

Rapport

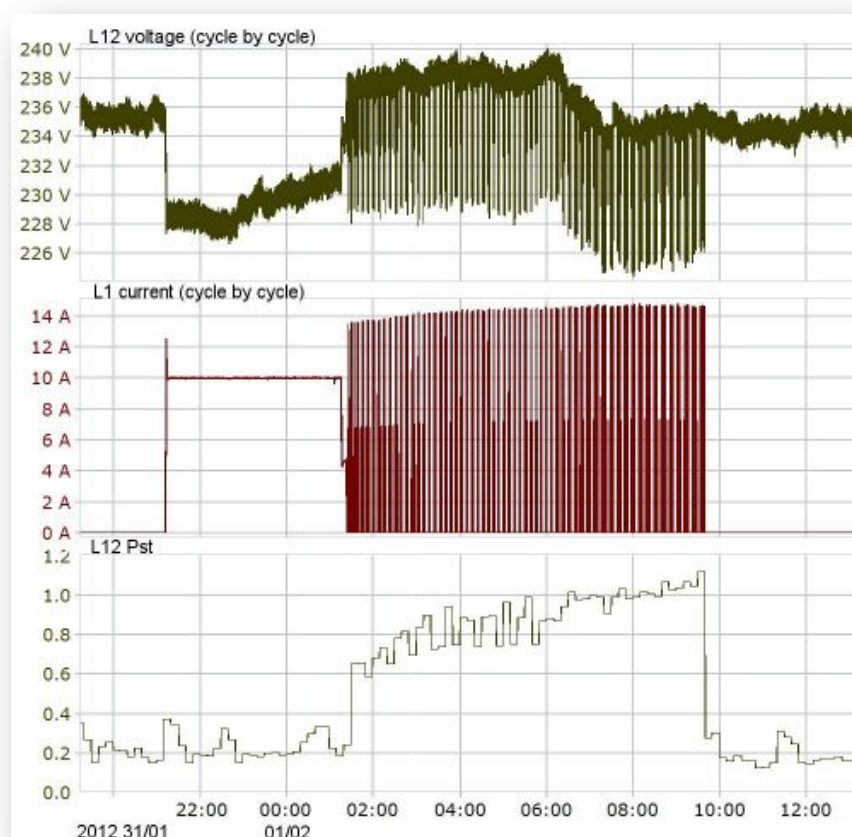
Elbilers ladeforløp og utfordringer for el-nettet

Analyse av målinger ved normal- og hurtiglading

Forfatter(e)

Henning Taxt

Helge Seljeseth



SINTEF Energi AS

Postadresse:
Postboks 4761 Sluppen
7465 TrondheimSentrallbord: 73597200
Telefaks: + 47 12345671Sentrepostmottak
Webadresse
Foretaksregister:
127894515 MVA

Rapport

Elbilers ladeforløp og utfordringer for el-nettet

Analyse av målinger ved normal- og hurtiglading

EMNEORD:
Elbil
Normallading
Hurtiglading
Ladeforløp
Spenningskvalitet**VERSJON**
1.0**DATO**
2013-09-12**FORFATTER(E)**
Henning Taxt
Helge Seljeseth**OPPDRAAGSGIVER(E)**
E-Car project**OPPDRAAGSGIVERS REF.****PROSJEKTNR**
12X627.30**ANTALL SIDER**
38**SAMMENDRAG**

Det er utført målinger av både normal lading av elbil ved 10 A til 16 A, og av hurtiglading ved 70 A i 400V TN-nett. Egenskaper ved ladeforløpene er studert for å avdekke forhold som kan skape utfordringer i elektrisitetsnettet.

Målingene på hurtigladestasjonene indikerer ingen store utfordringer så fremt hurtigladestasjonene tilkobles der fordelingsnettet er tilstrekkelig sterkt. Målingene på normallading viser at det er til dels stor variasjon i ladeforløpene til de ulike typene av elbiler. De "snilleste" ladeforløpene vil ikke skape spesielle forstyrrelser i spenningen i nettet eller den installasjonen elbilene kobles til. To av elbilene viser imidlertid et ladeforløp som kan gi til dels betydelige spenningsforstyrrelser når de er tilkoblet et svakt nett.

Den største utfordringen vil imidlertid være den totale lastøkningen som elbilene vil bidra til ved stor utbredelse. Da kan det bli nødvendig med nettførsterkninger eller forskyving av forbruk for å håndtere lasten, særlig på kalde vinterdager.

UTARBEIDET AV
Henning Taxt**SIGNATUR****KONTROLLERT AV**
Kjell Sand**SIGNATUR****GODKJENT AV**
Knut Samdal**SIGNATUR****RAPPORTNR**
TR A7332**ISBN**
978-82-594-3563-7**GRADERING**
Åpen**GRADERING DENNE SIDE**
Åpen

Innholdsfortegnelse

1	Innledning.....	5
2	Bakgrunn.....	6
2.1	Generelt om elbil i Norge.....	6
2.2	Statistikk om elbiler	7
2.3	Det norske distribusjonsnett	8
3	Målesystem.....	10
4	Normal lading av elbil	11
4.1	Utviklingstrekk	11
4.2	Målinger	11
4.2.1	Ladestrømmens rms-verdi.....	12
4.2.2	Overharmoniske strømmer	18
4.2.3	Normal lading ved en elbilpark.....	20
4.3	Nettpåvirkning	21
5	Hurtiglading av elbil.....	22
5.1	Infrastruktur for hurtiglading.....	22
5.2	Utviklingstrekk	22
5.3	Målinger	23
5.3.1	Aktiv og reaktiv effekt under ladeforløpet	24
5.3.2	Harmoniske strømmer.....	28
5.3.3	Bruksmønster for hurtigladestasjoner	29
5.4	Nettpåvirkning	32
6	Smart lading.....	33
7	Standardisering	34
8	Oppsummering.....	35
9	Referanser.....	36

1 Innledning

ECar-prosjektet ble startet i 2009 som et kompetanseprosjekt (KMB) og avsluttes etter første halvår 2013. Forskningsrådet støtter prosjektet og fra næringslivet har prosjektet hatt deltakelse fra:

- BKK nett AS
- Eidsiva nett AS
- Miljøbil Grenland AS
- NTE Holding AS
- Statnett SF
- Trønderenergi AS

Utførende partnere har vært:

- SINTEF Energi AS
- Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
- Eidsiva nett AS

Høsten 2012 støttet Transnova anskaffelse av avanserte måleinstrumentet og utstyr for fjernavlesning av data fra instrumentene for å kunne foreta målinger på 4 hurtigladestasjoner. NTE, BKK, Hafslund og Lyse har vært behjelpelig med praktisk arbeid i forbindelse med hurtigladermålingene. Disse målingene danner sammen med ECar-prosjektets målinger på normallading av elbiler grunnlaget for denne rapporten.

ECar-prosjektets målinger av normallading av elbil er foretatt på flere typer elbiler:

- Nissan Leaf
- Mitsubishi i-MiEV
- Citroen C-Zero
- Peugeot 106 Electric
- Think (m/NiCd batteri)
- Think (m/Zebra batteri)

Det er dermed foretatt målinger både på helt nye og på eldre typer elbiler. På enkelte av elbiltypene er det foretatt målinger på flere eksemplar av biltypen. Bilmodellene vil ikke identifiseres videre i denne rapporten etter avtale med enkelte av elbil-distributørene. De ulike typene av elbiler angis derfor som elbil type 1, elbil type 2 osv.

Slike målinger er et viktig underlag for å kunne vurdere hvordan storskala lading av elbiler kan påvirke elektrisitetsnettet med hensyn til forstyrrelser, spenningsavvik og overbelastning. Man kan eksempelvis se for seg at stor utbredelse av elektriske biler kan medføre utfordringer med overbelastning i svake fordelingsnett, særlig på de kaldeste vinterdagene. Videre er det interessant hvordan lading av elbiler kan påvirke nivået av spenningsforstyrrelser som overharmoniske spenninger og flimmer.

2 Bakgrunn

2.1 Generelt om elbil i Norge

Elbiler anses som en viktig del av fremtidens veitrafikk. Mulige nytteverdi for samfunnet er:

- Redusert avhengighet av olje
- Redusert lokal forurensning
- Bidrag til å innfri internasjonale forpliktelser innenfor reduksjon av klimagassutslipp
- Mer energieffektiv transportsektor

Privatpersoner og bedrifter kan i tillegg ha andre fordeler ved bruk av elbil framfor fossilt drevet bil:

- Billigere i drift
- Tidsbesparende i bykjøring
- Miljøvennlig

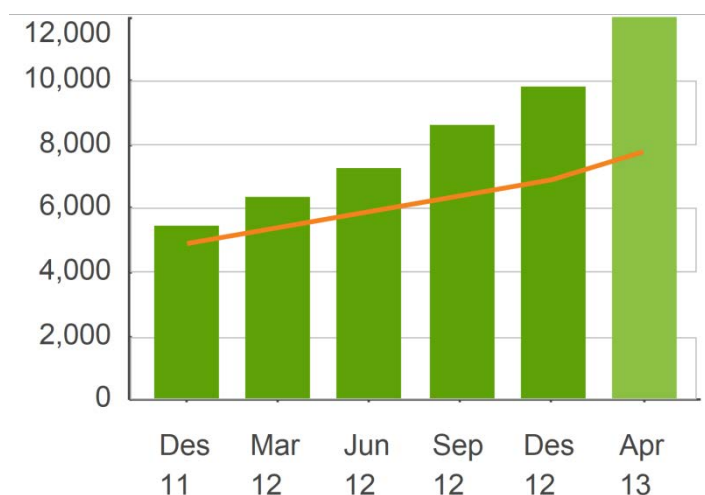
Insentivordningene for elbiler i Norge bidrar inntil videre sterkt til fordelene for private og bedrifter da fordelene er mange:

- Ingen engangsavgift ("importavgift")
- Ingen moms
- Betydelig redusert årsavgift (415 kr i 2013)
- Gratis parkering på offentlige parkeringsplasser
- Gratis lading på de fleste offentlige ladestasjoner
- Gratis passering ved alle landets bomstasjoner og fritak for rushtidsavgift
- Fri adgang til å kjøre i kollektivfeltet
- Gratis transport av elbilen på riksveiferger (men fører må betale passasjertakst)
- 50 % rabatt på firmabilbeskatningen
- Statens regulativ gir ekstra tillegg (15 til 80 øre i 2013) i kilometergodtgjørelsen

I tillegg til dette har man de mer langsiktige fordelene som eksempelvis billigere "drivstoff" i form av 1,5 til 2 kWt per 10 kilometer i stedet for typisk 0,5 til 1,5 liter bensin eller diesel per 10 km (sterkt avhengig av kjøretøy og bykjøring kontra landeveiskjøring).

2.2 Statistikk om elbiler

Figur 2-1 viser at det har vært en stor vekst i antall elbiler i Norge de siste årene, og utgjør nå rundt 3 % av nybilsalget. Det er langt mer enn noe annet land. I absolutte tall var Norge i 2011 det sjette største markedet i verden på elbiler, etter Japan, USA, Kina, Frankrike og Tyskland. Siden det har elbilsalget i Norge nær doblet seg og det er per 30. april 2013 registrert 11968 ladbare biler i Norge.



Figur 2-1 Antall registrerte ladbare biler i Norge. Oransje linje viser tidligere prognose [1].

Energiforbruket til elbiler vil utgjøre en liten del av det totale energimarkedet, selv ved stor utbredelse. I [2] er det beregnet at energiforbruket til personbiltrafikk vil være på 28 TWh i 2020 dersom kun forbrenningsmotorer benyttes. Fordi elbiler har en langt høyere virkningsgrad enn forbrenningsmotorer, tilsvarer dette, et strømforbruk til persontransport på 7 TWh i året, dersom alle personbiler var elbiler. Det utgjør omkring 5 % av hele Norges årlige kraftproduksjon.

Lokalt vil strømmettet imidlertid kunne utsettes for en stor lastøkning som følge av elbiler. Spesielt vil lavere spenningsnivå utsettes for økt belastning på grunn av økt effektbehov, som igjen kan gi behov for oppgraderinger.

2.3 Det norske distribusjonsnettet

Distribusjonsnettet er den delen av kraftnettet som befinner seg nærmest kundene og har de laveste spenningsnivåene, det vil si lavere enn 35 kV (i Norge typisk 11 eller 22 kV og 230 V eller 230/400V). Lading av elektriske biler påvirker i første omgang lavspennings distribusjonsnett. I Norge består dette først og fremst av 230 V IT-nett, men også noe 230 V TT og 230/400 V TN. I 230 V IT-nett er linjespenningen i nettet 230 V. Ellers i Europa benyttes normalt 230/400 V TN-nett der linjespenningen er 400 V. Lavere linjespenning gjør at nettet har en lavere kapasitet ved bruk av ledere med samme tverrsnitt. Dette er en viktig forklaring på at distribusjonsnettet i Norge generelt sett er ganske svakt. I tillegg gir de lange avstandene i Norge sammenlignet med de fleste europeiske land, større spenningsproblemer i distribusjonsnettet. I tillegg kan reduksjonen i investeringsnivået i kraftnettet etter dereguleringen på 1990-tallet være en forklaring på svakt nett.

Gjennom et arbeid i regi av Energi Norge har SINTEF [3] sett på utfordringene med en del nye energieffektive elektriske apparater som eksempelvis trekker strøm i mye kortere tid, men til gjengjeld trekker en mye høyere effekt når de først trekker strøm. Seks norske nettselskap har foretatt en gjennomgang av sine lavspenningsnett som et anslag på hvor sterkt lavspenningsnett vi har i Norge. Nettets kortslutningsimpedans (eller kortslutningsytelse) beskriver hvor sterkt eller svakt nettet er.

Internasjonalt finnes det konsensus om en referanseimpedans for 230/400 V TN-nett som skal beskrive hvordan elektrisk utstyr og apparater skal dimensjoneres for å operere tilfredsstillende med hensyn til EMC, se TR 60725 fra IEC [4].

IEC TR 60725 inneholder ikke noen referanseimpedans referert det norske 230 V IT-nettet. Skal man beregne en referanseimpedans for 230 V IT-nettet må man ta hensyn til den økte strømmen man trenger i IT-nettet i forhold til i 400 V TN-nettet ved samme effekt. En 5 kW varmepumpe med trefase forsyning vil i TN-nett ha en forsyningsspenning på 400 V, mens den i det norske IT-nettet vil ha trefase 230 V. Denne reduserte spenningen må kompenseres med tilsvarende høyere strøm for å ha samme effekt på utstyret. I SINTEF og Energi Norges rapport TR A7203, "Håndtering av utfordrende elektriske apparater som tilknyttes elektrisitetsnettet" [3] er referanseimpedansen beregnet til å tilsvare en kortslutningsstrøm på 1172 A i 230 V IT-nett. Undersøkelsen (basert på kortslutningsberegninger) som 6 norske nettselskap foretok viser at så mye som 50 % av det norske lavspenningsnettet kan ha svakere nett enn dette. Se Tabell 2-1 under.

Tabell 2-1 Estimert nettstyrke i norske lavspenningsnett [3].

Prosentvis fordeling av nettstyrke (I_{kmin})				
< 350 A	350 – 500 A	500 – 750 A	750 – 1000 A	>= 1000 A
6,2 %	7,5 %	13,5 %	13,2 %	59,7 %

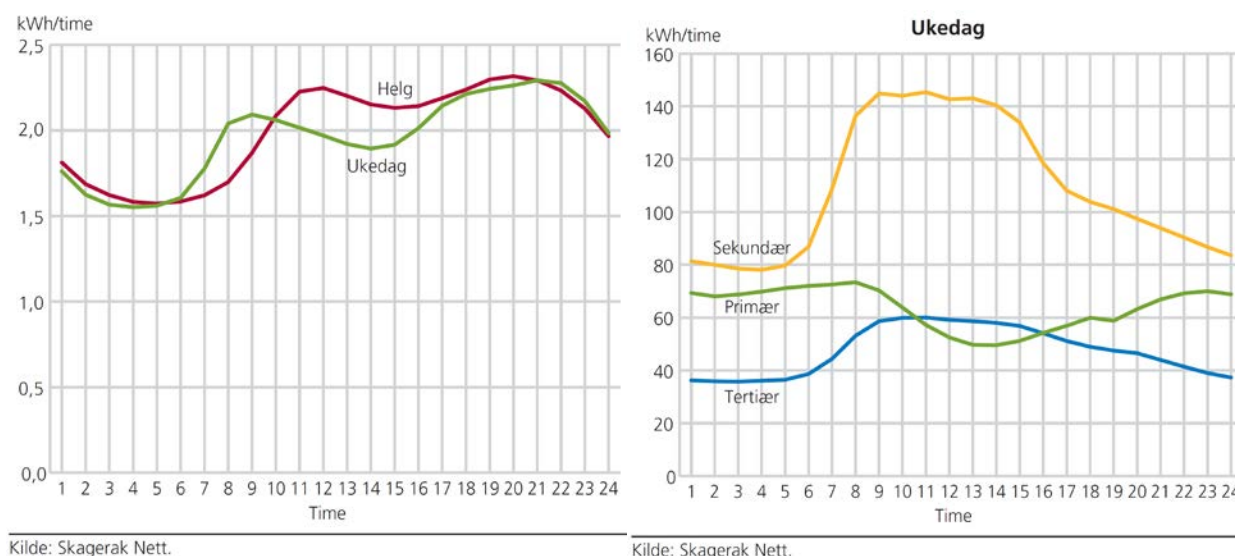
Selskapene som var med i undersøkelsen var (alfabetisk rekkefølge):

- Agder Energi Nett
- Eidsiva Nett
- Fortum
- Helgeland Kraft
- Istad Nett

- Skagerak Nett

En av de viktige sidene for at elektrisk utstyr og apparater skal operere tilfredsstillende når de er tilkoblet et nett med impedans tilsvarende referanseimpedansen (eller lavere impedans), er at utstyret da ikke skal gi for store forstyrrelser på spenningen i forhold til spesifiserte grenseverdier. Derfor kan det medføre betydelig utfordringer med forstyrrelser i spenningen om impedansen er mye høyere enn referanseimpedansen. Det er litt uklart om hvor stor andel av nettet man anså skulle "tilfredsstille" referanseimpedansen den gang IEC TR 60725 ble laget da både 95 og 90 % av nettet er tall som blir nevnt når man snakker med personer som var involvert i arbeidet med å lage IEC TR 60725. I Norge er vi imidlertid i den situasjon at opp mot 50 % av det norske lavspenningsnettet er svakere enn det referanseimpedansen tilsvarer og at opp mot 10 til 15 % av lavspenningsnettet er flere ganger svakere og vil kunne medføre flere ganger så store spenningsforstyrrelser fra elektrisk utstyr som utstyret vil gjøre i et nett med impedans tilsvarende referanseimpedansen.

I Norge benyttes stor grad av elektrisk oppvarming, noe som fører til at belastningen i nettet er på sitt høyeste på kalde vinterdager. I tillegg til sesongvariasjoner, kommer variasjoner over døgnet. I husholdninger opptrer det høyeste forbruket normalt om morgenen mellom kl. 8 og 10 og om ettermiddagen mellom kl. 17 og 22. Hos næringskunder opptrer maksimalt forbruk på ukedager mellom kl. 8 og 15. I det overliggende kraftnettet vil effektoppene mest sannsynlig opptre mellom kl. 8 og 10 om morgenen [5]. Dette er viktig informasjon når konsekvensene av elbillading skal vurderes.



Figur 2-2 Gjennomsnittlig forbruk i husholdninger (venstre) og næringer (høyre) [5].

Lading av elbiler kan forventes å få konsekvenser for kraftnettet på to måter:

- Lasten elbilen representerer. Dette kan føre til at topplasten øker og gir seg utslag i økt termisk belastning på linjer og transformatorer og økt spenningsfall over linjene i distribusjonsnettet, og dermed redusert spenning hos sluttbrukerne. Det kan utløse kostbare oppgraderinger av nettet.
- Spenningskvalitet. Lading av elbil kan påvirke spenningskvaliteten i forsyningen på andre måter. Det er da spesielt grunn til å være oppmerksom på overharmoniske strømmer, flimrer og hurtige spenningsendringer (spenningssprang).

3 Målesystem

Målingene som presenteres i denne rapporten har blitt utført med målere av typen Elspec G4420, G4430 og G4500. Måleutstyret gir mulighet til å måle strøm og spenning i tre faser og N-leider med høy målenøyaktighet og en tidsoppløsning fra 256 til 1024 samplinger per grunnharmonisk periode (20 ms). I måleren pakkes data på en slik måte at all betydelig informasjon bevares, og det er mulig å studere strøm og spenning periode for periode i ettertid. Siden måleutstyret kontinuerlig lagrer hele den samplede kurveformen for alle spenningene og strømmene er det mulig å se kurveformen av strøm og spenning for enhver periode av måletidsrommet, samt se på en lang rekke viktige spenningskvalitetsparametere.

På grunn av strømtransformatorene som er brukt ved målingene på hurtiglading (gjelder ikke målingene på normallading), er det en viss usikkerhet knyttet til fasevinkelen i målingene. Dette har imidlertid lite eller ingen betydning for konklusjonene i denne rapporten.



Figur 3-1 G4430 montert hos Hafslund Nett.

4 Normal lading av elbil

Normal lading av elbil foregår vanligvis gjennom husholdningenes egen strømforsyning eller ved offentlig tilgjengelige ladestasjoner. I dag benyttes normalt en énfase-kurs med 10 A eller 16 A sikring, og med de bilmodellene som har vært tilgjengelig til nå, har det tatt typisk 5-8 timer å lade helt opp fra tomt batteri.

4.1 Utviklingstrekk

Det foregår en stor utvikling i elbilmarkedet, og det er grunn til å tro at måten elbilen lades på vil endre seg i tiden framover. En av de viktige endringene som må ventes, er en økning i effekt ved hjemmelading. Blant de elbilmodellene som er på trappene er det flere som tillater 32 A AC ladestrøm, fra 230 V en-fase (7,3 kW) og opp til 400V tre-fase (22 kW). Med så høye effekter beveger man seg mot effekten for hurtiglading, og slike ladeeffekter omtales gjerne som semi-hurtiglading. Like fullt kan utviklingen gå i den retningen, også i husholdninger.

Antall elbiler vil øke, og kan bli en betydelig andel av lasten deler av døgnet i enkelte områder. Det er derfor viktig å følge med på hvordan stadig flere elbiler kan påvirke spenningsvariasjonene i elektrisitetsnettet. Det er spesielt overharmoniske strømmer og spenninger og hurtige spenningsvariasjoner (flimmer og spenningsprang) som er viktige parametere å følge med på, i tillegg til andre virkninger av økt last i nettet, slik som økte tap, redusert levetid på komponenter i nettet med mer.

4.2 Målinger

Der målinger er foretatt i husholdningene, er måleren koblet til mellom støpselet og elbilladeren. Spenningen er dermed målt i kundens anlegg og ikke i kundens tilknytningspunkt. Når Pst (kort tids flimerverdi) og de andre parameterne ikke er målt i tilknytningspunktet gir de ikke et korrekt bilde av hvordan flimerverdiene er i tilknytningspunktet, men gir allikevel en tydelig indikasjon på hvordan ladingen påvirker eksempelvis flimerverdiene.

I ECar-prosjektet er det foretatt målinger av ladeforløpet til en rekke biler som har vært på markedet opp til år 2012. Her presenteres ladeforløpet til fire bilmodeller under normallading, med spenning og strøm. Der det har vært mulig, er det målt på flere biler av samme bilmodell. I denne rapporten presenteres de spenningsparametere der elbiler kan forventes å ha størst betydning for spenningskvaliteten i nettet ved større utbredelse av elbiler. Dette er primært overharmoniske strømmer/spenninger og flimmerintensitet (spenningsprang). Det er også foretatt målinger på et ladeanlegg (kommunalt anlegg) med ladeuttak for samtidig lading av maksimalt 15 biler.

Tabell 4-1 Bilmodeller og sted for måling av normal lading av elbil. Tabellen viser kun de bilene med ladeforløp kommentert i denne rapporten.

	Beskrivelse	Sted	Estimert I_{k2}
Elbil av type 1	Normallading	Husholdning	540 A
Elbil av type 2	Normallading	Husholdning	150 A
Elbil av type 3	Normallading	Husholdning	210 A
Elbil av type 4	Normallading	Husholdning	380 A
Elbil av type 5	Normallading	Husholdning	920 A
Elbil pool	Samtidig normallading av inntil 15 elbiler	Parkeringshus	

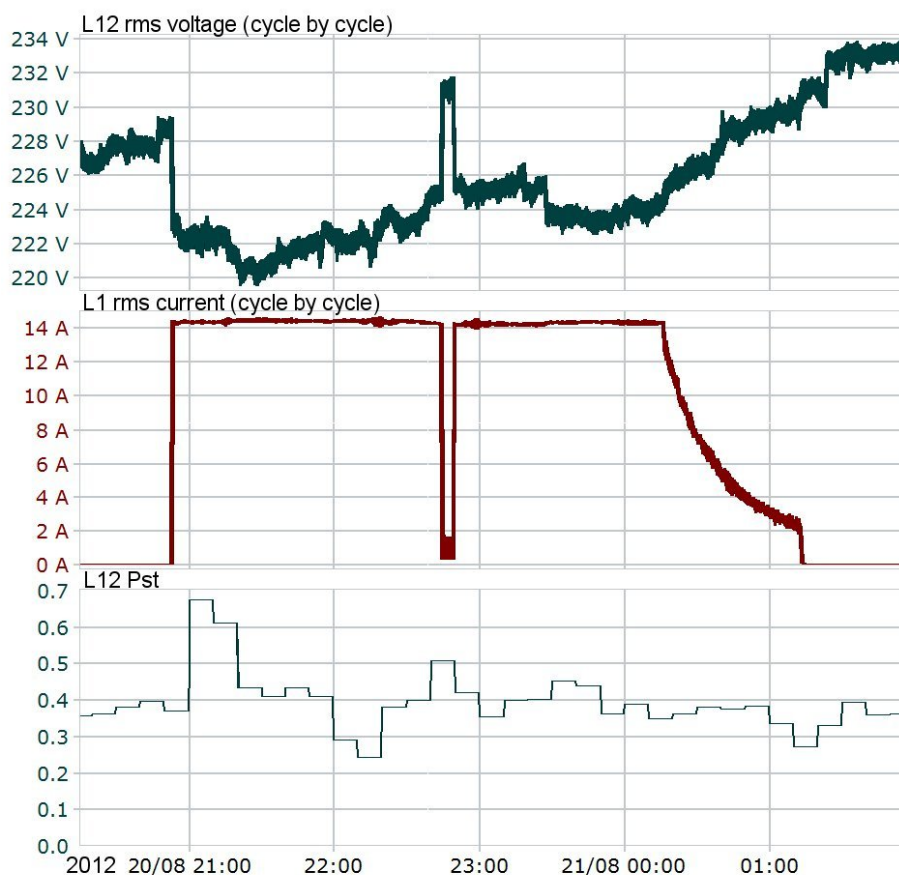
I_{k2} er beregnet i ladepunktet

4.2.1 Ladestrømmens rms-verdi

Ladestrømmens rms-verdi ("root mean square") viser hvor hurtig ladingen skjer da denne strømmen multiplisert med spenningen gir effekten det lades med. Laderne i de ulike bilene gir noe ulike forløp. Dette forløpet kan være av interesse av hovedsakelig tre grunner:

- Strømmens stasjonære rms-verdi angir den lasten elbilen utgjør i nettet.
- Når lasten er stor er strømforløpet ved inn- og utkobling avgjørende for hvor store spenningsendringer det gir i nettet.
- Når lasten gir hurtige spenningsendringer er det avgjørende hvor ofte disse endringene inntreffer, med hensyn til om de gir opphav til flimrer (synlige endringer i lyset fra belysningsutstyr).

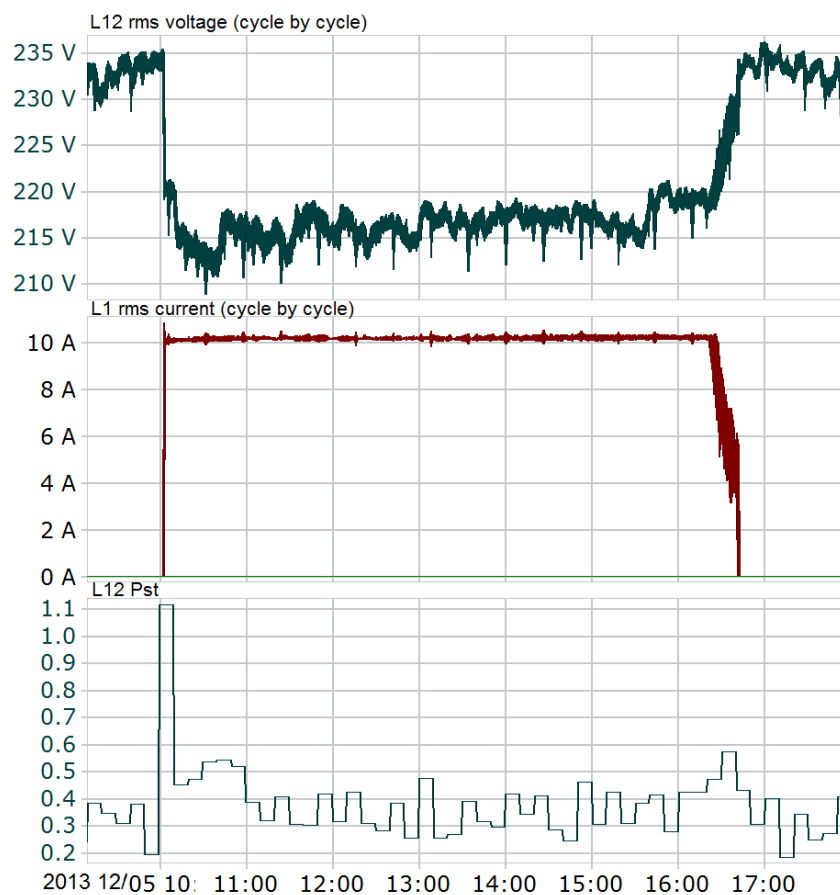
Figur 4-1 viser ladeforløpet til en elbil av type 1. Øverste kurve viser spenningen i uttaket, den midterste kurven viser ladestrømmen og den nederste kurven viser korttids flimmerintensitet. Ved ladestart øker strømmen raskt til 14 A og holdes stabilt der i hoveddelen av ladeforløpet, med to unntak. Etter cirka to timer er det et kort opphold i ladingen og mot slutten av ladingen avtar ladestrømmen. Målingene viser at flimmerverdiene i liten grad påvirkes av ladingen.



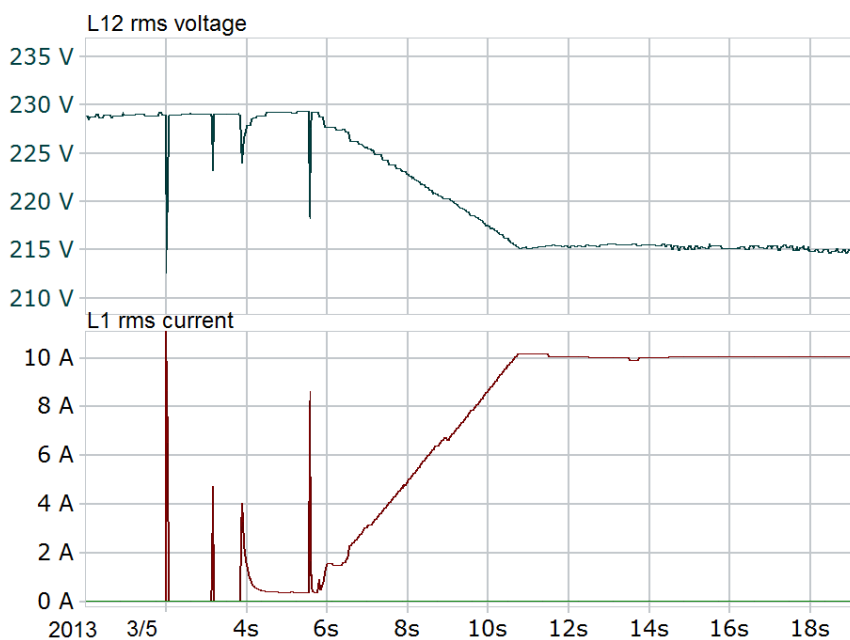
Figur 4-1 Lading av elbil av type 1 i installasjonen hos en alminnelig husholdningskunde. Figuren viser linjespenning, strøm og korttids flimmerintensitet.

Elbil av type 1 er et eksempel på et ladeforløp som i liten grad skaper spenningsforstyrrelser i nettet og i tilkoblingspunktet. Ser vi nærmere på oppstarten av ladeforløpet, ser vi også at strømmen rampes opp til stasjonær ladestrøm over en periode på 8 sekunder. Det indikerer at laderen er designet med tanke på å begrense nettilbakevirkningen.

Figur 4-2 viser ladeforløpet til elbil av type 2, og viser også et ladeforløp som gir relativt lite negativ virkning på nettspenningen. I dette tilfellet er det imidlertid en relativt lang ledning internt i installasjonen/anlegget som gir et stort internt spenningsfall inne i anlegget under ladingen. Dette gjenspeiles i den høye, men kortvarige registrerte flimmerverdien ved ladestart. Figur 4-3 viser at det ikke er hovedforløpet til ladingen som forårsaker hurtige spenningsendringer, men noen få strømpulser som trekkes når ladingen skal starte opp. Disse burde vært unngått av hensyn til nettspenningen, selv om det ikke er uvanlig at også enkelte elektriske apparater/utstyr kan trekke en slik strømpuls når de eksempelvis plugges til i stikkontakten. Når ladingen starter, rampes imidlertid også i denne laderen strømmen sakte opp, og forårsaker ikke unødige spenningsforstyrrelser på nettet.

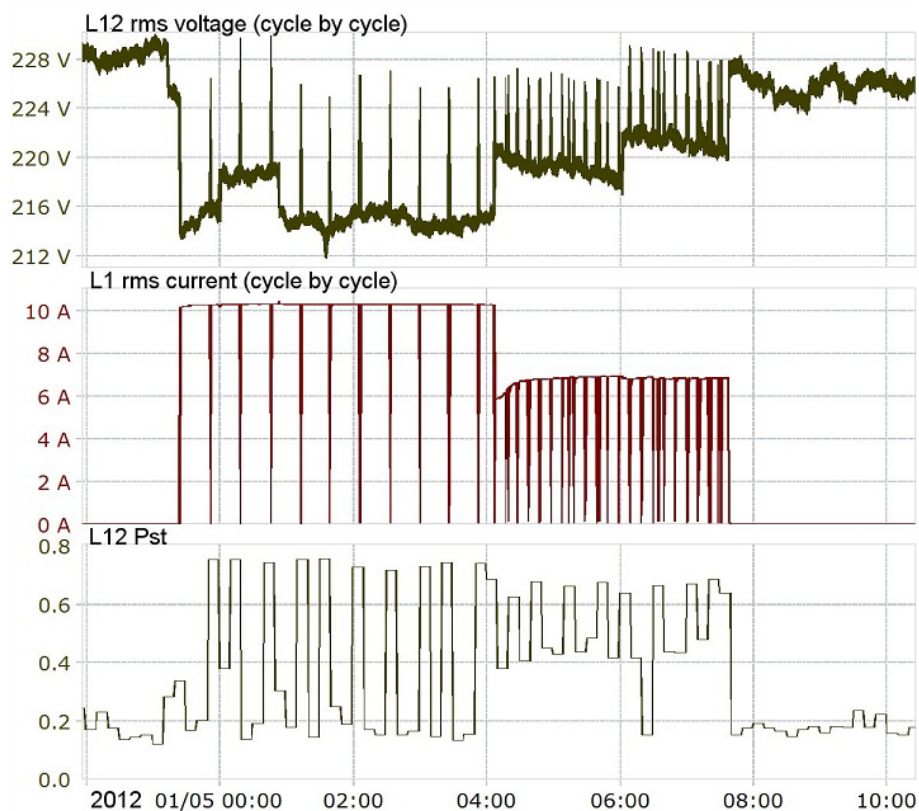


Figur 4-2 Lading av elbil av type 2 i installasjonen hos en alminnelig husholdningskunde. Figuren viser linjespenning, strøm og korttids flimmerintensitet.



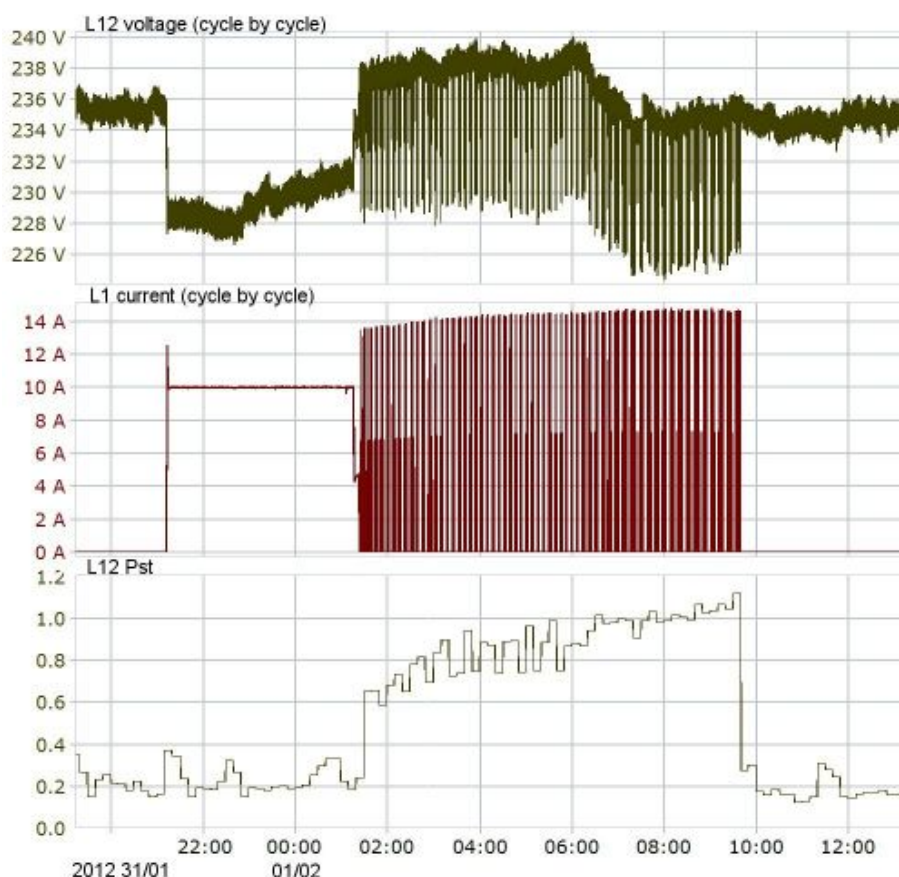
Figur 4-3 Oppstarten av ladeforløpet til en bil av type 2.

Figur 4-4 viser linjespenning, strøm og flimmerintensitet ved normal lading av elbil av type 3. Bilen lader ved 10 A størstedelen av ladeforløpet, for deretter å reduseres til 7 A i siste delen av ladeforløpet. Ladeforløpet til denne bilen inneholder korte opphold i ladingen 2-3 ganger i timen i første del av ladeforløpet, og deretter hyppigere opphold mot slutten av ladingen, når ladestrømmen er lavere. Disse hyppige oppholdene i ladestrømmen gir endringer i linjespenningen og påvirker dermed flimmerverdiene.



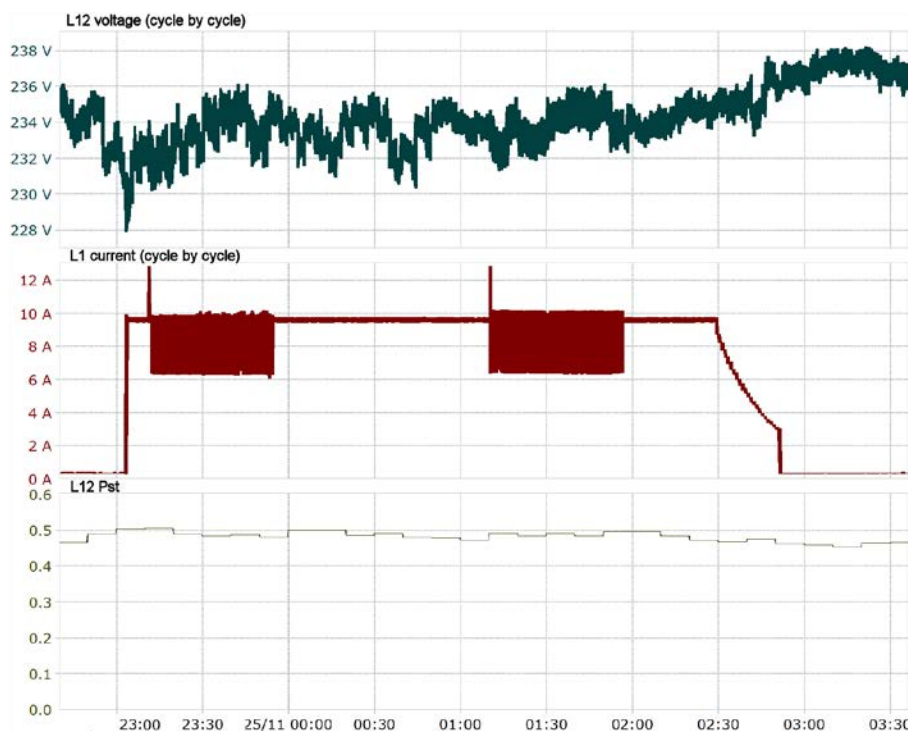
Figur 4-4 Lading av elbil av type 3 i installasjonen hos en alminnelig husholdningskunde. Figuren viser linjespenning, strøm og korttids flimmerintensitet.

Figur 4-5 viser linjespenning, strøm og flimmerintensitet ved normal lading av elbil av type 4. Bilen lader konstant ved 10 A en betydelig del av ladeforløpet, for deretter å gå over til pulset lading med rundt 14 A. Ladeforløpet til denne elbilen er med hensyn til spenningskvaliteten i nettet og installasjonen bilen er tilkoblet, det mest utfordrende ladeforløpet. Disse relativt hyppige strømpulsene gir hyppige endringer i linjespenningen og påvirker dermed flimmerverdiene betydelig.



Figur 4-5 Lading av elbil av type 4 i installasjonen hos en alminnelig husholdningskunde. Figuren viser linjespenning, strøm og korttids flimmerintensitet.

Figur 4-6 viser linjespenning, strøm og flimmerintensitet ved normal lading av elbil av type 5. Bilen lader konstant ved i underkant av 10 A en stor del av ladeforløpet, men har også i enkelte intervaller en betydelig variasjon i ladestrømmen på ca 40 % av full ladestrøm. Disse lastvariasjonene er ikke så store som når enkelte av de andre elbilene det er målt på slår hele ladestrømmen hurtig av og på. Ladeforløpet til elbil type 5 er heller ikke så utfordrende for nettspenningen som eksempelvis elbil av type 3 og 4.



Figur 4-6 Lading av elbil av type 5 i installasjonen hos en alminnelig husholdningskunde. Figuren viser linjespenning, strøm og korttids flimmerintensitet.

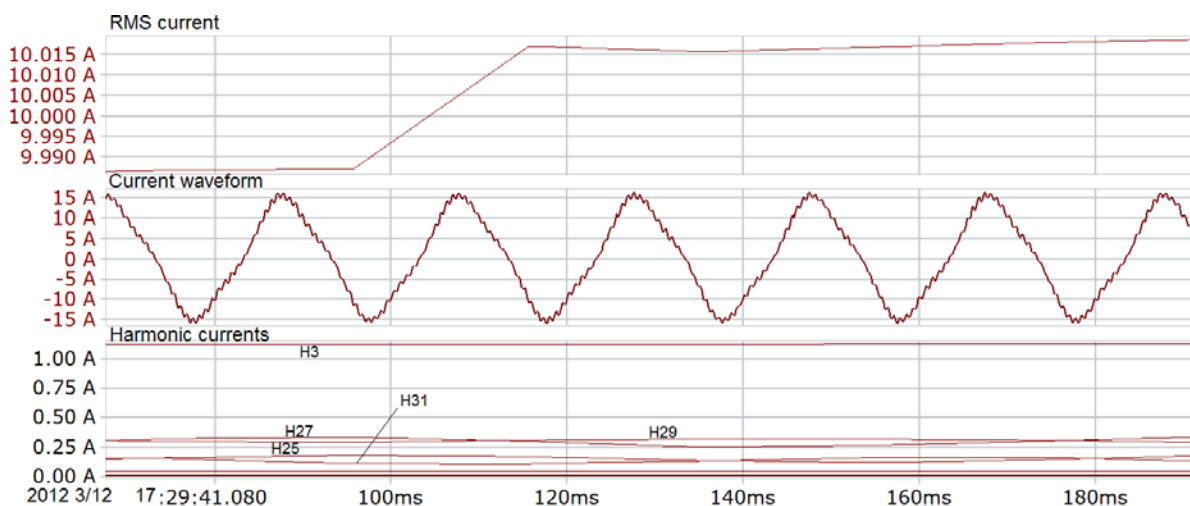
Figur 4-4 og Figur 4-5 viser eksempler på ladeforløp som kan skape unødig store spenningsforstyrrelser i nettet, fordi ladestrømmen med jevne mellomrom hurtig slås helt av og på, og dermed kan skape hurtige variasjoner i linjespenningen.

Målingene av ladeforløpet under normallading viser til dels stor variasjon i de ulike elbiltypenes ladeforløp. Enkelte av bilene har ladere som i liten grad skaper forstyrrelser i nettet og nettspenningen, mens spesielt to av bilene har ladere som har ugunstig store, hyppige og hurtige variasjoner i ladestrømmen. De førstnevnte laderne skal ikke kunne bidra til problemer med eksempelvis høye flimerverdier (dårlig lyskvalitet fra belysningsutstyr), men vil fortsatt bidra til å øke den totale lasten, også under topplast på de kaldeste vinterdagene. Generelt er det en god grunn til å være bevisst på hvilken karakteristikk ladestrømmen/ladeforløpet har, spesielt når ytelsen på ladere øker fra 10/16 A. At ladestrømmen rampes opp og ned over flere sekunder kan være viktig i så måte.

4.2.2 Overharmoniske strømmer

Overharmoniske strømmer er av interesse fordi de kan forårsake overharmoniske spenninger, som blant annet kan medføre økt tap/varmgang og i ytterste konsekvens skader på elektriske komponenter og apparater dersom forstyrelsene blir veldig store. Forskrift om leveringskvalitet setter grenser for hvor høy amplitude som tillates av de ulike overharmoniske spenninger. Det forventes ikke at noen relativt få elbiler vil kunne forårsake overharmoniske spenninger som bryter med forskriften, men harmoniske strømmer er et fenomen som vil øke med antallet elbiler, fordi strømmene fra alle bilene til en viss grad vil adderes. Unntaket er den 3.harmoniske komponenten dersom det er et IT-nett og den aktuelle lasten er symmetrisk i trefasesystemet. Da vil disse strømmene utligne hverandre. I et TN-nett vil 3.harmoniske strømmer adderes i N-leder, noe som kan gi store strømmer i N-leder. I nye TN-nett er N-leder dimensjonert for å kunne lede disse strømmene.

En elbillader benytter kraftelektronikk til å likerette strømmen. Dette er en ulineær last som kan trekke strøm som ikke er sinusformet. Figur 4-7 viser strømmens kurveform ved lading av en elbil av type 2. Strømmen er nær trekantet formet og har tydelige svingninger med vesentlig høyere frekvens enn grunnfrekvensen som følge av svitsjingen i laderens kraftelektronikk. Ved hjelp av Fourier-analyse kan strømmens kurveform, periode for periode, deles opp i overharmoniske strømmer av ulike orden. Figuren viser de overharmoniske strømmene, med høyest amplitude. Høyest er den tredjeharmoniske komponenten på 1,1 A, som bidrar til den trekantede formen på strømkurven. De øvrige overharmoniske strømmene, 25. – 31. harmoniske, gjenspeiler de mer høyfrekvente svingningene i strømmen. Total harmonisk forvrengning (THD) i strømmen ligger jevnt på 12,5 %. Spenningens totale harmoniske forvrengning påvirkes lite av hvorvidt lading pågår, med en minimal økning fra 0,5 % til 0,6 %.



Figur 4-7 RMS ladestrøm, strømmens kurveform og de overharmoniske strømmene med høyest amplitude målt ved lading av elbil type 2.

Figur 4-8 viser målingen av overharmoniske strømmer under lading av elbil type 1. Ladeforløpet er det samme som i Figur 4-1. De overharmoniske strømmene med høyest amplitude var 3. og 5. harmoniske med henholdsvis 1,2 og 0,4 A. Total harmonisk forvrengning (THD) av strømmen lå jevnt på 10 % og ingen klar endring i total harmonisk forvrengning (THD) kunne observeres i spenningen ved ladingens start og avslutning.



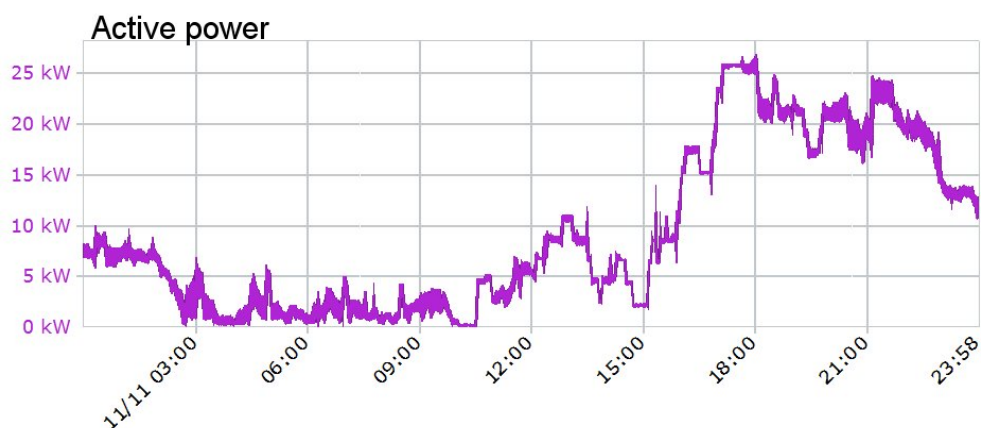
Figur 4-8 Overharmoniske strømmer som trekkes ved normal lading av elbil type 1 ved 14 A. Dette er den samme ladesyklus som i Figur 4-1.

Den høyeste overharmoniske strømmen ble målt ved lading av elbil type 2 ved 16 A, der den 3. harmoniske strømmen ble målt til 1,9 A.

Kun ved lading av ganske mange elbiler i samme områder med svake nett kan det tenkes at de mest fremtredende komponentene kunne forårsake betydelige overharmoniske spenninger. Forutsatt at den tredjeharmoniske komponenten er fordelt over alle linjer, vil den ikke utgjøre noe problem. De resterende komponentene er da 5. og 25.-35. harmoniske, men disse er generelt små. Ingen overharmoniske spenninger ble målt i nærheten av grenseverdiene som gjelder på området.

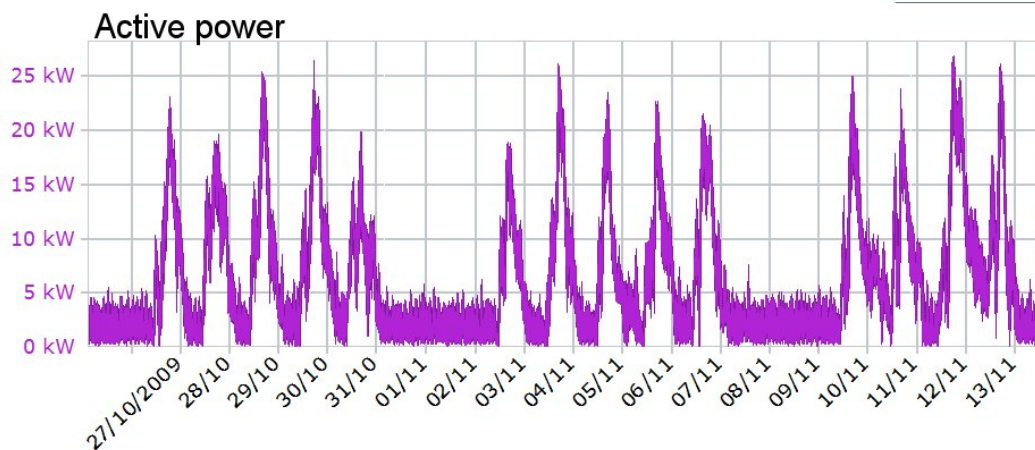
4.2.3 Normal lading ved en elbilpark

Figur 4-9 viser resultater av målinger foretatt på en kommunal elbilpark. Effekten som trekkes viser at lading starter etter arbeidstid, kl.15-17, og pågår til batteriene er full-ladet 7-8 timer senere. Dette har trolig en sammenheng med at bilene i hovedsak benyttes i vanlig arbeidstid, og ladingen starter når bilene plugges i støpselet ved parkering på ettermiddagen.



Figur 4-9 Effekten ved lading av en kommunal elbilpark på en vanlig arbeidsdag hovedsakelig biler av type 4.

Figur 4-10 viser at dette gjentar seg alle hverdager, med moderate variasjoner mens det i helgene var svært lite lading.



Figur 4-10 Effekten ved lading av en kommunal elbilpark over tre uker.

4.3 Nettpåvirkning

Målingene som er utført på normal lading av elbil viser at det er en betydelig forskjell på de ulike ladernes strømsignatur. Enkelte ladere har en relativt jevn ladestrøm og ramper strømmen opp over flere sekunder ved ladestart. Andre ladere gir store gjentatte sprang i strømmen, og har dermed et større potensial for å skape forstyrrelser i nettet.

Laderne det er gjort målinger på gir overharmoniske strømmer, men ikke nok til å skape utfordringer med et beskjedent antall elbiler. Det kan imidlertid tenkes at mange elbiler i spesielt svake nett kan gi overharmoniske spenninger opp mot og eventuelt over grenseverdiene i Forskrift om leveringskvalitet i kraftsystemet [6], men dette vurderes som lite sannsynlig. Tredjeharmonisk komponent vil ikke gi utfordringer i IT-nett, så lenge lasten er fordelt mellom fasene. I et TN-nett vil derimot de tredjeharmoniske strømmene adderes i N-lederen.

Hovedutfordringen med elbillading ser ut til å være den generelle lastøkningen, spesielt om ladingen sammenfaller i tid med når det allerede er høy last i nettet. I et område med husholdninger vil dette typisk være fra kl.17 til kl.23 på ukedager, som vist i Figur 2-2. Dersom elbileier velger å lade opp bilen med en gang de kommer hjem på ettermiddagen vil det skje i akkurat samme tidsrom. Både i dette tidsrommet og under lasttoppen på morgenen er mange lavspenningsnett i Norge allerede hardt belastet på kalde vinterdager. På lengre sikt kan man se for seg og delvis å bøte på dette problemet med smartere lading der tidspunktet for lading flyttes noe i tid. Dette synes foreløpig noe vanskelig da de fleste elbilene i dag har svært begrenset rekkevidde og de som kjører dem gjerne ønsker å sette bilen til lading når det bare er noen få mil rekkevidde igjen. På kalde vinterdager har de fleste elbilene som allerede er på norske veier bare en rekkevidde på 6 til 10 mil fra fulladet batteri. Dette tilsvarer omtrent "reservetanken" til en diesel- eller bensindrevet bil.

5 Hurtiglading av elbil

Hurtiglading har fram til nå i hovedsak vært lading der laderen/likeretteren er plassert utenfor bilen og har en vesentlig høyere kapasitet enn laderen som er integrert i elbilen. Typisk ytelse på hurtigladeestasjoner kan være fra 40 til 90 kW mot typisk 2 til 3,6 kW ved det man har kalt normallading.

5.1 Infrastruktur for hurtiglading

Hurtigladerne bygges ut både i og rundt de større byene og på strekningene mellom byer. I og rundt byene er hurtigladerne en viktig reserve for elbiler med begrenset rekkevidde og mellom byer er hurtigladerne helt avgjørende for om en del elbiler i det hele tatt skal være anvendelige som transportmiddel mellom disse byene. Å basere seg på normallading for å kjøre mellom byer som eksempelvis Oslo og Kristiansand er for de aller fleste helt utelukket. Hurtiglading krever imidlertid stor effekt og det er derfor viktig at fordelingsnettet som hurtigladerne tilkobles har tilstrekkelig kortslutningsytelse (sterkt nett) slik at ikke det kan bli betydelig forstyrrelser i spenningen for de øvrige kundene tilkoblet samme fordelingsnett. Dersom hurtigladerne tilkobles høyspennings fordelingsnett med en egen fordelingstransformator skal det mye til før man kan oppleve problemer. Dersom hurtigladeren og andre kunder skal være tilkoblet samme lavspenningskrets er det imidlertid viktig at nettselskapene sørger for tilstrekkelig sterkt nett.

5.2 Utviklingstrekk

Det foregår en omfattende utbygging av hurtigladeestasjoner i Norge, spesielt rundt de store byene. Til nå har mange ladepunkt blitt bygget med én enkelt lader. Etter hvert som elbilbrukere blir vant til å ha tilgang på hurtigladerne, vil det bli økt krav til tilgjengelighet. Det vil trolig kreve utbygging av større stasjoner med flere ladeuttak i samme stasjon.

Utviklingen av biler med større og bedre batteripakker vil påvirke ladeforløpet for hurtiglading. Trolig vil biler kunne lade med maksimal effekt i lengre tid før ladestrømmen begynner å avta, hvis den avtar. Dermed kan man anta en høyere utnyttelse av kapasiteten i ladestasjonen med nye bilmodeller.

Flere bilprodusenter arbeider med å øke kapasiteten i laderen om bord i elbil, blant annet ved å benytte den samme kraftelektronikken som forsyner motoren og sørger for regenerativ bremsing. En slik utvikling kan gå i retning av at on-board ladere i enkelte modeller blir så kraftige at de må betegnes som hurtigladerne. I det tilfelle vil det være avgjørende hvordan deres ladeprofil er og hvordan den påvirker nettet.

5.3 Målinger

Det er utført målinger ved hurtigladestasjoner ved fire ulike lokasjoner. Alle fire hurtigladerne benytter CHAdEMO-standard og er tilknyttet 400V TN-nett. Målepunktene er plassert ulikt i forhold til nettstasjon og lader, og kortslutningsytelsen er ulik. Data om de ulike lokasjonene er presentert i Tabell 5-1.

Tabell 5-1 Lokasjoner med måling på hurtigladerne.

Sted	Laderprod.	Målepunkt	$I_{k3, maks}$	$I_{k2, min}$
Lokasjon A, Flyplass	ABB Terra 51	Nærmeste nettstasjon	NS: 21,7 kA	NS: 16,8 kA
Lokasjon B	ABB Terra 51	Nærmeste nettstasjon	TP: 11 kA	
Lokasjon C	SGTE/Proxll	Kundens anlegg (bensinstasjon)	TP: 10,2 kA NS: 16,1 kA	TP: 6,5 kA NS: 10,1 kA
Lokasjon D	Epyon Terra 50.1 (oppkjøpt av ABB)	Tilknytningpunkt	TP: 11,8 kA	TP: 6,65 kA ($I_{k1, min}$)

TP: Tilknytningspunkt

NS: Nettstasjon, lavspenning

$I_{k3, maks}$: Maksimal 3-polt kortslutningsstrøm

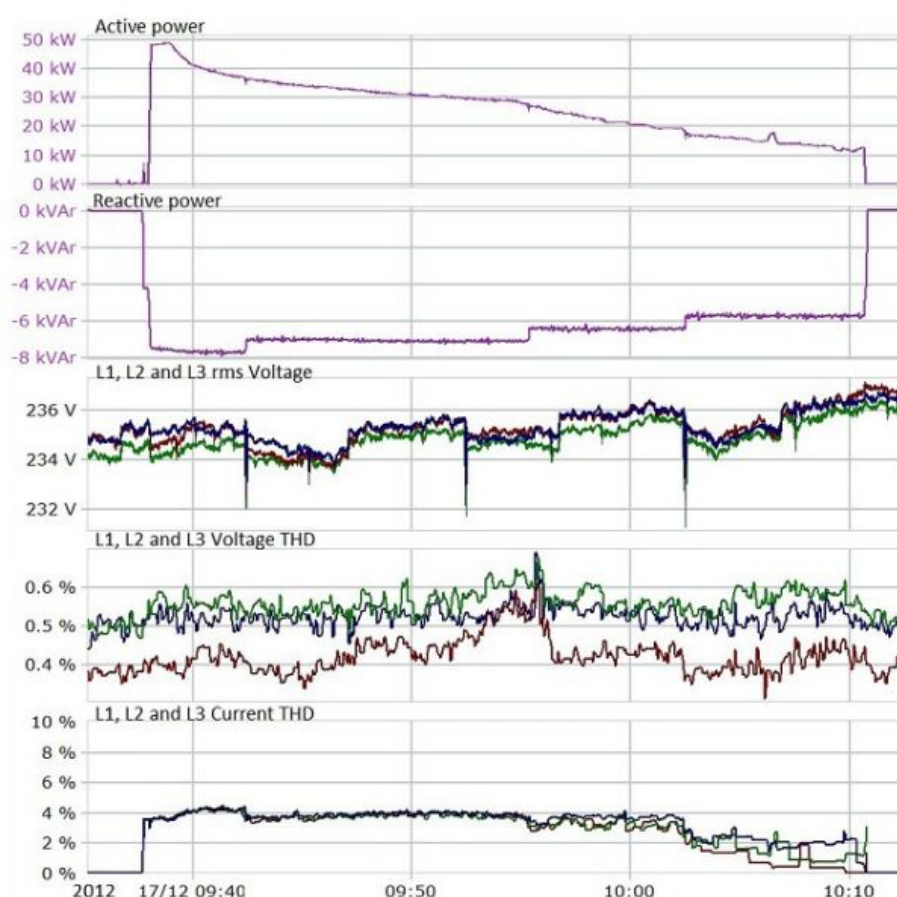
$I_{k2, min}$: Minimal 2-polt kortslutningsstrøm

5.3.1 Aktiv og reaktiv effekt under ladeforløpet

Aktiv og reaktiv effekt er viktige parametere for å avgjøre hvordan ladeforløpet påvirker nettet. De avgjør hvordan overliggende nett belastes og hvordan spenningen påvirkes av ladingen.

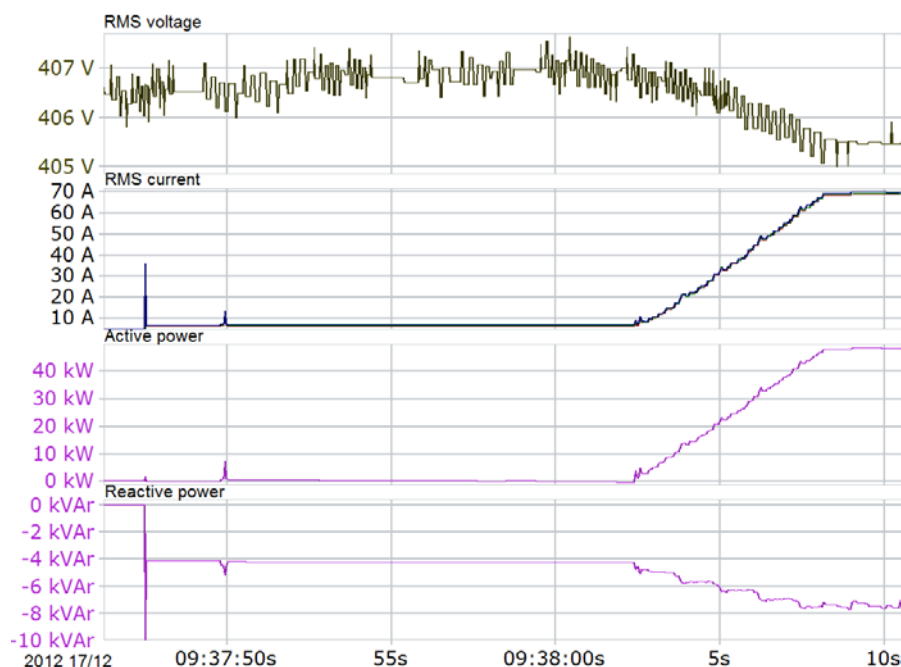
- Aktiv og reaktiv effekt viser den stasjonære belastningen på nettet.
- Strømførsløpet ved inn- og utkobling er avgjørende for hvor store spenningsendringer ladingen gir i nettet.
- Hvis det forekommer hurtige spenningsendringer er det avgjørende hvor ofte disse endringene inntreffer, for hvorvidt de også gir opphav til flimrer.

Figur 5-1 viser lading av en elbil av modell type 4 ved lokasjon A. Figuren viser at bilen lader i overkant av 30 minutter og starter å lade med en effekt på nær 50 kW. Etter 2 minutter synker effekten og fortsetter å synke gjennom ladeforløpet til den lader ved 11-12 kW mot slutten av ladeperioden. Hurtigladeren opererer med en effektfaktor som er gunstig for å opprettholde spenningen i distribusjonsnettet; den leverer reaktiv effekt når lading foregår. Når ladeeffekten er høy leverer laderen 8 kVAr til nettet, mens den leverer 6 kVAr når ladeeffekten er mindre mot slutten av forløpet.



Figur 5-1 En av de vanligste ladeforløpene for hurtiglading. Dette eksempelet er fra lokasjon A. Bilmodellen er antatt å være elbil av type 2.

Figuren under viser oppstarten av et ladeforløp ved lokasjon A. Ved oppstart leverer laderen reaktiv effekt i 15 sekunder før forbruk av aktiv effekt rampes opp over en periode på 6 sekunder, noe som gir en økning på 8 kW per sekund.

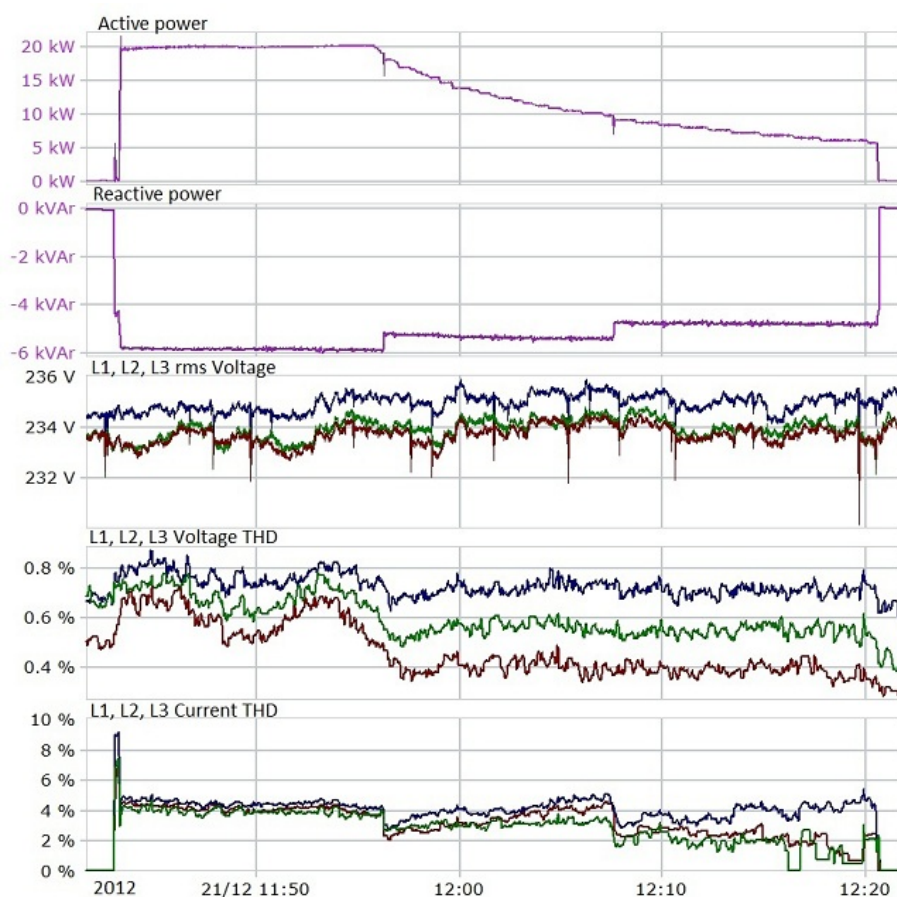


Figur 5-2 Oppstart av lading ved lokasjon A.

Figur 5-3 viser ladeforløpet når ladeperioden er kort og det trekkes en høy effekt fra nettet når ladingen avsluttes. Når ladingen avsluttes, faller effekten momentant til null. I dette tilfelle er den momentane endringen i effekt 40 kW. For elbiler med større batteripakker og større evne til å opprettholde ladestrømmen, vil et slikt effektsprang også inntre ved lengre ladeforløp.

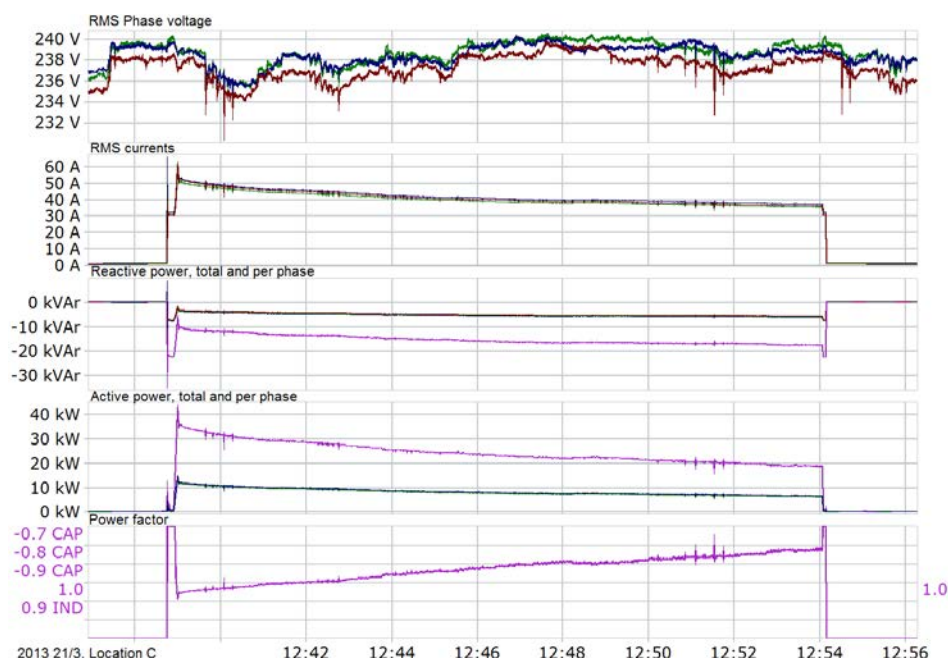


Figur 5-3 Kort ladeforløp (cirka 4 minutt) ved lokasjon A. Ved oppstart rampes effekten opp. Ved ladestopp faller effekten momentant, trolig avbrutt av bruker.



Figur 5-4 En av de vanlige ladesignaturene, her ved lokasjon B. Signaturen antas å være for en bil av type 1.

Figur 5-4 viser ladesignaturen ved hurtiglading i lokasjon B. Bilen som lades begrenser effekten til 20 kW, og antas derfor å tilhøre elbil 1. Foruten at ladestrømmen er begrenset til 20 kW, er forløpet likt det som ved lokasjon A.



Figur 5-5 Ladeforløpet ved lokasjon C. Forløpet for reaktiv effekt er ulikt lokasjon A og B. Denne laderen kommer fra en annen fabrikant.

Figur 5-6 viser oppstarten av ladeforløpet ved lokasjon C. De første ti sekundene leverer laderen i hovedsak reaktiv effekt til nettet, i dette tilfellet 20 kVar, før forbruk av aktiv effekt rampes opp over en periode på 6 sekunder. Også ved lokasjon C skjer lastavslaget momentant, noe som kan gi opphav til en hurtig spenningsendring.



Figur 5-6 Oppstart av hurtiglading ved lokasjon C.

5.3.2 Harmoniske strømmer

Overharmoniske strømmer kan gi opphav til overharmoniske spenninger som det er pålagt å holde innenfor fastsatte grenseverdier. For å avgjøre hvorvidt disse grenseverdiene vil bli brutt kan de overharmoniske strømmene målt her benyttes i beregninger. De overharmoniske spenningene målt i dette prosjektet er lave, og langt under de aktuelle grenseverdiene.

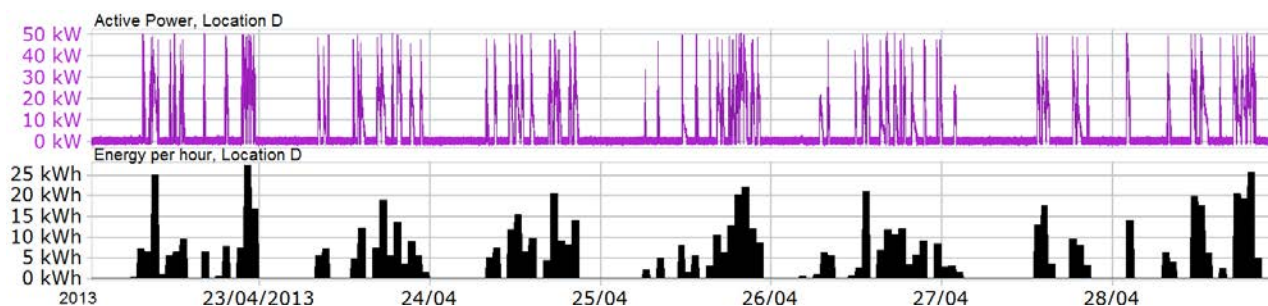
Den harmoniske forvrengningen av strømmen til ladestasjonene er lav og stabil med en THD-verdi på omkring 4 %. Det kan ikke observeres at strømmens harmoniske forvrengning gir merkbar forvrengning i spenningen. Nettet anses også som relativt sterkt i tilknytningspunktet.

Det er en viss forskjell i de harmoniske strømmene hos ulike fabrikanter. I lokasjon A og B er de høyeste overharmoniske strømmene 7.harmonisk, som i en periode er oppe i 2,4 A og 5. harmonisk som er oppe i 1,6 A. 11.harmoniske er oppe i 0,7 A i perioder. I kortere perioder er også 25. harmonisk oppe i 0,7 A. Ved lokasjon C er også 11. harmonisk framtrædende med en verdi som ligger jevnt på 0,9 A, og 13. harmonisk som ligger rundt 0,6 A.

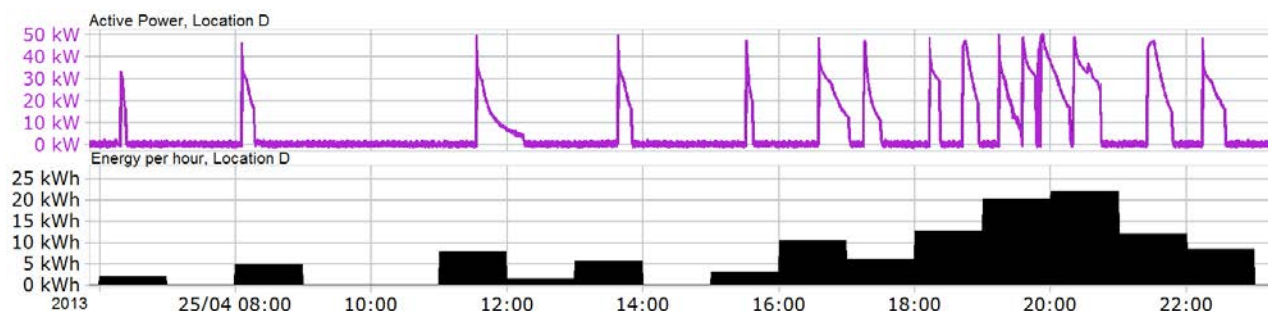
Disse harmoniske strømmene er ikke av en slik størrelse at de normalt vil skape problemer. Generelt ser det ikke ut til at harmoniske spenninger vil være et problem i de punktene i nettet hvor det er aktuelt å plassere hurtigladdere, ut fra kriterier om at nettet må være tilstrekkelig sterkt der hurtigladdere skal kobles til.

5.3.3 Bruksmønster for hurtigladerstasjoner

Målingene ved de fire ladestasjonene viser en hyppig bruk av disse. Alle stasjonene er i bruk minst daglig, og flere viser til tider nær sammenhengende bruk, der oppholdet kun tilsvarer skiftet mellom 2 biler. Figur 5-7 og Figur 5-8 viser målinger ved lokasjon D.



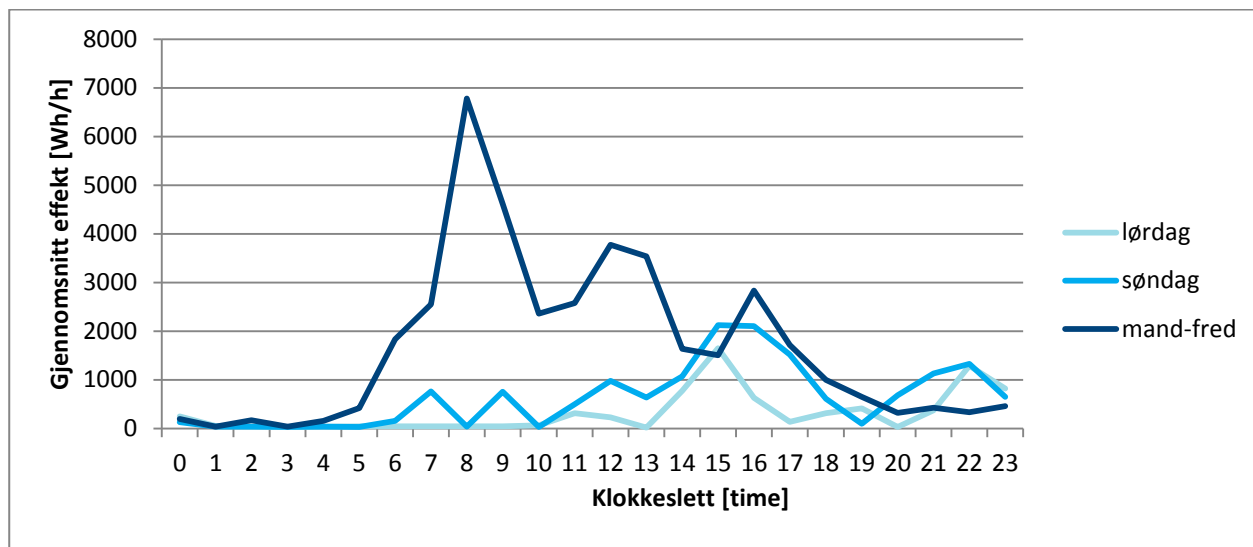
Figur 5-7 Bruk av hurtigladeren ved lokasjon D over ei uke fra mandag til søndag. Figuren viser aktiv effekt og energi per time.



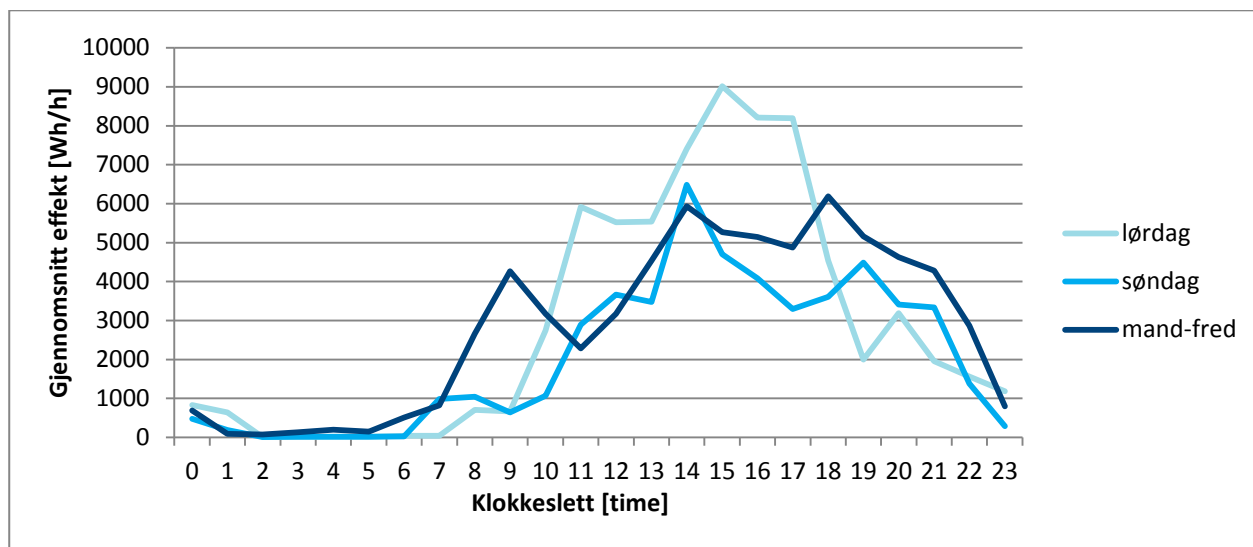
Figur 5-8 Bruk av ladestasjonen ved lokasjon D en ukedag. Figuren viser aktiv effekt og energi per time.

Fra Figur 5-9 til Figur 5-12 vises gjennomsnittlig bruk av ladestasjonene, delt opp i ukedager, lørdag og søndag.

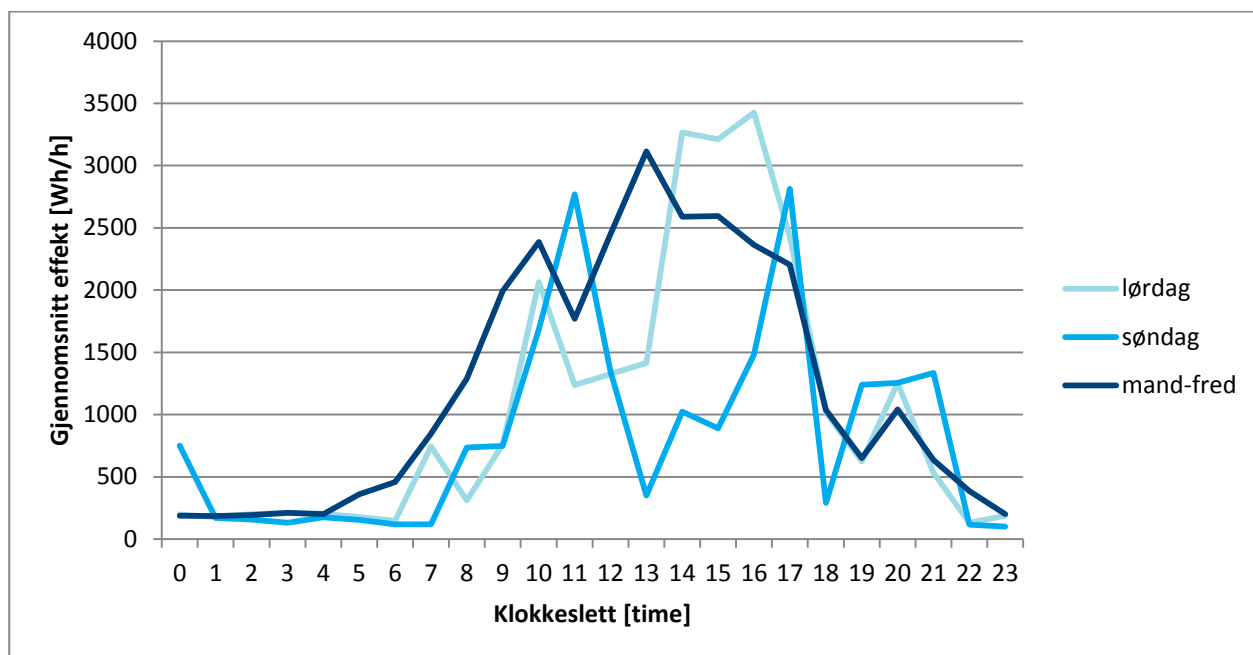
Det er noe forskjell i hvordan bruken fordeler seg utover dagen ved de ulike lokasjonene. Lokasjon A skiller seg her ut ved mindre bruk og at denne er tidligere på dagen. Ved de tre andre punktene vises det en tydelig økning i bruken tidlig på ettermiddagen.



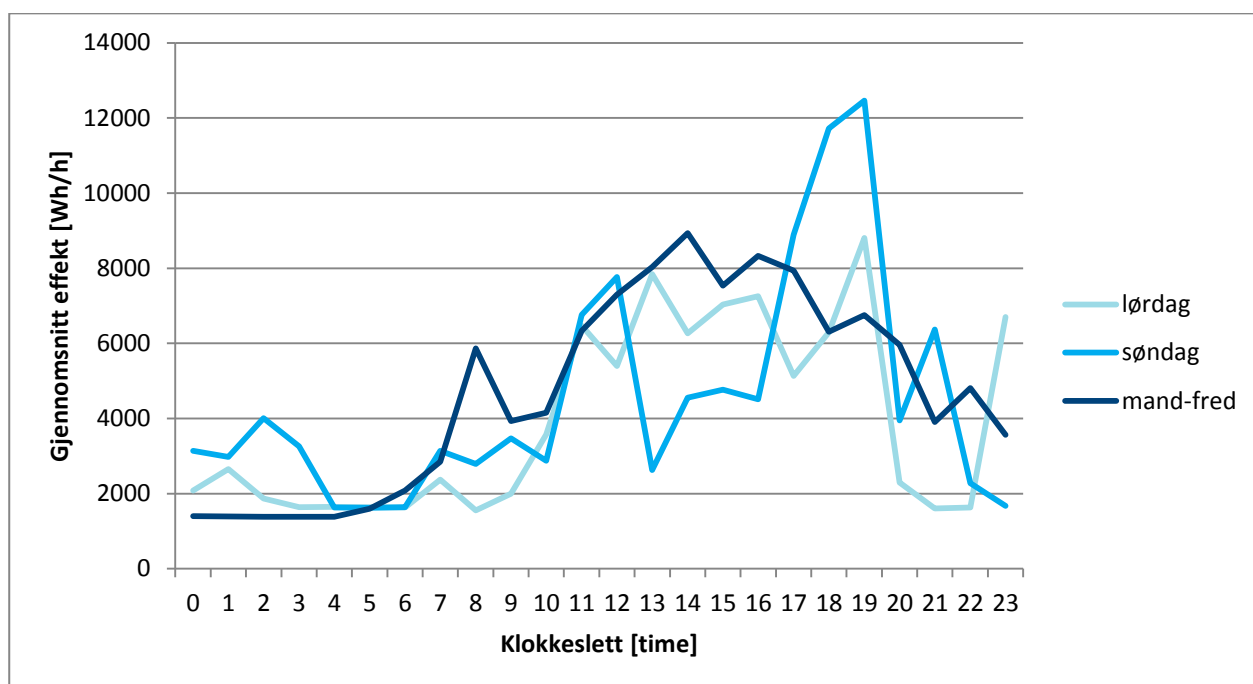
Figur 5-9 Bruksmønster for hurtigladdestasjon ved Lokasjon A. Gjennomsnitt fra desember 2012 til mars 2013.



Figur 5-10 Bruksmønster for hurtigladdestasjon ved lokasjon B. Gjennomsnitt fra desember 2012 til mai 2013.



Figur 5-11 Bruksmønster for hurtigladerstasjon ved Lokasjon C. Gjennomsnitt fra januar til mai 2013.



Figur 5-12 Bruksmønster for hurtigladerstasjon ved lokasjon D. Gjennomsnitt fra mars til april 2013.

5.4 Nettpåvirkning

I hovedsak viser målingene som er utført ikke noen spesielle utfordringer knyttet til hurtigladestasjonene, ut over den lasten som ladestasjonen representerer. Ladestasjonene produserer liten harmonisk forvrengning og fasevinkelen mellom strøm og spenning er gunstig med tanke på spenningen i nettet, det vil si nær 1 og svakt kapasitiv.

Ved oppstart av ladingen, rampes effekten gradvis opp over en periode på 5-6 sekunder til stasjonær effekt er nådd. Med denne gradvise økningen i strøm reduseres faren for at lading forårsaker spenningsprang. Ved ladeslutt er det imidlertid ingen gradvis endring i effekten. I tilfeller der det trekkes stor effekt i det ladingen avsluttes, medfører dette en momentan lastendring på opp til 50 kW. Det kan forårsake store spenningsprang dersom nettet ikke er tilstrekkelig dimensjonert (sterkt nett).

Utfordringene med hurtigladestasjoner knytter seg i hovedsak til de stasjonære forholdene ved lasten, altså stasjonære spenningsforhold og belastning på komponenter som transformator og kabler.

Ved dimensjonering nett for hurtigladestasjoner med flere ladepunkt, vil det være nødvendig å dimensjonere for den fulle kapasiteten av alle ladere. Typisk for elbilladere er at de vil yte maksimal effekt så fremt batteripakken tillater det. Med nye elbilmodeller og bedre batteripakker vil dette føre til at ladepunkt trekker maksimal effekt over lengre tid. Der det er flere ladepunkt kan man dermed ikke anta noen reduksjon som følge av sammenlagring.

Utfordringen med hurtigladere vil være knyttet til kapasiteten i distribusjonsnettet og overliggende nett, ikke spesielle forstyrrelser forårsaket av laderne. Med kapasitet menes her både de termiske begrensningene og spenningsfallet i transformatorer og linjer. Den lasten som hurtigladere representerer vil gi spenningsfall i nettet og kan, selv om spenningsforholdene er akseptable der laderen er tilknyttet, føre til at spenningen synker og kommer ned mot grensene som er satt i forskrift om leveringskvalitet hos andre nettkunder, som er tilknyttet lengre ut i nettet og har lavere spenning i utgangspunktet.

6 Smart lading

Hovedutfordringene med elbillading er knyttet til det ekstra effektbehovet i forhold til dagens lastsituasjon. Det tidspunktet med det høyeste forbruket, P_{maks} , er det nettet må dimensjoneres for. Dersom lading sammenfaller med effekttoppen for øvrige laster, vil P_{maks} øke. For distribusjonsnett som er hardt lastet i dagens situasjon, vil en høyere effekttopp utløse kostbare oppgraderinger og ombygninger.

Fordi forbruksprofilen er ulik for ulike kunder og kundegrupper, vil også tidspunktet for maksbelastning variere noe mellom ulike deler av et distribusjonsnett. Som vist i Figur 2-2 vil det for et boligområde være høyest belastning mellom kl. 17 og 23, mens det for et område med næringskunder vil være mellom kl. 08 og kl. 14.

For å unngå nettoppgraderinger, kan økning i forbruket legges til tidspunkt det er ledig kapasitet i nettet. Smart lading er en betegnelse for systemer som gir en kontroll med ladetidspunkt for elbiler. [7] gir en god oversikt over status for smart lading i Europa i dag. Tanken er at forbruket skal respondere på signaler om kraftsituasjon og belastningen av nettet, i form av prissignaler eller direkte styring fra nettoperatøren.

Det finnes flere teknologiske løsninger for smart lading. Det kan skje med et enkelt tidsur, noe som allerede er tilgjengelig i flere elbiler, eller det kan skje ved kontinuerlig oppdatering av prisinformasjon fra nettoperatør og en elbil som lader når det er mest gunstig.

Usikkerheten når det kommer til å realisere smart lading, som med annen "demand respons", er hvordan nettkunder vil reagere på prissignaler og være villige til å tilpasse sitt strømforbruk. Dersom det i tillegg må investeres i utstyr som tilrettelegger for "demand respons", vil barrieren for å tilpasse forbruket trolig være enda høyere.

Det er flere faktorer som kan ventes å påvirke villigheten til å tilpasse tidspunkt for elbillading. Dersom batterikapasiteten i elbilene er betydelig større enn det som trengs til hverdagsbruk, kan det tenkes at behovet for å ha batteriet så fulladet som mulig til enhver tid, reduseres. Det vil det også om det er god tilgang på hurtigladere. Da risikerer man ikke at batteriet er tomt, når det dukker opp uforutsette transportbehov.

Det kan også være en betydelig forskjell mellom ulike kundegrupper når det kommer til elbillading. Mange bedrifter og det offentlige forholder seg i større grad til planer for når elbilen skal benyttes og kan derfor utsette ladingen, uten å risikere at det dukker opp uforutsette transportbehov når batteriet er tomt.

7 Standardisering

Utviklingen av internasjonale standarder på lading av elektriske kjøretøy er en forutsetning for stortiltet utbredelse av elbilen. Standardisering av utstyr til elbiler strekker seg helt tilbake til starten av 1900-tallet [8]. De siste tiårene har utviklingen av standarder på området igjen skutt fart, og viktig arbeid foregår på områder som ladekontakter, kommunikasjonsprotokoller, spenningsnivå og krav til sikkerhet [9].

Som respons på standardiseringsmandat M/468 fra EU-kommisjonen har CEN, CENELEC og ETSI kommet med anbefalinger til videre standardisering i forbindelse med lading av elektriske kjøretøy. I sin sluttrapport påpekes viktigheten av å begrense negativ virkning på nettet når elbillading blir mer utbredt enn i dag. Det nevnes fenomener som flimmer, hurtige spenningsendringer og overharmonisk forvrengning, og det anbefales at disse utfordringene håndteres videre av tekniske komitéer i IEC og CENELEC. Standarden IEC EN 61851-21 tilskrives en viktig rolle hva angår lavfrekvente forstyrrelser, som flimmer og spenningsendringer [10].

Standardene i serien IEC EN 61851 beskriver systemer for konduktiv lading av elektriske kjøretøy. Del 1 inneholder generelle krav knyttet til konduktiv lading, del 21 inneholder krav for tilkobling av kjøretøy til AC og DC strømforsyning, del 22 inneholder krav til AC ladestasjoner og del 23 inneholder krav til DC ladestasjoner. Disse er imidlertid under revisjon og nye versjoner er ventet ferdigstilt nær framtid. IEC EN 61851-1 kom i ny versjon i 2011, men en ny versjon er ventet igjen allerede i 2014. I 2001 ble første versjon av EN 61851-21 publisert, men en ny versjon skulle vært ferdigstilt i 2012. Denne er p.t. ikke publisert. Siste versjon av IEC 61851-21 fra 2001 inneholder ikke krav til lavfrekvente forstyrrelser, definert som fenomener under 150 kHz [11].

8 Oppsummering

Det er utført målinger av både normal lading av elbil ved 10 A til 16 A, og det er utført målinger av hurtiglading ved 70 A i 400V TN-nett. Egenskaper ved ladeforløpene er studert for å avdekke egenskaper som kan skape utfordringer i elektrisitetsnettet.

Målingene på hurtigladestasjonene indikerer ingen store utfordringer, så fremt hurtigladestasjonene tilkobles nettet på steder der fordelingsnettet er tilstrekkelig sterkt. Målingene på normallading viser at det er stor variasjon i ladeforløpet til de ulike typene av elbiler. Enkelte av ladeforløpene vil ikke skape unødige forstyrrelser i nettet eller den installasjonen elbilene kobles til. Et par av elbilene det er målt på har imidlertid et ladeforløp som kan gi til dels betydelige spenningsforstyrrelser når nettet de er tilkoblet er veldig svakt. Den største utfordringen er imidlertid den totale lastøkningen som elbilene vil bidra til dersom utbredelsen av elbiler blir stor. Da kan det bli nødvendig med nettførsterkninger eller smart lading flere steder for å takle lasten, særlig på kalde vinterdager.

9 Referanser

1. *Grønn Bil*. 2013 23.05.2013]; Available from: <http://www.gronnbil.no/>.
2. Landsforening, E.-E., *Energi er Norges klimautfordring*. 2008, EBL - Energibedriftenes Landsforening.
3. SINTEF/TR A7203 *Håndtering av utfordrende elektriske apparater som tilknyttes elektrisitetsnettet*. 2012, SINTEF Energi AS.
4. IEC/TR 60725 *Consideration of reference impedances and public supply network impedances for use in determining the disturbance characteristics of electrical equipment having a rated current ≤ 75 A per phase*. 2012, IEC.
5. Ericson, T. and B. Halvorsen (2008) *Hvordan varierer timeforbruket av strøm i ulike sektorer?* 2008, 5.
6. NVE, *Forskrift om leveringskvalitet i kraftsystemet*, OED, Editor. 2004.
7. Kirby, J. and F. Hassan. *AC Recharging Infrastructure for EVs and future smart grids - A review*. 2012. London.
8. VAN DEN BOSSCHE, P., *The electric vehicle: raising the standards*, in *Faculteit Toegepaste Wetenschappen*. 2003, Vrije Universiteit Brussel: Brussel.
9. Peter, V.B., et al., *Matching accessories: Standardization developments in electric vehicle infrastructure*. World Electric Vehicle Journal, 2011. 4(1): p. 921-926.
10. *Report in response to Commission Mandate M/468 concerning charging of electric vehicles*. 2011, CEN/CENELEC Focus Group on European Electro-Mobility.
11. IEC/CENELEC, *IEC 61851-21 Electric vehicle conductive charging system Part 21: Electric vehicle requirements for conductive connection to an a.c./d.c. supply*. 2001.



Teknologi for et bedre samfunn

www.sintef.no