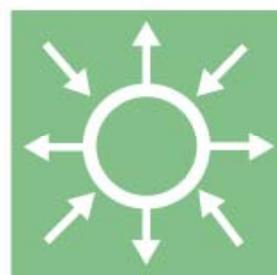
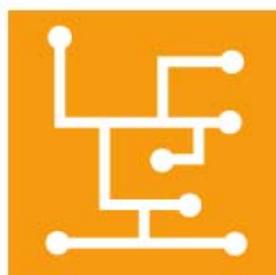
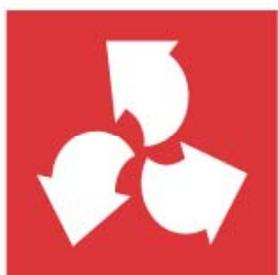




Elöverföring av god kvalitet

Förstudie av projekt Elkvalitet II – planering
av framtidens överföring av el av god kvalitet

Elforsk rapport 06:81



John Åkerlund UPN, Anders Mannikoff SP
Math Bollen STRI, Sven-Erik Berglund SEB-konsult
Ulf Grape Vattenfall Research and Development AB
Torbjörn Johnson UPN

December 2006

ELFORSK

Elöverföring av god kvalitet

Förstudie av projekt Elkvalitet II – planering
av framtidens överföring av el av god kvalitet

Elforsk rapport 06:81

John Åkerlund UPN, Anders Mannikoff SP
Math Bollen STRI, Sven-Erik Berglund SEB-konsult
Ulf Grape Vattenfall Research and Development AB
Torbjörn Johnson UPN

December 2006

Förord

Projektet är en förstudie som har utförts av John Åkerlund, Avbrottsfria Kraftnät UPN AB (UPN), Anders Mannikoff, Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut, (SP), Sven-Erik Berglund, SEB- Elkonsult, Ulf Grape, Vattenfall Research and Development AB, (VRD), Torbjörn Johnson, Avbrottsfria Kraftnät UPN AB (UPN), Math Bollen, STRI AB med John Åkerlund som samordnare.

Projektet har haft en styrgrupp bestående av: Åke Sjödin, Elforsk, Ordförande, Ingvar Enqvist, Elsäkerhetsverket, Åke Danemar, Teknikföretagen, Jörgen Hasselström, Fortum Distribution, Per Norberg, Vattenfall Eldistribution, Olle Corfitsson, Öresundskraft, John Åkerlund, UPN, Sekreterare

Referensgrupp har bestått av: Lars Ström, Elsäkerhetsverket, Åke Danemar, Teknikföretagen, Eskil Agneholm, Fortum Distribution, Per Norberg, Vattenfall Eldistribution, Ulf Grape, Vattenfall Research and Development AB, (VRD), Ulf Thoren, Eon Elnät, Olle Corfitsson, Öresundskraft, Lembit Roos, Telge Nät, Erik Thunberg Svenska Kraftnät, Mats Wahlberg, Skellefteå Kraft, Matz Tapper, Svensk Energi, Peter Takacs, Svensk Energi, Anders Johansson, Elmarknadsinspektionen (EMI), Anders Mannikoff, Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut, (SP), Åke Sjödin, Elforsk, Ordförande, John Åkerlund, UPN, Sekreterare

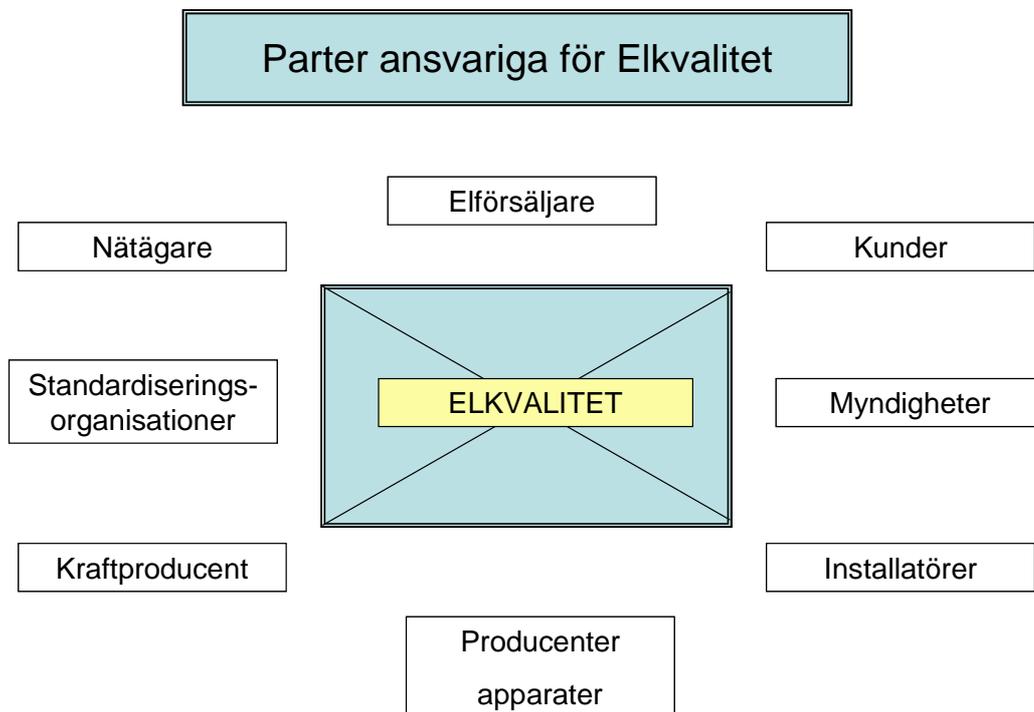
Finansierande företag har varit: Elsäkerhetsverket, Teknikföretagen, Svenska Kraftnät, Borås Energi Nät AB, Energiverken i Halmstad, Fortum Distribution AB, Gävle Energi Nät AB, Göteborg Energi Nät AB, Jämtkraft AB, Jönköping Energi Elnät AB, Luleå Energi Elnät AB, Lunds Energi AB, Mälarenergi Elnät AB, Nacka Energi AB, PiteEnergi AB, Skellefteå Kraft AB, Sundsvall Energi Elnät AB, E.ON Elnät AB, Telge Energinät AB, Öresundskraft AB, Vattenfall Eldistribution AB, Umeå Energi Nät AB.

Sammanfattning

Inledning

El är en produkt som konsumeras i samma ögonblick som den produceras. Avståndet mellan produktionsstället och konsumtionsstället är ofta på mycket långt. Detta ställer mycket höga krav på kvaliteten i överföringen. Kvaliteten i överföringen är också starkt beroende av samspelet mellan elnätet och belastningen. Samspelet regleras i olika lagar och standarder. Dessa är inte en gång för alla givna utan måste ständigt förändras allt eftersom utvecklingen fortskrider och olika förhållanden och förutsättningar ändras. Under en 50-årsperiod har elapparaterna i allt större utsträckning blivit elektroniska. Det har ändrat förutsättningarna för det tekniska samspelet mellan elnätet och belastningen. Ändamålen till vilka vi använder el ändras och blir allt mer verksamhets- och överlevnadskritiska. Vårt elberoende ökar hela tiden. Acceptansen för kvalitetsbrister minskar och sårbarheten vid elavbrott blir allt större.

God kvalitet i överföring av el är ett i praktiken delat ansvar mellan leverantören (elnätet) och kunden (apparaterna). Av tekniska skäl är elnätet ansvarigt för spänningen medan ansvaret för belastningsströmmen är i huvudsak kundernas. Resultatet av denna förstudie pekar på att överföring av el av god kvalitet inte endast beror på tekniska omständigheter.



Elöverföring av god kvalitet

I Ellagen finns en bestämmelse om att överföringen av el ska vara av god kvalitet, dvs. leveranssäkerhet och kvalitativa krav på överföringen, t ex avvikelser i spänning och frekvens, transienter och övertoner. I flera

avseenden finns ett samband mellan leveranssäkerhet och elsäkerhet och därmed mellan Elsäkerhetsverkets och Energimarknadsinspektionens (EMI) respektive tillsynsområden. Tillsyn av leveranssäkerhet sker i samband med EMI:s tillsyn över nätföretagens överföringstariffer medan Elsäkerhetsverket är tillsynsansvarig myndighet för elsäkerhet och elektromagnetisk kompatibilitet (EMC). Från den 20 juli 2007 kommer ett nytt EMC-direktiv som jämfört med det nuvarande direktivet har tydligare krav på så kallade fasta installationer.

För elnät kan god branschpraxis bestå av europeiska standarder som inte är direkt harmoniserad med direktivet. Delar av EN 50160 (spänningsgodhet) och EN 61000-2-2 (ledningsbundna störningar på elnät) är t.ex. inte harmoniserade. Utrymme finns också för särskilda avtal mellan nätföretag och elkunder.

Hög elkvalitet är i sig inget självändamål. En omotiverat hög kvalitet kan dessutom visa sig vara ineffektiv ur ett samhällsperspektiv. För nätverksamhet råder ett så kallat naturligt monopol – kunden kan inte välja nätföretag och nätföretaget kan inte välja kunder. En reglerande myndighet, i rollen som el-kundernas ställföreträdare, vill åstadkomma ett högt kundvärde som indirekt kan regleras med hjälp av begränsningar i tillåtet pris. Det är dock olämpligt att införa en prisreglering utan att samtidigt reglera alla de kvalitetsegenskaper som bygger upp kundvärdet.

Kundvärdet kan antas ha ett maximum i pris-kvalitetsplanet. En pris- och kvalitetsreglering bör ligga på tillräckligt avstånd på ömse sidor om detta maximum för flertalet elkunder. Avståndet mellan dessa två gränser – kvalitetsgolv och pristak – kan bli långt och leder inte i sig till en god optimering. Rapporten utgår därför ifrån ansatsen att de direkt berörda parterna (nätföretaget, elkunden och apparatleverantören) kan ges förtroendet att samarbeta och tillämpa ett systematiskt kvalitetsarbete med brett accepterade mått och uppföljningsbara mål.

Frågan om "god kvalitet" hos elöverföringen är ytterst komplex. Kvalitetsfrågan behandlas därför ur två olika perspektiv: produktens egenskaper och egenskaperna hos verksamhetssystemet. Rapporten beskriver olika elkvalitetsindex med tillhörande gränsvärden där sådana finns. Här presenteras också ett ramverk för att sätta upp vissa gränsvärden och ges i övrigt beskrivningar av pågående utvecklingar och behov av fortsatta arbeten. Likaså presenteras de kvalitetstekniska verksamhetsegenskaper som bedöms ha en avgörande betydelse för ett systematiskt kvalitetsarbete inriktat mot elöverföring av god kvalitet.

Det föreslagna arbetssättet utgår från element ur standarden SS-EN ISO 9001:2000 i kombination med internationella standarder eller rapporter om elkvalitetsindex och gränsvärden där sådana finns. Där mått och metoder saknas föreslås fortsatta arbeten.

Framtidens elkvalitet

Frågan om framtidens elkvalitet behandlas i en belysning av den förändrade elanvändningen från 1950-talet fram till idag. Tankar om de kommande 10-15 åren beskrivs med utgångspunkt från ett sannolikt förändrat beteende hos människor, den digitala ekonomin och en sannolik utveckling av massproducerade el- och elektronikprodukter. Vi är nu i slutet av en 50-årig

teknisk övergångsperiod då snart sagt alla elapparater har bytts ut och ersattas av kraftelektroniska apparater, vilket leder till skärpta kvalitetskrav. Den ökande användningen av sensorer, kraftelektronik och mikroprocessorer bl. a. för att uppnå energieffektivisering diskuteras vid sidan om frågan om nya produktions- och förbrukningsmönster. Inverkan av nya tekniska lösningar i näten belyses översiktligt, likaså effekterna av större elavbrott. Vidare diskuteras inverkan av samhällets reglering inom området för elöverföring. Differentierad elleverans i samband med delvis och villkorad avreglering av lokala nät diskuteras som en positiv möjlighet att minska samhällets sårbarhet och förbättra kvalitén i överföring av el.

Elkvalitet till lägsta kostnad

Frågeställningen: "Var är det sannolikt mest kostnadseffektivt att sätta in förbättringsåtgärder, - i elnätet eller i kundanläggning?", får efter en kvalitativ analys följande svar:

Mycket kort sammanfattat blir det totalt sett billigast i kundanläggningar. Det blir billigast eftersom åtgärderna blir selektiva och specifika för den drabbade kundanläggningen. Elkvalitetsproblem är ofta akuta. Av besluts- och tidsskäl är det mest praktiskt att arbeta i kundanläggningen eller i elnätet nära denna. Kostnadsmässigt kan åtgärderna begränsas till den anläggning som har problem. En redovisning per elkvalitetsfenomen ger följande sammanfattning:

Avbrott: Avbrott är billigast att åtgärda i elnätet genom kablifiering och genom centralisering av reservkraft i ödrift och så kallad reservkraftsöar. Kundanläggningar kan även åtgärdas genom installation av reservverk och avbrottsfri kraft.

Dippar och korta avbrott: Dippar kan fullständigt och billigast endast åtgärdas i kundanläggningar. Förbättringsåtgärder kan göras i elnätet.

Transienter: Transienter kan endast effektivt och fullständigt åtgärdas i kundanläggningar och apparater.

Spänningsvariationer: Spänningsvariationer är billigast att åtgärda i elnätet. Det är också entydigt ett ansvar för elnätsägare att hålla dessa inom föreskrivna gränser.

Övertoner: Övertoner är billigast att åtgärda i kundanläggningar och apparater, men kan också åtgärdas nära kundanläggningar i elnätet.

Osymmetri: Osymmetri i belastningen är billigast att åtgärda i kundanläggningen. Obelastad symmetrisk 3-fasspänning kan endast hållas inom föreskrivna gränser av elnätsägare.

Flimmer: Flimmer är billigast att åtgärda i kundanläggning men kan åtgärdas i elnätet nära den störande kundanläggningen.

Sammanfattning av förslag som kan övervägas för fördjupade studier:

- Guide eller manual för nätplanering med avseende på elkvalitetsaspekter både avseende elnät och kundens fasta installationer (fastighetsinstallationer).
- Dialog, utbildning och information om elkvalitet.

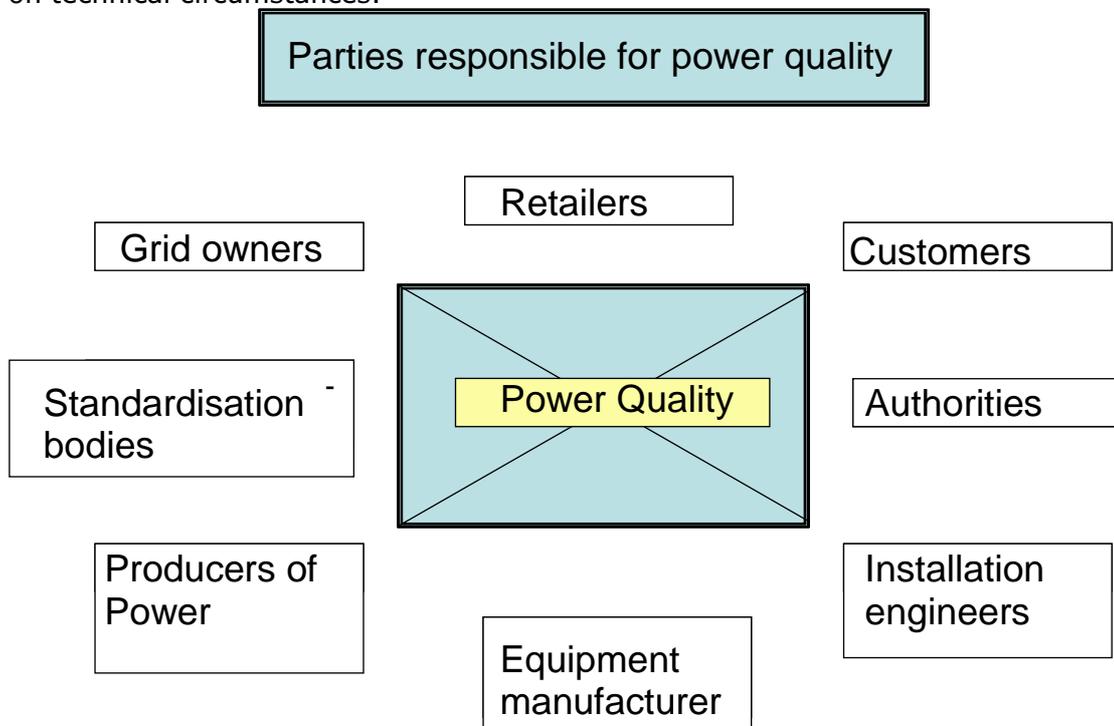
- Utveckling av processer och verksamhetssystem inom elnätföretag för att stödja bättre elkvalitet administrativt.
- Kostnadsanalyser av, a/Kundernas och samhällets kostnader som följd av bristande elkvalitet, b/Kostnader för åtgärder och förbättringar av elkvalitet, c/Värdering av dolda förluster på grund av bristande elkvalitet.
- Utveckling av tekniska åtgärder mot, a/ Långa avbrott, b/ Dippar, och korta avbrott, c/ Problemkomplexet elektronisk last med transienter från både spänning och ström - för att minska skador på apparater, d/ Ev. Övriga fenomen
- Analys av distribuerad generering med avseende på elkvalitet
- Analys av differentierad elleverans
- Komplettering och utveckling av standarder med avseende på avbrott och dippar och högfrekvenssignaler m.m.

Summary

Introduction

Power is a product consumed at the same moment it is produced. There is often a distance between the place where it is produced and consumed. This makes great demands upon the quality of the transmission. Quality in transmission is also strongly depending on the interaction between the grid and the load. Different laws and standards also regulate the interaction. These are not once and for all granted but must be changed continuously as development proceeds and different circumstances and conditions are changed. During a period of 50 years the electric devices have become more and more electronic. This fact has changed the conditions for the technical interaction between the grid and the load. The purposes for which we use power have changed and have become more critical for the business and the surviving. Our dependence on power increases all the time. The acceptance for insufficiency of power quality decreases and the vulnerability for power failures increase.

Good quality of power transmission, i.e. power quality, is in practise a shared responsibility between the supplier (the grid) and the customers (equipment). For technical reasons the grid is responsible for the voltage while the customers mainly are responsible for the current of the load power. The result of this initial study points at the fact that power quality does not only depend on technical circumstances.



Good quality in transmission of power

In Swedish law about transmission of power there is a general statement saying that the transmission of power should be of good quality, this includes reliability of supply and qualitative demands on divergence of voltage and frequency, transients and harmonics. In many respects there is a connection between the reliability of supply and the electrical safety and thus between respective areas of supervision by The Swedish National Electrical Safety Board (Elsäkerhetsverket) and The Energy Markets Inspectorate, (Energimarknadsinspektionen - EMI). Supervision of the reliability of supply is one part of EMI's supervision of the grid companies' tariffs of transmission while Elsäkerhetsverket is the authority responsible for the supervision of electrical safety and electromagnetic compatibility, (EMC). In July 20 2007 there will be new EMC-directive with more distinct demands on the so called fixed electrical installation compared to the present ones.

Good practice for the grid can consist of European standards, which are not directly harmonized with the directives. However only parts of EN 50160 (Voltage characteristics) and EN 61000-2-2 (Low-Frequency Conducted Disturbances) are harmonized. Of this reason there is an opening for special agreements between the grid companies and the power customers.

A high power quality is not an end in itself. Besides that an unmotivated high quality can be ineffective from the view of society. The grid business is a so called natural monopoly. Consequently the customer cannot choose grid company and the grid company can not choose its customers. A regulating authority, in the role as a representative for the power customers wants to accomplish a high value for the customer that indirectly can be regulated with the help of limitations in the admitted price. It is not appropriate, however, to introduce a price regulation without at the same time regulating all the quality characteristics that build up the value for the customer.

The customer value can be supposed to have a maximum in the price-quality plane. A price- and quality regulation should be placed at a sufficient distance on both sides of this maximum for most of the power customers. The distance between these two limits – quality the lower limit and price the upper limit – can be vast and does not, in itself, lead to a good optimization. Therefore the starting-point of this report is that the directly involved parties (grid company, customer and the supplier of the devices) can be trusted to cooperate and apply a systematic work of quality containing broadly accepted measures and goals that are possible to evaluate.

The issue of good power quality is extremely complex. The power quality issue is therefore treated from two different perspectives in this report: product characteristics and characteristics of the grid company's management system. The report describes different technical indexes of power quality with attaching values of limit in the case they exist. The report also presents a framework to put up certain values of limit. Descriptions of ongoing developments are given together with issues which need to go on with. Presented are also quality management characteristics that are considered of decisive significance for a systematic quality work directed towards high power quality.

The proposed management methods issues from elements in the standard SS-EN ISO 9001:2000 in combinations with international standards or reports about index of power quality and values of limit in case they exist. Continuous work is proposed where measures and methods are missing.

Power quality in the future

The question about power quality in the future is treated in a new light of the changed use of electricity from the 1950's until today. Thoughts about the 10-15 years to come are described with a starting-point from people's behaviour that has probably been changed. The impact of the digital economy and a probable development of mass produced electrical- and electronics devices are considered.

Now we are at the end of a 50 years long technical transition period when almost all electrical devices have been changed and replaced by power electronic devices, a fact that leads to intensified demands on power quality. The increasing use of sensors, power electronics and microprocessors, among other things to obtain energy efficiency, is discussed as well as the question about new production- and consumption patterns. The influence of new technical solutions in the grid is put light on, as well as the effect of major power failures. Furthermore is discussed the effect of society's regulation within the area of power transmission. Differentiated delivery of power in connection with partial and conditioned deregulation of local grids is discussed as a positive possibility to decrease society's vulnerability and improve the quality in transmission of power.

1.1 Power quality at lowest cost

The question: " Where is it most cost efficient to put in measures of improvement, - in the grid or in the customer plant?" gets the following answer after a qualitative analysis:

Very briefly it will be cheapest in the customer plant viewed on the whole. It will be cheapest since the measures are selective and specific for the affected customer plant. Problems with the power quality are often immediate. From reasons of decision and time it is often more practical to work in the customer plant or in the grid close to this. The costs can be related to the installation that has the problems. A summarized description per phenomenon of power quality is shown below:

Power failure: Power failure is cheapest to measure in the grid by cabling underground and by islanding operation and centralising of reserve power supply in so called reserve power supply islands. Customer plants can also be measured by installation of reserve power generator sets and uninterruptible power supply (UPS).

Voltage dips and short power failure: Voltage dips can completely and cheapest only be dealt with in the customer plants. Measures of improvement can be done in the grid.

Transients: Transients can only effectively and completely be dealt with in customer plants and devices.

Voltage fluctuations: Voltage fluctuations are often cheapest to deal with in the grid. It is also unambiguously a responsibility for the grid owner to hold these within prescribed limits.

Harmonics: Harmonics are cheapest to deal with in the customer plants and devices, but can also be dealt with near the customer plants in the grid.

Asymmetry: Asymmetry in the load is cheapest to deal with in the customer plant. Unloaded symmetrical 3-phase voltage can only be held within prescribed limits by the grid owner.

Flicker: Flicker is cheapest to deal with in the customer plant but can be measured in the grid near the disturbing customer plant.

Summary of proposals that can be considered for in-depth studies:

- Guide or manual for grid planning concerning aspects of power quality concerning both grid and the customer's fixed installations.
- Dialogue, education and information about power quality.
- Development of processes and management systems in grid companies to support better power quality administratively.
- Cost analyses of
 - a. The costs for the customers and society as a result of insufficiencies in power quality
 - b. Costs for measures and improvements of power quality
 - c. Valuation of hidden losses caused by insufficiency in power quality.
- Development of technical measures for
 - a) Long power failures
 - b) Power dips and short power failures
 - c) The problem area of electronic load including transients from both voltage and current- in order to reduce damage on devices
 - d) Possible other phenomenon
- Analysis of distributed generation respecting power quality
- Analysis of differentiated power delivery
- Complement and development of standards respecting power failures and power dips and high frequency signalling and so on.

Innehåll

1	Inledning	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Mål.....	1
2	Elöverföring av god kvalitet	2
2.1	Bakgrund	2
2.1.1	Leveranssäkerhet	3
2.1.2	Nätnyttomodellen	4
2.1.3	EMC-lagstiftningen.....	5
2.1.4	Övriga kvalitetsfunktioner.....	6
2.2	Kvalitet som del av effektivitetsbegreppet	8
2.3	Kvalitetsegenskaper hos elektricitet.....	10
2.4	Nätets prestanda och gränsvärden: Befintliga metoder	12
2.4.1	Händelser och variationer	14
2.5	Nätets prestanda och gränsvärden: Framtiden.....	15
2.6	Sammanfattning och slutsatser – Produktegenskaper el.....	15
2.7	Konsekvenser av dålig elkvalitet	17
2.8	Egenskaper hos verksamhetssystem	18
2.8.1	“God kvalitet” inom andra samhällsviktiga områden.....	18
2.8.2	Allmänt om verksamhetssystem och systematiskt kvalitetsarbete	19
2.8.3	Kvalitetsmoment av avgörande betydelse för elöverföring.....	19
2.8.4	Ledningens ansvar	21
2.8.5	Planering av produktframtagning	22
2.8.6	Mätning, analys och förbättring	23
2.8.7	Rutiner och metoder	23
2.8.8	Kan en reglering baseras på verksamhetssystem?	24
2.9	Sammanfattning och slutsatser – Egenskaper hos verksamhetssystem ..	25
3	Framtidens elkvalitet	26
3.1	Inledning	26
3.2	Elanvändning fram till idag	26
3.3	Framtiden i tangentens riktning	28
3.3.1	Mänskligt beteende.....	28
3.3.2	Massproduktion för massmarknader.....	29
3.3.3	Tillämpning av reglering	29
3.3.4	Mer kraftelektronik, färre direktanslutna elmotorer	29
3.3.5	Distribuerad produktion och ändrad förbrukning	30
3.3.6	Nya tekniska lösningar i näten.....	30
3.3.7	En mikroprocessor i varje pryl.....	31
3.3.8	Mer mätning av bl. a. elkvalitet	31
3.3.9	Energieffektivisering	32
3.3.10	Den digitala ekonomin.....	32
3.3.11	Mera vård och fler larm i hemmen	33
3.3.12	När allt blir svart	33
3.4	Framtiden med nya grepp	33
3.4.1	Differentierad elleverans.....	34
3.4.2	Likströmsmatning i lågspänningsdistribution	35
4	Elkvalitet till lägsta kostnad	37
4.1	Allmänt.....	37
4.2	Elanvändarnas kostnader för bristande elkvalitet.....	39
4.2.1	Allmänt	39
4.2.2	Sammanställning per kundtyp	42

4.2.3	Sammanställning per problem och kundtyp.....	44
4.2.4	Diskussion om kundernas kostnader för elkvalitetsbrister	44
4.3	Dolda kostnader.....	45
4.4	Långa avbrott.....	45
4.4.1	Allmänt	45
4.4.2	Åtgärder mot långa avbrott.....	46
4.4.3	Diskussion om kostnader för åtgärder mot långa avbrott i elnätet respektive i kundanläggningar	47
4.5	Dippar och korta avbrott.....	48
4.5.1	Allmänt	48
4.5.2	Åtgärder mot dippar och korta avbrott	50
4.5.3	Diskussion om kostnader för åtgärder mot dippar och korta avbrott i elnätet respektive i kundanläggningar	52
4.6	Transienter.....	55
4.6.1	Allmänt	55
4.6.2	Åtgärder mot transienter	57
4.6.3	Diskussion om kostnader för åtgärder mot transienter i elnätet respektive i kundanläggningar.....	57
4.7	Spänningsvariationer.....	58
4.7.1	Allmänt	58
4.7.2	Åtgärder mot spänningsvariationer	58
4.7.3	Diskussion om kostnader för åtgärder mot spänningsvariationer i elnätet respektive i kundanläggningar	59
4.8	Övertoner	59
4.8.1	Allmänt	59
4.8.2	Åtgärder mot övertoner.....	60
4.8.3	Diskussion om kostnader för åtgärder mot övertoner i elnätet respektive i kundanläggningar.....	60
4.9	Spänningsosymmetri	61
4.9.1	Allmänt	61
4.9.2	Åtgärder mot osymmetrisk spänning.....	61
4.9.3	Diskussion om kostnader för åtgärder mot osymmetrisk spänning i elnätet respektive i kundanläggningar.....	62
4.10	Flimmar	62
4.10.1	Allmänt	62
4.10.2	Åtgärder mot flimmar.....	62
4.10.3	Diskussion om kostnader för åtgärder mot flimmar i elnätet respektive i kundanläggningar.....	63
4.11	Sammanfattande analys av åtgärder	63
4.11.1	Bedömning av vilka elkvalitetsfenomen som kan åtgärdas billigast och var.....	64
4.11.2	Åtgärder i elnätet	66
4.12	Översikt.....	67
5	Förslag till fördjupade studier om Elkvalitet.	68
5.1	Områden på förslag till fördjupade studier om Elkvalitet	68
5.2	Relationer	69
5.3	Kunskap	69
5.4	Nätföretag.....	69
5.5	Standardisering	71
5.6	Utveckling av tekniska åtgärder	73
5.7	Framtiden	74
6	Referenser	76
6.1	Referenser i avsnitt 2	76
6.2	Referenser i avsnitt 3	77
6.3	Referenser i avsnitt 4	77

7	Appendix	79
7.1	Bilaga 1. Redovisning av befintliga metoder och standarder för att beskriva nätets prestanda	79
7.1.1	Frekvens	79
7.1.2	Spänningens amplitud	79
7.1.3	Snabba variationer inom den normala driftspänningen	81
7.1.4	Kortvariga avvikelser utanför den normala driftspänningen	81
7.1.5	Osymmetri;	84
7.1.6	Spänningsfluktuationer som leder till ljusflimmar;	85
7.1.7	Distorsion av spänningens vågform (övertoner och mellantoner);	86
7.1.8	Likspänningskomponenter;	90
7.1.9	Rundstyrningssignaler	90
7.1.10	Högfrekventa signaler	90
7.1.11	Avbrott.....	90
7.1.12	Avbrott i spänning eller i ström.....	92
7.1.13	Spänningsdippar;	93
7.1.14	Kortvariga spänningsökningar;	94
7.1.15	Spänningssteg.....	94
7.1.16	Transienter.	95
7.2	Bilaga 2. Redovisning av olika ramverk och förslag för gränsvärden för kortvariga spänningssänkningar och spänningsökningar och andra elkvalitetsparametrar.	96
7.2.1	Snabba och långsamma variationer i spänningsamplitud.....	96
7.2.2	Ansvarsfördelningskurvan för spänningssänkningar.....	97
7.2.3	Gränsvärden på kortvariga spänningssänkningar	99
7.2.4	Gränsvärden på långvariga spänningssänkningar	99
7.2.5	Ansvarsfördelningskurvan för spänningsökningar.....	100
7.2.6	Gränsvärden för spänningsökningar	101
7.2.7	Gränsvärden för transienta spänningsökningar	101
7.2.8	Händelser och variationer inom det normala driftspänningsområdet	101
7.2.9	Osymmetri.....	102
7.2.10	Distorsion av spänningens vågform.....	102
7.2.11	Likspänningskomponenter	102
7.2.12	Rundstyrningssignaler	102
7.2.13	Avbrott.....	102
7.2.14	Positionsberoende gränsvärden	103
7.3	Bilaga 3. Verksamhetssystem och systematiskt kvalitetsarbete.....	104
7.4	Referenser till Appendix	107

1 Inledning

1.2 Bakgrund

Finansiärerna till projektet vill i en förstudie få underlag för prioritering av fortsatta utredningsinsatser beträffande interaktionen mellan elnätet och kundernas/elanvändarnas fasta installationer och elanläggningar.

Med utgångspunkt från tidigare projekt inom Elforsk om elkvalitet Elforsk rapport 04:46, Utveckling Elkvalitet, Teknik, ekonomi och miljöaspekter, [4:4], Elforsk rapport 99:46, Förslag till FoU-Program inom området Elkvalitet, [4:5] och annan känd nationell och internationell litteratur ska en diskussion av föras för att ge underlag till en prioritering av fortsatt utredningsinsatser.

1.3 Mål

Att undersöka vad bestämmelsen i Ellagen om att överföringen av el ska vara av god kvalitet kan innebära i uppföljningsbara tekniska och/eller ekonomiska termer.

I vilka fasta installationer och för vilka elkvalitetstekniska fenomen det är samhällsekonomiskt mest lönsamt att införa förbättringsåtgärder - generellt för alla i hela elnätet eller selektivt i kundens fasta installationer eller i särskilda nätstationer.

Att ta fram faktorer som innebär att framtida krav på god kvalitet när det gäller överföring av el kan komma att förändras.

2 Elöverföring av god kvalitet

Författare: SP, Anders Mannikoff och STRI, Math Bollen

2.1 Bakgrund

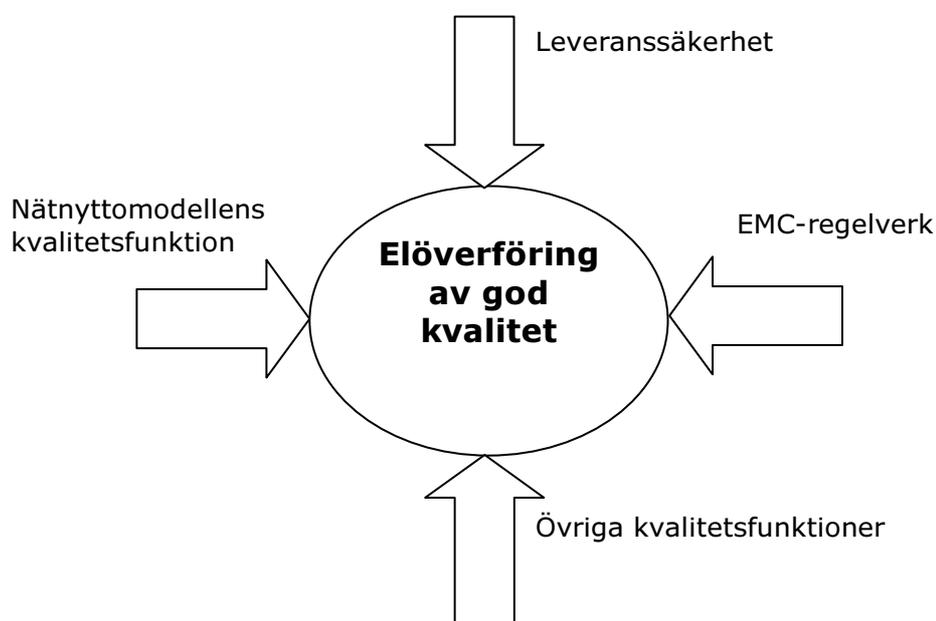
I Ellagen 3 kap, 9§ [2:1] finns en bestämmelse om att överföringen av el ska vara av god kvalitet. Enligt regeringens proposition får regleringen avse krav i syfte att säkerställa en leveranssäker överföring av el. Den får även avse en precisering av vilka kvalitativa krav på överföringen som ska vara uppfyllda, exempelvis i fråga om avvikelser i spänning och frekvens, transienter och övertoner.

Elöverföring av god kvalitet påverkas av EMC-regelverket, krav om leveranssäkerhet (genom ellagen), och nätnyttomodellens kvalitetsfunktion. Därutöver kan överföringen påverkas av andra kvalitetsfunktioner som avtalats om mellan europeiska länders standardiseringsorganisationer.

EMC-lagstiftningen som baseras på EU-direktiv reglerar sedan 1997 genom harmoniserade EN-standarder t ex flimmer och övertoner från elektrisk och elektronisk utrustning och installationer som innehåller elektriska eller elektroniska komponenter.

Av detta framgår att lagstiftning redan finns för att utöva tillsyn över utrustning, som kan påverka delar av kravet på god kvalitet i elöverföring enligt skrivningen i 3 kap, 9§ i Ellagen. Det gäller t ex flimmer (spänningsfluktuationer) och övertoner.

Krav på leveranssäkerhet syftar till att minimera avbrott i leveransen av el. Nätnyttomodellen innehåller en funktion som medför ett kvalitativt krav på avbrott längre än tre minuter men modellen har inga övriga kvalitetsfunktioner. En effekt av detta kan bli att Energimarknadsinspektionen (EMI) som är tillsynsmyndighet för 3 kap, 9§ i sitt regelverk ska hänvisa till Elsäkerhetsverkets regelverk beträffande EMC för att berörda operatörer ska kunna få en samlad bild av regleringen på området.



Figur 2.1.1 Kvalitetsfunktioner med direkt eller indirekt betydelse för god kvalitet hos elöverföring

2.1.1 Leveranssäkerhet

Riksrevisionen har nyligen granskat tillsynen över kvaliteten i elöverföringen, RiR 2006:3, Kvalitet i elöverföringen – finns förutsättningar för effektiv tillsyn? [2:2] och bl. a. kommit fram till att det i flera avseenden finns ett samband mellan leveranssäkerhet och elsäkerhet och därmed mellan Elsäkerhetsverkets och Energimarknadsinspektionens (EMI) respektive tillsynsområden. Redan idag granskar till exempel Elsäkerhetsverket stickprovsvis de risk- och sårbarhetsanalyser som många nätbolag upprättar inom ramen för nätplaneringen. Elsäkerhetsverkets granskning avser elsäkerheten. Samtidigt har det i ellagen från den 1 januari 2006 införts krav på samtliga nätföretag att upprätta risk- och sårbarhetsanalyser avseende leveranssäkerheten. Granskningen av dessa analyser med avseende på leveranssäkerheten utförs av EMI. Elsäkerhetsverket har påtalat att det kan finnas en risk att elsäkerhetsaspekterna i nätplaneringen ges minskad uppmärksamhet om de föreslagna, begränsade analyserna ersätter de nuvarande risk- och sårbarhetsanalyserna. Nätbolagen hanterar inte nödvändigtvis leveranssäkerhet och elsäkerhet som olika saker

Enligt [2:2] samlar Elsäkerhetsverket på sig kunskaper om leveranssäkerhet vid sin tillsyn över elsäkerheten. Något instruktionsenligt ansvar för att bevaka även leveranssäkerhet, eller förutsättningar för detta, har emellertid inte Elsäkerhetsverket. Riksrevisionen konstaterar att iakttagelser och kunskaper om leveranssäkerhet, eller förutsättningar för detta, från Elsäkerhetsverkets inspektioner hos nätföretag varken dokumenteras eller överförs till EMI. Enligt Riksrevisionens bedömning skulle sådana kunskaper

kunna vara ett kompletterande underlag för EMI:s tillsyn, då inspektionen inte själv gör tillsynsbesök. Den bristande samverkan mellan EMI och Elsäkerhetsverket kan enligt Riksrevisionen utgöra ett hinder för en effektiv tillsyn av kvaliteten i elöverföringen.

Vidare konstaterar Riksrevisionen att EMI inte utövar någon tillsyn över avbrott kortare än tre minuter eller över bristande spänningskvalitet trots att dessa typer av kvalitetsbrister ingår i begreppet god kvalitet enligt Ellagen.

Tillsyn av leveranssäkerhet (avbrott längre än tre minuter) sker i samband med EMI:s tillsyn över nätföretagens överföringstariffer. Som urvalsinstrument för den fortsatta tillsynen över tarifferna används den så kallade Nätnyttomodellen, som innehåller en kvalitetsfunktion.

2.1.2 Nätnyttomodellen

En av Nätnyttomodellens upphovsmän, beskriver i rapporten Nätnyttomodellen från insidan [2:3], önskemålen på en ny typ av reglering som:

- Utgå från självreglering.
- Aktiv tillsyn mot dem som inte klarar att ta detta ansvar.
- Ge incitament till rationaliseringar inom elnätbolagen.
- Ge incitament till en tillfredsställande leveranssäkerhet.
- Ge incitament till strukturrationaliseringar inom/utom branschen. Detta kan även innebära strukturrationaliseringar som samordningsvinster med andra företag som bedriver nätverksamhet.
- Modellen ska vara accepterad och användbar för myndighetsutövning och för ledningens och ägarnas interna styrnings/effektivitetsarbete av nätföretaget.
- Modellen ska motverka höga monopolvinster. Effektivt drivna nätföretag kan dock tillåtas högre avkastning än mindre effektivt drivna nätföretag.
- Ge "skötsamma" nätföretag goda möjligheter att bedriva en affär med tillräcklig avkastning för att såväl garantera leveranssäkerhet i nätet som ge ägarna tillräcklig avkastning för att attrahera riskvilligt kapital.
- Modellen ska överensstämma med gällande lagstiftning, alternativt beskriva avvikelserna.
- Modellen ska vara reviderbar och kontrollerbar
- Vidare kan modellen ge incitament för teknisk utveckling
- Modellen ska skapa incitament för att bygga leveranssäkra elnät med låga underhålls- och driftkostnader.

Fortsatt beskrivs i [2:3] att en genomgång av ett antal beprövade nationalekonomiska regleringsmodeller ledde till en vision om en modell med ett helt nytt synsätt. Önskvärt vore att (nät)företaget gick att beskriva enbart utifrån de yttre förutsättningarna. Dessutom ska detta vara baserat på

objektiva data, data som dessutom inte kan manipuleras. Denna ansats kom så småningom att gå under namnet Nätnyttomodellen.

Nätnyttomodellens ansats är att utgå från det som kan observeras utanför företaget. Inga interna data används i modellen. Dessa utifrån synliga data kallas i modellen för de objektiva förutsättningarna, dvs.:

- En anslutning till abonnenten (dvs. en geografisk koordinat)
- En avgift som betalas till nätföretaget
- En kopplingspunkt till nätet till överliggande nät (vanligen regionnätet)

Allt däremellan är företagsinternt, som abonnenten inte har någon inblick i och detta ska således inte finnas med i modellen. Vi lämnar dock modellens egenskaper för reglering av pris och fortsätter i det följande enbart med dess reglering av kvalitet. Relationen pris-kvalitet behandlas dock översiktligt i stycke 2.2 nedan.

Nätnyttomodellens kvalitetsparameter beräknas utifrån de avbrott (längre än tre minuter) som kan förväntas finnas i ett radiellt modellnät, så kallat "anslutningsnät". Det utgör ett golv för kvalitetsfunktionen. Det finns också ett tak som konstrueras genom att nätet byggs ut med transformatorstationer och extra ledning så långt som kunderna har betalningsvilja för ökad leveranssäkerhet. Anslutningsnätet och kvalitetsfunktionen kallas tillsammans för "referensnät". Taket motsvarar de avbrott som kan förväntas i ett verkligt nät. Kundernas betalningsvilja skattas med värderingar av avbrottskostnader. Modellen jämför sedan nätföretagets rapporterade avbrott med de förväntade, det vill säga med taket. Om de rapporterade avbrotten är fler eller längre än de förväntade så görs ett kvalitetsavdrag i modellen.

2.1.3 EMC-lagstiftningen

Elsäkerhetsverket är föreskrivande och tillsynsansvarig myndighet för elsäkerhet och elektromagnetisk kompatibilitet (EMC).

Nuvarande EMC-lagstiftning baseras på EMC-direktivet 89/336/EEG. Direktivet reglerar elektromagnetisk kompatibilitet, dvs. apparaters och installationers elektromagnetiska störningar och tålighet mot elektromagnetiska störningar oavsett överföringsmedium. Närmare tekniska krav ställs av EN-standarder harmoniserade med direktivet. I direktivet görs ingen principiell skillnad mellan apparater eller installationer och den yttre miljön.

Från den 20 juli 2007 kommer ett nytt EMC-direktiv [2:4] att kunna tillämpas i Sverige. Jämfört med det nuvarande direktivet har kraven i det nya direktivet tydliggjorts med avseende på så kallade fasta installationer. Tydligare krav ställs på bl. a. dokumentationen som ska visa att god branschpraxis har tillämpats vid uppförandet och att enskilda apparater har installerats enligt apparattillverkarens instruktioner. Apparater och fasta installationer benämns i direktivet som "utrustning". För apparater finns en övergångsperiod på två år men för fasta installationer gäller de nya kraven från detta datum. God branschpraxis kan bestå av europeisk standard som inte är direkt harmoniserad med direktivet, exempelvis delar av EN 50160 (spänningsgodhet) och EN 61000-2-2 (ledningsbundna störningar på elnät).

Regelverket för EMC fokuserar och ställer krav på utrustningars påverkan på elsystemet. Om ägaren av en utrustning upplever EMC-problem via ledningar, trots att hans apparat eller fasta installation med ingående apparater bevisligen uppfyller alla relevanta EMC-krav, måste ägaren i samverkan med eldistributören, som genom sitt nät bidrar till överföringen av störningen, söka orsaker hos annan utrustning i eller via lokalnätet, och vid behov längre upp i näten.

Är orsaken till störningen en apparat är tillverkaren ansvarig för att åtgärda störningen. Är orsaken en apparat eller en komponent som utgör del av en fast installation är anläggningsinnehavaren ansvarig. Kan ägaren visa att en enskild apparat i den fasta installationen inte uppfyller EMC-kraven kan denne i första hand vända sig till leverantör/tillverkare av apparaten för åtgärd och i andra hand till Elsäkerhetsverket. Om en eller flera apparater som ingår i en fast installation var för sig uppfyller EMC-kraven men samverkan mellan apparaterna ändå orsakar störningar ska ägaren av den fasta installationen åtgärda störningen.

2.1.4 Övriga kvalitetsfunktioner

Inom EU har EMC-direktivet funnits på plats i många år och tillämpningen har hittills främst riktats mot (små) apparater, dess CE-märkning och fria rörlighet på den gemensamma marknaden. Direktivet har även tidigare kunnat tillämpas på fasta installationer men direktivet har inte ambitionen att vara ett verktyg för att uppnå leveranssäkerhet eller effektivisering av nätverksamheter. Det råder dock ingen tvekan om att EMC-direktivet är helt nödvändigt för att kvalitetssäkra förutsättningarna för samexistens mellan olika elutrustningar.

En svårighet i sammanhanget är skillnader hos den reella livslängden för olika apparater i ett elkraftssystem inklusive dess förbrukare. Gamla apparater och utföranden behöver ständigt kunna samexistera med nya (bakåt- och framåtkompatibilitet). Det är inte samhällsekonomiskt rimligt att ändra allt det gamla för att överensstämja med det vi idag anser vara god teknisk praxis, en praxis som dessutom förändras över tid. Här kan det uppstå konflikter mellan t ex den som investerar i nya apparater och den som driver och förvaltar en gammal infrastruktur och det kan krävas särskilda avtal mellan parterna. För nätverksamhet tillämpas också prisreglering som kan påverka förnyelsetakten i nätet.

Sammantaget finns redan ett betydande regelverk och praxis på området, se Figur 2.1.2. Flera problem kan lösas genom en striktare tillämpning av redan befintligt regelverk och praxis. Vissa problem kräver dock utveckling av ny praxis, modifiering av befintlig praxis eller lokalt anpassade lösningar som likväl måste uppfylla övergripande och lagstadgade krav. Den inbyggda konflikten mellan gammalt och nytt kommer sannolikt att kräva en viss administrativ tolerans från myndigheternas sida under lång tid framöver.

Energimarknadsinspektionen	→	Nätnyttomodellens kvalitetsfunktion	Nationell reglering
Avtal mellan europeiska länders standardiseringsorg.	→	EN-standard som beskriver egenskaper och vissa krav på produkten el	Spänningsgodhet
Avtal mellan europeiska länders standardiseringsorg.	→	Miljöbeskrivande vägledningsdokument för EMC	EMC-relaterade dokument, ej harmoniserade
Elsäkerhetsverket	→	Fasta installationer	EMC-krav som regleras i direktiv, föreskrifter och harmoniserade/nationella standarder
Elsäkerhetsverket	→	Elprodukter	EMC-krav som regleras i direktiv, föreskrifter och harmoniserade standarder
Elsäkerhetsverket	→	Elinstallatörer	Krav som regleras i föreskrift

Figur 2.1.2 Regelverk och praxis av direkt eller indirekt betydelse för god kvalitet i elöverföring. (Streckad linje i figuren innebär i viss mån frivilliga krav/regelverk. Heldragen linje innebär bindande krav/regelverk)

Erfarenheten från flera länder såväl som resultat från teoretiska modeller visar att en reglering av nätpriser, utan tillhörande reglering av kvalitet, i det långa loppet leder till en försämring av kvaliteten hos elöverföringen. Flera olika modeller för att reglera kvaliteten prövas i olika länder. Regleringen utgår från ett eller flera av följande områden:

- Elavbrott
- Spänningsegenskaper
- Kommersiella egenskaper

Elavbrott och spänningsegenskaper karakteriseras på en rad olika sätt (se stycke 2.4). Kommersiella egenskaper berör främst den direkta kundkontakten.

Inget land (vad som är känt) har ännu tillämpat kravelement ur internationellt accepterade standarder för verksamhetssystem. Myndigheterna i Sydafrika, som har stor erfarenhet av reglering av elkvalitet, överväger dock tillämpning av ISO 9001 enligt informella uppgifter. Det finns i dagsläget ingen "bästa metod". Vad alla vill uppnå är dock en reglering som medför en effektiv nätverksamhet med en elöverföring och elanvändning som överensstämmer med EMC-lagstiftningen.

2.2 Kvalitet som del av effektivitetsbegreppet

Hög kvalitet är i sig inget självändamål. En omotiverat hög kvalitet kan dessutom visa sig vara ineffektiv. Vi behöver därför titta närmare på hur kvalitet kommer in i effektivitetsbegreppet.

Enligt boken Benchmarking [2:5] är effektivitetsbegreppet uppbyggt av fyra baskomponenter:

- Kvalitet
- Pris
- Produktionsvolym
- Kostnader

Kvoten mellan kvalitet och pris utgör kundvärdet. Kundvärdet ligger i sin tur till grund för hur mycket som säljs på en fri marknad, dvs. då kunderna kan välja mellan olika alternativ och gör rationella val. För nätverksamhet råder dock ett så kallade naturligt monopol – kunden kan inte välja nätföretag och nätföretaget kan inte välja kunder. Kvoten mellan produktionsvolym och kostnader kallas produktivitet. För en nätverksamhet utgörs produktionsvolymen av den överförda volymen elektrisk energi. Kostnader är de som uppstår i denna verksamhet.

Drivkraften för en högre effektivitet utgörs därmed av att kundvärdet går att sälja till ett pris som kunderna är villiga att betala och att priset överstiger kostnaden att utföra den tjänst som skapar kundvärdet. Olika grader av effektivitet kan nu beskrivas i Figur 2.2.1 där vi önskar befinna oss på den övre planhalvan – helst uppe till höger där effektiviteten är som högst.

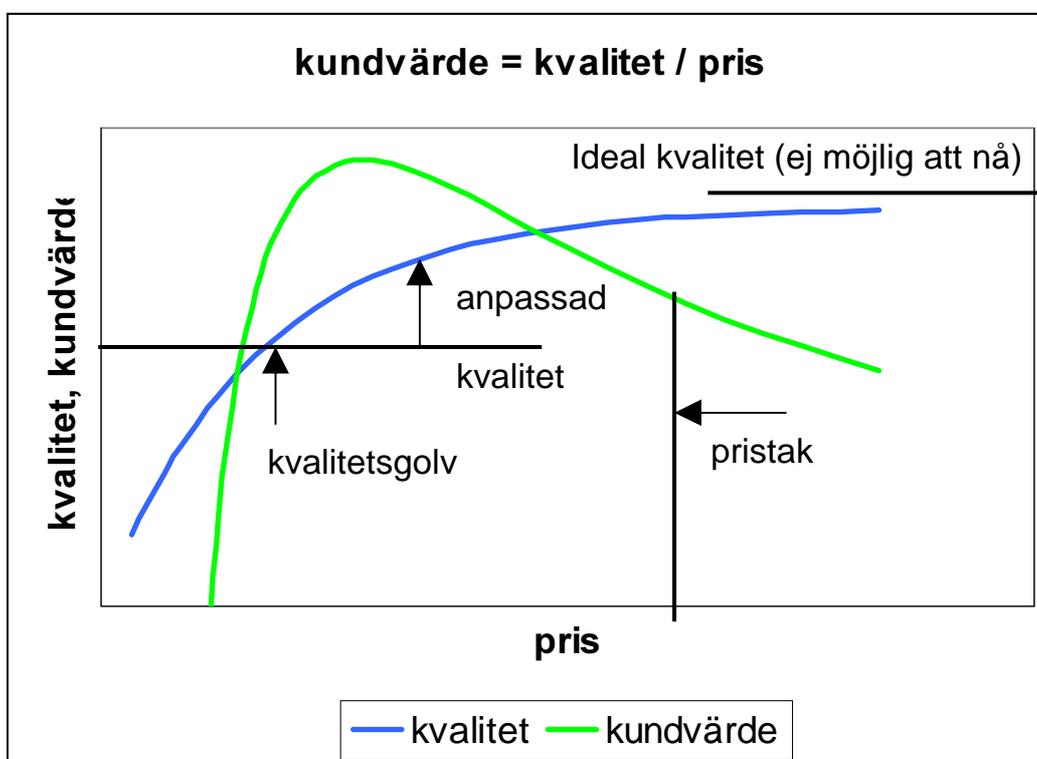
Högt	God elkvalitet i förhållande till nätpriset. Höga kostnader per överförd kWh.	God elkvalitet i förhållande till nätpriset.  Låga kostnader per överförd kWh.
Kundvärde	För låg elkvalitet i förhållande till nätpriset. Höga kostnader per överförd kWh.	För låg elkvalitet i förhållande till nätpriset. Låga kostnader per överförd kWh.
Lågt		
	Låg	Hög
	Produktivitet	

Figur 2.2.1 Effektivitetsmatrisen för en nätverksamhet

En reglerande myndighet, i rollen som elkundernas ställföreträdare, vill åstadkomma ett högt kundvärde som indirekt kan regleras med hjälp av begränsningar i tillåtet pris. En högre produktivitet förutsätts kunna fås på köpet genom kostnadsjakt inom nätföretaget. Eftersom priset måste täcka

nätföretagets kostnader och produktionsvolymen ges av begränsningar hos det naturliga monopolet finns nu en risk att kvaliteten på sikt faller (då pris/kostnad och kvalitet är starkt korrelerade). Faller kvaliteten vid ett konstant pris så faller också kundvärdet och regleringen motverkar sitt syfte. Av detta skäl är det olämpligt att införa en prisreglering utan att samtidigt reglera de kvalitetsegenskaper som enligt den enskilde kunden bygger upp kundvärdet.

Frågan blir nu om det går att införa en reglerad minimikvalitet som kan hålla kundvärdet uppe trots prisreglering. Detta kräver ett resonemang om hur kundvärdet kan förväntas variera när pris och kvalitet varieras. Modellen gör inget anspråk på att noggrant spegla verkligheten utan utgör snarare ett underlag för den fortsatta diskussionen, se Figur 2.2.2.



Figur 2.2.2 Kundvärde i pris-kvalitetsplanet för en fiktiv elkund

Vid en allt för låg kvalitet fungerar inte elutrustningarna hos kunden och kvalitetsbristerna gör produkten el farligare än vad som kan förväntas. I detta läge blir kundvärdet negativt, t ex då produkten el riskerar att ta livet av kunden eller förstöra egendom. Priset blir i princip negativt, dvs. nätföretaget måste ersätta kunden för skador (produktansvar). Vid en viss prisnivå blir det så möjligt att uppnå en kvalitetsnivå som uppfyller säkerhetskrav och den går att använda till vissa basfunktioner. Från denna punkt växer kundvärdet snabbt eftersom det oftast går att öka kvaliteten i högre grad än priset – kunderna är villiga att betala för en ännu bättre kvalitet. Fortsätter kvalitetsförbättringen kommer dock kvaliteten att genom t ex naturlagar eller historiska beslut plana på en viss nivå där varje åtgärd för att ytterligare förbättra kvaliteten blir oerhört kostsam, dvs. kräver stora prisökningar. En

kund som upplever kvaliteten som tillräcklig ser inte att ytterligare kvalitetsförbättring kan motiveras av prisökningen och kundvärdet faller, trots en högre kvalitet. Man kan därmed anta att kundvärdet når ett maximum vid en viss pris- och kvalitetsnivå. Var detta maximum inträffar blir dock individuellt för varje kund. Det är ändå rimligt att t ex hushåll kan betraktas som ett kollektiv med en likvärdig syn på sitt kundvärde. I det följande lämnar vi nu frågan om prisreglering för att närmare gå in på kvalitetsegenskaper.

2.3 Kvalitetsegenskaper hos elektricitet

Frågan om "god kvalitet" hos elöverföringen är ytterst komplex. Genom europadirektiv har elektricitet kommit att definieras som en produkt med tillhörande produktansvar. Det rör sig dock om en tämligen säregen produkt. Den produceras i samma ögonblick som den konsumeras och kan inte lagras i större kvantiteter. Dess egenskaper är olika vid varje leveranspunkt och dess kvalitet bestäms inte enbart av vad man stoppar in vid produktionen utan även på sättet den används. Elektriska utrustningar har också blivit mer komplexa till sin funktion och i sitt sätt att kunna påverka eller påverkas av andra elutrustningar.

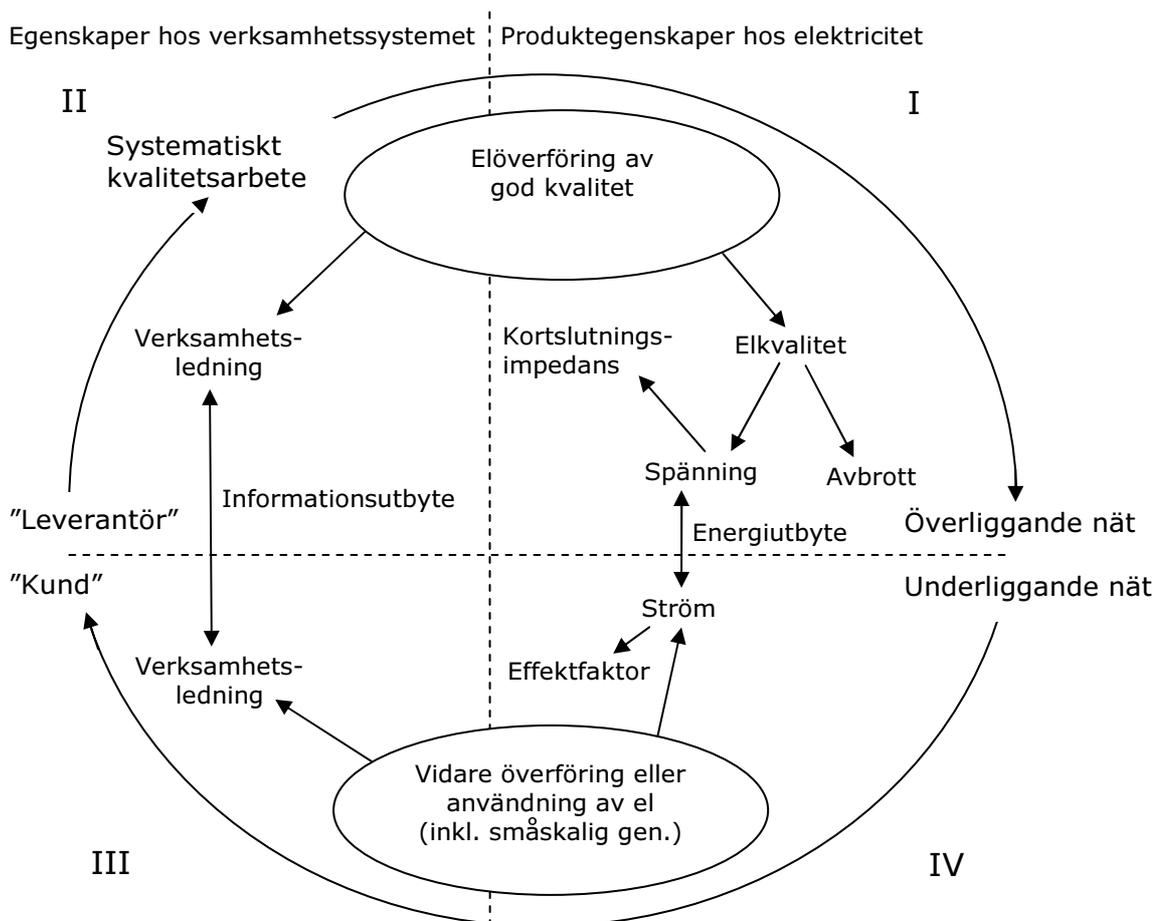
Ett elkraftsystem utgör den i särklass största maskin människan skapat. Alla elutrustningar i ett elkraftsystem är sammankopplade i ett gemensamt energisystem och arbetar ständigt i takt. Sammankopplingen ger samtidigt möjligheten till ömsesidig negativ påverkan mellan elutrustningar. Denna påverkan, tillsammans med vissa händelser (extremt väder, mänskliga misstag, felfall, laststeg etc.), försämrar produktens kvalitet. Var och när händelser inträffar är i det närmaste helt slumpmässigt, se även stycke 2.4.

Vi är starkt beroende av produkten elektricitet och har alla våra egna behov och förväntningar på den. Det finns heller inga tecken på att vårt beroende skulle kunna minska, snarare tvärt om. Många intressenter med olika bakgrund (teknisk såväl som icke-teknisk) måste därför kunna förstå principerna bakom och känna förtroende för arbetssättet att uppnå "elöverföring av god kvalitet". Produkten elektricitet är för samhället lika viktig som hälso- och sjukvården, livsmedelsförsörjning och arbetsmiljö (se även stycke 2.8.1) då alla samhällsviktiga verksamheter i hög grad vilar på god kvalitet hos elöverföringen.

De produkttegenskaper hos elektricitet som bygger upp elkvalitet finns tämligen väl beskrivna och för det mesta kan dessa mätas med standardiserade mätmetoder. Svårigheter uppträder emellanåt när man ska enas om vilka egenskaper som är viktigast, hur gränsvärden kan sättas och hur kraven i relation till dessa ska kunna kontrolleras. Att mätningar av produkttegenskaper har en central roll i ett kvalitetsarbete råder dock ingen tvekan om.

Det som är tillräckligt god kvalitet för en elanvändare duger ibland inte för en annan elanvändare. Precis som för all annan utbredd infrastruktur uppstår också kvalitetsskillnader beroende på var i landet man befinner sig. Samhällsekonomiskt har vi inte råd att tillhandahålla en "omotiverat hög" kvalitet eller att vidta orimligt dyra åtgärder. Allt detta landar sammantaget i behovet av en mer flexibel kvalitetsdefinition, en definition som inte enbart

utgår från mått och mål för enskilda produktegenskaper utan även från egenskaper hos verksamhetssystemet inom nätföretaget (och inte sällan även inom elanvändarens verksamhetssystem). Vi väljer här avsiktligt att använda termen "verksamhetssystem" istället för det mer vedertagna "(kvalitets)ledningssystem" för att undvika sammanblandning med elektriska ledningssystem. Samspelet mellan produktegenskaper och verksamhetsenskaper illustreras i figur 2.3.1.



Figur 2.3.1 Processmodell för överföring och användning av el

Processmodellen är indelad i fyra kvadranter där överliggande nät har ett kvalitetsansvar i kvadranter I och II och underliggande nät i kvadranter III och IV. Kvadranter I och IV handlar om produktegenskaper och II och III handlar om organisatoriska ledningsegenskaper. Hos underliggande nät kan elen användas direkt eller på nytt överföras. Kortslutnings-/nätimpedans förekommer naturligtvis även inom underliggande nät där kvadrant I och IV ansvarar för sitt respektive bidrag till den totala impedansen. Till elanvändning räknas i detta sammanhang även småskalig kraftgenerering. Med "Leverantör" och "Kund" avses relationen kring transporttjänsten för överföring av elenergi. Den slutna cirkeln markerar behovet av ett

systematiskt kvalitetsarbete för att hålla ihop helheten och styra arbetet. Syftet med processmodellen är att behålla överblick över problemet, ge principer för ansvarsfördelning och undvika att fastna i enskildheter.

I det följande kommer nu produkttegenskaper och egenskaper hos verksamhetssystem att behandlas var för sig.

I diskussionen om produkttegenskaper (stycke 2.4-2.5) beskrivs förutsättningarna för:

1. mål och mått för en miniminivå av kvalitet (kvalitetsgolv), samt
2. mått för en anpassad kvalitetsnivå.

I diskussionen om verksamhetssystem (stycke 2.8) beskrivs förutsättningarna för:

3. ett arbetssätt som kan garantera miniminivån enligt punkt 1, samt
4. ett arbetssätt som anpassar kvalitetsnivån med hänsyn taget till kundvärdet (kundfokus), samt
5. ett arbetssätt som gör det bästa av situationen även då generella mål och mått saknas.

2.4 Nätets prestanda och gränsvärden: Befintliga metoder

Målet med arbetet är att komma fram till en metod att kvantifiera nätets prestanda som kan jämföras med ett gränsvärde. Arbetet är inte nytt i sig och under många år har det funnits kvantifieringsmetoder vid utformning av nätet. Till exempel vid utformning av distributionsnät är det vanligt att man ska hålla spänningen vid kunder och/eller vid utrustningens klämmor mellan bestämda gränser. Utformningen tog även på sätt och vis hand om en begränsning av antalet och varaktighet av avbrott i elförsörjningen.

Dagens utveckling inom området sker på två olika sätt. För det första har det tillkommit nya fenomen som övertoner och spänningsdippar. För det andra är skillnaden att prestanda inte längre bara används vid utformning, men även som en verifiering efteråt som skulle kunna användas i ett juridiskt kontrakt. Medan den grova beskrivningen räckte vid utformning, behövs det nu exakta och noggranna beskrivningar för moderna tillämpningar.

Om vi tar spänningen som exempel då skulle ett kriterium vid utformning ha varit följande (hypotetisk exempel):

- Spänningens amplitud ska vara mellan 94 % och 106 % av märkspänningen under alla vanliga belastningslägen och vanlig drift av nätet.

För moderna tillämpningar räcker det inte längre utan behöver förfinas som:

- Var och hur ska spänningen mätas (vid utrustningarnas klämmor eller vid anslutning mellan kund och nät)?
- Hur ska spänningens amplitud beräknas (10-minuters medelvärde, 20-ms värde, mm)?
- Under vilka driftförhållande gäller gränsvärden (100 % av tiden, eller 99%, 95% för varje vecka, etc.)?

Mycket av diskussionen om kvantifiering av nätets prestanda har riktat sig mot definitionerna av så kallade "elkvalitetsindex" (dvs. mått t.ex. spänningens effektivvärde inklusive metod (när, var och hur) att mäta) samt motsvarande gränsvärden (dvs. mål, tal eller krav uttryckta i aktuella mått, t.ex. 230 V + 10 %). Arbetet har pågått i olika internationella arbetsgrupper samt på nationell nivå under ett 10-tal år nu. Andra exempel på "elkvalitetsindex" är SAIFI, SAIDI, CAIDI och MAIFI, se appendix 7.1.11 och [2:18] och [2:19]. Resultatet kan sammanfattas i att det finns tre olika sätt att komma fram till index och gränsvärden. Varje metod har sin egen bakgrundfilosofi och tillämpas för olika fenomen.

- Bakgrundfilosofin hos IEC-standarder om elektromagnetisk kompatibilitet, EMC, är att det ska finnas en avstämning mellan utrustningens känslighet mot störningar samt emissionen av störningar från andra utrustning. Filosofin implementeras i en rad emissions- och immunitetsnivåer för olika fenomen och typ av utrustning. Standarderna gäller egentligen bara för apparater men för att de nästan alltid ansluts till nätet finns det många standarder där kraftnätet spelar en viktig roll. Det finns en komplett uppsättning av index och gränsvärden för övertoner och flimmer och de är under utveckling för obalans. Gränsvärdena för övertoner och obalans bestäms framförallt av befintliga nivåer i nätet medan gränsvärdena för flimmer bestäms av människans känslighet mot ljusflimmer från glödlampor. Koordineringen mellan utrustningens känslighet och nätets gränsvärden gör att det sällan uppstår problem med utrustning.
- En helt annan filosofi finns bakom elkvalitetsreglering i många länder. Då är tanken att nätbolag inte ska kunna utnyttja sina naturliga monopol för att sänka elkvalitetsnivån och på så sätt spara pengar. Man brukar då ställa krav på att nätets prestanda (elkvalitet) inte ska försämrats. För att kunna mäta om det uppstår en försämring behövs det ett referensvärde som beskriver den nuvarande situationen. Då används i många fall som bas den Europeiska standarden EN 50160 som ger spänningskaraktistiken för låg- och mellanspänningsnät. Problemet med det är att beskrivningen i EN 50160 är mycket begränsad: nätets prestanda kan försämrats mycket för många kunder medan nätet som helhet fortfarande uppfyller kraven som ställs i EN 50160. Samma bakgrundfilosofi finns också bakom avbrottsregleringen in Storbritannien. Varje nätbolag fått ett mål för avbrottsfrekvens och otillgänglighet som baserades på historiska nivåer. Vart femte år ändras målet så att det framtvingar en förbättring av elkvalitet (tillförlitlighet).
- En tredje, helt annorlunda bakgrundfilosofi, är att det ska finnas en optimal nivå av elkvalitet då totala samhällskostnader är på lägsta nivån. Ett sådant resonemang finns i teoretiska beskrivningar av EMC standarder men i praktiken tar man ofta befintliga nivåer som gränsvärden. Samhällsoptimeringen är också tanken bakom norska KILE modellen och tillförlitlighetsdelen i svenska Nätnyttomodellen. Nackdelen med optimeringsmetoden är att de enkelt kan leda till en försämring av elkvaliteten: ett nätbolag kan bestämma att satsa på storstadskunder och minska investeringen i landsbyggd. Det kan leda till lägsta samhällskostnad men kommer inte att vara acceptabelt ändå.

2.4.1 Händelser och variationer

Elkvalitet är växelverkan mellan nätet och kunderna eller mellan nätet och utrustning genom spänning och ström. Idealfallet är att spänning och ström är av konstant amplitud, konstant felfrekvens och rent sinusformiga. Spänningen ska då vara nominell spänning och nominell frekvens; strömmen ska vara av samma frekvens som spänningen och fasvinkeln mellan spänning och ström ska vara noll.

Varje avvikelse från detta ideal är en elkvalitetsstörning.

Man skiljer mellan spänningstörningar och strömstörningar, men det går inte alltid att särskilja dessa. Elkvalitet kan då delas upp i spänningskvalitet eller spänningsgodhet och strömqualität eller strömgodhet. Se [2:15] och [2:16] för en mer detaljerad diskussion om definitionen av elkvalitet.

Elkvalitetsstörningar delas upp i två grupper som representerar olika typer av fenomen samt olika sätt att behandla störningarna. Tekniska beskrivningar av nätets prestanda är annorlunda för dessa två grupper.

Variationer är mindre avvikelser från idealvärdet som förändrar långsamt. Nivån av variationer kan mätas kontinuerligt och på tidpunkter som är bestämda (långt) i förväg. Exempel på variationer är spänningens amplitud och vågformsdistorsion. Normen för att mäta elkvalitet (IEC 61000-4-30 [2:17]) anger tydligt att båda ska mätas över ett 10-perioders fönster och att resultatet ska slås samman till ett värde över varje 10-minuters period. Normen föreskriver även att varje 10-minuters period ska börja på ett 10-minuters klockslag (dvs 00:00:00, 00:10:00, 00:20:00, osv, tom 23:50:00).

Följande spänningsvariationer kommer att behandlas i Appendix Bilaga 1 till rapporten:

- frekvens;
- spänningens amplitud;
- osymmetri;
- spänningsfluktuationer som leder till ljusflimmer;
- distorsion av spänningens vågform;
- likspänningskomponenter;
- signaleringsspänning eller rundstyrningssignaler

Läget med spänningsvariationer sammanfattas i Tabell 2.6.1.

Arbetet med att definiera prestandaindex har kommit en bra bit för alla dessa variationer och det finns även gränsvärden för de flesta. Det är här som både planeringsnivåer och spänningskaraktistiker går bra att använda.

Händelser är större avvikelser från idealvärdet som inträffar plötsligt. De kan inte mätas kontinuerligt eftersom att de bara inträffar då och då. Ett utlösningvillkor behövs för att kunna mäta händelser. Ett exempel på en händelse är spänningsdippen där IEC 61000-4-30 föreskriver utlösningvillkoren.

Följande spänningshändelser kommer att behandlas i Appendix Bilaga 1 till rapporten:

- spänningsdippar eller kortvariga spänningssänkningar
- kortvariga spänningsökningar
- spänningssteg
- transienter.

Läget med spänningshändelser sammanfattas i Tabell 2.6.2.

För avbrott finns det ett regelverk på plats eller under utveckling i många länder, men för de andra händelserna saknar de flesta länder prestandaindex och gränsvärden. Vi återkommer även till dessa händelser senare i rapporten. En detaljerad genomgång av befintliga metoder för att beskriva nätets prestanda ges i Appendix bilaga 1.

2.5 Nätets prestanda och gränsvärden: Framtiden

I det förra avsnittet behandlades befintliga gränsvärden för elkvalitet och metoder för att kvantifiera elkvalitet. Sammanfattningsvis kan vi säga att det finns en god enighet på internationell nivå om vad som är acceptabla nivåer för distorsion, obalans och flimmer.

För långa avbrott finns regelverk i många länder. Regelverket ställer direkta eller indirekta gränser på medelvärdet av antalet och varaktighet hos avbrott. Gränsvärden varierar mycket mellan olika länder och även mellan regioner inom ett land. Utöver det ställs det i vissa länder krav på antalet avbrott för varje kund och på varaktighet för enskilda avbrott. Gränsvärden varierar mycket mellan olika länder.

En viss oenighet finns om gränsvärden för spänningens effektivvärde, men oenigheten är mycket mindre än för avbrott.

Inga gränsvärden finns för kortvariga spänningssänkningar (dippar) och för kortvariga spänningsökningar. Eftersom en stor del av klagomålen är relaterade till dessa finns det ett starkt behov att utveckla gränsvärden för kortvariga spänningssänkningar och -ökningar.

I Appendix bilaga 2 presenteras ett ramverk för att sätta upp gränsvärden för kortvariga spänningssänkningar och -ökningar. Ramverket innehåller även gränsvärden för spänningens effektivvärden.

2.6 Sammanfattning och slutsatser – Produktegenskaper el

Båda allmänna krav från myndigheten och ett verksamhetssystem behöver mått för att beskriva elens Produktegenskaper på ett kvalitativt sätt. Framförallt med allmänna krav är det viktigt att dessa så kallade elkvalitetsindex definieras på ett sätt som är allmän accepterat och som ger reproducerbara resultat. Eftersom nätets prestanda vanligen bestäms med hjälp av mätningar används även ordet "mätmetoder" i stället för elkvalitetsindex. Mer flexibilitet är möjligt och i vissa fall även nödvändigt med

ett verksamhetssystem. Men även här rekommenderas att utgå från allmän accepterade index. I vilket fall är reproducerbarheten är ett måste.

Arbetet med att utveckla sådana index har pågått under minst ett 10-tal år, båda på internationell nivå och i olika länder. Resultatet har blivit ett antal internationella standarder och arbetsgruppsdokument. Men även vissa enskilda länder har utvecklat standarder och dokument som är värda att ta hänsyn till.

En mycket svårare och kontroversiell uppgift är att ställa krav på nätets prestanda, dvs. att sätta gränsvärden för olika elkvalitetsindex. I tabellerna nedan sammanfattas läget med utveckling av index och gränsvärden för olika störningar. Läget blir lättare att förstå om man skiljer mellan "variationer" och "händelser". Variationer är långsamma, mindre avvikelser som kan mätas kontinuerligt medan händelser är snabba, större avvikelser från ett idealvärde som behöver ett tröskelvärde eller utlösningsvillkor för att kunna mätas. Utvecklingen med variationer har kommit mycket längre bland annat genom EN 50160 och diskussionerna runt denna. Utvecklingen med händelser har stannat av under många år. Att ställa rimliga gränsvärden är mycket känsligt och svårare för händelser; det behövs bland annat olika gränsvärden i olika delar av nätet.

Störning	Index	Krav	Diskussioner och behov
Frekvens	IEC 61000-4-30	Spänningskaraktistiker i EN 50160; ingen anledning att ställa krav i stora nät.	"Frekvenskvalitet" i överföringsnät.
Spänningens amplitud	IEC 61000-4-30; EN 50160	Spänningskaraktistiker i EN 50160. Olika krav i olika länder. Olika designriktlinjer i olika länder och hos olika nätbolag.	Brist hos EN 50160: 1-min istället av 10-min; 100% istället av 95%; kortvariga överspänningar.
Osymmetri	IEC 61000-4-30	Spänningskaraktistiker i EN 50160. Planeringsnivåer i IEC 61000-3-13 (draft).	Obalans i MS/HS och påverkan på generatorer. Noggranna mätmetoder.
Spänningsfluktuationer som leder till flimmer	IEC 61000-4-15	Spänningskaraktistiker i EN 50160; planeringsnivåer i IEC 61000-3-7. Krav på emission i IEC 61000-3-3 och IEC 61000-3-11.	Flimmer pga spänningssteg; påkoppling av LS utrustning.
Distorsion	IEC 61000-4-7	Spänningskaraktistiker i EN 50160; planeringsnivåer i IEC 61000-3-6; krav på emission i IEC 61000-3-	Kortvariga höga nivåer av distorsion; mellantoner; distorsion över 2 kHz.

		2 och IEC 61000-3-4.	
Likspänningskomponenter	Inga	Inga	Ingenting på gång.
Rundstyrningssignaler	Inga	Spänningskaraktistiker i EN 50160.	Stort behov av reglering med ökad kommunikation över nätet.

Tabell 2.6.1 Läget beträffande utveckling vad gäller index och gränsvärden för elkvalitetsvariationer.

Störning	Index	Krav	Diskussioner och behov
Avbrott	IEEE 1366; olika metoder och definitioner i olika länder.	Olika krav i olika länder och regioner; krav för enskilda kunder och genomsnittlig för hela nätet.	Utvecklingar pågår i nästan alla länder. Behov på samordning mellan länderna. Diskussion om och hur korta avbrott ska behandlas.
Spänningsdippar (kortvariga spännings-sänkningar)	IEC 61000-4-30; rekommendationer i CIGRÉ rapport 261; under utveckling i IEEE 1564.	Begränsade krav i Frankrike och i Sydafrika.	Dippar är den största diskussionspunkten bland regulatorerna idag. Stor behov från industriella kunder. Mät- och analysmetod ska utvecklas vidare.
Kortvariga spännings-ökningar	IEC 61000-4-30	Inga	Diskussionen har börjat i mindre grupper. Viktig för hushållskunder.
Spänningssteg	Inga väldefinierade index	Planeringsnivåer i IEC 61000-3-7. Krav i Norge.	Relation med flimmer. Hur påverkas utrustning. Repeterande steg som inte ger flimmer.
Transienter	inga allmän accepterade index	Inga	Behov av ett regelverk; behov av allmän accepterade index; påverkan på utrustning.

Tabell 2.6.2 Läget beträffande utveckling vad gäller index och gränsvärden för elkvalitetshändelser.

2.7 Konsekvenser av dålig elkvalitet

Elkvalitet handlar om avvikelser av spänningens och strömmens amplitud och vågform från idealvärdena, så kallade elkvalitetsstörningar. Elkvalitetsindex

beskriver hur stor avvikelsen är medan gränsvärdena anger vilka avvikelser som är acceptabla. För att bestämma relevanta gränsvärden behövs en förståelse om konsekvenserna för kunder/utrustning vid dessa avvikelser.

Man ska då skilja mellan "variationer" och "händelser". Exempel på variationer är övertonsdistortion samt spänningens amplitud. För dessa finns det en relativ långsam variation runt ett medelvärde eller ett idealvärde. Störnivån med variationer kan mätas hela tiden och på förbestämda moment. Exempel på händelser är: dippar, transienter och avbrott. Det är stora avvikelser från ideal/medelvärdet som händer bara då och då. De kan inte mätas hela tiden men behöver överskridning av en utlösningnivå.

Om vi börjar med variationer, så är låga nivåer inget problem för utrustningen. Om spänningen är 228 Volt istället av 230 Volt då fungerar utrustning inom sina designgränser. Så länge störningsnivån är mindre än immunitetsgräns för utrustningen så är risken liten att det uppstår problem med utrustning. Kravet på nätets prestanda är då att störnivån ska vara mindre än immunitetsgränsen för de flesta (eller: alla) ställen där kunder är anslutna, under största del av tiden (eller: alltid). Så länge detta krav uppfylls är risken för problem med utrustning liten och man har något av en situation som kan beskrivas som "god elkvalitet".

(Observera att ovanstående är ganska allmänt accepterat; men nedan börjar det att bli svårare och här kommer till stor del egna idéer in i bilden).

Men händelsen är situationen annorlunda. Varje enskilt händelse kan leda till problem med utrustning. Det behövs metoder att beskriva enskilda händelser som t ex kvarstående spänning och varaktighet för spänningsdippar. Immunitetskrav på utrustning mot spänningsdippar beskrivs då i formen av maximum varaktighet och minimum kvarstående spänning. Varje dipp som är mindre allvarlig än immunitetskrav ska då inte leda till problem med utrustning. Men det är inte möjligt att ställa immunitetskrav så att utrustning ska kunna klara alla möjliga händelser: då skulle immunitetskravet vara ett avbrott av många dygn. Därför behövs det ett tvåstegs kriterium; med ansvar hos både nätbolag och användare av utrustningen. Det är användarens ansvar att utrustningen eller processen klarar immunitetskravet medan det är nätbolagets ansvar att händelser värre än immunitetskravet är begränsade i antalet, på samma sätt som det finns gränser på antalet långa avbrott.

2.8 Egenskaper hos verksamhetssystem

2.8.1 "God kvalitet" inom andra samhällsviktiga områden

För att göra en verksamhet säkrare och mer effektiv - både i Sverige och globalt - finns i dag väletablerade och internationellt accepterade standarder. Det blir allt viktigare att dessa system är internationellt gångbara, eftersom utvecklingen accelererar mot ett ökat utbyte av tjänster såväl nationellt som internationellt.

Certifiering av verksamhetssystem för kvalitet utgår från de internationella standarderna i ISO-9000-serien och speciellt SS-EN ISO 9001:2000 [2:5-2:7]. Syftet med verksamhetssystem är att säkerställa att kundens krav uppfylls. Ursprungligen dominerade tillverkande företag helt, men nu växer

tillämpningen snabbt inom tjänsteföretag och offentlig verksamhet, t ex inom hälso- och sjukvården, men även bland allt fler nätföretag.

Flera myndigheter med tillsynsansvar följer och uppmuntrar den allmänna kvalitetsutvecklingen i samhället genom att utfärda föreskrifter med krav om dokumenterade verksamhetssystem och en så kallad systemtillsyn, bl. a.:

- Socialstyrelsen t ex genom [2:8], [2:14]
- Livsmedelsverket t ex genom [2:9]
- Arbetsmiljöverket t ex genom [2:10]

Föreskrifterna ställer upp och specificerar en miniminivå av kvalitetsledning för vissa kritiska egenskaper. För en verksamhet som redan har ett frivilligt verksamhetssystem enligt t ex SS-EN ISO 9001 blir det tämligen enkelt att infoga dessa föreskriftskrav i den befintliga strukturen. I en verksamhet utan formellt verksamhetssystem blir föreskriftskrav utformade på detta sätt en "hjälp till självhjälp" och ett incitament till fortsatt kvalitetsutveckling. Systemtillsynen kan göras mycket effektiv, bl. a. genom föreskrivna krav om kundfokus, ständiga förbättringar, riskanalys, löpande egenkontroll och internrevision.

Oberoende av om verksamhetssystem införs frivilligt eller som ett myndighetskrav så tvingas organisationen att konkurrera med sig själv och jämföra sig med andra – även om den är verksam på en monopolmarknad.

Kunskaper om och erfarenheter av verksamhetssystem är idag brett spridd inom samhället. En stor fördel med kvalitetsledning som baseras på väletablerade standarder, snarare än unika krav, är därmed möjligheten till stöd också från en betydligt bredare infrastruktur av forskning, myndigheter, certifieringsorgan, konsulter, utbildningar, facklitteratur, certifierade företag osv.

2.8.2 Allmänt om verksamhetssystem och systematiskt kvalitetsarbete

Ett verksamhetssystem kan tydliggöra och synliggöra verksamhetens kvalitet och dess resultat för personal, kunder och omvärld. Tydligheten bildar en säker grund och är en förutsättning för att identifiera förbättringsmöjligheter. Därmed skapas förutsättningar för det faktabaserade, systematiska och fortlöpande kvalitetsutvecklingsarbetet. Denna tydlighet och öppenhet lägger också grund för kundernas och andra intressenters förtroende för verksamheten. I Appendix bilaga 3 ges en närmare beskrivning av verksamhetssystem och systematiskt kvalitetsarbete.

Samtliga kravelement som ges i bilaga 3, Tabell 7.3.1, möjligen med ett eller två undantag, är tillämpliga för en nätverksamhet. I det följande behandlas endast sådana kravelement som bedömts ha en avgörande inverkan på "god kvalitet" hos elöverföringen.

2.8.3 Kvalitetselement av avgörande betydelse för elöverföring

Huvudprocessen inom en nätverksamhet är att överföra, dvs. för annans räkning transportera produkten elektricitet. Nätföretaget utför med andra ord en transporttjänst åt kunden. Då elöverföring troligen inte är den enda

transporttjänst kunden är beroende av för sin verksamhet är en jämförelse med villkoren för andra typer av transporttjänster på sin plats, åtminstone ur kundens perspektiv. För konventionella transporttjänster enligt [2:11] anges (i förkortad form):

Transportören är ansvarig för förlust eller minskning av värde eller skada på gods, som inträffar från det att godset övertagits för transport till dess det avlämnas samt för dröjsmål med avlämnandet. Ansvar föreligger ej om förlusten, minskningen, skadan eller dröjsmålet orsakats av:

- uppdragsgivarens fel eller försummelse,*
- handhavande som ombesörjts av uppdragsgivaren eller någon som handlar för dennes räkning,*
- godsets egen naturliga beskaffenhet att lätt fördärvas,*
- förhållanden transportören ej kunnat undvika och vars följder han ej kunnat förebygga.*

Transportören är, oavsett vad som bestäms i punkterna ovan, ansvarig i den mån hans fel eller försummelse orsakat eller medverkat till förlusten, minskningen, skadan eller dröjsmålet.

För elöverföring såväl som för konventionella transporttjänster råder det ett delat kvalitetsansvar, även om transportörens ansvar normalt är större än uppdragsgivarens. En nätverksamhet är dock mer vidsträckt än konventionella transporttjänster. Produkten som transporteras har likheter med "farligt gods" och nätföretaget upplåter såväl "dragfordonet" i form av nätspänningen, som "vägnätet" i form av ledningsnätet. Produkten kan dessutom inte lagras och transporten sker vid hastigheter nära ljusets vilket utesluter alla möjligheter till kvalitetskontroll före transport eller användning. Kvaliteten blir därmed i det närmaste helt beroende av ett förebyggande och systematiskt arbete enligt PDSA-cykeln (se Appendix, bilaga 3, Figur 7.3.1).

Ett företag som bedriver konventionella transporttjänster med ett verksamhetssystem enligt ISO 9001: 2000 kan normalt utesluta kravelement som berör konstruktion och utveckling eftersom man inte sysslar med sådant. Detta gäller inte ett nätföretag som med stöd av underleverantörer dimensionerar, förnyar och underhåller sitt ledningsnät kontinuerligt.

Det är på det hela taget mycket svårt att utesluta något enda kravelement ur ISO 9001 för en nätverksamhet när man behandlar elöverföring av god kvalitet.

Eftersom elöverföring är verksamhetens huvudprocess så bestäms också "god kvaliteten hos överföring" i huvudprocessen, och inte i någon separat eller underordnad process.

Den logiska slutsatsen blir därmed att en nätverksamhet, med tanke på sin betydelse i samhället, borde underkastas fullständig kvalitetssäkring med avseende på elöverföring av god kvalitet. Detta är dock inte tillräckligt. Eftersom kvalitetsansvaret är naturligt uppdelat mellan nätföretag och elanvändare krävs även kvalitetssäkring i någon form hos

kunder/underliggande nät. Nätföretagen kan därför uppmuntras i sin roll att utveckla kvaliteten inom elanvändningen, kanske också genom nya tjänster.

Rent allmän råder en ny situation inom regleringen av starkströmsanläggningar. Från att under hela nittonhundratalet tillämpat regelstyrning (gör enligt "kokboken" så uppfylls kraven), så har vi fått ett paradigmskifte bl. a. genom [2:12] med en situation där "kokboken" inte längre är den enda vägen att uppfylla kraven. Paradigmskiftet ges genom formuleringen:

Utförandet av en starkströmsanläggning som från elsäkerhetssynpunkt helt eller delvis avviker från svensk standard skall uppfylla de allmänna säkerhetskraven [...]. De bedömningar som ligger till grund för det valda utförandet skall vara dokumenterade [...].

Formuleringen är i sin grund ett kvalitetskrav som delegerar kvalitetssäkringen från standardiseringsorganisationen till utföraren, förenklat: Lämna paragrafen och lös problemet på ditt sätt, bara du dokumenterat kan visa att ditt sätt nått upp till de grundläggande och generellt formulerade säkerhetsmålen. Den mentala omställningen inom elbranschen från regelstyrning till målstyrning kommer dock att ta lång tid. För flertalet nätföretag finns dessutom en redan hög kvalitetsnivå att förvalta. Det är med andra ord inte frågan om att förkasta ett historiskt säkerhets- och kvalitetsarbete utan snarare vidareutveckla redan uppnådda kvalitetsresultat med mer moderna metoder.

Inom det närliggande området elsäkerhet finns sedan mycket länge en statlig auktorisation av elinstallatörer [2:13]. Systemet bygger i någon mening på personcertifiering med särskilda krav på utbildning och erfarenhet vid tidpunkten för ansökan. Däremot saknas inbyggda krav om kompetensutveckling och behörigheten ges på livstid. Den behörige elinstallatören utför sällan det praktiska arbetet själv utan måste efter eget huvud skapa ett (lednings)system för att styra och kontrollera andras arbete. Möjligen är tiden snart kommen att byta ut kraven om certifierad person mot krav om certifierat verksamhetssystem för att få utföra elinstallationer.

I det följande försöker vi peka ut kvalitetselement som kan ha en särskilt stor betydelse för god kvalitet hos elöverföring. Det betyder inte att övriga element saknar betydelse, men någonstans måste man börja.

2.8.4 Ledningens ansvar

Högsta ledningens engagemang är en absolut förutsättning för ett effektivt kvalitetsarbete. Nätföretagets huvudprocess är överföring av el och frågan om överföringens kvalitet kan inte hanteras som separata ärenden. Många verksamhetsbeslut kan påverka kvaliteten hos överföringen såväl till det bättre som till det sämre. Högsta ledningen i en nätverksamhet behöver fastställa övergripande mål för elkvalitet och måste löpande följa upp och utvärdera målen. Likaså måste ledningen se till att chefer och medarbetare har den kompetens, det engagemang, det ansvar och de befogenheter som krävs för att bedriva ett systematiskt kvalitetsarbete.

Exempel: Företagsledningen utser en person som ansvarig för elkvalitet. Befogenheter, kompetens och resurser är dock otillräckliga för uppgiften. Någon systematisk uppföljning av arbetet görs inte...

2.8.5 Planering av produktframtagning

Vid utveckling, konstruktion och underhåll grundläggs väsentliga förutsättningar för kvaliteten hos elöverföringen. Med tanke på elnätets långa livslängd är det inte tillräckligt att enbart beakta grundläggande prestanda utan även faktorer som bidrar till att möta förväntningarna från kunder och andra intressenter på sikt.

Inköp av produkter och tjänster kan ha stor påverkan på kvaliteten hos elöverföringen. Därför kan inköp av varor och tjänster börja med en klar definition av kraven på dessa. Kraven för inköpet, inklusive framtida ansvarsförhållanden mellan tillverkare och leverantör ska vara klart definierade, delgivna och förstådda av alla parter.

Exempel: Direktiv, harmoniserad standard, föreskrift eller andra kravdokument förändras ständigt och anger vad som för stunden betraktas som god teknisk praxis. Om detaljkrav saknas blir det istället en fråga om att själv kunna ta fram och dokumentera lösningar enligt mer generella och övergripande krav...

Goda rutiner för hantering av felanmälan, klagomål och förslag till förbättringar underlättar kontakterna mellan nätföretaget och elanvändarna. Elanvändarna behöver få information om vart de ska vända sig, hur hanteringen av klagomål går till och vad klagomålet lett till. Förslag och klagomål från elanvändare och leverantörer är en viktig återkoppling till verksamheten. Utvecklade rutiner för att ta tillvara denna information leder till höjning av elkvalitet och elsäkerhet. Genom att göra en missnöjd elanvändare delaktig och genom information om möjliga åtgärder och utfall kan man skapa realistiska förväntningar på resultatet. Elanvändarens (särskilt elinstallatörers och elansvarigas) roll, ansvar och medverkan i elkvalitetsarbetet blir också tydliga. För elanvändare med en krävande elanvändning behöver nätföretaget på eget initiativ ta reda på elanvändarens behov och förväntningar samt, vid behov, ange särskilda förutsättningar och villkor för elanvändning. Elinstallatörer ska, enligt elinstallatörsförordningen, avkrävas anmälan i samband med nyinstallation och väsentliga ändringar i elanläggningar. Särskilda utskick eller elinstallatörsträffar kan anordnas.

Exempel: En elinstallatör kopplar in en ny maskin åt ett företag. Elinstallatören är inte fullt insatt i maskinens funktion men bedömer ändringen i anläggningen som obetydlig och gör ingen anmälan till nätföretaget. Efter en tid får nätföretaget klagomål från en privatperson i den aktuella nätdelen...

Mätning och övervakning är central i allt kvalitetsarbete, särskilt för en produkt som elektricitet som inte kan bedömas utan hjälp av mätinstrument.

För att kunna lita på och fatta beslut baserade på mätresultat måste mätutrustningen vara lämplig för den aktuella användningen och hanterad och underhållen så att avsedd noggrannhet uppnås. Likaså måste kalibreringsstatus vara angiven.

Exempel: En elanvändare framför upprepade klagomål trots att nätföretagets mätning inte visar på någon väsentlig avvikelse. När elanvändaren anlitar en oberoende konsult framkommer mätresultat som visar på något helt annat...

2.8.6 Mätning, analys och förbättring

När en allvarlig avvikelse upptäcks ska de bakomliggande orsakerna identifieras genom en händelseanalys och insatta åtgärders effekt utvärderas för att undvika en upprepning. Rutiner ska även finnas för anmälan till myndighet när en sådan anmälan ska göras.

Exempel: En montör i nätföretaget begår ett misstag och bryter kortvarigt PEN-ledaren till en fastighet. Ingen finns för tillfället i fastigheten och montören rapporterar incidenten med en lapp på chefs bord. Chefen är för tillfället ledig...

Enligt Ellagen [2:1] ska den som bedriver nätverksamhet med stöd av nätkoncession för linje med en spänning som understiger 220 kilovolt eller nätkoncession för område årligen upprätta en risk- och sårbarhetsanalys avseende leveranssäkerheten i elnätet. Elanvändarna ska informeras om leveranssäkerheten och om rätten till avbrottsersättning och skadestånd. Informationen om leveranssäkerheten borde vara kvalitetssäkrad och begriplig då denna kan utgöra ett viktigt beslutsunderlag för elanvändarna.

Exempel: En lantbrukare behöver reservkraft enligt djurskyddslagen. Han har ett fungerande aggregat som dock börjar bli gammalt och funderar på att köpa ett nytt. Som ett underlag i sitt investeringsbeslut använder han nätföretagets information om leveranssäkerheten i elnätet...

Egenkontrollen avser en regelbunden, systematisk uppföljning av verksamhetens planering, utförande, resultat och förbättringsåtgärder. Utifrån fastställda mål och mått analyseras de interna processerna. För identifierade risker och avvikelser vidtas åtgärder för att hitta orsaker och göra förbättringar. På de områden där det finns nationella och internationella standarder eller rapporter medger dessa uppföljning av utvecklingen över tid och jämförelser med andra.

2.8.7 Rutiner och metoder

Ett verksamhetssystem kan garantera att rutiner och metoder för åtgärder är dokumenterade och att de är kända av medarbetarna. Rutiner och metoder, det vill säga i förväg bestämda tillvägagångssätt, syftar till att få systematik i arbetet. Detta kan förhindra felaktiga beslut. Med spårbarhet menas att åtgärder för t ex elkvalitet, leveranssäkerhet eller elsäkerhet ska kunna identifieras och spåras i dokumentationen.

Genomgång och utvärdering av verksamhetssystemet genomförs med bestämda intervaller. Observationer, slutsatser och rekommendationer som framkommer ska dokumenteras som underlag för nödvändiga åtgärder. Rutinerna ger besked om när, hur och av vem arbetet ska genomföras, samt vilka som skall medverka. Rutinerna behöver inte vara omfattande. I ett litet företag kan det räcka med att det finns en tydlig framförhållning när det gäller vad som skall göras. Det är särskilt viktigt att på förhand bestämma när och hur undersökning av elkvalitetsförhållandena ska göras. Det är lika viktigt att kunna beskriva den befintliga kvalitetsnivån och hur denna ska förändras.

2.8.8 Kan en reglering baseras på verksamhetssystem?

En reglering och tillsyn av ett naturligt monopol har som mål att så långt möjligt efterlikna den situation som råder på en fri marknad. Enligt den idag förhärskande uppfattningen är det konkurrensen på en marknad som utgör drivkraften bakom effektivitet där kundvärdet är den viktigaste komponenten. Kundvärdet är individuellt för varje kund men kan antas ha ett maximum någonstans i pris-kvalitetsplanet (se stycke 2.2).

Att i en reglering ange generella krav på kvalitetsegenskaper och pris som träffar detta maximum är omöjligt, det skulle kräva en mycket komplex modell. Fokus kan istället ligga på att med prisreglering säkert ligga till höger, och med kvalitetsreglering säkert ligga till vänster om maximum hos kundvärdet för flertalet elkunder. Avståndet mellan dessa två gränser – kvalitetsgolv och pristak – kan bli långt och leder inte i sig till en god optimering. Samhället kan därför ge nätföretagen, i samverkan med sina kunder, förtroendet att mellan dessa två gränser försöka reglera in ett kundvärde som är bättre än vad som ges av endera gränsen. Det finns trots allt ingen som har bättre förutsättningar att lyckas med detta kvalitetsarbete än de som befinner sig närmast problemet.

Vid en reglering via verksamhetssystem behöver nätföretagen kunna visa ett formellt riktigt arbetssätt att hantera frågan. Arbetssättet kan vara likartat för alla och kunna beskrivas i ett dokumenterat och lokalt anpassat verksamhetssystem för elkvalitet inklusive leveranssäkerhet. Med ett standardiserat och dokumenterat system kan sedan regulatorn utöva tillsyn över verksamhetssystem (systemtillsyn) och jämföra lokalt uppsatta kvalitetsmål mot uppnådda resultat.

Idén om en reglering med krav på verksamhetssystem och systemtillsyn för samhällsviktig verksamhet är inte ny eller särskilt unik, se stycke 2.8.1. Snarare är det en reglering enligt principerna för Nätnyttomodellen som utgör ett undantag. I nuläget har vi dock att förhålla oss till kraven genom Nätnyttomodellen (via EMI:s tillsyn) parallellt med regelverket för EMC (via Elsäkerhetsverkets tillsyn) där EMC-kraven nu blir förtydligade för fasta installationer. En reglering via verksamhetssystem kan vara ett komplement eller alternativ till dagens regleringsmodell(er) men förutsättningarna för detta behöver undersökas vidare.

2.9 Sammanfattning och slutsatser – Egenskaper hos verksamhetssystem

Det är olämpligt att införa en prisreglering utan att samtidigt reglera alla de kvalitetsegenskaper som, enligt den enskilde kunden, bygger upp kundvärdet. Pris- och kvalitetsreglering måste vara väl koordinerad.

En pris- och kvalitetsreglering måste ligga på tillräckligt avstånd på ömse sidor om maximum hos kundvärdet för flertalet elkunder. Avståndet mellan dessa två gränser – kvalitetsgolvet och pristaket – kan bli långt och leder inte i sig till en god optimering.

Samhället kan därför ge nätföretagen, i samverkan med sina kunder, förtroendet att mellan dessa två gränser försöka reglera in ett kundvärde som är bättre än vad som ges av endera gränsen.

Egenskaper hos verksamhetssystemet behövs för att beskriva:

1. ett arbetssätt som kan garantera en miniminivån av kvalitet (kvalitetsgolvet) uttryckt i produkttegenskaper, samt
2. ett arbetssätt som anpassar kvalitetsnivån med hänsyn taget till kundvärdet (kundfokus), samt
3. ett arbetssätt som gör det bästa av situationen även då generella mål och mått för produkttegenskaper saknas.

Ett kvalitetsarbete måste bedrivas systematiskt och sättet att få brett förtroende för en sådan systematik är att tillämpa väletablerade och internationellt accepterade standarder.

Av avgörande betydelse för arbetet med elöverföring av god kvalitet är följande kvalitetselement ur ISO 9001: 2000:

- Företagsledningens ansvar;
- Planering av produktframtagning;
- Mätning, analys och förbättring;
- Verksamhetssystem för kvalitet

Den föreliggande förstudien förmår inte ge en detaljerad beskrivning av samtliga relevanta verksamhetssegenskaper och hur dessa kan tillämpas för en nätverksamhet. Det är alltid enklare att beskriva de övergripande principerna och kraven än att beskriva enskilda rutiner t.ex. för framtagning av planeringsnivåer. Därför ges förslag till fortsatta arbeten.

3 Framtidens elkvalitet

Författare: SP, Andres Mannikoff, STRI, Math Bollen, UPN, Torbjörn Johnson och UPN John Åkerlund

3.1 Inledning

Begreppet "Power quality" dök upp i amerikansk litteratur i slutet av sjuttiotalet inom gruppen datoranvändare som en något luddig förklaring till vissa felfunktioner. I början handlade det mycket om att hitta en syndabock där elanvändarna skyllde bristerna på elleverantören och elleverantören skyllde elanläggningar/elutrustning för bristande immunitet. Även där det fanns lösningar uppstod ofta en motvilja att ta på sig kostnader för att lösa problemet. Mycket kom istället att handla om försök att flytta kostnaden för åtgärder till någon annan av intressenterna. Gränslinjen mellan intressenter sattes ofta vid elmätaren som om elektronerna skulle ändra sitt beteende vid passagen genom mätpunkten [3:1].

Vi har lärt oss mycket om elkvalitet sedan sjuttiotalet och har idag betydligt bättre förutsättningar att såväl beskriva och mäta fenomenen som att vidta rätt åtgärder. Fortfarande hamnar vi dock lätt i samma diskussion om syndabockar, gränsdragning och fördelning av kostnader – således ett administrativt snarare än ett tekniskt problem. Görs inget åt den administrativa problematiken finns en uppenbar risk att vi även i framtiden, trots allt bättre tekniska förutsättningar, fortfarande står kvar på ruta ett.

Innan vi blickar framåt fortsätter vi på den inslagna vägen och betraktar historiken. Ur förändringen fram till idag försöker vi sedan dra ut trenderna mot framtiden.

3.2 Elanvändning fram till idag

Elanvändning och samhällsutveckling går hand i hand och vi börjar vår betraktelse på 1950-talet när landsbygdens hushåll nått en elektrifieringsgrad på över 90 %. Som vid all introduktion av ny teknik är behoven och de efterfrågade tillämpningarna i hög grad okända när det tekniska systemet introduceras. I fråga om elkraftsystemet visade det sig snart att behoven var i det närmaste omätliga [3:2].

En storleksrevolution inleddes på 1950-talet, nådde ett maximum på 1960-talet och planade ut på en hög nivå på 1970-talet [3:3]. Kraftanläggningar ökade tiofaldigt i storlek och samma utveckling skedde inom processindustrin (stålverk, pappersindustri, petroleum). Drivkraften bakom förändringen var stordriftfördelar och snabbt ökande efterfrågan, men förändringen hade inte varit möjlig utan transistorn (den första transistorn framställdes strax före jul år 1947). I processindustrin måste beslut om ingrepp i produktionen fattas snabbt och på grundval av stora mängder driftdata. Människan hjärna sätter helt enkelt en gräns där datorer och annan elektronik måste sättas in för att

för att minnas och bearbeta data. Stora driftenheter gav också underlag för användning av dyrbar styr- och övervakningsutrustning eftersom även små marginella förbättringar i den stora produktionen gav avsevärd vinst. Genom ökad automation och mer noggranna mätningar kunde också kvaliteten på produkterna göras bättre och jämnare. Möjligheten att därigenom framställa högklassiga specialfabrikat ledde även till att övrig tillverkningsindustri gradvis kunnat utnyttja materialen hårdare i sina produkter. År 1971 föddes mikroprocessorn som lade grunden till den expansiva datorutvecklingen som nu inleddes. Med datorerna och inträdet i den "Digitala ekonomin" uppträder nu nya typer av känslighet för fenomen på elnäten och den bredare diskussionen om elkvalitet startar. Krafthalvledarna utgörs fortfarande av tyristorer och mycket av diskussionerna handlar om övertoner, snabbt varierande reaktiv effektförbrukning och filter (enligt ASEA's beräkningsbok för strömriktare har man god teoretisk kontroll på övertonernas inverkan på växelströmsnätet redan år 1941).

Oljekrisen 1973/74 kom att markera inledningen till en lång period med svag tillväxt. Allt högre lönekostnaderna, tillsammans med en önskan om att utnyttja rörelsekapital och produktionsanläggningar effektivare, blev pådrivande för fortsatt automatisering och en ökning av processhastigheterna. Fortfarande är datakraften i hög grad centraliserad och enskilda drivsystem mm styrs fortsatt med analog elektronik. Under 1980-talet börjar distribuerade mikroprocessorer bli allt vanligare för att under 1990-talet uppträda även i tämligen enkla elapparater. Med distribuerad datakraft öppnas helt nya möjligheter till kommunikation. Övergången från analog till digital styrutrustning öppnar möjligheten för nya typer av reglertekniska lösningar. Den klassiska PID-regulatorn (från år 1922) ersätts av betydligt mer avancerade digitala regulatorer som medger ytterligare ökning av processutbytet. Utvecklingen av krafthalvledare gör att släckbara komponenter kan klara styrning av allt högre effekter och vid allt högre switchfrekvenser. Med distribuerade datorer och allt hårdare trimmade processregulatorer med högre processhastigheter hamnar elkvalitetsdiskussionen nu på spänningsdippar. För industriprocesser med noggrann hastighetsreglering av stora roterande massor (t ex banhastighet i en pappers-/rullmaskin) blir problemet med dippar särskilt svårt då regleringen kräver stora momentana energiutbyten mellan process och elnät.

Under 1970-talet minskar sysselsättningen inom industrin med nästan 400 000 personer. Expansionen sker istället inom den offentliga sektorn. Sysselsättningsökningen bara inom den del av den offentliga sektorn som omfattade vård-skola-omsorg motsvarade minskningen inom industrin. Kvinnorna etablerade sig i växande utsträckning som lönearbetare på arbetsmarknaden. Behoven att rationalisera hushållsarbetet blir påtagligt. Villan på 1970-talet har frysskåp, dammsugare, tvättmaskin, TV, stereo, och är givetvis uppvärmd genom direktverkande elvärme. Genom oljekrisen steg dock energipriserna kraftigt och sparåtgärder som treglasfönster och tilläggsisolering i bostäder blev vanligt. Under 1980-talet kom kärnkraften med billig elenergi och energisparåtgärderna minskade som följd av det billiga elpriset. Betydande förstärkningar i elnäten medger den kraftigt ökade elanvändningen i hemmen. Med starkare elnät minskar också risken för

elkvalitetsstörningar. Nästan alla apparater i hushållen är enfasiga och de trefasiga laster som finns i bostäder är nästan alla värmeapparater.

Under 1900-talets sista kvartssekel var den årliga tillväxten mindre än hälften så hög som under perioden 1950-1975. Tillväxten bars nu i första hand upp av tjänstesektorn, medan industriproduktionen ökade med i genomsnitt mindre än en procent per år. Elmarknaden avregleras år 1996, inledningsvis leder detta till fallande elpriser. Ökad beskattning och ett begränsat utbud höjer dock elpriset kraftigt de första åren på 2000-talet. Den redan hårt pressade elintensiva industrin lider av det höga priset, likaså hushåll med en svag ekonomi eller "fel uppvärmningssystem". Det är i första hand storstadsregioner och universitetsregioner som nu i början av 2000-talet framstår som vinnare i det post-industriella samhället. En betydande del av det framväxande nya näringslivet återfinns i dessa regioner och de är helt beroende av kommunikations- och informationsteknik (IKT). Gränsen mellan arbete och fritid suddas gradvis ut när IKT nu även finns tillgänglig i hemmet eller på resan. Vi blir "ständigt uppkopplade", något som också kräver ständigt inkopplade eller "uppladdade" elprodukter. Vi arbetar, handlar, äter, sportar, ser på TV osv. när som helst på dygnet.

3.3 Framtiden i tangentens riktning

3.3.1 Mänskligt beteende

De som blir vuxna under de närmaste 10–15 åren har vuxit upp med PC, Internet och mobiltelefoner. Såväl på arbetsplatser som i hemmen får man räkna med fler krävande och teknikvana elkunder.

Att vara van vid teknik är dock inte detsamma som att vara tekniskt kunnig. Elkraftutbildningar har fått läggas ner i brist på intresserade elever. Samtidigt går en hel generation välutbildade och erfarna elkrafttekniker i pension. Detta problem – kunder med orealistiska krav och elleverantörer som inte kan ersätta förlorad kompetens – är kanske det största hotet för framtidens elkvalitet. Likaså finns en bristande kunskap om elkvalitet hos många konstruktörer av el- och elektronikutrustningar och hos många elinstallatörer.

Konkurrensen om arbetstillfällen hårdnar och vi kommer troligen att få se kommuner som, vid sidan av annan marknadsföring, även pekar på en extra robust elförsörjning som argument för att få företag att etablera sig eller stanna kvar på orten.

Hos människor i allmänhet växer en oro, befogad eller obefogad, för de skadliga eller förfulande effekterna av tekniska system. Detta innebär att det blir allt svårare att bygga t ex ledningar eller kraftstationer utan att detta leder till juridiska processer eller civil olydnad. Den framtida människan har också en allt lägre grad av överlevnadskompetens eller psykologisk beredskap inför standardförsämringar. Att tvätta sig i kallt vatten, göra sina behov i det fria eller omvandla råvaror till mat blir snart något som en yngre vuxen aldrig har gjort. Andelen äldre och antalet ensamhushåll ökar också den sociala sårbarheten vid strömavbrott.

Sverige är vidare på väg att bli ett turistland där handel och upplevelser ska stå i centrum. Bland våra unika tillgångar finns en orörd natur och vi får helt nya typer av turistanläggningar på platser där vi tidigare knappt haft elförsörjning. Förväntningarna på elförsörjningen till en anläggning där personer firar bröllop, 50-årsdag eller bara en dyr semestervecka blir naturligt mycket höga.

3.3.2 Massproduktion för massmarknader

Att många elutrustningar tillverkas för massmarknader underlättar inte möjligheterna att få dem att fungera bra under vissa speciella förhållanden i Sverige. Tanken bakom den fria rörligheten för produkter bygger på antagandet att det som duger i Tyskland eller England också ska duga i Sverige. Ofta stämmer detta, men inte alltid. Internationell konkurrens och stort utbud leder till att vi kan köpa billigare produkter, speciellt konsumentprodukter. Prispressen leder till enkla och ofta sämre tekniska lösningar som nått och jämt uppfyller minimikrav för t ex säkerhet och EMC. Låg immunitet mot yttre påverkan, inklusive EMC, och kortare livslängd blir ofta följd. Regelverket för CE-märkning ska garantera en miniminivå och det finns vissa möjligheter att hävda särskilda nationella villkor.

3.3.3 Tillämpning av reglering

Det sätt samhället i praktiken tillämpar för att reglera området elöverföring av god kvalitet kommer att ha stor inverkan i framtiden. Prisreglering i kombination med ofullständig kvalitetsreglering kan leda till en olycklig situation. Oberoende av vilken metod man väljer så kommer resultatet i det enskilda fallet mycket att bero på arbetssättet hos dem som är närmast problemet, dvs. nätföretaget, apparatleverantören och elanvändaren. Väl så goda regler men med för låga samhällsanslag till myndighetskontroll kan leda till en långsam urholkning av moralen.

Kraven om avbrottsersättning i Ellagen leder sannolikt till en ökad användning av reservkraftverk. När elanvändaren själv har ett reservkraftverk är han förhoppningsvis medveten om att elkvaliteten kan vara försämrad och av självbevaringsdrift avstå från att använda vissa apparater. Om däremot nätföretaget startar ett reservkraftverk i en nätstation så vet troligen inte elanvändaren att nätet kan ha en annorlunda prestanda. Frågan om elkvalitet från reservkraftverk kommer troligen att hamna mer i fokus.

3.3.4 Mer kraftelektronik, färre direktanslutna elmotorer

Elektronik i krafttillämpningar befinner sig fortsatt i sin linda. Till exempel används ännu inte elektronisk strömbrytning i fasta elinstallationer. Det är ett nytt stort område för användning av kraftelektronik. Allt fler motorer kommer att varvtalsregleras eller mjukstartas, ljuskällor drivas med HF-don, resistiva laster regleras steglöst och all elektronisk utrustning matas via switchande nätaggregat. Detta talar för en ökad generering av övertonsströmmar med ökad spänningsdistorsion och risk för resonans som följd. Med en ökad andel roterande elmotorer kopplade via frekvensomriktare försvinner den lokala höjningen av kortslutningseffekten som inte kommer ur det externa elnätet.

Elmaskinen med energi uppbunden i sitt magnetiska flöde och sin mekaniska tröghet kan inte längre ge ett bidrag t ex för att hålla uppe nivån vid kortvariga spänningssänkningar eller öka felströmmen genom en säkring (utlösningvillkoret).

3.3.5 Distribuerad produktion och ändrad förbrukning

En kraftigt utbyggd distribuerad kraftgenerering, (t.ex. vindkraft) kan leda till frekvensinstabilitet vid bortfall av en större generator eller många små. Enstaka små generatorer kan lokalt ge under- eller överspänning vid bortfall eller återinkoppling. Fler aktiva apparater och komponenter i elnätet ger högre felfrekvens och ett större felutfall som kan ge flera transienter och dippar än i nuvarande nät. Nätet har också en naturligt begränsad förmåga att hysa distribuerad kraftgenerering [3:9].

Uppvärmningssystem som förlitar sig på toppeffekt från el kan ge överraskningar vid kall väderlek. En elförbrukning som stiger olinjärt med fallande utetemperatur kan vara svår att hantera, likaså återinkoppling efter länge avbrott, så kallad "cold load pick-up".

En förändrad och ofta minskad elanvändning för t ex uppvärmning leder till att de befintliga starka näten i vissa områden inte kan motiveras vid en förnyelse. Elnäten kommer efterhand att anpassas till den nya situationen med en lägre förbrukning, vilket kan ge en högre nätimpedans/lägre kortslutningseffekt. En strikt tillämpning av Nätnyttomodellen i sin nuvarande form kan påskynda en sådan utveckling. I kombination med ökad generering av övertonsströmmar ger en högre nätimpedans en ytterligare förvärrad spänningsdistorsion.

Förbrukningsmönster och sammanlagringseffekter kan bli svårare att förutse i en allt mer dynamisk och individualiserad brukarmiljö. Förbrukningen styrs dels av användarnas handlande men även som resultat av automatisk reglering. Sänker man spänningen till en linjär last så sänks också strömmen. Så är inte fallet med en reglerad elektronisk last som vid spänningssänkning istället höjer strömmen för att ge konstant effekt. I närvaro av ett stort antal elektroniska laster uppstår sannolikt helt nya dynamiska fenomen.

3.3.6 Nya tekniska lösningar i näten

Utvecklingen mot en allt högre andel kabelnät minskar de väderberoende avbrotten. Andra typer av avbrott kan dock komma att uppträda på sikt. När väl ett kabelfel inträffar är det mer komplicerat att lokalisera och tar längre tid att reparera. En kabel med dess avslutningar är också mer komplex än en luftledning (där plastbelagd lina är mer komplex än blanktråd) och idag okända eller underskattade problem kan komma att visa sig svåra att bemästra. Spänningshöjning från långa kablar vid låg last, särskilt i kombination med småskalig kraftgenerering, kan visa sig bli problematisk. Ett snabbt genomfört teknikskifte kan göra situationen svårare – alla system blir jämgamla och kan förväntas ge problem ungefär samtidigt. Nya material ger också nya temperaturbegränsningar där det inte längre blir möjligt att överbelasta systemet utan att få en kraftigt accelererad åldring hos t ex plaster.

Nya underhållsmetoder innebär att periodiskt underhåll gradvis ersätts med tillståndsbaserat underhåll. Möjligen kommer man att driva denna utveckling ett stycke för långt så att underhållsinsatserna kommer för sent. Detta leder då under en period till ett ökat antal fel som får åtgärdas med avhjälpande underhåll. Inom 10-15 år har vi troligen hittat den rätta balansen mellan periodiskt och tillståndsbaserat underhåll. Effektivt tillståndsbaserat underhåll är också i hög grad beroende av att det finns väl fungerande övervakningssystem och metoder.

3.3.7 En mikroprocessor i varje pryl

Regleringen i enskilda apparater styrs allt oftare av en inbäddad mikroprocessor som arbetar enskilt eller i nätverk. En ökad användning av mikroprocessorer kan leda till ökad känslighet för spänningsdippar och andra elkvalitetshändelser. Nya typer av regulatorer medger allt högre processhastigheter, som till slut kommer att kräva en i det närmaste optimal kvalitet hos råvaran, inklusive elektriciteten. Den fortsatta utvecklingen inom reglertekniken kan troligen göra systemen något mer robusta än vad de är idag vid en i övrigt oförändrad elkvalitet. Att hålla liv i styr- och övervakningsutrustning går att lösa med lokala energilager (UPS etc.). Betydligt svårare är att skapa lokala energilager för att även hålla liv i processens ställdon (drivsystem etc.). Här kommer alltid att finnas (stora) skillnader mellan olika processer beroende på energibehoven till ställdonen.

Ökade kommunikationsmöjligheter, inklusive modem, fjärrkontroller till TV, stereo, trådlösa telefoner mm, medför att allt fler av hushållens apparater lämnas i ett standby läge utan galvanisk frånskiljning från elnätet. En kontinuerlig inkoppling gör apparaterna mer utsatta för t ex transienter. Även om kapaciteten ökar betydligt hos t ex persondatorer så verkar tiden för uppstart ständigt bli längre. Långa uppstartstider bidrar också till att apparater av bekvämlighetsskäl lämnas i standby läge.

Allt fler apparater kopplas också till flera olika nätverk. När dessa utgörs av utbredda galvaniska nät ökar den dielektriska påkänningen i apparaten när näten utsätts för influens från t ex åsknedslag. Utvecklingen går dock mot allt fler optiska eller trådlösa kommunikationslänkar vilket kan minska sårbarheten på sikt. Eventuella brandtillbud, bl. a. som resultat av påverkan från elnätet, blir också allvarigare om de inträffar under perioder då apparaterna står i standby och inte är övervakade. Skydd och avstörning som byggs in i apparaterna får inte heller avsedd effekt i fastigheter som utformats enligt äldre installationsstandard där jordade uttag saknas i torra rum. Avstörningskondensatorer blir istället en väg för störningar på elnätet till det ledande, men frisvävande höljet på apparaten. Detta kan leda till nya risker för elchock genom samtidig beröring med apparatens hölje och t ex ett jordat värmeelement.

3.3.8 Mer mätning av bl. a. elkvalitet

Nya elmätare även för hushåll baseras allt oftare vanligen på digitala signalprocessorer (DSP). Därmed finns förutsättningar att, utöver elektrisk energi, även mäta kvalitetsegenskaper hos elektricitet. Tillsammans med övrig mätinstrumentutveckling och utveckling av särskilda

elkvalitetsinstrument blir det allt enklare och billigare att mäta elkvalitet i olika punkter i nätet. Problem uppstår dock med de stora datamängder som genereras och metoder för att koncentrera mätdata kommer till allt större tillämpning. Elanvändare kommer också i högre utsträckning att på eget initiativ mäta elkvalitet och använda resultaten i dialogen men nätföretagen. För att kunna fatta faktabaserade beslut och sätta kraft bakom sina argument växer intresset för kalibrering och mätosäkerhet. Även beräknings- och simuleringsprogram kommer till större användning för att förutsäga elkvalitet i elnät och kundanläggningar.

Användning av mätinstrument och sensorer kommer att öka kraftigt i elnäten bl. a. för skyddsändamål, för energimätning, elkvalitetsmätning och en övergång till mer av tillståndsbaserat underhåll. Mätinstrument kan vara känsliga för bristande elkvalitet och ge mätfel som leder till felaktiga beslut. Nya mätvärden kan också leda till beslutsvända – hur ska jag t.ex. reagera på en övertemperatur jag tidigare aldrig kunnat mäta? Vi kommer att få larm om saker vi tidigare inte vetat om och det kan leda till fler bortkopplingar.

3.3.9 Energieffektivisering

Mycket kommer i framtiden att handla om energieffektivisering och omställning av energianvändningen. Som nämnts ovan kommer elvärme att minska med vissa effekter relaterade till elkvalitet. Allt fler värmepumpar kommer att installeras och blir en ny typ av trefasiga laster i villaområden. Genom en tämligen stor risk för spänningsobalans på grund av befintliga enfaslaster kan nya trefasiga laster som motorer och frekvensomriktare få problem. Spänningsobalans och övertoner leder till ökat rippel i mellanledet hos en frekvensomriktare som ökar förlusterna och vid en viss nivå kommer utrustningen att lösa ut. Hos en direktkopplad motor ökar rotorförlusterna genom minusföljdsströmmar. Lokal temperaturstegring påverkar livslängden hos bl. a. mellanledets elektrolytkondensatorer och motors isolering.

Problem på grund av obalans och övertoner finns även inom industrin. Här sker också ett utbyte av befintliga elmotorer mot sådana som har en bättre energieffektivitet. Direktkopplade energieffektiva motorer kan dock ge vissa nya problem, bl. a. genom högre startströmmar och lägre minusföljdsimpedans. En oförändrad minusföljd i spänning ger därigenom upphov till en ökad minusföljdsström genom motorn med ökade förluster som följd. Det kan visa sig tveksamt att bytet till energieffektiva motorer verkligen blir så lönsamt som man tror i närvaro av spänningsobalans eller övertoner. Med stor sannolikhet kommer elkvalitetens inverkan på förluster att samordnas med arbetet för energieffektiviseringen av elkraftsystemet under de kommande 10-15 åren. Här krävs dock stora forskningsinsatser – energieffektivitet utvärderas idag vid en ideal elkvalitet. En optimering av energisystemets verkningsgrad medför sannolikt att elkvalitetskraven för variationer kommer att behöva skärpas ytterligare.

3.3.10 Den digitala ekonomin

Digitaliseringen av ekonomin innebär att pengar snart förekommer endast som siffror i dataminnen, även för privatpersoner. Centra för telekommunikation och Internet samt företag som utgör hörnstenar (och

möjliggör den digitala ekonomin) kommer att behöva elöverföring av en extremt god kvalitet. Detta faktum är dock redan idag hanterat genom interna reservmatningar i flera nivåer. Problemen ligger snarare längre ut i det ekonomiska systemet, i lokala ekonomi- och kassasystem inklusive den växande ekonomiska administration som sköts via persondatorer i hemmen. Eftersom det endast rör sig om databehandling (inga ställdon med hög effekt som i processindustri etc.) är dock effektbehovet tämligen blygsamt och kan lösas med lokal reservmatning. Elavbrott i samband med månadsskiftets räkningsbetalning, inför årsskifte eller deklarationsdagen kommer dock att generera en hel del klagomål från privatpersoner.

3.3.11 Mera vård och fler larm i hemmen

Än svårare är den utveckling som sker mot ökad övervakning och vård i hemmen med stöd av IKT. Att vara ständigt uppkopplad kan få en ny betydelse i framtiden genom användning av medicinska sensorer på kroppen och diagnos/larm på distans. Vårdgivaren som överväger sådana vårdinsatser måste i sitt beslutsunderlag noggrant kunna väga in nätföretagets risk- och sårbarhetsanalyser. Bristande elkvalitet får inte heller slå ut den medicinska utrustningen, eller värre, få den att presentera felaktiga resultat. Att vara sjuk eller gammal innebär också ett ökat behov av ljus och värme. Sveriges befolkning går snabbt mot en högre andel äldre. Att förlägga en större del av vården i hemmet innebär rent krasst att tillförlitlighetskraven på elförsörjningen flyttas från vårdinrättningen i tätorten ut till stugan på landet. Frågan är hur stort ansvar nätföretagen kan ta i denna omställning – åtminstone kan man på eget initiativ avråda från vård i hemmet där detta är olämpligt.

3.3.12 När allt blir svart

Med tanke på hotbilden från terrororganisationer som utvecklats från inledningen av 2000-talet kan sabotage mot elkraftssystemet bli en realitet. Det land som utsätts för genomtänkta sabotage mot elkraftssystemet förflyttas ögonblickligen 100-150 år tillbaka i tiden och hamnar inom några få timmar i en fruktansvärd humanitär katastrof. Terrorhandlingar eller inte så kommer vi sannolikt på sikt få uppleva en blackout i Sverige.

Med ett ökande beroende (av högre kvalitet men troligen mindre kvantitet) kommer allt fler åtgärder behöva vidtas för att klara lokal ödrift. Kritiska elutrustningar måste rimligen klara försörjning från reservkraft och de tillfälliga störningar som uppstår vid ödrift, nöddrift eller kallstart av elnätet. Skulle verkningarna av en blackout permanent skada kritiska elutrustningar står vi inför mycket allvarliga problem.

Risken för roterande bortkoppling på grund av effektbrist bedöms dock minska på några års sikt. Investeringar i kraftvärme sker på många platser, industrin effektiviserar och trånga sektioner i stamnätet byggs bort.

3.4 Framtiden med nya grepp

Under rådande förutsättningar och med oförändrade strategier ter sig framtidens elförsörjning och överföring av el av god kvalitet inte alldeles

enkel. Rådande paradigmer är mer än hundraåriga och förtjänar att omprövas. Vissa trender kommer att bli nödvändiga för att förenkla, sänka kostnaderna, höja tillförlitligheten och minska samhällets sårbarhet i samband med elförsörjning. Nedan redovisas några exempel på annorlunda tänkande för att säkerställa överföring av el av god kvalitet. Det finns säkerligen flera andra möjligheter. Människors kreativitet kommer alltid att finna goda lösningar på nya utmaningar.

3.4.1 Differentierad elleverans

För de flesta mogna produkter kommer den stund då leverantörerna söker sig till möjligheten att differentiera utbudet för att säkra fortsatt tillväxt och ökad kundnöjdhet. För elenergiindustrin gäller att produktutbudet varit nästan statiskt de senaste 50 åren. Elindustrin erbjuder nästan samma produkt till alla kunder – trots att man har olika behov. (Jämför under samma period utvecklingen i telekomindustrin – och mejeribranschen). Kundernas användning av produkten och deras beteenden har ändrats radikalt under tidsperioden. Elenergi används numera till allt större del till nya användningsområden med betydligt större krav på kvalitet och leveranssäkerhet än tidigare. Men även för de klassiska belastningsobjekten belysning, värme och motordrift ställs numera ofta högre och differentierade krav. Till detta kommer samhällets önskemål om minskad sårbarhet.

En stor del av tillgängliga resurser används visserligen nu för att generellt höja leveranssäkerheten på landsbygden, något som givetvis är av godo, liksom för riktade åtgärder. Men en del av de nya kraven skulle säkerligen kunna tillgodoses med differentiering av produktsortimentet, dvs. att ge kunderna ökad valfrihet i utbudet.

Den digitala ekonomin, det nya elektroniska mediasamhället, mera vård i hemmen, terrorhot och ett allt större beroende gör att kunderna börjar efterfråga högre elkvalitet och reserver för sina överlevnadsverksamhetskritiska behov. Kraven på elförsörjningens kvalitet från vissa kundgrupper överskrider nu vad som är ekonomiskt rimligt att leverera till alla genom ett och samma nät. Kunderna med extra höga elkvalitetskrav har tröttnat på att själva behöva ordna hög elkvalitet med bl.a. reservkraft och efterfrågar nya elkvaliteter och billigare reservkraft i form av nya tjänster och produkter av el från elindustrin. Politikerna söker efter kraftfulla åtgärder som kan minska samhällets sårbarhet och samtidigt minska orättvist höga elnätkostnader för kunder som inte behöver den högsta sortens elkvalitet.

Elnätsmonopolet avregleras därför genom undantag för koncessionsplikt för lokala och parallella elnät. Ett villkor är dock att de nya parallella näten har fast installerad reservkraft med den effekt som nätet har kapacitet att överföra. Det blir nu fritt att lokalt producera, distribuera och sälja el, reserver och avbrottsfri el för alla som vill investera och bedriva en sådan verksamhet i fri konkurrens. Distribuerad produktion byggs ut i stor skala och förses där det är lönsamt med egna lokala och parallella distributionsnät ofta i kombination med fiberoptiska datakommunikationsnät. Elsystemet får på detta sätt en mycket stor utbyggnad av billig topp effekt, som kan startas vid hotande effektbrist de kallaste dagarna under året. Denna topp effekt behöver inte överföras i nya långa transmissionsledningar eftersom den är lokal. En mycket omfattande partiell redundans för elförsörjning av verksamhetskritiska

system uppstår i produktions-, nät- och överföringskapacitet. Sårbarheten i samhället reduceras drastiskt. Elbranschen och nya aktörer ökar nu sina intäkter genom försäljning av dessa differentierade produkter av el och -tjänster. Prissättningen på dessa är fri medan nätverksamhet för baselkvalitet fortsatt är föremål för Energimarknadsinspektionens tillsyn. Produkterna är både växelström och likström med olika definierade och garanterade tillgängligheter (uttryckt i antal 9:or) och andra elkvalitetsparameterar. Elbranschen får en vitamininjektion liknande den som telebranschen fick vid dess avreglering då mobiltelefoni och Internet startade. De nya produkterna av el och -tjänster realiserar med stor kreativitet på många olika sätt och mycket ny teknik används.

3.4.2 Likströmsmatning i lågspänningsdistribution

På många håll i världen främst startat inom telekommunikations- och databranscherna förkommer långt framskridna diskussioner om likströmmens fördelar i lågspänningsdistribution och elanvändning. De senaste rapporterna representeras av EPRI, DC Power Production, Delivery and Utilization, An EPRI Whitepaper, June 2006 [3:4] och My Ton, ECOS Consulting, Brian Fortenbery, EPRI solutions, Bill Tschudi, Lawrence Berkeley National Laboratory, High-Performance Buildings for High-Tech Industries, DC Power for Datacenters – a demonstration. September 2006, [3:5]. Redan 1999 gjorde Elforsk två utredningar om likströmsmatning, Elforsk rapport 99:3, Likström för drift av elektrisk utrustning i fastigheter, [3:6], och Elforsk rapport 99:44, Certifiering av utrustning för DC-drift, [3:7]

En standard för likströmssystem upp till 400 V DC för telekommunikations och datautrustning finns sedan år 2003 inom ETSI (European Telecommunications Standards Institute), ETSI EN 300 132-3, Environmental Engineering (EE); Power supply interface at the input to telecommunications equipment; Part 3: Operated by rectified current source, alternating current source or direct current source up to 400 V, [3:8]. Standardisering av komponenter och system för likströmsanvändning håller på att startas inom CENELEC och IEC [3:10].

Dessa diskussioner baseras på det faktum att de flesta elektroniska apparater som idag används är försedda med nätaggregat och frekvensomriktare som kan matas med både 230 V AC och 350 V DC. Likström ger lägre förluster än växelström i lågspänningsdistribution och apparater, särskilt om DC/DC-omvandlare används i apparaterna. I hushåll, kontor och industri kan man likströmsförsörja dagens lågenergilampor och lysrör, alla datorer och bildskärmar, induktionsspisar mm. direkt utan modifiering Tvättmaskiner och kylskåp förses av energisparskål med frekvensomriktare liksom värmepumpar, cirkulationspumpar ventilationsfläktar och nästa alla elmotordrifter och kan därigenom likströmsmatas. Direktverkande elvärme är något som man rekommenderar att avveckla till förmån för andra värmeslag.

Fördelarna kan sammanfattas i tre punkter:

1. Högre energieffektivitet i elanvändning. Förlusterna kan bli 5- 10 % och vissa fall upp till 30 % lägre än med dagens AC-lösningar, beroende på applikation och jämförelse.
2. Leveranssäkerheten och driftsäkerheten kan förbättras avsevärt genom att reservkraft med batterier kan parallellkopplas var som helst i distributionsnäten utan behov av dyr och komplicerad kraftelektronik.
3. Hög elkvalitet kan uppnås genom att nästan alla av växelsrösmatningens elkvalitetsproblem utom långa avbrott kan elimineras vid användning av likström i lågspänningsdistribution.

4 Elkvalitet till lägsta kostnad

Författare: UPN, John Åkerlund och UPN, Torbjörn Johnson

Detta avsnitt avser att sammanställa och grovt analysera nu kända underlag för prioritering av fortsatta utredningsinsatser beträffande elkvalitetsförbättrande åtgärder i elnät eller kundanläggningar och installationer.

Målet är att översiktligt finna svaret på frågan:

- Var är det sannolikt mest kostnadseffektivt att sätta in förbättringsåtgärder, i elnätet eller i kundanläggningen, samt inom vilka områden finns de största ekonomiska incitamenten för fördjupade studier?

Samt utgående från elkvalitetsfenomen och parametrar:

- Redovisa uppkomst, händelse/kostnader, motåtgärder/kostnader för begränsning och skydd.
- Sortera i versamhetskategorierna:
 - Nätbolagens elnät
 - Industrier/branscher
 - Fastigheter/kontor
 - Fasigheter/hushåll
- Föreslå områden för fördjupade studier.

4.1 Allmänt

Elkvalitet är ett teknikområde som inte är enkelt att analysera och beskriva därför att det är komplext sammansatt, och interaktivt beroende av lokala förutsättningar i elnät och kundanläggning. Samspelet mellan elnät och kundanläggning spelar en stor roll. Det är därför svårt att generalisera och hitta allmänt gångbara och enkla lösningar.

Kostnader på grund av bristande elkvalitet har analyserats i Sverige och internationellt. Det finns en lång rad rapporter från olika branscher och på nationell nivå. Det finns också en rätt god uppfattning om vilka elkvalitetsfenomen som orsakar de största kostnaderna.

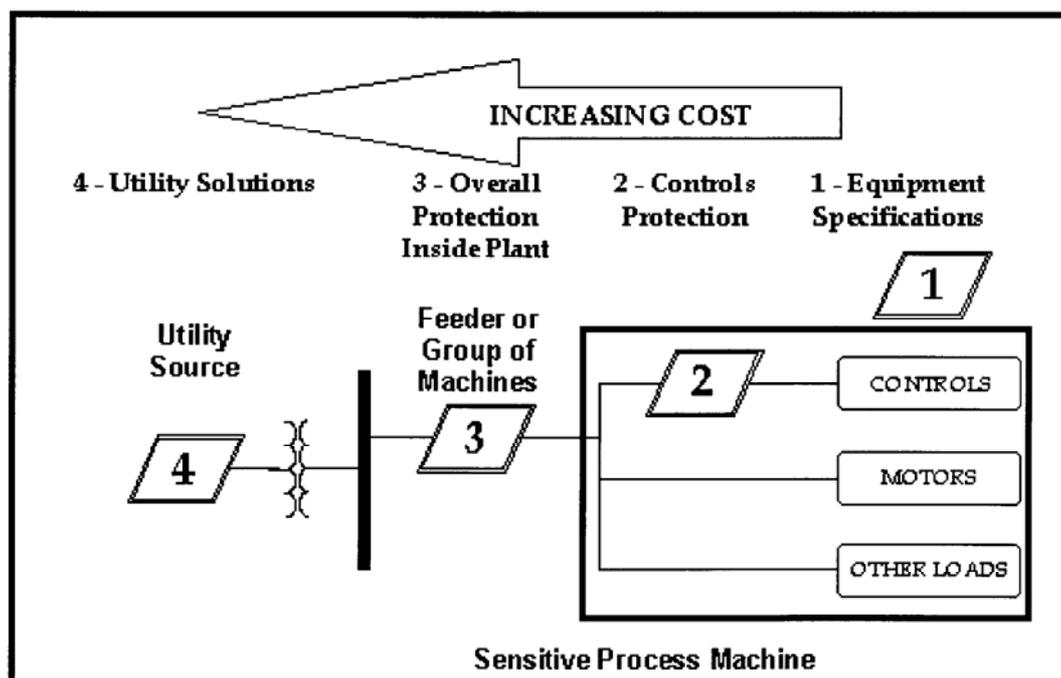
Däremot är kostnader för förbättringsåtgärder ännu inte analyserade och sammanställda på ett systematiskt sätt, varken för olika branscher eller på nationell nivå. En svårighet är att olika industribranscher har olika problem och störs av olika fenomen på olika sätt. T.ex. har tunga industribranscher av olika slag olika problembilder och måste analyseras var för sig. Deras problembilder varierar också beroende på var i elnätet de ligger anslutna. Beträffande fastigheter/kontor och hushåll skiljer sig elkvalitetsproblemen mellan stad och land, men är kanske enklare att analysera som grupp än industrierna.

Den allmänna känslan är att det sannolikt är dyrare att lösa elkvalitetsproblem i elnät än i kundanläggningar. Men kunskapsmässigt är vi långt ifrån att med säkerhet kunna verifiera denna hypotes kvantitativt. I denna rapport kommer vi att föra en kvalitativ diskussion och analysera vilka områden som skulle behöva studeras djupare för att komma fram till vilka åtgärder som skulle kunna vara mest kostnadseffektiva för att förbättra elkvalitet. Därefter kan dessa områden kvantitativt analyseras för att senare komma till verifierade slutsatser om vilka elkvalitetshöjande åtgärder som är billigast att sätta in och var.

En bild som speglar denna känsla är hämtad ur en presentation av den amerikanska EPRI-rapporten: "Assessing Power Quality Impacts and Solutions for the California Food, Processing Industry, California Energy Commission, (CEC), Food Industry PQ Initiative An Application Oriented R&D Program, [4:3].

Bild 22 i presentationen säger vad vi anar men inte har verifierat kvantitativt

"Solutions to PQ Problems"



Figur 4.1.1 Bild ur EPRI-rapport "Assesing Power Quality....." Increasing cost

Bild 23 i samma presentation efterlyser en utveckling av teknik för korttids-UPS upp till storleksordningen 500 ms - 1 sekund för att överbrygga dippar och korta avbrott som stör processutrustningar i industrin, som citeras nedan:

Emergence of new short term UPS Technologies for PQ Solutions:

- Standby generators and battery-based UPS are solutions for outages.
- PQ solutions require short-term energy storage (seconds).
- Flywheel, ultra capacitor, and other emerging short-term energy storage solutions are often referred to as "Bridge Power".

Tillsammans utgör både de korta och långa avbrotten i elförsörjningen den största och mest välkända kostnadsposten för kunderna i elkvalitetsammanhang. Det som irriterar kunderna mest är de korta avbrotten som kan skapa många timmars stopp i en produktionsprocess.

4.2 Elanvändarnas kostnader för bristande elkvalitet

4.2.1 Allmänt

Brister i elkvaliteten förorsakar kostnader hos elkunderna och nätbolag. Dessa kostnader är betydande i ett nationellt perspektiv och har i olika sammanhang beräknats till genomsnittligt och totalt ca 5 miljarder kronor per år. Kostnader hos nätbolagen är i dessa analyser inte specifikt analyserade.

Det finns ett flertal olika typer av elstörningar och kvalitetsbrister och de viktigaste är:

- Långa avbrott (> 3 minuter)
- Korta avbrott (< 3 minuter och ofta bara några perioder) och kortvariga spänningssänkningar s.k. dippar (från del av period och längre)
- Transienter (Oftast mycket kortvariga men höga överspänningar)
- Spänningsvariationer (Långvariga avvikelser från nominell spänning)
- Övertoner
- Spänningsobalans (dvs. skillnader mellan de olika fasernas spänningar)
- Flimmer

Elstörningar och kvalitetsbrister varierar både geografiskt och tidsmässigt över året och mellan åren. Olika elkunder har olika känslighet för störningar och kan man inte enkelt fördela kostnaderna över kundkollektivet utan en indelning i olika störningstyper och i olika branscher och elkundstyper måste göras. Dessutom måste man analysera kvalitetsbristerna för olika typer av störningar och brister eftersom konsekvenserna är mycket olika hos elkunderna. Vissa elkunder är inte alls känsliga för vissa typer av störningar medan andra elkunder kan drabbas av förödande konsekvenser.

Att åtgärda en kvalitetsbrist medför alltid en kostnad som måste vägas mot de besparingar som kan göras om bristen inte existerar eller åtminstone minimeras. En brist som inte förorsakar några större kostnader eller väsentligt obehag kanske inte behöver åtgärdas. Det är också viktigt att bestämma om bristen skall åtgärdas "vid källan" (dvs. minska störningsemissionen) eller om elkunden ska göras mindre känslig för denna

typ av störning (förbättra immuniteten). Avgörande för sådana beslut kan vara de totala åtgärdskostnaderna för att minska störningskostnaderna. Vissa typer av störningar kanske inte alls ska åtgärdas i elnäten pga. de höga kostnaderna för detta, utan hos eller för de specifika kunder som är känsliga och drabbas av reella kostnader vid störningen. Vissa typer av störningar genereras av elkunderna själva och de kan i normalfallet åtgärdas vid källan. Detta gäller speciellt sådana störningar som sprids till andra elkunder.

Nedan ges en sammanställning av kostnaderna för olika typer av störningar och kundkategorier, se tabell 4.2.1.1. Översikten ger ett underlag till beslut om vilka typer av elkvalitetsbrister som skulle behöva åtgärdas i första hand beroende på kostnader. Värdena är mycket approximativa och i många fall uppskattningar men de kan ge vägledning vid bedömning av vilka brister som är viktigast att åtgärda och på vilket sätt. Som underlag har använts tidigare undersökningar av elkunders kostnader för korta avbrott och dippar: "Elforsk rapport 04:42, Elkunders störningskostnader – Förstudie avseende värdering av elkunders störningskostnader till följd av dippar och korta avbrott i elförsörjningen" [4:1], samt Svensk Energi AB, "Elavbrottskostnader 2003, Uppdatering utförd under 2003 av rapporten, "Avbrottskostnader för elkunder från 1994. [4:2], samt internationella (norska och amerikanska) rapporter om elkvalitetskostnader.

Kvalitetsbrist	Beskrivning	Kostnad (MSEK) hos kundtyp	Kommentar
<p>Långa avbrott</p> <p><i>Total kostnad för kund: ca 1800 MSEK (relativt väl undersökt av Svensk Energi)</i></p>	<p>Avbrott i leveransen längre än 3 minuter</p>	<p>1. Processindustri: 550 2. Verkstadsindustri: 350 3. Handel: 500 4. Kontor: 100 5. Fastigheter: 100 6. Offentlig förvaltning: 100 7. Jordbruk: 30 8. Hushåll: 75</p>	<p>Förekomst och varaktighet kan minskas genom åtgärder i näten. Kunder kan göras mindre känsliga genom reservkraft. 1 – 2 långa avbrott per kund och år. I genomsnitt ca 1,5 timmar per år totalt. För mycket långa avbrott (> 24 timmar) som dock inte förekommer varje år och sällan drabbar hela kundkollektivet, kan kostnaderna öka dramatiskt. Gäller även hushållen.</p>
<p>Korta avbrott och dippar</p> <p><i>Total kostnad för kund: ca 1400 MSEK (relativt väl undersökt av</i></p>	<p>Avbrott kortare än 3 minuter och kortvariga spänningssänkningar till under 85% (85% klaras av de flesta elkunder enligt undersökningar) av nominell spänning</p>	<p>1. Processindustri: 500 2. Verkstadsindustri: 800 3. Handel: Begränsad 4. Kontor: 3 5. Fastigheter: Begränsad 6. Offentlig förvaltning: 100 7. Jordbruk: 3 8. Hushåll: Begränsad</p>	<p>Kan inte helt elimineras i näten utan kundernas känslighet måste minskas. Antalet upplevda korta avbrott och dippar är i genomsnitt 5 – 7 per kund och år. Dippar kan ge förkortad livslängd</p>

Kvalitetsbrist	Beskrivning	Kostnad (MSEK) hos kundtyp	Kommentar
Elforsk)			hos nätaggregat, men denna kostnad ingår inte här utan under spänningsvariationer.
Transienter <i>Total kostnad för kund: ca 500 MSEK</i> <i>(Grovt undersökt av Enekimyndigheten)</i>	Kortvariga men stora överspänningar som orsakas av åska och brytarkopplingar (vanligen i den egna anläggningen)	1. Processindustri: Begränsad 2. Verkstadsindustri: Begränsad 3. Handel: 20 4. Kontor: 20 5. Fastigheter: 20 6. Offentlig förvaltning: 50 7. Jordbruk: 50 8. Hushåll: 300	Elektronisk utrustning slås ut. Ersätts vanligen av försäkringen men samhället drabbas och individen genom självriskan. Drabbar främst mindre elanvändare då större oftast skyddat sig.
Spänningsvariationer <i>Total kostnad för kund: ca 500 MSEK</i> <i>(okänt men se räkneexempel nedan under hushåll)</i>	Långvariga avvikelser från nominell spänning	1. Processindustri: Begränsad 2. Verkstadsindustri: Begränsad 3. Handel: 15 4. Kontor: 15 5. Fastigheter: Begränsad 6. Offentlig förvaltning: 2 7. Jordbruk: 2 8. Hushåll: 450	Minskad livslängds hos glödlampor pga. överspänning och överhettning av nätaggregat och motorer pga. underspänning som ger för hög ström.
Övertoner <i>Total kostnad för kund: ca 350 MSEK</i> <i>(okänt men se räkneexempel)</i>	Ger förluster genom oönskad värmeutveckling i motorer transformatorer m.fl. apparater. 3:e ton etc. kan ge skadlig uppvärmning av neutralledare	1. Processindustri: 150 2. Verkstadsindustri: 60 3. Handel: 35 4. Kontor: Begränsad 5. Fastigheter: 35 6. Offentlig förvaltning: 60 7. Jordbruk: 5 8. Hushåll: Begränsad	Förlusterna antas vara i genomsnitt 3% hos de som är känsliga. En tredjedel av energin antas användas för motordrift. 0,5 SEK/kWh. Åtgärdas hos elkund som kan vara annan än den som drabbas. Filter är standardlösning
Spänningsosymmetri <i>Total kostnad för kund: 400 MSEK</i> <i>(okänt men se räkneexempel)</i>	Olika fasspänningar ger ström i neutralledare samt minusföljdström	Förluster uppstår främst i direktanslutna motorer. Antag att tillverkningsindustrin förbrukar 55 GWh/år, att 66% av detta går till motordrifter och att 75% av energin går till direktanslutna asynkron-/synkronmotorer med en verkningsgrad av 92% på ett nät med 1% obalans. Det motsvarar en förlust av 2,2 GWh/år. Antag vidare att obalansen ökar till 2% och detta sänker	I huvudsak lokala problem som dock ger stora kostnader genom energiförluster och minskad livslängd hos motorer. Obalans kan i kombination med andra elkvalitetsbrister (övertoner, låg spänningsnivå, och/eller effektfaktor) ge överlastproblem.

Kvalitets- brist	Beskrivning	Kostnad (MSEK) hos kundtyp	Kommentar
		motorverkningsgraden till 90% genom ökade rotorförluster. Det motsvarar en förlust av 2,7 GWh/år, dvs. en ökning av förlusterna med 0,5 GWh. Då tillkommer dessutom direktanslutna (små) trefasmotorer för pumpar och fläktar mm i handel, kontor, fastigheter, offentlig förvaltning och jordbruk. Med 0,5 kr /kWh drabbas alltså elanvändarna inom tillverkningsindustrin av en kostnad >250 MSEK. Eftersom priset för många användare är högre än 0,5 SEK/kWh kan man uppskatta de totala kostnaderna inklusive alla andra förbrukare till ca 400 MSEK.	Obalanserna kan troligen inte helt elimineras men som exemplet visar ger en minskning med 1% en besparing på >250 MSEK bara för tillverkningsindustrin. Användning av frekvensomriktare minskar känsligheten för obalanser och framförallt vid lägre motoreffekter blir det allt vanligare att använda elektronisk motorstyrning.
Flimmar <i>Total kostnad för kund (investering):</i> 100 MSEK <i>(egentligen okänt)</i>	Snabba spänningsvariationer pga. ljusbågsugnar och elsvetsar som främst påverkar belysning	Inga direkta kostnader hos elkunderna utom hos den som förorsakar flimmar och kan behöva investera i SVC, men kan ge stort obehag med missnöjda kunder som resultat. Detta kan då bli en kostnad för nätbolaget. Inget försök att uppskatta denna kostnad har gjorts i denna förstudie.	Kan hanteras vid störningskällan genom SVC (Static Voltage Controller) e.d. Kostnaden är en uppskattning av årlig investeringsvolym i SVC och motsvarande.

Tabell 4.2.1.1 Uppskattade kostnader för bristande elkvalitet per elkvalitetsfenomen

4.2.2 Sammanställning per kundtyp

- Processindustri: Främst känslig för långa och korta avbrott (inkl. dippar) samt övertoner (Σ 1200 MSEK). Tung processindustri är svårt att skydda mot långa avbrott pga. stora effekter vilket gör reservkraft oekonomisk. Även spänningsdippar och korta avbrott är svåra att skydda mot pga. av effektbehoven men immuniteten kan göras större genom avbrottsfri kraft för styrsystemen och genom trimning av anläggningarna. Övertoner kan ge förluster som åtgärdas genom filter vilket dock innebär investeringar och därmed en kostnad. Flimmar ger också en kostnad genom investeringsbehov (100 MSEK). Spänningsobalans ger en kostnad som uppskattas till 200 MSEK. Processindustrin är inte så känslig för spänningsvariationer då man har få glödlampor och få nätaggregat som inte matas av UPS. **Totala elkvalitetskostnader: 1500 MSEK**
- Verkstadsindustri: Liknande känslighetsprofil som processindustrin, men då effekterna per förbrukare är lägre kan man lättare skydda

sig genom UPS och reservkraft. Dippar och korta avbrott ger en stor kostnad (800 MSEK) som många gånger är okänd för företagen då man ofta inte relaterar driftproblem till elkvalitet. Långa avbrott ger också en stor kostnad (350 MSEK). I övrigt är det huvudsakligen obalanser och övertoner som ger kostnader (150 MSEK). Verkstadsindustrin är inte så känslig för spänningsvariationer då man har få glödlampor och få nätaggreat som inte matas av UPS. **Totala elkvalitetskostnader: 1300 MSEK**

- Handel: Främst känslig för långa avbrott (500 MSEK) pga. utrymningsbehov och frysdiskar men övertoner, spänningsobalans, transienter och spänningsvariationer ger också kostnader (100 MSEK). **Totala elkvalitetskostnader: 600 MSEK**
- Kontor: Främst känsliga för långa avbrott och transienter. Flimmer kan ge obehag, men resulterar sällan i någon mätbar kostnad för kontorsverksamheten. **Totala elkvalitetskostnader: 100 MSEK**
- Fastigheter: Främst känsliga för långa avbrott, övertoner och transienter samt i någon mån spänningsobalans. **Totala elkvalitetskostnader: 200 MSEK**
- Offentlig förvaltning: Främst känsliga för korta och långa avbrott, men spänningsobalans och transienter ger också kostnader samt i viss mån även spänningsvariationer. **Totala elkvalitetskostnader: 400 MSEK**
- Jordbruk: Främst känsliga för långa avbrott, övertoner/obalanser och transienter. **Totala elkvalitetskostnader: 100 MSEK**
- Hushåll: Främst känsliga för långa avbrott, spänningsvariationer (i vissa fall) och transienter. Transienter är ett underskattat problem för hushåll, delvis beroende på att skadorna antingen ej rapporteras eller ersätts av försäkringen. Spänningsvariationer är troligen ett stort men ofullständigt kartlagt problem. Samma gäller dippar som kan ge minskad livslängd på elektroniska apparater genom strömrusning vid spänningens återkomst. Antag att hushållen köper apparater med nätaggreat för 3000 kronor per år med en normal livslängd på 6 år, vilket ger 500 kr per år. Om livslängden minskar till 5 år (genom dippar och spänningsvariationer) blir årskostnaden 600 kr. Dvs. en merkostnad på 100 kr per hushåll och år. Om en normal glödlampas livslängd minskar från 1000 timmar till 800 timmar ökar årskostnaden för lampor. Antag att en glödlampa kostar 5 kr och att hushållet förbrukar 50 lampor per år vid 1000 timmars livslängd. Med 800 timmar erfordras 20% fler lampor dvs. en merkostnad på 50 kr/år. Om 3 miljoner hushåll har en årlig merkostnad på 150 kr blir de totala kostnaderna för spänningsvariationer och dippar 450 MSEK bara för hushållen. **Totala elkvalitetskostnader exklusive spänningsvariationer och dippar: 350 MSEK (inkl. spänningsvariationer och dippar: 800 MSEK)**

De totala kostnaderna för brister i elkvaliteten kan alltså uppskattas till ca 5 miljarder kronor per år. Till detta kommer de investeringar i UPS, reservkraft och åskskydd som görs varje år och som har uppskattas till ca 1,4 miljarder kronor per år, se tabell 4.4.3.1. Utan dessa investeringar skulle kostnaderna för brister i elkvaliteten vara ännu större än 5 miljarder kronor.

4.2.3 Sammanställning per problem och kundtyp

Kostnader i MSEK

	<i>Process</i>	<i>Verkstad</i>	<i>Handel</i>	<i>Kontor</i>	<i>Fastigheter</i>	<i>Offentlig förv.</i>	<i>Jordbruk</i>	<i>Hushåll</i>
Långa avbrott Σ 1800	550	350	500	100	100	100	30	75
Korta avbrott Σ 1500	500	800	Begr	3	Begr	100	3	Begr
Transienter Σ 500	Begr	Begr	20	20	20	50	50	300
Spänningsvariationer Σ 500	Begr	Begr	15	15	Begr	2	2	450
Övertoner Σ 350	150	60	35	Begr	35	60	5	Begr
Spänningsobalans Σ 400	200	100	20	Begr	20	50	10	Begr
Flimmar Σ 100	100	20	Begr	Begr	Begr	Begr	Begr	Begr (obehag)

Begr = begränsad kostnad

Tabell 4.2.3.1 Kostnadsöversikt per problem och kundtyp

4.2.4 Diskussion om kundernas kostnader för elkvalitetsbrister

Sammanställningen ovan visar att långa avbrott och korta avbrott/dippar ger de största konsekvenserna hos kommersiella kunder medan transienter och spänningsvariationer drabbar hushållen värst. Rödmarkerat i tabellen.

Övertoner, flimmar och spänningsobalans medför också stora kostnader hos elkunderna och då främst hos process- och verkstadsindustri samt offentlig förvaltning. Gult och ljusgult markerat i tabellen.

Alla dessa elkvalitetsbrister har tillräckligt stora konsekvenser för att det ska vara motiverat att djupare studera om det finns lämpliga åtgärder för att minska störningsemissionen eller öka immuniteten.

I de fortsatta studierna rekommenderas att elkvalitetsbristerna alltid relateras till de kundkategorier som har de största kostnaderna för att man därmed bäst ska kunna hitta optimala lösningar.

4.3 Dolda kostnader

Nästan alla elkvalitetsfenomen medför dolda kostnader för elanvändarna. Inget systematiskt kartläggningsarbete har gjorts för att fastställa hur stora dessa dolda kostnader är på nationell nivå. I vissa fall ingår de i de kostnader som uppskattats och redovisats ovan. Nedan ges några exempel:

- Överföring av el där såväl aktiv och reaktiv effekt ger förluster inom elnätet. Verkningsgraden i transmissions- och distributionssystemet är dolda förluster. Överföring av aktiv effekt prioriteras och reaktiv effekt genereras vanligen så nära förbrukningsstället som möjligt. Faskompensering kan installeras både i elnätet och i kundanläggningar.
- Transienter (transienta överspänningar) medför förkortad livslängd hos apparater. De dolda kostnaderna består av högre reinvesteringskostnader på grund av förkortad livslängd i apparaterna.
- Övertoner ger onödiga förluster som orsakar förhöjd temperatur i bl.a. trefasmotorer och transformatorer. Förlusterna måste ibland kylas bort och leder till ytterligare elförbrukning. Apparaterna får en förkortad livslängd och reinvesteringskostnaderna ökar.
- Spänningsosymmetri står troligen för en större förlustandel än övertoner. De dolda kostnaderna består av onödigt förhöjd elförbrukning p.g.a. motfält i motorer och högre reinvesteringskostnader på grund av förkortad livslängd i apparaterna.
- Spänningsvariationer, förhöjd eller för låg spänning, medför dolda kostnader för elanvändarna genom ökat slitage i elanvändarnas apparater. De dolda kostnaderna består av störningar i drift, förluster och högre reinvesteringskostnader på grund av förkortad livslängd i apparaterna.
- Dippar och korta avbrott kan ge oönskad så kallad inrusningsström i apparaternas nätaggregat. Detta fenomen har diskuterats som en ny upptäckt det senaste året. Problemet beror på en brist i apparatnormerna som inte tydligt föreskriver skydd mot återvändande spänning vid korta avbrott och dippar. Vid dessa tillfällen kan inrusningsströmmen bli mycket större än vid normal inkoppling till elnätet. De dolda kostnaderna består av högre reinvesteringskostnader på grund av förkortad livslängd i apparaterna.

4.4 Långa avbrott

4.4.1 Allmänt

Långa avbrott är en del av elkvalitet och tillhör området leveranssäkerhet enligt den definition av elkvalitet som Elforsk gjorde i projektet "Utveckling Elkvalitet", [4:4]. De långa avbrotten står för de största kostnaderna under normala förhållanden i elförsörjningen. Utöver de så kallade normala långa elavbrotten tillkommer extraordinära händelser, såsom de sällan förekommande stora stormarna av typen "Gudrun". Kostnader för de extraordinära stormarna ingår inte i de uppskattningar av kostnader för kunderna som redovisats i undersökningar på Elforsk och Svensk Energi och inte heller i sammanställningarna under 4.2. Långa avbrott är det viktigaste

elkvalitetsfenomenet och redovisas numera nästan alltid i nyhetsmedia. Toleransen för långa avbrott minskar hela tiden hos allmänheten.

4.4.2 Åtgärder mot långa avbrott

Installation av reservkraft är den enda helt effektiva åtgärden mot långa elavbrott. Väderrelaterade långa avbrott i landsbygdsnät har fått stort fokus på senare tid. Det är en delmängd av problemet, men berör bara ett litet antal kunder. Den massiva kablifieringen som nu pågår minskar detta problem och leder till färre långa avbrott på landsbygden. Kablifiering är inte en åtgärd mot andra orsaker till långa elavbrott.

Det har hittills ansetts vara enskilda kunders eget ansvar att själva stå för reservkraft. Det anses vara en "privat företeelse" eller enskild angelägenhet som t.ex. elbranschen inte ska arbeta med. På senare tid har tillgängligheten i reservkraftinstallationer prövats. Vid ett flertal allvarliga händelser under året har det visat sig att reservkraften inte fungerat. Den mest allvarliga incidenten är händelsen i Forsmark som i förlängningen medförde avstängning av nästan hälften av landets kärnkraftsproduktion under flera månader.

Dessa händelser gör att man kan fundera över om inte reservkraft borde fungera bättre och vara en publik tjänst där större aktörer som finns inom elbranschen borde engagera sig för att erbjuda sina kunder bättre tjänster och service på reservkraftsområdet. Reservkraftsmarknaden fungerar idag med en mängd mindre företag på nationell och lokal nivå. Olika kunder sköter ibland i egen regi drift, skötsel och underhåll av reservkraftanläggningarna. Sammantaget är den industriella verksamhetsstrukturen och bristen på kompetens inom reservkraftområdet en av grundorsakerna till att haverierna uppstår.

En föreslagen lösning är att lokala parallella nät för separat distribution av el med extra hög elkvalitet och med integrerad reservkraft byggs i områden där det finns ekonomisk möjlighet för detta. Konceptet har döpts till "Reservkraftsöar". Dessa nät rekommenderas att ständigt vara i drift och distribuera elkraft till användare med behov av el med extra höga krav. Näten kommer att ha låg kortslutningseffekt men med aktiv teknik för kontroll och övervakning kan högsta elkvalitet säkerställas. I normala drifttillstånd kan problem med olika elkvalitetsfenomen minskas. Detta koncept finns beskrivet i Elforsk's rapport 03:22, Förstudie, Sårbarhet – Demoprojekt. "Förslag till principer för ett nytt eldistributionssystem som kan minska sårbarheten", [4:6]. På detta sätt kan differentierade publika elleveranser erbjudas till kunder med höga krav. En annan mer traditionell lösning är så kallad ödrift då ett visst område kan frikopplas från det nationella nätet och drivas med ett eget kraftverk. Denna lösning ger dock inga bidrag till förbättringar av övriga elkvalitetsfenomen utan kan tvärtom ge försämringar av vissa elkvalitetsfenomen särskilt i reservdriftläget. Åtgärden kan kallas differentierad elleverans och borde utredas närmare

4.4.3 Diskussion om kostnader för åtgärder mot långa avbrott i elnätet respektive i kundanläggningar

Ett rimligt antagande vore att en centralisering av reservkraft till elnätet borde vara en billigare lösning än att var och en med reservkraftbehov ska ha sina egna reservkraftverk i sina egna kundanläggningar. Vissa kostnader för reservkraft finns redovisade i Elforskrapporten 03:22 och stöder detta antagande. I Energimyndighetens utredning om God Elkvalitet [4:11], och dess delrapport, "Översiktlig redovisning av storleken på marknaden för förbättring av elkvalitet såsom produkter för reservkraft och produkter för transientskydd, filter och skärmning", [4:7], bedöms mycket grovt elanvändarnas kostnader per år för reservkraftutrustning, installation, service, underhåll och reinvestering (byte batterier etc.), se tabell 4.4.3.1:

Utrustningslag	Sverigemarknad
Reservverk	350 MSEK
Produkter 200 MSEK	
Installation 100 MSEK	
Service 50 MSEK	
AC UPS-system för avbrottsfri växelström inklusive batterier	410 MSEK
Produkter lös inst 210 MSEK	
Produkter fast inst 100 MSEK	
Installation 20 MSEK	
Service 80 MSEK	
DC UPS 12, 24, 48 110, 220 V, system för avbrottsfri likström inklusive batterier	425 MSEK
Produkter industri fastighet 38 MSEK	
Produkter telekom o radio 165 MSEK	
Produkter elkraftbransch 70 MSEK	
Installation 62 MSEK	
Service 90 MSEK	
Åskskydd, överspänningsskydd, EMC filter, skärmningssystem mm. Produkter, konsulttjänster, installation, service och underhåll..	250 MSEK
Summa	1 435 MSEK

Tabell 4.4.3.1 Översikt över den svenska marknaden för elkvalitetsförbättrande produkter

En mycket viktig faktor för funktionen av reservkraft vid långa elavbrott är hur drivmedel kan distribueras. Om inte bränslet kan distribueras till reservkraftverken under elavbrottet så blir investeringen inte effektiv. Antalet reservverk har då betydelse eftersom antalet tankbilar för distribution av bränsle är begränsat. Genom centralisering till ett färre antal reservverk med större effekt kan bränsleförsörjningen till dessa tryggas på ett lättare sätt än om reservverken finns på ett stort antal platser.

Energimyndigheten har också gjort en "Förstudie för en nationell strategi för reservkraft" [4:8] där försäljningsstatistik finns redovisad. Landets totala tillgång till reservkraft diskuteras också, men inte kostnadsaspekter. Dessa studier kan sammanställas och bearbetas ytterligare i ett elkvalitetsperspektiv.

Kostnader för kablifiering av landsbygdsnäten är av storleksordningen flera 10-tals miljarder kronor under en femårsperiod. Den måste betraktas som en extra ordinarie kostnad som inte är en renodlat elkvalitetsrelaterad åtgärds kostnad, utan till stor del en modernisering och reinvestering av elnät.

En analys på nationell nivå som jämför alla kostnader för att arrangera och driva reservkraft i elnätet respektive i kundanläggningarna finns inte och borde vara ett ämne för fördjupade studier.

4.5 Dippar och korta avbrott

Följande beskrivning är en sammanställning av Elforsk rapport 04:46, Utveckling Elkvalitet, Teknik, ekonomi och miljöaspekter, [4:4], samt Elforsk rapport 04:41, Teknisk beskrivning av spänningsdippar och korta avbrott. Kunskapssammanställning, [4:9].

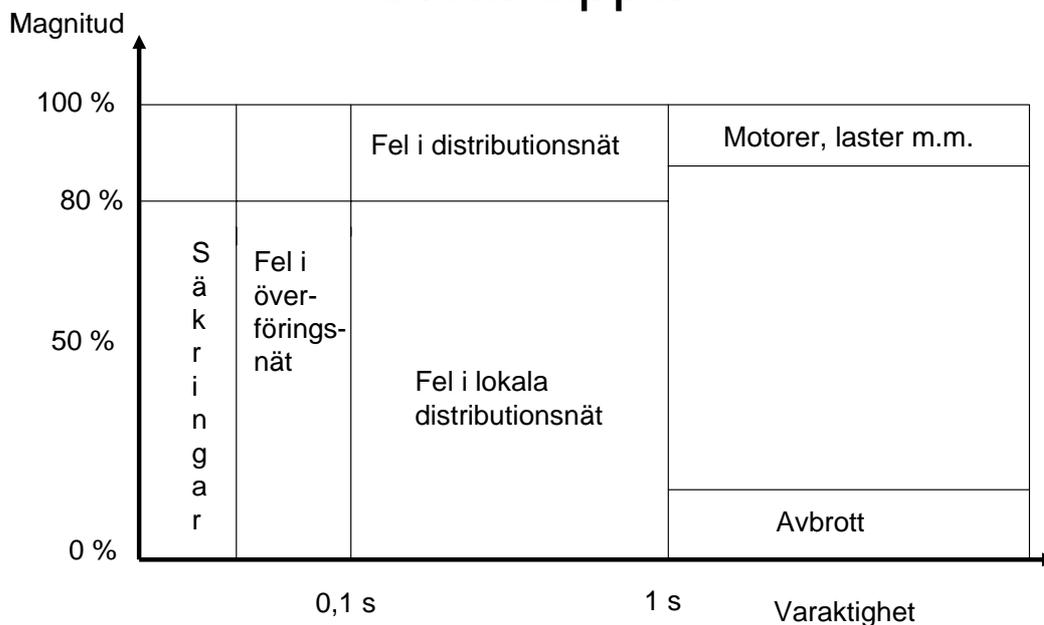
4.5.1 Allmänt

I Sverige bedöms dippar och korta avbrott som det mest irriterande elkvalitetsproblemet som man skulle vilja bemästra. Långa avbrott är naturligtvis allvarliga men uppfattas inte som lika irriterande eftersom de lättare kan förstås och accepteras. Med nuvarande kunskapsläge ger dippar upphov till de näst efter långa avbrott största störningskostnaderna för elkunderna.

Dippar och korta avbrott är en ofrånkomlig företeelse och en naturlig konsekvens och en del av det skyddssystem, som elnätet måste ha för att vara säkert. Förekomsten av dippar är det yttre tecknet på att skyddssystemen fungerar. Genom skyddssystemets ingripande kan feltillstånd förkortas och begränsas så att de inte utvecklas till långvariga elavbrott. Dipparnas djup och varaktighet är en direkt följd av nätets och skyddssystemens konstruktion och skyddens inställningar. Dipparnas karaktär speglar hur väl skyddssystemet arbetar och kopplar bort ledningar i elöverföringen. Om skydden inte fungerade och inte kopplade bort ledningar som drabbats av fel skulle allvarliga explosioner, bränder och olyckor kunna inträffa. Dessa skulle leda till mycket långvariga elavbrott och stora konsekvenser för samhället. Dippar orsakas primärt av kortslutningar, jordfel och efterföljande nätomkopplingar och återinkopplingar av ledningar och transformatorer i nät på olika spänningsnivåer. Grundorsaken är oftast åskurladdningar, men även andra felorsaker såsom "snösläpp" och olika "fågelfel", kabelfel samt grävningsskador och andra mänskliga felgrepp förekommer. I lågspänningsnät och industrinät på låg- och mellanspänningsnivå kan dippar orsakas av kortslutningar och inkopplingar av stora motordrifter. Dipparnas djup och varaktighet relaterat till orsak framgår av figuren 4.5.1.1.

”Dippfria” elnät är omöjligt att åstadkomma. Dippar är ett nödvändigt ont som vi måste leva med.

Olika dippar



Figur 4.5.1.1 Dippar orsakade av olika fel i överföring och distribution av el

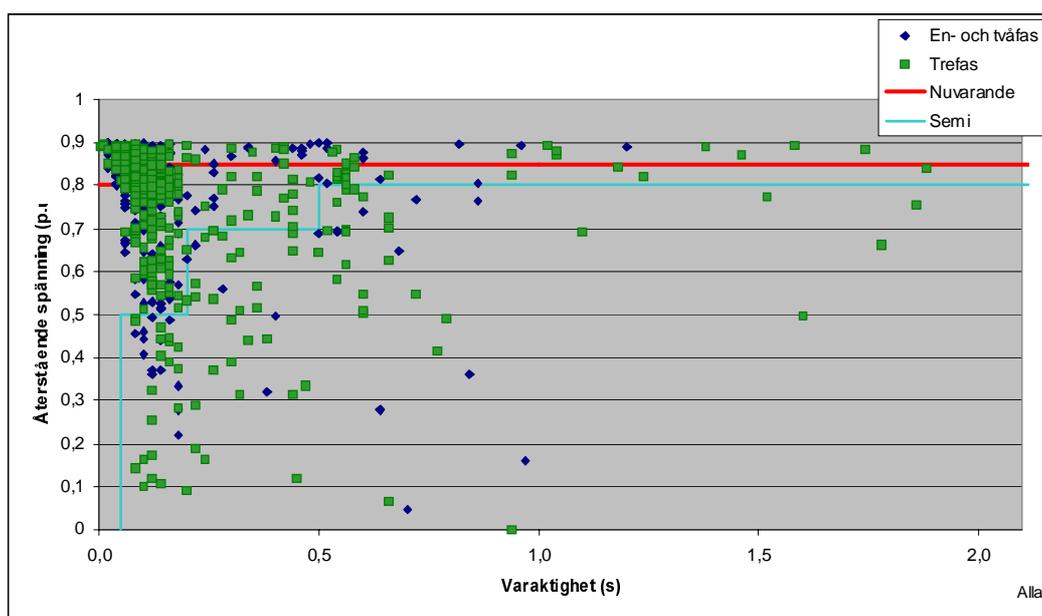
I kapitel 1 av rapporten ”Teknisk beskrivning av spänningsdippar och korta avbrott”, [4:09] beskrivs närmare de vanligaste orsakerna till uppkomsten av dippar och korta avbrott.

Mätningar i projektet Utveckling Elkvalitet, delprojektet ”Förberedande kartläggning av spänningsdippar i olika typer av nät”, Elforsk rapport 04:43, [4:10] och Vattenfalls tidigare mätningar visar att det genomsnittliga antalet dippar per månad i elnäten i Sverige är 1,8 stycken, medelvärde 0,8 för stadsnät och medelvärde 3,5 för landsbygdsnät. Det indikerar cirka 20 stycken i grovt medeltal i varje eluttag i Sverige per år. De flesta är kortare än 200 ms. Nästan alla inträffar under årsäsongen tre månader varje år. Dock har landsbygdsnät med luftledningarna en större spridning under året och större maxmedelvärden. Landsbygdsnät kan ha en andra tyngdpunkt under året som hänger samman med snöoväder, trädpåfall och snösläpp längs luftledningarna, som oftast är oisolerade. Följande iakttagelser kan noteras:

- Stora variationer från år till år
- Fler dippar i södra Sverige än i norra
- Mellanspänningsnät med luftledningarna är utsatta
- Åska är den vanligaste orsaken
- Flera exempel visar att mätningarna och efterföljande åtgärder inneburit förbättringar i nät
- Nätets struktur har stor betydelse för dipparnas förekomst och karaktär. Maskade nät och många ledningar (i södra Sverige) är inte bra ur dippsynpunkt. De kan visserligen ge hög kortslutningseffekt och därmed förhållandevis grunda dippar men utgör stora ”åskantenner” och ger fler störningar än radialnät med få ledningar. Maskade nät har

färre avbrott men flera dippar och fler andra elkvalitetsproblem än radialnät. Maskade nät är svåra att överblicka, kontrollera, styra och manövrera.

De dippar som projektet registrerat i de använda mätpunkterna har en spridning som visas i figur 4.5.2. Denna bild är typisk och förekommer i all litteratur om dippar från hela världen. Det är en spegling av hur elnäten är konstruerade för att kunna arbeta säkert och hur de fungerar med sin nuvarande utrustning och skyddssystem.



Figur 4.5.1.2 Spridningen av samtliga registrerade spänningsdippar.

Den röda linjen indikerar den immunitetsnivå som nuvarande kundutrustning i allmänhet har i industrin. Den blåa linjen indikerar den immunitetsnivå som Semistandard F47 föreslår, se ref [10] i bilaga A1, Elforsk rapport 04:43, "Förberedande kartläggning av spänningsdippar i olika typer av nät", [4:10]. Utrustningen hade klarat "ride through" för nästan 90 % av alla dippar om den hade haft immunitet enligt Semistandard F 47. Störningar beroende på dippar i matning till industri- och kundutrustning är nästan alltid helt relaterade till nivån på immuniteten i kundens utrustning och processens konstruktion. Detta indikerar att förbättringar i utrustningens och processens immunitet har mycket stor potential för att minska kostnaderna för störningar i processerna och förbättra driftresultaten.

4.5.2 Åtgärder mot dippar och korta avbrott

Nedan ges en kortfattad teknisk beskrivning av möjligheter att minska riskerna för, samt konsekvenserna av spänningsdippar och korta avbrott. För att förstå olika möjligheter att minska riskerna för, samt konsekvenserna av, spänningsdippar och korta avbrott är det viktigt att förstå vad det är som leder till att kundutrustningar upphör att fungera som avsett. Den vanligaste orsaken är kortslutningsfel i elsystemet eller i kunders anläggningar. Vid ett

fel sjunker spänningen relativt mycket i felstället. Effekten av felet i anslutningspunkten av en utrustning hos en kund i en annan del av elnätet är en dipp, spänningssänkning karakteriserad av djup och varaktighet. Felet kommer alltid att resultera i en spänningsdipp för några kunder. Särskilt om felet inträffar i ett radiellt nät kommer det också att leda till ett avbrott för vissa kunder när felet kopplas bort av skyddssystemen i elnätet. Om tillräcklig redundans finns i nätet kan avbrott undvikas så att felet endast resulterar i en spänningsdipp. Om djup och varaktighet på den resulterande spänningsdippen är tillräckligt stor kan utrustningar upphöra att fungera som avsett. Som tidigare nämnts kan även kopplingar av stora laster leda till så stora spänningsändringar att utrustningar upphör att fungera som avsett.

De tekniska möjligheterna att åtgärda och minska riskerna för samt konsekvenserna av spänningsdippar och korta avbrott kan delas in i följande olika typer av åtgärder:

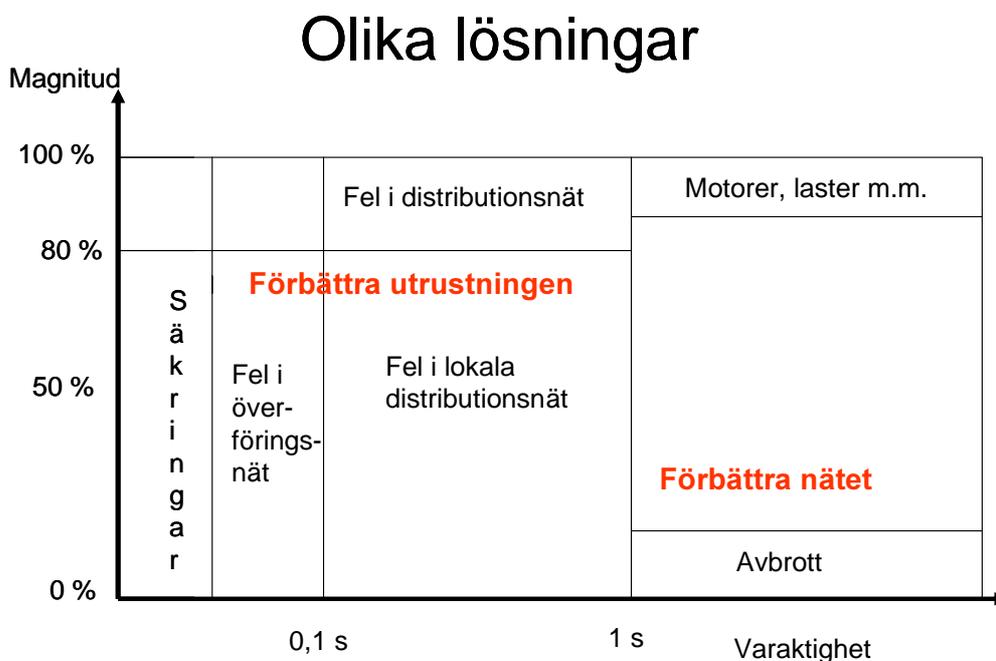
- Reducera antalet kortslutningsfel
- Reducera bortkopplingstiderna
- Förändra elnätet så att kortslutningsfel resulterar i mindre allvarliga händelser hos kunder
- Anslut någon typ av utrustning för temporär energilagring eller "avbrottsfri" kraft UPS (Uninterruptible Power Supply) eller DVR (Dynamic Voltage Restorer) för högre effekt, mellan känslig utrustning och elnätet för att öka kundutrustningens eller kundanläggningens möjlighet att överbrygga dippar och korta avbrott på minutnivå och längre.
- Förbättra utrustningarnas immunitet mot spänningsdippar och korta avbrott, dvs. öka kundutrustningens eller kundanläggningens möjlighet att överbrygga dippar och korta avbrott på sekundnivå.

Av dessa fem olika typer av åtgärder är de första tre åtgärderna riktade mot elnäten, medan de två sista är åtgärder riktade mot utrustningarna hos slutanvändarna. Enligt rubriken ovan så beskrivs i detta avsnitt ett antal tekniska möjligheter att minska riskerna för och konsekvenserna av dippar och korta avbrott. För en del av de "metoder" som nämns så gör kostnaderna för att införa dessa att de i praktiken är ointressanta utom för speciella fall.

I amerikanska utredningar om elkvalitetsförbättrande åtgärder i industrianläggningar framhålls att utveckling av nya produkter och ny teknik för att överbrygga dippar och korta avbrott är av mycket högt prioritet.

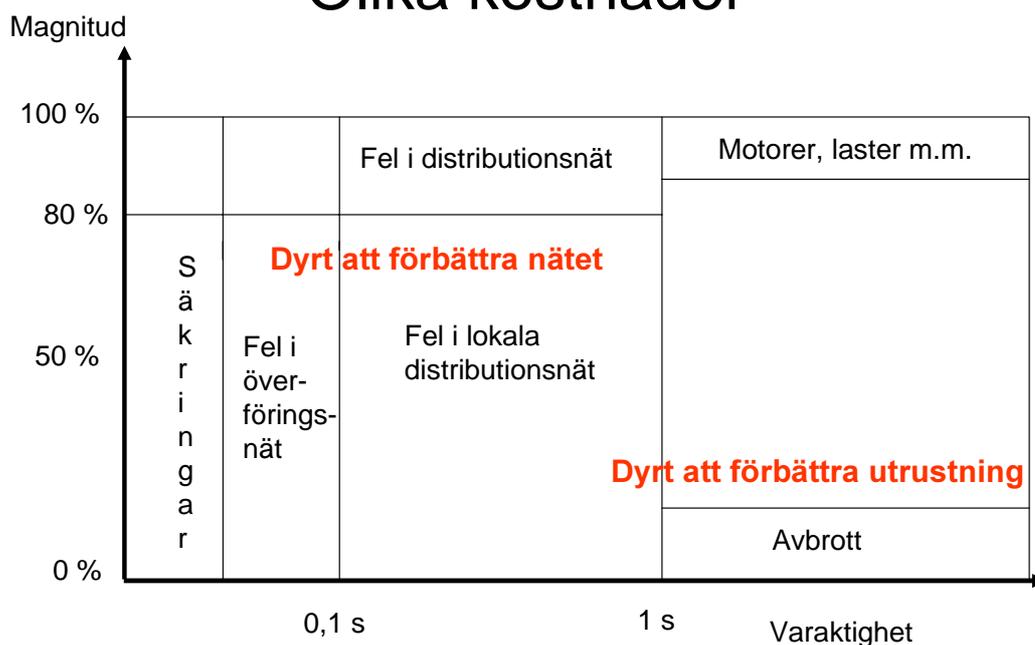
4.5.3 Diskussion om kostnader för åtgärder mot dippar och korta avbrott i elnätet respektive i kundanläggningar

Det finns olika åtgärder som kan vidtas för att hantera och motverka följderna av dippar. Generellt kan sägas att det är lätt och billigt att skydda små belastningar och svårt och dyrt att skydda stora belastningar. Korta dippar eller korta avbrott är lättast att klara särskilt vid små effekter, medan långa och djupa dippar och avbrott blir svårare att klara ju större effekter som lasterna har. Det är dyrbart att eliminera dippar genom åtgärder i elnätet, särskilt korta dippar är svårt och dyrt. Man kan minska antalet dippar men inte ta bort dem helt, och det är åtgärder som kan ta lång tid att genomföra. I praktiken kan detta bara ske vid sällan förekommande moderniseringar och ombyggnader av elnäten. Dock kan elnätsägare minska antalet långvariga dippar genom justeringar av skyddens inställningar. I figur 4.5.3.1. visas var åtgärder kan göras vid korta respektive långa avbrott och i figur 4.5.3.2. var åtgärder kan sättas in billigast.



Figur 4.5.3.1 Olika lösningar för att förbättra kundsituationen för olika spänningsdippar

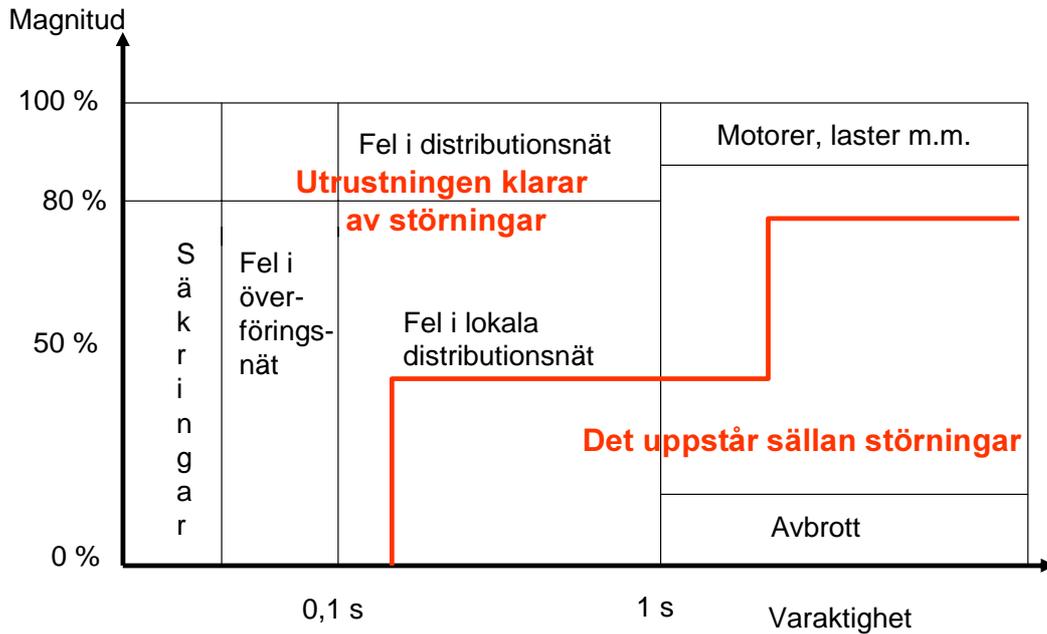
Olika kostnader



Figur 4.5.3.2 Olika kostnader i nät och kundutrustning för förbättringsåtgärder för olika slag av dippar.

Dippar är ett relativt nytt problemområde beroende på att belastningarna har blivit känsligare för dippar. Problemet finns också därför att det inte har formulerats tillräckliga krav på varken kundutrustningar eller elnät i internationella standarder och normer avseende tålighet mot dippar. Elnätbolagen i Sverige har varit tveksamma till att deklarerera dippegenskaperna. Det saknas också officiell statistik för händelser i nätet med varaktighet < 3 min dvs. om dippar och korta avbrott. En eventuell framtida IEC normer skulle kunna medverka till en situation som skulle kunna göra att kundutrustningar och industriprocesser kan klara de flesta dippar och bara stördes av sällan förekommande kraftiga dippar och långa avbrott, se beskrivning i figur 4.5.3.3.

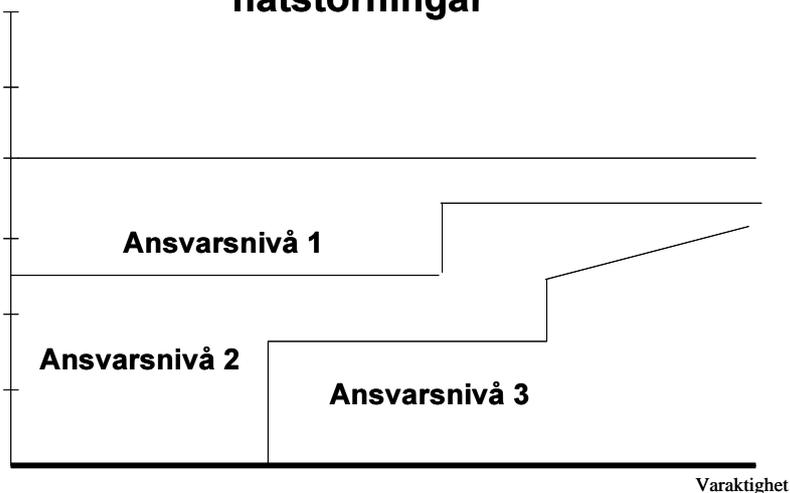
Framtidens IEC norm



Figur 4.5.3.3 En eventuell framtida IEC norm om dippar och korta avbrott.

En av oklarheterna i lagstiftning och praktisk verklighet är att det saknas bra preciseringar beträffande vad begreppet "God elkvalitet" innebär i tekniska termer och i lagstiftning och avtal mellan elleverantörer och kunderna. Därför råder oklarheter om ansvarsfördelningen mellan elleverantörer, elnätsägare och kunderna. Figur 4.5.3.4 beskriver olika nivåer för ansvar beträffande dippar och avbrott. Bilden är hämtad ur ett diskussionsunderlag från en stor processindustri vid diskussion om frågeställningen.

Ansvarsfördelning nätstörningar



Figur 4.5.3.4 Ansvarsfördelning för elnätstörningar – vem har ansvar för vilken nivå.

Beträffande dippar och korta avbrott kan man anta att en kombination av enkla billiga åtgärder i elnätet och selektiva och billiga åtgärder i kundanläggningar kan ge de lägsta kostnaderna för att minska problem. I elnätet kan ledningarnas skydd justeras så att dessa agerar för att uppnå kortaste möjliga urkopplingstider. I kundanläggningar eller kundutrustning borde ny teknik kunna införas som kan överbrygga vanliga dippar med kortare varaktighet än c.a 500 ms. Sådana lösningar borde inte vara dyra jämfört med vad andra lösningar kostar om inte effektbehovet är mycket stort.

Med nuvarande kunskapsläge finns dock inte några sammanställningar på nationell nivå beträffande åtgärdskostnader eller kombinationer av åtgärdskostnader. Åtgärder och kombinationer av åtgärder är olika för olika branscher och behov.

Det bästa sättet att analysera förhållandena skulle kunna vara att bearbeta några typiska scenarier i några olika verksamhetsbranscher för att sedan skala upp dessa till en antagen nationell behovsnivå. En sådan analys skulle kunna vara ett nytt fördjupande projekt.

Det viktigaste ämnet för fördjupade studier är utveckling och provning av dippskydd - dippfilter (för att överbrygga korta avbrott) för industriella applikationer. Olika tekniska lösningar produkter och system finns under utveckling. I större industriella frekvensomriktaranläggningar i t.ex. pappersbruk förekommer likströmsbussar för att bättre utnyttja de olika frekvensomriktarnas gemensamma mellanledskondensatorer. Genom denna åtgärd fås ett visst skydd mot dippar. Denna lösning behöver vidareutvecklas för att överbrygga dippar. De behöver provas och demonstreras i samarbete med t.ex. robotintensiv tillverkningsindustri.

4.6 Transienter

4.6.1 Allmänt

Transienter kan grovt uppdelas i två slag. Dels lågfrekventa och energirika ofta kallade kopplingsöverspänningar, ur- eller omkopplingstransienter som ofta är oscillerande, och dels högfrekventa men inte särskilt energirika transienter, ofta höga men mycket kortvariga "spänningsspikar". De energirika och lågfrekventa är jämförelsevis farligare. De har oftast inte så hög spänning och slinker lättare igenom transientskydden. De kan skada skydd och andra komponenter så att apparaterna helt slutar att fungera. För både hög- och lågfrekventa transienter gäller att man, beroende på installationens utformning, kan få förstärkning av transienterna genom reflexioner, resonans och kapacitiva kopplingar.

I en rapport till Energimyndigheten 2003 behandlades immuniteten i apparater och system. Det finns både apparataspekter och systemaspekter på transientproblemet.

Immuniteten mot transienta överspänningar i el- och teleinstallationer och anslutna apparater är dålig. Antalet skador ökar kontinuerligt. Orsaken till

denna utveckling är den stora och ökande användningen av hem- och kontorselektronik såsom bärbara telefoner, modem, persondatorer och så kallad Internet Protokoll (IP)-utrustning, bredbandsutrustning etc.. Det gemensamma för dessa är att de vanligen är anslutna till minst två olika nät, både el- och tele- och datanät. Jämfört med för bara 5 år sedan är skalan i användning och sammankoppling nu mycket stor och starkt ökande. I snart sagt alla fastigheter äger denna sammankoppling rum vilket inte var fallet förut. För 10 år sedan var denna sammankoppling en sällsynt förekomst.

Vi använder två gamla infrastrukturer, el- och telenät, på ett nytt sätt genom att koppla ihop dem i apparaterna. Apparaterna är inte i tillräcklig grad förberedda för detta under svenska förhållanden. Apparatstandarder är gjorda för internationella massmarknader med jordkabelmatning och fungerar för dessa. I Sverige och länder med liknande markförhållanden och luftledningssystem är apparaterna utsatta för större påfrestningar än t.ex. på europeiska kontinenten.

Denna nya sammankoppling, och skalan i sammankopplingen är orsak till problemen. Regelverket i form av standarder och normer behandlar egentligen inte denna nya situation utan beskriver i första hand hur man ska hantera de enskilda näten och apparaterna. Förutsättningen att de flesta elektroniska apparater ska vara anslutna till minst två olika nät och hantera denna sammankoppling börjar nu komma med i standardiseringsarbetet. Nuvarande standarder behandlar sammankopplingen främst inriktad på förenlighetsproblemet (EMC). Skydd mot förstörelse eller skada på utrustning vid sammankoppling av olika nät behandlas inte i EU direktiven angående EMC (EMC-direktivet) och elsäkerhet (Lågspänningsdirektivet).

Det nuvarande regelverket anger otillräckliga skyddsnivåer mellan el- och telenät och apparaterna. Det gör att elanvändarna i Sverige själva måste skydda sig i eller bära kostnaderna för skador på sin utrustning.

Kort kan följande beskrivning ges:

- Elsäkerhetsföreskrifterna ger rådet till elnätsägare att installera avledare som begränsar restspänningar från elnätet till 6 kV. Detta gäller dock inte retroaktivt så på vissa ställen kan högre restvärden förekomma.
- Telenätet har ingen föreskrift om överspänningsskydd eller nivå för restspänning vid ingången till en fastighet och dess ledning kan därför få höga transienta överspänningar. Om telenätet är bäraren av överspänningspulsen möter den elnätets nära jordpotential i elektronikapparaten och överslaget är ett faktum.
- Apparaternas tålighet mot pulser på telenät är normerat till en puls med toppvärde 1,5 kV.
- Apparaternas elanslutningsingång ska enligt normerna ha följande immunitet mot transienta överspänningar: Linje mot jord +/- 2 kV AC och 0,5 kV DC, och linje mot linje +/- 1 kV AC och 0,5 kV DC.

Denna beskrivning visar att det finns ett stort område som elanvändarna måste hantera själva. Vanliga elanvändare hamnar här i ett

kompetensmässigt underläge och ogynnsamt beroendeförhållande, eftersom användaren i viss mån är lämnad i sticket av regelverket.

Det stora elnätet och industrianläggningarnas tunga anläggningsdelar drabbas sällan av problem med transienta överspänningar. Industrins tele- data- och styrsystem är för det mesta skyddade med UPS, men kan störas av transienter. Däremot störs industrins tunga drivsystem av de i samband med åskstörningar på elnätet ofta förekommande dipparna och korta avbrotten.

4.6.2 Åtgärder mot transienter

Regelverket är omodernt och missanpassat till de nuvarande behoven beträffande immunitet mot överspänningar. Det borde moderniseras genom ökat standardiseringsarbete.

Det saknas föreskrifter för åsk- och transientskydd i byggnormerna. Det är i byggprocessen som effektiva åtgärder kan planeras och sättas in. Det är också möjligt och i högsta grad önskvärt att t.ex. i samband med bredbandsutbyggnaden i fastigheterna samtidigt införa åsk- och transientskydd i fastigheterna så att all den elektronik som elanvändarna köper för sin bredbandsanvändning skyddas effektivt. Användning av optisk överföring eller radio är effektiva sätt att minska problemen med sammankoppling av el- och datanät.

Det behövs bättre produktinformation till kunderna. Myndigheterna, elbranschen, telenätföretagen och apparattillverkare är dåliga på att informera allmänheten kunderna och elanvändarna om vad som gäller beträffande skydd av elektronik t.ex. om behoven av skydd i fastigheter, genom kvalitetsdeklarationer om de risker och fenomen som kan uppträda på elnät och telenät.

Transienter är ett lokalt problem. Åtgärder i form av transientskydd måste sitta i elnätet nära kundanläggningarna, inne i kundställverk eller kundanslutningspunkter såsom elmätartavlor och inne i apparaterna. Det bästa skyddet åstadkoms genom samverkande åtgärder i både elnät och kundanläggningar. För känsliga datoranläggningar används kontinuerligt gående avbrottsfria kraftanläggningar, UPS. Dessa har dock dålig verkningsgrad och medför höga driftkostnader.

4.6.3 Diskussion om kostnader för åtgärder mot transienter i elnätet respektive i kundanläggningar

I STEM God Elkvalitet 2003, delrapport: Beskrivning av immunitetsläget mot transienter och överspänningar i elanvändares elektriska apparater, system och anläggningar. [4:12], finns en uppskattning av kundkollektivets kostnader för transienter, se tabell 4.3.6.1.

Sammanställning av uppskattade årskostnader	Miljoner kronor
Brand i fastigheter till följd av överspänningar: 100 x 1 miljon dvs. c:a	100
Skador på hem elektronik och kontors elektronik och larm etc. som tas i hem- och egendomsförsäkring. 22 000 x 10 000 kr dvs. c:a	220
Skador som täcks av elektronikproduktförsäkringar uppskattas till	50
Skador på elektronik som inte täcks av försäkringar och som kunden står för själv uppskattas till	150
Summa	520

Tabell 4.3.6.1 Uppskattade kostnader för skador på elektriska apparater, elektronik och fastigheter till följd av överspänningar.

Det finns inga kostandsanalyser som utreder kostnaderna på nationell nivå för transientskydd i elnätet och i alla kundanläggningar. Elforsk´s rapport 06:08, "Skadade apparater" innehåller en bred genomgång med avseende på transienter.

Ett verksamt skydd måste göras i kundanläggningarna. Det finns inget alternativ till detta. Som exempel kan anges att ett transientskydd för en typisk villafastighet kan kosta mellan 6 – 10 000 kr. Det är den billigaste och enda lösningen.

4.7 Spänningsvariationer

4.7.1 Allmänt

Vid sidan av dippar och transienter är långsamma spänningsvariationer ett vanligt och alltmer besvärande problem. Spänningsregleringen har blivit viktigare eftersom kunderna använder alltmer elektroniska apparater. Särskilt på landsbygden i svaga nät med långa ledningar kan det vara svårt att hålla spänningen inom förskrivna gränser. Särskilt i närheten av matande transformator kan spänningen lätt bli för hög vid låg last om den vid hög last ska kunna hållas tillräckligt hög hos den sist anslutna abonnenten på ledningen.

4.7.2 Åtgärder mot spänningsvariationer

De nuvarande spänningsreglerande lindningskopplarna sitter oftast relativt högt upp i näten av ekonomiska skäl. Lindningskopplare för spänningsreglering långt ut i näten har hittills ansetts för dyrbart.

Det finns flera moderna produkter för spänningsreglering i elnät, moderna statiska lindningskopplare, SVC (Static Voltage Compensator), DVR (Dynamic Voltage Restorer), mm. Dessa utrustningar är för det mesta stora och dyra och konstruerade i effekter för installation i elnätet eller i mycket stora kundanläggningar såsom stålverk, etc. I samband med

mobiltelefoniutbyggnaden i utvecklingsländer har mindre statiska spänningsregulatorer AVR (Automatic Voltage Regulator) utvecklats som kan installeras i slutet av långa landsortsledningar för att reglera spänningen till abonnenter där.

4.7.3 Diskussion om kostnader för åtgärder mot spänningsvariationer i elnätet respektive i kundanläggningar

Mindre statiska spänningsregulatorer har nu fått ett kostnadsläge som är lägre än vad det kostar att förstärka eller bygga nya ledningar.

Spänningsregleringen är ett ansvar för elnätet och måste utföras i elnätet. En diskussion om var åtgärder blir billigast blir därför hypotetisk.

4.8 Övertoner

4.8.1 Allmänt

Källan till övertoner finns i princip alltid i kundanläggningarna. Problemen med övertoner finns mest inne i kundernas anläggningar men även i elnätet. I kundanläggningar uppstår fel i styrsystem, datorer och elektronik och höga strömmar i nollledare. Övertoner leder till onödiga värmeförluster i transformatorer, motorer och elektronik och apparater. Övertoner kan skapa resonansproblem mellan elnätets induktiva och kapacitiva delar med skador på anslutna apparater som följd. Kondensatorbatterier för faskompensering i elnätet kan förstärka övertonhalten men kan också kan haverera pga. övertoner. Uppvärmningen leder till låg verkningsgrad och förkortad livslängd i utrustningen

Övertonerna uppstår i nätaggregat och frekvensomriktare då strömmen likriktas och får en annan kurvform än spänningens sinusform. Globalt bedöms minst c:a 70 % av all el gå genom likriktarkretsar. Kondensatorer i både 1-fas och 3-faslikriktare laddas med strömpulser med olika multipler av 50 Hz grundfrekvens. Strömpulserna är additiva och uppstår vid toppen av den likriktade spänningens så kallade rippeltoppar. En lång serie av övertoner uppstår. Vissa av övertonerna tas inte bort av trefasssystemet utan måste ledas och cirkuleras genom nollledaren. Den så kallade 3:e övertonen och multipler av den 3:e släcks inte ut och kan i värsta fall leda till skadlig elpuppvärmning (brandrisk) i neutralledare i installationer i fastigheter.

Den pulserande strömbelastningen deformerar också spänningens kurvform genom spänningsfall i ledningarna. Det är topparna på sinuskurvan som blir kraftigt nertryckta. Det finns fall där även spänningens nollgenomgångar har påverkats så att andra apparater inte kunnat fungera.

I Sverige bedöms inte övertoner som det allvarligaste elkvalitetsproblemet, vilket det däremot gör på kontinenten. Vi har direktverkande elvärme i vår elbelastning som (säsongvis) dämpar övertonerna genom att elvärmeelementen blir belastning till den övertonsgenerering som uppstår i elapparaterna. Genom vår hittillsvarande stora användning av elvärme har vi också byggt elnät med relativt sett mycket hög kortslutningseffekt vilket gör att övertoner som sprider sig uppåt i nätet inte får så stor inverkan. Men vi

strävar av energisparskäl att avveckla direktverkande elvärme och kommer i framtiden att närma oss den kontinentala situationen. I områden med mycket fjärrvärme och liten andel elvärme har vi redan större andelar övertoner än i så kallade elvärmeområden.

4.8.2 Åtgärder mot övertoner

Apparater med nätaggreat ska enligt EN 61000-2-3 förses med filterkretsar (Power Factor Correction, PFC) som ska ta bort karaktären av strömpulsbelastning. De bästa av dessa kretsar gör att strömmen blir en spegel av spänningens kurvform. Dessa nätaggreat kallas "sinuspumpande" eller "sinusdragande". Normen är dock mycket generös i olika avseenden och gäller bl.a. inte för industriella system.

I kundanläggningars ställverk eller i elnätet kan man installera aktiva och passiva filter och styrd kompensering. Passiva filtren är bandpassfilter och högpassfilter som är avstämde för filtrering av en viss frekvens. Dessa måste dock övervakas och kontrolleras noga så att de inte skapar resonans om och när frekvensförhållandena ändras i nätet. Installation av olika sorters passiva filter i kundanläggningar och elnät gör att eldistributionen blir komplicerad och svår att överblicka, kontrollera och styra. Beräkningar för dimensionering av elnätet blir mycket svåra och måste löpande genomföras för att kontrollera inverkan av förändringar kundanläggningar och elnät.

Aktiva filter installeras för det mesta i kundanläggningar. De flesta aktiva filter hanterar också andra elkvalitetsproblem såsom flimmer spänningsosymmetri etc.

4.8.3 Diskussion om kostnader för åtgärder mot övertoner i elnätet respektive i kundanläggningar

Den principiellt bästa åtgärden och sannolikt totalt billigaste vore att tillse att övertoner inte genereras i elapparaterna. Den näst bästa att dessa inte sprids utanför kundanläggningarna. Troligt är det billigast totalt sett att åtgärda ett problem så tidigt som möjligt vid källan.

Att kräva att alla apparater blir sinusströmdragande kräver en lång och osäker internationell standardiseringsinsats. Snabba resultat kommer inte att kunna nås.

En möjlig selektiv och flexibel insats är att installera aktiva övertonsfilter i kundanläggningar, nätstationer och ställverk så nära övertonskällorna som möjligt. Men det är mycket dyrt och det kan skapa underhållsproblem.

Vilket som är den billigaste och bästa lösningen är dock oklart. Någon analys på nationell nivå är inte känd. Det bästa sättet att skapa klarhet är sannolikt att gå igenom ett antal typfall och göra beräkningar baserat på detta på nationell nivå.

4.9 Spänningsosymmetri

4.9.1 Allmänt

Osymmetri mellan trefassystemets spänningar bör vara $< 1 - 2 \%$. Osymmetriska fasspänningar kan orsakas av osymmetrisk impedans mellan fasledarna i överföringssystemet eller genom ojämn fördelning av belastningen i trefassystemet så att någon fas belastas med högre ström än övriga faser. Osymmetrin kan således uppkomma både i elnätets överföring på höga spänningar och i kundanläggningar. I elnätet kan osymmetri uppkomma genom att fasledarna i högspänningsnätets luftledningar får osymmetrisk induktans genom ofullständig skruvning. Osymmetrin uppstår genom att lite aktiv effekt transformeras mellan fasledningarna längs en lång högspänningsledning.

I princip räknar man med att belastningen på 3 fas system genom sammanlagring inte blir osymmetrisk till mer än 1% högre upp i systemet. I lokalnätet kan osymmetrin p.g.a. ojämn belastning vara större. Luftledningarnas så kallade skruvning kan också variera och bidra till större osymmetri. Man kan därigenom lokalt i elnätet ligga på större osymmetri än 1 %.

I trefasmotorer och transformatorer uppstår onödiga värmeförluster om fasspänningarna är osymmetriska. Det beror på att två bromsande magnetflöden, ett stillastående och ett motroterande, uppstår, som ger "induktionsuppvärmning" av motorn. Motorerna går med sämre verkningsgrad och blir varmare än de ska vara. Detta kan medföra att motorerna får förkortad livslängd och måste bytas tidigare än beräknat. De drar mer el än de skulle om fasspänningarna hade varit symmetriska och blir dyrare i drift.

Motordrifter som matas via frekvensomriktare mycket känsliga för osymmetriska spänningar. Redan med något större osymmetri än 1 % kan frekvensomriktare lösa ut. Detta beror på att den fas som har den lägsta spänningen kanske inte belastas alls av frekvensomriktaren varför de övriga får dra hela lasten 2 fasigt och då löser ut för överström. Om osymmetrin kombineras med låg spänning blir problemet än större och yttrar sig som överlastproblem.

Det råder delade meningar om hur stora dessa förluster och onödiga kostnader är. En utredning lär vara gjord på KTH om värmeförluster i elmotorer vid osymmetriska spänningar för mellan 5 och 10 år sedan. Men någon ekonomisk analys på nationell nivå av problemen är inte känd.

4.9.2 Åtgärder mot osymmetrisk spänning

I elnätet kan osymmetriska fasspänningar neutraliseras genom att fasledarna byter plats med varandra med jämna mellanrum längs efter en högspänningsledning. Detta förfarande kallas "skruvning" av en luftledning. Kunderna har ingen möjlighet att motverka eller kompensera för denna osymmetri.

I kundanläggningar kan man lägga om belastning och fördela sina belastningar så lika som möjligt mellan faserna för att erhålla symmetrisk belastning. Aktiva filter för reducering av övertoner och förbättring av effektfaktor även kan justera osymmetri.

Osymmetri i kombination med andra elkvalitetsfenomen som t.ex. övertoner och låg spänning kan vara besvärliga att åtgärda och kan vara den utlösande faktorn till större elkvalitetsproblem och få "bägaren att rinna över".

4.9.3 Diskussion om kostnader för åtgärder mot osymmetrisk spänning i elnätet respektive i kundanläggningar

Analyser av kostnader för åtgärder i elnätet och eller kundanläggningar på nationell nivå finns inte. Kostnaderna torde dock inte vara stora för att göra åtgärder i elnätet. I enskilda kundanläggningar torde kostnader för åtgärder vara låga.

Det råder delade meningar om hur stort problemet med osymmetriska spänningar är. Men redan vid 1 % osymmetri kan problem uppstå med frekvensomriktare. I och med att det används alltmer frekvensomriktare blir spänningssymmetrin viktigare eftersom kundernas problem kan öka. Vi vet inte hur stora kostnader som spänningsosymmetri medför för kundkollektivet.

4.10 Flimmer

4.10.1 Allmänt

Flimmer är ett lokalt problem. Det förekommer i närheten av stålverk med elektrostålugnar eller ljusbågsugnar och svetsanläggningar, t.ex. i en bilverkstad i ett mindre industriområde med svagt elnät. I framtiden kan vindkraft bli en källa till flimmer. Hur mycket flimmer som vindkraft kan komma att generera vet man ännu inte. Från stora elektrostålverk kan flimmer sprida sig över stora avstånd. Flimmer mäts i Pst-värde eller Plt-värde. Pst-värde < 1 anses inte störande men kan vara mycket svårt att nå i närheten av ljusbågsugnar.

4.10.2 Åtgärder mot flimmer

Det finns en rad olika lösningar. För det mesta handlar åtgärder i elnätet om byggnation av en ny ledning eller förstärkning av en gammal ledning. Åtgärd i elnätet innebär att man matar den störande industrin från en egen ledning separerad från samhället i övrigt för att därigenom dämpa flimrets spridning. Denna lösning kan bara tillämpas på stora industrier där kostnaderna för separata högspänningsledningar kan försvaras. Hög kortslutningseffekt i nätet bidrar till lägre flimmernivå. I industrianläggningarnas ställverk kan olika typer av dämpande filter såsom seriereaktorer, styrd kompensering med SVC (Static Voltage Compensator) ASVC (Advanced SVC) och STATCOM (Static Synchronous Compensator) installeras. Alla befintliga industrilösningar är för stora effekter och är mycket dyra. I ett mindre industriområde där en svetsanläggning sprider flimmer, har goda lösningar saknats. Men nu finns små elektroniska konstantspänningsregulatorer i effektområdet upp till

omkring några 10-tals kVA på marknaden. Dessa regulatorer är avsedda att installeras i kundgränssnittet och kan skydda kunden från flimmar.

En billig åtgärd i kundanläggning är att använda lågenergilampor istället för glödlampor som motåtgärd mot flimmar.

4.10.3 Diskussion om kostnader för åtgärder mot flimmar i elnätet respektive i kundanläggningar

Åtgärder mot flimmar i elnätet uppfattas som mycket dyra. Med nuvarande tekniska lösningar ligger investeringsnivån på 10-tals miljoner kronor i antingen elnät och kundanläggning beroende på effektstorlek i den störande anläggningen. Åtgärder i elnätet torde nästan alltid vara dyrare än åtgärder i kundanläggning. Elnätet byggs inte längre ut och åtgärder i elnätet är därför svårare att genomföra.

De elektroniska spänningsregulatorerna har ett pris på 2 – 3 tusen kr per kVA.

Motåtgärden lågenergilampor mot flimmar är en nästan kostnadsfri åtgärd som även är lönsam i ett energisparperspektiv.

4.11 Sammanfattande analys av åtgärder

Projektet har som huvuduppgift att översiktligt finna svaret på frågan: Var är det sannolikt mest kostnadseffektivt att sätta in elkvalitetsförbättrande åtgärder, -i elnätet eller i kundanläggningar?

Frågan så enkelt formulerad kan inte ges ett kategoriskt svar. Olika elkvalitetsfenomen har sina billigaste lösningar i teorin i antingen elnätet eller kundanläggningarna. Emellertid gäller detta inte i praktiken då kostnadsaspekter och tidsaspekter på genomförande av åtgärder och andra aspekter tar över. I teorin kan man utan hänsyn till kostnadsaspekter lösa alla elkvalitetsproblem lokalt i kundanläggningarna, men i praktiken har bara ett litet fåtal kunder råd med det. Att lösa elkvalitetsproblem i elnätet tar mycket lång tid eftersom det kräver lång planering och stora investeringar med långa beslutsprocesser. Vissa problem i kundanläggningar kan lösas genom immunitetsförbättringar i apparater och elinstallationer. Dessa är selektiva och mindre kostsamma än åtgärder i elnätet och kan lättare och snabbare beslutas.

En mix av de billigaste åtgärderna i elnätet och de billigaste åtgärderna i kundanläggningarna torde ge det bästa resultatet.

Ett kort svar utan kostnadsanalys skulle kunna vara; att det mest praktiska och kostnadseffektiva är att göra åtgärder selektivt i elnätet nära och inne i utsatta kundanläggningar. Tre skäl för detta svar kan anges:

1. Elkvalitetsfenomen varierar beroende på kundanläggningens art. Problemen är ofta kundspecifika och olika för olika kunder. Det finns inte några generella lösningar som avhjälper alla problem för alla samtidigt.

2. Selektiva åtgärder medger att kostnaderna lokaliseras till aktuellt elnätsavsnitt och till aktuell kundanläggning. Den behövande och hans matande elnät drabbas av kostnader men andra som klarar sina behov utan åtgärder behöver inte betala för åtgärder som han inte behöver. Åtgärdskostnaderna kan uppdelas på mindre poster och besluten blir lättare att ta.
3. Elkvalitetproblem är ofta akuta. Stora ombyggnader och moderniseringar i elnätet kräver lång tid för genomförande, och generella åtgärder i nätet medför så stora kostnader att det endast i undantagsfall kan motiveras för enstaka kundbehov. Men när de sällan förekommande ombyggnaderna av elnätet görs kan man alltid gå igenom och tänka på elkvalitetshöjande aspekter, se vidare punkt 4.12.1.

4.11.1 Bedömning av vilka elkvalitetsfenomen som kan åtgärdas billigast och var

Långa avbrott > 3 min

Traditionellt har elnätet inte kunnat åtgärda långa avbrott. Den enda lösningen hittills har varit åtgärden reservverk i kundanläggningarna. Men samhällsekonomiskt är det den dyraste lösningen med dåliga driftsresultat. På landsbygden är traktoraggregat inom lantbruket den vanligaste lösningen. Den nu startade kablifieringen av landsbygdsnäten kommer att minska de många väderrelaterade långa elavbrotten radikalt. Men andra orsaker till långa elavbrott påverkas inte av kablifieringen. Inom elnätet kan man åtgärda långa elavbrott med så kallade "Ödrift". Två varianter finns: - Den ena där det vanliga elnätet isoleras från det nationella nätet och med ett eget lokalt kraftverk bildar en självständig elkraftö. Denna variant åtgärdar inga andra elkvalitetsproblem än långa avbrott. - Den andra är så kallade "Reservkraftsöar" där reservkraftverk förses med eget lokalt parallellt nät för distribution av el med extra hög tillgänglighet. De lokala näten ska alltid vara i drift för distribution till sina kritiska lastobjekt. Detta ger redundanta framföringsvägar till kritiska belastningar. Dessa lokala parallella nät kan också åtgärda flera andra elkvalitetsproblem än långa avbrott.

Genom att centralisera reservkraftverken i ett närområde till större enheter blir det en billigare lösning på nationell nivå, än att varje fastighet har sitt eget reservkraftverk. Dessutom blir bränsledistributionen lättare att organisera i avbrottsläge, eftersom antalet bränsletankar blir färre. I tillägg skapas med reservkraftsöar en ansenlig effektreserv som kan tillgripas vid effektbrist.

Slutsats: Långa elavbrott kan sannolikt åtgärdas billigast i elnätet i nya lösningar med ödrift och reservkraftsöar.

Dippar och korta avbrott < 3 min

Dippar och korta avbrott kan inte elimineras i elnätets högspänningsnät. Dippar kan bara göras kortare, grundare och eventuellt färre. Inställning av skydd är billigt att göra men andra åtgärder innebär höga kostnader och görs för det mesta bara sällan i samband med moderniseringar och nyanläggningar och eventuellt för mycket stora kundanläggningar.

Även i kundanläggningar är den första och billigaste åtgärden att ställa in skydd så att dessa inte i onödan bryter processer. Den vanligaste lösningen är därefter att förse dippkänslig utrustning i kundanläggningar med UPS. UPS kan dock inte användas för riktigt stora effektbehov, och är inte en ekonomiskt optimal lösning för dippar som med varaktighet upp till 500 ms. Lösningar av typen DVR för högre effekter är anpassade för dessa korta dippar, men är än så länge relativt kostnadskrävande.

Bättre tekniska och ekonomiska lösningar för att överbrygga dippar och korta avbrott på upp till någon sekund behöver utvecklas.

Slutsats: Det är billigast och effektivast att åtgärda dippar och korta avbrott i kundanläggningarna och apparaterna eller i lågspänningsnätet i samband med reservkraftsöar.

Transienter

Transienter är omöjligt att eliminera i elnätet. Åtgärder kan sättas in men dessa kan inte på ett avgörande sätt ta bort behovet av åtgärder i kundanläggningarna

Det bästa sättet är att åtgärda kundanläggningarna och apparaterna. Elinstallationerna måste förses med transientskydd.

Apparater måste tillverkas med bättre immunitet mot transienter och inrusningsströmmar.

Slutsats: Det bästa är att åtgärda transienter i kundanläggning och apparater

Spänningsvariationer

Spänningsvariationer måste alltid åtgärdas i elnätet för majoriteten av abonnenterna.

I vissa enstaka fall är det billigare att åtgärda problem i elnätet vid abonnentens anslutningspunkt eller inne i abonnentens kundanläggning.

Slutsats: Det är billigast att åtgärda spänningsvariationer i elnätet

Övertoner

Det är alltid billigast att motverka generering av övertoner vid källan dvs. inne i kundernas apparater och utrustning. Filter i elnätet blir billigare ju närmare storkällan de är och ju mindre effekt som måste processas.

Slutsats: Det är billigast att åtgärda övertoner i kundanläggningar och apparater

Spänningsosymmetri

Så länge som symmetrin i spänningsleveransen från elnätet hålls inom föreskrivna gränser är det billigast att motverka osymmetriska spänningar i kundanläggningar genom symmetrisk fördelning av lasterna mellan faserna

Slutsats: Det är billigast att åtgärda spänningsosymmetri i kundanläggningar

Flimmer

Flimmer är alltid dyrt att åtgärda men billigast att göra inne i kundanläggning så nära störkällan som möjligt.

Slutsats: Det är billigast att åtgärda flimmer i kundanläggningar

4.11.2 Åtgärder i elnätet

Att justera elnätets skyddsinställningar till så korta bortkopplingstider som möjligt är en billig åtgärd och är en självklar åtgärd i samband med normalt underhåll. Det kan minska störningar i kundanläggningar p.g.a. dippar. Dippar kan inte tas bort helt. Deras varaktighet och i någon mån djup kan påverkas av skyddens inställningar. Planering av näten med avseende på kortslutningsimpedans och kortslutningseffekt vid ombyggnader och modifieringar har betydelse. När det gäller osymmetri är det viktigt att luftledningarnas så kallade skruvning kontrolleras och justeras löpande så att elnätet inte ger osymmetriska spänningar utöver gränsvärdena

Andra åtgärder som övertonsfiltrering, spänningsreglering, transientskydd och åtgärder mot flimmer är dyra åtgärder men måste kanske ändå göras. De flesta av dessa åtgärder görs bäst i transformatorstationer eller ställverk så nära kundanläggningen som möjligt. Ju närmare störkällan man kan angripa problemet och ju lägre effekt som berörs desto bättre är det.

När det gäller långa avbrott är det viktigt att ledningsgatorna underhålls. Men detta problem minskar i takt med att landsortsnäten grävs ner i mark.

4.12 Översikt

Fenomén	Elnät	Ind tung	Ind lätt	Kontor	Hushåll
Avbrott > 3 min	X	(X)			
Dipp avb<3 min		X	X	X	X
Transienter			X	X	X
Spänningsvariationer	X				
Övertoner		X	X	X	X
Spänningsosymmetri		X	X	X	X
Flimmer	(X)	X	X		

Tabell 4.12.1 Bedömning av lägsta kostnad per fenomen och verksamhet totalt

Fenomén	Elnät	Ind tung	Ind lätt	Kontor	Hushåll
Avbrott > 3 min	Integr Reservk				
Dipp avb<3 min		Dipp	---	Filter	
Transienter			Info	Info	Info
Spänningsvariationer					
Övertoner	Uppfölj Mätning				
Spänningsosymmetri					
Flimmer					

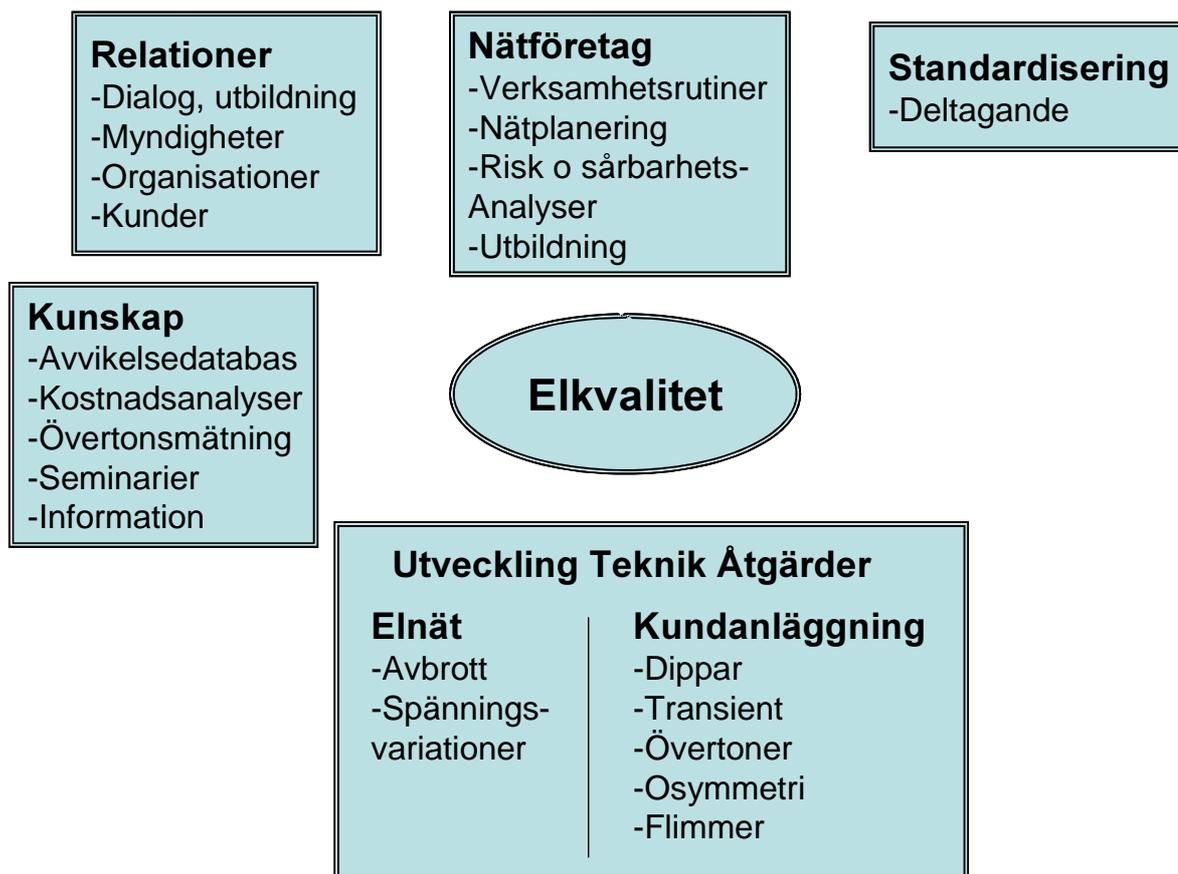
Tabell 4.12.2 Områden för fördjupade studier

5 Förslag till fördjupade studier om Elkvalitet.

Författare: Projektets arbetsgrupp

5.1 Områden på förslag till fördjupade studier om Elkvalitet

Projektet har uppdraget att lämna en redovisning av olika förslag på områden inom ämnet överföring av el av god kvalitet för senare prioritering och beslut om fortsatta och fördjupade studier för att utveckla bättre elkvalitet. Strukturen visar en blandning av tekniska och administrativa områden. Resultatet av denna förstudie pekar på att överföring av el av god kvalitet inte endast beror på rent tekniska omständigheter.



Figur 5.1. Översikt över förslag till fortsatta fördjupade studier inom elkvalitet.

5.2 Relationer

- **Dialog, utbildning och information om elkvalitet:**

Projektet har många gånger kommit in på behoven av dialog och information om elkvalitetsfrågor mellan elbranschen, dess kunder och intressenter. Förstudien visar att elkvalitetsfrågorna inte enbart har en rent teknisk problembild utan innehåller en komplex blandning av administrativa och tekniska frågor. Därför är dialog och information viktig; internt inom elbranschen, med myndigheterna, med elinstallatörer och deras intresseorganisation EIO, med fastighetsägare och deras intresseorganisationer, med elanvändarna och deras intresseorganisationer.

5.3 Kunskap

- **Gemensam händesedatabas för elkvalitet**

Inom nätverksamheterna förekommer idag nya komponenter och arbetsmetoder. Hos elanvändarna sker en kontinuerlig förändring av elanvändningen. Sammantaget leder detta till såväl kända som hittills okända avvikelser i kvaliteten i elöverföringen. Med en händesedatabas för nätföretagen, i t.ex. Svensk Energis regi, finns möjligheter att snabbt söka bland rapporterade händelser, vilka åtgärder som vidtagits och om dessa varit effektiva. Ett fortsatt arbete kan kartlägga förutsättningarna för en sådan databas för hela eller delar av branschen.

- **Fortsatta kostnadsanalyser av.**

Det finns en del kostnadsanalyser beträffande elkvalitet, men det finns behov av bättre kunskap på följande områden:

- Kundens och samhällets kostnader som följd av bristande elkvalitet
- Kostnader för åtgärder och förbättringar av elkvalitet. Detta område är det minst kända i ett nationellt perspektiv
- Värdering av dolda förluster på grund av dålig elkvalitet

- **Övertonsmätning.**

I början på 90-talet gjordes övertonsmätningar på att större antal platser i elnätet av Elforsk. Dessa mätningar är nu mer än 10 år gamla. En uppföljning av dessa övertonsmätningar torde var mycket värdefull för att ta reda på hur trenden är beträffande övertoner i elnätet. Att dementera eller verifiera hypotesen att övertonshalten stiger och i så fall med hur mycket.

- **Seminarier av typen (KFE) Kunskapsplats Elkvalitet.**
- **Informationsskrifter av typen "Guide Elkvalitet" etc.**

5.4 Nätföretag

- **Nätnyttomodellen**

Nätnyttomodellen är utformad för att betrakta nätföretaget som en "black-box". Företagsinterna angelägenheter är därmed avsiktligt utslutna ur

modellen enligt [2:3]. Kvalitetstekniskt är det just hos de företagsinterna processerna som långsiktighet och (el)kvalitet bestäms. När effekten av t ex dålig ordning, bristande kundfokusering, utarmad kompetens blir synliga för kunderna är skadan ofta redan skedd.

För att utreda vissa EMC-problem där parterna inte kan komma överens behöver Elsäkerhetsverket ta hjälp av nätföretagen att identifiera egenskaper hos apparater och fasta installationer av betydelse för EMC. Det finns möjligen förutsättningar att genom frivilliga initiativ eller reglering styra arbetssättet inom nätföretagen så att båda myndigheternas tillsyn bättre kan koordineras och samtidigt effektiviseras/minimeras. Då flera andra myndigheter redan arbetar med krav om verksamhetssystem och systemtillsyn kan erfarenheterna från en sådan reglering undersökas närmare.

- **Vägledning för kvalitetssäkring av nätverksamhet**

För att underlätta för elnätföretag och andra att införa ett verksamhetssystem för kvalitet, kan ett vägledningsdokument utarbetas till SS-EN ISO 9001:2000. Vägledningsdokumentet ska inte innehålla ytterligare krav utöver standarden utan kan vara inriktat på att översätta kraven och tolka viktiga termer till den aktuella verksamheten. Det finns redan ett antal nätföretag som arbetar enligt formella verksamhetssystem och deras erfarenheter kan väga tungt i ett fortsatt arbete med ett vägledningsdokument. Branschorganisationen och kvalitetsfrämjande aktörer i samhället kan stötta ett utbildningsprojekt för att ta fram och sprida resultaten (Elinstallatörsorganisationen, EIO har tidigare tagit ett sådant initiativ för sina medlemsföretag).

- **Särskilda gemensamma rutiner inom nätföretagen**

Vissa metoder och rutiner är viktigare än andra för kvalitetssäkring av elkvalitet. Dessa metoder och rutiner kan identifieras och utarbetas för gemensam användning bland nätföretag. Exempel på metoder/rutiner kan bl. a. vara:

- Metoder att mäta, t ex att spåra störkällor;
- Rutiner för hantering av avvikelser och klagomål;
- Rutiner för offerering och kontraktsgenomgång;
- Rutiner för ansvarfördelning mellan nätet och kunder. Rekommendationer för övertoner, flimmer och obalans finns i IEC tekniska rapporter. Rekommendationerna är framförallt riktade mot stora industriella kunder anslutna till mellanspänningsnät eller högre. Metoderna kan vidareutvecklas för tillämpning mot övriga kunder. Det finns för tillfället inga allmän accepterade rutiner för andra störningar som avbrott, dippar, spänningssteg eller kortvariga överspänningar.

- **Handbok för nätplanering med avseende på elkvalitetsaspekter både avseende elnät och kundanläggningar och fastighetsinstallationer.**

Alla nätföretagens representanter i projektets referensgrupp har framhållit betydelsen av god och likformig nätplanering för att få god kvalitet i elöverföring. Det är billigt att göra rätt från början men nästan omöjligt eller mycket dyrt att i efterhand söka förbättra en elöverföring som visar mindre god elkvalitet. Därför vill man föreslå en handbok m.a.p. elkvalitet i samband med nätplanering för elbranschen.

- Planeringsnivåer
- Kortslutningsimpedans - spänningsgodhet
- Belastningskaraktäristik – strömgodhet
- Etc.

- **Metoder för risk- och sårbarhetsanalyser**

Ambitioner om ökad användning av reservkraftverk, fler äldre som bor kvar i huset på landet osv. talar för att allt fler samhällsfunktioner bättre måste kunna väga in leveranssäkerhet och elkvalitet i sina beslut. Dessa beslut blir inte bättre än de beslutsunderlag som kommer från nätföretagen. Kvalitetssäkrade risk- och sårbarhetsanalyser kommer att behövas – se även 5.1.6.

5.5 Standardisering

- **Brister i standarder beträffande elkvalitetsindex och gränsvärden**

Det råder inte brist på index och gränsvärden för de flesta typer av störningar (se Appendix bilaga 1). Det finns nästan för många index. Detta skapar lätt förvirring i diskussionen och gör det svårt att fokusera på de viktigaste. Vissa nödvändiga gränsvärden saknas eller är bristfälliga. Kraven skiljer sig mellan olika länder och mellan olika regioner inom ett land. Svårigheten ligger i att välja eller vidareutveckla de index och gränsvärden som innebär en rimlig ansvarsfördelning mellan nätföretag och elkunder. En viss grupp elkunder kan t ex gynnas av en viss uppsättning index/gränsvärden samtidigt som andra elkunder eller nätföretag missgynnas. Gränsvärden behöver också göras platsberoende (se Appendix bilaga 2) – frågan är kontroversiell och kräver kompromisser.

Andra länder har kommit längre än Sverige och det krävs fortsatt arbete för att komma ikapp och göra de val och anpassningar av elkvalitetsindex och gränsvärden som bäst passar våra svenska förhållanden.

Nuvarande standarder saknar bra och användbara krav och gränsvärden som behandlar de mest besvärande elkvalitetsstörningarna. Dessa är:

- långa avbrott,
- spänningsdippar och korta avbrott,
- variationer i spänningens amplitud,
- kortvariga spänningsökningar.

De nuvarande standarderna för dessa området behöver kompletteras och vidareutvecklas i ett nationellt standardiserings- eller överenskommelsearbete. I rapporten anges flera förslag på tillämpning av befintliga regler med eller utan modifiering. Den relativa vikten av dessa fyra störningarna beror på typ av kund och var i nätet kunden befinner sig. Vad gäller behov av (nationella och internationella) regelverk klassas dessa fyra som lika viktiga. De standarder som berörs är:

- SS-EN 61000-2-2 miljöförhållanden - Kompatibilitetsnivåer för lågfrekventa ledningsbundna störningar och signalnivåer på lågspänningsnät
- SS-EN 61000-2-4 miljöbetingelser - Kompatibilitetsnivåer för lågfrekventa ledningsbundna störningar i industrimiljö
- SS-EN 61000-2-12 miljöförhållanden - Kompatibilitetsnivåer för lågfrekventa ledningsbundna störningar och signalnivåer på mellanspänningsnät.

- **Brister i standarder beträffande elkvalitetsindex och gränsvärden för flimmer, transienter och högfrekvent spänningsdistorsion**

Nuvarande elkvalitetsindex och gränsvärde för flimmer är kopplat till en 60 W:s glödlampa. Flimmer från nya typer av ljuskällor (urladdningslampor, lysdioder etc.) behöver närmare kartläggas och behandlas i standarder. Vi vet för litet om inverkan från kortvariga överspänningar och flimmer orsakat av lågspänningsutrustning i fasta installationer. Kunskapsläget är otillfredsställande beträffande transienter i spänning och ström i fasta installationer med ett stort antal elektroniska laster (nätaggregat) vid kortslutningar, vid start av elnät samt i samband med dippar. Likaså är området högfrekvent spänningsdistorsion i fasta installationer nästan helt utforskat för att klarlägga inverkan och behovet av åtgärder.

- **Komplettering och utveckling av standarder med avseende signalering på elnät**

Luckan i standarder avseende störningar och signalering upp till 150 kHz har diskuterats länge och är en källa till återkommande besvär. Inom Elforsks Elmätprojekt har detta uppmärksammats. Vattenfall har åtagit sig att var sammanhållande för ett svenskt standardiseringsinitiativ. De standarder som berörs är:

- SS-EN 50065-1 Signalöverföring i lågspänningsinstallationer i frekvensområdet 3 kHz till 148,5 kHz - Del 1: Allmänna fordringar, frekvensband och elektromagnetiska störningar.
- SS-EN 50065-2-3 Signalöverföring i lågspänningsinstallationer i frekvensområdet 3 kHz till 148,5 kHz - Del 2-3: Immunitetsfordringar på utrustning och system som utnyttjar frekvensområdet 3 kHz till 95 kHz, avsedda för användning av eldistributionsnätets ägare.

- SS-EN 61000-6-3 Elektromagnetisk kompatibilitet (EMC) - Del 6-3: Generella fordringar - Emission från utrustning i bostäder, kontor, butiker och liknande miljöer.

5.6 Utveckling av tekniska åtgärder

Här lämnas inte förslag för varje elkvalitetsfenomen utan bara på de områden som projektet har funnit som de viktigaste.

I elnät:

- **Långa avbrott**

Analys och jämförelser av alla kostnader för att arrangera och driva reservkraft i elnätet respektive i kundanläggningarna. Tekniska och ekonomiska analyser av reservkraft i olika ödriftslösningar är ett ämne för fördjupade studier. Elnät med integrerad reservkraft i ödriftslösningar alternativt "Reservkraftsöar" med egna lokala och parallella nät är sannolikt billigare för kunderna än om man själv måste arrangera reservkraft. En analys av marknadsaspekter, juridiska aspekter och affärsmodeller kan utföras i en utredning om differentierad elleverans.

I kundanläggningar:

- **Skydd mot dippar och korta avbrott**

Det viktigaste ämnet för fördjupade studier för industri är utveckling och provning av dippskydd. Vid sidan om UPS-system behövs ny billig teknik för dippskydd och skydd för korta avbrott på sekundnivå utvecklas. Reservverk, UPS-system olika övertonsfilter, faskompenseringskondensatorer och SVC:er etc. används inom industrin för att förbättra elkvaliteten men driftsäkra och billiga lösningar för att överbrygga dippar och korta avbrott saknas.

Teknisk och ekonomisk utredning och provning av möjliga AC och DC dippskyddssystem för industrin. På AC sidan finns så kallade STATCOM-teknik byggd med HVDC light-utrustning. Även DC-distribution och DC-drift för industriella applikationer behöver utvecklas och provas. Gemensam (buss) DC-mellanled används redan men bara i begränsad omfattning i större frekvensomriktarsystem. DC-distribution, DC-drift inom en industri är en systemlösning som tar hand om många elkvalitetsproblem samtidigt och kan användas med och utan batterier. Utan batterier kan det med hjälp av kondensatorer klara avbrott mellan 500 ms till 1 sekund.

Utveckling av sådana system innebär att även andra elkvalitetsproblem utom långa avbrott kan få sin lösning igenom samma utrustning i gränssnittet mellan elnätet och kundanläggningarna

- **Analys av problemkomplexet elektronisk last. Start av elektronisk last och analys av transienter av spänning och ström i fasta installationer med hög andel elektronisk last**

Transientskydd, dippskydd och UPS-lösningar är naturliga åtgärder men, övertoner ett växande problem i kvalificerade kontorsfastigheter. Apparater med PFC (Power Factor Correction) är den billigaste lösningen men det räcker inte alltid. Aktiva övertonsfilter kan vara nödvändigt att installera men det är en dyrbar lösning.

Kunskapsläget är otillfredsställande beträffande transienter i spänning och ström i fasta installationer med ett stort antal elektroniska laster (nätaggregat) vid kortslutningar, vid start av elnät. Särskilt gäller detta inrusningsströmmar och överströmmar i apparater i samband med start av elnät och snabb återinkoppling samt vid korta avbrott och dippar och återvändande spänning.

5.7 Framtiden

- **Differentierade elleveranser.**

För de flesta mogna produkter kommer den stund då leverantörerna söker sig till möjligheten att differentiera utbudet för säkra fortsatt tillväxt och ökad kundnöjdhet. För elenergibranschen gäller att produktutbudet har varit nästan statistiskt de senaste 50 åren. Man har erbjudit till alla kunderna nästan samma produkt – trots att kundernas behov är olika. Kundernas användning av produkten och deras beteenden har ändrats radikalt. Elenergi används numera till allt större del till nya användningsområden med betydligt större krav på kvalitet och leveranssäkerhet än tidigare. En del av de nya kraven skulle säkerligen kunna tillgodoses med differentiering av produktsortimentet, dvs. att ge kunderna ökad valfrihet i utbudet.

En utredning av, vilka olika elkvaliteter för elleveranserna, som kan vara av intresse för kunderna förslås som område för fördjupade studier. Analysen kan innehålla utredning av; marknadspotential, motiv, juridiska aspekter, affärsmodeller mm.

- **Analys av distribuerad generering med avseende på elkvalitet**

Elnäten kommer i framtiden att ha en mycket större andel distribuerad generering och lokal än nu och det pågår nu en stor utbyggnad av vindkraft. Detta kommer att ställa nya krav på elnätet och innebära nya problem inom elöverföringen. Elkvaliteten m.a.p. distribuerad generering från: Vindkraft, solkraft, bränsleceller, dieselmotorkraftverk (Gasmotorkraftverk), och andra lokala distribuerade generatorer etc. är ett angeläget område för fördjupade studier.

- **Analys av likströmsmatning**

Likströmsmatning från en lågspännings nätstation är ett nytt alternativ som löser många elkvalitetsproblem i elförsörjningen samtidigt. Första användningsområdet är så kallade "High Tech Buildings" och

industriprocesser. Likströmsmatning för dessa exempel kan studeras tekniskt och ekonomiskt. Ekonomi och nytta kan jämföras med motsvarande växelströmslösningar.

- **Förlustvärdering m.a.p. elkvalitet**

Vi vet idag alldeles för litet om de energiförluster som uppkommer genom bristande elkvalitet. Dessa är i stora delar dolda energiförluster. För alla större apparater i elnätet och nu i allt högre grad även för mindre apparater hos elanvändaren görs en förlustvärdering, antingen i absoluta tal eller via energieffektivitetsklassning. Förlustvärderingen baseras dock på mätningar vid en i det närmaste optimal elkvalitet. Det finns med andra ord stora risker att våra pay-off kalkyler (ekonomiska såväl som miljömässiga) baseras på felaktiga indata. Ett intressant fortsatt arbete vore att utnyttja de befintliga beräkningsmodeller som finns för motorer och transformatorer och kontrollera prestanda vid en varierande grad av elkvalitetsbrister. För mindre apparater (kyl, frys, ljuskällor etc.) kan istället provning vid bristande elkvalitet komma ifråga.

6 Referenser

6.1 Referenser i avsnitt 2

- [2:1] Ellag (1997:857), uppdaterad: t.o.m. SFS 2006:926
- [2:2] RiR 2006:3 Kvalitén i elöverföringen – finns förutsättningar för en effektiv tillsyn?, Riksrevisionsverket, 2006
- [2:3] Larsson, M. B-O. 2004. Nätnyttomodellen från insidan
- [2:4] EMC-direktiv 2004/108/EG om tillnärmning av medlemsstaternas lagstiftning om elektromagnetisk kompatibilitet och om upphävande av direktiv 89/336/EEG
- [2:4] B. Karlöf, S. Östblom. 1993. Benchmarking
- [2:5] SS-EN ISO 9000:2000 Ledningssystem för kvalitet – Principer och terminologi
- [2:6] SS-EN ISO 9004:2000 Ledningssystem för kvalitet – Vägledning till verksamhetsförbättring
- [2:7] SIS-Produktstöd – Vägledning till terminologi använd i ISO 9001:2000 och 9004:2000
- [2:8] SOSFS 2005:12 Socialstyrelsens föreskrifter om ledningssystem för kvalitet och patientsäkerhet i hälso- och sjukvården
- [2:9] LIVSFS 2005:20 Livsmedelsverkets föreskrifter om livsmedelshygien
- [2:10] AFS 2001:1 Arbetsmiljöverkets föreskrifter om systematiskt arbetsmiljöarbete
- [2:11] NSAB 2000 Nordiskt speditörsförbunds allmänna bestämmelser
- [2:12] ELSÄK-FS 2004:1 Elsäkerhetsverkets föreskrifter om hur elektriska starkströmsanläggningar skall vara utförda samt allmänna råd om tillämpningen av dessa föreskrifter
- [2:13] ELSÄK-FS 1996:2 Elsäkerhetsverkets föreskrifter om behörighet m.m. vid elinstallationsarbete samt allmänna råd om tillämpningen av dessa
- [2:14] God vård – om ledningssystem för kvalitet och patientsäkerhet i hälso- och sjukvården, Socialstyrelsen, 2006
- [2:15] M.H.J. Bollen, Understanding power quality – Voltage sags and interruptions, IEEE Press, 2000.
- [2:16] M.H.J. Bollen, I.Y.H. Gu, Signal processing of power-quality disturbances, Wiley / IEEE Press, 2006.
- [2:17] IEC 61000-4-30, Electromagnetic compatibility (EMV) – Part 4:30: Testing and measurement techniques – Power quality measurement techniques, February 2003.

- [2:18] Oak Ridge National Laboratory Oak Ridge, Tennessee 37831-6285, Measurement Practices for Reliability and Power Quality a Toolkit of Reliability Measurement Practices, June 2004
- [2:19] CIGRÉ, Joint Working Group Cigré C4.07 / Cired, (formerly Cigré WG 36.07), Power Quality Indices and Objectives, Final WG Report, January 2004, Rev. March 2004

6.2 Referenser i avsnitt 3

- [3:1] F. Martzloff. Power Quality Work at the International Electrotechnical Commission. Proceedings, PQA'97 Europe, Stockholm, 1997.
- [3:2] J. Garnert 1989. Ljus och kraft.
- [3:3] J. Glete 1983. ASEA under 100 år 1883-1983.
- [3:4] EPRI, DC Power Production, Delivery and Utilization, An EPRI Whitepaper, June 2006
- [3:5] My Ton, ECOS Consulting, Brian Fortenbery, EPRI solutions, Bill Tschudi, Lawrence Berkeley National Laboratory, High-Performance Buildings for High-Tech Industries, DC Power for Datacenters – a demonstration. September 2006
- [3:6] Elforsk rapport 99:3, Likström för drift av elektrisk utrustning i fastigheter
- [3:7] Elforsk rapport 99:44, Certifiering av utrustning för DC-drift
- [3:8] ETSI EN 300 132-3, Environmental Engineering (EE); Power supply interface at the input to telecommunications equipment; Part 3: Operated by rectified current source, alternating current source or direct current source up to 400 V.
- [3:9] M. Bollen, M. Häger. Power Quality: Interactions Between Distributed Energy Resources, the Grid, and Other Customers, Electrical Power Quality and Utilisation, Magazine Vol. I, No. 1, 2005
- [3:10] SEK, Svenska Elektriska Kommissionen informationskrift till CENELEC om likströmsmätning hösten 2006

6.3 Referenser i avsnitt 4

- [4:1] Elforsk rapport 04:42, Elkunders störningskostnader – Förstudie avseende värdering av elkunders störningskostnader till följd av dippar och korta avbrotti elförsörjningen
- [4:2] Svensk Energi AB, Elavbrottskostnader 2003, Uppdatering utförd under 2003 av rapporten, "Avbrottskostnader för elkunder från 1994.
- [4:3] EPRI: "Assessing Power Quality Impacts and Solutions for the California Food, Processing Industry, California Energy Commission, (CEC) ,Food Industry PQ Initiative An Application Oriented R&D Program.

- [4:4] Elforsk rapport 04:46, Utveckling Elkvalitet, Teknik, ekonomi och miljöaspekter inklusive delrapporter.
- [4:5] Elforsk rapport 99:46, Förslag till FoU-Program inom området Elkvalitet.
- [4:6] Elforsks rapport 03:22, Förstudie, Sårbarhet – Demoprojekt. "Förslag till principer för ett nytt eldistributionssystem som kan minska sårbarheten"
- [4:7] Energimyndigheten, Delrapport, God Elkvalitet 2003, Översiktlig redovisning av storleken på marknaden för förbättring av elkvalitet såsom produkter för reservkraft och produkter för transienter, filter och skärmning.
- [4:8] Energimyndigheten, "Förstudie för en nationell strategi för reservkraft", 2006.
- [4:9] Elforsk rapport 04:41, Teknisk beskrivning av spänningsdippar och korta avbrott. Kunskapssammanställning,
- [4:10] Elforsk rapport 04:43, "Förberedande kartläggning av spänningdippar i olika typer av nät"
- [4:11] Energimyndigheten, God elkvalitet, Slutredovisning av regeringsuppdrag 2003-10-27. inklusive delrapporter.
- [4:12] Energimyndigheten, Delrapport, God Elkvalitet 2003, Beskrivning av immunitetsläget mot transienter och överspänningar i elnätet, i elanvändares elektriska apparater, system och anläggningar.

7 Appendix

7.1 Bilaga 1. Redovisning av befintliga metoder och standarder för att beskriva nätets prestanda

7.1.1 Frekvens

Nominella värdet av frekvensen är 50 Hz i Sverige. Frekvensen bestäms av effektregleringen för de stora generatorerna. Frekvensen är detsamma i hela Nordelnätet och avvikelser från nominella värdet är liten; mindre än 0,1 Hz största del av tiden. Krav på driftsäkerhet av stora nät resulterar i krav på felfrekvens som är mycket striktare än kraven som utrustningen ställer.

Utöver det regleras medelvärdet av frekvensen i Norden så att avvikelse begränsas för klockor som använder nätfrekvensen som tidssignal.

Det finns därför ingen anledning att ställa krav på frekvensen från ett elkvalitetsperspektiv.

7.1.2 Spänningens amplitud

Spänningens amplitud karakteriseras genom effektivvärdet (rms). Nominella värdet för rms-spänningen är 230 Volt i allmänna lågspänningsnät i Sverige. För övriga nät bestäms nominell spänning från fall till fall.

SS-EN 50160 ger följande spänningskaraktistika: "*Under varje period om en vecka [skall] 95 % av antalet 10-minuters medelvärden av effektivvärdet hos matningsspänning vara inom $U_n \pm 10\%$* " Då U_n står för "declared voltage" som är 230 Volt i allmänna lågspänningsnät.

Dokumentet nämner även att "*varje 10-minuters effektivvärde hos matningsspänningen ska vara inom intervallet $U_n +10\%$ / -15%* " och att "*vid distribution i avlägsna områden med långa ledningar kan spänningen emellertid tillfälligt vara utanför intervallet $U_n +10\%$ / -15% . Kunderna bör informeras.*"

Spänningskaraktistikerna kan inte direkt användas som krav för spänningssgodhet. Men gränsvärden i EN 50160 kan användas som bas för att ställa krav. Hårdare krav införs då genom att ha 100 % gränsvärdet istället av 95 % och genom att använda 1-minuts värden istället för 10-minuters.

Kompatibilitetsnivåer enligt SS 421 1811 är att "*Spänningens effektivvärde ska ligga inom intervallet 207 – 244 V*". Enligt kompletterande upplysningar i standardtexten avser detta intervall "nöjaktig spänningsnivå" och förutsätter en "god spänningsnivå" med mindre avvikelse från nominell spänning. För motorer rekommenderas en spänning mellan 95 % och 105 % av märkspänningen [7:1].

Föreskrifter i Ungern [7:2] utgår från tre gränsvärden:

- 100 % av 10-minuters rms spänningar ska ligga mellan 85 % och 110 % av märkspänningen.
- 95 % av 10-minuters rms spänningar ska ligga mellan 92,5 och 107,5 % av märkspänningen.
- 100 % av 1-minuters rms spänningar ska vara mindre än 115 % av märkspänningen.

Vi ser här en kombination av EN-50160 gränsvärden (i första kravet) och striktare krav på elmiljön. Andra kravet tar 95% index med ett mindre intervall medan tredje kravet tillåter ett större intervall men för kortare perioder (1 min) och 100 % av tiden.

Enligt ett förslag till föreskrifter i Spanien [7:3] ska spänningen på sekundärsidan av mellanspänningstransformatorerna vara inom intervallet mellan 93 % och 107 % av märkspänningen. För varje mätpunkt registreras det årliga antalet 10-minutersvärden som ligger utanför gränserna. För ett distributionsbolag tas ett viktat medelvärde över alla mätpunkter. Viktningen sker enligt stationens last [7:4].

Kontraktet mellan distributionsbolag och kunder i Frankrike garanterar för mellanspänningskunder att 10-minuters rms-spänning är mellan 95 % och 105 % och märkspänningen [7:5]. För högspänningskunder varierar det tillåtna intervallet med spänningsnivån.

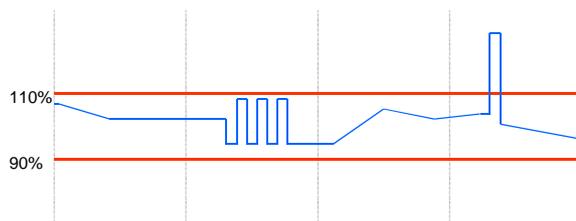
Enligt Norsk föreskrift ska 100 % av 1-minuters rms-värden ligga mellan 90 % och 110 % av märkspänningen [7:6].

Så långa spänningen ligger mellan 90 % och 110 % av det nominella värdet ska det inte uppstå något problem med utrustningar. Men om det finns långsiktiga avvikelser, till ex 109 % nästan kontinuerligt, så kan livslängden hos utrustning minska och förlusterna kan öka hos utrustning eller i nätet. Observera att en långvarig spänningsökning kan leda till en ökning eller en sänkning av strömmen beroende på utrustning.

Det finns inget underlag idag som skulle motivera en minskning av intervallet för spänningen till ett mindre intervall än mellan 90 % och 110 % av nominell spänningen. För framtiden behövs det en utvärdering av konsekvenserna för kortsiktiga (mellan 10 minuter och 24 timmar) och långsiktiga (dagar till år) avvikelser av spänningens amplitud från nominellvärdet.

Som en positiv bieffekt av att begränsa medelvärdet under längre tid (1 dag, 1 vecka) är att man på så sätt också minskar risken på kortvariga spänningshöjningar så länge det inte finns direkta krav på sådana. Vi återkommer till kortvariga spänningsökningar i ett senare avsnitt.

Europanormen EN 50160 behandlar bara 10-minuters effektivvärde. Två relaterade fenomen tas inte med i denna beskrivning. Det första är snabba eller stegvisa förändringar i spänningens amplitud som faller inom normala driftspänningen. Det andra fenomenet är kortvariga spänningssänkningar eller ökningar utanför normala driftspänningen, se Figur 7.1.2.1



Figur 7.1.2.1 Tidsförloppet av spänningens effektivvärde (blå) med gränserna på 10-minuters värden (röd).

Även om spänningens 10-minutersvärdet stannar inom normala driftspänningen kan det finnas problem med utrustningen. Båda fenomen kommer att behandlas senare.

7.1.3 Snabba variationer inom den normala driftspänningen

Den bäst kända konsekvensen av snabba variationer av spänningens amplitud är ljusflimmar. Därför finns det normer som sätter gränsvärden för dessa snabba variationer som leder till flimmar hos glödlampor. Vi återkommer till det i avsnitt 7.1.6.

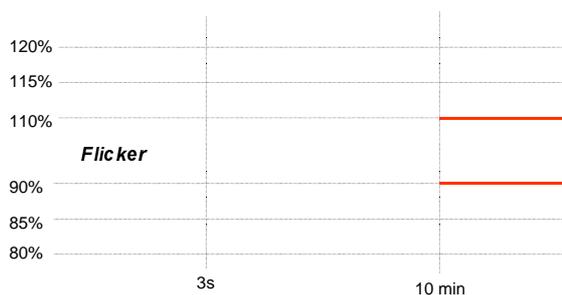
Inga andra snabba variationer begränsas av standarderna. En metod för att ta med variationer på tidsskalan mellan 3 sekunder och 1 minut introduceras i [7:7] och tillämpas i [7:8] och [7:9]. Metoden resulterar i ett värde var 10:e minut som ger medelvärdet hos avvikelser mellan 3-sekundersvärden och ett glidande 10-minuters värde. Metoden har hittills inte behandlats i någon standardiseringsorganisation.

Ett alternativt sätt att kvantifiera snabba spänningsvariationer är att ta skillnaden mellan högsta och lägsta 3-sekundersvärdena inom ett 10-minuters intervall [7:10].

Ett spänningssteg är en snabb ändring mellan två konstanta nivåer. Det finns gränser för antalet och storleken av spänningssteg i IEC 61000-4-15 [7:11] och IEC 61000-3-7 [7:12]. Spänningssteg behandlas i mer detalj i Avsnitt 7.1.15.

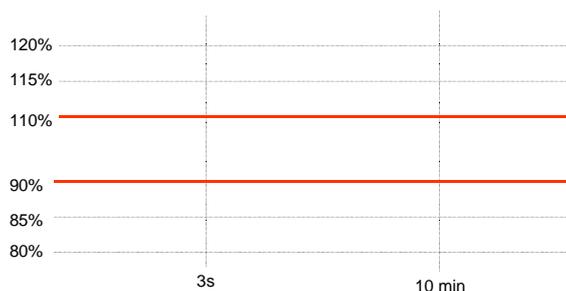
7.1.4 Kortvariga avvikelser utanför den normala driftspänningen

En annan begränsning av 10-minutersvärden som nämndes förut är att den kortvariga vistelsen utanför den normala driftspänningen inte begränsas. Den befintliga situationen visas i Figur 7.1.4.1, På en tidsskala längre än 10 minuter ska spänningen inte vara utanför intervallet mellan 90% och 110%. Normen behandlar inte kortare tidsskalor med undantag av flimmar, dippar och kortvariga spänningshöjningar. Vi återkommer till dem senare.



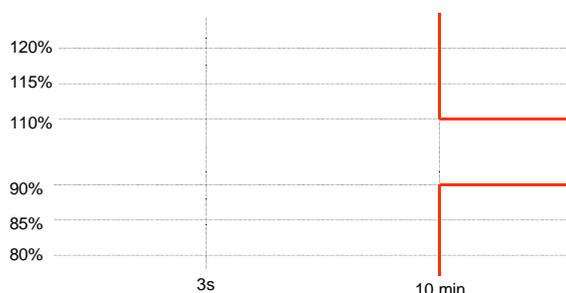
Figur 7.1.4.1 Gränsvärden på spänningens amplitud: befintliga situationen.

Att det inte finns en beskrivning i normen (och då tänker vi i första hand på EN 50160, men det även gäller för föreskrifter som i Norge) kan tolkas på två olika sätt. Enligt tolkningen i Figur 7.1.4.2, antas det att även på den korta tidsskalan ska det inte finnas några vistelsen utanför den normala driftspänningen. Det är så som gränsvärden tolkas av en del av kunder och även av en del av tillverkare av utrustning. Med 95-% gränser skulle det kanske gå att hålla gränserna konstanta men med 100-% gränser går det inte.



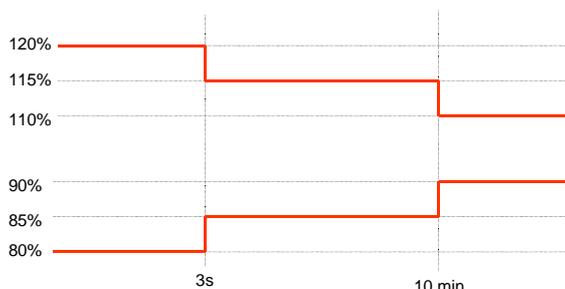
Figur 3.1.4.2 Gränsvärden för spänningens amplitud: tolkning till kundernas fördel.

Å andra sidan finns tolkningen enligt Figur 7.1.4.3, där det inte finns några begränsningar alls på spänningen. Spänningen får då vara "vad som helst" på kortare tidsskalor så länge 10-minuters medelvärde ligger inom gränserna. En allmän kritik av EN 50160 har varit just precis att spänningen får vara vad som helst och den därför inte kan tillåtas från elsäkerhetssynpunkt.



Figur 7.1.4.3 Gränsvärden för spänningens amplitud: tolkning till nätoperatörens fördel.

De två tolkningarna beskrivs här som "till kundernas fördel" och "till nätoperatörens fördel", men vi måste direkt slå fast att detta är en förenkling. Respektive extremtolkning kan inte upprätthållas: det behövs en kompromiss som tillåter mer variationer i spännings amplitud vid en kortare tidsskala. Ett rent hypotetisk exempel på en kompromiss visas i Figur 7.1.4.4.



Figur 7.1.4.4 Gränsvärden för spänningens amplitud: en möjlig kompromiss.

För att bestämma vad som är rimliga värden behövs det en koordinering mellan nätet och utrustning. Och då ska man ta hänsyn till att det faktiskt finns två koordineringar här. Först är det koordinering av gränsvärdena för spänningsvariationer. Utrymmet mellan gränsvärdena ska inte vara för stort för att då blir kostnaderna för höga för att göra utrustningar immuna mot över- och underspänningar. Men om utrymmet blir för liten då blir kostnaderna för höga för att förstärka nätet.

Det finns en koordineringsfråga till som möjligen är ännu svårare att besvara. Kortvariga vistelser utanför den normala driftspänningen uppstår till (stor) del på grund av lasten. Det kan vara stegformiga ändringar i lastströmmen som ger en spänningssänkning som då tar en viss tid att korrigeras med ledningskopplare. Men det kan också vara en kortare överström som ger en spänningssänkning. Ju hårdare krav det ställs på spänningarna ju hårdare krav ställs på strömmen som dras av kunderna och/eller av lasterna. Här behövs det en ansvarsfördelning lika på den som finns för övertoner (se avsnitt om övertoner):

- gränsvärden för kortvariga överströmmar, för steg i strömmens storlek, och på snabba variationer i strömmens storlek. Det är kundens ansvar att hålla sig inom dessa gränsvärden.
- gränsvärden på kortvariga spänningsvariationer t ex enligt Figur 7.1.4.4. Det är nätbolagens ansvar att hålla dessa.

Det ska det finnas en avstämning mellan gränsvärdena så att nätbolaget kan klara gränsvärdena om kunderna håller sig inom gränsvärdena.

Ett ramverk föreslås i [7:13] där det finns statistiska krav inom en ansvarskurva och absoluta krav på antalet händelser utanför denna ansvarskurva. Ett 100% värde är omöjligt att hålla medan 95% eller även 99% värden inte ger något krav på de resterande 5% eller 1% av tiden. Och 1% av ett år är fortfarande mer än 80 timmar. Ramverket som presenterades i [7:14] utgår inte längre från ett procentvärde men från det maximala antal gånger per året spänningen får vara utanför gränserna.

Frågan som kommer upp direkt är vad som kan vara rimliga gränsvärden för den kortvariga spänningsökningen. Vi återkommer till det i det nästa kapitlet. Frågeställningarna sammanfattas i Figur 7.1.4.5 [7:13].

Summary – a framework?

- Responsibility-sharing curve
 - equipment immunity above the curve
 - regulation below the curve
 - indicates what is “normal voltage”
- Voltage-dips and over/undervoltage events
 - site-specific objectives
 - balanced and unbalanced events
- Interruptions
 - continue with existing regulation
- Voltage variations
 - 95%; weekly average; 10-min/1-min/3-sec objectives.
 - Flicker and very-short-variation objectives.
 - Limits on number of excursions outside of the range (events)



Figur 7.1.4.5 Sammanfattning av frågeställningar kring kortvariga avvikelser utanför den normala driftspänningen

7.1.5 Osymmetri;

Osymmetri är avvikelser från ett balanserat trefassystem. Det finns olika sätt att kvantifiera osymmetri men inom IEC och Europeiska länder används minusföljdsspänningen. Konsekvensen av minusföljdsspänningen är en stark ökning av strömmen genom vissa typer av trefasutrustning. Det leder till minskad livslängd och ibland även till felutlösning. Nollföljdsspänningen har ingen påverkan på majoriteten av trefasutrustning och därför tas den sällan med i elkvalitetsstudier.

Osymmetri, både nollföljd och minusföljd, ger en ändring i spänningens amplitud i de olika faserna som på sitt sätt kan påverka utrustningen. Men det tas med i krav på spänningens amplitud.

Europannormen EN 50160 beskriver spänningskaraktistiken på följande sätt vad gäller osymmetri: *”Under normala driftförhållanden skall, under varje period av en vecka, 95 % av antalet 10 minuters medelvärden av effektivvärdet av matningsspänningens minusföljdskomponent vara inom 0 till 2 % av plusföljdskomponenten. I vissa områden med delvis enfas eller tvåfasanslutna kundinstallationer kan en osymmetri på upp till 3 % förekomma i anslutningspunkten.”*

Kompatibilitetsnivån för osymmetri enligt IEC 61000-2-2 är: *”en minusföljdskomponent som uppgår till 2 % av plusföljdskomponenten. I vissa*

områden, särskilt där stora enfaslaster är vanliga, kan värden upptill 3 % förekomma."

Kompatibilitetsnivåer enligt SS 421 18 11 är: "En spänningsosymmetri (..) kan tillåtas om detta – eller dess medelvärde mätt under 1 minut – understiger 2 % av nominell fasspänning" [7:1].

Enligt Norsk föreskrift ska 10-minuters medelvärde av minusföljdspeänningen inte överskrida 2 % [7:14].

Ett gränsvärde på 2 % används i de flesta länder för låg- och mellanspänningsnät. En diskussion pågår om rimliga gränsvärden för högre spänningar med 1 % och 2 % som extremen.

En viktig del av kraven på spänningsobalans är att det även behövs krav på obalans i strömmen till kundens utrustning. Planeringsvärdena används då för att bestämma tillåtna emissionsnivåerna. Relationen mellan emissionen och spänningsobalans är källimpedansen. En teknisk rapport för att bestämma emissionsnivåerna är under utveckling av IEC och förväntas publiceras under 2007.

7.1.6 Spänningsfluktuationer som leder till ljusflimmer;

En konsekvens av spänningsfluktuationer är att ljusintensiteten hos glödlampor fluktuerar. Om det händer med en viss repetitionsfrekvens och en viss intensitet så uppfattas det som störande. För att kvantifiera spänningsfluktuationer med hänsyn till detta har det utvecklats ett index: Pst eller "kortvarig flimmerintensitet". Metoden för att beräkna Pst från spänningens vågform är komplex och består av många steg [7:11]. Beräkningsmetoden ligger utanför rapporten men vissa egenskaper är värda att nämnas här.

Pst beräknas, enligt standarden, över en 10-minuters period. Att räkna ut värdet över en annan period är matematisk möjligt men resultaten bör tolkas med försiktighet.

Ett värde Pst=1 överensstämmer med en nivå av flimmer från en standard 60 W glödlampa som uppfattas som störande av 95 % av befolkningen. Det finns även här många diskussioner och i vissa fall finns det höga Pst värden som inte ger störande flimmer och tvärtom. Det är något som säkert behöver ytterlig forskning men ändå uppfattas Pst metoden som ett bra exempel på ett elkvalitetsindex.

En annan nackdel med Pst beräkningen är att den inte ger någon beskrivning av ljusflimmer för andra typer av belysning. I de flesta fallen är flimmer värst med glödlampor med i vissa fall kan det uppstå flimmer med andra typer av ljuskällor när glödlampor inte ger något problem. Mellantoner som ger flimmer hos lysrör är ett dokumenterat fall i litteraturen. Även elnätskommunikationen i kombination med ljusdimmer kan ge flimmer. Detta är också ett ämne som behöver mer forskning.

Trots dessa brister, är Pst en allmän accepterad metod för att kvantifiera nätets prestanda.

Enligt SS-EN 51060 är spänningskaraktistiken för spänningsfluktuationer: "Under normala driftförhållanden bör, under varje tidsperiod av en vecka,

långtidsvärdet Plt för långvarigt flimmer orsakat av spänningsvariationer högst vara 1 under 95 % av tiden."

Kompatibilitetsnivåer enligt IEC 61000-2-2 är: Pst=1 och Plt=0,8.

SS 421 1811 refererar till flimmerkurvan och anger att snabba "regelbundet återkommande stegvisa ändringar i spänningens effektivvärde ska ligga under (flimmerkurvan)".

På samma sätt som med obalans behövs det en koordinering mellan krav på nätet och krav på kunder och utrustning. En metod för att bestämma tillåtna emissionsnivåer beskrivs i den tekniska rapporten IEC 61000-3-7. Rapporten rekommenderar följande planeringsnivåer:

mellanspänningsnät: Pst=0,9; Plt=0,7.

högspänningsnät: Pst=0,7; Plt=0,6.

Dokumentet anger att man ska multiplicera med en transferfaktor för att ta hänsyn till möjlig dämpning av flimmernivån mellan PCC och klämmorna till glödlampor. Även CIGRE C4.07 påpekar användning av transferfaktorn men även här utan att ange ett riktvärde.

Enligt Norsk föreskrift gäller följande gränsvärden för låg- och mellanspänningsnät:

- Pst ska inte överskrida 1,2 under 95 % av veckan;
- Plt ska inte överskrida 1,0 under 100 % av tiden.

För spänningsnivåer över 35 kV gäller att:

- Pst ska inte överskrida 1,0 under 95 % av veckan;
- Plt ska inte överskrida 0,8 under 100 % av tiden.

7.1.7 Distorsion av spänningens vågform (övertoner och mellantoner);

Distorsionen av spänningens vågform kvantifieras genom frekvensspektrumet. Enligt standarder, IEC 61000-4-7 och IEC 61000-4-30, ska spektrumet beräknas med hjälp av en "discrete Fourier Transform" (DFT) över ett 10-perioders fönster. Från spektrumet beräknas "harmonic subgroups" och "interharmonic subgroups". Deras 10-perioders värden kombineras till 150-perioders och 10-minuters värden. I resten av texten refererar vi till "harmonic subgroups" som "övertoner" och till "interharmonic subgroups" som "mellantoner". Detaljerna av beräkningsmetoderna är inte viktigt för denna rapport, men det är viktigt att konstatera att det finns väldefinierade metoder i internationella standarder för att kvantifiera distorsion av spänningens vågform.

Enligt SS-EN 50160: "Under normala driftförhållanden skall, under varje period av en vecka, 95 % av antalet 10-minutes medelvärden för effektivvärdet för varje enskild överton i spänningen vara mindre än eller lika med värdena i [Tabell 7.1.7.1]. Resonanser kan orsaka högre spänningar hos en enskild överton. Dessutom skall den totala övertonshalten (THD) hos matningsspänningen (inklusive alla övertoner upp till och med den 40:e) vara mindre än eller lika med 8 %."

ordning	gränsvärde	ordning	gränsvärde	ordning	gränsvärde
2	2 %	11	3,5 %	20	0,5 %
3	5 %	12	0,5 %	21	0,5 %
4	1 %	13	3 %	22	0,5 %
5	6 %	14	0,5 %	23	1,5 %
6	0,5 %	15	0,5 %	24	0,5 %
7	5 %	16	0,5 %		
8	0,5 %	17	2 %		
9	1,5 %	18	0,5 %		
10	0,5 %	19	1,5 %		

Tabell 7.1.7.1. Spänningskaraktistiker för övertoner i låg- och mellanspänningsnät enligt SS-EN 50160.

Vid sidan av spänningskaraktistiker finns det även kompatibilitetsnivåer och planeringsnivåer för övertoner.

Kompatibilitetsnivåer för övertoner t.o.m. ordning 50 definieras i IEC 61000-2-2. Nivåerna för lågspänningsnät t.o.m. ordning 25 sammanfattas i Tabell 7.1.7.2.

ordning	gränsvärde	ordning	gränsvärde	ordning	gränsvärde
2	2 %	11	3,5 %	20	0,4 %
3	5 %	12	0,5 %	21	0,3 %
4	1 %	13	3 %	22	0,4 %
5	6 %	14	0,4 %	23	1,4 %
6	0,5 %	15	0,4 %	24	0,4 %
7	5 %	16	0,4 %	25	1,3 %
8	0,5 %	17	2 %		
9	1,5 %	18	0,4 %		
10	0,5 %	19	1,8 %		

Tabell 7.1.7.2. Kompatibilitetsnivåer för övertoner i lågspänningsnät enligt SS-EN 61000-2-2.

För korttidseffekter ska högre gränsvärden användas: "Med avseende på mycket kortvariga effekter erhåller kompatibilitetsnivåerna för de enskilda övertonerna de värden som anges i [Tabell 7.1.7.2], multiplicerad med en faktor k , där k erhålls genom:

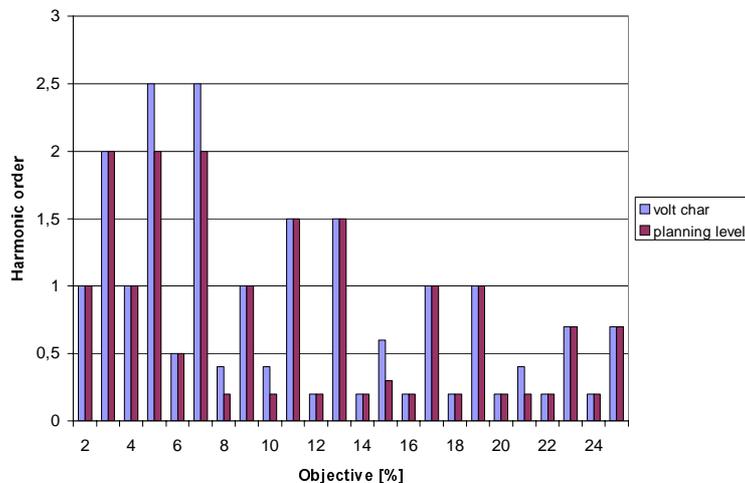
$$k = 1,3 + \frac{0,7}{45} \times (h - 5) "$$

Planeringsnivåer är ett internt planeringskriterium som ett nätbolag använder för att ställa sådana krav på kundernas emission att spänningsdistorsionen ligger inom gränsvärden. Eftersom planeringsnivåer är ett internt kriterium kan det inte anges standardvärden för dem. Men IEC 61000-3-6 rekommenderas vissa planeringsnivåer, som återges i tabell 7.1.7.3.

ordning	gränsvärde		ordning	gränsvärde		ordning	gränsvärde	
	MS	HS		MS	HS		MS	HS
2	1,6 %	1,5 %	11	3 %	1,5 %	20	0,2 %	0,2 %
3	4 %	2 %	12	0,2 %	0,2 %	21	0,2 %	0,2 %
4	1 %	1 %	13	2,5 %	1,5 %	22	0,2 %	0,2 %
5	5 %	2 %	14	0,2 %	0,2 %	23	1,2 %	0,7 %
6	0,5 %	0,5 %	15	0,3 %	0,3 %	24	0,2 %	0,2 %
7	4 %	2 %	16	0,2 %	0,2 %	25	1,2 %	0,7 %
8	0,4 %	0,4 %	17	1,6 %	1 %			
9	1,2 %	1 %	18	0,2 %	0,2 %			
10	0,4 %	0,4 %	19	1,2 %	1 %			

Tabell 7.1.7.3. Indikativa planeringsnivåer för övertoner i mellan- och högspänningsnät enligt IEC 61000-3-6.

Svenska Kraftnät anger spänningskaraktistiker och planeringsnivåer för övertoner i det tekniska dokumentet TR6. Gränsvärden sammanfattas i Figur 7.1.7.1. Enligt definitionen ska spänningskaraktistiker vara högre eller lika med planeringsnivåerna.



Figur 7.1.7.1, Spänningskarakteristiken och planeringsnivåer för övertoner i Svenska stamnätet.

Kompatibilitetsvärden enligt SS 421 1811 är 4 % för udda toner och 1 % för jämna toner. Övertonsnivåerna ska mätas som ett medelvärde under 3 sekunder. Övertoner med ordningstal över 7 bör begränsas till en lägre nivå än angivna värden.

Som EMC nivå för THD gäller 6 %.

Koordinering mellan nätets spänningsdistorsion och kundernas emission behövs också för övertoner. Enligt IEC standarder ska emission begränsas för utrustningen. Gränsvärden för emission finns i IEC 61000-3-2 och IEC 61000-3-4. Utöver det finns det metoder för att begränsa emission av hela anläggningar. Metoderna beskrivs i den tekniska rapporten IEC 61000-3-6 för kunder som är direktmatade från mellan- eller högspänningsnät.

Den amerikanska standarden IEEE 519 ger inga begränsningar för utrustningens emission men begränsar bara emission från hela anläggningen. Emissionsgränserna beror på kvoten mellan kortslutningseffekten och kundernas abonnerade effekt. Ju större kvoten (dvs. ju mindre lasten) ju större emission tillåts.

Mellantoner är vågformsdistorsion på grund av frekvenskomponenter som är ingen hel multipel av (50-Hz) grundtonen. Dessa mellantoner förekommer som enskilda toner eller som ett bredbandigt brus.

SS-EN 50160 ger inga spänningskaraktistiker för mellantoner.

SS-EN 61000-2-2 ger bara kompatibilitetsnivåer för mellantoner som ligger nära 50-Hz grundtonen, som kan ge upphov till ljusflicker.

IEC 61000-3-6 ger följande gränsvärden för mellantoner:

- 0,2 % up till 100 Hz
- 0,5 % mellan 100 Hz och 2,5 kHz
- 0,3 % mellan 2,5 och 5 kHz

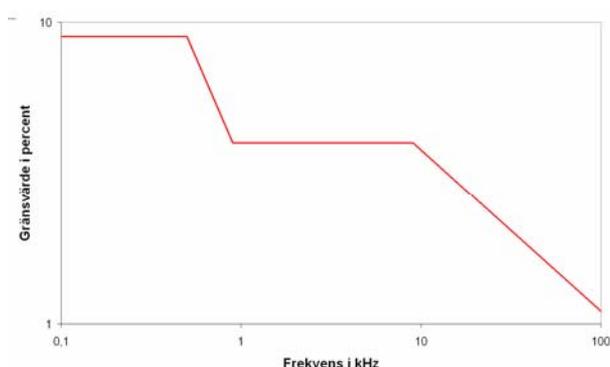
Planeringsnivåerna för mellantoner rekommenderas att vara 0,2 %.

7.1.8 Likspänningskomponenter;

Det finns inga gränsvärden för likspänningskomponenter.

7.1.9 Rundstyrningssignaler

Spänningskaraktistiken enligt SS-EN 50160 är: *"Under mer än 99 % av dygnet ska tresekundersmedelvärdet hos signalspänningen vara mindre eller lika med värdena i [Figur 7.1.9.1]."*



Figur 7.1.9.1, Gränsvärden för rundstyrningssignaler enligt EN 50160

I frekvensbandet mellan 95 och 148,5 kHz ska det tas hänsyn till en signalnivå med effektivvärden upp till 1,4 V (0.6 %). Observera att dessa frekvenser är avsedda för kommunikation inom kundernas anläggningar.

Kompatibilitetsnivåer enligt SS 421 1811 är: *"Elleverantören skall tillse att signalnivån ligger under EMC nivån även vid lägsta nätbelastning och därtill även om resonans med signalfrekvensen skulle uppträda i nätet."* Nivåerna är 9 % av märkspänning mellan 100 och 500 Hz och gå ner proportionellt med frekvensen mellan 500 och 2000 Hz. Inga gränsvärden är angivna över 2000 Hz.

7.1.10 Högfrekventa signaler

Det finns inga gränsvärden för spänningsdistorsion för frekvenser över 2 kHz, utöver de som sätts för rundstyrningssignaler. Detta innebär att signaleringen kan störas av apparater som inte är avsedda för signalering.

7.1.11 Avbrott

Det finns inga krav i standarderna på antalet och varaktighet hos avbrott, men många länder ställer krav i sina regelverk. Man kan skilja mellan två olika typ av gränsvärden:

- gränser på index som kvantifierar hela nätets prestanda.

- gränser på antalet och varaktighet av avbrott för enskilda kunder.

Båda används i många länder. I Sverige sätter Nätnyttomodellen gränser på medelvärdet medan Ellagen anger att varaktigheten av ett avbrott inte ska överskrida 24 timmar.

Hela nätets prestanda beskrivs genom olika index. En komplett lista över index definieras i IEEE Std. 1366, men ett begränsat antal har allmän användning.

- SAIFI ("System average interruption frequency index"), Medelavbrottsfrekvens beräknat på hela kundbasen > 3 min.
- SAIDI ("System average interruption duration index"), Medelavbrottstid beräknat på hela kundbasen.
- CAIDI ("Customer average interruption duration index"), Genomsnittlig avbrottstid per avbrott. Otillgänglighet per kund eller antalet avbrottsminuter per kund, $CAIDI = SAIDI / SAIFI$
- MAIFI ("Momentary average interruption frequency index"), Medelavbrottsfrekvens beräknat på hela kundbasen < 3 min. (projektets antagande)

Observera att båda ger medelvärdet över hela nätet och att gränsvärden enligt dessa inte garanterar en hög tillförlitlighet för alla kunder. Om t ex 10 % av kunderna har 10 avbrott under ett år medan resten inte har något, så är antalet avbrott per kund lika med 1.

Sedan många år finns diskussioner att det ska ställas krav även på, t ex 95 % värdet för antalet avbrott, men då behövs det ytterliga data som inte finns tillgänglig i de flesta länder. I Europa finns sådana data bara i Ungern, Italien och Norge [7:16].

Olika länder har krav på antalet och varaktighet hos avbrott för individuella kunder, de sammanfattas i Tabell 7.1.11.1. Då det finns ett intervall gäller olika gränsvärden för landsbygd och stadsnät. Gränsvärden i tabellen kan ses som ett svar på frågan "Vad är god elkvalitet"? Och det syns direkt att svaret är olika för olika länder och även inom samma land för kunder på olika spänningsnivåer och i olika delar av landet.

Gränsvärden sätts nästan alltid så att nätbolag klarar av kraven för de flesta kunder. Skillnader i gränsvärden speglar därför troligen skillnaden i befintliga nivåer av tillförlitlighet. Att ställa samma krav i alla länder både för stadsnät och för landsbygdsnät skulle, enligt allmän opinion, vara orimlig för nätbolagen och/eller på kunderna. Kunderna i stadsnät skulle inte acceptera tillförlitlighetskrav baserat på befintlig nivå på landsbygd medan kostnader för att uppfylla krav baserat på stadsnät skulle leda till oacceptabla kostnader för nätbolag (och därmed för kunderna). Principen att använda befintliga nivåer som bas för kvalitetskrav används ofta utan att principen explicit nämns. Vi återkomma till det senare när vi behandlar spänningsdippar.

land	max timmar per avbrott	max timmar per år	max antal långa avbrott per år	max antal korta avbrott per år
Belgien	4			
Finland	12		12 - 24 (LV) 8 - 20 (MV)	
Frankrike	6		2 - 6 (MV)	2 - 30 (MV)
Italien			3 - 5 (MV) 1 (HV)	
Litauen	24			
Poland		60 (LV)		
Portugal		6 - 20 (LV) 4 - 16 (MV) 4 (HV)	12 - 36 (LV) 8 - 30 (MV) 8 (HV)	
Spanien	20 - 24	6 - 20 (LV) 4 - 16 (MV) 6 (HV)	12 - 24 (LV) 8 - 20 (MV) 8 (HV)	
Storbritannien	18		3 (>3 tim)	
Tjeckien	18 (LV) 12 (MV)			
Ungern	12 - 18			

Tabell 7.1.11.1 Gränsvärden för antalet och varaktighet av avbrott

7.1.12 Avbrott i spänning eller i ström

Ett avbrott kan definieras på två olika sätt: som en spänning som är nära noll; eller som bortfall av den galvaniska förbindelsen mellan nätet och kunden. Det är den sista definitionen som används för att samla avbrottsstatistik. Anledningen är helt enkelt att det är då som nätbolag har tillgång till information, framförallt när det gäller långa avbrott.

Inom elkvalitet behandlas avbrott som ett "spänningsavbrott" dvs. en störning där spänningen är nära noll. I de flesta fall är de två definitionerna lika, men ibland finns det skillnader.

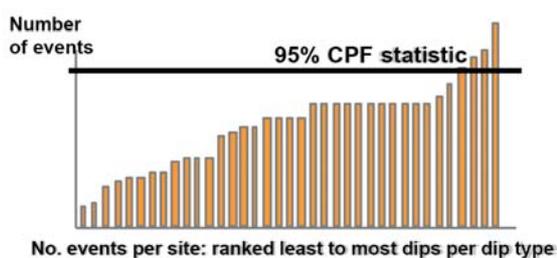
Skillnaden blir viktigt i arbetet att samla statistik för korta avbrott och dippar. Ska man då mäta spänningen hos kunderna eller samla information i nätet och göra en uppskattning från denna. Diskussionen har ännu inte startat men resultatet kan ge en stor skillnad i investeringsbehov.

7.1.13 Spänningsdippar;

Det finns inga gränsvärden i standarderna för spänningsdippar i de flesta länder. Gränsvärden på antalet dippar finns i Frankrike och i Sydafrika.

Ett avtal skrivs mellan nätbolag och varje mellan- och högspänningskund i Frankrike [7:5]. Gränsvärden finns för antalet spänningsdippar med kvarstående spänning under 70 % och varaktighet längre än 600 ms. För mellanspänningskunder baseras gränsvärdet på lokala förutsättningar, men är minst 5 dippar per år. För högspänningskunder baseras gränsvärdet på det uppmätta antalet dippar under en 4-års period.

I Sydafrika finns det redan en andra version av en standard som reglerar antalet spänningsdippar. Första versionen (NRS-048) hade olika gränsvärden för antalet dippar för landsbyggs och stadsnät och för olika spänningsnivåer. Gränsvärden baserades på 95 % värdet från mätningar, se Figur 7.1.13.1.



Figur 7.1.13.1 Gränsvärden för dippar i Sydafrika enligt NRS-048 [7:17].

Att ta samma gränsvärden för en stor grupp av kunderna gav problem. För de flesta kunderna var gränsvärdena oacceptabla, samtidigt var det nästan omöjligt för nätbolag att innehålla gränsvärden för en liten del av kunderna.

Den andra versionen av standard utgår därför inte längre från fasta gränsvärden utan baseras på en process som ger gränsvärden baserade på befintlig prestanda av nätet, Figur 7.1.13.2.



Figur 7.1.13.2 Gränsvärden för dippar i Syd Afrika enligt NRS-048-2 [7:17].

Nya standarden baseras på dippmanagement, ett exempel finns i Tabell 7.1.13.1. Dippfrekvensen ges för olika kombinationer av kvarstående spänning och varaktighet. För de svarta cellerna i tabellen anses kunden ansvarig för att se till att utrustningen klarar dippen. Den praktiska erfarenheten visar att det ger rimliga krav på utrustning. För de andra cellerna är nätbolaget ansvarigt för att begränsa antalet dippar.

Exemplet nedan gäller en förstärkning av nätet då nya överföringsledningar byggdes. Fel på dessa nya ledningar ger nya dippar och därmed en ökning av antalet dippar hos kunderna. Antalet dippar efter förstärkningen anges i figuren som numret inom parentes. Ökningen gäller framförallt dipparna som kan (ska) klaras av utrustningen. Antalet dippar där nätbolaget ansvarar minskade från 37 till 28 om året och sänkningen gäller framförallt dipparna med lägsta kvarstående spänning.

Remaining Voltage u % of U_d	Duration t		
	$20 \leq t < 150$ (ms)	$150 \leq t < 600$ (ms)	$0.6 \leq t < 3$ (s)
$90 > u \geq 85$			
$85 > u \geq 80$	1 (22)		
$80 > u \geq 70$			0 (0)
$70 > u \geq 60$	8 (12)	1 (1)	0 (0)
$60 > u \geq 40$	7 (6)		
$40 > u \geq 0$	21 (9)		

Tabell 7.1.13.1 Ett exempel på dippmanagement enligt NRS-048-2 [7:18].

Kurvan som skiljer mellan "krav på utrustning" och "krav på nätet" kommer att refereras till senare som "ansvarsfördelningskurvan".

7.1.14 Kortvariga spänningsökningar;

Kortvariga spänningsökningar är mindre allmänna än dippar och de påverkar bara en bråkdel av kunderna. Men då spänningssänkningar "bara" leder till driftavbrott, leder kortvariga spänningsökningar ofta till skadade apparater.

Det finns för närvarande inga gränsvärden i standarder eller i nationella regelverk för kortvariga spänningsökningar. Målet med 1-minuters värden för spänningen i Norge och i Ungern är delvis att förebygga kortvariga spänningsökningar.

7.1.15 Spänningssteg

Spänningskarakteristiken enligt EN 50160 är "*Under normala driftförhållanden överstiger i allmänhet inte de snabba spänningsändringarna 5 % av U_n men under vissa omständigheter kan en kortvarig ändring på upp till 10 % förekomma någon gång under ett dygn*".

Planeringsnivåer för spänningssteg i mellan- och högspänningsnät finns i IEC 61000-3-7. De sammanfattas i Figur 7.1.15.1. Observera att spänningssteg på 1,25 % får inträffa enligt dokumentet, i mellanspänningsnät 1000 gånger per timme, dvs. varje 4 sekunder.

Antalet steg per timme	Steget	
	MS	HS
up till 1	4 %	3 %
1 till 10	3 %	2,5 %
10 till 100	2 %	1,5 %
100 till 1000	1,25 %	1 %

Tabell 7.1.15.1 Gränsvärden på spänningssteg i mellan- och högspänningsnät enligt IEC 61000-3-7.

Norsk föreskrift NVE 13-04 ger gränsvärden på antalet spänningssteg. De sammanfattas i tabell 7.1.15.2. Inget steg får vara högre än 10 % i lågspänningsnät medan steg som inträffar mer än 24 gånger om dygn inte får överstiga 3 % av märkspänningen.

Antalet steg per dygn	Steget	
	LS	MS
1	10 %	6 %
up till 24	5 %	4 %
mer än 24	3 %	3 %

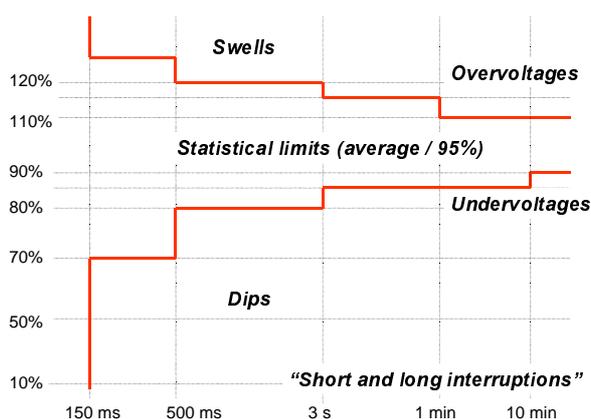
Tabell 7.1.15.2, Gränsvärden på spänningssteg enligt Norsk föreskrift NVE 13-04.

7.1.16 Transienter.

Det finns inga gränsvärden för transienter i standarder eller i nationella regelverk.

7.2 Bilaga 2. Redovisning av olika ramverk och förslag för gränsvärden för kortvariga spänningssänkningar och spänningsökningar och andra elkvalitetsparametrar.

7.2.1 Snabba och långsamma variationer i spänningsamplitud



Figur 7.2.1.1, Ett ramverk för att behandla långsamma och snabba variationer i spänningens amplitud.

Ramverket är baserat på skillnaden mellan elkvalitetshändelser och elkvalitetsvariationer. Det finns olika sätt att definiera skillnaden, se t ex [7:19]. Variationer kan mätas kontinuerligt och nätets prestanda presenteras som ett procentvärde per dygn, per vecka eller per år. Händelser behöver en trigger för att starta mätningen och nätets prestanda presenteras som ett antal händelser per år. Övertoner och mellantoner, spänningens frekvens och effektivvärde, flimmer och obalans är variationer. Korta och långa avbrott, kortvariga spänningssänkningar och - ökning, spänningssteg och transienter är händelser. För variationer finns det metoder att kvantifiera nätets prestanda och gränsvärden. Man kan säga att EN 50160 kan användas som en bas för variationer. Skillnader i gränsvärden mellan olika länder är liten och diskussioner riktar sig mot detaljer. För händelser finns det inga sådana metoder eller gränsvärden, även om det sker en utveckling även här. Där det finns gränsvärden, framförallt för avbrott, varierar de mycket mellan olika länder. Se till exempel gränsvärden för avbrott enligt Tabell 7.1.11.1.

Spänningens effektivvärde behandlas som en variation: spänningsskarakteristiken är värdet som inte ska överskridas under 95 % av tiden. Kortvariga spänningssänkningar behandlas som en händelse: nätets prestanda anges som ett antal händelser som inte ska överskridas. Men både variationen och händelsen använder spänningens effektivvärde som bas.

De röda kurvorna in Figur 7.2.1.1 antyder gränsen mellan händelser och variationer. Ytan mellan kurvorna anses som "vanlig driftspänning". Utrustningen och de industriella processerna ska klara den vanliga

driftspänningen. Nätets prestanda vad gäller den vanliga driftspänningen ska beskrivas genom statistiska värden. Ett exempel av möjliga index och gränsvärden är:

- medelvärdet under en vecka ska för varje kund ligga mellan 95 % och 105 % av märkspänningen.
- medelvärdet under en vecka för alla kunder ska ligga mellan 97 % och 103 % av märkspänningen.
- 95 % av 10-minuters medelvärden under en vecka ska för varje kund ligga mellan 93 och 107 % av märkspänningen.
- 95 % av 3-sekunders medelvärden under en vecka ska för varje kund ligga mellan 90 % och 110 % av märkspänningen.

När spänningens effektivvärde överskrider eller underskrider kurvan räknas det som en händelse. Antalet händelsen ska rapporteras och begränsas.

De röda kurvorna fastställer ansvaret för kunden och för nätbolag. Kundens ansvar är att se till att utrustning och processen klarar vanliga driftspänningen medan nätbolag ansvar för att begränsa antalet gånger spänningen är utanför den vanliga driftspänningen.

Observera att det inte längre finns 100 % gränsvärden för spänningens effektivvärde. Ansvarsfördelningskurvan är jämförbart med 100 % gränsvärdet men är inte nödvändigtvis en absolut gräns. Ett begränsat antal överskridningar (dvs. händelser) kan vara tillåten.

7.2.2 Ansvarsfördelningskurvan för spänningssänkningar

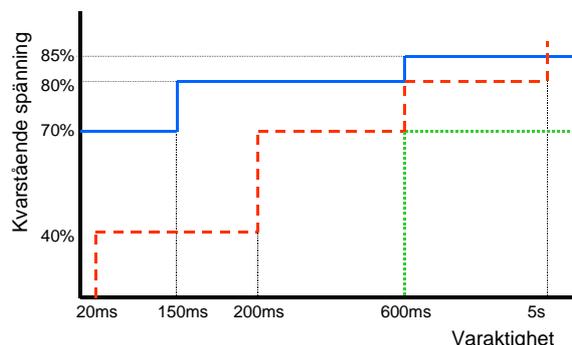
Som nämndes i avsnitt 7.1.13 finns två ansvarsfördelningskurvor som används i nationella standarder:

- Enligt kontraktet med mellanspänningskunder i Frankrike ansvarar kunderna för dippar kortare än 600 ms och alla dippar med kvarstående spänning över 70 %.
- Elkvalitetsnormen som används i Sydafrika lägger ansvaret hos kunden för dippar med kvarstående spänning över 70 % med varaktighet mindre än 150 ms, över 80 % med varaktighet mindre än 600 ms och över 85 % för längre dippar.

I båda fall ansvar nätbolaget för alla övriga dippar, vilket kan tolkas som en ansvarsfördelningskurvan precis som den som introducerades i förra avsnittet.

Standarden som beskriver provning av utrustning mot spänningsdippar, IEC 61000-4-11, anger följande dippar som utrustning ska testas mot (kvarstående spänning, varaktighet): 0 % 10 ms; 0 % 20 ms; 40 %, 200 ms; 70 %, 500 ms; 80 %, 5 s. Rent juridisk ställer denna standard inget krav på utrustning; kravet ställs i produktstandarder där det bestäms om och på vilket sätt utrustning ska klara testerna. Men för enkelhetens skull refererar vi till provningen som krav på utrustning.

Båda ansvarsfördelningskurvorna är angivna i Figur 7.2.2.1. Även kraven på utrustning enligt IEC 61000-4-11 är angiven.



Figur 7.2.2.1 Ansvarsfördelningskurvan enligt kontraktet med mellanspänningskunder i Frankrike (grön prickat), enligt Sydafrika standarden NRS-048 (blå heldragen) och krav på utrustning enligt IEC 61000-4-11 (röd, streckad).

En framtida ansvarsfördelningskurva kommer troligen att ligga någonstans i området angiven i figuren. Observera att i de flesta länder finns det inget krav på nätet för händelser kortare än 3 minuter.

Diskussionen ovan gäller för enfasutrustning där dippen kan karakteriseras med en spänning och en varaktighet. För trefasutrustning behövs det tas hänsyn till skillnaderna i kvarstående spänning i de olika faserna. Olika metoder finns för att ta med dippar för trefasutrustning.

Standarden IEC 61000-4-11 föreskriver att spänningssänkningen inträffar mellan en fas och nollan eller mellan två faser. Standarden för att mäta elkvalitet, IEC 61000-4-30, föreskriver att den lägsta av de tre spänningarna ska tas som kvarstående spänning.

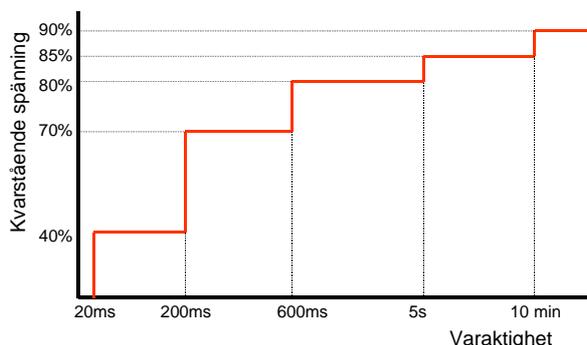
En alternativ metod för att kvantifiera dippar vid trefasutrustning beskrivs i [7:19, 7:20]. Metoden leder till en karakteristisk spänning som är oberoende av anslutningen av mätinstrumentet (fas-jord eller fas-fas) och som inte ändras när en dipp går genom en D-y transformator. Metoden kräver att dipparna indelas i olika typer. En lämplig uppdelning för en ansvarsfördelning skulle vara:

- Typ A: spänningssänkning i alla tre faser;
- Typ C: spänningssänkning mellan två faser;
- Typ D: spänningssänkning mellan fas och noll.

En fortsatt diskussion behövs för att bedöma hur ansvarsfördelningskurvan ska tillämpas på trefasutrustning.

En möjlig ansvarsfördelningskurva visas i Figur 7.2.2.2. Kurvan baseras på IEC 61000-4-11. Om denna standard allmänt kommer att användas som ett krav på utrustning och på produktionsprocessen, så kan det vara rimlig att nätbolaget ansvar för händelserna som utrustningen inte behöva klara.

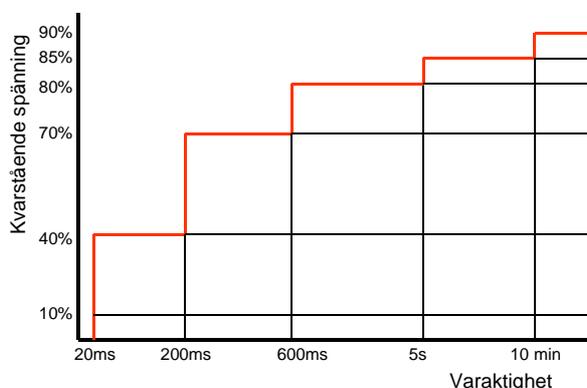
Vi återkommer till spänningssänkningar med en varaktighet längre än 5 sekunder.



Figur 7.2.2.2 Ansvarsfördelningskurvan baserad på IEC 61000-4-11.

7.2.3 Gränsvärden på kortvariga spänningssänkningar

Efter att en ansvarsfördelningskurva har definierats ska antalet händelser under kurvan begränsas. Det är lämpligt att dela upp ytan under kurvan i celler och att ange ett maximalt tillåtet antal händelser per cell. Ett hypotetiskt exempel visas i Figur 7.2.3.1. Gränsen mellan cellerna är helt enkelt tagen som tid och spänningvärden i ansvarsfördelningskurvan (20 ms; 200 ms och 600 ms samt 40 %, 70 % och 80 %). Ett extra spänningvärde har lagts till för att kunna identifiera korta avbrott. Observera att korta avbrott också kan definieras på ett annat sätt, se diskussionen i avsnitt 7.1.12.



Figur 7.2.3.1 Hypotetiskt exempel på indelning av kortvariga spänningssänkningar.

7.2.4 Gränsvärden på långvariga spänningssänkningar

I ramverket som föreslås här finns det ingen direkt skillnad mellan kortvariga och långvariga spänningssänkningar. Ansvarsfördelningskurvan i Figur 7.2.1.1 täcker båda kortvariga och långvariga spänningssänkningar. Långvariga spänningssänkningar refereras ibland till som "underspänningen".

På samma sätt som för kortvariga spänningssänkningen ska antalet långvariga spänningssänkningen begränsas. Utöver det kan det betyda att totala längden registreras. Det kan då gälla alla spänningssänkningar (utanför ansvarsfördelningskurvan) eller bara spänningssänkningar i en viss ruta i Figur 7.2.3.1. Kvantifieringen blir då lika som för avbrott: antalet händelser samt totala varaktighet.

Att ställa rimliga gränsvärden är svårt och beror säkert också mycket på positionen i nätet. Men för långvariga spänningssänkningen ska gränsvärden troligen ligga i samma storleksordning som gränsvärden för långa avbrott.

7.2.5 Ansvarsfördelningskurvan för spänningsökningar

Rent teoretisk gäller samma ramverk för spänningsökningar som för spänningssänkningar: i båda fallen behövs det en ansvarsfördelningskurva och gränsvärden för antalet händelser utanför kurvan.

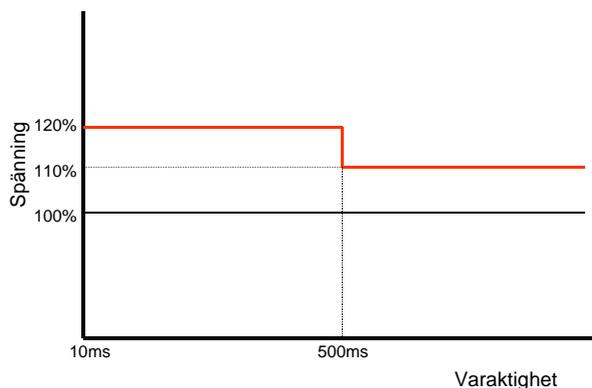
När man väljer ansvarsfördelningskurvan och gränsvärden ska man inse att det finns en stor skillnad i konsekvenser för underspänningar och överspänningar. Kortvariga underspänningar ger i de flesta fall "bara" driftavbrott medan kortvariga överspänningar oftast ger skadade apparater. Det betyder att överspänningar är alvarligare, framförallt för hushållskunder. För industrikunder kan kostnader för ett produktionsstopp vara så höga att apparatskadorna är försumbara.

För de flesta lågspänningskunder är det acceptabelt att ha ett tiotal spänningssänkningar varje år, medan en överspänning aldrig ska inträffa. Det ställer andra krav på ansvarsfördelningskurvan med spänningsökningar än med spänningssänkningar. Även det tillåtna antalet händelser utanför kurvan ska vara lägre för spänningsökningar.

Arbetet inom elkvalitet har, under de senaste åren, inriktat sig mycket mot spänningssänkningar medan spänningsökningar inte har fått så mycket uppmärksamhet. En konsekvens är att det inte finns så många förslag om vilka krav ska ställas på nätet och på utrustning vad gäller kortvariga och långvariga spänningsökningar.

Båda CBEMA kurvan och ITIC kurvan anger vilka spänningsökningar utrustningen ska klara. För långvariga spänningsökningar anger CBEMA 105 % av märkspänningen och ITIC 110 % av märkspänningen. Enligt CBEMA kan högre spänningar tillåtas för varaktigheter mindre än 200 ms, upp till 115 % för 20-ms varaktighet. ITIC tillåter 120 % av märkspänningen för varaktighet mindre än 500 ms.

Förslaget på ansvarsfördelningen i Figur 7.2.5.1 baseras på den nyare ITIC kurvan.



Figur 7.2.5.1 Ansvarsfördelningskurvan för överspänningar baserad på ITIC-kurvan.

7.2.6 Gränsvärden för spänningsökningar

Som nämndes förut är konsekvenser av spänningsökningar mer allvariga än av spänningssänkningar. Därför ska det tillåtna antalet vara lågt eller även noll.

7.2.7 Gränsvärden för transienta spänningsökningar

Uppkomst och spridning av snabba spänningsökningar (varaktighet mindre än 10 ms) beror mycket på utrustning hos kunden och kundens nät. Vi inser att dessa snabba spänningsökningar kan leda till allvarliga skador men vill, på grund av problematikens komplexitet, föreslå att för tillfället inte ta med snabba spänningsökningar i beskrivningen av spänningskvalitet som levereras till kunden.

7.2.8 Händelser och variationer inom det normala driftspänningsområdet

Tre olika typer av störningar i spänningens amplitud nämndes förut som inträffar inom det normala driftspänningsområdet, men som ändå ska tas med i en beskrivning av nätets prestanda.

Den första är snabba spänningsfluktuationer som leder till flimmer hos glödlampor. Det finns ett bra regelverk för de, så att vi inte behöver gå vidare in i det.

Spänningssteg behöver mer utveckling: ett väldefinierat mätprotokoll och acceptabla gränsvärden. Om det kommer att finnas gränsvärden för spänningssteg ska det även finnas gränsvärden för lastvariationer.

Den tredje störningen innehåller variationer i spänningens amplitud med en tidsskala mellan några sekunder och 10 minuter. Här behövs det utveckling av ett prestandaindex samt gränsvärden. Det ska även finnas en koordinering med krav på lastvariationer.

7.2.9 Osymmetri

De befintliga metoderna för att begränsa osymmetri kan fortsatt användas. Det rekommenderas att använda 100 % gränsvärden istället för 95 % gränsvärden.

I fall där en 100 % gräns inte är möjlig kan osymmetrihändelser definieras på samma sätt som i ramverket för spänningens amplitud. En osymmetrihändelse skulle, till exempel, inträffa när minusföljdspänningen överskrider 2 % av märkspänningen under mer än 3 sekunder. Antalet osymmetrihändelser skulle då begränsas som funktion av varaktighet och minusföljdspänningen.

På samma sätt ska det då ställas krav på kortvariga ökningen av minusföljdströmmen.

7.2.10 Distorsion av spänningens vågform

De befintliga metoderna för att begränsa distorsion kan fortsatt användas. Det rekommenderas även här att använda 100 % gränsvärden eller att definiera distorsionshändelser.

Det finns för tillfället inga gränsvärden för mellantoner och för distorsion i frekvensbandet över 2 kHz. Det rekommenderas att utveckla sådana metoder.

7.2.11 Likspänningskomponenter

Det finns bara mycket begränsad information om likspänningskomponenter i nätspänningen. Inga allmänna problem rapporteras på grund av likspänningskomponenter.

Därför dras slutsatsen här att den inte behövs prestandaindex eller gränsvärden för likspänningskomponenter.

7.2.12 Rundstyrningssignaler

Rundstyrningssignaler kommer att användas allt oftare, båda i elnätet och i kunders anläggningar. Det finns gränsvärden i EN 50160 men det behövs en bedömning av deras lämplighet.

Ytterligare studier behövs om hur rundstyrningssignaler påverkar utrustning och hur utrustning påverkar kommunikationskanalen.

7.2.13 Avbrott

Befintliga metoder för att kvantifiera avbrott ska vidareutvecklas. För att kvantifiera nätets prestanda behövs olika gränsvärden:

- medelvärdet på antalet avbrott över ett (stort) antal kunder;
- medelvärdet på den totala avbrottstiden över ett (stort) antal kunder;
- varaktighet på enskilda avbrott;

- antalet avbrott för enskilda kunder.

7.2.14 Positionsberoende gränsvärden

Det finns en skillnad mellan variationer och händelser som inte påpekades så mycket men som har en stor inflytande på hur kunderna uppfattar nätets prestanda.

Så länge en variation är under gränsvärdet kommer kunder inte att märka något. Om utrustning får problem med 6 % THD så spelar det ingen roll om distorsionen är 1 % eller 5,5 %. Det kan finnas en viss minskning i apparatens livslängd med det kan vara svårt för kunden att lägga märka till. Om distorsionen skulle öka från 1 till 5,5 % skulle kunden inte blir missnöjd. Det betyder att gränsvärdet kan bestämmas av utrustningen känslighet och att gränsvärdet kan vara lika för att kunder.

Med händelser blir bilden helt annorlunda. Varje händelse ger möjliga driftstörningar eller skador på utrustningen. En ökning av antalet händelser skulle direkt leda till en ökning av antalet driftstörningar eller skador och därmed troligen till en ökning av antalet klagomål.

Det har direkta konsekvenser för hur man sätter gränsvärden. Kunderna med ett lågt antal händelser i den befintliga situationen kommer inte att acceptera ett gränsvärde som ligger mycket högre än den nivå de har nu. I stadsmiljö är 5 avbrott per år helt oacceptabelt medan det skulle räknas som bra på landsbygd i vissa länder. Det är därför att vissa länder ger olika gränsvärden för antalet avbrott i olika delar av nätet. Den svenska Nätnyttomodellen leder också till gränsvärden som beror på kundtätthet och därmed till en högre tillförlitlighet i städer än på landet.

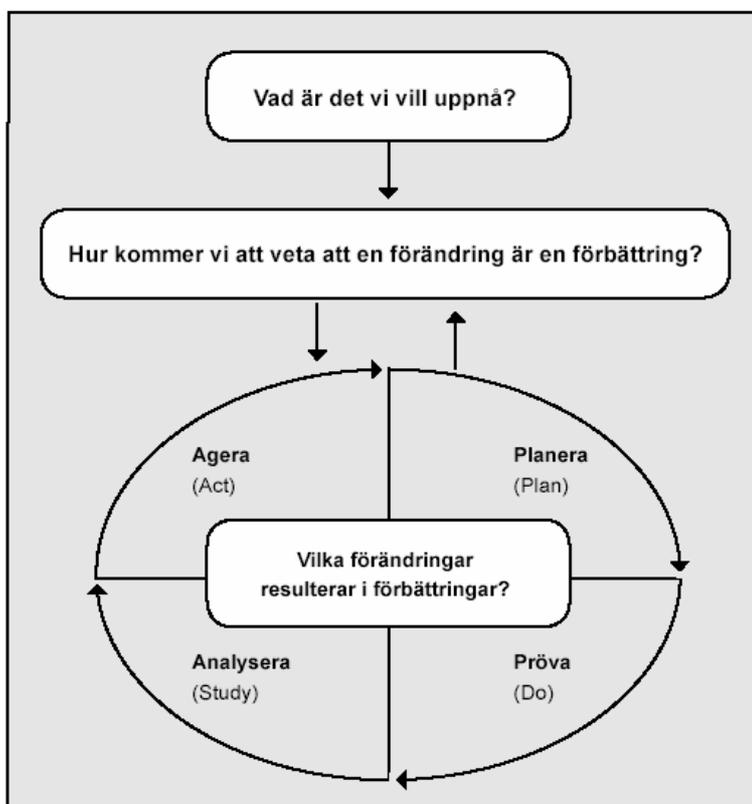
Att sätta gränsvärdet på samma nivå i hela landet som för stadsnät skulle säkert göra alla kunder glada men skulle leda till oacceptabelt höga kostnader.

Slutsatsen är att gränsvärdena ska vara platsberoende. Det behövs utveckling av metoder för att bestämma lämpliga gränsvärden för spänningssänkningar och spänningsökningar. Både Frankrike och Sydafrika baserar gränsvärden på mätningar över en längre tid. Beräkningar skulle kunna ersätta mätningarna och leda till ett snabbare beslut om lämpliga gränsvärden.

7.3 Bilaga 3. Verksamhetssystem och systematiskt kvalitetsarbete

Ett verksamhetssystem kan vara enkelt och inte mera komplext än nödvändigt. Varje verksamhet behöver därför anpassa sitt systematiska kvalitetsarbete till de egna förutsättningarna och verksamhetssystemet bör inte vara mer omfattande än vad som är nödvändigt för att uppfylla verksamhetens mål – i vårt fall elöverföring av god kvalitet. Dessa mål ska vara mätbara, dokumenteras och kontinuerligt följas upp.

En modell som ofta används för systematiskt kvalitetsarbete är kvalitetshjulet eller PDSA-cykeln, Plan-Do-Study-Act enligt figur 7.3.1 nedan.



Figur 7.3.1¹ Kvalitetshjulet eller PDSA-cykeln

Standarden ISO 9001 presenterar åtta ledningsprinciper som rätt tillämpade leder till ett total kvalitetstänkande, vilket säkerställer viktiga framgångsfaktorer för företag såsom ökat engagemang och ökad kompetens. Principerna har utvecklats för att högsta ledningen skulle kunna använda dem för att kunna leda företaget mot förbättrad prestationsförmåga. Dessa ledningsprinciper är:

1. Kundfokus
2. Ledarskap

¹ Figuren hämtad ur [7.21]

3. Medarbetarengagemang
4. Processinriktning
5. Systemangreppssätt för ledningen
6. Ständiga förbättringar
7. Faktabaserade resultat
8. Ömsesidigt fördelaktiga relationer till leverantörer

Ledningsprinciperna faller ut i ett stort antal kravelement enligt tabell 7.3.1 nedan.

<i>Nr</i>	<i>Innehåll</i>
4	Ledningssystem för kvalitet (enbart rubrik)
4.1	Allmänna krav
4.2	Dokumentationskrav (enbart rubrik)
4.2.1	Allmänt
4.2.2	Kvalitetsmanual
4.2.3	Styrning av specificerande dokument
4.2.4	Styrning av redovisande dokument
5	Ledningens ansvar (enbart rubrik)
5.1	Ledningens åtagande
5.2	Kundfokus
5.3	Kvalitetspolicy
5.4	Planering (enbart rubrik)
5.4.1	Kvalitetsmål
5.4.2	Planering av ledningssystem för kvalitet
5.5	Ansvar, befogenhet och kommunikation (enbart rubrik)
5.5.1	Ansvar och befogenhet
5.5.2	Ledningens representant
5.5.3	Intern kommunikation
5.6	Ledningens genomgång (enbart rubrik)
5.6.1	Allmänt
5.6.2	Underlag för genomgång
5.6.3	Resultat av genomgång
6	Hantering av resurser (enbart rubrik)
6.1	Tillhandahållande av resurser
6.2	Personalresurser (enbart rubrik)
6.2.1	Allmänt
6.2.2	Kompetens, medvetenhet och praktisk utbildning
6.3	Infrastruktur
6.4	Verksamhetsmiljö

Tabell 7.3.1 Kravelement ur SS-EN ISO 9001:2000

<i>Nr</i>	<i>Innehåll</i>
7	Produktframtagning (enbart rubrik)
7.1	Planering av produktframtagning
7.2	Kundanknutna processer (enbart rubrik)
7.2.1	Fastställande av produktanknutna krav
7.2.2	Genomgång av produktanknutna krav
7.2.3	Kommunikation med kund
7.3	Konstruktion och utveckling (enbart rubrik)
7.3.1	Planering av konstruktion och utveckling
7.3.2	Underlag för konstruktion och utveckling
7.3.3	Resultat av konstruktion och utveckling
7.3.4	Genomgång av konstruktion och utveckling
7.3.5	Verifiering av konstruktions- och utvecklingsresultat
7.3.6	Validering av konstruktions- och utvecklingsresultat
7.3.7	Styrning av ändringar i konstruktions- och utvecklingsresultat
7.4	Inköp (enbart rubrik)
7.4.1	Inköpsprocess
7.4.2	Inköpsinformation
7.4.3	Verifiering av inköpt produkt
7.5	Produktion av varor och utförande av tjänster (enbart rubrik)
7.5.1	Styrning av produktion av varor och utförande av tjänster
7.5.2	Validering av processer för produktion och utförande av tjänster
7.5.3	Identifikation och spårbarhet
7.5.4	Kundens egendom
7.5.5	Skyddande av produkt
7.6	Behandling av övervaknings- och mätutrustning
8	Mätning, analys och förbättring (enbart rubrik)
8.1	Allmänt
8.2	Övervakning och mätning (enbart rubrik)
8.2.1	Kundtillfredsställelse
8.2.2	Intern revision
8.2.3	Övervakning och mätning av processer
8.2.4	Övervakning och mätning av produkt
8.3	Behandling av avvikande produkter
8.4	Analys av information
8.5	Förbättring (enbart rubrik)
8.5.1	Ständig förbättring
8.5.2	Korrigerande åtgärder
8.5.3	Förebyggande åtgärder

Tabell 7.3.1 Kravelement ur SS-EN ISO 9001:2000, fortsättning

7.4 Referenser till Appendix

- [7:1] Spänningsgodhet i lågspänningsnät för allmän distribution, Svensk Standard SS 421 1811, april 1989.
- [7:2] T.Tersztyanszky, Voltage quality regulation in Hungary, Technical workshop on voltage quality standards, Milan, 29 September 2006.
- [7:3] A.C. Martinez, Voltage quality regulation in Spain, Technical workshop on voltage quality standards, Milan, 29 September 2006.
- [7:4] J. Amentegui, PQ measurement procedure in Spain, Round table on Power Quality at the interface Transmission Distribution, CIRED 2003, Barcelona, Spain.
- [7:5] F. Delestre, O. Gonbeau, Power quality – requirements and actual levels in France, Technical workshop on voltage quality standards, Milan, 29 September 2006.
- [7:6] K. Sand, VQ requirements and field evidence on actual VQ levels – Norway, Technical workshop on voltage quality standards, Milan, 29 September 2006.
- [7:7] M.H.J. Bollen, I.Y.H. Gu, Characterization of voltage variations in the very-short time scale, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.20, No.2 (April 2005).
- [7:8] M.H.J. Bollen, M. Häger, C. Schwaegerl, Quantifying voltage variations on a time scale between 3 seconds and 10 minutes, Int. Conf. on Electric Distribution Systems (CIRED), Turin, Italy, June 2005.
- [7:9] B. Bletterie, Very short variations in voltage due to photovoltaics installations, abstract submitted to CIRED 2007.
- [7:10] A. Dan, Report on voltage quality survey performed on the Hungarian low voltage network, Technical workshop on voltage quality standards, Milan, 29 September 2006.
- [7:11] IEC 61000-4-15, Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4: Testing and measurement techniques – Section 15: Flickermeter – Functional and design specifications, February 2003.
- [7:12] IEC 61000-3-7, Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3: Limits – Section 7: Assessment of emission limits for fluctuating loads in MV and HV power systems, October 1996.
- [7:13] M.H.J. Bollen, Voltage variations, voltage dip thresholds and dip tables: a framework, Technical workshop on voltage quality standards, Milan, 29 September 2006.
- [7:15] M.O.J. Andersson, S.K. Rönnerberg, C.M. Lundmark, E.O.A. Larsson, M. Wahlberg, M.H.J. Bollen, Interfering signals and attenuation - potential problems with communication via the power grid, Nordic Distribution Automation Conference (Nordac), Stockholm, August 2006.
- [7:14] F. Trongereid, Forskrift om leveringskvalitet i kraftsystemet, NVE dokument 2004-13, December 2004.
- [7:16] Council of European Energy Regulators, Third benchmarking report on quality of electricity supply, 2005. www.ceer-eu.org.
- [7:17] R.G. Koch, P. Balgobind, E. Tshwele, New developments in the management of power quality performance in a regulated environment, Africon 2002
- [7:18] R. Koch, P. Balgobind, P. Johnsson, I. Sigwebela, R. McCurrach, D. Bhana, J. Wilson, Power quality management in a regulated environment: the South African experience., CIGRE Sessions, 2004.

- [7:19] Math Bollen, Irene Gu, Signal processing of power-quality disturbances, Wiley/IEEE Press, July 2006.
- [7:20] M.H.J. Bollen, Characterisation of voltage sags experienced by three-phase adjustable-speed drives, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.12, no.4, Oct. 1997, pp.1666-1671.
- [7:21] God vård – om ledningssystem för kvalitet och patientsäkerhet i hälso- och sjukvården, Socialstyrelsen, 2006