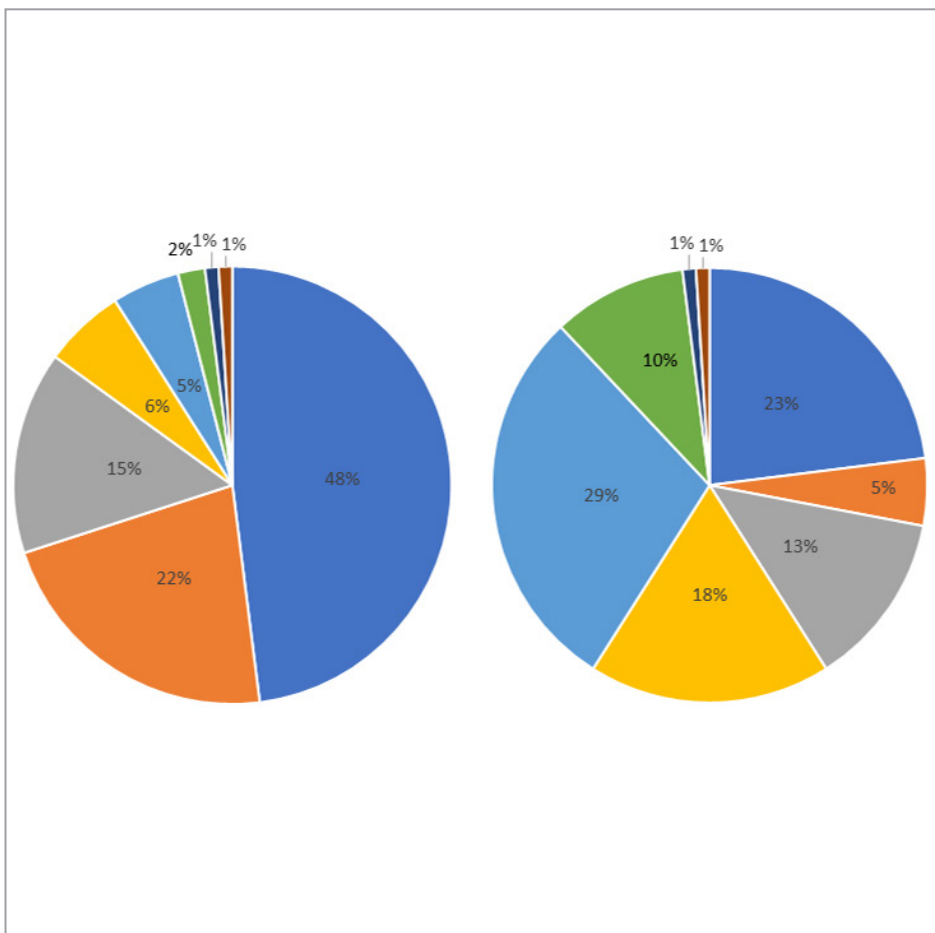


# ELKVALITETSARBETE I SVERIGE 2019

RAPPORT 2019:633



INDUSTRIFORSKNINGSPROGRAM  
UNDERHÅLL AV ELNÄT





# **Elkvalitetsarbete i Sverige 2019**

En Studie av nuvarande arbetssätt och framtida  
utmaningar

HUVUDFÖRFATTARE SUBRAT SAHOO

BIDRAG AV MATH BOLLEN

ÖVERSÄTTNING AV ROBERT SAERS

ISBN 978-91-7673-633-3 | © Energiforsk december 2019

Energiforsk AB | Telefon: 08-677 25 30 | E-post: kontakt@energiforsk.se | www.energiforsk.se



## Förord

**Sedan ett antal år tillbaka sker förändringar i det svenska elnätet, som går betydligt snabbare än vad de har gjort förut. Nya mönster i både produktion och användning av el ställer nya krav på elnätsägarna, som ska hantera dessa nya mönster utan avkall på leveranssäkerhet och kvalitet. Ett fenomen som får allt mer uppmärksamhet är elkvalitet, där det finns stora vinster att göra om den kan förbättras. Även om fenomenet i sig har varit känt länge, så är det först på senare år ett mer omfattande arbete har inletts för att ta ett helhetsgrepp. Denna rapport är ett led i detta arbete, och syftar till att ge elnätsbolag och andra intressenter en aktuell lägesbild av elkvalitetsarbetet i Sverige.**

Projektet har genomförts inom ramen för Energiforsks industriforskningsprogram Underhåll av elnät, och referenspersoner från programmets styrgrupp har varit

- Christian Cleber, Tekniska verken i Linköping Nät AB
- Mats Javebrink, Jönköping Energi Nät AB

Programmet Underhåll av elnät finansieras av ABB, Bodens Energi Nät, Borås Energi Nät, C4 Elnät, Ellevio, Eskilstuna Energi & Miljö, Falu Energi & Vatten, Göteborg Energi, Elinorr Ekonomisk förening som består av 16 elnätföretag, E.ON Energidistribution, Jämtkraft Elnät, Jönköping Energi Nät, Karlstads El- och Stadsnät, Krafringen Elnät, Luleå Energi, Skellefteå Kraft Elnät, Kungälv Energi, Mälarenergi Elnät, Nacka Energi, Svenska kraftnät, Tekniska verken i Linköping, Pite Energi, Umeå Energi Elnät, Vattenfall Eldistribution och Öresundskraft.

Lennart Kjellman,  
Programansvarig Underhåll av elnät  
Stockholm 16 december 2019

Här redovisas resultat och slutsatser från ett projekt inom ett forskningsprogram som drivs av Energiforsk. Det är rapportförfattaren/-författarna som ansvarar för innehållet.

## Sammanfattning

**Elkvalitet (Power Quality, PQ) är ett erkänt problem i elnätet sedan årtionden. Det har emellertid under senare tid fått förnyat intresse från branschen på grund av förändrad struktur för elproduktion och elkonsumention. Inom elproduktion ser man en förskjutning från den traditionellt centraliserade produktionen mot en stor tillväxt i förnybara källor på olika spänningsnivåer.**

Vi ser ett teknologiskifte från den traditionella produktionen till kraftig tillväxt av förnybara källor på olika spänningsnivåer. Den största utmaningen inom PQ kommer dock från omriktarna som används för inkoppling av den förnybara genereringen. Dessa omriktare bidrar med övertoner till nätet, i de fall lämpliga filter inte finns installerade. Nya konsumtionscykler bidrar också med ett liknande tekniskifte på grund av omriktarbaserade laster som kopplas in vid flera platser och spänningsnivåer. Några exempel på omriktarbaserad last är elbilsaddare, som sträcker sig från några tiotals kW till hundratals kW, datacentra, ventilation, luftkonditioneringsanordningar, ljusbågsugnar, spänningsaggregat med likriktare som inte bara adderar många oönskade övertoner till nätet utan också ansvariga för kortvariga spänningssänkningar, transienter (vilket leder till korta och långa avbrott), tillfällig sänkning av nätspänning (brown out) och flimmar. Små hushållslaster, såsom LED-lampor, bärbara datorer, telefonladdare, som har säregna effektfaktor fördelningar i syfte att minska den aktiva kraften, är också ansvariga för PQ-problem. I det här arbetet så har definitioner av PQ från både global och europeisk nivå analyserats genom olika litteraturstudier. Detta för att belysa varför ämnet är viktigt för svenska elnätsbolag att arbeta med.

Flera elnätsbolag i Sverige har intervjuats för att förstå produktions- och konsumtionsscenarioet i deras nätverk. Deras beredskap att bedöma, förstå och hantera PQ-problemen har sammanfattats i denna rapport. PQ regleras mestadels av EN 50160 och EIFS 2013:1 standarderna i Sverige. Det finns flera PQ-övervakningssystem tillgängliga på marknaden både från lokala och globala tillverkare. PQ-data från tre sådana leverantörer, nämligen Metrum, Dranetz och Unipower analyserades för att förstå fördelningen av loggade händelser kategoriserade enligt ovan nämnda standarder. Innebörden av olika produktions- och belastningsscenarioer berörs kortfattat för några specifika elnätsbolag, som har delat data med författarna.

Erfarenheten visar att kortvariga spänningssänkningar tillhör majoriteten av PQ-händelser som registreras i elnätet, vilket i stor utsträckning har sitt ursprung från högre spänningsnivåer. Nedströmshändelserna som orsakas av lastvariationer och frekvensomvandlare, har inte nått anmärkningsvärda nivåer mycket tack vare befintliga harmoniska filter installerade på lämpliga platser. Detta förväntas att förvärras under kommande år p.g.a. en ökning av icke-standardiserade och icke-reglerade anordningar ansluts till elnätet. Dessutom är antalet mätare som installerats vid olika kopplingspunkter, oavsett om storkällan finns vid last eller generering, för närvarande inte tillräckligt många för att identifiera och lokalisera de verkliga händelsernas ursprung. Därmed behövs ytterligare mätare, och

dessutom en infrastruktur för analys av den stora mängd data som skapas. En del av studien har tillägnats för det nya kraftsystemets dynamik i det nordiska nätet. Skillnaden i funktionalitet hos smarta elmätare och PQ-mätare är belyst, för att se till vilken grad data från smarta elmätare kan användas för PQ-övervakning.

Ett akademiskt perspektiv av PQ-scenariot har också inkluderats i denna rapport med ett särskilt kapitel som skrivits av professor Math Bollen.

## Summary

**Power Quality (PQ) is an acknowledged problem in the power system for decades. However, it is finding renewed interest from the utility community in recent times due to the changing generation and consumption dynamics. The generation segment is seeing a disruption from the traditional discipline due to unprecedented growth in the renewable sources at different voltage levels.**

The generation segment is seeing a disruption from the traditional discipline due to unprecedented growth in the renewable sources at different voltage levels. The biggest challenge in the PQ, however comes from the power electronics devices involved in the renewable generation. These devices have the potential to add a lot of switching frequency transients to the grid, if appropriate filters are not used. The consumption cycles are also observing a wide transformation due to unsynchronized loads added at multiple entry points and voltage levels. Some examples for the same are electric vehicle chargers that range from few tens of kW to hundreds of kW, a host of data center equipment, ventilation, air conditioning devices, arc furnaces that run by variable frequency drives, switching transformers that not only add a lot of unwanted harmonics to the grid but are also responsible for voltage sags, transients, leading to short and long interruptions, brown outs, flickering. Small domestic loads, such as LED lamps, laptops, phone chargers, which have unusual power factor distribution in an effort to reduce the active power, are also responsible for PQ problems. In this work, definition of PQ was comprehended both in global and European level and a case was made from literature on why this is an important topic for the utilities to consider.

Several utilities within Sweden were interviewed to understand the generation and consumption scenario in their network and their preparedness to assess, understand and tackle the PQ problems were summarized in this report. The PQ regulation is mostly governed by EN 50160 and EIFS 2013:1 standards in Sweden. There are several PQ monitoring devices available in the market both from local and global manufacturers. The PQ data from three such vendors, namely- Metrum, Dranetz and Unipower were analyzed to understand the amount of logged event categorized under different classification, according to the above standards. The role played by different generation and load scenarios are briefly explained in the context of few specific utilities, who shared their data with us.

The experience highlights that voltage sags are the biggest number of PQ event registered in a network, which are largely upstream driven. The downstream events caused by load variations and frequency converters in the downstream have not reached a stage of concern due to appropriate harmonics filters installed in places but are projected to change the equation in coming years with a surge of non-standard and non-regulated devices added to the grid. Additionally, the number of meters installed at various point of common couplings both at source and load driven circumstances, emphasize that the number of meters at present are not enough to identify and locate the origin of the real events and hence need further monitoring devices as well as infrastructure for analysis of large amount of



monitored data. Few reflections were made for the new power system dynamics presented in the Nordic context. The gap between the functionality of smart meters and PQ meters were also highlighted giving a lead to using smart meter data for PQ monitoring.

An academic perspective of the PQ scenario has also been included in this report by a special chapter contributed by Professor Math Bollen.

# Innehåll

<b>1</b>	<b>Introduktion</b>	<b>9</b>
1.1	Definitioner	9
1.2	Rapportens struktur	10
1.3	Varför är elkvalitet viktigt i världen	11
1.4	Smarta elmätare inom mätning av elkvalitet	11
1.5	Definitioner för elkvalitetsindikatorer	12
1.6	Definitioner för strömkaraktistik	14
1.7	Supratoner i kraftsystemet	14
1.8	Mätklasser	14
1.9	Standarder inom elkvalitetsmätningar	14
<b>2</b>	<b>Övervakning av elkvalitet</b>	<b>16</b>
2.1	Elkvalitet i distributionsnätet	16
2.2	Lista på elkvalitetsparametrar	16
2.3	Elkvalitet vid sammankopplingspunkten	18
2.4	Inverkan av laddningsstationer för elbilar	18
2.5	Standarder för elkvalitetsmätningar som används globalt	18
2.6	Mätning av elkvalitet med hjälp av professionella mätinstrument	19
<b>3</b>	<b>Erfarenheter från olika elnätbolag</b>	<b>23</b>
3.1	Tekniska Verken i Linköping	23
3.2	Jönköping Energi	24
3.3	Jämtkraft	24
3.4	Sundsvall Elnät	25
3.5	Umeå Energi	25
3.6	Analys av elkvalitetsdata från övervakningssystem	25
<b>4</b>	<b>Reflektioner angående ämnet elkvalitet</b>	<b>28</b>
4.1	Scenario för elbilar i de nordiska länderna	28
4.2	Jämförelse av installationen av smarta elmätare i 27 EU-länder	30
4.3	Filter för att undertrycka motordrivsystems övertoner i mätarkommunikationens frekvensområde	31
4.4	Möjlig Utökad funktionalitet för SM som elkvalitetsmätare	31
4.5	Användandet av elkvalitetsdata inom big-data	32
<b>5</b>	<b>Slutord</b>	<b>33</b>
<b>6</b>	<b>Akademiskt perspektiv på elkvalitetsproblem</b>	<b>34</b>
6.1	The importance of PQ and PQ monitoring for network operators	34
6.2	Referenser och noter för kapitel 6	36
<b>7</b>	<b>Referenser</b>	<b>38</b>

# 1 Introduktion

**Elkvalitet (Power Quality, PQ) är en terminologi vida använd inom elbranschen, där spänningskvalitet levererad till konsumenterna är kravställd i ett antal standarder som behandlar amplitud, fas och frekvens. Området och behoven är ganska spridda, beroende på slutkunden. Ämnesområdet har existerat i decennium och ett antal instruktioner och guider har följts av både transmissions och distributionsföretag. Forskningsområdet växer idag på grund av förändringarna i elproduktion och konsumtion, något som genomsyrar hela elnätet.**

Andelen omriktarbaserad förnybar generering på alla spänningsnivåer ökar variationerna hos spänningen i frekvens och amplitud främst p.g.a. produktionsvariationen. Till detta kan läggas att last-punkterna förändras i takt med antalet konsumerade kilowatt (kW) genom frekvensomriktare, eller kraftelektronik, vilka saknar klassisk linjär karakteristik. Denna kombination kan bli kostsam att hantera för nuvarande kraftsystem, då en enkel lösning saknas. Beroende på elnätets styrka och struktur, så är vissa PQ-frågor under kontroll, medans de i andra operativa fall kan bidra till alvarliga operativa risker.

I den studie som rapporteras här, har vi försökt belysa ovanstående situation genom att skapa en förståelse för elnätsbolagens beteende och hur de planerar att hantera situationen. Ett första steg i hanteringen är att mäta PQ i intressanta punkter i elnätet. Åtskilliga elnätsbolag i Sverige har intervjuats för att förstå deras scenario för generering och last, andelen förnybar generering i deras nät, hur de hanterar nya typer av industrikunder, som snabbbladdare till elbilar, kommersiella byggnader, multi-megawatt (MW) solcellsparkar, datacenter, mm. Mer specifikt hur dessa elnätsbolag mäter PQ i sina elnät. Några elnätsbolag var djupt engagerade i studien och bidrog med sina erfarenheter om PQ-frågor i deras elnät.

## 1.1 DEFINITIONER

Definitioner har angetts på både Svenska och Engelska för att underlätta fortsatta studier i internationell litteratur.

Förkortning	Engelsk och Svensk definition
CBA	Cost-benefit analysis - Kostnadskalkyl
DNO	Distribution network operators – Elnätsbolag
DSP	Digital signal processor – Digital signalprocessor
EV	Electric vehicles – Elfordon
EHV	Extra high voltage – Ultrahögspänning
HV	High voltage – Högspänning
MV	Medium voltage – Mellanspänning
kW	Kilowatt

Förkortning	Engelsk och Svensk definition
MW	Megawatt
PCC	Point of common coupling – sammankopplingspunkt
PQ	Power Quality – Elkvalitet
QoS	Quality of service – Kvalitet på service
RBM	Reliability benchmarking – tillförlitlighetsjämförelse
RVC	Rapid voltage change – snabb spänningsändring
SM	Smart Meter – smart elmätare
SMM	Smart metrology meter – smart elmätare för metrologi för tex debitering
SMX	Smart meter extension – smart elmätare med funktioner för tex PQ.
THD	Total harmonic distortion – total harmonisk distorsion
TWh	Tera watt hour – Terawattimme

## 1.2 RAPPORTENS STRUKTUR

Rapporten har delats upp i följande kapitel: Nästkommande kapitel sätter PQ i ett sammanhang, för att skapa en förståelse av alla PQ-parametrar, och hur de påverkar. Definitionerna av PQ kommer att beskrivas från ett läroboksperspektiv för att skapa en komplett rapport.

Mätningar av PQ parametrar diskuteras i nästkommande kapitel, där författaren försöker belysa relevansen av smarta elmätare och den vida spridda installationen av dem i nätet. Detta för att belysa att med avsaknad av en tydlig avgränsning i definitionen av PQ så är denna mätinfrastruktur mer anpassad för massproduktion än för att mäta specifika PQ-parametrar.

Olika elnätsbolags erfarenheter sammanfattas i kapitel 3. Författarna har försökt att anta en neutral ståndpunkt om olika produkter som finns tillgängliga på marknaden. Kapitlet kan användas för att skapa medvetenhet hos elnätsbolag som är relativt nya inom mätning och analys av PQ i sitt elnät.

Författarnas perspektiv av engagemanget inom PQ beskrivs i kapitel 4. Marknadens utveckling och spelrummet för alternativa PQ övervakningsutrusningar beskrivs här. I kapitlet beskrivs även rollen för nya spelare på marknaden inom produktion, transmission, distribution. Möjligheterna med området big-data och artificiell intelligens för att studera nätscenarier, liksom att förutse trender belyses här.

Det slutliga kapitlet summerar hur området skulle behöva en större forskningsinsatsning för att bättre stödja närliggande områden som elsystemdrift, kontroll och underhåll.

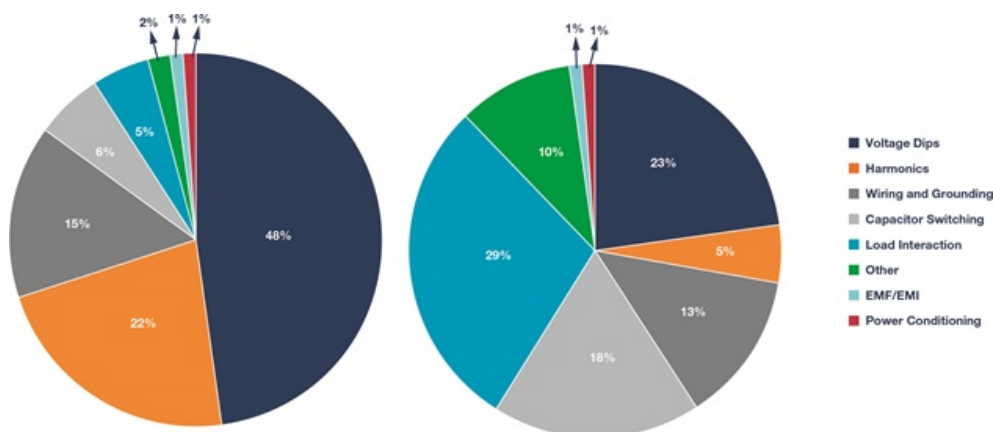
Ett akademiskt perspektiv av PQ scenariot är skrivet som ett extra kapitel, och är ett bidrag från Math Bollen från Luleå Tekniska Universitet / Skellefteå campus, Sverige. Han beskriver även sin framtidsbild av området PQ.

### 1.3 VARFÖR ÄR ELKVALITET VIKTIGT I VÄRLDEN

PQ-problem kostar 100 miljarder dollar per år för industrier i USA, baserat på varierande leveransskvalité och spänningsstörningar, se EPRI rapport i [1]. Figur 1, nedan summerar data från 24 olika elnätbolag (från EPRI). 85% av incidenterna som är relaterade till PQ kan kopplas till kortvariga spänningssänkningar, kortvariga spänningshöjningar, övertoner, samt kopplings och jordningsproblem.

I Europa gäller den europeiska standarden EN 50160. I 25 EU-stater har man beräknat en förlustkostnad på 156 miljarder dollar (c:a 150 miljarder Euro) per år p.g.a. olika PQ-problem. Till skillnad mot USA, så är kortvariga spänningssänkningar inte lika dominerande PQ-problem i Europa. Orsaken till PQ-problem är mer varierande. Konsekvenserna visar sig i obalans i last, låg effektfaktor, snabba spänningsvariationer och övertonsbrus. Dessa faktorer leder till slitage som reducerar livslängden på komponenter, bortkopplingar, och misslyckad återinkoppling av förnybara energikällor. Dessutom skapar det många oplanerade driftstopp för service.

Kondensatorer, harmoniska filter, statisk VAR-kompensering och batteribaserade energilagerlösningar, är några vanliga metoder som används för att minska spridningen av ett PQ-problem.



Figur 1 Källor till PQ-problem (vänster) USA, (höger) Europa, enligt EPRI [1].

### 1.4 SMARTA ELMÄTARE INOM MÄTNING AV ELKVALITET

Oberoende forum har bedömt att Smarta Elmätare (SM) står för halva värdet av den totala smarta nät-marknaden, där de erbjuder en möjlighet att stärka kundernas medvetenhet, även om de inte är producenter av elektricitet (tex genom förnybar produktion). Elmätare som idag installeras hos privatkunder har blivit smartare och erbjuder en access till data varje kvart eller timme. De öppnar för en möjlighet att logga flera PQ-egenskaper, vilket överbygger gapet mot dedikerade

PQ-mätare på lastsidan. SM marknaden i Sydamerika står för 10 Miljarder dollar, vilket är halva smarta-nät-infrastrukturmarknaden, som var ungefär 20 Miljarder dollar 2018-2027 [2]. Det Brasilianska nätbolaget "Light" i Rio de Janeiro installerar för närvarande 1,4 miljoner SM. Åtta av tio sydamerikanska länder har för närvarande storskaliga smarta nät pilot-projekt.

En tydlig avgränsning mellan rollerna för SM och dedikerade PQ-mätare är svår att skapa. Moderna SM övervakar en stor del av PQ-parametrarna, till exempel spänningsvariationer, frekvensavvikelse från 50 Hz, spänningsavbrott, kortvariga spänningsänkningar, kortvariga spänningshöjningar, överspänning, spänningsosymmetri, övertoner hos spänning och ström, total harmonisk distorsion, mm. Dessa mät-funktioner är ett steg närmare IEC 61000-4-30 standarden för PQ. Att notera: för att uppnå noggrannhetskraven, och övriga Klass A krav, så ökar priset, vilket motverkar en generell rekommendation att använda dessa mätare.

Detta motiverar forskare att undersöka möjligheten för alternativ PQ-mätning och kontroll genom kombinerad användning av SM, speciellt för distribuerad generering [3]. Spänningskaraktistiken uppmäts där från SM, utan större fördyring av apparaturen. Betydande forskning har gjorts i Europa [4] för att utvärdera kapaciteten hos SM att presentera PQ-parametrar i smarta-nät-SCADA området [5].

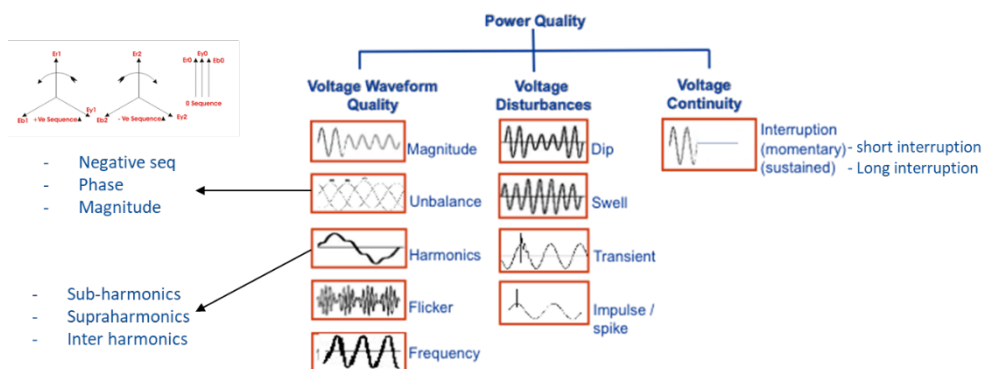
Trots flertalet akademiska standard-ambitioner så har SM inte kunnat nå upp till de hårt ställda kraven som är satta i övervakningsstandarderna för PQ, tex den italienska mätar-standarderna [6]. En alternativ metod för övertonsanalys föreslogs i [3], i vilken man hävdade att man betydligt minskade kraven på datorkapacitet i SM, baserat på "full-chain"-linjärisering. Beräkningen av spänningskaraktistiken baseras på en veckas statistik aggregerad som tiominutersdata. Kraven på datorkraft för övertoner visade sig vara alldeles för höga för att hanteras av SM. Det är dock möjligt att utvärdera den totala harmoniska distorsionen (THD) genom "multi-resolution" wavelet analys och Goertzel filter. Komplexa beräkningar har också testats med hjälp av Digital Signal Processing (DSP) komponenter, nämligen ARM Cortex [7]. Därmed är det idag inte möjligt att motivera att SM ersätter PQ-mätare, utan de kan ses som ett komplement som ger ytterligare information i nätplaneringen.

## 1.5 DEFINITIONER FÖR ELKVALITETSINDIKATORER

PQ-indikatorer definieras framför allt av spänningskaraktistiken. Strömkaraktistiken anses inte vara lika intressant pga. den typiska lastkaraktistiken. Därför refererar man vanligtvis till PQ när man menar spänningskaraktistiken. Spänningskvalitet definieras i Europa i standarden EN 50160:2010, indelad i låg-, mellan- och högspänningsnät för frekvens, amplitud, fassymmetri. Några orsaks/verkan-samband för spänningskvalitet finns förklarade i tabell 1, samt i figur 2 nedan.

Tabell 1 PQ-indikatorer med definition, orsak och verkan

Indikator	Definition	Orsak	Verkan
Kortvarig spänningssänkning eller Underspänning	Underspänning (<90%) i några cykler	Kortslutning mot jord i något överliggande nät	Ger spänningsflimmer, påverkar livslängden på utrustning mm.
Kortvarig spänningshöjning	Överspänning (>110%) amplitud grundfrekvensen	Vid uppstart av nät, samt vid urkoppling av större laster	Minskar verkningsgraden, samt risk för urkoppling p.g.a. överspänning
Övertoner	Överlagrade spänningar med frekvenser som är multiplar av grundtonen	Omriktare samt obalans mellan källa och last	Flertalet konsekvenser, som tex överhettning av utrustning genom ökade förluster, åldring och skada hos apparater, feloperation hos brytare.
Spänningstransient	Överspänning under en fraktion av perioden. Spänningens-amplituden kan vara flera kV.	Blixtnedslag, samt manövrering av brytare	Kan skada eller slå ut känslig utrustning. Kan trigga en trip av utrustning.
Mellantoner	När övertons-frekvensen inte är en multipel av nätfrekvensen	Vissa omriktar-applikationer	Högre systemförluster, förkortad livslängd hos komponenter
Obalans	Inkluderar flera faser. Komponenten för negativ fasföljd är mer än 2% av den för positiv fasföljd.	Genom interferens av i systemet inkopplade apparater	Förkortad livslängd hos utrustning. Processer som stängs av
Elnätskommunikation (PLC)	Överlagrad kommunikationssignal med bärvåg i spannet 100 Hz till flera kHz	Kontrollsignalen som sänds på kraftledningen påverkar rippel-kontrollsignalen	Koordinerat spänningsrippel i nätet vilket leder till flimmer



Figur 2 PQ-karakteristik förklarad med grafer, med de engelska termerna

## 1.6 DEFINITIONER FÖR STRÖMKARAKTERISTIK

Standarden EN 61000-4-30 beskriver mätmetoder som används för olika PQ-parametrar för ström. Generellt, så kan man säga att PQ i spänning är leverantörens ansvar och PQ i ström är konsumentens ansvar. Men när man utvärderar fasvinklar så blir strömmätningar, inklusive övertoner nödvändiga. Dessa strömmätningar kan vara avgörande för att avgöra om källan till störningar i PQ finns i överliggande eller underliggande nät. De flesta parametrarna för PQ i tabell 1 kan även användas även för ström kvalitet.

## 1.7 SUPRATONER I KRAFTSYSTEMET

Supratoner är en ny trend i kraftsystemet. Effektflödet från produktion via transmission, distribution, följt av slutkunder/konsumenter är idag mer distribuerat. Nya typer av energikällor, distribuerade och med nya inmatningspunkter skapar en produktions- och konsumtionskedja med effektflödesriktningar som kan reverseras. Den distribuerade förnybara genereringen bidrar med effektfluktuationer i elsystemet. De ger även upphov till högfrekventa effektkomponenter (även kallade supratoner), i lågspänningsnätet.

Supratoner finns mellan 2-250 kHz. Källan till dessa är till stor del halvledaromriktare som arbetar inom området 20-100 kHz för omriktare under 100 kW och i området 9-20 kHz för de över 100 kW. Dessa omriktare finns typiskt i solcellsparkar, vindkraftsparkar, energilagrar, energieffektiva omriktarstyrda motorer, samt i kombinationer. Dessa kombinationer av ovan nämnda finns ofta i ett kraftverk med förnybar produktion.

Supratoner påverkar apparater såsom SM, belysningsdimmers, PLC kommunikation, för att nämna några. När dessa högfrekventa signaler finns i kraftsystemet, ökar den kapacitiva strömmen, vilket även skapar strömkomponenter i neutralen pga. obalans mellan faserna. Det kan minska livslängden på tex LED lampor. Det kan även påverka reläskyddet.

## 1.8 MÄTKLASSER

Det finns två mätklasser beskrivna i IEC 61000-4-3, nämligen klass A och klass S. Klass A mätningar är precisa och kan användas för att bedöma lagefterlevnad, och där två olika instrument som mäter samma parameter ska uppmäta samma värde inom gränserna för sin mätnoggrannhet. Klass S däremot, används mer för statistiska PQ-mätningar, med liknande mätintervall som Klass A. Klass S har lägre krav på processorkraft. Det finns även en parametergrupp som benämns Klass B. Denna klass finns i äldre instrument och är inte längre använd.

## 1.9 STANDARDER INOM ELKVALITETSMÄTNINGAR

Det finns ingen enskild standard för alla PQ-parametrar. Den Europeiska standarden EN 60160 används som en mätguide för spänningskaraktäristik. EIFS2013:1 är tillämplig för flimmer och mellantoner, något som inte beskrivs i EN 60160. Mellantoner finns i EN 6100-2-2. Utöver detta finns det en rad standarder att följa för specifika PQ-indikatorer. Mätinstrumentdirektiv är i



Sverige SS EN 50470-1 och EN 50470-3, och internationellt motsvarande IEC 62052-11, IEC 62053-21/22/23, IEC 62052-21 och IEC 62054-21.

## 2 Övervakning av elkvalitet

### 2.1 ELKVALITET I DISTRIBUTIONSNÄTET

PQ-mätningar i distributionssystemet är viktiga för att kunna säkerställa ren PQ och kraft till konsumenterna. Distributionsnätet tar även emot många störningar, eller föroreningar, skapad av prosumenter (producent/konsument) och distribuerade energikällor, vilket ökar nätets komplexitet. Det har därför blivit erforderligt att mäta PQ i distributionsnätet [8]. Designaspekter för storskaliga PQ-mätningar i framtida smarta elnät diskuteras i [9], genom att integrera funktionalitet till de existerande SM, vilka har analog signallogik, kommunikation, kraftförsörjning, mm. PQ-mätarna kommunicerar med icke-standardiserade protokoll och gränssnitt, vilket för det svårt att använda dem i detta interoperativa scenario. Eftersom distributionsnätsägaren agerar som ett mellanskikt mellan konsumenter och producenter av energi, så är de även ansvariga för att säkerställa PQ i båda ändarna, och behöver därmed installera utrustning för att mäta och därmed kunna förbättra PQ.

Några genomgående orsaker för PQ, när det gäller distribuerad generering, är användandet av självkommuterande omriktare, vilka emitterar övertoner i högfrequensspektrat. Nya driftsstrategier, speciellt i ö-drift i lågspänningsnät, innebär också utmaningar för mängden tillgänglig kortslutningsström som behövs för att bibehålla PQ vid större fel i nätet. Vi ser nya typer av utrustning, i samband med energibesparingsåtgärder såsom installation av LED lampor. VSD drivna system ökar mängden övertoner i systemet pga. användandet av kraftelektronik. Allt detta innebär att vi har en hög nivå av spänningskontrollerad utrustning och övertonsnärvaron blir märkbar i ett brett frekvensspektra. Denna form av störningar på nätet kräver åtgärder i anslutning till den utrustning som stör.

Det finns miljoner SM installerade i distributionsnätet, vilka har kapaciteten att detektera och mäta händelser där spänningen hamnar utanför föreskrivna gränser. Sådan information skickas redan, eller kan skickas till driftcentralen. Om mätningarna på olika platser i nätet inte är synkroniserade innan de skickas till kontrollcentret, så blir det svårt att agera med korrekta åtgärder. En brist på standardisering i kommunikationsprotokoll, datahantering och användarinterface, gör det svårt att överblicka, integrera och använda data från flera leverantörer av SM data i en stor skala.

Sådan förändrad funktionalitet motiverar installation av en PQ-modul i SM med en leverantörsoberoende plattform. Därmed kan en bredare användning av existerande SM uppnås, och på samma gång kan existerande infrastruktur förstärkas.

### 2.2 LISTA PÅ ELKVALITETSPARAMETRAR

I tabell 2 följer en lista på olika parametrar som används för att mäta PQ.

Tabell 2 PQ-storheter med beskrivning och kommentar

Storhet	Beskrivning	Kommentar
Nätfrekvens	Frekvensmätning, vilken kan avvika från nominell frekvens (50/60 Hz), uppmätt en gång var 10:e s.	Mätosäkerheten skall ej vara mer än $\pm 10$ mHz för klass A.
Amplitud matande spänning $U_{RMS}$	RMS amplitud över ett intervall på 10 cykler för kvasi-stationära signaler, ej för överspänning, underspänning, transienter och avbrott	RMS värde inkluderar övertoner, mellantoner, grundton, mm
Långsamma spänningsändringar/ Flimmer	$P_{st}$ (st=short term) definierad för 10 minuter $P_{lt}$ (lt = long term) beräknad från 12 $P_{st}$ som varar 2 h. $P_{lt} = \sqrt[3]{\sum_{i=1}^{12} \frac{P_{sti}^3}{12}}$	$P_{lt} < 1$ för att inte skapa obehag
Kortvarig överspänning/-underspänning	Beräknas för $U_{RMS(\%)}$ under en cykel. 90% och lägre för underspänning och 110% och över för överspänning	Spänningsreferensen behöver definieras för var tidpunkt för att beräkna över- och underspänning
Avbrott	Avbrott där $V < 5\%$ av $U_{ref}$ Väldigt korta avbrott pga. automatisk återinkoppling 1-5 s Korta avbrott $\leq 3$ min Långa avbrott $> 3$ min	
Transienta spänningar	Väldigt kort överspänning på några ms eller kortare. Högre frekvensinnehåll än grundfrekvensen. Kan ibland existera mer än en halv cykel	Skapas av blixtnedslag eller brytning av kapacitiv och induktiv last. Finns i intervallet $\mu s$ till ett antal ms
Spänningsosymmetri	Fasspänning är olika, eller fassvinkelskillnaden är ej 120 grader i ett trefasssystem	
Spänningsövertoner	RMS-medelvärdet under 10 minuters-perioder för en specifik överton ska under en vecka understiga en viss tabulerad %.	THD i matande spänning, för alla övertoner upp till den 40:e ska vara $\leq 8\%$
Spännings-mellantoner	Orsaken till övertoner på högre frekvenser i kHz-området. Ej väldefinierade	Används pga. frekvensomriktare, kontrollers, som finns i elnätet

Storhet	Beskrivning	Kommentar
Elnätskommunikation	Spänningsnivån (uttryckt i %) använd som signal ska inte överskrida ett visst värde inom ett frekvensområde	PLC används för kommunikation. Tex 1,4 V RMS är godkänt som överlagrad signal.
Snabb spänningsändring	Orsakad av lastförändring i elnätet, omkoppling eller annan systemhändelse. Om nivån når den för kortvarig spännings-höjning/-sänkning så kan de begreppen användas istället för Snabb spänningsändring.	

### 2.3 ELKVALITET VID SAMMANKOPPLINGSPUNKTEN

Vind- och solkraftverk kopplas till elnätet i en sammankopplingspunkt (Point of common coupling (PCC)). Dessa typer av kraftverk är källan till en del PQ-problem. Detta pga. bristen på styrbarhet i produktionen, samt användandet av kraftelektroniska komponenter. En studie som beskriver de operativa egenskaperna hos vindkraftverk under ett större elavbrott i Turkiet den 31:a mars 2015 finns beskriven i [10]. Avbrottet var en konsekvens av tekniska fel i ett kraftverk i västra och södra Turkiet. PQ-mätarna fanns installerade i Nordex vindkraftverkets sammankopplingspunkt. De registrerade spänningen med 1024 sampel/cykel (50kHz) och strömmen med 25kHz. Vindkraftverkens specifikationer varierar med regleringarna i respektive land, vilket tillverkarna anpassar sig till. Anpassningarna gäller tex frekvensstabilitet, spänningsreglering, samt bidrag till aktiv och reaktiv effekt vid en viss tid.

### 2.4 INVERKAN AV LADDNINGSTATIONER FÖR ELBILAR

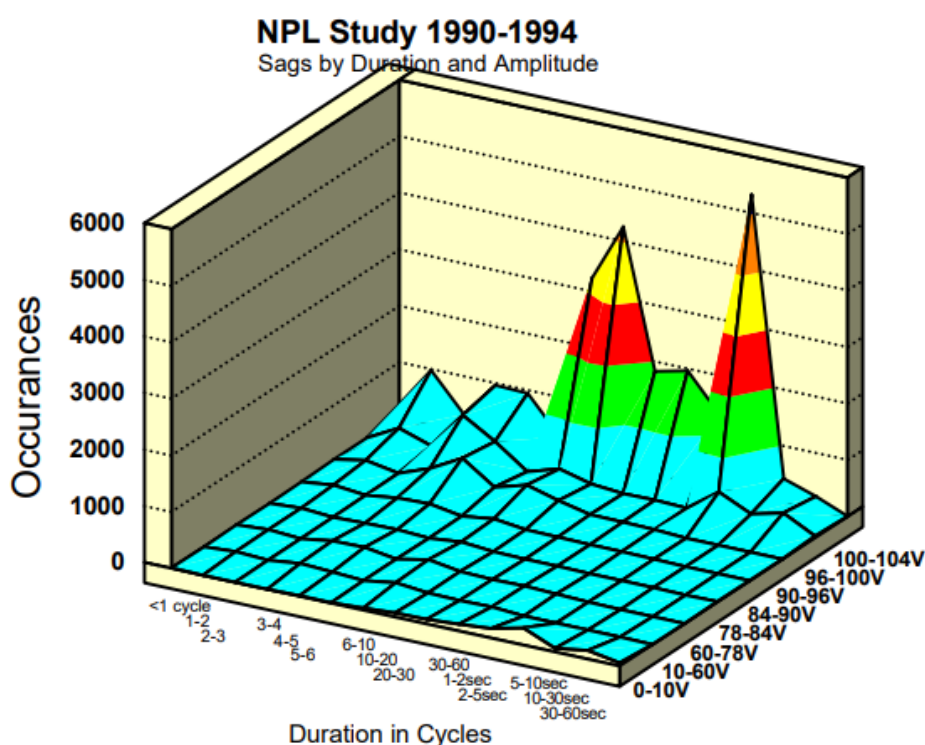
Enligt [11] så orsakar laddningsstationer för elbilar övertoner upp till 50 kHz. I en annan mätning på en 380 kV transformator, med fältstyrning i en kondensatorkropp på genomföringen så kunde övertoner mätas till 9 kHz. Enskilda övertoner upp till den 25:e övertonen (1,25 kHz) är gränsen för EN 50160. Standarden tar även upp THD upp till 40:e övertonen. I mellanspänningsnät, högspänningsnät samt extra-högspänningsnät har 50:e övertonen uppmäts. Därför har man i studien valt att mäta upp till 150 kHz, för att ta höjd för omriktarfrekvensen hos solkraftverk och elbilsladdare. Mätningens bandbredd och påverkan av dämpningar och resonanser skapar en del mättekniska utmaningar, då mätningarna görs via ström- och spänningstransformatörerna, vilka har en lägre bandbredd än kondensatorkroppen på genomföringar [11].

### 2.5 STANDARDS FÖR ELKVALITETSMÄTNINGAR SOM ANVÄNDS GLOBALT

Rollen för en rad globala kontroll- och standardiseringsinstitutioner finns listad i [13]. Här finns även motivering till den växande forskningen inom PQ som vi kan se i större delen av de för området medvetna länderna.

EPRI:s jämförelseprojekt för tillförlitlighet (EPRI reliability benchmarking project, RBM) skapade en effektiv mätsticka för PQ-storheterna för att kvantifiera servicekvalitet (Quality of service, QoS), redan 1996. Jämförelsen skapade genom att ta hjälp av flera standardiseringsinstitut, IEEE, IEC, ANSI, NEMA, m.fl..

I en NPL-studie registrerades antalet händelser för kortvariga spänningssänkningar som högst för tidsintervallen 1-2 s samt 5-10 s [14], se figur 3 nedan.

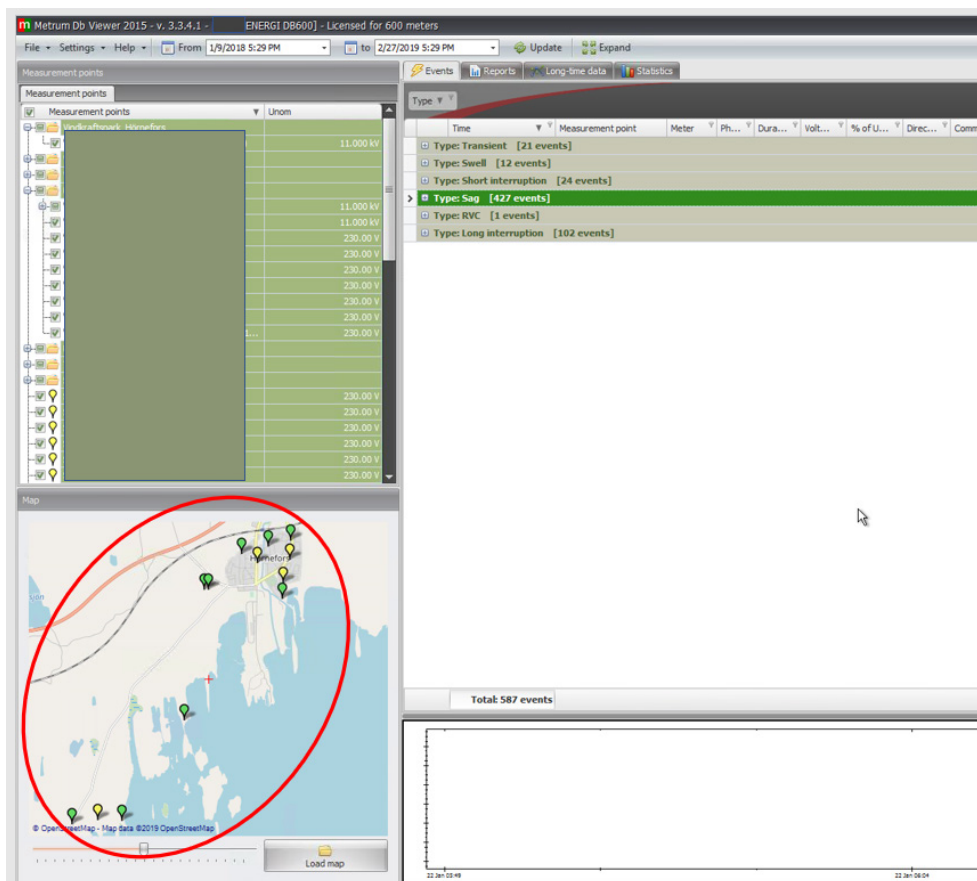


Figur 3 Antalet kortvariga spänningssänkningar (Sag) rapporterade i en NPL studie, enligt IEEE Std 1100-1992.

## 2.6 MÄTNING AV ELKVALITET MED HJÄLP AV PROFESSIONELLA MÄTINSTRUMENT

Ett antal företag på marknaden erbjuder Klass A mätningar av PQ-storheter, på olika spänningsnivåer, i primära och sekundära nivån i distributionsnätet, regionnät, samt i hushåll. Beroende på specifikationerna hos dessa mätinstrument, deras uppkopplingsmöjligheter, datalagringsmöjligheter, så finns de tillgängliga i olika prisklasser. I detta Energiforsk-projekt så fanns möjligheten att arbeta med fyra tillverkare, nämligen Metrum, Unipower, Dranetz och PSL. De flesta av dessa företag är aktiva på en internationell marknad, med flera produkter och kunskapsdelning inom området. Läsaren uppmanas att googla på dessa leverantörer för att enklast lära sig om deras mest aktuella produkter. Det finns även en mängd studier publicerade på deras hemsidor, vilka beskriver vilka kundprofiler de riktar in sig på och hur dessa kunder har haft nytta av PQ-mätningarna.

Funktionaliteten hos SM, PQ-mätare, felskrivare, samt störningsskrivare är väl överlappande, då dessa apparater jobbar i närliggande applikationer. Det är därför svårt att generalisera vad en PQ-mätare ska mäta för en viss spänningsnivå. Datalogen som PQ-mätaren lagrar finns tillgänglig i ett leverantörsspecifikt format. Även om dataloggarna kan översättas till PQDiff-formatet, så saknas idag möjligheten att få en bra analys av data från flera leverantörers mätare, i en och samma neutrala plattform för nätövervakning. Detta begränsar elnätsbolagen till att använda en leverantörsdatabas, och därmed att begränsa valet av leverantör vid inköp av nya PQ-mätare. En illustration finns presenterad i figur 4 nedan, där flera PQ-mätare från Metrum används för att lagra data i Metrums databas. Likande tillvägagångssätt används av även av andra leverantörer. Eventen finns listade till höger, och den geografiska placeringen av PQ-mätaren finns i nedre vänstra delen av figuren.

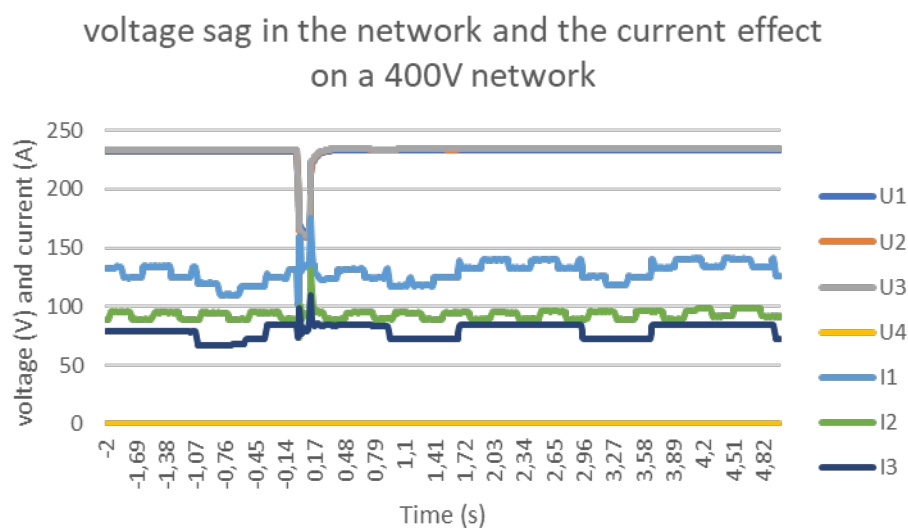


Figur 4 Metrum database viewer för ett elnätsbolag, där alla händelser under en viss tidsperiod visas

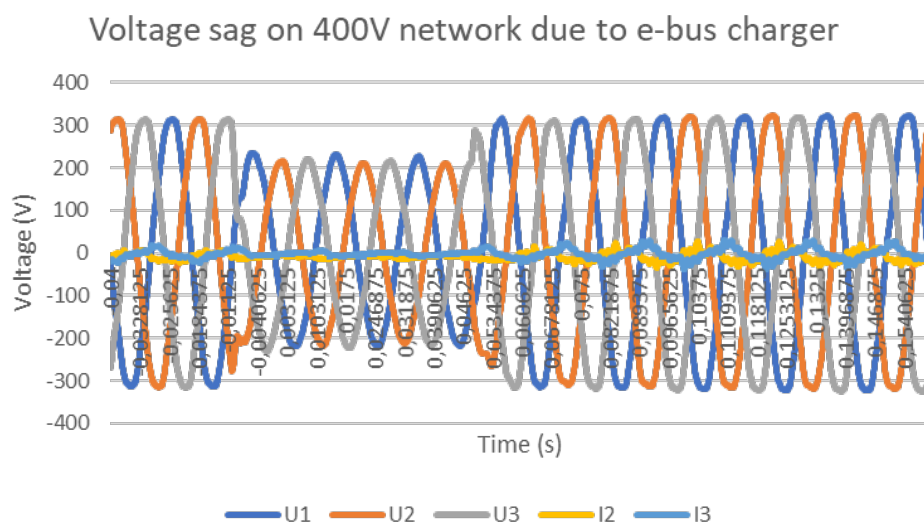
De flesta av dessa händelser har registreringar av RMS-värde i 7 s, 2 s före och 5 s efter att händelsen triggade. Beroende på specifikationen på varje enskild PQ-mätare, så registreras även vågformen under c:a 10 cykler med en samplingshastighet på 12,8 kHz.

En typisk RMS-mätning och vågformssignal för spänning och ström, uppmätta i samband med en kortvarig spänningssänkning i ett 400 V nät visas i figur 5

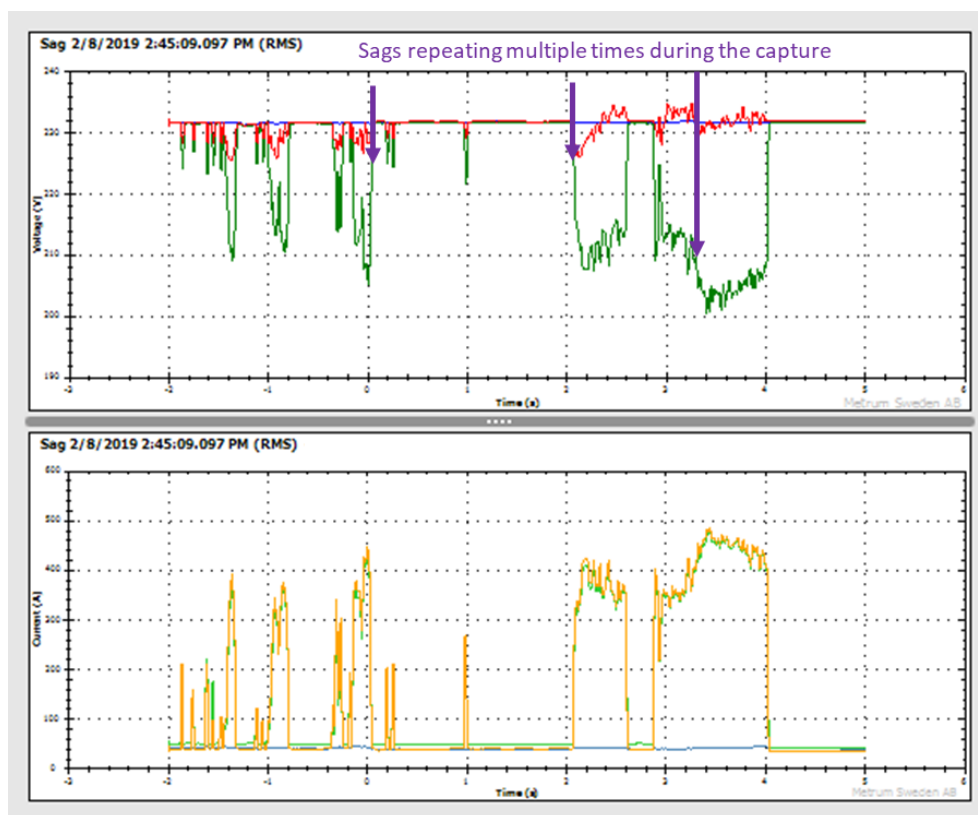
respektive 6. En laddning av ett elektriskt fordon orsakade denna kortvariga spänningssänkning, och är därmed en händelse som uppkommer på konsumtionssidan, nedströms i nätet. Om flera kortvariga spänningssänkningar uppkommer under en kort tidsperiod så registreras de inte separat av mätarna, se figur 7.



Figur 5 RMS värde för spänning och ström registrerad under en händelse med en kortvarig spänningssänkning i ett 400V-nät



Figur 6 Registrerad vågform för spänning och ström i 10 cykler vid en händelse med kortvarig spänningssänkning



Figur 7 Flera tillfälliga spänningssänkningar, pga. en snabb återkoppling, registrerade som en händelse

Som har nämnts tidigare, så är målet med denna studie inte att hitta begränsningar hos enskilda mätinstrument, utan att skapa en medvetenhet hos elnätsbolagen om vad dessa mätare har för kapacitet att leverera. I följande kapitel så har författaren därmed delat erfarenheter som är insamlade från flera elnätsbolag. De visar både sin medvetenhet om dagen problem och sin beredskap för att hantera framtida PQ-problem.



## 3 Erfarenheter från olika elnätbolag

Avsikten med detta kapitel är att sammanfatta intervjuer och diskussioner som har förts med ett antal elnätbolag. Erfarenheterna innefattar produktions- och lastsituationer i deras nät, och hur de hanterar relaterade PQ-analyser i nätet.

### 3.1 TEKNISKA VERKEN I LINKÖPING

Tekniska verken i Linköping AB (publ) (TV) har totalt ca 230 000 privata och företagskunder. I portföljen ingår bl.a. elnät, elhandel (Bixia), avfall, biogas, kraftvärme, fjärrvärme, fjärrkyla, VA, bredband, en laddinfrastruktur för elbilar. De har ett elnät inom en radie på ungefär 30 km med utgångspunkt både runt Linköping samt Katrineholm. Inom TV finns bl.a. ett 130 kV regionnät samt 18 mottagningsstationer anslutna till spänningsnivåer 130 och 40 kV, dessa stationer matar sedermera det underliggande distributionsnätet. Inom flera av TV's områden är eldistributionsnätet byggt i slingor med markkabel vilket erbjuder snabb återställning i händelse av ett fel. Linköping har över 9 MW solkraftsproduktion och Katrineholm har ytterligare >2 MW installerad, mestadels i form av takmonterade solcellsanläggningar. Under våren 2020 byggs en solkraftsproduktionsanläggning på ca: 10 MW i Linköping, detta i angränsande till befintlig kraftvärmeproduktion längs med E4:an. De avfalls- och biobränsleeldade kraftverken bidrar med ytterligare >70 MW lokalproducerad elektricitet. De har dessutom flertalet vattenkraftverk anslutna till sitt elnät.

Privatkunder som installerar solcellsanläggningar på sina fastigheter har möjlighet att installera en extra certifikatsmätare, denna är kopplad direkt till solcellsanläggningen och inte till konsumtionen inom kundens anläggning. Med hjälp av denna mätare får kunden även viss ersättning från Energimyndigheten för produktionen inom sin solproduktionsanläggning. TV har möjlighet att erbjuda installation med tillhörande löpande tjänst av certifikatsmätare, men det går även att välja någon annan certifierad tredjepartsleverantör. När en mindre kund producerar el som distribueras ut på elnätet ersätter elnätbolaget kunden med en nätnytta som motsvarar bl.a. minskade förluster i elnätet.

Data från endast elnätsägarens mätare är inte tillräckligt för att för att avgöra hur anläggningen påverkar elnätet. I sak är det svårt att få en överblick över installerad kapacitet, om den är installerad i en specifik geografisk riktning (söderfasad, till hälften nord, sydlig mm), vilket är viktig information för att avgöra hur man ska agera för att kapa effekttoppar i nätet, eller ens för att bestämma en fast taxa eller planera driften av nätet.

TV är involverade i forskning om hur olika last-mekanismer, i kombination av takmonterade solceller och fordonsladdningslastmönster, användas vid planering av framtida exploateringar och förtätningar i samhället. Detta är intressant att följa över tid då dagens scenario ändras snabbt. TV ser sig själva som progressiva och driver utvecklingen när det gäller att introducera olika kapacitetsdrivna affärsmodeller och tariffer. De är klarsynta när det gäller att förstå och förutse konsumenternas beteenden samt marknadens dynamik.

Den installerade basen av PQ-mätare i TV Nät är begränsad till framför allt 130, 40, 20 och 10 kV nätet. PQ-mätarna kommer både från Unipower och från Metrum. De har totalt ca: 50 talet PQ-mätare. Några av mätarna är avsedda för temporära mätningar, de används ambulerande för både verifieringsmätningar som för mätningar vid specifika kundrelaterade PQ-frågor. Mätarna registrerar både RMS och vågformer. De avser att förstå påverkan av övertoner, distorsion, och flera andra PQ-parametrar i nätet och följer de viktigaste PQ parametrarna för att se hur de utvecklas över tid. Tyvärr finns inte möjligheten med dessa system att analysera om mängden mellantoner (% jämfört med grundtonen) härstammar från högre eller lägre spänningsnivå.

De mätningar som görs med dagens setup kräver ofta övergripande studier, ofta med krav på djupare kunskap inom distorsionsnivåer, triggernivåer samt koppling mellan triggade event och systemevent, detta för att skapa en djupare förståelse av situationen samt kunna hitta och genomföra lämpliga förbättrande åtgärder i elnätet.

### 3.2 JÖNKÖPING ENERGI

Jönköping Energi (JE) har en kundbas på 55000 och konsumerar ungefär 1% av Sveriges totala elektriska energi. De har en portfölj som liknar TV, vilken inkluderar fjärrvärme, elproduktion från termiska kraftverk, vindkraft, biogasproduktion samt konsumtion via gatubelysning. Jönköping har 4 sektioner i sitt nät och kopplar mot Vattenfalls och E.Ons 130 kV nät. De har tre vindkraftparker som ägs gemensamt mellan JE, Tuggarp och Brahehus Vind AB. Årsproduktionen av vindkraft ligger på ungefär 6500 MWh.

Det finns 14 PQ-mätare från Dranetz installerade. De är kopplade på 40 kV och 10 kV nätet. De registrerade händelserna är uteslutande från överliggande nät, såsom jordfel, kortslutning, eller likande. JE har ambitionen att förstå PQ-problem ner till konsumentnivå, genom att installera nya SM, vilka ska leverera delar av den nödvändiga informationen kontinuerligt för nuvarande status, samt logga historia.

### 3.3 JÄMTKRAFT

Jämtkraft tror starkt på förnybara energikällor. De har en kundbas på 60 000 abonnenter, liknande JE. De har 17 vattenkraftverk som årligen producerar ungefär 940 GWh elektrisk energi. Andelen solkraft ökar. Huvudkontoret har en solcellsanläggning som producerar 18 000 kWh årligen. De har ett regionnät för transmission på c:a 8300 km, med Fortum och Skellefteå Kraft som matande inkopplingar till sitt nät.

Jämtkraft har ett primärt och sekundärt distributionsnät på 130 kV till 20 kV och 10 kV. De har omkring 50 PQ-mätare på hög- och mellanspänningsnivå, samt har planer på att installera PQ-mätare i alla brytar- och sekundära ställverk.

### 3.4 SUNDSVALL ELNÄT

Sundsvall elnät har en bas på c:a 28 000 abonnenter. De äger ingen egen kraftproduktion, och E.On är den enda stora leverantören av el-energi. Det finns inga vindkraftparker kopplade till deras nät, och sol-elen från 40 kunder står för upp till 1 MW total installerad kapacitet. De har 6 primära och omkring 600 sekundära ställverk med omkring 725 distributionstransformatörer (DT).

Med tanke på storleken hos bolaget så ligger Sundsvall Elnät i framkant när det gäller förståelsen för PQ i deras nät. De har omkring 450 PQ-mätare, alla från Metrum, i sitt distributionsnät, med en ambition att ha en vid varje DT. Deras brytarställverk har PQ-mätare på 11 kV sidan, medans 130 kV förvaltas av E.On. Energistölder finns rapporterat i Sundsvalls Elnäts nät. Det finns klagomål på flera PQ-händelser från överliggande nät, vilka ledde till tillfälliga spänningssänkningar följda av snabba återställningar av spänningen.

### 3.5 UMEÅ ENERGI

Umeå Energi har omkring 60 000 abonnenter. De har en hel del vattenkraft. Solkraften ökar och ligger på ungefär 100 kunder omkring 3 kW produktion var, och en lantbrukare som enskilt producerar 43 kW. De har ett kraftverk på Ålidhem som producerar 65 MW kraft, varav 10 MW är elektrisk effekt och resten är fjärrvärme. Ett andra kraftverk Dåva, producerar 105 MW, varav 30 MW är elektrisk effekt. Regionnätet har en struktur genom 130 / 30 / 10 kV.

Umeå Energi har registrerat en mängd PQ-problem i shopping center, skapad av LED lampor, rulltrappor, luftkonditionering, mm. De försöker förstå hur laddningen av elfordon påverkar PQ. Umeå Energi har omkring 500 PQ-mätare installerade på olika spänningsnivåer och är mest intresserade av att studera spännings- och strömövertoner i deras nät. Metrum är ensam leverantör av PQ-mätare till deras nät.

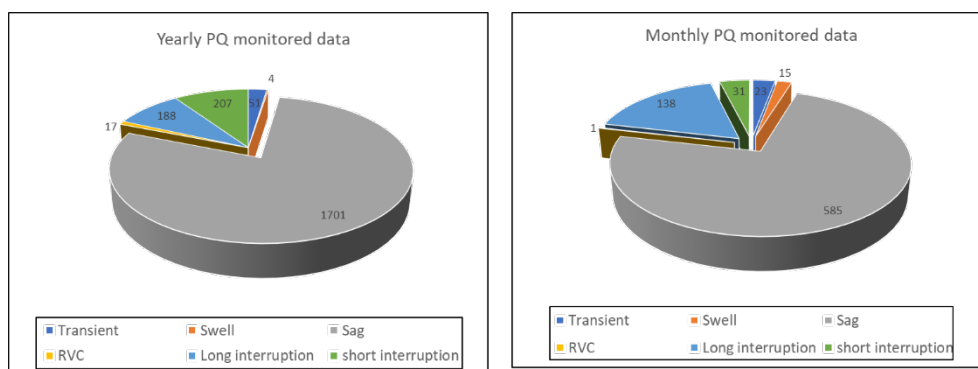
### 3.6 ANALYS AV ELKVALITETSDATA FRÅN ÖVERVAKNINGSSYSTEM

Författaren har försökt att förstå registrerad PQ-data från de olika elnätsbolagen. Den mesta tillgängliga data var RMS och vågformsdata registrerad i samband med en PQ-händelse. Den största utmaningen var att validera en händelse registrerad av en PQ-mätare. Producenterna av PQ-mätare har naturligtvis kommit långt med tekniken att separera olika typer av event på ett korrekt sätt. En klar brist har dock identifierats när det gäller att skilja en tillfällig spänningssänkning från avbrottet i en process, vilket beror på var spänningen och strömmen mäts med den installerade PQ-mätaren. Den andra utmaningen handlade om att skilja ett event från överliggande eller underliggande nät. Det noterades även att leverantören, i sitt användarinterface, lät elnätsbolaget manuellt komma med input för signalkällan när denna inte kunde avgöras i instrumentet. Detta är i och för sig bättre än att felaktigt ange källan, men samtidigt kan det konstateras att mer forskning och utveckling krävs för detta område.

Även långtidseffekterna av mellantoner och supratoner på närliggande utrustning kräver också studier, samt att isolera dessa störningar vid källan. En detaljerad studie av detta har gjorts av Sarah Rönnberg m.fl. [15].

Figur 8 visar statistik från ett elnätbolag med PQ-mätare från ett bolag. Olika typer av PQ-händelser har registrerats på årsbasis och månadsbasis. Två saker behöver nämnas här

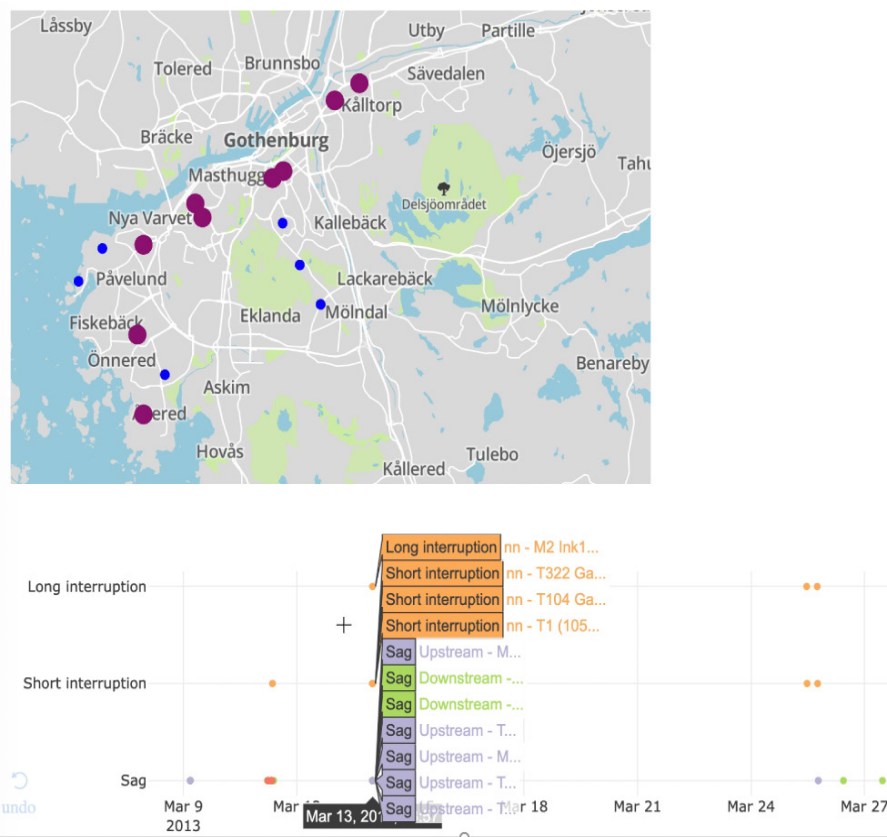
1. Ett större antal falska klassificeringar registrerades från några PQ-mätare, vilka registrerade alla start och stop av en industri som händelser, vilket ökade antalet händelser signifikant. Det är därmed viktigt att välja rätt kopplingspunkt att mäta PQ i.
2. Kortvariga spänningssänkningar dominerar som den vanligaste formen av PQ-händelse.



Figur 8 Antalet händelser registrerade hos ett elnätbolag under ett år (vänster), en månad (höger)

Det noterades att en stor mängd data skapades på individnivå för olika transformatorer och kopplingspunkter där PQ-mätare fanns installerade. Det har inte varit ambitionen i denna studie att gå igenom den informationen mer i detalj och dra logiska slutsatser från den.

Det är värdefullt att korrelera händelser med geografiska positioner, samt med nättopologier för att dra mer meningsfulla slutsatser från en rad händelser. En illustration av en sådan studie finns i figur 9, där olika händelser kombineras i tid och geografisk position, och presenterats för att följa kaskadeffekter och hur nätet är sammanlänkat. En komplettering med nätstrukturen och geografisk struktur kunde ge ytterligare ett djup i förståelsen av denna figur.



Figur 9 Illustration av olika händelser i tidsskala i kombination med en geografisk presentation där PQ-mätarna har förstärkt markering i samband med en händelse.

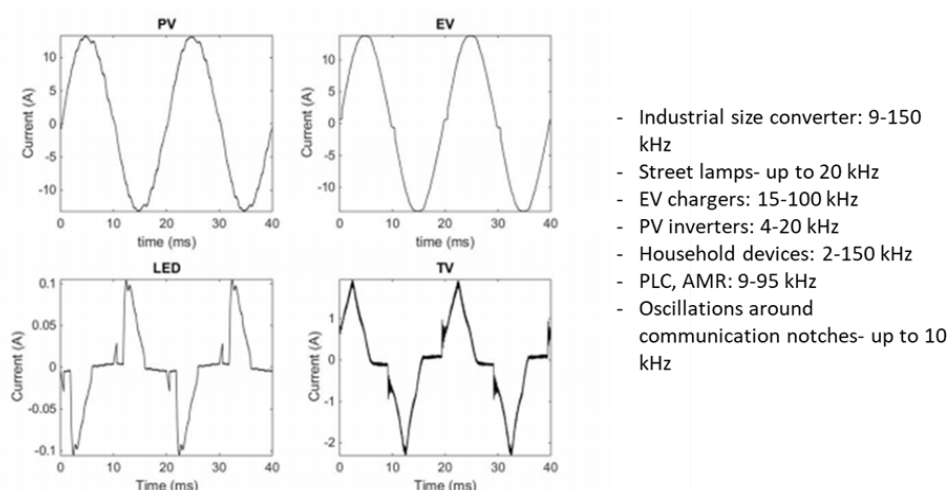
En sådan analys belyser kaskader av händelser och kan studeras efter större händelse för att förstå:

1. Bidraget från nya aktörer (laster eller kraftproduktion), vilka ändrar den tidigare dynamiken, typ av fel, samt andra händelser.
2. Möjligheten att korrelera olika händelser från olika PQ-mätare i en trädstruktur, ringstruktur eller fränkopplad nätstruktur. Det blir lättare att följa utbredningen av en händelse i överliggande nät, ner till underliggande strukturer. Exempel är tillfälliga spänningshöjningar och sänkningar. Eventuella uteblivna registreringar i enskilda PQ-mätare kan också belysa behovet att se över de mätarnas inkopplingar.
3. Analysen av händelser och den efterföljande korrelationen kan öppna för möjligheten att använda big-data-analysplattformar. Där kan kombinationen av artificiell intelligens och maskinläring användas, inte bara för att identifiera felaktiga PQ-mätare, eller händelsestrukturer, utan även för att förutse händelser, baserat på arbetscykler, planering av laster, samt väderdata.

## 4 Reflektioner angående ämnet elkvalitet

PQ-problem uppkommer både vid problem i kraftproduktion samt vid konsumtion. På produktionsidan introduceras distribuerad produktion på alla spänningsnivåer. Detta ger bland annat upphov till en mängd nya kopplingspunkter där spänningsproblem kan spridas i nätet. Den höga graden av oregelbundenhet hos förnybara energikällor skapar en utmaning för nätet att hålla amplitud, fas och frekvens på spänningen. Utöver detta så skapar dessa källors omriktare till 50/60 Hz en mängd transienter med höga frekvenser, vilka inte är välkomna i det traditionella nätet, och kräver filtrering.

På konsumentensida ändrar ett antal nya typer av apparater dynamiken på det traditionella elnätet. Ultra-snabba elbilsaddare når effekter på 50 till 350 kW, och skapar därmed en massa transienter vid inkoppling och urkoppling. Den ökade användningen av LED-lampor, TV-apparater, datorer, mm. skapar en mängd okoordinerade supratoner som inte fanns i tidigare nät. I figur 10 visas hur olika apparater fungerar i olika supratons-frekvensområden.

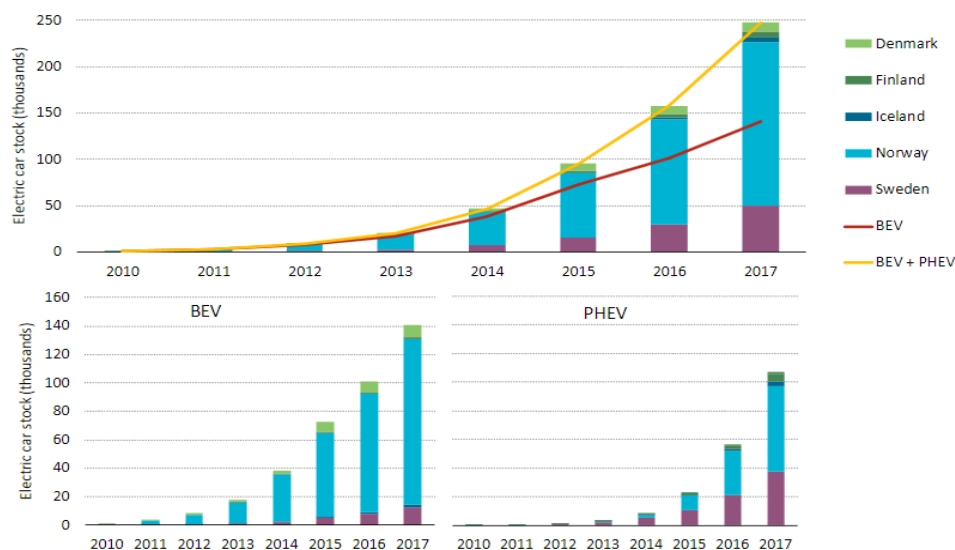


Figur 10 Strömprofiler för fyra olika typer av hushållsapparater. Solcellsomriktare (uppe-vänster), Elbilsaddare (uppe-höger), LED-lampa (nere vänster), LCD-TV (nere höger).

### 4.1 SCENARIO FÖR ELBILAR I DE NORDISKA LÄNDERNA

Försäljningen av elbilar i nordens ligger på tredje plats i världen, efter Kina och USA. Norge har 40% och Sverige (med 50 000 bilar) har 20% av den nordiska populationen. Som visas i figur 11, så fanns 250 000 elbilar i nordens 2017. Trots detta anta så stod elbilarna endast för 1% av den totala elkonsumtionen 2017. Detta delvis för att 50% fortfarande är PHEV (Plug-in Hybrid Electric Vehicle). År 2030 beräknas nordens ha 4 miljoner elbilar med ett behov av 9 TWh, dvs 2-3% av elkonsumtionen [16]. Möjligen kommer vi att få en totalt ändrad marknad, där bilar byggs för kontinuerlig användning, där de kör mer än 12h per dag, och det egna bil-ägandet minskar. Detta skapar en bättre nyttjandegrad, och lägre

kostnader för individen. Det är dock en paradigm-förändring, med nya affärsmodeller och processer, vilket förväntas dröja en bit in i framtiden.



Notes: The electric car stock shown here is primarily estimated on the basis of cumulative sales since 2005. When available, stock numbers from official national statistics have been used, provided good consistency with sales evolution.

Sources: IEA analysis based on country submissions, complemented by ACEA (2017a, 2017b); Autoalan tiedotuskeskus (2017); EAFO (2017); EEA (2017); and Insero (2017).

Figur 11 Antalet elbilar i de nordiska länderna 2010-17. Källa insideevs.com

I "Nordic EV outlook report 2018" rapporterades effekten på distributionsnätet, hos 6 elnätsbolag i Norge, av långsam och snabbbladdning år 2013. Fem olika fordon och en samling av 15 elbilsladdare var inblandade i studien. Förutom flimmer så rapporterades inga större störningar. Omkring 70% av distributionsnätet i Norge är 230V (till skillnad mot 400V i andra större nät). Lägre spänningar (230V) på nätet resulterar i högre strömmar och spänningssänkningar när elbilsladdare kopplas in.

Lågspänningsnät har traditionellt inte övervakats i realtid fram till behovet kom i och med de distribuerade förnybara energikällornas ökning på alla spänningsnivåer. En integrerad realtidsövervakning av lågspänningsnät har föreslagits via FP7 programmet och det europeiska projektet INTEGRIS [17]. I det refererade pappret presenteras användningen av SM och sekundära transformatorstationers mätutrustning för att insamla data om lågspänningsnätet. De sekundära transformatorstationerna används för att aggregera data. En decentraliserad arkitektur för styrning av distributionssystemet, vilken delar uppgifter i olika områden, såsom lagring, control-center-beräkning redan på transformatorstationen på mellan och lågspänningsnivån.

I händelse av en okoordinerad snabb och ultrasnabb ladd-infrastruktur, så kan stationer för elbilsladdning medföra flera negativa konsekvenser. Några finns listade här

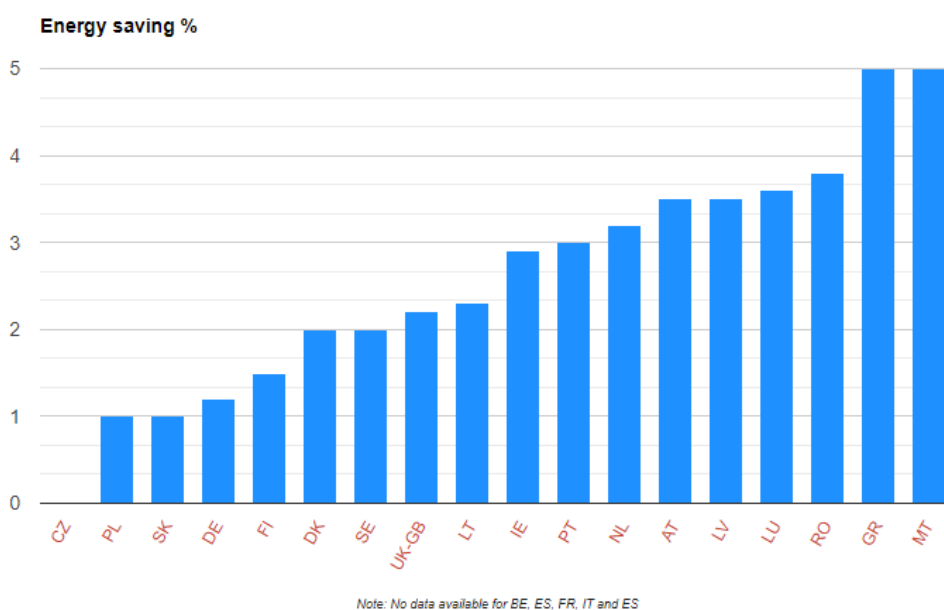
- Ökat behov av toppeffekt

- Minskade marginaler
- Behov av lastförflyttningar från tid med hög till låg last
- Övertoner, och distorsion i nätet
- Spänningsinstabilitet, tillförlitlighets- och effektbrist

#### 4.2 JÄMFÖRELSE AV INSTALLATIONEN AV SMARA ELMÄTARE I 27 EU-LÄNDER

SM är ofta omnämnda för mätning av parametrar för PQ, då de är placerade i den närmaste punkten till lasten som finns hos kunden. PQ-definitionen för kortvarig spänningssänkning, -ökning, övertoner av olika ordningar, är både last och systemberoende, och därmed tätt sammankopplade. SM förväntas även att hantera behovsstyrd last. Behovsstyrda laster kan ses som frivillig anpassning hos slutkunders lastmönster, där de följer tex dynamiska priser på marknaden. Detta görs idag varken ofrivilligt eller utan ersättning [4].

Jämförelsestudien av SM i 27 europeiska länder ger en väldigt detaljerad översyn av SM användningen mot flera variabler som kostnadsanalys (cost-benefit analysis, CBA), energibesparing, topplastförflyttning, livstidsutvärdering, etc. Ett exempel visas i figur 12. I de flesta länderna är CBA positiv efter installation av SM, vilket motiverade de stora investeringskostnaderna. I en tredjedel av fallen, är den inte positiv för storskalig installation. 45 miljoner SM är redan installerade i Sverige, Finland och Italien, vilket står för 23% av EU:s mål för 2020. Målet är 200 miljoner SM för el för 72% av EU:s konsumenter och 45 miljoner för gas (40% av konsumenterna), vilket står för en investeringskostnad på 45 miljoner Euro till år 2020. En sådan ekonomisk osäkerhet ger utrymme för modifieringar av minimum-kraven på funktioner som finns med i installationen av SM, vilket kan ge mer långsiktiga positiva effekter.

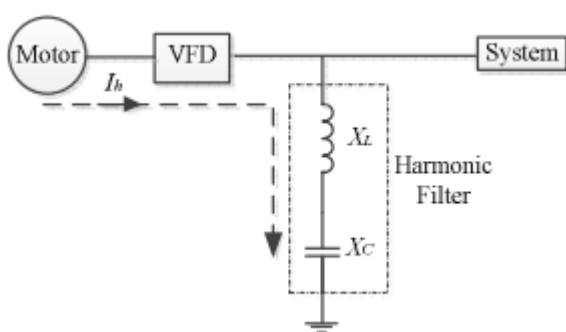


Figur 12 Energibesparing tack vare SM installationer i olika EU stater [4].



### 4.3 FILTER FÖR ATT UNDERTRYCKA MOTORDRIVSYSTEMS ÖVERTONER I MÄTARKOMMUNIKATIONENS FREKVENSSOMRÅDE

Lågpasfilter för övertoner används för att undertrycka övertoner skapade av motordrivsystem och andra olinjära laster, så som beskrivs i figur 13. Men om dessa frekvenser sammanfaller med mätarkommunikationens frekvenser, så kommer även den att undertryckas av filtren. Detta uppmärksammades under förlusten av nedströms-signaler i ett landsortsnät. Mätarna mellan en transformatorstation och ett gaskraftverk hade god signalstyrka, men efter kraftverket sjönk styrkan snabbt. Detta då kraftverket hade en rad filter för 5:e, 7:e, 17:e, 19:e och 33:e övertonen kopplade på sekundärsidan av sina transformatorer. Detta ledde till att signalstyrkan sjönk på sekundärsidan.



Figur 13 passiva harmoniska filter [18]

### 4.4 MÖJLIG UTÖKAD FUNKTIONALITET FÖR SM SOM ELKVALITETSMÄTARE

I en systematisk uppdelning av funktionaliteten hos SM, delas funktionerna upp i två grupper. En för mätning och debitering i realtid, där gruppen kallas smart metrology meter (SMM). En annan som tar in flera andra mätningar som tex reaktiv effekt, fasvinkel och frekvens, kallas smart meter extension (SMX). Denna uppdelning har presenterats i [19] för integrering av elbilsladdningsfunktioner i infrastrukturen för smarta elmätare. Uppdelningen har varit en leverabel i H2020 EU projektet "NOBEL grid" och presenteras som en SM med namnet SLAM. Specifikationen av SLAM [20] innefattar flera realtids-monitoring-funktioner för V, I, P och Q (fyra kvadranter), PF, mm., THD upp till 42:a övertonen av V och I. Den stödjer kommunikationsprotokoll såsom IEC 61850, DLMS/COSEM, OpenADR, MQTT, mm.

Eftersom denna SM stödjer mätningar oftare än en gång per sekund, så kan den användas för SCADA och DMS funktionalitet. NOBEL grid [19] hävdar att sådan funktionalitet är inom räckhåll för låg- och mellanspänning, men studien har framför allt kommunikationsfokus. Tidsstämpling är en kritisk funktion för synkroniserad lästning av data från flera mätare. Detta speciellt när data ska skickas över ett hårt belastat IP nät. Tidssynkroniseringskraven kan sänkas till 1 s för mätare som matar en databas för mätardata. Detta till skillnad mot fas-specifika data som mäts i tex PMU:er som ofta kräver millisekund, eller mikrosekund synkronisering. Data som har skickas varje 5 s, visar avvikelser i MV/LV nätet för

V, I, P och Q i storleksordningen 5-20% [21], och detta förväntas förvärras av introduktionen solcellsanläggningar och moln.

#### 4.5 ANVÄNDANDET AV ELKVALITETSDATA INOM BIG-DATA

PQ kommer troligen bli ett viktigare område närtid, med tydligare regler och krav från standarder och regulatorer, både på konsumenter och också producenter, att efterleva god sed vid inkoppling mot nätet. Detta skapar ett intresse att använda data från närliggande områden inom kraftsystemet för att bättre förutse PQ i framtiden.

Som redan nämnts i kapitel 3, så finns det stora möjligheter att utveckla dataanalysen inom validering av bedömningen för PQ-händelser som sanna eller falska. Detta öppnar för många möjligheter att organisera data från olika händelser, eller inom samma händelse och analysera dem enligt klassificering, typ av fel, prediktering, mm. Samband kan tex fås vid ett avbrott skapat av flera simultana elbilsaddningar i ett svagt nät. Detta skulle kanske kunna undvikas genom en algoritm som förutsäger PQ vid förändringar och därmed avslår en ny inkoppling som inte uppnår en viss kravstandard. Denna typ av utveckling kan möjligen ta hjälp av andra data (både långsiktiga och kortsiktiga) såsom väderleksprognoser, molnprognoser, vind, stormar, nätplanering, topplast, baslast, och möjliga lastförändringar.

## 5 Slutord

Vi lever i en föränderlig värld, där definitionen av konsument förändras till prosumert, men ett aktivt deltagande från konsumentens sida.

Energieffektivisering driver våra affärsverksamheter i alla domäner. Detta öppnar för flera och fler omriktardrivna motorer inom tex industri och ventilation. De traditionella industrikunderna byts ut mot nya såsom data center, ladd-stationer, shoppingcenter. De har ett grundbehov och agerar mot egna randvillkor inom miljö, resultat, effektivitet, tillgänglighet, mm. Produktionsscenarioet modifieras, vilket öppnar för kapandet av toppeffekter, vilket introducerar prioriteringar för mindre viktiga laster.

PQ har blivit viktigare som område för att stödja arbete i det mer dynamiska nätet. Elnätsbolag ökar sin kunskap inom området. Utvecklingen sker dock snabbt jämfört med problembegränsningsåtgärderna. För att bibehålla ett stabilt och uthålligt nät, så ligger behovet av initiativ både på konsument och också producentsidan. PQ-mätningar kan här få en viktig roll att kartlägga vem som är skyldig till problem och sedan ålägga den att åtgärda dem. Utan ett tydligt strategiskt mål, bra teknologi och en vilja, så kommer detta dock vara svårt att nå.

Här kommer behovet av PQ-mätningar att bli väldigt viktiga. Med rätt teknik och metod för att identifiera händelser, och att ta reda på grundorsaken till dem, och att sedan använda tekniker till att begränsa spridningen. Man kommer även behöva bygga affärsmodeller för att stimulera investeringar till störningsåtgärderna.

Denna studie har förhoppningsvis skapat medvetenhet hos elnätsbolagen (speciellt de som bidragit aktivt), och skapat en diskussionsplattform, där mer forskning kan gro inom

1. Minska klyftan mellan PQ-mätare och SM. I ett första steg genom att minska klyftan mellan genom att göra kompletterande mätningar med SM.
2. Ökad förståelse för ursprunget för en PQ-händelse (uppströms, nedströms), såsom kortslutningar, eller andra systemhändelser.
3. Förståelse för saknade funktioner hos PQ-mätare idag.

## 6 Akademiskt perspektiv på elkvalitetsproblem

Detta kapitel är ett akademiskt bidrag till området PQ. Bidraget kommer från Math Bollen, professor i PQ på Luleå Tekniska Universitet. Bidraget är skrivet av Math Bollen på Engelska, och författarna har valt att behålla det på originalspråket.

### 6.1 THE IMPORTANCE OF PQ AND PQ MONITORING FOR NETWORK OPERATORS

There are several competing definitions of power quality [i]. The one that I want to use here is: power quality concerns deviations from the ideal voltage and current, so-called power-quality disturbances. Any deviation that can be measured is called a disturbance and most of the research, monitoring, etc. concerns such disturbances. It is however not these disturbances that matter [ii], but what matters are situations in which a disturbance has an adverse impact on equipment. A number of somewhat randomly-selected examples of adverse impact, so-called “interference”, are:

- Overheating of capacitor banks or transformers in the grid when they become part of a harmonic resonance.
- Production stoppage of an industrial installation when an essential motor drives trips due to a voltage dip, and where it takes a long time to restart production.
- Visible light flicker in LED lamps because of waveform distortion in the voltage that is not synchronized with the power-system frequency (“interharmonics”).
- Damage to equipment with rural customers due to lightning strikes to overhead lines.
- Overheating and shortening of life length of induction motors due to three-phase voltage unbalance.
- Unwanted tripping of the power-system protection due to high levels of voltage distortion.
- Early failure of cable terminations due to high-frequency distortion in the voltage (“supraharmonics”).

The ultimate reason for the interest in power-quality are cases of interference, like the ones mentioned above. Traditionally, and then we talk about the period up to about 2000, power-quality related measurements were limited to cases of interference, so called “troubleshooting”. Several developments have made that measurement equipment has become so much cheaper and easier to use that permanent monitor at a large number of locations has become common practice [iii].

As we are looking from the perspective of the network operator, a distinction should be made between interference with network-operator-owned equipment and interference with network-owner-owned equipment. In the former case, the interest of the network operator is obvious. However, also in the latter case, there should be an interest of the network operator in the interference. Electricity is the

product delivered by the network operator to the network users (consumers, producers and those that are both). Power quality is the quality of this product. Cases of interference for network-user-owned equipment indicate an inferior quality of the product. Without taking an opinion on responsibility, these cases should still be of interest to the network operator.

Other reasons for monitoring power quality, beyond the study of cases of interference, are:

- The electricity regulator (Energimarknadsinspektionen in Sweden) sets requirements on the quality of the voltage. When there is a case of interference and the requirements are not kept, the network operator has to take measures or justify why measures are not justifiable. More details can be found in the relevant paragraphs of the electricity law [iv] and in the regulatory document [v].
- Permanent measurements or measurements repeated after a certain time can indicate trends in voltage quality that could indicate future measures to be taken.
- Monitoring can provide reference levels or background levels for connection of new (types of) equipment. Most methods for estimating the hosting capacity [vi] require measurements of power quality.
- Power-quality monitoring can be used to identify the performance of protection equipment and of fault-ride-through.
- Power-quality monitoring can be used to identify equipment with a high future chance of failure. Especially equipment in the grid should be of interest to the network operator.

There are a number of changes ongoing in the electric power system and more changes are anticipated. This ranges from replacement of incandescent lamps by LED lamps, through connection of solar power and electric vehicle charging, up to the building of new nuclear power stations. Each of this will impact power quality one way or the other, sometimes the impact is smaller than expected, sometimes it is bigger than expected, and in other cases it will be completely different than expected [vii]. Some of the potential cases of interference can be solved by introducing additional regulation, for example setting an upper limit to the size of single-phase PV inverters. Such is possible when the impact is well understood, as is the case for voltage rise. But for a phenomenon like waveform distortion (harmonics, interharmonics and supharmonics) there are too many uncertainties [viii]. Additional regulation will not be of much help for such a phenomenon and instead a detailed observation of the trends is needed. Network operators should use power-quality monitoring and analysis of the data, to detect trends towards increased risk of interference. Once such a trend is detected, measures may be taken either in the grid or with one or more customer installations. Here it is important that expert knowledge is available to the network operators when such a trend occurs.

The installation of more and more power-quality monitors will result in large amounts of data. The development of methods for automatic analysis of this data becomes very important, among others to detect the above-mentioned trends. A lot of knowledge on automatic data analysis is available in the machine-learning field,

but this knowledge has to be combined with relevant theoretical and practical power-quality knowledge to develop suitable methods.

## 6.2 REFERENSER OCH NOTER FÖR KAPITEL 6

[i] The difference between the various definitions was once a hot discussion subject, but it has lost much of its interest. For competing definitions, just check some of the literature on the subject:

Angelo Baggini (Ed.) Handbook of power quality, Wiley, 2008.

Roger C. Dugan et al., Electrical power systems quality. 3rd Ed., McGrawHill, 2012.

Math Bollen, Understanding power quality – voltage sags and interruptions, Wiley-IEEE Press, 2000.

[ii] (“like it was not the green pieces of paper that were unhappy”). Most of the work on power quality (research, studies, monitoring) does however concern these disturbances.

[iii] This development has been the driver behind two reports by international organizations, both of which conclude that permanent monitoring is important for network operators:

Council of European Energy Regulators, Guidelines of good practice on the implementation and use of voltage quality monitoring systems for regulatory purposes, 2012.

<https://www.ceer.eu/documents/104400/-/-/bdd2c6cb-5ccf-b342-2728-3e6c38536daf>

CIGRE/CIREN Joint Working Group C4.112, Guidelines for power quality monitoring– measurement locations, processing and presentation of data, Technical Brochure 596, 2014.

<https://e-cigre.org/publication/596-cigreired--guidelines-for-power-quality-monitoring-measurement-locations-processing-and-presentation-of-data>

[iv] Ellag (1997:857), 3 Kap. 9§ tom 9e§.

[v] EIFS 2013:1, Energimarknadsinspektionens föreskrifter och allmänna råd om krav som ska vara uppfyllda för att överföringen av el ska vara av god kvalitet.

[https://www.ei.se/Documents/Publikationer/foreskrifter/El/EIFS\\_2013\\_1.pdf](https://www.ei.se/Documents/Publikationer/foreskrifter/El/EIFS_2013_1.pdf)

[vi] The hosting capacity is the amount of new production or consumption that can be connected to the electricity grid (either locally or over a larger geographical area) without endangering reliability or power quality. For some background to hosting capacity see, for example

Math Bollen and Fainan Hassan, Integration of distributed generation in the power system, Wiley-IEEE Press, 2011.

[vii] A comprehensive overview of possible impacts and discussions around this are given in a report by an international working group:

CIGRE/CIREN C4.24, Power quality and EMC issues with future electricity networks, CIGRE Technical Brochure 719, 2018.

[viii] For an overview of the impacts of small-scale solar power, from a Swedish perspective, see three recently-published Energiforsk reports:

Tatiano Busatto, Math Bollen, Sarah Rönnberg, Photovoltaics and harmonics in low-voltage networks, 2018:473.

Math Bollen, Överspänning från enfasanslutna solpaneler, 2018:506.

Math Bollen, Sarah Rönnberg, Oscar Lennerhag, Påverkan på nätet från stora mängder solkraft, 2018:539.

## 7 Referenser

- [1] N. Chandrappa and S. Banerjee, "The next generation of power quality monitoring technology- helping industrial equipment stay healthy", technical article, Analog Devices, inc.
- [2] Smart metering to cover 50% of South America's smart grid investments, Smart Energy international, Oct. 3 2018.
- [3] Mihaela M. Albu, Mihai Șanduleac and Carmen Ștănescu, "Syncretic Use of Smart Meters for Power Quality Monitoring in Emerging Networks," IEEE transactions on smart grid, vol. 8, no. 1, Jan. 2017, pp 485-492.
- [4] European Commission, Benchmarking Smart Metering Deployment in the EU-27 With a Focus on Electricity, COM/2014/0356 final, 2014.
- [5] W. A. de Souza, F. P. Marafao, E. V. Liberado, I. S. Diniz, and P. J. A. Serni, "Power quality, smart meters and additional information from different power terms," IEEE Latin America Trans., vol. 13, no. 1, pp. 158–165, Jan. 2015.
- [6] L'AUTORITÀ PER L'ENERGIA ELETTRICA E IL GAS, "Direttive per l'installazione di misuratori elettronici di energia elettrica predisposti per la telegestione per i punti di prelievo in bassa tensione," Italian Regulatory Order 18, no. 292/06 Obligations for the installation of electronic meters for low voltage withdrawal points (in Italian), Dec. 2006. [Online]. Available: <http://www.autorita.energia.it/it/docs/06/292-06.htm>
- [7] M. Sanduleac, M. Albu, J. Martins, M. D. Alacreu, and C. Stănescu, "Power quality assessment in LV networks using new smart meters design," in Proc. 9th Int. Conf. Compat. Power Electron. (CPE), Costa da Caparica, Portugal, Jun. 2015, pp. 106–112.
- [8] M. Music; N. Hasanspahic; A. Bosovic ; D. Aganovic; S. Avdakovic, "Upgrading smart meters as key components of integrated power quality monitoring system," 2016 IEEE 16th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC), pp 1-6.
- [9] J.M.R. Gordon, J. Meyer, P. Schegner, "Design aspects for large PQ monitoring systems in future smart grids," IEEE PES General meeting, 24-29 Jul. 2011.
- [10] C. Wessels, S.D. Rijcke, "Operational behavior of wind power plants during power black outs in Turkey on 31st March 2015," Wind integration workshop, Brussels, 2015.
- [11] S. Tenbolhen et. al., "Power quality monitoring in power grids focusing on accuracy of high frequency harmonics", C4-122, CIGRE 2018.
- [12] E. Sperling and P. Schegner, "A possibility to measure power quality with RC-divider," 22nd International Conference and Exhibition on Electricity Distribution (CIRED 2013), Stockholm, 2013, pp.1-4. doi: 10.1049/cp.2013.0602.



- [13] <http://dranetz.com/wp-content/uploads/2014/02/article-powerquality-starts-at-the-load.pdf>
- [14] EPRI Research project: AN assessment of distribution system PQ- DPQ project, 1996.
- [15] S. Rönnberg, M. Bollen, "Propagation of Supraharmonics in low voltage grid," Energiforsk report, 2017:461.
- [16] InSIDEEVs, "Nordic EV report shows how far ahead region rally is," Apr. 6 2018
- [17] Shengye Lu; Sami Repo; Davide Della Giustina; Felipe Alvarez-Cuevas Figuerola; Atte Löf; Marko Pikkarainen, "Real-Time Low Voltage Network Monitoring—ICT Architecture and Field Test Experience," IEEE Trans. on smart grid, vol. 6, Issue 4, 2015, PP 2002-2012.
- [18] X. Long, W. Parent, E. Staff, "Influence of Power Quality on FortisAlberta's PLC Based Automatic Meter Reading System", 2015 IEEE Electrical Power and Energy Conference (EPEC), pp 164-168.
- [19] M. Sanduleac, M. Eremia, L. Toma, and P. Borza, "Integrating the electrical vehicles in the smart grid through unbundled smart metering and multi-objective virtual power plants," in Proc. IEEE PES ISGT Europe, Manchester, U.K., Dec. 2011, pp. 1–8.
- [20] Nobel grid, a H2020 project between 2015-2018, <https://nobelgrid.eu>.
- [21] [https://nobelgrid.eu/wp-content/uploads/2017/09/NOBEL-GRID-product\\_SLAM-1.pdf](https://nobelgrid.eu/wp-content/uploads/2017/09/NOBEL-GRID-product_SLAM-1.pdf)

## ELKVALITETSARBETE I SVERIGE 2019

Elkvalitet är ett erkänt problem i elnätet sedan årtionden. Men det har fått förnyat intresse genom en förändrad struktur för produktion och konsumtion av el.

Inom elproduktion ser man en förskjutning från den traditionellt centraliserade produktionen mot en stor tillväxt i förnybara källor på olika spänningsnivåer.

Här har flera elnätsbolag i Sverige intervjuats för att förstå produktions- och konsumtionsscenarioet i nätverken. Rapporten sammanfattar bolagens beredskap att bedöma, förstå och hantera problemen med elkvalitet. Data från flera övervakningssystem för elkvalitet har analyserades för att förstå fördelningen av loggade händelser kategoriserade.

### Ett nytt steg i energiforskningen

Energiforsk är en forsknings- och kunskapsorganisation som samlar stora delar av svensk forskning och utveckling om energi. Målet är att öka effektivitet och nyttiggörande av resultat inför framtida utmaningar inom energiområdet. Vi verkar inom ett antal forskningsområden, och tar fram kunskap om resurseffektiv energi i ett helhetsperspektiv – från källan, via omvandling och överföring till användning av energin. [www.energiforsk.se](http://www.energiforsk.se)