



Vaasan yliopisto
UNIVERSITY OF VAASA

Iida Hyyppä

Sähköautojen langattoman latauksen turvallisuus- ja terveysriskit omakotitaloympäristössä

Tekniikan ja innovaatiojohtamisen
yksikkö
Kandidaatintutkielma
Sähkö- ja energiatekniikka

Vaasa 2026

VAASAN YLIOPISTO**Tekniikan ja innovaatiojohtamisen yksikkö**

Tekijä:	Iida Hyyppä		
Tutkielman nimi:	Sähköautojen langattoman latauksen turvallisuus- ja terveysriskit omakotitaloympäristössä		
Tutkinto:	Tekniikan kandidaatti		
Koulutusohjelma:	Energia- ja informaatiotekniikan ohjelma		
Opintosuunta:	Sähkö- ja energiatekniikka		
Työn ohjaaja:	Kimmo Kauhaniemi		
Valmistumisvuosi:	2026	Sivumäärä:	31

TIIVISTELMÄ:

Sähköautojen yleistyessä latausratkaisujen kehittäminen ja turvallisuus korostuvat omakotitaloympäristössä. Langaton lataus tarjoaa käyttäjäystävällisen vaihtoehdon perinteiselle johdolliselle lataukselle, mutta käyttöönottoon liittyy turvallisuus- ja terveysnäkökulmia.

Tässä tutkielmassa tarkastellaan sähköautojen langattoman latauksen turvallisuus- ja terveysriskejä omakotitaloympäristössä. Tutkielma muodostaa kokonaiskuvan langattoman latauksen keskeisistä riskeistä sekä arvion, miten nämä riskit voidaan hallita omakotitalokäytössä. Tutkielmassa keskitytään erityisesti sähkömagneettisiin kenttiin liittyviin terveysvaikutuksiin, pitkäaikaiseen altistumiseen, paloturvallisuuteen, vierasesineisiin ja biologisiin kohteisiin liittyviin riskeihin sekä teknologian käyttöönoton haasteisiin. Lisäksi tarkastellaan standardien roolia turvallisen käytön varmistamisessa.

Tutkielma toteutetaan kirjallisuuskatsauksena, jossa hyödynnetään ajankohtaista tutkimuskirjallisuutta, standardeja sekä teknisiä suosituksia. Teoriaosuudessa käsitellään induktiivista tehonsiirtoa. Langattoman latauksen turvallisuus- ja terveysriskit liittyvät sähkömagneettisiin kenttiin, ylikuumenemiseen sekä latausalueella esiintyviin vierasesineisiin, ihmisiin ja eläimiin. Sähkömagneettisten kenttien osalta todetaan, että biologiset vaikutukset liittyvät hermoston stimulaation ja aistimukseen, jotka ilmenevät altistumisen ylittäessä raja-arvot. Nykyiset tutkimukset eivät viittaa merkittäviin terveysriskeihin, kun latausjärjestelmä on toteutettu standardien mukaan ja altistuminen pysyy alle raja-arvojen. Lääkinnällisten implanttien osalta riskit ovat hallittavissa, kun järjestelmä täyttää sähkömagneettista yhteensopivuutta koskevat vaatimukset.

Johtopäätöksenä voidaan todeta, että langaton lataus on lähtökohtaisesti turvallinen ratkaisu omakotitaloympäristössä, kun järjestelmä on suunniteltu, asennettu ja käytetty asianmukaisesti. Teknologian laajempi käyttöönotto edellyttää jatkuvaa riskien arviointia, standardien kehittämistä sekä käyttäjien kouluttamista.

AVAINSANAT: Sähköauto, langaton lataus, sähkömagneettiset kentät, induktiivinen lataus, terveysvaikutukset, turvallisuus

Sisällys

1	Johdanto	5
2	Sähköautojen latausratkaisut	7
2.1	Johdollinen lataus	7
2.2	Langaton lataus	8
2.2.1	Langattoman latauksen teknologian perusteet	9
2.2.2	Langattoman latauksen standardit	11
3	Turvallisuuskulmat omakotitaloympäristössä	14
3.1	Sähkömagneettiset kentät ja häiriöt	14
3.1.1	Biologinen altistuminen	14
3.1.2	Sähkömagneettiset häiriöt ja tahaton kytkentä	15
3.1.3	Suojaukset ja turvallisuutta parantavat ratkaisut	16
3.2	Paloturvallisuus ja ylikuumenemisriskit	17
3.3	Vierasaineet, ihmiset ja eläimet latausalueella	18
4	Terveyskulmat	20
4.1	Sähkömagneettisten kenttien terveysvaikutukset	20
4.2	Pitkäaikainen altistus ja riskien arviointi	21
4.3	Turvallisen käytön suositukset omakotitaloissa	23
5	Riskienhallinta ja käyttöönoton haasteet	25
5.1	Riskienhallinnan periaate	25
5.2	Teknologiset haasteet	25
6	Yhteenveto ja johtopäätökset	27
	Lähteet	29

Kuvat

- Kuva 1.** Kapasitiivisen ja induktiivisen lähtötehon hyötysuhde vertailu (Machura & Li, 2019, s. 210). 9
- Kuva 2.** Langattoman latausjärjestelmän yleinen kuvaus (Amjad & muut, 2022, s. 6). 10

Lyhenteet

AC	Vaihtosähkö (alternative current)
kW	Kilowatti
DC	Tasavirta (direct current)
kHz	Kilohertsi
WPT	Langaton tehon siirto (wireless power transfer)
LCC	Induktori-kondensaattori-kondensaattori

1 Johdanto

Sähköautojen yleistyminen on muuttanut liikenneinfrastruktuuria ja lisännyt kiinnostusta uusiin latausteknologioihin. Perinteisen johdollisen latauksen rinnalle on noussut langaton lataus. Langaton lataus on joustavampaa ja turvallisempaa verrattuna langalliseen lataukseen (Niu & muut, 2019, s.1). Langaton lataus ei vaadi johtoja, mekaanisia liittimiä tai muita siihen liittyviä infrastruktuuria, joka tekee siitä ympäristöystävällisempää ja käyttäjäystävällistä (Amjad & muut, 2022, s.1).

Sähköautojen määrä kasvaa nopeasti Suomessa sekä kansainvälisesti. Tilastokeskuksen (2025) mukaan vuonna 2024 Suomessa oli yli 118 000 sähköautoa liikennekäytössä. Sähköautojen määrä kasvaa koko ajan ja tavoitteena on, että Suomessa olisi vuonna 2030 vähintään 750 000 sähköautoa (Neste, n.d.). Tämä kehitys lisää myös latausinfrastruktuurin kysyntää omakotitaloissa.

Langatonta latausta tutkitaan koko ajan ja eri autonvalmistajat ovat alkaneet kehittäämään langattomasti ladattavia sähköautoja (Machura & Li, 2019, s. 209). Langattoman latauksen odotetaan yleistyvän tulevaisuudessa, kun siitä tulee tehokasta ja edullista. Koska energiansiirto perustuu sähkömagneettisiin kenttiin, tekniikkaan liittyy turvallisuus- ja terveysnäkökulmia. Omakotitalossa lataus tapahtuu tyypillisesti pihassa, autotallissa tai katoksessa, jolloin tässä ympäristössä ihmiset, lemmikit ja metalliesineet voivat altistua magneettikentille. Omakotitalossa käyttö voi lisäksi aiheuttaa sähkö- ja paloturvallisuuteen liittyviä haasteita.

Langattoman latauksen haasteita ovat sähköiset, magneettiset ja lämpöön liittyvät riskit, jotka johtuvat pääasiassa langattomasta tehonsiirrosta. Langattomassa latauksessa käytetään korkeataajuisia sähkökenttiä, jotka voivat aiheuttaa sähköistä räsitusta, lämpöä sekä magneettikentän vuotoa (Niu & muut, 2019). Langallisessa latauksessa kaapelit voivat aiheuttaa kipinöintiä, jonka vuoksi se ei sovellu kaikkiin olosuhteisiin, kuten bensapumppujen lähelle. Langaton lataus on parempi verrattuna johdolliseen, sillä siinä ei

synny kipinöintiä, koska latausyksikön välillä ei ole sähköistä kosketusta (Machura & Li, 2019, s.209).

Tämän tutkielman tutkimuskysymys on: Minkälaisia terveys- ja turvallisuusriskejä esiintyy langattomassa latauksessa omakotitaloympäristössä?

Tässä tutkimuksessa on tarkoitus tarkastella langattoman latauksen aiheuttamia turvallisuus- ja terveysriskejä omakotitalossa. Tutkimuksessa keskitytään erityisesti sähkömagneettisten kenttien vaikutuksiin, paloturvallisuuteen liittyviin riskeihin sekä keskeisiin standardeihin ja ohjeisiin, jotka ohjaavat turvallista käyttöä. Tutkielma toteutetaan kirjallisuuskatsauksena.

Tutkielma koostuu kuudesta pääluvusta. Toisessa luvussa käsitellään sähköautojen latausratkaisuja ja langattoman latauksen teknistä taustaa. Toinen luku tarkastelee myös aiheeseen liittyviä standardeja ja sääntelyä. Kolmannessa ja neljännessä luvussa syvennytään turvallisuus- ja terveysnäkökulmiin erityisesti omakotitalokäytön kannalta. Viidennessä luvussa pohditaan riskienhallintaa ja teknologian käyttöönoton haasteista. Viimeisessä luvussa on tutkielman yhteenveto ja johtopäätökset.

2 Sähköautojen latausratkaisut

Sähköautojen nopea yleistyminen on kasvattanut tarvetta kotitalouksiin soveltuville latausratkaisuille. Koska suurin osa lataamisesta tehdään kotona, latausteknologioiden turvallisuus, käytettävyys ja energiatehokkuus korostuvat. Johdollinen lataus on edelleen yleisin vaihtoehto, mutta langaton lataus on noussut uudeksi ratkaisuksi sen automaattisuuden ja käyttömukavuuden ansiosta (Niu & muut, 2025, s. 2).

2.1 Johdollinen lataus

Johdollinen lataus on tällä hetkellä yleisin sähköautojen lataustapa. Se perustuu kaapelilla tapahtuvaan tehonsiirtoon auton akun ja latausaseman välillä. Lataustavat jaetaan lataustapoihin yksi, kaksi, kolme ja neljä. Lataustapaa yksi käytetään kevyiden sähköajoneuvojen, kuten sähkömopojen lataamiseen. Lataustavat kaksi ja kolme ovat yleisiä latausratkaisuja omakotitaloissa. Lataustapa neljä on pikalataus, jota käytetään huoltoasemilla ja muissa julkisissa voimakkaissa latauspisteissä, tässä latauksen teho on huomattavasti suurempi, kuin kotilatausasemassa (Sesko, 2021).

Omakotitaloissa sähköautoja ladataan AC-latauksella (Sesko, 2021). AC-lataus on DC-latausta hitaampaa, mutta se on silti yleisin tapa ladata kotona sähköautoja. Omakotitaloissa latauksen teho on tyypillisesti 3,7–22 kW (Autoliitto, 2024). Täyssähköautoa voidaan ladata 11–22 kilowatilla. Myös täyssähköautoa voidaan ladata 3,7 kW laturilla, mutta se on paljon hitaampaa, koska sen akku on suurempi (Vaasan sähkö, 2023).

Lataustavassa kaksi virta on maksimissaan 32 ampeeria ja yksivaiheisessa järjestelmässä jännite on maksimissaan 250 V, kolmivaiheisessa se on 480 V (Sesko, 2021). Tässä lataustavassa käytetään tavallista kotitalouspistorasiaa tai voimavirtapistoketta ja auton mukana tulevaa kannettavaa latauslaitetta. Tämä laturi on tarkoitettu tilapäiseen käyttöön. Kannettavista latureista puuttuu yleensä vikavirtasuojat ja näin ne eivät ole yhtä turvallisia, kuin kiinteät latausasemat.

Lataustapa kolme -lataus tapahtuu latausjärjestelmän kautta, jonka avulla voidaan tunnistaa latauspistokkeen oikea kytkeminen. Tämä on tehokkain lataustapa kotitalouksissa. Lataus on nopeaa ja turvallista. Tämä lataustapa sisältää vikavirtasuojan. Latausvirta tässä voi olla 3x63 A, ja maksimi latausteho on 43kW (Sesko, 2025, s. 1).

Johdollisen latauksen etuna on laaja saatavuus. Asennus ei ole monimutkaista ja se on yhteensopiva useimpien sähköautojen kanssa. Lataus voidaan toteuttaa suhteellisen edullisesti, jos olemassa oleva sähköverkko on riittävä.

Johdollinen lataus sisältää useita haasteita erityisesti omakotitaloympäristössä. Yksi suurimmista haasteista on korkea jännitteisten kaapeleiden käsittely (Mahesh & muut, 2021, s. 137668). Kaapeleiden käsittely ja mekaaninen rasitus, voi aiheuttaa kulumista, vioittumista ja kompastumisvaaraa. Kuluminen, vahingoittuminen tai likaantuminen voi aiheuttaa sähköiskun tai oikosulun riskiä. Korkeatehoiset kaapelit voivat olla raskaita ja vaikeita käsitellä, tämä heikentää käyttömukavuutta ja turvallisuutta.

Johdollisen latauksen haasteisiin kuuluu myös alttius ilkeivallalle ja varastamiselle. Ilkeivallassa kaapelit voivat vaurioitua ja aiheuttaa vaaraa (Mahesh & muut, 2021, s. 137668). Kuluneet tai huonosti kiinnitetyt liittimet voivat ylikuumentua ja sulaa tai aiheuttaa kipinöintiä.

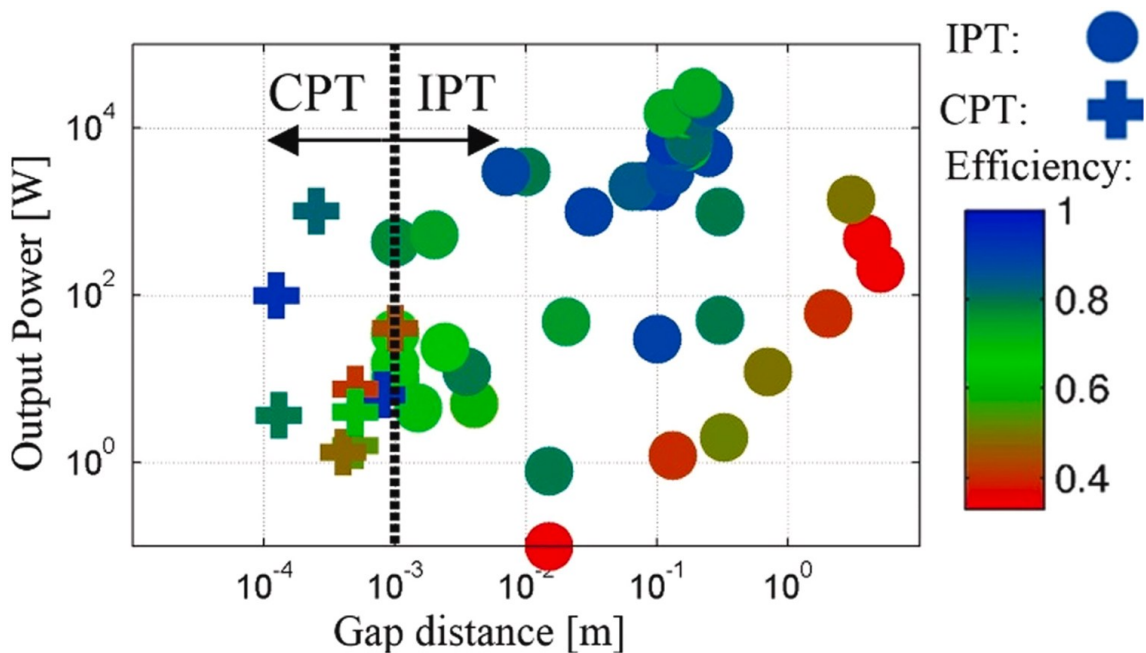
Nämä tekijät ovat lisänneet kiinnostusta langattomiin ratkaisuihin, joissa käyttäjän ei tarvitse käsitellä kaapeleita ja latausprosessi on mahdollista automatisoida.

2.2 Langaton lataus

Langaton lataus mahdollistaa energian siirron ilman fyysistä kaapelia sähköverkon ja sähköauton akun välillä. Se on helppokäyttöinen ja huoltovapaampi, koska liittimiä tai kaapeleita ei tarvitse käsitellä. Langaton lataus sopii omakotitaloihin, koska lataus tapahtuu usein samassa paikassa.

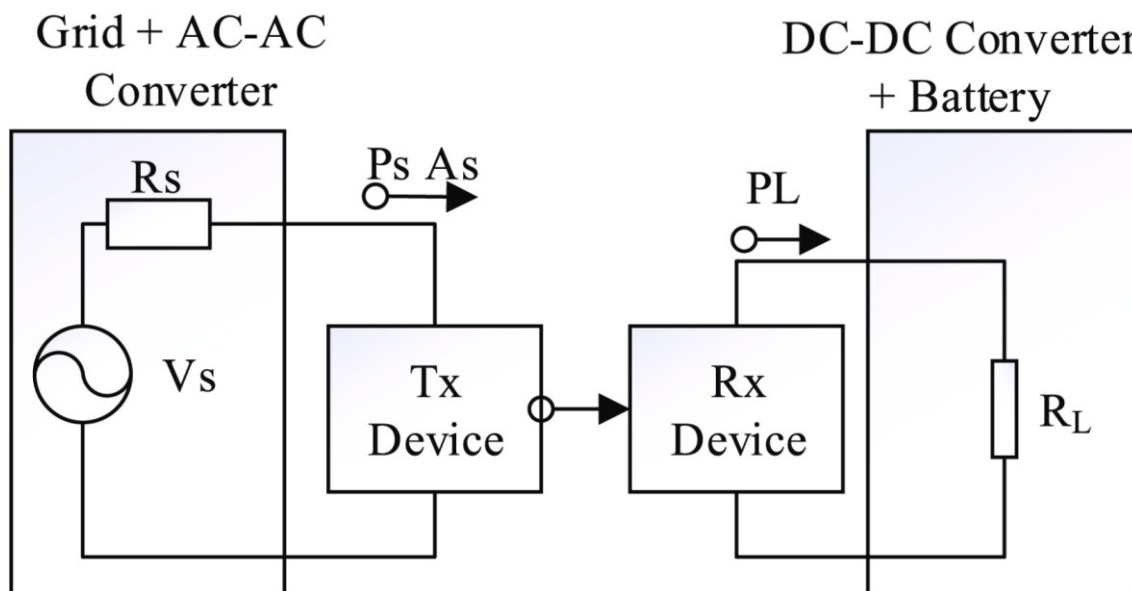
2.2.1 Langattoman latauksen teknologian perusteet

Langaton lataus on prosessi, jossa sähkömagneettista energiaa siirretään virtalähteestä sähköiseen kuormaan ilman johtimia (Barman & muut, 2015, s. 1526). Langattomalle lataukselle on olemassa erilaisia menetelmiä. Kytkejärjestelmät jaotellaan lähikenttä- ja kaukokenttäkytkentään (Mahesh & muut, 2021, s. 137670). Lähikenttäkytkennässä käytetään induktiivista tai kapasitiivista lataustekniikkaa. Kaukokenttäkytkentä jaotellaan taas mikroaalto- ja laserpohjaiseen tehonsiirtoon. Kuvasta 1 voidaan nähdä, että induktiivisessa tehonsiirrossa hyötysuhde on parempi, vaikka etäisyys kasvaa. Kapasitiivisessa tehonsiirrossa taas ilmaraon etäisyys on lyhyt, eikä hyötysuhde ole kovin hyvä induktiiviseen tehonsiirtoon verrattuna. Koska kapasitiivinen lataus tuottaa alhaisen tehon ja latausväli on tässä pienempi, kuin induktiivisessa latauksessa, niin induktiivista latausta pidetään parempana ja käytetään enemmän kaupallisesti. Induktiivista latausta pidetään parempana myös sen vuoksi, että se soveltuu suuren ja pienen tehon sovelluksiin (Amjad & muut, 2022, s. 4).



Kuva 1. Kapasitiivisen ja induktiivisen lähtötehon hyötysuhde vertailu (Machura & Li, 2019, s. 210).

Kuvassa 2 on langattoman tehosiirron perustoimintaperiaate. Kuvassa 2 lähetin- ja vastaanotinyksikön välissä on ilmarako, jossa tehosiirto tapahtuu induktion avulla. Induktiivisessa latauksessa on kaksi kytkettyä osaa lähetin- ja vastaanotinyksikkö. Lähetinyksikkö on asennettu maahan ja vastaanotinyksikkö on asennettu auton pohjaan.



Kuva 2. Langattoman latausjärjestelmän yleinen kuvaus (Amjad & muut, 2022, s. 6).

Mahesh ja muut (2021, s. 137674) kertovat, että induktiivisessa latauksessa vaihtovirta kehittää magneettikentän ensiöpuolen kytkimen ympärille. He toteavat, että tämä vaihteleva magneettikenttä on kytketty toisiopuolen magneettikytkimeen. Kenttä indusoi jännitteen toisiokäämin yli. Tätä ilmiötä kutsutaan Faradayn induktiolaiksi, jonka mukaan virtasilmukkaan indusoituu jännite, kun silmukan läpi kulkeva magneettivuo muuttuu. Kun jännite on indusoitu, muutetaan se tasasuuntaajalla tasavirtasignaalksi, jotta tehoa voidaan käyttää akun lataamiseen (Mahesh & muut, 2021). Induktiivinen lataus perustuu sähkömagneettiseen induktioon. Hyötysuhteeseen vaikuttaa kelojen välinen etäisyys. Etäisyys rajoittaa vuon siirtymistä lähettimestä vastaanottimeen. Suurempi etäisyys johtaa pienempään hyötysuhteeseen (Amjad & muut, 2022, s. 4).

Kytkenässä täytyy olla mukana kompensointipiiri, sillä sen avulla voidaan siirtää korkeita jännitteitä, jotta saadaan suuri teho (Amjad & muut, 2022, s. 5). Kompensointipiirejä on neljä eri yhdistelmää, jossa kompensointikondensaattori on rinnan tai sarjassa

kelan kanssa (Amjad & muut, 2022, s. 5). Kompensointipiirin tehtävänä on tasapainottaa induktiivista reaktanssia, pienentää loistehoa ja mahdollistaa korkean hyötysuhteen tehonsiirto. Kompensointipiirit voidaan jakaa neljään päätyyppiin, jotka ovat sarjasarja, sarja-rinnakkaiskytkentä, rinnakkaissarja ja rinnakkaisrinnakkainen (Amjad & muut, 2022, s.5).

Nämä kompensointipiiri tyypit eroavat toisistaan siinä, miten hyvin ne kestävät kuorman vaihtelua. Joissakin hyötysuhde heikkenee merkittävästi, kun kuorma muuttuu. Kaksi-puoleista LCC-kompensointimenetelmää on ehdotettu ratkaisuksi, jossa molemmilla puolilla on yksi induktori ja kaksi kondensaattoria (Amjad & muut, 2022, s. 5). Tämä menetelmä pitää lähtövirran lähes riippumattomana kuormasta ja parantaa tehonsiirron vakautta (Amjad & muut, 2022, s. 5).

2.2.2 Langattoman latauksen standardit

Langattoman latauksen käyttöönotto edellyttää selkeitä standardeja, jotta järjestelmien turvallisuus, yhteensopivuus ja sähköturvallisuus voidaan varmistaa omakotitaloympäristössä. Machura ja Li (2019, s. 224) kertovat, että vielä vuoteen 2016 asti ei ollut standardeja sähköautojen langattomalle lataukselle. Suomessa noudatetaan EU:n ja IEC:n standardeja. Suomessa sovellettavat sähköautojen langattoman latauksen standardit ovat SFS-EN ISO 19363, SAE J2954 ja IEC 61980 sarja.

SAE J2954 on keskeinen tekninen standardi sähköautojen langattomalle lataukselle. Tämä standardi määrittelee keskeiset tekniset vaatimukset. Näitä vaatimuksia ovat tehonsiirron yhteentoimivuus, sähkömagneettiset yhteensopivuudet, turvallisuus, vähimmäissuorituskyky sekä testausmenetelmät (SAE International, 2020). Standardi määrittelee neljä lataustasoluokkaa, jotka ovat WPT 1, 2, 3 ja 4 (Shuttleworth, 2020). Shuttleworth (2020) mainitsee, että näiden lataustasoluokkien enimmäistehot ovat 3,7 kW, 7,7 kW, 11 kW ja 22 kW. Standardi määrittää myös toimintataajuuden, joka on 85 kHz. Standardissa kerrotaan kelojen geometriset vaatimukset, kohdistustoleranssit, sähkömagneettiset kenttien raja-arvot, vierasesineiden tunnistuksen sekä biologisten kohteiden

tunnistuksen (Shuttleworth, 2020). Standardissa on esitetty erilaisia testausmenetelmiä, joiden avulla on testattu sähkömagneettisten kenttien vaikutuksia erilaisiin laitteisiin ja niiden turvallisuutta.

SFS-EN ISO 19363 (2021) standardia hyödynnetään sähköautojen langattomassa latauksessa. Tämä standardi määrittelee lataamisen tarkoitetun laitteiston toiminnan ja vaatimukset. Standardissa määritellään turvallisuusvaatimukset, sähköajoneuvojen maavaran, siirretty teho ja tehonsiirron hyötysuhteen, erilaisten järjestelmien yhteen toimivuus sekä testausmenetelmät.

IEC 61980- sarja määrittelee, millaiset vaatimukset langattomilla tehonsiirtojärjestelmissä on. IEC 61980-1 (2020, s. 7) standardissa määritetään yleiset vaatimukset, joita ovat muun muassa sähköturvallisuus, ajoneuvon ja latauslaitteen kommunikointiin liittyvät vaatimukset sekä syöttölaitteen ominaisuudet ja käyttöolosuhteet. IEC 61980-2 käsittelee magneettikentän langatonta tehonsiirtoa ja sen järjestelmävaatimuksia (IEC 61980-2, 2023, s. 9). IEC 61980-2 (2023, s. 10) standardi määrittelee viestintäjärjestelmän ja siihen liittyvien toimintojen toiminnallisia ominaisuuksia ja paikannusjärjestelmän toiminnallisia ominaisuuksia. IEC 61980-3 (2022, s. 9) käsittelee erityisiä tehonsiirtovaatimuksia magneettikentän langattomien tehonsiirtojärjestelmien ajoneuvon ulkopuoliselle puolelle. Näitä ovat esimerkiksi hyötysuhde, sähköturvallisuus, sähkömagneettinen yhteensopivuus ja sähkömagneettinen säteily (IEC 61980-3, 2022, s. 9).

Yhdessä nämä kaikki standardit muodostavat kokonaisuuden. Jokaisella standardilla on selkeä ja toisiaan täydentävä rooli. Standardit luovat perustan turvalliselle ja yhteensopivalle sähköautojen langattomalle lataukselle. Kun standardeja noudatetaan, on lataus omakotitaloympäristössä turvallisempaa.

Standardien lisäksi Suomessa toimitaan ICNIRP suositusten mukaan. ICNIRP määrittelee sähkö- ja magneettikenttien altistusrajat ihmisille, erityisesti välitaajuusalueelle sekä kudosten lämpenemisen ja hermostimulaatio rajat (International Commission on Non-ionizing Radiation Protection, 2010, s. 818–836). Tämän ohjeen tarkoitus on laatia ohjeet

sähkö- ja magneettikentille, niin että sillä suojataan kaikilta todetuilta terveysvaikutuksilta. Ohjeessa käsitellään miten nämä kentät vaikuttavat eri sairauksiin ja ihmisiin.

3 Turvallisuusnäkökulmat omakotitaloympäristössä

Sähköauton langattoman latauksen käyttöönotto omakotitaloissa edellyttää turvallisuusriskien huolellista arviointia. Julkisiin latauspaikkoihin verrattuna omakotitaloympäristössä lataus tapahtuu pysyvästi asennetuista latauspisteissä. Kotipihalla voi olla myös lapsia tai lemmikkejä, jotka voivat altistua erilaisiin riskeihin. Turvallisuusnäkökulmat korostuvat erityisesti sähkömagneettisen altistumisen, lämpökuormien, vierasesineiden ja latausjärjestelmän ohjaustoimintojen osalta.

3.1 Sähkömagneettiset kentät ja häiriöt

Langattoman sähköauton latauksen keskeisin turvallisuusnäkökohta liittyy latausjärjestelmän tuottamiin sähkömagneettisiin kenttiin. Koska induktiivinen lataus perustuu lähettimen ja vastaanottimen välille muodostuvaan magneettikenttään, kuljettaa se autoon energian ilman fyysistä liitintä. Induktiivinen lataus toimii tyypillisesti noin 85 kHz taajuusalueella. Suuremmat taajuudet voivat lisätä muuntimen häviöitä, resistanssia sekä lisätä sähkömagneettista säteilyä (Machura & Li, 2019, s. 211). Magneettikentän vuoto on myös yksi riski. Kun kentät ovat magneettisesti voimakkaammat, pahentavat ne vuotovuota, lisäävät herkkyyttä linjausvirheille sekä tahaton vuorovaikutus lähellä oleviin esineisiin tai materiaaleihin lisääntyy (Niu & muut, 2025, s. 5).

3.1.1 Biologinen altistuminen

Ihmiskehon altistumisia ulkoisille magneettikentille on tutkittu tietokonemallinnuksen ja kudosmallien avulla. Ajoneuvon alla oleva lähetyskela on lähellä ja tällä alueella on suurimmat magneettikentän voimakkuudet. SAE J2954 standardissa on määritelty, että 85 kHz:n taajuudella magneettivuon tiheys ei saa ylittää 27 μT :tä, tämä raja kuitenkin ylittyy usein suuritehoisemmissa järjestelmissä (Niu & muut, 2025, s. 8).

Shimamoto ja muut (2015, s. 164–171) tekivät tutkimuksen, jossa selvitettiin sähkömagneettisen järjestelmän vaikutuksia ihmiskehoon. Tutkimuksessa käytettiin 85 kHz:n taajuusaluetta ja 7 kW:n lähetystehoja. Tutkimuksessa käämit sijaitsivat auton korin keskiosan alapuolella, sillä se on lupaavin paikka asentaa käämit. Ihon johtavuudeksi asetettiin märän ihon johtavuus, koska johtavuus on korkeampi siinä. Tutkimuksessa mallinnettiin neljää eri tilannetta, jossa ihminen on kyykistyneenä lähellä ajoneuvon sivua, makaa maassa niin, että oikea käsi on ojennettuna kohti keloja, istuu kuljettajan paikalla ja seisoo ensiökelalla. Tutkimuksessa tarkasteltiin sähkökenttään suoraan siinä ympäristössä, jossa sitä luonnollisesti käytetään. Suurin indusoituneen sähkökentän arvo saatiin, kun henkilö makasi maassa oikea käsi ojennettuna. Suurimman sähkökentälle altistumisen sai käsi. Pienin indusoituneen sähkökentän arvo oli kun, henkilö istui kuljettajan paikalla. Silloin suurimman sähkökentälle altistumisen sai pakarat. Tutkimuksesta voidaan huomata, että altistumiseen vaikuttaa suuresti kehon asennot.

3.1.2 Sähkömagneettiset häiriöt ja tahaton kytkentä

Sähkömagneettisiin kenttiin liittyvät riskit eivät kuitenkaan rajoitu pelkästään biologiseen altistumiseen. Mikäli langatonta latausta ei ole kytketty tai kohdistettu oikein, voi se aiheuttaa magneettista vuotovuota, joka saattaa indusoida pyörrevirtoja läheisissä metalliesineissä (Niu & muut, 2019, s. 12). Tämä voi aiheuttaa lämpötilan nousun ja pahimmassa tapauksessa tulipalon. Sähkömagneettisen häiriön vuoksi täytyy ottaa huomioon lähellä olevat rakenteet. Autokatoksen tai -tallin metalliset rakenteet ja seinämateriaalit voivat heijastaa ja lisätä sähkömagneettista kenttää. Tätä ilmiötä kutsutaan tahattomaksi kytkennäksi. Tahattomassa kytkennässä magneettisen kentän indusoimia virtoja voi syntyä kohteisiin, jotka eivät ole osa latausjärjestelmää. Magneettikenttä voi kytkeytyä heikosti suojattuihin laitteisiin ja tämä voi aiheuttaa sähkömagneettista häiriötä.

3.1.3 Suojaukset ja turvallisuutta parantavat ratkaisut

Langattomassa latauksessa on käytössä järjestelmä, joka tunnistaa vierasesineen (Machura & Li, 2019, s. 220). Machura ja Li (2019, s. 220) kuvaavat, että järjestelmä havaitsee niin elolliset kuin elottomat esineet. He mainitsevat, että järjestelmä tunnistaa johtavat esineet sekä lähestyvät sähköautot. Heidän mukaansa järjestelmä on tehty niin, että se sammuu, kun se havaitsee vieraan esineen latausalustojen välissä. Tämä järjestelmä on hyvä, sillä näin voidaan estää erilaisia riskejä, kuten ylikuumentumista ja ihmisten altistumista magneetti- ja sähkökentille. Järjestelmän ansioista langaton lataus on turvallisempaa verrattuna siihen, ettei tätä järjestelmää olisi.

Langattomassa latauksessa käytetään ferriittilevyjä, suojauksia ja magneettivuon ohjausmateriaaleja, jotta magneettikenttiä voidaan hallita. Ferromagneettisia materiaaleja käytetään magneettivuon ohjaamiseen, näin järjestelmän suorituskyky paranee, kun vuotokenttää rajoitetaan (Machura & Li, 2019, s. 224). Ferriittisydämen avulla magneettivuon ohjataan suoraan latauskelojen väliin ja näin suojataan epätoivottuja magneettivuota (Choi & Kim, 2020, s. 12163). Ferriiteillä on korkea magneettinen permeabiliteetti, jonka vuoksi ne ohjaavat ja keskittävät magneettikentän tehokkaasti latauskelojen väliin. Suojauksen tehokkuus riippuu ferriittisydämen muodosta, materiaalista sekä latausaseman asennustavasta. Suojaus on tärkeää ihmisen turvallisuuden ja elektroniikan häiriöttömän toiminnan kannalta.

Omakotitaloympäristössä sähkömagneettiset kentät ja häiriöt ovat keskeinen osa turvallisuusnäkökulmia tarkasteltaessa. Sähkömagneettiset kentät vaikuttavat ihmisten turvallisuuteen ja lähellä oleviin esineisiin. Kentät aiheuttavat huolta paloturvallisuuteen liittyvissä asioissa. Nykyään on kuitenkin kehitetty järjestelmiä, joiden avulla langattoman latauksen turvallisuus lisääntyy. Vierasesineen tunnistusjärjestelmä on tärkeää ihmisen turvallisuuden ja johtavien esineiden kannalta. Kun latausjärjestelmä asennetaan asianmukaisesti ja standardien mukaan, voi järjestelmä toimia turvallisesti omakotitalo käytössä.

3.2 Paloturvallisuus ja ylikuumenemisriskit

Lämpö- ja paloriskit ovat sähköautojen langattomassa latauksessa yksi huolenaihe sähkömagneettisten kenttien ja häiriöiden ohella. Induktiivinen energiansiirto aiheuttaa lämpöä sekä keloissa että tehoelektronikassa. Omakotitaloissa näiden riskien huomioiminen on tärkeää, jotta ehkäistään suuremmat vahingot. Induktiivisessa latauksessa energiansiirto perustuu korkeataajuiseen magneettikenttään, joka synnyttää useita lämpöhäviöitä latausjärjestelmän komponenteissa. Näitä häviöitä ovat tehoelektronikkapiirien kytkentä- ja johtavuushäviöt, kompensointipiirien dielektriset häviöt sekä käämien resistiiviset häviöt (Niu & muut, 2020, s. 3). Häviöt muuttuvat lämmöksi ja nostavat näin lämpötilaa.

Metalliesineet muodostavat langattomassa latauksessa paloturvallisuusriskin. Maanpäällä oleviin metalliesineisiin voi indusoitua pyörrevirtaa, joka johtaa lämpötilan nousuun ja palamiseen. Niu ja muut (2019, s. 10) mainitsevat, että metallien ominaislämpökapasiteetti on alhainen, ja tämän vuoksi ne ovat helposti lämmitettäviä. He kertovat, että korkea lämpötilan nousu voi johtaa lopulta palamiseen sekä ei-metalliset esineet, jotka ovat palavia voi muodostaa paloriskin. Omakotitaloympäristössä tämä riski korostuu, sillä latausalueella voi olla sinne kuulumattomia esineitä ja jäädä huomaamatta ajoneuvon alle. Myös lumi, jää tai lika voivat peittää latausalueelle kuulumattomia esineitä, jolloin niiden havaitseminen vaikeutuu.

Maayksikön pinta on erityinen riskikohta, koska latauksen aikana syntyvät häviöt keskittyvät siihen ja nostavat sen lämpötilaa (Niu & muut, 2020, s. 1). Lämpötila voi nousta niin korkeaksi, että se aiheuttaa palovammoja, materiaalien syttymisriskin tai elektronisten laitteiden vaurioitumisen. Niu ja muut (2020, s. 3–4) kertovat, että ei-metalliset esineet voivat syttyä, jos ne kuumennetaan niiden syttymislämpötilaan. He antoivat esimerkin, jossa Pekingissä oli kevät ja silloin maa oli peittynyt pajunkissoilla. Pajunkissat olivat aiheuttaneet 90 ajoneuvon tulipalon. He listasivat taulukon, jossa oli vierasesineitä ja nii-

den syttymislämpötilan. Pajunkissoilla syttymislämpötila oli 65 astetta ja kuivalla lehdellä syttymislämpötila oli 95 astetta. Näitä molempia voi esiintyä latausalueella ja ne muodostavat turvallisuusriskin, koska niiden syttymislämpötila on alhainen.

Yleinen ongelma maayksikön lämpötilan nousussa on kohdistusvirheet. Pienetkin siirtymät lähettimen ja vastaanottimen välillä heikentää energiansiirtotehokkuutta ja lisää järjestelmän kokonaislämpökuormaa. Kun kytkentä heikkenee, niin keskinäisinduktanssi pienenee ja sen seurauksena tarvitaan suurempi virta, jotta nimellis lataustehoa voidaan ylläpitää (Niu & muut, 2020, s. 3). Tämän seurauksena häviöt kasvavat ja maayksikön pintalämpötila nousee. Omakotitaloympäristössä kohdistusvirheet ovat erittäin todennäköisiä, koska pysäköintiä ei opasteta tarkasti. Myös kiireellinen pysäköinti lisää kohdistusvirheitä.

Lämmönhallintaan täytyy kiinnittää huomiota langattomassa latauksessa. Latausjärjestelmässä täytyy olla tehokas jäähdytysjärjestelmä. Lämpö voi vaikuttaa haitallisesti elektronisten komponenttien suorituskykyyn ja tämä voi johtaa vikoihin (Xue & muut, 2025, s.24). Jos latausalusta on asennettu autotalliin, täytyy pitää huoli hyvästä ilmanvaihdosta. Ilmanvaihdon puute voi aiheuttaa lämmön kertymistä.

Langattomassa latauksessa on käytössä turvallisuusjärjestelmiä, jotka ehkäisevät ylikuumenemista ja palovaaraa. Vierasesineiden tunnistus auttaa tunnistamaan latausalueelle jäävät sinne kuulumattomat esineet ja keskeyttää latauksen. Langattomassa latauksessa hyödynnetään lämpötilasensoreita, jotka seuraavat lämpötilaa ja näin voivat rajoittaa tehoa tai katkaista latauksen.

3.3 Vierasesineet, ihmiset ja eläimet latausalueella

Vierasesineillä tarkoitetaan latausalueelle joutuneita esineitä, jotka eivät kuulu latausjärjestelmään. Nämä esineet aiheuttavat merkittävän paloriskin, sillä ne voivat indusoida

pyörrevirtoja, joka johtaa esineiden nopeaan kuumenemiseen (Machura & Li, 2019, s. 220). Vierasesineitä ovat erityisesti metalliset esineet, mutta myös ei metalliset esineet.

Ihmisten turvallisuus latausalueella liittyy altistuminen sähkömagneettisille kentille sekä kosketus- ja palovammariskeihin. Voimakkaimmat magneettikentät esiintyvät latausalustan ja ajoneuvon väliin jäävällä alueella. Vaikka standardit rajaavat kenttien voimakkuuden hyväksyttävälle tasolle, altistuminen voi kasvaa, jos henkilö oleskelee pitkään latausalueen lähellä.

Shimamoto ja muut (2015, s. 170) osoittivat mallinuksissa, että ihmisen kehonasento vaikuttaa altistumisen suuruuteen, suurimmat kentän arvot ovat silloin kun henkilö on hyvin lähellä latausaluetta. Omakotitaloympäristössä lapset voivat oleskella ajoneuvon läheisyydessä latauksen aikana ja näin altistua magneettikentälle.

Langattomassa latauksessa täytyy ottaa huomioon lemmikit. Lemmikit ja muut eläimet voivat liikkua vapaasti latausalueella ja mennä myös ajoneuvon alle huomaamatta. Eläimet ovat pienempiä ja niiden erilainen kehonrakenne voi aiheuttaa suuremman altistumisen sähkömagneettisille kentille.

Kylmässä säässä eläimet voivat hakeutua ajoneuvon alle, koska latausalusta on lämpimämpi. Tämä lisää niiden altistumista sekä aiheuttaa palovammariskiä. Langattoman latauksen standardi SAE J2594 (SAE International, 2020) edellyttää biologisten kohteiden tunnistusta. Koska tarkoituksena on havaita elollinen kohde latausasemalla ja sammuttaa lataus turvallisuussyistä.

4 Terveysnäkökulmat

Omakotitaloympäristössä on tärkeää arvioida langattoman latauksen teknologian mahdollisia terveysvaikutuksia. Koska energiansiirto perustuu vaihtuvaan magneettikenttään, käyttäjät ja lähiympäristössä oleskelevat henkilöt voivat altistua sähkömagneettisille kentille. Omakotitaloissa altistuminen on toistuvaa ja pitkäkestoista verrattuna julkisiin latausympäristöihin.

4.1 Sähkömagneettisten kenttien terveysvaikutukset

Langaton latauksen toimintataajuus on 85 kHz. Toimintataajuusalueella sähkömagneettisten kenttien biologiset vaikutukset liittyvät erityisesti hermoston stimulaatioon sekä fosfeenien induktioon, jossa näkökentän reuna-alueilla voidaan aistia heikkoa välkkyvää valoa, nämä vaikutukset voidaan havaita, kun altistuminen ylittää tietyt kynnsarvot (ICNIRP, 2010, s. 819).

Langattoman latauksen yhteydessä suurimmat magneettikentän voimakkuudet esiintyvät ajoneuvon alla lähellä lähetyskelaa, koska magneettinen kytkentä ajoneuvon vastaanotinkelan kanssa on voimakkainta tässä (Machura & Li, 2019, s.223). Voimakkuus kuitenkin heikkenee nopeasti etäisyyden kasvaessa, joten altistuminen ajoneuvon ulkopuolella ja latausalueen ulkopuolella jää pienemmäksi. Shimamoton ja muiden (2015, s. 172) tutkimus osoittaa, että altistumisen suuruuteen vaikuttaa merkittävästi kehon asento ja etäisyys latauskeloihin. Kuitenkin tutkimuksen mukaan kaikissa tilanteissa altistuminen jäi alle ICNIRP:n asettamien raja-arvojen standardien mukaisissa järjestelmissä.

Terveysvaikutuksien arvioinnissa täytyy ottaa huomioon lääkinnälliset implantit sekä aktiiviset lääkinnälliset laitteet. Näiden laitteiden toiminta perustuu sähköisiin signaaleihin ja ne voivat olla alttiita sähkömagneettiselle häiriölle. Langaton lataus voi indusoida virtoja implanteissa oleviin johtimiin tai metallisiinkomponentteihin tilanteissa, joissa implantti sijaitsee lähellä voimakkainta magneettikenttää (Marinescu & Morega, 2022,

s.213). Vaikutukset ovat riippuvaisia etäisyydestä, kentän voimakkuudesta sekä implantin rakenteesta. Implanttien metalliosat tai johdot voivat indusoida virtaa ja näin aiheuttaa paikallisia lämpötilan nousua. Sydämeen asennettavat elektroniset laitteet ovat etusijalla testeissä, joissa testataan sähkömagneettista häiriötä, sillä niiden toiminnan heikkeneminen aiheuttaa vakavimmat riskit (Marinescu & Morega, 2022, s. 214).

Lääkinnällisiin implantteihin on tehty standardit, jotka käsittelevät sähkömagneettista häiriötä, kuten IEC 60601-1-2. Tämä standardi määrittelee lääketieteellisten sähkölaitteiden ja järjestelmien yleiset turvallisuus- ja olennaiset suorituskykyvaatimukset, joissa määritetään, kuinka paljon laite saa häiritä muita laitteita sekä kuinka hyvin se kestää ulkoisia häiriöitä (IEC 60601-1-2, 2014, s. 9). Standardin tavoitteena on varmistaa, että implantit kestävät tavanomaisissa elinympäristöissä esiintyvät sähkömagneettiset kentät ilman toimintahäiriöitä.

ICNIRP:n ohjeistuksen mukaan lisääntymiseen ja kehitykseen ei ole havaittu muutoksia matalataajuisissa sähkökentissä (ICNIRP, 2011, s. 822). Epäsuoraa näyttöä on myös siitä, että indusoitunut sähkökenttä voi vaikuttaa ohimenevästi aivotoimintoihin kuten visuaaliseen prosessointiin ja motoriseen koordinaatistoon (ICNIRP, 2011, s. 821). Sähkömagneettiset riskit johtuvat ohimenevistä hermoston vasteista kuten ääreishermoston ja keskushermoston stimulaatiosta, verkkokalvon fosfeenien induktiosta ja mahdollisista vaikutuksista joihinkin aivotoiminnan osa-alueisiin (ICNIRP, 2011, s. 825). Sähkömagneettiset kentät eivät siis aiheuta pysyviä haittoja ihmisille, kun sähkömagneettisten kenttien voimakkuudet ovat ICNIRP ohjeistuksien mukaiset.

4.2 Pitkäaikainen altistus ja riskien arviointi

Pitkäaikainen altistus sähkömagneettisille kentille on keskeinen huolenaihe omakotitaloympäristössä, jossa lataus tapahtuu päivittäin. Nykyinen tieteellinen näyttö ei osoita, että matalataajuisille tai välitaajuisille magneettikentille altistuminen alle suositeltujen raja-arvojen aiheuttaisi haitallisia terveysvaikutuksia (ICNIRP, 2010, s. 818).

ICNIRP:n ohjeessa altistumisrajat ovat asetettu niiden tasojen alapuolelle, joilla biologisia vaikutuksia, kuten hermoston stimulaatiota tai kudosten lämpenemistä on kokeellisesti havaittu (ICNIRP, 2010, s. 823). Raja-arvoihin sisältyy turvarajat, joiden tarkoituksena on suojata pitkäaikaiselta altistumiselta sekä herkkiä väestöryhmiä (ICNIRP, 2010, s. 824).

Niu ja muut (2025, s. 4) tuovat esiin, että riskien arvioinnissa on huomioitava virheellisestä kohdistuksesta johtuva tehohäviö, suuremmat lataustehot sekä ympäristön metalliset rakenteet, jotka voivat lisätä magneettikentän vuotoa ja ylittää altistumisrajat. Langattoman latauksen standardeissa edellytetään tämän vuoksi, että altistumistasot pysyvät hyväksyttävällä tasolla poikkeustilanteissakin. Näissä tilanteissa magneettikentän vuoto ja paikallinen altistuminen voivat kasvaa. Suojaus on tärkeää ja standardien vaatimia, jotta hajaantuvia sähkömagneettisia kenttiä voidaan rajoittaa, sekä minimoida sähkömagneettiset häiriöt (Niu & muut, 2025, s. 10).

Sähköautojen langattomassa latauksessa altistuminen sähkömagneettisille kentille ei ole jatkuvaa, koska lataus rajoittuu yksittäisiin lataustapahtumiin, jolloin ajoneuvo on paikallaan. Joten pitkäaikainen altistuminen on jaksottaista. Magneettikentän voimakkuus heikkenee nopeasti etäisyyden kasvaessa, sillä suurimmat magneettikentän voimakkuudet ovat lähellä lähetyskelaa (Machura & Li 2019, s. 223). Tämän vuoksi pitkäaikainen altistuminen ei ole yleistä, koska magneettikentän voimakkuus ei ole voimakasta pidemmällä etäisyydellä.

Langattoman latauksen aiheuttama pitkäaikainen altistuminen sähkömagneettisille kentille ei siis muodosta merkittävää terveysriskiä, jos latausjärjestelmät ovat toteutettu standardien mukaan. Riskien arvioinnissa varaudutaan ennalta niin, että altistumistasot pidetään alle kynnyсарvojen ja huomioidaan poikkeavat käyttötilanteet.

4.3 Turvallisen käytön suositukset omakotitaloissa

Vaikka langattoman latauksen terveysriskit arvioidaan nykyisen tutkimustiedon perusteella vähäisiksi, turvallisen käytön periaatteiden noudattaminen on tärkeää omakotitaloympäristössä. Turvallinen käyttö perustuu teknisiin suojausratkaisuihin sekä käyttäjän toimintaa, koska omakotitaloissa latausalue ei ole valvottu, joten sen läheisyydessä voi oleskella ihmisiä tai lemmikkejä.

Tärkeää on, että latausjärjestelmät asennetaan valmistajan ohjeiden ja voimassa olevien standardien mukaisesti. Latausalue tulisi sijoittaa niin, että tarpeeton oleskelu ajoneuvon alla ja latauksen läheisyydessä on vähäistä. Järjestelmä tulisi asentaa myös niin, että latausalueen ja ajoneuvon välinen kohdistus on mahdollisimman tarkka. Virheellinen kohdistus voi heikentää tehonsiirron hyötysuhdetta ja lisätä magneettikentän vuotoa, joka voi kasvattaa taas ylikuumenemisriskiä ja sähkömagneettista altistumista (Niu & muut, 2025, s. 15). Omakotitaloissa latausalueesta täytyy sijoittaa oikein ja varmistaa ettei latausalueella ole ylimääräisiä metalliesineitä, jotka voi lisätä magneettikentän vuotoa.

Jotta altistuminen olisi mahdollisimman vähäistä, suositellaan ettei latausalueella oleskella tarpeettomasti latauksen aikana. Altistuminen magneettikentille kasvaa, vaikka järjestelmä on toteutettu standardien mukaan, jos latausalueella oleskelee pitkään. Tämä tarkoittaa siis, että ajoneuvon alle menemistä latauksen aikana tulisi välttää sekä turhaa oleskelua latauslaitteiston läheisyydessä.

SAE J2954 -standardi edellyttää, että latausjärjestelmä sisältää biologisten kohteiden tunnistuksen, jotta lataus voidaan estää, jos latausalueella havaitaan elollinen kohde (SAE International, 2020). Lapset voivat leikkiä ajoneuvon läheisyydessä tai lemmikit voivat mennä makaamaan latausalueelle, biologisten kohteiden tunnistus on siis tämän vuoksi tärkeää. Omakotitaloympäristössä käyttäjän vastuulla on huolehtia, että latausalue on puhdas eikä sisällä ylimääräisiä esineitä.

Suositellaan myös, että latausjärjestelmän käyttö ja kunto tarkistetaan säännöllisesti. Mahdolliset poikkeamat voidaan näin havaita ja korjata. Säännöllinen huolto on osa riskienhallintaa. Kun latausjärjestelmät huolletaan ja tarkistetaan säännöllisesti, voidaan välttyä suuremmilta riskeiltä.

Turvallinen käyttö omakotitaloympäristössä perustuu standardien mukaiseen suunnitteluun, teknisiin turvamekanismeihin ja käyttäjän tietoisuuteen latausjärjestelmään liittyvistä riskeistä. Altistuminen ja turvallisuus voidaan pitää hyväksytyllä tasolla, kun järjestelmä on asennettu asianmukaisesti.

5 Riskienhallinta ja käyttöönoton haasteet

Sähköautojen langattoman latauksen käyttöönotto omakotitaloympäristössä edellyttää riskienhallintaa sekä teknisten, terveydellisten ja käytännöllisten haasteiden huomioimista. Riskienhallinnan näkökulmasta on tärkeää tarkastella järjestelmän suunnitteluun ja asennukseen liittyviä riskejä, että käyttöympäristön ja käyttäjän toiminnan vaikutusta riskeihin.

5.1 Riskienhallinnan periaate

Riskienhallinnassa täytyy ottaa huomioon mahdolliset vaaratekijät. Niiden todennäköisyys sekä vakavuus täytyy arvioida. Riskitekijöitä ovat muun muassa sähkömagneettisiin kenttiin liittyvät terveys-, palo- sekä turvallisuusriskit, sähkömagneettiset häiriöt ja vieresineet.

Standardit, kuten IEC 61980- sarja ja SAE J2954 muodostavat riskienhallinnan teknisen perustan. Nämä standardit määrittelevät raja-arvot, testausmenetelmät ja suojauskeinot (IEC 61980-1, 2020, s.7; SAE International, 2020). Näiden avulla riskit voidaan pitää hyväksyttävällä tasolla poikkeustilanteissakin. Riskienhallinnan kannalta tärkeää on siis, ettei järjestelmän turvallisuus perustu pelkästään optimaalisiin käyttöoloihin, vaan myös virhetilanteisiin, joita voidaan ennakoida.

5.2 Teknologiset haasteet

Johdolliseen lataukseen verrattuna langaton lataus edellyttää tarkkaa pysäköintiä, sillä kohdistusvirheet voivat heikentää tehonsiirron hyötysuhdetta, lisätä lämpöhäviöitä ja kasvattaa magneettikentän vuotoa. (Niu & muut, 2025, s. 15).

Omakotitaloissa latauspaikat vaihtelevat huomattavasti. Lataus voi tapahtua autotallissa, -katoksessa tai pihassa. Näissä rakenteet, kuten betonin raudoitus tai metalliset tukira-

kenteet, voivat vaikuttaa magneettikentän jakautumiseen. Ympäristön metalliset rakenteet voivat lisätä tahatonta kytkentää ja lämpenemistä (Niu & muut, 2019, s. 12). Tämä täytyy siis huomioida suunnitteluvaiheessa, jotta tahattomalta kytkennältä voitaisiin mahdollisimman hyvin välttyä.

Langattoman latauksen käyttäjän rooli riskienhallinnassa on tärkeää. Käyttäjistä johtuvat riskit liittyvät vierasesineiden jättämiseen latausalueelle, latauksen käynnistämiseen huonoissa olosuhteissa tai elollisten kohteiden oleskeleminen latausalueella latauksen aikana. Käyttäjien tulee tarkastaa, ettei latausalueella ole metalliesineitä, joihin voi induoitua virtaa. Pysäköinnissä täytyy myös olla tarkka, jotta vältytään kohdistusvirheiltä.

Vaikka järjestelmissä on vierasesineiden tunnistus sekä biologisten kohteiden tunnistus, ei tämä poista käyttäjän vastuuta. Käyttäjien täytyy tietää, millaisia rajoituksia järjestelmällä on.

6 Yhteenveto ja johtopäätökset

Tässä kandidaatintutkielmassa tarkasteltiin sähköautojen langattoman latauksen turvallisuus- ja terveysriskejä omakotitaloympäristössä. Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, millaisia turvallisuus- ja terveysriskejä on sähköautojen langattomassa latauksessa, kun lataus tapahtuu omakotitaloympäristössä. Tutkimus perustui tutkimuskirjallisuuteen, standardeihin ja teknisiin suosituksiin, joiden avulla muodostettiin kuva teknologian nykytilasta ja siihen liittyvistä riskeistä.

Tutkielman perusteella voidaan todeta, että sähköautojen langattoman latauksen keskeiset turvallisuus- ja terveysriskit liittyvät sähkömagneettisiin kenttiin, ylikuumenemiseen, vierasesineisiin sekä käyttäjä- ja ympäristötekijöihin. Nykyisten tutkimuksien mukaan sähkömagneettisten kenttien aiheuttamat terveysriskit ovat vähäisiä, kun altistuminen pysyy asetettujen raja-arvojen alapuolella. Tämä koskee myös pitkäaikaista altistumista sekä erityisryhmiä, kuten lääkinnällisten implanttien käyttäjiä, tämä kuitenkin edellyttää, että latausjärjestelmät ovat suunniteltu ja asennettu standardien mukaan.

Tutkielman perusteella ei ole siis havaittu viitteitä merkittävistä terveysriskeistä sähkömagneettisille kentille altistumisesta, kun altistuminen pysyy alle suositeltujen raja-arvojen.

Turvallisuuskulmasta langattoman latauksen riskit ovat hallittavissa, mutta ne edellyttävät teknisiä suojausmekanismeja, magneettivuon ohjausta ja poiskytkentätoimintoja. Omakotitaloympäristössä riskienhallinta korostuu, sillä latausalue ei ole välttämättä merkitty ja latausalueella voi oleskella ihmisiä tai eläimiä. Käyttäjän toiminta ja tietoisuus järjestelmän toiminnasta on tärkeää, jotta riskienhallintaa voidaan hallita.

Riskienhallinnan ja käyttöönoton tarkastelu osoittaa, että teknologian haasteet liittyvät asennukseen, ympäristön vaihteleviin olosuhteisiin sekä standardien soveltamiseen.

Vaikka standardit tarjoavat perustan turvalliselle käytölle, täytyy kuitenkin jokainen järjestelmä suunnitella ja asentaa jokaiseen kohteeseen sopivaksi, jotta käyttöönotto on onnistunut ja turvallista.

Sähköautojen langaton lataus on nykyisten saatavilla olevien tutkimustietojen ja standardien perusteella turvallinen ratkaisu omakotitaloympäristössä, kun järjestelmä on suunniteltu, asennettu ja käytetty standardien sekä muiden ohjeiden mukaan.

Tulevaisuudessa sähköautojen langaton lataus tulee todennäköisesti yleistymään omakotitaloissa. Teknologian laajempi käyttöönotto omakotitaloissa edellyttää riskienhallinnan jatkuvaa kehittämistä, selkeää sääntelyä ja käyttäjien kouluttamista turvalliseen käyttöön. Näiden avulla langaton lataus voidaan ottaa käyttöön omakotitaloissa turvallisesti ja luotettavasti.

Lähteet

- Amjad, M., Farooq-i-Azam, M., Ni, Q., Dong, M., & Ansari, E. A. (2022). Wireless charging systems for electric vehicles. *Renewable & sustainable energy reviews*, 167, 112730. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112730>
- Autoliitto. (2024, 15 elokuuta) *Sähköautojen kotilatausopas*. Autoliitto. Noudettu 15.10.2025 osoitteesta <https://www.autoliitto.fi/blogi/sahkoauton-kotilatausopas/>
- Choi, B.-G., & Kim, Y.-S. (2020). New Structure Design of Ferrite Cores for Wireless Electric Vehicle Charging by Machine Learning. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 68(12), 12162–12172. <https://doi.org/10.1109/tie.2020.3047041>
- Barman, S. D., Reza, A. W., Kumar, N., Karim, M. E., & Munir, A. B. (2015). Wireless powering by magnetic resonant coupling: Recent trends in wireless power transfer system and its applications. *Renewable & sustainable energy reviews*, 51, 1525-1552. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.031>
- International Electrotechnical Commission. (2014). *IEC 60601-1-2 Medical electrical equipment - Part 1-2: General requirements for basic safety and essential performance - Collateral Standard: Electromagnetic disturbances - Requirements and tests*. IEC
- International Electrotechnical Commission. (2020). *IEC 61980-1: Electric vehicle wireless power transfer (WPT) systems – Part 1: General requirements*. IEC
- International Electrotechnical Commission. (2023). *IEC 61980-2: Electric vehicle wireless power transfer (WPT) systems – Part 2: Specific requirements for MF-WPT system communication and activities*. IEC
- International Electrotechnical Commission. (2022). *IEC 61980-3: Electric vehicle wireless power transfer (WPT) systems – Part 1: Specific requirements for magnetic field wireless power transfer systems*. IEC
- International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. (2010). *ICNIRP Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz-100 kHz)*. *Health Physics*, 99(6), 818–836. <https://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPLFgdL.pdf>

- Machura, P., & Li, Q. (2019). A critical review on wireless charging for electric vehicles. *Renewable & sustainable energy reviews*, 104, 209-234. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.01.027>
- Mahesh, A., Chokkalingam, B., & Mihet-Popa, L. (2021). Inductive Wireless Power Transfer Charging for Electric Vehicles-A Review. *IEEE access*, 9, 137667–137713. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3116678>
- Marinescu, A., & Morega, M. (2022). Exposure of Active Medical Implants Bearers to Electromagnetic Emissions from Wireless Power Transfer Systems. *Revue Roumaine Des Sciences Techniques – Serie Electrotechnique et energetique*, 67(2), 213-218. <https://journal.iem.pub.ro/rrst-ee/article/view/183>
- Neste. (n.d.). Suomen sähköautojen ja ladattavien hybridien määrää halutaan kasvattaa nykyisestä 140 000: sta 750 000:een vuoteen 2030 mennessä – Liikenteen päästövähennystavoitteet ovat sähköistymistä monimutkaisempi asia. Neste. Noudettu 10.10.2025 osoitteesta <https://www.neste.fi/yrityksille/asiakkuus/inspiroidu/edellakavijyys/suomen-sahkoautojen-ja-ladattavien-hybridien-maaraa-halutaan-kasvattaa-nykyisesta-140-000sta-750-000een-vuoteen-2030-menessa-liikenteen-paastovahennystavoitteet-ovat-sahkoistymista-monimutkaisempi>
- Niu, S., Jia, Q., Yang, H., Yang, C., & Jian, L. (2025). Safety Management Technologies for Wireless Electric Vehicle Charging Systems: A Review. *Electronics*, 14(12), 2380–2380. <https://doi.org/10.3390/electronics14122380>
- Niu, S., Yu, H., Niu, S., & Jian, L. (2020). Power loss analysis and thermal assessment on wireless electric vehicle charging technology: The over-temperature risk of ground assembly needs attention. *Applied energy*, 275, 115344. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115344>
- Niu, S., Xu, H., Sun, Z., Shao, Z., & Jian, L. (2019). The state-of-the-arts of wireless electric vehicle charging via magnetic resonance: Principles, standards and core technologies. *Renewable & sustainable energy reviews*, 114, 109302. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109302>
- SAE International. (2020). *SAE J2954: Wireless Power Transfer for Light and Medium Duty Vehicles*. SAE International. Noudettu 12.12.2025 osoitteesta

<https://www.sae.org/standards/j2954-wireless-power-transfer-light-medium-duty-vehicles>

SESKO ry. (2025. 23. toukokuuta). *Sähköajoneuvojen lataussuositus (7. painos)*. SESKO ry.

Noudettu 30.10.2025 osoitteesta https://sesko.fi/wp-content/uploads/2025/05/SESKOn-lataussuositus-7-painos_2025-05-23-FINAL.pdf

SESKO ry. (2021. 8. huhtikuuta). *Sähköautosanasto*. Noudettu 30.10.2025 osoitteesta

https://www.sesko.fi/standardit/standardoinnin_aihealueita/sahkoautot_ja_latausjarjestelmat/sahkoautosanasto

Suomen Standardisointiliitto SFS. (2021). *SFS-EN ISO 19363: 2021: Electrically propelled road vehicles. Magnetic field wireless power transfer. Safety and interoperability requirements*.

Shimamoto, T., Laakso, I. & Hirata, A. (2015). In-situ field in human body model in different postures for wireless power transfer system in an electrical vehicle. *Physics in Medicine & Biology*, 60(1), 163-173. [10.1088/0031-9155/60/1/163](https://doi.org/10.1088/0031-9155/60/1/163)

Shuttleworth, J. (2020. 20. lokakuuta). *New SAE Wireless Charging standard is EV game-changer SAE-MA-03961*. SAE International. Noudettu 14.12.2025 osoitteesta

<https://www.sae.org/articles/new-sae-wireless-charging-standard-ev-game-changer-sae-ma-03961>

Tilastokeskus. (2025. 3. maaliskuuta). Suomen ajoneuvokanta kasvoi vuonna 2024. [Suomen ajoneuvokanta kasvoi vuonna 2024 | Tilastokeskus](https://tilastokeskus.fi/julkaisut/ajoneuvokanta_kasvoi_vuonna_2024)

[Suomen ajoneuvokanta kasvoi vuonna 2024 | Tilastokeskus](https://tilastokeskus.fi/julkaisut/ajoneuvokanta_kasvoi_vuonna_2024)

Vaasan sähkö. (2023. 13. toukokuuta). Sähköauton latauspiste omakotitaloon – 4 vinkkiä onnistuneeseen hankintaan. Vaasan sähkö. Noudettu 15.10.2025 osoitteesta

<https://www.vaasansahko.fi/energianeuvonta/sahkoauton-latauspiste-omakotitaloon-4-vinkkia-onnistuneeseen-hankintaan/>

Xue, Z., Liu, W., Liu, C., & Chau, K., T. (2025). Critical Review of Wireless Charging Technologies for Electric Vehicles. *World Electric Vehicle Journal*, 16(2), 65.

<https://doi.org/10.3390/wevj16020065>