SÄHKÖMAGNEETTISET KENTÄT: TYÖTERVEYDEN JA -TURVALLISUUDEN HAASTEET NYT JA TULEVAISUUDESSA

Johdanto

Näkymättömiä, ionisoimattomia sähkömagneettisia kenttiä, joita synnyttävät esimerkiksi matkapuhelimet, radioantennit, langattomat WLAN-laitteet ja voimajohdot, on kaikkialla nykypäivän yhteiskunnassa. Sähkömagneettisten kenttien lähteiden määrä ja kirjo kodeissa, julkisissa paikoissa ja työpaikoilla lisääntyy koko ajan. Viime vuosina on syntynyt sähkömagneettisiin kenttiin perustuvia uusia teknologioita, kuten matkaviestintätekniikoiden uusin eli viides sukupolvi (ns. 5G-tekniikka), langaton tehonsiirto ja useita lääketieteellisiä sovelluksia. Langattoman teknologian kehityksen katsotaankin olevan keskeinen tekijä työn digitalisaatiossa[1] ja teollisuus 5.0:ssä (Euroopan komissio, 2022). Nämä edistysaskeleet vaikuttavat moniin työn tulevaisuuden kannalta tärkeisiin osa-alueisiin[2], kuten esineiden internetiin, hybridityöhön ja virtuaalisiin työympäristöihin. Niillä on keskeinen rooli myös autonomisen ajamisen, miehittämättömien ilma-alusten (UAV), antureiden ja kehittyneen robotiikan alalla. Koska sähkömagneettisten kenttien lähteitä on kaikkialla, niitä koskeva keskustelu on herättänyt kasvavaa kiinnostusta sekä tiedeyhteisössä että suuressa yleisössä. Näitä lähteitä on otettu nopeasti käyttöön, ja niitä käytetään yhä enemmän työympäristöissä. Tämän vuoksi Euroopan komissio korosti äskettäin, että on tärkeää analysoida työntekijöiden altistumista sähkömagneettisille kentille ja siitä mahdollisesti aiheutuvia haitallisia terveysvaikutuksia (Euroopan komissio, 2021).

Tässä asiakirjassa kuvataan sähkömagneettisten kenttien ammatillisten käyttökohteiden nykyistä ja tulevaa kehityskulkua ja niiden mahdollisia vaikutuksia työterveyteen ja -turvallisuuteen. Se pyrkii myös nostamaan esiin puutteita tiedossa (turvallisista) altistumistasoista. Lisäksi asiakirjassa annetaan työntekijöille ja työnantajille, työsuojelun ammattilaisille ja päätöksentekijöille suosituksia siitä, miten sähkömagneettisille kentille altistumiseen liittyviä riskejä voidaan minimoida. EU-OSHAn aikaisemmista julkaisuista löytyy tietoa sähkömagneettisten kenttien käyttöön liittyvistä epäsuorista työterveys- ja työturvallisuusriskeistä sekä hyödyistä[1, 2].

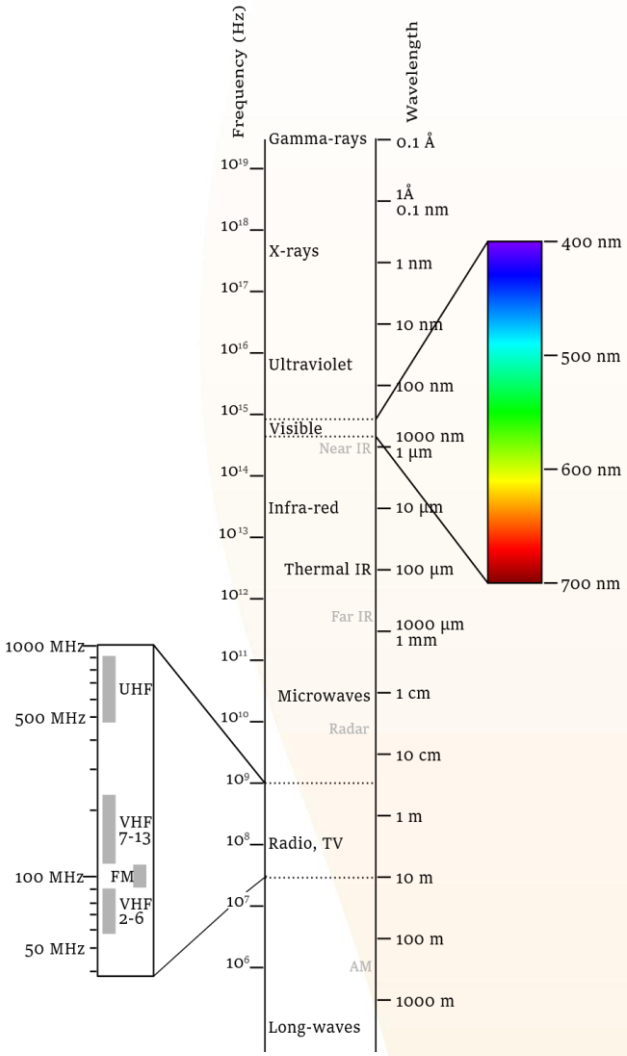
Mitä sähkömagneettiset kentät ovat?

Sähkömagneettiset kentät syntyvät liikkuvien sähkövarauksien vaikutuksesta ja ilmenevät valon nopeudella värähtelevien sähköisten ja magneettisten aaltojen yhdistelmänä. Sähkökenttä syntyy voimasta, jota varautuneet hiukkaset kohdistavat toisiinsa. Magneettikenttä syntyy liikkuvista varauksista (sähkövirroista). Sähkömagneettiset kentät luokitellaan niiden taajuuden tai aallonpituuden, signaalin ominaisuuksien ja voimakkuuden perusteella. Taajuus (hertsi Hz) tarkoittaa montako kertaa värähtelyjakso toistuu sekunnissa. Aallonpituus on aallon kahden peräkkäisen huipun välinen etäisyys metreinä. Signaalin ominaisuuksilla tarkoitetaan esimerkiksi jatkuvia sinimuotoisia tai pulssimaisia sähkömagneettisia kenttiä. Voimakkuus on aallon energia, joka korreloi värähtelyn amplitudin (huipun korkeuden) kanssa. Altistumistaso on tulevan aallon voimakkuus kehon osassa ja on yleensä aika-, volyymi- ja/tai alueen mukaan painotettu tietyn ajanjakson, pinta-alan ja/tai volyymin osalta. Tämä taso mitataan tehotiheytenä (wattia neliömetriä kohti) tai sähkökentän voimakkuutena (volttia metriä kohti). Taajuus ja aallonpituus ovat kääntäen verrannolliset (kaavio 1): aallonpituus (metreinä) voidaan laskea jakamalla valon nopeus (30 miljoonaa metriä sekunnissa tyhjiössä) taajuudella (hertseinä, Hz). Kaukokentässä yli 10 aallonpituuden etäisyydellä lähteestä tyypillisesti sähkökenttä ja magneettikenttä ovat kohtisuorassa toisiaan vastaan.

[1] Ks. https://osha.europa.eu/en/themes/digitalisation-work

[2] Ks. EU-OSHAn tausta-asiakirjat, joissa käsitellään työn tulevaisuuteen liittyviä aiheita, osoitteessa: https://osha.europa.eu/en/publications?f%5B0%5D=facet_tags%3A51&f%5B1%5D=publication_type%3A9&search_api_fulltext=&search_api_language_1%5B0%5D=en&sort_by=field_publication_date

Kaavio 1: Sähkömagneettinen spektri



Tässä kaaviossa ei kuvata erittäin matalan taajuuden (ELF) aluetta ja osaa välitaajuuden (IF) alueesta (1 Hz – 100 kHz).

Lyhenteet: MHz = megahertsi, Hz on taajuuden yksikkö, joka ilmaisee jaksojen/siniaaltojen lukumäärän sekunnissa; UHF = ultrakorkea taajuus, VHF = hyvin korkea taajuus; AM = amplitudimodulaatio; FM = taajuusmodulaatio; IR = infrapuna; m = metri, cm = senttimetri; mm = millimetri; µm = mikrometri, nm = nanometri, Å = ångstrom = 0,1 nm.

Lähde: Wikimedia Commons [Creative Commons Attribution-ShareAlike 2.5 Generic license]

On olemassa sekä luonnossa esiintyviä että ihmisen toiminnan aiheuttamia sähkömagneettisen kentän lähteitä. Yleisesti ottaen ihmisen toiminnan aiheuttamien lähteiden sähkömagneettisia kenttiä on käsitelty joko tiedon tai energian siirtämiseksi. Käyttökohteet ovat kuitenkin yhtä moninaisia kuin niiden taajuudet, jotka vaihtelevat sähköntuotannossa käytettävistä erittäin matalista taajuuksista (ELF, taajuudet 1–300 Hz) välitaajuuksiin (IF, taajuudet välillä 300 Hz – 10 MHz, jossa 1 MHz = 10^6 Hz; kaavio 1) ja radiotaajuuksiin (RF, taajuudet välillä 10 MHz – 300 GHz, jossa 1 GHz = 10^9 Hz; kaavio 1), joita käytetään tutka- ja matkaviestinsovelluksissa.

Tässä asiakirjassa tarkastellaan vain sähkömagneettisia kenttiä, joiden taajuus on enintään muutama terahertsi (1 THz = 10^{12} Hz, kaavio 1) eli ns. radioaaltoja (ITU, 2020), jotka sijaitsevat näkyvän valon alueen alapuolella ja kuuluvat selvästi spektrin siihen osaan, jota pidetään ionisoimattomana. Tällaisella säteilyllä ei ole riittävästi energiaa irrottaa tiukasti sitoutuneita elektroneja atomeista tai rikkoa molekyylejä (mikä voi aiheuttaa terveyteen kohdistuvia vaikutuksia). Tässä asiakirjassa ei käsitellä infrapunasäteilyä, näkyvää valoa, UV-säteilyä, röntgensäteitä eikä gammasäteitä.

Uusimmat työpaikkojen sähkömagneettisia kenttiä koskevat kehityssuuntaukset

Matkaviestinverkot

Viidennen sukupolven televiestintäverkko (5G) toimii aiemmin käyttämättömillä taajuuksilla, joista jotkin ovat huomattavasti korkeampia kuin aiempien sukupolvien televiestintäverkoissa käytetyt taajuudet (jopa 71 GHz (1 GHz = 10^9 Hz), kaavio 1). Tämän ansiosta yksi ja sama tukiasema pystyy palvelemaan monin verroin enemmän käyttäjiä kuin ennen. Useimmissa Euroopan maissa sääntelyviranomaiset ovat jo jakaneet ja huutokaupanneet uusia taajuuksia.

5G-verkkojen maailmanlaajuinen käyttöönotto on herättänyt julkista huolta epäillyistä terveysriskeistä johtuen siitä, että sähkömagneettisille kentille altistumisen oletetaan lisääntyneen yleisesti, aiempaa korkeampien taajuuksien käytöstä (joiden mahdollisia biologisia vaikutuksia ei ole vielä tutkittu perusteellisesti), vääristä tiedoista ja jopa infrastruktuuriin kohdistetusta ilkivallasta (ITU, 2021). Vaikka 5G-verkkojen käyttöönotto voikin lisätä kokonaisaltistumista sähkömagneettisille kentille, tämän tilanteen odotetaan kestävän niin kauan kuin edellisen sukupolven verkot ovat toiminnassa (SCHEER, 2023a). Horisontti Eurooppa -puiteohjelmasta on rahoitettu neljä kansainvälistä tutkimusta, joiden tavoitteena on hälventää kansalaisten huolta 5G-verkosta ja seurata sen todellista vaikutusta kokonaisaltistumiseen radiotaajuisille sähkömagneettisille kentille. Lisäksi tutkimuksissa arvioidaan 5G-verkon käyttöönoton terveys- ja ympäristövaikutuksia työympäristöissä[3]. Nämä hankkeet aloitettiin vuonna 2022, ja ne saadaan päätökseen vuosina 2025–2027.

Korkeammilla taajuuksilla tarvitaan yhä enemmän tukiasemia, jotta laadukkaita langattomia yhteyksiä voidaan ylläpitää. Siksi käytetään piensolutukiasemia, joita asennetaan vain muutaman sadan metrin välein (SCHEER, 2023a). Piensoluja käytetään yhä enemmän myös yksityis- ja yritysverkoissa[4]. Niitä asennetaan myös esimerkiksi suuriin tehtaisiin, tuotantohalleihin, lentoasemille ja satamiin ja kampusalueille.

5G-verkon siirtotekniikoista ja korkeammista taajuuksista koostuva yhdistelmä ja samanaikainen verkon tihentäminen mahdollistaa sellaisen langattoman viestinnän, jossa tiedonkäsittelykyky on (erittäin) suuri ja vasteaika (erittäin) lyhyt. Tämän vuoksi se on keskeinen tekijä työn digitalisoinnissa ja monissa tulevaisuuden työelämän sovelluksissa. On kuitenkin arvioitu, että 5G-verkon mahdollistamat tekniset innovaatiot saavuttavat täyden tehonsa vasta seuraavan sukupolven 6G-verkossa, joka on suunniteltu otettavaksi käyttöön vuonna 2030. EU:n Hexa-X[5] -lippulaivahankkeessa on jopa ennustettu, että 6G-verkosta tulee yleiskäyttöinen teknologia, eikä pelkästään mahdollistava teknologia. 6G-verkko mahdollistaa täysin immersiivisen etäläsnäolon, kuten metaversumin, massiiviset kytkennät (ts. reaaliaikaiset koontinäytöt sekä laitteiden ja tuotantolaitosten virtuaaliset mallit), etäterveydenhuollon palvelut kaikille, yhteistyörobotit (ts. ihmisiä tehtävissään tukevat robotit) sekä esineiden internetin täyden integroinnin suurella määrällä keholla ja sen ulkopuolella toimivia antureita. Tämä tarkoittaa, että 6G-verkon odotetaan vaikuttavan merkittävästi yhteiskunnan ja teollisuuden muutoksiin (teollisuus 5.0). Tätä varten 6G-verkko käyttää huomattavasti korkeampia taajuuksia kuin 5G-verkko (>100 GHz). Tämä mahdollistaa erittäin suuren välityskyvyn lisäksi paikannuksen senttimetrin tarkkuudella.

Energiasiirtymä

Meneillään oleva energiasiirtymä uusiutuviin energialähteisiin edellyttää sähköverkon laajentamista ja parantamista (esim. suurjännitelinjojen ja vaihtosuuntaajajärjestelmien käyttöönottoa) sekä mahdollisuutta seurata hetkellistä energiankulutusta yksilötasolla nykyistä paremmin (esim. langattomien anturiverkkojen eli ns. älymittareiden avulla). Altistumisriskit, jotka kohdistuvat esimerkiksi rakentajiin, sähköasentajiin, huoltomekaanikkoihin ja uuden energiainfrastruktuurin rakentamisen ja ylläpidon parissa työskenteleviin työntekijöihin, tunnetaan hyvin. Myös voimalaitosten työntekijät vaikuttavat olevan hyvin tietoisia riskeistä ja siitä, miten he voivat suojata itseään (Stege ym., 2020). Sen sijaan voimalaitosten alihankkijat eivät välttämättä tiedä riittävän hyvin, että terveys-, turvallisuus- ja ympäristöasioista vastaavat toimihenkilöt voivat perehdyttää heitä näihin asioihin. Lisäksi älymittarit vaikuttavat yleensä vain vähän kokonaisaltistumiseen radiotaajuisille sähkömagneettisille kentille,

[3] Ks. https://www.emf-health-cluster.eu/

[4] Yksityiset ja yritysten 5G-verkot eivät ole julkisesti käytettävissä, ja ne ovat erittäin turvallisia.

[5] Ks. https://hexa-x.eu/ Euroopan komissio on käynnistänyt useita lippulaivahankkeita, joilla pyritään vastaamaan merkittäviin tieteellisiin ja teknologisiin haasteisiin ja edistämään innovointia EU:ssa: https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/activities/flagships

koska niiden tiedonsiirto on vähäistä ja koska ne sijaitsevat tietyissä tarkkaan määritetyissä paikoissa (Aerts ym., 2019). Tätä nykyä (teollisissa) kuumennusjärjestelmissä siirrytään yhä enemmän hiilivetypohjaisista polttoaineista sähköiseen induktioon. Siinä hyödynnetään pientaajuisia magneettikentän lähteitä, jotka voivat olla voimakkaita mutta jotka kuitenkin voidaan pitää selvästi altistuksen raja-arvojen alapuolella (Euroopan komissio, 2015a, b).

Langaton tehonsiirto

Langattomasta tehonsiirrosta on tullut johtava tekniikka henkilökohtaisten laitteiden (esim. älypuhelinten ja kannettavien tietokoneiden sekä sähkötyökalujen) lataamisessa. Sen hyödyntämistä tutkitaan myös terveydenhuollon laitteiden (esim. sydämentahdistimien), sähköajoneuvojen, droonien ja muiden teollisuuden autonomisten ajoneuvojen/robottien osalta, tai se on jo otettu niissä käyttöön. Langattomassa tehonsiirrossa käytetään joko suunnattuja radiotaajuisia sähkömagneettisia kenttiä (säteitä) tai induktiivisia tai resonanssitekniikoita, jotka synnyttävät sähkömagneettisia kenttiä 10 kHz:n – 50 MHz:n taajuuksilla (ETSI, 2019). Ensin mainitussa tapauksessa ilman kautta siirtyvä energia mahdollistaa laitteiden, koneiden, robottien ja droonien keskeytymättömän toiminnan. Työympäristöissä langatonta tehonsiirtoa käytetään pääasiassa huolto- ja korjausteollisuudessa, valmistusteollisuudessa, kuljetus- ja logistiikka-alalla sekä kaikilla aloilla, joiden töissä käytetään (liikuteltavaa) robotiikkaa. Ajoneuvojen langaton lataus otetaan käyttöön myös laajemmassa mittakaavassa, kun se integroidaan infrastruktuuriin. Autoja, busseja ja kuorma-autoja, ladataan jo nyt parkkipaikoilla ja bussipysäkeillä induktiolatauksella ns. induktiosilmukoiden[6] avulla. Kenties jo lähitulevaisuudessa induktiosilmukoita upotetaan myös teihin, jolloin ajoneuvoja voidaan ladata jatkuvasti niiden ollessa liikkeessä. Viimeaikaiset tutkimukset – vaikka niitä ei olekaan suoritettu työympäristöissä – osoittavat, että langattomien tehonsiirtojärjestelmien läheisyydessä altistuminen jää altistumisen raja-arvoja vähäisemmäksi (Stam, 2022). Järjestelmien tehon kasvattaminen tulevaisuudessa (esimerkiksi suurten sähköajoneuvojen lataamiseksi) voi kuitenkin johtaa altistumisen lisääntymiseen erityisesti työympäristöissä.

Terveydenhuolto

Terveydenhuollossa sähkömagneettisten kenttien käyttösovellukset kehittyvät yleensä yhä tarkemmiksi ja tehokkaammiksi menetelmiksi, ja niissä käytetään usein korkeampia taajuuksia, suunnattuja säteitä ja/tai suurempaa (paikallista) tehoa. Diagnostiikkalaitteiden saralla uutuuksia ovat muun muassa magneettisiin hiukkasiin perustuva MPI-kuvantaminen (5–50 kHz) (Billings ym., 2021), joka voi merkittävästi lisätä hoitotyöntekijöiden altistumista, tutkalla tehtävä pintakuvantaminen (1–60 GHz) (de Waard-Schalkx ym., 2015) ja elintoimintojen seuranta (jopa 120 GHz) (Cardilo ja Caddemi, 2020) sekä terahertsitaajuudet kuvantamisessa, spektroskopiassa ja hoitokäytössä (Amini ym., 2021). Myös uudet kosmeettiset hoidot, joissa käytetään pulssitettuja matalataajuisia (15 Hz) tai radiotaajuisia sähkömagneettisia kenttiä (27 MHz – 5,8 GHz), voivat aiheuttaa riskejä myös terveydenhuollon työntekijöille (Stam, 2022).

Turvallisuus

Terahertsi- ja millimetrialueen taajuuksia käytetään myös turva- ja tarkastusskannauslaitteissa, kuten vartaloskannereissa lentoasemilla, postin käyttämissä skannauslaitteissa ja rikkomattomissa aineenkoetuslaitteissa (NDT). Näiden laitteiden voimakkuus voi vaihdella huomattavasti. Turvaskannereiden kenttien tasot on voimakkuudeltaan rajattu altistumisen raja-arvoja pienemmiksi, koska niille altistuu suuri määrä ihmisiä. Terveydenhuollon ja teollisuuden laitteissa voidaan käyttää suurempia voimakkuuksia, sillä niitä saavat käyttää vain kyseisten laitteiden käyttöön koulutetut työntekijät.

Sähkömagneettisten kenttien vaikutukset työterveyteen ja -turvallisuuteen

Haitalliset terveysvaikutukset sekä sähkömagneettisille kentille altistumista koskeva sääntely ja lainsäädäntö

Sähkömagneettisten kenttien terveysvaikutuksia on tutkittu laajasti, mutta altistumista koskevissa ohjeissa keskitytään pääasiassa akuutteihin lyhytaikaisiin vaikutuksiin. Nämä vaikutukset määräytyvät

[6] Induktiosilmukat siirtävät energiaa langattomasti sähkömagneettisen induktion avulla. Tätä menetelmää käytetään myös laajalti kodinkoneissa, kuten sähköhammasharjoissa ja älypuhelinten langattomissa latausalustoissa.

sähkömagneettisten kenttien taajuuden ja voimakkuuden sekä altistumisen keston mukaan. Sellaisia matalataajuiselle sähkömagneettiselle kentälle altistumisen vaikutuksia, jotka ylittävät työterveyteen ja -turvallisuuteen liittyvät altistumisrajat, ovat pinnan sähkövarauksen aistiminen, hermo- ja lihaskudoksen suora stimulaatio sekä fosfeeni-ilmiö (eli valonvälähdykset) verkkokalvolla. Korkeammilla taajuuksilla (100 kHz – 300 GHz, kaavio 1) hermostimulaation vaikutukset ja solukalvojen läpäisykyvyn muutokset (erittäin suuren altistumistason yhteydessä) vähenevät, jolloin paikallisen kudoksen ja kehon lämpötila voi nousta ja aiheuttaa ns. lämpövaikutuksia. Lisäksi tiedetään, että sähkömagneettiset kentät voivat tuottaa myös välillisiä vaikutuksia, jotka voivat aiheuttaa turvallisuusriskejä, kuten kosketusvirtoja, kipinäpurkauksia ja sähkömagneettisia häiriöitä lääketieteellisiin implantteihin tai niiden kuumenemista.

Kaikki nämä vaikutukset tunnetaan hyvin, ja niihin perustuvat myös altistumista koskevat ohjeet, joita kansainväliset elimet, kuten kansainvälisen ionisoimattoman säteilyn komitea (ICNIRP), ovat laatineet. Se on koonnut tieteellistä näyttöä sähkömagneettisille kentille altistumisen haitallisista terveysvaikutuksista kolmeen julkaisuun, joista yksi käsittelee staattisia magneettikenttiä (ICNIRP, 2009). Toinen julkaisu käsittelee matalataajuusaluetta (eli 1 Hz – 10 MHz) (ICNIRP, 2010), jonka osalta magneettikenttiä ja sähkökenttiä on käsiteltävä erikseen, koska ne eivät muodosta yhtä sähkömagneettista kenttää kuten kaukokentässä. Kolmannessa julkaisussa käsitellään taajuusaluetta 100 kHz – 300 GHz (ICNIRP, 2020). Tämän tieteellisen näytön perusteella ICNIRP on määrittänyt altistumisrajat eli ns. perusrajoitukset ja vertailutasot. Vertailutasot on johdettu perusrajoituksista. Niiden antama suojan taso on perusrajoituksia vastaava, mutta niitä on paljon helpompi arvioida työpaikoilla. On syytä huomata, että altistumisrajat määritetään taajuuden mukaan, ja ICNIRP on määrittänyt painotusmenetelmän sellaisia tapauksia varten, joissa altistutaan useille lähteille samanaikaisesti tietyssä paikassa samalla tai muulla taajuuskaistalla. Jotta voidaan ottaa huomioon tieteellinen epävarmuus (myös väestön lämpöfysiologian sekä fyysisen aktiivisuuden ja ympäristöolosuhteiden vaihtelevuus), perusrajoituksiin on ensin sovellettu muita vähennyskertoimia. Työperäisessä altistumisessa nämä kertoimet ovat viisinkertaisesti pienemmät kuin väestön altistumisessa, sillä väestön katsotaan olevan iän ja terveydentilan osalta vaihtelevampi eikä tunne mahdollisia riskejä tai kykene hallitsemaan niitä (ICNIRP, 2020). ICNIRPin vertailutasojen ja/ perusrajoitusten noudattamisen katsotaan riittävän suojaamaan todetuilta haitallisilta terveysvaikutuksilta.

Sähkömagneettisille kentille altistumista koskevat EU:n ohjeet ja lainsäädäntö perustuvat ICNIRPin ohjeisiin, ja ne koostuvat vuoden 1999 Eurooppa-neuvoston väestön sähkömagneettisille kentille altistumisesta antamasta suosituksesta 1999/519/EY ja työperäisestä altistumisesta vuonna 2013 annetusta direktiivistä 2013/35/EU, joka on pantu täytäntöön kaikissa jäsenvaltioissa vuodesta 2017 lähtien muutamin kansallisin muutoksin.

Useissa tutkimuksissa (esim. Rijs ja Stam, 2019) on tutkittu mahdollisia yhteyksiä pitkäaikaisen sähkömagneettisille kentille altistumisen ja erilaisten terveysongelmien, kuten syövän, lisääntymisongelmien, kehityksen viivästymisen ja hermostoa rappeuttavien sairauksien, välillä. Laajasta tutkimuksesta huolimatta tieteellinen näyttö ei vielä ole vakuuttavaa: joissakin tutkimuksissa on havaittu jonkinasteinen yhteys muttei tieteellisesti todistettuja syy-seuraussuhteita, kuten annos-vaste-suhdetta, kun taas toisissa tutkimuksissa ei ole havaittu merkitsevää yhteyttä (ICNIRP, 2020).

Sähkömagneettisille kentille altistuminen työpaikalla

Euroopan komissio on julkaissut kolme ohjeellista käytännön opasta (Euroopan komissio 2015a, 2015b, 2015c), joissa annetaan kattavaa tietoa työnantajille siitä, mitä niiden on tehtävä direktiivin 2013/35/EU noudattamiseksi. Oppaissa keskitytään työympäristöihin, joissa sähkömagneettisten kenttien voimakkuus voi olla suuri. Lisäksi viitteeksi on saatavilla useita altistumismatriiseja eri lähteille ja ammattiryhmille (Vila ym., 2017; Migault ym., 2019). Edellä kuvatut sähkömagneettisten kenttien käyttökohteiden uudet kehityssuuntaukset voivat kuitenkin lisätä tai muuttaa sähkömagneettisille kentille altistumista työympäristöissä seuraavasti:

- Matkapuhelinverkon tukiasemien suurempi tiheys, johtaa siihen, että yhä useammat ihmiset työskentelevät lähempänä televiestintäantenneja kuin aiemmin. Tilanne koskee yleisesti esimerkiksi kattoasentajia ja sähköasentajia, mutta myös työpaikkoja, joissa on omia langattomia verkkoja kuten yksityisiä tai yritysten matkapuhelin-, wlan- ja anturiverkkoja. Etenkin kehoanturit, jotka on tarkoitettu esimerkiksi henkilökohtaisen terveyden tai altistumisen seurantaan, voivat kuitenkin lisätä työntekijän paikallista altistumista sähkömagneettisille

kentille (ts. se rajoittuu kohtaan, johon anturi kiinnitetään kehossa). Näiden teknisten innovaatioiden odotetaan leviävän laajalle, eivätkä ne liity vain johonkin tiettyyn alaan.

- Langattomien tehonsiirtojärjestelmien käytön lisääntyminen voi lisätä altistumista sähkömagneettisille kentille (ks. kohta 3) kuljetus- ja logistiikka-aloilla, esimerkiksi linja-auto- ja kuorma-autoliikenteessä. Tämä koskee myös työpaikkoja, joissa henkilökohtaiset työkalut ja robotit tai miehittämättömät ilma-alukset (UAV) ladataan langattomasti samankaltaisilla alustoilla, joita käytetään matkapuhelinten latauksessa mutta jotka ovat niitä suurempia, sen sijaan että käytettäisiin latauskaapelilla tehtävää latausta.
- Sähkön lisääntyvä käyttö voi lisätä altistumista matalataajuisille magneettisille kentille (joita synnyttävät suurjännitteiset voimajohdot, vaihtosuuntaajat ja teolliset kuumennusprosessit, kuten induktiokuumennus) (SCHEER, 2023b).
- Koska sähkömagneettisiin kenttiin perustuvien sovellusten käyttö lääketieteen alalla kasvaa, yhä useammat lääketieteen ammattilaiset (myös muut kuin tekninen henkilökunta) voivat altistua sähkömagneettisille kentille laajalla taajuusalueella (Stam ja Yamaguchi-Sekino, 2017; Turuban, 2023).
- Yhä korkeampien taajuuksien käyttö – matkapuhelinverkkojen lisäksi myös lääketieteellisissä ja turvaskannaussovelluksissa – voi lisätä paikallista, joskin pinnallista altistumista, johon liittyvät riskit eivät ole vielä selviä.

Sähkömagneettisiin kenttiin liittyvien työterveys- ja työturvallisuusriskien ehkäiseminen

Direktiivin 2013/35/EU mukaan työnantajat ovat velvollisia arvioimaan kaikki työpaikalla sähkömagneettisille kentille altistumisesta johtuvat riskit ja toteuttamaan tarvittavia ehkäisytoimenpiteitä. Työnantajan on varmistettava, että direktiivin mukaisia raja-arvoja noudatetaan. Tämä toteutetaan ensivaiheessa saatavilla olevan tiedon perusteella. Tietoa on valmistajan jakamissa teknisissä kuvauksissa (esim. tieto siitä, täyttääkö tietty sovellus tuotteita koskevan unionin lainsäädännön vaatimukset, sillä siinä voidaan määrätä tiukemmat turvallisuustasot kuin direktiivissä 2013/35/EU säädetyt). Lisäksi tietoa löytyy lähde- ja ammattikohtaisista altistumismatriiseista (Vila ym., 2017; Migault ym., 2019), tapauskohtaisten arviointitutkimuksien avulla ja EU:n, kansallisten viranomaisten ja standardointielinten julkaisemista käytännön ohjeista. Esimerkiksi Euroopan komission julkaisuissa 2015a ja 2015b on luetteloja laitteista ja työpaikoista, jotka mahdollisesti edellyttävät **erityisiä riskinarviointeja**. Niissä annetaan myös ohjeita sähkömagneettisten kenttien aiheuttamien riskien arvioinnin tarpeesta riskeille erityisen alttiiden työntekijöiden osalta. Heitä ovat esimerkiksi henkilöt, jotka käyttävät aktiivisia lääkinnällisiä laitteita, kuten sydämentahdistimia (Modenese ja Gobba, 2021). Nämä tiedot eivät kuitenkaan välttämättä vielä riitä sen arvioimiseen, voidaanko sähkömagneettisten kenttien kehitteillä olevissa käyttökohteissa ja niihin liittyvissä työterveys- ja työturvallisuusriskeissä noudattaa altistumisen raja-arvoja. Tällöin on mitattava sähkömagneettisen kentän voimakkuuksia tai tehtävä annosmittauslaskelmia ja verrattava niitä lakisääteisiin raja-arvoihin ottaen huomioon kaikki niihin liittyvät epävarmuustekijät.

Jos raja-arvot ylittyvät, on ryhdyttävä suojaaviin ja ennaltaehkäiseviin toimenpiteisiin (esimerkkejä on Euroopan komission julkaisuissa 2015a ja 2015b). Koska sähkömagneettisen kentän voimakkuus pienenee nopeasti etäisyyden suhteen, kaikkein tehokkain keino vähentää altistumista on lisätä lähteen ja työntekijän välistä etäisyyttä. Tämä voidaan saavuttaa teknisillä ja organisatorisilla toimenpiteillä, kuten suojarakenteilla, opasteilla ja työohjeilla. Myös kotelointi on tehokas suojauskeino kaikissa sähkömagneettisten kenttien muodoissa lukuun ottamatta matalataajuisia magneettikenttiä. Tietoja sähkömagneettisille kentille altistumisen vähentämisestä on myös Euroopan komission ohjeissa (Euroopan komissio, 2015a), joissa käsitellään muun muassa työpisteiden suunnittelua sekä työvälineisiin ja -menetelmiin liittyviä määräyksiä. Esimerkiksi kelojen, muuntimien ja langattomien latausalustojen on oltava jo suunnittelultaan turvallisia, kun niitä pidetään etäällä työpisteistä. Suoraan lähetysantennien etupuolella ei saa oleskella.

Työterveyttä ja -turvallisuutta koskevat puutteet, tarpeet, painopisteet ja suositukset sähkömagneettisten kenttien osalta

Tieteellinen tutkimus

Yleisesti on pulaa sellaisista tutkimuksista, joissa käsitellään sähkömagneettisten kenttien terveysvaikutuksia ja niille altistumisen voimakkuutta etenkin seuraavien taajuuksien osalta:

1. matkaviestinnän kehitteillä olevissa teknologioissa käytettävät taajuudet (6–300 GHz)
2. langattoman tehonsiirron välitaajuudet
3. alle terahertsin taajuudet, joita käytetään uusissa kuvantamis- ja skannausteknologioissa (ja joita käytettäneen myös 6G-verkon kanssa). Tutkimuksen suurimmat puutteet koskevat seuraavia seikkoja:
    a. altistumistasot, erityisesti ammateissa, joissa käytetään potentiaalisesti voimakkaita magneettisia, sähköisiä tai sähkömagneettisia kenttiä tuottavia laitteita (Turuban, 2023)
    b. mahdolliset biologisista vuorovaikutusmekanismeista johtuvat terveysvaikutukset (Jeschke, 2022)
    c. pitkäaikainen kumulatiivinen sähkömagneettisille kentille altistuminen työympäristössä (Hansson Mild, 2023)
    d. mikä on merkittävät altistustaso (Turuban, 2023).

Sähkömagneettisille kentille altistumisesta johtuvat terveys- ja aistimusvaikutukset voivat myös vaihdella huomattavasti työntekijöiden välillä. Lisäksi sähkömagneettisille kentille altistumiseen vaikuttavat monet henkilökohtaiset ja ympäristöön liittyvät tekijät, kuten

- henkilökohtaiset ominaisuudet: anatomia, fyysiset ominaisuudet, myös implantit tai lävistykset ja lääkkeiden käyttö
- työasento: kehon asento ja liike työn aikana
- työympäristö
    - rakennusmateriaalit: betoni voi puurakenteeseen verrattuna raudoituksensa ansiosta vaimentaa ja osittain suojata radiotaajuisilta sähkömagneettisilta kentiltä,
    - työkalujen käyttö: työkalujen käsittely tai käyttö (Jeschke, 2023) voi vaikuttaa altistumistasoihin.

Tällainen vaihtelu yksilöiden välillä aiheuttaa huomattavaa epävarmuutta nykyisissä altistumisen arviointitutkimuksissa ja altistumismatriiseissa (Turuban, 2023).

Siksi tarvitaan tutkimusasetelmia, joissa käytetään realistisia työpaikan altistumisskenaarioita huomioiden altistushuiput ja jaksot jolloin altistumista ei ole (Hansson Mild, 2023) tai altistumiset, jotka ovat lähellä raja-arvoja vähintään kahdeksan tunnin ajan (Jeschke, 2022)) ja/tai joissa kerätään yksityiskohtaisia, kuvailevia tietoja seuraavista seikoista:

(a) yleiset työhön liittyvät kriteerit, kuten työntekijän anatomia, työpisteet ja työskentelyasennot, fyysinen aktiivisuus, ankarat olosuhteet ja työkalujen käsittely, erityisesti sellaisten, jotka synnyttävät sähkömagneettisia kenttiä (Jeschke, 2022)

(b) sähkömagneettisten kenttien ominaisuudet (esim. työperäisten lähteiden taajuus ja modulaatio (Jeschke, 2022)

(c) mahdolliset altistumisriskit koko työelämän aikana (Hansson Mild, 2023) ja

(d) muut kuin jo tunnetut terveysvaikutukset (esim. ne, jotka johtuvat radiotaajuisten sähkömagneettisten kenttien lämpövaikutuksista) (Jeschke, 2022).

Tämäntyyppiset tutkimukset parantaisivat merkittävästi tieteellistä ymmärrystä sähkömagneettisille kentille altistumisen tasoista ja niiden kestosta erilaisissa työympäristöissä. Niitä voitaisiin käyttää tarkempana lähtökohtana sähkömagneettisille kentille altistumisesta johtuvia terveysvaikutuksia

käsitteleville epidemiologisille tutkimuksille, joissa ei tällä hetkellä juurikaan oteta huomioon työperäistä altistumista. Tarvitaan kuitenkin pitkäaikaista yksilöllistä dataa työperäisen altistumisen tasoista yhdistettynä muuhun merkitykselliseen ympäristö- tai työperäiseen altistumiseen (esim. esineiden internetiin perustuvan anturiverkoston välityksellä), jotta voidaan löytää yhteisiä nimittäjiä tai määrääviä tekijöitä (Stam ja Rijs, 2019; Hansson Mild ym., 2023). Tällaisen datan keräämiseen soveltuvia edullisia mittauslaitteita ei ole vielä välttämättä saatavilla. Laitekehitystä on jatkettava, jotta niitä voidaan käyttää varsinkin sellaisilla työntekijöillä, joiden altistumisriski on suuri.

EU:n toimintaperiaatteet

Oikeudellinen tilanne on tällä hetkellä haastava, koska ICNIRP antoi vuonna 2020 uudet ohjeet, joihin jo viitataan useissa teknisissä standardeissa (esim. IEC 62232:2023 ja IEC TR 63377:2022), mutta direktiivi 2013/35/EU perustuu edelleen vuosien 1998, 2009 ja 2010 ohjeisiin.. Terveys- ja ympäristöriskejä sekä kehittymässä olevia riskejä käsittelevä tiedekomitea (SCHEER) onkin äskettäin antanut myönteisen lausunnon neuvoston suosituksen 1999/519/EY ja direktiivin 2013/35/EU liitteiden teknisestä tarkistamisesta radiotaajuisten sähkömagneettisten kenttien (100 kHz – 300 GHz) osalta (SCHEER, 2023a). Vuoden 1998 ohjeisiin verrattuna vuoden 2020 ohjeet sisältävät myös mukautuksia, jotka koskevat uusille sähkömagneettisten kenttien lähteille, kuten 5G-verkolle, altistumista. Siinä on kyse lyhytaikaisesta paikallisesta altistumisesta korkeammille taajuuksille (jopa 300 GHz). Uusien sähkömagneettisiin kenttiin perustuvien tekniikoiden käyttöönotto lisää työpaikalla tapahtuvan sähkömagneettisille kentille altistumisen arvioinnin monimutkaisuutta. Sen vuoksi terveys-, turvallisuus- ja ympäristöasioista vastaavat työntekijät tarvitsevat entistä yksityiskohtaisempaa tietoa mittaus- ja mallintamismenetelmistä (Jeschke, 2022; Stam, 2022).

Työpaikalla tapahtuvan sähkömagneettisille kentille altistumisen arviointiin liittyvät käytännön näkökohdat, jotka koskevat vuosikymmenten ajan kestävää altistumista, ovat olennaisen tärkeitä luotettavan työterveyteen ja -turvallisuuteen liittyvän riskinarviointikäytännön kannalta (Jeschke ym., 2022). Näiden näkökohtien ja asianmukaisten mittauslaitteiden kehittämistä on siis jatkettava, ja niitä voitaisiin käsitellä Euroopan komission julkaisujen 2015a, 2015b ja 2015c päivitetyissä versiossa tai asiaankuuluvissa teknisissä standardeissa.

On myös tärkeää huomata, että vaikka ICNIRP (2020) toteaa, että työntekijöiden ”aistimis- ja toimintakyky on tärkeä, jotta saadaan tietoa mahdollisista sähkömagneettisiin häiriöihin liittyvistä riskeistä ja voidaan käyttää tarvittavia haittojen vähentämiseen tähtääviä toimenpiteitä”, Jeschke ym., (2022) huomauttavat perustellusti, että EU:n vuoden 1989 puitedirektiivissä (89/391/ETY) ”yleiset tekniset ja organisatoriset suojelutoimenpiteet ovat ensisijaisia yksilöllisiin suojelutoimenpiteisiin nähden”. Työsuojelun kannalta (yksilöllisten) riskinarviointien tekeminen riskeille erityisen alttiiden työntekijöiden osalta on kuitenkin pakollista. Sen vuoksi tarkoituksenmukaiset ohjeet ovat tarpeen, ja ne voitaisiin helposti ulottaa koskemaan kaikkia työntekijöitä.

Työnantajat, työntekijät ja työterveyden ja -turvallisuuden asiantuntijat

Vaikka saatavilla on sähkömagneettisille kentille altistumista työpaikoilla (sekä altistumisen vähentämistoimenpiteitä) koskevia altistumismatriiseja ja käytännön oppaita, työntekijöiden tieto työperäisistä sähkömagneettisten kenttien lähteistä ja niille altistumisesta on yleensä vähäistä (Turuban, 2023). Työntekijät eivät myöskään välttämättä pidä niitä vaarallisina eivätkä siksi kiinnitä riittävää huomiota riskien ehkäisyyn, vaan he saattavat jopa kokea ehkäisytoimenpiteiden olevan hankalia (Stege, 2022). Altistumistiedon lisäämiseksi työantaja voisi antaa työntekijälle tai asentaa työympäristöön sähkömagneettisen kentän mittalaitteita (Bhatt ym., 2022). Mukana kannettavat mittalaitteet varoittavat voimakkaista kentistä ja antavat tieteellisiin tutkimuksiin tarvittavaa dataa työperäisestä sähkömagneettisille kentille altistumisesta ja sen mahdollisista terveysvaikutuksista (ks. kohta 5.1). Erityisiä kohderyhmiä, joita olisi hyvä seurata mukana kannettavien anturien avulla, ovat työntekijät, jotka käyttävät aktiivisesti sähkömagneettisia lähteitä (esim. fysioterapeutit ja turvallisuushenkilöstö) tai jotka työskentelevät niiden lähellä, kuten sähköasentajat. Vielä tärkeämpää on, että mukaan otetaan työntekijöitä, jotka saattavat tietämättään joutua lähelle aktiivisia sähkömagneettisten kenttien lähteitä ja jotka eivät tiedä mahdollisista riskeistä. Tällaisia työntekijäryhmiä ovat esimerkiksi sairaanhoitajat tai huolto- ja siivoushenkilöstö. Jälkimmäisestä ryhmästä on tulossa yhä merkittävämpi yksityisten 5G-verkkojen ja langattomien tehonsiirtojärjestelmien käyttöönoton myötä.

Kenttämittauksia käytetään laajasti arvioitaessa sähkömagneettisten kenttien vaikutusta työterveyteen ja -turvallisuuteen. Mutta jos kenttien raja-arvot voivat ylittyvä, varsinaisen altistumisen raja-arvojen noudattamisen määrittäminen edellyttää simulointia ja numeerista määritystä. Ne taas ovat osoittautuneet työsuojelualan ammattilaisten kannalta erittäin haastaviksi niihin liittyvien kustannusten ja vaaditun asiantuntemuksen vuoksi (Jeschke, 2022). Siksi tarvitaan nyrkkisääntöjä, joiden perusteella voidaan tehdä nopea laskelma sen varmistamiseksi, että raja-arvoja noudatetaan. Useat maat ovat jo laatineet tällaisia ohjeita, ks. esimerkiksi Bolte ja Pruppers (2006).

Johtopäätökset

Tässä asiakirjassa esitetään kattava katsaus sähkömagneettisten kenttien uusien käyttökohteiden vaikutuksista työterveyteen ja -turvallisuuteen. Teknologian kehityksen seurauksena sähkömagneettisia kenttiä on kaikkialla nykyaikaisissa työympäristöissä, minkä vuoksi ne ovat keskeisiä tekijöitä työn digitalisoinnissa ja teollisuus 5.0:ssä (pitkälle kehitetyssä automaatiossa, robotiikassa, virtualisoinnissa, etätyössä, valvomoissa, jne.).

Sähkömagneettisten kenttien aiheuttamien altistumisriskien arviointi on hyvin monimutkaista, mikä johtuu lähteiden moninaisuudesta taajuuksien, voimakkuuden ja käytön osalta erityisesti työympäristöissä, sekä niihin liittyvien haitallisten terveysvaikutusten vaihtelevuudesta. Vaikka suuren sähkömagneettisille kentille altistumisen välittömät vaikutukset nykyisin käytetyillä taajuuksilla tunnetaan hyvin, vähäisen altistuksen pitkäaikaisvaikutuksista ja yhä korkeampien taajuuksien tulevasta käytöstä on edelleen kiistaa tai niistä ei ole tietoa. Siksi työntekijöiden suojelua koskevia sääntelystandardeja ja ohjeita on päivitettävä jatkuvasti uusimpien tutkimustulosten perusteella. Tämän vuoksi on erittäin suositeltavaa, että sähkömagneettisille kentille altistumisen tasoja työpaikalla seurataan pitkäaikaisesti käyttäen sekä kiinteitä että mukana kannettavia mittalaitteita.

Sähkömagneettisille kentille altistumisen arviointiin ja riskien ehkäisyyn tarvitaan monialaista lähestymistapaa. Siihen sisältyy niin ammattikohtaista tutkimusta ja toimintatapojen jatkuvaa mukauttamista kuin tehokasta viestintää työterveys- ja työturvallisuusalan sidosryhmien välillä, jotta työntekijöiden terveys ja turvallisuus voidaan taata langattomasti toimivan tekniikan lisääntyessä.

Kiitokset

Kiitämme Rianne Stamia (Alankomaiden kansanterveys- ja ympäristöinstituutti – RIVM), Stefania Marassia (oikeustiede, THUAS) sekä Emanuelle Brunia ja Annick Starrenia (EU-OSHA) kriittisestä arvioinnista ja hedelmällisistä keskusteluista.

Lähteet

Amini, T., Jahangiri, F., Ameri, Z., & Hemmatian, M. A. (2021). A review of feasible applications of THz waves in medical diagnostics and treatments. *Journal of Lasers in Medical Sciences*, *12*, e92.

Bhatt CR, Henderson S, Brzozek C, Benke G. (2022) Instruments to measure environmental and personal radiofrequency-electromagnetic field exposures: An update. *Physical and Engineering Sciences in Medicine*, 45(3), 687–704. https://link.springer.com/article/10.1007/s13246-022-01146-y

Bolte, J.F.B. & Pruppers, M.J.M., 2006. Electromagnetic fields in the working environment (kesäkuu 2006). *SZW-report RIVM-nr 610015001*, Ministry of Social Affairs and Employment (SZW) / National Institute for Public Health and the Environment (RIVM). https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/610015001.pdf

Billings, C., Langley, M., Warrington, G., Mashali, F. & Johnson, J. A. (2021). Magnetic particle imaging: Current and future applications, magnetic nanoparticle synthesis methods and safety measures. *International Journal of Molecular Sciences, 22*.

Cardillo, E., & Caddemi, A. (2020). A review on biomedical MIMO radars for vital sign detection and human localization. *Electronics, 9(9)*, artikkeli 9.

De Waard-Schalkx, I., Stam, R., van der Schaaf, M. & Bijwaard, H. (2015). Recent developments in medical techniques involving ionising or non-ionising radiation: Update 2014. *RIVM Report 2014-0070*, Bilthoven, National Institute for Public Health and the Environment.

EU-OSHA – Euroopan työterveys- ja työturvallisuusvirasto (2023). *Toimintapoliittinen katsaus: Työntekijöiden turvallisuuden ja terveyden seurantaan tarkoitetut älykkäät digitaaliset järjestelmät: mahdollisuudet ja haasteet.* https://osha.europa.eu/en/publications/smart-digital-monitoring-systems-occupational-safety-and-health-opportunities-and-challenges

Euroopan komissio. (2021). *Komission tiedonanto Euroopan parlamentille, neuvostolle, Euroopan talous- ja sosiaalikomitealle ja alueiden komitealle: "Työterveyttä ja -turvallisuutta koskeva EU:n strategiakehys 2021–2027".* COM(2021) 323 final. Saatavana osoitteesta https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX%3A52021DC0323

Euroopan komissio, työllisyys-, sosiaali- ja osallisuusasioiden pääosasto. (2015a). *Ohjeellinen opas hyvistä käytännöistä direktiivin 2013/35/EU täytäntöönpanon alalla. Osa 1: Käytännön opas.* Bryssel, Belgia.

Euroopan komissio, työllisyys-, sosiaali- ja osallisuusasioiden pääosasto. (2015b). *Ohjeellinen opas hyvistä käytännöistä direktiivin 2013/35/EU täytäntöönpanon alalla. Osa 2: Tapausselostuksia.* Bryssel, Belgia.

Euroopan komissio, työllisyys-, sosiaali- ja osallisuusasioiden pääosasto. (2015c). *Ohjeellinen opas hyvistä käytännöistä direktiivin 2013/35/EU täytäntöönpanon alalla. Osa 3: Opas pk-yrityksille.* Bryssel, Belgia.

Euroopan komissio (2022). Industry 5.0: A Transformative Vision for Europe - ESIR Policy Brief No. 3. Euroopan unionin julkaisutoimisto, ISBN 978-92-76-43352-1.

Euroopan telealan standardointilaitos (ETSI). (2019). *ETSI TR 103 493 V1.1.1.: System Reference document (SRdoc); Wireless Power Transmission (WPT) systems operating below 30 MHz.* Sophia Antipolis Cedex, Ranska.

Hansson Mild K, Mattsson MO, Jeschke P, Israel M, Ivanova M, & Shalamanova T. (2023). *Occupational exposure to electromagnetic fields–Different from general public exposure and laboratory studies. International Journal of Environmental Research and Public Health*. 20(16), 6552.

Kansainvälinen televiestintäliitto (ITU). (2020). *Radio Regulations Articles: Vuoden 2020 painos.*

Kansainvälinen televiestintäliitto (ITU). (2021). *Executive report ITU regional assessment for Europe on EMF exposure limits and risk communication challenges.*

Jeschke, P., Alteköster, C., Hansson Mild, K., Israel, M., Ivanova, M., Schiessl, K., Shalamanova, T., Soyka, F., Stam, R., & Wilén, J. (2022). Protection of workers exposed to radiofrequency electromagnetic fields: A perspective on open questions in the context of the new ICNIRP 2020 guidelines. *Frontiers in Public Health*, 10.

Migault, L., Bowman, J. D., Kromhout, H., Figuerola, J., Baldi, I., Bouvier, G., Turner, M. C., Cardis, E., & Vila, J. (2019). Development of a job-exposure matrix for assessment of occupational exposure to high-frequency electromagnetic fields (3 kHz–300 GHz). *Annals of Work exposures and Health*, 63(9), 1013–1028.

Modenese, A., & Gobba, F. (2021). Occupational exposure to electromagnetic fields and health surveillance according to the European Directive 2013/35/EU. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(4), 1730.

Rijs KJ & Stam R. (2019). Onderzoek naar mogelijke langetermijneffecten van elektromagnetische velden op de gezondheid van werknemers [tutkimus sähkömagneettisten kenttien mahdollisista pitkäaikaisista vaikutuksista työntekijöiden terveyteen – päivitetty 2019]. *RIVM Report* 2019–0010. Bilthoven: RIVM.

Terveys- ja ympäristöriskejä sekä kehittymässä olevia riskejä käsittelevä tiedekomitea (SCHEER). (2023a). *Opinion on the need of a revision of the annexes in the Council Recommendation 1999/519/EC and Directive 2013/35/EU, in view of the latest scientific evidence available with regard to radiofrequency (100 kHz – 300 GHz)*.

Terveys- ja ympäristöriskejä sekä kehittymässä olevia riskejä käsittelevä tiedekomitea (SCHEER). (2023b). *Potential health effects of exposure to electromagnetic fields (EMF): 14 Update with regard to frequencies between 1 Hz and 100 kHz.*

Stam, R., & Yamaguchi-Sekino, S. (2018). Occupational exposure to electromagnetic fields from medical sources. *Industrial Health*, *56*(2), 96–105. https://doi.org/10/g8hwgs

Stam, R. (2021). Occupational exposure to radiofrequency electromagnetic fields. *Industrial Health*, *60*(3), 201–215.

Stam, R. (2022) Bronnen van blootstelling van werknemers aan elektromagnetische velden: Nieuwe ontwikkelingen [työntekijöiden sähkömagneettisille kentille altistumisen lähteet: uusia kehityssuuntauksia]. *RIVM-briefrapport 2022–0109*. Bilthoven: RIVM.

Stege, T. A. M., Bolte, J. F. B., Claassen, L., & Timmermans, D. R. M. (2020). Electromagnetic field exposure in power plants: A qualitative assessment of work safety perceptions among employees. *Journal of Risk Research, 23*(12), 1650–1660.

Stege, T. A. M. (2022). *Development of risk communication tools for occupational exposures.* (PhD-thesis) Amsterdam Free University (VU) and National Institute for Public Health and the Environment of the Netherlands (RIVM), The Netherlands, advisors D.R.M. Timmermans, L. Claassen, J.F.B. Bolte, ISBN 978-94-6421-796-4. Saatavana osoitteessa: https://research.vu.nl/en/publications/development-of-risk-communication-tools-for-occupational-exposure

Turuban, M., Kromhout, H., Vila, J., Vallbona-Vistós, M., Baldi, I., & Turner, M. C. (2023). Personal exposure to radiofrequency electromagnetic fields in various occupations in Spain and France. *Environment International, 180*, 108156.

Vila, J., Bowman, J. D., Figuerola, J., Moriña, D., Kincl, L., Richardson, L., & Cardis, E. (2017). Development of a source-exposure matrix for occupational exposure assessment of electromagnetic fields in the INTEROCC study. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology, 27*(4), 398–408.

Laatijat: Sam Aerts, John Bolte.

Smart Sensor Systems research group, Faculty Technology, Innovation & Society, The Hague University of Applied Sciences (THUAS), the Netherlands.

Hankehallinto: Annick Starren, Emmanuelle Brun, Euroopan työterveys- ja työturvallisuusvirasto (EU-OSHA).

Tämä tausta-asiakirja on laadittu EU-OSHAn toimeksiannosta. Sen sisällöstä sekä siinä mahdollisesti esitetyistä näkemyksistä ja päätelmistä vastaavat yksin laatijat, eivätkä ne välttämättä vastaa EU-OSHAn kantaa.

EU-OSHAn tai viraston puolesta toimiva henkilö ei ole vastuussa siitä, miten näitä tietoja mahdollisesti käytetään.

© Euroopan työterveys- ja työturvallisuusvirasto 2026

Aineistoa lainattaessa on mainittava lähde.

Sellaisten kuvien tai muun aineiston jäljentämiseen tai käyttämiseen, jotka eivät kuulu Euroopan työterveys- ja työturvallisuusvirasto tekijänoikeuksien piiriin, on pyydettävä lupa suoraan tekijänoikeuden haltijalta.