ELEKTROMAGNETVÄLJAD: TÖÖOHUTUSE JA TÖÖTERVISHOIU PROBLEEMID PRAEGU JA TULEVIKUS

Sissejuhatus

Lõhnatuid, kuulmatuid ja nähtamatuid elektromagnetvälju, mida tekitavad mobiiltelefonid, raadioantennid, WiFi-ruuterid, elektriliinid jne, leidub tänapäeva ühiskonnas kõikjal. Allikate arv ja mitmekesisus kodudes, avalikus ruumis ja töökohtades üha suureneb. Viimastel aastatel on ilmunud uudsed tehnoloogiad, mis põhinevad elektromagnetväljadel, näiteks uue põlvkonna mobiilsidetehnoloogiad (viies põlvkond ehk 5G), elektrienergia juhtmeta ülekanne ja mitu meditsiinirakendust. Juhtmeta tehnoloogia arengut peetakse tööelu digipöörde[1] ja tööstuse 5.0 olulisteks ajenditeks (Euroopa Komisjon, 2022). Need edusammud mõjutavad paljusid töö tulevikuga seotud valdkondi[2], näiteks esemevõrk (IoT, nutistu), hübriidtöö ja virtuaalsed töökeskkonnad. Neil on oluline roll ka autonoomse sõidukijuhtimise, mehitamata õhusõidukite, andurite ja arenenud robootika valdkonnas. Elektromagnetväljade allikaid on kõikjal ja seepärast pakuvad arutelud elektromagnetväljade üle üha enam huvi teadusringkondadele ja ka üldsusele. Lisaks on Euroopa Komisjon hiljuti rõhutanud, et kiire kasutuselevõtu ja ulatuslikuma kasutamise tõttu töökeskkonnas on oluline analüüsida töötajate kokkupuudet elektromagnetväljadega ning kokkupuute võimalikku kahjulikku tervisemõju (Euroopa Komisjon, 2021).

Dokumendi eesmärk on tuvastada elektromagnetväljade töökohtades kasutamise tekkivad ja tulevased arengusuunad ning nende võimalik mõju tööohutusele ja töötervishoiule. Samuti püütakse esile tuua teadmuslüngad (ohutu) kokkupuute taseme kohta. Lisaks antakse dokumendis soovitusi töötajatele ja tööandjatele, tervishoiu- ja ohutusspetsialistidele ning poliitikakujundajatele, kuidas minimeerida elektromagnetväljadega kokkupuute riske. Teave selle kohta, mis on elektromagnetväljadega võimaldatava töö tulevikuga seotud rakenduste kaudsed tööohutuse ja töötervishoiu riskid ja eelised, on asjakohastes EU-OSHA väljaannetes[1,2].

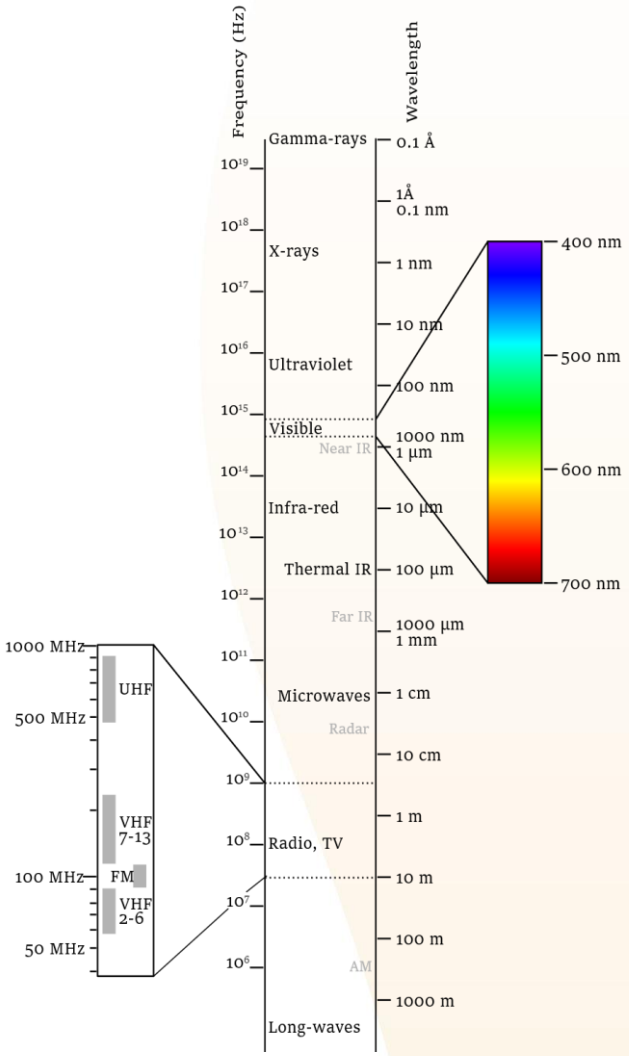
Mis on elektromagnetväljad?

Sisuliselt tekivad elektromagnetväljad liikuvatest elektrilaengutest ning levivad võnkuvate elektri- ja magnetlainete kombinatsioonina valguse kiirusel. Elektriväli tekib jõududest, mida laetud osakesed üksteisele avaldavad, magnetvälja tekitavad liikuvad laengud (elektrivool). Elektromagnetvälju iseloomustavad sagedus või lainepikkus, signaali omadused ja intensiivsus. Sagedus, mille mõõtühik on herts (Hz), tähendab laine täisvõngete arvu sekundis. Meetrites (m) mõõdetav lainepikkus on kaugus ühest laineharjast järgmiseni. Signaaliomadused on näiteks pidevsinusoidsed või impulsselektromagnetväljad. Intensiivsus on laine energia, mis korreleerub laine amplituudiga (kõrgusega). Kokkupuutetase on füüsikalise kehaga kokkupuutuva laine intensiivsus keha asukohas, mida tavaliselt kaalutakse (väljendatakse keskmisena) aja, ruumala ja/või ruumilise jaotuse järgi kindla ajavahemiku, pinna ja/või ruumala kohta. Seda taset väljendatakse võimsustihedusena (vattides ruutmeetri kohta) või elektrivälja tugevusena (voltidena meetri kohta). Sagedus ja lainepikkus on omavahel tihedalt seotud (joonis 1): lainepikkuse (meetrites) arvutamiseks jagatakse valguse kiirus (vaakumis 30 miljonit meetrit sekundis) sagedusega (hertsides, Hz). NB! Tavaliselt ühinevad elektri- ja magnetväli allikast enam kui 10 lainepikkuse kaugusel, mis piirkonda nimetatakse kaugväljaks.

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

[2] Vt EU-OSHA aruteludokumendid töö tuleviku jaoks olulistel teemadel, aadressil 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

Joonis 1. Elektromagnetspekter



Jooniselt puuduvad ekstramadalsagedus (ELF) ja osa keskmistest sagedusvahemikest (1 Hz – 100 kHz).

Lühendid: MHz = megaherts (Hz on sagedusühik, mis tähendab täisvõngete/siinuslainete arvu sekundis); UHF = ultrakõrgsagedus, VHF = ülikõrgsagedus; AM = amplituudmodulatsioon; FM = sagedusmodulatsioon; m = meeter, cm = sentimeeter; mm = millimeeter; µm = mikromeeter, nm = nanomeeter, Å = angström = 0,1 nm.

Allikas: Wikimedia Commons [litsents Creative Commons Attribution-ShareAlike 2.5 Generic]

Elektromagnetväljade allikad võivad olla looduslikud või tehislikud. Tehisallikad kiirgavad üldiselt elektromagnetvälju, mida on töödeldud teabe või energia edastamiseks. Praktilised rakendused on siiski sama mitmekesised kui sagedused: alates ekstramadalsagedusest (ELF, sagedused 1 Hz – 300 Hz), mis esinevad elektri tootmisel, kuni keskmise sagedusvahemikuni (IF, sagedused 300 Hz – 10 MHz, kus 1 MHz = 10^6 Hz; joonis 1) ja raadiosagedusteni (RF, sagedused 10 MHz – 300 GHz, kus 1 GHz = 10^9 Hz; joonis 1), mida kasutatakse radarites ja mobiilsides.

NB! Siin dokumendis käsitletakse ainult elektromagnetvälju sagedusega kuni mõni teraherts (1 THz = 10^{12} Hz, joonis 1) ehk raadiosagedusi (ITU, 2020), mille sagedus on väiksem kui nähtaval valgusel ja on selgelt spektri mitteioniseerivaks peetavas osas, näiteks millel puudub energia tugevalt seotud elektronide eemaldamiseks aatomitest või molekulidest (mis võib kahjustada molekule ja tervist). See tähendab, et siin ei käsitleta muid tuntud elektromagnetspektri osi lisaks infrapunakiirgusele ja nähtavale valgusele (nt UV-kiirgus, röntgenkiirgus ja gammakiirgus).

Uusimad arengud seoses elektromagnetväljadega töökohal

Mobiilsidevõrgud

Viienda põlvkonna sidevõrgud (5G) töötavad varem kasutamata sagedustel, millest mõni on eelmiste põlvkondade sagedustest oluliselt suurem (kuni 71 GHz (1 GHz = 10^9 Hz), joonis 1). Sellega võetakse kasutusele tehnika, mis võimaldab samal tugijaamal teenindada korraga rohkem kasutajaid. Selleks jaotatakse edastatav energia ruumis ja suunatakse kiirtena kasutajate poole. Enamikus Euroopa riikides on reguleerivad asutused uued sagedused nüüdseks jaotanud ja müünud enampakkumisel.

5G-võrkude ülemaailmne kasutuselevõtt on tekitanud avalikkuses muret seoses võimalike terviseriskidega, mis tulenevad eeldatavast suuremast kokkupuutest elektromagnetväljaga ja suurema sageduse kasutamisest (mille võimalikke bioloogilist toimet ei ole veel põhjalikult uuritud), samuti eksitavast teabest ja isegi taristuvastasest vandalismist (ITU, 2021). Kuigi 5G-võrkude lisandumine võib tõepoolest suurendada summaarset elektromagnetkiirguse kogust, kestab see olukord eeldatavasti seni, kuni eelmise põlvkonna võrgud on kasutusel (SCHEER, 2023a). ELi programmist „Horisont“ on rahastatud nelja rahvusvahelist uuringut, mille eesmärk on hinnata 5G kasutuselevõtu tervise- ja keskkonnamõju, sealhulgas töökohtades, et leevendada avalikkuse muret seoses 5G-ga ja jälgida tegelikku mõju kokkupuutele kogu raadiosagedusliku ja elektromagnetväljade kiirgusega[3]. Need projektid algasid 2022. aastal ja lõpevad aastatel 2025–2027.

Suurematel sagedustel on vaja rohkem tugijaamu, et säilitada kvaliteetne raadioside. Sel põhjusel kasutatakse väikerakkude tugijaamu, mis paigaldatakse puudele, tänavavalgustitele või hoonetele ja mille vahekaugus on ainult mõnisada meetrit (SCHEER, 2023a). Väikesi raadioseadmeid kasutatakse üha enam ka privaat- ja ettevõttevõrkudes[4], näiteks suurtes tehastes, tootmisruumides, lennujaamades ja sadamates, õppehoonetes jne.

5G-edastustehnikate, suuremate sageduste ja võrgu samaaegse tihendamise kombinatsioon võimaldab (väga) suure andmeläbilaskevõime ja (üli)väikese latentsusajaga raadiosidet. Mõlemad tegurid teevad sellest ühe peamise tõukejõu tööelu digipöördes ja paljude tulevaste töörakenduste jaoks. Eeldatakse siiski, et 5G-ga kaasnevad tehnoloogilised uuendused saavutavad täieliku potentsiaali alles järgmise põlvkonnaga (6G), mis võetakse eeldatavasti kasutusele 2030. aastal. ELi juhtprojekti Hexa-X[5] raames prognoositakse isegi, et 6G muutub universaaltehnoloogiaks, mitte üksnes võimaldavaks tehnoloogiaks, võimaldades (täissüüvivat) kaugosalust, näiteks metaversumit, digiteisikute massilist kasutamist (st reaalajas koondpaneelid ning seadmete ja (tootmis)rajatiste virtuaalmudelid), e-tervishoidu kõigile, koostööroboteid (mis toetavad inimesi nende ülesannete täitmisel) ning esemevõrgu täielikku lõimimist koos arvukate anduritega kehal ja mujal. See tähendab, et 6G-l on eeldatavasti kaugeleulatuv mõju ühiskonna ja tööstuse muutumisele (tööstus 5.0). Selleks kasutab 6G raadiosagedusi, mis on praegustest ja tulevastest 5G-sagedustest palju suuremad (>100 GHz), mis võimaldab peale ülisuure läbilaskevõime ka sentimeetri täpsusega lokaliseerimist ja andmehõivet.

Energiasüsteemi ümberkujundamine

Praegune üleminek taastuvatele energiaallikatele nõuab elektrivõrgu laiendamist ja uuendamist (nt kõrgepingeliinide ja tugijaamade kasutuselevõtt) ning iga energiatarviti hetke energiatarbe tõhusamat seiret (nt nutiarvestite juhtmeta võrgu kaudu). Kokkupuuteriskid töötajatele (nt ehitajad, elektrikud ja hooldusinsenerid) ning uue (energia)taristu arendamise ja hooldamisega seotud töötajatele – ka suure kokkupuute riskid tugeva voolu tõttu – on hästi teada. Elektrijaamade töötajad näivad riske ja enesekaitseviise hästi teadvat. (Stege jt, 2020). Kuigi elektrijaamade alltöövõtjad ei pruugi olla täielikult teadlikud, saavad töötervishoiu, tööohutuse ja keskkonna spetsialistid neid juhendada. Lisaks suurendavad nutiarvestid kokkupuudet raadiosageduslike elektromagnetväljadega üldiselt vähe, sest need edastavad andmeid harva ja asuvad teatud kohtades (Aerts jt, 2019). (Tööstuslikud) kütterakendused lähevad süsivesinikupõhistelt kütustelt üha enam üle elektrilisele induktsioonile, mis lisab madalsageduslike magnetväljade allikaid. Need võivad olla potentsiaalselt intensiivsed, kuid neid saab hoida oluliselt alla kokkupuute piirväärtuste (Euroopa Komisjon, 2015a, b).

[3] Vt: https://www.emf-health-cluster.eu/
[4] 5G-privaat-/ettevõttevõrgud ei ole avalikult kättesaadavad ja on väga turvalised.
[5] Vt https://hexa-x.eu/. Euroopa Komisjon on käivitanud mitu juhtalgatust, et lahendada suuri teadus- ja tehnoloogiaprobleeme ning edendada innovatsiooni ELis: https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/activities/flagships

Elektrienergia juhtmeta ülekanne

Elektrienergia juhtmeta ülekanne on kujunenud juhtivaks tehnoloogiaks, millega laetakse isiklikke seadmeid (nt nutitelefonid ja sülearvutid ning mootoriga töövahendid). Seda uuritakse või see võetakse kasutusele ka meditsiiniseadmetes (nt südamestimulaatorid), elektrisõidukites, droonides ja muudes tööstuslikes autonoomsetes sõidukites ja robotites. Elektrienergia juhtmeta ülekanne toimub kas koondatud raadiosageduslike elektromagnetväljade (kiirte) või induktiiv- või resonantstehnoloogiate abil, mis kiirgavad elektromagnetvälju sagedustel 10 kHz – 50 MHz (ETSI, 2019). Esimesel juhul võimaldab energia ülekanne õhu kaudu seadmete, masinate, robotite ja droonide pidevat töötamist. Töökohtades kasutatakse elektrienergia juhtmeta ülekannet peamiselt hooldus- ja remondisektoris, töötlevas tööstuses, transpordis ja logistikas ning kõikjal, kus kasutatakse (mobiilset) robootikat. Ka sõidukeid laadutakse juhtmeta rohkem, paigaldades selle (teeäärsesse) taristusse. Näiteks laaditakse juba mitmesuguseid sõidukeid (autod, bussid ja veokid) laadimiskontuuride abil parklates ja peatustes[6]. Lisaks ehitatakse (lähi)tulevikus laadimiskontuurid sõiduteede taristusse, et liikuvaid sõidukeid pidevalt laadida. Hiljutised uuringud – kuigi mujal kui töökohtades – näitavad, et lähedane kokkupuude elektrienergia juhtmeta ülekande süsteemidega on kokkupuute piirnormidest väiksem (Stam, 2022). Süsteemide suurem võimsus tulevikus, näiteks suurte elektrisõidukite laadimiseks, võib siiski kokkupuudet suurendada, eriti töökohtades.

Tervishoid

Tervishoius arenevad elektromagnetväljarakendused täpsemate ja üha võimsamate meetodite suunas, mis sageli kasutavad suuremaid sagedusi, fokuseeritud kiiri ja/või suuremat (lokaalset) võimsust. Diagnostikavahendite uued arengud hõlmavad piltdiagnostikat magnetosakestega (5–50 kHz) (Billings jt, 2021) – mis võib oluliselt suurendada meditsiinitöötajate kokkupuudet kiirgusega –, pindmine radar-piltdiagnostika (1–60 GHz) (de Waard-Schalkx jt, 2015) ja elutähtsate näitajate jälgimine radariga (kuni 120 GHz) (Cardillo ja Caddemi, 2020) ning piltdiagnostikat, spektroskoopiat ja ravi teraherts-sagedustega (Amini jt, 2021). Lisaks võivad meditsiinitöötajaid ohustada uued kosmeetilised protseduurid, mis kasutavad madalsageduslikke (15 Hz) või raadiosageduslikke (27 MHz – 5,8 GHz) elektromagnetväljaimpulsse (Stam, 2022).

Turvalisus

Teraherts- ja millimeeterlainesagedusi kasutatakse ka turvalisuse tagamisel ja julgestuses, näiteks lennujaamade kehaskannerites, postiskannerites ja mittepurustaval teimimisel. Nende rakenduste intensiivsus võib oluliselt varieeruda: turvaskannerite väljatasemete intensiivsus on alla kokkupuute piirnormide, sest kokku puutub üldsus, kuid meditsiinis ja tööstuses võivad rakendused olla intensiivsemad ning neid peavad kasutama asjakohase väljaõppe saanud töötajad.

Elektromagnetväljade mõju tööohutusele ja töötervishoiule

Kahjulik tervisemõju ning elektromagnetväljadega kokkupuute reguleerimine ja õigusaktid

Elektromagnetväljade tervisemõju on ulatuslikult uuritud, kuid kokkupuutesuunised keskenduvad peamiselt ägedale lühiajalisele toimele. Selline toime sõltub elektromagnetväljade sagedusest ja intensiivsusest ning kokkupuute kestusest. Näiteks kokkupuutel madalsagedusliku elektromagnetväljaga, mis ületab tööohutuse ja töötervishoiu kokkupuute piirnorme, esinevad kõrvaltoimed nagu pindmise elektrilaengu tajumine, närvi- ja lihasekoe vahetu stimuleerimine ning võrkkestas fosfeenide (näilised sähvatused) tekkimine. Suurematel sagedustel (100 kHz – 300 GHz, joonis 1) väheneb toime närvide stimuleerimisele ja rakumembraanide läbilaskvuse muutumisele (väga kõrge kokkupuutetaseme korral), mis võib suurendada kohalikku ja keha sisetemperatuuri ning tekitada soojuslikke toimeid. Lisaks on teada, et elektromagnetväljade toime võib olla ka kaudne, mis võib põhjustada ohutusriske, näiteks kontaktvoolu, sädelahendusi ning meditsiiniliste implantaatide elektromagnethäireid või kuumenemist.

Kõiki neid toimeid mõistetakse hästi ning need moodustavad aluse praegustele kokkupuutesuunistele, mille on kehtestanud rahvusvahelised organisatsioonid, näiteks rahvusvaheline mitteioniseeriva

[6] Laadimiskontuurid edastavad energiat juhtmeta, elektromagnetilise induktsiooni kaudu. Seda meetodit kasutatakse laialdaselt ka kodumasinates, näiteks elektrilistes hambaharjades ja nutitelefonide juhtmeta laadimise alustes.

kiirguse eest kaitsmise komisjon (ICNIRP). ICNIRP on koostanud elektromagnetväljadega kokkupuute kahjulike tervisemõjude teaduslikest tõenditest kolm väljaannet: üks staatiliste magnetväljade kohta (ICNIRP, 2009), teine madalsagedusliku vahemiku kohta (1 Hz – 10 MHz) (ICNIRP, 2010), kus magnet- ja elektrivälju tuleks käsitleda eraldi, sest need ei ole seotud üheks elektromagnetväljaks nagu kaugvälja korral (töötajad ei tööta üldiselt veel elektromagnetväljade allikatega kaugväljas), ja kolmas vahemiku 100 kHz – 300 GHz kohta (ICNIRP, 2020). Nende teaduslike tõendite põhjal on ICNIRP kehtestanud kokkupuute piirnormid, mida nimetatakse põhipiiranguteks ja võrdlustasemeteks. Võrdlustasemed tulenevad põhipiirangutest ja pakuvad samaväärset kaitsetaset, kuid neid on töökohtadel palju lihtsam hinnata. NB! Kokkupuute piirnormid on määratletud sageduste (sagedusribade) järgi ning ICNIRP määratleb kaalumismeetodi mitme allika samaaegse kokkupuute jaoks teatud asukohas samas või teistes sagedusribades. Et võtta arvesse teaduslikku määramatust (sh soojusfüsioloogia varieeruvust elanikkonnas ning kehalise aktiivsuse taseme ja keskkonnatingimuste varieeruvust), on põhipiirangutele kohaldatud kõigepealt täiendavaid vähendustegureid, mis on üldsuse kokkupuutes (viis korda) väiksemad kui kutselises kokkupuutes, sest üldsust peetakse vanuse ja terviseseisundi poolest mitmekesisemaks ning üldsus ei tea võimalikke riske või ei suuda neid ohjata (ICNIRP, 2020). ICNIRP võrdlustasemete ja/või põhipiirangute järgimist peetakse piisavaks, et kaitsta teadaolevate kahjulike tervisemõjude eest.

Lisaks põhinevad ELi suunised ja õigusaktid elektromagnetväljadega kokkupuute kohta ICNIRP suunistel ning koosnevad Euroopa Liidu Nõukogu soovitusest 1999/519/EÜ üldsuse kokkupuute kohta elektromagnetväljadega (1999) ja direktiivist 2013/35/EL tööalase kokkupuute kohta (2013), mida rakendatakse alates 2017. aastast kõigis liikmesriikides mõne riikliku kohandusega.

Mitmes uuringus (nt Rijs ja Stam, 2019) on uuritud võimalikke seoseid elektromagnetväljaga pikaajalise kokkupuute ja mitmesuguste terviseprobleemide, näiteks vähktõve, reproduktiivprobleemide, arenguhäirete ja neurodegeneratiivsete häirete vahel. Kuigi uuringud on olnud ulatuslikud, ei anna teaduslikud tõendid siiski lõplikke vastuseid – mõnes uuringus viidatakse seose olemasolule, kuid puuduvad teaduslikud põhjuslikud seosed, näiteks annuse toime; teistes uuringutes ei leita olulist seost (ICNIRP, 2020).

Kokkupuude elektromagnetväljaga töökohal

Euroopa Komisjon on välja andnud kolm mittesiduvat praktilist juhendit (Euroopa Komisjon, 2015a; 2015b; 2015c), mis sisaldavad ulatuslikku teavet ja keskenduvad töökeskkonnale, kus elektromagnetväljad võivad olla väga intensiivsed. Need aitavad tööandjatel mõista, mida nad peavad tegema direktiivi 2013/35/EL järgimiseks. Lisaks saab võrdluseks kasutada mitut allika- ja töökohapõhise kokkupuute maatriksit (Vila jt, 2017; Migault jt, 2019). Eespool kirjeldatud uued arengud elektromagnetväljade kasutamisel võivad siiski lisada, suurendada või muuta kokkupuudet elektromagnetväljadega töökohas.

- Mobiilsidevõrgu tihenemine (rohkem tugijaama antenne pinnaühiku kohta) suurendab inimeste arvu, kes töötavad sideantennidele lähemal kui varem, eelkõige kui võetakse kasutusele väikesed mobiilside tugijaamad. See kehtib üldiselt (nt katusepaigaldajad ja elektrikud), kuid eriti töökohtades, kus on oma raadiosidevõrgud (mobiilside privaat- ja ettevõttevõrgud, WiFi- ja/või andurivõrgud), eriti kui (isiklike) juhtmeta seadmete ja andurite hulk nendes töökohtades suureneb. Eelkõige võivad kehal kantavad andurid (nt tervise või kokkupuute seireks) suurendada töötaja kokkupuudet elektromagnetväljadega, kuid ainult kohalikult (ainult anduri kohas). Need tehnoloogilised uuendused on prognooside kohaselt ulatuslikud ega ole seotud konkreetse sektoriga.
- Elektrienergia juhtmeta ülekande (suurte) süsteemide ulatuslikum kasutamine võib suurendada kokkupuudet elektromagnetväljaga tehnoloogiast sõltuvatel sagedustel (vt 3. jaotis) transpordis ja logistikas (nt bussi- ja veoautojuhid). See kehtib ka töökohtades, kus isiklikke töövahendeid ja roboteid või mehitamata õhusõidukeid laetakse kontaktlaadimise asemel juhtmeta platvormidel, mis sarnanevad mobiiltelefonide laadimisplatvormidega, kuid on suuremad.
- Elektrifitseerimine võib suurendada kokkupuudet madalsageduslike magnetväljadega (kõrgepingeliinidest, vahelditest ja tööstuslikest kuumutusprotsessidest, näiteks induktsioonkuumutusest) (SCHEER, 2023b).
- Elektromagnetvälja meditsiinirakenduste arv suureneb ja seega võib paljudel sagedustel elektromagnetväljadega kokku puutuda rohkem meditsiinitöötajaid (sh mittetehnilisi töötajaid) (Stam ja Yamaguchi-Sekino, 2017; Turuban, 2023).

- Üha suuremate sageduste kasutamine (peale mobiilsidevõrkude ka meditsiinis ja julgestusskannerites) võib suurenda kohalikku, kuid pindmist kokkupuudet, mille riskid ei ole veel selged.

Elektromagnetväljade tööohutus- ja töötervishoiuriskide ennetamine

ELi direktiivi 2013/35/EL kohaselt on tööandjad kohustatud hindama kõiki riske, mis tulenevad elektromagnetväljadega kokkupuutest töökohal, ja kehtestama asjakohased ennetusmeetmed. Eelkõige peavad nad tagama, et järgitakse direktiivi piirtasemeid. Seda tehakse esiteks kergesti kättesaadava teabe põhjal: tooteteave tootjalt (nt kas konkreetne rakendus vastab asjakohaste ELi õigusaktide nõuetele toodete kohta, millele võib kehtestada rangemad ohutustasemed kui direktiivis 2013/35/EL), allikaga ja/või tööalase kokkupuute maatriksid (Vila jt, 2017; Migault jt, 2019), ülevaateuuringud ja/või ELi, riigiasutuste ja standardiorganisatsioonide avaldatud praktilised juhendid. Näiteks on dokumentides (Euroopa Komisjon, 2015a; 2015b) loetelu seadmetest ja töökohtadest, mis võivad vajada **eririskide hindamist**. Samuti on nendes suunised, millal on vaja hinnata elektromagnetväljade riske eriti ohustatud töötajate korral, näiteks kellel on aktiivsed meditsiinilised seadmed, sealhulgas südamestimulaatorid (Modenese ja Gobba, 2021). See teave ei pruugi siiski olla veel piisav, et hinnata, kas elektromagnetväljade uute rakenduste ning seonduvate tööohutuse ja töötervishoiu riskide korral järgitakse kokkupuute piirnorme. Sellisel juhul tuleb teha kohapealseid mõõtmisi või arvutada kiiritusdoosi, võrreldes tulemusi õiguslike piirmääradega, arvestades kõiki kaasnevaid määramatusi.

Piirtasemete ületamise korral tuleb võtta kaitse- ja ennetusmeetmeid (näited: vt Euroopa Komisjon, 2015a; 2015b). Elektromagnetvälja tugevus väheneb kiiresti, kui kaugus kiirgusallikast suureneb, seega on kõige tõhusam kokkupuute vähendamise meede suurendada töötaja kaugust kiirgusallikast. Seda on võimalik saavutada tehniliste ja korralduslike meetmetega, näiteks tõkete, märgistuse ja tööjuhistega. Kõigi elektromagnetväljavormide korral peale madalsageduslike magnetväljade on tõhus ka varjestus. Elektromagnetväljadega kokkupuute vähendamise teave on ka Euroopa Komisjoni suunistes (Euroopa Komisjon, 2015a), sealhulgas töökoha projekteerimise meetmetes ning töövahendite ja -meetodite sätetes. Näiteks mähised, trafod ja juhtmeta laadimise platvormid on projekteeritud olema ohutud, kui neid hoitakse töökohtadest eemal. Otse saateantennide ees ei tohi olla võimalik seista.

Lüngad, vajadused, prioriteedid ja soovitused seoses elektromagnetväljade ning tööohutuse ja töötervishoiuga

Teadusuuringud

Üldiselt puuduvad uuringud elektromagnetväljade tervisemõju ja kokkupuute intensiivsuse kohta järgmistes valdkondades:

1. sagedused, mida kasutatakse uutes mobiilsidetehnoloogiates (6–300 GHz);
2. keskmise sagedusvahemiku sagedused, mida kasutatakse elektrienergia juhtmeta ülekandes;
3. (alla-)terahertsisagedused, mida kasutatakse uudsetes pildindus- ja skännimistehnoloogiates (ja eeldatavasti 6G-sides). Suurimad teadusuuringute lüngad on järgmistes valdkondades:
    a. kokkupuute tase, eelkõige kutsealadel, kus kasutatakse seadmeid, mis võivad tekitada tugevaid magnet-, elektri- või elektromagnetvälju (Turuban, 2023);
    b. võimalikud tervisemõjud (võimalike bioloogiliste vastastikmehhanismide tõttu) (Jeschke, 2022);
    c. pikaajaline kumulatiivne kokkupuude elektromagnetväljadega töökohas (Hansson Mild, 2023) ning
    d. kõige asjakohasem kokkupuutemõõdik (Turuban, 2023).

Lisaks võivad elektromagnetväljadega kokkupuute tervise- ja sensoorsed mõjud oluliselt töötajast oleneda. Kokkupuudet elektromagnetväljadega mõjutavad mitmesugused isiklikud ja keskkonnategurid, näiteks:

- isiklikud omadused: anatoomia, kehalised omadused, sealhulgas implantaadid või läbistusehted ja ravimite kasutamine);
- tööasend: keha asend ja liikumine töö ajal;
- töökeskkond:
    - ehitusmaterjalid: betooni terassarrus leevendab raadiosageduslikku elektromagnetvälja ja osaliselt varjestab selle eest, puiduga saab varjestada;
    - töövahendid: käsitsemine või kasutamine (Jeschke, 2023) võib mõjutada kokkupuute taset.

Selline töötajasisene ja töötajatevaheline varieeruvus põhjustab suurt määramatust praegustes kokkupuute hindamise uuringutes ja kokkupuutemaatriksites, kus neid andmeid kasutatakse (Turuban, 2023).

Seega on vaja uuringuprotokolle, mis kasutavad realistlikke töökohal kokkupuute stsenaariume (nt maksimaalsed kokkupuuted ja nende järel kokkupuuteta perioodid (Hansson Mild, 2023) või vähemalt 8-tunnised kokkupuuted piirväärtuste lähedal (Jeschke, 2022)) ja/või mille raames kogutakse üksikasjalikke kirjeldavaid andmeid järgmiste aspektide kohta:

(a) tüüpilised kutsekriteeriumid, näiteks töötaja anatoomia, töötamiskohad ja -asendid, füüsiline aktiivsus, äärmuslikud keskkonnad ja töövahendite, eelkõige elektromagnetvälja kiirgavate töövahendite käsitsemine (Jeschke, 2022);

(b) elektromagnetväljakiirguse omadused (nt kiirgusallikate sagedus ja modulatsioon töökohas) (Jeschke, 2022);

(c) võimalikud kokkupuuted tööelu jooksul (Hansson Mild, 2023) ja

(d) muud tervisenäitajad peale teadaolevate (nt raadiosagedusliku elektromagnetvälja soojusliku toime tõttu) (Jeschke, 2022).

Seda liiki uuringud täiustavad oluliselt teaduslikku arusaama elektromagnetväljadega kokkupuute tasemest ja kestusest mitmesugustes töökeskkondades ning neid saab kasutada õigema lähtepunktina elektromagnetväljadega kokkupuutest tingitud tervisemõjude epidemioloogilistes uuringutes, mis praegu ei arvesta tööalase kokkupuutega peaaegu üldse. Vaja on siiski pikaajalisi individuaalseid andmeid tööalase kokkupuute tasemete kohta koos muude (asjakohaste) keskkonna-/kutsealaste kokkupuudetega (nt IoT-andurite võrkude kaudu), et otsida toetavaid või segavaid tegureid (Stam ja Rijs, 2019; Hansson Mild jt, 2023). Kahjuks ei ole sobivaid ja odavaid mõõteseadmeid nende andmete kogumiseks (sageli) veel saadaval ning need tuleb välja töötada ja jagada eelkõige (suure) kokkupuutega isikutele.

ELi poliitika

ICNIRP avaldas 2020. aastal uued suunised, millele on juba viidatud mitmes tehnilises standardis (nt IEC 62232:2023 ja IEC TR 63377:2022), kuid direktiiv 2013/35/EL põhineb endiselt 1998., 2009. ja 2010. aasta suunistel, mille tõttu on õiguslik olukord muutunud keeruliseks. Tervise-, keskkonna- ja uute riskide teaduskomitee (SCHEER) on seepärast hiljuti andnud „positiivse hinnangu nõukogu soovituse 1999/519/EÜ ja direktiivi 2013/35/EL lisade tehnilise läbivaatamise vajaduse kohta seoses raadiosageduslike elektromagnetväljadega (100 kHz – 300 GHz)“ (SCHEER, 2023a). Võrreldes 1998. aasta suunistega on 2020. aasta suunistes kohandusi seoses uute elektromagnetväljade allikate, näiteks 5G-side mõjuga, mis põhineb lühiajalisel kohalikul kokkupuutel suuremate sagedustega (kuni 300 GHz). On selge, et uute elektromagnetväljatehnoloogiate kasutuselevõtt suurendab töökohal elektromagnetväljaga kokkupuute hindamise keerukust, nõudes tööohutuse ja töötervishoiu ning keskkonnaspetsialistidelt üha üksikasjalikumaid teadmisi mõõtmis- ja modelleerimismeetodite kohta (Jeschke, 2022; Stam, 2022).

Seega on töökohal elektromagnetväljadega kokkupuute hindamise praktilised kaalutlused seoses kokkupuute kestusega tööajal aastakümnete jooksul, tööohutuse ja töötervishoiu riskide usaldusväärse hindamise tava jaoks väga olulised (Jeschke jt, 2022). Neid kaalutlusi tuleb veel arendada koos asjakohaste mõõteseadmetega ning neid võib käsitleda Euroopa Komisjoni kirjanduse uuendatud versioonides (Euroopa Komisjon, 2015a; 2015b; 2015c) või esitada asjakohastes tehnilistes standardites.

Oluline on ka märkida, et kuigi ICNIRP (2020) rõhutab töötajate „sensoorse ja käitumusliku võimekuse“ tähtsust „võimalike raadiosageduslike elektromagnetväljade riskide teadvustamiseks ja asjakohaste kahju leevendamise meetmete rakendamiseks“, märgivad Jeschke jt (2022) õigesti, et ELi 1989. aasta raamdirektiiv (89/391/EMÜ) „eelistab kollektiivseid tehnilisi ja organisatoorseid kaitsevahendeid individuaalsetele (isiklikele) kaitsevahenditele“. Tööohutuse ja töötervishoiu valdkonnas on eriti suure riskiga töötajate (individuaalne) riskihindamine siiski kohustuslik. Seega on vaja piisavaid suuniseid, mida saab kergesti laiendada kõigile töötajatele.

Tööandjad, töötajad ning tööohutuse ja töötervishoiu eksperdid

Kuigi on olemas kokkupuutemaatriksid ja praktilised juhendid elektromagnetväljadega kokkupuute kohta töökeskkonnas (sh kokkupuute vähendamise meetmed), on töötajate teadmised elektromagnetväljade allikatest töökohas ja kokkupuutest nendega „tüüpiliselt vähesed“ (Turuban, 2023). Lisaks ei pruugi töötajad neid ohtlikuks pidada ega pruugi seetõttu piisavalt tähelepanu pöörata nende ennetamisele, vaid võivad isegi arvata, et ennetusmeetmed on ebamugavad (Stege, 2022). Tööandjate, töötajate ning tööohutuse ja töötervishoiu ekspertide tõhusamaks teavitamiseks võib tööandja pakkuda elektromagnetväljadega kokkupuute mõõteandureid (Bhatt jt, 2022), mida kannavad töötajad või mille saab paigaldada intensiivse elektromagnetväljaga keskkondadesse. Sellised kantavad seadmed annavad varajasi hoiatusi ning andmeid, mida on vaja elektromagnetväljadega töökohas kokkupuute ja selle võimaliku tervisemõju teadusuuringuteks (vt 5.1). Kantavate anduritega jälgimise konkreetsed sihtrühmad on näiteks töötajad, kes kasutavad aktiivselt elektromagnetvälja allikaid (nt füsioterapeudid ja turvatöötajad) või töötavad elektromagnetvälja allikate lähedal, näiteks elektrikud. Veelgi olulisem on hõlmata töötajaid, kes võivad aktiivsete elektromagnetvälja allikatega teadmatult kokku puutuda ning ei tea võimalikke riske, näiteks meditsiiniõed või hooldus- ja puhastustöötajad. Viimati nimetatud rühma tähtsus suureneb, kui võetakse kasutusele 5G-privaatvõrgud ja elektrienergia juhtmeta ülekande süsteemid.

Kuigi tööohutuse ja töötervishoiu kontekstis kasutatakse elektromagnetväljade hindamisel laialdaselt kohapealseid mõõtmisi, on siis, kui on põhjust eeldada piirväärtuste ületamist, vaja vastavuse määramiseks kasutada matkimist ja arvutuslikke meetodeid. Need on osutunud tööohutuse ja töötervishoiu spetsialistide jaoks väga probleemseks kaasnevate suurte kulude ja vajalike eriteadmiste tõttu (Jeschke, 2022). Seepärast on vaja rusikareegleid, mis võimaldaksid arvutada kiiresti, et järgida piirmääri. Mitmes riigis on sellised suunised juba koostatud, vt näiteks Bolte ja Pruppers (2006).

Lõppmärkused

Dokumendis on põhjalik ülevaade tekkivate elektromagnetväljarakenduste mõjust tööohutusele ja töötervishoiule, tuues esile elektromagnetväljade laialdase olemasolu nüüdisaegses töökeskkonnas tänu tehnika arengule, mis muudab need töö digipöörde ja tööstuse 5.0 peamisteks tõukejõududeks (mis võimaldab näiteks täiustatud automaatikat, robootikat, virtualiseerimist, kaugtööd, juhtimiskeskusi jne).

Elektromagnetväljadega kokkupuute riskide hindamine on väga keerukas, sest kiirgusallikad on sageduse, intensiivsuse ja kasutusviisi poolest väga mitmekesised, eriti töökeskkonnas, ning samuti on mitmekesised seonduvad kahjulikud tervisemõjud. Kuigi tugeva elektromagnetväljaga kokkupuute akuutset toimet praegu kasutatavatel sagedustel mõistetakse hästi, esineb endiselt vastuolusid ja lünki seoses nõrga kokkupuute pikaajalise toimega ja üha suuremate sageduste kasutamisega tulevikus. Seega tuleb ajakohastele uuringutele tuginedes pidevalt ajakohastada töötajate kaitseks koostatud regulatiivseid standardeid ja (praktilisi) suuniseid. Selleks on väga soovitatav teha pikaajalist asjakohaste sagedusribade elektromagnetväljade kiirgustaseme seiret töökohas, kasutades paikseid ja kantavaid andureid ning kombineerides saadud andmeid töötajate tervisenäitajatega.

Kokkuvõttes on elektromagnetväljadega kokkupuute hindamiseks ja riskide ennetamiseks vaja multidistsiplinaarset käsitlust, mis hõlmab kutsealaomaseid teadusuuringuid, poliitika pidevat kohandamist ning tõhusat teabevahetust tööohutuse ja töötervishoiu sidusrühmade vahel, et tagada töötajate tervis ja ohutus keskkonnas, kus on juhtmeta sidet ja elektritoidet üha rohkem.

Tänuavaldused

Täname järgmisi isikuid: Rianne Stam (Madalmaade riiklik rahvatervise ja keskkonna instituut – RIVM), Stefania Marassi (Law, THUAS) ning Emanuelle Brun ja Annick Starren (EU-OSHA) kriitilise ülevaatuse ja viljakate arutelude eest.

Viited

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 (June 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)*, Article 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.

Euroopa Tööohutuse ja Töötervishoiu Amet (EU-OSHA). (2023). *Poliitikaülevaade. Tööohutuse ja töötervishoiu nutikad digitaalsed seiresüsteemid: võimalused ja probleemid.* https://osha.europa.eu/en/publications/smart-digital-monitoring-systems-occupational-safety-and-health-opportunities-and-challenges.

Euroopa Komisjon. (2021). *Komisjoni teatis Euroopa Parlamendile, nõukogule, Euroopa Majandus- ja Sotsiaalkomiteele ning Regioonide Komiteele – ELi töötervishoiu ja tööohutuse strateegiline raamistik aastateks 2021−2027 – Töötervishoid ja tööohutus muutuvas töömaailmas.* COM(2021) 323 final. Avaldatud aadressil https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX%3A52021DC0323

Euroopa Komisjoni tööhõive, sotsiaalküsimuste ja sotsiaalse kaasatuse peadirektoraat. (2015a). *Elektromagnetväljade direktiivi 2013/35/EL rakendamise hea tava mittesiduv juhend. 1. osa. Praktiline juhend.* Brüssel, Belgia.

Euroopa Komisjoni tööhõive, sotsiaalküsimuste ja sotsiaalse kaasatuse peadirektoraat. (2015b). *Elektromagnetväljade direktiivi 2013/35/EL rakendamise hea tava mittesiduv juhend. 2. osa. Juhtumiuuringud.* Brüssel, Belgia.

Euroopa Komisjoni tööhõive, sotsiaalküsimuste ja sotsiaalse kaasatuse peadirektoraat. (2015c). *Elektromagnetväljade direktiivi 2013/35/EL rakendamise hea tava mittesiduv juhend. 3. osa. Juhend VKEdele.* Brüssel, Belgia.

Euroopa Komisjon (2022). Industry 5.0: A Transformative Vision for Europe - ESIR Policy Brief No. 3. Publications Office of the European Union, ISBN 978-92-76-43352-1.

European Telecommunications Standards Institute (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, France.

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.

International Telecommunication Union (ITU). (2020). *Radio Regulations Articles: Edition of 2020.*

International Telecommunication Union (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 – update 2019 [Elektromagnetväljade võimalikud pikaajaline mõju töötajate tervisele – uued andmed 2019]. *RIVM Report* 2019-0010. Bilthoven: RIVM.

Scientific Committee on Health, Environmental and Emerging Risks (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 (100kHz - 300GHz)*.

Scientific Committee on Health, Environmental and Emerging Risks (SCHEER). (2023b). *Potential health effects of exposure to electromagnetic fields (EMF): 14 Update with regard to frequencies between 1Hz 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 [Töötajate elektromagnetväljadega kokkupuute allikad: uued arengud]. *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. Avaldatud aadressil: 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.

Autorid: Sam Aerts, John Bolte.

Nutikate andurisüsteemide uurimisrühm, tehnoloogia, innovatsiooni ja ühiskonna teaduskond, Haagi rakenduskõrgkool (THUAS), Madalmaad.

Projektijuhid: Annick Starren, Emmanuelle Brun, Euroopa Tööohutuse ja Töötervishoiu Amet (EU-OSHA).

Käesoleva aruteludokumendi tellis EU-OSHA. Dokumendi sisu (sealhulgas selles esitatud arvamused ja/või järeldused) kajastab üksnes autorite, mitte tingimata EU-OSHA seisukohti.

Amet ega ükski selle nimel tegutsev isik ei vastuta järgmise teabe võimaliku kasutamise korral.

© Euroopa Tööohutuse ja Töötervishoiu Amet, 2026

Reprodutseerimine on lubatud allikale viitamisel.

Euroopa Tööohutuse ja Töötervishoiu Ameti autoriõigusega kaitsmata fotode ja muude materjalide kasutamiseks või reprodutseerimiseks tuleb taotleda luba vahetult autoriõiguse omajalt.