

■ [www.energy.sintef.no](http://www.energy.sintef.no) ■

**SINTEF Energiforskning AS**

Postadresse: 7465 Trondheim  
Resepsjon: Sem Sælands vei 11  
Telefon: 73 59 72 00  
Telefaks: 73 59 72 50

www.energy.sintef.no

Foretaksregisteret:  
NO 939 350 675 MVA

# TEKNISK RAPPORT

SAK/OPPGAVE (tittel)

**Spenningskvalitet og kortvarige avbrudd i Norge  
Rikets tilstand 1993 - 2003**

SAKSBEARBEIDER(E)

Helge Seljeseth

OPPDRAAGSGIVER(E)

EBL Kompetanse

TR NR. <b>TR A5883</b>	DATO 2004-03-09	OPPDRAAGSGIVER(E)S REF. Annie Heieren	PROSJEKTNR. 12X222.01
ELEKTRONISK ARKIVKODE		PROSJEKTANSVARLIG (NAVN, SIGN.) Anngjerd Pleym	GRADERING ÅPEN
ISBN NR. 82-594-2562-9	RAPPORTTYPE	FORSKNINGSSJEF (NAVN, SIGN.) Petter Støa	OPPLAG 15
AVDELING Energisystemer		BESØKSADRESSE Sem Sælands vei 11	SIDER 76
			LOKAL TELEFAKS 73 59 72 50

**RESULTAT (sammendrag)**

Spenningskvaliteten i Norge ligger som gjennomsnitt langt innenfor grenseverdier som er omtalt i internasjonale normer (CENELEC EN50160 og IEC 61000-2-serien). Variasjonen i den målte spenningskvalitet er imidlertid stor mellom de ulike målepunkt. Problemer med spenningskvalitet forekommer blant norske nettkunder og de fleste problemene forekommer i spredt bebygde strøk der kraftnettet har stor utstrekning i forhold til antallet kunder og der det gjerne er luftnett i motsetning til i bystrøk der det i hovedsak er benyttet kabelnett. 10 år med målinger bekrefter at spenningskvaliteten i Norge i gjennomsnitt er på linje med og til dels bedre enn andre land i Europa. Dette varierer noe mellom de ulike typer forstyrrelser i spenningen. Nivået av overharmoniske spenninger i det norske kraftnettet er som eksempel lavt i europeisk målestokk, mens vi har like mange og til dels flere kortvarige avbrudd og spenningsdipp. Som referanse for spenningskvalitetsnivået i Europa benyttes både offisielle/publiserte og uoffisielle/midlertidige rapporter/statistikker fra EPRI, CIGRE, UNIPED (International Union of Producers and Distributors of Electrical Energy), EDF (Electricite De France), ENEL (Ente Nazionale per l'Energia Elettrica) samt Electrica De Espana og Sevillana De Electricidad.

## STIKKORD

EGENVALGTE	Spenningskvalitet	Målinger
	Kraftnett	Forstyrrelser

## INNHOLDSFORTEGNELSE

	Side
1 BAKGRUNN FOR ARBEIDET .....	3
2 SPENNINGSKVALITET OG LEVERINGSKVALITET: BEGREPER, DEFINISJONER OG ENKEL INNFØRING .....	5
2.1 EMC (ELECTRO MAGNETIC COMPATIBILITY) .....	5
2.2 LEVERINGSKVALITET .....	5
2.3 LEVERINGSPÅLITELIGHET .....	5
2.4 SPENNINGSKVALITET .....	6
2.4.1 Frekvens (grunnharmonisk frekvens) .....	7
2.4.2 Langsomme spenningsvariasjoner .....	9
2.4.3 Usymmetri .....	11
2.4.4 Hurtige spenningsvariasjoner – flimmer .....	13
2.4.5 Spenningsprang .....	14
2.4.6 Kortvarige underspenninger - Spenningsdipp .....	14
2.4.7 Kortvarige overspenninger (eng ”swell”) .....	16
2.4.8 Forbigående kraftfrekvente overspenninger mellom faseledere og jord .....	17
2.4.9 Transiente overspenninger .....	17
2.4.10 Overharmoniske spenninger .....	18
2.4.11 Interharmoniske spenninger .....	20
3 DATAGRUNNLAG OG MÅLINGER .....	22
4 ANALYSER AV MÅLEDATA .....	24
4.1 PROGRAMVARE FOR ANALYSER AV MÅLEDATA .....	24
4.2 VALGTE ANALYSER .....	24
4.3 ANALYSETIDSROM .....	24
5 SPENNINGSKVALITETEN I NORSKE KRAFTNETT .....	25
5.1 SPENNINGENS FREKVENNS .....	25
5.2 SPENNINGENS EFFEKTIVVERDI .....	26
5.2.1 Langsomme variasjoner i spennings effektivverdi .....	26
5.2.1.1 Spenningsnivå 0,23 kV til 0,69 kV .....	26
5.2.2 Ubalanse, usymmetriske spenninger .....	37
5.2.2.1 Spenningsnivå 0,23 kV til 0,69 kV .....	37
5.2.3 Kortvarige underspenninger (dipp/sag) .....	37
5.2.3.1 0,23 kV til 690 kV .....	37
5.2.3.2 1 kV til 35 kV .....	40
5.2.3.3 35 kV til 245 kV .....	43
5.2.3.4 245 kV og over .....	44
5.2.4 Kortvarige overspenninger (swell) .....	45
5.2.5 Spenningsfluktuasjoner (flimmer) .....	46
5.3 SPENNINGENS KURVEFORM .....	47
5.3.1 Overharmoniske spenninger .....	47
5.3.1.1 Spenningsnivå 0,23 kV til 0,69 kV .....	48
5.3.1.2 Spenningsnivå 1 kV til 35 kV .....	51
5.3.1.3 Spenningsnivå 35 kV til 245 kV .....	54
5.3.1.4 Spenningsnivå over 245 kV .....	56
5.3.2 Interharmoniske spenninger .....	58
5.3.3 Koblingstransienter med moderate frekvenser (< 5 kHz) .....	58
5.3.4 Høyfrekvente transienter (impuls) .....	60
6 KORTVARIGE AVBRUDD .....	67
7 GEOGRAFISKE FORSKJELLER .....	69
8 FORSTYRRELSER UNDER UVÆR .....	70
9 SPENNINGSKVALITET VED KUNDEKLAGER .....	71
9.1 NETTSELSKAPENES HÅNDTERING AV KUNDEKLAGER .....	71
9.2 FEIL MED SPENNINGEN VED KUNDEKLAGER? .....	72
10 OPPSUMMERING OG KONKLUSJONER .....	75
11 REFERANSER .....	76

## **Spenningskvalitet og kortvarige avbrudd i Norge Rikets tilstand 1993 - 2003**

### **1 BAKGRUNN FOR ARBEIDET**

De årlige kostnadene til kunder i det norske kraftnettet på grunn av avbrudd og spenningsproblemer i kraftnettet er anslagsvis over 2 milliarder kroner. En stor kostnadsundersøkelse i regi av NVE, EBL Kompetanse mfl utført av SNF og SINTEF Energiforskning viser at bare langvarige og kortvarige avbrudd samt spenningsdipp medfører kostnader for kundene på mellom 1,6 og 1,7 milliarder kroner i året [1]. Disse kostnadene må imidlertid samfunnsøkonomisk balanseres opp mot hvilke kostnader det ville medføre å redusere forstyrrelsene i kraftnettet. Å finne et presist svar på eksakt hvilken kvalitet som er samfunnsøkonomisk riktig for et land som Norge er en formidabel oppgave som ingen har løst enda (ikke for andre land heller). Det vi imidlertid vet er at de fleste kunder i Norge i dag har en veldig god leveringskvalitet, mens noen burde hatt bedre kvalitet.

I kostnadstallene nevnt over er ikke kostnadene til nettselskap og kraftselskap medregnet og heller ikke kostnadene forbundet med andre typer forstyrrelser som transienter og overharmoniske spenninger etc. Selv om kostnadene er størst ved avbrudd og spenningsdipp medfører også transienter og andre forstyrrelser betydelige kostnader. Ved tordenvær er det for eksempel mange kunder som får ødelagt elektrisk utstyr på grunn av transiente overspenninger og det samme gjelder nettselskap som enkelte ganger må skifte ut titalls transformatorer etter kun et enkelt, men kraftig tordenvær.

Helt siden gjeldende energilov kom i 1991 har kundene hatt krav på å få dokumentert leveringskvaliteten herunder spenningskvaliteten. Det har ikke vært så mange kunder som har krevd slik dokumentasjon og de fleste kunder er vel ikke klar over denne muligheten. Mange nettselskap har heller ikke vært spesielt flinke i å fremskaffe slik dokumentasjon, spesielt ikke mht spenningskvalitet og til kortvarige avbrudd (samt langvarige avbrudd i lavspenningsnettet). Langvarige avbrudd i høyspenningsnettet er imidlertid ivaretatt gjennom obligatorisk rapportering til NVE.

For å få en oversikt over spenningskvaliteten i Norge og hvilke problemer som eventuelt var alvorlige eller mindre alvorlige ble det i 1992 besluttet å starte et prosjekt med omfattende målinger, kartlegging og overvåkning av spenningskvaliteten i det norske kraftnettet. Kartlegging av spenningskvaliteten i et lands kraftnett er tidkrevende og langsiktig arbeid. Enkelte forhold ved spenningen (spenningsforstyrrelser) varierer svært mye gjennom året og ikke minst fra år til år. Selv etter å ha foretatt målinger og overvåkning av spenningskvaliteten i 10 år kan en eksempelvis et år plutselig få et svært høyt nivå av forstyrrelser i spenningen langt over det en tidligere har målt. Tilsvarende kan det i enkelte år være et lavt nivå på forstyrrelsene.

Selv om enkelte typer forstyrrelser i spenningen varierer mye over tid er det andre typer forstyrrelser som varierer mye mindre. Forstyrrelsene som varierer minst er det gjerne kundene/sluttbrukerne som forårsaker i motsetning til de mer varierende forstyrrelsene som gjerne

oppstår pga kraftige uvær og/eller svake punkter i nettselskapenes nett. Både naturen, nettselskapene og ikke minst alle kunder påvirker altså spenningskvaliteten i kraftnettet.

- Naturen (vind, lynnedslag, fugler mm) forårsaker varierende påkjenninger for kraftnettet
- Nettselskapene er i varierende grad flinke til å bygge og vedlikeholde nett som tåler påkjenningene fra både naturen og kundene
- Kundene har i svært varierende grad elektrisk utstyr og apparater som lager forstyrrelser tilbake på nettselskapenes nett

## **2 SPENNINGSKVALITET OG LEVERINGSKVALITET: BEGREPER, DEFINISJONER OG ENKEL INNFORING.**

Begrepet spenningskvalitet (engelsk = voltage quality) og leveringskvalitet (engelsk = power quality) er en del av det mer omfattende begrepet EMC.

### **2.1 EMC (ELECTRO MAGNETIC COMPATIBILITY)**

Begrepet EMC (Electro Magnetic Compatibility) kalles på norsk elektromagnetisk sameksistens. I en tilstand av EMC har man elektromagnetisk sameksistens, dvs at alt elektrisk utstyr har et immunitets- og emisjonsnivå som medfører at utstyret ikke forstyrrer hverandre og ikke forstyrrer seg selv.

Når en ikke har EMC har en EMI (Electro Magnetic Interference) som på norsk kalles elektromagnetisk interferens.

Begrepet EMC dekker et meget vidt frekvensspekter, fra lave frekvenser og \*DC-komponenter opp til meget høye frekvenser (GHz)

*\*DC står for Direct Current eller på norsk likestrøm/likespenning.*

### **2.2 LEVERINGSKVALITET**

Når en innen elektrisitetsforsyning snakker om leveringskvalitet mener en ofte den tekniske kvalitet på produktet elektrisitet som en kunde mottar. Det gjøres også i denne rapporten. Leveringskvalitet er et begrep som dekker store deler av EMC-begrepet, men ikke alt. Radiostøy samt elektriske og elektromagnetiske felter tas normalt ikke med under leveringskvalitet.

Leveringskvalitet deles vanligvis opp i to hovedområder:

Pålitelighet (tilgjengeligheten av elektrisk kraft)

Spenningskvalitet (anvendeligheten av elektrisk kraft)

### **2.3 LEVERINGSPÅLITELIGHET**

Leveringspåliteligheten i et punkt beskriver risikoen for å oppleve avbrudd i forsyningen. I Europa og i Norge er det vanlig å dele inn avbrudd i:

Kortvarige avbrudd har en varighet som er mindre eller lik 3 minutter

Langvarige avbrudd har en varighet som er lengre enn 3 minutter

## 2.4 SPENNINGSKVALITET

Spenningskvaliteten er en beskrivelse av leveringskvaliteten når det ikke er avbrudd. Spenningskvaliteten kan ødelegges på svært mange forskjellige måter og det er mange forskjellige forhold ved spenningen som kan bli dårlig. Det er altså mange fenomen, eller typer av forstyrrelser, som kan oppstå. Som eksempel kan vi trekke frem alle de enkelte fenomen og forstyrrelser innen leveringskvalitet som anvendes i CENELEC EN 50160 [2], produktstandarden for produktet elektrisitet:

### **Kvalitetsparametere ved spenningen omtalt i EN50160:**

- Frekvens
- Langsomme effektivverdivariasjoner
- Hurtige effektivverdivariasjoner - flimmer
- Spenningsdipp
- Kortvarige avbrudd
- Langvarige avbrudd
- Kortvarige overspenninger fase-jord
- Transiente overspenninger
- Spennings usymmetri
- Overharmoniske spenninger
- Interharmoniske spenninger
- Støy pga signaltransmisjon på kraftnettet

I listen over gjengis altså de ulike fenomen og forstyrrelser nevnt i EN50160 som kan redusere leveringskvaliteten. Av disse er det 2 som hører til begrepet leveringspålidelighet og 10 som hører til begrepet spenningskvalitet.

For spesialister med kompetanse og erfaring innen leveringskvalitet/spenningskvalitet kan en inndeling som i EN50160 være fornuftig. For folk flest blant både næringslivskunder, husholdningskunder og selv blant en hel del personell i nettselskapene er dette i mange sammenhenger en unødvendig detaljert og komplisert oppdeling av begrepet spenningskvalitet. En enklere inndeling av begrepet spenningskvalitet kan gjøres i kun tre underbegrep, nemlig spennings:

1. Frekvens
2. Effektivverdi
3. Kurveform

Alle de omtalte fenomen og forstyrrelser nevnt i eksempelvis EN50150 kan innplasseres under disse tre begrepene. Et eksempel på en slik innplassering er vist i listen øverst på neste side.

1. Spenningens frekvens
2. Spenningens effektivverdi
  - 2.1. langsomme spenningsvariasjoner
  - 2.2. hurtige spenningsvariasjoner
    - 2.2.1. kortvarige under- og overspenninger (dip/swell)
    - 2.2.2. spenningsfluktuasjoner (flimmer/flicker)
  - 2.3. usymmetri
3. Spenningens kurveform
  - 3.1. overharmoniske spenninger
  - 3.2. interharmoniske spenninger
  - 3.3. kortvarige forvrengninger/svingninger ved koblinger
  - 3.4. transiente overspenninger
  - 3.5. lav amplitude oscillasjoner

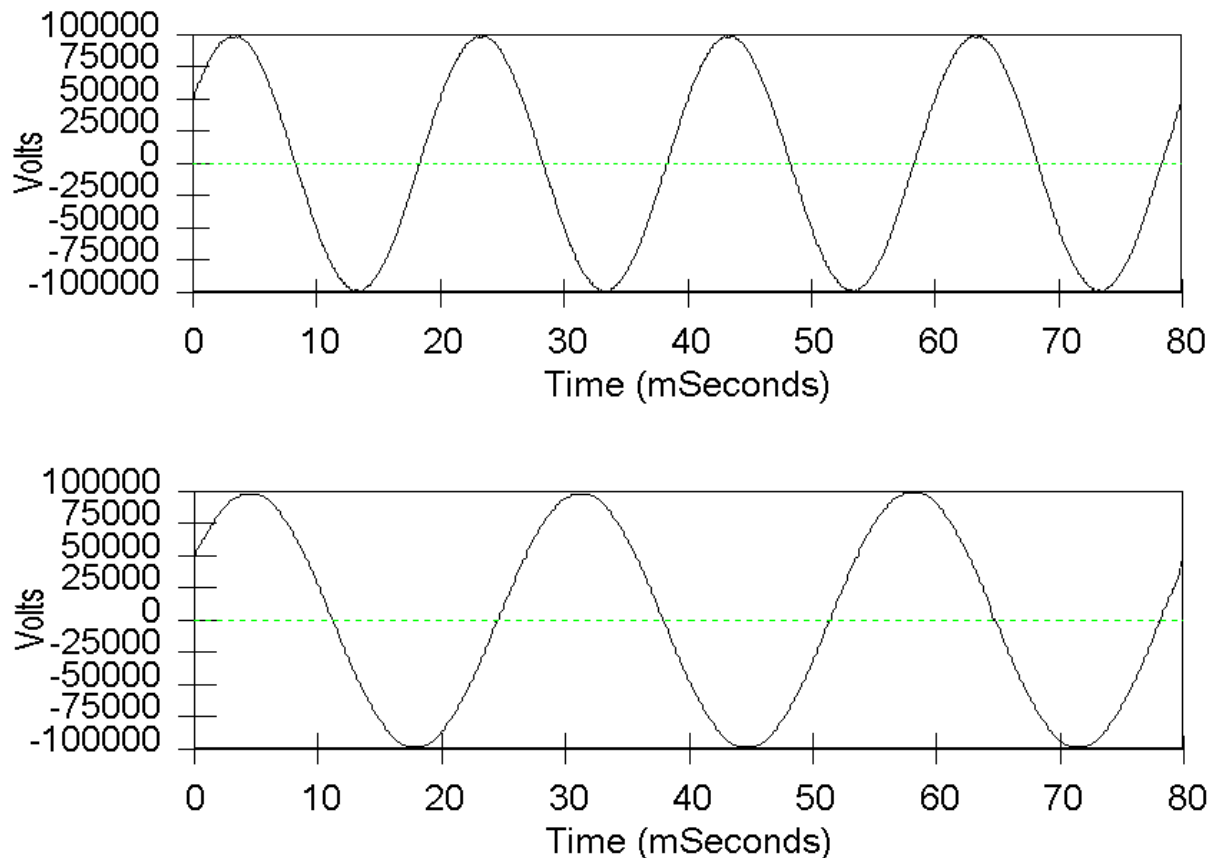
En mer detaljert beskrivelse av de ulike fenomen følger i de etterfølgende kapitlene.

#### **2.4.1 Frekvens (grunnharmonisk frekvens)**

Spenningens grunnharmoniske frekvens, kort beskrevet som frekvensen, er den leveringskvalitetsparameter der en i Norge sjeldnest erfarer store avvik da en har et stort stabilt samkjørt nett. De gangene problemer har oppstått har det i hovedsak vært i noen mindre isolerte nett (øydriфт – en mindre del av nettet med både produksjon og forbruk som blir isolert pga av for eksempel feil i nettet) samt der en kjører på nødaggregat og aggregat generelt.

Å vise en figur/kurve som gir et godt inntrykk av frekvensavvik er vanskelig da frekvensavvik av en slik størrelsesorden at det faktisk ville skape store problemer for elektrisk utstyr ikke vil være lett synlige i en kurve som viser spenningens kurveform. Derfor har vi valgt å vise spenningsformen for en frekvens som er svært mye lavere enn normal frekvens i kraftnettet. I figur 1 på neste side vises i den øverste kurven spenningens kurveform ved 50 Hz, mens den underste kurven viser spenningens kurveform ved 37,5 Hz.





Figur 1. Denne figuren viser 80 millisekunder av spennings kurveform ved hhv 50 Hz (øverste kurve) og 37,5 Hz (nederste kurve). Spennings effektivverdi er den samme mens frekvensen i den nederste kurven er kun  $\frac{3}{4}$  av frekvensen i den øverste kurven.

Frekvensavvik kan inntreffe som følge av ubalanse mellom produksjon og forbruk og slik ubalanse kan blant annet inntreffe pga feil og utkoblinger av kraftstasjoner og viktige områder i nettet.

Relativt små frekvensavvik kan eksempelvis gi problemer med klokker (de som er styrt av nettfrekvensen – eks. klokker i komfyrer, microbølgeovner, klokkeradioer/vekkerklokker etc) som får store avvik dersom frekvensavviket vedvarer. Store frekvensavvik kan gi mer alvorligere problemer for motorer og motordrifter samt ulike styresystem etc.

Balansen mellom produksjon og forbruk er den sentrale faktor i nettet for å unngå frekvensavvik. Tiltak hos den enkelte kunde er kostbare da det involverer dyre tiltak med frekvensomformer å beskytte utstyr som er ømfintlige for frekvensvariasjoner. Dette er sjelden aktuelt da frekvensen i Norge må kunne regnes som stabil. Dessuten er mange elektriske apparater ikke følsomme for frekvensavvik vesentlig større enn de som vanligvis forekommer i Norge der frekvensen svært sjelden avviker mer enn 1 % (+/- 0,5 Hz) selv kortvarig.

Selv under relativt store hendelser i den nordiske samkjørte nettet erfarer vi at frekvensavvikene sjelden blir problematisk store. Ved det store produksjonsutfallet i Sør-Sverige 23.september 2003

falt ikke frekvensen til lavere enn 49,26 Hz. Frekvensen var heller ikke høyere enn 50,45 Hz i forbindelsen med omkoblinger og lastutkobling som skjedde i samme tidsrom.

Da frekvensen er et forhold ved spenningen i kraftnettet som er felles for hele Norge og de naboland vi er sammenkoblet med, vil ansvaret for nettfrekvensen i Norge være en naturlig del av systemansvaret for sentralnettoperatoren.

Grenseverdiene for frekvensavvik satt i EN 50160 og som skal måles som 10 sekund gjennomsnittsverdier:

Store synkroniserte nett:

50 Hz +/- 1% (49,5 til 50,5 Hz)	i 99,5 % av året
50 Hz +4% /- 6% (47 til 52 Hz)	i 100 % av året

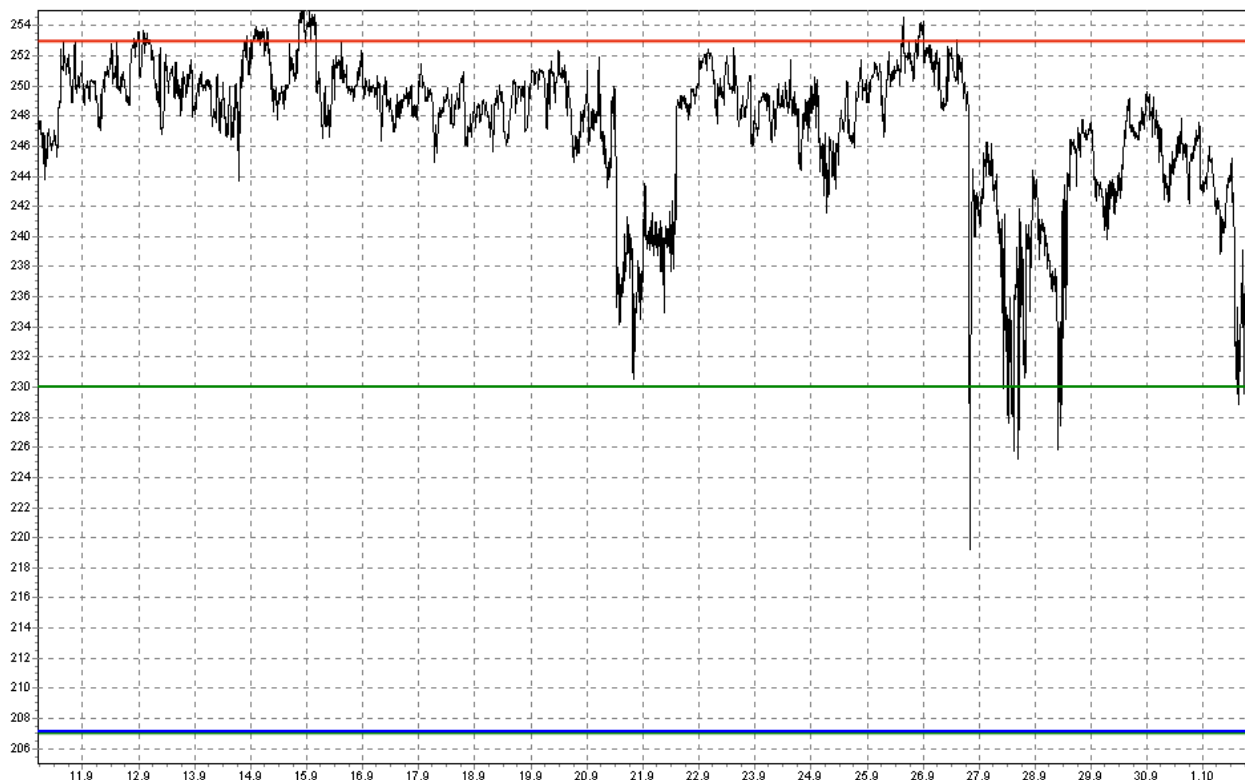
Mindre isolerte nett:

50 Hz +/- 2% (49 til 51 Hz)	i 95 % av året
50 Hz +/-15% (42,5 til 57,5 Hz)	i 100 % av året

Det kan være verdt å merke seg at EN 50160 krever at frekvensen skal måles som 10 sekund gjennomsnittsverdier og dermed har det korteste måleintervallet i motsetning til de fleste andre parametere som skal måles som 10 minutt gjennomsnittsverdier. For mange av de som arbeider med målinger av spenningskvalitet kan det virke som et paradoks at den parameter som sjeldent har store raske variasjoner skal midles/måles over så korte intervall, mens de parametere som oftere har store raske variasjoner skal midles/måles over lange intervall.

#### 2.4.2 Langsomme spenningsvariasjoner

Langsomme spenningsvariasjoner er økning eller reduksjon i spenningen som normalt skyldes variasjon i belastningene i et distribusjonsnett. I figur 2 på neste side vises spenningsvariasjonene på inntaket til en kunde i lavspenningsnettet. Som en kan se er det ikke spenningsens kurveform som vises, men variasjonen i spenningsens effektivverdi målt i henhold til EN50160. En kan se at spenningen er høy og har vært over +10 % som er øvre grenseverdi i nettselskapenes standardkontrakt [3]. Den grønne linjen indikerer idealspenningen 230 V mens den blå linjen er nedre grenseverdi på -10 % og den røde linjen er øvre grenseverdi på +10 %.



Figur 2. Spenningsvariasjonene på inntaket til en kunde i lavspenningsnettet

Spenningsvariasjoner av denne type forårsakes av lastvariasjoner, men spenningen blir som regel kun et problem dersom lastvariasjonene er meget store og/eller nettet er svakt dimensjonert.

Store avvik i spenningens effektivverdi fra nominell verdi kan medføre havari på enkelte typer elektrisk utstyr både ved for høy og for lav spenning. Det kan også medføre forkortet levetid på noe utstyr samt feilfunksjon og utkobling. Det forekommer også problemer med lavt lysutbytte og effekt eller farlig høy effekt. Slike (store) spenningsavvik kan skyldes svakt nett, feiltrinnet transformator med mer.

De vanligste tiltak en kan sette inn for å redusere slike problemer er:

1. forsterkning av nettet (utskifting av transformator/høyere ledertverrsnitt i kabel/linje)
2. trinning (ev. autotrinning) av transformator
3. kompensering
4. godt dimensjonert UPS hos kunde (avbruddsfri strømforsyning med stort reguleringsområde)

Det er relativt lite problemer i Norge med store langsomme spenningsvariasjoner. Det er likevel både kunder som har problemer med for lav spenning og kunder som har problemer med for høy spenning. Mens lav spenning var vanligst for mange år siden har for høy spenning blitt et økende problem de siste 10 år og kan nesten se ut til å gå forbi lav spenning som et problem. Problemer med slike spenningsvariasjoner er vanligst i spredt bebygde områder, gjerne med luftnett.

Grenseverdiene i gjeldende standardkontrakt (avtale) [3]:

$$U = U_N \pm 10\%$$

Det kan fremdeles stilles spørsmål hvorvidt nettselskapenes standardkontrakt klart nok definerer hvordan denne spenningen skal måles. De langsomme spenningsavvikene skal i henhold til EN 50160 måles som 10 minutt gjennomsnittsverdier av spenningens effektivverdi (rms).

Grenseverdiene i EN50160:

$U = U_N \pm 10\%$	i 95 % av uken
$U = U_N \pm 10 \text{ /- } 15\%$	i 100 % av uken

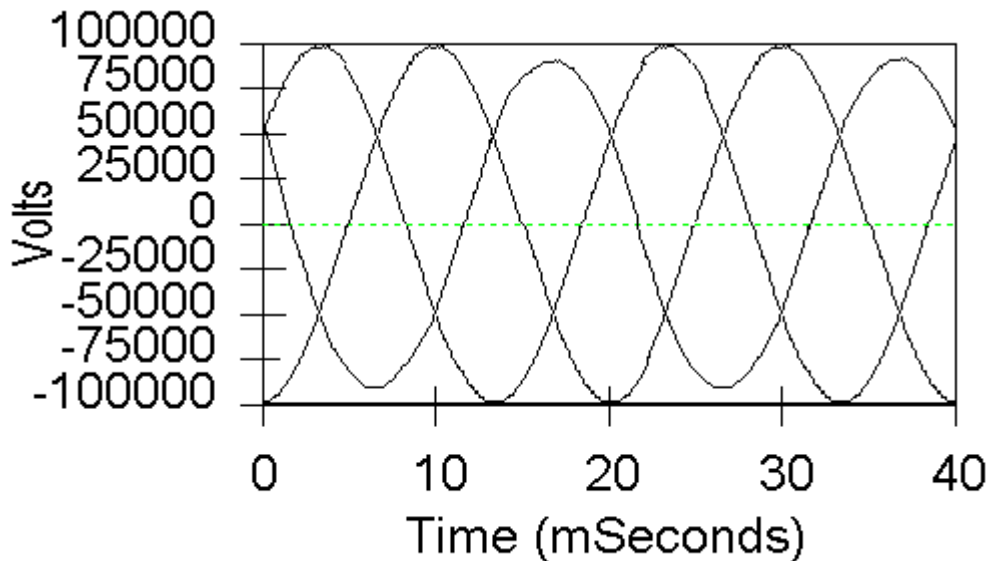
Av hensyn til å lettest kunne vurdere om spenningsvariasjonene kan være årsak til problemer eller havari på elektrisk utstyr burde måling av spenningsvariasjonene ideelt sett foregått over kortere tidsintervall enn 10 minutter som gjennomsnittsverdier. I flere av IEC's normer (eks. [4] og [5]) refereres det til 3 sekunds intervall for beregning av spenningskvalitetsparametere. Dette er internasjonalt godt innarbeidede tidsintervall som strengt tatt vil ligge i bunnen for videre beregning av 10 minutt verdier i EN50160 [2].

Når teknologien i måleinstrumenter er moden for det burde det være krav til at spenningsvariasjonene skal måles som 3 sekund gjennomsnitt, men at kortvarige store avvik som eksempelvis spenningsdipp og avbrudd ekskluderes fra beregningen av spenningen. Dette omhandles i den nye standarden IEC 61000-4-30 [4] der slike kortvarige forstyrrelser skal flagges (særbehandles) av måleinstrumentene.

Inntil videre synes 10 minutters intervaller for midling av den målte spenning å være et fornuftig kompromiss.

### **2.4.3    Usymmetri**

Når de tre spenningene i et trefasesystem ikke er like store eller innbyrdes 120 grader forskjøvet har man usymmetri. I figur 3 på neste side kan en se usymmetri ved at en av fasene har lavere spenning enn de to andre fasene.



Figur 3. Usymmetrisk spenning. En av de tre fasespenningen har lavere effektivverdi enn de to andre.

Usymmetri, eller ubalanse, oppstår på grunn av skjev (usymmetrisk) belastning mellom fasene. På lange kraftlinjer kan også usymmetri oppstå pga påvirkning (induksjon) mellom lederne. Dette prøver en gjerne å motvirke ved å bytte om på fasene/lederne (revolvere) med jevne mellomrom.

Usymmetri kan medføre ekstra tap og varmgang i elektrisk utstyr som motorer, men kan også medføre feilfunksjon eller utfall på for eksempel motordrifter og annet utstyr kontrollert med likerettere eller frekvensomformere.

Gode rutiner og praksis mht revolivering av kraftlinjer samt symmetrisk fordeling av last er den beste måten å unngå problemer med usymmetri på. Dersom det oppstår så stor usymmetri at det forårsaker alvorlige problemer vil ofte omfordeling av last være den rimeligste løsningen. Løsninger som UPS vil være mye mer kostbare og kun være aktuell dersom en samtidig trenger beskyttelse mot andre typer spenningsavvik (forstyrrelser).

Usymmetri er det spenningsavvik det har vært utført minst analyser av i Norge. Dette har nok en sammenheng med at det relativt sjelden har vært betydelige problemer med usymmetri. Helt problemfritt har det imidlertid ikke vært. Saker der alt fra følsomme og kostbare motordrifter i MW-klassen har skapt bekymring til mer trivielle situasjoner med mange prosent usymmetri pga dårlige rutiner ved nytilknytninger i lavspenningsnettet har forekommet. En har eksempelvis sett tilfeller i lavspenning luftnett med opp i 5 % usymmetri fordi montører har tilknyttet de fleste av de siste kundene mellom de to nederste fasene i vertikalt monterte luftlinjer.

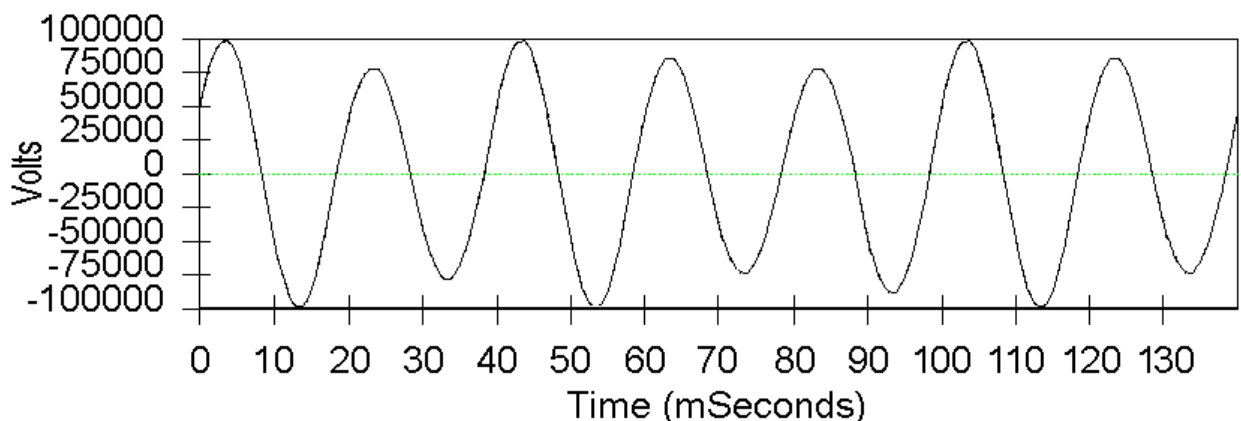
EN50160 krever at i 95 % av tiden innfor en uke skal den negative sekvenskomponenten av forsyningsspenningen målt over 10 minutter, være innenfor området 0 til 2 % av den positive sekvenskomponent. Det tilføyes imidlertid at i spesielle tilfelle kan verdien enkelte steder komme opp i 3 %.

#### 2.4.4 Hurtige spenningsvariasjoner – flimmer

Hurtige spenningsvariasjoner (flimmer: "flicker") er en serie spenningsendringer eller en syklisk variasjon av spenningsens omhyllingskurve. (frekvenser opp til ca. 25 Hz). Selve flimringen/variasjonen i lyset kalles flimmer (eng. "flicker") mens variasjonene i spenningen som forårsaker lysflimmeret gjerne kalles spenningsfluktuasjoner.

Spenningsfluktuasjoner gir endringer i lysutbytte fra belysningsutstyr som eksempelvis både glødelamper og fluoriserende lamper. Over en viss grenseverdi kan synlig flimmer i lyset observeres, noe som kan gi ubehag og føles irriterende for mennesker. Det hevdes for øvrig at slikt flimmer kan utløse epilepsi og migrene. Det er ikke forsket på dette og utsagnet baserer seg på tilbakemeldinger fra nettselskaper i Europa som har erfart en sammenheng. Det kjennes ikke til tilfeller av epilepsi i Norge som følge av flimmer men forfatteren av denne rapporten kan bekrefte migrene utløst av flimmer. Spenningsfluktuasjoner gir synlige variasjoner i lysintensitet fra belysning allerede ved svært små variasjoner som noen få promille av grunnharmonisk spenning.

I figur 4 under vises 7 perioder av en spenning med meget kraftige spenningsfluktuasjoner, men der frekvensen på fluktuasjonene er så høy at den synlig flimmeret ikke blir så ekstremt som det ville blitt ved en lavere flimmerfrekvens.



Figur 4. Spenningsfluktuasjoner som forårsaker flimmer.

Flimmer måles opp mot en normert verdi på 1 da minst halvparten av menneskene som blir utsatt for lyset fra en 60W glødelampe vil bli sjenert av lysflimmeret fra lampen.  $P_{lt}$  er langtidsverdien (long term = 2 timer) og  $P_{st}$  er korttidsverdien (short term = 10 minutter) av flimmer.

Spenningsfluktuasjoner er i all hovedsak et visuelt problem for mennesker. Det mest klare unntaket er generatorer som ligger svært nær store kilder til flimmer som kan bli utsatt for store mekaniske belastninger pga de sterkt varierende strømmene. Ved noen nettselskaper mener man å ha konstatert havari på elektriske apparater ved flimmer, men dette er med stor sannsynlighet ikke selve fenomenet flimmer som forårsakes av variasjonen i spenningen. Når en har kraftig flimmer varierer imidlertid effektivverdien betydelig innenfor kort tid (mer enn 25 V variasjon innenfor samme sekund er målt i Norge). Dersom spenningen i utgangspunktet er høy (240 til 250 V) vil

slike spenningsvariasjoner kortvarig løfte spenningen så høyt at elektriske apparater havarerer. Men da havarerer de prinsipielt på før høy effektivverdi og ikke av flimmeret.

De største kildene til spenningsfluktuasjoner er AC og DC lysbueovner, frekvensstyrte motordrifter, sveiseutstyr, store lastvariasjoner som f.eks. hyppig av- og påslag av store pumper.

Eksempel på tiltak en kan å sette i verk mot flimmer er:

1. SVC (Static var Control), aktive filtre
2. bruk av mindre følsomme lampetyper
3. bevisst holdning fra nettselskap mht "utslippstillatelser" fra større kunder
4. øke kortslutningsytelsen (stivheten i nettet) for apparater som kan få problemer
5. øke impedansen på den del av nettet som er unik for den forstyrrende last - seriereaktor

Grenseverdiene i EN 50160:  $P_{lt}$  mindre eller lik 1 i 95 % av uken

Enkelte stiller spørsmålsteget ved om ikke å måle flimmer som  $P_{lt}$  (flimmeret midlet over 2 timer) er et for langt tidsintervall. En del mennesker vil kunne føle et betydelig ubehag med kraftige flimmerverdier i 10 til 20 minutter selv om flimmerfaktoren for 2-timers intervallet er under 1 dersom flimmeret varierer sterkt og periodevis er svært lavt og periodevis er svært høyt. Det kan synes som å måle flimmer som 10 minutters verdier,  $P_{st}$ , på lik linje med målekravene i EN50160 til mange andre parametere vil være fornuftig.

#### **2.4.5 Spenningssprang**

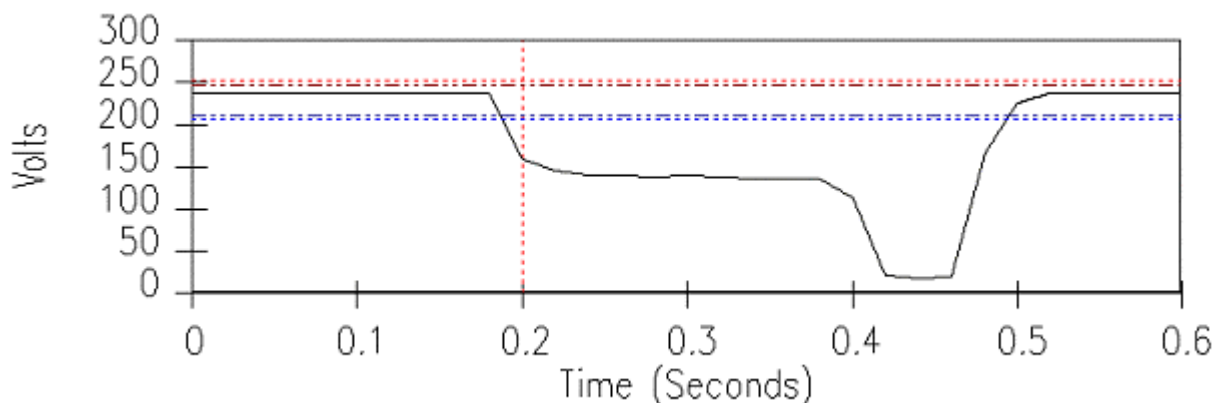
Spenningssprang er definert som et eget begrep i EN50160. Med spenningssprang menes raske endringer i spennings effektivverdi fra et nivå til et annet. Store og hyppige spenningssprang kan medføre for høye flimmerverdier.

EN 50160 gir ikke noen helt entydig grenseverdi, men antyder at spenningssprang normalt ikke skal overskride 5%, men at inntil 10% kan forekomme noen få ganger pr dag i spesielle situasjoner.

#### **2.4.6 Kortvarige underspenninger - Spenningsdipp**

Spenningsdipp er en hurtig reduksjon av forsyningsspenningen til en verdi mellom 90% og 1% av den avtalte spenning  $U_c$ , etterfulgt av en gjenoppretting av spenningen etter en kort tidsperiode. Tradisjonelt anses varigheten av et spenningsdipp å være mellom 10 ms og 1 minutt. Dybden av et spenningsdipp er definert som forskjellen mellom spennings laveste effektivverdi (rms) i løpet av et spenningsdipp og den avtalte spenning. Spenningsendringer som ikke reduserer forsyningsspenningen til mindre enn 90% av den oppgitte spenningen  $U_c$  anses ikke å være spenningsdipp. De omtales ofte som spenningssprang. Ofte omtales  $U_c$  som  $U_N$  (Nominell spenning).

I figur 5 vises variasjonen i spenningsens effektivverdi periode for periode (20 ms tidsskritt) i løpet av et totrinns spenningsdipp målt i lavspenningsnettet. Dette var en feil i nettet som utviklet seg til full trefase kortslutning, med utkobling i vern som resultat. En kan se at målepunktet altså ligger i den ”friske” delen av nettet og ikke får avbrudd som følge av utkobling av feilen



Figur 5. Eksempel på et totrinns spenningsdipp. En feil som utvikler seg til full trefase kortslutning, med utkobling i vern som resultat. En kan se at målepunktet altså ligger i den ”friske” delen av nettet og ikke får avbrudd som følge av utkobling av feilen

Årsakene til spenningsdipp er i hovedsak kortslutninger i nettet, gjeninnkoblinger (GIK) mot feil, og store lastpåslag.

Spenningsdipp er sammen med avbrudd de forstyrrelsene som forårsaker størst tap for kundene i kraftnettet i Norge. Spenningsdipp kan forårsake både feilfunksjon og direkte utkobling av elektrisk utstyr. Dette kan medføre følgeskader og produksjonstap ved utkobling hele eller i deler av anlegget. Det er også observert havari på spesielt svakt designet utstyr (motordrifter) ved spenningsdipp.

Det er tilnærmet umulig å helt unngå spenningsdipp i kraftnettet, men eksempel på tiltak som kan settes i verk for å redusere/minimere antallet er:

1. forsiktig praksis mht GIK
2. traserydding/trerydding
3. øvrig vedlikehold og utskiftninger
4. bruk av avledere fremfor gnistgap
5. ta hensyn til problemstillingen med spenningsdipp ved planlegging av kraftnettet

Dessuten kan det hos sluttbrukere anvendes:

6. aktive filtre
7. avbruddsfri strømforsyning UPS

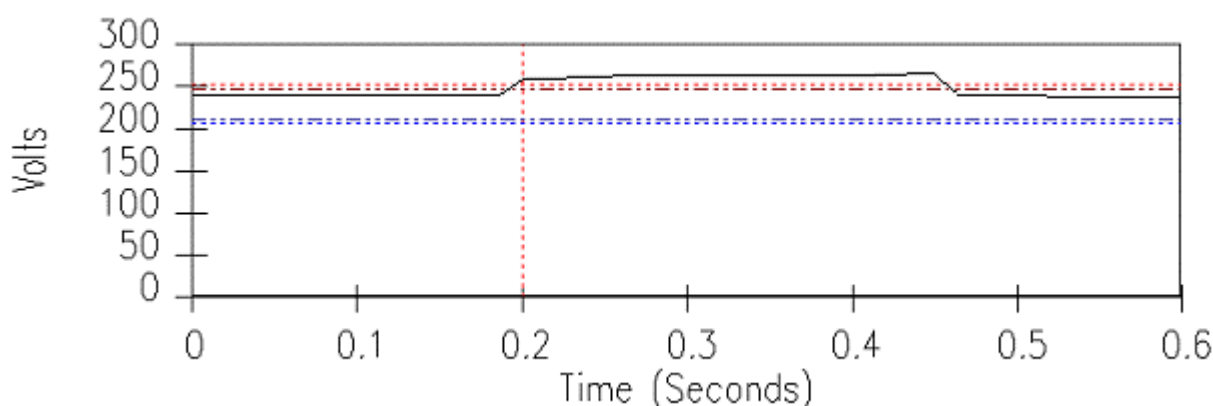
De siste to punktene reduserer ikke antall spenningsdipp i nettet, men reduserer de problemer/konsekvenser de beskyttede kundene erfarer ved spenningsdipp.



EN50160 gir ingen antydninger utover ”indikasjonsverdier” på at alt fra noen få og opp til tusen spenningsdip pr år må anses som normalt.

#### 2.4.7 Kortvarige overspenninger (eng ”swell”)

Kortvarige overspenninger mellom fasene er det motsatte fenomenet av kortvarige underspenninger (spenningsdipp). Foruten at spenningsavviket har motsatt fortegn er også avvikene i spenning vanligvis mindre. I figur 6 vises en kortvarige overspenning på grunn av en stor lastutkobling (trip/ufall av en meget stor last)



Figur 6. Kortvarige overspenning på grunn av en stor lastutkobling

Kortvarige kraftfrekvente overspenninger skyldes som regel utfall av store belastninger, eventuelt deler av nettet med stor last. Feilkoblinger og feil trinning som relativt raskt har blitt frakoblet igjen er også observert.

Kortvarige overspenninger anses som mer alvorlige enn kortvarige underspenninger. Dette fordi kortvarige overspenninger oftere fører til havari på apparater og utstyr enn kortvarige underspenninger, som vanligvis kun fører til feilfunksjon og driftsforstyrrelser. Kostnadmessig utgjør likevel kortvarige overspenninger et mindre problem enn kortvarige underspenninger da de førstnevnte er mye sjeldnere enn de sistnevnte.

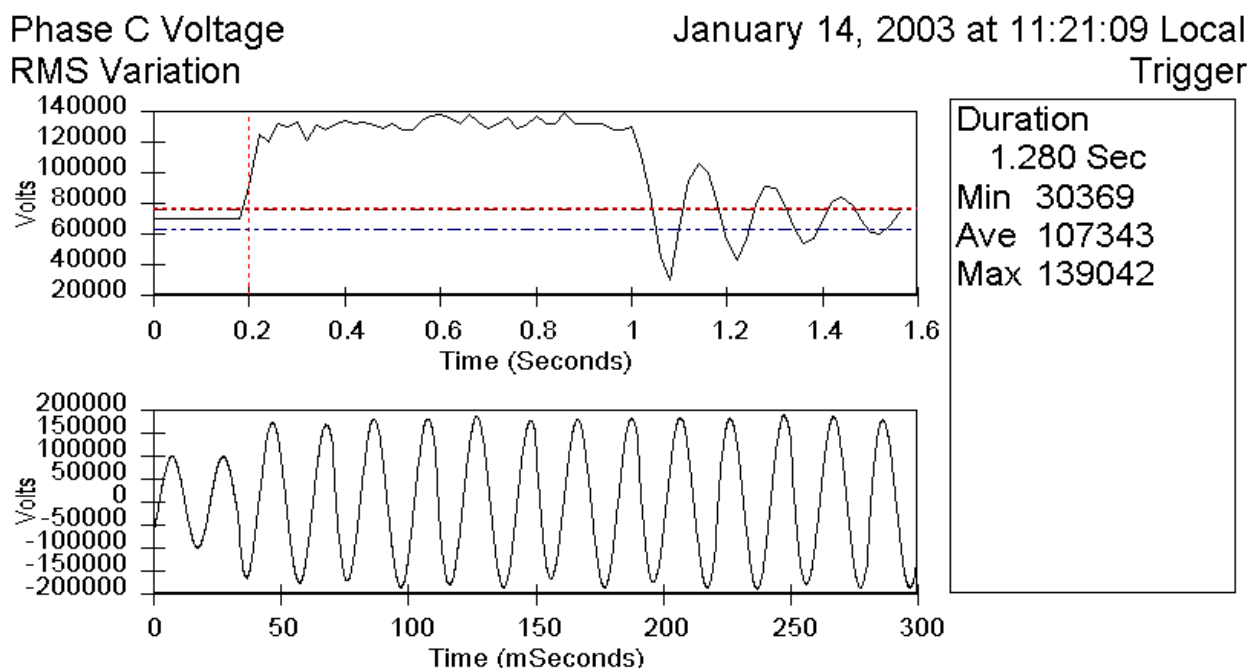
Det er ikke mulig å beskytte seg mot kortvarige kraftfrekvente overspenninger på samme måte som en beskytter seg mot høyfrekvente transiente overspenninger. Overspenningsvern i form av avledere er uaktuelt fordi de ikke tåler den energien som må avledes. De beste tiltak mot problemer med kraftfrekvente kortvarige overspenninger er å forsøke å unngå dem mht lastutkoblinger og feilkoblinger. En kan også i en del tilfeller redusere problemet og eventuelt konsekvensene ved å bruke raske systemer for autotrinning av transformator etc.

I Norge måler vi godt over 10 kortvarige underspenninger (spenningsdipp) for hver kortvarig kraftfrekvent overspenning. Samtidig er spenningsavviket i gjennomsnitt mye mindre for de målte overspenningene.

I EN50160 behandles ikke slike overspenninger mellom fasene, kun mellom fase og jord.

#### 2.4.8 Forbigående kraftfrekvente overspenninger mellom faseledere og jord

En forbigående kraftfrekvent overspenning er en overspenning mellom faseledere og jord av relativt lang varighet og med lav eller ingen dempning. Slike spenninger skyldes vanligvis feil i nettet (en-polte jordfeil) eller lastavslag eller feil i kunders installasjoner. I figur 7 vises en slik overspenning i fase C i et 122 kV nett.



Figur 7. En forbigående kraftfrekvent overspenning i fase C i et 122 kV nett.

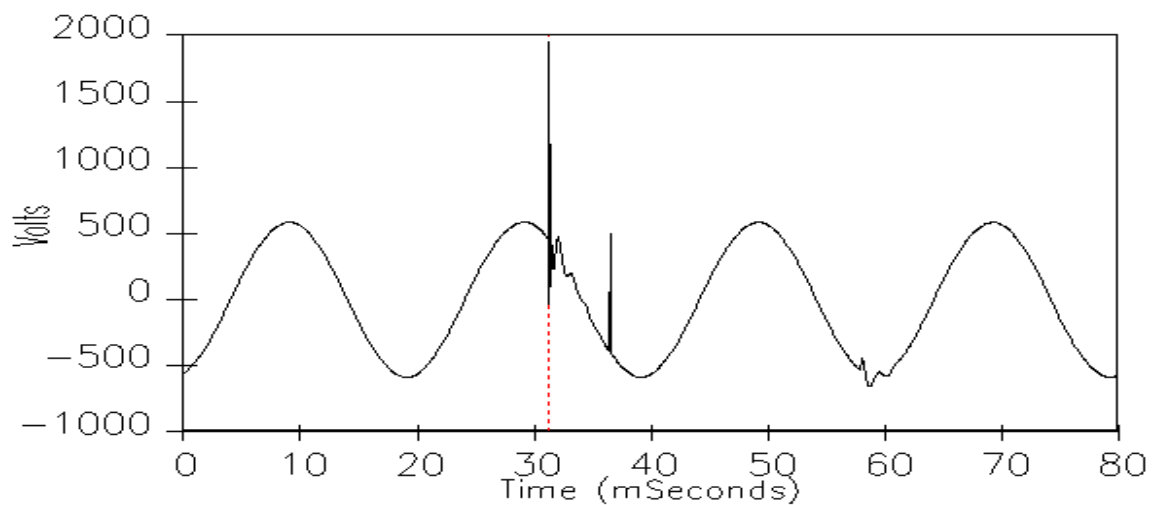
Forbigående kraftfrekvente overspenninger mellom faseledere og jord kan forårsake feilfunksjon eller havari på utstyr selv om dette relativt sjelden er konstatert i Norge. Det har imidlertid vært noe problemer med havari på overspenningsavledere uten gap.

I EN50160 antydes kun indikative verdier på hhv 1,5 kV i lavspenningsnettet og i høyspenningsfordelingsnett hhv 1,7  $U_c$  og 2,0  $U_c$  avhengig av systemjording.

#### 2.4.9 Transiente overspenninger

Transiente overspenninger er oscillerende eller ikke-oscillerende overspenninger av kort varighet, vanligvis sterkt dempet og med en varighet av få millisekunder eller mindre. Stigetiden for en transient overspenning kan variere fra mindre enn et mikrosekund opp til noen få millisekunder.

Energiinnholdet i transiente overspenninger varierer sterkt, avhengig av opprinnelsen. En induisert overspenning på grunn av lyn har som regel høyere amplitude enn en overspenning som skyldes kobling, men varigheten og energiinnholdet er som regel lavere. Figur 8 på neste side viser et eksempel på transient overspenning.



Figur 8. Eksempel på transient overspenning

Transiente overspenninger kommer vanligvis fra lynnedslag eller koblinger i kraftnettet, sikringsbrudd, kommutering i kraftelektroniske omformere, overslag og lysbuer i dårlige kontakter, lastkoblinger med mer. De kan forårsake havari på utstyr både hos nettselskapet og hos kunder, feilfunksjon og ”låsing” av elektronisk utstyr og redusert levetid (akselerert aldring).

Eksempel på tiltak en kan sette inn mot transiente overspenninger:

1. overspenningsvern og god jording
2. filter
3. vedlikehold
4. synkronkoblere

Overspenningsavledere bør være dimensjonert for å håndtere de mer energirike overspenningene som skyldes koblinger. Da vil de normalt også håndtere overspenninger på grunn av lyn.

Transiente overspenninger er til dels et betydelig problem i Norge selv om de ikke forårsaker så store kostnader som avbrudd og spenningsdipp.

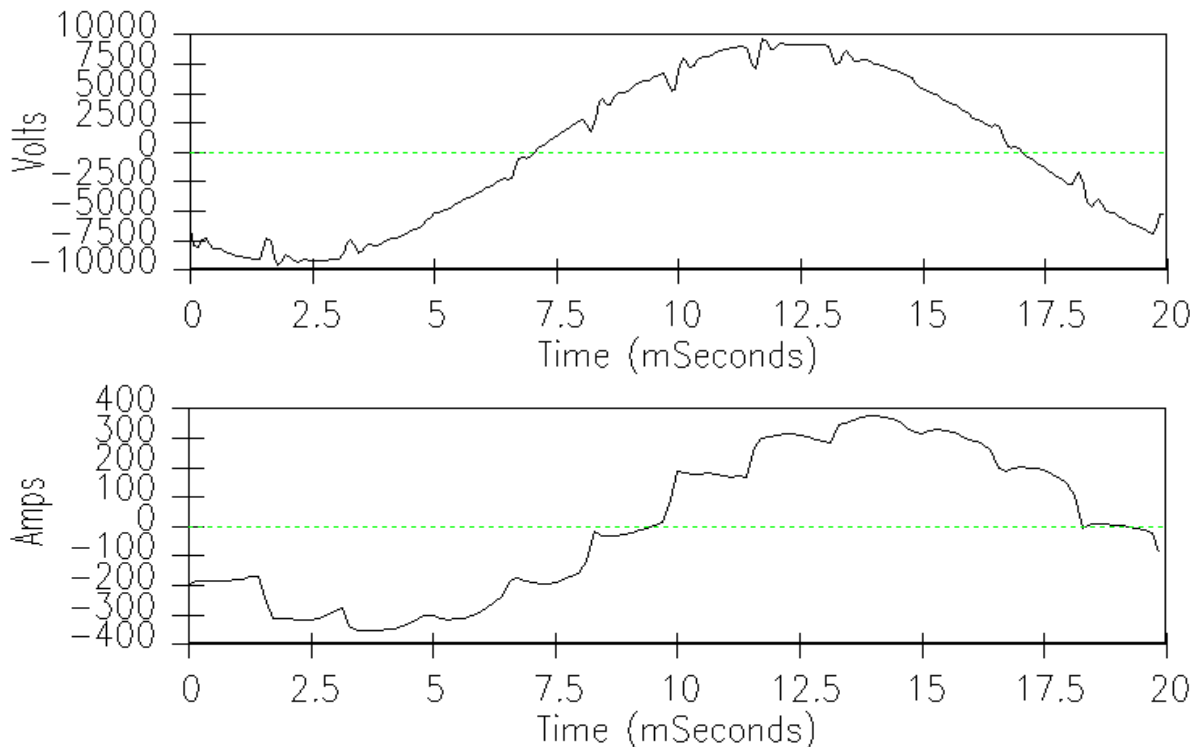
EN50160 antyder kun at transiente overspenninger normalt ikke overskrider 6 kV i lavspenningsnettet men at høyere verdier dog kan forekomme. Det antydes ingen verdier i høyspennings fordelingsnettet.

#### 2.4.10 Overharmoniske spenninger

En overharmoniske spenning er en sinusformet spenning med frekvens lik et heltalls multiplum av forsyningsspenningens grunnfrekvens. Harmoniske spenninger kan beregnes:

- individuelt, ved deres relative amplitude  $U_h$  relatert til grunnspenningen  $U_1$ , hvor  $h$  er ordenen av den harmoniske;
- samlet, for eksempel uttrykt ved den totale harmoniske forvrengning (Total Harmonic Distortion – THD):

$$THD = \sqrt{\sum_{h=2}^{40} (u_h)^2}$$



Figur 9. Eksempel på overharmoniske spenninger og strømmer på grunn av en frekvensomformer med 12-puls likeretter.

Overharmoniske i forsyningsspenningen er vanligvis forårsaket av kunders ikke-lineære belastninger tilkoblet ulike spenningsnivåer i distribusjonsnettet. Dette er typisk thyristorstyrte apparater/anlegg, strømretteranlegg (likerettere/vekselrettere), lysstoffrør, lysbueovner, strømforsyninger til apparater/elektronikk etc. Harmoniske strømmer som flyter gjennom systemimpedansen forårsaker harmoniske spenninger. Harmoniske strømmer og systemimpedanser og dermed også de harmoniske spenningene i tilknytningspunktet varierer med tiden.

Overharmoniske spenninger kan forårsake overbelastning av kondensatorer inkl. kondensatorer i lamper/belysning. De kan også forårsake økte tap, overbelastning og redusert ytelse på motorer, transformatorer, generatorer med mer. Et problem ved TN-nett kan være overbelastning av nullleder. Overharmoniske spenninger (og strømmer) kan også forårsake telefonforstyrrelser og feilfunksjoner på kontrollutstyr som f.eks. baseres på bruk av tidspunkt for nullgjennomgang eller tidspunkt for maksimalverdi samt forstyrrelse av signalsystemer på fordelingsnettet.

Eksempel på tiltak mot overharmoniske spenninger kan være:

1. passive filtre
2. aktive filtre
3. nettplanlegging for å unngå resonans
4. segregering av last
5. bevisst holdning fra netteier mht ”utslippstillatelser” fra større kunder
6. å øke kortslutningsytelsen (stivheten i nettet) for apparater som kan få problemer
7. å øke impedansen på den del av nettet som er unik (separat) for den forstyrrende last

Grenseverdiene i EN 50160 gjeldende som 10 minutt gjennomsnittsverdier og for 95 % av tiden pr uke.

Tabell 1. Grenseverdier for individuelle harmoniske komponenter i EN50160.

Odde harmoniske				Like harmoniske	
Ikke multiplum av 3		Multiplum av 3			
Orden n	Rel. spenning (%)	Orden n	Rel. spenning (%)	Orden n	Rel. spenning (%)
5	6	3	5	2	2
7	5	9	1,5	4	1
11	3,5	15	0,5	6..24	0,5
13	3	21	0,5		
17	2				
19	1,5				
23	1,5				
25	1,5				

$$THD = \sqrt{\sum_{n=2}^{40} U_n^2} < 8 \% \text{ (totalharmoniskforvr engning)}$$

THD (Total Harmonic Distortion) skal være mindre eller lik 8 % i 95 % av tiden

#### 2.4.11 Interharmoniske spenninger

Interharmoniske spenninger er sinusformede spenninger og på mange måter lik overharmoniske spenninger. Men de interharmoniske spenninger dekker alle de frekvensene som ikke inngår i de overharmoniske spenningene. For interharmoniske spenninger er altså frekvensen ikke et helt multiplum av grunnharmonisk frekvens.

Disse spenningene kan genereres av motordrifter, lysbueovner med mer og kan forårsake flimmer i lysutbytte fra belysningsutstyr.

Tiltakene er mye likt det som benyttes mot overharmoniske spenninger.

Internasjonalt er det en utbredt erkjennelse av at man enda vet relativt lite og har for lite erfaring med interharmoniske spenninger til å kunne fastslå klare anbefalinger i blant annet normer. EN50160 angir således heller ingen verdier for interharmoniske. Etter det SINTEF Energiforskning kjenner til har det ikke vært konstatert tilfeller i Norge der interharmoniske spenninger forårsaket betydelig problemer.

### 3 DATAGRUNNLAG OG MÅLINGER

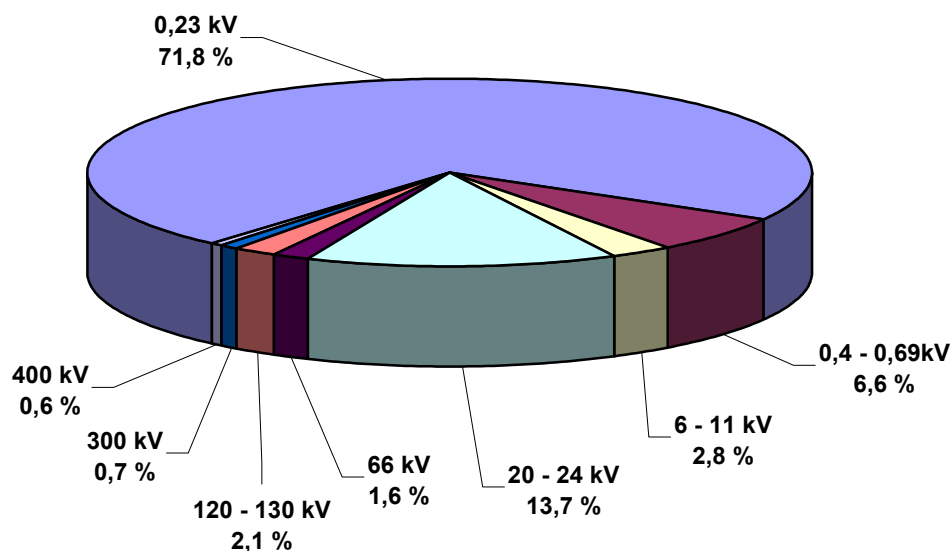
I en av flere delaktiviteter i tre spenningskvalitetsprosjekter fra 1993 til 2003 finansiert av Forskningsrådet, Norske Nettselskap, Norsk Industri, EBL Kompetanse (tidligere Enfo) og i en kortere periode Elforsk i Sverige, er det ved SINTEF Energiforskning bygget opp en omfattende database med leveringskvalitetsmålinger. Andre prosjekter ved SINTEF Enregiforskning har også i betydelig grad bidratt med måledata til databasen. Dette har gjerne vært gjennom undersøkelser og problemløsning for enkeltbedrifter i industri og næringsliv, men også til en viss grad for nettselskap.

Det ble fra starten av fokusert hovedsaklig på spenningskvalitetsdelen av målingene, men både kortvarige og langvarige avbrudd er målt og lagt inn i databasen fra de fleste målepunktene. Målingene er i hovedsak foretatt i det norske kraftnettet, men noen av målingene er også foretatt i kraftnettet på Svalbard og på norske oljeplattformer. Analysene som er rapportert i denne rapporten er basert på målingene i det norske landbaserte kraftnettet.

Databasen og analysene på måledataene ble fra starten av i hovedsak basert på målinger foretatt med instrumenter av typen BMI 8010 og BMI 8020 (nå Dranetz-BMI 8010 og 8020). Det er nesten 70 slike instrumenter i Norge som i større eller mindre grad har blitt brukt til målinger som har kommet databasen til gode. De siste årene har også analyser av måledata fra noen andre måleinstrumenter blitt tatt med i de samlede vurderingene av spenningskvaliteten i Norge. Dette dreier seg om LEM Elmes QWave, Unipower Unilyzer 902 og Medcalinstrumenter.

Måleaktiviteten har dessverre gått markert tilbake blant nettselskapene fra 1993 fram til og med 2003 og dette kan se ut til å ha klar sammenheng med harde økonomiske prioriteringer, omorganisering, sammenslåinger og fokus på utbytte. Det er verdt å merke seg at måleaktiviteten blant industri nettkunder har hatt en liten økning i samme tidsperiode. Dette sammen med at SINTEF Energiforskning har fått stadig flere oppdrag om å måle spenningskvalitet har bidratt til at databasen er blitt vesentlig større enn da den forrige rapporten over spenningskvaliteten i Norge ble gitt ut i 1997 [6]. Den aller første rapporten som ble utgitt oppsummerer målingene etter 1993 og 1994 [7].

Hovedtyngden av målepunktene er fremdeles i lavspenningsnettet (230 V og 400 V), men det er nå et bra antall målepunkt i høyspennings fordelingsnettet (6 kV til 24kV). På de høyeste spenningsnivåene, fra 66 til 420 kV, er antall målepunkt (34) fremdeles noe lavere enn vi kunne ønske. Fordelingen av målepunkter med hensyn til spenningsnivå er vist i figur 10 på neste side.



Figur 10. Fordelingen av de 671 målepunktene mellom de ulike spenningsnivå

Databasen består i desember 2003 av 671 målepunkter og 4864 MB måledata (over 800.000 filer) mot 427 målepunkter og ca 1500 MB i 1997. Antallet målepunkter har altså ikke vært gjenstand for betydelig økning i forhold til antall år som er gått siden forrige rapportering, men mengden målinger (tidsrommet for målinger) er økt betraktelig for mange målepunkter. Dette siste anses som en stor fordel for kvaliteten i statistikken fra målingene. At dette vurderes som en fordel skyldes blant annet at en da har måledata fra flere (alle) årstider og fanger opp årstidsvariasjonene, at en ikke er så lett kan være uheldig og treffe kortere måletidsrom med unormalt lavt eller unormalt høyt nivå av forstyrrelser i en del enkeltmålepunkt etc.

Denne rapporten konsentreres som de forrige, mest om forholdene i fordelingsnettet (0,23 kV til 35 kV) der de fleste målingene er foretatt, men det er tatt med noe resultater fra de høyere spenningsnivå i motsetning til i de tidligere rapportene.

Det er nok en betydelig høyere prosentandel målepunkter i den norske databasen der målingene er foretatt på bakgrunn av kundeklager enn hva som vil være et naturlig gjennomsnitt for det norske kraftnettet. Dette er selvsagt bevisst tatt hensyn til i analysene og i statistikken fra databasen. I noen tilfeller velger vi å utelate målinger foretatt på bakgrunn av kundeklager mens en i enkelttilfeller faktisk kan en ha nytte av å se på forskjellene i statistikken mellom analyser der alle målepunkter er med og der bare målinger der det ikke har vært kundeklager har vært med. Videre er det ingen grunn til at målinger der kunder har klaget eksempelvis på grunn av litt for lave spenninger, ikke skal kunne være med i statistikken over andre avvik i spenningen som eksempelvis overharmoniske spenninger i nettet.



## **4 ANALYSER AV MÅLEDATA**

### **4.1 PROGRAMVARE FOR ANALYSER AV MÅLEDATA**

Analyser av måledataene i databasen er i hovedsak foretatt med programvaren PQView (et omfattende program for avanserte analyser av spenningskvalitetsmålinger). Enkelte tilleggssanalyser er foretatt med den mindre programvaren PASS som følger med måleinstrumentene av typen Dranetz-BMI 8010 og 8020 samt med programmene QBrowser, PQProfiler og Medcal. En del resultatoppstilling er også foretatt i Microsoft Excel på data eksportert fra noen av de nevnte programmer.

### **4.2 VALGTE ANALYSER**

I arbeidet med å analysere måledataene er det forsøkt å legge vekt på å vise den gjennomsnittlige spenningskvaliteten i Norge, men også variasjonen i kvalitet. Dette betyr at hovedfokus ligger på gjennomsnittsverdier, men at også 5% og 95% verdier er brukt og i enkelte tilfeller også 1%, 99% og/eller maksimum og minimumsverdier. 99%-verdien av spenningen i hvert enkelt målepunkt er den spenningen som ble avlest når spenningen i 99% av tiden i hele måleperioden var lavere enn denne avleste verdi og høyere i kun 1% av tiden i måleperioden. Med 99% målepunkt menes at dersom målingen denne verdien kommer fra eksempelvis er foretatt i ditt tilknytningspunkt til elektrisitetsnettet har 99% av målepunktene bedre kvalitet (lavere forstyrrelser) enn deg mens 1% har dårligere kvalitet.

### **4.3 ANALYSETIDSROM**

Analysene er foretatt over praktisk talt hele tidsrommet det foreligger måledata i databasen pr november 2003. Noen få målinger fra 1992 er utelatt da dette bare dreier seg om noen få målepunkter fra de siste 2 måneder i 1992. Kun målinger der målingene har pågått i minst en uke er benyttet i analysene. Måletidsrommene har vært fra kun en uke opp til flere år med sammenhengende målinger i de ulike målepunkt.

Lengden av måleperioden i det enkelte målepunkt betyr relativt lite for statistikken over repeterende og varige (stasjonære) forstyrrelser som gjerne er forårsaket av nettkundene og deres last. Når det gjelder forstyrrelser slik som spenningsdipp og overspenninger som inntreffer mer tilfeldig og ofte "klumpvis" i forbindelse med uvær etc kan måleperioden ha litt større innvirkning på statistikken. Statistikken er generert med den forenkling at en antar forstyrrelsene opptrer noenlunde jevnt fordelt over året og dette kan gi betydelig overrapportering eller underrapportering av forstyrrelser i enkeltmålepunkt der målingene har pågått i så korte tidsrom som noen få uker. Som gjennomsnitt for flere/mange målepunkt vil imidlertid slike avvik filtreres og utjevnes mellom målepunktene slik at avvikene bli relativt små.

## **5 SPENNINGSKVALITETEN I NORSKE KRAFTNETT**

Resultatene i rapporten er inndelt etter de ulike fenomen og forstyrrelser som er målt i det norske kraftnettet. Spenningsnivåene som er vurdert er:

1. 0,23 kV til 690 kV
2. 1 kV til 35 kV
3. 35 kV til 245 kV
4. 245 kV og over

Målegrunnlaget for kategori 4 (245 kV og over) er litt spinkelt for analyser av enkelte typer forstyrrelser og er i de tilfellene ikke tatt med.

### **5.1 SPENNINGENS FREKVENNS**

Frekvensen i det samkjørte nordiske nettet er meget stabil og varierer lite. Frekvensen og avvikene i denne er også felles for alle spenningsnivå i et samkjørt nett i motsetning til andre spenningsforstyrrelser. Den 23. September falt store deler av Sør-Sverige og hele Københavnsområdet ut på grunn av en eskalerende feil i det sør-svenske nettet. Problemene innebar utfall av hele 1200 MW kjernekraft ( Oskarshamn 3) og 5 minutter senere kortslutning av begge samleskinner i Horred, som medførte utfall av ca 1800 MW produksjon i Ringhals og flere 400 kV forbindelser. Feil nr 2 inntraff før pålitelig nettdrift var gjenopprettet. Deretter inntraff spenningskollaps og utfall av Syd Sverige, Sjælland og Bornholm. Totalt ca 6850 MW forbruk ble berørt. Forsyningen var gjenopprettet i Sverige etter ca 3 timer og i Danmark etter ca 10 timer. Selv under disse omstendighetene falt ikke frekvensen i Norge og resten av Nordelområdet (som ikke falt ut pga feilen) lavere enn til 49,26 Hz. Frekvensen var likeledes ikke høyere enn 50,35 Hz på det høyeste i det samme tidsrommet.

Frekvensvariasjonene er små og gjennomsnittsfrekvensen midlet over døgnet er så nær 50 Hz at det er innenfor målenøyaktigheten til instrumentene som er brukt til disse målingene.

De eneste virkelig alvorlige frekvensavvik vi har konstatert i Norge er i forbindelse med feil i nettet som har medført at en begrenset del av nettet mht både produksjon og antall kunder er blitt isolert fra resten av nettet i en kortere eller lengre periode. I slike tilfeller har det oppstått så store avvik i både frekvensen og spenningen at det har medført skader på utstyr hos kundene. Både frekvens og spenning har falt med flere titall prosent i noen få slike tilfeller før nettet ble koblet ut. Dette har skyldtes mangelfulle muligheter mht regulering, vern og utkobling på produksjonssiden når det var stor ubalanse mellom produksjon og last i slike isolerte øydrifter.

## 5.2 SPENNINGENS EFFEKTIVVERDI

### 5.2.1 Langsomme variasjoner i spenningens effektivverdi

De langsomme spenningsvariasjonene i høyspenningsnettet er ofte uten betydning for kundene i Norge og mindre aktuelle for statistiske analyser. Dette skyldes faktorer som at:

- Spenningsvariasjonene i høyspenningsnettet er vesentlig mindre enn i lavspenningsnettet.
- Det er regulerbare transformatorer i forsyningen frem til en del av kundene.
- Nettselskap må ha frihetsgraden å kunne regulere spenningen på høyspenningsnettet for best å utnytte nettet så lenge denne spenningen reguleres til et passende nivå til kundene gjennom regulerende transformatorer, fasekompensering med mer.

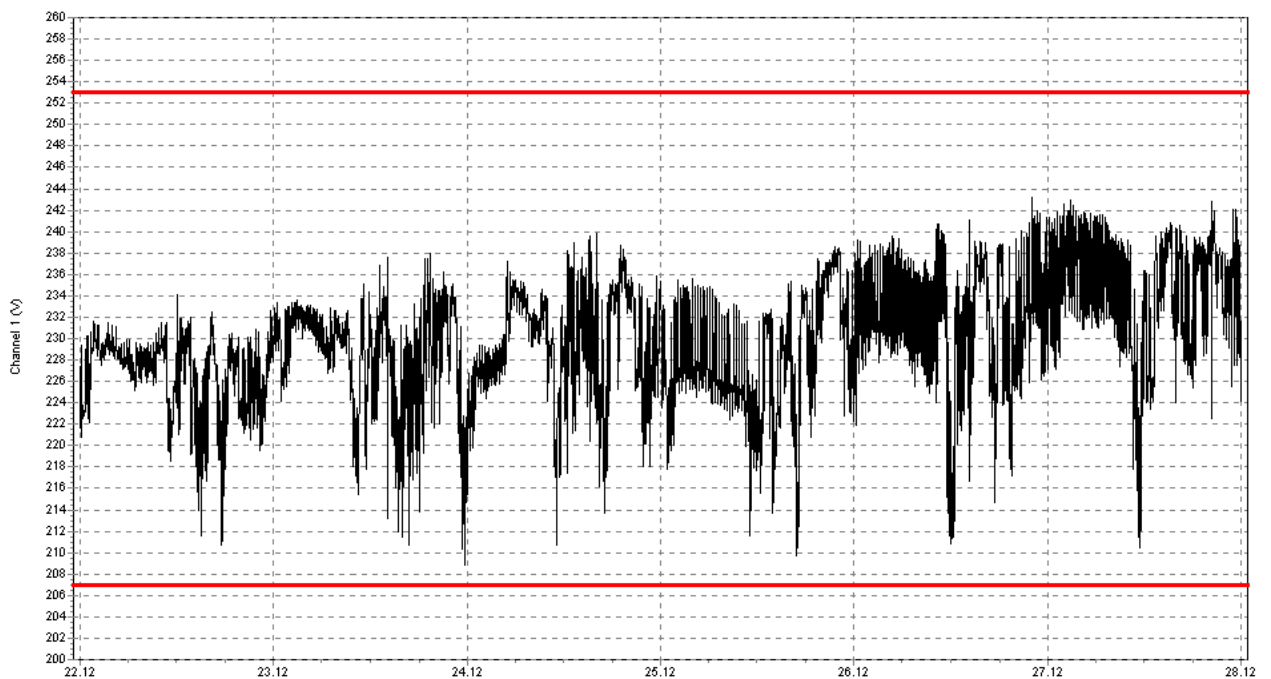
Det presenteres derfor kun statistikk over langsomme spenningsvariasjoner for lavspenningsnettet, nærmere bestemt 230 V nettet der målegrunnlaget er mest solid.

#### 5.2.1.1 Spenningsnivå 0,23 kV til 0,69 kV

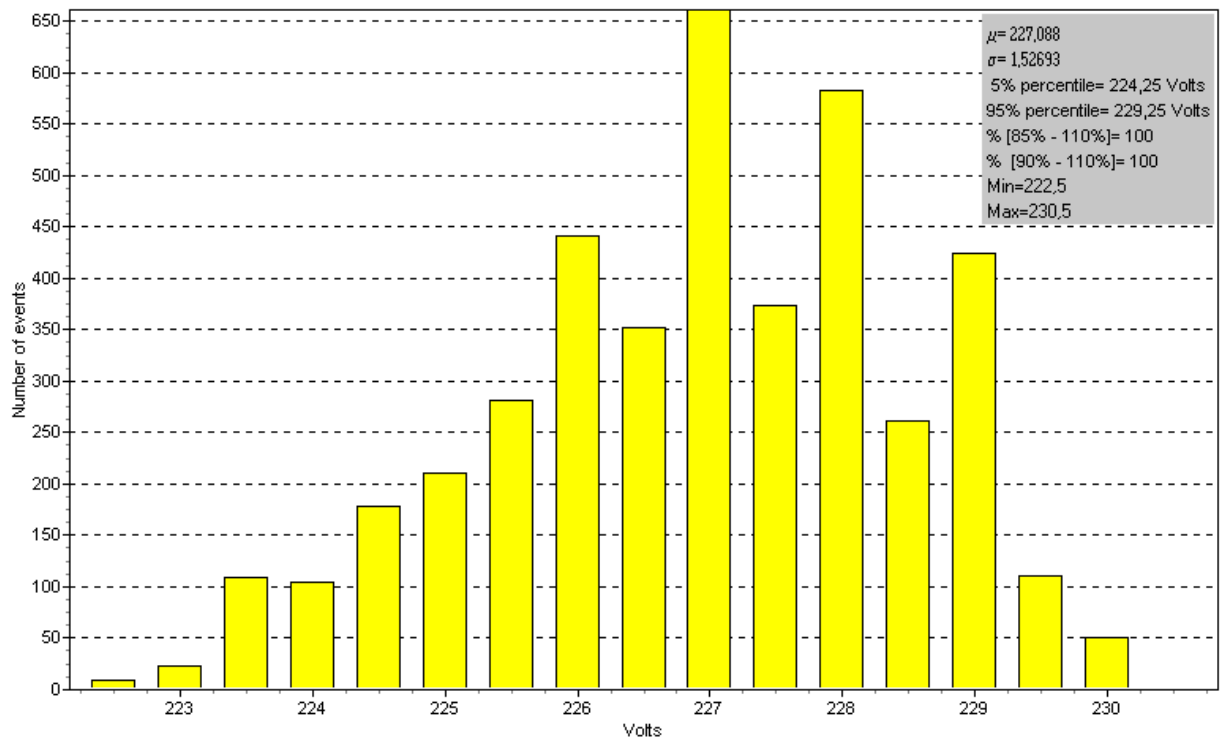
De langsomme spenningsvariasjonene i lavspenningsnettet er som regel beskjedne i kompakte kabelnett i byer og tett bebygde strøk. Noen unntak finner en imidlertid ved eldre svake nett der det har kommet til mer last eller der kundene totalt sett tidvis utgjør en last nettet ikke var bygget for. Utenfor byer og de tettest bebygde øvrige områder, når nettet ofte består av en høy prosentandel luftnett eller også utelukkende luftnett, varierer spenningen ofte betydelig mer enn i kompakte kabelnett. Dette skyldes i stor grad større utbredelse og lengre avstander i nettet med høyere impedans som resultat. I figur 11 og 12 vises typiske eksempel på spenningsvariasjoner målt i hhv et kabelnett i by (målepunkt A) og i et svakt luftnett på landsbygda (målepunkt B). De røde linjene i diagrammene angir øvre og nedre spenningsgrenser i nettselskapenes kontrakter og de vanligste internasjonale standarder. I figur 13 og 14 vises en grafisk fremstilling av fordelingen av de ulike målte spenninger i de to målepunktene.



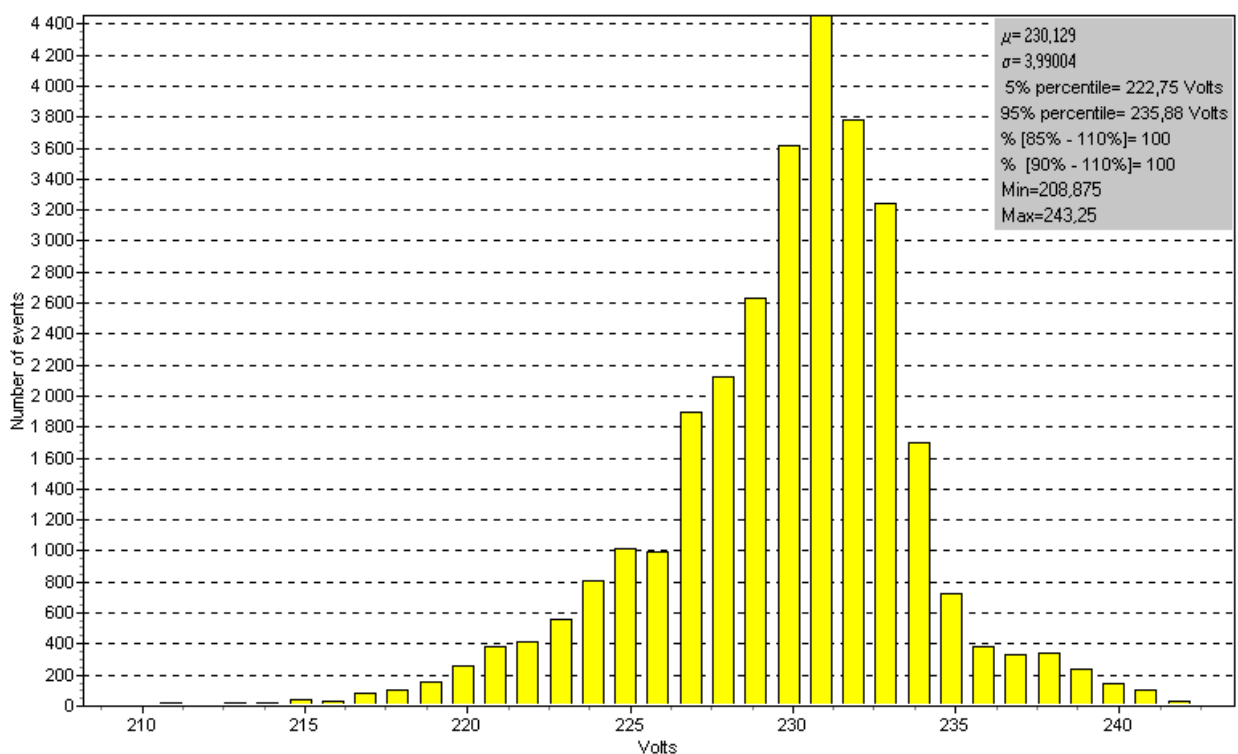
Figur 11. Et typisk eksempel på små spenningsvariasjoner i et relativt sterkt og kompakt kabelnett i en norsk by (målepunkt A).



Figur 12 Et typisk eksempel på store spenningsvariasjoner i et svakt luftnett på landsbygda (målepunkt B).



Figur 13. Spenningsfordelingen i målepunkt A. Legg merke til relativt liten spenningsforskjell mellom laveste og høyeste målte spenning



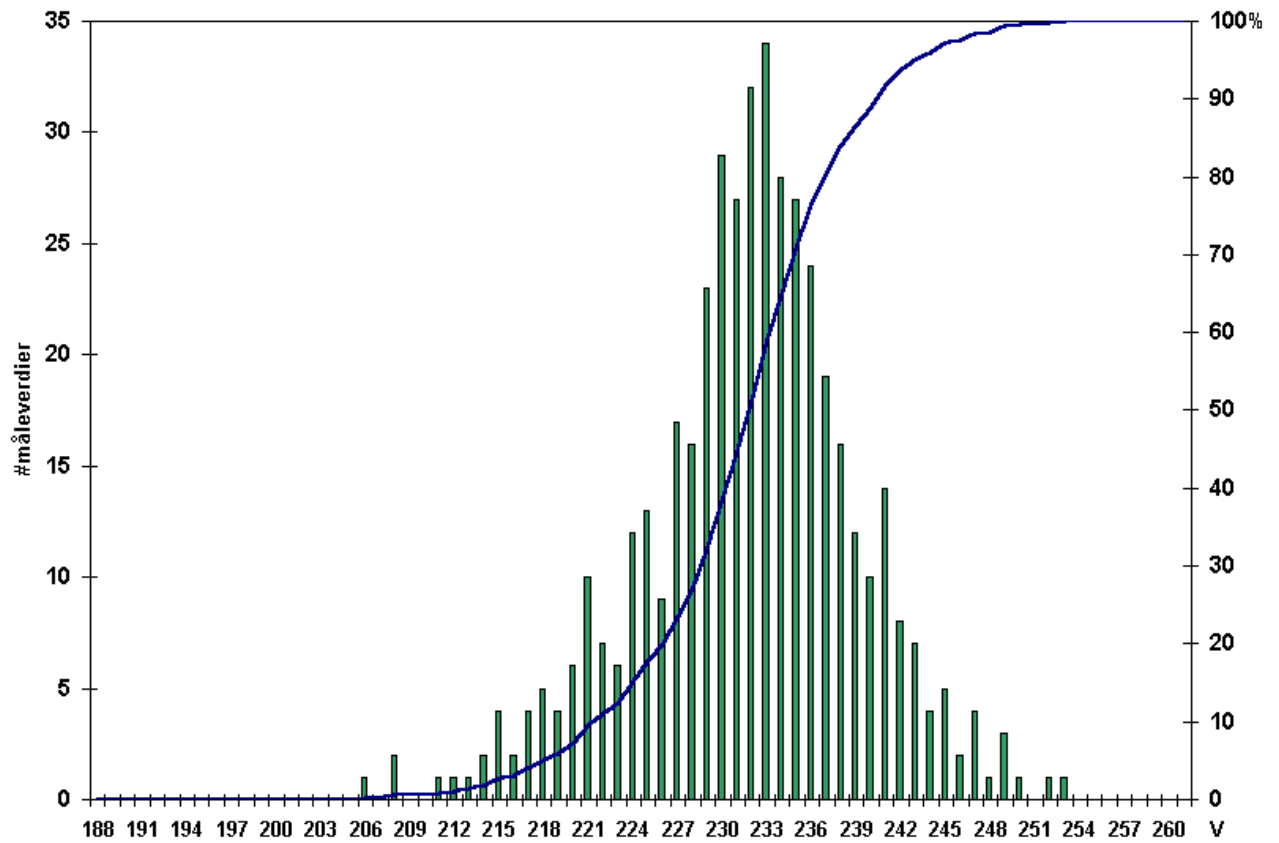
Figur 14 Spenningsfordelingen i målepunkt B. I dette tilfellet er det registret en spenningsforskjell på hele 34 V fra 209 som det laveste til 243 på det høyeste. Årsaken til at det ikke er synlige søyler i diagrammet ved disse spenningene er at det ikke er målet mange nok 10 minutts intervaller ved disse spenningene.

Av alle de 455 målepunktene i 230 V nettet var 39 målinger foretatt på bakgrunn av kundeklager der det viste seg at problemet var for høy eller lav spenning. Andelen 230 V målepunkter i den norske databasen med høye eller lave spenninger utgjør nok dermed en alt for høy andel i forhold til hvor stor andel kunder i Norge som har problemer med høye eller lave spenninger. Vi må være klar over det utgangspunkt at de målingene SINTEF Energiforskning får tilgang på fra nettselskapene ofte er foretatt på grunnlag av kundeklager. At det i enkeltmålepunkter eksempelvis er litt for lave spenninger medfører likevel ikke at det ikke vil være fornuftig å bruke disse målepunktene aktivt i den generelle statistikken over andre forstyrrelser som eksempelvis overharmoniske spenninger.

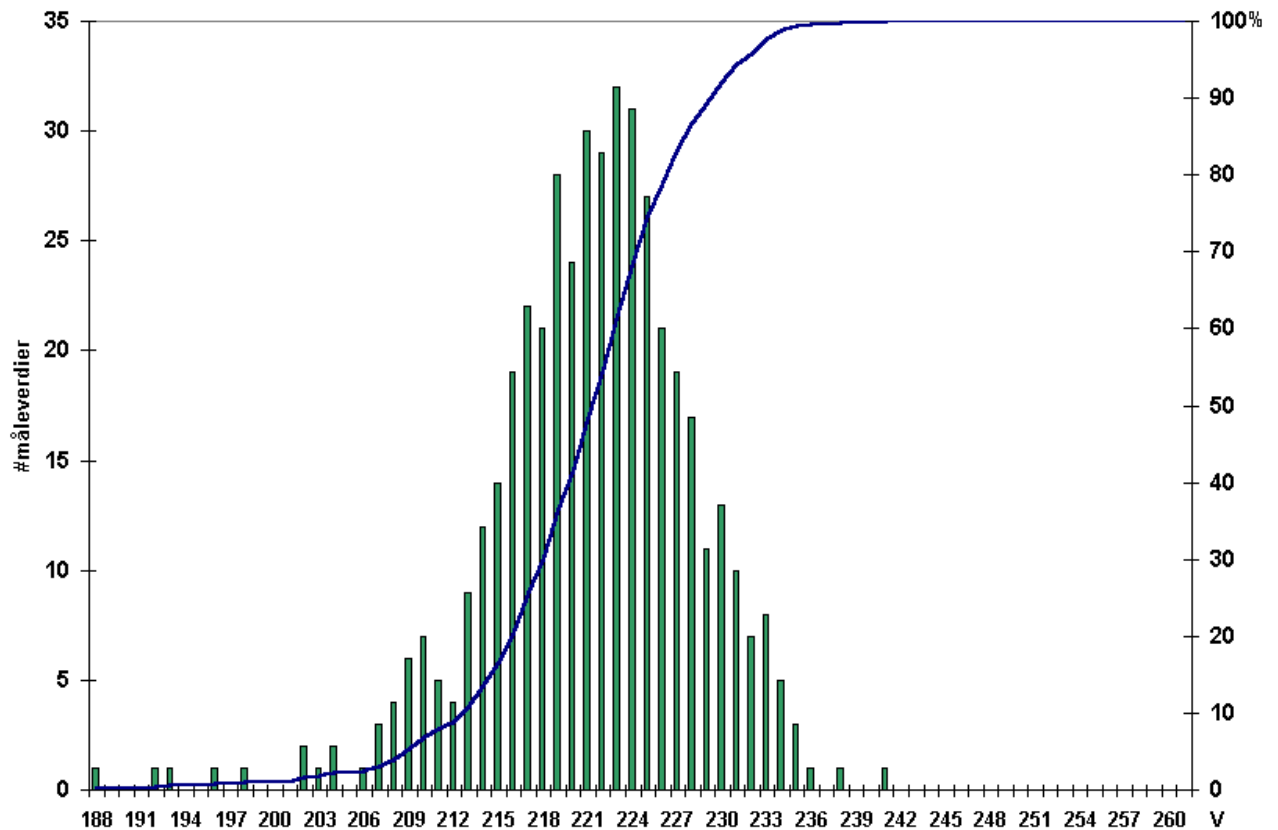
Det er ikke foretatt noen stor og omfattende undersøkelse av hvor stor andel av norske kunder som faktisk har for lave eller for høye spenninger. Vi har derfor valgt å vise spenningsfordelingen for 230 V nettet både med (figur 15 til 19) og uten (figur 20 til 24) de 39 målingene der spenningen ble påvist lav eller høy etter at kunden først hadde klaget. Blant de målingene som ble foretatt uten at kunder hadde klaget er det bare funnet ett målepunkt der spenningen faktisk var under  $-10\%$  en kortere periode. Ved å sammenligne figurene 15 til 19 med figurene 20 til 24 kan en få et inntrykk av spenningsnivåene som er årsak til kundeklager.

Blant kundeklagemålingene var det en god del målepunkter der spenningen var under  $-10\%$  eller over  $+10\%$ . I flere av disse tilfellene var også gjennomsnittspenningen over en hel uke under  $-6\%$  eller over  $+6\%$ . Det er imidlertid interessant å merke seg at blant alle målingene der spenningen som 10 minutt gjennomsnittsverdier ikke hadde vært enten under  $-10\%$  eller over  $+10\%$  så var det kun et målepunkt der gjennomsnittspenningen over hele uken var under  $-6\%$ . To målepunkt hadde akkurat  $+6\%$  som gjennomsnitt for uken uten at  $+10\%$  ble overskredet som 10 minutters gjennomsnittsverdier.

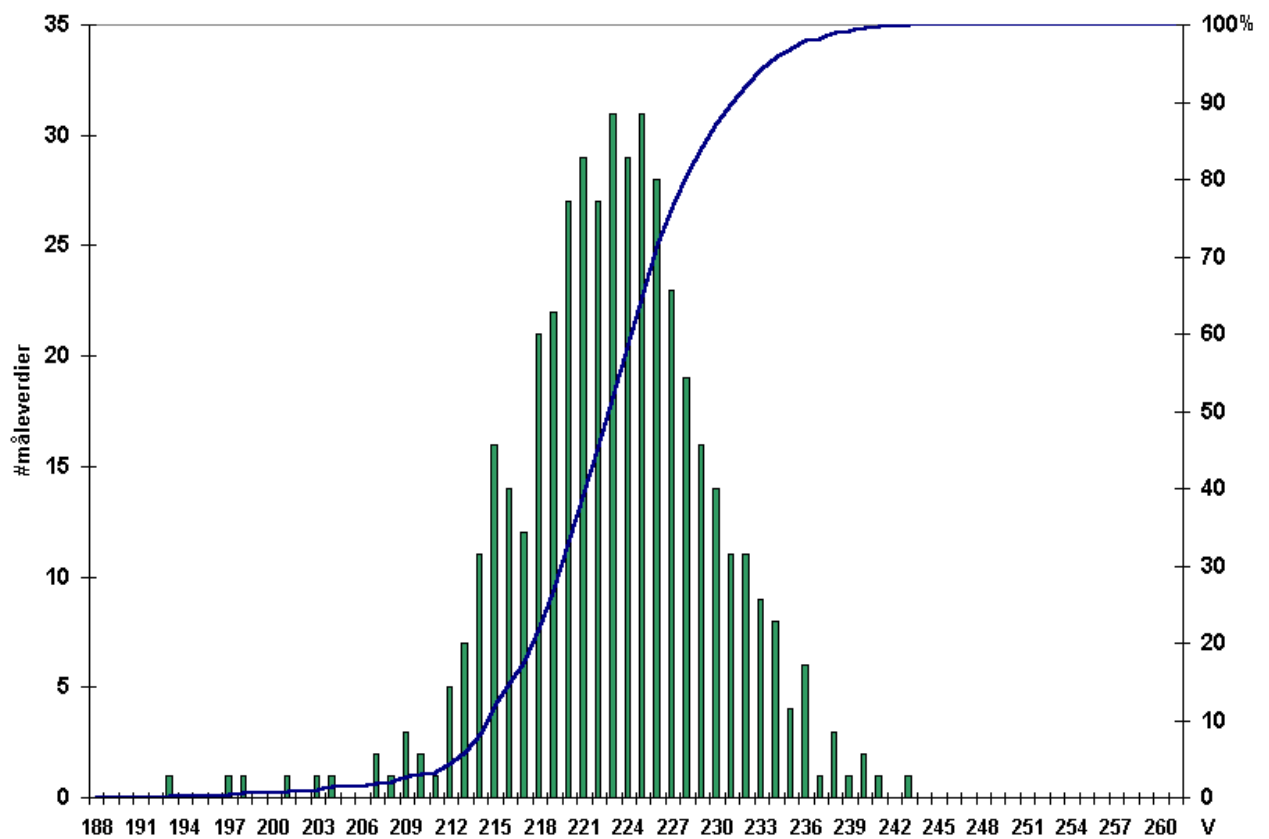
I figur 15 vises fordelingen av den målte gjennomsnittspenning ( $50\%$ ) i alle de analyserte målepunkter i 230 V nettet i perioden 1993 til 2003. I figur 16 til 19 vises tilsvarende  $1\%$ ,  $5\%$ ,  $95\%$  og  $99\%$  verdiene av de målte spenninger. I figur 20 vises tilsvarende fordelingen av den målte gjennomsnittspenning ( $50\%$ ) i alle de analyserte målepunkter unntatt de 39 målepunktene foretatt etter kundeklager der spenningen ble påvist for lav eller høy. I figur 21 til 24 vises tilsvarende  $1\%$ ,  $5\%$ ,  $95\%$  og  $99\%$  verdiene av de målte spenninger uten disse kundeklagemålingene.



Figur 15. Fordelingen av den målte gjennomsnittspenningen i alle de analyserte målepunkter i 230 V nettet i perioden 1993 til 2003.

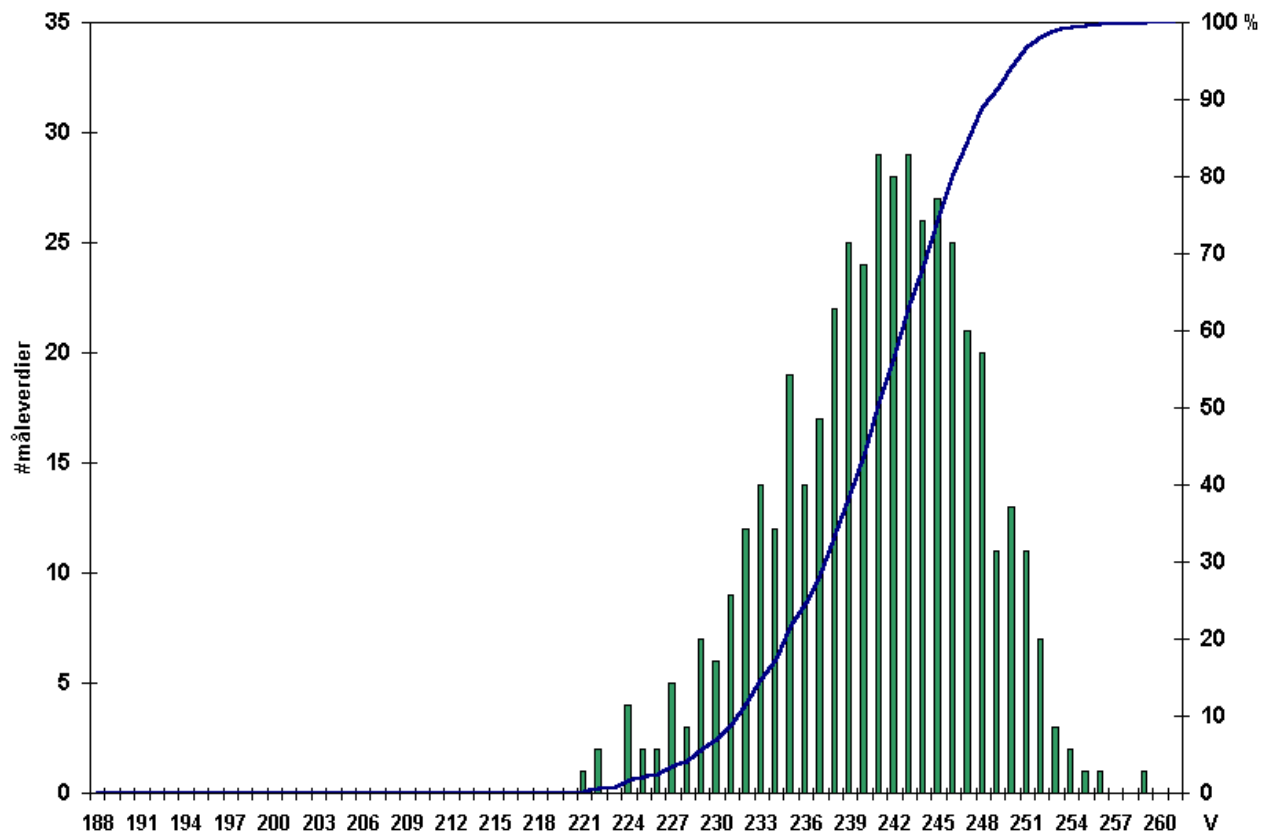


Figur 16. Fordelingen av den 1 % laveste spenningen målt i alle de analyserte målepunkter i 230 V nettet i perioden 1993 til 2003.

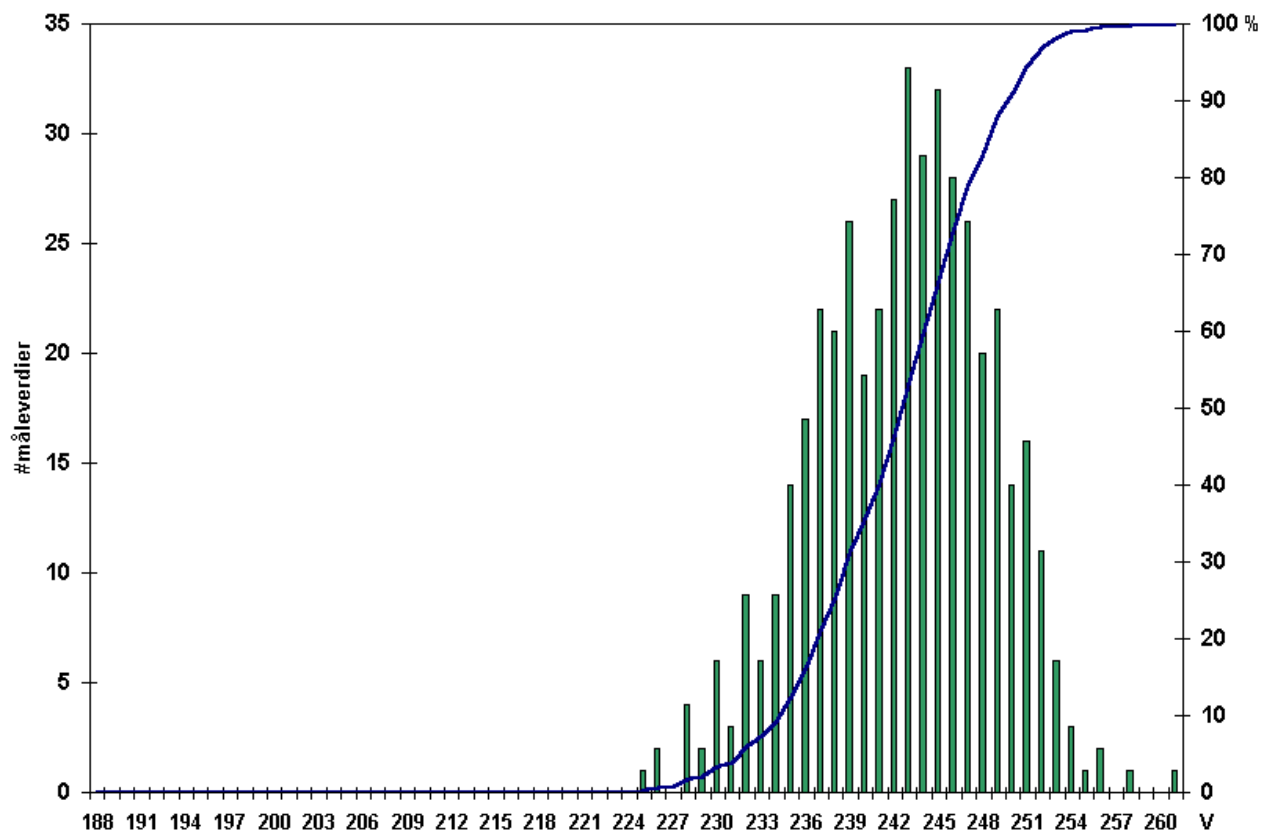


Figur 17. Fordelingen av den 5% laveste spenningen målt i alle de analyserte målepunkter i 230 V nettet i perioden 1993 til 2003.

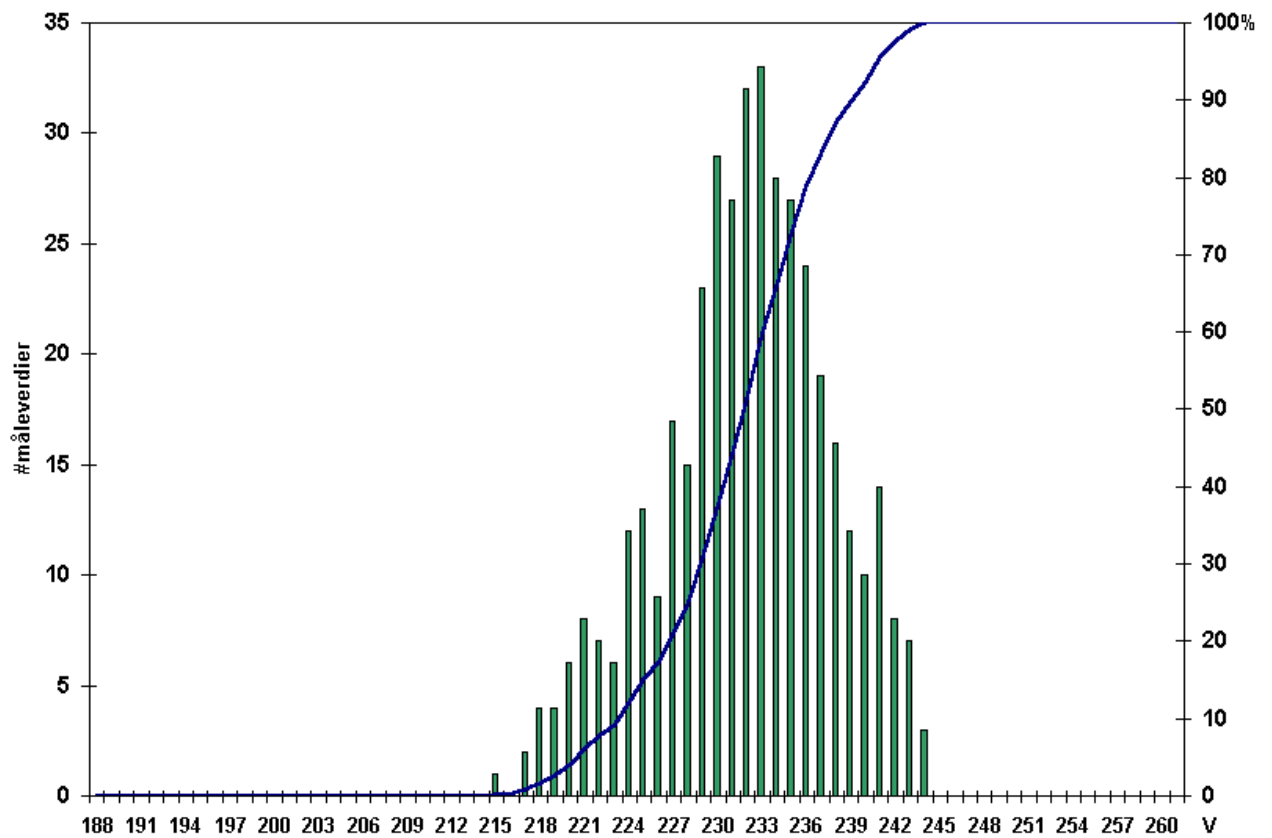




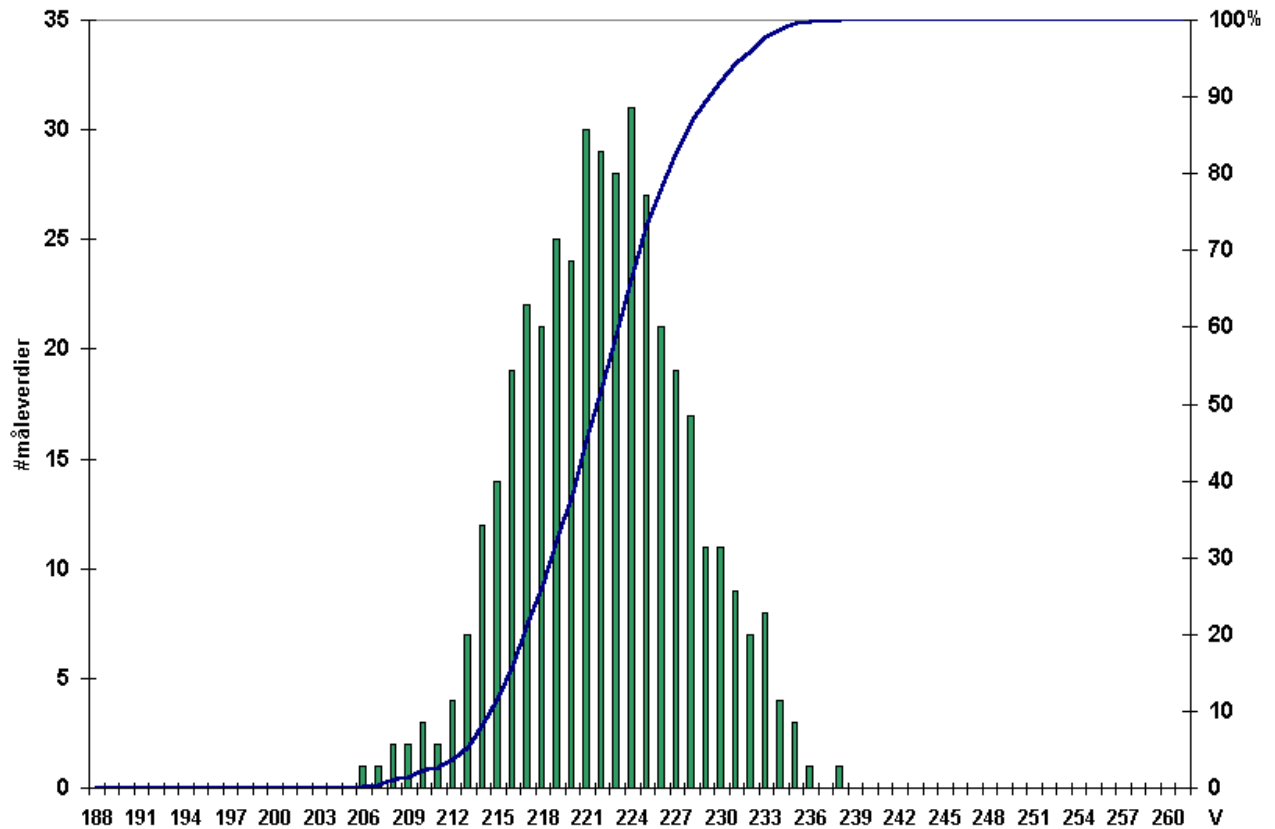
Figur 18. Fordelingen av den 95 % høyeste spenningen målt i alle de analyserte målepunkter i 230 V nettet i perioden 1993 til 2003.



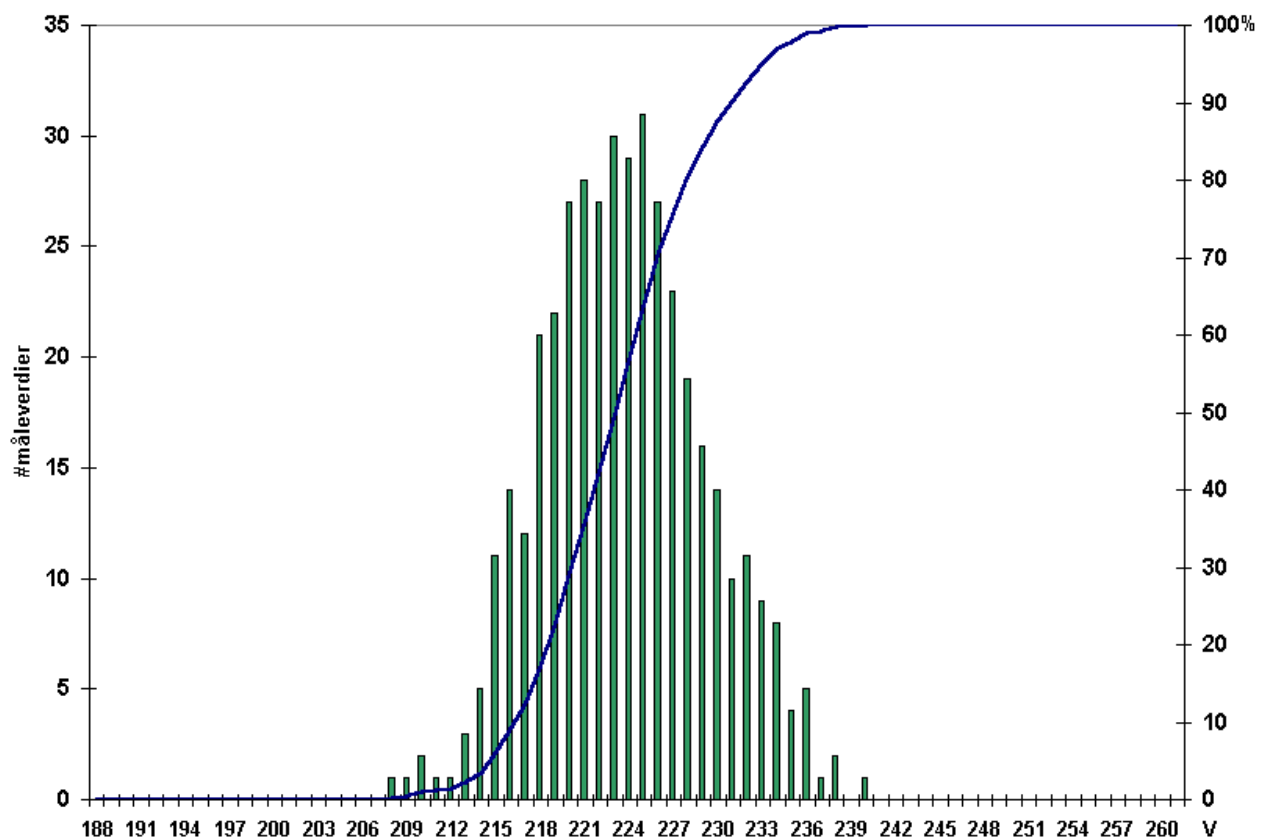
Figur 19. Fordelingen av den 99 % høyeste spenningen målt i alle de analyserte målepunkter i 230 V nettet i perioden 1993 til 2003.



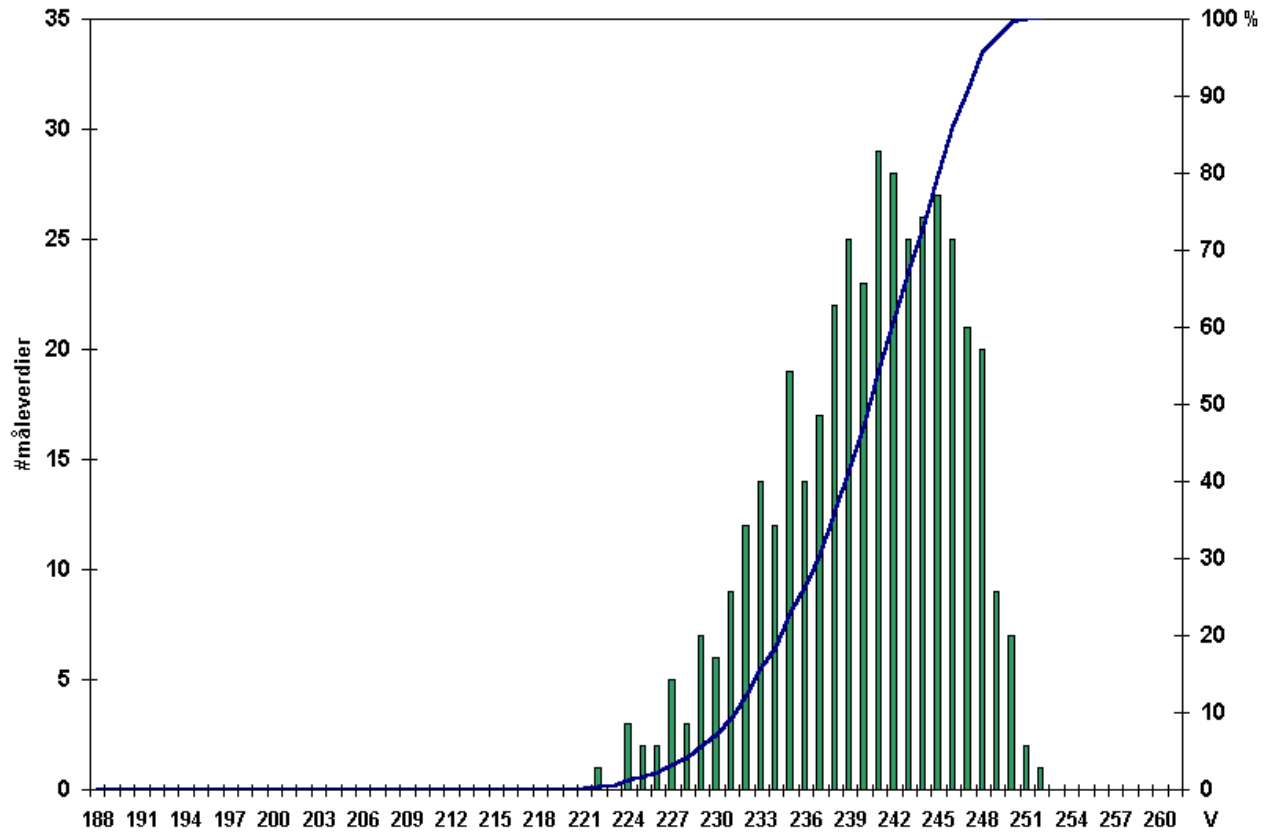
Figur 20. Fordelingen av den målte gjennomsnittsspenningen i alle de analyserte målepunkter i 230 V nettet i perioden 1993 til 2003. Uten 39 kundeklagemålinger



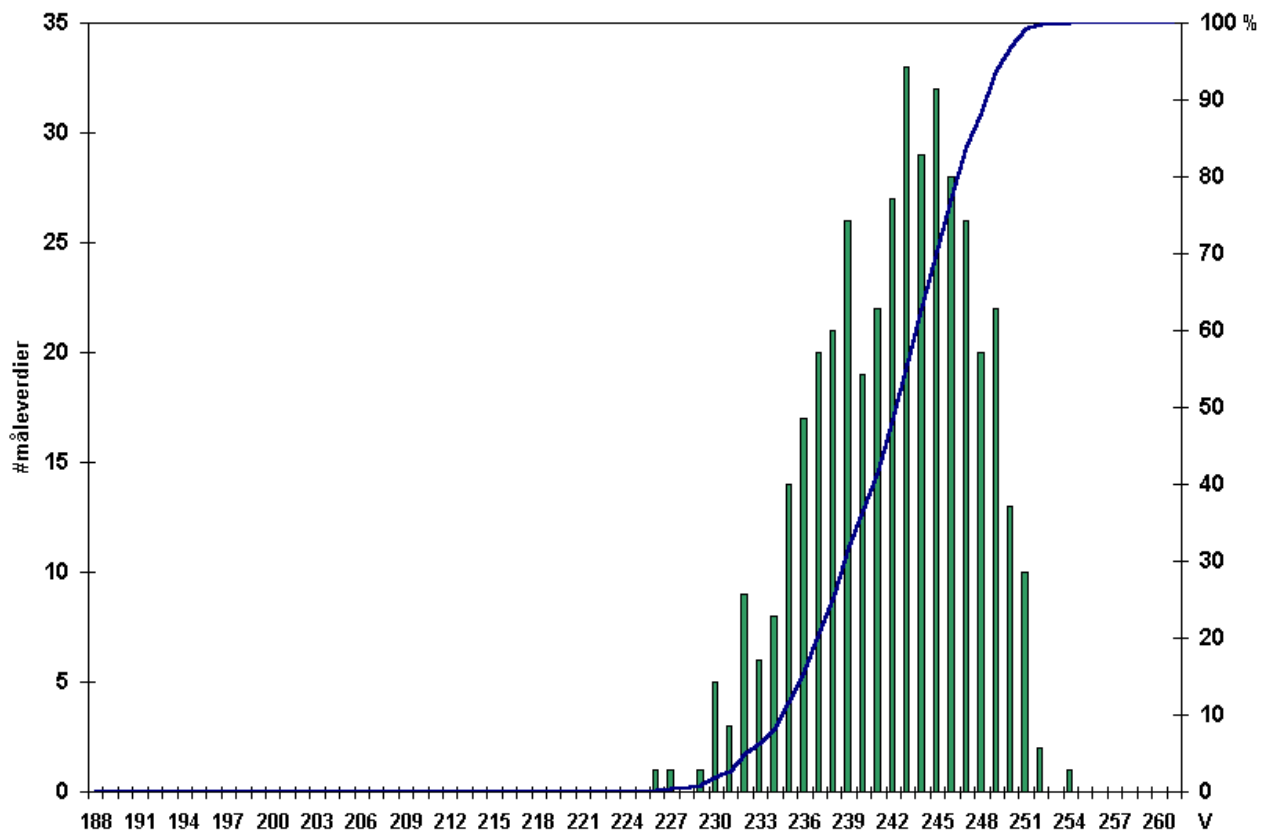
Figur 21. Fordelingen av den 1 % laveste spenningen målt i alle de analyserte målepunkter i 230 V nettet i perioden 1993 til 2003.Uten 39 kundeklagemålinger



Figur 22. Fordelingen av den 5 % laveste spenningen målt i alle de analyserte målepunkter i 230 V nettet i perioden 1993 til 2003.Uten 39 kundeklagemålinger



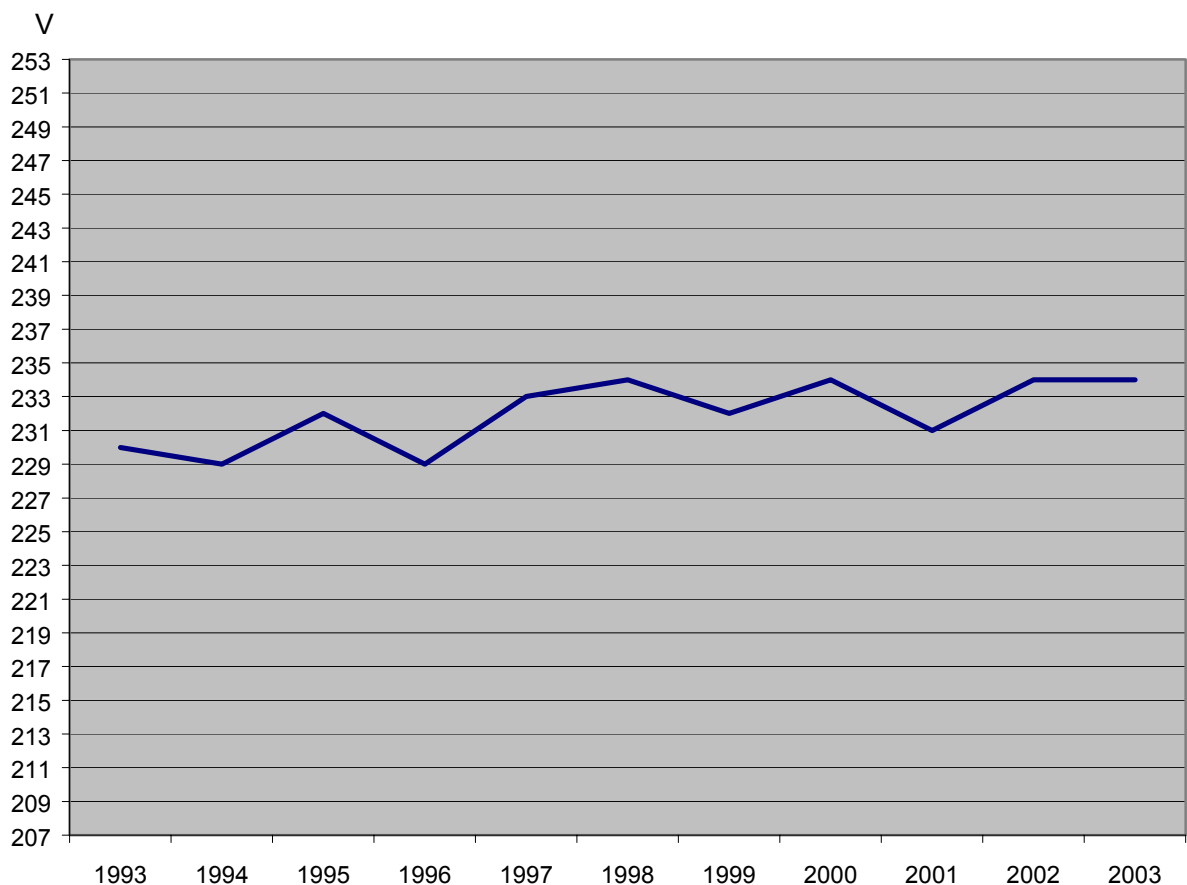
Figur 23. Fordelingen av den 95 % høyeste spenningen målt i alle de analyserte målepunkter i 230 V nettet i perioden 1993 til 2003.Uten 39 kundeklagemålinger



Figur 24. Fordelingen av den 99 % høyeste spenningen målt i alle de analyserte målepunkter i 230 V nettet i perioden 1993 til 2003.Uten 39 kundeklagemålinger

I områder der det ofte forekommer klager fra kundene er det gjerne luftnett og lange avstander mellom kundene samtidig som en eller flere kunder tidvis trekker stor last, om enn kun kortvarig.

En annen årsak til klager fra kunder som opplever problemer med elektriske apparater, har i mange år vært lave spenninger over lengre tidsrom. De siste 10 år har vi imidlertid konstatert at høye spenninger har blitt stadig mer vanlig. Statistikken antyder også en slik endring. Det kan virke som om mange års fokus på lave spenninger som et problem har medført at nettselskapene nå heller legger normalspenningen litt høyere enn idealspenningen 230 V. For levetiden på elektriske apparater er det imidlertid i de fleste tilfeller bedre at spenningen er litt for lav enn litt for høy. I figur 25 vises gjennomsnittlig spenning i alle målepunktene i 230 V nettet år for år fra 1993 til 2003. Det kan se ut som en utvikling mot litt høyere spenninger, men det er en viss usikkerhet i denne statistikken da ikke alle målepunktene er de samme hvert år. I flere av målepunktene er det imidlertid foretatt målinger over flere år, om ikke kontinuerlig så i alle fall i kortere tidsrom på samme tid hvert år. Men de fleste av de mange titalls målepunktene som er med i statistikken det enkelte år er forskjellige fra år til år.



Figur 25. Gjennomsnittlig spenning i alle målepunktene i 230 V nettet år for år fra 1993 til 2003.

## 5.2.2 Ubalanse, usymmetriske spenninger

Ubalanse i spenningen har sjelden blitt rapportert som et problem i Norge når kunder klager på spenningskvaliteten og det har derfor vært begrenset fokus på denne type avvik/forstyrrelser i spenningen. SINTEF Energiforskning kjenner kun til 2 alvorlige problemsaker, begge i fordelingsnettet, og i disse tilfellene var usymmetrien meget stor hhv. inntil 2,8 og 3,6 i nullsystemet

### 5.2.2.1 Spenningsnivå 0,23 kV til 0,69 kV

Det er foretatt analyse av usymmetri i lavspenningsnettet og i tabell 2 vises 1%, 5%, 50%, 95% og 99% verdien av målt ubalanse i lavspenningsnettet. Målingene bekrefter inntrykket av at ubalanse sjelden er et problem i Norge. Normgrensene for ubalanse i fordelingsnettet er gjerne 2%

Tabell 2 Ubalanse i 230 V, 400 V og 690 V nett. Tabellen gjengir gjennomsnittsverdi for alle 1% verdier i målepunktene, gjennomsnittsverdi for alle 5% verdier osv

1%	5%	50%	95%	99%
0,1	0,15	0,4	0,9	1,8

## 5.2.3 Kortvarige underspenninger (dipp/sag)

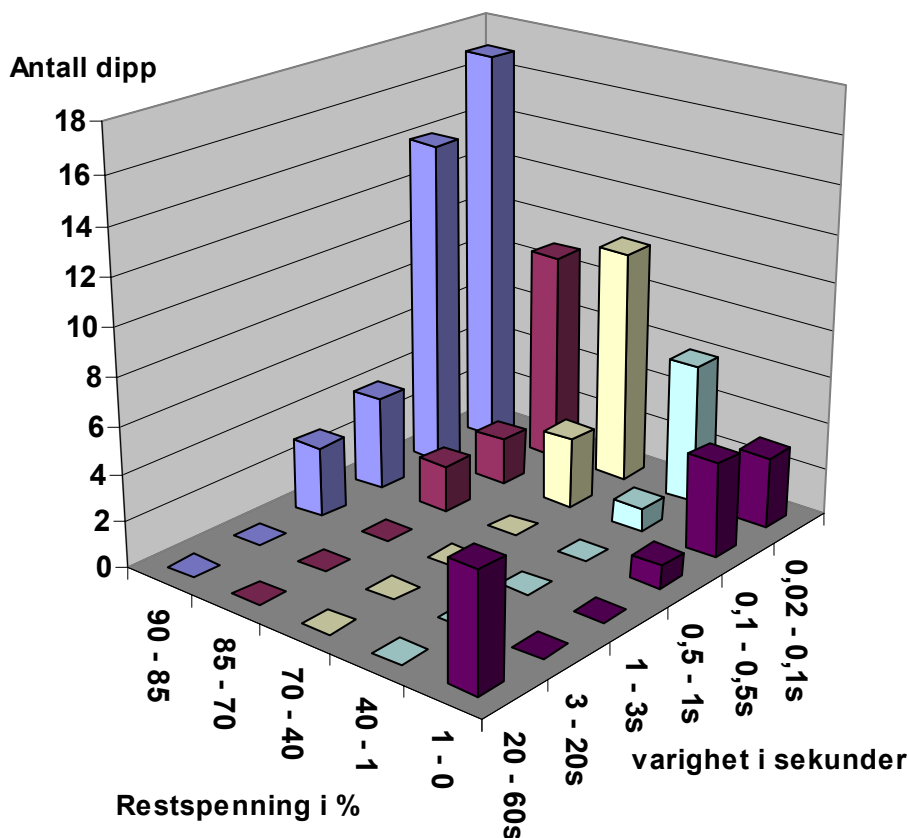
Etter 10 år med måling av spenningsdip begynner datagrunnlaget å bli relativt solid og med så mange målepunkt som i fordelingsnettet kan en forvente å få bra resultater ved å lage statistikk også for 5 % og 95 % verdier og ikke bare gjennomsnittsverdier. For de høyere spenningsnivåene er det imidlertid så begrenset med målepunkter at statistikk over annet enn gjennomsnittsverdier vil være for usikker.

### 5.2.3.1 0,23 kV til 690 kV

Det er i lavspenningsnettet en finner flest spenningsdipp med i gjennomsnitt 71 spenningsdipp i hvert målepunkt hvert år. Dette er et gjennomsnitt for alle målepunkter i 230 V, 400 V og 690 V nett og både kabelnett og luftnett. Ser en imidlertid bort fra de små spenningsdippene der spenningen ikke faller lavere enn til 85% av nominell spenning er det i gjennomsnitt 33 spenningsdipp hvert år. De aller fleste elektriske apparater tåler at spenningen kortvarig faller til 85% og noen tåler en del lavere spenning også. Dette er påvist i mange testforsøk inkludert [8].

I figur 26 vises diagram over gjennomsnittlig antall spenningsdipp for et målepunkt i lavspenningsnettet. I figur 27 vises tilsvarende antall dipp i 5% målepunktet som er det målepunktet med færrest spenningsdipp en står igjen med når en tar bort de 5 % av målepunktene med færrest spenningsdipp pr år. I figur 28 vises antall dipp i 95% målepunktet som er det målepunktet med flest spenningsdipp en står igjen med når en tar bort de 5 % av målepunktene med flest spenningsdipp pr år.

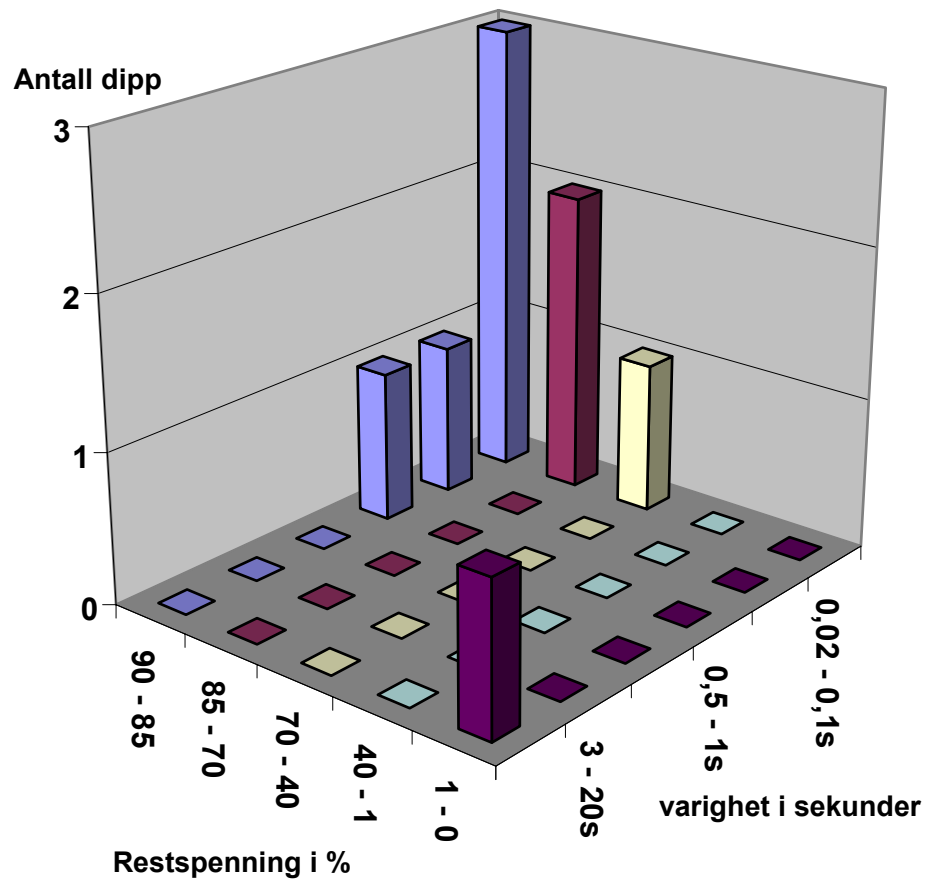
	0,02 - 0,1s	0,1 - 0,5s	0,5 - 1s	1 - 3s	3 - 20s	20 - 60s
90 - 85%	17	14	4	3	0	0
85 - 70%	9	2	2	0	0	0
70 - 40%	10	3	0	0	0	0
40 - 1%	6	1	0	0	0	0
1 - 0%	3	4	1	0	0	5



Figur 26 Gjennomsnittlig antall spenningsdipp pr år i alle målepunkt med 230 V, 400V og 690 V spenningsnivå. De tilhørende eksakte tall vises i tabells form øverst i figuren.

Av figur 26 kan en se at det i det gjennomsnittlige målepunktet inntreffer 5 avbrudd med minst 20 sekunders varighet. Varigheten kan imidlertid være lengre enn 60 sekunder på et eller flere av disse da avbrudd som er lengre enn 60 sekunder også kommer med i denne gruppen ved den benyttede analysemetode.

	0,02 - 0,1s	0,1 - 0,5s	0,5 - 1s	1 - 3s	3 - 20s	20 - 60s
90 - 85%	3	1	1	0	0	0
85 - 70%	2	0	0	0	0	0
70 - 40%	1	0	0	0	0	0
40 - 1%	0	0	0	0	0	0
1 - 0%	0	0	0	0	0	1

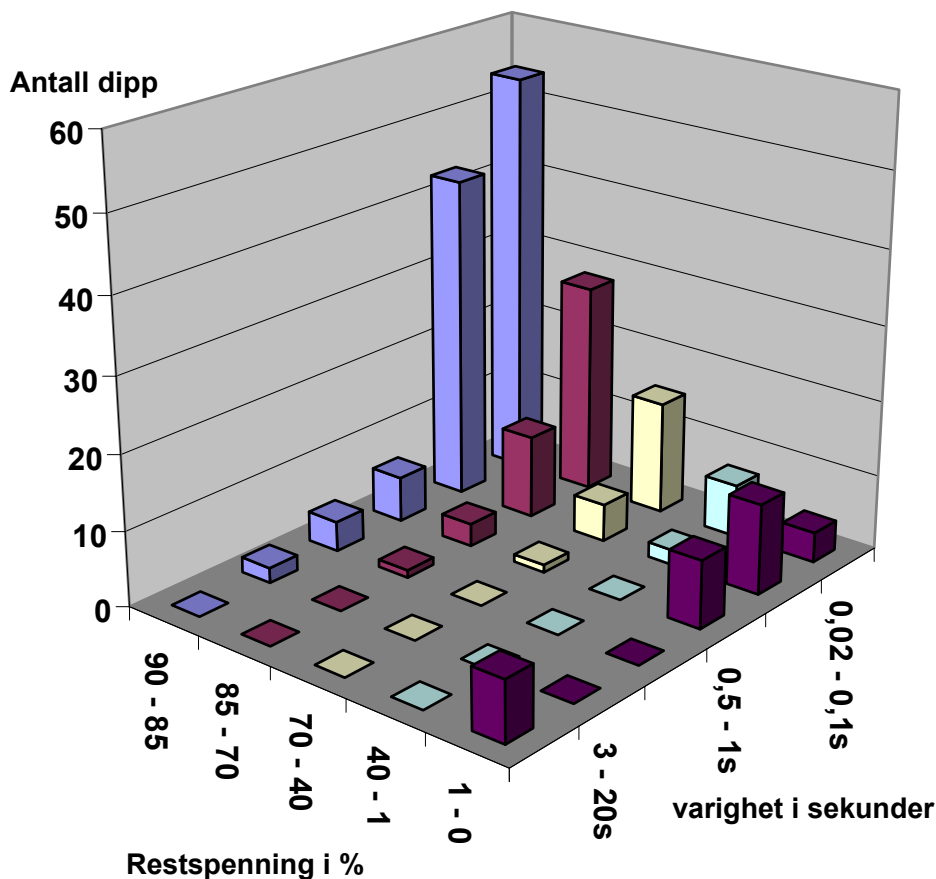


Figur 27

Antall spenningsdipp pr år i 5 % målepunktet i lavspenningsnettet. 5% målepunktet er det målepunktet med færrest spenningsdipp en står igjen med når en tar bort de 5 % av målepunktene med færrest spenningsdipp pr år. De tilhørende eksakte tall vises i tabells form øverst i figuren.



	0,02 - 0,1s	0,1 - 0,5s	0,5 - 1s	1 - 3s	3 - 20s	20 - 60s
90 - 85%	54	43	6	4	2	0
85 - 70%	28	11	3	1	0	0
70 - 40%	15	5	1	0	0	0
40 - 1%	7	2	0	0	0	0
1 - 0%	4	12	9	0	0	8



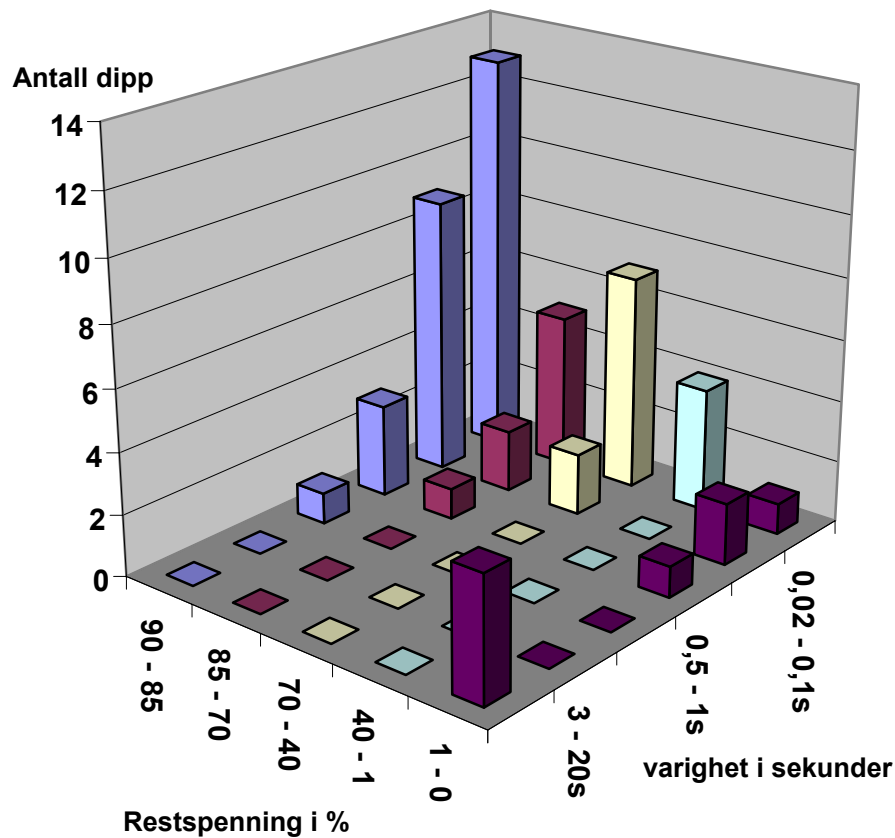
Figur 28 Antall spenningsdipp pr år i 95 % målepunktet i lavspenningsnettet. 95% målepunktet er det målepunktet med flest spenningsdipp en står igjen med når en tar bort de 5 % av målepunktene med flest spenningsdipp pr år. De tilhørende eksakte tall vises i tabells form øverst i figuren.

### 5.2.3.2 1 kV til 35 kV

I høyspennings fordelingsnettet er forekomsten av spenningsdipp litt lavere enn i lavspenningsnettet, men antallet er likevel mer sammenlignbart med lavspenningsnettet enn de høyere spenningsnivåene. I figur 29 vises diagram over gjennomsnittlig antall spenningsdipp for et målepunkt i høyspennings fordelingsnettet. I figur 30 vises tilsvarende antall dipp i 5% målepunktet som er det målepunktet med færrest spenningsdipp en står igjen med når en tar bort de 5 % av målepunktene med færrest spenningsdipp pr år. I figur 31 vises antall dipp i 95%

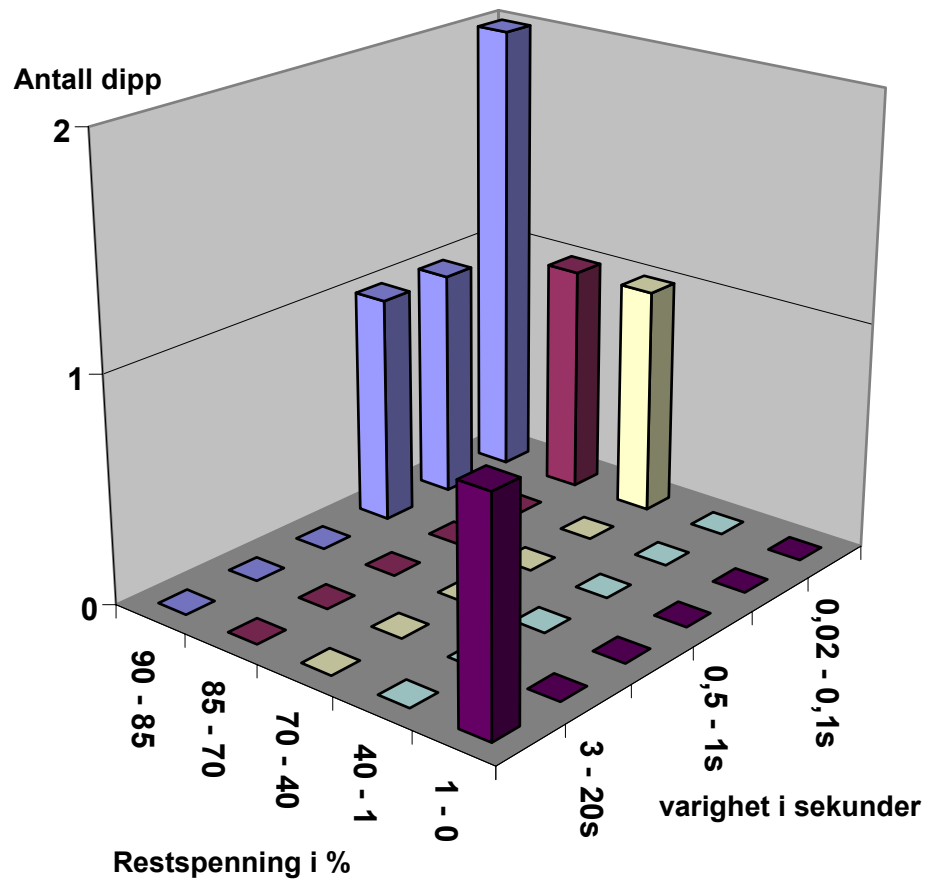
målepunktet som er det målepunktet med flest spenningsdipp en står igjen med når en tar bort de 5 % av målepunktene med flest spenningsdipp pr år.

	0,02 - 0,1s	0,1 - 0,5s	0,5 - 1s	1 - 3s	3 - 20s	20 - 60s
90 - 85%	13	9	3	1	0	0
85 - 70%	5	2	1	0	0	0
70 - 40%	7	2	0	0	0	0
40 - 1%	4	0	0	0	0	0
1 - 0%	1	2	1	0	0	4



Figur 29 Gjennomsnittlig antall spenningsdipp pr år i høyspennings fordelingsnettet. De tilhørende eksakte tall vises i tabells form øverst i figuren.

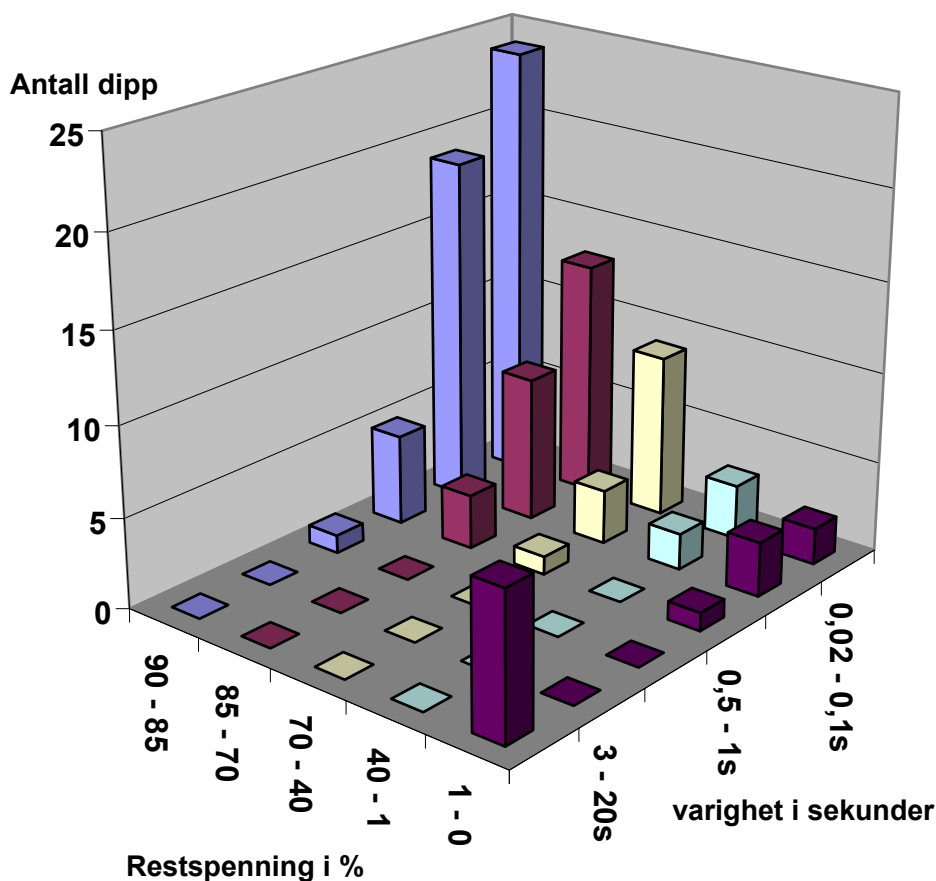
	0,02 - 0,1s	0,1 - 0,5s	0,5 - 1s	1 - 3s	3 - 20s	20 - 60s
90 - 85%	2	1	1	0	0	0
85 - 70%	1	0	0	0	0	0
70 - 40%	1	0	0	0	0	0
40 - 1%	0	0	0	0	0	0
1 - 0%	0	0	0	0	0	1



Figur 30

Antall spenningsdipp pr år i 5 % målepunktet i høyspennings fordelingsnett. 5% målepunktet er det målepunktet med færrest spenningsdipp en står igjen med når en tar bort de 5 % av målepunktene med færrest spenningsdipp pr år. De tilhørende eksakte tall vises i tabells form øverst i figuren.

	0,02 - 0,1s	0,1 - 0,5s	0,5 - 1s	1 - 3s	3 - 20s	20 - 60s
90 - 85%	24	19	5	1	0	0
85 - 70%	13	8	3	0	0	0
70 - 40%	9	3	1	0	0	0
40 - 1%	3	2	0	0	0	0
1 - 0%	2	3	1	0	0	8

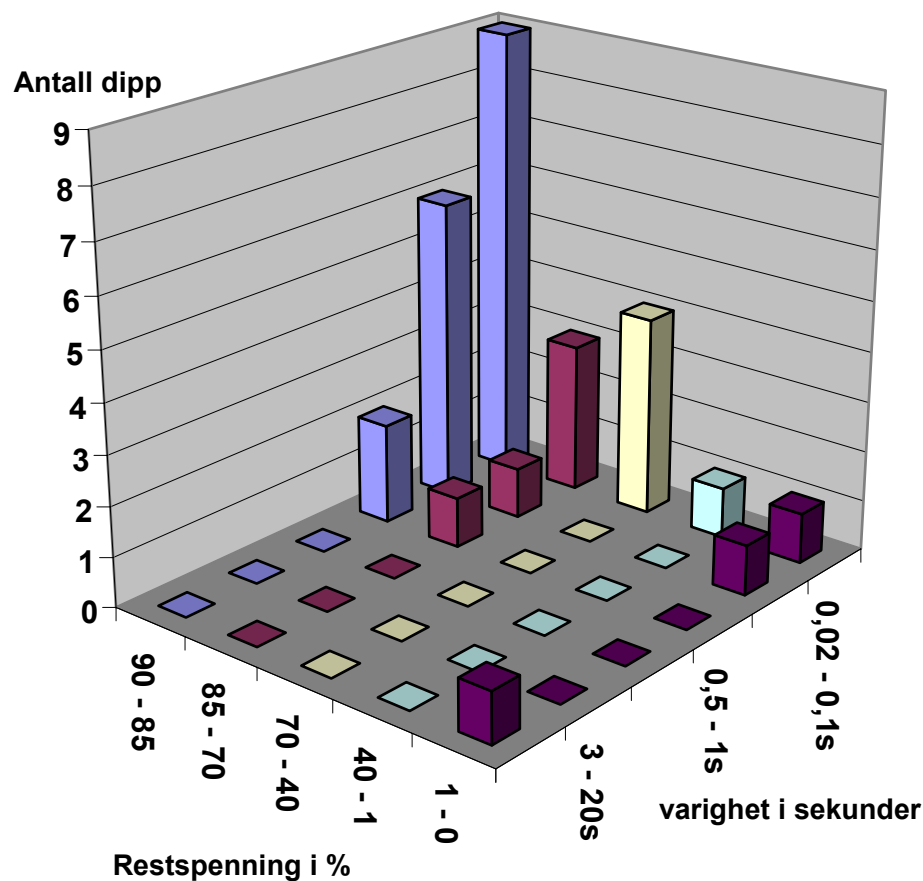


Figur 31 Antall spenningsdipp pr år i 95 % målepunktet i høyspennings fordelingsnettet. 95% målepunktet er det målepunktet med flest spenningsdipp en står igjen med når en tar bort de 5 % av målepunktene med flest spenningsdipp pr år. De tilhørende eksakte tall vises i tabells form øverst i figuren.

### 5.2.3.3 35 kV til 245 kV

På dette spenningsnivået er forekomsten av spenningsdipp vesentlig lavere enn i fordelingsnettet. Dette har blant annet sammenheng med at spenningsdipp som har sin opprinnelse i fordelingsnettet ikke i betydelig grad overføres til overliggende nett, mens spenningsdipp som har sin opprinnelse på de høyeste spenningsnivå overføres til de lavere spenningsnivå. Det har også sammenheng med dimensjonering av nettet på de ulike nettnivå, spenningstoleranser mm. I figur 32 vises diagram over gjennomsnittlig antall spenningsdipp for et målepunkt med spenningsnivå 35 kV til 245 kV.

	0,02 - 0,1s	0,1 - 0,5s	0,5 - 1s	1 - 3s	3 - 20s	20 - 60s
90 - 85%	9	6	2	0	0	0
85 - 70%	3	1	1	0	0	0
70 - 40%	4	0	0	0	0	0
40 - 1%	1	0	0	0	0	0
1 - 0%	1	1	0	0	0	1

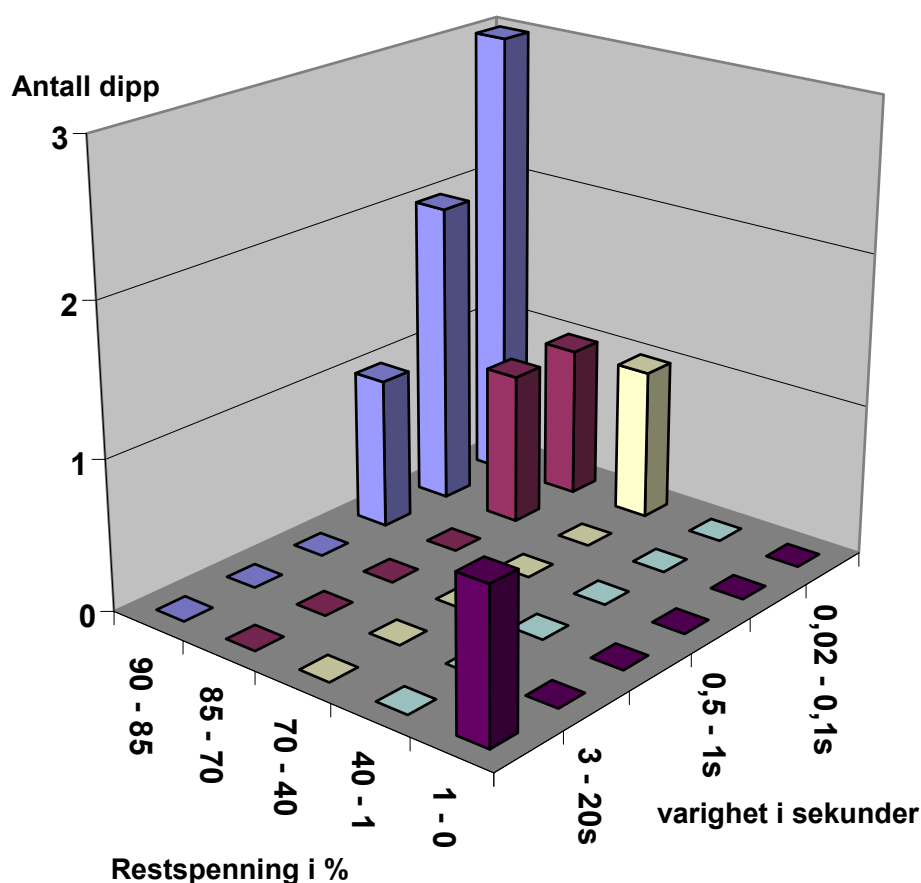


Figur 32 Gjennomsnittlig antall spenningsdipp pr år for målepunkt med spenningsnivå 35 kV til 245 kV. De tilhørende eksakte tall vises i tabells form øverst i figuren.

#### 5.2.3.4 245 kV og over

På dette spenningsnivået er forekomsten av spenningsdipp enda lavere enn i 35 kV til 245 kV nett. I figur 33 vises diagram over gjennomsnittlig antall spenningsdipp for et målepunkt med spenningsnivå 245 kV og over.

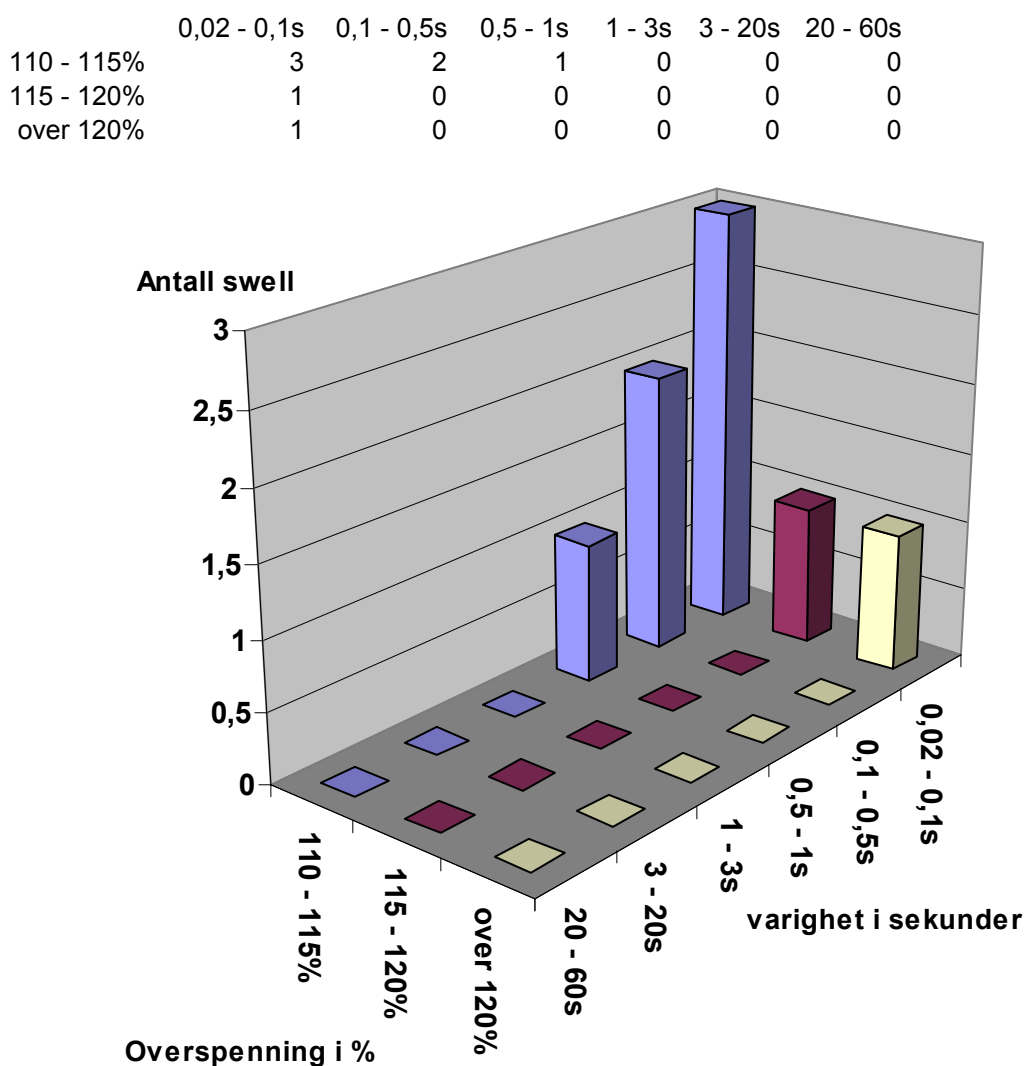
	0,02 - 0,1s	0,1 - 0,5s	0,5 - 1s	1 - 3s	3 - 20s	20 - 60s
90 - 85%	3	2	1	0	0	0
85 - 70%	1	1	0	0	0	0
70 - 40%	1	0	0	0	0	0
40 - 1%	0	0	0	0	0	0
1 - 0%	0	0	0	0	0	1



Figur 33 Gjennomsnittlig antall spenningsdipp pr år for målepunkt med spenningsnivå 245 kV og over. De tilhørende eksakte tall vises i tabells form øverst i figuren.

#### 5.2.4 Kortvarige overspenninger (swell)

Kortvarige kraftfrekvente overspenninger i linjespenningen er vanligst i lavspenningsnettet. Der forekommer det i snitt nesten en overspenning for 10 eller 11 spenningsdipp. Statistikk for er bare generert for lavspenningsnettet. Gjennomsnittlig antall kortvarige overspenninger (swell) er vist i figur 34. De alvorligste overspenningen er de med størst spenningsavvik og lengst varighet som ville vise seg i det ”nederste” hjørnet av diagrammet.



Figur 34 Gjennomsnittlig antall kortvarige overspenninger (swell) pr år for målepunkt i lavspenningsnettet. De tilhørende eksakte tall vises i tabells form øverst i figuren.

### 5.2.5 Spenningsfluktuasjoner (flimmer)

Lysflimmer har historisk sett ikke vært et betydelig problem i Norge. Det har vært noen lokale problem i forbindelse med lysbueovnen i Mo i Rana, men selv der er det først de siste drøye 10 årene problemet har blitt ekstra synlig. Det har også dukket opp flere andre problemsaker med flimmer de siste få årene. Alt fra sveiseutstyr i industrien til lysdimmere som reagerer på moderate forstyrrelser fra minikraftverk har kommet for dagen. Fra oppstarten av den norske spenningskvalitetsdatabasen hadde vi ikke måleinstrumenter som kunne måle flimmer/spenningsfluktuasjoner. De senere årene har vi skaffet noen slike instrumenter/målinger, men det har ikke vært nok til at vi kan generere statistikk for andre spenningsnivå enn 230 V til 690 V (lavspenningsnett).

Flimmer forårsakes av varierende effektivverdi i spenningen der variasjonene gjerne har en frekvens fra noen tidels Hz til 25 Hz. I Norge er det i noen tilfeller avdekket at spenningen kan variere med opp i 20 til 30 V innenfor brøkdelen av et sekund når de flimmergenererende belastningene i området er mest urolig (har størst variasjon i lasten). Slike betydelige spenningsvariasjoner må tas meget alvorlig selv om det er kortvarige/hurtige variasjoner. Det er for eksempel særlig ugunstig om nettselskap i områder med mye flimmer velger å legge en høy spenning frem til enkelte kunder.

Slik flere internasjonale normer i dag anbefaler måling av langtidsvariasjonene i spenningen (spenningens "stasjonærverdi") vil ikke hurtige spenningsvariasjoner bli fanget opp. Måling av spenningens langtidsvariasjoner som 10 minutts gjennomsnittsverdier kan eksempelvis vise en spenning til en kunde som varierer mellom 239 V og 252 V i løpet av en uke. Flimerverdiene Pst og Plt kan eksempelvis på det meste være hhv 1 og 0,85. Alle disse kvalitetsverdiene ville kanskje kunne vurderes som tilfredstillende, selv om kunden faktisk opplever at spenninger i noen få 50 Hz perioder av gangen kan være oppe i 270 til 280 V. Ved slike spenninger vil en del elektriske apparater gå i stykker. Høy spenning ut til kunder (+6 til +10 %) er ingen god kombinasjon med høye flimerverdier.

Tabell 3 (Pst) og 4 (Plt) viser vises 1%, 5%, 50%, 95% og 99% verdien av målt flimerverdi i lavspenningsnettet. Anbefalt grenseverdi i EN50160 er Plt mindre enn 1.

Tabell 3 Flimmer (Pst) i 230 V, 400 V og 690 V nett. Tabellen gjengir gjennomsnittsverdi for alle 5% verdier i målepunktene, gjennomsnittsverdi for alle 50% verdier osv

5%	50%	95%
0,11	0,39	0,58

Tabell 4 Flimmer (Plt) i 230 V, 400 V og 690 V nett. Tabellen gjengir gjennomsnittsverdi for alle 5% verdier i målepunktene, gjennomsnittsverdi for alle 50% verdier osv

5%	50%	95%
0,10	0,35	0,51

## 5.3 SPENNINGENS KURVEFORM

### 5.3.1 Overharmoniske spenninger

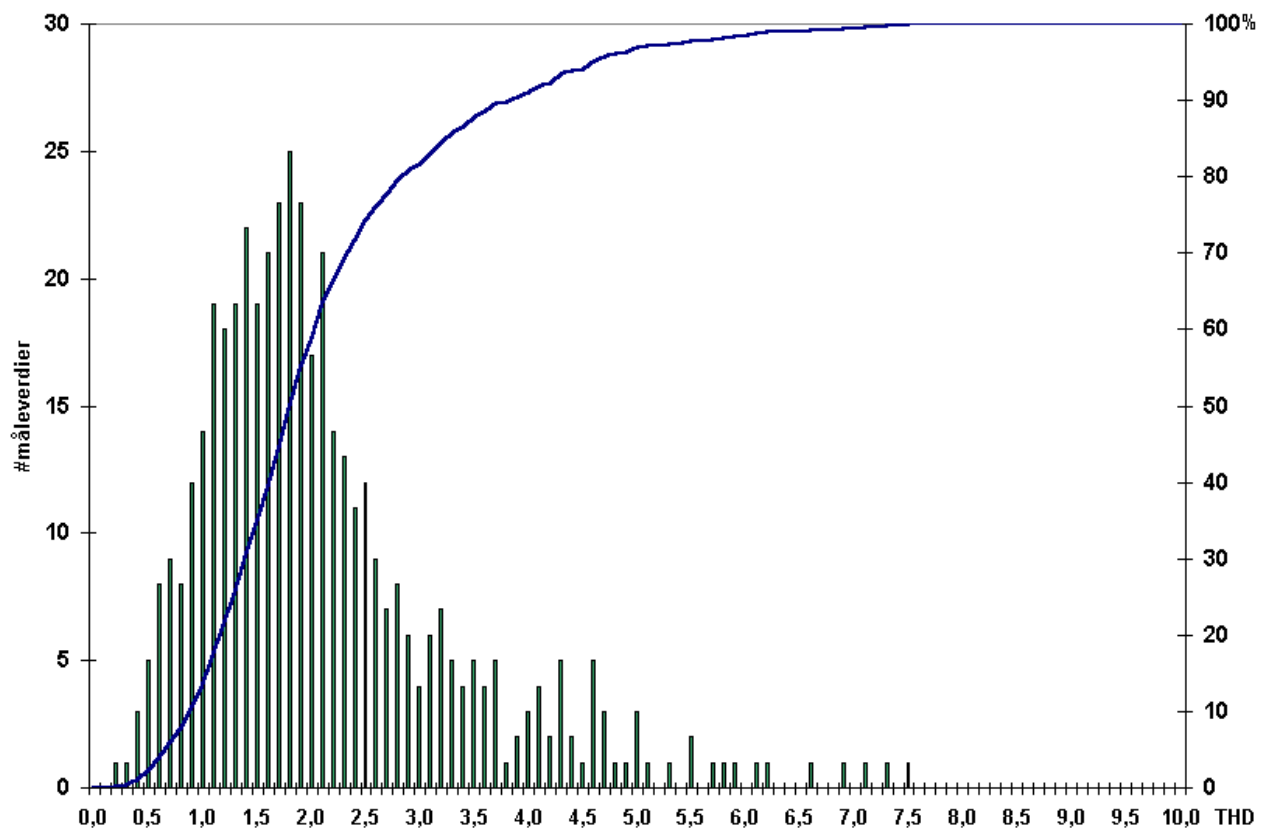
Nivået av overharmoniske spenninger i det norske kraftnettet er relativt lavt i forhold til de fleste andre land. Dette skyldes først og fremst at vi i Norge har en høy andel ohmsk last (lineær last) da vi bruker mye elektrisk energi til oppvarmingsformål. Dette kan man blant annet også se ved at nivået av overharmoniske spenninger er litt lavere om vinteren enn om sommeren. I enkelte nett kan faktisk verdiene være nesten dobbelt så store deler av sommeren i forhold til verdiene om vinteren.



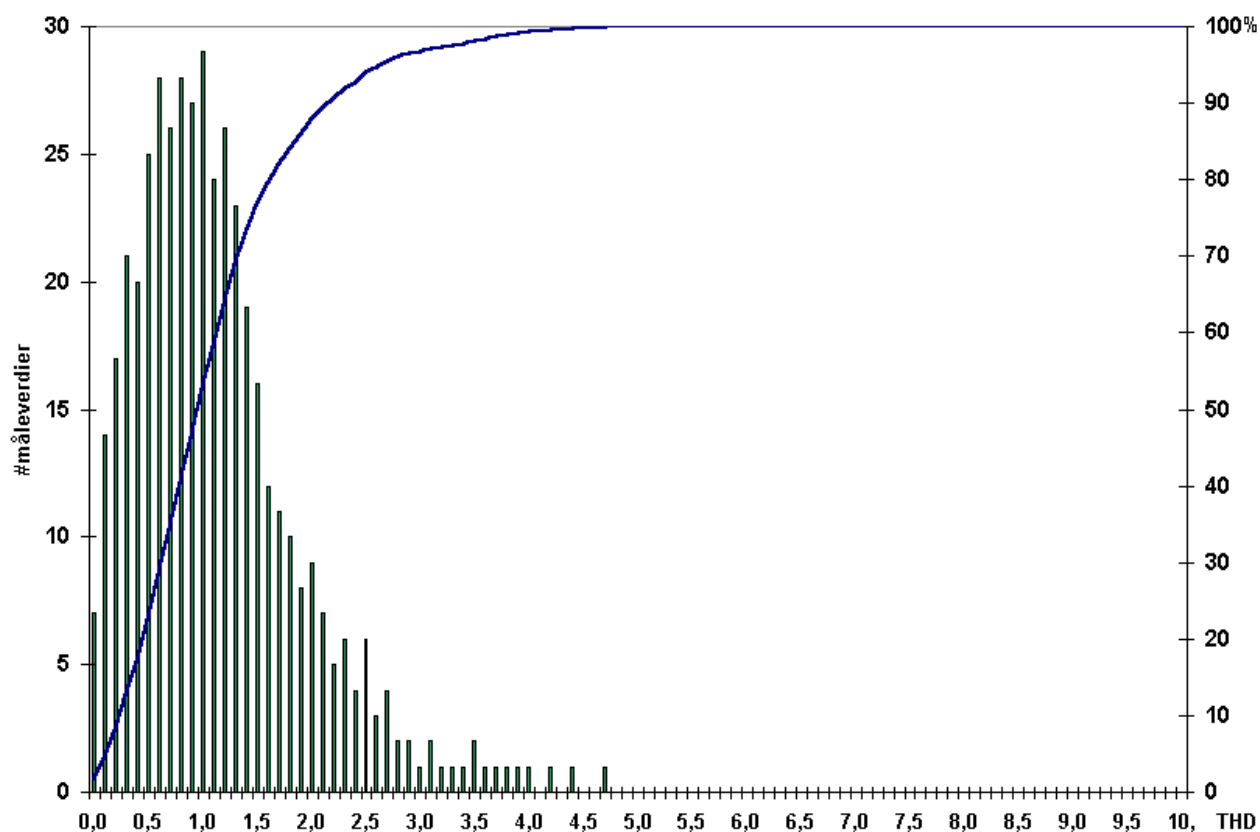
### 5.3.1.1 Spenningsnivå 0,23 kV til 0,69 kV

Det er i lavspenningsnettet vi gjennomsnittlig finner de høyeste verdiene av overharmoniske spenninger, men selv her er verdiene relativt lave med noen få unntak. I figur 35 vises fordelingen av den målte gjennomsnittsverdi (50%) for Total harmonisk forvrengning (THD) i alle de analyserte målepunkter i 230 V, 400 V og 690 V nettet i perioden 1993 til 2003. I figur 36 til 39 vises tilsvarende 1%, 5%, 95% og 99% verdiene av de målte spenninger.

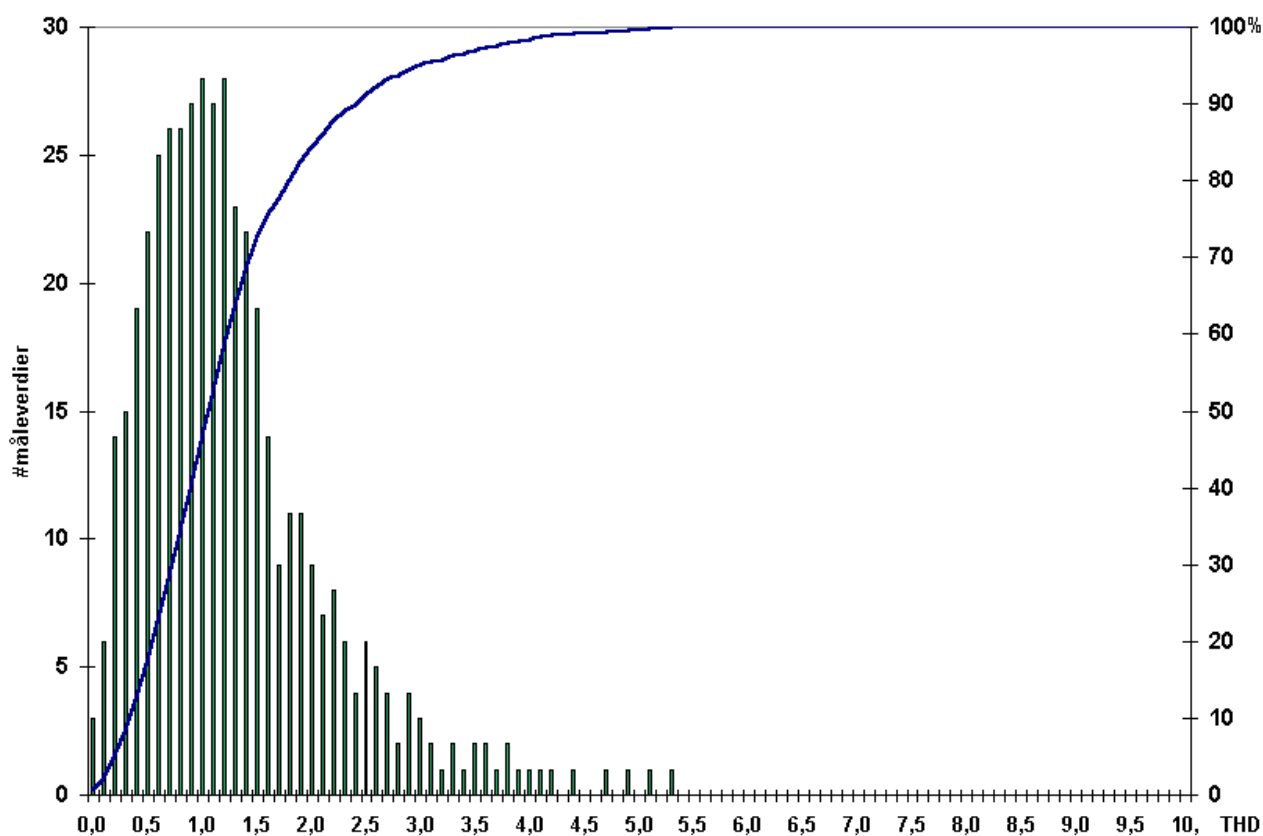
I figur 40 vises variasjonen/utviklingen av gjennomsnittsverdien av THD i det norske lavspenningsnettet i perioden 1993 til 2003. Målingene antyder en svak økning av nivået av overharmoniske spenninger, men gjennomsnittsnivået er fremdeles relativt lavt ved utgangen av 2003. Økningen som registreres skyldes sannsynligvis økt bruk av ulineære belastninger hos nettkundene (både næringsliv/industri og husholdning), men kan også til dels skyldes en periodevis noe redusert kortslutningsytelse og sterkere utnyttelse av nettet mht effekt.



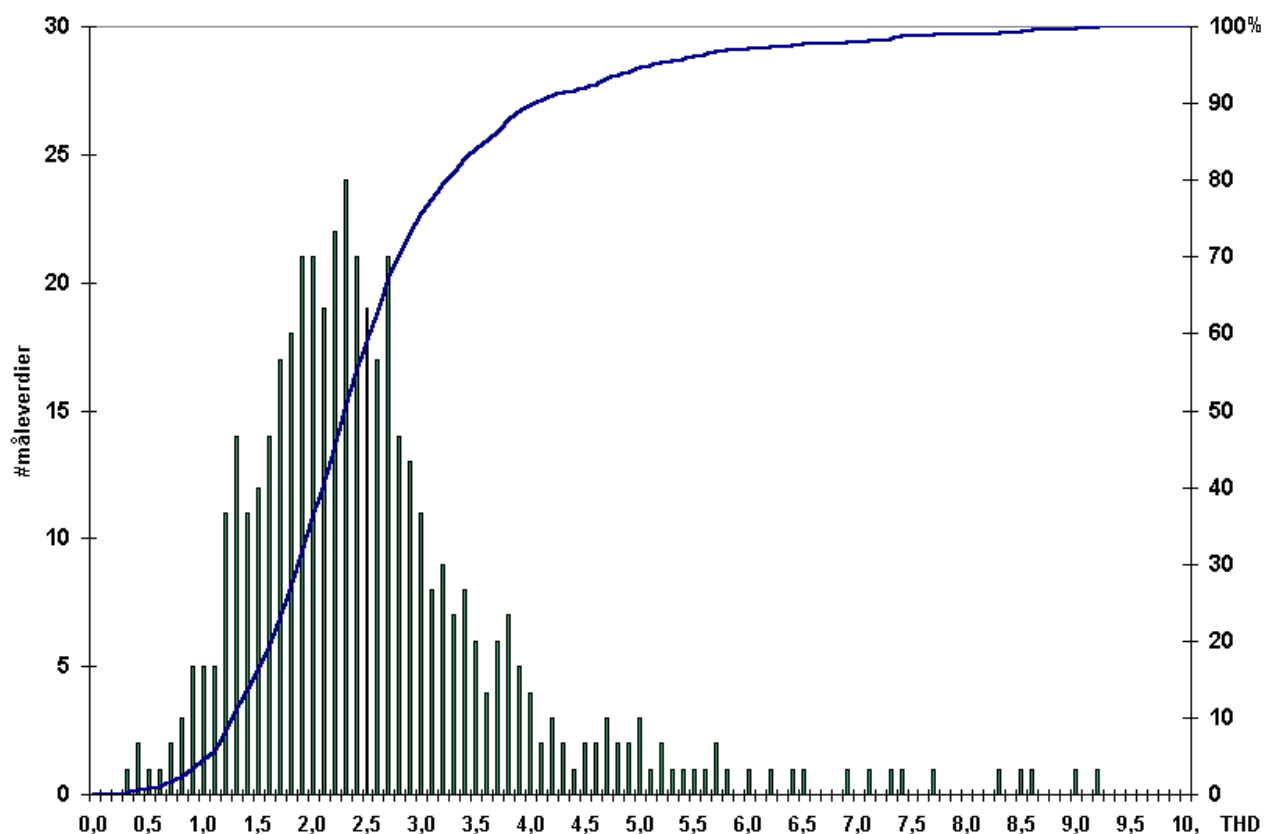
Figur 35. Fordelingen av de målte gjennomsnittsverdier av THD i spenningen i alle de analyserte målepunkter i 230 V, 400 V og 690 V nett i perioden 1993 til 2003.



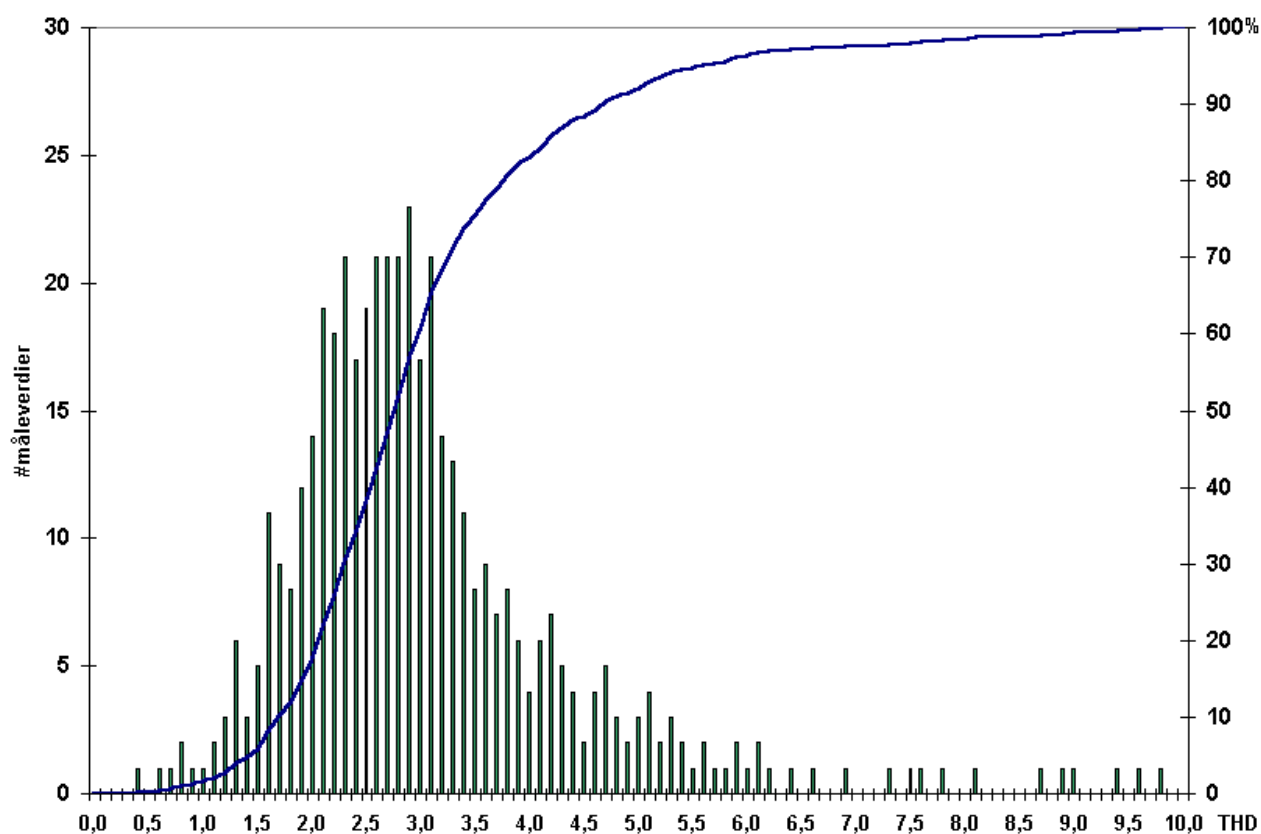
Figur 36. Fordelingen av den 1 % laveste verdien av THD i spenningen målt i alle de analyserte målepunkter i 230 V, 400 V og 690 V nett i perioden 1993 til 2003.



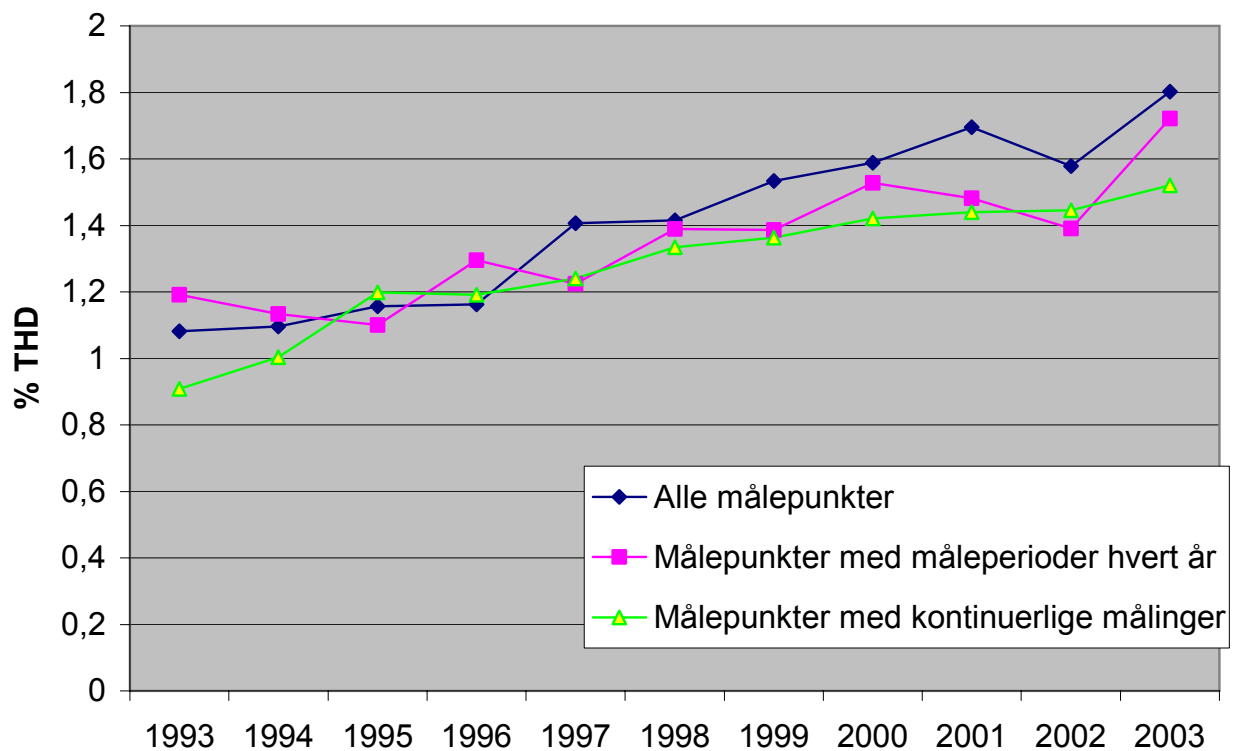
Figur 37. Fordelingen av den 5 % laveste verdien av THD i spenningen målt i alle de analyserte målepunkter i 230 V, 400 V og 690 V nett i perioden 1993 til 2003.



Figur 38. Fordelingen av den 95 % høyeste verdien av THD i spenningen målt i alle de analyserte målepunkter i 230 V, 400 V og 690 V nett i perioden 1993 til 2003.



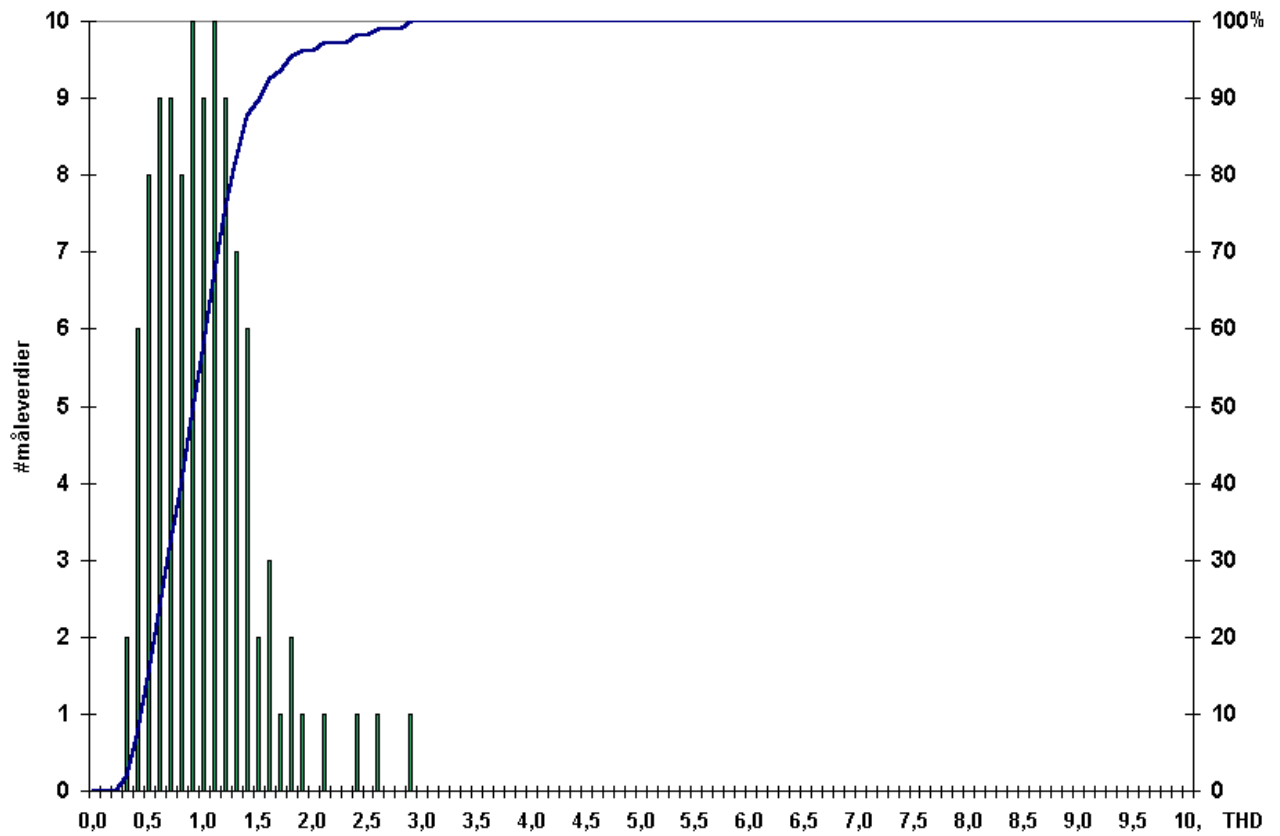
Figur 39. Fordelingen av den 99 % høyeste verdien av THD i spenningen målt i alle de analyserte målepunkter i 230 V, 400 V og 690 V nett i perioden 1993 til 2003.



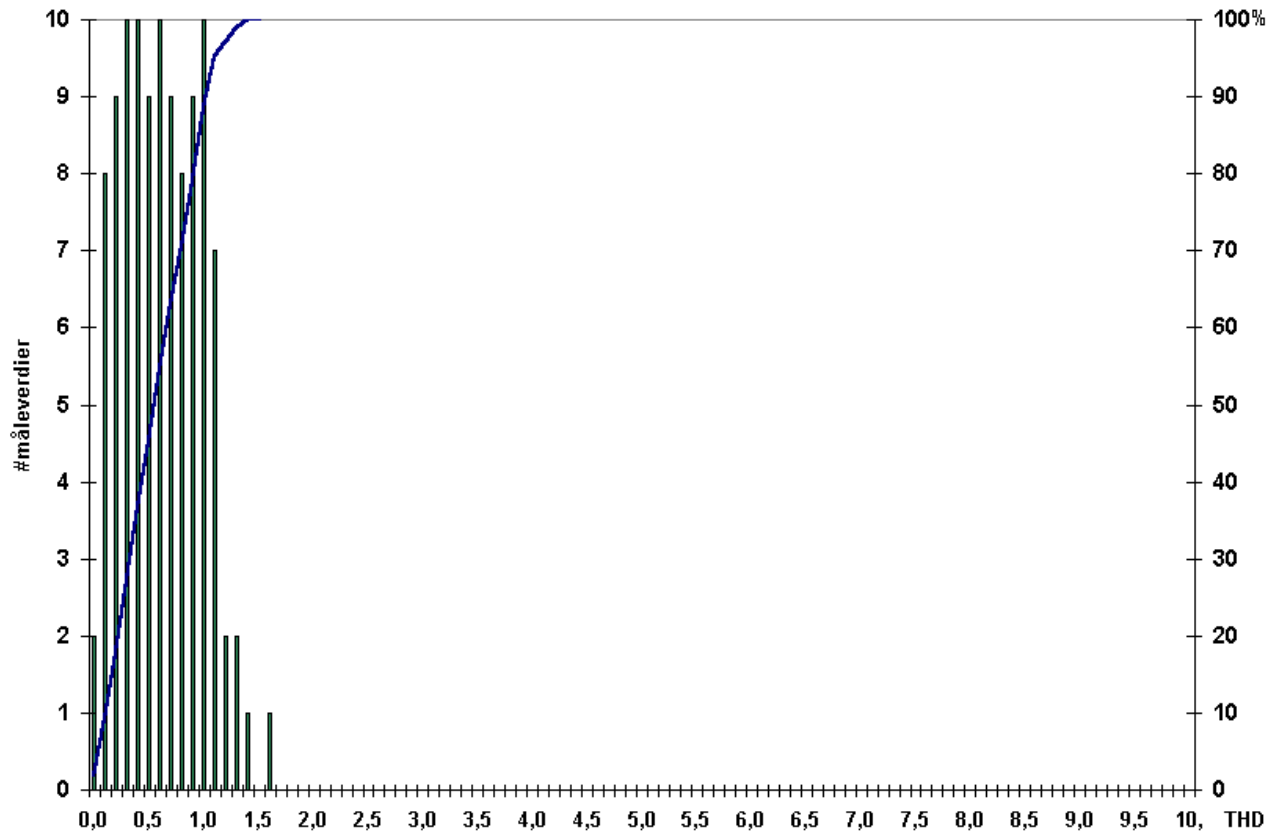
Figur 40 Utviklingen i Total harmonisk forvrenging (THD) i spenningen i fordelingsnettet fra 1993 til 2003.

### 5.3.1.2 Spenningsnivå 1 kV til 35 kV

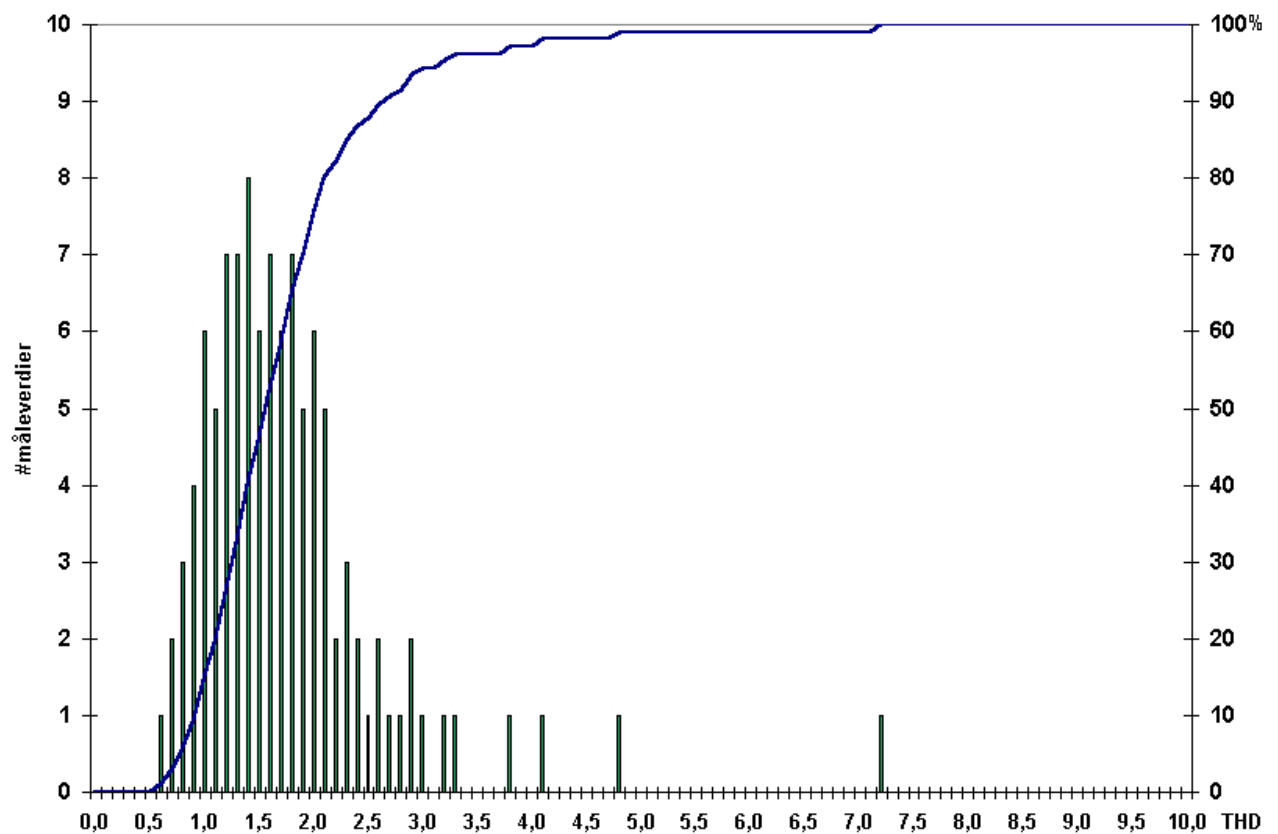
I høyspennings fordelingsnettet konstateres det også et visst nivå av overharmoniske spenninger, men det er lavere enn i lavspenningsnettet. I figur 41 vises fordelingen av den målte gjennomsnittsverdi (50%) for Total harmonisk forvrengning (THD) i alle de analyserte målepunkter i høyspennings fordelingsnettet i perioden 1993 til 2003. I figur 42 til 43 vises tilsvarende 5% og 95% verdiene av de målte spenninger.



Figur 41. Fordelingen av de målte gjennomsnittsverdier av THD i spenningen i alle de analyserte målepunkter i 1 kV til 35 V nett i perioden 1993 til 2003.



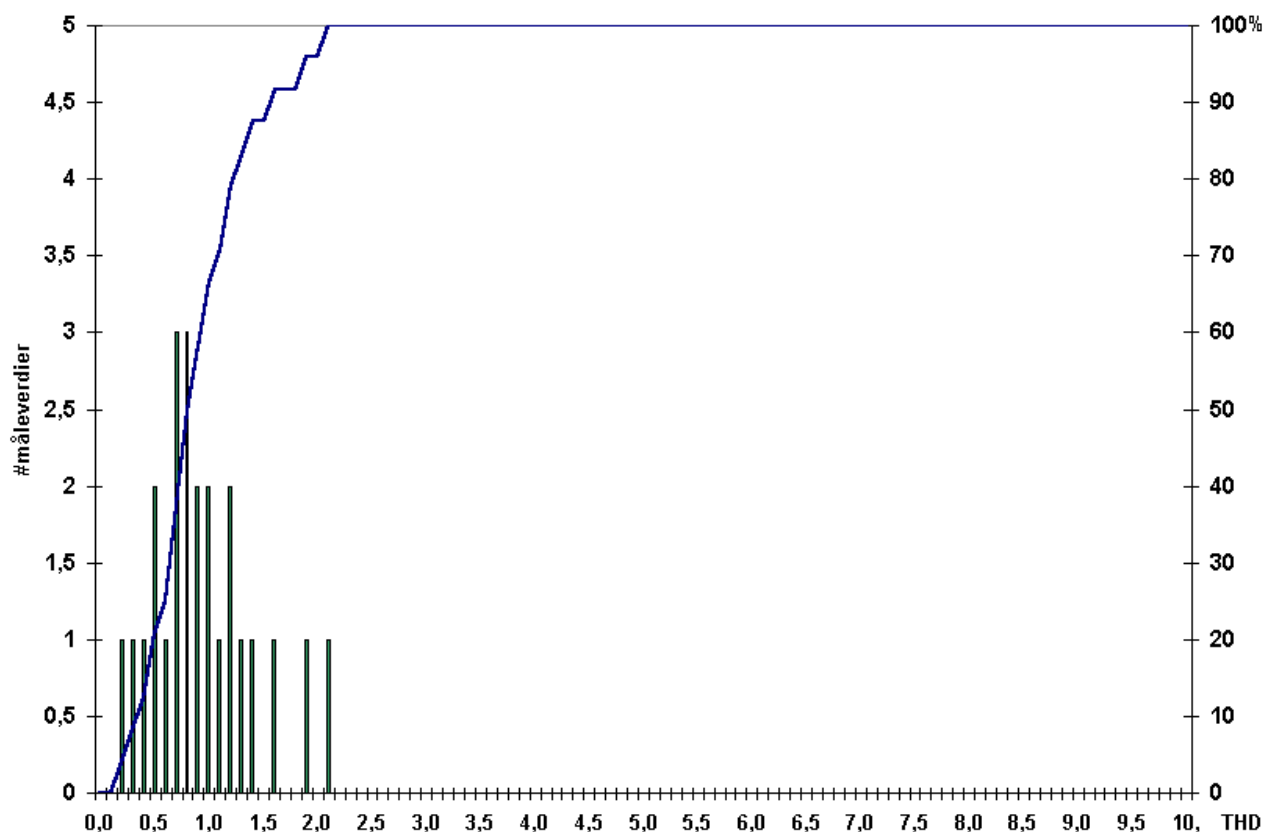
Figur 42. Fordelingen av den 5 % laveste verdien av THD i spenningen målt i alle de analyserte målepunkter i 1 kV til 35 V nett i perioden 1993 til 2003.



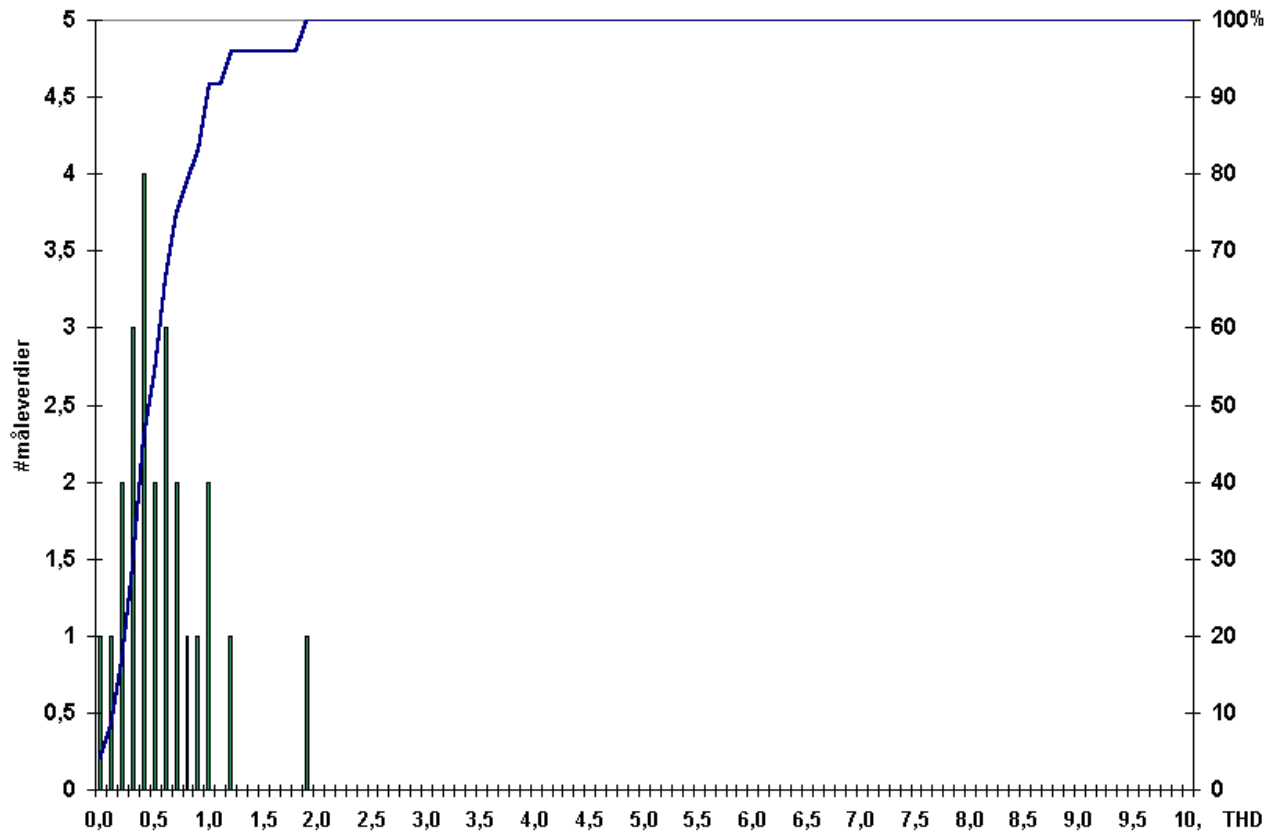
Figur 43. Fordelingen av den 95 % høyeste verdien av THD i spenningen målt i alle de analyserte målepunkter i 1 kV til 35 V nett i perioden 1993 til 2003.

### 5.3.1.3 Spenningsnivå 35 kV til 245 kV

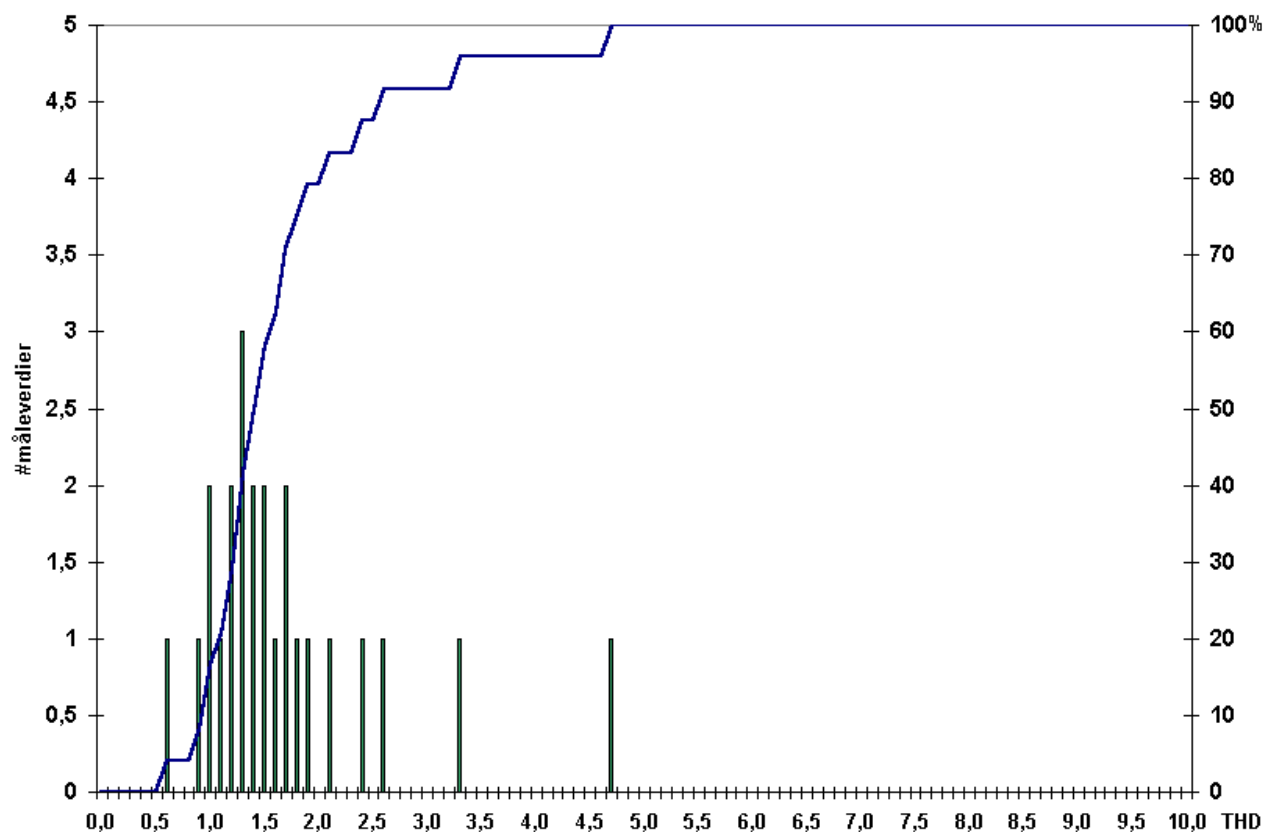
I nett med spenning mellom 35 kV og 245 kV er gjennomsnittsnivået av overharmoniske spenninger lavt, men verdiene kan være til dels store i kortere perioder. I figur 44 vises fordelingen av den målte gjennomsnittsverdi (50%) for Total harmonisk forvrengning (THD) i alle de analyserte målepunkter i perioden 1993 til 2003. I figur 45 til 46 vises tilsvarende 5% og 95% verdiene av de målte spenninger.



Figur 44. Fordelingen av de målte gjennomsnittsverdier av THD i spenningen i alle de analyserte målepunkter i 35 kV til 245 kV nett i perioden 1993 til 2003.



Figur 45. Fordelingen av den 5 % laveste verdien av THD i spenningen målt i alle de analyserte målepunkter i 35 kV til 245 kV nett i perioden 1993 til 2003.

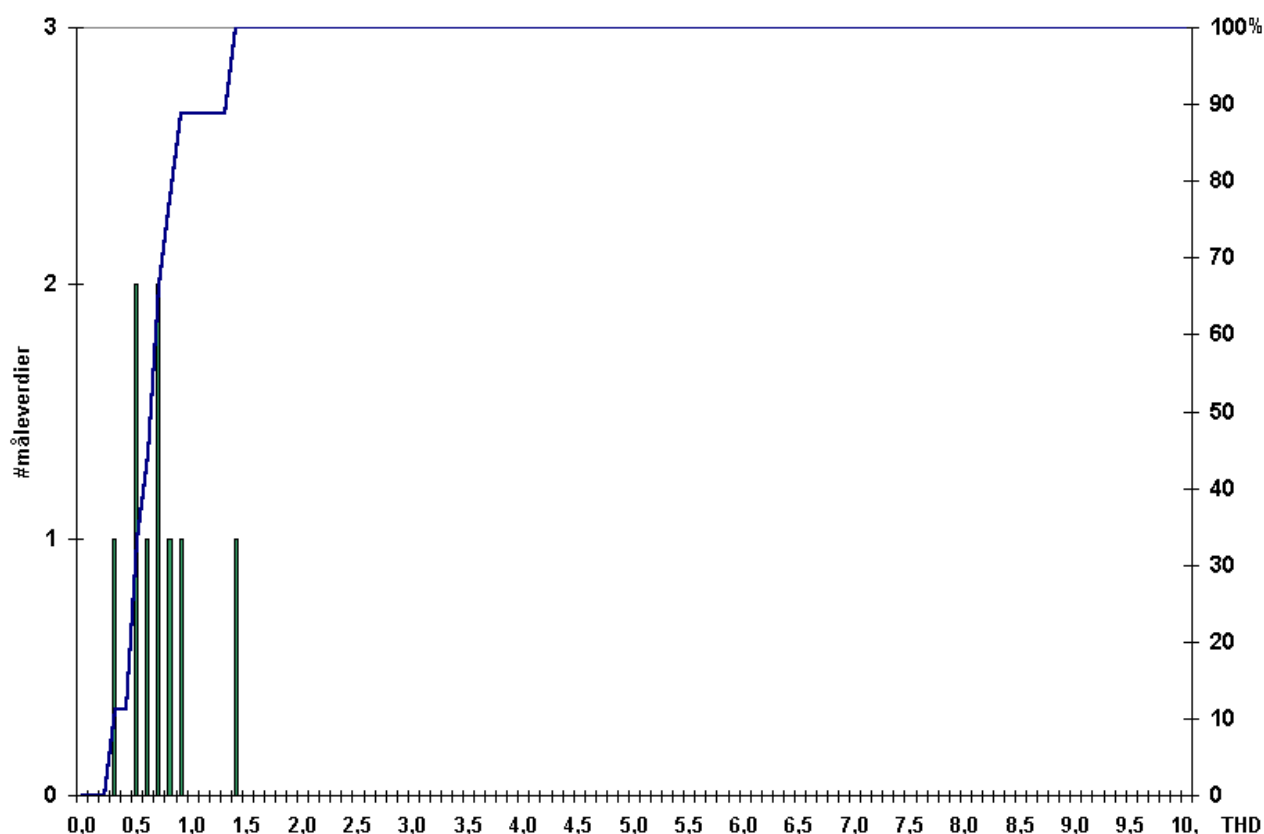


Figur 46. Fordelingen av den 95 % høyeste verdien av THD i spenningen målt i alle de analyserte målepunkter i 35 kV til 245 kV nett i perioden 1993 til 2003.

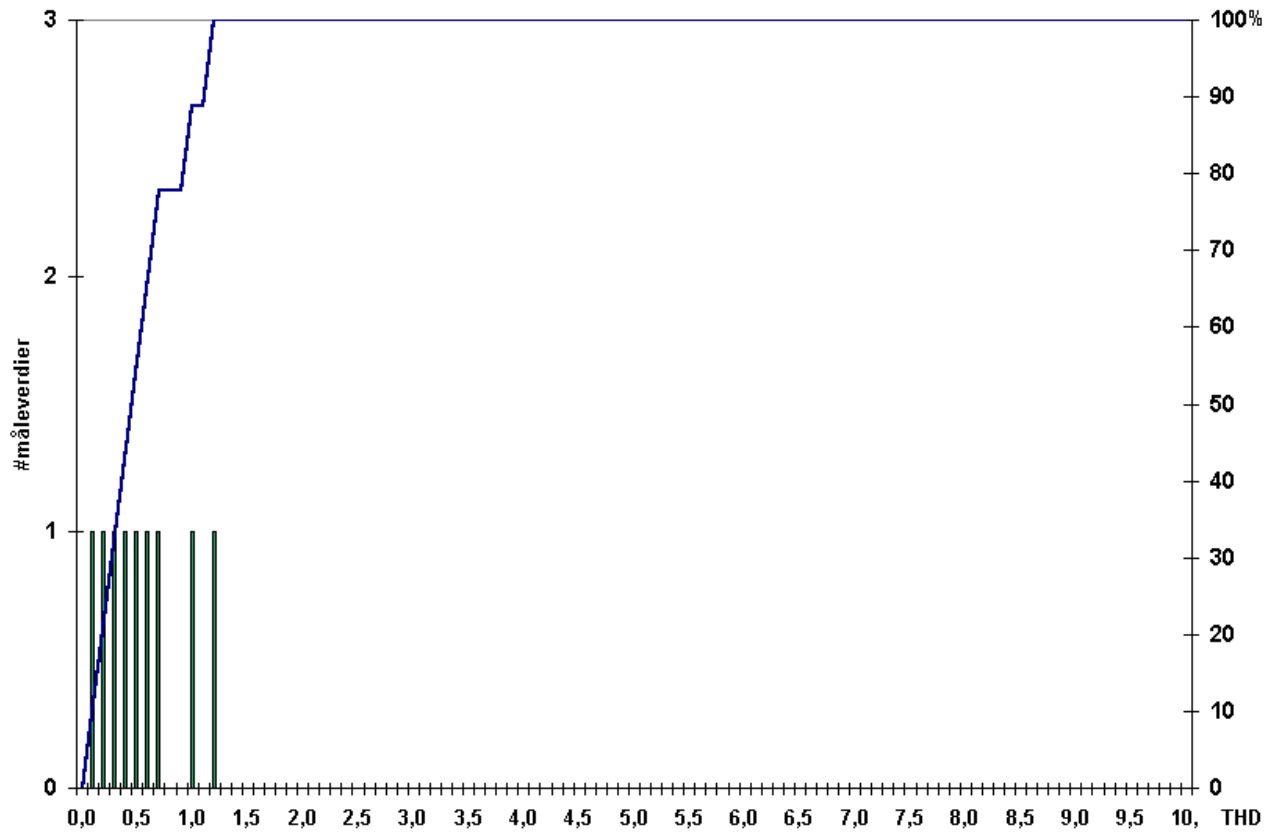


### 5.3.1.4 Spenningsnivå over 245 kV

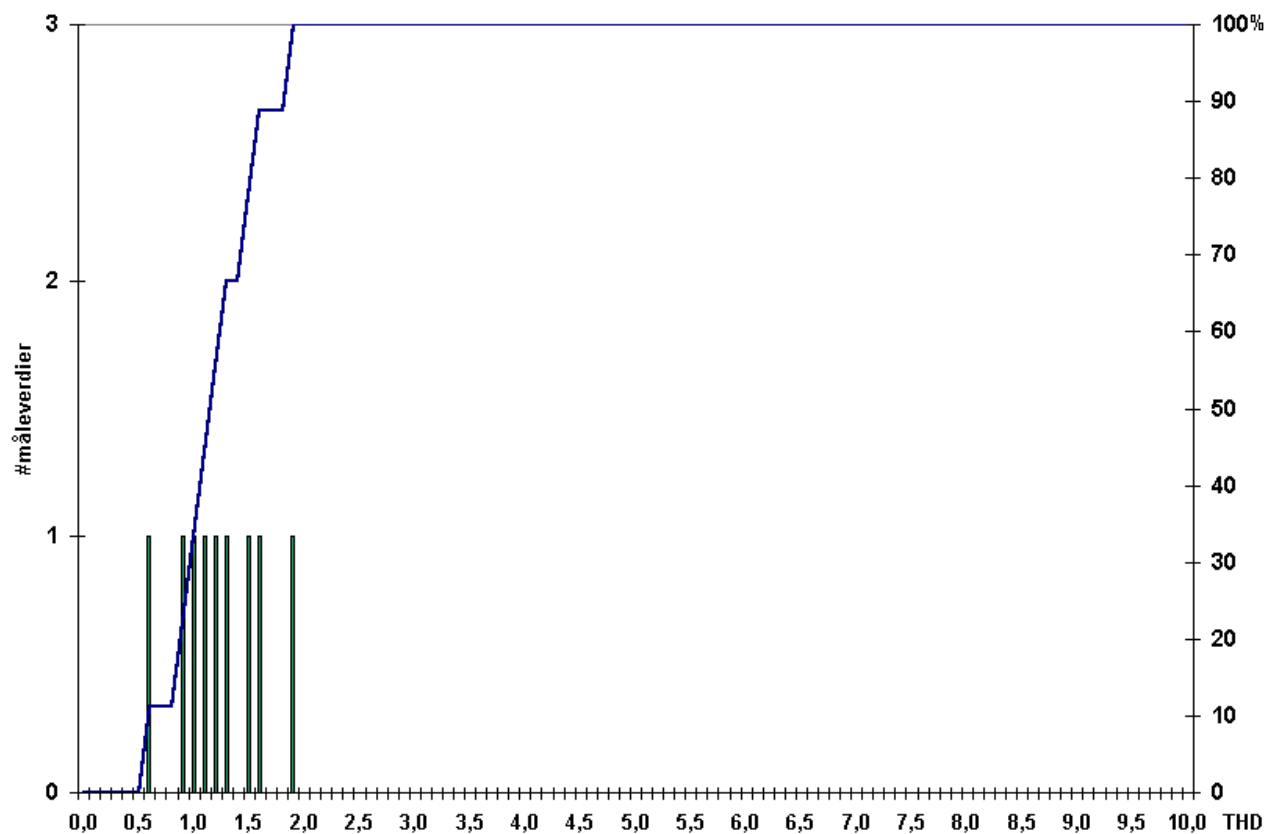
Noen av målingene i databasen er av Statnett foretatt som spenningsmåling mellom fase og jord/nøytral. Enkelte av disse målingene er ikke tatt med i statistikken da dette kan se ut til å ha påvirket måleresultatene noe ved å bidra til høyere verdier. I figur 47 vises fordelingen av den målte gjennomsnittsverdi (50%) for Total harmonisk forvrengning (THD) i alle de analyserte målepunkter i perioden 1993 til 2003. I figur 48 til 49 vises tilsvarende 5% og 95% verdiene av de målte spenninger.



Figur 47. Fordelingen av de målte gjennomsnittsverdier av THD i spenningen i alle de analyserte målepunkter i nett med spenning over 245 kV i perioden 1993 til 2003.



Figur 48. Fordelingen av den 5 % laveste verdien av THD i spenningen målt i alle de analyserte målepunkter i nett med spenning over 245 kV i perioden 1993 til 2003.



Figur 49. Fordelingen av den 95 % høyeste verdien av THD i spenningen målt i alle de analyserte målepunkter i nett med spenning over 245 kV i perioden 1993 til 2003.

### 5.3.2 Interharmoniske spenninger

Det er ikke foretatt omfattende analyser av interharmoniske spenninger. Dette skyldes blant annet at svært få av de tilgjengelige måleinstrumentene kan måle interharmoniske spenninger. Det er kun foretatt analyser i form av stikkprøver når SINTEF Energiforskning har foretatt målinger med instrument som kan måle interharmoniske spenninger. I flere slike måleoppdrag har vi målt interharmoniske spenninger selv om det i disse sakene ikke har vært mistanker om høye interharmoniske spenninger.

Foreløpig er det ikke målt nivå av interharmoniske spenninger som har vært i nærheten av grenseverdier anbefalt i internasjonale standarder.

### 5.3.3 Koblingstransienter med moderate frekvenser (< 5 kHz)

Det er begrenset hvor omfattende analyser som er foretatt av koblingstransienter. Det konstateres at slike koblingstransienter i gjennomsnitt inntreffer noe sjeldnere enn spenningsdipp, men at det er stor variasjon i forekomsten av koblingstransienter. På samme måte som med spenningsdipp kan det i perioder (for eksempel om høsten) forekomme flere titalls koblingstransienter i løpet av få uker. I andre perioder kan det gå et noen måneder uten en eneste koblingstransient. Det varierer også veldig fra målepunkt til målepunkt i nettet. Enkelte steder kan en måle flere titalls koblingstransienter hvert år, mens en andre steder måler bare 0 til 3.

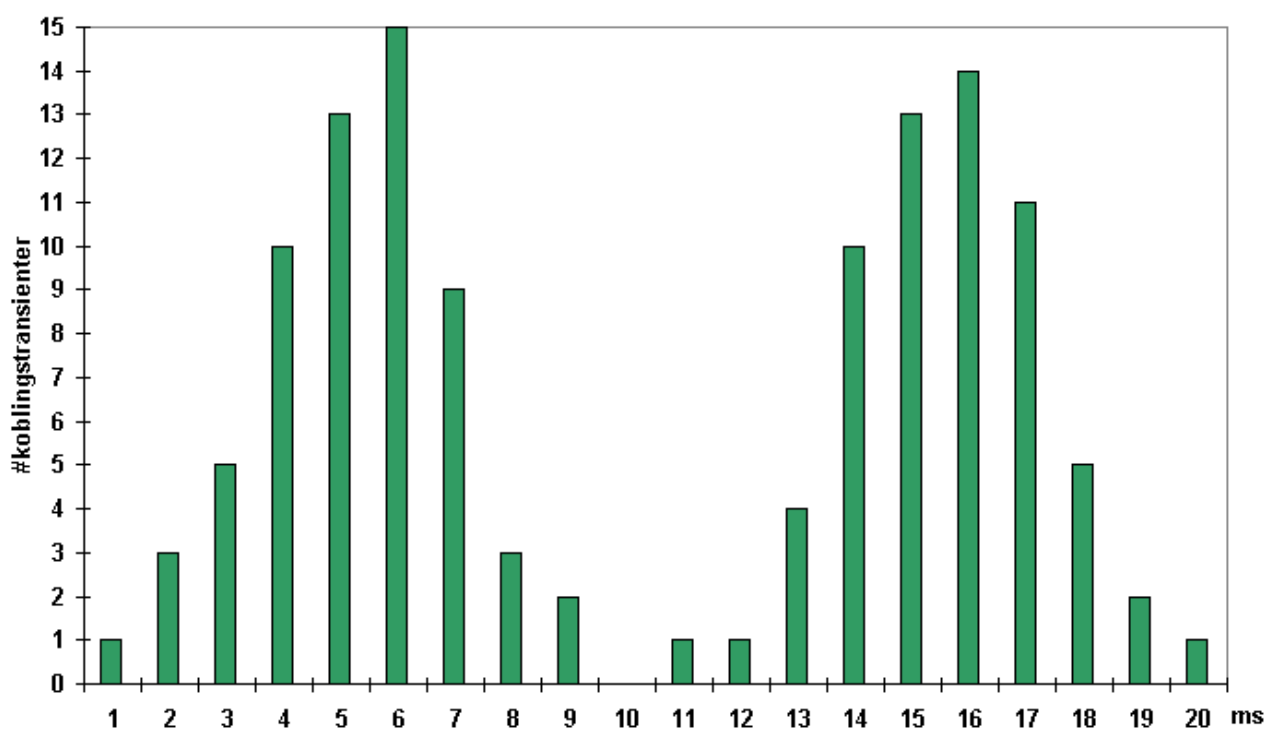
I motsetning til spenningsdipp som relativt greit kan kategoriseres etter størrelsen og varigheten på spenningsavviket er karakterisering ikke så enkelt med koblingstransienter. Koblingstransienter har svært mange forskjellige parametere som er avgjørende for hvor alvorlig koblingstransientene er og selv internasjonalt er det foreløpig ingen vanlig og anbefalt måte å kategorisere koblingstransienter på. Mens det kan være fornuftig å kategorisere høyfrekvente transienter/overspenninger etter kun deres amplitude eller eventuelt amplitude og varighet er dette ikke like fornuftig med koblingstransienter. I motsetning til høyfrekvente transienter som ofte har en amplitude som er så stor at det er av mindre betydning hvor på sinusen de inntreffer gjelder dette normalt ikke for koblingstransienter.

Viktige parametere ved koblingstransienter:

1. Hvor på sinuskurven transienten begynner (nær nullgjennomgang eller nær toppverdi)
2. Spenningens effektivverdi og formfaktor når koblingstransienten inntreffer
3. Om transienten forårsaker flere nullgjennomganger enn normalt (forskyvning av nullgj.)
4. Frekvenskomponentene i koblingstransienten
5. Størrelsen på de to første (ev. flere) spenningsutsvingene
6. Polariteten på det første utsvinget (normalt ned mot null)
7. Varigheten på den samlede spenningsvingningen

Noen første analyser foretatt på koblingstransienter viser at frekvenskomponentene i transienten gjerne ligger i området fra 150 til 600 Hz og svært sjeldent over 1 kHz. Noen ganger kan transienten tilsynelatende ha en frekvens på 1,2 kHz, men i slike tilfelle er gjerne spenningsvingningene sammensatt av to lavere frekvenser som interpolerer til en kurve med et raskere svingningsforløp.

Med hensyn til hvor på sinuskurven transienten begynner ser dette ut til å være en klar sammenheng. Nær sinusens toppverdier registreres det mange transienter, men det registreres færre ved spennings nullgjennomganger der transientene oftere blir så små at måleinstrumentene ikke registrerer dem. Nettopp det faktum at koblingstransienter gjerne blir minst dersom koblingene foregår ved nullgjennomgang er det som utnyttes ved synkroniserte brytere, for eksempel til kondensatorbatterier (fasekompensering). Synkroniserte brytere for kondensatorbatteri kobler alle de tre fasene 120 grader faseforskjøvet i forhold til hverandre og ved spennings nullgjennomgang for å forhindre strømstøt og spenningstransienter. Se figur 50 for fordelingen av koblingstransientenes startpunkt for de 20 målepunktene med flest registrerte koblingstransienter pr år. Fordelingen er vist i hele millisekunder fra en nullgjennomgang til neste nullgjennomgang med samme polaritet, altså en hel 50 Hz periode



Figur 50 Fordelingen av koblingstransientenes startpunkt for de 20 målepunktene med flest registrerte koblingstransienter pr år. Fordelingen er vist i hele millisekunder fra en nullgjennomgang til neste nullgjennomgang med samme polaritet, altså en hel 50 Hz periode

De fleste koblingstransientene er fullstendig utdempet innenfor 10 ms, men det forekommer at det tar flere titalls ms eller også flere sekunder uten at enkelte koblingstransienter er dempet ut. I slike tilfeller forårsaker gjerne koblinger spenningsvingninger nær en resonans i nettet.

### 5.3.4 Høyfrekvente transienter (impuls)

Måling av høyfrekvente transienter (impuls) er svært komplisert i høyspenningsnettet. Eksisterende måleverdiomformere i høyspenningsnettet er svært sjelden tilpasset målinger av høye frekvenskomponenter. De fleste spenningstransformatorer måler bare noenlunde korrekt opp til noen få kHz [9]. Derfor må en som regel koble til helt spesielle måleverdiomformere for å foreta målinger av høyfrekvente transienter i høyspenningsnettet. SINTEF Energiforskning har foretatt slike målinger mange ganger, men målingene har vært av relativ kort varighet (fra få timer til noen dager) da det er forbundet med en viss risiko å ha slikt midlertidig utstyr tilkoblet over tid. Vi har dermed noe erfaring med hva slags transienter som kan oppstå i høyspenningsnettet, men ikke mulighet for å lage omfattende og korrekt statistikk over hvor ofte transienter av ulik størrelse og alvorlighetsgrad forekommer.

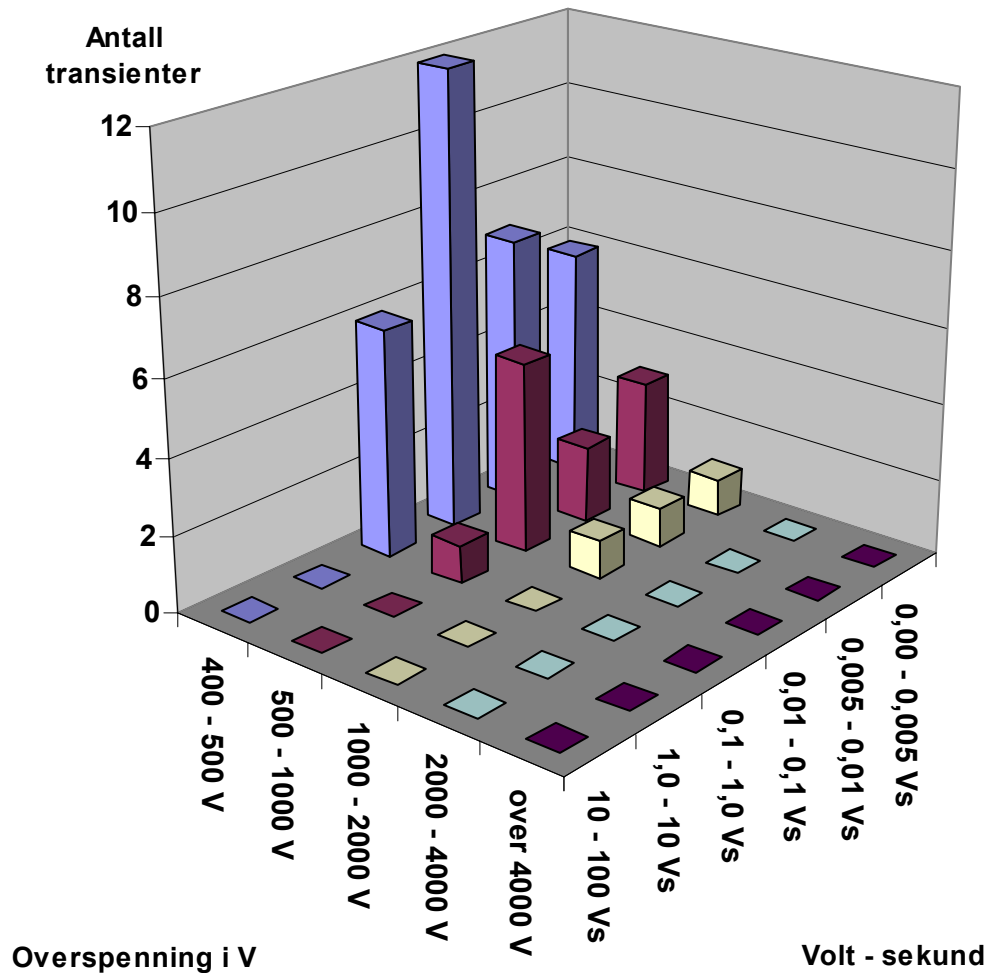
Den norske databasen over spenningskvalitetsmålinger inneholder imidlertid mange gode målinger av høyfrekvente transienter i lavspenningsnettet. I de fleste av disse målingene kan vi lese av toppverdien av den transiente spenningen samt volt-sekund integralet av den transiente spenningskurven som kan benyttes som et mål på alvorlighetsgraden og indirekte til en viss grad varigheten av transienten. Volt-sekund integralet er arealet mellom den transiente spenningen og triggegrensen til måleinstrumentet fra transienten inntreffer og til spenningen kommer under triggegrensen igjen.

I figur 51 vises gjennomsnittlig antall høyfrekvente transienter i lavspennings kabelnett mens figur 52 viser gjennomsnittlig antall høyfrekvente transienter i lavspennings luftnett.

I figur 53 vises 5 % målepunktet (lavest forekomst av transienter etter at de 5% målepunktene med minst transienter er fjernet) for høyfrekvente transienter i lavspennings kabelnett mens figur 54 viser 5 % målepunktet i lavspennings luftnett.

I figur 55 vises 95 % målepunktet (høyst forekomst av transienter etter at de 5% målepunktene med flest transienter er fjernet) for høyfrekvente transienter i lavspennings kabelnett mens figur 56 viser 95 % målepunktet i lavspennings luftnett.

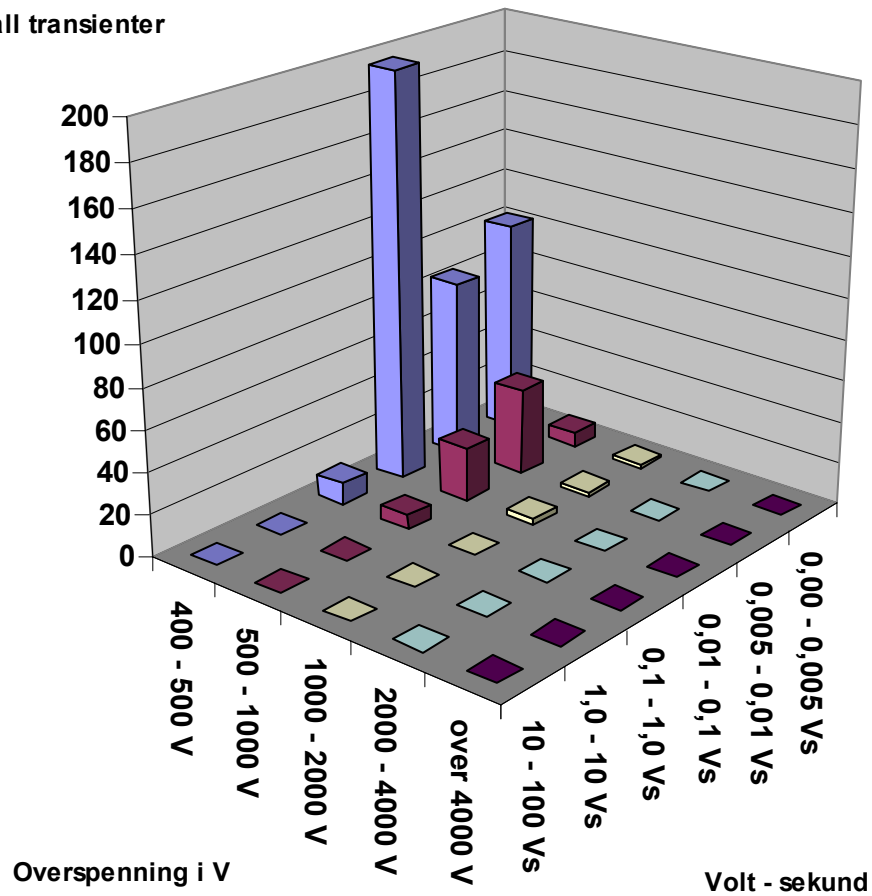
	0,00 - 0,005 Vs	0,005 - 0,01 Vs	0,01 - 0,1 Vs	0,1 - 1,0 Vs	1,0 - 10 Vs	10 - 100 Vs
400 - 500 V	6	7	12	6	0	0
500 - 1000 V	3	2	5	1	0	0
1000 - 2000 V	1	1	1	0	0	0
2000 - 4000 V	0	0	0	0	0	0
over 4000 V	0	0	0	0	0	0



Figur 51 Gjennomsnittlig antall høyfrekvente transienter (impuls) pr år for målepunkt i lavspennings kabelnettet. De tilhørende eksakte tall vises i tabells form øverst i figuren.

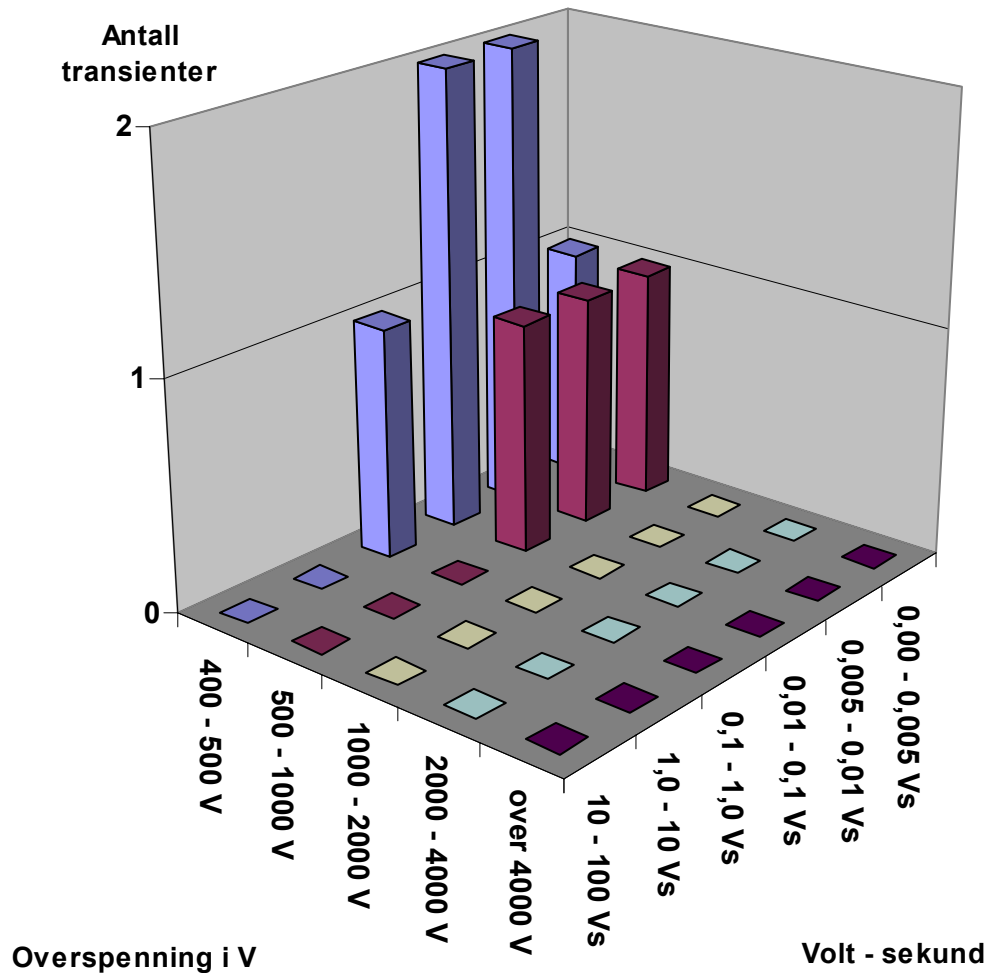
	0,00 - 0,005 Vs	0,005 - 0,01 Vs	0,01 - 0,1 Vs	0,1 - 1,0 Vs	1,0 - 10 Vs	10 - 100 Vs
400 - 500 V	103	85	197	11	0	0
500 - 1000 V	7	42	26	7	0	0
1000 - 2000 V	2	2	3	0	0	0
2000 - 4000 V	0	0	0	0	0	0
over 4000 V	0	0	0	0	0	0

Antall transienter



Figur 52 Gjennomsnittlig antall høyfrekvente transienter (impuls) pr år for målepunkt i lavspennings luftnett. De tilhørende eksakte tall vises i tabells form øverst i figuren.

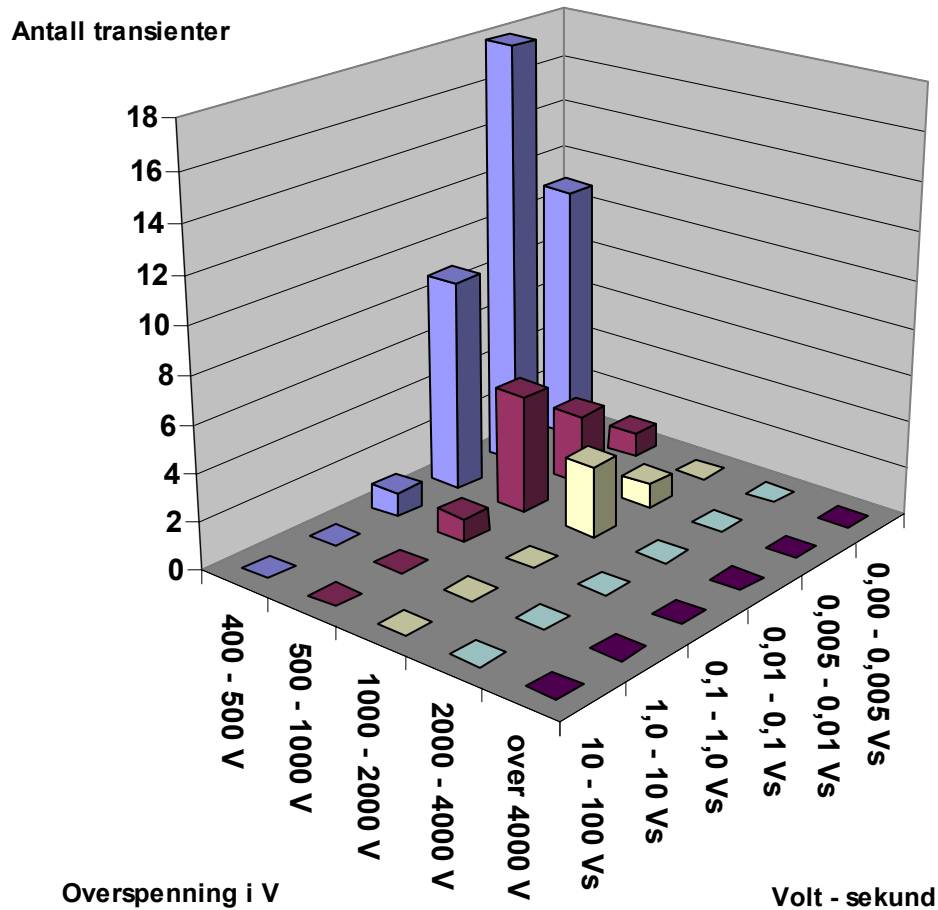
	0,00 - 0,005 Vs	0,005 - 0,01 Vs	0,01 - 0,1 Vs	0,1 - 1,0 Vs	1,0 - 10 Vs	10 - 100 Vs
400 - 500 V	1	2	2	1	0	0
500 - 1000 V	1	1	1	0	0	0
1000 - 2000 V	0	0	0	0	0	0
2000 - 4000 V	0	0	0	0	0	0
over 4000 V	0	0	0	0	0	0



Figur 53 5 % målepunktet (lavest forekomst av transienter etter at de 5% målepunktene med minst transienter er fjernet) for høyfrekvente transienter i lavspennings kabelnett. De tilhørende eksakte tall vises i tabells form øverst i figuren.

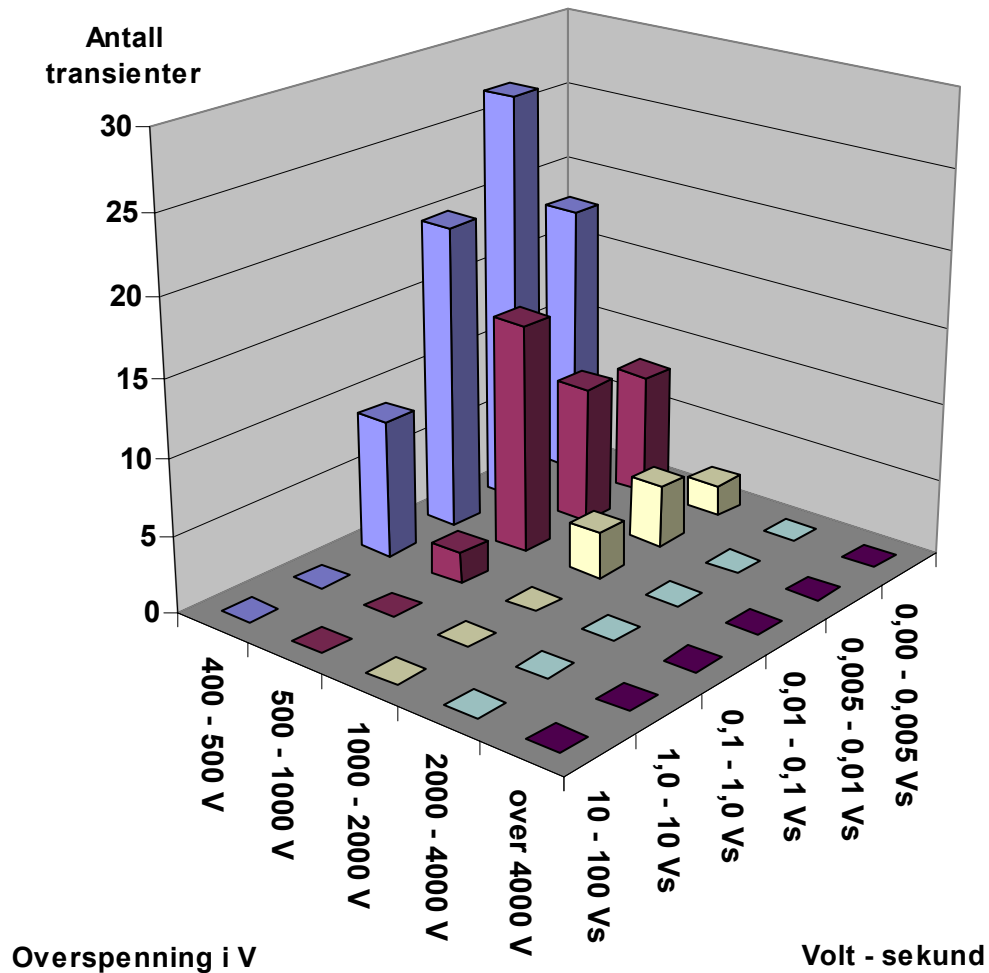


	0,00 - 0,005 Vs	0,005 - 0,01 Vs	0,01 - 0,1 Vs	0,1 - 1,0 Vs	1,0 - 10 Vs	10 - 100 Vs
400 - 500 V	11	18	9	1	0	0
500 - 1000 V	1	3	5	1	0	0
1000 - 2000 V	0	1	3	0	0	0
2000 - 4000 V	0	0	0	0	0	0
over 4000 V	0	0	0	0	0	0



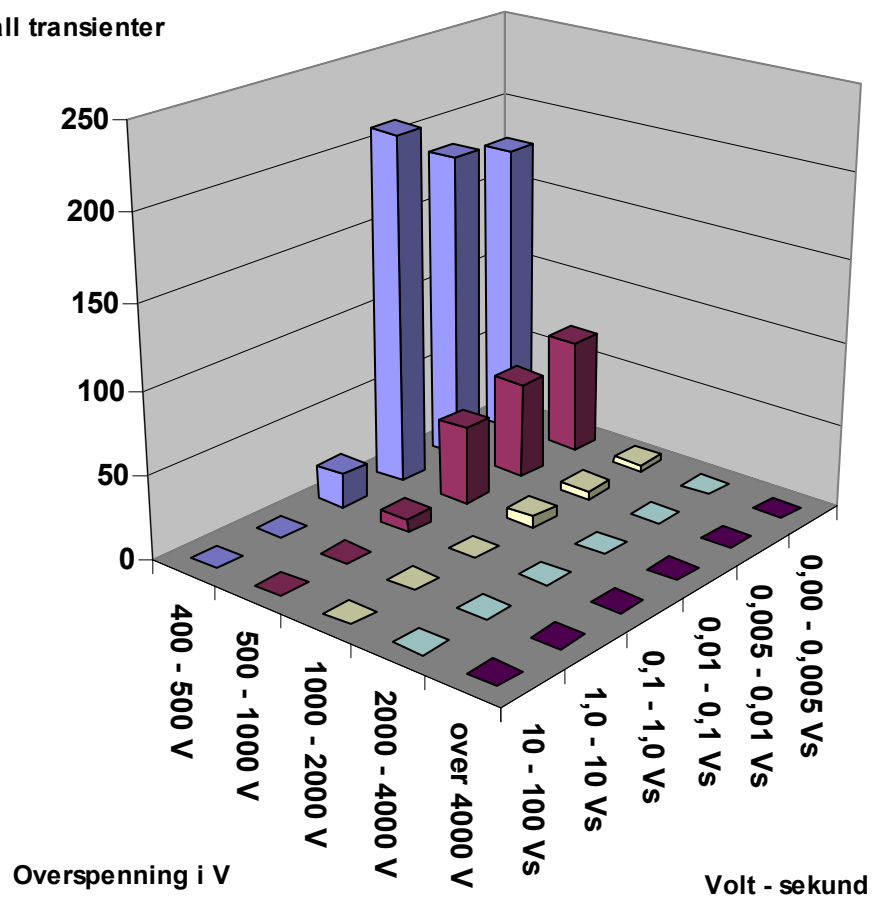
Figur 54 5 % målepunktet (lavest forekomst av transienter etter at de 5% målepunktene med minst transienter er fjernet) for høyfrekvente transienter i lavspennings luftnett. De tilhørende eksakte tall vises i tabells form øverst i figuren.

	0,00 - 0,005 Vs	0,005 - 0,01 Vs	0,01 - 0,1 Vs	0,1 - 1,0 Vs	1,0 - 10 Vs	10 - 100 Vs
400 - 500 V	18	27	20	9	0	0
500 - 1000 V	8	9	15	2	0	0
1000 - 2000 V	2	4	3	0	0	0
2000 - 4000 V	0	0	0	0	0	0
over 4000 V	0	0	0	0	0	0



Figur 55 95 % målepunktet (høyest forekomst av transienter etter at de 5% målepunktene med flest transienter er fjernet) for høyfrekvente transienter i lavspennings kabelnett. De tilhørende eksakte tall vises i tabells form øverst i figuren.

	0,00 - 0,005 Vs	0,005 - 0,01 Vs	0,01 - 0,1 Vs	0,1 - 1,0 Vs	1,0 - 10 Vs	10 - 100 Vs
400 - 500 V	178	186	211	21	0	0
500 - 1000 V	69	58	47	8	0	0
1000 - 2000 V	4	5	7	0	0	0
2000 - 4000 V	0	0	0	0	0	0
over 4000 V	0	0	0	0	0	0

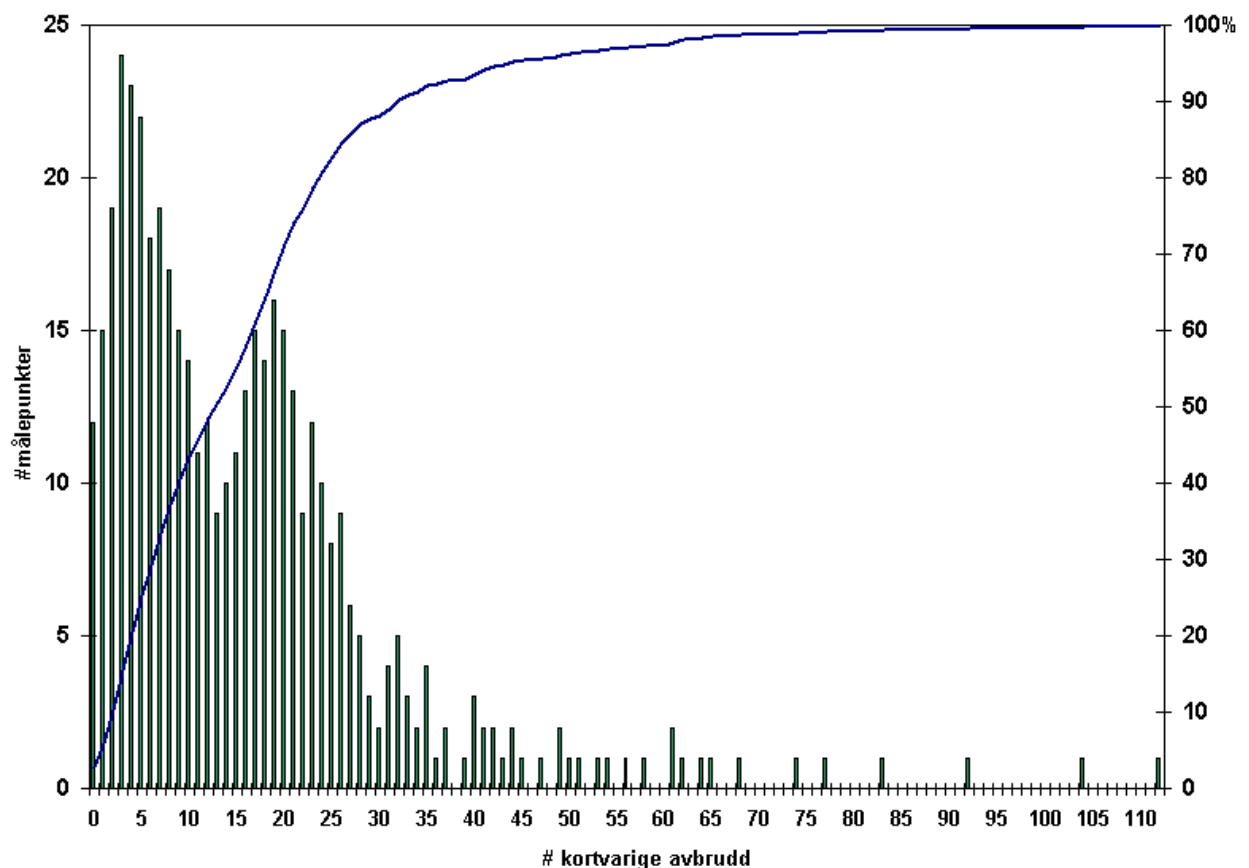
**Antall transienter**


Figur 56 95 % målepunktet (høyest forekomst av transienter etter at de 5% målepunktene med flest transienter er fjernet) for høyfrekvente transienter i lavspennings luftnett. De tilhørende eksakte tall vises i tabells form øverst i figuren.

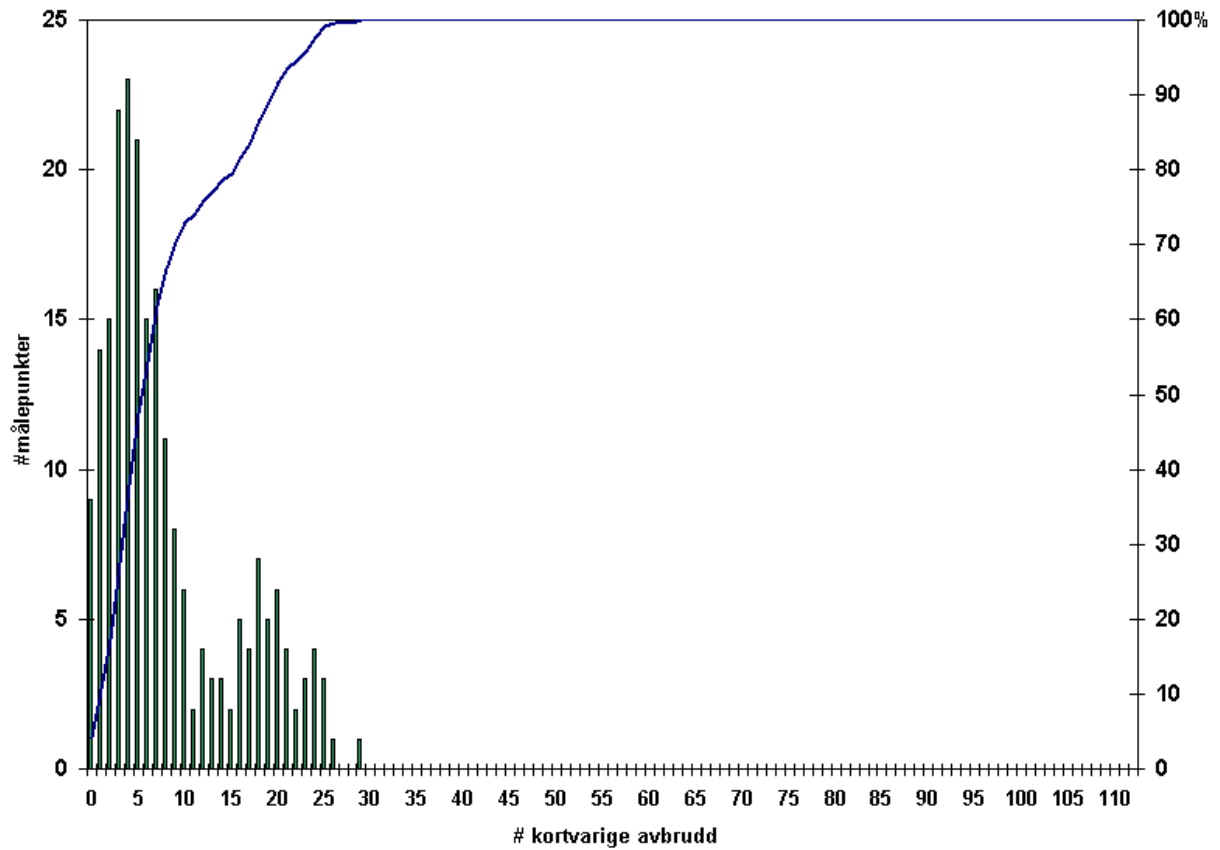
## 6 KORTVARIGE AVBRUDD

Den norske databasen antyder at det inntreffer flere kortvarige avbrudd i det norske fordelingsnettets enn i flere andre land det er naturlig å sammenligne seg med. Dette gjelder nok først og fremst i luftnettet og en kan se en betydelig forskjell mellom rene kabelnett og luftnett eller blandede nett. En forklaring på dette kan være det faktum at jordslutningsspoler ble fjernet i det norske nettet på 70-tallet fordi de ble ansett som et problem for datidens vernløsninger og for lokalisering av feil. På den tiden var for øvrig ikke kortvarige avbrudd på for eksempel 0,5 sekund noe stort problem. Det medførte ikke alvorlige problemer for mange av de elektriske apparatene som var i bruk den gang. I dag når vi i stor grad har tatt i bruk elektroniske apparater og data-/IT-utstyr er flere titalls slike avbrudd pr år imidlertid blitt et problem i enkelt nett i Norge. Heldigvis er det flere nettselskap som igjen har begynt å installere jordslutningsspoler i luftnettet.

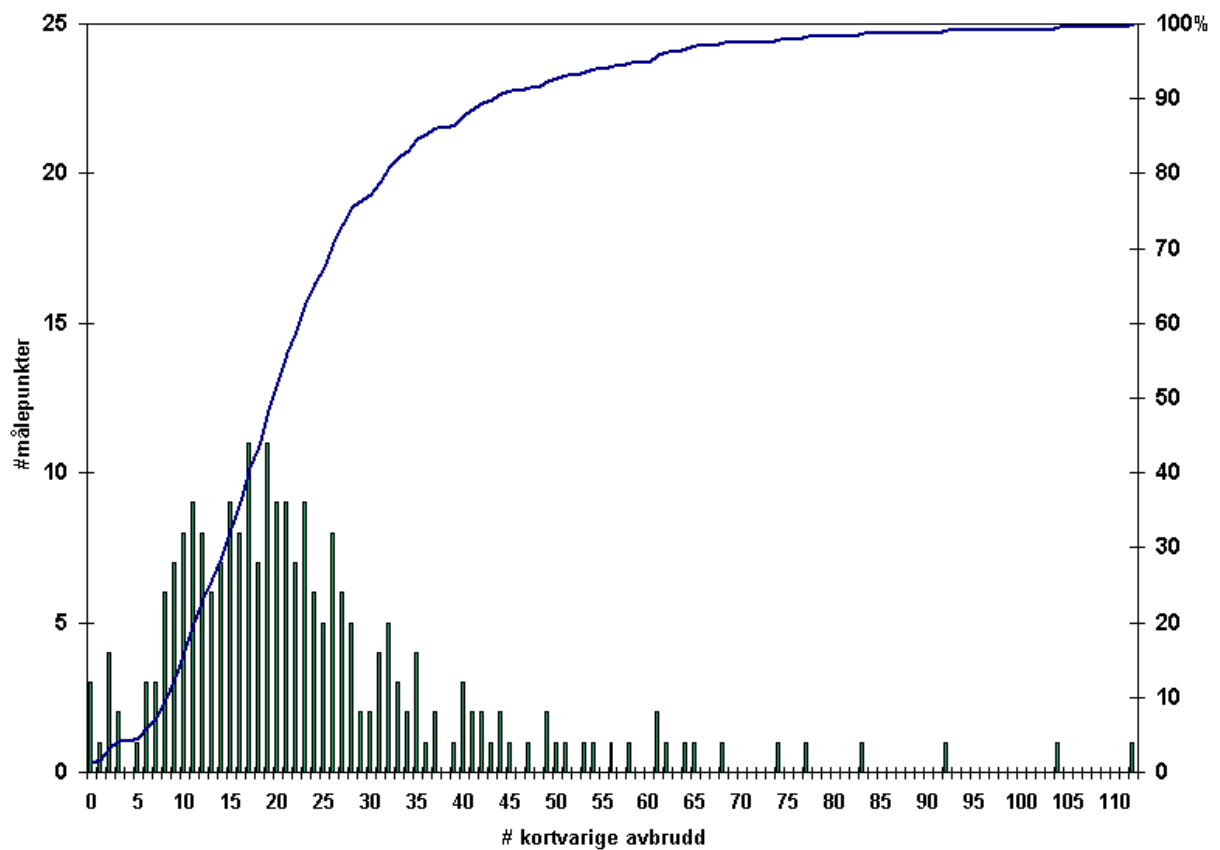
Det inntreffer i snitt 13 kortvarige avbrudd pr målepunkt og år i det norske lavspenningsnettet. Dette fordeler seg med et snitt på 19 kortvarige avbrudd pr målepunkt og år i det norske fordelingsnettets utført som luftnett eller blandet nett, mens det tilsvarende tallet for kabelnett er 5. Figur 57 viser fordelingen av antall kortvarige avbrudd pr år målt i alle målepunktene i lavspenningsnettet, figur 58 viser fordelingen av antall kortvarige avbrudd pr år i alle målepunkter i rene kabelnett og figur 58 viser fordelingen av antall kortvarige avbrudd pr år i alle målepunkter i luftnett eller blandede nett.



Figur 57 Fordelingen av antall kortvarige avbrudd pr år målt i alle målepunktene i lavspenningsnettet



Figur 58 Fordelingen av antall kortvarige avbrudd pr målepunkt og år målt i kabelnett i lavspenningsnettet



Figur 59 Fordelingen av antall kortvarige avbrudd pr målepunkt og år målt i luftnett og blandede nett i lavspenningsnettet

## **7 GEOGRAFISKE FORSKJELLER**

Det er foretatt enkelte søk og analyser på mulige geografiske forskjeller i den norske spenningskvalitetsdatabasen. Resultatene fra disse første analysene har medført at vi bevisst ikke har gått videre med mer omfattende analyser på dette foreløpig. Vi fant nemlig i de første analysene svært få signifikante forskjeller mellom ulike fylker og landsdeler.

Forskjellene mellom bynett og landlige nett, kabelnett og luftnett innenfor de ulike geografiske områder som ble valgt var veldig mye større enn forskjellene mellom de ulike større områdene. Den eneste litt interessante variasjonen som vi har kunnet finne så langt er at deler av Østlandet og Sørlandet kan se ut til å ha en større avhengighet mellom kraftige uvær/tordenvær og spenningsforstyrrelser. Mens forstyrrelsene er noe mer spredt utover året på Vestlandet og i Midt-Norge virker det som om forstyrrelsene er samlet mer i "klumper" tidsmessig på deler av Sørlandet og Østlandet.

## 8 FORSTYRRELSER UNDER UVÆR

Enkelte typer forstyrrelser i spenningen påvirkes relativt lite av uvær og andre ytre påvirkninger mens andre forstyrrelser forekommer mye hyppigere under uvær enn resten av året. Eksempel på forstyrrelser på avvik som påvirkes relativt lite av uvær er:

- Overharmoniske spenninger
- Interharmoniske spenninger
- Langsomme spenningsvariasjoner
- Flimmer
- Usymmetri

Eksempel på forstyrrelser som typisk inntreffer hyppigere under uvær enn ellers i året er:

- Kortvarige underspenninger (dipp)
- Kortvarige overspenninger (swell)
- Spenningssprang
- Transiente overspenninger
- Avbrudd

At disse to gruppene med forstyrrelser har forskjellig avhengighet av uvær skyldes i stor grad at mens den siste gruppen forstyrrelser gjerne oppstår (genereres) i kraftnettet, gjerne oftere under uvær, skyldes den første gruppen forstyrrelser som regel belastningene ute hos kundene. Disse lastene er ofte ikke påvirkelige av uvær.

Dersom en ser på forstyrrelsene, kortvarige underspenninger (dipp), kortvarige overspenninger (swell), transiente overspenninger og kortvarige avbrudd så inntreffer nesten 2/3 av disse (64%) i Norge under uvær som tordenvær, kraftige stormer, voldsomme snøfall etc. Denne statistikken kan være litt unøyaktig enda da resultatet bygger på bare 23 av målepunktene i databasen. Dette lave tallet skyldes at det er for bare disse målepunktene vi har målinger for flere år som er sammenholdt med meteorologiske data.

Det er i særdeleshet spenningsdipp og transiente overspenninger som inntreffer hyppigst under uvær. Kortvarige avbrudd har som eksempel også ofte sitt opphav fra en-polte jordslutninger pga trekkfugler på kraftlinjene.

## **9 SPENNINGSKVALITET VED KUNDEKLAGER**

### **9.1 NETTSELSKAPENES HÅNDTERING AV KUNDEKLAGER**

Mens mange nettselskap var godt i gang med å bygge opp leveringskvalitetskompetanse og skaffe seg måleutstyr på begynnelsen av 90-tallet er det i dag svært varierende grad av kompetanse og ferdigheter blant nettselskapene på dette området. Det er gjerne mangler med hensyn til:

- Personell
- Kompetanse
- Verktøy og måleutstyr
- Prioriteringer

Noen nettselskap er relativt flinke og oppdaterte på spenningskvalitet og leveringskvalitet og håndterer de aller fleste kundeklagene tilfredstillende. De fleste har imidlertid bare kompetanse og utstyr til å takle de aller enkleste kundeklagesakene. Noen har dessverre ikke det engang.

SINTEF Energiforskning har sett mange eksempel på klagesaker der problemstillingene har vært av en slik art at nettselskapene absolutt burde funnet ut av problemene selv uten ekstern hjelp. Det kan i korthet nevnes at flere av disse sakene handler om dårlige rutiner mht kontrollmåling av jording og innstilling av måleinstrumenter, manglende evne og kompetanse til å vurdere måleresultater og nedprioritering av enkelte kunder mht oppfølging av klager. Noen få enkeltteksempler har dessverre forekommet der kunder har ventet i 2 år, 7 år, 9 år og til og med 15 år uten at sakene har fått en løsning. Etter at enkelte nettselskap har latt slike saker skure og gå i flere år har altså eksterne konsulenter i flere tilfeller funnet årsaken til problemene i løpet av timer eller i alle fall noen få dager.

Hvorfor har situasjonen blitt slik? Det er flere årsaker til at en del nettselskap faktisk håndterer kundeklager dårligere i dag enn for 5 til 10 år siden:

- Harde økonomiske prioriteringer
- Inntektsrammen/avkastning til eierne
- Fusjoner/Slanking/"Outsourcing"/omorganisering
- Få eller INGEN med kompetanse
- Få/ingen krav til spenningskvalitet/oppfølging

Når den nye leveringskvalitetsforskriften kommer vil nok situasjonen bedres en del. Nettselskapene får en del konkrete og forhåpentligvis relativt enkle krav og retningslinjer å forholde seg til mht leveringskvalitet og forhåpentligvis vil dette omfatte både håndtering av kundeklager, målinger med mer. En håndbok som er under utarbeidelse i EBL-K prosjektet Spenningskvalitet og støybeskyttelse håper vi kan bli til hjelp for nettselskapene i denne sammenheng.



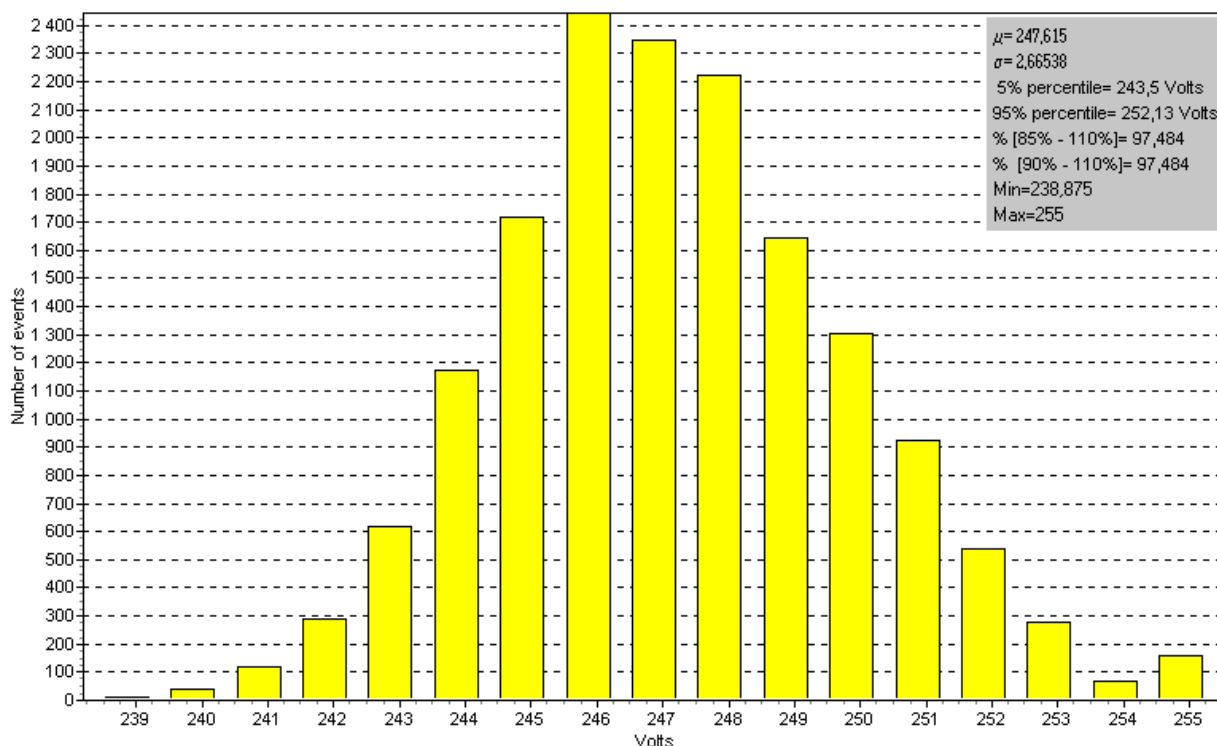
## 9.2 FEIL MED SPENNINGEN VED KUNDEKLAGER?

En av de aller vanligste årsakene til kundeklager har i mange år vært for lave spenninger i forsyningen til kundene. Dette er fortsatt en av de vanligste årsakene til kundeklager, men det konstateres en klar tendens til at høye spenninger har blitt en stadig mer vanlig årsak til problemer for kundene og dermed klager til nettselskapene. Statistikken vist i kapittel 5.2.1.1 antyder også en slik endring. I figur 60 og 61 vises et eksempel på spenningsvariasjonene (figur 60) og spenningsfordelingen (figur 61) i et tilfelle der kunden klaget på havari av elektriske apparater.

Kunden hadde faktisk en god stund hatt et usedvanlig høyt forbruk av lyspærer, men det var først når to dyre elektriske apparater gikk i stykker at kunden fant dette så uakseptabelt at han klaget til nettselskapet. Merk at det benyttede måleinstrument ikke kan måle spenninger høyere enn 255 V. Dette kan ses ved at spenningsmålingen er klippet natten mellom 15. og 16. oktober. Det er usikkert hvor høy spenningen var den aktuelle natten, men at den var i området mellom 256 og 259 V er sannsynlig. En har imidlertid ingen garanti for at spenningen ikke var enda høyere. Slike begrensninger i måleinstrumenter må en være veldig oppmerksom på og derfor er disse målingene tatt med som et viktig eksempel.

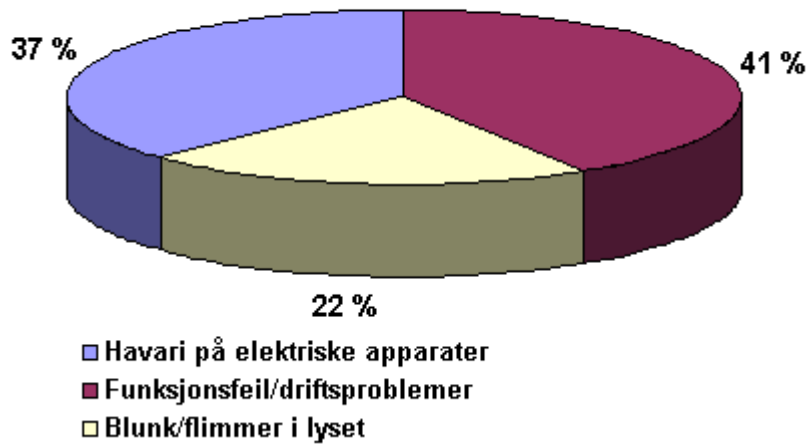


Figur 60 Målte spenningsvariasjoner i et tilfelle av havari på elektrisk utstyr på grunn av høye spenninger.

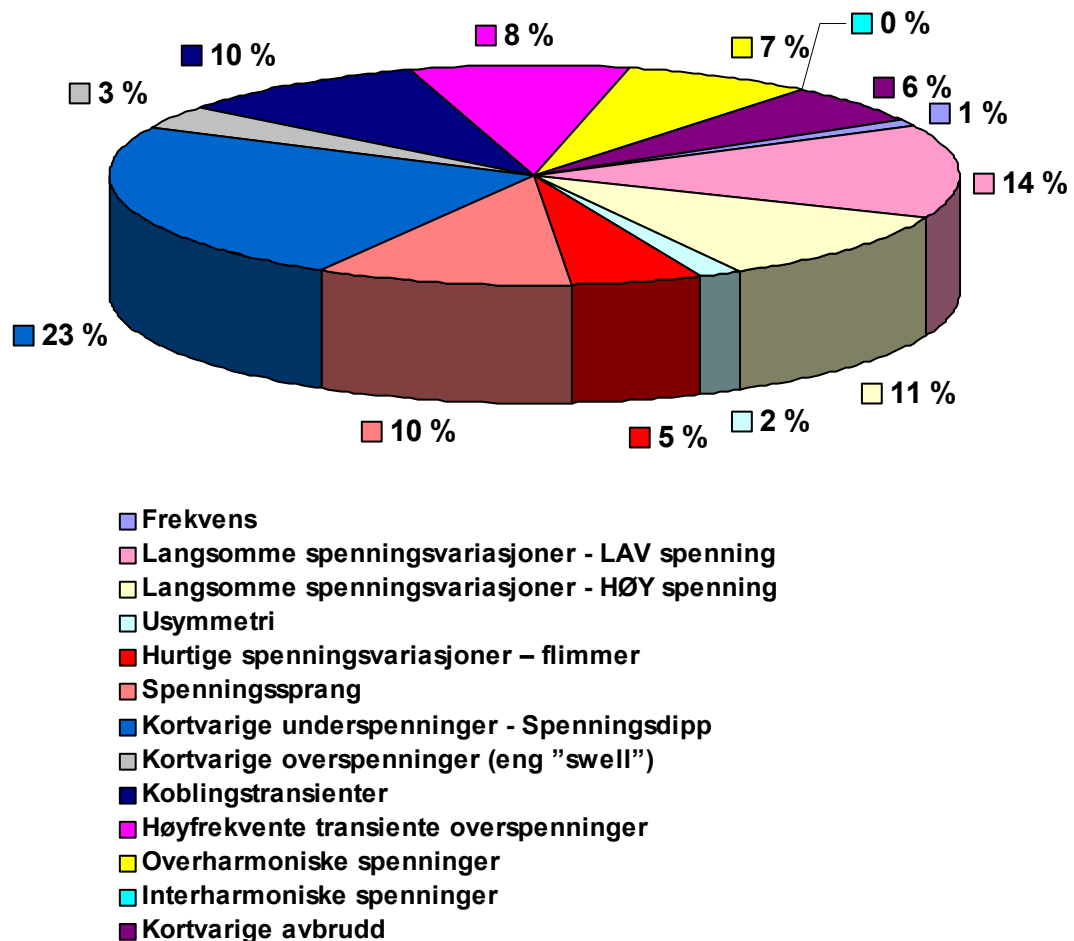


Figur 61 Spenningsfordeling av den målte spenning i figur 60

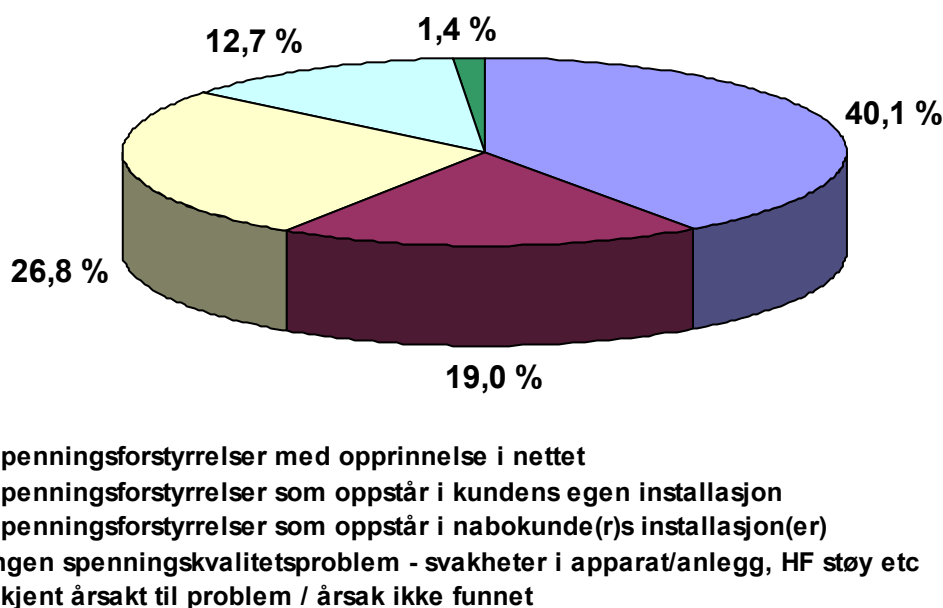
SINTEF Energiforskning har bistått med å løse mange klagesaker og er i noen saker innleid av nettselskap og i andre av sluttbruker (industri og næringsliv). I alle slike saker må SINTEF Energiforskning opptre som en uavhengig faglig part. Selv om de fleste slike oppdrag i forbindelse med klagesaker er fortrolige saker kommer de likevel forskningsmessig til nytte. De gir oss god innsikt i problemstillingene rundt spenningskvalitet i Norge og kan også bidra i statistikk til bedre å forstå dagens situasjon når det gjelder spenningskvalitet og delvis pålitelighet (kortvarige avbrudd) i Norge. Vi har satt opp noe statistikk over 142 klagesaker. I figur 62 vises fordelingen av årsaker til at kundene klaget. I figur 63 er fordelingen mellom de ulike typer spenningsforstyrrelser vist for de tilfellene der problemene var forårsaket av spenningsforstyrrelser. I figur 64 vises fordeling av årsakene til problemene med hensyn til om det var spenningsforstyrrelser og om de hadde sin opprinnelse i nettselskapenes nett eller i kunders installasjoner.



Figur 62 Fordelingen av årsakene til at kundene klager i de 142 undersøkte tilfeller av Spenningskvalitetsklager/leveringskvalitetsklager



Figur 63 Fordelingen av de ulike typer av spenningsforstyrrelser i de 142 undersøkte tilfeller av spenningskvalitetsklager/leveringskvalitetsklager



Figur 64 Fordelingen av problemårsaker og opprinnelse i de 142 undersøkte tilfeller av Spenningskvalitetsklager/leveringskvalitetsklager

## 10 OPPSUMMERING OG KONKLUSJONER

Spenningskvaliteten i Norge ligger som gjennomsnitt langt innenfor grenseverdier som er omtalt i internasjonale normer (CENELEC EN50160 og IEC 61000-2-serien). Variasjonen i den målte spenningskvalitet er imidlertid stor mellom de ulike målepunkt. Problemer med spenningskvalitet forekommer blant norske nettkunder og de fleste problemene forekommer i spredt bebygde strøk der kraftnettet har stor utstrekning i forhold til antallet kunder og der det gjerne er luftnett i motsetning til i bystrøk der det i hovedsak er benyttet kabelnett. 10 år med målinger bekrefter at spenningskvaliteten i Norge i gjennomsnitt er på linje med og til dels bedre enn andre land i Europa. Dette varierer noe mellom de ulike typer forstyrrelser i spenningen. Nivået av overharmoniske spenninger i det norske kraftnettet er som eksempel lavt i europeisk målestokk, mens vi har like mange og til dels flere kortvarige avbrudd og spenningsdipp. Som referanse for spenningskvalitetsnivået i Europa benyttes både offisielle/publiserte og uoffisielle/ midlertidige rapporter/statistikker fra EPRI, CIGRE, UNIPED (International Union of Producers and Distributors of Electrical Energy), EDF (Electricite De France), ENEL (Ente Nazionale per l'Energia Elettrica) samt Electrica De Espana og Sevillana De Electricidad..

## 11 REFERANSER

- [1] TR A5754, ISBN 82-594-2419-3, (EBL-K 136-2003): Sluttbrukeres kostnader forbundet med avbrudd og spenningsforstyrrelser: del 2 av 3: spørreundersøkelse \_ resultater.
- [2] NEK EN 50160: 1999 2.utgave – Spenningskarakteristikker for elektrisitet levert fra offentlige distribusjonsnett
- [3] Publ. nr. 103-2002, ISBN 82-436-0463-4: EBLs standard avtale for nettleie og vilkår for tilknytning
- [4] IEC 61000-4-30 *Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-30: Testing and measurement techniques - Power quality measurement methods*
- [5] IEC 61000-4-7 *Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-7: Testing and measurement techniques - General guide on harmonics and interharmonics measurements and instrumentation, for power supply systems and equipment connected thereto*
- [6] EFI TR A4460, ISBN 82-594-0987-9: Spenningskvalitetsmålinger 1992 til 1996
- [7] EFI TR A4253, ISBN 82-594-0756-6 : Spenningskvalitetsmålinger 1993 og 1994
- [8] NTH Hovedoppgave: Forbrukerapparaters immunitet mot nettforstyrrelser, Tor Ove Haugan
- [9] “*Voltage transformer frequency response. Measuring harmonics in Norwegian 300 kV and 132 kV Power systems*” (H. Seljeseth, E.A.Sæthre, T.Ohnstad, I.Lien). IEEE PES ICHQP October 14-16, 1998 – Athens GREECE



**EBL Kompetanse AS**

Besøksadresse: Sørkedalsveien 10b  
Postadresse: Postboks 7123 Majorstua, 0307 Oslo  
Telefon: 23 20 57 00  
Faks: 23 20 57 49  
post@ebl-kompetanse.no  
www.ebl-kompetanse.no

**© SINTEF Energiforskning AS**

Besøksadresse: Sem Sælandsvei 11  
Postadresse: 7465 Trondheim  
Telefon: 73 59 72 00  
Faks: 73 59 72 50  
energy.research@energy.sintef.no  
www.energy.sintef.no

**SINTEF Energiforskning AS**  
Adresse: 7465 Trondheim  
Telefon: 73 59 72 00

**SINTEF Energy Research**  
Address: NO 7465 Trondheim  
Phone: + 47 73 59 72 00