

Rapport

Håndtering av utfordrende elektriske apparater som tilknyttetes elektrisitetsnettet

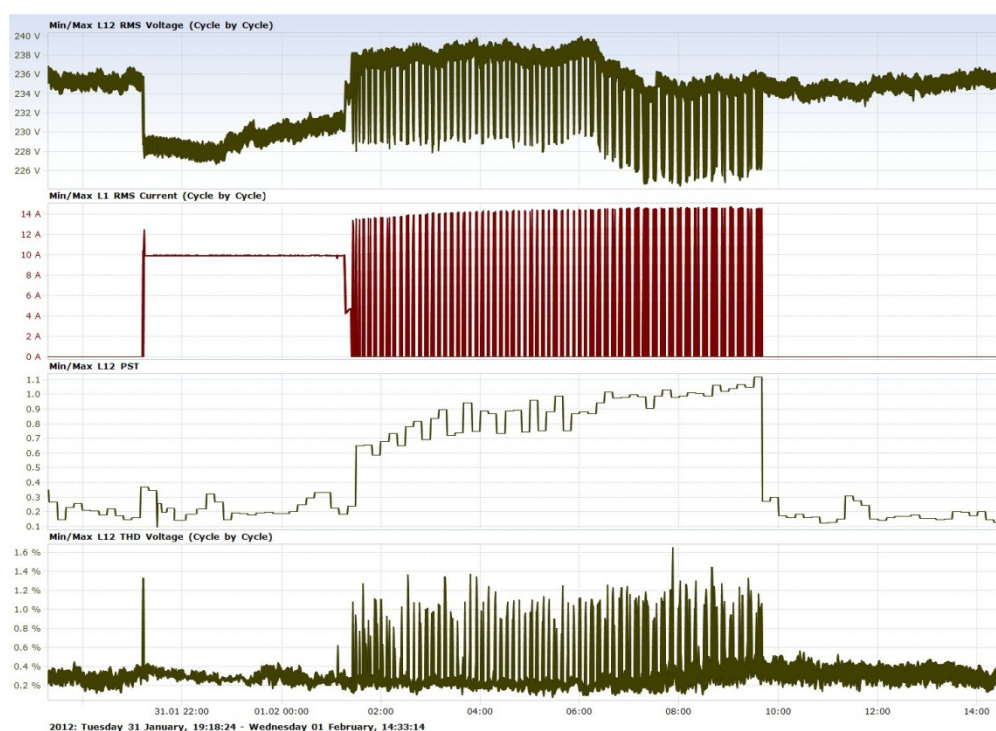
Utfordringer i form av kostnader i nettet, og rutiner for håndtering av utfordrende elektriske apparater

Forfatter(e)

Helge Seljeseth

Kjell Sand

Tarjei Solvang



SINTEF Energi AS

Postadresse:
Postboks 4761 Sluppen
7465 TrondheimSentralbord: 73597200
Telefaks: 73597250

energy.research@sintef.no

www.sintef.no/energi

Foretaksregister:

NO 939 350 675 MVA

Rapport

Håndtering av utfordrende elektriske apparater som tilknyttes elektrisitetsnettet

Utfordringer i form av kostnader i nettet, og rutiner for håndtering av utfordrende elektriske apparater

EMNEORD:

Spenningskvalitet

Nettkostnader

Rutiner og håndtering

Utfordrende apparater

VERSJON

1.3

DATO

2012-12-19

FORFATTER(E)

Helge Seljeseth

Kjell Sand

Tarjei Solvang

OPPDRAAGSGIVER(E)

Energi Norge

OPPDRAAGSGIVERS REF.

Stig Børresen

PROSJEKTNR

12X794

ANTALL SIDER OG VEDLEGG:

31

SAMMENDRAG

Klimaendringer og hensynet til miljø og energiknapphet på ren og fornybar energi fører til stort internasjonalt fokus på energieffektivisering og stadig mer energieffektive elektriske apparater. Glødelampen er på god vei med å bli faset ut av markedet og det diskuteres allerede "hva man skal gjøre" med for eksempel tradisjonelle varmtvannstanker som er ansett og ikke være energieffektive nok. Energieffektivisering av elektriske apparater ser ut til å bidra til elektrisk sett mer utfordrende elektriske apparater som eksempelvis trekker større strøm en kortere del av tiden. Disse utfordringene gjør det nærliggende å stille spørsmål om hvordan slike elektriske apparater skal håndteres når kunder ønsker å knytte dem til nettet.

Energi Norge har gitt SINTEF Energi i oppdrag å vurdere hvordan man kan og bør håndtere utfordringen med nye utfordrende elektriske apparater og om mulig innenfor prosjektets rammer å komme med forslag til rutiner, håndtering samt grenser mellom ulike grupper av apparater. En viktig del av oppdraget var også å vurdere anslag over kostnader i nettet forbundet med utfordrede elektriske apparater som er beregnet av Energi Norge i samarbeid med flere norske nettselskaper. SINTEF Energi sitt arbeid bekrefter at storskala forsterkning av det norske lavspenningsnettet for uforbeholdent å takle alle nye energieffektive apparater i handelen vil være kostbart og at det bør vurderes retningslinjer og tiltak mht håndtering av utfordrende elektriske apparater.

UTARBEIDET AV

Helge Seljeseth

SIGNATUR**KONTROLLERT AV**

Kjell Sand

SIGNATUR**GODKJENT AV**

Knut Samdal

SIGNATUR**RAPPORTNR**

TR A7203

ISBN

-

GRADERING

Åpen

GRADERING DENNE SIDE

Åpen

Innholdsfortegnelse

1	Bakgrunn.....	5
2	Eksempler på utfordrende elektriske apparater.....	6
2.1	Gjennomstrømmingsvannvarmere.....	6
2.2	Direktestartede asynkronmotorer (i blant annet varmepumper)	8
2.3	Elektriske kjøretøy	10
3	Hva er et "normal-apparat"?.....	13
3.1	Sikringsstørrelse og utløsekarakteristikk	14
3.2	Last med hyppige store lastvariasjoner	16
4	Krav til spesielle apparater	17
5	Utfordrende elektriske apparater og kostnader i nettet.....	18
6	Spenningsfall og nettstyrke.....	20
7	Referanseimpedansen	22
8	Kostnadsberegninger.....	24
9	Referanser.....	30

1 Bakgrunn

Klimaendringer og hensynet til miljø og energiknapphet på ren og fornybar energi fører til stort internasjonalt fokus på energieffektivisering og stadig mer energieffektive elektriske apparater. Glødelampen er på god vei med å bli faset ut av markedet og det diskuteres allerede "hva man skal gjøre" med for eksempel tradisjonelle varmtvannstanker som er ansett å ikke være energieffektive nok selv om de til en viss grad er isolerte. En alternativ løsning til varmtvannstanker slik vi kjenner dem i Norge er veldig små tanker (noen få liter) med ekstra kraftig varmeelement som varmer vannet i det vannet strømmer gjennom den lille tanken. For at vannet skal ha jevn nok temperatur til tappevann (dusjing etc) kobles det kraftige varmeelementet svært hyppig ut og inn. Det kan eksempelvis skje med mindre enn et sekund mellomrom. Dette medfører store og svært hurtige lastvariasjoner som stiller store krav til elektrisitetsnettet.

Energieffektivisering bidrar på denne måten til elektrisk sett mer utfordrende elektriske apparater. Noen få eksempler på slike utfordrende elektriske apparater på vei inn i det norske elektrisitetsnettet er:

- gjennomstrømningsvannvarmere
- varmepumper med direkte startet asynkronmotor
- lading av elektriske biler
- induksjonskomfyrer

Disse utfordringene gjør det nærliggende å stille spørsmål om hvordan slike elektriske apparater skal håndteres når kunder ønsker å knytte dem til nettet. Hva kan eksempelvis anses å være et helt normalt elektrisk apparat som man alltid skal kunne forvente å koble til i sin egen installasjon uten at det skal føre til for dårlige spenningsforhold på nettet? Hva må tilsvarende anses å være så "brutale" elektriske apparater med hensyn til maksimal effekt/startstrømmer, hyppige koblinger og effektvariasjoner og/eller forvrengninger av spenningens kurveform at de ikke kan anses som helt normale elektriske apparater? Sistnevnte bør det sannsynligvis stilles krav til at nettkunder ikke får koble til nettet før nettselskapet er varslet og har godkjent dette.

Energi Norge har gitt SINTEF Energi i oppdrag å vurdere hvordan man kan og bør håndtere utfordringen med nye utfordrende elektriske apparater og om mulig innenfor prosjektets rammer å komme med forslag til rutiner, håndtering samt grenser mellom ulike grupper av apparater. En viktig del av oppdraget var også å vurdere anslag over kostnader i nettet forbundet med utfordrede elektriske apparater som er beregnet av Energi Norge i samarbeid med flere norske nettselskaper.

2 Eksempler på utfordrende elektriske apparater

Om elektriske apparater skaper utfordringer for spenningskvaliteten i nettet avhenger hovedsakelig av tre forhold ved apparatene, samt hvor sterkt nettet som forsyner apparatene er. Hvor sterkt nettet er, kan beskrives ved nettets kortslutningsytelse og nettets impedans. Høy kortslutningsytelse tilsvarer lav impedans og tilsier et sterkt nett. De prinsipielle sammenhengene mellom apparaters effektforbruk, nettstyrke og spenningskvalitet er beskrevet i kapittel 6.

Det er tre egenskaper ved elektriske apparater som kan medføre at de er utfordrende utfra et spenningskvalitetsperspektiv:

1. Maksimal lastendring/effekt når apparatene starter og stopper (startforløp).
2. Hvor hyppig/ofte apparater slås av og på (hyppighet/frekvens).
3. Hvor stor forvrengning/avvik fra ren sinus det er på strømmen apparatene trekker.

Punktene 1 og 2 bidrar sammen til utfordringene med å holde spennings effektivverdi (rms) innenfor akseptable kvalitetsgrenser. Dersom forstyrrelsene blir store og hyppige, vil gjerne dårlig kvalitet på lyset fra belysningsutstyr være det første man som elektrisitetskunde merker. Nettselskapene merker dette ved at kundene begynner å klage på blink/blinking og/eller flimring i lyset i sine installasjoner. Ved store forstyrrelser kan også elektriske apparater slutte å fungere slik de skal om så bare kortvarig hver gang spenningen endrer seg kraftig. Både når problemene som observeres er blink i lyset, og når det er problemer med elektriske apparater som ikke fungerer som de skal, oppleves dette som mer alvorlig når det inntreffer ofte (eksempelvis flere ganger i minuttet) enn når det inntreffer mer sjelden.

Punkt 3 er avgjørende for hvor mye de elektriske apparatene bidrar til å deformere forsyningsspenningens kurveform som i sin tur kan forårsake større tap og varmgang i elektriske apparater samt også i komponenter i kundenes installasjoner (eksempelvis nøytralleder) og i nettselskapets nett (eksempelvis transformatorer). Ved store forvrengninger i spenningens kurveform vil det kunne medføre funksjonsfeil på elektriske apparater og elektronisk utstyr (eksempelvis telefonforbindelser), havari på utstyr/apparater og i verste fall branntilløp.

Stadig flere utfordrende elektriske apparater medfører et behov for enda bedre kompetanse, rutiner og verktøy hos nettselskapene for å takle utfordringene med spenningskvalitet i årene framover. Men det medfører også et behov for bedre kompetanse og rutiner hos el-installatører. Sist, men ikke minst, synes det å være svært ønskelig med noen enkle kjøreregler for hvor kraftige lastapparater som skal anses å være helt normal og uansett skal kunne tilkobles hos kundene, og hvor kraftige apparater nettselskapene skal varles om før de kan tas i bruk.

2.1 Gjennomstrømningsvannvarmere

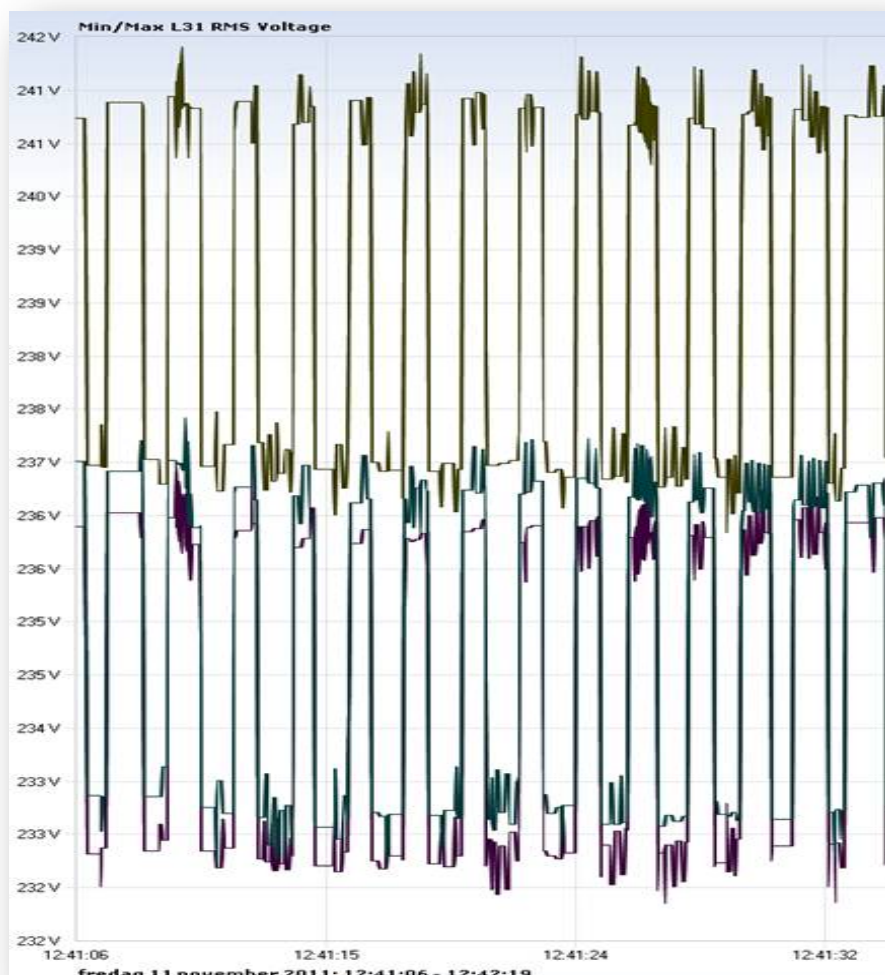
Slike vannvarmere er på det norske markedet og er allerede i et relativt begrenset omfang installert hos kunder i Norge. Disse finnes både som vannvarmere for tappevann og for vannbåren varme for oppvarming av bygg. Det er allerede dokumentert at selv om man ikke skulle tro det var like stort behov for svært hyppig av- og påslag av varmekolben i vannvarmere for vannbåren varme så velger tydeligvis i hvert fall noen fabrikanter samme eller lignende type styring som for tappevann.

Internasjonalt kalles slike vannvarmere gjerne (eng.) "tankless water heaters" og kan fås med effekt fra typisk 5 eller 6 kW helt opp i rundt 30 kW. Det er dokumentert med målinger at disse kan slå det kraftige

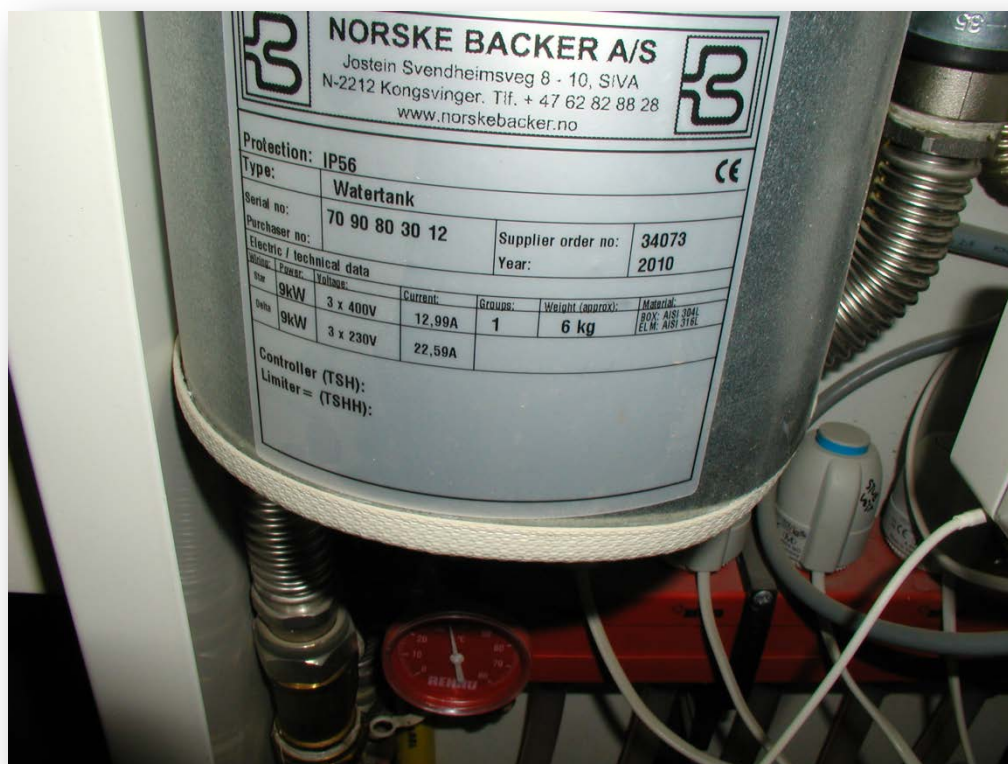
varmeelementet av og på så hyppig som ca hvert sekund. Dette setter svært høye krav til et sterkt nett for at det ikke skal bli store forstyrrelser i spenningen.

Figur 1 viser en måling av spenningsvariasjonene forårsaket av en gjennomstrømmingsvannvarmer for vannbåren boligoppvarming. Av- og påslag av varmeelementet skjer i dette tilfellet med ca 10 koblinger på 10 sekunder og en frekvens veldig nær 0,5 Hz. Dette tilsvarer at alle panelovnene i et annet hus oppvarmet med panelovner, slår seg av og på nøyaktig samtidig og slår seg på så ofte som hvert annet sekund. Til sammenligning vil ofte panelovner ha termostater som slår de av og på med intervall på mellom 1 og 3 minutter. Det er også vanlig at panelovnene dessuten slår seg av og på uavhengig av hverandre slik at ikke samtidig lastendring blir så stor.

Figur 2 viser bilde av gjennomstrømmingsvannvarmeren i målepunktet der måleresultatene i figur 1 er hentet fra.



Figur 1 Spenningsvariasjoner forårsaket av en 9 kW gjennomstrømmingsvannvarmer for vannbåren boligoppvarming.



Figur 2 Bilde av 9 kW gjennomstrømningsvannvarmer for vannbåren boligoppvarming i målepunktet der målingene vist i figur 1 er foretatt.

2.2 Direktestartede asynkronmotorer (i blant annet varmepumper)

Både luft til luft varmepumper og jordvarmepumper kan leveres med inverterstyring eller med direktestartet asynkronmotor på kompressoren. Inverterstyring er et begrep som gjerne benyttes når en kraftelektronisk omformer styrer frekvensen og spenningen påtrykt motoren slik at motoren kan startes, kjøres og stoppes jevnt og mykt istedenfor bare momentant å slå direkte helt på fullt og helt av igjen. Det er utbredt i Norge med inverterstyring på luft til luft varmepumper og man kan vel si Enova bidro til dette ved at det var et krav om slik styring for å få statlig støtte til installasjon av slik varmepumpe i 2003.

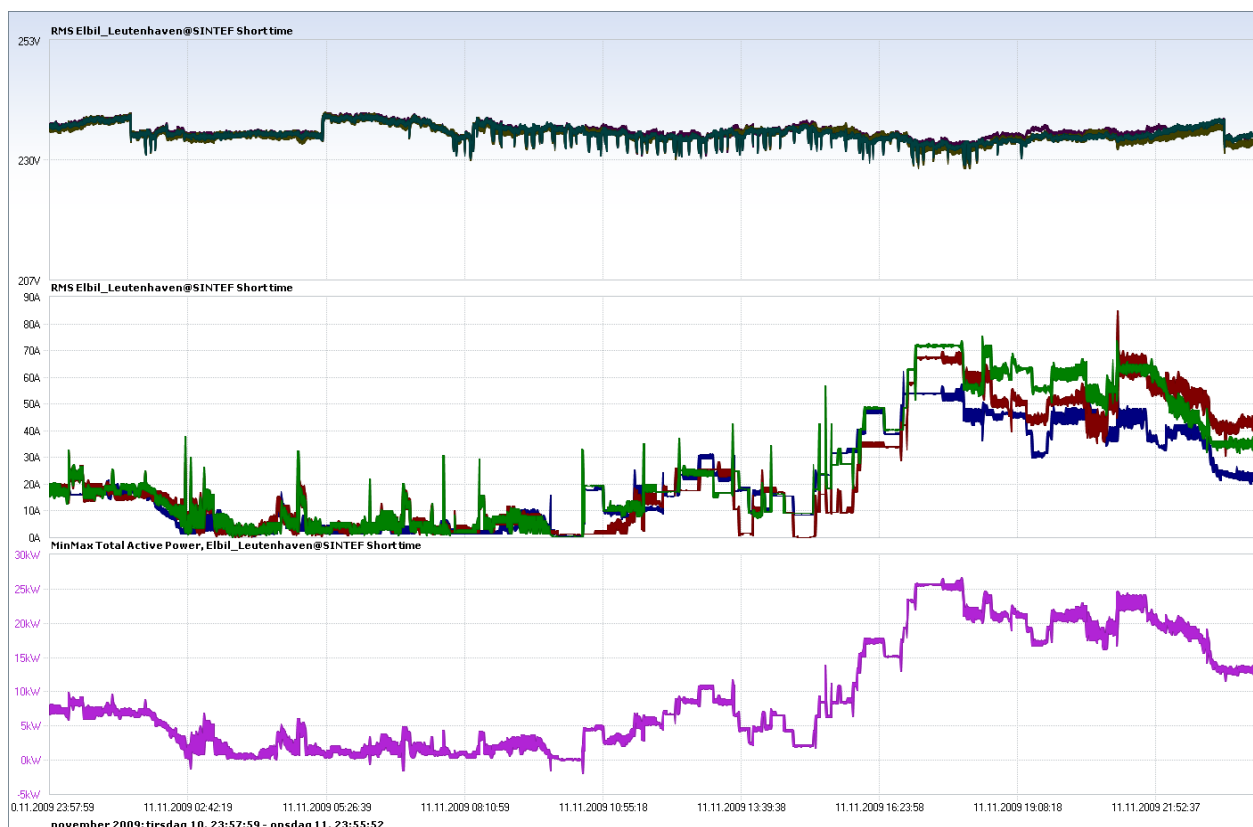
På jordvarmepumper er det imidlertid oftere brukt direktestartede asynkronmotorer på kompressoren. Dette senker kostnadene noe, men det er også konstatert at det norske 230 V delta-nettet (230 V IT) har vært bidragsyter til denne trenden. Internasjonale selskap som Bosch som har jordvarmepumper med inverterstyring beregnet for trefase 400 V TN-nett har eksempelvis modifisert disse til 230 V enfase direktestartede asynkronmotorer da de ikke har inverterstyringer og passende størrelse trefasemotorer til sine kompressorer for 230 V deltanett.

Figur 3 og figur 4 viser spenningsvariasjonene ved kunder med direktestartet asynkronmotor i jordvarmepumpene. Legg merke til at spenningen her faller så mye at det oppstår spenningsdipp og ikke bare spenningsprang.

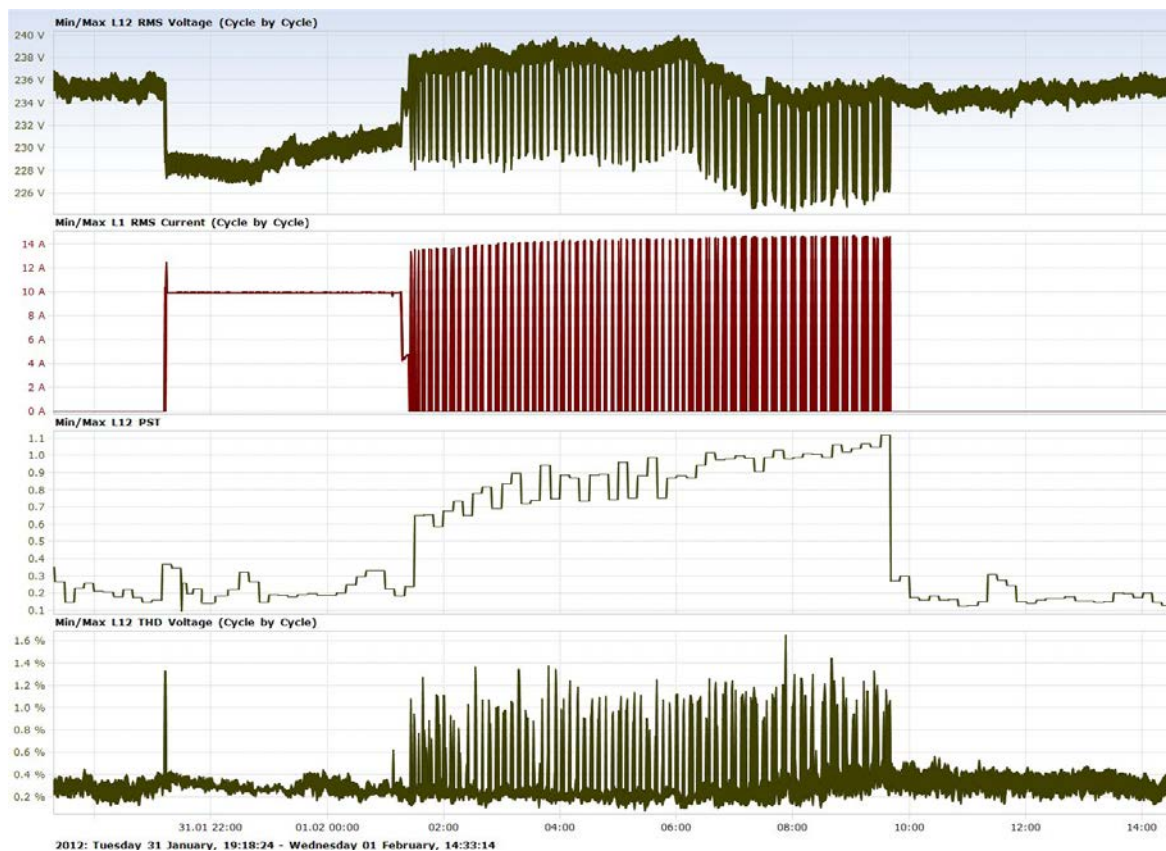
2.3 Elektriske kjøretøy

Det er blitt et stort fokus på elektrifisering av transport både for å redusere utslippet av klimagasser, for å bedre luftkvaliteten i byene og for å gjøre transport mer energieffektiv. Hurtiglading av kjøretøy krever svært høy effekt, men behandles også derfor spesielt med hensyn til tilknytning av ladestasjoner til nettet. Der vil normalt nettselskapene være direkte involvert og kan ta kontroll over situasjonen. Det kanskje mange ikke tenker på er at sakte lading (ofte omtalt som normallading) også kan medføre utfordringer. Dette skyldes ikke bare at lading av elbil kan treffe eksisterende lasttopper på kalde vinterdager og skape utfordringer med topplasten i nettet (se figur 5), men også fordi laderen/omformeren i det enkelte kjøretøy kan være utfordrende som last, særlig dersom impedansen i nettet og installasjonen der kjøretøyet tilkobles er høy (lav kortslutningsytelse).

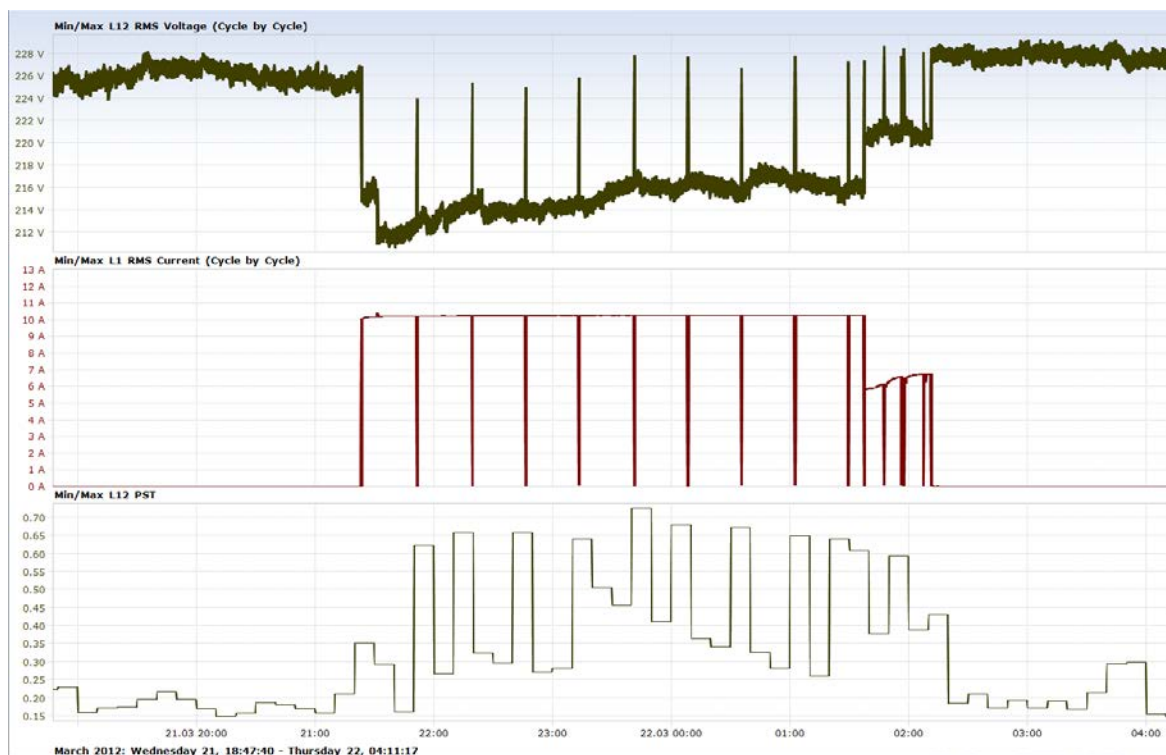
Figur 6 og figur 7 viser ladeforløpet (ladestrøm og nettspenning) til to forskjellige typer/fabrikat av elbiler. Legg merke til at strømmen periodisk slås helt av og på under ladesyklusen på den ene bilen og at pulser for vedlikeholdslading hyppig forekommer på den andre bilen så lenge den står tilkoblet etter at batteriet er ferdig ladet. Begge disse forhold skaper forstyrrelser i spenningen som kan bli betydelige ved høy impedans i nett og/eller installasjon.



Figur 5 Samlet/total ladestrøm og effekt (samt spenningen på stedet) ved et ladepunkt for samtidig normallading av inntil 15 elektriske kjøretøy. Maksimal effekt inntreffer rundt den vanlige lasttoppen ellers i nettet på sen ettermiddag.



Figur 6 Ladeforløpet (nettspenning, ladestrøm, flimmerverdi og THD) til en konkret type elbil.



Figur 7 Ladeforløpet (nettspenning, ladestrøm og flimmerverdi) til en annen type elbil enn Figur 6.

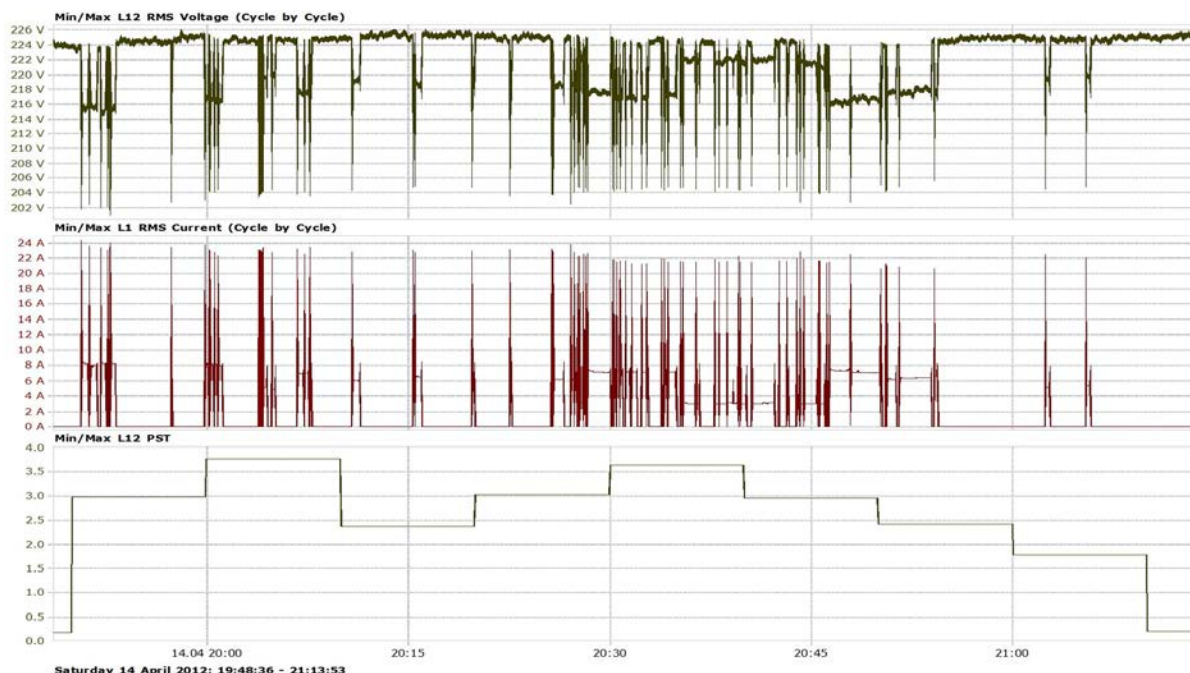
2.4 Induksjonsovner

Induksjons kokeplater er blitt ganske populært også på norske kjøkken og kokeplatene på separate "induksjonstopper" og komfyrer med induksjon platetopper har vist seg å være litt "tøffere" belastninger mht forstyrrelser på spenningen. Dette skyldes både at induksjonsplatene gjerne har enda litt høyere effekt enn tradisjonelle kokeplater (inkludert keramiske plater), men ikke minst at induksjonsplatene styres av kraftelektroniske omformere som kan lage betydelige forvrengninger på spenningens kurveform. Tradisjonelle kokeplater har gjerne hatt maks effekt på typisk 1000 W til 2000 W, mens induksjonsplater gjerne varierer fra 1400 W til 2400 W, men helt opp i 3700 W under boost-funksjon er ikke uvanlig.

Kraftelektronikken som styrer induksjonsplatene består ofte av en likeretter foran en transistorbasert (typisk IGBT transistorer) høyfrekvent omformer som leverer strøm til induksjonsspolene. På likerettersiden er det ganske vanlig at to kokeplater deler på en likeretter og at de har hver sine transistoromformere. Dette medfører at induksjonskokeplater gjerne kan anses som en enfase likeretterlast. Laststrømmens fasevinkel er da ikke den største bekymringen, men snarere heller det faktum at slike enkle enfase likerettere ofte medfører "topplikeretting" (diodelikeretting). Da får man ikke bare de karakteristiske harmoniske som 5.h, 7.h, 11.h, 13.h osv tilbake på nettet, men blant annet også trippelharmoniske som kanselleres i en trefase likeretter.

2.5 Apparater som i lengre tid har blitt ansett som vanlige/normale

Blant elektriske apparater som allerede i ganske i mange år har blitt ansett som normale/vanlige, finner man også apparater som kan skape utfordringer/problemer dersom forsyningen til lastuttaket er svak (høy impedans). Som et eksempel på en del slike apparater kan vi trekke fram høytrykkspyler. Høytrykkspyler har normalt en direktestartet asynkronmotor som kan bidra med betydelige startstrømmer og medføre betydelige spenningsfall dersom strømforsyningen er svak. Den naturlige bruken av høytrykkspyler innebærer gjerne hyppige av- og påslag av vannpumpen. I figur 8 vises strøm- og spenningsforløpet samt flimmerverdien når en vanlig 1800 W Kärcher høytrykkspyler benyttes på en svak forsyning (NB. Målingene er i stikkontakt og ikke i kundens inntak!).



Figur 8 Strøm- og spenningsforløp og flimmervardi når en vanlig 1800 W Kärcher høytrykkspyler benyttes på en svak forsyning (NB. Målingene er i stikkontakt og ikke i kundens inntak!).

3 Hva er et "normal-apparat"?

Norske nettselskap har de siste årene satt spørsmålet "hva er et normal-apparat" på dagsorden. I lys av at det har kommet stadig flere elektriske apparater på markedet som er utfordrende for nettselskapene og spenningskvaliteten i nettet synes det som et fornuftig spørsmål å finne et rasjonelt svar på. Ulike parter/interessenter slik som eksempelvis nettselskap, utstyrsleverandører og kunder kan nok til en viss grad ha forskjellige ønsker og meninger uten at forskjellene nødvendigvis er veldig store. Men kunder vil nok gjerne generelt ha minst mulig begrensninger og betingelser for å kunne bruke nesten hva som helst av utstyr, mens nettselskapene nok vil ønske at kravene til et normal-apparat heller er litt strenge enn for slakke. Utstyrsleverandørene på sin side vil nok videre ha en forventning om at apparater de får fra sin underleverandør/fabrikant og som benyttes uten spesielle begrensninger i andre europeiske land også skal kunne brukes uten begrensninger i Norge. Det har i denne sammenheng vist seg at mange utstyrsleverandører ikke tenker på at 230 V deltanettet vi har i Norge kan medføre ekstra utfordringer i forhold til 230/400 V TN-nettet i det meste av Europa.

En inndeling av elektriske apparater i kategoriene helt normale elektriske apparater (de aller fleste elektriske apparater) og spesielle elektriske apparater synes meget fornuftig ut fra hensynet til spenningskvaliteten i nettet. Dette burde strengt tatt vært ivare tatt gjennom internasjonal standardisering av elektriske apparater, men det er over mange år konstatert at dette ikke fullt ut ivaretar hensynet til det norske 230 V deltanettet. Det har vært eksempler på elektriske apparater som har usymmetrisk overspenningsvern der tennspenningen er annerledes mellom den ene strømlederen og jord enn på den andre strømlederen. Dette vil da i mange land være forskjellen mellom nøytralleder og faseleder. I det norske 230 V deltanettet vil imidlertid begge strømlederne i et enfaseapparat ha samme spenning mellom begge strømledere og jord. Videre har man i Norge i noen tilfeller opplevd elektroniske apparater som ikke fungerer om de plugges i stikkontakten den ene veien, men fungerer om man snur støpselet 180 grader.

230 V deltanettet i Norge medfører at trefase elektriske apparater med en fast merkeffekt (eksempelvis 2000 W) vil belaste nettselskapet nett med større strømmer enn samme apparat i et 230/400 V TN-nett.

En eventuell inndeling av elektriske apparater i to slike grupper som antydnet, må gjøres så enkel og lettfattelig som mulig. Det er lite hensiktsmessig å innføre et system som er nesten umulig å håndheve/kontrollere før en oppdager avvik i forbindelse med at kunder klager på spenningskvaliteten. Det er viktig at dette har virkning allerede på det tidspunkt kunder kjøper elektriske apparater og i hvert fall når nye installasjoner tas i bruk og når nye fast installerte elektriske apparater tas i bruk. Elektriske apparater med vanlig Schukostøpsel (Schuko: det vanlige 10/16 A støpselet og kontakten for enfase 230 V AC tilkobling) som kunder selv kan kjøpe over disk og plugge inn og bruke vil det således være vanskelig å plassere i kategorien spesielle elektriske apparater. Alle 230 V enfase apparater for tilkobling i 10/16 stikkontakter bør anses som helt normale apparater. Det synes ikke å være realistisk å kunne ha kontroll med hvilke slike apparater folk flest kjøper og kobler til.

Grenseoppgangen mellom helt vanlige elektriske apparater og spesielle apparater bør settes ved visse kriterier for fast installert utstyr og gjerne også pluggbart utstyr der andre og kraftigere støpsel og kontakter enn Schuko benyttes (eksempelvis kraftige trefasekontakter i garasje). Det synes ikke rimelig å sette noen grense for fast installert utstyr lavere enn 16 A da dette som nevnt bør anses som normalutstyr med Schukokontakt. Om grense for fast utstyr og pluggbart utstyr (annet enn Schuko) bør gå ved 16 A, 25 A eller høyere bør nettbransjen jobbe videre med, eksempelvis gjennom Energi Norge sitt SPESNETT-prosjekt.

Man kan videre skille mellom enfase og trefase apparater, men dette skillet ser ikke ut til å være veldig nødvendig/relevant da det er strømmen i hver enkelt fase som er avgjørende. Forskjellen mellom enfase og

trefase apparater er viktig om man ser på apparatenes effekt, men ikke når man ser på strømmen. Man vil kunne bruke trefase apparater med høyere effekt enn ved enfase apparater uten at forstyrrelsene nødvendigvis blir større.

Det som er svært viktig i tillegg til størrelsen på strømmen er hvor hyppig apparatenes strøm varierer kraftig, altså typisk hvor ofte apparatene kobler inn og ut. Det kan absolutt være akseptabelt at et apparat som eksempelvis starter og stopper bare noen få ganger om dagen er mye større/kraftigere enn et apparat som starter og stopper flere ganger i minuttet. Om det skal fastsettes grenseverdier som et skille mellom helt normale elektriske apparater og spesielle apparater kan dette rent teknisk være ut fra flere mulige kriterier:

- en sikringsstørrelse på 16 A eller kanskje litt høyere
- en bestemt utløsekarakteristikk for sikringer nødvendig for apparatet
- en grenseverdi på antall start/stopp pr tidsenhet

De to første punktene anses som relativt ukompliserte å forholde seg til med hensyn til å fastsette eventuelle grenseverdier. Det siste punktet kan imidlertid medføre litt mer utfordringer, men bør likevel ikke være uoverkommelig da det sannsynligvis kun vil være aktuelt for et lite mindretall av elektriske apparater, for eksempel de med nødvendig sikringsstørrelse over 16 A. Forvrengningen i laststrømmen som apparatene trekker kan også rent teknisk tenkes å være et kriterium, men dette vil komplisere bildet ganske mye. Overharmoniske spenninger har heller ikke vært ansett som et vanlig forekommende problem i Norge og ganske omfattende kartlegging av dette med målinger har dokumentert relativt lave nivå av overharmoniske [1].

3.1 Sikringsstørrelse og utløsekarakteristikk

Laststrømmens størrelse vil for mange elektriske apparater variere kraftig og et eksempel på dette er blant annet oppstart av direktestartede asynkronmotorer. Startstrømmen på slike motorer kan være mange ganger større enn merkestrømmen I_N . Dette betyr at en motor med merkestrøm på 10 A eksempelvis kan trekke 60 A kortvarig ved oppstart (startstrømmen kan i praksis være både mindre og større enn 6 ganger merkestrøm). Sikringsautomater i kundenes installasjoner har ulike utløsekarakteristikker og tåler svært ulik størrelse på slike kortvarige strømstøt. De vanligste sikringskarakteristikkene er:

- B – tåler kortvarig 3 til 5 ganger merkestrøm
- C – tåler kortvarig 5 til 10 ganger merkestrøm
- D – tåler kortvarig 10 til 20 ganger merkestrøm

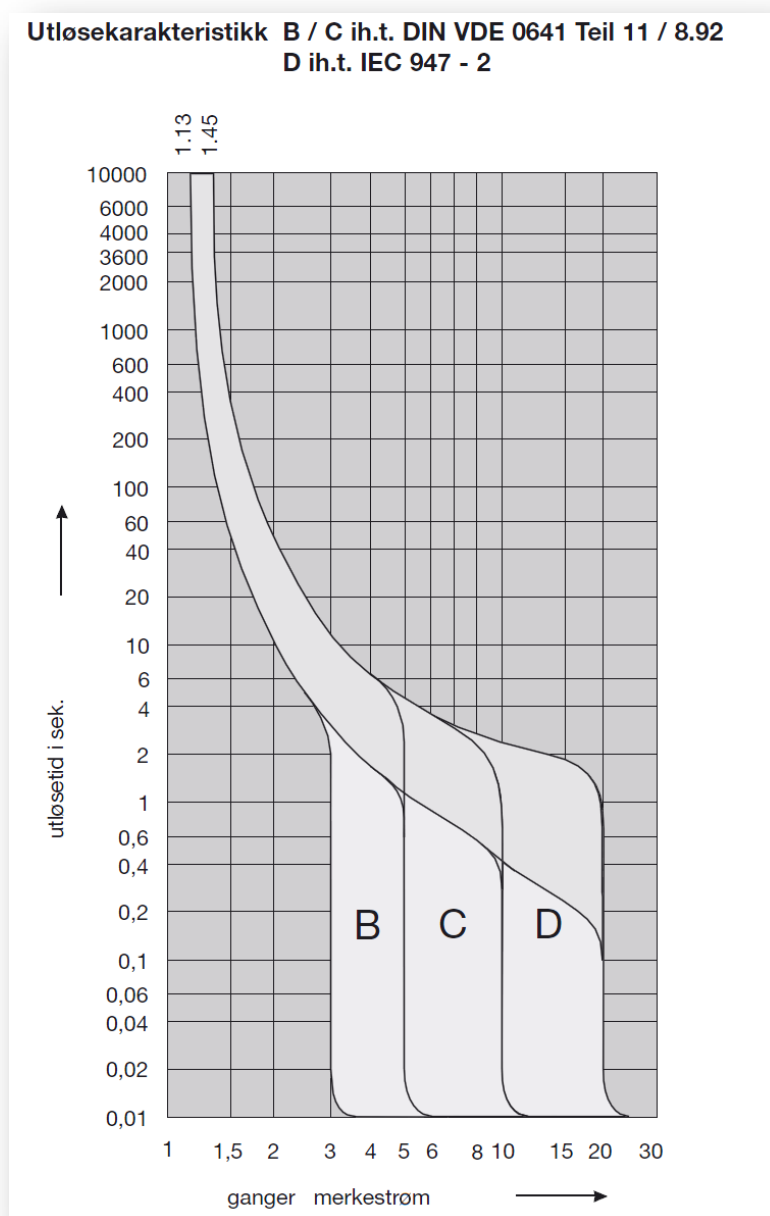
Figur 8 viser et diagram for sammenhengen mellom sikringenes utløsekarakteristikk og hvor lenge de kan belastes med ulike overstrømmer. Sikringer med B-karakteristikk er de vanligste i norske lavspenningsinstallasjoner, men C-karakteristikk benyttes også i en viss grad. Sikringer med D-karakteristikk ser ut til å benyttes ganske sjelden.

Sikringenes utløsekarakteristikk er svært viktig for hvor store kortvarige strømmer/startstrømmer apparater kan trekke før sikringen kobler ut. En motor merkestrøm på 10 A vil med B10 A sikring kortvarig trekke inntil 50 A. Tilsvarende tall for en B16 A sikring er 80 A. Med C10 A kan man trekke inntil 100 A og med C16 A kan man trekke 160 A.

Selv om enfase apparater med vanlig Schukokontakt (10/16 A) som tidligere antydnet bør anses som vanlige/normale elektriske apparater bør må man også ta stilling til hvilken utløsekarakteristikk på sikringen som beskytter kursen dette skal gjelde. Det vurderes som svært spesielt med D-karakteristikk da dette på

16 A sikringer vil kunne medføre startstrømmer helt opp mot 320 A. Det er omtrent akkurat på grenseverdien for 63 A inntakssikringer for hele installasjonen når inntakssikringene har B-karakteristikk.

Diskusjonen bør vel bli om det er B16 A eller C16 A som skal være avgjørende for hva som er normalapparatet. Alle apparater som ikke forårsaker at B16 A sikringer kobler ut bør nok som et minimum anses som helt normale apparater. Spørsmålet er om apparater som kobler ut slike sikringer, men fungerer på C16 A sikringer skal regnes som normale apparater. Dette temaet kan trenge en modningsprosess i nettbransjen og ikke minst hos norske myndigheter (NVE, DSB, etc), elinstallatør-bransjen og kanskje importører/leverandører av elektriske apparater.



Figur 9 Grafisk presentasjon av ulike utløsekarakteristikker fra brosjyre fra Hager (www.hager.no) [2].

3.2 Last med hyppige store lastvariasjoner

Apparater som eksempelvis nevnt i kapittel 2.1 og 2.2, kan skape dårlig spenningskvalitet når lastvariasjonene blir veldig store og hyppige. En ohmsk last som eksempelvis en vannvarmer på 6 kW kan være uproblematisk om den kobler inn og ut i snitt 2 ganger i timen, mens dersom dette skjer mange ganger i minuttet, så vil spenningsvariasjonene bli så hyppige at kundene blant annet synes lyskvaliteten fra belysning blir uakseptabel. Et godt eksempel på et tydelig apparatskille mht hyppighet på store lastvariasjoner (av- og påslag i dette tilfellet) er vanlige store varmtvannstanker (eks. 50 til 200 liter) til forskjell fra gjennomstrømningsvannvarmere. Et tankeeksperiment kan altså være å anse gjennomstrømningsvannvarmere med effekt på 6 kW som normalapparat så lenge varmeelementet er trefase (trefase 16 A), mens vannvarmeren ville bli et spesielt apparat dersom det var mer enn 6000 W trefase eller over 3600 W enfase (16 A enfase). Tilsvarende kan det være aktuelt å sette grenseverdien for direktestartede motorer til en sikringsstørrelse på 16 A, men da kan det samtidig være aktuelt å sette utløsekarakteristikk B som grense slik at om motoren trenger sikring med C- eller D- karakteristikk må motoren regnes som et spesielt apparat.

Om man skal skille apparater etter slik lastvariasjon bør dette vurderes svært nøye og det kan kreve et ikke ubetydelig arbeid mht forarbeid, vurderinger samt diskusjoner mellom ulike interessenter. Dette kan være mulig å gjøre gjennom Energi Norge sitt prosjekt Spenningskvalitet i smarte nett (SPESNETT).

4 Krav til spesielle apparater

Om man skal dele inn elektriske apparater i helt vanlige elektriske apparater og spesielle apparater må dette være ut fra at spesielle apparater ikke skal tilkobles og brukes før det er avklart med nettselskap og elinstallatør at apparatet kan brukes uten at det:

- forstyrrer sin egen funksjon og virker som det skal
- skaper forstyrrelser som er uakseptable for nabokunder og nettselskap
- skaper forstyrrelser som kunden selv vil synes er uakseptable (mht lyskvalitet etc)

Med hensyn til de to første punktene vil det være aktuelt å benytte grenseverdiene i forskrift om leveringskvalitet (FoL) som referanse for akseptable nivå av spenningsforstyrrelser. Når det gjelder det siste punktet kan grenseverdiene i FoL overskrides dersom kunden som selv forårsaker forstyrrelsene aksepterer å ha slike forhold.

5 Utfordrende elektriske apparater og kostnader i nettet

I prosjekttilbudet er bakgrunnen for prosjektet beskrevet slik:

Flere norske nettselskap erfarer økende problemer med nye utfordrende elektriske apparater mht forstyrrelser som disse genererer tilbake på nettet og dermed til andre kunder i områdene. Noen eksempel på slike apparater er:

1. Store varmepumper med kompressormotor med direkte start (ingen mykstartfunksjon)
2. Store varmekjeler med dårlig utformet styreelektronikk (starter unødvendig/problematisk ofte)
3. Store belastninger med omformere som har dårlig filtrering (skaper problemer for eks. for PLC)

Dersom nettselskapene utelukkende skal forsterke nettet når nye utfordrende belastninger tas i bruk av sluttbrukere vil nettet bli til dels betydelig overdimensjonert av hensyn til ekstremalverdier som eksempelvis store startstrømmer og kortvarig forvrengning av spenningens kurveform fremfor å benytte andre kompenserende tiltak som både kan være vesentlig rimeligere og kan medføre bedre utnyttelsesgrad av kraftnettet.

En arbeidsgruppe i regi av Energi Norge har vurdert kostnader ved å forsterke nett i Norge til å kunne forsyne slike utfordrende apparater uten at grenseverdiene til spenningsprang i Forskrift om leveringskvalitet i kraftsystemet (FoL) overskrides. Ut fra tilsendt materiale har arbeidsgruppen brukt følgende utgangspunkt for sine analyser:

Dimensjonerende last stasjonært, ohmsk belastning : $I_{\text{stasj}} = 16\text{A}$ enfase
Dimensjonerende last motorstart husholdning: $I_{\text{motor}} = 40\text{A}$ enfase

Ut fra disse apparatbelastningene er det vurdert hvilken minimal kortslutningsstrøm som er nødvendig for at spenningsfallet stasjonært og maksimalt under motorstart ikke skal overskride grenseverdiene i FoL på henholdsvis:

$$\begin{aligned}\Delta U_{\text{stasj}} &< 3\% \\ \Delta U_{\text{maks}} &< 5\%\end{aligned}$$

Ut fra analysene er det kommet fram til at en minimal kortslutningsstrøm på 350 A vil tilfredsstille kravet til tilkobling av 16 A stasjonær last, mens en minimal kortslutningsstrøm på 500 A vil tilfredsstille kravet til maksimalt spenningsfall under motorstart.

Videre har arbeidsgruppen estimert kostnader ved å forsterke nett i Norge til en "nettstyrke" i tilknytningspunktet på henholdsvis $I_{\text{kmin}} = 500\text{ A}$ og $I_{\text{kmin}} = 1000\text{ A}$ og ut fra det kommet fram til 40-50.000 kr pr. tilknytningspunkt for en nettstyrke på $I_{\text{kmin}} = 500\text{ A}$ og 100-150.000 kr pr. tilknytningspunkt for en nettstyrke på $I_{\text{kmin}} = 1000\text{ A}$.

Videre er de nasjonale kostnadene for en nettstyrke på $I_{\text{kmin}} = 500$ og 1000 A estimert. Estimatenes er basert på en kartlegging av dagens nettstyrke hos 6 nettselskap v.h.j.a. kortslutningsberegninger:

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

For de ulike tilknytningspunktene i lavspenningsnettene viser resultatene følgende fordeling av nettstyrke:

Tabell 1 Nettstyrke.

Prosentvis fordeling av nettstyrke (I_{kmin})				
< 350 A	350 – 500 A	500 – 750 A	750 – 1000 A	≥ 1 kA
6,2	7,5	13,5	13,2	59,7

Som tabellen viser, er det i gjennomsnitt ca 40% av tilknytningspunktene som har en estimert nettstyrke som er mindre enn $I_{kmin} = 1000$ A.

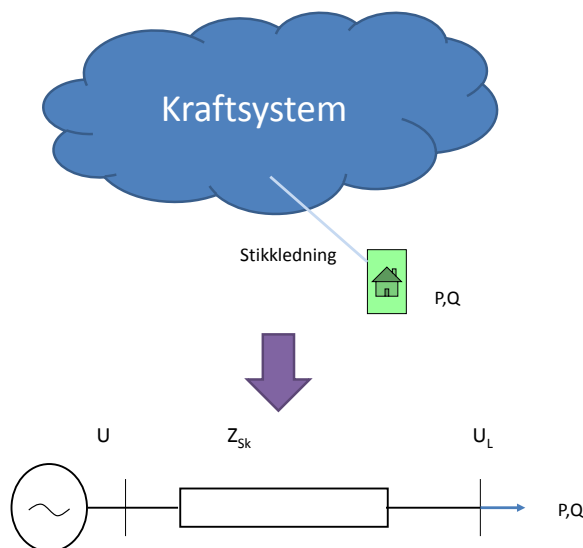
Estimerte nasjonale kostnader for å oppgradere nettstyrken til henholdsvis $I_{kmin} = 500$ A og 1000 A er basert på at det finnes 2,8 mill. tilknytningspunkter i lavspenningsnettet i Norge og at nødvendige forsterkningskostnader per punkt er 40.000 kr for å komme opp på $I_{kmin} = 500$ A og $I_{kmin} = 1000$ A 100.000 kr. Dette gir en samlet kostnad:

$$\begin{aligned} I_{kmin} &= 500 \text{ A} : \text{ca } 15 \text{ mrd kr} \\ I_{kmin} &= 1000 \text{ A} : \text{ca } 113 \text{ mrd kr} \end{aligned}$$

En av deloppgavene i dette prosjektet er å kvalitetssikre disse kostnadene m.h.t. nødvendige nettforsterkninger.

6 Spenningsfall og nettstyrke

Tar utgangspunkt i forsyningssituasjonen gitt i figur 10:



Figur 10 Thevenin-ekvivalent forsyning av en last tilkoblet kraftsystemet.

Spenningsfall ved trefase last er gitt av (projeksjonsmetoden):

$$\Delta U = \frac{1}{U_L} \cdot (P \cdot R_k + Q \cdot X_k)$$

hvor:

U_L	- Lastspenning	[kV]
P	- Aktiv last	[kW]
Q	- Reaktiv last	[kvar]
R_k	- Kortslutningsresistans	[Ω]
X_k	- Kortslutningsreaktans	[Ω]
Z_{Sk}	- Kortslutningsimpedans	$= R_k + jX_k$

Spenningsfall ved enfase last er gitt av (projeksjonsmetoden):

$$\Delta U = \frac{2}{U_L} \cdot (P \cdot R_k + Q \cdot X_k)$$

I beregningene til arbeidsgruppen er nettstyrken gitt i form av minimum 2-polt kortslutningsstrømmer (I''_{k2}).

Kortslutningsstrømmene finnes ved å bestemme impedansene sett fra et knutepunkt (feilstedet). Minimum to-polt kortslutningsstrøm er gitt av:

$$I''_{k2} = \frac{c \cdot U_n}{|Z_+ + Z_-|}$$

der

- c - korreksjonsfaktor (lik 1,0 for lavspenning og 1,1 for høyspenning)
- U_n - basisspenningen
- Z_+ - impedansen i det positive system
- Z_- - impedansen i det negative system

Så lenge feilstedet elektrisk sett er fjernt fra generatorer, gjelder at $Z_+ = Z_- = Z_{sk}$ jfr. figur 10.

Med disse forutsetningene, kan tallverdien til kortslutningsimpedansen bestemmes ut fra følgende:

$$|Z_{sk}| = \frac{c \cdot U_n}{2 \cdot I''_{k2}}$$

For beregning av minimale kortslutningsstrømmer, settes korreksjonsfaktoren $c=0.95$ i henhold til anbefalingen gitt i IEC 60909 "Short-circuit currents in three-phase a.c. systems – Part 0: Calculation of currents".

Basert på de grenseverdiene som er brukt i de økonomiske analysene (500 A resp. 1000 A) gir ligningen over en tallverdi på kortslutningsimpedansen lik 0,219 Ω resp. 0,109 Ω .

7 Referanseimpedansen

Nettkunder kjøper elektriske apparater og plugges de inn i stikkontakten uten å ta særlige forholdsregler eller å varsle nettselskapet. I prinsippet kan dette innebære at nettkunden forstyrrer seg selv og nabokunder. EMC standardiseringen søker å imøtekomme dette problemet med å standardisere emisjonsgrenser for elektrisk utstyr. Disse emisjonsgrensene er fastlagt slik at dersom utstyret er tilknyttet et standardnett, så skal emisjon av forstyrrelser tilsvarende emisjonsgrensen ikke gi uønskede forstyrrelser med tilhørende funksjonssvikt til elektrisk utstyr eller annet ubehag for nettkunder (for eksempel flimrer). For å definere et slikt standardnett eller en standard nettstyrke brukes den såkalte standardimpedansen. Denne er definert standarden IEC TR 60725:2005 [3].

Følgende verdier er gitt i denne:

Apparater < 16 A 230V/400V (50Hz)

Faseleder	0,24+j0,15 Ω (Sk= 565 kVA, Ik=0.8 kA)	tallverdi: 0,28 Ω
Nøytralleder	0,16+j0,10 Ω	
Fase-nøytral	0,40+j0,25 Ω	

Apparater < 75 A 230V/400V (50Hz) med inntak > 100A

Faseleder	0,15+j0,15 Ω (Sk= 755 kVA, Ik=1.1 kA)	tallverdi: 0,21 Ω
Nøytralleder	0,10+j0,10 Ω	
Fase-nøytral	0,25+j0,25 Ω	

Det finnes ikke referanseimpedanser for 230 V IT. Men dersom man i et 230V IT nett skal ha samme nettstyrke som referanseimpedansen gir blir transformasjonen som følger:

$$Z_{230} = \frac{230^2 \cdot Z_{400}}{400^2}$$

Dette betyr at referanseimpedansene referert 230V blir:

Apparater < 16 A 230V (50Hz)

Faseleder	0,08+j0,05 Ω	tallverdi: 0,093 Ω
-----------	---------------------	---------------------------

Apparater < 75 A 230V (50Hz) med inntak > 100A

Faseleder	0,05+j0,05 Ω	tallverdi: 0,070 Ω
-----------	---------------------	---------------------------

Sammenlignes dette med det som er beskrevet i kapittel 6, må blir kravet til minimum 2-polt kortslutningsstrøm for apparater < 16A:

$$I''_{k2} > \frac{1000A \cdot 0,109\Omega}{0,093\Omega} = 1172A$$

Mens den for apparater mindre enn 75A blir:

$$I''_{k2} > \frac{1000A \cdot 0,109\Omega}{0,07\Omega} = 1557A$$

Referanseimpedansen for 230V gir følgende spenningsendring ved inn-/utkobling av 16A ohms enfase-last:

$$\Delta U = \frac{2}{U_L} \cdot (P \cdot R_k + Q \cdot X_k) = \frac{2}{230V} \cdot (230V \cdot 16A \cdot 0,08\Omega + 0 \cdot 0,05\Omega) = 2,56V$$

dvs 1,1%

Referanseimpedansen gir følgende spenningsendring ved en enfase motorstart med en startstrøm på 40A (cos $\varphi=0,25$):

$$\Delta U = \frac{2}{U_L} \cdot (P \cdot R_k + Q \cdot X_k) = \frac{2}{230V} \cdot (230V \cdot 40A \cdot 0,25 \cdot 0,08\Omega + 230V \cdot 40A \cdot 0,97 \cdot 0,05\Omega) = 5,48V$$

dvs 2,4 %

8 Kostnadsberegninger

Som nevnt i kapittel 5, er samlede forsterkningskostnader basert på at det koster er 40.000 kr for å komme opp på $I_{k2min}=500$ A og $I_{k2min}=1000$ A koster 100.000 kr per punkt. Det foreligger ingen skriftlig dokumentasjon som i detalj beskriver hvordan disse kostnadene framkommer, men følgende to case har vært brukt som innspill i de diskusjonene arbeidsgruppen har hatt.

1: Lavspenningsforsterkning. 3 gårder. 500m LS-kabel, 240 Al, 2 stk kabelskap, 3 stk stikkledninger a 40 meter (mulig de er lengre på landet). 20% fjell i grøften. Demontering av luftnett. Kabel tilkoples ny list i nettstasjon.

Pris: kr 475 000, altså kr 158 000 pr bolig

2: HS-kabel legges fra mast i luftnett. Denne masten kan benyttes, men det settes opp ny bryter i den og kabel klamres opp. Derfra legges 500m HS-kabel, 95 Al, til ny satelittnettstasjon. 100 kVA trafo i denne. Ikke bryter i kiosken. Fra nettstasjonen legges ut to kurser, hver på 50 meter, til bestående lavspente luftnett.

Kostnad: kr 650 000. Dersom det er 3 boliger på disse kursene, blir kostnaden her kr 216 000 pr bolig.

I beregningene er REN-priser lagt til grunn.

Generelt vil kostnadene for å oppgradere et nett til å gi en minimums kortslutningsytelse over en viss grense bestå av tre elementer:

- Kostnader for oppgradering av transformatorytelse i nettstasjon.
- Kostnader for oppgradering av lavspenningskurser ut fra nettstasjoner/kabelskap.
- Kostnader for oppgradering av stikkledning.

I forhold til FoL og kravene til spenningssprang, er det i prinsippet ikke nødvendig å oppgradere stikkledninger siden det i FoL står at: "*Utbedringsplikten gjelder ikke for nettkunder, dersom grenseverdiene kun overskrides i eget tilknytningspunkt, og tilknyttet nettselskap ikke opplever problemer som følge av dette.*"

I forhold til å unngå at andre kunder forstyrres av spenningssprang forårsaket av en kunde, er det isolert sett gunstig med størst mulig impedans i stikkledningen.

Det må også påpekes at spenningssprang større enn grensene i FoL ($\Delta U_{stasj} > 3\%$ $\Delta U_{maks} > 5\%$) ikke er problematisk med mindre de skjer flere enn 24 ganger per døgn.

For å finne fram til kostnadene for å oppgradere til en nettstyrke >500 A resp. >1000 A på landsbasis ville følgende "algoritme" gi et rimelig anslag:

1. Det tas utgangspunkt i statistikken gitt i tabell 1.
2. Filtre bort de tilknytningspunkt hvor det er stikkledningen som medfører at I_{k2min} blir mindre enn ønsket grenseverdi.
3. Klassifiser gjenværende tilknytningspunkt (som må forsterkes) i forhold til forsyningssituasjon:
 - Tettbygd, grisgrendt, kabelnett, luftledningsnett, blandet nett...
4. Beregn gjennomsnittlige ytelser for fordelingstransformator, gjennomsnittlige lengder på lavspenningskurser og stikkledninger i de respektive klassene funnet i punkt 3.

5. Fastlegg optimal forsterkningsstrategi i respektive forsyningssituasjoner for å overstige ønsket grenseverdi på I_{k2min} forsterkning av trafo og/eller nett) og beregn kostnader.
6. Fastlegg hvor mange nettkunder som nyter godt av forsterkningen og beregn stykkpris pr. tilknytningspunkt.
7. Beregn samlet kostnad ut fra stykkpris pr. tilknytningspunkt og antall tilknytningspunkt med forsterkningsbehov i de respektive forsyningssituasjoner.

For å gjennomføre "algoritmen" kreves det et statistikkgrunnlag som ikke er tilgjengelig.

I prosjektmøte 2012-04-23 ble det besluttet at deltakerne i arbeidsgruppen skulle søke å fylle ut tabellen nedenfor:

Tabell 2 Ønsket nettstatistikk.

<Type forsyningsområde>							
Nettstyrke I_{k2min} [A]	Typisk lengde LV ledning	Typisk lengde Stikkledning per. nettkunde	Antall nettkunder pr LV ledning	Nytt tverrsnitt LV luftledning	Nytt tverrsnitt stikkledning (luft)	Nytt tverrsnitt LV kabel	Nytt tverrsnitt stikkledning (kabel)
<350							
350-500							
500-750							
750-1000							
>1000							

Det viste seg denne detaljeringsgraden ble for krevende. Følgende nettstatistikk lot seg imidlertid framskaffe fra to nettselskap:

Tabell 3 Nettstatistikk selskap 1.

Gruppe	I_{k2min}	Antall kunder	Sum km ledning	Snitt lengde- ledning/kunde [m]	Lengste ledning [km]
1	≤ 500 A	9058	4436,5	489	5,7
2	> 500 og < 1000 A	26595	7896,8	296	2,7
3	≥ 1000 A	99026	15687,4	158	1,2

Tabell 4 Nettstatistikk selskap 2.

Gruppe	I_{k2min}	Antall kunder	Sum km ledning	Snitt lengde- ledning/kunde [m]	Lengste ledning [km]
1	≤ 500 A	24913	13211	530	3,9
2	> 500 og < 1000 A	43756	11730	268	2,7
3	≥ 1000 A	87867	11781	134	1,7

Det ble påpekt at de nettkundene som har lav I_{2kmin} typisk befinner seg i grisgrendte forsyningsområder. Som tabellen viser er statistikken rimelig konsistent med hensyn til ledningslengde pr. kunde i de ulike kategorier som tyder på at nettdimensjoneringen (lengder, transformatorytelse og tverrsnitt) er rimelig lik. Selskap 1 har ca. 7% av kundene med $I_{k2min} < 500$ A, mens selskap 2 har ca. 16%.

Som det fremgår er det ikke skilt på lavspenningsmateledning og stikkledning i denne statistikken.

For å kunne benytte dette datagrunnlaget til å gi et overslag over kostnader, må det gjøres visse antakelser, forenklinger og en betydelig grad av skjønn. **Generelt sett gjøres forenklingene på en slik måte at overslaget over kostnader blir konservativt.**

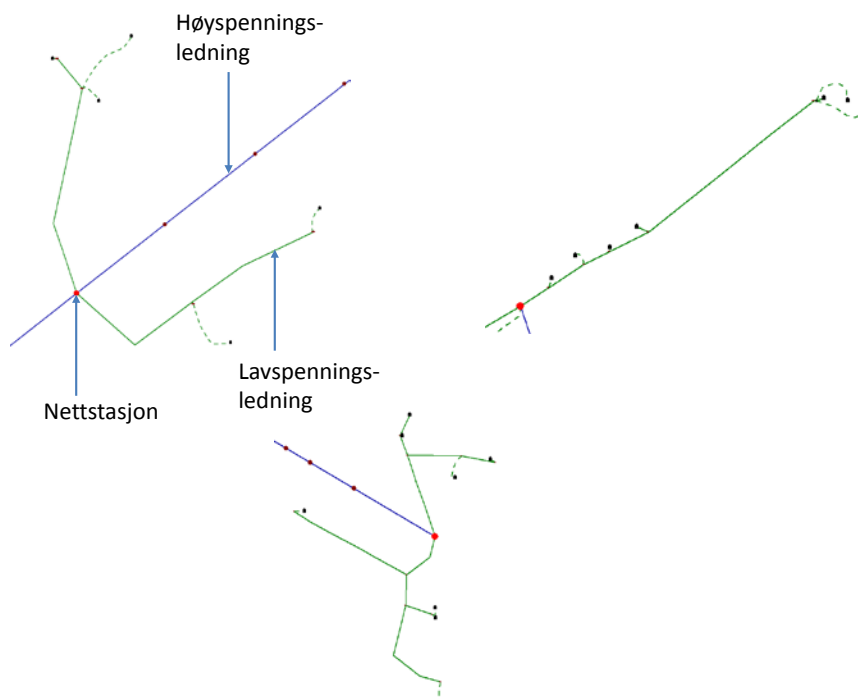
Spenningsfallet i stikkledningen neglisjeres.

Denne forenklingen er rimelig av to grunner.

- Stikkledningen forsyner normalt kun en kunde og denne kunden har lov til å "forstyrre" seg selv.
- Spenningsfallet over stikkledningen er normalt lavt sammenlignet med spenningsfallet langs mateledningen.

Forsterkningskostnaden omfatter kun øket tverrsnitt på mateledning

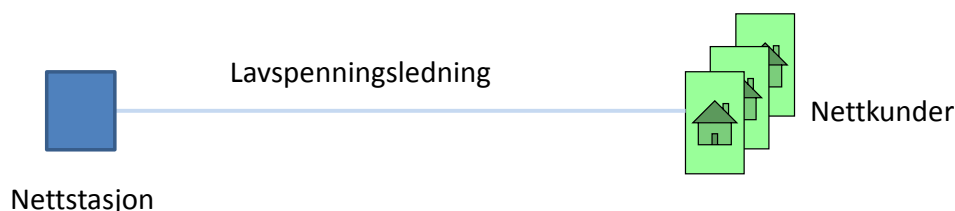
Siden det er tilgjengelig brukbar statistikk m.h.t. antall meter ledningslengde pr kunde, er denne forenklingen praktisk. I den ledningslengden inngår også stikkledningene slik at denne lengden til disse må trekkes fra. I tillegg bør det tas hensyn til at forsterkning av en mateledning kan øke nettstyrken til flere kunder – slik at flere av de som har for lav nettstyrke bringes innenfor grensene. Topologien i lavspenningsnettet til nettkunder i grisgrendte strøk kan være meget forskjellig som vist i eksemplene nedenfor. (Eksemplene er hentet fra en typisk norsk NIS-database.).



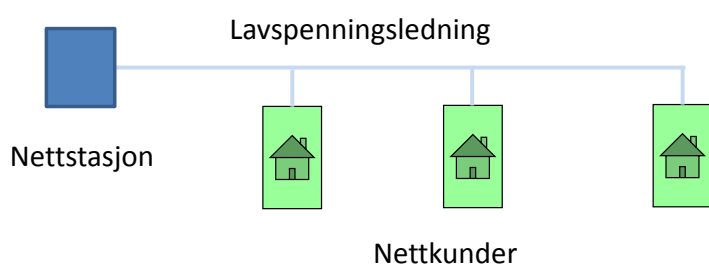
Figur 11 Eksempel på topologi - lavspenningsnett grisgrendte strøk.

Forsyningssituasjonene i lavspenningsnettet forenkles videre til to kategorier (se **Figur 12**):

- Kundene er på enden av mateledningen (1-5 stykk pr lavspenningsradial).
- Kundene er jevnt fordelt langs mateledningen (typisk 5-10 stykk pr. lavspenningsradial).



Kategori 1: Kunder på enden av mateledning



Kategori 2: Kunder fordelt langs mateledning

Figur 12 Forsyningssituasjoner.

Nettstatistikken i Tabell 3 og Tabell 4 gir nettlengde pr. kunde. Denne er beregnet i NIS ut fra antall meter nett fra nettkunde til nettstasjon. I situasjonen med kunder på enden av en lavspenningsledning i **Figur 12**, vil en nettforsterkning av lavspenningsledningen kunne løse problemet med lav kortslutningsytelse for 3 kunder.

I situasjonen med nettkunder jevnt fordelt langs en radial, er det sannsynlig at 1-3 nettkunder på enden av radial har lav kortslutningsytelse. I teorien kunne det da være tilstrekkelig å kun forsterke en del av mateledningen for å få tilstrekkelig kortslutningsytelse. Men andre hensyn (alder, tilstand, nettstandard, distribuert produksjon...) vil sannsynligvis tale for at hele radialen forsterkes. **Men også her vil et forsterkningstiltak kunne løse problemet med lav kortslutningsytelse for flere nettkunder.**

Tabell 3 og Tabell 4 gir gjennomsnittlige lengde nett pr. nettkunde for ulike nettstyrker. Disse opplysningene benyttes til å estimere hvor mange meter ledning som må skiftes ut for å bringe nettstyrken innenfor spesifiserte grenser. Dersom alle kunder var i kategorien "kunder på enden av mateledning" vil lengde nett pr nettkunde fratrasket lengden på stikkledning direkte gi hvor mye lavspennings mateledning som må forsterkes. For situasjonen med "kunder fordelt langs mateledning" vil det samme være tilfelle dersom det kun er **én** kunde på enden av radialen som har for svakt nett. Dersom det er flere kunder på enden som har for svakt nett, vil gjennomsnittslengden gi et for lavt estimat på hvor mye mateledning som må forsterkes. I

etterfølgende kostnadsestimat tas dette hensyn til ved å gi et skjønnsmessig påslag på lengden i %. Eksempelvis så er gjennomsnittslengden i Gruppe 1 i Tabell 3 og Tabell 4 ca 500 m. Med 10% påslag blir lengden som må forsterkes 550 meter i situasjonen med kunder fordelt langs mateledning.

Med de opplysninger som foreligger og utnyttelse av slike stiliserte beskrivelser som er gitt i **Figur 12**, kan det gjøres kostnadsoverslag for nødvendige forsterkningskostnader for å øke nettstyrken til $I_{k2min}=500$ A og $I_{k2min}=1000$ A etter følgende metodikk:

1. Utgangspunktet for estimatet er antall nettkunder med for svakt nett gitt i **Tabell 1** ($I_{k2min}<500A$).
2. I de ulike grupper beregnes det hvor mye mateledning som må forsterkes hensyn tatt til:
 - Lengde på mateledning må forsterkes (basert på gjennomsnittslengder fratrukket skjønnsmessig overslag av lengde på stikkledning). Lengde stikkledning settes til 20 m.
 - Hvor mange kunder som er i de to forsyningskategorier gitt i **Figur 12**.
 - Et skjønnsmessig overslag på 10% i forhold til gjennomsnittslengden på hvor mye mateledning som må forsterkes for forsyningskategorien "kunder fordelt langs mateledning".
 - Antall nettkunder tiltaket gagnar.
 - Andel kunder som kun forstyrrer seg selv – skjønnsmessig satt til 30%.
3. Kostnadsforutsetninger.

Tabell 5 Spesifikke investeringskostnader.

Anleggstype	Kostnad [kr/km]
EX 3x95 mm 2	275 244
EX 3x150 mm2	302 373
TFXP 4x240 Al	165 073
Grøft landsbygd	311 266
Sum kabelanlegg 4x240 Al	476 339

I mange tilfeller krever en forsterkning/ombygging tilleggskostnader som ikke er medtatt her: rivekostnader, kabelskap osv. I andre tilfeller kan eksisterende anlegg delvis benyttes (f.eks. stolper) slik at ombyggingskostnaden blir lavere enn en nybyggingskostnad. Samlet sett ansees kostnadene gitt i Tabell 5 å gi et rimelig, konservativt kostnadsoverslag.

Ut fra disse forutsetningene er det gjort et estimat av nødvendige kostnader for at alle nettkunder skal ha en nettstyrke $I_{k2min} > 500A$ ved ulike forsterkningsstrategier. Det er ikke gjort analyser av hva som kreves for å øke nettstyrken til f.eks. 1000A/1172A siden dette krever ytterligere datagrunnlag og modellering utenfor rammene av prosjektet.

Det vil være aktuelt å gjøre ytterligere analyser i regi av SPESNETT-prosjektet (Spenningskvalitet i smarte nett) dersom bedre kostnadsestimat er nødvendige for ulike formål. **Men som etterfølgende kostnadsoverslag viser, er det kostnadsgrunnlaget som fremkommer i denne rapporten og i arbeidsgruppens vurderinger av en slik størrelsesorden, at det må utarbeides metodikk, rutiner, løsninger og et regelverk som sikrer at bruk av miljøvennlige apparater kan skje innenfor en samfunnsøkonomisk forsvarlig ramme.**

Tabell 6 Kostnadsoverslag nødvendige investeringskostnader for at alle nettkunder skal ha en nettstyrke $I_{k2min} > 500A$.

Andel kategori 1	Antall kunder tiltaket gagnar pr. ledning	Kostnader kategori 1 [milliarder kr.]			Kostnader kategori 2 [milliarder kr.]			Sum kostnader [milliarder kr.]		
		EX 3x95 mm 2	EX 3x150 mm2	TFXP 4x240 Al	EX 3x95 mm 2	EX 3x150 mm2	TFXP 4x240 Al	EX 3x95 mm 2	EX 3x150 mm2	TFXP 4x240 Al
0,3	2	5,3	5,8	9,2	13,7	15,0	23,6	19,0	20,9	32,8
0,3	3	3,5	3,9	6,1	9,1	10,0	15,8	12,7	13,9	21,9
0,3	4	2,7	2,9	4,6	6,8	7,5	11,8	9,5	10,4	16,4
0,5	2	8,9	9,7	15,3	9,8	10,7	16,9	18,6	20,5	32,2
0,5	3	5,9	6,5	10,2	6,5	7,1	11,3	12,4	13,6	21,5
0,5	4	4,4	4,9	7,7	4,9	5,4	8,4	9,3	10,2	16,1
0,7	2	12,4	13,6	21,5	5,9	6,4	10,1	18,3	20,1	31,6
0,7	3	8,3	9,1	14,3	3,9	4,3	6,8	12,2	13,4	21,1
0,7	4	6,2	6,8	10,7	2,9	3,2	5,1	9,1	10,0	15,8

Andel kategori 1 angir hvor stor andel av nettkundene med for svakt nett som tilhører forsyningskategori 1 d.v.s. nettkunder på enden av mateledning. Eksempelvis betyr en verdi på 0,3 at en andel på 0,7 av nettkundene tilhører forsyningskategori 2.

Beregningene viser at nødvendige kostnader varierer mellom 9 milliarder kr og 33 milliarder kr avhengig av investeringsstrategi og hvor mange nettkunder tiltaket gagnar. Fordelingen av kundene mellom de to kategoriene har mindre betydning. Kostnaden pr tilknytningspunkt som må forsterkes varierer mellom 34000 kr og 122000 kr.

Arbeidsgruppen hadde kommet fram til følgende overslag for tilvarende kostnader for å komme opp på $I_{k2min}=500 A$:

40.000 kr pr tilknytningspunkt som må forsterkes og en samlet kostnad på ca 15 mrd kr. Dette estimatet ligger innenfor utfallsrommet som beregningene i Tabell 6 gir. Men det må presiseres at fremgangsmåten for de to estimatene er helt forskjellig.

Samlet sett hefter det betydelig usikkerhet ved begge estimatene og dette fremgår også av spredningen i tallene i Tabell 6. Det er påpekt tidligere i rapporten at det er lagt vekt på å søke å gjøre et konservativt overslag og forutsetningene er valgt ut fra dette. Men selv med konservative forutsetninger blir forsterkningskostnadene meget store for å bringe nettstyrken opp på $I_{k2min}>500A$. Og det må påpekes at dette nivået ikke er høyt sammenlignet med nivået som referanseimpedansen gir (kravet til minimum 2-polt kortslutningsstrøm på 1172A for apparater $< 16A$ – jfr kap. 7).

Det er derfor all grunn til å utrede videre kravene til nettstyrke ut fra evnen til å håndtere nye utfordrende apparater som er i markedet i sammenheng med kravene i forskrift om leveringskvalitet i kraftsystemet (FoL) og den europeiske referanseimpedansen for 400V lavspenningsnett slik at regelverk og krav samlet sett bidrar til god samfunnsøkonomi.

9 Referanser

- [1] Spenningskvalitet og kortvarige avbrudd i Norge. Rikets tilstand 1993 – 2003. SINTEF Energi, 2004, TR A5883,
- [2] Grafisk presentasjon av ulike utløsekarakteristikker fra brosjyre fra Hager (www.hager.no).
- [3] Considerations on reference impedances and public supply network impedances for use in determining the disturbance characteristics of electrical equipment having a rated current < 75A per phase. IEC, 2005, TR 60725



Teknologi for et bedre samfunn

www.sintef.no