

**SAVONIA**



OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO  
MUOTOILU

# SÄHKÖMAGNEETTISTEN KENT- TIEN VAIKUTUKSET

Esteetön työskentely-ympäristö

TEKIJÄ Reko Pöyhönen

Koulutusala Kulttuuriala	
Tutkinto-ohjelma Muotoilun tutkinto-ohjelma	
Työn tekijä Reko Pöyhönen	
Työn nimi Sähkömagneettisten kenttien vaikutukset – Esteetön työskentely-ympäristö	
Päiväys	30.4.2025
	40/1
Yhteistyötaho Ei yhteistyötahoa	
<p>Opinnäytetyön yhtenä tarkoituksena on tutkia sisustussuunnittelun avaamia mahdollisuuksia turvalliseen työskentelyyn ja asumiseen. Hyvään suunnitteluun kuuluu esteettömän työskentely-ympäristön suunnittelu, joka auttaa havaitsemaan riskitekijöitä ja minimoimaan ympäristön aiheuttamaa säteilyrasitusta. Harva on tietoinen ionisoimattoman säteilyn aiheuttamista rasiustekijöistä.</p> <p>Opinnäytetyö käsittelee kuinka saavuttaa hyvä ja terveellinen asuin-, työskentely- ja toimintaympäristö. Suunnittelussa pyritään luonnolliseen ja riskittömään ympäristöön. Valitettavan usein ajatellaan, että viranomaisten antamat raja-arvot suojaavat käyttäjiä. Tutkimukset ja historia ovat osoittaneet, että raja-arvo ei suojele riittävästi väestöä. Ihmiset saavat oireita säteilytasoilla, jotka ovat vain murto-osa raja-arvoista. Syynä oirehtimiseen on geenitekijät, vahvempi altistuminen säteilylle, homeelle tai kemikaaleille.</p> <p>Altistusten kokonaistekijät saavat herkistymään säteilylle, johon altistuneet oireilevat herkemmin. Ensimmäiset altistukset tulevat jo koulussa. Huomattava osa kouluista kärsii sisäilmaongelmista, joka on yksi lisä altistustekijöihin. Koulujen langattomat verkot ja matkatukiasemat koulujen pihilla ovat myös rasiustekijöitä. Tieteelliset tutkimukset ja asiantuntijoiden suositukset auttavat minimoimaan ympäristötekijöiden vaikutuksia ihmisissä. Belgiassa, Ranskassa ja Saksassa on huomioitu tieteellisten tutkimusten ja kokemuksen myötä altistustekijät ja autetaan lapsia suojautumaan säteilyn haitallisilta vaikutuksilta. Näissä maissa aihetta tarkastellaan rakennusbiologian antamien periaatteiden lähtökohdista, jonka yhtenä päämääränä on minimoida sähkömagneettisten kenttien vaikutuksia. Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on huomioida rakennusbiologian periaatteita ja esittää toimintamalleja sen pohjalta.</p>	
Avainsanat sähkömagneettinen kenttä, EMF, esteetön ympäristö, yliherkkyys, sähköherkkyys.	

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO.....	5
2	TYÖN TARKOITUS JA TAVOITTEET .....	7
3	SÄTEILYN VAIKUTUS RAKENNUSTEN SISÄILMAAN .....	8
3.1	Mitä on rakennusbiologia?.....	8
3.2	Miten säteily vaikuttaa sisäilman laatuun?.....	10
3.3	Miten viranomaisen valvoo asumisen aikaista säteilyrasitusta?.....	12
4	MITÄ SÄTEILY ON?.....	14
4.1	Sähkömagneettinen säteily.....	14
4.2	Ionisoiva säteily .....	14
4.3	Ionisoimaton säteily .....	14
4.4	Optinen säteily .....	14
5	MINKÄLAISIA SÄTEILYN LÄHTEITÄ ON YMPÄRISTÖSSÄMME? .....	16
5.1	Voimajohtojen sähkö- ja magneettikentät.....	16
5.2	Sähkömagneettinen säteily.....	18
5.3	Matkapuhelinsäteily .....	18
6	MITÄ BIOLOGISIA VAIKUTUKSIA ON SÄHKÖMAGNEETTISELLÄ SÄTEILYLLÄ?.....	20
6.1	Miten sähkömagneettinen säteily vaikuttaa solutasolla? .....	20
6.2	Miten sähkömagneettiset kentät vaikuttavat kryptokromien toimintaan?.....	21
7	KUINKA SUUNNITELLA TYÖPISTE, JOKA SUOJAA SÄHKÖMAGNEETTISELTA SÄTEILYLTÄ? .....	23
7.1	Miten eritellä sisätiloihin vaikuttava ionisoimaton sähkömagneettinen säteily?.....	24
7.1.1	Asunnon ulkopuolinen ionisoimaton säteily.....	24
7.1.2	Asunnon sisäpuolinen pistemäinen ionisoimaton säteily .....	24
7.2	Kuinka suojautua ionisoimattoman sähkömagneettisen säteilyn vaikutukselta?.....	25
8	POHDINTA.....	29
	LÄHTEET .....	34
	LINKKEJÄ.....	37
	LIITE 1: RAKENNUSBIOLOGIAN VIITEARVOT .....	38

## KUVALUETTELO

Kuva 1. Pedoskooppi (IEEE Spectrum 2025) .....	5
Kuva 2. Rakennusbiologian ABC (Pöyhönen Reko 2024) .....	9
Kuva 3. Sähkömagneettinen spektri (Pöyhönen Reko 2025) .....	15
Kuva 4. Magneettikenttä vaimenee etäisyyden kasvaessa (Aho Teemu 2018) .....	16
Kuva 5. Tyypillinen magneettivuon tiheys voimajohdolla (Aho Teemu 2018) .....	17
Kuva 6. SAR-jakauma kehossa (Heinäjoki Ville 2010) .....	18
Kuva 7. Rakennuksen sisäpuolen pistemäisen säteilyn lähteitä (Environmental Health Trust 2025).....	25
Kuva 8. Maadoitettu tietokone (Pöyhönen Reko 2025) .....	27
Kuva 9. Säteilyltä suojattu työtila (Pöyhönen Reko 2025) .....	28

## TAULUKKOLUETTELO

Taulukko 1. Radiotaajuisen säteilyn vaikutus hiivasieniin ja bakteereihin (Ahonen, Lehto & Koppel 2019, 375).....	11
---	----

## 1 JOHDANTO

Historia on täynnä vilpittömiä pyrkimyksiä, joilla on pyritty helpottamaan kuluttajan elämää. Eräs näistä oli jalkaröntgenlaite eli pedoskooppi. Pedoskooppi oli laite, jolla voitiin ottaa kuvia asiakkaan jaloista. Laitetta pidettiin hyödyllisenä työkaluna, jolla haluttiin varmistaa kenkien hyvä istuvuus. Myyjä ja asiakas saattoivat katsoa jalkojen luustoa erityisen näytön läpi. Laitteet olivat suosittuja kenkäkaupoissa, joissa vanhemmat halusivat varmistaa lastensa kenkien hyvän istuvuuden jalkaan. Laite oli suosittu 1900-luvun alkupuolella, erityisesti 1920–1940-luvuilla. Laite oli innovatiivinen, joka helpotti kenkien sovittamista. Laitteet altistivat sekä asiakkaat että myyjät ionisoivalle röntgensäteilylle. Laitteiden lyhytaikaisista vaikutuksista oli tietoa jo vuonna 1927. Tuolloin huomattiin laitteiden aiheuttavan palovammojen kaltaisia ihovaurioita. 1940-luvulla alettiin tiedostaa laitteen aiheuttama pitkäaikainen vaikutus. 1950-luvulla alkoi tulla soraääniä, kun tietoa laitteen terveysvaikutuksista alkoi tulla ilmi. (Orau 2025).



Kuva 1. Pedoskooppi (IEEE Spectrum 2025)

Kenkäteollisuus vastasi kritiikkiin pedoskoopin mahdollisista terveysvaikutuksista. A. Patterson, kenkien jälleenmyyjien yhdistyksen jäsen ja laitteen valmistaja, kiisti pedoskoopin vahingolliset terveysvaikutukset. The Argus- sanomalehdessä vuonna 1951 Patterson sanoi, että keskimääräinen aika kengän testaamiseen on vain alle viisi sekuntia, ja ettei asiakas voisi mitenkään vahingoittua näin lyhyessä ajassa. (Patterson 1951). Tuolloin alettiin ymmärtää jalkaröntgenlaitteiden aiheuttamat terveydelliset haittavaikutukset. Röntgensäteily on ionisoivaa säteilyä, joka vaurioittaa kudoksia ja aiheuttaa pitkällä aikavälillä syöpää. Laitteiden suojuksia saatettiin vähentää paremman kuvan

saamiseksi. Useissa maissa ja eri valmistajien myymissä laitteissa oli usein suuria laadullisia vaihteluita. Vaikka laitteissa oli valmistajan mukaan hyvät suojukset ja laitteet täyttivät alan standardit, ne eivät estäneet laitteen tuottamaa hajasäteilyä. Kenkien myyjillä saatettiin todeta pitkäaikaisvaikutuksena syöpää. Pahimmissa tapauksissa jouduttiin turvautumaan amputaatioon. (Orau 2025). Useat maat alkoivat 1950-luvulta lähtien rajoittaa laitteiden käyttöä. Laitteiden käyttöä jatkettiin kymmeniä vuosia, vaikka tuolloin oli viitteitä pedoskoopin aiheuttamista haitallisista terveysvaikutuksista. Suomessa luovuttiin laitteen käytöstä 1970-luvulla. Laitteen käyttö hiipui vähitellen ja yleisesti hyväksyttiin sen aiheuttamat terveydelliset haitat.

Pedoskoopilla pyrittiin vilpittömästi helpottamaan kuluttajan elämää ja varmistamaan kenkien hyvä istuvuus ja pitkäikäisyys aikakaudella, jolloin kengät olivat arvokkaita. Lapset kokivat laitteesta herkemmin haitallisia vaikutuksia pienemmän rakenteensa ja ohuemman luustonsa vuoksi.

Nykyään voimme nähdä jalkaröntgenlaitteet historiallisia esineinä, joita säilytetään museoissa varoitavana esimerkkinä teknologian väärinkäytöstä. Ne ovat muistutus aikakaudesta, jolloin teknisten innovaatioiden hyötyjä pidettiin suurempina kuin niiden aiheuttamia riskejä ja haitallisia terveysvaikutuksia.

Nykypäivänä suurimpia terveyteen vaikuttavia tekijöitä on asunnot, joissa vietämme suurimman osan ajastamme. Tilojen käyttäjinä haluamme, että ne ovat turvallisia ja vaikuttavat myönteisesti terveyteemme. Rakennuksilla ei ole aina ollut myönteisiä terveysvaikutuksia. Toisen maailmansodan jälkeisessä Saksassa huomattiin, että uudet rakennusmateriaalit tekivät ihmiset sairaiksi. Uusi tarve ja halu terveellisimpien rakennusten rakentamiseen johti uuden tieteenalan syntymiseen. Tämä johti rakennusbiologian syntyyn, joka keskittyy terveellisen ja ympäristöystävällisen asumisen edistämiseen.

## 2 TYÖN TARKOITUS JA TAVOITTEET

Lisääntynyt säteily on saanut jotkin Euroopan maat huolestumaan säteilyn vaikutuksista. Saksa ja Ranska ovat lainsäädännössään on edistäneet turvallisempien tilojen suunnittelua. Ne ovat esimerkiksi lisänneet tiedotusta säteilyn haitoista ja tiukentaneet lainsäädäntöjään. Suomalaisessa lainsäädännössä viranomaisen tulisi ottaa enemmän vastuuta lasten ja aikuisten suojelemisessa. Rakennuksen käytönaikainen altistus tulisi ottaa huomioon jo suunnitteluvaiheessa. Onneksi rakennuksen pistemäistä säteilyä ja ulkoa tulevaa säteilyrasitusta pystytään lieventämään nyt jo olevilla teknisillä ratkaisuilla.

Radiotaajuisen säteilyn oireet ovat tunnistettavia, mutta siihen altistuva ei aina osaa yhdistää niitä oireiden aiheuttajaan. Tähän liitettyjä oireita ovat ihotuntemukset, korvien soiminen tai humina, uni-häiriöt, päänsärky, mielialahäiriöt, keskittymishäiriöt ja Suomessa yleiset muistihäiriöt.

Pyrin tässä opinnäytetyössä tuomaan esiin lyhyesti säteilyn vaikutusmekanismin solutasolla sekä esitän teknisiä ratkaisuja tilojen suunnitteluun, jotta niistä voidaan tehdä enemmän käyttäjäystävällisempiä ja minimoimalla terveydelliset rasitustekijät säteilyn osalta. Tämän opinnäytetyön tarkoitus ei ole kieltää teknisten laitteiden käyttöä vaan edistää kestävämpien ja terveellisempien tilojen suunnittelua ja käyttöä.

Opinnäytetyön tavoitteena on tuoda tietoisuuteen uuden tekniikan aiheuttamat haasteet ja käyttää historiaa esimerkkinä, jotta ei toistettaisi samankaltaisia virheitä.

Tämä opinnäytetyö tarkastelee aihetta herkimmissä olevien lähtökohdalta sekä antaa ratkaisuehdotuksia etätyöpisteiden suunnittelua ajatellen. Ehdotuksia voidaan soveltaa myös opetusympäristöissä ja kouluissa. Tämän opinnäytetyön kirkkaimpana ajatuksena on suunnitella esteettömiä tiloja, jotka ovat kaikkien saatavilla ja käytettävissä.

### 3 SÄTEILYN VAIKUTUS RAKENNUSTEN SISÄILMAAN

#### 3.1 Mitä on rakennusbiologia?

Tarvittiin uusi lähestymistapa rakennusten suunnittelussa ja rakentamisessa. Rakennusbiologia pyrkii luomaan terveellisiä ja kestäviä rakennuksia, jossa keskeisenä tavoitteena on luoda rakennuksen käyttäjille puhdas ja terveellinen sisäilma. Terveelliseen sisäilmaan päästään valitsemalla luonnonmukaisia materiaaleja ja oikeanlainen rakennustapa. Se ottaa huomioon ihmisen ja ympäristön vaikutukset jo suunnitteluvaiheesta lähtien. Tavoitteena on saavuttaa harmonia ihmisen ja luonnon välillä. Rakennusbiologia kattaa asuin-, työskentely- ja toimintaympäristöjen suunnittelun. Suunnitteluvaiheessa analysoidaan ja pyritään vähentämään mahdollisia riskejä. Asuinrakennusten suunnittelussa pyritään huomioimaan jopa unenlaatu. Tämä tehdään minimoimalla ympäristötekijät, jotka aiheuttavat kuormitusta. Rakennusbiologiassa rakennuksen sisäilman laatu on keskeinen käsite. Suunnittelun ja rakentamisen tavoitteena on saavuttaa mahdollisimman luonnonläheinen ympäristö.

*Rakennusbiologiassa rakennuksia ja huoneita kutsutaan "kolmanneksi ihoksimme", joka heijastaa sitä, kuinka läheisesti olemme yhteydessä rakennettuun ympäristöömme (Schneider 2019).*

Rakennuksien ja huoneiden kutsuminen "kolmanneksi ihoksi" korostaa rakennetun ympäristön vaikutusta ihmisen terveyteen ja hyvinvointiin. Tämä ilmaus kuvaa sitä, kuinka asuin- ja työympäristöihimme vaikuttavat meihin samalla tavalla kuin ihomme hyvinvointiimme. Iho suojaa elimistöä ympäristön ulkoisilta vaikutuksilta, samoin iho kertoo elimistön sisäisestä terveydestä. Rakennukset suojaavat meitä ulkoisilta tekijöiltä, mutta ne myös luovat sisäisiä olosuhteita, jotka voivat vaikuttaa terveyteemme. Rakennuksen vertaaminen ihoon kuvastaa kuinka rakennusbiologia pyrkii huomioimaan rakennuksen koko elinkaaren vaikutuksen terveyteen. Rakennusbiologian mukaan rakennus on kokonaisuus, jossa tulisi huomioida oikean rakennustavan ja rakennusmateriaalien välinen suhde sekä ympäristön vaikutus rakennuksen käyttäjän terveyteen. Terveyshaittojen todennäköinen esiintyminen lisääntyy, jos suunnitteluvaiheessa ei huomioida rakennuksen käyttäjään kohdistuvaa rakennuksen sisäpuolista pistemäistä säteilyä eikä ulkopuolista säteilyrasitusta.

Suomalaisessa uudisrakentamisessa käytetään sisäilmaluokituksia ja päästöarvoja tietyn tavoitetasoon saavuttamiseksi. Tämä tehdään hankesuunnitteluvaiheessa, ennen varsinaisen rakentamisen aloittamista. Hankesuunnitteluvaiheessa tilaaja määrittelee yhteistyössä rakentajan ja suunnittelijan kanssa rakennusaikaisen toimintatavan. Tässä vaiheessa asetetaan tavoitteet sisäilman puhtaudelle ja siihen vaikuttavien rakennustöiden sekä rakennusmateriaalien päästöille. Sisäilmaluokitusta käytetään, kun rakentamisvaiheessa pyritään tiettyyn tavoitetasoon. (Terveet tilat 2028). Sisäilmaluokituksia on seuraavasti: S1, S2 ja S3, joista S1-luokitus on vaativin. Sisäilmaan vaikutetaan oikeilla materiaaleilla. Rakennusmateriaalit jaetaan kolmeen päästöluokkaan: M1, M2 ja M3. Rakennusaikaisesta tavoiteltavasta puhtausluokituksesta käytetään luokitusta P1. (Sisäilmastoluokitus 2018).

Suomalainen rakentaminen ja suunnittelu ei sulje pois rakennuksen käytön aikaisia riskitekijöitä. Rakennusaikainen sisäilmaluokitus ei poissulje kaikkia ympäristötekijöitä tai havaittavia kuormittavia vaikutuksia. Sisäilmastoluokitusta ei ole tarkoitettu käytettäväksi viranomaisohjeena tai sellaisen tulkintana rakennuksen terveellisuuden arvioinnissa (Sisäilmastoluokitus 2018).

Hankesuunnitteluvaiheessa asetetut luokitukset ovat tavoitteita, joiden avulla pyritään saavuttamaan tietyt puhtaus- ja päästöluokat rakennusvaiheessa, sekä kohteen luovutuksen yhteydessä. Samalla määritellään haluttu puhtauden taso tulevia vuosikorjauksia varten.

Sisäilmaluokittelu ei huomioi rakennuksen kokonaisvaltaista käyttöä eikä käyttäjää rakennusbiologian kannalta. Rakennusbiologian peruseriaatteiden huomioiminen auttaa rakentamaan terveempiä ja kestävämpiä rakennuksia, joissa otetaan huomioon rakennuksen vaikutus ihmisiin ja ympäristöön jo suunnitteluvaiheessa. Rakennusbiologia ottaa huomioon myös ne ympäristö- ja kuormitustekijät, joita suomalainen rakennussuunnittelu ja viranomaisohjeet eivät täysin huomioi. Rakennusbiologia jaetaan sisäilmastoon vaikuttavien tekijöiden perusteella kolmeen pääkategoriaan. (Baubiologie Institut für Baubiologie+Ökologie IBN 2008).

Suomalaisessa rakennusteollisuudessa ja suunnittelussa voidaan saavuttaa terveellisemmät ja kestävämmät rakennukset, jos suunnittelussa ja rakentamisessa huomioidaan seuraavat kolme rakennusbiologian peruseriaatetta.

A, KENTÄT, AALLOT, SÄTEILY

B, SISÄILMASTO

C, SIENET, BAKTEERIT, ALLERGEENIT



Kuva 2. Rakennusbiologian ABC (Pöyhönen Reko 2024)

Suomalaisessa sisäilmaluokituksessa huomioidaan kohdat B (sisäilmasto) ja C (sienet, bakteerit ja allergeenit). Näissä luokituksissa huomioidaan rakennustapa ja rakennusmateriaalit hyvän sisäilman saamiseksi. Sisäilmaluokituksessa annetaan viitearvot sisäilmastoon vaikuttaviin kaasuihin ja päästöihin, jotka syntyvät valittujen rakennusmateriaalien ja ihmisen oman toiminnan seurauksena.

Tällaisia aineita ovat formaldehydi ja muut myrkylliset kaasut, haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC), puolihaihtuvat orgaaniset yhdisteet (SVOC), pienhiukkaset kuten hiukset ja kuidut. Muita sisäilmaan vaikuttavia tekijöitä ovat lämpötila, kosteus, hiilidioksidi, hajut, homeet ja allergisoivat aineet. Suomalaisessa rakennusten suunnittelussa jätetään vähemmän huomiolle rakennukseen kohdistuva säteilyrasitus (A kentät, aallot, säteily), joka on rakennusbiologian yksi keskeisimmistä sisäilmaan vaikuttavista tekijöistä. (Baubiologie Institut für Baubiologie+Ökologie IBN 2008).

Suomalaisessa sisäilmaluokittelussa huomioidaan osittain rakennuksen ulkopuolelta tulevat rasitustekijät maankäytön osalta. Suunnitteluvaiheessa rasitustekijöiksi huomioidaan ulkoa tuleva kosteusrasitus ja radonsäteily. Rakennusbiologia huomio sisäilmaan vaikuttavat säteilyrasitukset, jotka vaikuttavat rakennuksen sisä- että ulkopuolelta.

### 3.2 Miten säteily vaikuttaa sisäilman laatuun?

Rakennuksen suunnitteluvaiheessa tulisi huomioida paremmin siihen kohdistuva säteilyrasitus. Rakennusbiologia antaa suuntaviivat alueille, joihin liittyy pitkäaikaisia riskitekijöitä. Ohjeistus perustuu kokemukseen, tietoon ja tieteellisiin tutkimuksiin. Suunnittelun tavoite on tunnistaa, minimoida ja välttää riskitekijät. Ihanteena on luoda sisätilat, jotka ovat lähellä luonnollista altistumatonta tilaa. Sisäilman laatuun vaikuttaa materiaalien ja ihmisen toiminnan lisäksi säteily. Vaikuttava säteily voi olla ihmisen aiheuttamaa tai luonnollista säteilyä. Säteily voi olla sähkökenttien aiheuttamaa säteilyä, radiotaajuussäteilyä, magneettikenttien aiheuttamaa säteilyä, radioaktiivista säteilyä ja geologista säteilyä. (Baubiologie Institut für Baubiologie+Ökologie IBN 2008).

Matalan energisen säteilyn (ionisoimaton säteily) biologisia vaikutuksia pidetään yleisesti turvallisena ihmisten terveydelle. Vallitsevan käsityksen mukaan matalaenerginen radiotaajuussäteily, voi lämmittää kudoksia, mutta yleensä nämä vaikutukset ovat lieviä eivätkä ne vaurioita DNA:ta tai aiheuta soluvaurioita. Yhä useampi tehty tieteellinen selvitys on vastoin vallitsevaa käsitystä matalaenergisestä säteilyn aiheuttamasta vaikutuksesta.

Talon rakenteissa hiivasienet, homeet ja mikrobit aiheuttavat monia haitallisia vaikutuksia. Ne voivat ärsyttää hengitysteitä, aiheuttaa allergiaoireita, vahingoittaa rakenteita, ja huonontaa sisäilman laatua. Tehdyt havainnot ja tieteelliset tutkimukset antavat viitteitä radiotaajuuden säteilyn mahdollisista vaikutuksista bakteereihin ja hiivasieniin. Vaikutukset riippuvat käytetyn mobiiliteknologian taajuudesta, tehosta, polarisaatiosta ja altistuksen kestoajasta. Radiotaajuuden säteilyn aiheuttamat oireet ovat samankaltaisia kuin kemikaalien ja hometoksiinien aiheuttamat oireet. (Ahonen, Lehto & Koppel 2019, 375).

Säteilyn vaikutuksesta on tehty tutkimuksia. Erittäin suuret, usean watin (W/m<sup>2</sup>) tehot mikroaaltokuivaimella rakennustyömaalla saavat aikaan mm. homesienten kasvun pysähtymisen. Samoin elintarviketeollisuudessa on käytetty mikroaaltoja suurella teholla homeiden kasvun pysäyttämiseen. Tällöin on käytetty usein 2.45 GHz taajuutta, joka löytyy myös mm. mikroaaltouuneista (Ahonen, ym. 2019, 375).

Tutkimus	Kohde	Teknologia	Altistus	Vaikutus
Bayat <i>et al.</i> /12/	Candida-hiivasieni, hiiri	900 MHz	6 h päivässä, 7 päivää	Lisäsi candidan määrää kudoksissa ja munuaisissa.
Belyaev <i>et al.</i> /13/	Koli-bakteeri	51 GHz ja 41 GHz, 1 mW/m <sup>2</sup> teho	1,5 tuntia	Vaikutti genomien korjausmekanismiin heikentävästi
Belyaev <i>et al.</i> /14/	Koli-bakteeri	51,64-51,85 GHz, 10 <sup>-16</sup> W/cm <sup>2</sup> teho	Vaikutus heti	Optimivaikutus 51,755 GHz resonanssi taajuudelle
Furia <i>et al.</i> /15/	Saccharomyces cerevisiae - hiivasieni	41.650 and 41.798 GHz	4 tuntia	Ei vaikutusta
Grundler & Keilmann /16/	Saccharomyces cerevisiae - Hiivasieni	Lähellä 45 GHz:ia	12 tuntia	Sekä nopeutunutta että hidastunutta kasvua, taajuusikkunoissa
Grundler <i>et al.</i> /17/	Saccharomyces cerevisiae - Hiivasieni	Taajuudet lähellä 42 GHz	5 tuntia	Vaikutukset pienillä tehoilla, ei suurilla tehoilla, taajuusikkunoissa
Hadjiloukas <i>et al.</i> /18/	Saccharomyces cerevisiae - Hiivasieni	200-350 GHz	2,5 tuntia	Merkittävästi lisääntynyt kasvu 341 GHz
Mezykowski <i>et al.</i> /19/	Aspergillus nidulans ja Physarum polycephalum - sienet	2450 MHz	1 tunti	Lisääntynyt synteesi (tuotto)
Taheri <i>et al.</i> /20/	Kolibakteeri ja listeria-bakteerit	2450 MHz WLAN ja 900 MHz GSM	9 tunnin WLAN-altistuksen jälkeen	Antibioottiresistenssi + muuttunut kasvuvauhti.
Voichuk <i>et al.</i> /21/	Saccharomyces cerevisiae - Hiivasieni	40,68 MHz	3 tuntia	Kasvunopeuden lisääntyminen (max 15%:lla)

Taulukko 1. Radiotaajuisen säteilyn vaikutus hiivasieniin ja bakteereihin (Ahonen, Lehto & Koppel 2019, 375).

Tutkimuksissa, jotka koskivat radiotaajuisen säteilyn vaikutusta hiivasieniin ja bakteereihin, altistuslaitteistona muutamassa tutkimuksessa käytettiin olemassa olevia mobiiliteknologioita, joiden altistustasot olivat selvästi alle nykyisten radiotaajuisen säteilyn raja-arvojen. Useissa viranomaisarvioissa, joissa viitataan säteilyn haitallisuuteen, esiintyneet arvot eivät ylittäneet raja-arvoja. Radiotaajuinen säteily voi joko kiihdyttää, hidastaa tai pysäyttää kasvun, ja näin ollen sillä voi olla sekä myönteisiä että kielteisiä vaikutuksia sisäilman laatuun.

Sisäilman aiheuttamaa oireilua tutkiessa olisi otettava huomioon haitalliset kemialliset yhdisteet (VOC) sekä radiotaajuisen säteilyn mahdolliset vaikutukset. Ihmisten kokemat oireet näissä kahdessa ovat hyvin samankaltaisia, siksi oireen alkuperän todentaminen voi olla haastavaa. Sisäilmaan vaikuttavien tekijöiden luotettava havaitseminen on käynyt entistä vaikeammaksi. Säteily-ympäristö on muuttunut yhä monimutkaisemmaksi eri teknologioiden kuten UMTS, Wi-Fi, LTE, 5G, tuottamien aaltomuotojen yhteisvaikutuksesta. (Ahonen, ym. 2019, 375).

Radiotaajuisella säteilyllä on vaikutusta sisäilman laatuun, koska bakteerit ja hiivasienet reagoivat eri tavoin eri taajuuksiin ja mobiiliteknologioihin. Tutkimuksissa on noussut esiin radiotaajuisen säteilyn vaikutus bakteerien antibioottiresistenssiin sekä hometoksiinien tuotannon mahdollinen lisääntymisen rakennuksissa. Säteilyn vaikutus mikrobin kasvuun ei rajoitu ainoastaan rakennusten ja rakennusmateriaaleihin, vaan sillä voi olla myös laajempia vaikutuksia ihmisen mikrobiomiin. (Ahonen, ym. 2019).

### 3.3 Miten viranomainen valvoo asumisen aikaista säteilyrasitusta?

Suomalaista rakentamista ja asumisterveyttä säätelevät useat lait ja asetukset. Säteilylain 859/2018 mukainen valvontaviranomainen on Säteilyturvakeskus (STUK). Säteilyturvakeskuksella on lain suomat valtuudet valvoa säteilyaltistusta. Lain tarkoitus on suojella terveyttä säteilyn haitoilta, sekä vähentää säteilyn aiheuttamia ympäristöhaittoja.

Suomessa rakennusten terveyttä valvoo terveysturvaviranomainen eli terveystarkastaja. Terveystarkastaja tutkii, että rakennus on lakien ja säädösten mukainen. Asunnon tarkastus tehdään terveystarkastajan arvioimiseksi. Tarkastuksessa ei ota kantaa kohteessa piileviin vikoihin. Säännöllisiä tarkastuksia tehdään julkisiin kohteisiin kuten, kouluihin ja päiväkoteihin. Lisäksi työnantaja veloitetaan seuraamaan työpaikkojen radon pitoisuuksia.

Rakennusten ja muiden tilojen seuranta on tarpeen, koska näin voidaan ehkäistä rakennuksesta johtuvien terveyshaittojen syntymistä. Rakennuksen olosuhteiden tulee olla sellaiset, ettei niistä aiheudu tiloissa oleskeleville terveyshaittaa. Olosuhteilla tarkoitetaan muun muassa sisäilman puhautta, lämpötilaa, kosteutta, melua ja ilmanvaihtoa. Terveystarkastajalla tarkoitetaan ihmisessä todettavaa sairautta tai muuta terveyden häiriötä tai sellaisen tekijää tai olosuhdetta, joka voi vähentää elinympäristön terveellisyyttä (Tampereen asumisterveys 2025).

Tapauskohtaisen terveyshaittaepäilyn riskiarvioinnin voi joutua tekemään tilanteessa, josta itse asumisterveysasetuksessa ei ole erikseen säädetty. Asumisterveysasetuksen soveltamisohje 2016 mainitsee seuraavaa sivulla 5: *”Jos terveyshaittaepäily kohdistuu fyysikaaliseen, kemialliseen tai biologiseen tekijään, josta ei tässä asetuksessa ole säädetty, on arvio mahdollisesta terveyshaitasta tehtävä tapauskohtaisen riskinarvioinnin (katso 3 §) perusteella siten, että olosuhteen arvioinnissa käytetään parasta ja luotettavinta käytettävissä olevaa tietoa. Arvoja, joita voidaan käyttää terveyshaittojen arviointiin, ovat esimerkiksi WHO:n sisäilmalle annetut suositusarvot, säteilylain nojalla annetut ohjeet sisäilman radonpitoisuudesta tai muiden vastaavien lähteiden arvot”* (Asumisterveysasetuksen soveltamisohje, osa 1. 2016).

Asumisterveysasetuksen soveltamisohjeessa huomioidaan rakennustavan ja rakennusmateriaalin aiheuttama terveyshaittaepäily. Lisäksi siinä huomioidaan radon pitoisuuksien aiheuttaman mahdollinen terveyshaitta. Asumisterveysasetuksen soveltamisohje 2016 kehottaa huomioimaan terveyshaittojen arvioinnissa WHO:n sisäilmalle antamat suositusarvot ja säteilylain. Säteilylaki määrittää, että Säteilyturvakeskus (STUK) valvoo säteilylain noudattamista. Säteilyturvakeskus huomio ainoastaan ICNIRP:n suositukset. Säteilyturvakeskuksen raja-arvot perustuvat olettamukseen että *”radiotaajuuksilla vallitseva fyysikaalinen vaikutusmekanismi kudoksessa on energian absorboituminen lämmöksi”*. Säteilyturvakeskus tulkinnan mukaan sähkömagneettisten kenttien pääasiallinen vaara on

kehon lämpeneminen. Epäsuoraa terveyshaittaa voi syntyä tilanteessa, jossa sähkömagneettiset kentät häiritsevät turvallisuuden kannalta tärkeiden laitteiden toimintaa, kuten kehonsisäisten sydämentahdistimien, defibrillaattoreiden, hermostimulaattoreiden, lääkeseosten ja potilaaseen ulkoisesti kytkettyjen valvontalaitteiden tai kuulokojeen toimintaa. Häiriötä voi syntyä myös matkapuhelimista. (Jokela 2006).

Suomessa sähkölaitteita suojaa EMC-standardi, jonka tarkoitus on suojata sähkölaitteita, etteivät sähkölaitteet häiritse tai häiriinny toisista laitteista. EMC-direktiivi määrittelee tarkemmin mitä tarkoitetaan sähkömagneettisella häiriöllä. EMC-direktiivi sanoo seuraavaa: *"Sähkömagneettisella häiriöllä" tarkoitetaan sähkömagneettista ilmiötä, joka voi heikentää laitteiston toimintaa; sähkömagneettinen häiriö voi olla sähkömagneettinen kohina, muu kuin toivottu signaali tai muutos itse etenemisympäristössä"* (EMC-direktiivi 2014/30/EU). Sähkömagneettinen kenttä voi aiheuttaa ei-toivottua häiriötä, joka voi johtaa laitteen virheelliseen toimintaan tai estää laitetta toimimasta.

Säteilyturvakeskuksen tulkinta sähkömagneettisten kenttien aiheuttamasta haitasta ei ole samansuuntainen EMC-direktiivin 2014/30/EU kanssa. EMC-direktiivi ilmaisee, että sähkölaitteet voivat säteillä ympäristöön muutakin kuin lämpöä. Suomessa voimassa oleva lainsäädäntö huomioi rakennusten sisäilman kohtaamat epäpuhtaudet sienien, bakteerien, allergeenien sekä radonin osalta. Rakennuksen käyttäjän kohtaama muu säteilyrasitus jättää tilaa tulkinnalle.

## 4 MITÄ SÄTEILY ON?

Säteily kattaa koko sähkömagneettisen kentän spektrin. Säteily on yksi sisäilmaan vaikuttavista mekanismeista. Säteily on lisääntynyt yhteiskunnan teollistumisen myötä. Voidaksemme toimia rakennusbiologian periaatteiden mukaan, meidän on tärkeää tunnistaa säteily ja sen vaikutus. Sähkömagneettisen kentän spektrin säteily voidaan jakaa kahteen pääluokkaan biologisten vaikutusten mukaan ionisoivaa säteilyyn ja ionisoimattomaan säteilyyn.

### 4.1 Sähkömagneettinen säteily

Sähkömagneettinen säteily jaetaan ionisoivaan ja ei-ionisoivaan säteilyyn sen mukaan, aiheuttaako se ionisaatiota. Sähkömagneettinen säteily koostuu nimensä mukaisesti sähkökentästä ja magneettikentästä. Sähkökenttä synnyttää magneettikentän ja magneettikenttä synnyttää sähkökentän. Sähkökenttä ja magneettikenttä ovat riippuvaisia toisistaan. Sähkömagneettista säteilyä syntyy sähköstä. Missä tahansa kulkee sähköä, siellä syntyy sähkömagneettista säteilyä. Esimerkiksi gammasäteilyä syntyy muun muassa atomiydinten hajoamisessa tapahtuvista sähköisistä ilmiöistä ja radioaaltoja muun muassa silloin, kun sähköinen signaali johdetaan sopivaan antenniin. Sähkömagneettinen säteily sisältää radioaallot, mikroaallot, infrapunasäteilyä, näkyvän valon, ultraviolettisäteilyä, röntgensäteilyä ja gammasäteilyä. (Sähköherkkyyssäätiö 2025).

### 4.2 Ionisoiva säteily

Ionisoiva säteily voi ionisoida atomeja tai molekyyliä, mikä tarkoittaa, että se voi hajottaa niiden kemialliset sidokset. Tämä voi vahingoittaa soluja ja aiheuttaa terveyshaittoja, kuten säteily sairauksia. Ionisoivan säteilyn biologiset vaikutukset ovat kiistattomat. Ionisoiva säteily sisältää esimerkiksi alfa-, beeta- ja gammahiukkasia sekä röntgen- ja gammasäteilyä. (Gemini).

### 4.3 Ionisoimaton säteily

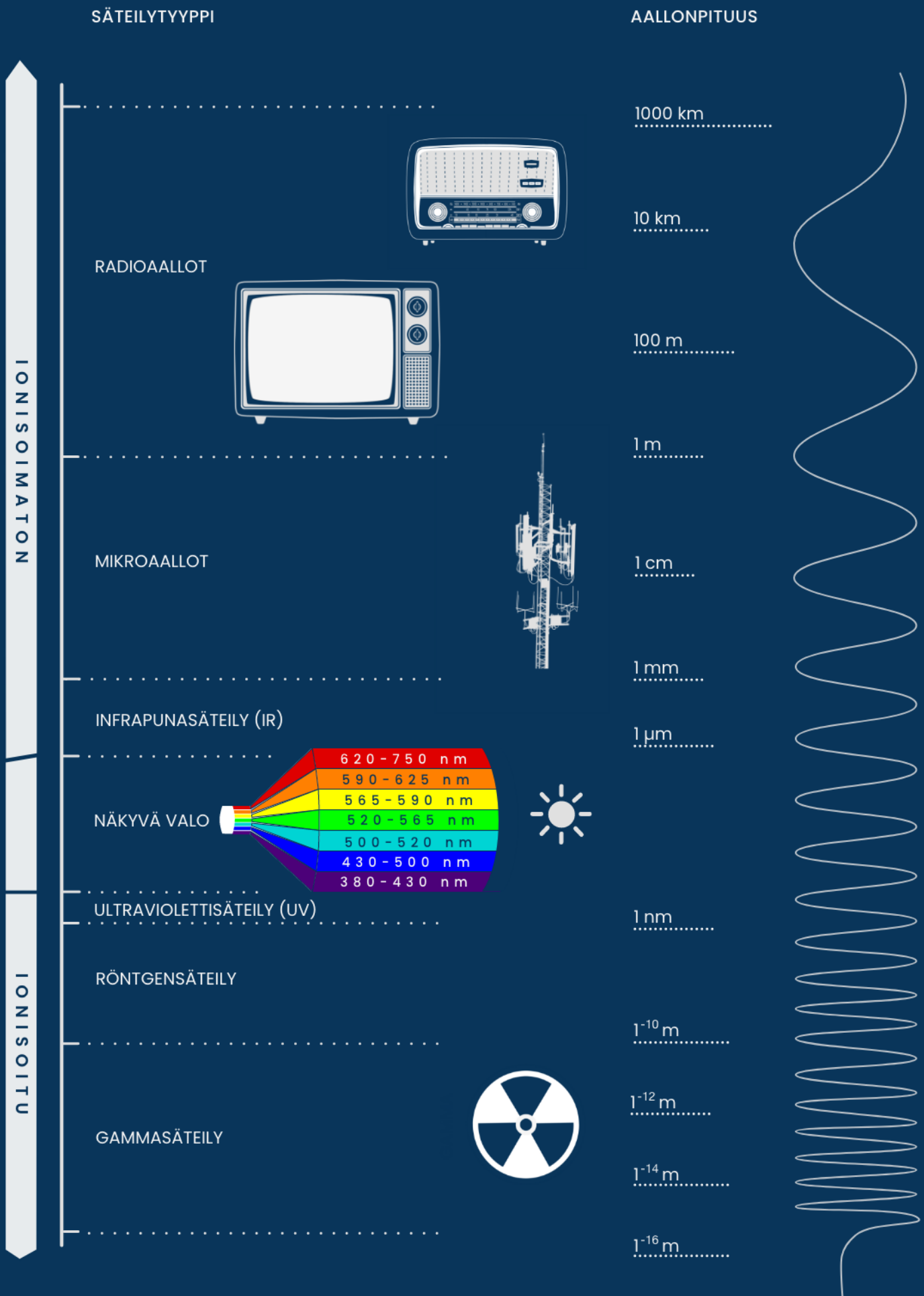
Ionisoimaton säteily ei voi ionisoida atomeja tai molekyyliä. Se voi kuitenkin aiheuttaa lämpöä tai muita fysikaalisia biologisia vaikutuksia. Ionisoimaton säteilyä pidetään yleensä turvallisena, mutta se voi aiheuttaa haittoja, jos altistus on liian suurta tai pitkäkestoista. Poikkeuksena on ultraviolettisäteilyn aiheuttama ihosyöpäriski. Ionisoimattoman säteilyn biologisista vaikutuksista ei ole vielä saavutettu täyttä tieteellistä yksimielisyyttä. Ionisoimaton säteily sisältää esimerkiksi radioaallot, mikroaallot, infrapunasäteilyä ja näkyvän valon. (Gemini).

### 4.4 Optinen säteily

Optinen säteily on yleisnimitys sille sähkömagneettisen spektrin osa-alueelle, joka muodostuu ultravioletti- eli UV-säteilystä, näkyvästä valosta ja infrapunasäteilystä. Näemme siis osan optisesta säteilystä, joka vaikuttaa elämäämme monin tavoin. (Gemini).

Optinen säteily on ionisoimatonta säteilyä, jonka aallonpituus on hyvin pieni. Sähkömagneettisten kenttien ja optisen säteilyn rajana on aallon pituus 1 mm (300 GHz), johon mikroaaltosäteily loppuu ja infrapunasäteily alkaa. Optisen säteilyn muita osa-alueita ovat infrapunasäteily (780 nm – 1 mm), näkyvä valo (400–780 nm) sekä ultraviolettisäteily (UV) (100–400 nm). Kudosten lämpeneminen on keskeinen optisen säteilyn vaikutus. (SuST 2025).

# SÄHKÖMAGNEETTINEN SPEKTRI



Kuva 3. Sähkömagneettinen spektri (Pöyhönen Reko 2025)

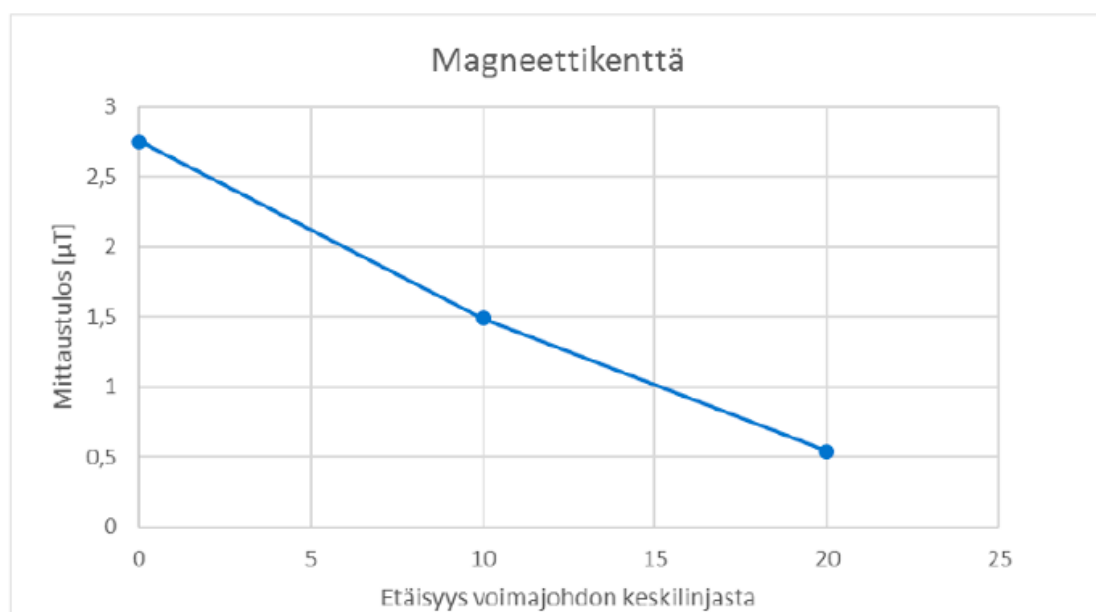
## 5 MINKÄLAISIA SÄTEILYN LÄHTEITÄ ON YMPÄRISTÖSSÄMME?

Ympäristössämme on kahdenlaisia säteilyn lähteitä. On luonnollisia säteilylähteitä ja ihmisen toiminnasta johtuvia säteilylähteitä. Tunnetuin luonnollinen säteilyn aiheuttaja on aurinko, josta UV- ja infrapunasäteily sekä myös näkyvä valo ovat lähtöisin. Muita luonnollisia säteilylähteitä ovat maankuoren ja ionisfääriin tuottama maan taustasäteily (Schumannin resonanssi 7,83 Hz). Luonnolliset säteilylähteet ovat pääsääntöisesti ihmiselle hyödyllisiä, lukuun ottamatta radonia, jonka pitkäaikainen altistuminen aiheuttaa terveysriskejä.

### 5.1 Voimajohtojen sähkö- ja magneettikentät

Voimajohtojen sähkö- ja magneettikentät ovat yksi ihmisen aiheuttamista ympäristön säteilylähteistä. Heinäkuussa 2016 astui voimaan Valtioneuvoston asetus 388/2016, joka perustuu Euroopan unionin direktiiviin 2013/35/EU. Asetusta sovelletaan työhön, jossa työntekijät altistuvat tai saattavat altistua tunnetuille sähkömagneettisten kenttien lyhytaikaisille, suorille biofysikaalisille tai epäsuorille vaikutuksille. Sähkömagneettisia kenttiä on mahdollista mallintaa laskennallisesti, mutta mittaamalla saadaan todellinen näyttö sähkömagneettisten kenttien arvoista. Mittauksilla todetaan, toteutuuko valtioneuvoston asetus työntekijöiden suojautumiselta voimajohtojen sähkö- ja magneettikenttien aiheuttamalta säteilyltä. (Aho 2018).

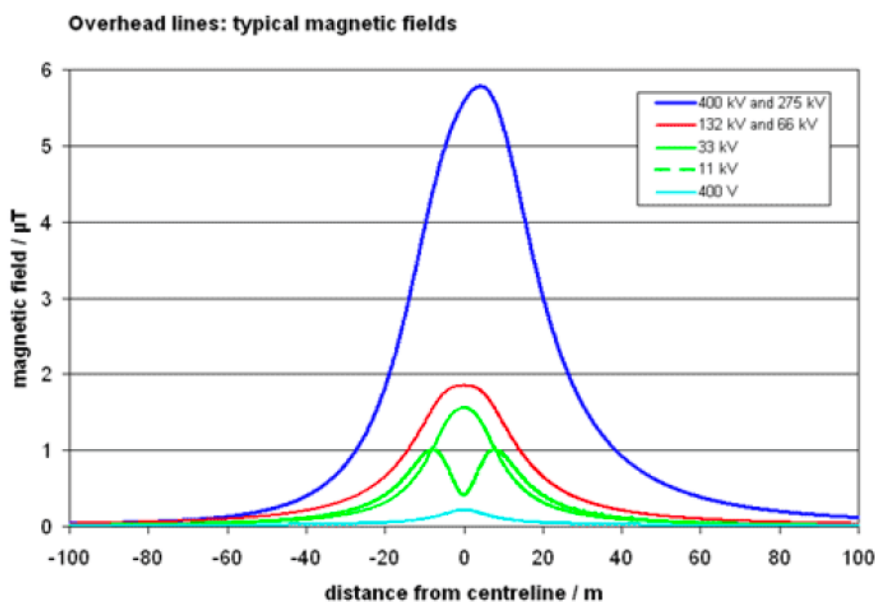
Asetuksessa mainitaan, että sähkö- ja magneettikenttää koskeva enimmäisarvo tai suositus ei estä kehon elintärkeitä toimintoja ionisoimattoman säteilyn väestölle aiheuttamaa altistumista (sosiaali- ja terveysministeriön asetus 294/2002). Voimalinjojen läheisyydessä asuva väestön ovat alttiita sähkökentän ja magneettikentän pitkäaikaiselle vaikutukselle. Usein ilmenevät oireet ovat biologisia oireita, syynä voi olla magneettikentän heikompi vaimenevuus voimalinjoista (Aho 2018).



Kuva 4. Magneettikenttä vaimenee etäisyyden kasvaessa (Aho Teemu 2018)

Kaaviosta tulee ilmi, että magneettikenttä saattaa hyvinkin häiritä voimalinjojen läheisyydessä asuvia. Maakaapeli aiheuttaa vastaavanlaisen kentän, joka pienenee huomattavasti voimajohtoja nopeammin.

Puusto, rakennukset ja muut rajapinnat vaimentavat tehokkaasti sähkökenttiä. Hyviä vaimentavia materiaaleja ovat johtavat materiaalit. Talot, puut ja aidat ovat esimerkkejä kentältä suojaavista elementeistä. Usein voimajohtojen aiheuttama sähkökenttä talon sisällä on pienempi kuin rakennuksen ulkopuolella. Metallit, jotka ovat erinomaisesti johtavia, tarjoavat hyvän suojausvaikutuksen. Paremman suojan saa kuitenkin kivitalosta ja peltikatosta. (Aho 2018). Puurakenteiset talot eivät tarjoa pitkäaikaisesta suojaa voimajohtojen aiheuttamalta magneettikentältä.



Kuva 5. Tyypillinen magneettivuon tiheys voimajohtolla (Aho Teemu 2018)

Altistumiseen vaikuttaa siirrettävän energian määrä, joka on suoraan johdonomainen magneettikentän suuruuteen. Sähkön kulutus vaikuttaa siis magneettikentän suuruuteen. Magneettikentän vaikutus vaimenee hitaammin kuin sähkökentän suuruus. (Aho 2018).

*Magneettikentällä ei ole suoria vaikutuksia ihmisen kehoon voimajohtojen alla tai läheisyydessä. Sitä vastoin pitkäaikaisella altistuksella magneettikentälle epäillään mahdollisesti olevan terveydellisiä haittavaikutuksia. Voimajohtojen lähellä asuville on muutaman vuosikymmenen aikana tehty kymmeniä väestötutkimuksia. Osassa näistä tutkimuksista on havaittu, että lasten leukemiariski on lievästi suurentunut, kun lapset ovat pitkäaikaisesti altistuneet magneettikentälle, jonka keskiarvo on suurempi kuin 0,4 µT. Näissäkään tutkimuksissa ei ole voitu suoraan osoittaa, että leukemia olisi ollut seurausta altistuksesta magneettikentälle. Solu- ja eläinkokeista ei ole saatu tätä havaintoa tukevia tuloksia, eikä tunneta mekanisme, jolla näin heikko magneettikenttä aiheuttaisi leukemiaa tai muita syöpiä ja sairauksia. Viimeaikaiset väestötutkimukset eivät ole tuottaneet merkittävää uutta tietoa aiemmin havaitusta riskistä. Säteilyturvakeskuksen mukaan varmuutta magneettikentän pitkäaikaisvaikutuksista ei edelleenkään ole. Tieteellisen epävarmuuden vuoksi Säteilyturvakeskus suosittelee, että uudet voimajohtot ja asuinrakennukset rakennettaisiin siten, että voimajohtojen aiheuttaman magneettikentän pitkäaikainen keskiarvo olisi korkeintaan 0,4 µT tiloissa, joissa lapset oleskelevat*

pysyvästi. Epätietoisuudesta johtuvan huolestumisen vuoksi olisi hyvä välttää myös koulujen ja päiväkotien sijoittamista voimajohtojen läheisyyteen (STUK 2025).

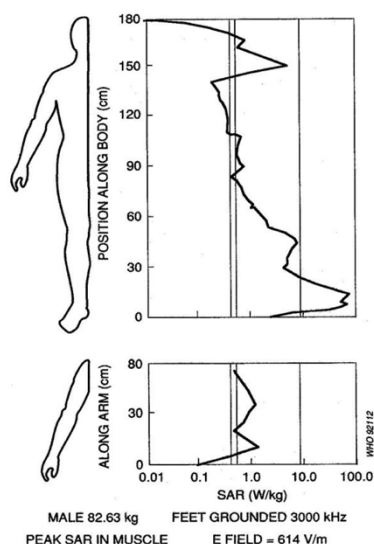
## 5.2 Sähkömagneettinen säteily

Sähkömagneettisen säteilyn määrä ympäristössämme on kasvanut merkittävästi erilaisten elektronisten laitteiden yleistymisen myötä. Moni on huolissaan säteilyn mahdollisista terveysvaikutuksista, ja onkin luonnollista haluta suojautua siltä.

Teollistuminen on lisännyt langattomien kenttien aiheuttamaa säteilyä. 1950-luvulta lähtien ionisoimaton säteily on lisääntynyt merkittävästi. Tuolloin tyypillisiä säteilyn lähteitä olivat laser, mikroaallot ja radiotaajuinen säteily. 1960-luvulla jo toisen maailmansodan aikana kehitetyt tutka- ja infrapunasovellukset saivat enemmän suosiota. 1970-luvulla ja 1980-luvulla varhaiset analogiset matkapuhelinjärjestelmät ja tietokoneiden näyttöjen katodisädeputket tuottivat erilaisia sähkömagneettisia säteilyjä. 1990-luvulta lähtien langattomat lähiverkot Wi-Fi ja Bluetooth tekniikat, sekä matkapuhelinverkkojen kehitys on lisännyt radiotaajuista säteilyä. Vuonna 2010-luvun tyypillisimpiä säteilyn lähteitä olivat mikroaaltouuni, televisio, palovaroin, kello sekä pölynimuri. Tuolloin säteilyä tuli päivittäisistä hyödykkeistä, jotka helpottavat jokapäiväistä elämää. Säteilyä hyödynnetään esimerkiksi terveydenhuollossa, röntgentutkimuksissa, biokemian ja fysiologian tutkimuksissa sekä teollisuudessa. Teollisuudessa säteilyä hyödynnetään pääasiassa laadunvalvonnassa ja mittojen tai koostumusten seurannassa.

## 5.3 Matkapuhelinsäteily

Matkapuhelinsäteilyn vaikutuksia tutkitaan SAR-mittauksella. SAR lyhenne tulee sanoista Specific Absorption Rate eli ominaisabsorptionopeus. Se kertoo, kuinka paljon sähkömagneettista säteilyä, kuten esimerkiksi matkapuhelimen säteily, imeytyy kehoon tietyssä ajassa. Mitä suurempi SAR-arvo, sitä enemmän energiaa imeytyy. SAR-mittauksella arvioidaan matkapuhelinten turvallisuutta ja terveysvaikutuksia. Matkapuhelinten terveysvaikutuksen selvityksen lähtökohdaksi voidaan ottaa säteilylähteet. Terveysvaikutuksia arvioidessa huomioidaan ionisoiva ja ionisoimaton säteily. Säteily voi yleisesti olla joko sähkömagneettista aaltoliikettä tai hiukkassäteilyä. (Malmberg 2009).



Kuva 6. SAR-jakauma kehossa (Heinäjoki Ville 2010)

*"Kuten huomataan kuvasta, maadoitetun ihmisen paikallinen SAR-arvo on niissä kohdissa suurimmillaan, missä poikkipinta-ala on pienimmillään. Jalkojen suureen paikalliseen SAR-arvoon vaikuttaa myös jalkojen ja maan välinen kontakti (oikosulkuvirta). Pieni poikkipinta-alue tarkoittaa suoraan sitä, että energiaa ahtautuu enemmän pienempään tilaan ja virrantiheys suurenee. Koska virrantiheys on suoraan verrannollinen SAR-jakaumaan myös ominaisabsorptioopeus kasvaa" (Heinäjoki 2010).*

Matkapuhelinjärjestelmien aiheuttama säteily on sähkömagneettista säteilyä, joka tapahtuu radiotaajuudella. Sähkömagneettinen radiotaajuuskenttä tunnetaan myös nimellä RF-kenttä (Radio Frequency). Suuritehoisten lähteiden läheisyydessä voimakkaille kentille altistuvat vain lähteiden läheisyydessä olevat henkilöt. Perusväestön kannalta merkittävin säteilylähde onkin matkapuhelin. Matkapuhelimen säteilyteho on varsin pieni, mutta altistumisriskiä kasvattaa se, että laite on hyvin lähellä kehoa.

Matkapuhelinten ja langattoman liikenteen lisääntyminen johtaa tukiasemien määrän kasvuun. Se myös tarkoittaa säteilyn lisääntymistä. Altistuminen tapahtuu lähikentässä, missä tyypillisesti pidetään matkapuhelinta hyvin lähellä kehoa. Tästä syystä matkapuhelimen aiheuttaman radiotaajuisen kentän voimakkuutta voidaan mitata ainoastaan ominaisabsorptioopeutena eli SAR-arvolla (W/kg). (Malmberg 2009).

## 6 MITÄ BIOLOGISIA VAIKUTUKSIA ON SÄHKÖMAGNEETTISELLÄ SÄTEILYLLÄ?

Sähkömagneettinen säteily vaikuttaa yhä useamman ihmisen arjessa. Olemme tottuneet käyttämään teknologiaa, joka on hyödyntää sähkömagneettisesta kenttää. Yhteiskunta on tehty riippuvaiseksi langattomasta tekniikasta. Harva pysähtyy miettimään, miten laitteiden tuottama säteily vaikuttaa ihmisiin. Keskustelua on herättänyt sähkömagneettisensäteilyn biologiset vaikutukset. Vallalla olevan näkemys juontaa vuodesta 1998, jolloin ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) antoi suosituksen radiotaajuisen säteilyn vaikutuksista. ICNIRP:n asettama SAR-arvo pään ja vartalon osalta määriteltiin vuonna 1998. ICNIRP:n suositus huomio ainoana biologisena vaikutuksena keskimääräisen lämmön nousun 6 minuutin tarkastelujaksolla. (ICNIRP 1998). ICNIRP:n uudessa suosituksessa 5G-tekniikan osalta huomioidaan lämmön nousu 30 minuutin aikana. (ICNIRP 2022).

Suomen Säteilyturvakeskus (STUK) huomio ainoastaan ICNIRP:n suositukset. STUK:n raja-arvot perustuvat olettamukseen että *”radiotaajuuksilla vallitseva fyysikaalinen vaikutusmekanismi kudoksessa on energian absorboituminen lämmöksi”*. STUK:n tulkinnan mukaan sähkömagneettisten kenttien pääasiallinen vaara on kehon lämpeneminen. Epäsuoran terveyshaittaa voi syntyä, jossa sähkömagneettiset kentät häiritsevät turvallisuuden kannalta tärkeiden laitteiden toimintaa, kuten kehonsisäisten sydämentahdistimien, defibrillaattoreiden, hermostimulaattoreiden, lääkeannostelijoiden ja potilaaseen ulkoisesti kytkettyjen valvontalaitteiden tai kuulokojeen toimintaa (Jokela 2006).

WHO luokitteli vuonna 2011 radiotaajuinen sähkömagneettisen säteilyn mahdollisesti syöpää aiheuttavaksi. (IARC/WHO 2011). WHO myöntää luokituksellaan radiotaajuisen säteilyn vakavat terveydelliset vaarat. Vuoden 2011 jälkeen langattomien teknologioiden määrä ja käyttö ovat lisääntyneet merkittävästi. Samalla uuden tekniikan haitallinen vaikutus on lisääntynyt. Koska haitallisten vaikutusten mahdollisuus on olemassa, tulisi myös suhtautua vakavasti radiotaajuisen säteilyn aiheuttamasta vaikutuksesta.

### 6.1 Miten sähkömagneettinen säteily vaikuttaa solutasolla?

Ihmisen hyvinvoinnin ja terveyden kannalta solujen oikeanlainen toiminta on välttämätöntä. Solut tuottavat ja kuluttavat päivittäin suuren määrän energiaa. Solut kuljettavat molekyylejä ja vievät viestejä. Solujen käyttämät proteiinit ovat suuria molekyylejä, jotka koostuvat aminohapoista. Solujen monimutkaista toiminnoista vastaavat proteiinikoneet, jotka koostuvat proteiineista.

Proteiinimolekyylien ylläpitävällä energialla ja sen tuottamalla liikkeellä on keskeinen rooli solujen aineenvaihdunnassa sekä niihin liittyvissä prosesseissa. Proteiinien jatkuva liike pitää yllä elämää. Solukalvolla on tärkeä rooli soluntoiminnan kannalta, sillä solukalvo säätelee solun toimintaa. Solu tarvitsee viestien vastaanottamiseen solukalvolla sijaitsevia reseptoriproteiineja. Osa solukalvoilla olevista reseptoreista vastaanottaa solun sisäisiä viestejä ja osa reseptoreista ottaa vastaan solun ulkoisia viestejä. Jokaiselle viestille on oma erikoistunut reseptorinsa, joka vastaanottaa viestin. Viestin saaminen vaikuttaa proteiinikoneiden toimintaan, joka vaikuttaa samalla solun tuottamiin prosesseihin. (Lipton 2020).

Solun reseptorit ottavat vastaan kahden tyyppisiä viestejä. Osa reseptoreista tunnistaa fyysisiä viestejä, kuten hormonit, neurotransmitterit ja kasvutekijät. Toiset reseptorit tunnistavat värähteleviä sähkömagneettisia energiakenttiä kuten valo-, ääni-, ja radioaaltoja. Viestien välittämisessä

sähkömagneettisilla energiaviesteillä on merkittäviä etuja puolellaan verrattuna fyysisiin viesteihin. Energiaviestit vievät vähemmän energiaa verrattuna fyysisiin viesteihin. Energiaviestit ovat nopeampia ja 100 kertaa tehokkaampia kuin fyysiset viestit. Energiaviestien lähettäminen on tehokas tapa, mutta samalla se on haavoittuvainen ulkoa tulevalle informaatiolle. (Lipton 2020).

Reseptoriproteiinit, jotka ottavat viestejä vastaan, eivät itsessään vaikuta solun toimintaan, vaan tarvitsevat siihen efektoriproteiineja, jotka yhdessä muodostavat ärsyke-reaktori-järjestelmän. Tämä mekanismi kääntää solujen ulkoa tulevat viestit solujen käyttäytymiseksi. Reseptorit, jotka reagoivat värähteleviin sähkömagneettisiin energiakenttiin, reagoivat siihen muuttamalla proteiinien jännitettä. Jännitteen vaihtuminen vaikuttaa proteiinikoneiden muotoon ja sähkömagneettiseen varaustilaan. (Lipton 2020).

Valitettavasti osa sähkömagneettisista kentistä tuottavat reseptoreihin virheellisiä viestejä. Tämä aiheuttaa proteiinikoneisiin virheellisiä muotoja ja varaustiloja. Vääränlainen toiminta aiheuttaa biologisia häiriötä ja vääriä toimintamalleja, siksi solujen oikeanlainen viestintä on tärkeää solujen oikeanlaisen toiminnan kannalta. Virheellinen viesti muuttaa proteiinien sähkömagneettista varaustilaa ja saa aikaan proteiinikoneiden virhetoimintoja, joka altistaa erilaisille sairauksille ja biologisille häiriöille.

*Sähkömagneettisten varausten asettuminen proteiinin sisällä voi muuttua erilaisten prosessien kautta. Näitä voivat olla mm. muiden molekyylien tai kemikaaliryhmien, esimerkiksi hormonien, sitoutuminen; entsyymien poistuminen tai varautuneiden ionien liittyminen; tai sähkömagneettisten kenttien interferenssi, esimerkiksi langattomien puhelinten lähettämä säteily (Tsong 1989).*

Sähkömagneettisten kenttien interferenssi näkyy häiriönä laitteiden toiminnassa. Helpommin havaitsemme tämän häiriönä radioasemien toiminnassa. Esimerkiksi radioasemien signaalit voivat häiritä toisiaan, jos ne osuvat samalle taajuudella. Sähkömagneettisten kenttien interferenssi vaikuttaa samalla tavalla solukalvon herkkyyteen reseptoreihin. Solukalvon reseptorit ovat herkkiä reagoimaan muuttuviin sähkömagneettisiin varauksiin. Osa proteiinien varaustiloissa tapahtuvista jännitemuutoksista tapahtuu sähkömagneettisten kenttien interferenssin kautta. Teollisuus kiistää sähkömagneettisten kenttien vaikutuksen solujen viestintään ja sen vaikutuksen solujen toimintoihin vaikuttaviin prosesseihin. Tarkemmin sanottuna teollisuus kiistää ionisoimattoman säteilyn haitallisen vaikutuksen. Solujen on pystyttävä tulkitsemaan oikein viestejä pysyäkseen elossa. NykYTEKNIikka tuottamat keinotekoiset sähkömagneettiset kentät, vaikuttavat haitallisesti ympäristöön. Samalla virheellinen informaatio asettaa omat haasteensa solukalvon reseptoreiden oikean toiminnan kannalta. Tekniikan aiheuttamat haitalliset vaikutukset olisi pystyttävä havaitsemaan, jotta voisimme suojautua niiden vaikutuksilta.

## 6.2 Miten sähkömagneettiset kentät vaikuttavat kryptokromien toimintaan?

Keinotekoiset sähkömagneettiset kentät aiheuttavat häiriöitä päivittäisiin toimintoihimme. Häiriöt voivat johtua sähkömagneettisten kenttien virheellisestä tulkinnasta. Kirkkaalle valolle altistumisen, erityisesti illalla, ajatellaan vaikuttavan valveillaoloaikaan sekä melatoniinin tuotantoon.

Ihmisen näkökentän yhteydessä sijaitsevat kryptokromi- nimiset biologiset proteiinit (CRY1, CRY2), reagoivat valoon ja ovat mukana vuorokausirytmien säätelyssä. Proteiineilla on erityisen tärkeitä

tehtäviä valon havaitsemisessa ja biologisen kellon toiminnassa, kuten vuorokausirytmien säätelyssä. Proteiinit valmistavat ihmistä nukkumaanmenoa varten lisäämällä melatoniinin tuotantoa ja säätelämällä vuorokausirytmia. Kun nämä proteiinit saavat ympäristöstä virheellistä informaatiota, melatoniinin tuotanto ja vuorokausirytmia häiriintyy. Vuorokausirytmia ja valvetilaa säätelevät kryptokromit (CRY1, CRY2) voivat tulkita ulkoa tulevat viestit väärin. Virheellisesti tulkittu sähköinen viesti vaikuttaa melatoniinin tuotantoon vähentävästi. Toisin sanoen sähkömagneettisten kenttien interferenssi voi näkyä häiriönä kryptokromi- proteiinien toiminnassa. Vääriä viestejä voivat aiheuttaa esimerkiksi näkyvä valo tai langattomien laitteiden tuottama sähkömagneettinen säteily. Keinotekoinen valo vaikuttaa melatoniinin tuotantoon vähentävästi ja nukkumaan meneminen pitkittyy. Sähkömagneettisten kenttien on havaittu vaikuttavan vuorokausirytmien säätelyyn. Pitkäaikainen unirytmien häiriintyminen ja altistuminen keinotekoisille sähkömagneettisille kentille voi johtaa krooniseen unettomuuteen. Pitkittynyt univaje lisää riskiä mielialahäiriöiden, kuten masennuksen ja ahdistuksen, kehittymiselle. Häiriintynyt unirytmia vaikuttaa lisäksi DNA-vaurioiden korjaukseen ja palautumiseen. (Partonen 2012).

Keinotekoisien sähkömagneettisten säteilyn vaikutuksia ei tulisi vähätellä. Näkyvällä valolla on merkittävä vaikutus ihmisen hyvinvointiin ja terveyteen. Aamulla valon lisääntyminen vähentää melatoniinin tuotantoa ja valmistele meitä heräämiseen. Illalla valolle altistuminen viivyttää melatoniinin tuotantoa ja lisää valvellaoloaika. Samoin altistuminen langattomien laitteiden tuottamalle sähkömagneettiselle säteilylle, aiheuttaa sähkömagneettisten kenttien interferenssin, jotka aiheuttavat häiriötä kryptokromi-proteiinien toiminnassa.

## 7 KUINKA SUUNNITELLA TYÖPISTE, JOKA SUOJAA SÄHKÖMAGNEETTISELTA SÄTEILYLTLÄ?

Ihmisen aiheuttama keinotekoinen ionisoimaton säteily on lisääntynyt nykypäivänä merkittävästi, erityisesti langattomien viestintäteknologioiden, kuten matkapuhelimien, Wi-Fi-verkkojen ja muiden langattomien laitteiden, yleistyessä. Pitkäaikainen altistuminen ionisoimattomalle säteilylle on herättänyt keskustelua ja lisännyt huolta säteilyn pitkäaikaisista terveysvaikutuksista.

Varautuminen mahdollisille terveysvaikutuksille on tarpeen. Jotkin Euroopan maat ovat ryhtyneet ennaltaehkäiseviin varotoimiin. Saksa on ottanut linjan, jossa lasten terveyttä ja turvallisuutta pidetään etusijalla. Saksalaisissa kouluissa luokahuoneissa ei saa olla langattomia reitittimiä (Wi-Fi), vaan sallii ne ainoastaan koulujen käytävillä tai tiloissa, joissa oppilaat viettävät mahdollisimman vähän aikaa. Tämä päätös heijastaa maan varovaisuutta sähkömagneettisten kenttien pitkäaikaisiin terveysvaikutuksiin. Saksan Bundesamt für Strahlenschutz (Saksan säteilyturvallisuusvirasto), joka on suosittelut langattomien verkkojen rajoittamista kouluissa ja kehottaa käyttämään langallisia yhteyksiä (Ethernet). (BUND 2009).

Ranska on myös ottanut aktiivisen roolin sähkömagneettisten kenttien pitkäaikaisiin terveysvaikutuksiin varautumisessa. Ranskalla on tiukka lähestymistapa säteilyaltistuksen sääntelyssä. Ranskan ANSES (Ranskan kansallinen elintarviketurvallisuus-, ympäristö- ja työterveysvirasto) on julkaissut useita raportteja sähkömagneettisten kenttien terveysvaikutuksista. Se suosittelee esimerkiksi lasten altistumisen rajoittamista langattomille laitteille.

Ranskassa otettiin käyttöön laki, Loi Abeille (2015), joka rajoittaa Wi-Fi-verkkojen käyttöä päiväkoissa ja kouluissa. Laki vaatii myös, että langattomat laitteet kuten matkapuhelimet, ilmoittavat säteilytasonsa SAR-arvona. (Loi Abeille 2015). Ranskalaisissa kouluissa totaalinen puhelinkielto tuli voimaan 2018 syyskuussa. (Iltalehti 2017). Puhelinkielto on vähentänyt kiusaamista kouluissa ja auttaa luomaan rauhallisemman ja keskittyneemmän oppimisympäristön. Laki on herättänyt keskustelua muissa maissa, joissa mietitään puhelimen käytön rajoittamista tai kieltämistä kouluissa.

Saksan ja Ranskan toimintamalli perustuu varovaisuusperiaatteeseen. Varovaisuusperiaatteessa varaudutaan ennaltaehkäisevästi asioihin, joissa ei tiedetä kokonaiskuvaa tulevista terveysvaikutuksista. Tässä tilanteessa ajatellaan lasten olevan säteilyn suhteen haavoittuneemmassa asemassa aikuiseen nähden. Lapset ovat vielä kasvuvaiheessa, heidän kehonsa ovat alttiimpia mahdollisille säteilyvaikutuksille, jonka pitkäaikaisia terveysvaikutuksia ei tiedetä. Lasten luusto on hauraampaa ja ohuempaa kuin aikuisten luusto. Lasten kallon paksuus voi olla neljä kertaa ohuempaa verrattuna aikuisen miehen kallon paksuuteen. Tästä syystä säteily absorboituu herkemmin lasten kehoon ja syvemmälle lasten aivoihin. Lasten säteilyn pitkäaikaisvaikutus on erilainen kuin aikuisella. Aikuinen mies on todennäköisesti aloittanut puhelimen käytön aikuisiällä, eikä säteily ehdi vaikuttaa samalla tavoin kuin se vaikuttaisi lapseen.

Saksan ja Ranskan toimintaa ohjaa Euroopan parlamentin päätöslauselma 1815 (2011), joka korostaa sähkömagneettisten kenttien terveydellisiä vaaroja ja niiden vaikutusta ympäristöön. Euroopan parlamentin päätöslauselma ei ole laki vaan suositus Euroopan jäsenvaltioille.

Päätöslauselma kehottaa noudattamaan varovaisuusperiaatetta säteilyaltistuksen rajoittamisessa, erityisesti lasten kohdalla. Päätöslauselma suosittelee, että sähkömagneettisten kenttien altistumista rajoitetaan erityisesti kouluissa, päiväkodeissa, sairaaloissa ja hoitolaitoksissa. Lisäksi siinä kehoitetaan välttämään langattomien verkkojen (Wi-Fi) käyttöä ja suosimaan kaapeliverkkojen (Ethernet) käyttöä.

Päätöslauselmassa kehoitetaan lisäämään tietoisuutta langattoman DECT-puhelimen terveysriskeistä, ja huomioimaan vauvamonitorit ja muut kodinkoneet, jotka lähettävät jatkuvaa pulssiaaltoa. Langattomien sähkölaitteiden, jotka jätettäisiin valmiustilaan, sijaan suositellaan langallisten laitteiden, kuten kiinteiden puhelimien käyttöä. Jos tämä ei ole mahdollista, suositellaan malleja, jotka eivät lähetä jatkuvaa pulssiaaltoa. (Euroopan parlamentin päätöslauselma 1815).

## 7.1 Miten eritellä sisätiloihin vaikuttava ionisoimaton sähkömagneettinen säteily?

Rakennusbiologia luokittelee merkittävästi sisäilmaa heikentävästi ionisoimattoman säteilyn. Suojautuminen ihmisen aiheuttamalta keinotekoiselta ionisoimattomalta säteilyltä meidän on jaettava säteily kahteen ryhmään ja tunnistettava säteilyn vaikutus. Säteilyn lähteet voidaan jakaa kahteen luokkaan riippuen säteilylähteen aiheuttajasta. Säteily voidaan jakaa asunnon ulkopuolelta tulevaan säteilyyn sekä asunnon sisäpuolelta tulevaan ionisoimattomaan säteilyyn.

### 7.1.1 Asunnon ulkopuolinen ionisoimaton säteily

Radiotaajuinen säteily: matkapuhelintukiasemat, tutkat

Sähkökenttien säteily: sähkölinjat, sähköautot, muuntajat

Radiotaajuinen säteilyn vaikutus: Matkapuhelintukiasemat lähettävät radiotaajuista säteilyä matkapuhelimiin. Säteily on jatkuvaa. Mitä lähempänä työpiste on tukiasemaa, sitä suurempaa on altistuminen. Vanhemmilla tekniikoilla NMT, GMS ja 3G-verkot tukiasemien tarve oli vähäisempää. 4G-verkoilla ja 5G-verkoilla tukiasemien tarve on kasvanut. Etenkin 5G-verkon myötä on tarvinnut rakentaa tiheimpiä tukiasemaverkkoja, samalla lähetinsolujen määrä on kasvanut huomattavasti aikaisempiin tukiasemaverkoihin nähden.

Sähkökenttien säteilyn vaikutus: sähkönsiirtoverkot ja muuntajat luovat sähkömagneettisia kenttiä. Pitkäaikaistutkimuksissa on havaittu voimajohtojen läheisyydessä asuneiden lasten leukemiariskin lievästi suurentuneen, kun lapset ovat altistuneet magneetikentälle. (STUK 2025).

STUK myöntää sähkömagneettisten kenttien epäsuorat terveysvaikutukset. Epäsuoraa terveyshaittaa voi syntyä, jossa sähkömagneettiset kentät häiritsevät turvallisuuden kannalta tärkeiden laitteiden toimintaa, kuten kehonsisäisten sydämentahdistimien toimintaa. (Jokela 2006).

### 7.1.2 Asunnon sisäpuolinen pistemäinen ionisoimaton säteily

Radiotaajuinen säteily: WI-FI-reitittimet, langattomat puhelimet, matkapuhelimet, Bluetooth-laitteet (esim. langattomat kuulokkeet, langattomat peliohjaimet, hiiret, näppäimistöt), älylaitteet (esim. älykellot).

Sähkökenttien säteily: sähköjohdot ja sähkölaitteet (esim. mikroaaltouuni, televisio, tietokoneet, tuuletin, kaiuttimet).

Radiotaajuisen säteilyn mahdolliset vaikutukset: jatkuva altistuminen radiotaajuiselle säteilylle (esim. nukkuminen Wi-Fi-reitittimen lähellä) voi aiheuttaa herkille henkilöille päänsärkyä tai unettomuutta.



Kuva 7. Rakennuksen sisäpuolen pistemäisen säteilyn lähteitä (Environmental Health Trust 2025)

Sähkökenttien säteily: voimakkaat sähkömagneettiset kentät voivat aiheuttaa päänsärkyä, väsymystä tai muita oireita, jos altistuminen on pitkäaikaista tai jos altistuminen tapahtuu laitteiden välittömässä läheisyydessä tai suorassa kosketuksessa laitteeseen.

## 7.2 Kuinka suojautua ionisoimattoman sähkömagneettisen säteilyn vaikutukselta?

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiiviin 2013/35/EU tarkoituksena on suojella työntekijöitä sähkömagneettisen kentän ei-toivotulta vaikutukselta, jotka johtuvat säteilyn taajuudesta ja voimakkuudesta. Direktiivi ei huomio pitkäaikaisvaikutuksia, mutta huomioi lyhytaikaisen 6 minuutin altistuksen. Direktiivi velvoittaa vähentämään altistumista sähkömagneettisille kentille, ottamalla huomioon ehkäisevät toimenpiteet jo työpisteitä suunniteltaessa. Työvälineisiin ja -menetelmiin liittyvillä säännöksillä edistetään työntekijöiden suojelua.

Direktiivin ehdotus vuodelta 2011 tuo ilmi huolen, joka tulee keskipitkän aikavälin altistuksesta. Ehdotus tuo ilmi epäiltyjä riskejä sähkömagneettisille kentille altistumisessa, jotka ovat esimerkiksi neuroendokriinisen järjestelmän häiriöt (hormonit, melatoniini), rappeuttavat hermostosairaudet (Parkinson, Alzheimer, skleroosit), vaikutukset lisääntymiseen ja ihmisten ja/tai eläinten kehitykseen (keskenmenojen ja epämuodostumien vaara) sekä lisääntynyt syöpävaara (aivokasvaimet, lasten leukemia). (KOM (2011) 348 Euroopan komission ehdotus).

Ehdotus varoittaa biologisista vaikutuksista, jotka mahdollisesti vahingoittavat kasveja, hyönteisiä ja eläimiä sekä ihmisen elimistöä. Vaikutukset ilmenevät selvästi ICNIRP:n suosittamia raja-arvoja alhaisemmilla säteilytasoilla.

Euroopan parlamentin päätöslauselma 1815 (2011) ilmaisee joitakin keskeisiä ehdotuksia sähkömagneettisen säteilyn vaikutukselta suojautumisessa. Päätöslauselma 1815 (2011) ehdottaa, että julkisissa tiloissa, kuten sairaaloissa, kauppakeskuksissa, virastoissa, liikennevälineissä ja kouluissa, tulisi olla säteilyvapaita tiloja. Tilojen tulisi olla selkeästi merkittyjä. Samoin kaupunki- ja julkitilasuunnittelussa tulisi asettaa selkeät turvarajat, sekä huomioida säteilyn terveydelliset vaikutukset. Päätöslauselma kehottaa lisäämään tietoisuutta säteilyn mahdollisista terveysvaikutuksista. Etenkin kouluissa tulisi suosia langallisia verkkoyhteyksiä (LAN) langattoman verkon sijasta (WLAN). Päätöksentekoa ja suunnittelua tuli ohjata varovaisuusperiaate sekä ALARA-periaate.

#### Etätyöpisteen suunnittelu

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiiviin 2013/35/EU mukaisesti työnantajien tehtävänä olisi suojata työntekijä sähkömagneettisten kenttien haitalliselta vaikutukselta. Työnantajilla olisi velvollisuus varmistaa, että sähkömagneettisista kentistä työpaikalla aiheutuvat riskit poistetaan tai ne olisivat mahdollisimman vähäisiä.

Tietoisuus ionisoimattoman säteilyn pitkäaikaiselta haitallisesta vaikutuksesta auttaa suojautumaan sen haitalliselta vaikutukselta. Seuraavaa ohjeistusta voidaan soveltaa etätyöpisteiden suunnittelussa.

#### Asunnon sijainti

Ionisoimatonta säteilyä (sähkömagneettista säteilyä) voi tulla suurjännitelinjosta, matkapuhelinmastosta ja langattomasta teknologiasta (Wi-Fi, Bluetooth jne.). Vaikka viranomaisten näkemykset haittavaikutuksista voivat olla ristiriitaisia, on järkevää noudattaa varovaisuusperiaatetta. Suojautuminen alkaa valitsemalla asunnolle oikeanlainen sijainti. Asunnon läheisyydessä ei tulisi sijaita:

- suurjännitelinjaa
- muuntamoita
- mastoja, kuten matkapuhelintukiasemaa
- langatonta teknologiaa

Tiiviit ja heijastavat rakennusmateriaalit, kuten betoni ja metalli, heikentävät sähkömagneettisen säteilyn vaikutusta. Työpiste kannattaa sijaita mahdollisimman kauaksi mainituista säteilylähteistä.

#### Etätyöpiste

Etätyöpistettä suunniteltaessa tuli huomioida:

- valitse paritalon tai rivitalon päätyasunto
- suoja asunnossa naapurin vastainen seinä taajuuksilta
- säädä työpisteen pistemäinen säteily alhaiseksi
- tarkista suojaus mittaamalla

Säteilyä voidaan vähentää seuraavilla toimenpiteillä. Seinä voidaan verhoilla suojaavalla maalilla tai tapetilla. Ikkunoista tulevaa säteilyä voidaan vaimentaa vaimentavilla kalvoilla tai verhoilla. (Tamminen 2023).

## Valaistus

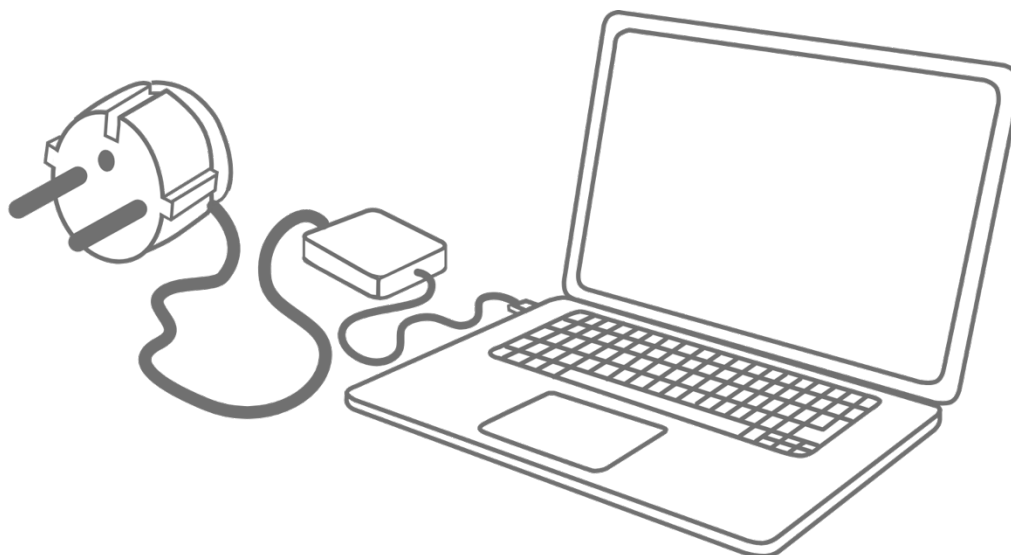
Oikeanlaisella valaistuksella voidaan vähentää valaistuksen tuottamaa säteilykuormaa.

- suosi epäsuoraa valaistusta
- vältä loisteputkien pulssimaista valaistusta
- käytä vasaralamppuja (hehkulamput) ja halogeenilamppuja
- käytä maadoitettuja valaisimia

Maadoittamattomat valaisimet voivat tuottaa voimakkaita sähkökenttiä. Pidä vähintään metrin etäisyys maadoittamattomiin valaisimiin ja niiden johtoihin.

## Työpiste

- käytä maadoitettuja tietokoneita ja näyttöjä
- sijoita tietokoneen keskusyksikkö ja näyttö riittävän kauas
- kytke pois langattomat ominaisuudet kuten Wi-Fi ja Bluetooth
- suosi langallista näppäimistöä ja hiirtä.



Kuva 8. Maadoitettu tietokone (Pöyhönen Reko 2025)

Käytä maadoitettuja laitteita. Jos tietokone on maadoittamaton, katso onko siihen myytävillä maadoitettua johtoa. Esimerkkinä voidaan mainita Applen tietokoneet, joihin saa lisäosana maadoitetun jatkojohdon. Käytä riittävän isoa näyttöä, jotta voit työskennellä riittävän etäällä näytöstä. Riittävä etäisyys näytöstä on noin metri. Uusien koneiden käyttöönotossa käytä riittävää tuuletusta noin kahden viikon ajan. Kytke pois langattomat ominaisuudet, jos et tarvitse niitä. Langattomat yhteydet lisäävät sähkömagneettisia häiriöitä ja saattavat keskeyttää työntekoa.

Kannettavat tietokoneet tuottavat erilaisia sähkömagneettisia kenttiä, jotka voivat aiheuttaa terveyshaittoja, erityisesti jos laite on sylissä tai lähellä kehoa. Kannettava tietokone aiheuttaa a) magneettikenttiä, b) sähkökenttiä, c) transientteja, d) ja joissakin malleissa mikroaaltokuormitusta. On suositeltavaa vähentää altistumista kasvattamalla etäisyyttä. Sijoita kannettava tietokone noin metrin päähän kehosta. Käytä ulkoista näyttöä ja langallisia lisälaitteita. (SuST 2025).



Kuva 9. Säteilyltä suojattu työtila (Pöyhönen Reko 2025)

Yläkuvassa työtila on suojattu ulkoapäin kohdistuvasta säteilyrasitukselta. Kuvassa on esimerkkejä käytettävissä olevista suojautumiskeinoista. Ennen suojauksia tehdessä on hyvä mitata alkutilanne ja tarkistaa mittaamalla suojauksen lopputulos. Mittaamalla selviää myös, missä suojaustarve on akuuteinta.

Esimerkkikuvassa tila on suojattu seuraavasti:

1. Seinä voidaan pohjamaalata säteilyä vaimentavalla säteilysuojamaalilla. Maali on hyvin sähköä johtavaa, joka antaa hyvän suojan matalille, että korkeilla taajuuksille. Pinnalle voidaan maalata tavallisella tilaan sopiva pintamaalilla.
2. Verhoina on käytetty valoa läpäisevää suojaverhoa, joka vaimentaa RF-taajuuksia.
3. Ikkunoihin on asennettu valoa läpäisevät säteilysuojakalvot. Kalvon valon läpäisykykyä voidaan vaihdella kalvon säteilyläpäisyn mukaan.
4. Yksi hyvä ja edullinen keino suojautumiseen on käyttää säteilysuojatapettia. Tapetteja on erilaisia, joita voidaan käyttää eri pinnoilla valmistajan ohjeen mukaisesti.

Suojamateriaaleja voidaan yhdistellä, jolloin suojausteho on suurempi. Ennen suojausta tulisi noudattaa tuotteen valmistajan antamia suosituksia käyttökohteille. Valmistajan ohjeiden mukaan tapetteja voidaan vaihtoehtoisesti käyttää lattioilla, katoissa ja ulkotiloissa. Suojausmateriaalit ovat sähköä johtavia, jolloin pinnat voidaan maadoittaa, suojakalvoa lukuun ottamatta. Maadoitus muuttaa materiaalien suojausominaisuuksia. Kalvojen valmistajat eivät suosittele niiden maadoittamista.

## 8 POHDINTA

Tässä opinnäytetyössä perehdyttiin sisäilmaan vaikuttaviin tekijöihin rakennusbiologian lähtökohdista. Käytin rakennusbiologian periaatteita lähtökohtana, koska ne ottavat kokonaisvaltaisesti huomioon rakennuksenkäyttäjän, huomioiden hyvin rasitustekijät, joita rakennuksen käyttäjä voi kohdata. Opinnäytetyössä käytiin lyhyesti läpi myös olemassa olevaa suomalaista lainsäädäntöä ja aseuksia. Samalla käytiin läpi, mitä vertaisarvioidut tutkimukset kertovat säteilyn vaikutuksesta sisäilmaan vaikuttaviin kolmeen päätekijään ja kuinka radiotaajuinen säteily voi edistää huonon sisäilman kehitystä rakennuksissa. Tarkastelin myös säteilyn aiheuttamia biologisia terveysvaikutuksia, sekä kuinka Euroopan parlamentin päätöslauselma 1815 (2011) on kehottanut jäsenmaitaan suojautumaan ionisoimattoman säteilyn vaikutuksilta. Lopuksi esitän ratkaisuita, joilla voi vähentää jo olemassa olevaa säteilyrasitusta. Kaiken taustalla on huoli rakennuksen käyttäjän terveydestä ja ennen kaikkea huoli sisäilman vaikutuksesta lasten terveyteen.

Sisäilmalla on merkittävä vaikutus terveyteen, koska vietämme merkittävän osan päivästä rakennuksissa. Kiinnostus sisäilmaa kohtaa herää siinä vaiheessa, kun ongelmia alkaa ilmaantua. Tämä havaittiin sodan jälkeisessä Saksassa, jolloin haluttiin löytää rakennustapa, joka tukisi ihmisen terveyttä. Tuolloin huomattiin, että tietyt rakennusmateriaalit ja -menetelmät, kuten liian tiiviit rakenteet, lisäsivät sisäilmaan liittyviä terveysongelmia. Tämä johti tarpeeseen ymmärtää rakennuksen ja ihmisen välistä suhdetta sekä kehittää terveellisempiä rakennusmenetelmiä. Parempi ymmärrys terveellisemmästä rakentamisesta loi perustan rakennusbiologian syntyiselle. Suomalaisessa rakentamisessa rakennusbiologian lähestymistapa ei ole vielä saanut laajaa kannatusta. Rakennusbiologia on kuitenkin jo pitkään luonut tietä terveellisemmälle rakentamiselle, huomioiden ympäristötekijät erityisesti säteilyn vaikutuksen ihmiseen. Ihmiseen kohdistuva säteilyrasitus voi tulla sekä rakennuksen sisäpuolelta pistemäisenä säteilynä sekä ulkopuolelta tulevalta laajempina säteilyrasituksena.

Opinnäytetyötäni varten olen perehtynyt Euroopan parlamentin päätöslauselmaan 1815 (2011), joka kehottaa huomioimaan säteilyrasituksen kouluissa ja tiedottamaan säteilyn haitallisesta vaikutuksesta. Huoli lasten terveydestä on saanut jotkin Euroopan maat ovat ryhtymään ennaltaehkäiseviin varotoimiin. Osa Euroopan maista ovat rajoittaneet säteilyrasitusta kouluissa. Ranska on näyttänyt esimerkkiä kieltämällä matkapuhelimet kokonaan koulupäivän aikana. Päätös rajoittaa tai kieltää langattomien kenttien käytön koulu ja päiväkotiympäristössä heijastaa maan varovaisuutta sähkömagneettisten kenttien pitkäaikaisiin terveysvaikutuksiin. Ranskan totaalista matkapuhelinkiellosta on ollut positiivisia vaikutuksia. Puhelinkiello on vähentänyt merkittävästi koulukiusaamista ja luonut rauhallisemman oppimisympäristön. Samanlaisia havaintoja on tehty muissa Euroopan maissa, joissa on rajoitettu puhelimen käyttöä kouluissa. Esimerkiksi Ruotsissa, jossa puhelimen käyttökielto koulupäivän aikana on lisännyt oppilaiden keskinäistä vuorovaikutusta ja vähentänyt koulukiusaamista. Puhelimen käytöllä on havaittu olevan kielteisiä vaikutuksia opetusympäristöissä, mutta puhelimen rajoittaminen on vaikuttanut myönteisesti opetusilmapiiriin oppilaitoksissa. Samasta syystä Suomen opetushallitus suosittaa matkapuhelimien rajoittamista kouluympäristöissä.

Opinnäytetyötäni varten perehdyin lyhyesti myös hallituksen esitykseen perusopetuslain muuttamisesta (HE 212/2024 vp), jolla halutaan rajoittaa mobiililaitteiden käyttöä koulupäivän aikana. Esityksen keskeisenä tavoitteena on antaa toimivaltuuksia opettajille ja rehtoreille puuttua mobiililaitteiden käyttöön koulussa. Esityksen tavoitteena on parantaa oppimistuloksia ja luoda rauhallisempi opetusympäristö. Muutosta voidaan pitää positiivisena näiltä osin. Myönteiset kokemukset vastaavista

toimista muissa eurooppalaisissa kouluissa auttavat lain täytäntöönpanossa. Lain valmisteluvaiheessa muutoksen perusteena ei pidetä terveydellisiä lähtökohtia, toisin kuin Saksan ja Ranskan mallissa, jossa kannetaan huolta sähkömagneettisten kenttien pitkäaikaisista terveysvaikutuksista. Suomalaisessa koulujärjestelmässä ei toistaiseksi päästä säteilyvapaaseen opetusympäristöön, vaikka tuleva laki sitä vähentääkin. Suomalaisissa kouluissa opetuksen osalta opetusmateriaali nojautuu pitkälti verkossa olevaan opetusaineistoon, joka on sähköisesti saatavilla koulujen langattomissa verkoissa (WLAN). Tämä osaltaan lisää pitkäaikaista säteilyrasitusta opetusympäristössä. Hallituksen esityksessä perusopetuslain muuttamisesta (HE 212/2024 vp) tuodaan marginaalisesti esiin mobiililaitteiden vaikutusta yöunta vähentävänä tekijänä, joka vaikuttaa kielteisesti oppimistuloksiin. Rakennusbiologian mukaisessa työpisteiden suunnittelussa on huomioitava rakennuksen pistemäinen säteilyn vaikutus sekä sen terveyshaitat. Jo pieni laitteiden aiheuttama hajasäteily voi vaikuttaa uneen heikentävästi, koska hajasäteily vaikuttaa niihin mekanismeihin, jotka edesauttavat nukahtamista ja säätelevät ihmisen vuorokausirytmiiä. Lyhyellä aikavälillä säteily voi viivästyttää nukahtamista, lyhentää yöunta ja aiheuttaa pahimmillaan unettomuutta. Lyhytaikaisia vaikutuksia katsoessa säteilyllä voi olla merkittäviä kielteisiä vaikutuksia ihmisen palautumiseen ja terveyteen.

Rakentamisen suunnitteluvaiheessa ei aina täysin ymmärretä rakennustavan ja rakennusmateriaalien aiheuttamien terveydellisten haittojen muodostumista, jotka johtuvat vääränlaisesta rakennustavasta ja väärin rakennusmateriaalien valinnasta. Rakennus on kokonaisuus, jossa tulisi huomioida oikean rakennustavan ja rakennusmateriaalien välinen suhde sekä ympäristön vaikutus rakennuksen käyttäjän terveyteen. Terveyshaittojen todennäköinen esiintyminen lisääntyy, jos suunnitteluvaiheessa ei huomioida rakennuksen käyttäjään kohdistuvaa rakennuksen sisäpuolista pistemäistä säteilyä eikä ulkopuolista säteilyrasitusta.

Terveysvaikutusten huomioiminen on erityisen tärkeää pienten lasten osalta, koska he ovat haavoittuvassa asemassa fyysisen rakenteensa puolesta. Lapset ovat vielä kasvuvaiheessa, joka tekee heistä entistä herkempiä ympäristön vaikutukselle. Pienikin altistuminen sisäilman epäpuhtauksille kuten homeille ja kemikaaleille, voi myöhemmässä elämänvaiheessa johtaa herkistymiseen ja allergioihin. Tutkimukset osoittavat, että sähkömagneettinen säteily voi edistää huomattavasti homeiden ja hiivojen kasvua.

Rakennuksen käyttäjän voi olla vaikeaa yhdistää säteilyn aiheuttamia vaikutuksia ja yhdistää niitä olemassa oleviin oireisiin. Johdannossa mainitsin kenkäliikkeissä olleesta jalkojen röntgenlaitteesta pedoskoopista, joka näytti jalkaterän paikan kengässä. Pedoskoopin terveysvaikutukset olivat havaittavissa jo varhain punotuksena ja palovammoina iholla. Tuolloin kenkäteollisuus pyrki korostamaan laitteen hyviä ominaisuuksia ja kieltämään terveydelliset haittatekijät. Pedoskoopin kuvantamisominaisuuksia parannettiin heikentämällä laitteen suojauksia. Kesti yli 50 vuotta myöntää pedoskoopin aiheuttamat terveydelliset säteilyhaitat ja kieltää pedoskoopin käyttö, jonka käytön Suomi lopetti viimeisten joukossa 1970-luvulla. Pedoskoopin tekninen innovaatio oli helpottaa kenkien sovittamista. Keksintöä pidettiin merkittävänä apuna sovittaessa lasten kenkiä. Keksintö oli lopulta turha. Sama kenkien sovittaminen olisi voitu tehdä tunnustelemalla kengän kärkeä. Tämä tekninen innovaatio tehtiin terveyden kustannuksella. Käyttöä jatkettiin siitä huolimatta, vaikka oli tietoa laitteen aiheuttamista terveyshaitoista.

Nykyään tilanne on hyvin samankaltainen suuremmassa mittakaavassa. Teknisten innovaatioiden käyttö on houkuttelevaa, koska ne helpottavat päivittäistä elämää. Sähkö- ja magneettikentät ovat

yleistyneet teollistumisen myötä. Näiden kenttien hyödyntäminen on avannut meille uusia mahdollisuuksia. Teollisuus tuo esiin päätelaitteiden myönteiset puolet, jotka helpottavat päivittäistä elämää. Nykyisin yleiset päätelaitteet kuten älypuhelimet, tietokoneet ja tabletit, mahdollistavat tiedonsaannin, navigoinnin ja välittömän yhteydenpidon ihmisten välillä, etäisyydestä riippumatta. Voimme puhelimen sovelluksella käynnistää pesukoneen tai tilata kotiimme pikaruokaa. Ionisoivalla säteilyllä on paikkansa röntgentutkimuksissa ja sädehoidossa. Samanaikaisesti lainsäätäjät antaa asetuksia ja säätää lakeja, työntekijöiden ja väestön suojelemiseksi.

Vuonna 2016 astui voimaan asetus 388/2016 työntekijöiden suojelemiseksi sähkö- ja magneettikenttien vaikutukselta. Asetuksessa annetaan eri arvot työntekijälle kuin väestölle. Työnaikaisen altistuksen on ajateltu olevan suurempi, koska työnaikainen altistusjakso on pienempi kuin väestön kokema pidempiaikainen altistus. Sähkönkulutus vaikuttaa myös magneettikentän suuruuteen. Näin tapahtuu voimajohtojen läheisyydessä, samoin tapahtuu käyttämiemme päätelaitteiden välittömässä läheisyydessä. Johtuen pään pienemmästä poikkipinta-alasta, se on alttiimpi suuremmalle ominaisabsorptionopeudelle (SAR). Virran tiheyden kasvaessa (toisin sanoen sähkövarauksen kasvaessa), energiaa ahtautuu enemmän pienenpään tilaan. Samalla pään ominaisabsorptionopeus kasvaa ja virrantiheys suurenee, verrattuna muihin ihmisen kehon osiin.

Tutkimuksilla pyritään perustelemaan tekniikan turvallisuutta. Tehdyt tutkimukset eivät vastaa todellista tilannetta naisten ja lasten altistumisissa sähkö- ja magneettikenttien vaikutuksille. Pään alueelle tehtävät SAR-mittaukset tehdään fantomilla, joka on keskiarvo aikuisen miehen pääkallosta. Aikuisen miehen kallon paksuus on 2 mm, teini-ikäisen nuoren kallon paksuus on 1 mm ja viisivuotiiaan lapsen kallon paksuus noin 0,5 mm. Naisten ja lasten kallon rakenne on hyvin erilainen verrattuna aikuisen miehen kallon rakenteeseen. Lapsen pää absorboi huomattavan paljon enemmän matkapuhelin tuottamaa radiotaajuista säteilyä, kuin aikuisen miehen pää. Lasten säteilyaltistus on suurempaa kuin aikuisella miehellä, vaikka SAR-arvot olisivat samat. (SuST 2022).

Säteilyturvallisuutta koskeva lainsäädäntö pyrkii suojaamaan ihmisiä ja ympäristöä ionisoivan ja ionisoimattoman säteilyn haitallisilta vaikutuksilta. Lainsäädäntö ei ole kehittynyt samassa suhteessa teknisen kehityksen kanssa. STUK huomio ICNIRP:N 1998 antaman suosituksen SAR-raja-arvon pään ja vartalon osalta. ICNIRP:N antamassa suosituksessa huomioidaan 6 minuutin keskimääräisen lämmön nousu. Suosituksessa ei huomioida biologisia- eikä pitkäaikaisia vaikutuksia. Voidaan aiheellisesti kysyä, onko maailma nykyään sama teknisen kehityksen osalta kuin se oli vuonna 1998?

Vuonna 1998, jolloin matkapuhelintekniikka teki vielä tuloaan, lankapuhelimia oli lähes joka kodissa. Purkit ja modeemit olivat tavanomainen viestinnän muoto verkossa. 2000-luvulla julkaistiin 3G-verkot (2004 kuluttajakäyttöön) ja joissakin kodeissa löytyi myös WLAN-yhteys. Samoin julkisissa tiloissa alkoi olla langattomia WLAN-lähettimeitä. Vuoden 2010 jälkeen säteilylähteet ovat lisääntyneet merkittävästi julkaistun 4G-verkko myötä. Vuonna 2019 käyttöön otetun 5G-verkon jälkeen 5G-tukiasemien määrä on lisääntynyt kaupunkialueilla räjähdysmäisesti. 5G-tukiasemia ja lähetinsoluja tarvitaan enemmän, 5G-tekniikan huonon läpäisyn ja lisääntyneen käytön myötä. Yksi syy, miksi matkapuhelintukiasemat ovat lisääntyminen koulujen läheisyyteen, on niiden rakentamisen helppous, koska kaupungin tonteille ei tarvita samanlaisia lupia kuin yksityisille tonteille. Uuden tekniikan myötä on unohdettu varovaisuusperiaate. Koulujen pihoilta asennettavat tukiasemat kuormittavat

lapsia, opettajia, ympäröivää väestöä ja luontoa.

Radiotaajuista tekniikkaan hyödyntävien laitteiden käyttö on lisännyt altistumista entisestään. Samoin altistuksesta johtuvat oireilut ovat lisääntyneet. Suomalaisista 5–10 prosenttia kärsii oireista, jotka johtuvat uuden tekniikan aiheuttamasta säteilyrasituksesta. (Tamminen 2023). Oireet johtuvat ympäristötekijöistä, joiden syyt eivät ole perinnöllisiä ja siksi ovat täysin vältettävissä.

Otetaan toinen näkökulma asiaan. Vertailukohtana Suomessa on noin 55000 näkövammaista (Näkövammaisten liitto 2025). Riippuen siitä puhutaanko näkövammaisuudesta vai näön heikentymisestä saadaan prosenttiosuudeksi 1–6 prosenttia suomalaisista, joilla on ongelmia näön kanssa. Näkövammaisuuden syyt vaihtelevat iän ja muiden tekijöiden mukaan. Syynä voi olla esimerkiksi ikä, sairaus tai perintötekijät.

Jos kuvittelemme hypoteettisen tilanteen, jossa näkövammaisuuden syyt johtuisivat pelkästään ulkopuolisista tekijöistä, joka olisi täysin estettävissä. Tilanne saattaisi johtaa merkittäviin yhteiskunnallisiin muutoksiin. Tämä voisi johtaa turvallisuusstandardien tiukentamiseen, valistuksen lisääntymiseen, teollisuuden saattamiseen vastuuseen virheistä ja korvauksen saamiseen aiheutuneista vahingoista. Yhteiskunta lisäisi rahoitusta tehokkaampien ennaltaehkäisy- ja hoitomenetelmien kehittämiseen. Yhteiskunta painostaisi teollisuutta turvallisempien teknologian kehittämiseen, jolla voidaan parantaa näkövammaisten elämänlaatua. Lisäksi se parantaisi hoitosuosituksia ja helpottaisi hoitoon pääsyä. Tämä kaikki lähti oletuksesta, jossa näkövammaisuus johtuisi pelkästään ulkoisista tekijöistä.

Tilanne ei ole erilainen puhuttaessa uuden tekniikan aiheuttamasta säteilyrasituksesta ja oireista, joita se aiheuttaa tilojen käyttäjälle. Opinnäytetyötä tehdessäni on tullut useaan kertaan vastaan aineistoa, joissa opettajat ovat saaneet päänsärkyä tai muita oireita luokassa olevasta langattomasta reitittimestä (WLAN). Altistuksesta johtuvat oireilut eivät kosketa marginaalista osaa yhteiskunnasta, vaan tässä puhutaan merkittävästä osasta yhteiskunnassa olevista ihmisistä.

Opinnäytetyön lähtökohtana oli uteliaisuus aiheeseen, kuinka rakennusten sisäilma vaikuttaa käyttäjän terveyteen. Olen itse ollut mukana rakennusteollisuudessa, korjaus- sekä uudisrakentamisessa. Olen ollut todentamassa kosteusvaurioiden syntymekanismia, sekä korjaamassa rakennusten sisäilmaongelmia. Joskus ongelmat syntyvät vääränlaisesta toteutustavasta, usein kuitenkin huolimattomuudesta tai tiedon puutteesta.

Opinnäytetyönäihettä tutkiessani tutustuin Suomen Säteilyturva Ry:n esille tuomaan aiheeseen ionisoimattoman säteilyn aiheuttamista ongelmista rakenteisiin sekä säteilyn aiheuttamista oireista rakennuksen käyttäjään. Tässä huomasin samankaltaisuuden kosteusvaurioiden aiheuttamista vaurioista rakenteissa sekä sen aiheuttamista oireista tilojen käyttäjiin. Tämä aiheutti ongelman, miten erottaa vaurioiden ja oireiden lähde niiden samankaltaisuuden vuoksi.

Opinnäytetyössäni otin lähtökulmaksi, mitä yhtymäkohtia löytyy historiasta ja nykyisestä rakentamiskulttuurista. Onnistuin löytämään kattavan aineiston aiheesta. Aineistoa olisi ollut useampaankin opinnäytetyöhön. Vaikka käynkin läpi säteilyn aiheuttamaa terveystasitusta, rakennuksille sekä tilojen käyttäjille, aiheesta löytyy kattavaa aineistoa sähkömagneettisen säteilyn parantavista ominaisuuksista. Tällaisen hoitomuodon etuna on, että potilasta voidaan hoitaa tekemättä leikkaushaavaa potilaalle.

Aihe on lisäksi kiinnostava tilasuunnittelun lähtökohdista. Hyvään tilasuunnitteluun kuuluu huomioida rakennuksen esteetön käyttö. Esteettömässä tilojen suunnittelussa pitäisi pyrkiä huomioimaan uuden tekniikan tuomat rajoitteet. Uusi tekniikka tuo eteen tilanteen, jolloin tilojen käyttäjät eivät ole samanarvoisessa asemassa tilojen saavutettavuuden ja käytön suhteen. Uusi tekniikka luo myös huolen lasten turvallisuudesta. Ovatko tilat tarpeeksi turvallisia niin, ettei niistä aiheudu pitkäaikaisia terveysvaikutuksia?

Yhteiskunnassa on paljon niitä, jotka kärsivät rakennuksen puutteellisesta toteutuksesta sekä tekniikan tuomista haasteista. Moninaiset oireet voivat olla vaikeasti havaittavissa, toisinaan oireita voi olla haastavaa yhdistää niiden alkuperään.

Toivon, että tulevaisuudessa suunniteltaisiin tiloja sekä työpisteitä, joiden suunnittelussa huomioitaisiin käyttäjien erityistarpeet niin, että rakennukset olisivat esteettömiä ja kaikkien käytettävissä.

Reko Pöyhönen Tampereella 30.4.2025.

## LÄHTEET

Opinnäytetyössä on käytetty tekoälyä seuraavasti: osa kuvista on tuotettu Adobe Fireflyn generatiivista tekstiä kuvaksi-mallia. Kuvia on muokattu Adobe XD:lla.

Kappale 7 perustuu joiltain lainaamattomin osin Erja Tammisen puhelinhaastatteluun, jota on käytetty apuna konseptisuunnittelussa.

Aho, T. 2018. Opinnäytetyö. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201804034023>. Viitattu 22.4.2025.

Aho Teemu 2018. Kuva. Magneettikenttä vaimenee etäisyyden kasvaessa. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201804034023>.

Aho Teemu 2018. Kuva. Tyypillinen magneettivuon tiheys voimajohdolla. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201804034023>.

Ahonen, M. Lehto, T. & Koppel, T. 2019, 375. Taulukko. Radiotaajuisen säteilyn vaikutus hiivasieniin ja bakteereihin. [https://issuu.com/sisailmayhdistys/docs/koko\\_julkaisu\\_2019\\_lopullinen1.3.20](https://issuu.com/sisailmayhdistys/docs/koko_julkaisu_2019_lopullinen1.3.20).

Ahonen, M. Lehto, T. & Koppel, T. 2019, 375. Radiotaajuisen säteilyn vaikutus hiivasienten, homeiden ja mikrobien kasvuun. Julkaisussa Ahola, M. & Merikari A. (toim.) Sisäilmastoseminaari 2019. [https://issuu.com/sisailmayhdistys/docs/koko\\_julkaisu\\_2019\\_lopullinen1.3.20](https://issuu.com/sisailmayhdistys/docs/koko_julkaisu_2019_lopullinen1.3.20). Viitattu 8.12.2024.

Asumisterveysasetuksen soveltamisohje, osa 1. Asumisterveysasetuksen pykälät 1-10, 2016. <https://valvira.fi/documents/152634019/163413488/Asumisterveysasetuksen-soveltamisohje-osa-1.pdf/8f095063-fb99-ee73-aade-06efd618fa20/Asumisterveysasetuksen-soveltamisohje-osa-1.pdf?t=1692347713569>. Viitattu 21.8.2023.

Asuntotarkastuspyyntölomake 2022. Tampereen kaupungin terveystarkastajan Asuntotarkastuspyyntölomake, lomake 12. Pdf-tiedosto. Julkaistu 2022. <https://web.archive.org/web/20230602143723/https://www.tampere.fi/asuminen-ja-rakentaminen/asuminen/terveellinen-ja-turvallinen-koti/asunnontarkastukset>. Viitattu 21.11.2023.

Baubiologie Institut für Baubiologie+Ökologie IBN 2008. Building Biology Evaluation Guidelines for sleeping area. Supplement to the Standard of Building Biology Testing Methods SBM-2008. Rakennusbiologian arviointiohjeet makuualueelle. Täydennys rakennusbiologian testausmenetelmien standardiin SBM-2008. Pdf-tiedosto. Julkaistu 2008. <https://www.baubiologie.de/downloads/building-biology-guidelines-english.pdf>. Viitattu 21.8.2023.

BUND 2009. Bericht des BUND: Sollten Schulen WLAN-Netze einrichten oder Alternativen bevorzugen? [https://vivant-ostbelgien.org/wp-content/uploads/2015/12/BUND-Sollen\\_Schulen\\_WLAN-Netze\\_einrichten.pdf](https://vivant-ostbelgien.org/wp-content/uploads/2015/12/BUND-Sollen_Schulen_WLAN-Netze_einrichten.pdf). Viitattu 22.4.2025.

Direktiivii 2013/35/EU. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi, jonka tarkoituksena on suojella työntekijöitä sähkömagneettisen kentän ei-toivotulta vaikutukselta, jotka johtuvat säteilyn taajuudesta ja voimakkuudesta. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/ALL/?uri=celex:32013L0035>. Viitattu 9.2.2025.

EMC-direktiivi 2014/30/EU. Euroopan parlamentin ja neuvoston EMC-direktiivi sähkömagneettista yhteensopivuutta koskevan jäsenvaltioiden lainsäädännön yhdenmukaistamisesta. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014L0030>. Viitattu 25.8.2023.

Environmental Health Trust 2025. Kuva. Rakennuksen sisäpuolen pistemäisen säteilyn lähteitä. <https://ehtrust.org/>.

Euroopan parlamentin päätöslauselma 1815. Euroopan parlamentin suositus jäsenvaltioille sähkömagneettisten kenttien terveydellisistä vaaroista ja niiden vaikutuksesta ympäristöön. Julkaistu 2011. <https://assembly.coe.int/nw/xml/XRef/Xref-XML2HTML-en.asp?fileid=17994>. Viitattu 9.2.2025.

Gemini 2024. Googlen tekoäly. Viitattu 8.12.2024.

HE 41/2022 vp. Hallituksen esitys eduskunnalle tuotteiden ja palvelujen esteettömyysvaatimuksia koskevan direktiivin täytäntöönpanoa koskevaksi lainsäädännöksi. Oikeusministeriön ajantasaisen lainsäädännön verkkosivusto. <https://www.finlex.fi/fi/esitykset/he/2022/20220041>. Viitattu 8.12.2024.  
Heinäjoki, V. 2010. Sähkömagneettinen säteily ja SAR. Opinnäytetyö. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201004287160>. Viitattu 8.12.2024.

Heinäjoki Ville 2010. SAR-jakauma kehossa. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201004287160>.

IARC/WHO 2011. Vuonna 2011 Kansainvälinen syöväntutkimuslaitos (IARC), joka on osa Maailman terveysjärjestöä (WHO), luokitteli radiotaajuiset sähkömagneettiset kentät, mahdollisesti syöpää aiheuttavaksi. Kansainvälinen syöväntutkimuslaitoksen verkkosivusto. Julkaistu 2018. [https://www.iarc.who.int/wp-content/uploads/2018/07/pr208\\_E.pdf](https://www.iarc.who.int/wp-content/uploads/2018/07/pr208_E.pdf). Viitattu 9.2.2025.

ICNIRP 1998. ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) antaa suosituksen ionisoimattoman säteilyn turvallisuusrajoista, joita kansalliset toimielimet ja teollisuus käyttävät. Kansainvälinen ionisoimattoman säteilyn suojelukomission verkkosivusto. <https://www.icnirp.org/en/differences.html>. Viitattu 16.12.2024.

ICNIRP 2020. ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) antaa suosituksen ionisoimattoman säteilyn turvallisuusrajoista, joita kansalliset toimielimet ja teollisuus käyttävät. Kansainvälinen ionisoimattoman säteilyn suojelukomission verkkosivusto. <https://www.icnirp.org/en/differences.html>. Viitattu 16.12.2024.

IEEE Spectrum 2025. Kuva. Pedoskooppi. <https://spectrum.ieee.org/when-xrays-were-all-the-rage-a-trip-to-the-shoe-store-was-dangerously-illuminating>.

Iltalehti 2017. Iltalehden pääkirjoitus: Pitäisikö kännykät kieltää kouluissa? <https://www.iltalehti.fi/paakirjoitus/a/201712122200598424>. Viitattu 9.2.2025.

Jokela, K. 2006. Säteilyturvakeskus. Ionisoimaton säteily ja sähkömagneettiset kentät. Julkaisussa Nyberg, H & Jokela K. (toim.) Säteily- ja ydinturvallisuus -kirjasarja 2006. <https://stuk.fi/documents/150192312/162661266/kirja6-1-sahkomagneettiset-kentat.pdf/ac9b8a10-5c46-9436-828a-2310c42acc40/kirja6-1-sahkomagneettiset-kentat.pdf?t=1684851461993>. Viitattu 21.8.2023.

KOM(2011) 348 Euroopan komission ehdotus. Euroopan parlamentin ja neuvoston ehdotus direktiiviksi terveyttä ja turvallisuutta koskevista vähimmäisvaatimuksista työntekijöiden suojelemiseksi altistumiselta fyysikaalisista tekijöistä (sähkömagneettiset kentät) aiheutuville riskeille (kahdeskymmenes direktiivin 89/391/ETY 16 artiklan 1 kohdassa tarkoitettu erityisdirektiivi). <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:C:2012:043:0047:0050:FI:PDF>. Viitattu 9.2.2025.

Lipton, B. 2020. Ajatuksen biologia - Tietoisuuden, aineen ja ihmeiden avaimet. 3. painos. Viisas Elämä.

Loi Abeille 2015. Ranskalainen laki jonka tarkoitus on suojella kansalaisia, erityisesti lapsia, sähkömagneettisen säteilyn pikäaikaisilta terveyshaitoilta. Laki astui voimaan 9.2.2015. [https://fr.wikipedia.org/wiki/Loi\\_Abeille](https://fr.wikipedia.org/wiki/Loi_Abeille). Viitattu 5.2.2025.

Malmberg, M. 2009. Matkapuhelinsäteily ja SAR-mittaukset, Opinnäytetyö. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201001201414>. Viitattu 8.12.2024.

Näkövammaisten liitto 2025. Näkövammaisten liiton verkkosivusto. Näkövammaisten määrä Suomessa. <https://www.nakovammaistenliitto.fi/fi/nakovammaisuus-suomessa>. Viitattu 9.2.2025.

Orau 2025. Museum of Radiation and Radioactivity. <https://www.orau.org/health-physics-museum/collection/shoe-fitting-fluoroscope/index.html>. Viitattu 22.4.2025.

Partonen, T. 2012. Duodecim pääkirjoitus: Unen ja mielialan geenit. <https://www.duodecimlehti.fi/duo10604>. Viitattu 9.2.2025.

Patterson, A. 1951. The Argus. <https://trove.nla.gov.au/newspaper/article/23053008>. Viitattu 9.2.2025.

Schneider, W. 2019. Was Its Baubiologie? Baubiologie.de verkkopalvelu rakennusbiologiasta. <https://buildingbiology.com/what-is-building-biology/>. Viitattu 21.8.2023.

Sisäilmastoluokitus 2018. RT 07-11299. Sisäympäristön tavoitearvot, suunnitteluohjeet ja tuotevaatimukset. Rakennustieto.fi, rakennustietosäätiön verkkopalvelu. Julkaistu 2018. <https://www.rakennustietokauppa.fi/sivu/tuote/rt-07-11299-sisailmastoluokitus-2018-sisaympariston-tavoitearvot-suunnitteluohjeet-ja-tuotevaatimukset/2742604>. Viitattu 21.8.2023.

SuST 2022. Suomen Säteilyturva Ry:n luento Tampereesta Euroopan nopein 5G-kaupunki? Entä ympäristö- ja terveystriskit? YouTube-videopalvelu. Julkaistu 23.8.2022. <https://www.youtube.com/watch?v=58ZXgq1Tui4&t=2273s>. Viitattu 16.12.2024.

STUK 2025. Säteilyturvakeskuksen verkkosivu. <https://stuk.fi/sahkoverkot-ja-voimajohdot>. Viitattu 22.4.2025.

SuST 2025. Suomen Säteilyturva Ry. <https://sust.fi/riskienhallinta>. Viitattu 22.4.2025

Sähköherkkyssäätö 2025. Sähköherkkyssäätöön tukisivusto. <https://sahkoherkkyssaatio.fi/sahkoherkkyys>. Viitattu 22.4.2025.

Tsong, T. Y. 1989. Deciphering the language of cells. Trends in Biochemical Sciences, 14(3), 89–92. [https://doi.org/10.1016/0968-0004\(89\)90127-8](https://doi.org/10.1016/0968-0004(89)90127-8). Viitattu 22.4.2025.

Tamminen, E. 2023. Puhelinhaastattelu. Sähköäilmassa.fi verkkosivuston ylläpitäjä.

Tampereen asumisterveys 2025. Tampereen kaupungin asumisterveyden palvelusivusto. Tampere.fi verkkosivusto. <https://www.tampere.fi/asuminen-ja-rakentaminen/asuminen/terveellinen-ja-turvallinen-koti>. Viitattu 17.4.2025.

Terveet tilat 2028. Kuntien yhteinen netti-foorumi. Foorumin tarkoitus on saavuttaa terveempi sisäilmasto ennalta ehkäisevän tavoiteohjelma kautta. <https://tilatjaterveys.fi/toimintamalli/rakentaminen-ja-korjaaminen/rakennushankkeen-vaiheet/hanke-ja-ehdotussuunnittelu>. Viitattu 9.2.2025.

## LINKKEJÄ

5G avaruus-vetoomus 2018. Vetoomuksessa yli 10000 lääkäriä ja tiedemiestä varoittavat langattoman verkon terveyshaitoista. <https://www.5gspaceappeal.org/>.

Belpomme, D. & Irigaray, P. 2020. Tutkimus sähkömagneettisten kenttien (EMF) aiheuttamasta sähköherkkyydestä (EHS) ja sähköherkkyyden luokittelusta neurologiseksi sairaudeksi. <https://www.mdpi.com/1422-0067/21/6/1915>.

Hagström, M. Sainio, M. Pääkkönen, R. & Ekman, R. 2015. Kymmenen vastausta sähköherkkyydestä. Turun ammattikorkeakoulun Raportteja 221. <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/817860/isbn9789522165954.pdf?sequence=2&isAllowed=y>.

Palin, M. 2019. Biokemian ja peruslääketieteen emeritusprofessori Martin Palin haastattelu säteilyn vaikutuksista. <https://youtu.be/T3v13VsfwPE?t=443/>.

Supplement to the Standard of Building Biology Testing Methods SBM-2008

## BUILDING BIOLOGY EVALUATION GUIDELINES FOR SLEEPING AREAS

The Building Biology Evaluation Guidelines are based on the precautionary principle. They are specifically designed for sleeping areas associated with long-term risks and a most sensitive window of opportunity for regeneration. They are based on the building biology experience and knowledge and focus on achievability. In addition, scientific studies and other recommendations are also consulted. With its professional approach, building biology testing methods help identify, minimize and avoid environmental risk factors within an individual's framework of possibility. It is the Standard's goal to identify, locate and assess potential sources of risk by considering all subcategories in a holistic manner and implementing the best possible diagnostic tools available with analytic expertise in order to create indoor living environments that are as exposure-free and natural as practicable.

**No Concern** This category provides the highest degree of precaution. It reflects the unexposed natural conditions or the common and nearly inevitable background level of our modern living environment.

**Slight Concern** As a precaution and especially with regard to sensitive and ill people, remediation should be carried out whenever it is possible.

**Severe Concern** Values in this category are not acceptable from a building biology point of view, they call for action. Remediation should be carried out soon. In addition to numerous case histories, scientific studies indicate biological effects and health problems within this reference range.

**Extreme Concern** These values call for immediate and rigorous action. In this category international guidelines and recommendations for public and occupational exposures may be reached or even exceeded.

If several sources of risk are identified within a single subcategory or for different subcategories, one should be more critical in the final assessment.

Guiding Principle:

**Any risk reduction is worth achieving. Reference values are meant as a guide. Nature is the ultimate standard.**

The small print at the end of each subcategory of the Building Biology Standard is meant as a comparative guide, e.g. legally binding exposure limits or other guidelines, recommendations and research results or natural background levels.

Building Biology Evaluation Guidelines for Sleeping Areas  
SBM-2008, Page 1

No Concern	Slight Concern	Severe Concern	Extreme Concern
---------------	-------------------	-------------------	--------------------

### A FIELDS, WAVES, RADIATION

#### 1 AC ELECTRIC FIELDS (Low Frequency, ELF/VLF)

Field strength with ground potential in volt per meter	V/m	< 1	1 - 5	5 - 50	> 50
Body voltage with ground potential in millivolt	mV	< 10	10 - 100	100 - 1000	> 1000
Field strength potential-free in volt per meter	V/m	< 0.3	0.3 - 1.5	1.5 - 10	> 10

Values apply up to and around 50 (60) Hz, higher frequencies and predominant harmonics should be assessed more critically.

ACGIH occupational TLV: 25 000 V/m; DIN/VDE: occupational 20 000 V/m, general 7000 V/m; ICNIRP: 5000 V/m; TCO: 10 V/m; US-Congress/EPA: 10 V/m; BUND: 0.5 V/m; studies on oxidative stress, free radicals, melatonin, childhood leukaemia: 10-20 V/m; nature: < 0.0001 V/m

#### 2 AC MAGNETIC FIELDS (Low Frequency, ELF/VLF)

Flux density in nanotesla	nT	< 20	20 - 100	100 - 500	> 500
in milligauss	mG	< 0.2	0.2 - 1	1 - 5	> 5

Values apply to frequencies up to and around 50 (60) Hz, higher frequencies and predominant harmonics should be assessed more critically. Line current (50-60 Hz) and traction current (16.7 Hz) are recorded separately.

In the case of intense and frequent temporal fluctuations of the magnetic field, data logging needs to be carried out - especially during nighttime - and for the assessment, the 95.<sup>th</sup> percentile is used.

DIN/VDE: occupational 5000 000 nT, general 400 000 nT; ACGIH occupational TLV: 200 000 nT; ICNIRP: 100 000 nT; Switzerland 1000 nT; WHO: 300-400 nT "possibly carcinogenic"; TCO: 200 nT; US-Congress/EPA: 200 nT; Biolinitiative: 100 nT; BUND: 10 nT; nature: < 0.0002 nT

#### 3 RADIOFREQUENCY RADIATION (High Frequency, Electromagnetic Waves)

Power density in microwatt per square meter	$\mu\text{W}/\text{m}^2$	< 0.1	0.1 - 10	10 - 1000	> 1000
---	--------------------------	-------	----------	-----------	--------

Values apply to single RF sources, e.g. GSM, UMTS, WiMAX, TETRA, Radio, Television, DECT cordless phone technology, WLAN..., and refer to peak measurements. They do not apply to radar signals.

More critical RF sources like pulsed or periodic signals (mobile phone technology, DECT, WLAN, digital broadcasting...) should be assessed more seriously, especially in the higher ranges, and less critical RF sources like non-pulsed and non-periodic signals (FM, short, medium, long wave, analog broadcasting...) should be assessed more generously especially in the lower ranges.

Former Building Biology Evaluation Guidelines for RF radiation / HF electromagnetic waves (SBM-2003): pulsed < 0.1 no, 0.1-5 slight, 5-100 strong, > 100  $\mu\text{W}/\text{m}^2$  extreme anomaly; non-pulsed < 1 no, 1-50 slight, 50-1000 strong, > 1000  $\mu\text{W}/\text{m}^2$  extreme anomaly

DIN/VDE: occupational up to 100000000  $\mu\text{W}/\text{m}^2$ , general up to 10000000  $\mu\text{W}/\text{m}^2$ ; ICNIRP: up to 10000000  $\mu\text{W}/\text{m}^2$ ; Salzburg Resolution / Vienna Medical Association: 1000  $\mu\text{W}/\text{m}^2$ ; Biolinitiative: 1000  $\mu\text{W}/\text{m}^2$  outdoor; EU-Parliament STOA: 100  $\mu\text{W}/\text{m}^2$ ; Salzburg: 10  $\mu\text{W}/\text{m}^2$  outdoor, 1  $\mu\text{W}/\text{m}^2$  indoor; EEG / immune effects: 1000  $\mu\text{W}/\text{m}^2$ ; sensitivity threshold of mobile phones: < 0.001  $\mu\text{W}/\text{m}^2$ ; nature < 0.000001  $\mu\text{W}/\text{m}^2$

No Concern	Slight Concern	Severe Concern	Extreme Concern
---------------	-------------------	-------------------	--------------------

#### 4 DC ELECTRIC FIELDS (Electrostatics)

Surface potential in volt	V	< 100	100 - 500	500 - 2000	> 2000
Discharge time in seconds	s	< 10	10 - 30	30 - 60	> 60

Values apply to prominent materials and appliances close to the body and/or to dominating surfaces at ca. 50 % r.h.

TCO: 500 V; damage of electronic parts: from 100 V; painful shocks and actual sparks: from 2000-3000 V; synthetic materials, plastic finishes: up to 10000 V; synthetic flooring, laminate: up to 20000 V; TV screens: up to 30000 V; nature: < 100 V

#### 5 DC MAGNETIC FIELDS (Magnetostatics)

Deviation of flux density (steel) in microtesla	$\mu\text{T}$	< 1	1 - 5	5 - 20	> 20
Fluctuation of flux density (current) in microtesla	$\mu\text{T}$	< 1	1 - 2	2 - 10	> 10
Deviation of compass needle in degree	°	< 2	2 - 10	10 - 100	> 100

Values for the deviation of the flux density in  $\mu\text{T}$  apply to metal/steel and for the fluctuation of the flux density to direct current.

DIN/VDE: occupational 67900  $\mu\text{T}$ , general 21200  $\mu\text{T}$ ; USA/Austria: 5000-200000  $\mu\text{T}$ ; MRI: 2-4 T; earth's magnetic field: across temperate latitudes 40-50  $\mu\text{T}$ , equator 25  $\mu\text{T}$ , north/south pole 65  $\mu\text{T}$ ; eye: 0.0001 nT, brain: 0.001 nT, heart: 0.05 nT; animal navigation: 1 nT; 1  $\mu\text{T}$  = 10 mG

#### 6 RADIOACTIVITY (Gamma Radiation, Radon)

Equivalent dose rate increase in percent	%	< 50	50 - 70	70 - 100	> 100
--	---	------	---------	----------	-------

Values apply in relation to local background levels: Germany on average 0.8 mSv/a (100 nSv/h). At substantial deviations from this mean background radiation, the reference ranges for the equivalent dose rate increase need to be decreased accordingly.

Radiation Protection Germany: general 1 mSv/a additional exposure, workers 20 mSv/a; BGA: general 1.67 mSv/a; USA federal law: general 5 mSv/a, workers 50 mSv/a; Germany background: < 0.6 mSv/a (< 70 nSv/h) north, > 1.4 mSv/a (> 165 nSv/h) south, Black Forest, Bavaria

Radon in becquerel per cubic meter	Bq/m <sup>3</sup>	< 30	30 - 60	60 - 200	> 200
------------------------------------	-------------------	------	---------	----------	-------

EU: 400 Bq/m<sup>3</sup> (old buildings), 200 Bq/m<sup>3</sup> (new buildings); Radiation Protection Germany: 250 Bq/m<sup>3</sup>; Sweden, Canada: 200 Bq/m<sup>3</sup>; US EPA: 150 Bq/m<sup>3</sup>; England: 100 Bq/m<sup>3</sup> (new buildings); WHO: 100 Bq/m<sup>3</sup>; German Radon Protection Act (draft): 100 Bq/m<sup>3</sup>; avg. indoor levels: 20-50 Bq/m<sup>3</sup>, avg. outdoor levels: 5-15 Bq/m<sup>3</sup>; radon mine: 100000 Bq/m<sup>3</sup>; lung cancer risk increase by 10% for each 100 Bq/m<sup>3</sup>; Bq/m<sup>3</sup> x 0.027 = pCi/l

#### 7 GEOLOGICAL DISTURBANCES (Geomagnetic Field, Terrestrial Radiation)

Disturbance of geomagnetic field in nanotesla	nT	< 100	100 - 200	200 - 1000	> 1000
Disturbance of terrestrial radiation in percent	%	< 10	10 - 20	20 - 50	> 50

Values apply in relation to the natural geomagnetic field and the earth's natural background of gamma or neutron radiation.

Natural fluctuation of the earth magnetic field: temporal 10-100 nT; magnetic storms / solar eruptions: 100-1000 nT; decrease per year: 20 nT

## B INDOOR TOXINS, POLLUTANTS, INDOOR CLIMATE

### 1 FORMALDEHYDE and other Toxic Gases

Formaldehyde in microgram per cubic meter	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	< 20	20 - 50	50 - 100	> 100
---	--------------------------	------	---------	----------	-------

MAK: 370  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , BGA: 120  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; WHO: 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; AGÖF reference value 'normal': 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; VDI: 25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; irritation of mucous membranes and eyes: 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; odor detection threshold: 60  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; immediate danger to life: 30.000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; nature < 2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  = 0.083 ppm

### 2 SOLVENTS and other Volatile Organic Compounds (VOC)

VOC in microgram per cubic meter	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	< 100	100 - 300	300 - 1000	> 1000
----------------------------------	--------------------------	-------	-----------	------------	--------

Values apply to the total sum of all volatile organic compounds in indoor air (TVOC).

Allergenic, irritating or odor-intensive individual substances or compound classes need to be assessed more critically, especially harmful or carcinogenic air pollutants.

Federal Environment Agency Germany: 200-300  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; Seifert BGA: precautionary threshold 200-300  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; Molhave: 200  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; AGÖF target value: 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; nature: < 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; AGÖF 'normal' values: toluene 12  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , xylene 5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , benzene 1.7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , ethylbenzene 2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

### 3 PESTICIDES and other Semi-Volatile Organic Compounds (SVOV)

Pesticides	air	ng/m <sup>3</sup>	< 5	5 - 25	25 - 100	> 100
e.g. PCP, lindane, permethrin, chlorpyrifos, DDT, dichlofluanid...	wood, material	mg/kg	< 1	1 - 10	10 - 100	> 100
	dust	mg/kg	< 0.5	0.5 - 2	2 - 10	> 10
	material with skin contact	mg/kg	< 0.5	0.5 - 2	2 - 10	> 10
PCB	dust	mg/kg	< 0.5	0.5 - 2	2 - 5	> 5
Fire Retardants	chlorinated dust	mg/kg	< 0.5	0.5 - 2	2 - 10	> 10
	halogen-free dust	mg/kg	< 5	5 - 50	50 - 200	> 200
PAH	dust	mg/kg	< 0.5	0.5 - 2	2 - 20	> 20
Plasticizers	dust	mg/kg	< 100	100 - 250	250 - 1000	> 1000

Sum total values in nanogram per cubic meter (air) and in milligram per kilogram (material, wood, dust), respectively.

Values for dust apply to typical mixtures of substances. Values for adsorbed plasticizers in dust (sum total: x 2); PCB according to LAGA. PAH according to EPA.

Decree of prohibition of PCP (Germany): 5 mg/kg (material); PCP Guideline: 1000 ng/m<sup>3</sup> (air), target value: 100 ng/m<sup>3</sup>; ARGE-Bau: 100 ng/m<sup>3</sup> (air), 1 mg/kg (dust); PCB Guideline: 300 ng/m<sup>3</sup> (target value); PCB target value for remediation in NRW (Germany): 10 ng/m<sup>3</sup>; AGÖF reference value 'normal' for dust: PCP 0.3 mg/kg, permethrin 0.5 mg/kg, TCEP 0.5 mg/kg; PAH benzo(a)pyren < 0.2 mg/kg, DEHP 400 mg/kg

## 5 PARTICLES and FIBERS (Fine Particulate Matter, Nanoparticles, Asbestos, Mineral Fibers...)

Indoor concentrations of particulate matter, fibers or dust should be below the common, uncontaminated outdoor concentrations. Asbestos should not at all be detectable in indoor air, house dust and on indoor surfaces.

Former building biology reference values for asbestos fibers, SBM-2000: < 100 no, 100-200 slight, 200-500 strong, > 500/m<sup>3</sup> extreme anomaly

Asbestos fibers in air - BGA: 500-1000/m<sup>3</sup>; TRGS target: 500/m<sup>3</sup>; EU: 400/m<sup>3</sup>; WHO: 200/m<sup>3</sup>; outdoor air: 50-150/m<sup>3</sup>; clean air region: 20/m<sup>3</sup>; Particulate matter in air (annual avg.) - BImSchV: 40 µg/m<sup>3</sup>; EU: 50 µg/m<sup>3</sup> (< 10 µm); EPA: 25 µg/m<sup>3</sup> (< 2.5 µm); VDI: 75 µg/m<sup>3</sup>; TA: 150 µg/m<sup>3</sup>; Alps 3000 m: 5-10 µg/m<sup>3</sup>; rural: 20-30 µg/m<sup>3</sup>; urban: 30-100 µg/m<sup>3</sup>; indoor with tobacco smoke: 10 000 µg/m<sup>3</sup>; smog warning: 800 µg/m<sup>3</sup>

## 6 INDOOR CLIMATE (Temperature, Humidity, Carbon Dioxide, Air Ions, Air Changes, Odors...)

<b>Relative humidity</b> in percent	% r.h.	40 - 60	< 40 / > 60	< 30 / > 70	< 20 / > 80
<b>Carbon dioxide</b> in parts per million	ppm	< 600	600 - 1000	1000 - 1500	> 1500

MAK: 5000 ppm; DIN: 1500 ppm; VDI: 1000 ppm; USA (occupational/classrooms): 1000 ppm; unventilated bedroom after one night or classroom after a one-hour lesson: 2000-4000 ppm; nature in 2008: 380 ppm, in 1985: 330 ppm; annual increase: 1-2 ppm

<b>Small air ions</b> per cubic centimeter air	/cm <sup>3</sup>	> 500	200 - 500	100 - 200	< 100
--	------------------	-------	-----------	-----------	-------

Nature by the sea: > 2000/cm<sup>3</sup>; clean outdoor air: 1000/cm<sup>3</sup>; rural: < 800/cm<sup>3</sup>; urban: < 700/cm<sup>3</sup>; industrial areas/traffic: < 500/cm<sup>3</sup>; indoor with static electricity: < 300/cm<sup>3</sup>; indoor with tobacco smoke: < 200/cm<sup>3</sup>; smog < 50/cm<sup>3</sup>; continuous decrease of air ions over past years/decades

<b>Air electricity</b> in volt per meter	V/m	< 100	100 - 500	500 - 2000	> 2000
--	-----	-------	-----------	------------	--------

DIN/DE: occupational 40 000 V/m, general 10 000 V/m; nature: ca. 50-200 V/m, foehn: ca. 1000-2000 V/m, thunderstorm: 5000-10 000 V/m

## C FUNGI, BACTERIA, ALLERGENS

### 1 MOLDS and their Spores and Metabolites

The combination of different diagnostic methods that take the specifics of each situation into account and the pooling of diverse results and observations maximizes especially in the case of mold problems the analytical certainty and makes it possible to identify sources and reach meaningful assessments, e.g. investigations of air, surfaces, dust, materials and cavities by culturing on agar, using microscope identification for non-culturable species and mold fragments, toxicological analyses, measurements of indoor air climate and humidity/moisture levels...

The mold **count** in indoor air should be less compared to the ambient outdoor environment or to uncontaminated comparison rooms. Mold **types** in indoor spaces should be **very similar** to those outside or uncontaminated comparison rooms. Particularly, **critical** or toxigenic molds should **not** be detectable or only minimally. Any **sign, suspicion** or indication of a potential mold problem should be investigated: visible mold growth - the larger, the more critical, moisture-indicating molds, mycotoxins and other metabolites, cold surfaces - thermal bridges, constantly high air humidity and material moisture, construction and moisture damage, problematic construction details, odors, building history, ill-health symptoms, results of environmental medicine investigations...

Former building biology reference values for molds, SBM-1998 through SBM-2003 (using YM Baubiologie Agar at a culture temperature of 20-24 °C, colony forming units CFU): in the air < 200 no, 200-500 slight, 500-1000 strong, > 1000/m<sup>3</sup> extreme anomaly (values refer for indoor air when outdoor reference levels are relatively low, below 500/m<sup>3</sup>); on surfaces: < 20 no, 20-50 slight, 50-100 strong, > 100/dm<sup>2</sup> extreme anomaly (values refer to surfaces that are subject to common and regular cleaning practices)

WHO: pathogenic and toxigenic fungi are not acceptable in indoor air; from 50/m<sup>3</sup> of a single fungal species, the source(s) needs to be identified; a mixture of common fungi typical for a given location (e.g. cladosporium) can be tolerated up to 500/m<sup>3</sup>. Senkpiel/Ohgke: Indoor concentrations that are over 100/m<sup>3</sup> above the outdoor air indicate a problem. EU statistics for apartments: < 50/m<sup>3</sup> very low, < 200/m<sup>3</sup> low, < 1000/m<sup>3</sup> medium, < 10 000/m<sup>3</sup> high, > 10 000/m<sup>3</sup> very high. See 'Schimmelpilz-Leitfaden' by Environment Agency (Germany) for assessment details.

### 2 YEASTS and their Metabolites

Yeasts should **not** be detectable or only minimally in indoor air, on surfaces and materials or in areas of hygiene, bathrooms, kitchens and food storage. This applies especially to pathogenic yeasts.

### 3 BACTERIA and their Metabolites

The level of bacteria in indoor air should be within the same range or **below** outdoor air or uncontaminated comparison rooms. Especially **critical** bacteria should not be detectable or only minimally, neither in indoor air or on material surfaces, neither in drinking water or in areas of hygiene, bathrooms or kitchens. Any **sign** of a potential bacterial contamination should be investigated: high material moisture, water damage, hygiene and fecal problems, foul odors. During a mold investigation, bacteria should also be considered and vice versa, they often occur together.

Since the Building Biology Evaluation Guidelines are first of all based on experience, not all subcategories have a reference range (yet). They are regularly revised and updated as new knowledge becomes available.

In addition to the Standard of Building Biology Testing Methods and the Building Biology Evaluation Guidelines, there are Building Biology Testing Conditions and Explanations that describe the technical and analytical procedures in more detail.

The Standard of Building Biology Testing Methods, the accompanying Building Biology Evaluation Guidelines for Sleeping Areas and additional testing details were developed by BAUBIOLOGIE MAES on behalf and with the support of the Institut für Baubiologie+Ökologie Neubeuern IBN between 1987 and 1992 and first published in May 1992. Scientists, medical doctors and colleagues also offered their support. The most current version SBM-2008 is the 7<sup>th</sup> edition. Since 1999 a 10-member expert commission assists in maintaining and updating the Standard and its Guidelines.

The Building Biology Evaluation Guidelines SBM-2008 were translated from German into English by Katharina Gustavs in June 2008.