

28.06.2019

Årsaker til og løsninger på elbilladeproblemer

Rapport

Årsaker til og løsninger på elbilladeproblemer

Kunde:
EMC-nett

Kundes referanse:
-

Forfatter:
Henrik Kirkeby

Dokumentnummer:
R18-02

Sider:
37

ISBN:
978-82-93746-00-3

Versjon:
0,7

Dato:
31.10.18

Kommentar:
Førsteutkast til
prosjektgruppen
Førsteutkast til sirkulasjon
Førsteutgave

0,9
1,0

14.12.18
28.06.19

Innholdsfortegnelse

Executive summary	4
1 Innledning.....	6
2 Observerte ladeproblemer	7
2.1 Bilen vil ikke lade ved jordfeil i strømmettet.....	7
2.1.1 Kort om jordfeil	7
2.1.2 Spesielle typer jordfeil.....	9
2.1.3 Observerte ladeproblemer	11
2.1.4 Årsaken til at jordfeil skaper ladeproblemer	12
2.1.5 Nettselskapets rolle i å rette jordfeil	13
2.1.6 Nye strømmålere (AMS) og jordfeil.....	13
2.2 Ladeproblemer forårsaket av overharmonisk støy	14
2.2.1 Kort om overharmonisk støy	14
2.2.2 Kort om supraharmonisk støy	14
2.2.3 Støy fra ladesystemet skaper interferens med annet elektrisk utstyr	15
2.2.4 Støy fra nettet skaper interferens i elbilens ladesystem.....	16
2.3 Sikringen på kursen til elbilen går, selv om det er lite last på kursen	16
2.4 For lav spenning i nettet.....	16
2.5 Fysiske feil i kundens elektriske installasjon, og defekt i ladesystem, hjemmeladeboks eller ladekabel	17
2.5.1 Feil i kundens installasjon.....	17
2.5.2 Feil i ladekabler eller ladestasjoner	17
2.5.3 Feil i selve elbilen eller ladesystemet til elbilen	17
2.5.4 Softwarefeil i elbilen.....	18
2.6 Akustisk støy i elektriske apparater når elbilen lader	18
3 Resultater fra spørreundersøkelse om ladeproblemer	20
3.1 Bakgrunn for undersøkelsen / observerte problemer	20
3.2 Elbilisten 2018	20
3.3 Spørsmål i oppfølgingsundersøkelse om ladeproblemer	20
3.4 Elbilmodellene med flest ladeproblemer	21
3.5 Vanligste årsak til ladeproblemer	23
3.6 Andre observasjoner i undersøkelsene	24
3.7 Svarprosent og troverdighet	25
4 Hvorfor noen ladeproblemer forsvinner av seg selv	26
4.1 Intermitterende jordfeil	26

4.2 Ladeproblemer som forsvinner ved tilkobling av annet utstyr i installasjonen.....	27
4.3 Variasjon i støynivå, som av og til blir for høyt.....	28
4.3.1 Harmonisk støy.....	28
4.3.2 Variasjon i RMS-spenning.....	29
5 Feilsøking og korrektive løsninger på ladeproblemer	30
5.1 Feilsøking kunden kan gjøre selv	30
5.2 Feilsøking hos selger / importør	31
5.3 Feilsøking som må foretas av nettselskapet.....	31
6 Arbeid med langsiktige løsninger	33
6.1 Begrenset bevissthet om spesifikke problemstillinger knyttet til IT-nett.....	33
6.2 Samordning og grensesetting mellom krav i ulike standarder.....	33
7 Konklusjon	35
Kilder.....	36
Vedlegg A: Simuleringer av høyohmig jordfeil i lavspentnettet.....	37

Executive summary

Den økende elbilbestanden i Norge gjør at antall kunder som opplever en eller annen form for ladeproblemer har økt. Ladeproblemene varierer i type og omfang, og noen modeller er mer påvirket enn andre. På bakgrunn av dette er det i EMC-nett jobbet med hva som er årsaken til ulike former for ladeproblemer, og hvordan disse kan løses.

Arbeidet ble startet med en spørreundersøkelse for å kartlegge omfanget av problemene. Denne viser at hele 10,4 % av respondentene hadde opplevd en eller annen form for ladeproblemer. Ladeproblemene er jevnt fordelt mellom grunnårsak i bilen, i strømmettet, (en del mindre) i kundens elektriske installasjon og ukjente årsaker.

Det ser ut til å være jordfeilrelatert problemer som forårsaker en høy andel av ladeproblemene. Dette er en særnorsk utfordring, ettersom det er få land i verden som benytter IT-nett som allment forsyningsnett. IT-nett kan lovlig driftes i 4 uker med jordfeil, og teknisk sett kontinuerlig om det kun er en feil. Sikkerhetssystemer i ladekladder eller ladestasjoner oppfatter feilaktig disse jordfeilene som farlige feil, og ladingen vil dermed ikke starte eller blir avbrutt. Dette løses normalt ved å rette jordfeilen i nettet, men i enkelte kan dette være vanskelig og tidkrevende om det er en vanskelig feil å finne, særlig ved høyohmige intermitterende jordfeil.

Andre nettrelaterte problemer som kan forårsake ladeproblemer er lav nettspenning, eller interferens forårsaket av støy i strømmettet. Disse problemene forårsaker færre feil, og vil normalt måtte løses ved å gjøre tiltak i nettet eller benytte filter. Avbrudd og lynoverspenninger ser også ut til å forårsake få ladeproblemer (førstnevnte fører normalt kun til avbrutt lading).

Feil i elbilen har forårsaket en høy andel av observerte ladeproblemer. Den vanligste årsaken ser ut til å være software-relaterte problemer, som normalt løses ved oppdatering av software i bilen. Her er ulike modeller ulikt utsatt for problemer, spørreundersøkelser viser at modellene med klart høyest andel ladeproblemer sett i forhold til biler på veien, er de som sliter med software problemer og / eller er sensitive for jordfeilsproblematikk. Feil som går på fysiske feil med elbilen, fysisk feil på ladestasjon, eller ladekabel, er mer sjeldne, og løses normalt ved utskiftning eller reparasjon.

Feil i kundens elektriske installasjon står for en mindre andel av ladeproblemene. Feil her har ofte en sammenheng med gamle elektriske anlegg som blir hardt belastet ved lading av elbiler. Krav fra DSB har kanskje bidratt til å redusere disse problemene. Et unntak er at noen hjemmeladestasjoner ser ut til å være designet på en måte som gjør at kundens sikringer ofte faller, selv når elbilen ikke lader. Dette er et problem med design av ladestasjonen, heller enn installasjonen.

Ukjente feil står også for en forholdsvis høy andel av ladeproblemene. I praksis kan mange av disse være relatert til støy fra strømmettet eller jordfeil, men det er vanskelig å påvise uten at enkeltcase studeres i detalj. En del slike problemer blir dessverre ikke løst.

Motivasjonen til arbeidet presentert i denne rapporten var å komme med fremgangsmåter for å feilsøke og løse ladeproblemer. En metodikk for dette er presentert i rapporten, som viser hvilke tester som bør gjøres av kunden selv, forhandleren, og nettselskapet for å bestemme om det er bilen, strømmettet, den elektriske installasjonen eller noe annet som forårsaker problemene. Fremgangsmetoden viser også hvilke tiltak som bør iverksettes ved de ulike problemårsakene. Dette vil senere bli utgitt som en veileder for feilsøking av ladeproblemer, for eiere, forhandlere, og personell hos nettselskapene som behandler kundeklager.

En underliggende årsak til mange av ladeproblemene ser ut til å være dårlig forståelse i internasjonale selskaper om funksjonsmåten til norske IT-nett. Sikkerhetssystemer blir designet primært med tanke på TN-nett, som kan gi utilsiktet funksjonsmåte ved bruk i IT-nett, og særlig i IT-nett med jordfeil. Juridisk sett tilfredsstillende ikke slikt utstyr kravene for å kunne omsettes på det norske markedet, og produsentene må jobbe for å løse disse problemene. For å gi bedre forståelse om temaet er det derfor vært som mål at arbeidet i EMC-nett skal publiseres i populærvitenskapelige og vitenskapelige kanaler, og å samarbeide med norske importører som kan videreformidle forskningen til sine leverandører.

1 Innledning

Det går bra med elektrifiseringen av privatbilparken i Norge. Per 30. juni 2018 er det 250 000 elbiler og ladbare hybrider på veien, og disse har samlet en markedsandel på 46 % av nybilsalget.¹ Dette gjør at Norge har verdens høyeste elbilandel sett i forhold til befolkningstallet, og er verdens tredje største kjøper av elektriske biler i 2017.²

Samtidig som Norge ligger langt framme på elektrifisering av bilparken, har vi et strømnnett som skaper utfordringer. Dette dreier seg både om kapasitet i strømnettet om alle skal lade elbilene sine samtidig, men også om at Norge benytter et annet nettsystem enn det som er vanlig i resten av verden. Dette forårsaker et begrenset utvalgt av trefaseladere til elbiler sammenlignet med resten av Europa, og at det i enkelte tilfeller oppstår kompatibilitetsproblemer med elektriske produkter. Når det bygges nytt nett i Norge bygges dette normalt som TN-nett, nettkonfigurasjonen som er mest vanlig i resten av verden, men størstedelen av nettet er fortsatt IT-nett. Det diskuteres stadig om det bør prioriteres å gjøre om hele eller deler av nettet til TN-nett, men en ombygning vil bli kostbart. Energi Norge anslo i 2018 denne kostnaden til 200-300 milliarder NOK, mens Norsk Elektroteknisk komité (NEK) levert et noe lavere anslag hvor de hadde beregnet kostnaden til 18 kNOK per bygg i snitt (bygg inkluderer her også uthus / garasje). Inntil videre ser det derfor ut til at man må løse ladeproblemene forårsaket av IT-nett på andre måter enn ombygning.

Mange elbileiere har på et tidspunkt hatt problemer med lading av elbilen sin. I Elbilisten i 2018, en spørreundersøkelse Elbilforeningen sender ut til sine medlemmer, ble det funnet at hele 10,4 % av elbileiere har opplevd slike problemer. Problemene varierer fra kompatibilitetsproblemer knyttet til det norske IT-nettet, feil i elbil og ladeutstyr, problemer med nettkvaliteten, ulike problemer knyttet til feil i kundens installasjon, og andre ukjente feil. Ofte er det en flytende overgang på om feil er forårsaket av f.eks. bilen eller strømnettet.

I forskningsprosjektet EMC i smarte nett (EMC-nett) har det vært et mål om å dokumentere ulike former for kompatibilitetsproblemer, feilsøke årsaken til disse, og komme med mulige løsninger til problemene samt feilsøkingmetodikk som kan benyttes i andre tilfeller. Dette inkluderer også ladeproblemer, og det er derfor gjort et arbeid med å få en oversikt over ulike former for ladeproblemer, hva som forårsaker disse, og hvordan de kan identifiseres og løses.

Denne rapporten oppsummerer arbeidet gjort med ladeproblemer i EMC-nett. Rapporten gir en oversikt over de ulike observerte ladeproblemene i kapittel 2, mens fordelingen av ulike former for problemer er blitt undersøkt via en spørreundersøkelse som presenteres i kapittel 3. I kapittel 4 adresseres spesielle observasjoner hvor ladeproblemer noen ganger forsvinner av seg selv, kapittel 5 diskuterer strategier for å feilsøke elbilladeproblemer, mens kapittel 6 drøfter mer langsiktige løsninger for å redusere problemmengden. Rapporten avsluttes med en konklusjon i kapittel 7.

Denne rapporten tar ikke for seg kapasitetsutfordringer i lavspentnettet eller installasjoner. Det er gjort mye arbeid på dette temaet, og det henvises til noen av rapportene herfra [1] og [2]. Denne rapporten tar i liten grad for seg spenningskvalitetspåvirkning fra elbilladere, et tema tidligere diskutert f.eks. i [3] og [4].

¹ Statistikk fra <https://elbil.no/elbilstatistikk/elbilbestand/>

² <https://nordic.businessinsider.com/countries-leading-the-adoption-of-electric-vehicles-chart-2018-3?r=US&IR=T>

2 Observerte ladeproblemer

Det er blitt observert flere typer ladeproblemer før og underveis i EMC-nett prosjektet. Dette kapittelet gir en oversikt over de mest vanlige problemene, og ulike detaljer som er blitt observert. Delkapitlene som følger tar for seg de ulike problemene fra mest til minst viktig.

Det er i dette kapittelet ikke diskutert følgende type problemer:

- Feil i hurtigladere
- Manglende kapasitet i den elektriske installasjonen (for mye utstyr på en kurs)
- Manglende kapasitet i borettslag og lignende.
- Manglende kapasitet i nettet som forsyner bygget som ønsker ladestasjon(er)
- Feil bruk av laderen, f.eks. ved å glemme å plugge i lader, at andre drar ut ladekabel, at det er vanskelig å finne ledig plass på offentlige ladeplasser osv.³
- At ladingen stopper når det har vært avbrudd i strømmettet.

2.1 Bilen vil ikke lade ved jordfeil i strømmettet

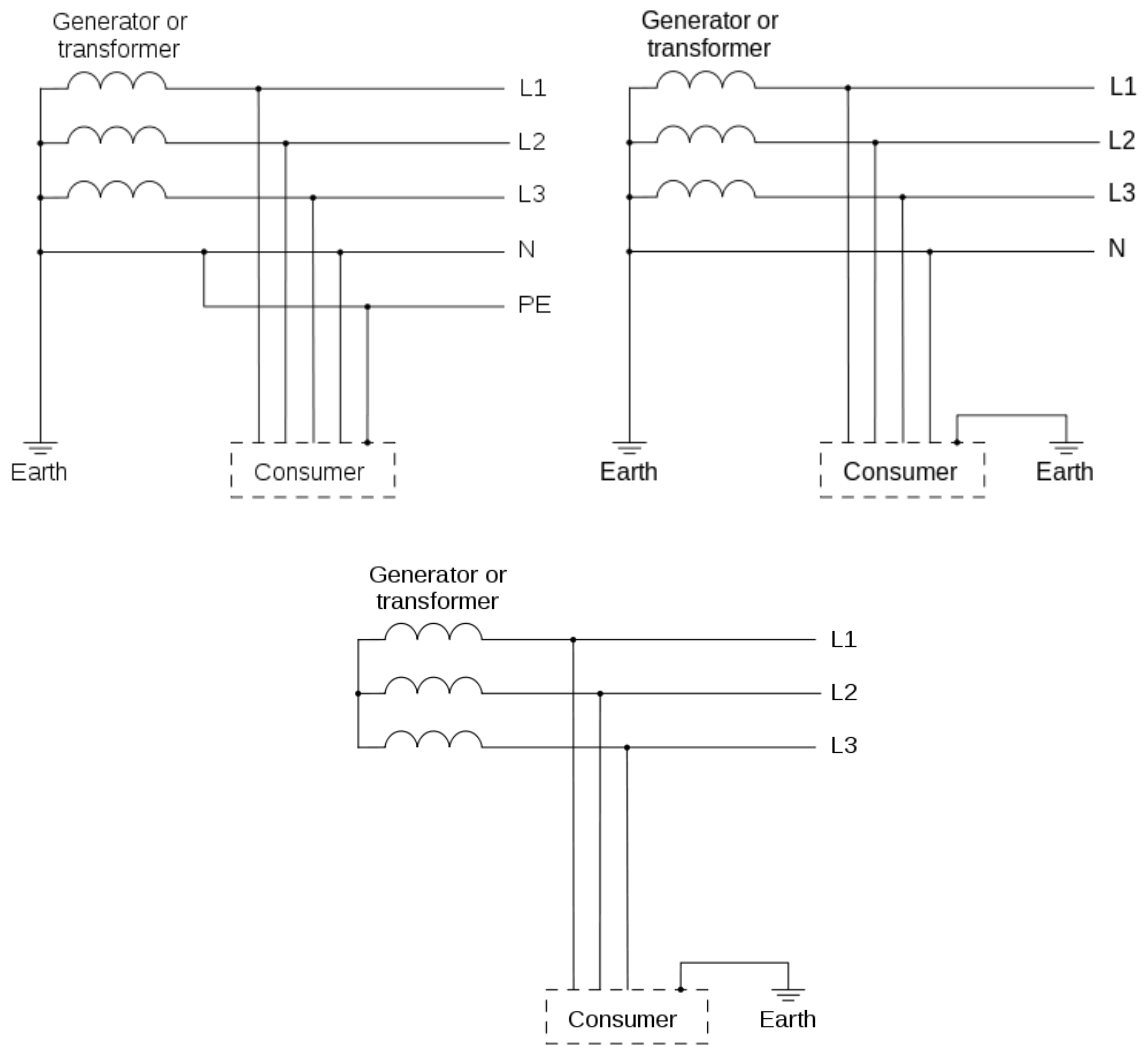
Jordfeil kan påvirke ladesystemet til elbiler, og gjøre at lading ikke vil starte, avbrytes, eller slutter å lade kortvarig. Ladeproblemet ser ut til å være forårsaket av at sikkerhetsfunksjoner i selve ladekabelen / ladestasjonen tolker jordfeilen som en farlig tilstand i strømmettet.

2.1.1 Kort om jordfeil

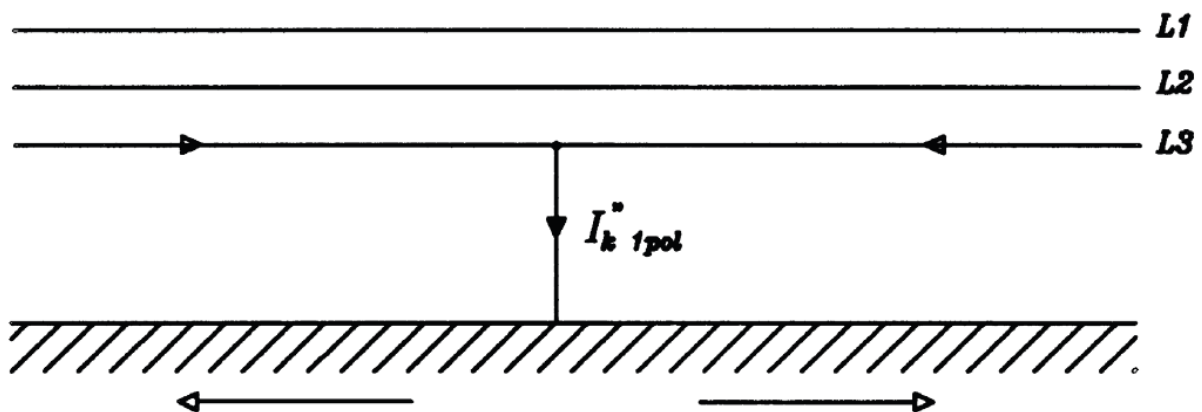
Jordfeil i allmenne forsyningsnett er i utgangspunktet en særnorsk problemstilling. Vi har i Norge et IT-nett⁴, i motsetning til store deler av resten av Europa og verden. I et IT-nett er nullpunktet isolert fra jord, og første feil i nettet vil derfor ikke resultere i høy kortslutningsstrøm / utkobling av tradisjonelle sikringer. Dette gir en forsyningssikkerhetsmessig fordel, fordi nettet kan driftes med høyere oppetid. Nettopp av denne årsaken er IT-nett påkrevd i f.eks. sykehus og gruver hvor høy forsyningssikkerhets er svært kritisk.

³ En slik presisering kan virke unødvendig, men erfaring fra flere undersøkelser viser at noen tolker dette som ladeproblemer.

⁴ Det er noe sprikende statistikk tilgjengelig om hvor stor utbredelse det er, men et sted mellom 70 og 85 % av norske sluttbrukere er forsynt av IT-nett. Resterende kunder er forsynt av TT (mest vanlig i Agderfylkene) eller TN-nett.

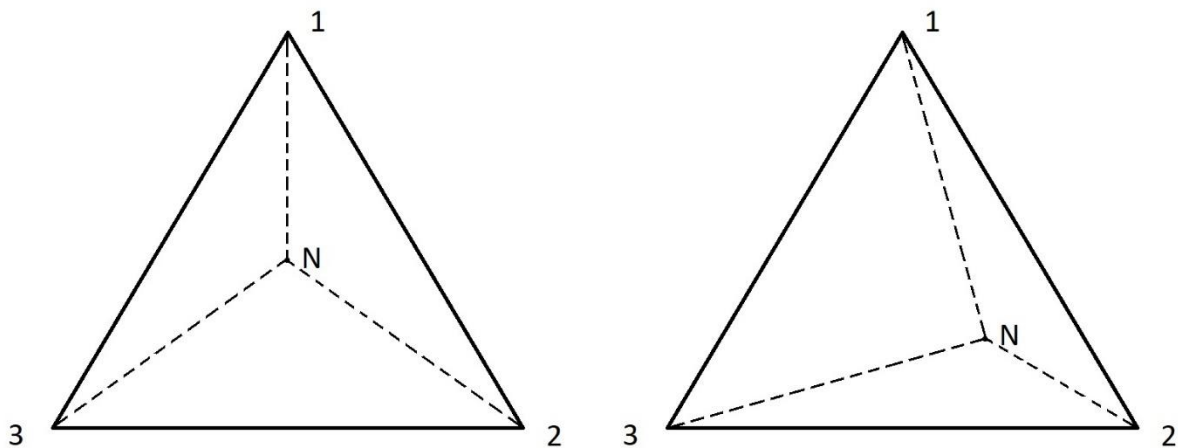


Figur 1: Forskjellen mellom et TN- (ø.v.), TT- (ø.h.), og IT-nett (nede), de vanligste forsyningssystemene i Europa. TN-nettet er et TN-C-S nett, TT-nett kan være med og uten nøytralleder (sistnevnte vanlig i Norge).



Figur 2: Feilstrøm ved første feil i et IT-nett er en ren kapasitiv strøm, normalt liten (i størrelses orden noen 100 mA) [5].

Forskjellen på disse installasjonene og et allment forsyningsnett er imidlertid at i sykehus og gruver er det overvåking av isolasjonsmotstand for å rette slike feil raskt, mens det i forsyningsnettet og tilkoblede installasjoner ofte kan være stående jordfeil som ikke blir rettet. Dette gjelder særlig i gamle forsyningsområder, ettersom det ikke tidligere var krav om jordfeilvern i installasjoner, og det dermed kan være flere jordfeil som ikke detekteres i disse installasjonene. Denne problemstillingen diskuteres inngående i en rapport fra SPESNETT-prosjektet [5]⁵.



Figur 3: Forsyningsspenning i nett med og uten jordfeil. I et friskt nett vil linjespenningene være 230 V og fasespenningene $230 \text{ V} / \sqrt{3}$. I et nett med feil vil fasespenningen på fasen med feil synke mot null (avhengig av overgangsmotstanden på feilstedet). De to andre fasespenningene vil da øke opp mot full linjespenning (230 V).

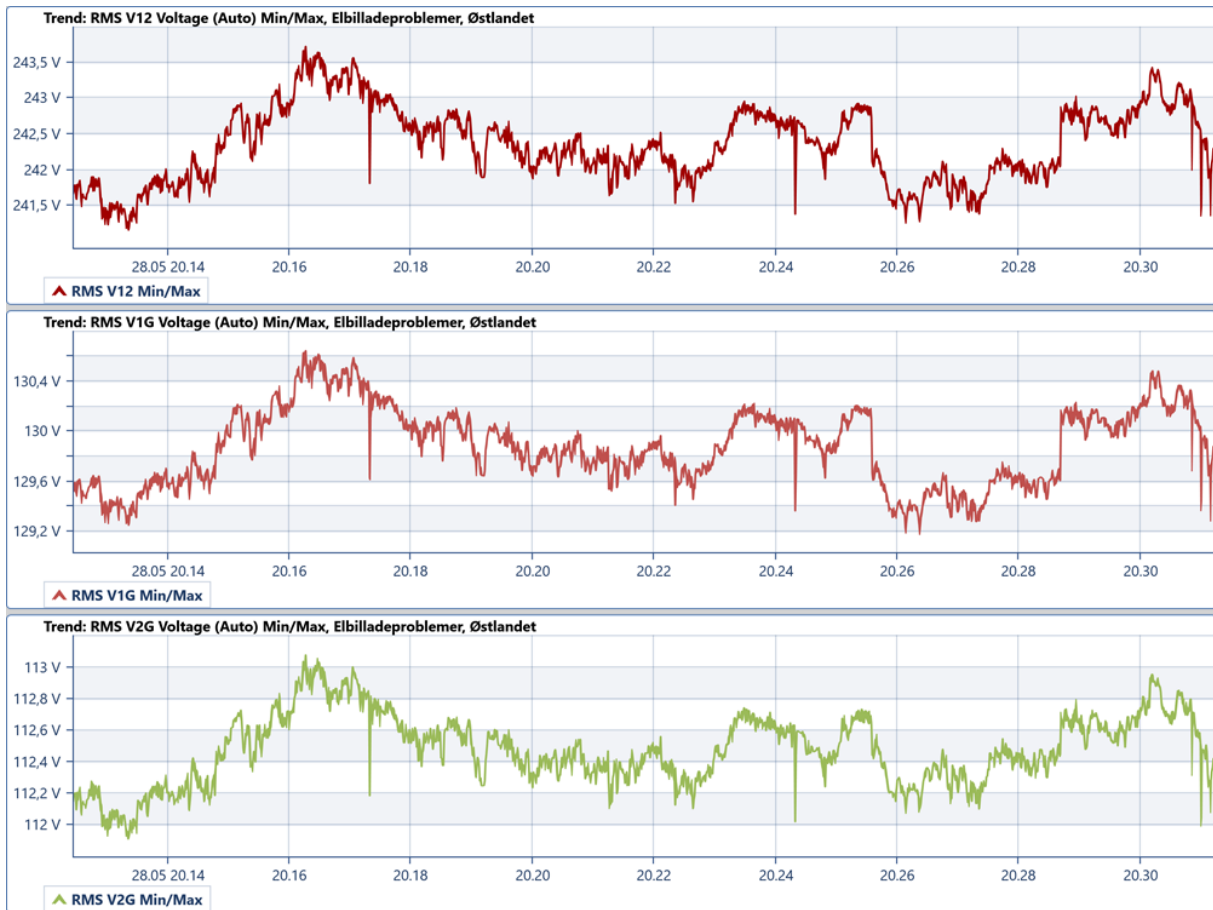
Fordi nettet er designet for å kunne driftes videre ved første feil, er det ikke krav om å rette slike feil før innen fire uker etter at de er funnet. Alt utstyr er forventet å fungere som normalt. Etter hvert som det kommer mer avansert utstyr, som ofte inneholder sofistikerte styrings- og sikkerhetsfunksjoner, er det imidlertid blitt klart at ulikt utstyr ofte produseres for TN-nett (som benyttes av alle andre land i Europa enn Norge og Albania), og noen av disse funksjonene ikke fungerer som tiltenkt i IT-nett. Dette er i utgangspunktet et brudd på EMC-forskriften, som spesifiserer at utstyr skal være designet for å operer i miljøet de er plassert i.

2.1.2 Spesielle typer jordfeil

I praksis har det vist seg at såkalt høyohmige jordfeil kan skape flere problemer for elbilladere enn lavohmige jordfeil.⁶ En høyohmig jordfeil er en jordfeil hvor overgangsmotstanden mot jord er høy; i slike tilfeller vil spenningen på fasen med jordfeil ikke gå helt til null, men variere mellom frisk fasespenning og null avhengig av hvor stor overgangsmotstanden er.

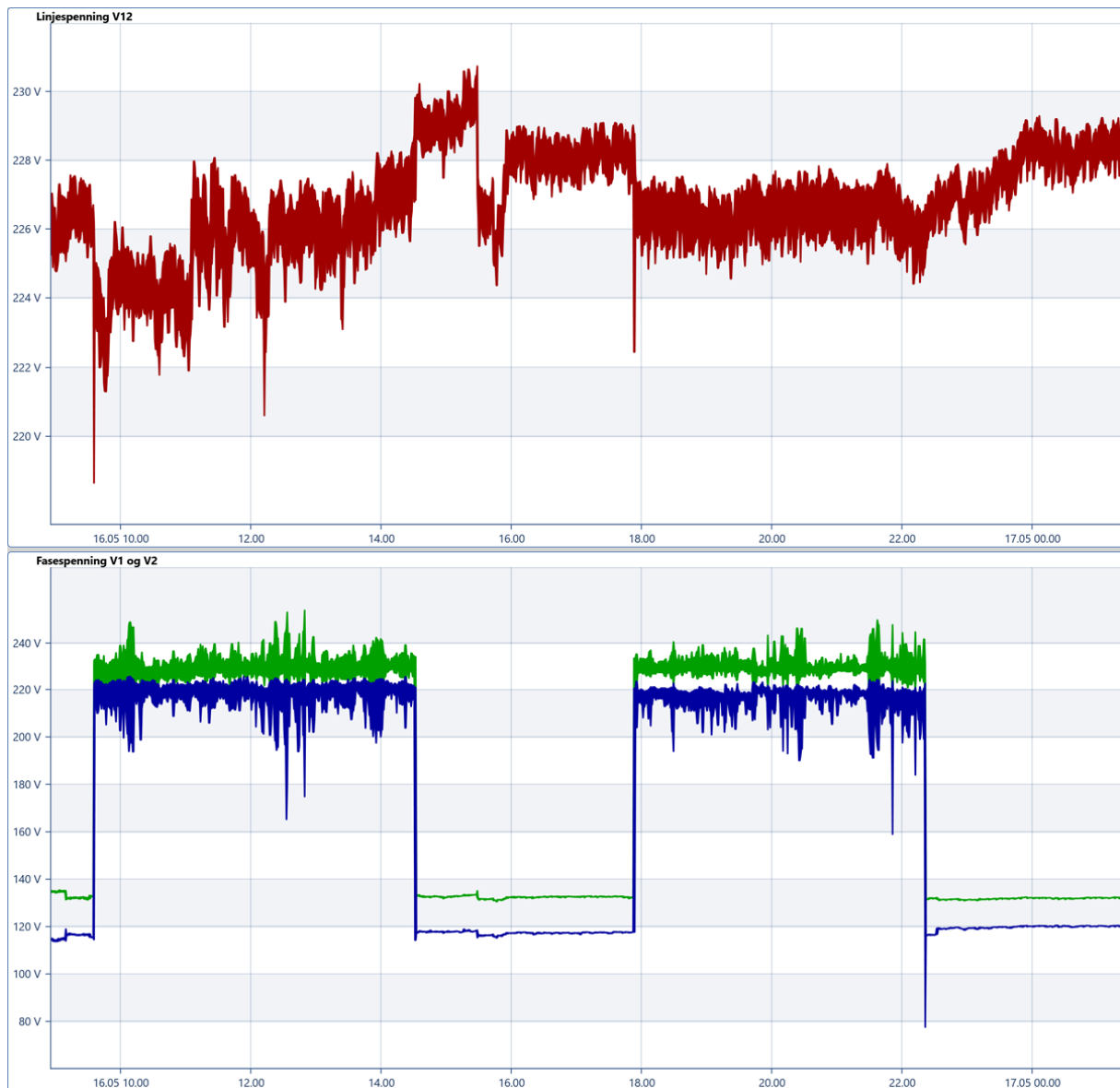
⁵ Rapporten anbefales; ligger åpent på internett.

⁶ En mulig årsak til dette, er at et sett fra et enfase apparat, så vil dette se ut som et TN-nett, hvor den ene fasen er nøytralleder (ca. 0 V og kontakt mot jord), og den andre fasen er en TN-nett faseleder (ca. 230 V og isolert fra jord).



Figur 4: Høyohmig jordfeil. Forventet fasespenning ved 242 V er $242 / \sqrt{3} = 140$ V, mens den her er 112 og 130 V. Målt hos en enfasekunde, jordfeilen lå i naboinstallasjonen.

Den andre typen jordfeil det er greit å være klar over, er intermitterende jordfeil. Dette er jordfeil som «kommer og går», typisk fordi det er jordfeil i et apparat, og jordfeilen derfor bare synes når apparatet er i bruk. Den vanligste typen intermitterende jordfeil er jordfeil i dagslysstyrt belysning, f.eks. gatelamper.



Figur 5: Øverst: RMS linjespenning. Neders: RMS fasespenning. Tydelig intermitterende jordfeil, her var jordfeilen på den ene fasen det ikke ble målt på. Fasespenning i de to andre fasene går opp til full linjespenning på 230 V.

2.1.3 Observerte ladeproblemer

Mange har opplevd at når de ikke har fått lade har det vært en feilmelding i ladekladden (lyser eller blinker rødt, avhengig av design). I disse tilfellene har det blitt observert at problemene forsvinner:

- Av og til av seg selv, i hvert fall midlertidig
- Etter å ha byttet ut et apparat i egen installasjon med jordfeil
- Etter at nettselskapet har rettet jordfeil i nabolaget
- Ved at ladekabelen er blitt byttet til en annen modell (altså ikke bare i en annen kabel av samme type). Dette gjelder blant annet Nissan Leaf, hvor det ble observert at en type kabel ofte gav problemer om det var jordfeil i nettet, men en annen kabel ikke gav problemer (les mer om dette i kap 2.1.4).

- Ved at det kobles til annet utstyr i installasjonen, f.eks. et spenningskvalitetsmåleinstrument som ofte brukes av nettselskapene (mer om dette i kap 4.2).

Det er også observert at selv om én elbil ikke får ladet, så få andre modeller til å lade på samme sted, og at elbilen som ikke får ladet på dette stedet ikke har problemer med å lade andre steder.

Noen av disse ladeproblemene havner (rettmessig) som klagesaker til nettselskapene, som er ansvarlig for å finne jordfeilen.⁷ Normalt ligger denne hos en annen kunde, og nettselskapet vil i så fall pålegge denne kunden å rette jordfeilen.⁸ I noen tilfeller (praksisen avhenger fra nettselskap til nettselskap) stenger nettselskapet kursen til jordfeil til kunden har rettet denne. Dette løser i alle tilfeller ladeproblemer som skyldes jordfeil, med mindre det er flere jordfeil på samme krets. I så fall må disse også rettes.

2.1.4 Årsaken til at jordfeil skaper ladeproblemer

I utgangspunktet merker ikke sluttbrukere at det er jordfeil i nettet. Dette er også årsaken til at det er mange urettede jordfeil ute i norske lavspenningsnett. Jordfeil kan allikevel skape problemer for andre styringssystemer, kontrollsystemer og sikkerhetsfunksjoner fordi:

Noe utstyr benytter fase-jord spenning, og i stedet for å benytte vektorsum av to fasespenninger til å bestemme linjespenning, så ganges fasespenningen med $\sqrt{3}$ for å beregne linjespenning. Ved en jordfeil blir fasespenningen i to av fasene bli lik linjespenning, og kontrollsystemet vil feilaktig tolke dette som at det er en overspenning. Denne feilen kommer altså av at utstyrproducenten har gjort en ugyldig forenkling. Feilen er blant annet observert i solcelle-vekselrettere, men til nå ikke i elbilladesystemer.

I Amerika er det andre standardiseringsorganer som står sterkt enn i Europa. I Europa er det IEC som har lagd standardene som i stor grad brukes for å få oppfylt kravene til CE-merking. I Amerika har IEEE og UL tradisjonelt stått sterkere. Ettersom USA, Canada og Mexico har andre forsyningssystemer enn det som er vanlig i Europa, er det også forskjeller i den elektrotekniske standardiseringen. Et eksempel på dette er at standarden UL 2231-1 krever bruk av en såkalt GMI (ground monitor interrupter) for å kontrollere at elbilen har kontakt til jord i installasjonen gjennom ladekabelen og tilkobling i sikringskapet. Avhengig av implementasjonen av denne, kan denne tolke en jordfeil som en feil i nettet. Mer om dette i kap 4.2.

Enkelte asymmetriske overspenningsvern tilpasset TN-nett fungerer ikke helt som tiltenkt i et IT-nett, siden det her er to faseledere heller enn en faseleder og en nøytralleder. I noen tilfeller kan det derfor fungere å snu stikkkontakten 180 grader og sette den inn igjen.⁹ Det er også observert at for noen hvitevarer kan det ved jordfeil i nettet løse problemet å snu støpselet 180 grader. Å fjerne en utjevningssleder internt i produktene løste også problemet, av ukjent årsak.¹⁰ Det er også mulig at enkelte EMC-filtre kan ha et design som gjør at de ikke alltid fungerer som tiltenkt i IT-nett.

⁷ Et viktig begrep i denne sammenhengen er utbedringsplikt. Nettselskapet er pliktig til å utrede årsaken til problemer kunden har med forsyningsspenningen, men nettselskapet er ikke nødvendigvis utbedringspliktig. I mange tilfeller er det en annen part som forårsaker problemene som blir utbedringspliktig, f.eks. når denne har en jordfeil i egen installasjon. De aller fleste jordfeil ligger i tilknyttede installasjoner, og ikke i nettet.

⁸ I praksis faller denne rollen til det lokale Eltilsyn, DLE, som er en del av nettselskapet.

⁹ Håndtering av utfordrende elektriske apparater som tilknyttes elektrisitetsnettet, H. Seljeseth et al, 2012.

¹⁰ Glitre Energi / Hvitevareservice i Drammen.

Andre ukjente fenomener kan også være med på å gjøre at kontroll og sikkerhetsfunksjoner ikke fungerer som tiltenkt i IT-nett, uten at de er kjent for forfatterne på dette tidspunktet.

2.1.5 Nettselskapets rolle i å rette jordfeil

En utfordring for nettselskap ved retting av jordfeil, er at høyohmige jordfeil kan være både vanskelige å påvise og å rette. I utgangspunktet faller slike jordfeil ofte utenfor grenseverdiene for varslingsgrense fastsatt av REN i REN-blad 6025. Varselgrensene for jordfeil er her at fasespenningene er utenfor 90-170 V. Årsaken til at det velges et så stort bånd er:

- Linjespenningen kan variere med $230 \text{ V} \pm 10 \%$, som for fasespenningene tilsvarer 120-146 V
- Skjevkapasitans og usymmetri kan forårsake stor variasjon i fasespenninger, uten at det er jordfeil i nettet. Simuleringer viser at for et vanlig lavspenningsnett kan en liten skjevkapasitans på 100 nF forårsake 5 V forskjell på fasespenningene.

I praksis betyr dette at fasespenningsvariasjon vil avdekke noen jordfeil, men at det ikke kan konkluderes at det er eller ikke er jordfeil basert på disse. For mer informasjon om hvordan høyohmige jordfeil påvirker fasespenninger, se vedlegg A.

2.1.6 Nye strømmålere (AMS) og jordfeil

De nye strømmålerne som ruller ut innen 1.1.2019 vil ha innebygget jordfeildeteksjon basert på strømmåling. Som nevnt i kap 2.1.1 fører jordfeil til at det går en liten kapasitiv feilstrøm, som kan detekteres ved å måle om summen av strømmene inn til en gitt kunde er null. Er den ikke det, kan dette bety at det enten er en stor kapasitiv last hos kunden, eller at det er en jordfeil bak målepunktet. Om jordfeil ligger et annet sted i nettet, vil dette ikke detekteres i sumstrømstrafoene eller andre målemetoder som benytter strøm. Dette er i motsetning basert på spenningsmåling, som vil vise at det er en jordfeil uansett hvor i nettet denne befinner seg. Kombinasjonen av disse to målemetodene, ved å ha en spenningsbasert deteksjon i nettstasjonen, og strømbasert deteksjon hos kundene, skal kunne gi både deteksjon og lokalisering av jordfeil, som diskutert i [5].

Implementasjonen av jordfeildeteksjonen i AMS varierer mellom produsentene, men en vanlig deteksjonsmetode er å benytte en såkalt sumstrømstrafo, hvor induert spenning fra de ulike fasene kansellerer hverandre, og er null så lenge ikke det går en feilstrøm via jord. En må likevel bestemme hvilke grenser som skal benyttes for varslingsgrense¹¹; for strenge grenser vil gi mange falske positive forårsaket av kundens last og raske variasjoner, mens for vide grenser vil føre til at enkelte jordfeil går udetektert.

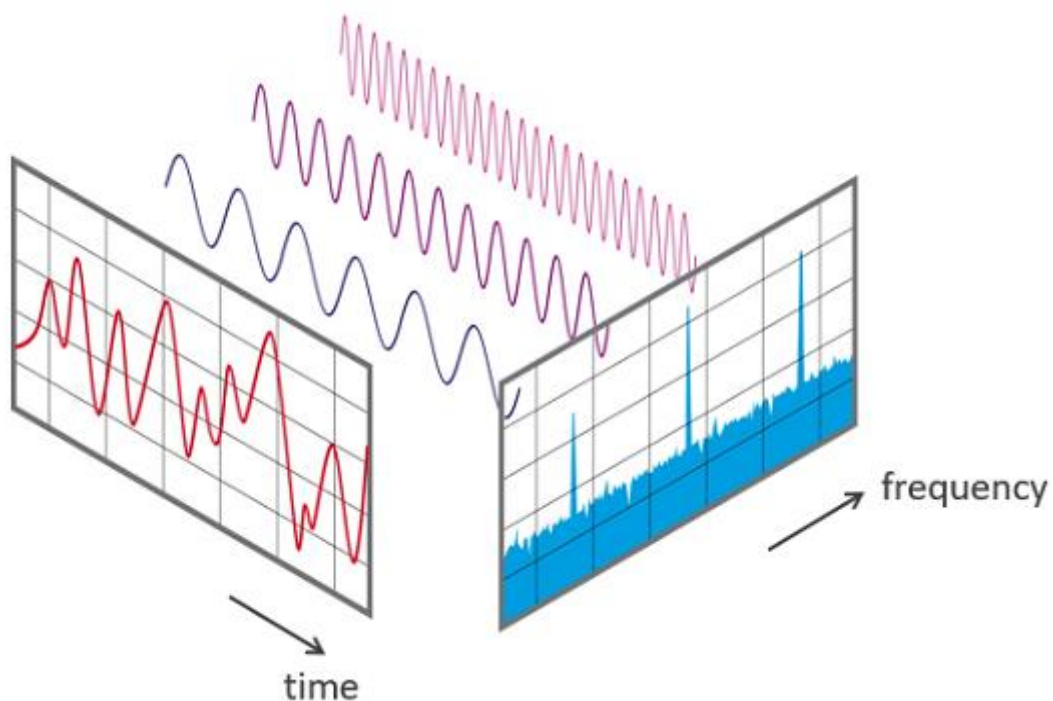
Etter at AMS er utrullet må backoffice systemer for å håndtere disse dataene og varslene fra målerne implementeres (inkludert fastsetting av grenser for feil). Etter at dette er tatt i bruk, vil dette sannsynligvis forbedre forholdene i norske lavspenningsnett mtp. jordfeil betydelig, men det vil sannsynligvis ta tid både før denne funksjonaliteten er fullstendig operativ, og at nettselskapene rekker å rette de påviste jordfeilene.

¹¹ I dag benyttes ofte 30 mA for enkeltkurser, og 300 mA for hele installasjoner. En grense på 300 mA vil i mange tilfeller gjøre at jordfeil ikke detekteres.

2.2 Ladeproblemer forårsaket av overharmonisk støy

2.2.1 Kort om overharmonisk støy

Ved tilkobling av ulineære belastninger til strømmettet, så vil spennings kurveform avvike fra ren sinus. Desto større eller flere ulineære laster, desto større blir avviket. Ved å benytte en FFT-analyse, kan en separere spennings kurveform i flere ulike signaler, med frekvens lik et heltall ganget med grunnfrekvensen på 50 Hz. Disse frekvenskomponentene kalles for overharmoniske spenninger.



Figur 6: FFT-analyse av spenningsignal, med ulike komponenter i frekvensplanet.

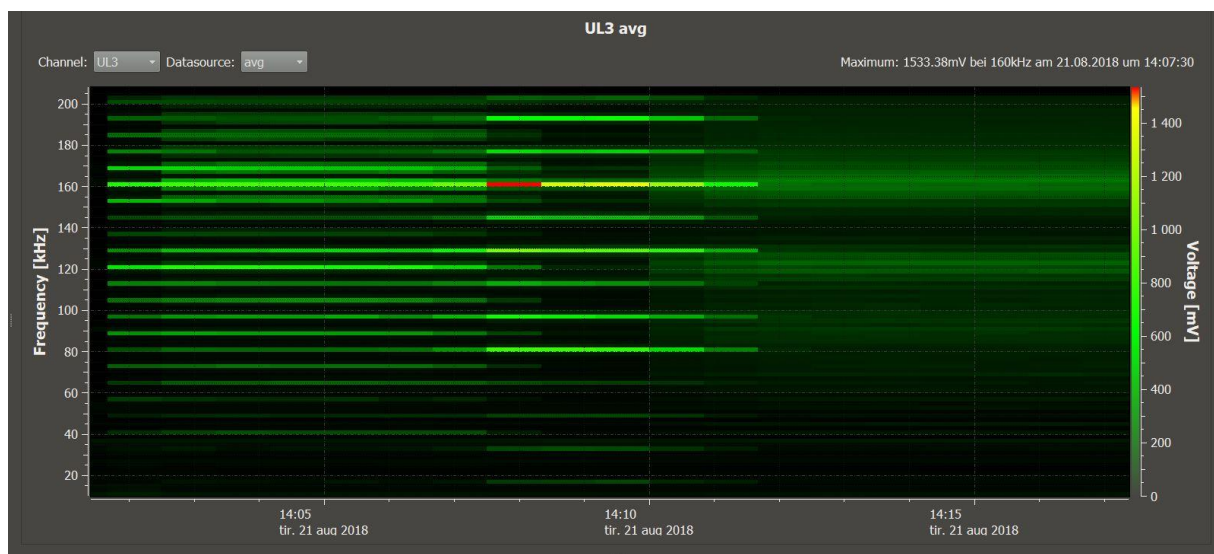
Om avviket på spennings kurveform blir for stort, vil dette kunne påvirke funksjonsmåten til andre apparater i nettet, f.eks. elbilladere. Det stilles derfor krav til hvor store disse overharmoniske spenningene får lov til å være i Forskrift om Leveringskvalitet (FoL). I tillegg stilles det også krav til hvor stor ulineær belastning ulikt utstyr får lov til å forårsake, og hvor mye harmonisk støy utstyret skal bli utsatt for uten at det feilfungerer via standarder utstyr må tilfredsstille for å bli CE-merket / kan omsettes i det europeiske markedet.

2.2.2 Kort om supraharmonisk støy

Etter at bruk av kraftelektronikk har blitt mer vanlig i elektrisk utstyr har dette medført endret påvirkning på spenningskvaliteten i strømmettet. Ny kraftelektronikk med spenningsstyrte brytere vil ofte forårsake overharmoniske spenninger med samme frekvens som bryterne av og på frekvens, kalt

svitsjefrekvensen.¹² Denne vil ofte være i størrelsesorden 2-20 kHz, avhengig av type og størrelse på utstyret, men kan også være høyere.

Det har tidligere vært stilt få krav til overharmoniske spenninger med frekvenser mellom 2 og 150 kHz, ettersom det var tidligere var få støykilder ved disse frekvensene, og det er vanskelig å både måle og analysere ledningsbundet støy ved disse frekvensene. Etter hvert som utstyr med svitsjede strømforsyninger og annen bruk av kraftelektronikk ble mer vanlig, er det blitt rapportert mer problemer med elektromagnetisk interferens forårsaket av støy ved denne frekvensen. Det er derfor blitt brukt ressurser på å studere støy med disse frekvensene, etter hvert kalt supraharmoniske spenninger, og å sette grenser både for tillatte støynivåer, og emisjon og immunitet til utstyr.



Figur 7: Spektrogram over målt støy med frekvens mellom 9 og 170 kHz. Tid på X-akse, frekvensbånd på Y-akse, og størrelse på støynivå angitt i farger (se akse til venstre). Her skaper en frekvensomformer støy ved ulike frekvenser når svitsjefrekvens er stilt til 8 kHz (t.v. i figuren), 16 kHz (i midten, høyest nivå), og 4 kHz (t.h., lavest nivå). Dette skapte interferens ved nivåene som oppstod ved svitsjefrekvens på 8 og 16 kHz.

2.2.3 Støy fra ladesystemet skaper interferens med annet elektrisk utstyr

Flere har rapportert om observasjoner som at «LED-lysene på kjøkkenet blinker når jeg lader elbilen¹³», eller andre diffuse og merkelige problemer. Årsaken til disse ser ut til å være støy generert av elbilens ladesystem, eller nærmere bestemt likeretterene som operer med en svitsjefrekvens som for elbiler normalt ligger i størrelsesorden 5-20 kHz.

Hvor mye støy et gitt ladesystem varierer mye. En tysk studie [6] viste at den genererte støyen fra seks forskjellige elbil-modeller varierte fra 8 mA, til 1,8 A. Andre studier [7] og [8] viser også at hvor mye støy elbilen forårsaker avhenger ikke bare av valg i design av ladestasjonen, men også av hva

¹² Og for heltall ganget med denne frekvensen. F.eks. 2 ganget med svitsjefrekvensen, 3 ganget med svitsjefrekvensen, osv.

¹³ Et interessant tilfelle, ettersom to like modeller ladet i samme garasje, og bare den ene forårsaket dette problemet.

slags bakgrunnsstøy som finnes i nettet fra før, og nettets frekvensavhengige impedans. Tilfeller med at en elbil forårsaker interferens kan derfor virke tilfeldige. En elbil kan skape problemer et sted, men ikke et annet, og motsatt for en annen modell.

Selv om elbiler normalt lager lite støy på klassiske overharmoniske frekvenser, så er det også observert økte støynivåer ved disse også. Dette gjelder spesielt om det er mange elbiler i samme område. I et case medførte lading av en VW e-Golf i et sterkt kabelnett en økning i 9. harmonisk spenning fra 0,293 % til 1,66 % (og dermed forskriftsbrudd).

Det er ellers gjort mye arbeid fra ulike parter for å beskrive ulike ladesystemers påvirkning på andre spenningskvalitetsparametere (flimmer, spenningsstrang, THD, osv.), f.eks. [3] og [4]. Sistnevnte viste at det er stor forskjell i påvirkning fra de ulike ladesystemene, og at noen designvalg slår uheldig ut for spenningskvaliteten i nettområdet.

2.2.4 Støy fra nettet skaper interferens i elbilens ladesystem

Akkurat som elbilen kan skape interferens, kan også andre apparater og støy fra nettet forårsake ladeproblemer. En ladesystemleverandør fortalte at det hendte de måtte installere EMC-filtre på forsyningen til ladestasjonene sine, for å løse støyproblemer. Blant annet er en elbilmodell svært sensitiv for 15. harmoniske. Dette er et problem som kan være mer utbredt i TN-nett enn i IT-nett, ettersom noen typer støy summeres opp i nøytralleder (f.eks. triple harmoniske), og fører til høye støynivåer på denne.

Det er tidligere også observert at PLC-kommunikasjon kan forstyrre ladingen til elbiler. Et eksempel på dette ble registrert hos Stange Energiverk, da PLC-kommunikasjon fra AMS-målerne førte til avbrutt lading for en Tesla Model S. Dette er en generell problemstilling for kraftelektronisk utstyr, som for øvrig også kan skape problemer med selve PLC-kommunikasjonen, ettersom utstyret kan føre til høyere støynivå, som gjør at signalet drukner, eller fordi signalet filtreres bort av utstyret. Dette gjelder også for supraharmatisk støy (dette har omtrent samme frekvens som PLC, men er ikke tilsiktet).

2.3 Sikringen på kursen til elbilen går, selv om det er lite last på kursen

Flere kunder oppgir at sikringen løser ut på dedikerte hjemmeladebokskurser, uten at elbilen er tilkoblet ladestasjonen. Dette er et problem beskrevet i spørreundersøkelser, men som det ikke har vært ledig ressurser til å undersøke nærmere.

2.4 For lav spenning i nettet

Dette problemet henger nært sammen med kapasitetsproblemer i nettet. I tunglast vil nett med høy forsyningsimpedans få et stort spenningsfall; om forsyningsimpedansen eller lasten er høy nok resulterer dette i at spenningen hos sluttbrukerne blir for lav. Dette er et typisk problem for kunder som ligger langt unna nettstasjonen som forsyner området (lange ledningsstrekk gjør at den totale

forsyningsimpedansen blir høy), som gjerne blir ekstra tydelig når det er høy belastning på nettet på vinterstid.

2.5 Fysiske feil i kundens elektriske installasjon, og defekt i ladesystem, hjemmeladeboks eller ladekabel

2.5.1 Feil i kundens installasjon

Flere organisasjoner¹⁴ har uttrykt at det er uønskelig med elbillading via vanlig schukokontakt. Spørreundersøkelser viser at mange ikke har foretatt kontroll av de elektriske anleggene sine på flere tiår, og disse anleggene var heller aldri dimensjonert for høy kontinuerlig belastning. Flere som lader med schukokontakt følger heller ikke dagens krav, som krever at det ikke skal være annen belastning på kursen og at den skal være beskyttet av et type B jordfeilvern. Det har vært rapporter om svidde uttak og andre anleggsrelaterte problemer, som viser at elk kontroll og å investere i en hjemmeladeboks kan være gode tiltak.

5.2.2 Feil i ladekabler eller ladestasjoner

Ofte når det er en alarm i ladekladden på en ladekabel, og dette løses ved å bytte ut kablen, betyr ikke dette at det er noe feil med kablen. Det kan heller bety at den nye kablen har andre (eller mangler) sikkerhetsfunksjoner, som ikke slår ut på de samme forholdene i nettet / installasjonen som den forrige kablen. Det kan imidlertid også være fordi det er en fysisk defekt i kablen, enten i tilkoblingspunktene eller selve kablen. Dette løses i så fall også ved å bytte ut selve kablen, ofte som en garantisak.

Feil i ladestasjoner, enten tilkoblingspunkter (flere kunder har meldt om at låsemekanismene ikke har fungert skikkelig), montering, eller produksjonsfeil kan føre til ulike problemer med ladestasjonen. Akkurat som for ladekablen kan feil i ladestasjonen også være forårsaket av forhold i nettet, som kun gir en alarm i ladestasjonen.

2.5.3 Feil i selve elbilen eller ladesystemet til elbilen

Ladeproblemer kan være forårsaket av fysiske defekter i selve bilen, f.eks. i bilens batteri, interne elektriske anlegg, og on board-laderen. Dette vil være feil som kan ha kommet fra produksjon, skader og kollisjoner, eller fra lynnedslag eller andre nettkvalitetsrelaterte fenomener som har skadet bilen under lading. Disse må rettes ved verksted.

¹⁴ DSB: <https://www.dsb.no/lover/elektriske-anlegg-og-elektrisk-utstyr/tema/elbil---lading-og-sikkerhet/#etablering-av-ladepunkter> Elbilforeningen: <https://elbil.no/kontaktene-man-bruker-med-elbil/>

2.5.4 Softwarefeil i elbilen

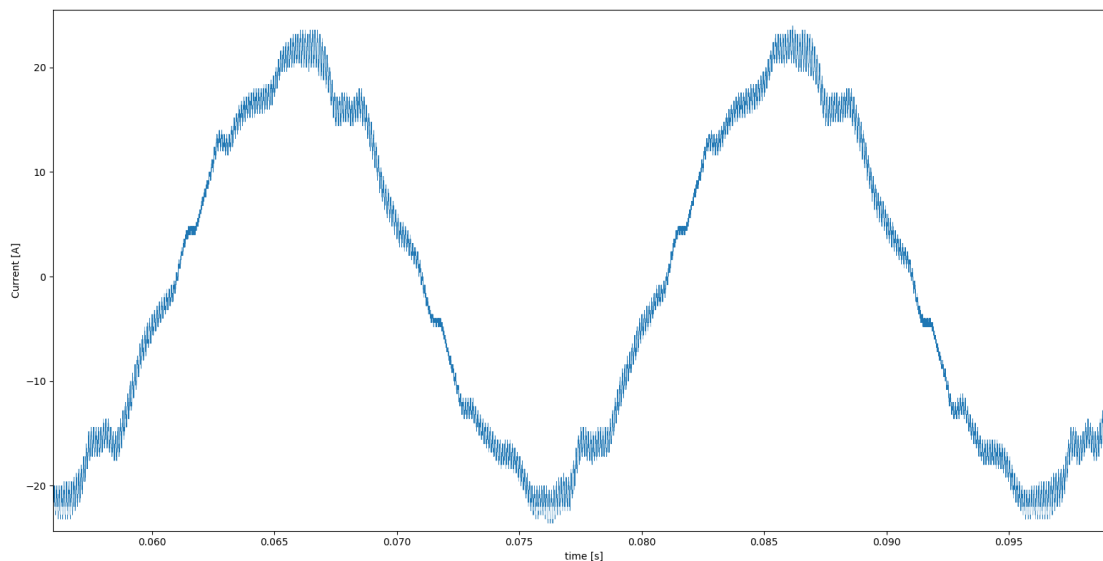
Etter hvert som bilen inneholder stadig mer intelligens, øker også sannsynligheten for softwareproblemer. Erfaringsmessig er dette en ganske vanlig type feil, hvor f.eks. timer funksjoner ikke fungerer som tiltenkt og stopper ladingen for tidlig. Disse rettes normalt ved softwareoppdateringer hos forhandler.

2.6 Akustisk støy i elektriske apparater når elbilen lader

I enkelte tilfeller kan en høre ulike lyder fra elektriske apparater. Et kjent eksempel er 100 Hz summingen en kan høre fra trafoer, forårsaket av magnetostriksjon. Magnetostriksjon er fenomenet hvor metall utvider seg i takt med påtrykt magnetfelt. Siden magnetfeltet i en trafokjerne endres 50 ganger i positiv og negativ retning per sekund, vil metallet utvide seg og trekke seg sammen 100 ganger per sekund. Disse vibrasjonene forplanter seg så som lyd.

Et tilsvarende fenomen, elektrostriksjon forårsaker lyder blant annet i kondensatorer. I dette tilfelle er mekanismene lignende; høyfrekvente strømmer som flyter til jord via filterkondensatorer forårsaker vibrasjoner med samme frekvens som den høyfrekvente strømmen. Om kapasitansen er høy og det er et apparat som forårsaker høye høyfrekvente strømmer, vil en kunne høre dette som piping i apparatene. Det menneskelige øret kan høre opp til ca. 16 kHz, som betyr at strømmer med frekvens opp hit vil kunne forårsake pipelyder. Størrelsene på lyden avhenger av designet på de aktuelle apparatene og hvor mye høyfrekvent strøm som mates inn.

Hvor mye høyfrekvent strøm som mates inn fra utstyr med kraftelektronikk avhenger av valg av svitsjefrekvens, design, filtrering, osv. Elbilen som genererer høyeste støynivåer og har en svitsjefrekvens under 16 kHz, er Renault Zoe. Den tyske studien i [6] viser at forventet støy fra denne er i overkant av 1 A ved svitsjefrekvensen på 10 kHz. Flere kunder har klaget på forum på nett om at det begynner å pipe ikke bare i elbilen og ladestasjonen ved lading av Zoe, men også i lys, hvitevarer og andre elektriske produkter i huset. Det har også vært (minst) et tilfelle av dette i Norge, hvor strømtrekket til en Zoe ble målt, som vist i figur 8.



Figur 8: Kurveform ved 16 A lading av en Renault Zoe. Amplituden på 10 kHz komponenten er i overkant av 1 A.

I dette tilfellet ble det forsøkt å installere både generiske EMC-filtre og et linjefilter beregnet for motordrifter på kursen til ladestasjonen, for å forhindre at høyfrekvente strømmer fra elbilen forplantet seg til andre apparater. De generiske EMC-filtrene hadde ikke god nok demping ved 10 kHz, og hjalp derfor lite. Linjefilteret reduserte støynivåene i huset, men støynivåene økte ved ladestasjonen. Årsaken til sistnevnte er at generert støy avhenger også av nettimpedansen, som økes ved bruk av linjefilter. Filterdesignet kunne sannsynligvis vært bedre tilpasset akkurat denne applikasjonen, det er oppnådd bedre resultater med andre filter i utlandet.¹⁵

¹⁵ Enerdoor har levert filter til britiske Zoe-eiere, som har redusert støynivåene mer enn det benyttede filteret her gjorde.

3 Resultater fra spørreundersøkelse om ladeproblemer

3.1 Bakgrunn for undersøkelsen / observerte problemer

På bakgrunn av de observerte problemene beskrevet i kapittel 2, ble det i prosjektet besluttet å gjennomføre en spørreundersøkelse som skulle kartlegge hvor vanlige ulike typer ladeproblemer var. Dette ble gjennomført i to omganger:

- Først ble det inkludert et spørsmål i Elbilforeningens årlige spørreundersøkelse, Elbilisten, om respondenten hadde opplevd ladeproblemer.
- Respondentene ble også spurt om de var villige til å delta i en oppfølgingsundersøkelse, som ble sendt ut en måned senere. Denne inneholdt flere og mer detaljerte spørsmål om ladeproblemene respondenten hadde hatt.

3.2 Elbilisten 2018

Spørreundersøkelsen Elbilisten sendes ut til alle Elbilforeningens medlemmer, og spør om ulike sider av det å være elbileier. 9520 av medlemmene svarte på spørreundersøkelsen. 2018 utgaven inkluderte følgende spørsmål, og svarprosjenter av antall respondenter i parentes:

Har du hatt ladeproblemer?

- Ja **(10,4 %)**
- Nei **(89,6 %)**

De som svarte ja på dette spørsmålet ble stilt oppfølgingsspørsmålet: Hva var problemet?

- Bilen ville ikke lade **(4,8 %)**
- Sikringen gikk **(2,8 %)**
- Svidd kontakt **(0,47 %)**
- Annet (med mulighet for fritekstsvar) **(2,3 %)**

Respondentene som hadde oppgitt «Bilen vil ikke lade» og «Annet» som problemårsak, ble invitert til å bli med på oppfølgingsundersøkelsen om ladeproblemer. Av disse 678 respondentene takket 264 ja til å bli med på oppfølgingsundersøkelsen (tilsvarende en oppslutning på 39 %).

Bakgrunnen for at ikke alle deltagerne ble invitert på oppfølgingsundersøkelsen, er at mange respondenter oppgir uvesentlige årsaker som ladeproblemer, f.eks. at sikringen går når det henger mye annen last på samme kurs. Både feil bruk, og feil i kundens elektriske installasjon ble sett på som mindre interessante for denne undersøkelsen.

3.3 Spørsmål i oppfølgingsundersøkelse om ladeproblemer

Følgende spørsmål ble stilt i oppfølgingsundersøkelsen:

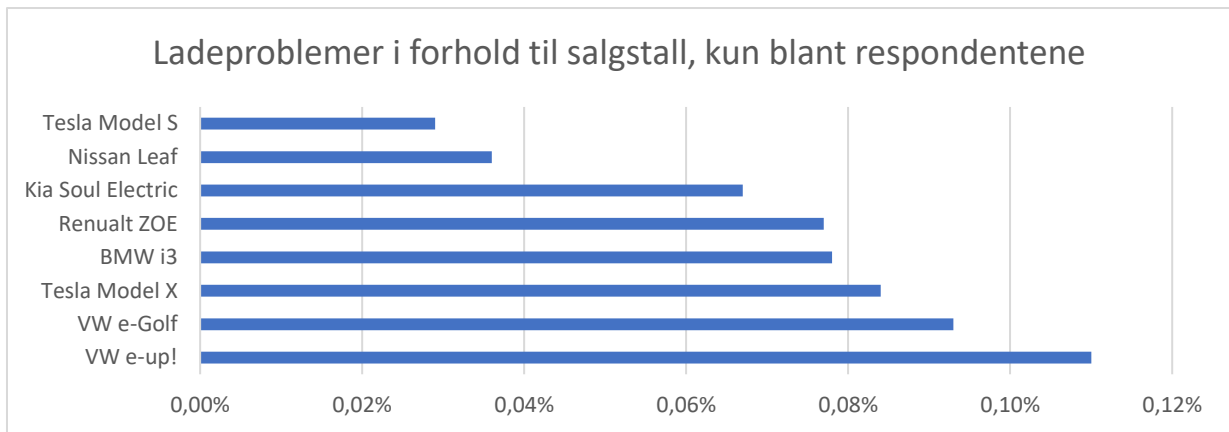
1. Hvordan lader du der du hadde ladeproblemer?

- Stikkontakt
- Hjemmeladerboks
- 2. Hvilken elbil har du?
- 3. Hva slags strømnett er det der du hadde problemer?
 - IT-nett
 - TN-nett
 - Vet ikke
- 4. Hvor var feilen / hva var årsaken til feilen?
 - Bilen
 - Bilen
 - Ladekabel
 - Interferens mellom elbilen og andre apparater
 - Anlegget
 - Feil i det elektriske anlegget
 - For dårlig kapasitet
 - Stjålet skjøteledning eller andre praktiske problemer
 - Strømnettet
 - Jordfeil
 - Lav spenning
 - Avbrudd
 - Vet ikke
 - Alarm eller feil i ladekabel (hører delvis hjemme under Bilen også)
 - Alarm eller feil i ladestasjon (hører delvis hjemme under Bilen også)
 - Renault ZOE i IT-nett (hører delvis hjemme under Bilen også)
 - Annet
 - Ukjent årsak
 - Annet (vennligst spesifiser)
- 5. Kan du kort beskrive hva som var feil?
- 6. Ble problemet løst?
- 7. Dersom det ble løst, kan du si hvordan du løste problemet (ev. hvem)?
- 8. Ønsker du å delta på videre undersøkelser?

3.4 Elbilmodellene med flest ladeproblemer

Det er undersøkt om det er enkelte modeller som er mer representert i ladeproblemstatistikken enn andre. For å undersøke dette, ble antall respondenter som meldte om ladeproblemer med en gitt modell, sammenlignet med salgstallene for den samme modellen.¹⁶ Disse resultatene er vist i Figur 9. For å få en viss statistisk signifikans, ble alle elbilmodeller som hadde færre enn 5 respondenter fjernet fra denne delen av statistikken. Gjenværende elbiler er de 8 mest solgte modellene i Norge.

¹⁶ Statistikk fra <https://elbil.no/elbilstatistikk/elbilbestand/>



Figur 9: Hvor hyppig en elbilmodell er representert i ladeproblematikken, sammenlignet med salgstall.

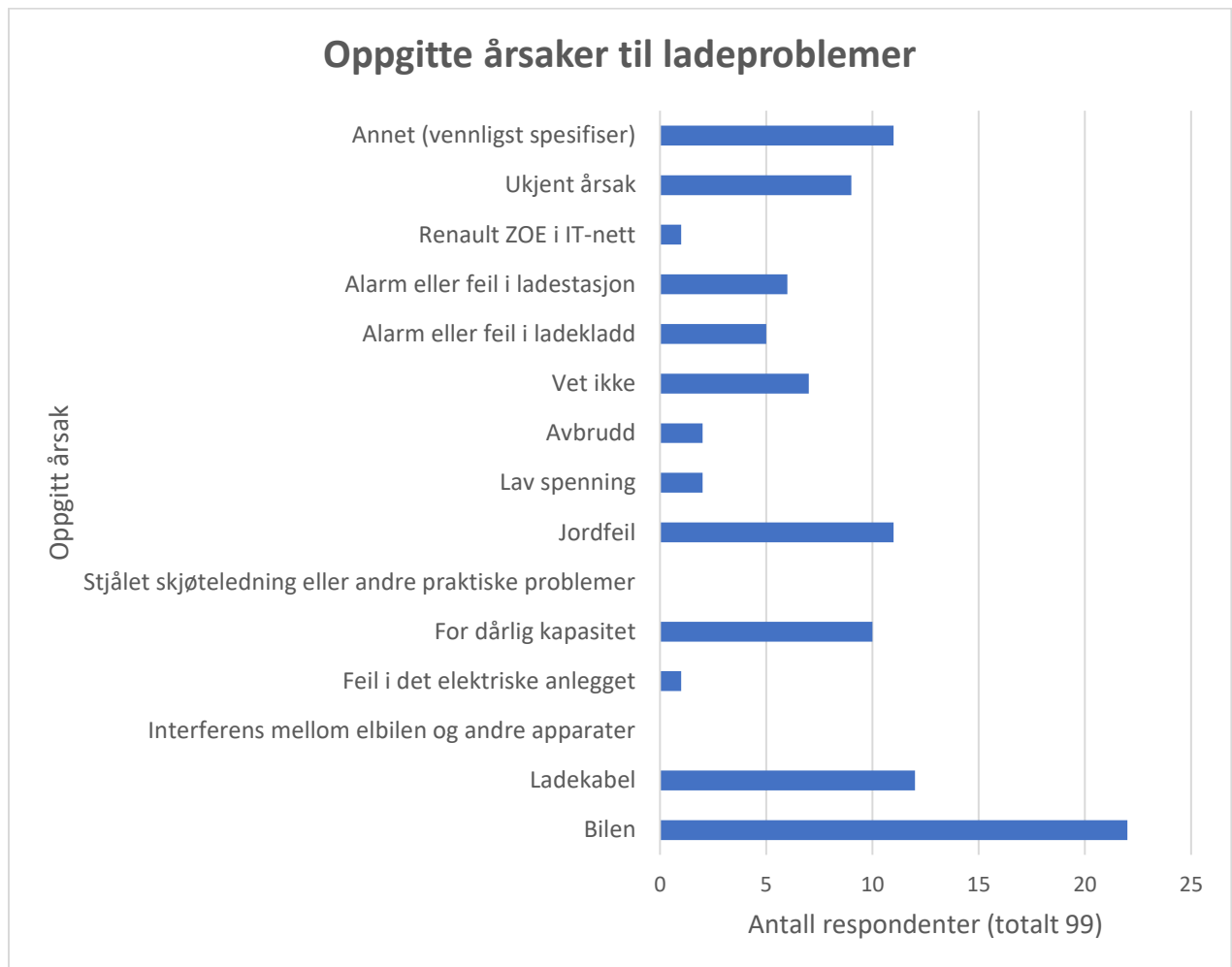
Merk at denne tabellen ikke viser hvor mange av de solgte modellene som får ladeproblemer (dette tallet ville vært flere ganger så høyt, siden det er mange elbileiere som ikke har svart på denne undersøkelsen). Men tabellen gir en indikasjon over hvor vanlig ladeproblemer er for en gitt modell, sammenlignet med andre modeller.

Av modellene utpeker Volkswagen seg som den produsenten som har mest ladeproblemer. Spesielt negativt er det også respondentene rapporterte at 59 % av ladeproblemene med e-Golf og e-Up! ikke var blitt løst; snittet for uløste problemer i resten av undersøkelsen var på 20 %.

Figuren viser også at nye modeller har mer problemer enn de gamle (Nissan Leaf og Tesla Model S). Et annet moment er at BMW og VW modellene benytter CCS ladestandarden, mens de resterende benytter Type 1 eller Type 2 kontakt¹⁷. Dette kan også ha en betydning for disse merkenes høye representasjon i ladeproblematikken.

¹⁷ Tesla har sin egen variant av Type 2 kontakten.

3.5 Vanligste årsak til ladeproblemer



Fordelt på de fire hoveddomenene, er årsaken til ladeproblemer grovt sett som følger:

Hvilket domene er feilen?	Andel
Bilen	34 %
El.-anlegget	11 %
Strømnettet ¹⁸	35 %
Annet / ukjent	20 %

Her er det i forkant av undersøkelsen forsøkt å luke ut deler av kundeandelen som hadde hatt problemer med elanlegget, selv om det disse allikevel neppe ville ført til noen stor endring i fordelingen ettersom dette var en liten prosentandel av totalen.

Det er selve bilen og strømnettet som peker seg ut som de to hoveddomenene som forårsaker flest problemer. Av de ladeproblemene som har sin bakgrunn i strømnettet, er en vesentlig andel

¹⁸ 12 % av feilene er pga. alarm eller feil i ladekabel eller ladestasjon. Disse feilene er normalt pga. hendelser i nettet, men må ikke være det.

forårsaket av jordfeil-relaterte problemer. Ladeproblemer med Renault ZOE i IT-nett¹⁹ og andre nettrelaterte problemer står for en liten andel. For feilene i selve elbilen ser det, basert på fritekstsvarene fra undersøkelsen, ut til at software-relaterte problemer står for den største andelen av problemene.

Undersøkelser av svarene sortert etter hvilken elbil kundene har, viser også at det er ulike problemer som er mest typiske for enkelte modeller:

- Volkswagen e-Golf har mange softwareproblemer (som noen kunder opplever at blir løst ved softwareoppdateringer) og problemer med alarm i ladekladden (sannsynligvis forårsaket av jordfeil).
- Nissan Leaf eiere har hatt mest problemer med alarm i ladekabel forårsaket av jordfeil.
- BMW i3 eiere rapporterer oftere enn andre eiere at sikringen til kursen som forsyner laderen går, uten at kretsen tilsynelatende er overbelastet.

En mulig årsak til det siste punktet er at en høyere andel i3 eiere benytter hjemmeladeboks enn eiere av andre modeller. Det er for flere modeller observert at hjemmeladebokser forårsaker at sikringen går, i noen tilfeller uten at hjemmeladeren er belastet i det hele tatt.

Om en skal gå mer inn på de underliggende årsakene til ladeproblemene, krever dette en del tolkning av resultatene. Respondentene har ikke nødvendigvis god forståelse for strøm og spenning, og flere mulige av svaralternativene kan peke mot samme grunnleggende problemårsak. Til eksempel vil jordfeilproblematikk kunne havne i alle de følgende svaralternativene under spørsmålet «Hva var årsaken til ladeproblemene»:

- Strømnettet: Jordfeil i egen installasjon, hos nabo, eller i strømnettet
- Strømnettet: Vet ikke
- Alarm eller feil i ladekladd med ukjent årsak
- Alarm eller feil i hjemmeladerboks med ukjent årsak
- Ladekabel
- Ukjent årsak
- Annet (vennligst spesifiser)

Basert på undersøkelser av fritekstsvar, kan det se ut som om jordfeilproblematikk står for en høy andel av problemene, men det er ikke grunnlag for å konkludere entydig med hvor stor andel. Sammen med softwarefeil hos enkelte modeller, og problemer med hjemmeladebokser, ser det ut til at dette er den vanligste problemårsaken til respondentenes ladeproblemer.

3.6 Andre observasjoner i undersøkelsene

Det er observert at blant respondentene er det en høyere andel enn gjennomsnittet for Norge som benytter hjemmeladeboks. Dette kan være fordi de som velger å svare på en undersøkelse er over gjennomsnittet interessert i det undersøkelsen handler om, og den samme interessen har gjort at de har kjøpt en hjemmeladeboks. Men basert på analyse av fritekstsvar, kan det se ut som om disse hjemmeladeboksene noen ganger forårsaker type problemer som ikke er observert hos de som benytter lading via schuko-kontakt. I forkant av undersøkelsen ble de respondentene som oppgav at de hadde hatt ladeproblemer, men at dette var forårsaket av at sikringen gikk, luket ut av videre

¹⁹ Renault ZOE støtter ikke lading i IT-nett, med mindre det benyttes en spesiell ladekabel.

oppfølging. Men ettersom det viser seg at hjemmeladebokser også kan forårsake at sikringen går, uten at det er et belastningsproblem, kan dette bety at flere av respondentene som ikke ble invitert til undersøkelsen også har hatt akkurat dette problemet.

3.7 Svarprosent og troverdighet

Av de 264 respondentene i oppfølgingsundersøkelsen, ble det avgitt 111 svar. Etter en datavask ble 16 ufullstendige besvarelser tatt bort, som gav et totalt svarantall på 99 respondenter. Dette tilsvarer 15 % av de 678 respondentene i Elbilisten 2018 som hadde hatt relevante ladeproblemer.

Både svarandel og antall totale respondenter i undersøkelsen er dermed såpass lavt at det ikke kan trekkes noen klare konklusjoner om hverken vanligste årsak eller hvilke modeller som har flest problemer. Fordelingen av hvilke modeller som har mest problemer i undersøkelsen om ladeproblemer stemmer i midlertid godt med tilsvarende tall fra Elbilisten 2018, som har en mye høyere svarandel (9520 respondenter, hvorav 992 med ladeproblemer).

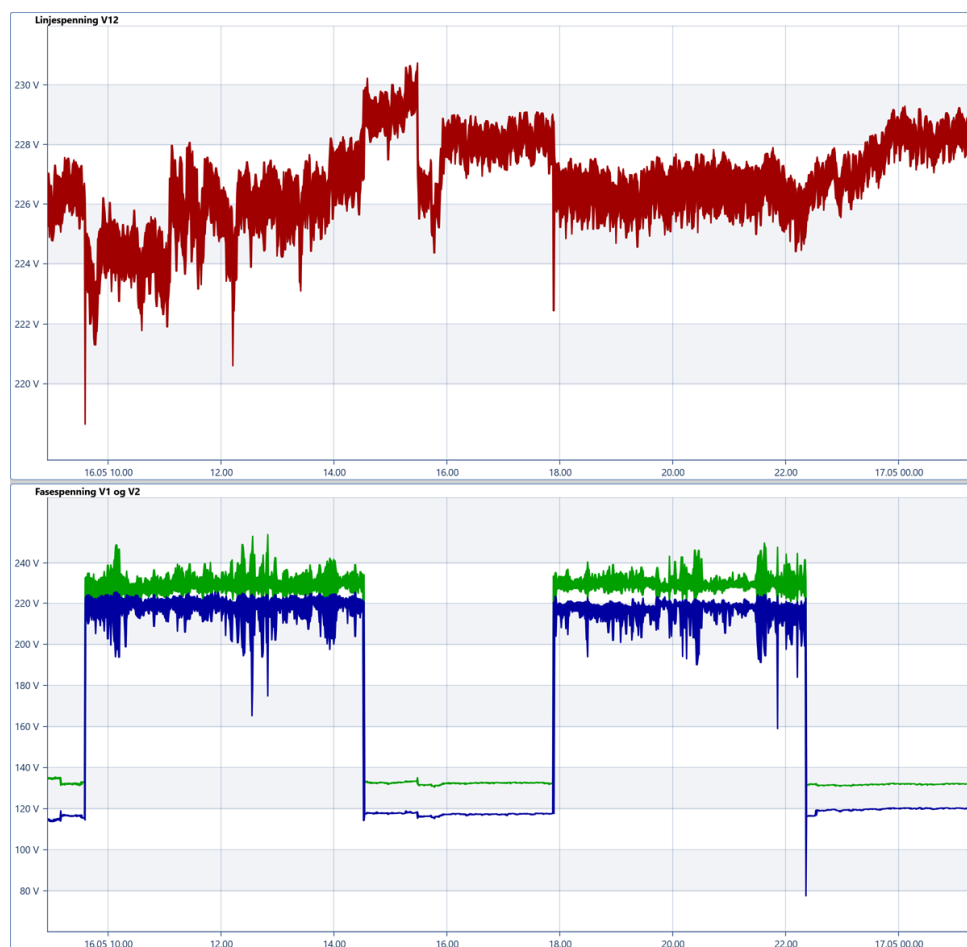
4 Hvorfor noen ladeproblemer forsvinner av seg selv

De vanskeligste ladeproblemene å feilsøke, er de som bare er der av og til. Mange kunder rapporterer om slike ladeproblemer, og som undersøkelsen i kapittel 3 viser, så er det en stor andel av ladeproblemer som aldri blir skikkelig løst. Slike såkalte «intermitterende ladeproblemer» kan komme fra flere fenomener, diskutert i følgende delkapitler.

4.1 Intermitterende jordfeil

Som nevnt i kap 2.1 kan jordfeil i strømmettet forårsake ladeproblemer. Slike jordfeil kan være intermitterende, som diskutert i kap 2.1.2. For elbilister kan slike feil virke svært vilkårlige; ofte har de ikke problemer med å starte lading på elbilen sin, men når de kommer tilbake er ladingen stoppet en gang etter at de forlot den.

Et case hvor intermitterende jordfeil forårsaket slike problemer ble registrert i forbindelse med en e-Golf. I et kontorbygg som tilbød lading via flere ladestolper, opplevde eieren av e-Golfen at ladingen ofte var stoppet når han kom til elbilen. Det var flere andre som brukte disse ladestolpene som ikke hadde problemer med lading, og kunden hadde ikke problemer med å lade elbilen hjemme hos seg selv eller andre steder.



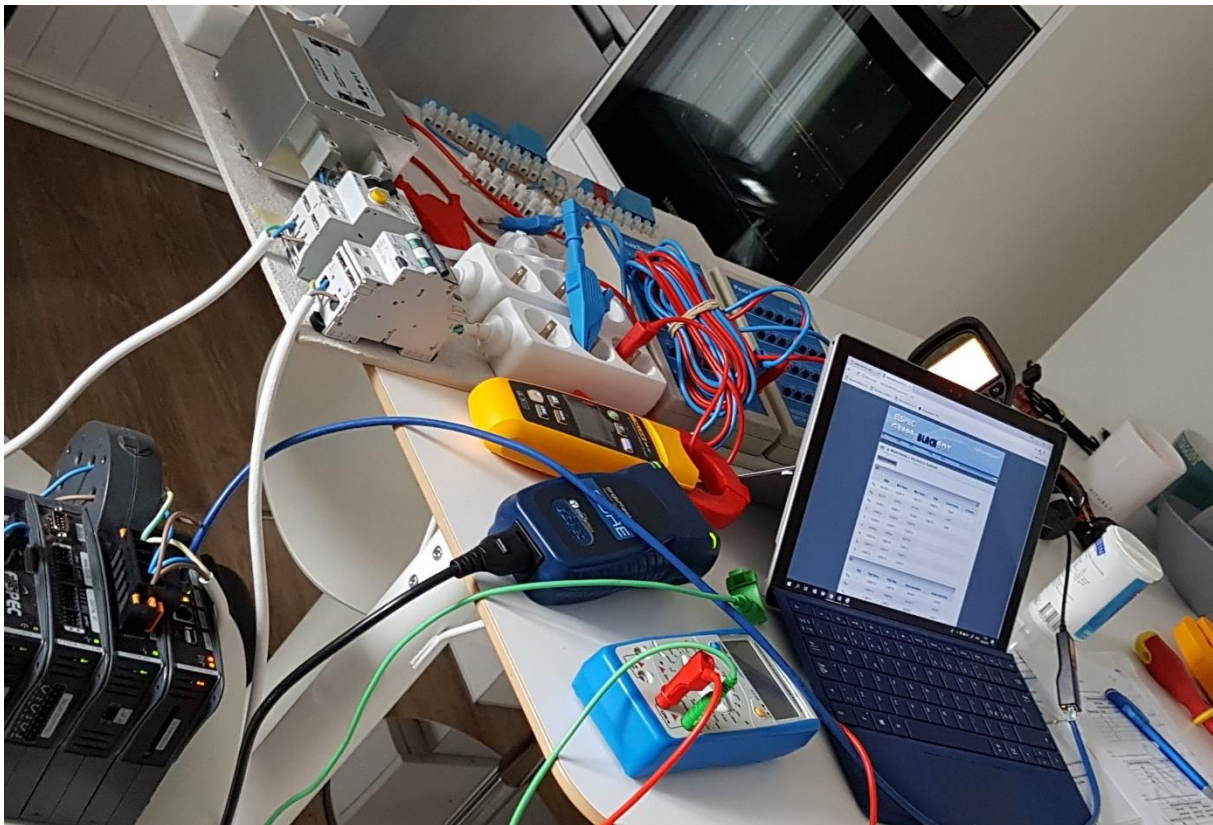
Figur 10: Måling av spenningen i kursen som forsynte ladestolpene i kontorbygget.

For å feilsøke problemene ble spenningen sjekket med et multimeter (fasespenningene var normale) før det ble montert en spenningskvalitetslogger på kursen som forsynte elbilene. Elbileieren meldte at han hadde fått stoppet ladingen sin, og målingene ble så undersøkt for å se hva som hadde skjedd i samme periode. Som Figur 10 viser, kommer det en tydelig jordfeil i perioden som elbileieren oppgav at ladeproblemene oppstod. Jordfeilen ble rettet, og etter forfatterens kjennskap forsvant problemene i ettetid.

I tillegg til at jordfeil kan «komme og gå» som i tilfellet over, kan også impedansen i overgangsmotstanden ved feilstedet variere med vær og sesong, og motstanden kan også bli «brent av» slik at en høyohmig jordfeil blir en lavohmig jordfeil. Dette kan også bidra til at ladeproblemer «kommer og går» i sammenheng med været, eller varierer over tid.

4.2 Ladeproblemer som forsvinner ved tilkobling av annet utstyr i installasjonen

Flere nettselskap har opplevd at når de kobler til en Medcal N²⁰ i en installasjon hvor en elbil ikke vil lade, så begynner ladingen å fungere. Årsaken har vist seg å være at Medcal'en endrer fase-jord impedansen i kretsen. Dette er blitt testet ved å lage et portabelt laboppsett som kan brukes til å legge variable, høyohmige jordfeil på strømmettet.



Figur 11: Portabelt lab-oppsett med variabel fase-jord kapasitans og resistans.

²⁰ Spenningskvalitetslogger fra Cesinel, plugges i stikkontakten.

Laboppsettet ble brukt i et case hvor en Volvo XC90 ikke ville lade, og det var mistenkt at det var en høyohmig jordfeil på kretsen. Kunden bodde i en enebolig med enfase forsyning, og fikk til å lade på arbeidsplassen som lå tvers ovenfor veien på samme trafokrets. Det ble demonstrert at ved å koble til en resistans på 10, 20 eller 30 kOhm, eller en kapasitans på 110 eller 470 nF begynte ladingen å fungere igjen. Ladingen begynte kun å fungere når den ekstra impedansene var tilkoblet usymmetrisk, ikke om impedansen ble koblet til begge fasene samtidig.

En mulig årsak til denne virkningen, er om ladesystemet bruker resistanser koblet mellom fase-jord for å overholde kravene om GMI i UL 2331-1. Basert på spenningsfallet ved tilkobling av elbilen (2 V opp på den ene fasen, 2 V ned på den andre fasen) antyder simuleringer av nettet hos kunden at det se ut som om disse er i størrelsesorden 50 kOhm. Om størrelsen (eller differansen) på strømmene gjennom disse motstandene brukes som kriterium for å bestemme hvorvidt det er en kobling til jord, vil disse påvirkes av jordfeil i nettet, men også fase-jord resistans og kapasitans av andre apparater tilkoblet i nærheten.

Den nøyaktige virkningen av GMIn er ikke kjent for forfatteren. Simuleringer av det aktuelle nettet gav ingen klar sammenheng mellom økning eller differanse i strømmene gjennom disse motstandene, når det var en jordfeil i størrelsesorden 1-10 kOhm²¹ i naboinstallasjonen, og det ble lagt inn motstander mellom fase-jord som tilsvarende tilkobling av laboppsettet.

Etter testene ble det opprettet en arbeidsordre for å finne og rette jordfeilen, som ble funnet i installasjonen ved siden av kunden med ladeproblemer. Dette løste problemene til kunden.

GMI er for øvrig ikke påkrevd i Europa / for å få CE-merking, så det er ikke alle modeller som har dette problemet. Det kommer forøvrig stadig flere krav for sikkerhetsfunksjoner i slikt utstyr, som f.eks. *IEC 62752:2016 In-cable control and protection device for mode 2 charging of electric road vehicles (IC-CPD)*.

En viktig kommentar om denne feiltypen er at en GMI også korrekt kan slå ut fordi det ER dårlig kontakt til jord, f.eks. om jordingen til installasjonen er dårlig. Dette er i så fall en elsikkerhetsrisiko, og jordingen bør utbedres.

4.3 Variasjon i støynivå, som av og til blir for høyt

4.3.1 Harmonisk støy

Som nevnt i kap 2.2 kan støy fra annet utstyr skape interferens i ladekabelen / ladestasjonen / elbilen. Støynivået må få en viss størrelse for at dette skal skje. Hvor høyt støynivået blir avhenger av en lang rekke faktorer, hvor den viktigste er at utstyret som forårsaker støyen er tilkoblet og i drift. Bruk av annet utstyr kan dermed påvirke hvorvidt elbilen lader, eller ikke. Ulike elbiler kan som tidligere nevnt også være mer eller mindre sensitive mot overharmonisk støy.

Disse problemene kan løses med bruk av linjefilter, og det kan dermed kontrolleres forholdsvis greit ved å montere et slikt filter om det er dette som er problemet, eller om det heller er relatert til jordfeil eller andre problemer.

²¹ Sannsynlig størrelse basert på spenningsendringer hos den aktuelle kunden.

4.3.2 Variasjon i RMS-spenning

Strengt talt ikke støy, variasjon i RMS-spenning avhenger også av hvilke andre apparater som er i bruk. I områder med distribuert produksjon (f.eks. solcelleanlegg), og områder med lite last sommerstid, kan spenningen bli høy, slik at elbilen ikke vil lade. Den høyeste spenningen vil normalt opptre på midten av dagen, når lasten normalt er lavest, og produksjon fra f.eks. solcelleanlegg er høy.

Tilsvarende kan spenningen bli lav i områder med mye last, og i nett med dårlig kapasitet på vinterstid. Spenningen er i disse tilfellene normalt lavest på morgenen og ettermiddagen, som korresponderer med forbrukstoppene for husholdningskunder.

5 Feilsøking og korrektive løsninger på ladeproblemer

Det er i EMC-nett prosjektet forsøkt å lage en forenklet fremgangsmåte for hvilke tester en kan gjøre ved ladeproblemer. Denne fremgangsmetoden beskriver kort hvilke tester kunden kan gjøre selv, hvilke han bør ta opp med selger / importør, og hvilke nettselskapet må undersøke. Denne fremgangsmåten vil senere bli gitt ut som en veileder til de tre nevnte gruppene.

Ved feilsøking av ladeproblemer, er første steg å finne ut hvilken komponent som fører til ladeproblemer: Er det selve bilen, er det ladekabel / ladestasjon, installasjonen, eller noe i forsyningsspenningen som forårsaker problemene. Det er ulike tester som kan gjøres av enten kunden, selger, eller nettselskapet som kan avdekke dette:

5.1 Feilsøking kunden kan gjøre selv

Ofte vil ladeproblemene resultere i en feilmelding i ladekladden på ladekabelen eller i hjemmeladestasjonen. Om dette er tilfelle er det noen tester kunden kan gjøre før han involverer andre:

- Får pluggen skikkelig kontakt i stikkontakt eller hjemmeladestasjon, og i elbilen?
 - o Hvis nei er dette en fysisk feil som må utbedres av leverandør av elbilleverandør, ladestasjonsleverandør, eller elektriker (ved dårlig kontakt i stikkontakt).
- Får kunden ladet fra en annen stikkontakt i hjemmet?²²
 - o Hvis ja kan det være aktuelt å hente inn en elektriker for å feilsøke kundens installasjon.
- Hvis hjemmeladestasjon: Fungerer schukolading?
 - o Hvis ja kan det være aktuelt å involvere leverandør av ladestasjonen.
- For noen modeller (f.eks. Nissan Leaf) kan det være mulig å teste med en annen ladekabelmodell; fungerer ladingen med denne?
 - o Hvis ja kan det enten være fordi kabelen er skadet (kan kontrolleres med en annen kabel av samme modell) eller mer sannsynlig, fordi den andre kabelen er sensitiv for jordfeil i strømnettet²³.
 - o Om problemet er begrenset til ladekladden på ladekabelen, er en mulig løsning å bytte til hjemmeladestasjon, ettersom denne ikke behøver enkelte av sikkerhetsfunksjonene i ladekladden (blant annet fordi jordmotstand måles på stedet ved installasjon).

²² Ved enfaselading: prøv å lade fra alle de tre fasene (TN-nett) eller linjespenningene (IT- og TT-nett).

²³ Samme problem kan oppstå om kapasitansen i nettet er liten (f.eks. i mindre luftnett), eller om jordingen er utilstrekkelig.

Om kunden er noenlunde elektrokyndig kan han også måle med et multimeter hva spenningen er i stikkontakten²⁴. Han er da interessert i følgende momenter:

- Er spenningen mellom fasene, eller fase og nøytral, mellom 207 og 253 V?²⁵
- Er det stor forskjell i fasespenningene? Dvs. mer enn 20 V forskjell i to ulike faser?²⁶

Om kunden forsynes via et IT-nett, og ser fra målingene at det er en jordfeil i nettet, kan han undersøke om denne er i hans egen installasjon ved å skru av hovedsikring, og se om jordfeilen forsvinner²⁷. Forsvinner jordfeilen kan den lokaliseres til relevant kurs ved å legge ut en og en sikring, og se når denne forsvinner. Om jordfeilen sitter i et apparat, kan testes ved å koble ut ett og ett apparat på kursen med jordfeil, og se om jordfeilen forsvinner. Om jordfeilen ikke ligger i egen installasjon, må det gis beskjed til nettselskapet / DLE om at de skal rette denne.

Om kunden har problemer med elbillading ved tordenvær, bør han vurdere installasjon av overspenningsvern utført av kvalifisert elektriker.

5.2 Feilsøking hos selger / importør

Om det er selve bilen som er problemet, inkludert ev. softwareproblemer, må feilsøkingen gjøres av selger / leverandør. Dette vil typisk være tilfelle om ladekladd / hjemmeladestasjon ikke viser noen feilmelding og ladeproblemene oppstår på flere ladepunkter på ulike steder.

5.3 Feilsøking som må foretas av nettselskapet

Om problemet ikke skyldes feil i kundens installasjon eller bilen, kan det være et problem som har sin bakenforliggende årsak i strømmettet. Som beskrevet i rapporten kan det være flere ting som forårsaker dette, inkludert jordfeil, overharmonisk støy, lav/høy spenning, mm. For å undersøke hva årsaken kan være må nettselskapet foreta en spenningslogging hos kunden. Noen momenter å ta hensyn til ved en slik logging:

- Mål med et instrument som måler fase-jord spenninger i tillegg til linjespenninger, og som aller helst måler alle tre faser
 - o Om det måles med et enfaseinstrument, så mål på samme fase som elbilladeren er tilkoblet
- Mål i minimum én uke, men lenger om problemene ikke opptrer ilt. måleperioden

²⁴ Obs: det er fare for elektrisk sjokk ved arbeid med strøm og spenning.

²⁵ I noen tilfeller kan spenning under 215 V også skape problemer for noen merker og modeller, selv om dette er tillatt spenning i EU og Norge

²⁶ Obs: I TN-nett er det én nøytralleder (ca 0 V), og tre faseledere (ca 230 V).

²⁷ Mål på stikkontakten fra en kurs, og vipp ned alle sikringer bortsett hovedsikring og den aktuelle kursen. Mål så på stikkontakten i en annen kurs, og vipp ned den første kursen.

Ved analyse av målingene er viktigste moment å påvise ev. jordfeil, inkludert høyohmige jordfeil som ikke fører til så store endringer i fase-jord spenninger, og intermitterende jordfeil som kun opptrer periodisk. REN-grensene for jordfeil er $130\text{ V} \pm 40\text{ V}$, men det er viktig å være klar over at det kan være høyohmige jordfeil i nettet, og man vil holde seg innenfor disse grensene men likevel få problemer med lading.

Ved retting av den eventuelle jordfeilen er det viktig å dra ut for å finne den i en periode hvor det faktisk er en jordfeil – målingene kan gi en indikasjon på når det er mest sannsynlig å finne intermitterende jordfeil.

Noen ting som er mindre sannsynlig at forårsaker problemene, men også kan være aktuelt å undersøke er om det er harmonisk støy som forårsaker problemer. Dette må i så fall kontrolleres ved å undersøke *ikke* bare THD, men også ved å individuelle overharmoniske spenninger. Om disse varierer, kan det være aktuelt å sammenligne disse variasjonene med når elbileieren har problemer.

Ev supraharmatisk støy vil ikke vises i de fleste måleinstrumenter, men noen fabrikater kan også måle harmonisk støy med høyere frekvens:

- Opp til 2 kHz: Standard for alle IEC klasse A instrumenter.
- Opp til 9 kHz: Flere fabrikat.
- Opp til 25 kHz: Ulike Elspec instrumenter
- Opp til 150 kHz: PSL PQube 3 og A-Eberle PQ-Box 300

Om det er kontinuerlig støy, så trengs ikke dette å logges, det kan måles på stedet med et oscilloskop (håndholdt eller desktop) med FFT funksjon og samplefrekvens høyere enn 300 kHz.

Ev transienter (lynoverspenninger, koblingstransienter) og dype og langvarige spenningsdipp kan potensielt også forstyrre elbilladere. Det bør i så fall undersøkes hva som er kilden til disse, og utbedre disse eller installere mottiltak (f.eks. overspenningsvern, synkroniserte brytere på kondensatorbatterier, osv. for transienter, spenningsdipp må vanligvis utbedres ved kilden).

6 Arbeid med langsiktige løsninger

6.1 Begrenset bevissthet om spesifikke problemstillinger knyttet til IT-nett

Ettersom IT-nett ikke er et vanlig nettsystem i resten av verden, er det i mange tilfeller begrenset kunnskap om typiske problemstillinger i IT-nett, f.eks. jordfeil. Mye av litteraturen som finnes om temaet er også bare tilgjengelig på norsk, som gjør det vanskelig for produsenter å sette seg inn i de ulike utfordringene. Videre oppleves problemene ofte som noe diffuse, som gjør at de ikke alltid blir løst, eller at de blir løst ved alternative metoder som ikke adresserer den underliggende utfordringen. Siden problemet ikke blir forstått, får heller ofte ikke leverandøren / produsenten tilstrekkelig tilbakemelding om hva som egentlig forårsaker problemene.

EMC-nett prosjektet forsøker å adressere denne utfordringen ved å publisere i internasjonale fora om de ulike problemstillingene adressert i denne rapporten. En artikkel til CIREC 2019 er godkjent, og publiseres juni 2019. Populærvitenskapelig publisering nasjonalt kan også gjøre at elbileiere, nettselskap og leverandør blir mer observante på mulige problemer, og er i bedre stand til å rapportere om dette tilbake til produsentene. Det skal mot slutten av prosjektet også lages en veileder som kan deles ut til f.eks. leverandører og nettselskap, som kan være en hjelp i å håndtere slike utfordringer.

6.2 Samordning og grensesetting mellom krav i ulike standarder

Å oppfylle krav i både europeiske og amerikanske (og andre) standarder kan være krevende for ingeniørene som designer ladesystemene. Likevel ønsker produsenter ofte å gjøre dette, for å kunne selge samme produkt på alle markeder. Problemer oppstår når krav i en standard vil fungere i alle tilfeller på hjemmemarkedet (f.eks. UL-standarder i Amerika), men ikke nødvendigvis i alle tilfeller i andre markeder.

Det er ikke et ukjent fenomen at ingeniører lager produkter som kun delvis er tilpasset andre markeder enn hjemmemarkedet. Et eksempel er produkter med over- og underspenningsvern som benytter fase-spenning til å beregne linjespenninger i IT-nett. Om en vektorsum av de to fasespenningene benyttes, vil dette gi korrekt linjespenning, og korrekt funksjon av vernet. Men i noen tilfeller benyttes en multiplikasjonsfaktor på $\sqrt{3}$ i stedet, som gir feilaktig svar ved jordfeil og skjevspenninger i nettet, og dermed feilaktig virkemåte i vernet.

I en ny standard for IC-CPD utforming, IEC 62752, er det til og med i scope skrevet eksplisitt at standarden er beregnet for TN- og TT-nett, og at bruk i IT-nett kan være begrenset. Her burde kanskje det norske miljøet vært sterkere involvert i utformingen av standarden enn hva det kan se ut som det har vært. Spesielt mtp. at nabolandet vårt, Danmark, har fått inn egne særkrav i noter i standarden.

At produkter selges i Norge (og andre steder) som ikke fungerer ved godkjente driftsforhold, er i praksis forskriftsbrudd på EMC-forskriften. Disse produktene burde derfor strengt talt vært trukket fra markedet. Spesifikt for bruk av GMI kan det vurderes om enkelte implementasjoner skal forbys på det norske markedet, i klartekst eller i form av en ordlyd som «implementasjon sikkerhetsfunksjoner som resulterer i avbrutt lading ved jordfeil i IT-nett er ikke tillat benyttet i ladestasjon eller ladestasjoner». Dette krever ingen lovendring, men er kun en presisering av eksisterende krav.

I hvor stor grad det er realistisk å få produsenter til å endre produktene sine for å oppfylle slike krav for det norske markedet er usikkert. Men akkurat for elbiler står Norge for 5 % av det globale markedet²⁸, og har dermed en bedre forhandlingsposisjon enn for andre elektriske produkter.

²⁸ <https://www.dinside.no/motor/totalt-ukjent-bil-solgte-klart-best-blant-elbilene-i-fjor/69380546>

7 Konklusjon

Det er observert flere ulike typer ladeproblemer med varierende hyppighet hos norske elbilister. Ulike modeller har ulik frekvens i type feil, men det ser ut til at ladeproblemer forårsaket av jordfeil er en gjenganger for flere av merkene / modellene.

Årsaken til at elbiler får problemer med lading ved jordfeil har sannsynligvis å gjøre med sikkerhetsmekanismer i ladekladden / hjemmeladeboksen. Disse er utviklet primært med tanke på TN-nett, og leverandørens forståelse for funksjonsmåte i IT-nett ved uvanlige driftssituasjoner virker å være begrenset. EMC-nett prosjektet forsøker å bidra til å løse denne problemstillingen ved å dokumentere årsakssammenhenger, utarbeide feilsøkningsmetoder, sette fokus på problemet nasjonalt ved populærvitenskapelig publisering, og å publisere resultater i internasjonale fora.

Den kortsiktige løsningen på ladeproblemer vil i mange tilfeller være, etter en kontroll av eget elektrisk anlegg og at bilen vil lade andre steder enn hjemme, å involvere nettselskapet for å foreta søk og eventuell retting av jordfeil. Dette løser i mange tilfeller problemene.

Rapporten har også beskrevet andre typer ladeproblemer, som softwarerelaterte problemer i elbilen, ladeproblemer forårsaket av dårlig spenningskvalitet, og dårlige design av ladestasjoner. Som for jordfeilrelaterte feil er det blitt undersøkt hvor utbredt disse er, og hvordan de kan rettes.

Kilder

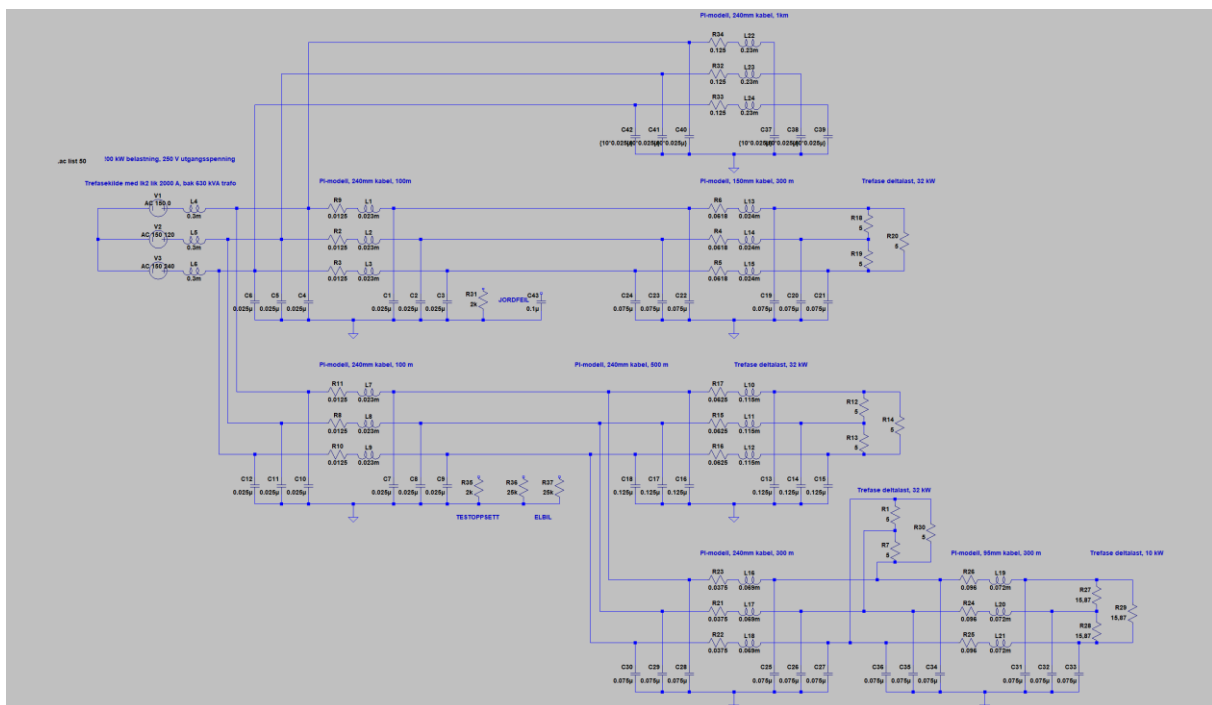
- [1] NVE, «Hva betyr elbiler for strømnettet?,» 2016.
- [2] NVE, «Energibruk til transport,» 2016.
- [3] H. Taxt og H. Seljeseth, «Elbilers ladeforløp og utfordringer for el-nettet :,» SINTEF Energi, 2013.
- [4] H. Kirkeby, «Eksempelsamling av utfordrende elektriske apparater,» SINTEF Energi, 2015.
- [5] H. Seljeseth og E. Hugo Hansen, «TRA 7539 Sikker jordfeildeteksjon,» SINTEF Energi AS, 2015.
- [6] S. Schöttke, J. Meyer, P. Schegner og S. Bachmann, «Emission in the frequency range of 2 kHz to 150 kHz caused by electrical vehicle charging,» i *International Symposium on Electromagnetic Compatibility (EMC Europe 2014)*, Göteborg, Sverige, 2014.
- [7] S. Rönneberg og M. Bollen, «Measurements of primary and secondary emission in the supraharmonic frequency range 2 – 150 kHz,» i *CIREN*, Lyon, 2015.
- [8] S. Rönneberg, «Emission and Interaction from Domestic Installations in the Low Voltage Electricity Network, up to 150 kHz,» 2013.

Vedlegg A: Simuleringer av høyohmig jordfeil i lavspennetnettet

I forbindelse med testene utført i en installasjon hvor en Volvo XC90 ikke ville lade, ble det utført simuleringer av nettet i LTSpice XVII. Simuleringene ble utført for å finne sannsynlig størrelse på den antatte jordfeilen i nettet, basert på målinger av fasespenninger i installasjonen, og for å kontrollere at laboppsettet ikke ville få noen negativ innvirkning på elsikkerheten ved planlagt testing.

Simuleringsmodellen er som vist i Figur 12. Følgende antagelser ligger til grunn i modellen:

- Transformatoren er 630 kVA og kildeimpedans $I_{k2} = 2000$ A. Tilsvarende $Z = 0,3 \Omega$ og $X/R = 8$
- Utgangsspenning er 138 V
- Kun 240 mm² er benyttet, med $R = 0,125 \Omega/\text{km}$, $L = 0,23 \text{ mH}/\text{km}$ og $C = 0,5 \mu\text{F}/\text{km}$. Total driftskapacitans i nettet er ca. 1,3 μF
- Total distribuert last er ca. 100 kW
- Det er ikke tatt hensyn til motstand i jord eller jordelektroder.



Figur 12: Simuleringskrets med jordfeil, elbil, og testoppsett.

Utførte simuleringer:

- Anslått størrelse på jordfeil i nettet (1-5 k Ω).
- Topolt kortslutningsstrøm ved tilkobling av laboppsettet med laveste valgte motstand, og sannsynlig effektutvikling på feilsted og i laboppsettet (under eksisterende kapasitiv feilstøm på ca. 100 mA, se også prosjektinternt notat)
- Innvirkning på spenningsforhold og feilstømmer ved innkobling av elbilladeren med og uten laboppsett (ikke vist her).