

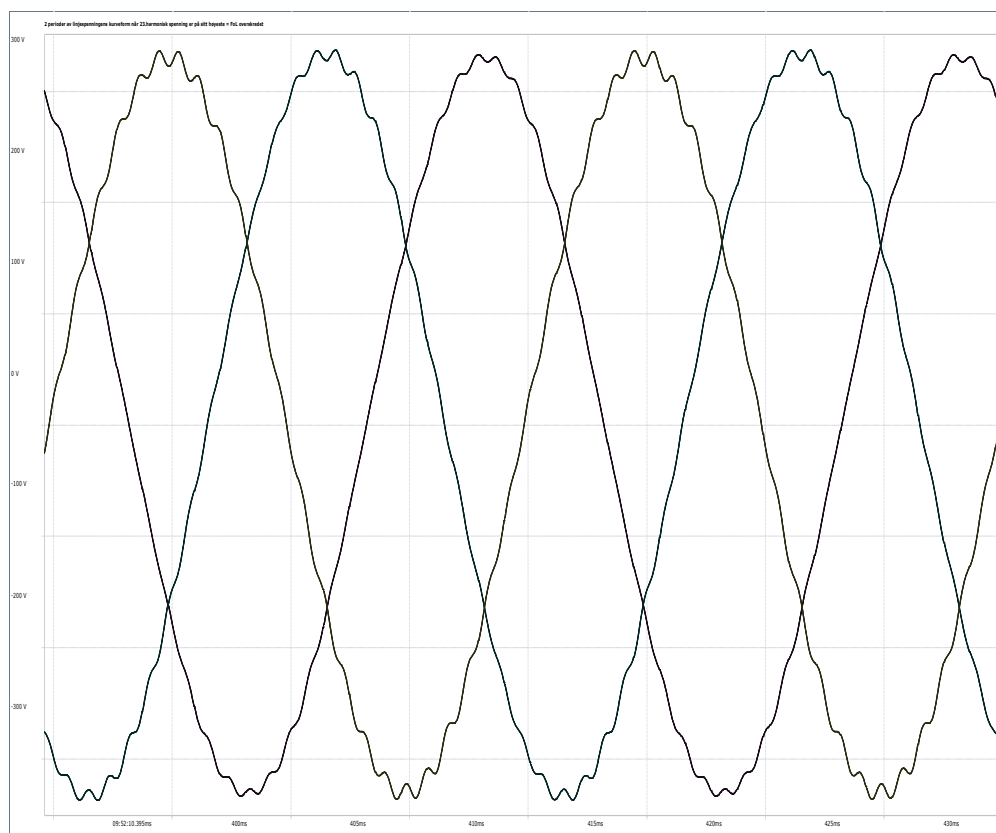
Rapport

Målinger av spenningskvalitet etter kundeklage

Avanserte målinger for Haugaland kraft

Forfatter(e)

Helge Seljeseth



SINTEF Energi AS

Postadresse:
Postboks 4761 Sluppen
7465 TrondheimSentralbord: 73597200
Telefaks: 73597250energy.research@sintef.no
www.sintef.no/energi
Foretaksregister:
NO 939 350 675 MVA

Rapport

Målinger av spenningskvalitet etter kundeklage

Avanserte målinger for Haugaland kraft

EMNEORD:
Spenningskvalitet
Kundeklage
Målinger
Forskrift om
leveringskvalitetVERSJON
1.0DATO
2014-09-25FORFATTER(E)
Helge SeljesethOPPDRAGSGIVER(E)
Haugaland KraftOPPDRAGSGIVERS REF.
Bendik StoresundPROSJEKTNR
502000603ANTALL SIDER OG VEDLEGG:
26

SAMMENDRAG

Mens målingene pågikk hos kunden har spenningskvaliteten det meste av tiden tilfredsstillt kravene i FoL, men i noen kortere perioder var grenseverdiene for 23.harmonisk spenning overskredet. Dette ser ut til å skyldes resonans fra 66 kV ned til 22 kV nettet. Dette resonansproblemet bør løses ikke bare på grunn av kunden som har klaget, men også på mer generelt grunnlag da de forhøyede verdiene overskrider både forskrift om leveringskvalitet, men også internasjonale standarder (IEC og CENELEC). Målingene har foregått i noen måneder, men siden man ser ut til å ha en situasjon med resonans, kan man ikke helt utelukke at enda litt høyere verdier kan forekomme.

Selv om 23. harmonisk spenning i noen perioder var litt for høy, er det ikke funnet noen alvorlige avvik i spenningen som kan forklare havari på elektriske apparater. Det er ikke funnet noen sammenheng mellom når kunden erfarer problemer med sitt utstyr og størrelsen på 23.harmonisk spenning. Kunden har rapportert om dårlige forhold (inkludert varmgang) i perioder der 23.harmonisk spenning hele tiden har vært under 0,62 %, mens anbefalt grenseverdi er på 1,5 %. Det er heller ikke registret noen andre alvorlige forstyrrelser og avvik i spenningen i de periodene kunden har rapportert om dårlige forhold/problemer.

UTARBEIDET AV
Helge SeljesethKONTROLLERT AV
Kjell SandGODKJENT AV
Knut Samdal

SIGNATUR



SIGNATUR



SIGNATUR

RAPPORTNR
TR A7421ISBN
978-82-594-3594-1GRADERING
ÅpenGRADERING DENNE SIDE
Åpen

Innholdsfortegnelse

1	Bakgrunn for målingene	5
2	Problemer som kunden har klaget på	5
3	Måleprogram	6
4	Måleutstyr	7
5	Resultater	7
5.1	Spenningskvaliteten hos kunden	7
5.1.1	Jordfeil	7
5.1.2	Spenningsens effektivverdi	7
5.1.3	Spenningsens usymmetri	8
5.1.4	Flimmer	8
5.1.5	Overharmoniske spenninger	8
5.1.6	23.harmonisk spenning i tidsrom med rapporterte problemer hos kunden	8
5.2	Spenningskvaliteten i nettstasjonen	9
5.3	Spenningskvaliteten i transformatorstasjonen	9
5.4	Resonans fra 66 kV-nettnivå ned til 22 kV-nettet	9
6	Mulige tiltak for å redusere 23.harmonisk spenning	10
7	Oppsummering og konklusjoner	10
A	Måleresultater: Viktige kurveeksempel fra målingene	11
A.1	Viktige kurveeksempel fra målingene hos kunden	12
A.2	Viktige kurveeksempel fra målingene i de andre målepunktene enn hos kunden	24

1 Bakgrunn for målingene

Haugaland kraft har mottatt en kundeklage der det med normale målinger av spenningskvalitet i henhold til kravene i den norske forskriften (FoL) om leveringskvalitet, ikke har vært mulig å avdekke noen årsak til problemene som kunden beskriver.

SINTEF ble innleid for å bistå i enda mer avanserte målinger der man lagrer den kontinuerlige kurveformen med en samplingsfrekvens i overkant av 50 kHz (1024 ganger grunnharmonisk frekvensens). Da man har noen eksempel fra tidligere kundeklager i Norge der måling i henhold til FoL ikke klarte å avdekke/vise spenningsforstyrrelser som faktisk medførte forstyrrelser i elektriske apparater/utstyr hos kunder (eksempelvis flimmer i belysning), ble det besluttet å foreta avanserte målinger.

2 Problemer som kunden har klaget på

Kunden i denne klagesaken har beskrevet flere årsaker til sin klage:

1. Mangelfull funksjon på kundens lydanlegg – dårlig lyd kvalitet
2. Unormal varmgang i elektriske apparater
3. Havari på elektriske apparater

I følge det SINTEF har fått opplyst, har kunden ikke trefase utstyr/apparater. Da er ikke ubalanse (usymmetri i spenningen) en parameter som skal ha betydning for kunden mht problemer med elektrisk utstyr/apparater.

Det avviket/forstyrrelsen i spenningen som lettest fører til havari på elektriske apparater, er for høye spenninger (kortvarige og langvarige). I noen tilfeller kan også alt for lave spenninger samt for høye verdier av overharmoniske spenninger medføre havari. De samme typene spenningsavvik som kan forårsake havari kan typisk også forårsake unormal varmgang i elektriske apparater.

Det er relativt sjelden (lav andel blant kundeklager) at kunder klager på dårlig lyd kvalitet fra lydanlegg ("HIFI anlegg"). Rent teoretisk kan ugunstige frekvenser (eksempelvis 23. og 25 harmonisk spenning, men også andre frekvenskomponenter) forplante seg gjennom strømforsyningsenheter i lydanlegg slik at disse frekvenskomponentene kan gjenkjennes/høres i lydbildet. En skal imidlertid også forvente at lydutstyr har et ikke ubetydelig immunitetsnivå mot slike forstyrrelser så lenge forstyrrelsene i spenningen er innenfor internasjonale standardiserte krav (grenseverdiene til slike spenningsforstyrrelser i internasjonale standarder som IEC 61000-2-2, CENELEC EN50160 med flere).

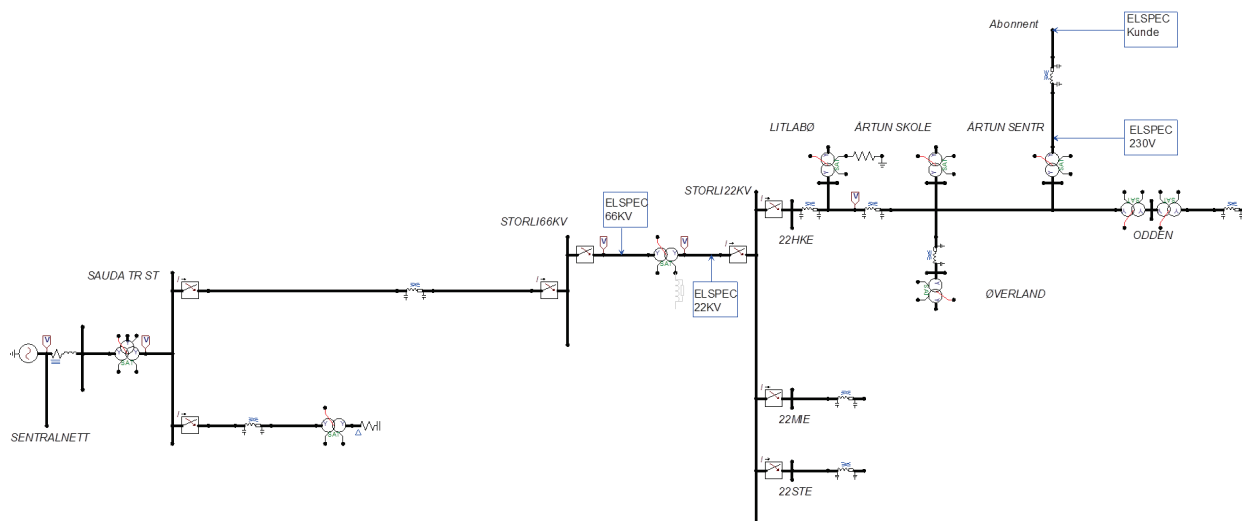
3 Måleprogram

Det er foretatt målinger fra høsten 2013 og disse pågikk fram til uke 25 i 2014 på 230 V-siden i nettstasjonen som forsyner kunden, samt på henholdsvis 22 kV og 66 kV i transformatorstasjonen. Se tabell 1 for informasjon om måletidsrom i de fire målepunktene.

Tabell 1 Oversikt over målepunktene

Målepunkt	Måletidsrom	Måleinstrument
Hos kunde	2013.11.20 – 2014.01.22	Elspec G4500
På 230 V siden i nettstasjon	2013.10.11 – 2014.06.17	Elspec G4430
På 22 kV siden i transformator	2013.10.18 – 2014.06.17	Elspec G4420
På 66 kV siden i transformator	2013.10.18 – 2014.06.17	Elspec G4420

Ved å foreta målinger helt fra 66 kV-nettet og ned til kundens installasjon, kan man ikke bare fastslå om det oppstår urimelig store forstyrrelser i spenningen i løpet av måleperioden, men også hvilken del av nettet eventuelle store forstyrrelser har sitt utspring fra. Se figur 1 for plassering av målepunkter.



Figur 1 Forenklet skisse over plassering av måleinstrumenter

4 Måleutstyr

Måleutstyret som i hovedsak er benyttet under måleperioden er 4 måleinstrumenter fra Elspec Ltd. Se tabell 1 over for hvilke modeller av Elspec-instrumenter som ble benyttet i de ulike målepunktene. Denne typen måleinstrument måler og lagrer den kontinuerlige kurveformen av trefase spenninger og strømmer. I tillegg til å kunne evaluere selve kurveformen av spenninger og strømmer, kan man på denne måten også følge med på variasjonen i alle viktige parametere som effektivverdi, overharmoniske, effekt med mer med en tidsoppløsning på 20 ms (hver eneste grunnharmoniske periode).

Det ble ordnet med datalinjer fram til alle de fire måleinstrumentene slik at man har hatt muligheten til å evaluere måleresultatene underveis i målingene. Instrumentene ble også tidssynkronisert GPS (Global Positioning System) og SNTP (Simple Network Time Protocol) slik at klokken i alle måleinstrumentene var meget nøyaktige. Fram til denne rapporten ble skrevet var det kommet inn til sammen 29 GB med rådata fra de fire måleinstrumentene.

5 Resultater

Måleresultatene viser en spenningskvalitet som i stor grad stemmer med målingene Haugaland kraft tidligere har foretatt med litt enklere måleutstyr. Det noe enklere måleutstyret som ble benyttet, tilfredsstiller imidlertid måling i henhold til FoL. Med det mer avanserte måleutstyret har man nå hatt muligheten til å evaluere variasjonene/forstyrrelsene i spenningen med vesentlig høyere tidsoppløsning enn med utstyret som ble benyttet tidligere. Mens man med de tidligere målingene kunne se på overharmoniske (og ubalanse med mer) med en tidsoppløsning på 10 minutter, fikk man nå også overharmoniske (med mer) med en oppløsning på 20 ms. Dette tilsvarer en tidsoppløsning som er 30.000 ganger høyere enn de tidligere målingene. Man kunne altså nå vurdere spenningens variasjoner/forstyrrelser langt utover kravene i internasjonale standarder og i den norske leveringskvalitetsforskriften.

5.1 Spenningskvaliteten hos kunden

Mens målingene pågikk hos kunden har spenningskvaliteten det meste av tiden tilfredsstilt kravene i FoL, men i noen kortere perioder har grenseverdiene for 23. harmonisk spenning vært overskredet.

5.1.1 Jordfeil

Det er ikke målt noen jordfeil mens målingene pågikk hos kunden. Se måleverdiene for fasespenninger i figur 2 på side 11 i Appendix A1. Betydelige avvik i fasespenningene (potensielt jordfeil) forekommer kun 3 ganger på grunn av 3 avbrudd. Dette er akkurat slik det vil være ved avbrudd (og ved store spenningsdipp).

5.1.2 Spenningens effektivverdi

Spenningens effektivverdi er det meste av tiden mellom 230 V og 240 V. Se figur 3 på side 12 i Appendix A1. Noen timer 11. desember 2013 er spenningen oppe mellom 240 V og 245 V. Spenningen er også relativt kortvarig noen ganger under 230 V og da mellom 227 V og 230 V. Kundens last medfører en del kortvarige strømtopper (strømspiker). Se figurene 4 (hele måleperioden) og 5 (kun ett døgn) på sidene 13 og 14 i

Appendix A1. Strømtoppene er ikke større enn at momentanverdien av spenningen (20 ms) har god margin til grenseverdien på 230 V – 10 % som i Norge gjelder 1 minutt gjennomsnittsverdien av spenningen.

5.1.3 Spenningens usymmetri

Spenningens usymmetri har ikke oversteget 1,5 % under målingene hos kunden. Grenseverdien i forskrift om leveringskvalitet (FoL) er 2 %.

5.1.4 Flimmer

Flimmerverdiene og særlig kort tids flimmer Pst varierer en god del under måleperioden. Grenseverdiene i FoL (Pst = 1,2 (95 %) og Plt = 1,0 (100 %)) ble imidlertid ikke overskredet under målingene. Måleinstrumentene registrerte høyere verdier, men dette var noen få ganger på grunn av avbrudd og spenningsdipp. I IEC61000-4-30 beskrives det at man ikke skal blande ulike forstyrrelser ved å måle eksempelvis både avbrudd, store flimmerverdier og store overharmoniske når det egentlig er bare et avbrudd. Derfor kan/skal høye verdier for flimmer etc. flagges og ekskluderes ved avbrudd og spenningsdipp. Figur 6 og 7 på sidene 15 og 16 i Appendix A1 viser resultatene av flimmermålingene.

5.1.5 Overharmoniske spenninger

Målingene av total harmonisk forvrengning i spenningen (THD) viser i all hovedsak lave verdier. Se figur 8 på side 17 i Appendix A1. Med unntak av en periode på drøyt 5 timer 11. desember 2013 der THD var oppe på 3,7 % har THD i hele måleperioden vært lavere enn 2,3 %. Grenseverdien i både forskrift om leveringskvalitet (FoL) og Europanormen (EN50160) er til sammenligning på 8 %.

Ved gjennomsyn av alle de individuelle overharmoniske komponentene og hvordan de bidrar til THD, viser det seg at alle de individuelle komponentene hele tiden er lavere enn grenseverdiene i FoL med god margin med unntak av den 23. harmoniske komponenten. Den 5. harmoniske spenningen er i drøyt 5 timer 11. desember 2013 oppe på nesten 3,7 % og er det dominerende bidraget til THD i dette tidsrommet. Se figur 9 på side 18 i Appendix A1. Grenseverdien i FoL for 5. harmoniske spenning er imidlertid 6 % så her er det fremdeles god margin også under disse timene 11. desember 2013.

Den 23. harmoniske spenningen overskrider i perioder grenseverdiene i FoL som er på 1,5 %. Se figur 10 og 11 på sidene 19 og 20 i Appendix A1. Høyeste målte verdi er 2,0 % som kanskje kan være nok til at "trente ører" kan høre dette dersom en spenningskomponent på 1150 Hz i større eller mindre grad slipper gjennom lydanlegget. En 23. harmonisk spenningskomponent på mellom 1,5 og 2,0 % skal imidlertid normalt ikke medføre kraftig varmgang i elektriske apparater og heller ikke havarier. I det eneste tilfellet der det i litt større skala er dokumentert havarier på elektriske apparater i Norge på grunn av forhøyet 23. harmonisk spenning, var denne overharmoniske komponenten helt oppe på mellom 6 og 7 %.

I figur 12 på side 21 i Appendix A1 vises 2 perioder av linjespenningens kurveform hos kunden når den 23. harmoniske komponenten er på sitt største under målingene og grenseverdien i FoL er overskredet.

5.1.6 23.harmonisk spenning i tidsrom med rapporterte problemer hos kunden

Kunden har ved noen anledninger kontaktet SINTEF direkte med informasjon om når kunden mente forholdene var bra (lite eller ingen problemer) og når kunden mente det var betydelige problemer. SINTEF anser det som nyttig å sammenligne kundens rapporter om situasjonen opp mot den eneste forstyrrelsen i

spenningen som målingene viser er forhøyet i forhold til grenseverdiene i FoL og det som SINTEF har sett er normalt gjennom flere 10-år med slike målinger.

Det er ikke funnet noen sammenheng mellom når kunden erfarer problemer med sitt utstyr og størrelsen på den 23. harmoniske spenningen.

5.2 Spenningskvaliteten i nettstasjonen

Spenningskvaliteten på 230 V-siden av nettstasjonen er veldig lik forholdene hos kunden og skiller seg stort sett bare av en litt høyere spenning. Det er altså den 23. harmoniske spenningskomponenten som også her i perioder overskrider grenseverdiene i FoL. I figur 14 på side 23 i Appendix A2 vises variasjonen av den 23. harmoniske spenningskomponenten for alle de 4 målepunktene. Der kan man se at denne spenningskomponenten akkurat som hos kunden enkelte ganger overskrider grenseverdien på 1,5 %.

5.3 Spenningskvaliteten i transformatorstasjonen

Spenningskvaliteten på 22 kV-siden av transformatoren er veldig lik forholdene i nettstasjonen og hos kunden. Det er altså den 23. harmoniske spenningskomponenten som også her i perioder overskrider grenseverdiene i FoL. I figur 14 på side 23 i Appendix A2 vises variasjonen av den 23. harmoniske spenningskomponenten for alle de 4 målepunktene. Der kan man se at denne spenningskomponenten akkurat som i nettstasjonen og hos kunden enkelte ganger overskrider grenseverdien på 1,5 %.

Spenningskvaliteten på 66 kV-siden av transformatoren er bedre enn forholdene i nettstasjonen og hos kunden. Den 23. harmoniske spenningskomponenten overskrider her ikke grenseverdiene i FoL og er aldri over 0,5 % mens grenseverdien altså er 1,5 %. Dette kan ses i figur 14 på side 23 i Appendix A2.

5.4 Resonans fra 66 kV-nettnivå ned til 22 kV-nettet

Den betydelige forskjellen i 23. harmonisk spenning mellom 66 kV- og 22 kV-nettet ser ut til å skyldes en resonans fra 66 kV-nettet ned til 22 kV-nettet. Nivået av 23. harmonisk spenning er mellom 3 og 4 ganger så høyt på 22 kV-siden i forhold til på 66 kV-siden av transformatoren. I figur 15 på side 24 i Appendix A2 vises i tillegg til 23. harmonisk spenning på 22 kV og 66 kV også den 23. harmoniske strømmen på 22 kV.

6 Mulige tiltak for å redusere 23.harmonisk spenning

Forhøyede verdier av overharmoniske spenninger skyldes som regel:

1. Utstyr tilknyttet nettet som trekker overharmoniske strømmer fra nettet
2. Resonans i nettet ved en uheldig frekvens (nær karakteristiske overharmoniske fra ulineær last)

I de tilfellene man har en uheldig resonans i nettet trengs det fremdeles støykilder (utstyr) som genererer overharmoniske strømmer, men ved kraftige resonanser kan forholdene bli uholdbare selv med ganske beskjeden/liten tilbakemating ut på nettet fra ulineære laster. I følge Haugaland er det ingen store ulineære belastninger (som eksempelvis 12-puls likerettere) i dette aktuelle 22 kV-nettet. Da er det overveiende sannsynlig at de i perioder forhøyede verdiene av 23-harmoniske spenning skyldes en resonans mellom 66 kV- og 22 kV-nettet. Problemer med slik resonans kan løses på flere måter. De vanligste måtene fram til i dag har vært å flytte resonanspunktet (frekvensen) bort fra de karakteristiske harmoniske komponentene (unngå 5., 7., 11., 13., 17., 19., 23., og 25. harmoniske). Dette kan ofte gjøres enklest og gjerne mest økonomisk ved å endre på nettparameterne slik som kapasitansen i nettet. Har man fasekompensering, kan kanskje et eller flere trinn legges ut eller inn (kompenseringsanlegg med flere trinn). Har man ikke fasekompensering kan man vurdere å installere et fasekompenseringsanlegg. I et par kjente tilfeller har man løst problemet ved å koble inn kabler som normalt ligger utkoblet. I dette tilfellet bør det være gode muligheter for at et enkelt fasekompenseringsanlegg på 22 kV-siden (aktuell avgang fra trafo) vil løse problemene.

Som et alternativ til å endre nettparameterne og da gjerne kapasitansen i en del av nettet, kan man også installere et harmonisk filter. I tilfeller som dette vil det normalt være forbundet med lavest kostnader å installere et passivt filter (både induktanser og kapasitanser) fremfor et aktivt filter. Det bør foretas nettberegninger/simuleringer for å kunne konkludere med hvilken løsning som vil være å foretrekke.

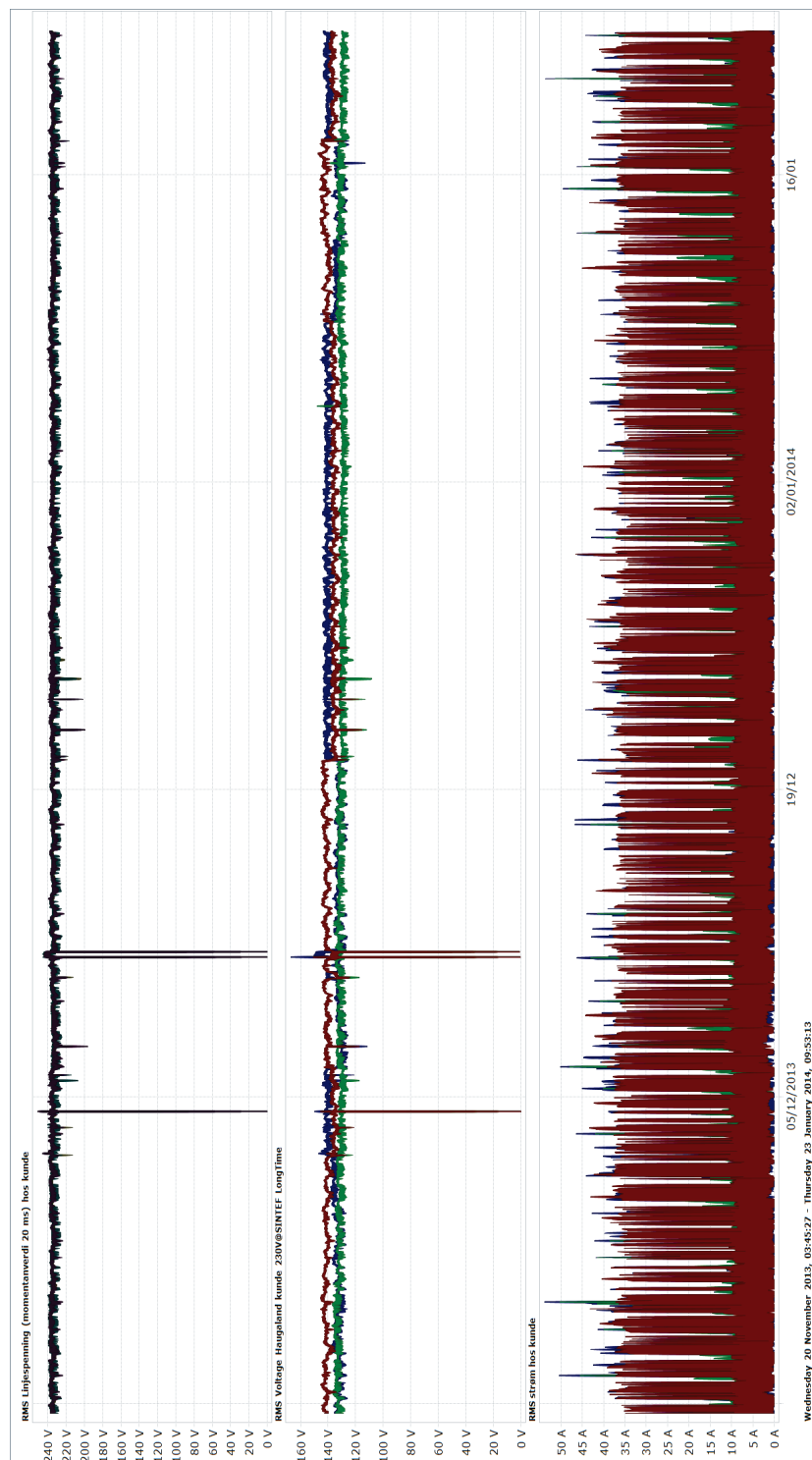
7 Oppsummering og konklusjoner

Mens målingene pågikk hos kunden, har spenningskvaliteten det meste av tiden tilfredsstillt kravene i FoL, men i noen kortere perioder har grenseverdiene for 23. harmonisk spenning vært overskredet. Periodevis for høye verdier av den 23. harmoniske ser ut til å skyldes resonans fra 66 kV- ned til 22 kV-nettet. Dette resonansproblemet bør løses ikke bare på grunn av kunden som har klaget, men også på mer generelt grunnlag da de forhøyede verdiene overskrider både forskrift om leveringskvalitet, men også internasjonale standarder (IEC og CENELEC). Målingene har foregått i noen måneder, men siden man ser ut til å ha en situasjon med resonans kan man ikke helt utelukke at enda litt høyere verdier kan forekomme dersom man kontinuerlig hadde overvåket situasjonen i enda lengre tid (år i stedet for måneder). I en situasjon som denne bør eier av transformator ta ansvaret for å utbedre forholdene med resonans og så kan det i ettertid bli nødvendig med en vurdering av kostnadene og en eventuell fordeling av disse ut fra årsaken til resonansproblemene.

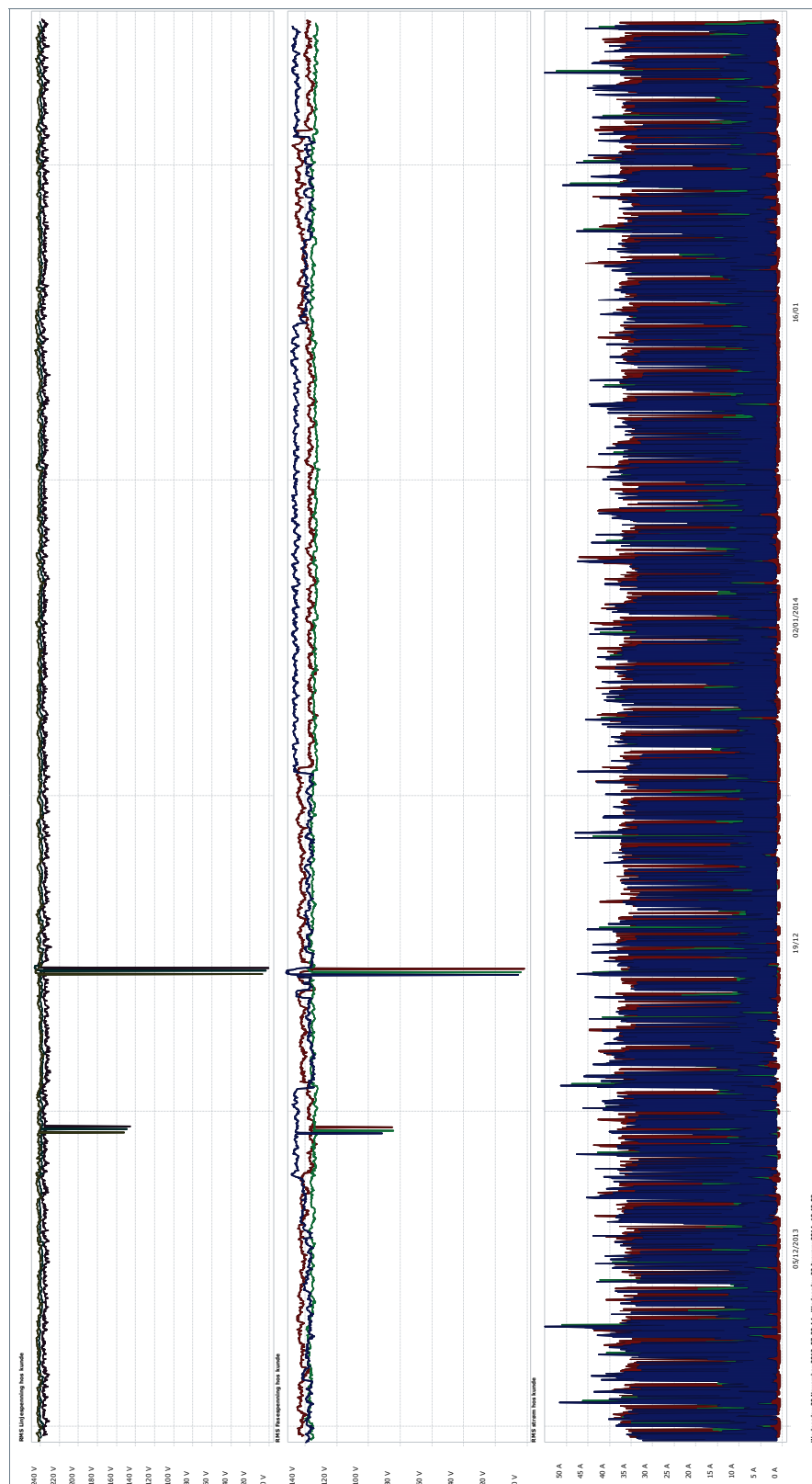
Selv om 23. harmonisk spenning i noen perioder er litt for høy, er det ikke funnet noen alvorlige avvik i spenningen som kan forklare havari på elektriske apparater. Betydelig varmgang i elektriske apparater og utstyr på grunn av en 23. harmonisk komponent på mindre enn 1 % er ikke sannsynlig. Kunden har rapportert om dårlige forhold (inkludert varmgang) i perioder der 23. harmonisk spenning hele tiden har vært mellom 0,26 % til 0,62 %. Det er ikke funnet noen sammenheng mellom når kunden erfarer problemer med sitt utstyr og størrelsen på den 23. harmoniske spenningen. Det er heller ikke registret noen andre typer forstyrrelser og avvik i spenningen i de periodene kunden har rapportert om dårlige forhold/problemer.

A Måleresultater: Viktige kurveeksempel fra målingene

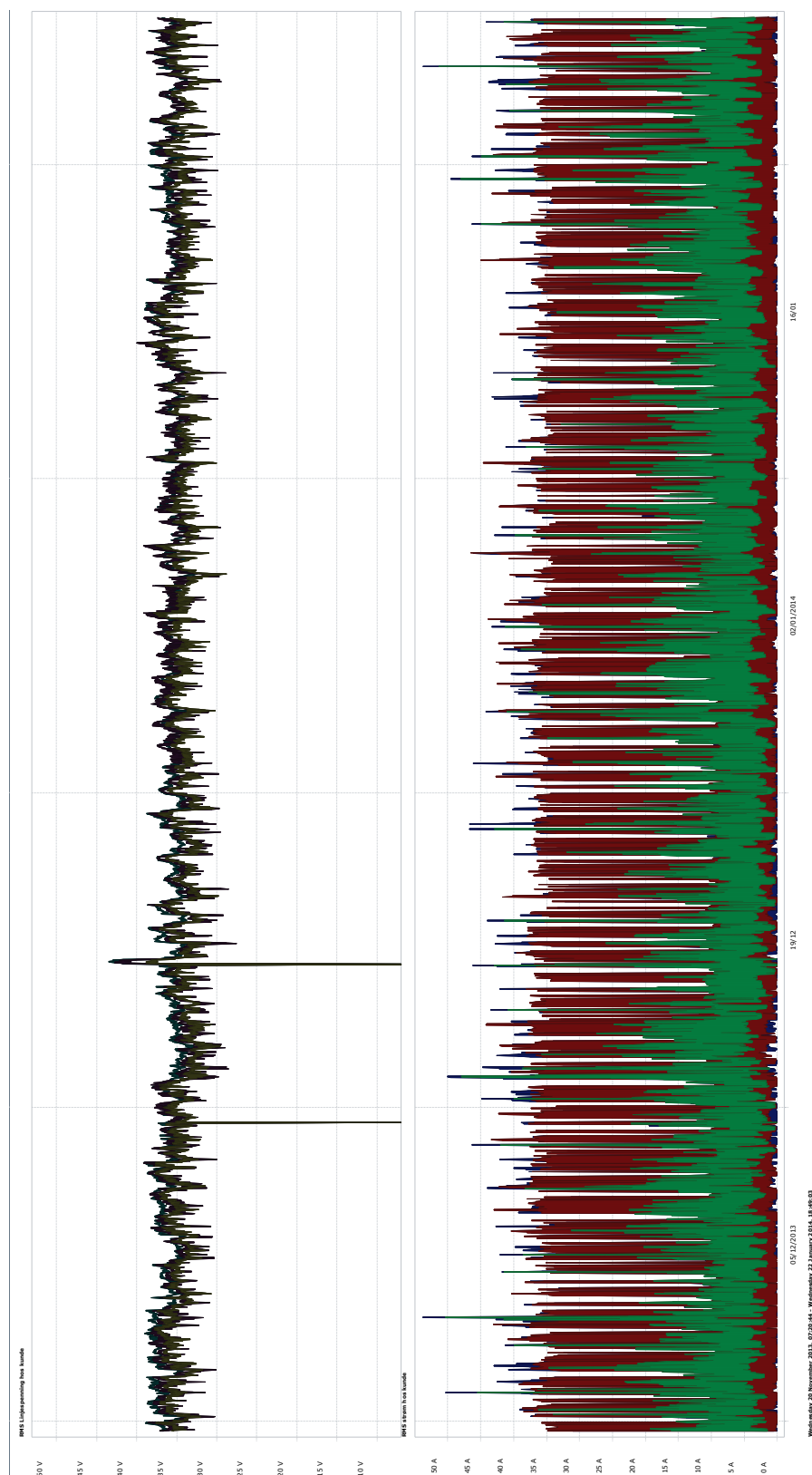
A.1 Viktige kurveeksempel fra målingene hos kunden



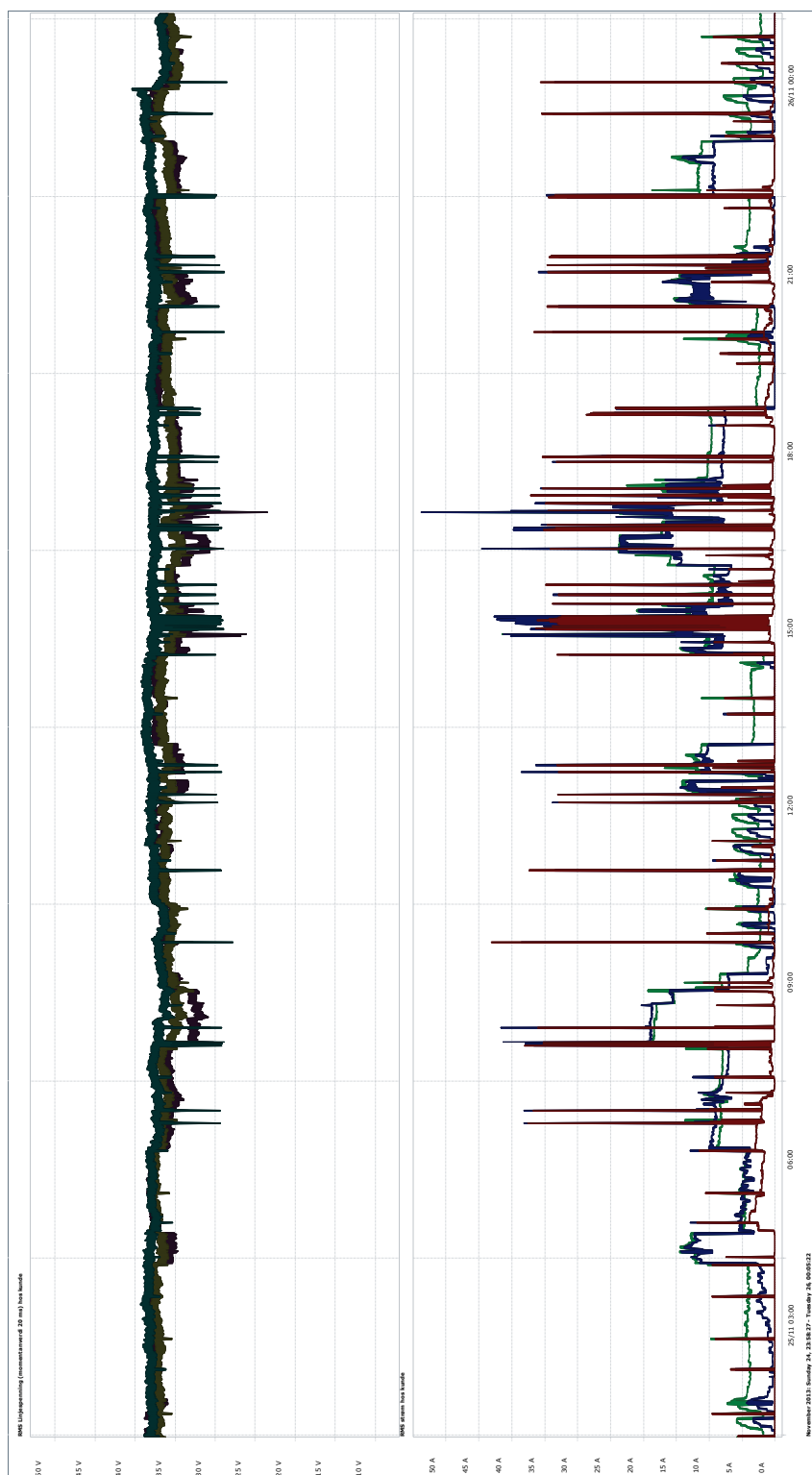
Figur 2 Momentanverdien (20 ms) av trefase linjespenninger, fasespenninger (i midten) og fasestrømmer hos kunden gjennom hele måleperioden.



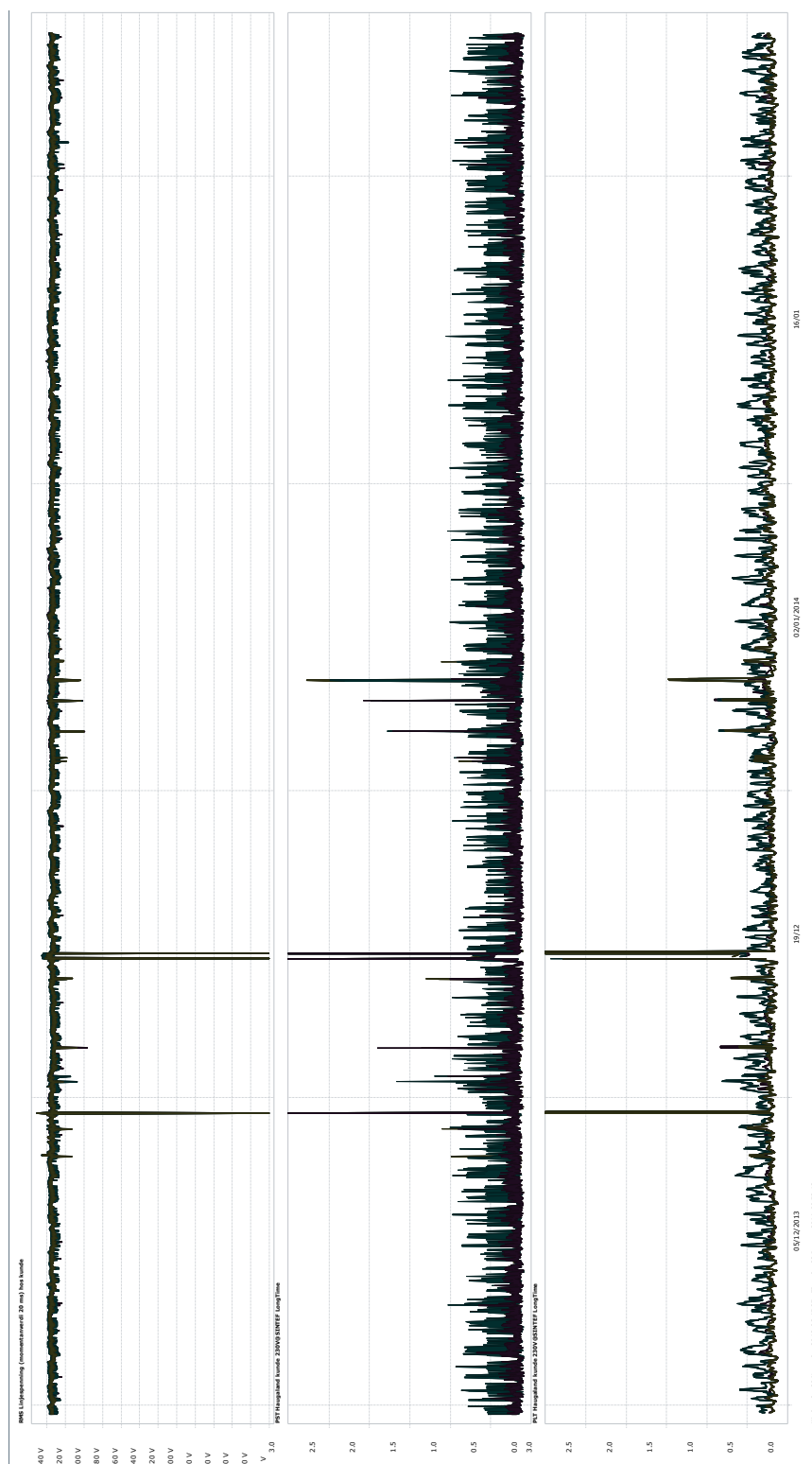
Figur 3 Trefase linjespenninger (1 min. RMS), fasespenninger (i midten) og fasestrømmer hos kunden gjennom hele måleperioden.



Figur 4 Trefase linjespenninger (1 min. RMS) og fasestrømmer hos kunden gjennom hele måleperioden. Det er zoomet inn på Y-aksen slik at grafen dekker fra 230 V -10 % opp til 230 V + 10 %.



Figur 5 Momentanverdien av trefase linjespenning og fasestrømmer hos kunden over en periode på et døgn. Kundens last medfører noen kortvarige strømtopper (strømspiker), men disse er ikke større enn at det er god margin igjen før lasten forårsaker spenningsdipp. Med denne kortslutningsytelsen på forsyningen til kunden kunne strømtoppene vært mellom dobbelt og tredobbelt så store før lasten hadde forårsaket spenningsdipp.



Figur 6 Momentanverdien av trefase linjespenning (20 ms) og variasjonen i flimmerverdiene (Pst og Plt) under hele måleperioden hos kunden.

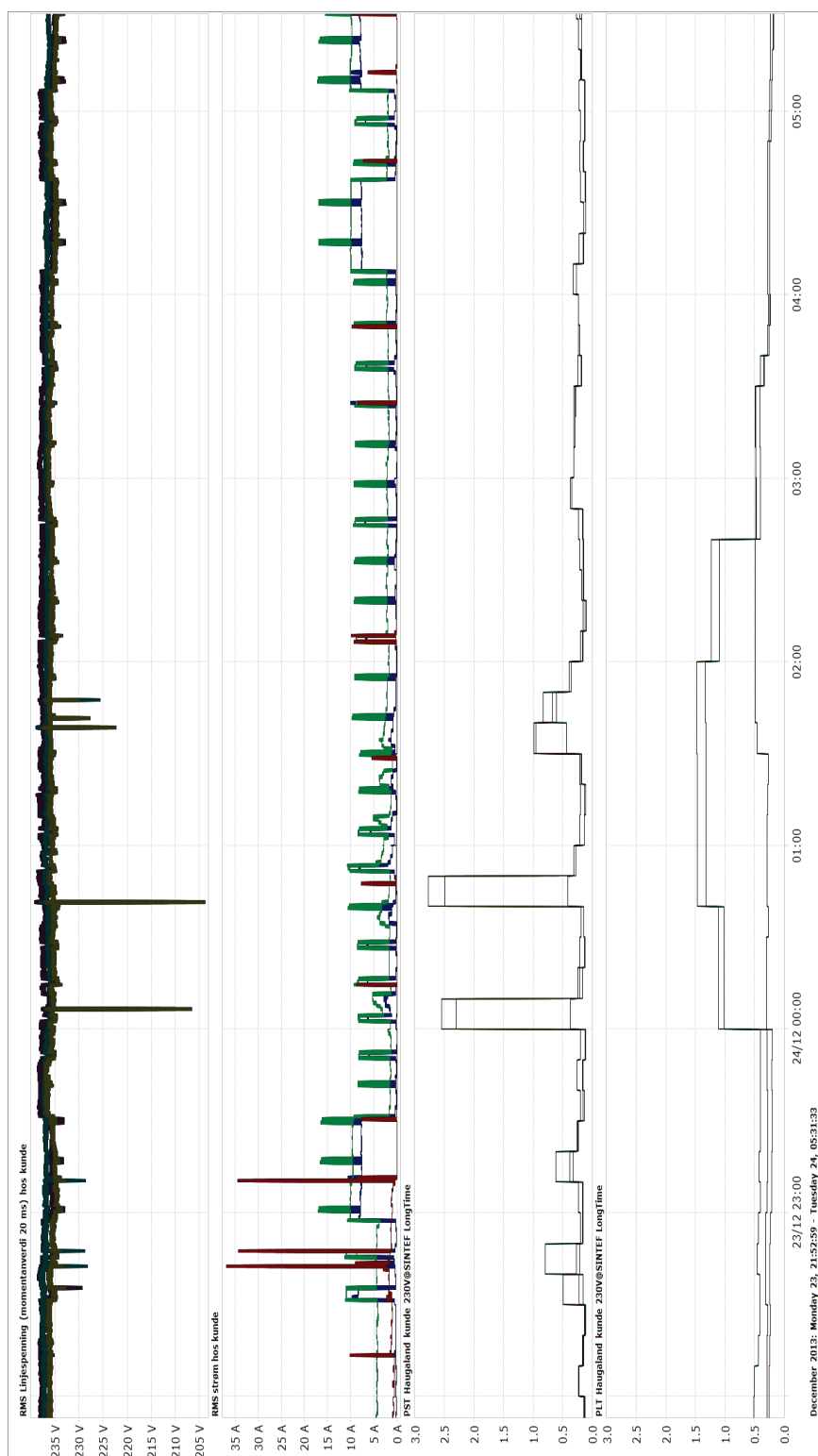
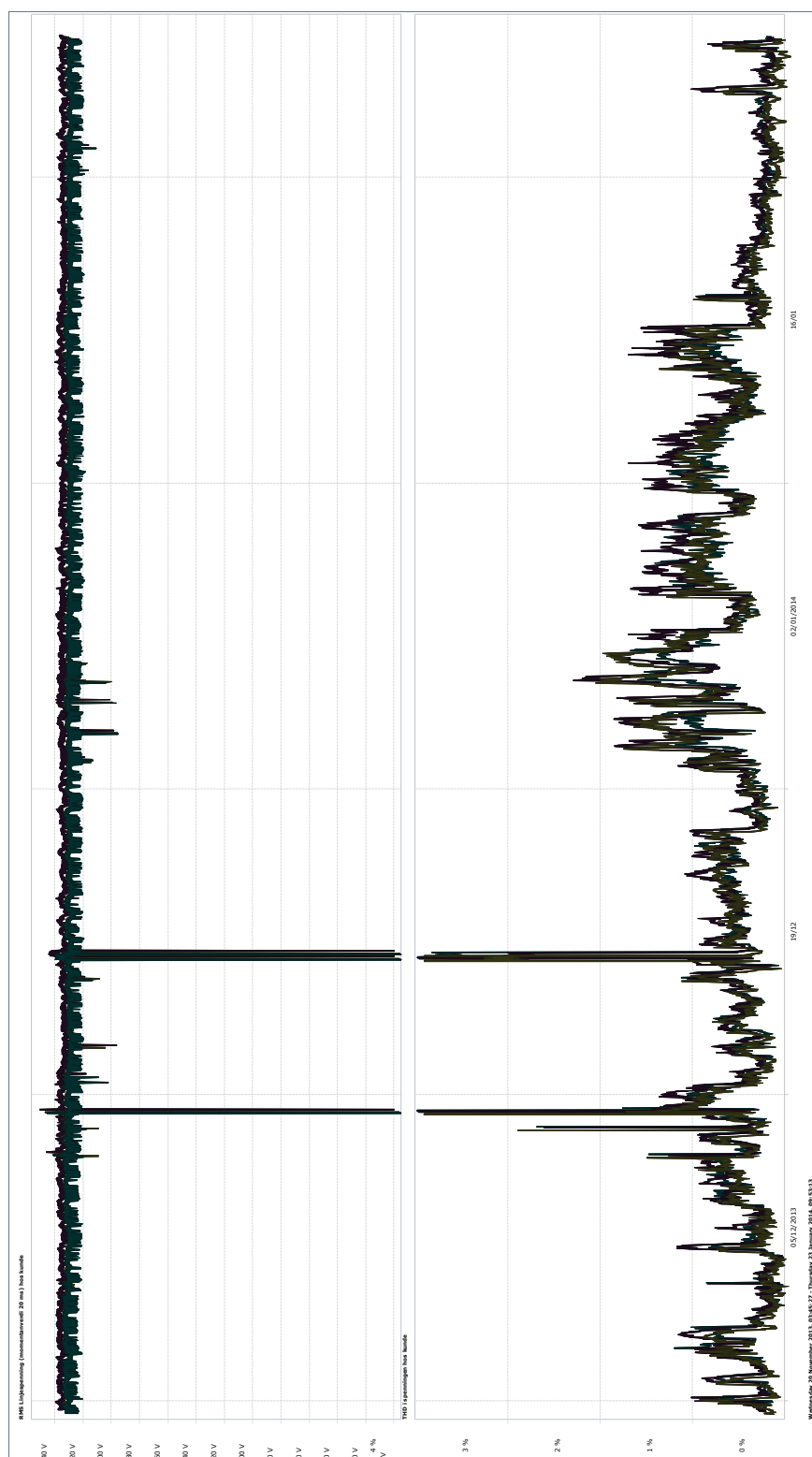
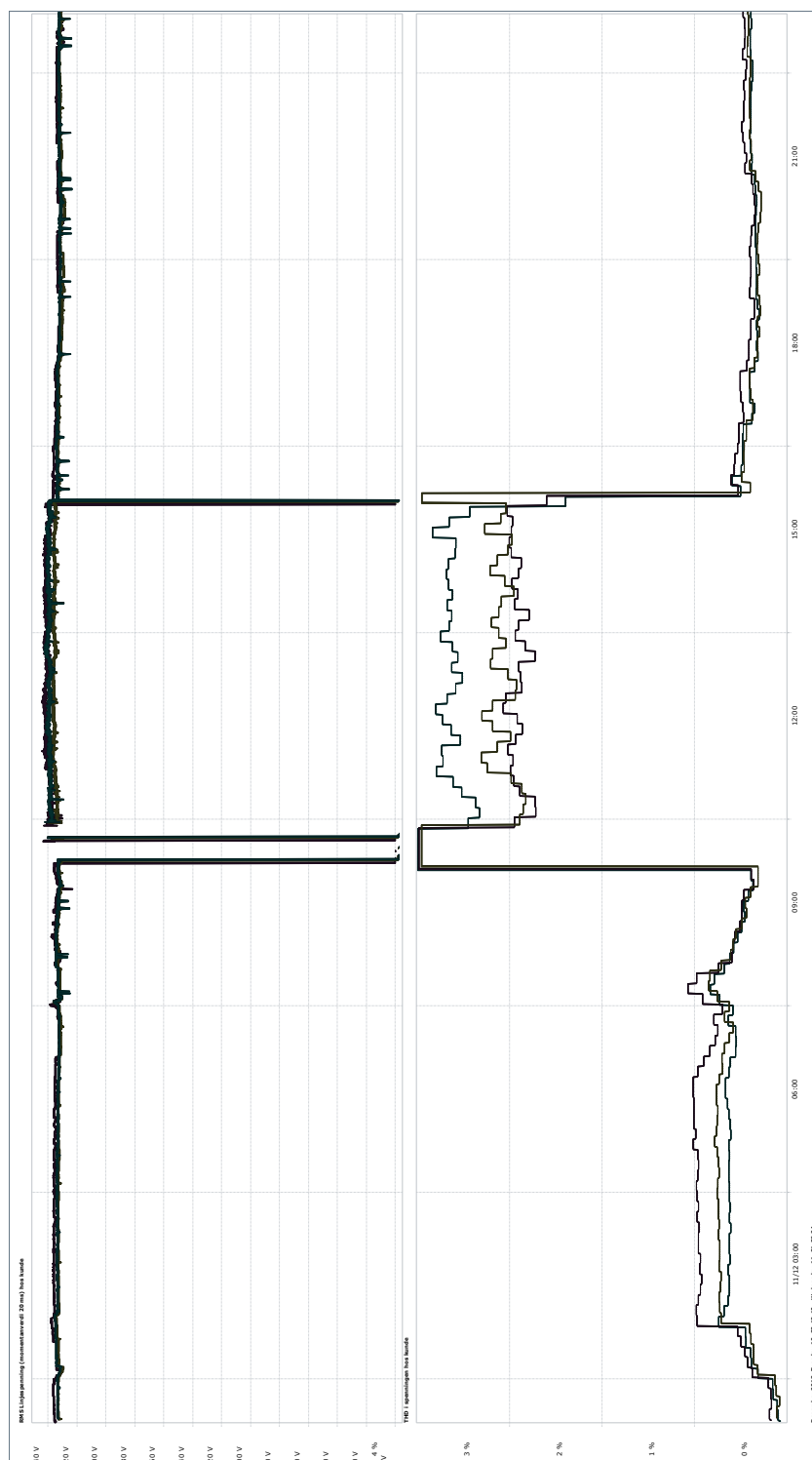


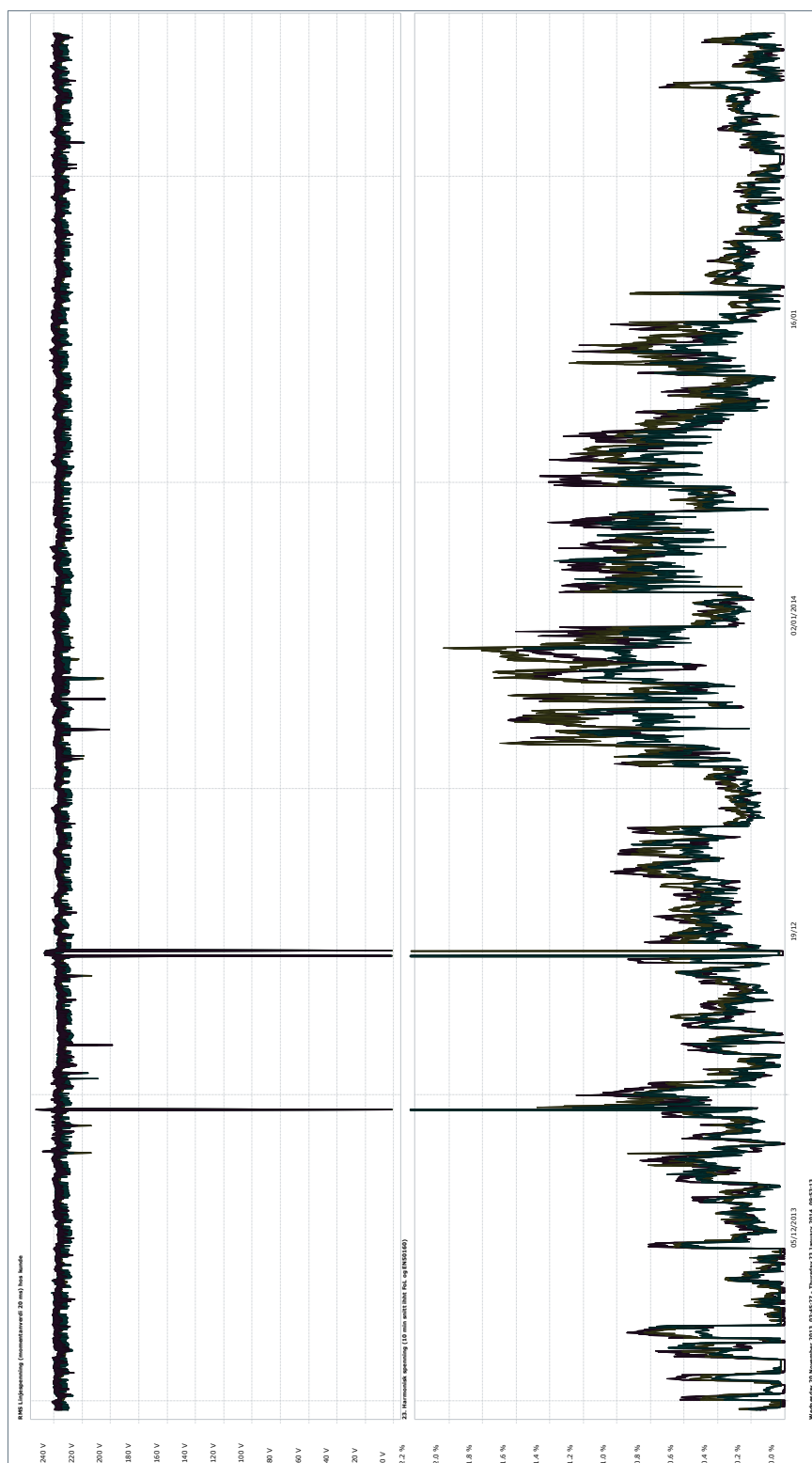
Figure 7 Momentanverdien av trefase linjespenning (20 ms), momentanverdien av kundens strøm (20 ms) og variasjonen i flimmerverdiene (Pst og Plt) under hele måleperioden hos kunden.



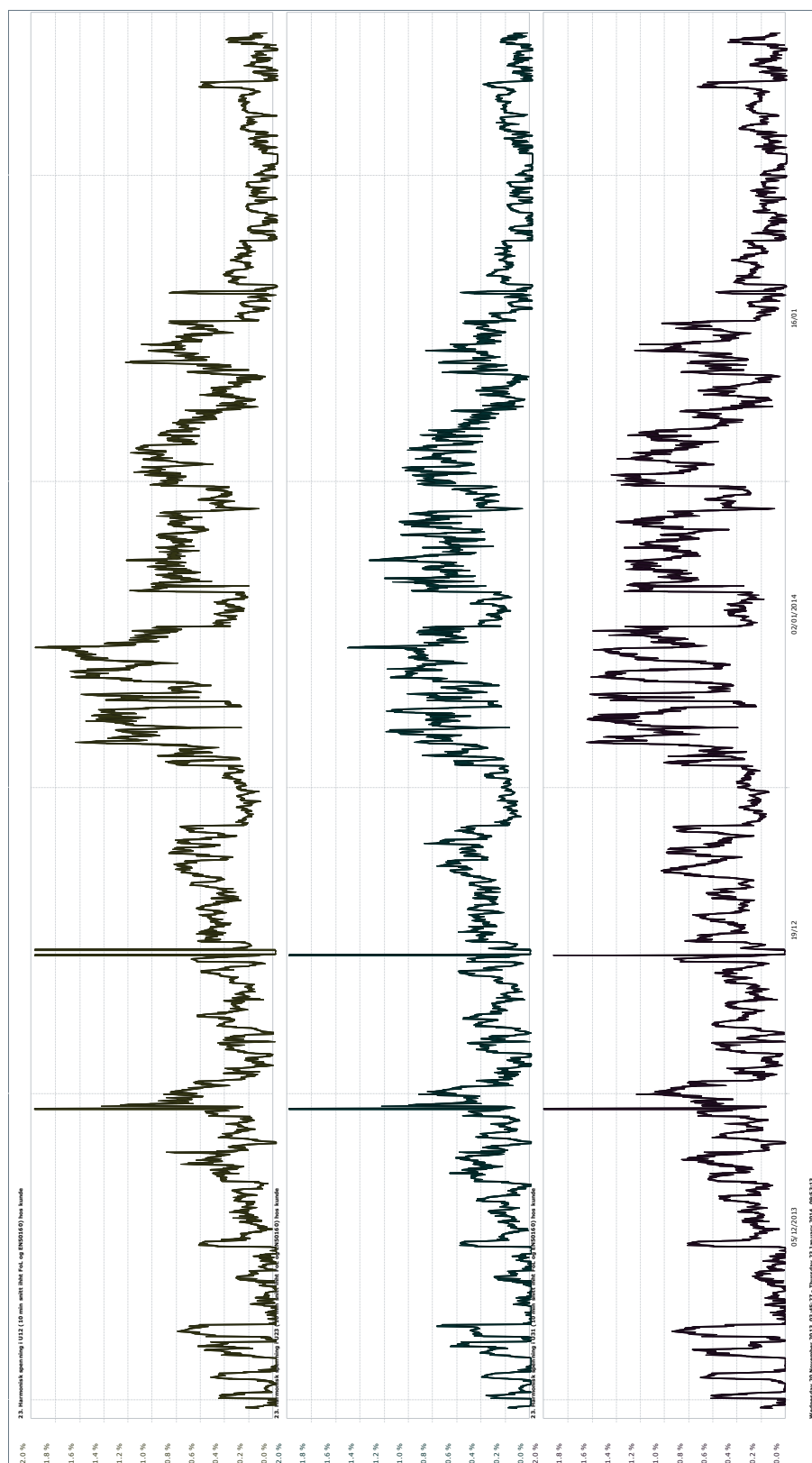
Figur 8 Momentanverdien av trefase linjespenning (20 ms) og variasjonen i total harmonisk forvrengning i spenningen (THD). Legg merke til at verdiene bevisst er klippet ved 3 tilfeller, men alle disse er verdier som ikke er reelle fordi de er målt under avbrudd når den grunnharmoniske spenningen (50 Hz) er null.



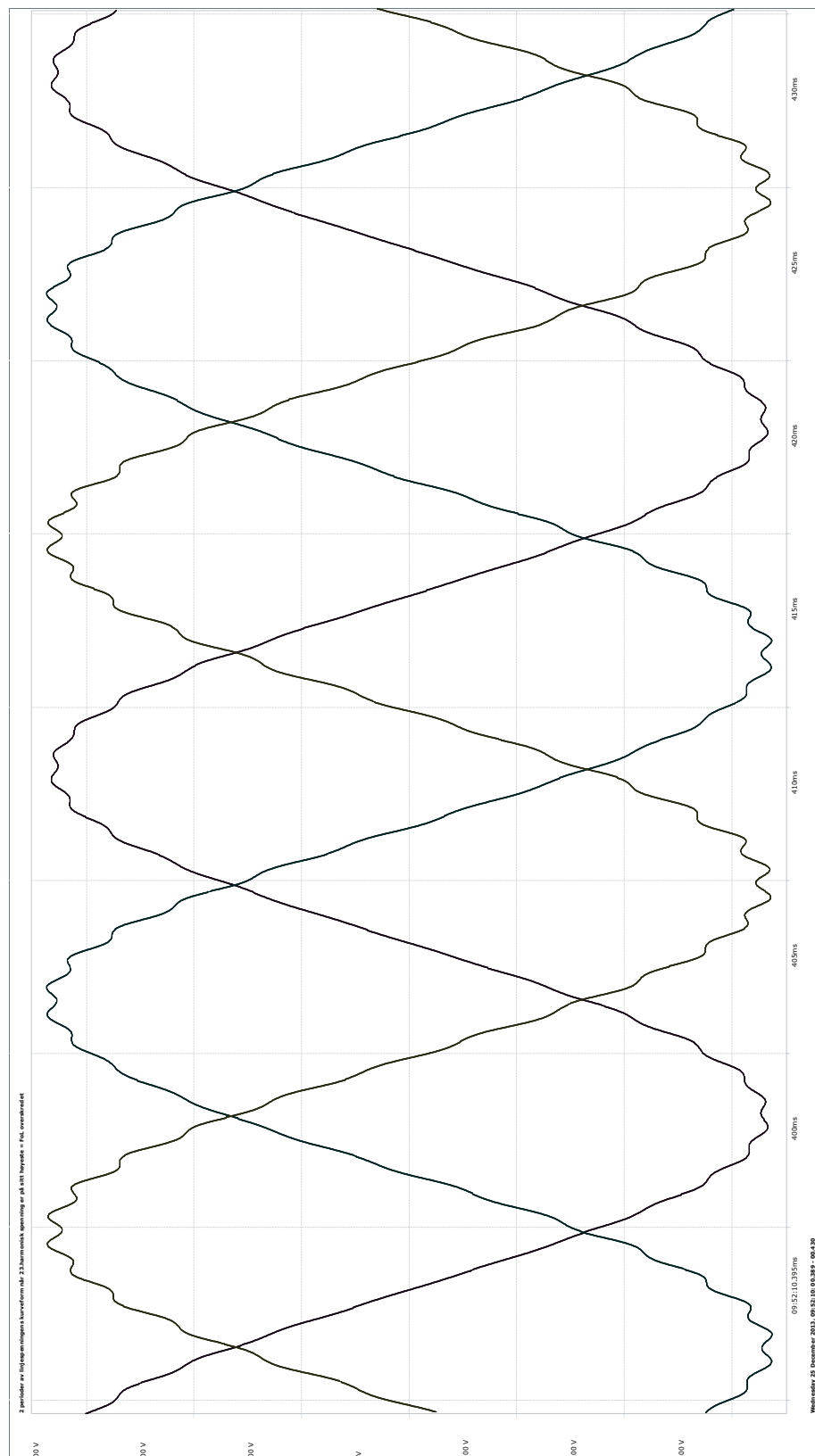
Figur 9 Momentanverdien av trefase linjespenning (20 ms) og variasjonen i total harmonisk forvrengning i spenningen (THD) i det tidsrommet der THD er størst under målingene hos kunden. Det er i dette tilfellet i hovedsak en økning i 5.harmonisk spenning som forårsaker økningen i THD. Legg merke til at verdiene bevisst er klippet ved 2 tilfeller, men dette er verdier som ikke er reelle fordi de er målt under avbrudd når den grunnharmoniske spenningen (50 Hz) er null.



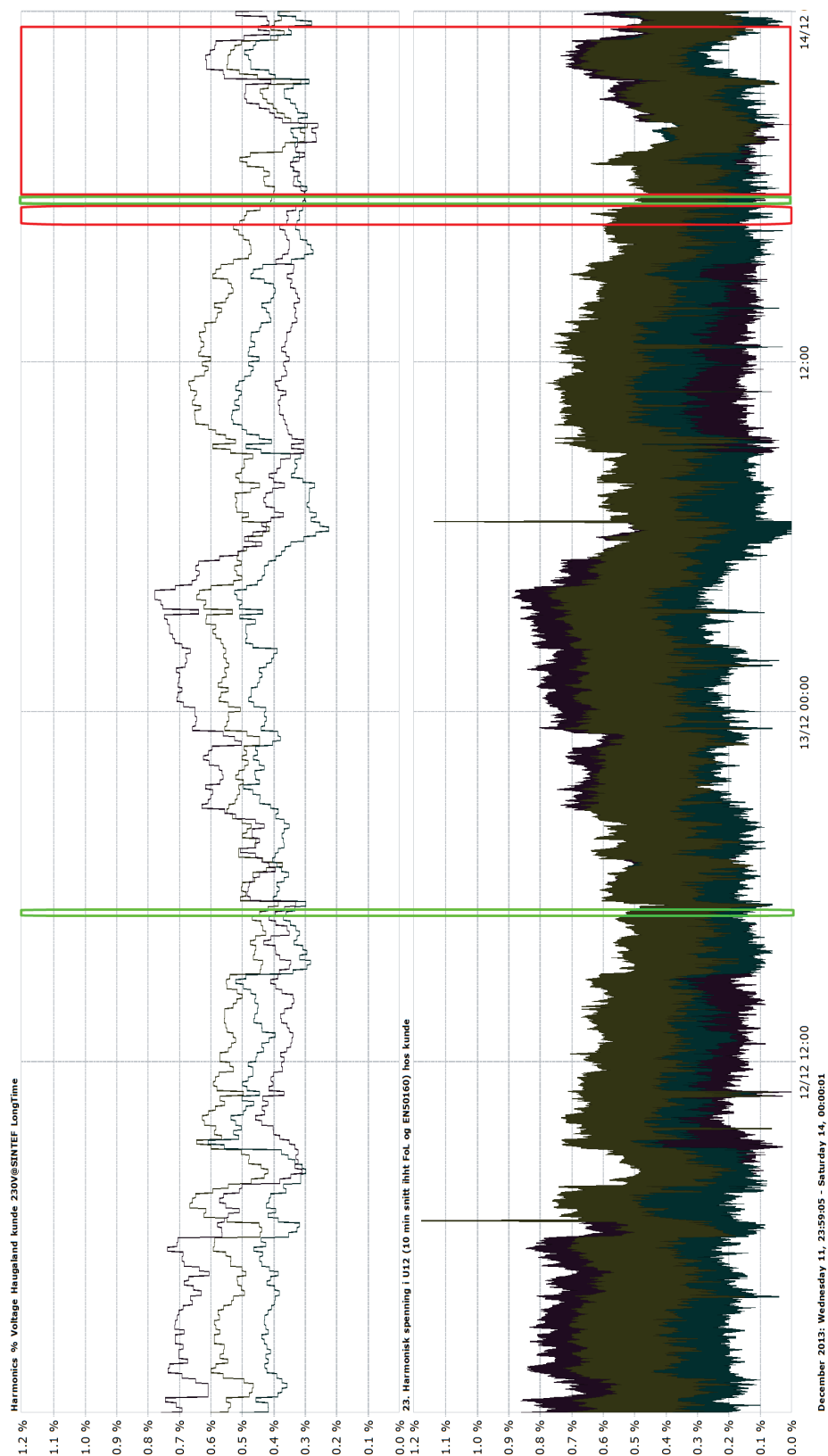
Figur 10 Momentanverdien av trefase linjespenning (20 ms) og variasjonen i 23.harmonisk spenning i hele måleperioden. Legg merke til at verdiene bevisst er klippet ved 3 tilfeller, men alle disse er verdier som ikke er reelle fordi de er målt under avbrudd når den grunnharmoniske spenningen (50 Hz) er null.



Figur 11 23.harmonisk spenning i alle tre faser hos kunde. Legg merke til at verdiene bevisst er klippet ved 3 tilfeller, men alle disse er verdier som ikke er reelle fordi de er målt under avbrudd når den grunnharmoniske spenningen (50 Hz) er null.

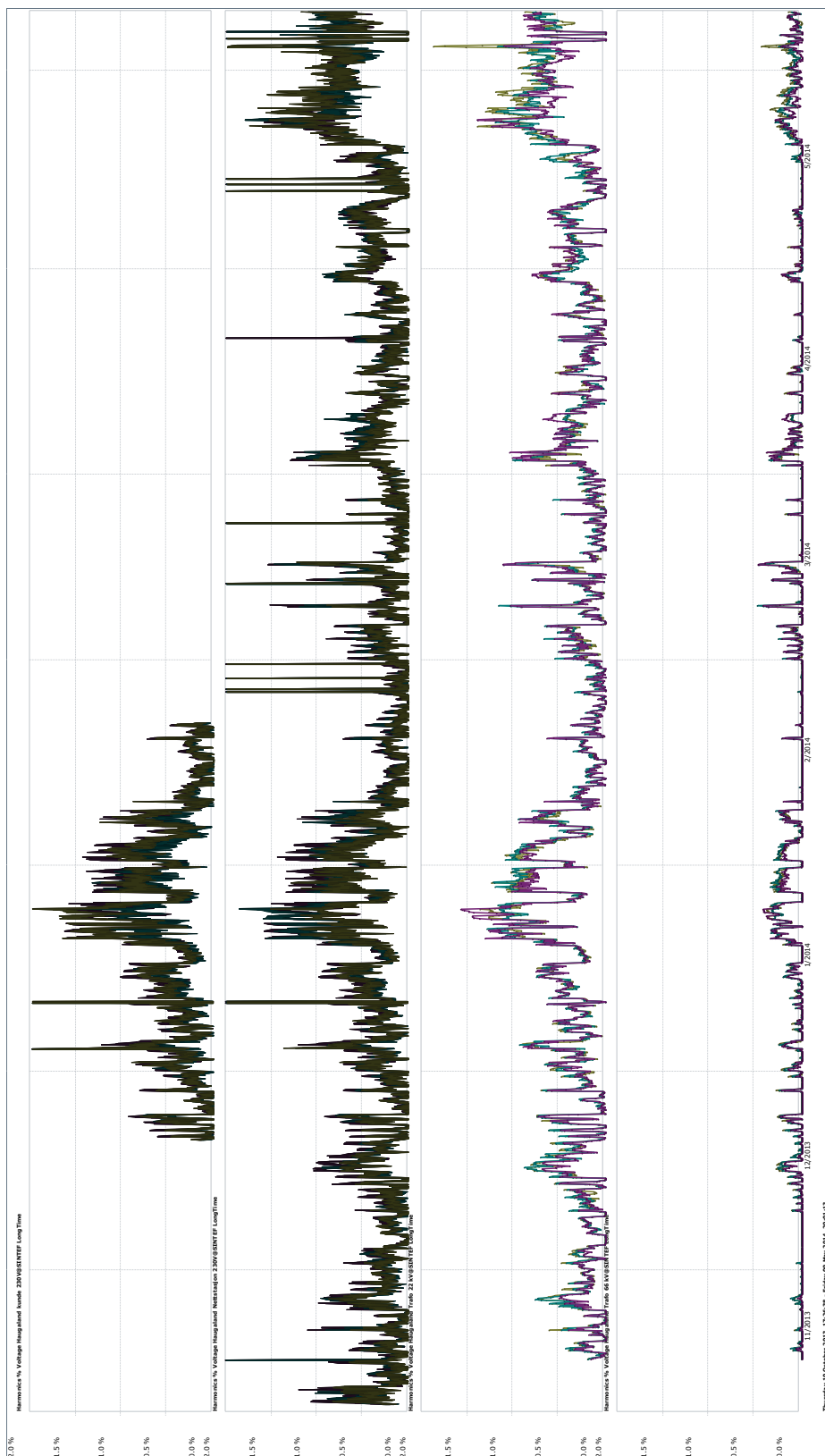


Figur 12 2 perioder av trefase linjespenning hos kunden når den 23.harmoniske spenningskomponenten er på sitt høyeste.

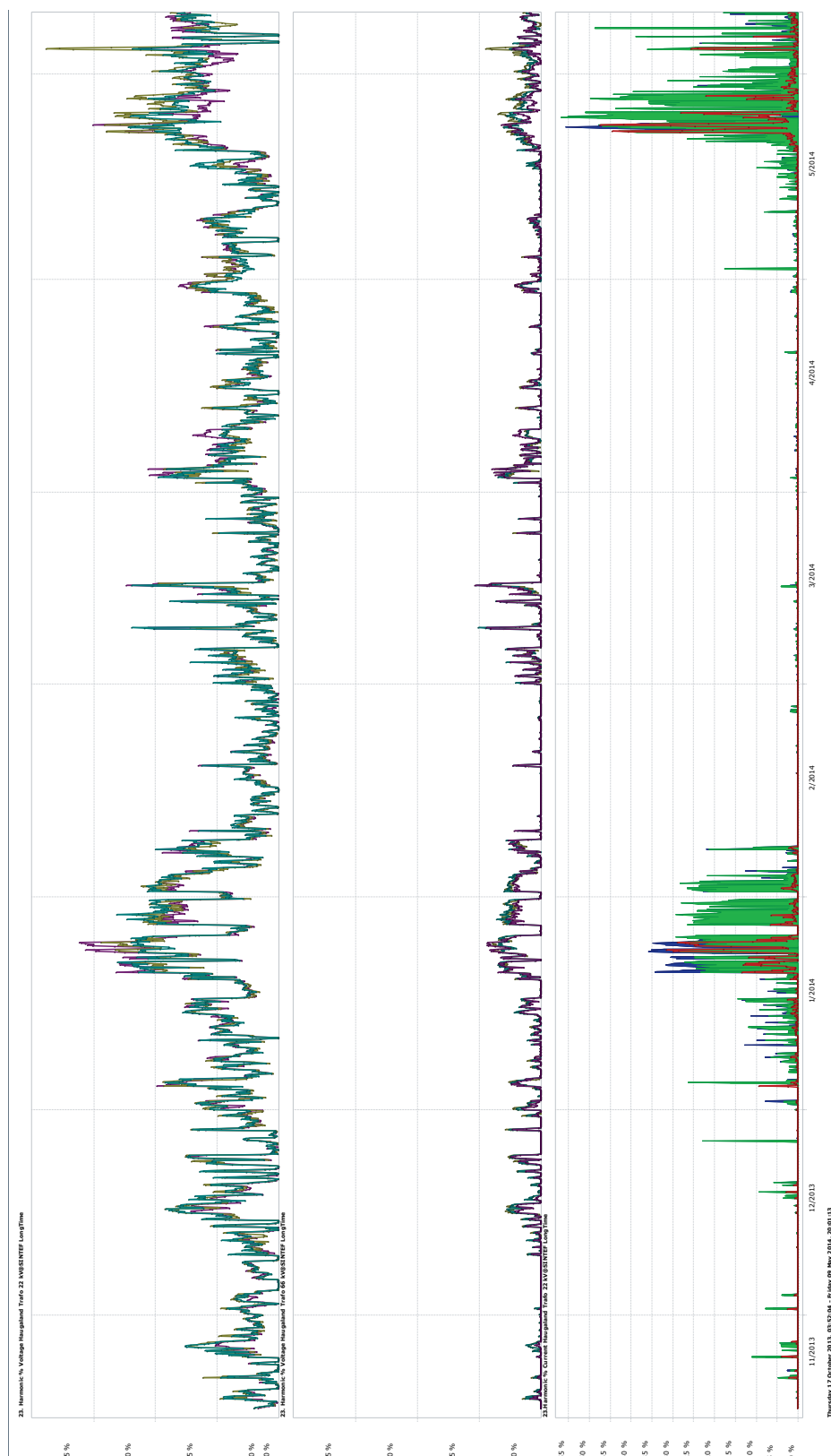


Figur 13 Nivået av 23.harmoniske spenning tidsrom der kunden har rapportert gode og dårlige forhold (gode= grønt, dårlige=rødt).

A.2 Viktige kurveeksempel fra målingene i de andre målepunktene enn hos kunden



Figur 14 Variasjonen i 23. harmonisk spenning vist for alle de 4 målepunktene.



Figur 15 23. harmonisk spenning på begge sider av transformatoren samt 23.harmonisk strøm på 22 kV siden av transformatoren.



Teknologi for et bedre samfunn

www.sintef.no