antennide 3D kiirte modelleerimise (3D beamforming) tugi. 5G simulatsioonide ja analüüsimise funktsionaalsus. Võimaldab teostada ka sisevõrkude planeerimist. Pilvepõhised kasutamise võimalused. 2D ja 3D kaartide andmebaasid toetatud.

Infovista <https://www.infovista.com/5g-network/planet-rf-planning-software> --- Toetab nii 5G üleslüli (UL) kui ka allalüli (DL) planeerimist, toetatud FR1 ja FR2 sagedusribad, samuti MIMO funktsionaalsust. 2D ja 3D kaartide andmebaasid toetatud. Võimalik pilve- ja kasutus põhine litsenseerimine. Võimalus integreerida lihtsalt mõõtmiste tulemusi, pakuvan enda mõõtmisüsteemi TEMS.

LS Telcom <https://www.lstelcom.com/en/products/network-planning-tools/> --- Toetab sagedusribade halduse ja litsenseerimise töövahendeid (Spectrum Policy and Management). Sagedusribade analüüsi ja kontrolli funktsionaalsus. Toetab 5G planeerimist, toetatud FR1 ja FR2 sagedusribad.

Teoco <https://www.teoco.com/products-services/ran-solutions/planning/5g-planning/> --- üks suuremaid mobiilside raadiovõrkude planeerimise ja optimeerimise tarkvara lahenduste pakkuja. Võimalik 2D ja 3D kaartide kasutamine. Toetab nii 5G üleslüli (UL) kui ka allalüli (DL) planeerimist, toetatud FR1 ja FR2 sagedusribad, samuti MIMO ja massive MIMO võimalused. 5G NR maatriks antennide 3D kiirte modelleerimise (3D beamforming) tugi. 5G simulatsioonide ja analüüsimise funktsionaalsus.

Microwave Vision Group (MVG) <https://www.mvg-world.com/en/solutions> --- pakub 5G võrkude ja seadmete testimislahendusi, spetsiaalne funktsionaalsus RF kiirguse hindamiseks. Hästi toetatud erinevate antennide simulatsioonideks.

Antenna ja Phased Array System Toolbox, Matlab (The MathWorks, Inc. Massachusetts, USA) mis sisaldavad ka 5G maatriks antenni. See programm on TTÜs kasutusel.

SemCad <https://speag.swiss/products/semcad/solutions/antenna-solution/> on elektromagnetvälja võrrandite (Maxwelli võrrandite) lahendamisel põhinev universaalne programm, mis kasutab FDTD (Final Differences of Time Domain) meetodit. Selle programmi kasutamine on otstarbekas pigem teadustöös. SemCad x on TTÜs kasutusel kiirguse ja SAR jaotuse modelleerimisel peas.

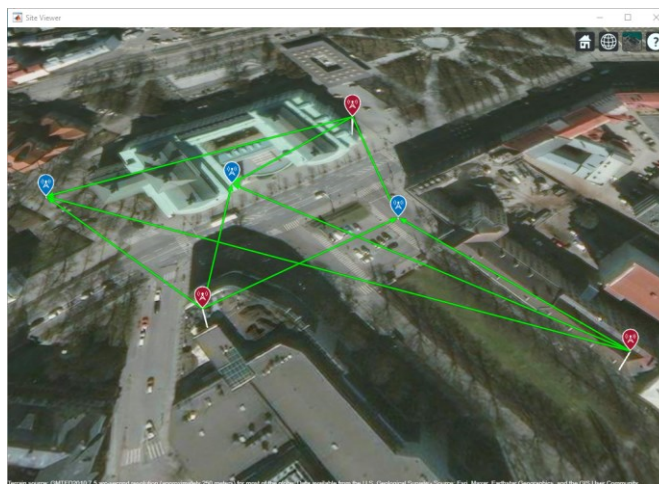
Programmid on kallid, hinnad sõltuvad moodulitest ja litsentside kasutuse viisist (ujuvad jne.). Hindu ära näidata ei saa, klient ise peab konkreetse pakkumise küsima. Teatavasti Forsk, Deoco, Infovista on kõige funktsionaalsemad, aga ka kallimad, need on suunatud pigem operaatoritele mitte niivõrd ametkondadele.

Lähtudes TTÜ võimalustest, kasutasime projektis Matlabi Antenna ja Phased Array System Toolboxe, mis võimaldavad 'worst case' simulatsiooni lahendada kaasates ka 5G simulatsiooni.

8.1.2. Simulatsiooni disain

Halvima juhuna simuleeritakse kolme lähestikku paikneva tugijaama kiirguste kattumist ruumis kui kõiki tugijaamu kasutavad üheaegselt kolm erinevat operaatorit kusjuures kõik operaatorid rakendavad maksimaalkoormusel kolme erinevat sagedusala. Selline situatsioon on äärmiselt mittetõenäoline, sest operaatoritel pole vajadust kasutada lähedalapiknevaid tugijaamu ega ka mitmeid sagedusi üheaegselt, aga selline simulatsioon tagab, et veel halvem olukord on praktiliselt välistatud.

Tugijaamad on paigutatud Solarise katusele (tugijaam 1), Estonia kontsertsaali katusele (tugijaam 2) ja Teaduste Akadeemia raamatukogu katusele (tugijaam 3). Vastuvõtukohtade valiti võimalikult otsenähtavuses kõikide antennidega Estonia ees, G. Otsa tänaval ja Teatriväljakul. Vahemaad tugijaamadest vastuvõtukohtadeni hinnati kasutades Google kaarte. Joonis 8.1 näitab tugijaamade ja vastuvõtukohtade skeemi.



Joonis 8.1. Kiirguse levi suunad tugijaamadest (punased) mõõtmiste asukohtadeni (sinised)

Simulatsiooniga hinnati 'worst case' 4G LTE 2,6 ja 1,8GHz ning 5G NR 3,5GHz sagedusalades. Simulatsiooniprogrammi sisestatakse sagedus, võimsus, antenni tüüp ja suunad, kaugus. Erinavates kohtades paiknevate tugijaamade parameetrid olid järgmised:

- 4G tugijaam: võimsus 40W, paneelantenn 65 kraadise suunalaiusega, 20MHz segdusriba laius ühe operaatori ja bandi kohta. Antennid sobitatud sagedustele 2,6GHz või 1,8 GHz.
- 5G tugijaam: võimsus 100W, maatriksantenn suunatavate kiirtega, antenn sobitatud 3,5GHz sagedusga, 100 MHz sagedusriba laius operaatori kohta.

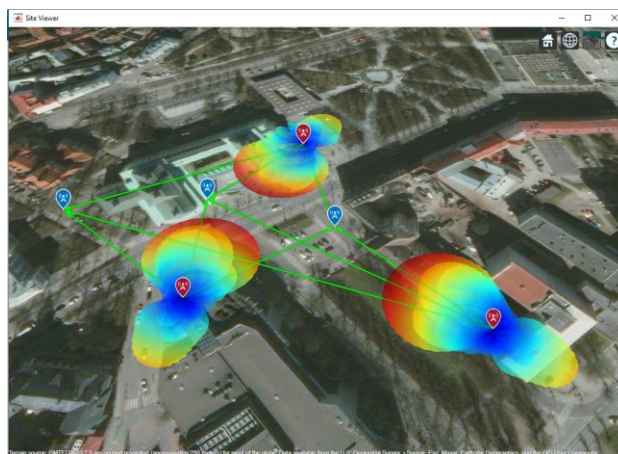
Simulatsioonis arvutatakse eraldi iga tugijaama kiirgust igas vastuvõtupunktis. Vastuvõtukohtades on antennid suunatud antud tugijaama antennile et maksimaalselt kiirgust koguda. Simulatsioonis arvutatakse igas vastuvõtukohas kogu kiirgust mis on koosneb kõigi tugijaamde kiirgustest isegi kui need ei ole suunatud antud vastuvõtukohtale.. Iga tugijaama kiirgus omakorda koosneb kolme operaatori poolt kolmel erineval sagedusalal kasutatavatest kiirgustest.

Kuna tegemist on otsenähtavusega saateantennist vastuvõtjasse siis on kasutatud vabaõhu levi arvutamise mudelit kiirgusvõimsuse saamiseks vastuvõtukohas. Signaali levisumbuvus arvutati vastavalt tugijaama ja kasutaja vahelisele kaugusele. Peegeldusi kõrvalhoonetelt ei ole arvestatud. Kasutatud on küll kaarti millel on maapinna reljeef arvestatud; aga kuna vahemaad väga väikesed ei oma see mõju. 'Worst case' hindamiseks kasutatakse Matlab-i *Antenna ja Phased Array System Toolbox*'e, mis sisaldavad ka 5G maatriks antenni.

8.1.3. Tugijaamade antennide kiirgussuunad

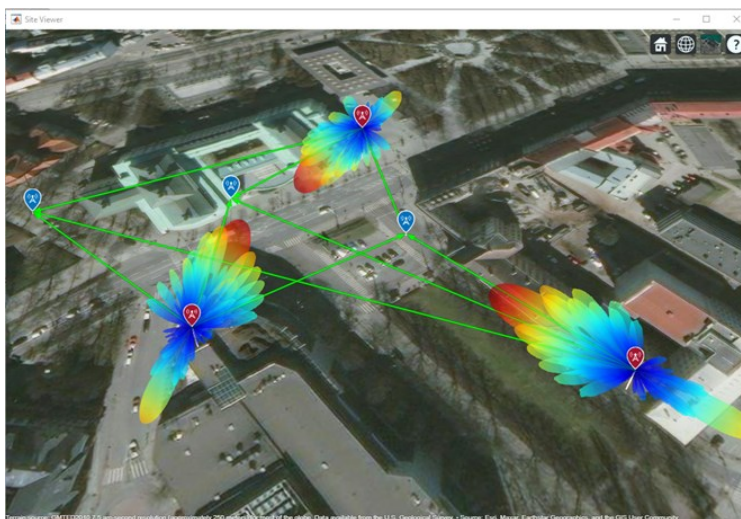
Tugijaamade antennid paiknevad maja katuse äärel ja vastuvõtukohta kõrgus on 1,5m mis on keskmine kasutaja terminaali kõrgus maapinnast kasutamise ajal.

Joonisel 8.2 on simuleeritud 2x12 maatriks antennide kiirguste suunda kolmes tugijaamas. See antenn on sobiv 4G LTE teenuste pakkumiseks 2,6GHz ja 1,8GHz sagedusalas. Antenni kiirgus on suunatud valitud sektori suunale mis katab üldjuhul 65kraadise sektori ala. 4G antenn *beam steering* funktsionaalsust ei toeta ja antenni suunadiagramm ei muutu erinevate asukohtade teenindamisel.

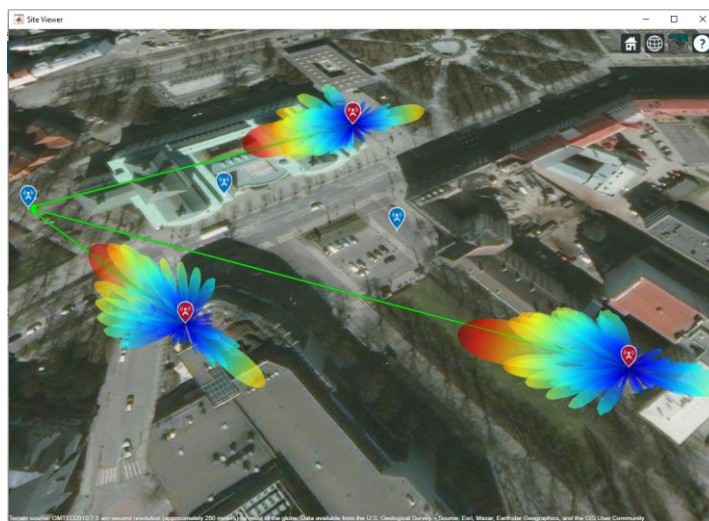


Joonis 8.2. 4G LTE tugijaamade antennide kiirguse suunad Punane vastab kiirguse maksimaalse taseme suunale

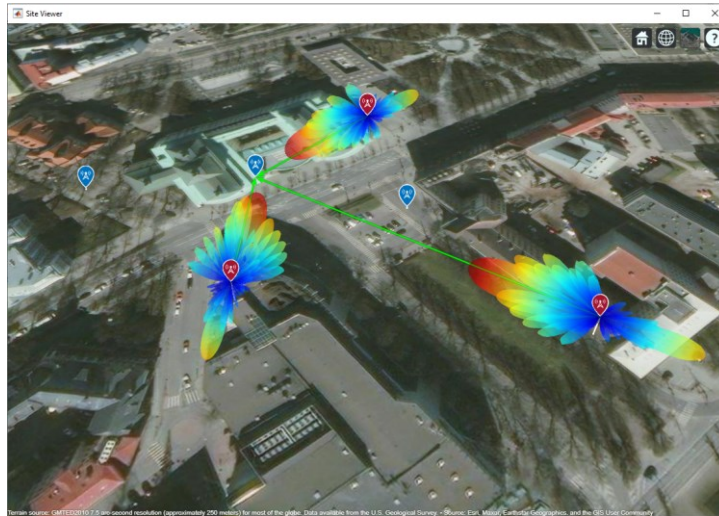
Joonis 8.3 näitab 5G NR suunda muutvate antennide kiirguse suunda. Iga vastuvõtukohta kiirgustaseme arvutamisel on kõigi kolme antenni peakir suunatud sellele asukohale (vt.joonis 8.4; 8.5; 8.6).



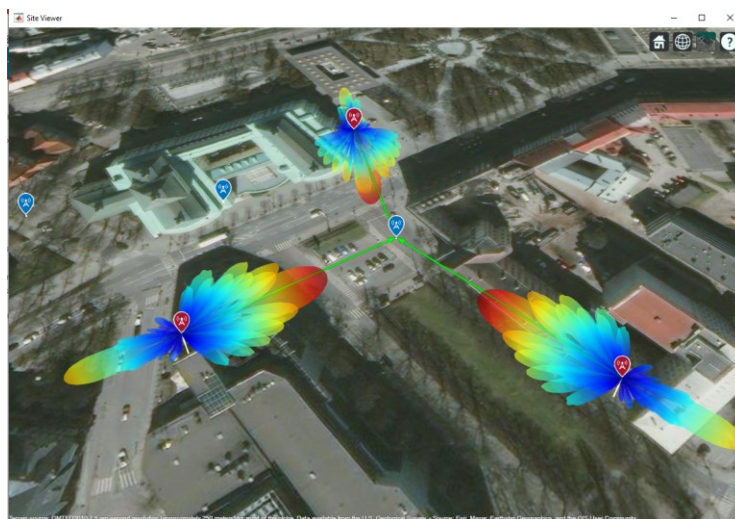
Joonis 8.3. 5GNR antennide kiirguse suunad



Joonis 8.4. 5G NR antennide kiirguse suunad kiirgustaseme arvutamisel asukohas 1 (G.Otsa tänav)



Joonis 8.5. 5G NR antennide kiirguse suunad kiirgustaseme arvutamisel asukohta 2 (Estonia ees)

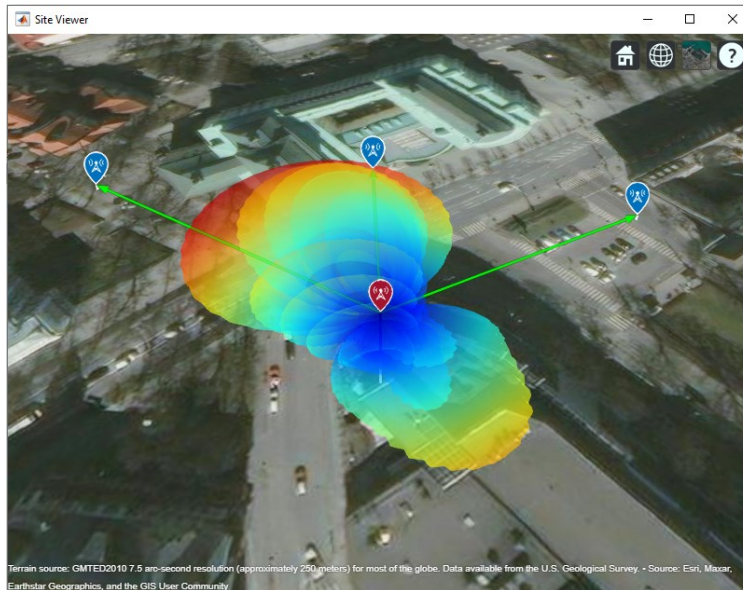


Joonis 8.6. 5G NR antennide suunad kiirgustugevuse arvutamisel asukohtas 3 (Teatri väljak)

8.2. 'Worst case' hinnangud 4G LTE 2,6 ja 1,8GHz sagedusalades

Määratud on tugijaamade antennide asukohad hoonetel ja valitud vastuvõtu kohad (joonis 8.1). Simuleeritud on 2x12 maatriks antenn mis on sobiv 4G LTE teenuste pakkumiseks 2,6GHz ja 1,8GHz sagedusalas.

Kiirgusväli tugijaamast 1



Joonis 8.7. 4G LTE tugijaama ühe sektori paneelantenni

Teenuse pakkumiseks konkreetses vastuvõtukohas on antenni kiirgus suunatud valitud sektori suunale (joonis 8.7) mis teenindab üldjuhul 65kraadise sektori ala (4G antenna beam steering funktsionaalsust ei toeta). Seega antenni suunadiagramm ei muutu erinevate asukohtade teenindamisel.

Järgnevalt on määratud vastuvõtukohtades vastuvõtu antennide suunadiagrammid (Joonis 8.8)



Joonis 8.8. 4G LTE tugijaama ühe sektori ja vastuvõtukohtades kasutatavate antennide suunadiagrammid

Kuna saateantenn asub majakatuse äärel siis on näha, et lähemal asuvatel vastuvõtukohtades võib olla kiirgustugevus nõrgem kui natuke kaugemal asuvates kohtades. See on tingitud asjaolust, et antennid kiirgavad vähem otse alla ja kõige tugevam kiirgus on suunatud rohkem eemale tugijaamast.

3 operaatorit koos kiirgusväli tugijaamast 1

2,6GHz

1,8GHz

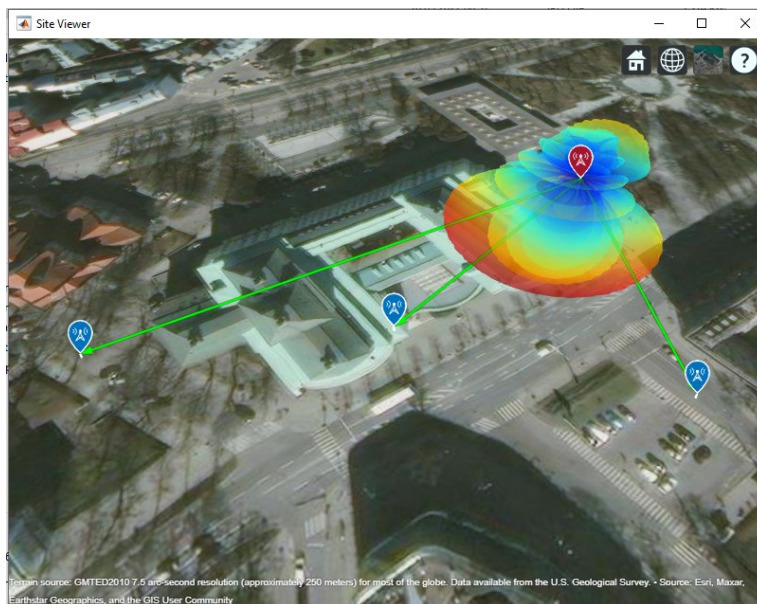
Signal strength at Estonia ees:
-21.6054 dBm
Signal strength at G.Otsa tänav:
-14.514 dBm
Signal strength at Teatri väljak:
-24.2269 dBm

Signal strength at Estonia ees:
-17.2619 dBm
Signal strength at G.Otsa tänav:
-10.1717 dBm
Signal strength at Teatri väljak:
-19.886 dBm

E-field strength at Estonia ees:
124.9385 dB μ V/m
E-field strength at G.Otsa tänav:
131.3586 dB μ V/m
E-field strength at Teatri väljak:
122.2072 dB μ V/m

E-field strength at Estonia ees:
124.9401 dB μ V/m
E-field strength at G.Otsa tänav:
131.359 dB μ V/m
E-field strength at Teatri väljak:
122.206 dB μ V/m

Kiirgusväli tugijaamast 2



Joonis 8.9. Tugijaama 2 sektori antenni suunadiagramm (punasega tugevama kiirguse suunad)



Joonis 8.10. 4G LTE tugijaama 2 ühe sektori ja vastuvõtukohtades kasutatavate antennide suunadiagrammid

3 operaatorit koos kiirgusväli Tugijaamast 2

2,6GHz

1,8GHz

Signal strength at Estonia ees:

-11.3722 dBm

Signal strength at G.Otsa tänav:

-20.5922 dBm

Signal strength at Teatri väljak:

-17.6604 dBm

E-field strength at Estonia ees:

135.1806 dBµV/m

E-field strength at G.Otsa tänav:

124.8955 dBµV/m

E-field strength at Teatri väljak:

128.9769 dBµV/m

Signal strength at Estonia ees:

-7.0293 dBm

Signal strength at G.Otsa tänav:

-16.2496 dBm

Signal strength at Teatri väljak:

-13.3187 dBm

E-field strength at Estonia ees:

135.1815 dBµV/m

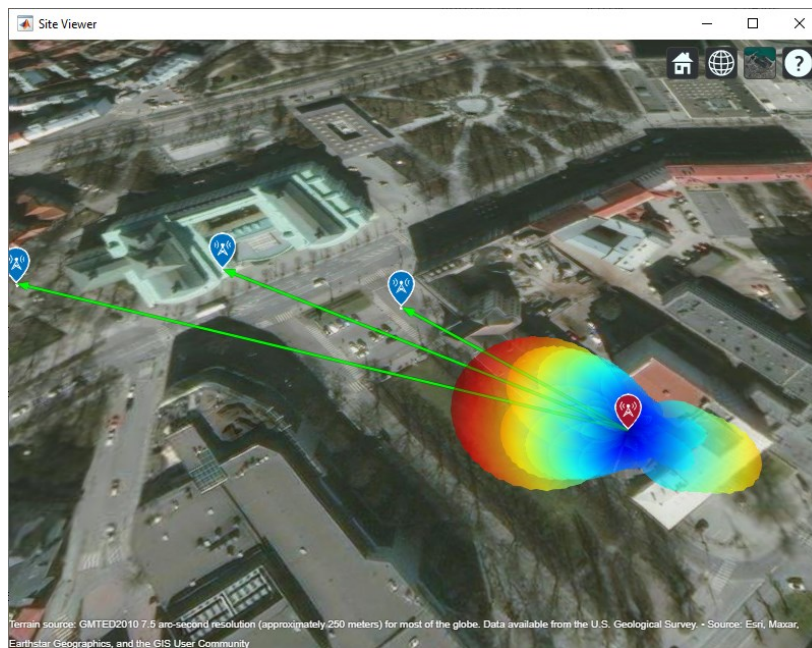
E-field strength at G.Otsa tänav:

124.896 dBµV/m

E-field strength at Teatri väljak:

128.9767 dBµV/m

Kiirgusväli tugijaamast 3



Joonis 8.11. Tugijaama 3 sektori antenni suunadiagramm (punasega tugevama kiirguse suunad)



Joonis 8.12. 4G LTE tugijaama 3 ühe sektori ja vastuvõtukohtades kasutatavate antennide suunadiagrammid

3 operaatorit koos kiirgusväli tugijaamast 3

LTE 4G signaalide tugevused asukohtades:

2,6GHz

1,8GHz

Signal strength at Estonia ees:
-26.2056 dBm
Signal strength at G.Otsa tänav:
-22.6778 dBm
Signal strength at Teatri väljak:
-34.7821 dBm

Signal strength at Estonia ees:
-21.862 dBm
Signal strength at G.Otsa tänav:
-18.3341 dBm
Signal strength at Teatri väljak:
-30.4386 dBm

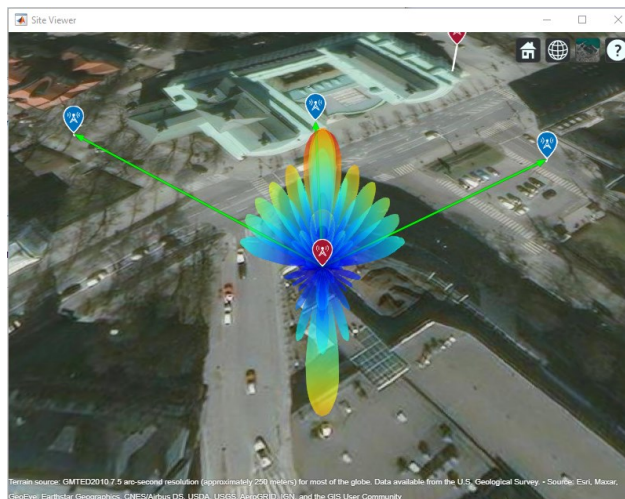
E-field strength at Estonia ees:
119.2936 dB μ V/m
E-field strength at G.Otsa tänav:
122.7416 dB μ V/m
E-field strength at Teatri väljak:
111.1841 dB μ V/m

E-field strength at Estonia ees:
119.2952 dB μ V/m
E-field strength at G.Otsa tänav:
122.7432 dB μ V/m
E-field strength at Teatri väljak:
111.1857 dB μ V/m

8.3. 'Worst case' 5G NR 3,5GHz väljatugevuse simulatsioonid

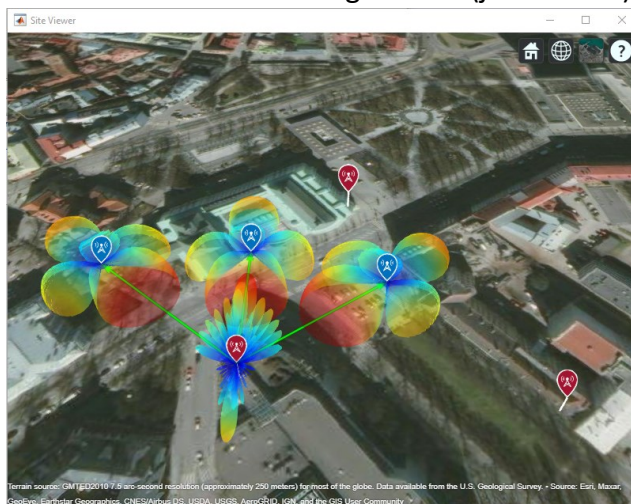
Määratud on saate-ja vastuvõtuantennide paigutus, suunad ja kaugus saate antennist vastuvõtukohtadesse (joonis 8.1). Simuleeritud on 8x12 maatriksantenni, mis on sobiv 5G teenuste pakkumiseks 3,5GHz sagedusalas.

Kiirgusväli tugijaamast 1



Joonis 8.13. 5G NR tugijaamast 1 ühe sektori maatriksantenni suunadiagramm (punasega kõige suurema kiirguse suunad)

Teenuse pakkumiseks konkreetse vastuvõtukoahas on antenni kiirgus suunatud valitud asukohale (5G antenna beam steering funktsionaalsus) (joonis 8.13). Järgnevalt on määratud vastuvõtukohtades vastuvõtu antennide suunadiagrammid (joonis 8.14):



Joonis 8.14. 5G NR tugijaamast 1 ühe sektori ja klientide asukohtades kasutatavate antennide suunadiagrammid (kliendi teenindas on tugijaama antenn suunatud kliendile)

Selleks, et arvestada kogu kiirgust on kokku liidetud saate antenni kiirgus igas vastuvõtukoahas kõigi kolme vastuvõtukooha teenindamisel, seega on arvestatud kiirgust mis tekib vastuvõtukohtades sel ajal kui teenindatakse teisi kasutajad. Vastuvõtukohtades on antennid suunatud saatja antennile, et maksimaalselt kiirgust koguda.

Eraldi signaalide korral:

Signal strength at Estonia ees:
-32.6304 dBm
Signal strength at G.Otsa tänav:
-23.6906 dBm
Signal strength at Teatri väljak:
-41.6592 dBm

Electric field strength at Estonia ees:
102.9816 dB μ V/m
Electric field strength at G.Otsa tänav:
110.6283 dB μ V/m
Electric field strength at Teatri väljak:
93.6439 dB μ V/m

Kõigile koos saadetud:

Signal strength at Estonia ees:
-31.1252 dBm
Signal strength at G.Otsa tänav:
-27.9464 dBm
Signal strength at Teatri väljak:
-35.2505 dBm

Electric field strength at Estonia ees:
104.4868 dB μ V/m
Electric field strength at G.Otsa tänav:
106.3724 dB μ V/m
Electric field strength at Teatri väljak:
100.0526 dB μ V/m

3 operaatorit koos kiirgusväli Tugijaamast 1

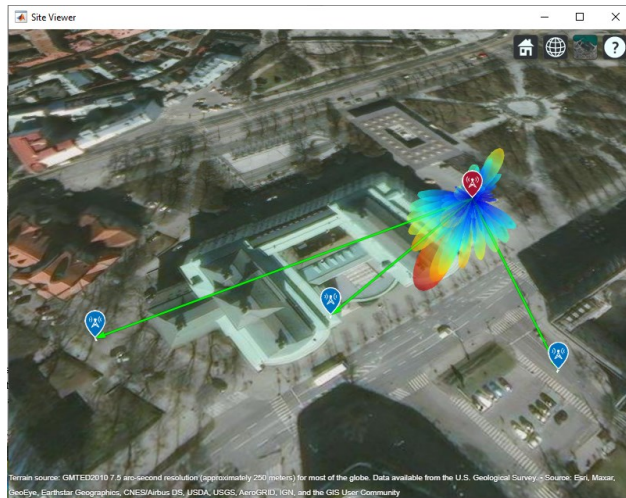
Eraldi signaalid:

Electric field strength at Estonia ees:
112.9816 dB μ V/m
Electric field strength at G.Otsa tänav:
120.6283 dB μ V/m
Electric field strength at Teatri väljak:
103.6439 dB μ V/m

Koos signaalid (samaaegselt):

Electric field strength at Estonia ees:
114.4868 dB μ V/m
Electric field strength at G.Otsa tänav:
116.3724 dB μ V/m
Electric field strength at Teatri väljak:
110.0526 dB μ V/m

Kiirgusväli tugijaamast 2



oonis 8.15. 5G NR tugijaamast 2 ühe sektori maatriksantenni suunadiagramm (punasega kõige suurema kiirguse suunad).



Joonis 8.16. 5G NR tugijaamast 2 ühe sektori ja klientide asukohtades kasutatavate antennide suunadiagrammid (kliendi teenindas on tugijaama antenn suunatud kliendile)

Eraldi signaalide korral:

Signal strength at Estonia ees:
-24.8613 dBm
Signal strength at G.Otsa tänav:
-32.6052 dBm
Signal strength at Teatri väljak:
-31.0874 dBm

Electric field strength at Estonia ees:
110.7756 dB μ V/m
Electric field strength at G.Otsa tänav:
100.9984 dB μ V/m
Electric field strength at Teatri väljak:
104.7892 dB μ V/m

Kõigile koos saadetud:

Signal strength at Estonia ees:
-28.8739 dBm
Signal strength at G.Otsa tänav:
-31.7822 dBm
Signal strength at Teatri väljak:
-35.9686 dBm

Electric field strength at Estonia ees:
106.7629 dB μ V/m
Electric field strength at G.Otsa tänav:
101.8213 dB μ V/m
Electric field strength at Teatri väljak:
99.908 dB μ V/m

3 operaatorit koos kiirgusväli tugijaamast 2

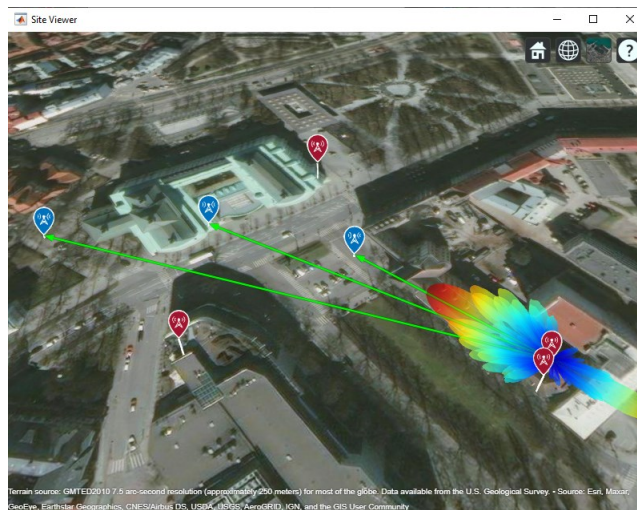
Eraldi signaalid:

Electric field strength at Estonia ees:
120.7756 dB μ V/m
Electric field strength at G.Otsa tänav:
110.9984 dB μ V/m
Electric field strength at Teatri väljak:
114.7892 dB μ V/m

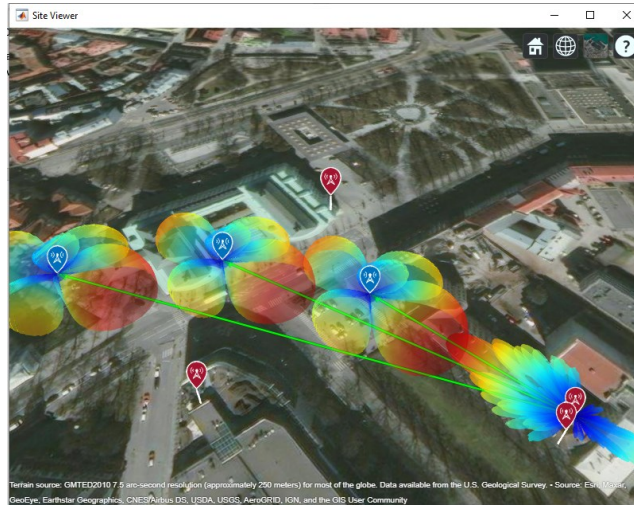
Koos signaalid (samaaegselt):

Electric field strength at Estonia ees:
116.7629 dB μ V/m
Electric field strength at G.Otsa tänav:
111.8213 dB μ V/m
Electric field strength at Teatri väljak:
109.908 dB μ V/m

Kiirgusväli tugijaamast 3



Joonis 8.17. 5G NR tugijaamast 2 ühe sektori maatriksantenni suunadiagramm (punasega kõige suurema kiirguse suunad)



Joonis 8.18. 5G NR tugijaamast 3 ühe sektori ja klientide asukohtades kasutatavate antennide suunadiagrammid (kliendi teenindas on tugijaama antenn suunatud kliendile)

Eraldi signaalide korral :

Signal strength at Estonia ees:
-44.2912 dBm
Signal strength at G.Otsa tänav:
-22.2898 dBm
Signal strength at Teatri väljak:
-36.2568 dBm

Electric field strength at Estonia ees:
88.1551 dB μ V/m
Electric field strength at G.Otsa tänav:
111.1652 dB μ V/m
Electric field strength at Teatri väljak:
100.0517 dB μ V/m

Kõigile koos saadetud:

Signal strength at Estonia ees:
-37.5635 dBm
Signal strength at G.Otsa tänav:
-27.0492 dBm
Signal strength at Teatri väljak:
-52.0887 dBm

Electric field strength at Estonia ees:
95.8688 dB μ V/m
Electric field strength at G.Otsa tänav:
106.7306 dB μ V/m
Electric field strength at Teatri väljak:
86.1329 dB μ V/m

3 operaatorit koos kiirgusväli tugijaamast 3

Eraldi signaalid:

Electric field strength at Estonia ees:
99.3436 dB μ V/m
Electric field strength at G.Otsa tänav:
121.1305 dB μ V/m
Electric field strength at Teatri väljak:
108.3192 dB μ V/m

Koos signaalid (samaaegselt):

Electric field strength at Estonia ees:
106.0713 dB μ V/m
Electric field strength at G.Otsa tänav:
116.3711 dB μ V/m
Electric field strength at Teatri väljak:
92.4874 dB μ V/m

Kõik tugijaamad kokku:

3 operaatorit koos kiirgusväli Tugijaamast 1

Eraldi signaalid:

Electric field strength at Estonia ees:
112.9816 dB μ V/m
Electric field strength at G.Otsa tänav:
120.6283 dB μ V/m
Electric field strength at Teatri väljak:
103.6439 dB μ V/m

Koos signaalid (samaaegselt):

Electric field strength at Estonia ees:
114.4868 dB μ V/m
Electric field strength at G.Otsa tänav:
116.3724 dB μ V/m
Electric field strength at Teatri väljak:
110.0526 dB μ V/m

3 operaatorit koos kiirgusväli Tugijaamast 2

Eraldi signaalid:

Electric field strength at Estonia ees:
120.7756 dB μ V/m
Electric field strength at G.Otsa tänav:
110.9984 dB μ V/m
Electric field strength at Teatri väljak:
114.7892 dB μ V/m

Koos signaalid (samaaegselt):

Electric field strength at Estonia ees:
116.7629 dB μ V/m
Electric field strength at G.Otsa tänav:
111.8213 dB μ V/m
Electric field strength at Teatri väljak:
109.908 dB μ V/m

3 operaatorit koos kiirgusväli Tugijaamast 3

Eraldi signaalid:

Electric field strength at Estonia ees:
99.3436 dB μ V/m
Electric field strength at G.Otsa tänav:
121.1305 dB μ V/m
Electric field strength at Teatri väljak:
108.3192 dB μ V/m

Koos signaalid (samaaegselt):

Electric field strength at Estonia ees:
106.0713 dB μ V/m
Electric field strength at G.Otsa tänav:
116.3711 dB μ V/m
Electric field strength at Teatri väljak:
92.4874 dB μ V/m

8.4. Halvima juhu hinnang

Simulatsiooni koondtulemused on toodud tabelis 8.1 ja 8.1a.

Tabel 8.1. Erinevate operaatorite poolt kasutatavate tugijaamade poolt tekitatud maksimaalsed väljatugevused E (V/m) kolmel erineval sagedusel Estonia ees (asukoht 1), G.Otsa tänav (asukoht 2) ja Teatri väljakul (asukoht 3)

	4G LTE 2,6GHz			4G LTE 1,8 GHz			5GNR 3,5 GHz			Kokku 4G	Kokku 5G	Kokku 4G ja 5G	5 G %
	3 operaatorit			3 operaatorit			3 operaatorit						
	TJ 1	TJ 2	TJ 3	TJ 1	TJ 2	TJ 3	TJ 1	TJ 2	TJ 3				
Asukoht 1	1.76	5.74	0.92	1.77	5.74	0.92	0.53	0.69	0.20	8.59	0.89	8.64	10
Asukoht 2	3.69	1.76	1.37	3.69	1.76	1.37	0.66	0.39	0.66	6.10	1.01	6.18	16
Asukoht 3	1.20	2.81	0.36	1.29	2.81	0.36	0.32	0.31	0.04	4.40	0.45	4.42	10
Keskmine	2.21	3.43	0.88	2.25	3.43	0.88	0.50	0.46	0.3	6.36	0,78	6,41	12

Tabel 8.1a. Erinevate operaatorite poolt kasutatavate tugijaamade poolt tekitatud maksimaalsed võimsustihedused (mW/m²) kolmel erineval sagedusel Estonia ees (asukoht 1), G.Otsa tänav (asukoht 2) ja Teatri väljakul (asukoht 3)

	4G LTE 2,6GHz			4G LTE 1,8 GHz			5GNR 3,5 GHz			Kokku 4G	Kokku 5G	Kokku 4G ja 5G	5 G %
	3 operaatorit			3 operaatorit			3 operaatorit						
	TJ 1	TJ 2	TJ 3	TJ 1	TJ 2	TJ 3	TJ 1	TJ 2	TJ 3				
Asukoht 1	8.1	86.2	2.21	8.19	86.2	2.21	0.73	1.24	0.10	193	2.07	195	1,1
Asukoht 2	35.6	8.1	4.91	35.6	8.10	4.91	1.14	0.39	1.14	97.3	2.67	99.9	2,7
Asukoht 3	3.76	20.6	0.33	4.35	20.6	0.34	0.26	0.25	0.00	50.6	0.53	51.1	1
Keskmine	12.7	30.7	2.02	13.2	30.7	2.02	0.65	0.55	0.23	106	1.59	107	1,5

Selline pilt kiirgustasemetest on tugevalt ülehinnatud, sest kunagi ei ole operaatoril vajadust teenindada klienti üheaegselt mitmest nii lähedal asetsevast tugijaamast. Samuti on äärmiselt ebatõenäoline üheaegse maksimaalse võimsuse kasutamine mitmel sagedusel ja mitme erineva operaatori poolt.

Oluline on märkida, et 5G osakaal kogu kiirgusvälja tugevusest ei ületa 16% (G. Otsa tänaval), teistes asukotades on see protsent kümme. See tulemus on heas kooskõlas Lõuna-Koreas tehtud mõõtmiste tulemusega, kus 5G osakaaluks hinnati 15% (Selmaoui et al., 2021). Nende mõõtmiste puhul oli linnades töös tuhandeid 5G NR tugijaamu. Eestis sellist pilti lähitulevikus ei ole oodata. Lõuna.Korea mõõtmiste tulemused on usalsuväärseks allikaks 5G mõju osakaalu hindamisel telekommunikatsiooni sagedusalades.

8.5. Järeldused

Simulatsiooni tulemused võimaldavad teha rida järeldusi, mis on olulised määruse kaasajastamise aspektist.

- Simulatsioon näitab sagedusalades 1800 MHz ja 2600 MHz 4G LTE (kolm operaatorit) väljatugevuse 5,74 V/m (86.2 W/m^2), kolme tugijaama peale kokku 8,58 V/m (193 W/m^2).
- Simuleeritud halvim juhus on kõige ekstreemsem ja mitteotstarbekam, mis praktiliselt kunagi ei tohiks realiseeruda. Sellist juhust peavad piirnormid välistama, kuigi operaatorid ilmselt sellist variant kunagi ei kasutakski.
- Väljatugevus on suurem 5,74 V/m 4G LTE sagedusel 1,8 GHz. See järeldus langeb hästi kokku mõõtmistulemuste analüüsiga, mis näitab suuremat kiirguse taset madalamatel sagedusaladel (900 MHz ja 1800 MHz).
- 5G NR raadiokiirguse tase on palju väiksem 4G LTE kiirguse tasemest ja moodustab keskmiselt 1,5% kogu kiirguse võimsustihedusest (12% väljatugevusest). See tulemus langeb hästi kokku mõõtmiste tulemusega, mis on tehtud Lõuna-Koreas kus on tuhandeid töötavaid 5G tugijaamu.

9. Mitteioniseeriva kiirguse tervisemõju mudelid (Tegevus 4.1)

9.1. Soojuslik mõju ja elektrivälja mõju

Bioloogilised struktuurid on seotud elektriliste sidemetega; füsioloogilised protsessid põhinevad laetud osakeste liikumisel. Välised elektrilised jõud mõjutavad laengute liikumist ja seega bioloogilisi protsesse. EMV energia muundub kineetiliseks energiaks ja soojusenergiaks; kui EMV on küllalt tugev et ületada organismi soojusregulatsioon, keha temperatuur tõuseb. Kõrgenenud temperatuur mõjutab bioloogilisi protsesse.

Paljude laetud osakeste korrapärane sünkroonne ümberpaigutumine raadiokiirguse koherentses elektromagnetväljas tekitab sisemise elektrivälja (dielektriline polarisatsioon) mis omakorda mõjutab bioloogilisi-keemilisi protsesse otse, ilma soojenemiseta (Hinrikus et al., 2018; Wang et al., 2022). Dielektrilise polarisatsiooni teke ei ole seotud temperatuuri tõusuga; vastupidi, temperatuuri tõus suurendab laetud osakeste juhuslikku liikumist ja vähendab korrapärast liikumist ning polarisatsiooni.

Mitteioniseeriva raadiokiirguse tervisemõju mudelite puhul tuleb rääkida kahest mudelist: raadiokiirguse soojusliku mõju mudelist ja nõrga raadiokiirguse mittesoojusliku mõju mudelist. Selline lähenemine on kooskõlas ioniseeriva kiirguse puhul kasutatava lähenemisega: ioniseeriva kiirguse puhul eristatakse deterministlikku ja stohhastilist mõju (ICRP 1990). Madalate kiirgusdooside ja kaasneva stohhastilise mõju puhul kasutatakse lineaarset ilma lävendita (LNT) mudelit (McLean 2017).

ICNIRP juhised põhinevad soojusliku mõju mudelil. **Soojusliku mõju mudel on lävendiga mudel**, mis eeldab mõju seost neeldunud EMV võimsusega. Lävendit kirjeldab erineeldumiskiirus SAR, mis on otseselt seotud EMV võimsustihedusega. Kuna SAR sõltub ka kiiritatava objekti parameetritest, ei ole seos EMV parameetritega üheselt määratletav. Soojusliku mõju mudelil põhinevad ka kehtivad tervisekaitse normatiivid (ICNIRP 2020). Ainult soojusliku mõju arvestamine ja ICNIRPi juhistes toodud piirarvud on pälvinud EMV teadlaskonna põhjendatud kriitika (Leszczynski & Xu, 2010; Barnes & Greenebaum, 2020; Lai & Levitt, 2022)

EMV mittesoojusliku mõju mudel kirjeldab nõrga, temperatuuri tõusu mitte tekitava EMV mõju. EMV otsene mittesoojuslik mõju on seotud koherentse EMV väljatugevusega ja selle kaudu võimsustihedusega. **Mittesoojusliku mõju mudel on lävendita mudel** (Hinrikus et al., 2021).

Raadiokiirguse mõju korrektse mudeli koostamiseks on vaja teada mõju lävendit, sõltuvust kiirguse tasemest ja ajalist kumulatsiooni, arvestades organismi taastumisvõimet.

9.2. Sõltuvus EMV võimsustihedusest/väljatugevusest ja lävend

Soojusliku mõju lävend on määratud kui SAR väärtus, mille puhul temperatuur kehas tõuseb 1°C võrra 6 minuti jooksul. Soojusliku mudeli lävend pärineb kahest kaheksal rotil de Lodge ja Ezell (1980) ja viiel ahvil de Lodge (1984) tehtud uuringust, milledes näidati, et loomade treenitud käitumisoskused vähenevad ja rektaalselt mõõtetud keha temperatuur ahvidel tõuseb 1°C võrra

kui SAR ületab 4W/kg. Soojusliku mõju mudeli puhul piirdatakse temperatuuri tõusul põhineva lävendiga. Vaikimisi eeldatakse mõju suurenemist SAR tõusuga, aga seose lineaarsust-mittelineaarsust ega ka mõju ajalist kumulatiivsust ei käsitleta.

Antud projekti raames koostatud andmebaasi (lisa 1) analüüs ei näita EMV mõju korrapärast sõltuvust SAR väärtustest (tabel 2.3 Sõltuvus raadiokiirguse tasemest; joonis 3 artiklis 1). Andmebaasi analüüsi kohaselt on väikseim elektrivälja tugevus, mille juures mõju tuvastati, 2,45 V/m (SAR=0,003 W/kg).

Projekti raames tehtud kirjanduse ülevaade piirdub EMV mõjuga inimese ajutegevusele. Vast ilmunud artikkel annab ulatusliku ülevaate raadiokiirguse intensiivsuse, kestuse ja modulatsiooni rollist kiirguse bioloogilises mõjus kaasates erinevaid *in vivo* ja *in vitro* uuringuid (Lai & Levitt 2022; esimeseka autoriks on EMV uuringute alal ülemaailmse tunnustuse pälvinud teadlane professor Henry Lai Washingtoni Ülikoolist). Saja kuuel raadiokiirguse mõju tuvastanud uuringul (70, 66% *in vivo*; 36, 34% *in vitro*) põhinev analüüs näitab SARI mediaanväärtuseks 0,015 W/kg (keskväärtus 0,041 W/kg; kuna jaotus ei ole normaalne, eelistatav on mediaanväärtus). Selles ülevaates esitatud tulemused langevad põhiliselt kokku projekti raames saadud kirjanduse analüüsi tulemustega.

Raadiokiirguse mõju lävendit on detailselt analüüsitud (Hinrikus et al., 2021). Raadiokiirguse mõju füüsikalise toimemehhanismi analüüs näitab, et mehhanismi ükski etapp ei sisalda piiranguid nõrgemate väljatugevuste poolt ega lävendit. **Olemasolevate teadmiste põhjal ei ole võimalik hinnata raadiokiirguse mõju lävendit.** Seega raadiokiirguse mõju puhul saab põhimõtteliselt toimida ainult ilma lävendita mudel. Sarnane lähenemine on kasutusel ka ioniseeriva kiirguse puhul kus eeldatakse, et ei ükski doos ei ole nii madal, et selle puhul mõju puudub (McLean 2017).

Teaduspõhiste tulemuste saamiseks (nt vaktsiinide puhul) tehakse suuremahulised uuringud tuhandetel inimestel kaasates võrdlust placebo ja kontrollgrupiga. Siiani ei ole raadiokiirguse tervisemõju hindamiseks sellist uuringut tehtud. Seda ei ole kaasajal enam võimalik teha, sest kiirgusvaba kontrollgruppi ei ole enam võimalik leida.

Teaduslikult põhjendatud lävendi puudumise tõttu saab lävendit hinnata ainult kaudsete kriteeriumide alusel. Selleks võib kasutada erinevad variante.

Bioloogiliste muutuste võimaluse minimiseerimine/vältimine

Tervisele ohutuks võiks lugeda EMV taseme, mis on madalam kui kõige nõrgem väli, mille puhul on tuvastatud bioloogiline muutus. Loomulikult ei kaasne igale bioloogilisele muutusele tervisehäired, sest organism suudab need parandada. Teisest küljest ei ole ka võimalik garanteerida, et tervisehäireid ei teki. Näiteks, raadiokiirguse mõjul tõusevad oksüdatiivse stressi näitajad. Põletikuliste protsesside intensiivistumine viitab tervisehäirele ja võib viia haigestumiseni. Selle ärahoidmine on oluline.

Projekti käigus loodud andmebaasis on minimaalne raadiokiirguse tase, mis tekitab muutuse EEG-s 2,45 V/m (SAR 0,003W/kg). See tase on kooskõlas Lai ja Levitti (2022) ülevaate tulemustega mis näitavad SARI mediaan väärtuseks 0,015 W/kg (keskväärtus 0,041 W/kg).

Ei ole mingit kindlust, et just need EMV tasemed on kõige väiksemad, mis võivad muutusi tekitada ja et veel väiksema EMV taseme puhul muutusi ei teki.

Traditsioonilise raadiokiirguse taseme arvestamine lävendina

Inimkond on küllalt pikka aega elanud raadioringhäälingu (hilisematel aastakümnetel ka TV) poolt kasutatavates raadiokiirgustes. Kuna sellega seoses tervisehäireid ei ole märgatud, võib lugeda, et raadioringhäälingu raadiokiirguse tase on tervisele ohutu. Mõtte lähtuda raadiokiirguse tervisemõju piirangutes radio- ja TV EMV tasemest suurusjärgus 0,1 V/m on avaldanud kaks juhtivat EMV teadlast Frank Barnes ja Ben Greenebaum (Barnes & Greenebaum, 2020). Loomulikult ei saa pidada sellist lähenemist täiesti adekvaatseks, sest sagedused on teised kui kaasaegses mobiilsides ja kasutati FM-AM mitte digitaalseid signaale. Aga pidepunkti selline lähenemine pakub.

Tabel 9.1, lähtudes mõõtetulemuste statistilise analüüsi andmetest p. 7.3, esitab andmed raadioringhäälingu kiirgustaseme kohta Eestis. Võrdluseks on toodud telekommunikatsiooni seitsme mõõdetud sagedusala summaarse kiirgustaseme näitajad.

Tabel 9.1. Raadioringhäälingu ja telekommunikatsiooni sagedusalade kiirgustasemed Eestis

Sagedusala	N	Ühik	Keskvärtus	Standardhälve	95% usaldusväärsusintervall		Miinimum	Maksimum
					Alampiir	Ülempiir		
Raadioringhääling	602	V/m	0,20	0,49	0,16	0,24	0,00	5,59
Telekom	602	V/m	0,94	0,72	0,88	0,99	0,02	4,32
raadioringhääling	602	mW/m ²	0,09	0,61	0,06	0,14	0,00	82,9
Telekom	602	mW/m ²	2,34	1,36	2,04	2,60	0,00	49,5

Raadioringhäälingu ja telekommunikatsiooni sagedusalade kiirgustasemed on samas suurusjärgus: keskväärtused ja usaldusintervall on kõrgemad telekommunikatsiooni sagedusalas, maksimumväärtused raadioringhäälingu sagedusalas. Väljatugevuse maksimumid jäävad alla 6 V/m, võimsustihedused alla 100 mW/m². Tõenäosusega 95% raadiokiirguse summaarne väljatugevus ei ületa 1,02 V/m ja võimsustihedus 2,74 mW/m².

Kuna raadioringhäälingu sagedusalal kasutatav kiirgustase ei ole märkimisväärselt terviseriski suurendanud, on otstarbekas valida lävend lähtudes raadioringhäälingu kiirguse tasemest säilitades olemasoleva olukorra. Seda valikut toetab ka asjaolu, et senine bioloogilise mõju lävend 2,45 V/m toetab sellist lähenemist.

Tehnoloogia arenguga telekommunikatsioonis kasutatavate seadmete võimekus tõuseb ja teenuse osutamiseks vajaliku raadiokiirguste tase langeb. Seda tendentsi kinnitavad nii mõõtmiste analüüsi kui ka simulatsiooni tulemused (tabelid 3.3 ja 4.1). Seega, olemasoleva raadiokiirguse taseme säilitamine ei piira valdkonna arengut, vaid pigem stimuleerib seda.

Kuna hetkel Eestis 5G ei olnud mõõtmiste ajal veel töös, ei olnud võimalik selle panust üldisesse kiirguspilti hinnata. Küll on mõõdetud 5G NR-FR1 kiirguse taset sagedustel 3400-3800 MHz Lõuna-Koreas ja näidatud, et 5G lisandumine (mõõtekohtades ca 3000 – 10 000 tugijaama) tõstab raadiokiirguse väljatugevust umbes 15% (Selmanoui et al., 2021); maksimum tugijaama lähedal 2,58 V/m, üldine tase suurlinnas 1,85 V/m.

6 V/m (0,1 W/m²) on tase, mis peaks tagama raadiokiirguse tervisemõju minimaalse tõenäosuse seejuures mitte piirates tehnoloogilisi rakendusi ega tehnoloogia arengut. Ei ole võimalik tagada, et raadiokiirguse tasemetel alla 6 V/m tervisemõju puudub, aga selle tõenäosus on väike, arvestades inimkonna pikaajalist elukogemust raadioringhäälingu väljas.

Raadiokiirguse kaasaegese taseme hinnang

ALARA põhimõtte rakendamiseks tuleb analüüsida bioloogilise- ja kohanemiskriteeriumide ning raadiokiirguse praeguse olukorra ning arenguperspektiivi vastastikkust kooskõla kaasates võimalikult laia lähtebaasi. Raadiokiirguse tase muutub teenuste ja tehnoloogia arenguga. Raadiokiirguse tase kasvas umbes 20–60% mõnes Belgia linnas vaid ühe aasta jooksul (Urbanello et al., 2014). Sellepärast on otstarbekas kasutada praeguse olukorra iseloomustamiseks viimaste aastate publikatsioone raadiokiirguse mõõtmiste kohta.

Eestis on, maailma suurlinnadega võrreldes, suhteliselt väikesed linnad. Linnad arenevad ja kasvavad, seega suureneb ka telekommunikatsioonitehnoloogia kasutajate arv ja muutub raadiokiirguse tase. Seega tuleb lähtebaasina kasutada rahvusvaheliste uuringute käigus saadud andmeid raadiokiirguse taseme kohta erinevates keskkondades.

Tabel 9.2 esitab viimase viie aasta jooksul publitseeritud raadiokiirguse mõõtmiste tulemused erinevates riikides ja linnades, näidates eraldi ka downlingi (mis iseloomustab tugijaamade kiirguse taset) ja raadioringhäälingu kiirguse tasemeid.

Table 9.2. Mõõdetud raadiokiirguse tasemed

Allikas	Riik	Mõõtmised tehtud	Kogukiirguse keskväärtsus	Downlink	Ringhääling
Sagar, Dongus, et al., 2018 Review 24 studies	Austria, Belgia, Prantsusmaa, Saksamaa, Kreeka, Ungari, Holland, Sloveenia, Rootsi, Šveits, Ühendkuningriik	2000-2015	0.2 - 0.76 V/m	0.03 – 0.56 V/m	0.03- 0.6 V/m
Jalilian et al., 2019 Review 26 studies	Belgia, Prantsusmaa, Saksamaa, Kreeka,	2015 –2018	0.07 – 1.27 V/m	0.03 – 1.26 V/m 61 - 99%	0.03 – 0.25 V/m

	Ungary, Poola, Holland, Serbia, Hispaania, Rootsi, Sloveenia, Šveits				
Sagar, Adem, et al., 2018	Šveits, Ethioopia, Nepaal, Lõuna Africa, Austraalia, USA	2015-2017?	0.23 – 1.85 V/m	0.47 – 1.22 V/m	0.02 - 0.85 V/m
Birks et al., 2018	Taani, Sloveenia, Hispaania, Holland, Šveits	2014 - 2016	0.076 mW/m ²	0.027 mW/m ²	0.01 mW/m ²
Eeftens et al., 2018	Taani, Holland, Sloveenia, Hispaania, Šveits	2014 - 2016	0.16; 0.17 mW/m ²	47%, 45 %	25%, 19%
Velghe et al., 2019	Belgia: Brussel Ghent Antwerp Hasselt Bruges	2017 - 2019	9.55 mW/m ² 2.38 9.05 2,9 0.8	3.38 mW/m ² 1,46 5.68 1,35 0.73	8.88 mW/m ² 1.29 1.86 1.88 0.1
Karaesterios et al., 2020 Continuous measurements using telemetric networks	Šveits Sloveenia Hispaania Kreeka Saksamaa Ekvador Ungary Rumeenia Serbia	2002 – 2016 2005 – 2011 2005 – 2020 2006 - 2020 2007 – 2020 2012 - 2016 2012 – 2020 2014 – 2020 2018 - 2020	0.5-2 V/m 0.3-5 V/m 0.3-5 V/m 0.3-2.8 V/m 0.1-0.6 V/m 0.5-5 V/m 0.5-2 V/m 0.3-5 V/m 0.3-3.5 V/m		
Selmanoui et al., 2021	Lõuna-Korea	2019	1.85 V/m Urban zone	3500 MHz 0.14 V/m	
Project 5GEMF1, 2022	Eesti	2022	0.97 V/m	900 MHz- 0.64V/m 1800 MHz 0.38 V/m 2100 MHz 0.31 V/m 2600 MHz 0.22 V/m	0.24 V/m

Mõõtmistel kasutati erinevaid metoodeid: personaalseid kaasaskantavad mõõtured, punktmõõtmisi, aga ka telemeetrilisi võrgustikke pidevate mõõtmistega.

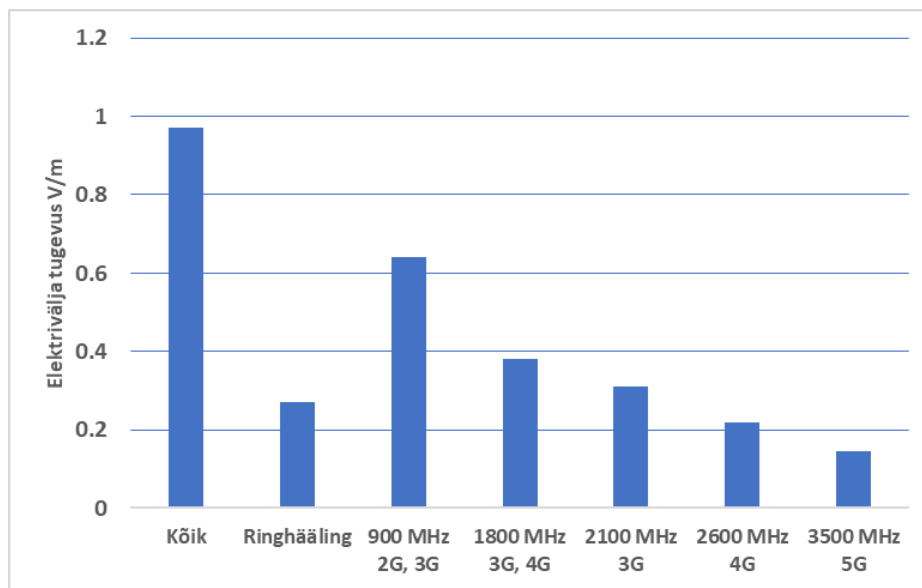
Mõõtmistulemused näitavad, et olukorrad on sise- ja väliskeskkonnas erinevad. Peamised panustajad siseruumide kiirguse tasemesse on uplink transpordis (metroo, rongid, autod), DECT (juhtmeta telefon) ja WiFi kodus ning WiFi koolis (Lahham ja Ayyad, 2019; Ramirez-Vazquez et al., 2019).

Peamiseks panustajaks väliskeskkonna kiirgustasemesse on downlingi kiirgus tugijaamast kasutaja seadmesse. Tugijaama kiirgus andis paljudes uuringutes peamise panuse kiirguse tasemesse.

Radiokiirguse kogutase on kõigis uuringutes alla 2 V/m, välja arvatud ühes: pidevatel automatiseeritud mõõtmistel Ekvadoris ja Rumaanias maksimumtase on 5 V/m (Karaesterios et al., 2020). Tase 2 V/m on lähedal bioloogiliste mõjude miinimumtasemele 2,45 V/m.

Erinevates riikides ja linnades ning erinevates mikrokeskkondades läbiviidud sõltumatud mõõtmised näitasid, et kaasaegne radiokiirguse tase ei ületa 5 V/m. See tase on lähedane ringhäälingu kiirguse tasemega 6 V/m, mis mõõdeti USA suurlinnades 1979. aastal (Tell & Mantiply, 1980).

Radiokiirguse tasemete võrdlus erinevate põlvkondade tehnoloogiate lõikes on toodud joonisel 9.1. Kiirguse taseme alanemise trend uuemate telekommunikatsiooni põlvkondade puhul on selgelt ilmne.



Joonis 9.1. Radiokiirguse keskmine tase erinevatel sagedusaladel.

Kaasajal operaatorid lakkavad kasutamast vanemaid ja lähevad üle uuematele telekommunikatsiooni tehnika põlvkondadele. Seega **radiokiirguse taseme piirang, mis on lähedane olemasolevale tasemele, ei takista kuidagi tehnoloogia arengut.**

Mudeli lineaarsus

Soojusliku mudeli puhul on soojusteke kehas võrdeline radiokiirguse võimsusega. Bioloogiliste muutuste toimemehhanismid on keerulised ja tervisemõju ei pruugi olla lineaarselt seotud temperatuuri tõusuga.

Radiokiirguse mittedirektsiooni mõju füüsikaline toimemehhanism põhineb väljatugevusel (Hinrikus et al., 2018). Toimemehhanismi aluseks olev dielektriline polarisatsioon on võrdeline seda esile kutsuva elektrivälja tugevusega. Bioloogilised toimemehhanismid on keerulised ja tervisemõju sõltuvus väljatugevusest ei pruugi olla lineaarne.

Andmebaasi analüüs ei näita regulaarset seost EMV tugevuse ja mõju tuvastamise vahel. Kõrgemate raadiokiirguse tasemete SAR>2 W/kg puhul on mõju tuvastanud uuringute osakaal väiksem (vt p. 2.1.4; tabel 2.3 ja joonis 4 artikkel 1).

Ka Lai ja Levitti (2022) ülevaates on välja toodud mittelineaarne seose EMV taseme ja selle mõju vahel: tugevam EMV ei tekita tingimata tugevamaid bioloogilisi muutusi ega oma tugevamat mõju. Niinimetatud “windows effect”, mille puhul maksimaalne mõju on teatud EMV tugevusel ja välja intensiivsuse suurenemisel mõju mõnevõrra väheneb, on hästi teada EMV varasematest uuringutest (Postow & Swicord, 1995). Nn. „window“ efekt võib olla seotud mittesoojusliku mõju üleminekuga soojuslikuks teatud EMV tasemel.

Vaid vähestes uuringutes on tehtud identseid katseid erinevatel raadiokiirguse tasemetel. On ilmnenud, et raadiokiirguse mittesoojuslik mõju muutub pigem proportsionaalselt väljatugevuse kui SAR väärtustega (Hinrikus et al., 2021).

Teadmisi ja andmeid on liiga vähe mudelite koostamiseks, mis seoks raadiokiirguse taseme selle tervisemõju intensiivsusega ja võimaldaks hinnata terviseriski.

9.3. Sõltuvus sagedusest

Sageduse tõusuga mõju väheneb. See on tingitud kolmest peamisest põhjusest:

- 1) sageduse tõusuga väheneb nn pindkihi (kiirguse kehasse tungimise) sügavus pöördvõrdeliselt ruutjuurega sagedusest (tabel 4 artikkel 2);
- 2) sageduse tõusuga väheneb dielektriline läbitavus (tabel 3 artikkel 2);
- 3) sageduse tõusuga väheneb soojuskadude osakaal (soojustekkega seotud juhtivusvoolude osakaal nihkevoolude suhtes, nn kaonurga tangens) pöördvõrdeliselt sagedusega.

Nii soojusliku kui mittesoojusliku mõju mudeli puhul on oluline mõju vähenemine sageduse tõusuga seoses kiirguse kehasse tungimise sügavuse vähenemisega.

Soojusliku mõju mudeli puhul on ka soojuskadude vähenemine sagedusega oluline. Seda on selgelt näidanud ka EMV soojusliku mõju lävendi määranud uuringud: EMV mõju vähenemine sageduse tõusuga tingib selle, et sama soojusliku mõju lävendini SAR=4 W/kg jõudmiseks tuleb kõrgematel sagedustel rakendada suuremaid raadiokiirguse võimsustihedusi: 8.1 mW/cm² sagedusel 225 MHz, 57 mW/cm² sagedusel 1.3 GHz, ja 140 mW/cm² sagedusel 5.8 GHz (de Lodge & Ezell, 1980; de Lodge 1984). Sageduse tõusega kaasnev võimsustiheduse tõus ületab ilmselt ainult pindkihi sügavuse vähenemisega seotud muutused.

Andmebaasi analüüs on välja toonud trendi mõju tuvastanud uuringute osakaalu vähenemisest sageduse tõusuga (tabel 2.5; Hinrikus et al., 2022). See on tingitud dielektrilise läbitavuse vähenemisest sageduse tõusuga. Uuringutes kasutatud sageduste diapsoon 450 MHz – 2450 MHz ei ole piisav sagedussõltuvuse kvantitatiivse mudeli koostamiseks. Raadiosageduste diapsoonis 100 MHz – 10 GHz on dielektriline läbitavus suhteliselt stabiilne (tabel 3 artikkel 2).

P. x.3.1 toodud kriteeriumide põhjal valitud lävendi sageduskorrektsioon ei ole vajalik diapsoonis 100 MHz – 10 GHz. Kõik kolm sagedussõltuvust määravat tegurit näitavad suuremat EMV mõju madalamatel sagedustel.

Järeldus raadiokiirguse mõju vähenemisest sageduse tõusuga ei ole laiendatav millimeeterlainetele, sest toimemehhanism tõenäoliselt on erinev (vt. 2.1.7). Sagedustel üle 10 GHz on teadmised võimalikest toimemehhanismist puudulikud. Ei ole ka küllaldaselt eksperimentaaluuringu andmeid järelduste tegemiseks. **Teaduslikult põhjendatud soovitused on võimalikud sagedusdiapasoonis kuni 10 GHz.**

9.4. Sõltuvus signaali tüübist

Soojusliku mudeli puhul on määravaks kehas neeldunud EMV energia. Soojuslike protsesside inertsuse tõttu on ajakonstant suur, sellepärast ei eristata soojuslik mudel ja ICNIRP juhendid moduleeritud ja pidevat raadiokiirgust.

Mittesoojusliku mudeli puhul, kus toimib elektrivälja tugevus kui jõud, on ajakonstant piiratud mõjutatavate laetud osakeste inertsiga. Orientatsioonpolarisatsioon (tekitatud dipolaarsete molekulide pöörlemisega), mis on oluliselt kõrgem nihkepolarisatsioonist (tekitatud laetud osakeste nihkumisega), on dipolaarsete molekulide inertsiga tõttu piiratud umbes 100 GHz, mille juures dielektriline polarisatsioon on juba määratud ainult palju väiksema nihkepolarisatsiooniga. Mittesoojuslik mõju on tundlik EMV muutustele kuni 100 GHz-ni. Seega signaali tüüp on olulise tähtsusega.

Kõik telekommunikatsioonis kasutusel olevad signaalid, kaasarnatud 5G, sisaldavad sageduskomponente füsioloogiliste sageduste diapasoonis (p. 3.; artikkel 2). Andmebaasi analüüs ei näita selget sõltuvust signaali struktuurist (p. 2.1.6; artikkel 2 joonis 4). Hetkel kasutatavate signaalitüüpide ei ole vajadust mõju erinevalt hinnata. Küll tuleb silmas pidada asjaolu, et erinevate signaalitüüpide puhul väljatugevuste hetkväärtused võivad samade keskmistatud väärtustega puhul oluliselt erineda. **EMV mõõtmiste puhul peab paralleelselt keskustatud väljatugevustele (võimsustihedustele) mõõtma ka väljatugevuse hetkväärtusi.**

9.5. Pikaajaline mõju ja sõltuvus kiirituse kestusest

Ioniseeriva kiirguse mudelis on aeg piirangutes otseselt kaasatud (ühik Sv/y). ICNIRP juhised fikseerivad küll aja mõõtmiste keskustamise puhul (6 min või 30 min), aga ei seo piiranguid inimeste EMV viibimise kestusega. Tegelik tervisemõju kujuneb välja pikaajalises EMV ja organismi muutuste parandamisvõime tasakaalus.

Aju parandusvõime reageerib EEG muutustele väga kiiresti, kümnekonna sekundi jooksul (Bachmann et al., 2007a; Hinrikus et al., 2008a). Need uuringud on teinud lühiajalise kiirgusega (1 minut). Ei ole teada, mis toimub pikaajalise EMV viibimise puhul: kas parandusvõime pikema mõjutusaja jooksul säilib, organism adapteerub, või tekib ülekoormus ja organism ei tule enam toime.

Raadiokiirguse tervisemõju aspektist väga oluliste pikaajaliste uuringute andmete puudulikkus ei võimalda teha usaldusväärseid järeldusi pikaajalise kiirituse tervisemõju osas (p. 2.1.8).

Põhimõtteliselt peaks EMV viibimise kestus olema piirangutes arvestatud. Elanikkonna normatiivide puhul tuleb arvestada, et tänapäeval viibivad inimesed raadiokiirguses pidevalt.

9.6. Eksperthinnangud pikaajalise mõju ja terviseriski kohta (Tegevused 4.2 ja 4.3)

Tuhanded inimestel, loomadel ja rakukultuuridel viimastel aastakümnetel tehtud eksperimentaalsed uuringud on näidanud paljusid erinevaid EMV tekitatud bioloogilisi muutusi: rakkude struktuuris, DNA-s, kaltsiumi liikumises rakus, ainevahetuses, aju bioelektrilises aktiivsuses, mälus, tähelepanus, vabade radikaalide ja oksüdatiivse stressi tõusu ja muid. Muutusi on tuvastatud erinevate organite (aju, süda, neerud, maks, jt.) rakkudel. **Elektromagnetkiirgus toimib kui mittespetsiifiline bioloogilist mõju omav tegur ja võimalik terviseriski faktor.**

Projektis koostatud andmebaasi kaasatud uuringutest 91% olid tehtud SAR väärtustel allpool kehtivaid piirnorme; kusjuures EMV mõju tuvastanud uuringute osas on madala tasemega uuringute osakaal isegi kõrgem, 95%. Lai ja Levitti (2022) ülevaatesse on valitud 106 raadiokiirguse mõju tuvastanud uuringut, mis kõik on tehtud SAR tasemetel madalamal kui 2 W/kg (enamuse mitu suurusjärku madalamal, mediaan 0,015 W/kg). Mitteioniseeriva kiirguse puhul bioloogiliste muutuste tõenäosus on kõrge: andmebaasi 73 uuringust 49, 67,1% tuvastas raadiokiirguse mõju, sealhulgas EEG uuringutest 81%.

Bioloogilise mõju muutumine tervisemõjudeks on kaootiline protsess. Ka väga väike muutus molekuli või raku tasemel võib olla algpunktiks olulistele muutustele ja viia tervisekahjustuseni. Aga võib ka mitte olla ja saada organismi poolt parandatud. Sellepärast ei ole võimalik määrata raadiokiirguse tervisemõju lävendit (Hinrikus et al., 2021). Võimalik on ka raadiokiirguse positiivne mõju, kuna kiirgus suurendab difusiooni ja seega parandab ainevahetust.

Ioniseeriva kiirguse puhul hinnatakse terviseriskina vähiriski. Ka mitteioniseeriva raadiokiirguse tervisemõjude hindamisel on põhitähelepanu olnud suunatud kasvajate riskile (Carlberg et al., 2013; Miller et al., 2019; Choi et al., 2020; Schüz et al., 2022).

Eksperimentaaluuritud on näidanud raadiokiirguse tekitatavat oksüdatiivse stressi ja geneetilise ebastabiilsuse tõusu, mis võivad viia vähi tekkeni. Vähiriski suurenemist seoses raadiokiirgusega ei ole siiani rahvastikupõhistes uuringutes usaldusväärset näidatud. Pika latentsiaja ja ebamääraste kiirgustasemetete tõttu on põhjuslikku seost raske leida. Tulemused on piiripealsed või isegi negatiivsed mitmetel põhjustel. Rahvastikupõhised uuringud ei võimalda eristada raadiokiirguse võimalikku mõju teistest kaasnevatest teguritest. Arvestama peab ka asjaolu, et tänapäeval elavad kõik inimesed raadiokiirguse väljas ja ka nõrk väli võib omada mõju. Seepärast näiteks mobiili kasutamise kestus konkreetse isiku poolt ei saa olla usaldusväärseks eristuskriteeriumiks mõju tuvastamisel. Ka vähistatistika võrdlus aastakümnete lõikes ei ole korrektne, sest nt. raadioringhäälingu mõju on aastakümnete jooksul pidevalt olemas olnud.

Mitteioniseeriva kiirguse puhul tuleb arvestada mitte ainult geneetilise ebastabiilsusega seotud kasvajatega vaid ka teiste võimalikke tervisemõjusidega, eelkõige mõjuga närvisüsteemile. Raadiokiirguse tervisemõjude hindamisel on seni vähe tähelepanu suunatud neuroloogilistele

haigustele ja vaimsetele häiretele. Andmebaasi analüüs toob välja statistiliselt olulised muutused aju seisundit ja toimimist iseloomustavates parameetrites (p. 2.1.3; joonis 3 artiklile 1). Analüüs näitab, et muudatused EEG-s on enamikus uuringutes sarnased: võimsuse tõus EEG alfa-, beeta- ja gamma sagedusribades ning signaali keerukuse suurenemine. Sarnased muutused EEG signaalis leiavad aset depressiooni puhul. Mobiiltelefonide ja kesknärvisüsteemi haiguste kohortuuringutes täheldati migreeni sagenemist, peapööritust ning võimalikku seost dementsusega ja Parkinsoni tõvega (Schuz et al., 2009; Auvinen et al., 2019).

Raadiokiirguse mõjul toimuvaid bioloogilisi muutusi inimesed reeglina ei tunneta. Uuringute tulemused näitavad, et raadiokiirguse mõjul tekkinud objektiivsete füsioloogiliste parameetrite muutusele (EEG, metabolism) ei kaasne muutused uuritavate subjektiivses tunnetuses, kognitiivsetes võimetes või käitumises (Kwon et al., 2011; Schmid et al., 2012; Vecsei et al., 2018). EEG uuringutes uuritavad ei olnud võimelised eristama kiirgusega ja ilma kiirguseta seansse (Bachmann et al., 2007b; Hinrikus et al., 2008a; Hinrikus et al., 2008b). Inimesed ei märka muutusi ega saa neid ka seostada võimalike hilisemate haiguslike nähtustega. Olukord, et objektiivsed füsioloogilised sümptomid ilmnevad varem kui subjektiivsed haigusega seotud sümptomid, on tavaline paljude haiguste puhul.

Inimeste tundlikkus raadiokiirgusele on erinev. EMV bioloogiline mõju on enamikes uuringutes tuvastatud kui statistiline erinevus gruppide teatud füsioloogiliste parameetrite vahel. Uuringute tulemused näitavad, et sama kiirgustaseme juures identsetes katsetingimustes ainult osa katsealustest on mõjutatud (Bachmann et al., 2007; Hinrikus et al., 2008). Raadiokiirguse suhtes tundlike inimeste osakaal varieerub 13% kuni 31% erinevate modulatsioonisageduste puhul (Hinrikus et al., 2008b). Pole selge, kas mõned inimesed on raadiokiirguse suhtes immuunsed püsivalt või aeg-ajalt. Inimete erinev tundlikkus haigustekitajatele on hästi teada paljude haiguste, sh. viirusnakkuse puhul.

Riskide kvantitatiivseks hindamiseks on vaja nii teaduspõhiseid mudeleid kui meditsiinilisi andmebaase. Siiani on mitteioniseeriva kiirguse mudelid puudulikud, piirduvad ainult soojusliku mõju lävendiga. Meditsiinistatistika ei registreeri EMV poolt põhjustatud haigusi. EMV on mittespetsiifiline faktor, mille mõju võib avalduda erineval viisil. Näiteks raadiokiirgusest tingitud oksüdatiivse stressi tõus võib olla seotud väga erinevate muutustega füsioloogilistes-bioloogilistes protsessides ja viia erinevate haigusteni. Füsioloogiliste muutuste algpõhjus jääb üksikisiku tasandil reeglina tuvastamatuks.

Terviseriski ei ole võimalik vältida sidudes seda EMV mõju lävendiga, kuna nii bioloogilise kui ka tervisemõju lävend põhimõtteliselt puudub. **Küll on võimalik terviseriski minimeerida sidudes tervisekaitse piirväärtused kiirguse tasemega, mille puhul pika toimeaja jooksul ei ole märgatud olulist tervisemõju. Raadiokiirguse puhul on selleks raadioringhäälingu poolt tekitatav kiirgustase.**

EMV tekitatavad bioloogilised muutused on sarnased kõigis sagedusalades alates 50 Hz kuni 10 GHz. Kõik kolm sagedussõltuvust tekitavat tegurit, pindefekt, dielektriline läbitavus ja soojuskaod, prognoosivad suuremat EMV mõju madalamatel sagedustel. **Kuna EMV mõju sageduse tõusuga põhimõtteliselt väheneb, võib eeldada, et telekommunikatsiooni sagedustel on sama piirangu puhul kiirguse mõju väiksem kui raadioringhäälingu sagedustel.**

Raadioringhäälingu sageduste kiirgustaseme põhjal valitud lävend tagab telekommunikatsiooni sagedustel minimaalse terviseriski.

9.7. Meetmeid/ettepanekuid, mis võimaldavad raadiokiirguse võimalikku kahjulikku tervisemõju vähendada (Tegevus 4.4)

Elanikkonna terviseriski vähendamiseks tuleb kasutada kõiki võimalikke meetmeid, et vähendada raadiokiirguse taset ja samaaegselt tagada raadiokiirgust kasutatavate seadmete kasutus - ALARA (as low as reasonably achievable) printsiip.

Elanikkonna teavitamine

- Anda elanikkonnale objektiivset teaduspõhist informatsiooni raadiokiirgusega seotud terviseriskidest ja nende tasemest. Teavitus maandab asjatuid hirme ja annab võimaluse kiirgusseadmeid ratsionaalselt kasutada. Kiirgustase sõltub paljuski elanikkonna valikutest: mida vähem kliente, seda väiksem baasjaamade koormus ja kiirgustase.
- Soovitada elanikkonnale terviseriski vähendavat käitumist järgides ettevaatlikkuse-ennetuse põhimõtet, sealhulgas:
 - Piirama individuaalsete juhtmevabade seadmete kasutamist;
 - Eelistama kaabel- ja optilisi ühendusi;
 - Mitte hoidma kiirgusseadmeid vahetus kontaktis kehaga.
- Raadiokiirguse allikad, nagu näiteks mobiiltelefonide tugijaama antennid peavad olema eristatavad ja üldsusele märgatavad ning mitte varjatud, et inimesel oleks võimalik vältida kõrgendatud raadiokiirgusega alasid.
- Tähistada alad, kus elektromagnetväljad ületavad piirnorme rakendades asjakohaseid eraldus- ja juurdepääsumeetmeid (näiteks signaalid, märgised, põrandamärgistused, tõkked).

Riskirühmade kaitse

Määratleda elektromagnetväljade riskirühmadeks alaealised, rasedad naised ning meditsiinilise implantaadiga isikud. Riskirühmade puhul on soovitatav kasutada täiendavaid ettevaatusabinõusid:

- Vältida raadiosageduslike kiirgusseadmete (sh mobiiltelefonid, WiFi jt) kasutamist lasteasutustes (lasteaiad, koolid) tagades interneti kättesaadavuse kaabelvõrguga. Kuna rahvusvahelised mõõtmised on näidanud, et koolides on paljudel juhtudel domineerivaks kiirgusallikaks WiFi, siis selle kasutamise lõpetamine parandaks oluliselt kiirgusohutust koolides.
- Tugijaamade antennidele asukohtade planeerimisel ning antennide suunamisel arvestada lasteasutuste paiknemist ja hoiduda kõrgema kiirgustaseme tekitamisest lasteasutustes.

Tehnoloogilised lahendused

ALARA printsibist lähtudes tuleb kasutusele võtta kõik võimalikud meetmed kiirguse taseme vähendamiseks võttes arvesse nüüdisaegseid tehnilisi võimalusi.

- Kui side mobiilsust pole vaja tagada, siis kasutada kaabelühendusi.
- Otstarbekas on vanemate tehnoloogiate 2G ja 3G sulgemine. Nii mõõteandmete analüüs kui ka simulatsioon näitasid, et uuema generatsiooni telekommunikatsioonitehnoloogia puhul on kiirguse tase madalam võrreldes eelmiste generatsioonidega. Ideaalis oleks hea kui need maha minevatest tehnoloogiatest (2G ja 3G) vabanevad sagedused läheksid 4G ja 5G kasutusse. 4G ja 5G teevad omavahel nn koostööd, et valida sobivad sagedused ja saata andmeid saadetakse seal, kus kvaliteet parim, arvestades koormusi jms. Hetkel 2G ja 3G võrkudega sellist koostööd/sobitamist/valimist ei saa teha.
- Kasutada tugijaamade paigutust tasakaalustades tugijaama ja kasutatava seadme kiirgustasemed. Liiga lähestikku paiknevate tugijaamade puhul on tugijaama tekitatava kiirguse tase kõrge. Liiga kaugel paikneva tugijaama puhul tõuseb tarbija seadme poolt tekitatava kiirguse tase. Reeglina seadme kiirgus (uplink) on suurema jõuga kasutajale kui tugijaama kiirgus (downlink) -- kuna telefon/seade on kasutajale ligidal. Oluline on valida tugijaamade otstarbekas kaugus lähtudes kasutatavate seadmete tehnilistest parameetritest.
- On mõistlik paigutada tugijaamad nii, et nende poolt tekitatavad raadiokiirguse tasemed oleks samas suurusjärgus ja väljatugevuste jaotus keskkonnas võimalikult ühtlane. Võimalusel eelistada nõrgamaid saatjaid ja tihedamat võrku.
- Võtta kasutusse kaasaegsed tarkade antennide lahendused, mis säästaks energiat ja samal ajal vähendaks kiirguse taset.
- Rakendada sisekärgi, kuna see võimaldab paremat kvaliteeti ja sellega seoses on andmete edastus kiirem ja kiirgus ajaliselt seetõttu lühem (vajalikud andmed saab kiiremini ära saata) vähendab makro tugijaama koormust ja selle tekitatavat kiirgustaset.

9.8. Järeldused

Ülaltoodud analüüsi ja mõõtmistulemuste põhjal (vt ka p. 2) on võimalik teha rida järeldusi, mis on olulised määruse kaasajastamise aspektist:

- Raadiokiirguse soojusliku mõju mudelil on lävend; mittesoojusliku mõju (elektrivälja otsene mõju) mudelil teoreetilist lävendit ei ole. Ilma lävendita mudel on kasutusel ka ioniseeriva kiirguse puhul kus eeldatakse, et ei ükski doos ei ole nii madal, et selle puhul mõju puudub.
- Teaduslikult põhjendatud lävendi puudumise tõttu saab lävendit hinnata ainult kaudsete kriteeriumide alusel, võttes aluseks pikaajalise raadioringhäälingu sagedusala kiirguse taseme mille puhul ei ole märgatud terviseriski suurenemist.

- 6 V/m (0,1 W/m²) on tase, mis peaks tagama raadiokiirguse tervisemõju minimaalse tõenäosuse seejuures mitte piirates tehnoloogilisi rakendusi ega tehnoloogia arengut. on ka raadioringhäälingu kiirguse tase 99% elanike jaoks USA suurlinnades 1979 aastal (Tell and Mantiply,1980).
- Ei ole võimalik tagada, et raadiokiirguse tasemetel alla 6 V/m tervisemõju puudub, aga selle tõenäosus on väike, arvestades inimkonna pikaajalist elukogemust raadioringhäälingu väljas, mille maksimaalväärtused on samas suurusjärgus.
- Raadiokiirguse mõju sageduse tõusuga põhimõtteliselt väheneb, seega võib eeldada, et telekommunikatsiooni sagedustel on sama piirangu taseme puhul kiirguse mõju väiksem kui raadioringhäälingu sagedustel. Raadioringhäälingu sageduste kiirgustaseme põhjal valitud lävend tagab telekommunikatsiooni sagedusalal minimaalse terviseriski.
- Teaduslikult põhjendatud järeldused-soovitused on võimalikud sagedusdiapasoonis kuni 10 GHz. Millimeeterlainete alal usaldusväärsed teadmised puuduvad.
- EMV mõõtmiste puhul peab paralleelselt keskustatud väljatugevustele (võimsustihedustele) mõõtma ka väljatugevuse hetkväärtusi.
- Põhimõtteliselt peaks EMV viibimise kestus olema piirangutes arvestatud. Elanikkonna normatiivide puhul tuleb arvestada, et tänapäeval viibivad inimesed raadiokiirguses pidevalt, seega normatiive kiirguses viibimise ajaga siduda ei saa.

Terviseriski ei ole võimalik vältida sidudes seda raadiokiirguse mõju lävendiga, kuna nii bioloogilise kui ka tervisemõju lävend põhimõtteliselt puudub. Küll on võimalik terviseriski minimiseerida sidudes tervisekaitse piirväärtused kiirguse tasemega, mille puhul pika toimeaja jooksul ei ole märgatud olulist tervisemõju (raadioringhäälingu kiirgustase).

Viited

- Auvinen, A., M. Feychting, A. Ahlbom, L. Hillert, P. Elliott, J. Schüz, H. Kromhout, M. B. Toledano, C. Johansen, A. H. Poulsen, R. Vermeulen, S. Heinävaara, K. Kojo, and G. Tettamanti. 2019. Headache, tinnitus and hearing loss in the international Cohort Study of Mobile Phone Use and Health (COSMOS) in Sweden and Finland. *International journal of epidemiology* 48(5):1567-1579.
- Bachmann M, Rubljova J, Lass J, Tomson R, Tuulik V, Hinrikus H. 2007a. Adaptation of human brain bioelectrical activity to low-level microwave. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc.* 2007:4747-50. doi: 10.1109/IEMBS.2007.4353400
- Bachmann M, Tomson R, Kalda J, Säkki M, Lass J, Tuulik V, Hinrikus H. 2007b. Individual changes in human EEG caused by 450 MHz microwave modulated at 40 and 70 Hz. *The environmentalist.* 27(4):511–517.
- Barnes F, Greenebaum B. Setting Guidelines for Electromagnetic Exposures and Research Needs. *Bioelectromagnetics.* 2020 Jul;41(5):392-397.
- Birks, L.E., Struchen, B., Eeftens, M., van Wel, L., Huss, A., Gajšek, P., Kheifets, L., Gallastegi, M., Dalmau-Bueno, A., Estarlich, M., Fernandez, M.F., Meder, I.K.,

- Ferrero, A., Jiménez-Zabala, A., Torrent, M., Vrijkotte, T.G.M., Cardis, E., Olsen, J., Valič, B., Vermeulen, R., Vrijheid, M., Roösli, M., Guxens, M. 2018. Spatial and Temporal Variability of Personal Environmental Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields in Children in Europe. *Environ. Int.* 117: 204–214.
- Christopoulou, M.; Karabetsos, E. 2015. In situ measurements of radiofrequency exposure levels in Greece from 2008 to 2013: A multi-parametric annual analysis. *Bioelectromagnetics.* 36: 325–329.
- De Giudici P, Genier JC, Martin S, Doré JF, Ducimetière P, Evrard AS, Letertre T, Ségala, C. 2021. Radiofrequency exposure of people living near mobile-phone base stations in France. *Environ Res.* 194:110500. doi: 10.1016/j.envres.2020.110500
- De Lorge, J.O., and C.S. Ezell. 1980. Observing-responses of rats exposed to 1.28- and 5.62-GHz microwaves. *Bioelectromagnetics.* 1:183-198.
- De Lorge, J.O. 1984. Operant behavior and colonic temperature of *Macaca mulatta* exposed to radio frequency fields at and above resonant frequencies. *Bioelectromagnetics.* 5:233-246.
- Eeftens M, Struchen B, Birks LE, Cardis E, Estarlich M, Fernandez MF, Gajsek P, Gallastegi M, Huss A, Kheifets L, Meder IK, Olsen J, Torrent M, Trcek T, Valic B, Vermeulen R, Vrijheid, M, van Wel L, Guxens M, Roosli M. 2018. Personal Exposure to Radio-Frequency Electromagnetic Fields in Europe: Is There a Generation Gap? *Environ. Int.* 121, 216–226.
- 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 Radiat Biol.* 84(1):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(7):527–538.
- Hinrikus H, Bachmann M, Lass J. 2018. Understanding physical mechanism of low-level microwave radiation effect. *Int J Radiat Biol.* 94(10):877–882.
- ICRP, 1991. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. *Ann. ICRP* 21 (1-3).
<https://www.icrp.org/publication.asp?id=icrp%20publication%2060>
- Jaliliana H, Eeftens M, Ziaeid M, Röösli M. 2019. Public exposure to radiofrequency electromagnetic fields in everyday microenvironments: An updated systematic review for Europe. *Environmental Research* 176, 108517.
- Karastergios I, Gialofas A, Karabetsos E. 2020. National observatory of electromagnetic fields: National telemetric network for the measurement of high-frequency electromagnetic fields in Greece. *Radiat. Prot. Dosim.* 188: 413–423.
- Kwon MS, Hämäläinen H. 2011. Effects of mobile phone electromagnetic fields: critical evaluation of behavioral and neurophysiological studies. *Bioelectromagnetics.* 32(4):253–272.
- Lahham, A., Ayyad, H., 2019. Personal exposure to radiofrequency electromagnetic fields among Palestinian adults. *Health Phys.* 117 (4), 396–402.

- Lai, H., Levitt, B.B. 2022. The roles of intensity, exposure duration, and modulation on the biological effects of radiofrequency radiation and exposure guidelines. *Electromagnetic biology and medicine*. 42(2):230-255. doi.org/10.1080/15368378.2022.2065683
- Leszczynski D, Xu Z. Mobile phone radiation health risk controversy: the reliability and sufficiency of science behind the safety standards. *Health Res Policy Syst* (2010) 8:2. doi:10.1186/1478-4505-8-2
- McLean AR. 2017. A restatement of the natural science evidence base concerning the health effects of low-level ionizing radiation. *Proc R Soc B*. 284:20171070.
- Postow, E., Swicord, M.L. 1995. Modulated fields and “window” effects. In: Polk C, Postow E, editors. *Handbook of biological effects of electromagnetic fields*. Boca Raton (FL): CRC Press; p. 535-580.
- Project CRR-954, 2021. Final Report of Project CRR-954 Assessment of varied mobile network topologies on human exposure, mobile communication quality and sustainability. Margot Deruyck M, German Castellanos, Wout Joseph, Luc Martens, Sven Kuehn, Niels Kuster. <https://bit.ly/Deruyck2021>
- Ramirez-Vazquez R, Gonzalez-Rubiob J, Arribasa E, Najerab. 2019. Characterisation of personal exposure to environmental radiofrequency electromagnetic fields in Albacete (Spain) and assessment of risk perception. *Environmental Research* 172:109-116.
- Sagar S, Adem SM, Struchen B, Loughran SP, Brunjes ME, Arangua L, Dalvie M A, Croft RJ, Jerrett M, Moskowitz JM, Kuo T, Roosli M. 2018. Comparison of radiofrequency electromagnetic field exposure levels in different everyday microenvironments in an international context. *Environ. Int.* 114: 297–306.
- Sagar S, Dongus S, Schoeni A, Roser K, Eeftens M, Struchen B, Foerster M, Meier N, Adem S, Roosli M. 2018. Radiofrequency electromagnetic field exposure in everyday microenvironments in Europe: A Systematic Literature Review. *J. Exposure Sci. Environ. Epidemiol.* 28 (2): 147–160.
- Schmid MR, Murbach M, Lustenberger C, Maire M, Kuster N, Achermann P, Loughran SP. 2012. Sleep EEG alterations: effects of pulsed magnetic fields versus pulse-modulated radio frequency electromagnetic fields. *J Sleep Res.* 2012 Dec;21(6):620-9. doi: 10.1111/j.1365-2869.2012.01025.x.
- Schuz P, Waldemar G, Olsen JH, Johansen C. 2009. Risks for central nervous system diseases among mobile phone subscribers. *PLoS One*. 4(2):e4389
- Schüz J, Pirie K, Reeves GK, Floud S, Beral V, for the Million Women Study Collaborators. Cellular telephone use and the risk of brain tumors: update of the UK Million Women Study. *JNCI: Journal of the National Cancer Institute*, 2022, djac042, doi: 10.1093/jnci/djac042.
- Selmaoui B., Mazet P., Petit P.-B., Kim K., Choi D., de Seze R. 2021. Exposure of the South Korean population to the 5th generation (5G) of mobile phone networks (3.4 to 3.8 GHz) and its respective contribution among other radio frequencies in the country. *URSI GASS 2021*, Rome, Italy, 28 August - 4 September 2021.
- Tell R.A., Mantiply E.D. 1980. Population exposure to VHF and UHF broadcast radiation in the United States. *Proceedings of the IEEE*, 68(1):6-12.

- Urbinello D, Joseph W, Verloock L, Martens L, Roosli M. 2014. Temporal trends of radio-frequency electromagnetic field (RF-EMF) exposure in everyday environments across European cities. *Environ. Res.* 134:134–142.
- Velghe M, Joseph W, Debouvere S, Aminzadeh R, Martens L Thielens A. 2019. Characterisation of Spatial and Temporal Variability of RF-EMF Exposure Levels in Urban Environments in Flanders, Belgium. *Environ. Res.* 175, 351–366.
- Vecsei Z, Knakker B, Juhasz P, Thuroczy G, Trunk A, Hernadi I. 2018. Short-term radiofrequency exposure from new generation mobile phones reduces EEG alpha power with no effects on cognitive performance. *Sci Rep.* 8(1):18010.
- Wang N, Zou W, Li X, Lianga Y, Wang P. 2022. Study and application status of the nonthermal effects of microwaves in chemistry and materials science – a brief review. *RSC Adv.*, 12(27), 17158-17181. DOI: 10.1039/d2ra00381c

10. Ettepanekud määruse nõuete ajakohastamiseks (Tööpakett 5)

Projekti tulemuseks on ettepanekud Sotsiaalministri määruse „Nõuded mitteioniseeriva kiirguse ohutuse tagamiseks elukeskkonnas ning mitteioniseeriva kiirguse tasemete mõõtmise meetodid“ kavandi ajakohastamiseks.

Ettepanekud määruse ajakohastamiseks põhinevad eelnevates peatükkides tehtud analüüsil ja silmas pidades ICNIRP 2020 soovitusi. Konkreetsete arvuliste muudatuste ettepanekud põhinevad peatükis 5 tehtud järeldustel.

Kehtivas mitteioniseeriva kiirguse määrides, nagu ka ICNIRP soovitustes, on madalamatel raadiosagedustel (teadusajakirjanduses ca 2,5-3 GHz) omandatud teave võimalike tervisemõjude kohta laiendatud 300 GHz sageduseni. Selline laiendamine ei ole millegagi põhjendatud, kuna teadusandmed kõrgemal sagedusalal on puudulikud. Teadusandmete puudulikkust millimeeterlainetel on tunnistanud nii Euroopa komisjon (alustati uue teadusprogrammiga, mille tulemusi on oodata 4-5 aasta pärast) kui ka WHO alustades uute ülevaadete programmiga (siiani on mõnede valitud teadusgruppide poolt avaldatud vaid ülevaadete koostamise meetodikaid). Eriti küsitavaks teeb selle asjaolu, et millimeeterlainetel muutub kiirguse toimemehhanism. Ei ole alust arvata, et millimeeterlainetel on mõju väiksem või sama (nagu ICNIRP soovitustes vaikumisi eeldatakse). Küll on teada, et meditsiinilistes rakendustes on millimeeterlainete mõju tugevam kui madalamatel sagedustel. Sagedusala, mida reguleeritakse, peaks piirduma sagedustega, mille tervisemõju kohta on olemas vähemalt rahuldav teaduspõhine arusaam. Seega määrus ei saa reguleerida millimeeterlainete sagedusala, st sagedusi kõrgemal kui 10 GHz. Kuna sageduste 10 - 300 GHz kasutamist ei saa jätta ka reguleerimata, võib tinglikult rakendada madalamatel sagedustel põhjendatud piiranguid ka sagedustel 10 - 300 GHz, piiramata määrides reguleeritavat sagedusala.

Otstarbekas on määruse kavandis teha järgmised muudatused.

Erineelduvus ja erineelduvuskiirus (SAR) ei ole kohased ega vajalikud kasutamiseks elukeskkonnas.

Erineelduvus ja erineelduvuskiirus (SAR) on mittemõõdetavad suurused. Sellepärast ei ole võimalik tagada nende kontrolli elukeskkonnas. Nende korrektne arvutamine on keerukas ja nõuab spetsiaalset programmi. Näiteks TTÜ tervisetehnoloogiate instituudis on teadustöös kasutusel SemCad (SPEAG, Zürich, Šveits), mis põhineb FDTD (Final Difference of Time Domain) meetodil Maxwelli võrrandite lahendamiseks. SAR sõltub mitte ainult elektromagnetvälja parameetritest, vaid ka kiiritatava objekti parameetritest (erijuhtivus, tihedus, dielektriline läbitavus, jt), mille kohta konkreetse objekti puhul ei ole täpseid andmeid. SAR on otseselt sõltuv elektrivälja tugevusest ja võimsustihedusest, seega on piirangud elektrivälja tugevusele ja võimsustihedusele piisavad ka küllalt madala SAR kindlustamiseks. Raadiokiirguse ohutuse tagamiseks elukeskkonnas ei ole SAR vajalik.

Sisse viia vastavad muudatused määruse tekstis:

- § 4. Füüsilised suurused välja jätta punktid (8) ja (9).
- § 6. Piirväärtused toodud tabelis.

Baaspiirang ei ole rakendatav ega vajalik kiirgustaseme kontrollimisel elukeskkonnas

Baaspiirang on määruses defineeritud kui piirang elektromagnetvälja toimele, millele inimorganism reageerib ühel või teisel viisil. Baaspiirang on määratletud soojusliku mõju mudeli põhjal. Kuna raadiokiirguse mittedioosliku mõju lävend puudub, ei ole baaspiirangu mõiste põhimõtteliselt rakendatav. Baaspiirang ei oma praktilist tähtsust kiirgustaseme kontrollimisel elukeskkonnas, kus on kasutusel piirväärtused.

Välja jätta punkt (2) § 3. Määruses kasutatavad mõisted ja § 5. Baaspiirangud määruse tekstis.

Kehtestada sagedusalal 10 MHz kuni 10 GHz piirväärtusteks elektrivälja tugevus 6 V/m ja võimsustihedus 0,1 W/m².

Kuna raadiokiirguse puhul esinevad nii võimsuse soojuslik mõju kui ka elektrivälja otsene mittediooslik mõju, on põhimõtteliselt otstarbekas rakendada paralleelselt kaht (kuigi omavahel üheselt seotud) piirväärtust. Piirangute taseme valiku puhul on lähtutud otstarbekuse põhimõttest: nii madal kui võimalik, et vähendada võimalikku tervisemõju ja nii kõrge kui vajalik, et tagada tehnoloogia normaalne töö. Piirang on valitud, arvesse võttes nii pikaajalise raadioringhäälingu kiirguse taset kui ka raadiokiirgussituatsiooni Eestis (vt. p. 5.2). Valitud piirang ei välista võimalikku tervisemõju, kuid on minimaalne võimalik, arvestades raadiokiirguse hetkeolukorda Eestis.

Sisse viia vastavad muudatused määruse §6 Piirväärtused tekstis ja järgnevas tabelis.

Raadiokiirguse taseme kontrollimiseks elukeskkonnas saab ja tuleb kasutada mõõtetehnikas kasutatavaid ja aktsepteeritud meetodeid.

Mõõdetavad parameetrid on võimsustihedus ja elektrivälja tugevus, sh. selle tippväärtus. Mõõtmisi peab teostama akrediteeritud mõõtelabor kasutades kaasaegset metoodikat ja kontrollitava raadiokiirguse sagedusele ja ribalaiusele vastavaid kalibreeritud mõõtevahendeid. Mõõtemetoodika peab vastama kaasaegsete mõõtestandardite nõuetele vastavas sagedusalas. Mingit vajadust spetsiaalse mõõtemetoodika või eristandardi järele raadiokiirguse taseme kontrollimiseks just elukeskkonnas ei ole. Spetsiaalset mõõtemetoodikat ei tooda ka ICNIRP juhistes. Eristatakse küll baas- ja piirväärtusi keskmistamise puhul alla ja üle 6 min, mis on seotud kuumenemisega. Kuna siin valitud rangemad piirnõrmid välistavad kuumenemise igal juhul, kaob vajadus ka 6 min keskmistamist sisse tuua.

Sisse viia vastavad muudatused määruse 6. peatüki tekstis „Mõõtmise meetodid. Standardeid ja metoodikaid“.

Lisa 1 Eksperimentaaluringute andmebaas

Aasta	Autor	Meetod	Eksp kes tus	Uurit arv n	Sagedus MHz	Modulat- sioon	SAR W/kg	P W/m ²	E V/m	Mõju
2020	Bueno-Lopez	Sleep EEG Learning memor y	6 min	30	2450	WiFi	0.025= 25 mW/kg Av 6,4			No
2020	Danker-Hopfe	sama	sama	34	sama	sama	sama			No
2020	Nakata ni-Enomoto	Waking EEG	30 min	38	1950	LTE	2			No
2019	Hossei ni	Memory React time	2 hours	45	2450	WiFi		0,446	4,1	No
2019	Loughran	EEG	30 min	36	920	GSM	2			Alpha+
2019	Lowden	Sleep EEG	3 hours	18	1930-1990	UMTS	1,6			Spindle 11-12,75-
2019	Meo	Motor task Memory	6h/d 2 years	124 93	925	Base st		10/2 μW/cm ²		Imp Memory Motor task
2018	Vecsei	EEG cogn		34 26	1947	UMTS LTE B=5MHz	<2			Alpha-cogn
2018	Dalecki	Vis ERP		36	920	GSM	1 2			P1 ampl N1 latency
2017	Hinrikus	EEG	10x1 min	15	450	7 Hz 40 Hz 1000 Hz		0.16 mW/m ²		Alpha+ beta+ at 40 Hz
2017	Yang	EEG	30 min	25	2610	LTE	1,34 1,96			Alpha – Beta -
2016	Verrender	Cogn memor y		36	920	GSM	1 2			React time -
2015	Zentai	EEG attent	60 min	25 19	2400	WiFi	0.099= 99.22 mW/kg			No
2015	Eggert	EEG behavi or	2,5 hours	30	385	TETRA	1,5 6			No
2015	Trunk	EEG cogn	15 min	21 23		UMTS	2			No

2015 a, b	Roggeveen	EEG	15 min	31	1929,1– 1939,7	3G	0,69 manual			Alpha + Beta + Gamma+
2015	Sauter	Cogn Well- being	2,5 hours	30	385	TETRA 17,65 Hz	1,5 6			Corr answ – React time +
2015	Ghosn	EEG	26 min	26	900	GSM	Peak 0,93			Alpha +
2015	Lustenberger	Sleep EEG	30 min	20	900	PM 2 Hz	2			Delta + Theta +
2015	Curcio	EEG	45 min	12	902,4	GSM 8,33 Hz 217 Hz	0,5			Gamma+ Beta coh+
2014 a	Lv	EEG	30 min		2573	LTE				SL alter
2013	Nakata ni- Enomoto	Sleep EEG	3 hours	19	1950	W-CDMA	1,52			No
2013	Vecsei	Therm pain	30 min	22	1947	UMTS	1,75			Pain thresh +
2013	Lustenberger	Sleep EEG	8 hours intermitt	16	900	PM 0.25–0.8 Hz	Av 0,15 Peak 10 1 0,4			SWA + 0.75– 4.5 Hz Motor task -
2013	Loughran	EEG cogn	30 min	22 11-13 years	900	GSM like	0,35 1,4			NO 6 Hz + 12 Hz +
2013	Perentos	EEG	20 min	72		CW GSM GSM	1,95 1,95 0,06			Alpha + CW and PM
2013	Suhhova	Resting EEG	10 min	15	450	40 Hz	0,30 0,003		24,5 2,45	alpha+ beta+
2013	Trunk	EEG ERP	30 min	17 26	1947	UMTS	3,75			No
2012	Schmid	Sleep EEG	30 min	25	900	2 Hz 8 Hz 14 Hz 217 Hz	2			Delta + Theta + Alpha +
2011	Kwon	PET cogn	30 min	13	902,4	GSM	1,1			Glucose met – Vig task 0
2011	Papageorgiou	ERP cogn		30	2450	LAN-WiFi			0,45	P300 -
2011	Leung	ERP cogn	55 min 55 min	41 adol 42 adol 20 eld	894,6 1900	W-CDMA GSM	0,7 1,7			N100 + 2G Delay resp
2011 a	Hinrikus	EEG	10 min	14	450	40 Hz PM	0,303		1,6	HFD +

2011 b	Hinrikus	EEG	10 min	28	450	PM 7, 14, 21, 40, 70	0,303	1,6		Alpha + Beta +
2011	Volkow	PET	50 min	47	837,8	CDMA	0,901			Glucose met +
2011	Sauter	cogn	3 days a' 7h 15 min	30	900 1966	GSM WCDMA	7,82 10,98			No
2011	Danker-Hopfe	Sleep EEG	3 night a' 8 h	30	900 1966	GSM WCDMA/UMTS	2 2			No
2011	Lowden	Sleep EEG	3 h	48	1884	GSM	1,4 av 1,94 peak			Alpha + Imp SWS
2010	Danker-Hopfe	Sleep quality	5 nights	397	900 1800	GSM				No
2010	Yilmaz	ECG	7 min	16	900	GSM	0,56			HRV compl +
2010	Croft	EEG cogn	55 min	41 adol 42 adol 20 eld	894,6 1900	WCDMA GSM	Peak 0,7 1,7		30 30 mV/ m	Alpha + young No 3G
2010	Riddervold	Cogn hypersen	45 min 55 s on 5 s off	53	420	TETRA	2			No
2010	Veccio	EEG	45 min	16 eld 5 youn	902,4	GSM	0,5			Alpa interhem coh +
2010	Kwon	Aud res	6 min	17 child 11-12 y	902	GSM	Peak 1,21			No
2009	de Tommaso	Acus stimuli ERP	10 min	10	900	GSM	0,5			Ampl -
2009	Hinrikus	EEG	10 min	15 19	450	40 and 70 217 1000 Hz	0,3	0,16 mW/m2		Alpha + Beta +
2009	Suhhova	EEG assym	10 min	13 15	450	14 40 Hz	0,3	0,16 mW/m2		Assym +
2009	Eltiti	Cogn test		44 EHS 44 cont	900-1800 2020	GSM UMTS		0,01		No

2009	Curcio	Cortex oxygenat	40 min	15	902,4	GSM 8,33 217 Hz	0,5			HBB+
2009	Kwon	Aud MMN EEG	6 min blocs 1 hour	17	902	GSM	1,21			No
2009	Luria	Cogn test	1 h; 12 blocs	16	890,2	GSM	1,09			Resp time
2009	Augner	Well-being Questionn	5x50 min	57	900	GSM		5.2 μ W/m ² 153.6 2,126 .8		Psychol arousal -
2009	Wilholm	Memory test	2,5 h	19 non 23 symp	884	GSM	1,4			Attent +
2008	Leitgeb	Sleep quality	9 nights	43	80 -2500	Base station			3162 2 max 562 min. μ V/m	No
2008	Suhhova	EEG	10 min	18 healthly 18 depr	450	PM 1000 Hz		0.16 mW/m ²		Interhem ass
2008	Cinel	Cogn Memory	45 min 40 min	160 168	888	PM CW	1,4 1,4			No
2008	Stefanics	ERP, ear	20 min	29	??	UMTS	Max 1,75-3,75 Av<2			No
2008 a	Kleinlogel	EEG, EHS	30 min 30 min	15	1950 900	UMTS GSM	0,1/1 1			No
2008 b	Kleinlogel	Vis Aud ERP	30 min	15	1950 900	UMTS GSM	0;1/1 1			No
2008 a	Hinrikus	EEG	10 min	13	450	7, 14, 21	0,303	1,6		Alpha+ Beta+
2008 b	Hinrikus	EEG	10 min	19 13 15 19	450	7 14 and 21 40 and 70	0,303	1,6		Beta+

						217 and 1000				
2008	Curcio	Psycho-motor	3x15 min	24	902,4	GSM	0,5			No
2008	Hillert	Subj symp EHS	3 h	71	884	BS	Peak 1,4			No
2008	Croft	EEG	30 min	120	895	GSM	0,674			Alpha+
2007	Bachmann	EEG	10x1 min	15	450	PM 40 70 Hz	0,3	1,6		40 Hz Beta+
2007	Bardasano	EEG Cochlea deaf	5 min	12	880-940	PM	0,955			Alpa+ Theta+
2007 a	Regel	Sleep EEG behav	30 min	15	900		5 0,2			NS
2007 b	Regel	Rest EEG Cogn	30 min	30	900	PM 217, 0,577ms CW	1			alpha+ Cogn NS
2007	Hung	Sleep EEG	30 min	10	900	GSM	0,133 talk 0,015 listen 0,001			Talk mode Sleep onset delay
2007	Veccio	EEG	45 min	10	902,4	GSM		2W		Alpha+
2007	Frizer	Sleep EEG, quality	7-9 h 6 night	20	900	GSM	1			No
2007	Haarala	Cogn func	90 min	36	902	GSM CW	1,18 1,18			No
2007	Krause	Aud-Vis ERP/EEG		36	902	PM CW	1,18 1,18			Alpha+ No

Lisa 2. Mõõtmiste asukohtade tabel

Kuupäev	Orienteeru v aeg	Asukoht nr	Antenni nähtavus	Tüüp	Linn, koht	Asukoht	Koordinaadid (N E)	Õhutemp (°C), suhteline õhuniiskus RH (%), ilmaolud
20.01.2022	18:28	1	d	SLE	Tallinn	Nõmme keskus	59.388826 24.683235	Õhutemp 0,5; RH 95; lumesadu
21.01.2022	19:59	2	d	SLE	Tallinn	Hiiu jaam	59.383703 24.670088	Õhutemp -1,6; RH 84; nähtusteta
22.01.2022	14:30	3	d	SLE	Tallinn	Lasnamäe äripiirkond, elamupiirkond	59.449318 24.888053	Õhutemp -3; RH 82; nähtusteta
22.01.2022	15:16	4	b	SLE	Tallinn	Lasnamäe elamupiirkond	59.445118 24.878469	Õhutemp -3; RH 83; nähtusteta
22.01.2022	15:44	5	b	SLE	Tallinn	Lasnamäe elamupiirkond	59.446300 24.874777	Õhutemp -2; RH 83; nähtusteta
22.01.2022	16:53	7	dd	SLE	Tallinn	Kristiine äripiirkond, elamupiirkond	59.425848 24.722322	Õhutemp -3; RH 83; nähtusteta
22.01.2022	17:07	8	b	SLE	Tallinn	Kristiine elamupiirkond	59.419360 24.722167	Õhutemp -3,1; RH 84; nähtusteta
22.01.2022	17:33	9	d	SLE	Tallinn	Mustamäe elamupiirkond	59.409018 24.708724	Õhutemp -3; RH 85; nähtusteta
22.01.2022	17:54	10	d	SLE	Tallinn	Mustamäe elamupiirkond	59.398438 24.683042	Õhutemp -3; RH 84; nähtusteta
23.01.2022	14:42	11	d	VLK	Saue	Ridva/Kütise ristmik	59.324979 24.554119	Õhutemp -0,5; RH 90; nähtusteta
23.01.2022	15:02	12	d	VLK	Saue	Sooja/Tule ristmik	59.322628 24.565480	Õhutemp -0,5; RH 91; nähtusteta
23.01.2022	15:24	13	f	VLE	Saue	elamupiirkond	59.313836 24.564077	Õhutemp -0,4; RH 92; nähtusteta
23.01.2022	15:36	14	f	VLE	Saue	elamupiirkond	59.319069 24.550282	Õhutemp -0,3; RH 94; nähtusteta
23.01.2022	15:50	15	f	VLE	Saue	elamupiirkond	59.315879 24.543441	Õhutemp -0,3; RH 94; nähtusteta
23.01.2022	16:12	16	f	LLE	Laagri	elamupiirkond	59.345105 24.594001	Õhutemp -0,2; RH 94; nähtusteta
23.01.2022	16:27	17	d	LLE	Laagri	elamupiirkond	59.348189 24.610944	Õhutemp 0; RH 92; nähtusteta
23.01.2022	16:41	18	f	LLE	Laagri	elamupiirkond	59.351821 24.623179	Õhutemp 0,2; RH 93; nähtusteta
23.01.2022	16:58	19	d	LLE	Laagri	elamupiirkond	59.351725 24.612033	Õhutemp 0,3; RH 94; nähtusteta

23.01.2022	17:18	20	b	LLE	Laagri	elamupiirkond	59.349003 24.614476	Õhutemp 0,3; RH 95; nähtusteta
17.02.2022	09:00	21	b	SLK	Tallinn	Valli tn/Pärnu mnt	59.43539 24.74920	Õhutemp 4; RH 93; kerge vihm
17.02.2022	12:03	22	b	SLE	Tartu	elamupiirkond	58.383910 26.729481	Õhutemp 3; RH 91; nähtusteta
17.02.2022	12:56	23	b	SLK	Tartu	äripiirkond	58.383899 26.729162	Õhutemp 3; RH 90; nähtusteta
17.02.2022	13:21	24	f	SLK	Tartu	raekoja plats	58.380476 26.724910	Õhutemp 3; RH 90; nähtusteta
17.02.2022	13:46	25	b	SLK	Tartu	turuhoone ümber	58.378991 26.727687	Õhutemp 4; RH 89; nähtusteta
17.02.2022	14:07	26	dd	SLK	Tartu	bussijaam	58.378131 26.733044	Õhutemp 4; RH 89; nähtusteta
17.02.2022	14:47	27	f	SLK	Tartu	Maarjamõisa haigla ees	58.369645 26.701645	Õhutemp 4; RH 90; kerge vihm
17.02.2022	15:16	28	d	SLE	Tartu	Veeriku Selver	58.375733 26.696149	Õhutemp 4; RH 90; kerge vihm
17.02.2022	15:35	29	d	SLE	Tartu	Veeriku pk	58.376443 26.692565	Õhutemp 4; RH 90; kerge vihm
17.02.2022	15:56	30	d	SLE	Tartu	Veeriku pk	58.377688 26.685713	Õhutemp 4; RH 91; kerge vihm
17.02.2022	16:39	31	f	MAE	Kambja	Kambja konsum	58.235313 26.694095	Õhutemp 4; RH 92; nähtusteta
17.02.2022	17:01	32	d	MAE	Kambja	korterelau kiriku kõrval	58.236798 26.700885	Õhutemp 4; RH 92; nähtusteta
17.02.2022	17:20	33	d	MAE	Kambja	kultuurikeskus	58.235521 26.702624	Õhutemp 4; RH 93; nähtusteta
17.02.2022	17:42	34	d	MAE	Kambja	masti kõrval	58.236618 26.707379	Õhutemp 4; RH 93; nähtusteta
17.02.2022	18:05	35	f	MAE	Kambja	korteremaja	58.233564 26.698948	Õhutemp 3; RH 94; nähtusteta
17.02.2022	18:26	36	d	MAE	Kambja	eramute piirkond	58.231411 26.696564	Õhutemp 3; RH 95; nähtusteta
17.02.2022	18:51	37	d	MAE	Kambja	eramute piirkond	58.229756 26.697596	Õhutemp 3; RH 95; nähtusteta
17.02.2022	19:29	38	f	SLE	Tartu	Rahvamuuseumi pk	58.387635 26.735775	Õhutemp 3; RH 93; kerge vihm
17.02.2022	19:51	39	f	SLE	Tartu	Rahvamuuseumi pk	58.397500 26.733843	Õhutemp 3; RH 94; kerge vihm

17.02.2022	20:12	40	b	SLE	Tartu	Rahvamuuseumi pk	58.392413 26.720983	Õhutemp 3; RH 94; kerge vihm
18.02.2022	10:16	41	d	MAE	Tartu v	Kärevere elamupiirkond	58.432130 26.483051	Õhutemp 0; RH 78; nähtusteta
18.02.2022	10:25	42	d	MAE	Tartu v	Kärevere elamupiirkond	58.434032 26.479349	Õhutemp 0; RH 78; nähtusteta
18.02.2022	10:55	43	d	MAE	Tartu v	Laeva, eramute pk	58.467008 26.365274	Õhutemp 1; RH 79; nähtusteta
18.02.2022	11:41	44	d	MAE	Põltsamaa v	Puurmanni, eramute pk	58.567007 26.291817	Õhutemp 1; RH 76; nähtusteta
18.02.2022	12:06	45	d	MAE	Põltsamaa v	Puurmanni, eramute pk	58.571230 26.291958	Õhutemp 1; RH 76; nähtusteta
18.02.2022	12:31	46	d	MAE	Põltsamaa v	Puurmanni, eramute pk	58.573327 26.287179	Õhutemp 1; RH 75; nähtusteta
18.02.2022	12:56	47	d	VLE	Põltsamaa	kortermajade pk	58.655462 25.977283	Õhutemp 1; RH 72; nähtusteta
18.02.2022	13:22	48	d	VLK	Põltsamaa	eramute pk	58.653878 25.985613	Õhutemp 1; RH 75; nähtusteta
18.02.2022	13:43	49	f	VLK	Põltsamaa	äride ja vabaaja pk	58.654165 25.974077	Õhutemp 2; RH 71; nähtusteta
18.02.2022	14:02	50	ddd	VLE	Põltsamaa	eramute pk	58.654840 25.964275	Õhutemp 2; RH 72; nähtusteta
18.02.2022	14:28	51	d	VLE	Põltsamaa	eramute pk	58.646154 25.979852	Õhutemp 2; RH 71; nähtusteta
18.02.2022	15:31	52	d	VLK	Paide	eramute pk	58.882953 25.571770	Õhutemp 3; RH 70; nähtusteta
18.02.2022	15:52	53	ddd	VLE	Paide	kortermajade pk	58.885026 25.559920	Õhutemp 3; RH 72; nähtusteta
18.02.2022	16:14	54	d	VLE	Paide	kortermajade pk	58.886434 25.564159	Õhutemp 3; RH 73; nähtusteta
18.02.2022	16:35	55	d	VLE	Paide	kortermajade pk	58.892879 25.564678	Õhutemp 2; RH 76; nähtusteta
18.02.2022	16:58	56	d	VLE	Paide	eramute, kortermajade pk	58.887992 25.566318	Õhutemp 2; RH 76; nähtusteta
18.02.2022	17:22	57	d	VLK	Paide	linna keskus	58.887470 25.569601	Õhutemp 2; RH 77; nähtusteta
19.02.2022	14:00	58	f	VLE	Sindi	eramute piirkond	58.396011 24.648410	Õhutemp 2; RH 92; nähtusteta
19.02.2022	14:26	59	f	VLK	Sindi	noortekeskuse ees	58.402503 24.654022	Õhutemp 2; RH 93; nähtusteta

19.02.2022	14:48	60	f	VLK	Sindi	Sindi Konsumi ees	58.404731 24.650939	Õhutemp 2; RH 93; nähtusteta
19.02.2022	15:13	61	d	VLE	Sindi	Sindi Maxima ees	58.408299 24.659720	Õhutemp 2; RH 94; nähtusteta
19.02.2022	15:33	62	d	VLE	Sindi	rahvamaja ees	58.408735 24.659641	Õhutemp 1; RH 95; nähtusteta
19.02.2022	15:58	63	d	VLE	Sindi	elamupiirkond	58.412815 24.669831	Õhutemp 1; RH 94; nähtusteta
19.02.2022	16:43	64	d	SLE	Pärnu	Raeküla kool	58.356855 24.573732	Õhutemp 1; RH 95; nähtusteta
19.02.2022	17:12	65	f	SLE	Pärnu	elamupiirkond	58.357923 24.556778	Õhutemp 1; RH 95; nähtusteta
19.02.2022	17:37	66	d	SLE	Pärnu	Koidula gümnaasium	58.366646 24.546396	Õhutemp 1; RH 94; uduvihm
19.02.2022	18:08	67	d	SLE	Pärnu	äripiirkond	58.373956 24.544160	Õhutemp 1; RH 96; kerge vihm
19.02.2022	18:32	68	b	SLE	Pärnu	kortermajade piirkond	58.370285 24.538561	Õhutemp 1; RH 94; kerge vihm
19.02.2022	18:55	69	f	SLK	Pärnu	spordihall	58.376526 24.533918	Õhutemp 1; RH 94; uduvihm
19.02.2022	19:21	70	d	SLK	Pärnu	kaubanduskeskused	58.387007 24.503892	Õhutemp 1; RH 93; uduvihm
19.02.2022	19:58	71	d	SLK	Pärnu	linnakeskus	58.384296 24.496186	Õhutemp 1; RH 92; uduvihm
19.02.2022	20:37	72	b	SLE	Pärnu	Estonia spa	58.379246 24.496770	Õhutemp 0; RH 87; nähtusteta
19.02.2022	20:58	73	d	SLE	Pärnu	Hotell Wasa ees	58.378420 24.495913	Õhutemp 0; RH 85; nähtusteta
19.02.2022	21:22	74	f	SLE	Pärnu	elamupiirkond	58.381480 24.492674	Õhutemp 0; RH 86; nähtusteta
20.02.2022	09:32	75	d	SLE	Tallinn	Nõmme,Metsa tn	59.381281 24.683340	Õhutemp -2; RH 96; nähtusteta
20.02.2022	09:56	76	d	SLE	Tallinn	Hiiu kooli ees	59.383949 24.675105	Õhutemp -1; RH 97; nähtusteta
20.02.2022	10:18	77	dd	SLE	Tallinn	Nõmme keskus	59.388028 24.684104	Õhutemp -1; RH 98; nähtusteta
20.02.2022	10:43	78	d	SLE	Tallinn	Sõpruse konsumi kõrval	59.398703 24.682689	Õhutemp -1; RH 98; nähtusteta
20.02.2022	11:09	79	d	SLE	Tallinn	Järve, Energia 1 kõrval	59.396467 24.710041	Õhutemp 0; RH 98; nähtusteta

20.02.2022	13:42	80	f	SLE	Tallinn	Merivälja	59.488855 24.846080	Õhutemp 2; RH 84; nähtusteta
20.02.2022	14:06	81	d	SLE	Tallinn	Merivälja	59.494342 24.846310	Õhutemp 2; RH 82; nähtusteta
20.02.2022	14:47	82	dd	LLE	Viimsi	Viimsi kaubakeskus	59.505604 24.829831	Õhutemp 2; RH 78; nähtusteta
20.02.2022	15:19	83	dd	LLE	Viimsi	Mereranna tee/Kesk tee	59.512695 24.826911	Õhutemp 2; RH 78; nähtusteta
20.02.2022	15:51	84	d	LLE	Viimsi	Pärtle tee/Uus-Pärtle tee	59.520568 24.848070	Õhutemp 2; RH 84; nähtusteta
20.02.2022	16:15	85	d	LLE	Viimsi	Pärtle tee	59.521033 24.847071	Õhutemp 1; RH 83; nähtusteta
20.02.2022	16:59	86	d	LLE	Viimsi	Tammneeme k	59.530133 24.877422	Õhutemp 1; RH 86; nähtusteta
20.02.2022	17:32	87	d	LLE	Viimsi	Tammneeme k	59.541257 24.884018	Õhutemp 1; RH 86; nähtusteta
21.02.2022	13:46	88	d	sise	Tallinn	Lasnamäe keskus		
21.02.2022	14:29	89	d	SLK	Tallinn	Viru väljak	59.435844 24.751267	Õhutemp 0; RH 96; kerge lumesadu
21.02.2022	15:10	90	d	SLK	Tallinn	Vabaduse väljak	59.433188 24.745558	Õhutemp 0; RH 97; kerge lumesadu
21.02.2022	15:48	91	b	SLK	Tallinn	Tõnismäe haljak	59.431204 24.738442	Õhutemp 0; RH 97; kerge lumesadu
21.02.2022	16:11	92	d	SLK	Tallinn	Kosmose kino	59.428717 24.742543	Õhutemp 0; RH 96; kerge lumesadu
21.02.2022	16:51	94	ddd	SLK	Tallinn	Kalevi esine	59.409429 24.735648	Õhutemp 1; RH 98; kerge lumesadu
21.02.2022	17:22	95	b	SLK	Tallinn	Rävala/Kivisilla	59.433586 24.758687	Õhutemp 1; RH 98; kerge lumesadu
21.02.2022	17:45	96	b	SLK	Tallinn	Stockmann	59.432898 24.762041	Õhutemp 0; RH 98; kerge lumesadu
21.02.2022	18:12	97		sise	Tallinn	Ülemiste keskus		
21.02.2022	18:31	98		sise	Tallinn	Ülemiste keskus		
21.02.2022	18:50	99		sise	Tallinn	Ülemiste keskus		
21.02.2022	19:32	100				79 korduv		Õhutemp 1; RH 96; nähtusteta
21.02.2022	19:56	101				78 korduv		Õhutemp 1; RH 96; nähtusteta
21.02.2022	20:29	102				77 korduv		Õhutemp 1; RH 97; nähtusteta
21.02.2022	20:44	103				76 korduv		Õhutemp 2; RH 96; nähtusteta

21.02.2022	21:14	104				75 korduv		Õhutemp 2; RH 97; nähtusteta
22.02.2022	06:46	105	d	VLE	Rakvere	korterelamute pk	59.351298 26.335171	Õhutemp 0; RH 98; nähtusteta
22.02.2022	07:12	106	d	VLE	Rakvere	äride ja eramute pk	59.350620 26.343878	Õhutemp 0; RH 98; nähtusteta
22.02.2022	07:33	107	d	VLK	Rakvere	äride pk linna keskus	59.347778 26.358583	Õhutemp 0; RH 97; nähtusteta
22.02.2022	07:55	108	d	VLK	Rakvere	äride pk linna keskus	59.348457 26.362940	Õhutemp 0; RH 97; nähtusteta
22.02.2022	08:26	109	b	VLE	Rakvere	äride ja elamute pk	59.350039 26.361574	Õhutemp 0; RH 97; nähtusteta
22.02.2022	08:52	110	d	VLE	Rakvere	eramute pk	59.332675 26.361041	Õhutemp 0; RH 98; nähtusteta
22.02.2022	09:20	111	d	VLE	Rakvere	eramute, lasteasutuste pk	59.344626 26.370123	Õhutemp 0; RH 97; nähtusteta
22.02.2022	09:56	112	d	VLE	Rakvere	eramute pk, kutseasutus	59.341405 26.377706	Õhutemp 0; RH 97; nähtusteta
22.02.2022	10:26	113	ddd	VLE	Rakvere	äride ja eramute pk	59.356272 26.371348	Õhutemp 0; RH 98; nähtusteta
22.02.2022	10:50	114	ddd	VLE	Rakvere	äride ja eramute pk	59.357803 26.370473	Õhutemp 0; RH 96; nähtusteta
22.02.2022	11:26	115	f	VLE	Rakvere	kaubanduskeskus	59.353927 26.383415	
22.02.2022	11:47	116	d	sise	Rakvere	Vaala keskus		
22.02.2022	13:03	117	d	VLK	Kohtla-Järve	korterelamute pk	59.405563 27.282747	Õhutemp 0; RH 98; nähtusteta
22.02.2022	13:26	118	d	VLK	Kohtla-Järve	linna admin. keskus, korterelamute pk	59.399864 27.284035	Õhutemp 1; RH 98; nähtusteta
22.02.2022	13:52	119	dd	VLE	Kohtla-Järve	korterelamute pk	59.397581 27.294509	Õhutemp 0; RH 98; nähtusteta
22.02.2022	14:18	120	b	VLE	Kohtla-Järve	korterelamute pk	59.400549 27.295817	Õhutemp 0; RH 98; nähtusteta
22.02.2022	14:45	121	d	VLE	Kohtla-Järve	korterelamute pk	59.403773 27.292845	Õhutemp 0; RH 97; nähtusteta
22.02.2022	15:09	122	dd	VLE	Kohtla-Järve	lasteasutused	59.403518 27.289433	Õhutemp -1; RH 96; nähtusteta
22.02.2022	15:31	123	b	VLK	Kohtla-Järve	korterelamute pk	59.402849 27.289947	Õhutemp -1; RH 97; nähtusteta
22.02.2022	15:52	124	d	VLE	Kohtla-Järve	põhikooli ümbrus	59.405627 27.289872	Õhutemp -1; RH 98; nähtusteta

22.02.2022	16:29	125	d	VLE	Sillamäe	kortermajade pk, kütusetankla ees	59.390904 27.773445	Õhutemp -2; RH 96; nähtusteta
22.02.2022	16:55	126	d	VLE	Sillamäe	kortermajade pk	59.397134 27.760517	Õhutemp -2; RH 95; nähtusteta
22.02.2022	17:25	127	b	VLE	Sillamäe	kortermajade pk	59.393978 27.790317	Õhutemp -2; RH 96; nähtusteta
22.02.2022	17:58	128	d	VLE	Sillamäe	äride, kortermajade pk	59.391319 27.791971	Õhutemp -2; RH 96; nähtusteta
23.02.2022	08:12	129	d	VLE	Narva	eramute pk	59.391212 28.193719	Õhutemp -4; RH 90; nähtusteta
23.02.2022	08:41	130	d	VLE	Narva	ärimajade, kortermajade pk	59.380271 28.195952	Õhutemp -4; RH 88; nähtusteta
23.02.2022	09:10	131	d	VLE	Narva	kortermajade pk	59.379899 28.193769	Õhutemp -4; RH 87; nähtusteta
23.02.2022	09:39	132	dd	VLK	Narva	kaubanduskeskus	59.381418 28.177622	Õhutemp -4; RH 86; nähtusteta
23.02.2022	10:15	133	f	VLE	Narva	kortermajade pk	59.375649 28.175206	Õhutemp -4; RH 82; nähtusteta
23.02.2022	10:42	134	d	VLE	Narva	kortermajade pk	59.373401 28.169590	Õhutemp -4; RH 81; nähtusteta
23.02.2022	11:10	135	d	VLE	Narva	kutsehariduskeskus, äride kortermajade pk	59.374874 28.185916	Õhutemp -4; RH 82; nähtusteta
23.02.2022	11:38	136	d	VLE	Narva	kortermajade pk	59.362986 28.191785	Õhutemp -3; RH 81; nähtusteta
23.02.2022	12:05	137	d	VLE	Narva	kortermajade pk	59.366298 28.176387	Õhutemp -3; RH 82; nähtusteta
23.02.2022	12:31	138	ddd	VLK	Narva	äride, kortermajade pk	59.375869 28.190373	Õhutemp -3; RH 81; nähtusteta
23.02.2022	12:52	139	d	VLK	Narva	linnakeskus	59.375811 28.194834	Õhutemp -3; RH 78; nähtusteta
23.02.2022	14:25	140	d	VLE	Kunda	eramute pk	59.499638 26.524826	Õhutemp -1; RH 72; nähtusteta
23.02.2022	14:58	141	b	VLE	Kunda	kortere lamute pk	59.504215 26.507527	Õhutemp -1; RH 73; nähtusteta
23.02.2022	15:28	142	d	VLE	Kunda	kortere lamute pk	59.500141 26.516532	Õhutemp -2; RH 71; nähtusteta
23.02.2022	15:59	143	f	MAE	Katela k	talud	59.444579 26.399977	Õhutemp -2; RH 73; nähtusteta
23.02.2022	16:50	144	d	MAE	Valgejõe	eramute pk	59.467949 25.793497	Õhutemp -1; RH 75; nähtusteta

23.02.2022	17:32	145	f	MAE	Kiiu	eramute pk	59.450695 25.382223	Õhutemp -1; RH 74; nähtusteta
23.02.2022	18:02	146	f	MAE	Kodasoo	eramud, kortermaja	59.447219 25.269960	Õhutemp -2; RH 75; nähtusteta
23.02.2022	18:35	147	f	MAE	Rebala	eramute pk	59.447796 25.100229	Õhutemp -2; RH 78; nähtusteta
24.02.2022	15:17	148	f	MAE	Tammnee me	eramute pk	59.527787 24.895354	Õhutemp 4; RH 73; nähtusteta
24.02.2022	15:45	149	f	MAE	Tammnee me	eramute pk	59.524892 24.894772	Õhutemp 4; RH 74; nähtusteta
25.02.2022	08:17	150				75 korduv		Õhutemp 2; RH 90; nähtusteta
25.02.2022	08:40	151				76 korduv		Õhutemp 2; RH 92; nähtusteta
25.02.2022	08:57	152				77 korduv		Õhutemp 2; RH 92; nähtusteta
25.02.2022	09:24	153				78 korduv		Õhutemp 2; RH 91; nähtusteta
25.02.2022	09:44	154				79 korduv		Õhutemp 2; RH 91; nähtusteta
25.02.2022	16:40	155				75 korduv		Õhutemp 0; RH 97; nähtusteta
25.02.2022	17:02	156				76 korduv		Õhutemp 0; RH 98; kerge lumesadu
25.02.2022	17:26	157				77 korduv		Õhutemp 1; RH 97; nähtusteta
25.02.2022	17:48	158				78 korduv		Õhutemp 1; RH 95; kerge lumesadu
25.02.2022	18:15	159				79 korduv		Õhutemp 1; RH 96; kerge lumesadu
26.02.2022	14:58	160				75 korduv		Õhutemp 1; RH 73; nähtusteta
26.02.2022	15:25	161				76 korduv		Õhutemp 1; RH 74; nähtusteta
26.02.2022	15:49	162				77 korduv		Õhutemp 1; RH 75; nähtusteta
26.02.2022	16:15	163				78 korduv		Õhutemp 1; RH 74; nähtusteta
26.02.2022	16:41	164				79 korduv		Õhutemp 0; RH 74; nähtusteta
26.02.2022	17:17	165	d	sise	Tallinn	Kristiine keskus		
26.02.2022	17:36	166	d	sise	Tallinn	Kristiine keskus		
26.02.2022	17:55	167	d	sise	Tallinn	Kristiine keskus		
26.02.2022	18:22	168	d	sise	Tallinn	Mustamäe keskus		
26.02.2022	18:41	169	d	sise	Tallinn	Mustamäe keskus		
26.02.2022	19:01	170	d	sise	Tallinn	Mustamäe keskus		

Lisa 3.1. Elektrivälja tugevus (V/m) asukohtades igal sagedusalal

Asukoht	FM	TV VHF	TV UHF	B20DL 791-821 MHz	B8DL 925-960 MHz	B3DL 1805-1880 MHz	B1DL 2110-2170 MHz	B38TDD 2570-2620 MHz	B7DL 2620-2690 MHz	B78TDD 3300-3800 MHz
1	0,340	0,000	0,000	0,710	0,068	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2	0,038	0,000	0,000	0,200	0,256	0,179	0,093	0,000	0,112	0,000
3	0,345	0,000	0,041	0,584	1,308	0,541	0,391	0,045	0,434	0,000
4	0,382	0,000	0,040	0,189	0,313	0,225	0,232	0,016	0,169	0,000
5	0,659	0,000	0,068	0,867	1,127	0,693	0,646	0,046	0,445	0,000
6	0,097	0,000	0,018	0,482	0,764	0,692	0,559	0,038	0,599	0,000
7	0,059	0,000	0,066	1,503	2,093	1,654	1,833	0,000	0,666	0,000
8	0,078	0,000	0,035	1,117	0,606	0,288	0,492	0,013	0,265	0,000
9	0,059	0,000	0,015	0,619	0,968	0,315	0,396	0,000	0,129	0,000
10	0,029	0,000	0,000	0,269	0,436	0,258	0,380	0,031	0,349	0,000
11	0,000	0,000	0,000	0,976	0,972	0,564	0,064	0,005	0,070	0,000
12	0,000	0,000	0,000	0,311	0,499	0,475	0,484	0,076	0,606	0,000
13	0,000	0,000	0,000	0,137	0,358	0,278	0,159	0,000	0,435	0,000
14	0,000	0,000	0,000	0,038	0,054	0,064	0,054	0,010	0,106	0,000
15	0,000	0,000	0,000	0,042	0,026	0,024	0,032	0,000	0,024	0,000
16	0,000	0,000	0,000	0,075	0,133	0,103	0,085	0,004	0,068	0,000
17	0,000	0,000	0,000	0,445	0,903	0,514	0,683	0,143	0,829	0,000
18	0,003	0,000	0,000	0,103	0,154	0,107	0,046	0,007	0,136	0,000
19	0,000	0,000	0,000	0,289	0,520	0,395	0,421	0,041	0,329	0,000
20	0,006	0,000	0,000	0,159	0,381	0,224	0,314	0,077	0,488	0,000
21	0,085	0,000	0,000	0,146	0,256	0,075	0,152	0,012	0,070	0,000
22	0,065	0,000	0,000	0,895	1,070	0,649	0,356	0,000	0,177	0,000
23	0,049	0,000	0,000	0,492	0,368	0,246	0,265	0,000	0,341	0,000
24	0,180	0,000	0,000	0,273	0,325	0,129	0,148	0,010	0,100	0,000
25	0,313	0,000	0,000	0,228	0,408	0,488	0,585	0,000	0,226	0,000
26	0,617	0,000	0,045	0,261	0,453	0,498	0,504	0,044	0,447	0,000
27	0,240	0,000	0,034	0,309	0,521	0,256	0,198	0,000	0,178	0,000
28	0,164	0,000	0,040	0,485	0,578	0,681	0,550	0,000	0,037	0,000
29	0,143	0,000	0,014	0,174	1,233	0,504	0,524	0,000	0,022	0,000
30	0,096	0,000	0,000	0,571	0,738	0,222	0,234	0,005	0,066	0,000
31	0,031	0,000	0,000	0,135	0,192	0,157	0,170	0,012	0,138	0,000
32	0,022	0,000	0,000	0,148	0,185	0,124	0,146	0,015	0,152	0,000
33	0,023	0,000	0,000	0,114	0,152	0,132	0,096	0,011	0,221	0,000
34	0,066	0,000	0,000	0,320	0,082	0,515	0,088	0,000	0,282	0,000
35	0,007	0,000	0,000	0,131	0,155	0,200	0,174	0,013	0,143	0,000
36	0,116	0,000	0,000	0,202	0,240	0,231	0,131	0,006	0,167	0,000
37	0,096	0,000	0,000	0,200	0,135	0,105	0,186	0,020	0,149	0,000
38	0,232	0,000	0,046	0,131	0,129	0,173	0,172	0,003	0,010	0,000
39	0,202	0,000	0,000	0,144	0,209	0,168	0,127	0,000	0,033	0,000

40	0,224	0,000	0,000	0,744	1,186	0,723	0,438	0,000	0,194	0,000
41	0,071	0,000	0,000	0,246	0,460	0,142	0,206	0,000	0,025	0,000
42	0,015	0,000	0,000	0,108	0,575	0,051	0,148	0,000	0,000	0,000
43	0,015	0,000	0,000	0,420	0,527	0,482	0,035	0,000	0,023	0,000
44	0,007	0,000	0,000	0,288	0,222	0,177	0,059	0,000	0,000	0,000
45	0,003	0,000	0,000	0,532	0,347	0,284	0,034	0,000	0,000	0,000
46	0,009	0,000	0,000	0,246	0,280	0,167	0,096	0,000	0,000	0,000
47	0,016	0,000	0,045	0,767	0,803	0,448	0,345	0,000	0,009	0,000
48	0,021	0,000	0,051	0,679	1,406	0,512	0,024	0,000	0,009	0,000
49	0,014	0,000	0,090	0,194	0,357	0,271	0,093	0,000	0,136	0,000
50	0,019	0,000	0,102	0,360	0,547	0,794	0,017	0,000	0,057	0,000
51	0,012	0,000	0,091	0,207	0,210	0,182	0,082	0,000	0,170	0,000
52	0,565	0,000	0,014	0,403	0,357	0,253	0,533	0,000	0,071	0,000
53	0,802	0,000	0,000	0,653	0,981	0,728	0,810	0,000	0,267	0,000
54	2,837	0,000	0,000	0,467	0,612	0,424	0,382	0,012	0,416	0,000
55	0,180	0,006	0,000	0,802	0,261	0,555	0,389	0,000	0,138	0,000
56	0,497	0,000	0,000	0,365	1,383	0,605	0,824	0,000	0,229	0,000
57	0,229	0,000	0,000	0,125	0,324	0,267	0,218	0,000	0,261	0,000
58	0,443	0,000	0,025	0,045	0,023	0,030	0,009	0,009	0,015	0,000
59	0,187	0,000	0,091	0,048	0,035	0,033	0,007	0,031	0,005	0,000
60	0,048	0,000	0,014	0,064	0,061	0,076	0,014	0,096	0,040	0,000
61	0,022	0,000	0,000	0,340	0,275	0,260	0,069	0,139	0,125	0,000
62	0,046	0,000	0,022	0,218	0,271	0,281	0,215	0,092	0,447	0,000
63	0,061	0,000	0,102	0,281	0,372	0,250	0,198	0,019	0,170	0,000
64	0,223	0,000	0,012	0,267	0,401	0,156	0,011	0,000	0,014	0,000
65	0,150	0,000	0,032	0,066	0,068	0,068	0,030	0,007	0,073	0,000
66	0,084	0,000	0,000	0,591	0,870	0,255	0,189	0,037	0,245	0,000
67	0,236	0,000	0,086	0,863	1,052	0,496	0,641	0,000	0,716	0,000
68	0,082	0,000	0,127	0,597	0,659	0,656	0,157	0,000	0,048	0,000
69	0,163	0,000	0,068	0,324	0,434	0,098	0,046	0,000	0,000	0,000
70	0,152	0,000	0,033	1,232	1,286	1,130	0,946	0,107	0,731	0,000
71	0,032	0,000	0,000	0,466	0,753	0,533	0,380	0,027	0,540	0,000
72	0,064	0,000	0,000	0,205	0,525	0,157	0,131	0,004	0,111	0,000
73	0,074	0,000	0,000	0,217	0,554	0,284	0,241	0,000	0,245	0,000
74	0,054	0,000	0,000	0,341	0,447	0,468	0,248	0,027	0,289	0,000
75	0,071	0,000	0,000	0,402	0,609	0,197	0,066	0,000	0,000	0,000
76	0,094	0,000	0,000	0,522	0,534	0,191	0,008	0,000	0,181	0,000
77	0,312	0,000	0,000	0,551	0,885	0,408	0,224	0,031	0,331	0,000
78	0,050	0,000	0,000	0,553	0,458	0,349	0,339	0,035	0,502	0,000
79	0,034	0,000	0,000	1,135	1,298	0,522	0,421	0,047	0,278	0,000
80	0,222	0,000	0,000	0,193	0,138	0,135	0,072	0,000	0,029	0,000
81	0,115	0,002	0,000	0,481	0,726	0,266	0,304	0,037	0,305	0,000
82	0,200	0,000	0,000	0,431	0,578	0,489	0,505	0,000	0,363	0,000
83	0,036	0,000	0,000	0,731	1,757	0,411	0,698	0,048	0,323	0,000

84	0,058	0,000	0,000	0,714	0,958	0,409	0,086	0,000	0,018	0,000
85	0,021	0,000	0,000	0,422	0,626	0,079	0,067	0,000	0,000	0,000
86	0,062	0,000	0,000	0,386	0,592	0,126	0,007	0,000	0,000	0,000
87	0,048	0,000	0,000	0,406	0,709	0,099	0,000	0,000	0,000	0,000
88	0,038	0,000	0,000	0,058	0,084	0,081	0,068	0,008	0,073	0,000
89	0,213	0,000	0,015	0,864	1,018	0,911	1,230	0,008	0,636	0,000
90	0,094	0,000	0,057	1,287	1,169	0,659	0,853	0,249	0,975	0,000
91	0,067	0,000	0,052	0,651	1,064	0,426	0,270	0,011	0,144	0,000
92	0,051	0,000	0,121	0,364	0,495	0,346	0,243	0,000	0,294	0,000
93	0,031	0,000	0,069	0,644	0,738	0,378	0,548	0,000	0,416	0,000
94	0,043	0,000	0,016	0,588	1,565	0,764	0,637	0,005	0,590	0,000
95	0,585	0,000	0,048	0,733	0,918	1,163	1,287	0,007	0,580	0,000
96	0,123	0,000	0,015	0,557	0,925	0,729	0,854	0,012	0,531	0,000
97	0,015	0,000	0,000	0,068	0,109	0,031	0,036	0,000	0,028	0,000
98	0,000	0,000	0,000	0,045	0,148	0,042	0,028	0,000	0,000	0,000
99	0,000	0,000	0,000	0,045	0,944	0,206	0,268	0,004	0,052	0,000
100	0,051	0,000	0,000	1,195	1,044	0,532	0,371	0,070	0,520	0,000
101	0,019	0,000	0,000	0,536	0,610	0,339	0,384	0,031	0,468	0,000
102	0,470	0,000	0,000	0,681	0,982	0,433	0,283	0,026	0,260	0,000
103	0,116	0,000	0,000	0,486	0,567	0,371	0,035	0,006	0,209	0,000
104	0,100	0,000	0,000	0,554	0,521	0,275	0,069	0,000	0,036	0,000
105	0,053	0,000	0,000	0,321	0,606	0,330	0,281	0,000	0,160	0,000
106	0,028	0,000	0,000	0,299	0,523	0,369	0,341	0,000	0,275	0,000
107	0,008	0,000	0,000	0,211	0,381	0,429	0,021	0,000	0,064	0,000
108	0,009	0,000	0,000	0,685	1,068	0,688	0,183	0,041	0,390	0,000
109	0,000	0,000	0,000	0,616	0,582	0,419	0,034	0,008	0,132	0,000
110	0,017	0,000	0,000	0,688	0,943	0,358	0,144	0,000	0,012	0,000
111	0,002	0,000	0,000	1,062	1,095	0,592	0,256	0,070	0,508	0,000
112	0,010	0,000	0,000	0,585	0,288	0,228	0,141	0,013	0,141	0,000
113	0,009	0,000	0,000	0,413	0,646	0,378	0,281	0,079	0,415	0,000
114	0,033	0,005	0,000	0,524	1,746	0,466	0,344	0,108	0,790	0,000
115	0,032	0,000	0,000	0,092	0,137	0,161	0,087	0,010	0,117	0,000
116	0,003	0,000	0,000	0,116	0,122	0,042	0,007	0,000	0,017	0,000
117	0,162	0,000	0,000	0,690	0,939	0,479	0,518	0,000	0,204	0,000
118	0,204	0,000	0,000	0,820	0,343	0,164	0,041	0,000	0,195	0,000
119	0,155	0,000	0,072	0,670	0,874	0,911	0,177	0,000	0,018	0,000
120	0,110	0,000	0,009	0,207	0,246	0,317	0,010	0,045	0,233	0,000
121	0,113	0,000	0,000	0,226	0,378	0,314	0,227	0,004	0,077	0,000
122	0,178	0,000	0,000	0,745	0,748	0,374	0,144	0,004	0,100	0,000
123	0,302	0,000	0,000	0,242	0,260	0,223	0,196	0,021	0,205	0,000
124	0,129	0,000	0,000	0,774	1,033	0,314	0,350	0,006	0,066	0,000
125	0,199	0,000	0,000	0,212	0,333	0,157	0,218	0,026	0,190	0,000
126	0,073	0,000	0,000	0,608	1,201	0,982	0,387	0,039	0,326	0,000
127	0,000	0,000	0,000	0,136	0,273	0,090	0,078	0,024	0,162	0,000

128	0,013	0,000	0,000	0,431	1,025	0,550	0,096	0,004	0,536	0,000
129	0,558	0,000	0,008	0,084	0,508	0,596	0,623	0,023	0,157	0,000
130	2,817	0,000	0,023	0,177	1,160	0,302	0,167	0,005	0,093	0,000
131	4,015	0,000	0,119	0,157	0,436	0,198	0,344	0,000	0,141	0,000
132	1,220	0,000	0,100	0,095	2,470	1,376	1,644	0,045	0,324	0,000
133	0,746	0,000	0,024	0,542	1,125	0,639	0,844	0,026	0,240	0,000
134	0,511	0,000	0,015	0,569	1,062	0,624	0,486	0,034	0,308	0,000
135	1,199	0,000	0,052	1,172	0,720	0,433	0,685	0,020	0,397	0,000
136	0,071	0,000	0,000	0,066	1,669	0,659	0,650	0,050	0,393	0,000
137	0,289	0,000	0,000	0,054	0,450	0,097	0,248	0,000	0,062	0,000
138	0,717	0,000	0,044	0,508	0,615	0,346	0,662	0,008	0,169	0,000
139	1,356	0,000	0,058	0,227	0,712	0,171	0,430	0,017	0,205	0,000
140	0,022	0,000	0,000	0,144	0,272	0,175	0,096	0,014	0,112	0,000
141	0,000	0,000	0,000	0,074	0,084	0,066	0,034	0,005	0,072	0,000
142	0,010	0,000	0,000	0,322	0,709	0,265	0,099	0,005	0,193	0,000
143	0,015	0,000	0,000	0,054	0,060	0,052	0,003	0,000	0,006	0,000
144	0,003	0,000	0,000	0,131	0,248	0,082	0,010	0,000	0,000	0,000
145	0,019	0,000	0,000	0,075	0,068	0,100	0,109	0,000	0,020	0,000
146	0,035	0,000	0,000	0,045	0,004	0,006	0,000	0,000	0,007	0,000
147	0,265	0,000	0,014	0,045	0,028	0,010	0,000	0,000	0,000	0,000
148	0,011	0,000	0,000	0,065	0,072	0,042	0,000	0,000	0,000	0,000
149	0,024	0,000	0,000	0,046	0,024	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
150	0,112	0,000	0,000	0,437	0,436	0,205	0,091	0,000	0,000	0,000
151	0,896	0,000	0,000	0,252	0,497	0,123	0,007	0,000	0,098	0,000
152	0,709	0,000	0,000	0,476	0,785	0,311	0,298	0,023	0,179	0,000
153	0,167	0,000	0,000	0,576	0,537	0,409	0,363	0,028	0,352	0,000
154	0,134	0,000	0,000	0,925	1,379	0,492	0,329	0,047	0,329	0,000
155	0,155	0,000	0,000	0,482	0,648	0,215	0,090	0,004	0,009	0,000
156	0,116	0,000	0,000	0,548	0,406	0,177	0,026	0,000	0,135	0,000
157	0,952	0,000	0,000	0,565	0,870	0,396	0,274	0,054	0,424	0,000
158	0,187	0,000	0,000	0,876	0,471	0,416	0,339	0,032	0,331	0,000
159	0,148	0,000	0,000	1,448	1,032	0,479	0,408	0,062	0,446	0,000
160	0,095	0,000	0,000	0,534	0,576	0,424	0,092	0,000	0,010	0,000
161	0,499	0,000	0,000	0,337	0,455	0,225	0,022	0,000	0,119	0,000
162	0,912	0,000	0,000	0,545	0,940	0,447	0,242	0,037	0,323	0,000
163	0,080	0,000	0,000	0,723	0,555	0,388	0,391	0,035	0,433	0,000
164	0,028	0,000	0,000	1,157	1,781	0,527	0,384	0,056	0,388	0,000
165	0,000	0,000	0,000	0,602	0,845	0,616	0,489	0,000	0,013	0,000
166	0,000	0,000	0,000	0,048	0,904	0,876	0,161	0,000	0,000	0,000
167	0,000	0,000	0,000	0,045	0,619	0,435	0,135	0,000	0,000	0,000
168	0,000	0,000	0,000	0,045	0,656	0,376	0,314	0,000	0,013	0,003
169	0,006	0,000	0,000	0,045	0,647	0,548	0,429	0,000	0,000	0,000
170	0,000	0,000	0,000	0,055	1,040	0,534	0,426	0,000	0,033	0,000

Lisa 3.2. Võimsustihedus (mW/m²) asukohtades igal sagedusalal

Asukoht	FM	TV VHF	TV UHF	B20DL 791-821 MHz	B8DL 925-960 MHz	B3DL 1805- 1880M Hz	B1DL 2110- 2170 MHz	B38TD D 2570- 2620 MHz	B7DL 2620- 2690M Hz	B78TD D 3300- 3800M Hz
1	0,306	0,000	0,000	1,335	0,012	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2	0,004	0,000	0,000	0,106	0,174	0,085	0,023	0,000	0,033	0,000
3	0,317	0,000	0,004	0,906	4,538	0,778	0,405	0,005	0,499	0,000
4	0,388	0,000	0,004	0,094	0,259	0,134	0,143	0,001	0,076	0,000
5	1,151	0,000	0,012	1,995	3,369	1,272	1,108	0,006	0,526	0,000
6	0,025	0,000	0,001	0,616	1,548	1,272	0,829	0,004	0,950	0,000
7	0,009	0,000	0,012	5,991	11,622	7,254	8,912	0,000	1,177	0,000
8	0,016	0,000	0,003	3,309	0,973	0,221	0,643	0,000	0,186	0,000
9	0,009	0,000	0,001	1,017	2,485	0,264	0,415	0,000	0,044	0,000
10	0,002	0,000	0,000	0,191	0,504	0,176	0,383	0,003	0,324	0,000
11	0,000	0,000	0,000	2,528	2,505	0,845	0,011	0,000	0,013	0,000
12	0,000	0,000	0,000	0,257	0,659	0,598	0,621	0,015	0,974	0,000
13	0,000	0,000	0,000	0,050	0,339	0,206	0,067	0,000	0,502	0,000
14	0,000	0,000	0,000	0,004	0,008	0,011	0,008	0,000	0,030	0,000
15	0,000	0,000	0,000	0,005	0,002	0,002	0,003	0,000	0,002	0,000
16	0,000	0,000	0,000	0,015	0,047	0,028	0,019	0,000	0,012	0,000
17	0,000	0,000	0,000	0,526	2,164	0,700	1,236	0,054	1,823	0,000
18	0,000	0,000	0,000	0,028	0,063	0,030	0,006	0,000	0,049	0,000
19	0,000	0,000	0,000	0,222	0,716	0,413	0,469	0,004	0,288	0,000
20	0,000	0,000	0,000	0,067	0,385	0,134	0,261	0,016	0,633	0,000
21	0,019	0,000	0,000	0,056	0,173	0,015	0,062	0,000	0,013	0,000
22	0,011	0,000	0,000	2,124	3,039	1,116	0,336	0,000	0,083	0,000
23	0,006	0,000	0,000	0,643	0,359	0,160	0,187	0,000	0,308	0,000
24	0,086	0,000	0,000	0,197	0,280	0,044	0,058	0,000	0,027	0,000
25	0,260	0,000	0,000	0,137	0,441	0,631	0,909	0,000	0,136	0,000
26	1,011	0,000	0,005	0,180	0,545	0,657	0,675	0,005	0,531	0,000
27	0,153	0,000	0,003	0,253	0,719	0,174	0,104	0,000	0,084	0,000
28	0,071	0,000	0,004	0,625	0,885	1,231	0,801	0,000	0,004	0,000
29	0,054	0,000	0,001	0,080	4,033	0,674	0,730	0,000	0,001	0,000
30	0,024	0,000	0,000	0,864	1,446	0,130	0,145	0,000	0,012	0,000
31	0,003	0,000	0,000	0,048	0,097	0,065	0,077	0,000	0,051	0,000
32	0,001	0,000	0,000	0,058	0,090	0,041	0,057	0,001	0,061	0,000
33	0,001	0,000	0,000	0,034	0,062	0,046	0,024	0,000	0,130	0,000
34	0,011	0,000	0,000	0,271	0,018	0,702	0,020	0,000	0,210	0,000
35	0,000	0,000	0,000	0,046	0,064	0,106	0,080	0,000	0,054	0,000
36	0,036	0,000	0,000	0,108	0,153	0,141	0,045	0,000	0,074	0,000
37	0,025	0,000	0,000	0,106	0,048	0,029	0,091	0,001	0,059	0,000
38	0,143	0,000	0,006	0,046	0,044	0,079	0,079	0,000	0,000	0,000
39	0,108	0,000	0,000	0,055	0,116	0,075	0,043	0,000	0,003	0,000

40	0,133	0,000	0,000	1,469	3,729	1,387	0,509	0,000	0,100	0,000
41	0,013	0,000	0,000	0,160	0,561	0,054	0,113	0,000	0,002	0,000
42	0,001	0,000	0,000	0,031	0,877	0,007	0,058	0,000	0,000	0,000
43	0,001	0,000	0,000	0,468	0,736	0,616	0,003	0,000	0,001	0,000
44	0,000	0,000	0,000	0,220	0,131	0,083	0,009	0,000	0,000	0,000
45	0,000	0,000	0,000	0,751	0,320	0,214	0,003	0,000	0,000	0,000
46	0,000	0,000	0,000	0,160	0,207	0,074	0,024	0,000	0,000	0,000
47	0,001	0,000	0,005	1,559	1,712	0,531	0,316	0,000	0,000	0,000
48	0,001	0,000	0,007	1,222	5,243	0,695	0,002	0,000	0,000	0,000
49	0,001	0,000	0,021	0,100	0,339	0,196	0,023	0,000	0,049	0,000
50	0,001	0,000	0,028	0,344	0,793	1,671	0,001	0,000	0,009	0,000
51	0,000	0,000	0,022	0,114	0,117	0,088	0,018	0,000	0,077	0,000
52	0,847	0,000	0,001	0,430	0,338	0,170	0,752	0,000	0,013	0,000
53	1,708	0,000	0,000	1,130	2,552	1,404	1,740	0,000	0,188	0,000
54	21,342	0,000	0,000	0,578	0,993	0,478	0,387	0,000	0,458	0,000
55	0,086	0,000	0,000	1,705	0,180	0,816	0,401	0,000	0,050	0,000
56	0,654	0,000	0,000	0,354	5,071	0,972	1,799	0,000	0,139	0,000
57	0,140	0,000	0,000	0,042	0,278	0,189	0,126	0,000	0,180	0,000
58	0,521	0,000	0,002	0,005	0,001	0,002	0,000	0,000	0,001	0,000
59	0,093	0,000	0,022	0,006	0,003	0,003	0,000	0,003	0,000	0,000
60	0,006	0,000	0,001	0,011	0,010	0,015	0,001	0,025	0,004	0,000
61	0,001	0,000	0,000	0,306	0,201	0,179	0,013	0,051	0,042	0,000
62	0,006	0,000	0,001	0,126	0,195	0,210	0,123	0,022	0,529	0,000
63	0,010	0,000	0,028	0,209	0,367	0,166	0,104	0,001	0,076	0,000
64	0,132	0,000	0,000	0,189	0,426	0,064	0,000	0,000	0,001	0,000
65	0,060	0,000	0,003	0,011	0,012	0,012	0,002	0,000	0,014	0,000
66	0,019	0,000	0,000	0,926	2,007	0,173	0,094	0,004	0,160	0,000
67	0,147	0,000	0,019	1,977	2,936	0,652	1,090	0,000	1,359	0,000
68	0,018	0,000	0,043	0,946	1,153	1,143	0,066	0,000	0,006	0,000
69	0,071	0,000	0,012	0,278	0,500	0,025	0,006	0,000	0,000	0,000
70	0,061	0,000	0,003	4,029	4,386	3,385	2,374	0,030	1,417	0,000
71	0,003	0,000	0,000	0,577	1,503	0,753	0,383	0,002	0,774	0,000
72	0,011	0,000	0,000	0,111	0,731	0,065	0,046	0,000	0,033	0,000
73	0,015	0,000	0,000	0,125	0,814	0,214	0,154	0,000	0,159	0,000
74	0,008	0,000	0,000	0,308	0,530	0,582	0,163	0,002	0,222	0,000
75	0,013	0,000	0,000	0,429	0,983	0,103	0,011	0,000	0,000	0,000
76	0,023	0,000	0,000	0,722	0,756	0,097	0,000	0,000	0,087	0,000
77	0,258	0,000	0,000	0,805	2,079	0,442	0,133	0,003	0,290	0,000
78	0,007	0,000	0,000	0,810	0,556	0,323	0,304	0,003	0,668	0,000
79	0,003	0,000	0,000	3,416	4,468	0,723	0,470	0,006	0,205	0,000
80	0,131	0,000	0,000	0,099	0,051	0,048	0,014	0,000	0,002	0,000
81	0,035	0,000	0,000	0,615	1,399	0,187	0,245	0,004	0,247	0,000
82	0,106	0,000	0,000	0,493	0,886	0,635	0,678	0,000	0,350	0,000
83	0,003	0,000	0,000	1,417	8,188	0,448	1,293	0,006	0,276	0,000

84	0,009	0,000	0,000	1,351	2,433	0,444	0,020	0,000	0,001	0,000
85	0,001	0,000	0,000	0,472	1,039	0,016	0,012	0,000	0,000	0,000
86	0,010	0,000	0,000	0,395	0,929	0,042	0,000	0,000	0,000	0,000
87	0,006	0,000	0,000	0,437	1,334	0,026	0,000	0,000	0,000	0,000
88	0,004	0,000	0,000	0,009	0,019	0,017	0,012	0,000	0,014	0,000
89	0,121	0,000	0,001	1,980	2,747	2,200	4,014	0,000	1,071	0,000
90	0,024	0,000	0,008	4,395	3,626	1,150	1,931	0,164	2,522	0,000
91	0,012	0,000	0,007	1,125	3,002	0,482	0,194	0,000	0,055	0,000
92	0,007	0,000	0,039	0,352	0,649	0,318	0,156	0,000	0,229	0,000
93	0,003	0,000	0,013	1,102	1,444	0,378	0,797	0,000	0,459	0,000
94	0,005	0,000	0,001	0,918	6,494	1,549	1,075	0,000	0,923	0,000
95	0,909	0,000	0,006	1,426	2,234	3,586	4,397	0,000	0,893	0,000
96	0,040	0,000	0,001	0,822	2,269	1,410	1,936	0,000	0,747	0,000
97	0,001	0,000	0,000	0,012	0,031	0,003	0,003	0,000	0,002	0,000
98	0,000	0,000	0,000	0,005	0,058	0,005	0,002	0,000	0,000	0,000
99	0,000	0,000	0,000	0,005	2,363	0,112	0,190	0,000	0,007	0,000
100	0,007	0,000	0,000	3,785	2,891	0,750	0,365	0,013	0,718	0,000
101	0,001	0,000	0,000	0,762	0,987	0,304	0,391	0,003	0,581	0,000
102	0,586	0,000	0,000	1,232	2,560	0,498	0,212	0,002	0,179	0,000
103	0,036	0,000	0,000	0,627	0,852	0,364	0,003	0,000	0,116	0,000
104	0,026	0,000	0,000	0,813	0,721	0,201	0,013	0,000	0,003	0,000
105	0,007	0,000	0,000	0,274	0,974	0,289	0,209	0,000	0,068	0,000
106	0,002	0,000	0,000	0,237	0,725	0,361	0,309	0,000	0,200	0,000
107	0,000	0,000	0,000	0,118	0,385	0,488	0,001	0,000	0,011	0,000
108	0,000	0,000	0,000	1,245	3,028	1,256	0,089	0,004	0,404	0,000
109	0,000	0,000	0,000	1,005	0,899	0,467	0,003	0,000	0,047	0,000
110	0,001	0,000	0,000	1,254	2,360	0,340	0,055	0,000	0,000	0,000
111	0,000	0,000	0,000	2,989	3,183	0,928	0,174	0,013	0,685	0,000
112	0,000	0,000	0,000	0,908	0,220	0,138	0,053	0,000	0,053	0,000
113	0,000	0,000	0,000	0,452	1,107	0,379	0,209	0,017	0,456	0,000
114	0,003	0,000	0,000	0,729	8,091	0,575	0,315	0,031	1,657	0,000
115	0,003	0,000	0,000	0,022	0,050	0,069	0,020	0,000	0,036	0,000
116	0,000	0,000	0,000	0,035	0,040	0,005	0,000	0,000	0,001	0,000
117	0,069	0,000	0,000	1,264	2,337	0,609	0,713	0,000	0,110	0,000
118	0,110	0,000	0,000	1,783	0,312	0,071	0,004	0,000	0,101	0,000
119	0,064	0,000	0,014	1,189	2,024	2,200	0,084	0,000	0,001	0,000
120	0,032	0,000	0,000	0,114	0,160	0,267	0,000	0,005	0,145	0,000
121	0,034	0,000	0,000	0,135	0,379	0,261	0,137	0,000	0,016	0,000
122	0,084	0,000	0,000	1,471	1,482	0,371	0,055	0,000	0,027	0,000
123	0,242	0,000	0,000	0,155	0,180	0,132	0,102	0,001	0,111	0,000
124	0,044	0,000	0,000	1,590	2,831	0,261	0,325	0,000	0,012	0,000
125	0,105	0,000	0,000	0,119	0,293	0,065	0,126	0,002	0,096	0,000
126	0,014	0,000	0,000	0,979	3,825	2,560	0,397	0,004	0,282	0,000
127	0,000	0,000	0,000	0,049	0,197	0,021	0,016	0,001	0,070	0,000

128	0,000	0,000	0,000	0,493	2,785	0,803	0,024	0,000	0,761	0,000
129	0,826	0,000	0,000	0,019	0,684	0,941	1,031	0,001	0,065	0,000
130	21,051	0,000	0,001	0,083	3,569	0,242	0,074	0,000	0,023	0,000
131	42,767	0,000	0,038	0,065	0,504	0,104	0,315	0,000	0,053	0,000
132	3,948	0,000	0,026	0,024	16,183	5,026	7,171	0,005	0,279	0,000
133	1,475	0,000	0,001	0,779	3,356	1,083	1,891	0,002	0,152	0,000
134	0,693	0,000	0,001	0,860	2,990	1,032	0,626	0,003	0,252	0,000
135	3,813	0,000	0,007	3,644	1,374	0,498	1,244	0,001	0,418	0,000
136	0,014	0,000	0,000	0,012	7,389	1,151	1,121	0,007	0,409	0,000
137	0,221	0,000	0,000	0,008	0,538	0,025	0,163	0,000	0,010	0,000
138	1,364	0,000	0,005	0,684	1,002	0,317	1,161	0,000	0,076	0,000
139	4,874	0,000	0,009	0,136	1,344	0,077	0,490	0,001	0,112	0,000
140	0,001	0,000	0,000	0,055	0,197	0,081	0,024	0,001	0,034	0,000
141	0,000	0,000	0,000	0,015	0,019	0,011	0,003	0,000	0,014	0,000
142	0,000	0,000	0,000	0,275	1,334	0,186	0,026	0,000	0,098	0,000
143	0,001	0,000	0,000	0,008	0,009	0,007	0,000	0,000	0,000	0,000
144	0,000	0,000	0,000	0,046	0,163	0,018	0,000	0,000	0,000	0,000
145	0,001	0,000	0,000	0,015	0,012	0,027	0,032	0,000	0,001	0,000
146	0,003	0,000	0,000	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
147	0,186	0,000	0,000	0,005	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
148	0,000	0,000	0,000	0,011	0,014	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000
149	0,002	0,000	0,000	0,006	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
150	0,033	0,000	0,000	0,506	0,504	0,111	0,022	0,000	0,000	0,000
151	2,129	0,000	0,000	0,169	0,655	0,040	0,000	0,000	0,025	0,000
152	1,332	0,000	0,000	0,601	1,636	0,257	0,235	0,001	0,085	0,000
153	0,074	0,000	0,000	0,879	0,764	0,443	0,349	0,002	0,329	0,000
154	0,047	0,000	0,000	2,270	5,044	0,642	0,287	0,006	0,287	0,000
155	0,064	0,000	0,000	0,617	1,115	0,122	0,021	0,000	0,000	0,000
156	0,035	0,000	0,000	0,798	0,438	0,083	0,002	0,000	0,048	0,000
157	2,403	0,000	0,000	0,847	2,008	0,416	0,200	0,008	0,477	0,000
158	0,092	0,000	0,000	2,034	0,589	0,460	0,304	0,003	0,291	0,000
159	0,058	0,000	0,000	5,565	2,823	0,607	0,441	0,010	0,527	0,000
160	0,024	0,000	0,000	0,756	0,881	0,477	0,023	0,000	0,000	0,000
161	0,661	0,000	0,000	0,301	0,549	0,135	0,001	0,000	0,038	0,000
162	2,206	0,000	0,000	0,787	2,342	0,530	0,156	0,004	0,277	0,000
163	0,017	0,000	0,000	1,388	0,818	0,399	0,407	0,003	0,498	0,000
164	0,002	0,000	0,000	3,549	8,412	0,737	0,392	0,008	0,400	0,000
165	0,000	0,000	0,000	0,962	1,895	1,007	0,634	0,000	0,000	0,000
166	0,000	0,000	0,000	0,006	2,169	2,035	0,069	0,000	0,000	0,000
167	0,000	0,000	0,000	0,005	1,016	0,502	0,048	0,000	0,000	0,000
168	0,000	0,000	0,000	0,005	1,142	0,375	0,261	0,000	0,000	0,000
169	0,000	0,000	0,000	0,005	1,110	0,796	0,487	0,000	0,000	0,000
170	0,000	0,000	0,000	0,008	2,868	0,757	0,482	0,000	0,003	0,000