ELEKTROMAGNETISCHE VELDEN: HUIDIGE EN TOEKOMSTIGE UITDAGINGEN VOOR VEILIGHEID EN GEZONDHEID OP HET WERK

Inleiding

Geurloze, onhoorbare en onzichtbare elektromagnetische velden (EM-velden), afkomstig van mobiele telefoons, radioantennes, wifi-routers, elektriciteitsleidingen enz., zijn in de moderne samenleving alomtegenwoordig. Het aantal en de diversiteit van elektromagnetische bronnen in woningen, in openbare ruimten en op werkplekken neemt bovendien alleen maar toe. Zo zijn er de afgelopen jaren wijdverbreide nieuwe, op EM-velden gebaseerde technologieën ontstaan, zoals een nieuwe generatie mobiele telefoontechnologieën (de vijfde, ook bekend als 5G), draadloze energieoverdracht en verschillende medische toepassingen. De vooruitgang op het gebied van draadloze technologie wordt algemeen beschouwd als een belangrijke motor voor de digitalisering van werk[1] en van Industrie 5.0 (EC, 2022). Deze ontwikkelingen hebben gevolgen voor veel gebieden die relevant zijn voor de toekomst van werk[2], zoals het internet der dingen (IoT), hybride werken en virtuele werkomgevingen. Ze spelen ook een cruciale rol bij zelfrijdende auto's, onbemande luchtvaartuigen (UAV's), sensoren en geavanceerde robotica., Vanwege de alomtegenwoordigheid van EM-velden is de discussie rond EM's echter een steeds belangrijker onderwerp geworden, zowel in wetenschappelijke kringen als bij het grote publiek. Gezien de snelle verspreiding en het toegenomen gebruik van EM-velden in werkomgevingen heeft de Europese Commissie (EC) onlangs benadrukt dat het belangrijk is om de blootstelling van werknemers aan EM-velden en de mogelijke schadelijke gezondheidseffecten ervan te analyseren (EC, 2021).

Deze nota is bedoeld om de opkomende en toekomstige ontwikkelingen van toepassingen van EM-velden in werkomgevingen en de mogelijke gevolgen daarvan voor de veiligheid en gezondheid op het werk in kaart te brengen. Ook wordt de aandacht gevestigd op lacunes in de kennis over (veilige) blootstellingsniveaus. Daarnaast bevat de nota aanbevelingen voor werknemers en werkgevers, professionals op het gebied van gezondheid en veiligheid en beleidsmakers om de risico's in verband met blootstelling aan elektromagnetische velden tot een minimum te beperken. Voor informatie over de indirecte risico's en voordelen voor veiligheid en gezondheid op het werk van op EM-velden gebaseerde toepassingen die relevant zijn voor de toekomst van werk, wordt verwezen naar de publicaties van EU-OSHA[1, 2].

Wat zijn elektromagnetische velden?

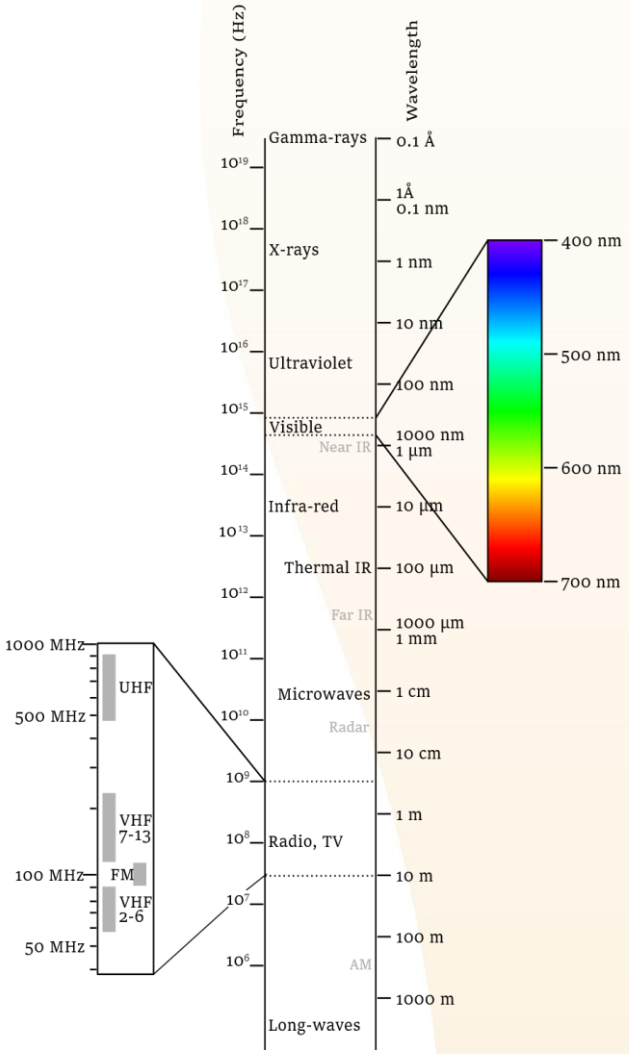
In wezen worden EM-velden gegenereerd door bewegende elektrische ladingen en verspreiden ze zich als een combinatie van oscillerende elektrische en magnetische golven met de snelheid van het licht. Het elektrische veld ontstaat door krachten die de geladen deeltjes op elkaar uitoefenen, terwijl het magnetische veld wordt geproduceerd door bewegende ladingen (elektrische stromen). EM-velden worden gekenmerkt door hun frequentie of golflengte, signaalkenmerken en intensiteit. De frequentie, gemeten in hertz (Hz), staat voor het aantal cycli dat de golf per seconde voltooit. De golflengte, gemeten in meters (m), is de afstand tussen twee pieken van de golf. Met signaalkenmerken wordt bedoeld of het bijvoorbeeld om continue sinusvormige of pulserende EM-velden gaat. De intensiteit is de energie van de golf, gecorreleerd aan de amplitude (hoogte van de piek) van de golf. Het blootstellingsniveau is de intensiteit van de invallende golf op de plek waar deze het lichaam raakt, gewoonlijk tijds-, volume- en/of ruimtelijk gewogen (gemiddeld) over een bepaalde periode, een

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

[2] Zie de discussienota's van EU-OSHA over onderwerpen die van belang zijn voor de toekomst van werk op: 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

bepaald oppervlak en/of een bepaald volume. Dit niveau wordt gemeten in termen van vermogensdichtheid (uitgedrukt in watt per vierkante meter) of elektrische veldsterkte (uitgedrukt in volt per meter). Frequentie en golflengte zijn omgekeerd evenredig (figuur 1): de golflengte (in meter) kan worden berekend door de lichtsnelheid (30 miljoen meter per seconde in vacuüm) te delen door de frequentie (in hertz, Hz). Het elektrische en het magnetische veld zijn doorgaans gekoppeld op een afstand van meer dan tien golflengten van de bron; dit gebied wordt het verre veld genoemd.

Figuur 1: Het elektromagnetische spectrum



Het extreem laagfrequente (ELF) bereik en een deel van het middenfrequente (IF) bereik (1 Hz – 100 kHz) zijn niet opgenomen in deze figuur.

Lijst van afkortingen: MHz = megahertz, waarbij Hz de eenheid van frequentie is, die het aantal cycli/sinusgolven per seconde aangeeft; UHF = ultrahoge frequentie, VHF = zeer hoge frequentie; AM = amplitudegemoduleerd; FM = frequentiegemoduleerd; IR = infrarood; m = meter, cm = centimeter; mm = millimeter; µm = micrometer, nm = nanometer, Å = ångström = 0,1 nm.

Bron: Wikimedia Commons [Creative Commons Attribution-ShareAlike 2.5 Generieke licentie]

Er bestaan zowel natuurlijke als door de mens veroorzaakte bronnen van EM-velden. Kort gezegd zenden door de mens veroorzaakte bronnen EM-velden uit die worden gemanipuleerd om informatie of energie over te brengen. De praktische toepassingen variëren echter even sterk als de frequentie: van extreem lage frequenties (ELF, d.w.z. frequenties tussen 1 Hz en 300 Hz), waargenomen bij energieopwekking, tot middenfrequenties (IF, d.w.z. frequenties tussen 300 Hz en 10 MHz, waarbij

1 MHz = 10^6 Hz; figuur 1) tot radiofrequenties (RF, d.w.z. frequenties van 10 MHz tot 300 GHz, waarbij 1 GHz = 10^9 Hz; figuur 1), die worden gebruikt in radar- en mobiele communicatietoepassingen.

Er wordt op gewezen dat deze nota alleen betrekking heeft op EM-velden met frequenties tot enkele terahertz (waarbij 1 THz = 10^{12} Hz, figuur 1), de zogenaamde radiogolven (ITU, 2020), die onder het zichtbare spectrum liggen en ruim binnen het deel van het spectrum vallen dat als niet-ioniserend wordt beschouwd, bijvoorbeeld die niet voldoende energie hebben om sterk gebonden elektronen uit atomen of moleculen te verwijderen (wat kan leiden tot moleculaire schade en gezondheidseffecten). Dit betekent dat, afgezien van infrarood en zichtbaar licht, andere bekende delen van het elektromagnetische spectrum, zoals uv-straling, röntgenstraling en gammastraling, hier niet aan bod komen.

Nieuwste ontwikkelingen met betrekking tot EM-velden op de werkplek

Mobiele communicatienetwerken

De **vijfde generatie telecommunicatienetwerken (5G)** werkt op niet eerder gebruikte frequenties, waarvan sommige aanzienlijk hoger zijn dan die van voorgaande generaties (tot 71 GHz (met 1 GHz = 10^9 Hz), figuur 1). Met 5G zijn technologische verbeteringen ingevoerd waardoor meer gebruikers tegelijkertijd door hetzelfde basisstation kunnen worden bediend. Dit wordt bereikt door de uitgezonden energie in de ruimte te verdelen en deze als een soort straal op de gebruikers te richten. In de meeste Europese landen hebben de regelgevende instanties de nieuwe frequenties inmiddels toegewezen en geveild.

De wereldwijde uitrol van 5G-netwerken heeft geleid tot bezorgdheid bij het publiek over vermoedelijke gezondheidsrisico's als gevolg van een vermeende toename van de totale blootstelling aan EM-velden en het gebruik van hogere frequenties (waarvan de mogelijke biologische effecten nog niet grondig zijn onderzocht), alsook tot desinformatie en zelfs vandalisme tegen infrastructuur (ITU, 2021). Hoewel de toevoeging van 5G-netwerken inderdaad zou kunnen leiden tot een toename van de totale blootstelling aan EM-velden, zal deze situatie naar verwachting voortduren zolang de netwerken van de vorige generatie in gebruik blijven (SCHEER, 2023a). Om de bezorgdheid van het publiek over 5G weg te nemen en de daadwerkelijke impact op de totale blootstelling aan radiofrequente EM-velden te monitoren, zijn vier internationale studies gefinancierd door het Horizon-programma van de EU met[3] als doel de gezondheids- en milieueffecten van de uitrol van 5G te beoordelen, ook in werkomgevingen. Deze projecten zijn in 2022 van start gegaan en zullen tussen 2025 en 2027 worden afgerond.

Bij hogere frequenties is een toenemend aantal basisstations nodig om draadloze verbindingen van hoge kwaliteit in stand te houden. Daarom worden kleine mobiele basisstations gebruikt, die op bomen, straatlantaarns of gebouwen worden geplaatst op een afstand van slechts enkele honderden meters van elkaar (SCHEER, 2023a). Kleine basisstations worden ook steeds vaker gebruikt in particuliere of bedrijfsnetwerken[4] en ingezet in grote fabrieken, productieruimten, (lucht)havens, campussen, enzovoort.

De combinatie van transmissietechnieken, hogere frequenties en gelijktijdige netwerkverdichting die 5G met zich meebrengt, maakt draadloze communicatie mogelijk met (zeer) hoge gegevensdoorvoersnelheden en (ultra)lage latentie, waardoor het een belangrijke motor is voor de digitalisering van werk en vele toekomstige werktoepassingen. Er wordt echter verwacht dat de technologische innovaties die met 5G worden geïntroduceerd pas volledig tot hun recht zullen komen in de volgende generatie 6G, die naar verwachting in 2030 zal worden gelanceerd. Het vlaggenschipproject Hexa-X van de EU[5] voorspelt zelfs dat 6G een universeel toepasbare technologie (general purpose technology, GPT) zal worden in plaats van alleen een ondersteunende technologie, waardoor (volledig immersieve) telepresence mogelijk wordt, zoals de metaverse, massale twinning (d.w.z. realtime dashboards en virtuele modellen van apparaten en (productie)faciliteiten), e-gezondheidszorg voor iedereen, cobots (d.w.z. robots die mensen ondersteunen bij hun taken), en

[3] Zie: https://www.emf-health-cluster.eu/
[4] 5G-netwerken van particulieren/bedrijven zijn niet openbaar toegankelijk en zeer veilig.
[5] Zie: https://hexa-x.eu/. De Europese Commissie heeft verschillende vlaggenschipinitiatieven gelanceerd om de belangrijkste wetenschappelijke en technologische uitdagingen aan te pakken en innovatie in de EU te stimuleren: https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/activities/flagships.

volledige integratie van IoT (Internet der dingen) , met massa's sensoren, op en buiten het lichaam. Dit betekent dat 6G naar verwachting een verstrekkende invloed zal hebben op maatschappelijke en industriële transformaties (Industrie 5.0). Hiervoor zal 6G gebruikmaken van delen van het radiospectrum die ver boven het spectrum liggen dat door 5G wordt of zal worden gebruikt (>100 GHz), wat niet alleen ultrahoge doorvoersnelheden mogelijk maakt, maar ook lokalisatie en detectie op centimeterniveau.

Energietransitie

De voortdurende energietransitie naar hernieuwbare bronnen vereist uitbreidingen en verbeteringen van het elektriciteitsnet (bv. de plaatsing van hoogspanningsleidingen en omvormerstations) en een betere monitoring van het momentane energieverbruik op individueel niveau (bv. via een draadloos netwerk van sensoren, zogenaamde slimme meters). De blootstellingsrisico's voor werknemers (bv. bouwvakkers, elektriciens en onderhoudsingenieurs) en werknemers die betrokken zijn bij de ontwikkeling en het onderhoud van nieuwe (energie)infrastructuur, met een potentieel hoge blootstelling als gevolg van hoge stroomsterktes, zijn bekend en de werknemers in energiecentrales lijken zich bewust te zijn van de risico's en hoe ze zichzelf kunnen beschermen (Stege et al., 2020). Dit is mogelijk in mindere mate het geval voor onderaannemers die in energiecentrales werkzaam zijn, maar zij kunnen worden ingelicht door de verantwoordelijken voor veiligheid, gezondheid en milieu (VGM). Bovendien dragen slimme meters over het algemeen weinig bij aan de totale blootstelling aan radiofrequente EM-velden, aangezien zij zelden golven uitzenden en beperkt zijn tot specifieke locaties (Aerts et al., 2019). Ten slotte wordt voor (industriële) verwarmingstoepassingen steeds vaker overgestapt van koolwaterstofbrandstoffen naar elektrische inductie, wat leidt tot meer laagfrequente magnetische velden, die potentieel een hoge intensiteit kunnen hebben, maar ruim onder de blootstellingsgrenswaarden kunnen worden gehouden. (EC, 2015a, b).

Draadloze energieoverdracht

Draadloze energieoverdracht is uitgegroeid tot de meest gebruikte technologie voor het opladen van persoonlijke apparaten (bv. smartphones en laptops, maar ook elektrisch gereedschap) en wordt ook onderzocht of geïntroduceerd voor medische apparaten (bv. pacemakers), elektrische voertuigen, drones en andere industriële autonome voertuigen/robots. Draadloze energieoverdracht maakt gebruik van ofwel gerichte radiofrequente EM-velden (stralen) ofwel inductieve of resonante technologieën, die EM-velden uitzenden met frequenties tussen 10 kHz en 50 MHz (ETSI, 2019). In het eerste geval zorgt de overdracht van energie door de lucht ervoor dat apparaten en machines, robots en drones continu kunnen werken. In werkomgevingen komt draadloze energieoverdracht voornamelijk voor in de onderhouds- en reparatiesector, de maakindustrie, de vervoers- en logistieke sector en alle sectoren met banen waarin gebruik wordt gemaakt van (mobiele) robotica. Daarnaast zal het draadloos opladen van voertuigen op grotere schaal worden geïmplementeerd door integratie in (weg)infrastructuur. Zo worden verschillende voertuigen, zoals auto's, bussen en vrachtwagens, al opgeladen door middel van inductieladers[6] op parkeerplaatsen en bushaltes. Bovendien zullen inductieladers in de (nabije) toekomst in wegen worden geïntegreerd om rijdende voertuigen voortdurend op te laden. Recente studies – hoewel niet uitgevoerd in een werkomgeving – geven aan dat de blootstelling aan systemen voor draadloze energieoverdracht in de directe omgeving lager is dan de blootstellingslimieten (Stam, 2022). Toekomstige verhogingen van het vermogen van systemen, bijvoorbeeld om grote elektrische voertuigen op te laden, kunnen echter leiden tot een verhoogde blootstelling, vooral in werkomgevingen.

Gezondheidszorg

In de gezondheidszorg leidt de toepassing van EM-velden naar nauwkeurigere en steeds krachtigere methoden, waarbij vaak gebruik wordt gemaakt van hogere frequenties, gerichte stralen en/of hogere (gelokaliseerde) vermogens. Nieuwe ontwikkelingen op het gebied van diagnostische instrumenten zijn onder meer magnetische deeltjesbeeldvorming (5-50 kHz) (Billings et al., 2021), waarbij de blootstelling van medische werknemers aanzienlijk kan toenemen, radar voor oppervlakkige beeldvorming (1-60 GHz) (de Waard-Schalkx et al., 2015) en monitoring van vitale signalen (tot 120 GHz) (Cardillo en Caddemi, 2020), en terahertz-frequenties voor beeldvorming, spectroscopie en behandeling (Amini et al., 2021). Bovendien kunnen nieuwe cosmetische behandelingen met gepulseerde laagfrequente

[6] Inductieladers brengen energie draadloos over via elektromagnetische inductie. Deze methode wordt ook op grote schaal toegepast voor huishoudelijke apparaten zoals elektrische tandenborstels en draadloze oplaadpads voor smartphones.

(15 Hz) of radiofrequente EM-velden (27 MHz – 5,8 GHz) ook risico's opleveren voor medisch personeel (Stam, 2022).

Veiligheid

Terahertz- en millimetergolffrequenties worden ook gebruikt in beveiligings- en scantoepassingen zoals bodyscanners op luchthavens, postscanners en bij niet-destructief onderzoek. Deze toepassingen kunnen sterk verschillen in intensiteit: terwijl de veldsterktes in beveiligingsscanners vanwege de blootstelling van het grote publiek beperkt blijven tot waarden onder de blootstellingslimieten, kunnen medische en industriële toepassingen hogere intensiteiten gebruiken en moeten deze worden bediend door goed opgeleide medewerkers.

Gevolgen van EM-velden voor veiligheid en gezondheid op het werk

Schadelijke gevolgen voor de gezondheid en wet- en regelgeving inzake blootstelling aan EM-velden

Er is uitgebreid onderzoek gedaan naar de gezondheidseffecten van EM-velden, maar de blootstellingsrichtlijnen zijn voornamelijk gericht op acute, korte termijneffecten. Deze effecten hangen af van de frequentie van de EM-velden, de intensiteit ervan en de duur van de blootstelling. Voorbeelden van effecten van blootstelling aan laagfrequente EM-velden boven de blootstellingslimieten voor veiligheid en gezondheid op het werk zijn onder meer de waarneming van elektrische ladingen aan oppervlakken, directe stimulatie van zenuw- en spierweefsel en het optreden van fosfenen in het netvlies (d.w.z. valse lichtflitsen). Bij hogere frequenties (100 kHz – 300 GHz, figuur 1) nemen de effecten van zenuwstimulatie en veranderingen in de doorlaatbaarheid van celmembranen (bij zeer hoge blootstellingsniveaus) af, waarbij mogelijke plaatselijke en kerntemperatuurstijgingen in het lichaam optreden en zogenaamde thermische effecten ontstaan. Bovendien is bekend dat EM-velden ook indirecte effecten kunnen hebben die veiligheidsrisico's kunnen veroorzaken, zoals contactstromen, vonkontladingen en elektromagnetische interferentie met of verhitting van medische implantaten.

Al deze effecten worden goed begrepen en vormen de basis voor de huidige blootstellingsrichtlijnen die zijn opgesteld door internationale instanties zoals de Internationale Commissie voor bescherming tegen niet-ioniserende straling (ICNIRP), die het wetenschappelijk bewijs voor schadelijke gezondheidseffecten als gevolg van blootstelling aan EM-velden hebben gebundeld in drie publicaties: één voor statische magnetische velden (ICNIRP, 2009), een tweede voor het laagfrequente bereik (d.w.z. van 1 Hz tot 10 MHz) (ICNIRP, 2010), waarin magnetische en elektrische velden afzonderlijk moeten worden behandeld omdat ze niet zijn gekoppeld in één enkel elektromagnetisch veld zoals in het verre veld, aangezien werknemers meestal nog niet in het verre veld met bronnen van EM-velden werken, en een derde voor het bereik tussen 100 kHz en 300 GHz (ICNIRP, 2020). Op basis van dit wetenschappelijke bewijs heeft de ICNIRP blootstellingslimieten vastgesteld die bekend staan als basisbeperkingen en referentieniveaus. De referentieniveaus zijn afgeleid van de basisbeperkingen en bieden een gelijkwaardig niveau van bescherming, maar zijn veel gemakkelijker te beoordelen op de werkplek. Hierbij moet worden opgemerkt dat de blootstellingslimieten per frequentie (band) worden gedefinieerd en dat de ICNIRP een wegingsmethode vaststelt voor de gelijktijdige blootstelling aan meerdere bronnen op een bepaalde locatie in dezelfde of andere frequentiebanden. Om rekening te houden met de wetenschappelijke onzekerheid (met inbegrip van de variabiliteit in de thermische fysiologie bij de bevolking en in de niveaus van lichaamsbeweging en omgevingsomstandigheden), zijn eerst aanvullende reductiefactoren toegepast op de basisbeperkingen, die (vijf keer) kleiner zijn voor beroepsmatige blootstelling dan voor het grote publiek, aangezien dit laatste wordt beschouwd als variabeler in leeftijd en gezondheidstoestand en niet op de hoogte is van of niet in staat is om de potentiële risico's te beheersen (ICNIRP, 2020). Naleving van de ICNIRP-referentieniveaus en/of basisbeperkingen wordt voldoende geacht om bescherming te bieden tegen de vastgestelde schadelijke gezondheidseffecten.

Bovendien zijn de EU-richtlijnen en -wetgeving inzake blootstelling aan EM-velden gebaseerd op de ICNIRP-richtlijnen. Deze bestaan uit Aanbeveling 1999/519/EG van de Raad van 12 juli 1999 over de blootstelling van de bevolking aan EM-velden en Richtlijn 2013/35/EU van 26 juni 2013 over

beroepsmatige blootstelling, die sinds 2017 in alle lidstaten is geïmplementeerd, met enkele nationale variaties.

Verschillende studies (bv. Rijs en Stam, 2019) hebben mogelijke verbanden onderzocht tussen langdurige blootstelling aan EM-velden en verschillende gezondheidsproblemen, waaronder kanker, voortplantingsproblemen, ontwikkelingsachterstanden en neurodegeneratieve aandoeningen. Ondanks uitgebreid onderzoek blijft het wetenschappelijk bewijs echter onduidelijk, waarbij sommige studies wijzen op een verband, maar geen wetenschappelijk bewezen causaal verband zoals dosis-effectreacties, terwijl er in andere studies geen wezenlijk verband is gevonden (ICNIRP, 2020).

Blootstelling aan EM-velden op de werkplek

De Europese Commissie heeft in drie niet-bindende praktische gidsen (EC, 2015a; 2015b; 2015c) uitgebreide informatie verstrekt om voor werkgevers te verduidelijken wat zij moeten doen om aan Richtlijn 2013/35/EU te voldoen, waarbij de nadruk ligt op werkomgevingen met EM-velden van een potentieel hoge intensiteit. Bovendien bestaan er verschillende schema's van de blootstelling per bron en per beroep die als referentie kunnen dienen (Vila et al., 2017; Migault et al., 2019). De hierboven beschreven nieuwe ontwikkelingen op het gebied van op EM-velden gebaseerde toepassingen kunnen echter leiden tot extra, verhoogde of gewijzigde blootstelling aan EM-velden in werkomgevingen, zoals hieronder beschreven.

- De verdichting van het mobiele telefoonnetwerk (d.w.z. meer antennes per oppervlakte) leidt ertoe dat steeds meer mensen dichter bij telecommunicatieantennes werken dan voorheen, met name wanneer er kleine basisstations worden ingezet. Dit geldt in het algemeen (bv. voor dakdekkers en elektriciens), maar meer in het bijzonder voor werkplekken met hun eigen draadloze netwerken (d.w.z. particuliere/zakelijke mobiele telefoon-, wifi- en/of sensornetwerken), vooral wanneer het aantal (persoonlijke) draadloze apparaten en sensoren op deze werkplekken toeneemt. Met name sensoren die op het lichaam worden gedragen (bv. voor het monitoren van de persoonlijke gezondheid of blootstelling) kunnen de blootstelling van de werknemer aan EM-velden lokaal verhogen (d.w.z. beperkt tot het deel van het lichaam waarop de sensor is aangebracht). Deze technologische innovaties zullen naar verwachting overal aanwezig zijn en niet enkel in een specifieke sector.
- De toenemende aanwezigheid van (grootschalige) systemen voor draadloze energieoverdracht zou de blootstelling aan EM-velden bij technologieafhankelijke frequenties (zie paragraaf 3) in de transport- en logistieke sector (bv. bus- en vrachtwagenchauffeurs) kunnen verhogen. Dit geldt ook voor werkplekken waar persoonlijke gereedschappen en robots/UAV's draadloos worden opgeladen op platforms zoals die voor mobiele telefoons, maar dan groter, in plaats van via een stekker.
- Elektrificatie zou de blootstelling aan laagfrequente magnetische velden (van hoogspanningslijnen, omvormers en industriële verwarmingsprocessen, zoals inductieverwarming) kunnen verhogen (SCHEER, 2023b).
- Naarmate het aantal toepassingen van EM-velden in de medische sector toeneemt, kan meer medisch personeel (met inbegrip van niet-technisch personeel) worden blootgesteld aan EM-velden met een breed scala aan frequenties (Stam en Yamaguchi-Sekino, 2017; Turuban, 2023).
- Het gebruik van steeds hogere frequenties (niet alleen in mobiele telefoonnetwerken, maar ook in medische- en veiligheidsscanners) kan leiden tot een toenemende lokale, maar oppervlakkige blootstelling, waarvan de risico's nog niet duidelijk zijn.

Preventie van risico's voor veiligheid en gezondheid op het werk in verband met EM-velden

Volgens EU-Richtlijn 2013/35/EU zijn werkgevers verplicht om alle risico's als gevolg van blootstelling aan EM-velden op de werkplek te beoordelen en adequate preventiemaatregelen te nemen. Zij moeten er met name voor zorgen dat de grenswaarden van de richtlijn worden nageleefd. Ten eerste gebeurt dit op basis van gemakkelijk toegankelijke informatie: specificaties die door de fabrikant worden verstrekt (bv. of de specifieke toepassing voldoet aan de eisen van relevante EU-wetgeving inzake producten waarin mogelijk strengere veiligheidsniveaus zijn vastgesteld dan die van Richtlijn 2013/35/EU), schema's van de blootstelling per bron en/of beroep (Vila et al., 2017; Migault et al.,

2019), overzichtsstudies en/of praktische handleidingen die zijn gepubliceerd door de EU, nationale instellingen en normalisatie-instellingen. De documenten (EC, 2015a; 2015b) bevatten bijvoorbeeld lijsten van uitrusting en werkplekken waarvoor mogelijk **specifieke risicobeoordelingen** nodig zijn. Ze bieden ook richtlijnen over de noodzaak van een risicobeoordeling van EM-velden voor werknemers die een bijzonder risico lopen, zoals werknemers met actieve medische hulpmiddelen zoals pacemakers (Modenese en Gobba, 2021). Het is echter mogelijk dat deze informatie nog niet toereikend is om te beoordelen of aan de blootstellingsgrenswaarden voor nieuwe op EM-velden gebaseerde toepassingen en de daaraan verbonden risico's op het gebied van veiligheid en gezondheid op het werk zal worden voldaan. In dat geval moeten ter plaatse metingen of dosimetrische berekeningen worden uitgevoerd die moeten worden vergeleken met de wettelijke grenswaarden, waarbij rekening moet worden gehouden met alle onzekerheden die ermee gepaard gaan.

Als de grenswaarden worden overschreden, moeten beschermende- en preventieve maatregelen worden genomen (voorbeelden hiervan zijn te vinden in (EC, 2015a; 2015b)). Aangezien de intensiteit van EM-velden snel afneemt naarmate de afstand tot de bron toeneemt, is het vergroten van de afstand tussen de bron en de werknemer de meest effectieve maatregel om de blootstelling te verminderen. Dit kan worden bereikt door middel van technische en organisatorische maatregelen, zoals het plaatsen van barrières, bewegwijzering en werkinstructies. Bovendien is afscherming effectief voor alle vormen van EM-velden, behalve voor laagfrequente magnetische velden. Informatie over de vermindering van de blootstelling aan EM-velden wordt ook verstrekt in richtlijnen van de Europese Commissie (EC, 2015a), met inbegrip van maatregelen voor het ontwerp van werkplekken en bepalingen met betrekking tot werkinstrumenten en -methoden. Spoelen, transformatoren en draadloze laadplatforms moeten bijvoorbeeld inherent veilig zijn wanneer zij zich op een bepaalde afstand van een werkplek bevinden. Het mag niet mogelijk zijn om recht voor zendantennes te staan.

Gebrek aan onderzoek, behoeften, prioriteiten en aanbevelingen met betrekking tot EM-velden en veiligheid en gezondheid op het werk

Wetenschappelijk onderzoek

Er is een algemeen gebrek aan onderzoek naar de gezondheidseffecten en de blootstellingsintensiteit van EM-velden op:

1. frequenties die worden gebruikt in opkomende technologieën voor mobiele communicatie (d.w.z. tussen 6 en 300 GHz);
2. de intermediaire frequenties die worden gebruikt voor draadloze energieoverdracht;
3. de (sub-)THz-frequenties die worden gebruikt in nieuwe beeldvormings- en scantechnologieën (en het verwachte gebruik met 6G). Er is met name een gebrek aan onderzoek naar:
    a. de blootstellingsniveaus, vooral in beroepen waarbij apparatuur wordt gebruikt die potentieel sterke magnetische, elektrische of elektromagnetische velden genereert (Turuban, 2023);
    b. de mogelijke gezondheidseffecten (en de mogelijke biologische interactiemechanismen die deze veroorzaken) (Jeschke, 2022);
    c. de langdurige cumulatieve blootstelling aan EM-velden in werkomgevingen (Hansson Mild, 2023); en
    d. de meest relevante maatstaf voor blootstelling (Turuban, 2023).

Bovendien kunnen de gezondheids- en zintuiglijke effecten van blootstelling aan EM-velden tussen werknemers aanzienlijk verschillen. Blootstelling aan EM-velden wordt beïnvloed door verschillende persoonlijke- en omgevingsfactoren, waaronder:

- persoonlijke kenmerken: anatomie, lichamelijke kenmerken zoals implantaten of piercings en gebruik van medicijnen);
- werkhouding: de positie en beweging van het lichaam tijdens het werk;
- werkomgeving:

- bouwmaterialen: beton kan radiofrequente EM-velden afzwakken en gedeeltelijk afschermen door middel van ijzeren mazen, terwijl hout voor afscherming zorgt;
- gebruik van gereedschap: het hanteren of gebruiken van gereedschap (Jeschke, 2023) kan van invloed zijn op de blootstellingsniveaus.

Deze variabiliteit tussen werknemers en ook bij dezelfde werknemer leidt tot aanzienlijke onzekerheid in de huidige onderzoeken naar blootstelling en de blootstellingsschema's die op deze gegevens gebaseerd zijn (Turuban, 2023).

Daarom moeten studies zodanig worden opgezet dat ze uitgaan van realistische blootstellingsscenario's op de werkplek (bv. hoge piekblootstellingen gevolgd door periodes zonder blootstelling (Hansson Mild, 2023) of blootstellingen die dicht bij de grenswaarden liggen gedurende een periode van acht uur of langer (Jeschke, 2022)) en/of dat gedetailleerde, beschrijvende gegevens worden verzameld over:

(a) typische beroepscriteria zoals de anatomie van de werknemer, werkposities en -houdingen, lichamelijke activiteit, zware omstandigheden en de hantering van instrumenten, met name die welke EM-velden uitstoten (Jeschke, 2022);

(b) de kenmerken van de gegenereerde EM-velden (bv. frequentie en modulatie van beroepsmatige bronnen (Jeschke, 2022);

(c) de potentiële blootstellingen gedurende het beroepsleven (Hansson Mild, 2023), en

(d) andere gezondheidseffecten dan de reeds bekende (bv. als gevolg van thermische effecten voor RF-EMF) (Jeschke, 2022).

Dit soort onderzoeken zou het wetenschappelijke inzicht in de niveaus en de duur van de blootstelling aan EM-velden in de verschillende werkomgevingen aanzienlijk verbeteren en kan dienen als nauwkeuriger uitgangspunt voor epidemiologische onderzoeken naar de gezondheidseffecten van blootstelling aan EM-velden, die op dit moment nauwelijks rekening houden met beroepsmatige blootstelling. Er is echter in de eerste plaats behoefte aan individuele langetermijngegevens over blootstellingsniveaus op het werk in combinatie met andere (relevante) blootstellingen in de omgeving of op het werk (bv. via IoT-sensornetwerken), om te zoeken naar medeoorzaken of determinanten (Stam en Rijs, 2019; Hansson Mild et al., 2023). Helaas zijn er dikwijls nog geen geschikte, goedkope meetapparaten om deze gegevens te verzamelen beschikbaar. Deze apparaten zullen moeten worden ontwikkeld en verstrekt aan (sterk) blootgestelde personen in het bijzonder.

EU-beleid

Aangezien de ICNIRP in 2020 nieuwe richtlijnen heeft uitgevaardigd waarnaar reeds in verschillende technische normen wordt verwezen (bv. IEC 62232:2023 en IEC TR 63377:2022) en Richtlijn 2013/35/EU nog steeds gebaseerd is op de richtlijnen van 1998, 2009 en 2010, is de juridische situatie complex geworden. Het Wetenschappelijk Comité voor gezondheids-, milieu- en opkomende risico's (SCHEER) heeft daarom onlangs een positief advies uitgebracht over de noodzaak van een technische herziening van de bijlagen bij Aanbeveling 1999/519/EG van de Raad en Richtlijn 2013/35/EU met betrekking tot radiofrequente EM-velden (100 kHz tot 300 GHz) (SCHEER, 2023a). In vergelijking met de richtlijnen van 1998 bevatten de richtlijnen van 2020 ook aanpassingen die relevant zijn voor blootstelling aan nieuwe bronnen van EM-velden, zoals 5G-telecommunicatie, op basis van korte, plaatselijke blootstelling aan hogere frequenties (tot 300 GHz). Het is duidelijk dat de invoering van nieuwe, op EM-velden gebaseerde technologieën de beoordeling van de blootstelling aan EM-velden op de werkplek complexer maakt en steeds meer gedetailleerde kennis over meet- en modelleringsmethoden van de HSE-functionarissen vereist (Jeschke, 2022; Stam, 2022).

Daarom zijn praktische overwegingen die relevant zijn voor de beoordeling van de blootstelling aan EM-velden op de werkplek, met betrekking tot de blootstellingsduur tijdens werkuren gedurende decennia, van essentieel belang voor betrouwbare praktijken voor de beoordeling van risico's voor veiligheid en gezondheid op het werk (Jeschke et al., 2022). Deze overwegingen moeten nader worden uitgewerkt, naast de ontwikkeling van geschikte meetapparatuur, en kunnen worden verwerkt in bijgewerkte versies van de literatuur van de Europese Commissie (EC, 2015a; 2015b; 2015c) of in relevante technische normen.

Ten slotte is het belangrijk op te merken dat, hoewel de ICNIRP (2020) het belang benadrukt van het zintuiglijke- en gedragsvermogen van werknemers om zich bewust te zijn van mogelijke risico's van

radiofrequente EM-velden en passende maatregelen te nemen om schade te beperken, Jeschke et al. (2022) er terecht op wijzen dat volgens de kaderrichtlijn van de EU uit 1989 (89/391/EEG) voorrang moet worden gegeven aan collectieve technische en organisatorische beschermingsmaatregelen boven persoonlijke (individuele) beschermingsmaatregelen. Voor gezondheid en veiligheid op het werk is het echter verplicht om (individuele) risicoanalyses uit te voeren voor werknemers met een bijzonder risico. Daarom zijn passende richtlijnen nodig, die gemakkelijk tot alle werknemers kunnen worden uitgebreid.

Werkgevers, werknemers en deskundigen op het gebied van veiligheid en gezondheid op het werk

Ondanks de beschikbaarheid van blootstellingsschema's en praktische handleidingen over blootstelling aan EM-velden op het werk (met inbegrip van maatregelen ter vermindering van de blootstelling), is de kennis van werknemers over bronnen en blootstelling aan EM-velden op het werk doorgaans laag (Turuban, 2023). Bovendien is het mogelijk dat werknemers deze niet als gevaarlijk beschouwen en daarom weinig aandacht besteden aan preventie, en preventiemaatregelen mogelijk zelfs als onhandig ervaren (Stege, 2022). Om werkgevers, werknemers en deskundigen effectiever te informeren op gebied van veiligheid en gezondheid op het werk, zouden werkgevers sensoren kunnen verstrekken die de blootstelling aan EM-velden meten (Bhatt et al., 2022). Deze sensoren kunnen door werknemers worden gedragen of in omgevingen met EM-velden van een hoge intensiteit worden geplaatst. Deze draagbare sensoren zullen zorgen voor vroegtijdige waarschuwing en de gegevens leveren die nodig zijn voor wetenschappelijk onderzoek naar blootstelling aan EM-velden op het werk en mogelijke gezondheidseffecten (zie 5.1). Specifieke doelgroepen voor monitoring met draagbare sensoren zijn onder meer werknemers die actief gebruik maken van bronnen van EM-velden (bv. fysiotherapeuten en beveiligingspersoneel) of werknemers die dichtbij EM-velden werken, zoals elektriciens. Belangrijker nog is dat de doelgroep ook werknemers omvat die zich onbewust in de buurt van actieve bronnen van EM-velden bevinden en zich dus niet bewust zijn van de mogelijke risico's, zoals verpleegkundigen of onderhouds- en schoonmaakpersoneel. Deze laatste groep wordt steeds belangrijker door de invoering van particuliere 5G-netwerken en systemen voor draadloze energieoverdracht.

Hoewel lokale metingen op grote schaal worden gebruikt om het effect van EM-velden op veiligheid en gezondheid op het werk te beoordelen, zijn simulaties en numerieke bepalingen nodig om na te gaan of de blootstellingslimieten worden nageleefd als er reden is om aan te nemen dat de limietwaarden worden overschreden. Dit blijkt voor professionals op het gebied van veiligheid en gezondheid op het werk een grote uitdaging te zijn vanwege de kosten en de vereiste expertise (Jeschke, 2022). Daarom is er behoefte aan vuistregels die een snelle berekening mogelijk maken om erop toe te zien dat de grenswaarden worden nageleefd. Verschillende landen hebben al dergelijke richtlijnen opgesteld, zie bijvoorbeeld Bolte en Pruppers (2006).

Slotopmerkingen

Dit document biedt een uitgebreid overzicht van de gevolgen van opkomende toepassingen van EM-velden voor de gezondheid en veiligheid op het werk, waarbij wordt benadrukt dat EM-velden in moderne werkomgevingen overal aanwezig zijn sinds ze door de technologische ontwikkelingen een belangrijk middel voor digitalisering van werk en Industrie 5.0 (met inbegrip van geavanceerde automatisering, robotica, virtualisatie, werken op afstand, controlekamers enz.) zijn geworden.

De beoordeling van de risico's van blootstelling aan EM-velden is zeer complex vanwege de diversiteit van de bronnen wat betreft frequentie, intensiteit en gebruik, met name in werkomgevingen, en de verscheidenheid aan gerelateerde schadelijke gezondheidseffecten. Bovendien zijn de acute effecten van blootstelling aan hoge niveaus van EM-velden bij de momenteel gebruikte frequenties weliswaar goed bekend, maar lopen de meningen uiteen en schiet de kennis tekort voor wat betreft de langetermijneffecten van blootstelling aan lage niveaus en het toekomstige gebruik van steeds hogere frequenties. Daarom moeten de regelgevingsnormen en (praktische) richtlijnen met het oog op de bescherming van werknemers voortdurend worden bijgewerkt op basis van actueel onderzoek. Daartoe wordt langdurige monitoring van de niveaus van blootstelling aan EM-velden op de werkplek in de relevante frequentiebanden, met behulp van zowel vaste als draagbare sensoren en in combinatie met de gezondheidsparameters van werknemers, ten zeerste aanbevolen.

Samengevat is een multidisciplinaire aanpak van de beoordeling van blootstelling aan EM-velden en risicopreventie nodig, met inbegrip van beroepsspecifiek onderzoek, voortdurende beleidsaanpassing

en doeltreffende communicatie tussen belanghebbenden op gebied van veiligheid en gezondheid op het werk, om de gezondheid en veiligheid van werknemers te waarborgen in een omgeving met steeds meer draadloze verbindingen en draadloze energieoverdracht.

Dankbetuigingen

Wij danken Rianne Stam (Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu – RIVM), Stefania Marassi (Rechten, THUAS) en Emanuelle Brun en Annick Starren (EU-OSHA) voor hun kritische beoordeling en vruchtbare discussies.

Referenties

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-rapport RIVM-nr. 610015001*, ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid (SZW) / Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (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)*, Artikel 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-rapport 2014-0070*, Bilthoven, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu.

EU-OSHA – Europees Agentschap voor veiligheid en gezondheid op het werk (2023), *Beleidsnota: Smart digital monitoring systems for occupational safety and health: opportunities and challenges.* https://osha.europa.eu/en/publications/smart-digital-monitoring-systems-occupational-safety-and-health-opportunities-and-challenges.

Europese Commissie (EC). (2021). *Mededeling van de Commissie aan het Europees Parlement, de Raad, het Europees Economisch en Sociaal Comité en het Comité van de Regio's over een strategisch EU-kader voor gezondheid en veiligheid op het werk 2021-2027 — Gezondheid en veiligheid op het werk in een veranderende arbeidswereld.* COM(2021) 323 final. Bron: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX%3A52021DC0323

directoraat-generaal Werkgelegenheid, Sociale Zaken en Inclusie van de Europese Commissie (EC). (2015a). *Non-binding guide to good practice for implementing Directive 2013/35/EU Electromagnetic Fields. Volume 1, Practical guide.* Brussel, België.

Directoraat-generaal Werkgelegenheid, Sociale Zaken en Inclusie van de Europese Commissie (EC). (2015b). *Non-binding guide to good practice for implementing Directive 2013/35/EU Electromagnetic Fields. Volume 2, Case studies.* Brussel, België.

Directoraat-generaal Werkgelegenheid, Sociale Zaken en Inclusie van de Europese Commissie (EC). (2015c). *Non-binding guide to good practice for implementing Directive 2013/35/EU Electromagnetic Fields. Volume 3, Guide for SMEs.* Brussel, België.

Europese Commissie (EC) (2022). Industry 5.0: A Transformative Vision for Europe - ESIR Policy Brief No. 3. Publicatiebureau van de Europese Unie, ISBN 978-92-76-43352-1.

Europees Instituut voor telecommunicatienormen (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.

Internationale Telecommunicatie-unie (ITU). (2020). *Radio Regulations Articles: Editie 2020.*

Internationale Telecommunicatie-unie (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. *RIVM-verslag* 2019-0010. Bilthoven: RIVM.

Wetenschappelijk Comité voor gezondheids-, milieu- en opkomende risico's (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)*.

Wetenschappelijk Comité voor gezondheids-, milieu- en opkomende risico's (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. *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.* (Proefschrift) Vrije Universiteit Amsterdam (VU) en Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), Nederland, adviseurs D.R.M. Timmermans, L. Claassen, J.F.B. Bolte, ISBN 978-94-6421-796-4. Bron: 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.

Auteurs: Sam Aerts, John Bolte.

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

Projectbeheer: Annick Staren, Emmanuelle Brun — Europees Agentschap voor veiligheid en gezondheid op het werk (EU-OSHA).

Deze discussienota is opgesteld in opdracht van EU-OSHA. Alle opinies en/of conclusies in dit verslag zijn van de auteurs en komen niet noodzakelijkerwijs overeen met de opvattingen van EU-OSHA.

EU-OSHA noch personen die namens het Agentschap optreden zijn aansprakelijk voor gebruik van de volgende informatie.

© Europees Agentschap voor veiligheid en gezondheid op het werk, 2026

Overname met bronvermelding is toegestaan.

Voor gebruik of overname van fotografisch of ander materiaal dat niet onder het auteursrecht van het Europees Agentschap voor veiligheid en gezondheid op het werk valt, is rechtstreekse toestemming van de rechthebbenden nodig.