

Förberedande kartläggning av spänningsdippar i olika typer av nät

Elforsk rapport 04:43

Förberedande kartläggning av spänningsdippar i olika typer av nät

Elforsk rapport 04-43

Författare
Ulf Johansson
Ulf Grape

Juni 2004

Förberedande kartläggning av spänningsdippar i olika typer av nät

Elforsk rapport 04:43

Ulf Johansson
Ulf Grape



Förord [rubrik 0]

Text [normal]

Stockholm månad år

Förnamn Efternamn

Elforsk AB

(Förordet skrivs och undertecknas av Elforsk, dvs ansvarig handläggare, programområdesansvarig eller VD. Det ingår i de rapporter som det bedöms som lämpligt att ge "Elforsks perspektiv" och kommentarer kring innehållet. I förordet bör finansierande företag och referens/styrgruppgrupper omnämnas.)

Sammanfattning

Kortvariga spänningssänkningar (spänningsdippar) bedöms vara bland de mest besvärliga elkvalitetsfenomenen. Inte minst processindustrier drabbas årligen av kostsamma driftstörningar pga dipparna. Emellertid har dipparnas förekomst och karaktär varit relativt dåligt kända och detta projekt är ett led i att få bättre kunskap.

Sedan 1997 har Vattenfall Utveckling registrerat spänningsdippar hos ett antal större processindustrier. I föreliggande studie har mätresultat från sex av dessa punkter sammanvägts med registreringar från sex nya punkter som etablerades sommaren 2002 och användes i projektet fram till hösten 2003. Avsikten har varit att registrera och analysera spänningsdippar i olika typer av nät i punkter fördelade över landet. Därför har de kompletterande mätpunkterna placerats i småindustriområden på mellanspänningsnivå, såväl i landsbygdsnät som i stadsnät.

Under mätperioden har, sett över alla mätpunkter, i medeltal 1,8 st dippar förekommit per månad. I internationella studier redovisas i allmänhet högre dippfrekvens. Däremot är överensstämmelsen god med de svenska mätningarna i DISDIP-studien 1989–90 där i genomsnitt 1,7 st dippar noterades per månad. I studien redovisas stora skillnader mellan de olika mätplatserna. Dippfrekvensen varierar mellan 0,8 och 3,5 per månad. Stora skillnader i förekomst av dippar har noterats från år till år. Götaland har hög dippfrekvens, dels genom att åskfrekvensen är hög på många håll, men också genom nätens utformning vid mätplatserna i denna region. Distributionsnät på landsbygden har avsevärt högre felfrekvens än övriga nät. Att mellanspänningsnät med luftledning är utsatta för väderrelaterade och andra störningar framgår tydligt av mätresultatet. Andelen 1- och 2-fasdippar är också avsevärt högre för dessa nät.

Åska är den klart vanligaste orsaken till dippar och sett över alla platserna bedöms ca 60 % av dipparna vara åskrelaterade. Följaktligen inträffar en mycket stor del av dipparna under sommaren, men denna dominans är inte lika tydlig för landsbygdsnäten. Under de år som mätningarna pågätt (1997-2003) har andelen okända fel minskat.

Mätningarna och elkvalitetsarbetet inom Holmengruppen har bidragit till en god kommunikation med nätbolagen. En positiv effekt av detta är att orsaken till vissa okända fel kunnat fastställas. Det finns också exempel på att elkvalitetsarbetet bidragit till nätförbättringar (främst kontrollanläggningsåtgärder) som tydligt avspeglas i mätresultatet.

Ett viktigt resultat i projektet är iakttagelsen att kortslutningseffekt och ”antennlängd” påverkar dipparnas karaktär och förekomst. Mätresultatet visar exempel på att hög kortslutningseffekt bidrar till grundare dippar, men också att ett starkt nät kan bidra till en större exponeringsyta (antennlängd) för åska med högre antal dippar som följd. Hur stor exponeringsytan blir skiljer sig en hel del från fall till fall beroende på nätets utförande och spänningsnivån på de ingående ledningarna. Iakttagelsen visar att det inte är självklart att ett starkt maskat nät ger färre störningar och bättre driftresultat för kunderna än ett radiellt nät.

Summary

Voltage dips and short interruptions are among the most disturbing power quality phenomena. Process industries and other customers are affected by costly disturbances every year due to dips. However, the knowledge of the occurrence and character of the dips has been rather poor and this project is aiming to give a contribution to a better knowledge in this respect.

Vattenfall Utveckling has monitored voltage dips at a number of large process industries since 1997. In this study measurement results from six of these sites are analysed together with measurement data from six new sites which were set up in the summer 2002 and in use for the project till the autumn 2003. The purpose has been to monitor and analyse voltage dips in various types of networks in points distributed over the country. Thus, the complementary measurement points were placed in areas of minor industries on medium voltage level, in rural as well as in urban areas.

The measured dip rate, as a mean value for all sites, was 1.8 dips per month. International studies usually indicate a higher occurrence of dips, but there is a good correspondence with the Swedish measurements within the DISDIP study. The mean value for the latter measurements, performed 1989-90, was 1.7 dips per month. Major differences were registered between the sites, from 0.8 to 3.5 per month, and as well as from year to year. The southern part of Sweden had a high dip rate, partly due to a relatively high lightning intensity and partly depending on the grid structure. Distribution networks in rural areas has higher failure rate than other. It is evident from the results that medium voltage networks with overhead lines are much exposed to weather related and other failures. The portion of unsymmetrical failures is also higher for these networks.

Lightning is the most common cause of dips and an assessment for all sites is that about 60 % are caused by lightning. Accordingly a major part of the dips occurs in the summertime, but this dominance is not so evident for networks in rural areas. During the measurement period the portion of unknown causes has been reduced significantly.

The monitoring and other power quality activities within the Holmen group has contributed to a good communication between the industries and the utilities. One positive effect of this is that the cause of some type of failures has been clarified. In addition there are examples that the power quality activities, related to the monitoring, has resulted in better supply networks. Such improvements are clearly indicated in the measurement results.

An important result is the observation that the short circuit power and “antenna length” has an influence on the character and occurrence of the dips. The measurement results show examples that high short circuit power leads to less deep dips, but also that such strong networks may contribute to a large area of exposure (antenna length) for lightnings, resulting in a high dip rate. The size of this area is different from case to case depending on the grid structure and voltage level. This observation shows that a meshed network does not always give less disturbances and better performance for the customers than a radial grid.

Innehållsförteckning

1	INLEDNING	1
1.1	BAKGRUND	2
1.2	MÅL.....	3
1.3	RAPPORTENS DISPOSITION.....	3
2	MÄTPUNKTER.....	4
3	MÄTRESULTAT OCH ANALYS	6
3.1	MÄTRESULTAT	6
3.2	JÄMFÖRELSE MELLAN OLIKA TYPER AV NÄT	49
3.3	ÅKTIONSRADIE	52
3.4	ORSAKER	58
3.5	SAMMANFATTNING AV ÅSKSÄSONGERNA (2002-2003)	58
3.6	EXEMPEL PÅ FÖRBÄTTRING I NÄT	60
3.7	AVVÄGNING KORTSLUTNINGSEFFEKT”ANTENNLÄNGD”	61
4	TEKNISK BAKGRUNDSINFORMATION	63
4.1	TILLÄMPLIGA STANDARDER/TEKNISKA RAPPORTER	63
4.2	DEFINITIONER.....	65
4.3	BESKRIVNING AV STÖRNINGSFENOMEN	66
4.4	MÄTUTRUSTNING	72
5	SLUTSATSER.....	76
6	REFERENSER	77

Bilagor

A MONTHLY TOTALS OF MONITOR AVAILABILITY

1 Inledning

Projektet *Förberedande kartläggning av spänningsdippar i olika typer av nät* har som huvudsyfte att registrera, bearbeta och analysera spänningsdippar i några representativa nät samt hos kundkategorier med datortäta eller processnära miljöer och dessutom utvärdera tidigare registreringar i ytterligare sex mätpunkter i anslutning till industriella processanläggningar.



Figur 1.1 I decennier har det varit känt att åskan är den största orsaken till spänningsdippar. Inte minst genom att effekterna får så vid omfattning i elnätet drabbas många kunder svårt.

I förslag till FoU-program inom området Elkvalitet, Elforsk rapport 99:46, föreslås en kartläggning av spänningsdippar i olika typer av nät. Spänningsdippar och korta avbrott

har identifierats som ett av de värsta elkvalitetsproblemen. Att dessa problem tycks öka beror uppenbarligen på den ökande användningen av datorer och andra känsliga elektroniska apparater. Elforsk har därför beslutat att som en del i ett större elkvalitetsprojekt inleda studier av förekomsten av spänningsdippar och korta avbrott.

Det stora totala antalet mätdygn (15 000) har blivit möjligt genom tillmötesgående från de medverkande industrierna, inte minst inom Holmengruppen.

1.1 Bakgrund

Kortvariga spänningssänkningar (spänningsdippar) utgör ett betydande problem för många av elnätsbolagens kunder genom att dipparna ofta orsakar att en eller ett fåtal viktiga driftenheter slås ut utan att hela processen omedelbart stoppas eller styrs ner kontrollerat vilket ofta leder till svårare driftavbrott.

Spänningsdippar har flera orsaker och är ofta mycket svåra att förutse, även om åska och andra naturfenomen är vanliga orsaker. Det är i praktiken omöjligt att undvika spänningsdippar i allmänna transmissions- och distributionsnät och dipparnas karaktär speglar i hög grad hur väl skyddssystemen fungerar. Det är i allmänhet dåligt kartlagt hur ofta dippar förekommer, vilken karaktär de har och hur de påverkar användarnas utrustning. Störningskänsligheten förändras också i takt med att användarnas ansluter ny typ av utrustning.

Antalet mätpunkter bestämmer till stor del möjligheten att bedöma spänningsdipparnas spridning i samband med en störning. Det är därför av fördel att så många mätutrustningar som möjligt kan installeras och att utförda registreringar kan tidsrelateras.

Utifrån erfarenhet av loggning av spänningsdippar på 15 – 20 platser under 5 – 6 år bedömer vi att följande är viktigt:

Trefasig mätning. Spänningsdippar kan orsakas av 1, 2 eller 3 – fasiga fel. Om enfasmätning görs missar man ett betydande antal dippar eller får missvisande uppfattning om dipparnas djup.

Bestämning av feltyp. Feltyper bör identifieras (1,2 eller 3-fas, återkommande dippar etc.) och särredovisas. Beträffande redovisning av dipparna förekommer ett halvduzin olika varianter. Den vanligaste, notering i statistiken som *en* händelse oberoende av feltyp, har brister eftersom driftstörningarna hos användarna i hög grad beror på feltypen. Övriga redovisningsmetoder har nackdelar ur andra synvinklar. Bestämning av redovisningsmetod bör göras i samförstånd inom elbranschen, en diskussion som lämpligen förs under Elforsks ledning.

Lång mättid. Minimum ett år, för att ge användbar statistik erfordras flera år. Dipprelaterade fel dominerar under åsksäsongen, men de fel av andra orsaker som förekommer under resten av året måste också kartläggas.

Orsak och verkan. Statistiken blir avsevärt mer användbar om, utöver kartläggning av dipparnas karaktär, även uppgifter om orsak och händelser i nätet tas med liksom anteckningar om inverkan på driften hos utvalda elanvändare.

1.2 Mål

Elforsksprojektet har som mål att sammanställa förekomsten av dippar i ett antal kopplings- eller kundknutpunkter i nätet. Dels skall förekomsten av dippar studeras hos ett antal olika kundkategorier, dels vara fördelade så bra som möjligt över landet.

För varje mätpunkt i nätet bestäms antalet dippar per månad och deras längd.

Projektet förväntas pågå under ett antal år beroende på att händelser relaterade till dippar förekommer i relativt begränsad omfattning och är av slumpmässig karaktär.

1.3 Rapportens disposition

I rapporten presenteras först mätplatserna, därefter mätresultat för de olika mätpunkterna samt iakttagelser och erfarenheter från det samlade mätaterialet. Oaktat att den tekniska bakgrundsbeskrivningen kan vara viktig för förståelsen av de inledande avsnitten har denna information placerats efter resultat- och analysavsnittet. Denna bakgrundsinformation innehåller bl a uppgifter om relevant standard, definitioner samt beskrivning av störningsfenomenen och mätsystemet.

2 Mätpunkter

Mätningar har under decennier utförts stokastiskt i nät och hos kunder med varierande verksamhet. Mätningarna utförs sällan efter enhetliga regler och det är mycket ovanligt att data efter mätningar registreras och förvaras på sådant sätt att dessa kan användas i andra sammanhang. Ofta utförs akuta mätningar i syfte att försöka avhjälpa direkta fel och när felet väl avhjulpts saknas intresse att hantera registreringarna för fortsatt behandling. Det finns således få tillfällen då registreringar utförs med metoder och mätutrustningar som ger jämförbara resultat. Under 90-talet utförde UNIPEDE en stor gemensam studie i ett flertal europeiska länder med många deltagande elnätsoperatörer i Sverige. Detta är den första kända kartläggningen av spänningsvariationer i Sverige där mätningar utförts med någorlunda likvärdiga mätmetoder och mätinstrument. Tillgängligheten vid den kartläggningen var förhållandevis låg vilket innebar att det var relativt ovanligt att mätpunkter samtidigt gav registreringar som kunde användas för undersökningen av de olika spänningsfenomenens spridning.

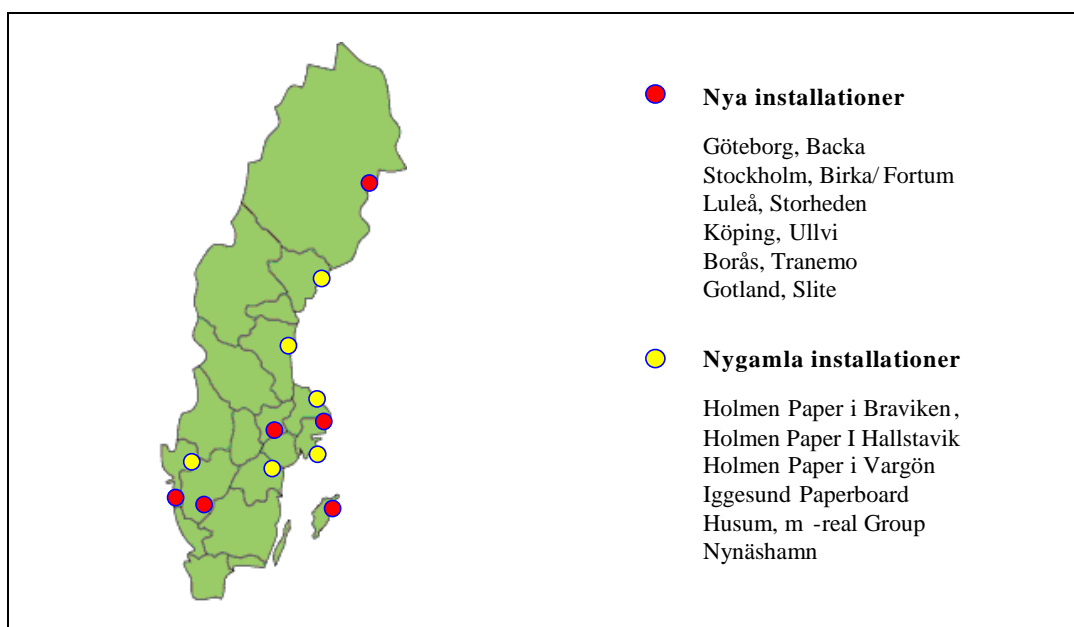
Med erfarenheter från dessa tidigare mätningar har man insett att mängden instrument vid en kartläggning av spänningsfenomen behövs utökas väsentligt liksom vikten av valet av lämpliga anslutningspunkter för mätutrustningen. Stor möda har därför lagts vid att finna lämpliga placeringar i elkraftsystemet för att se utbredningen hos en spänningsdipp, se förekomsten av dippar hos olika kundkategorier, påverkan hos kunder och för att få en så god geografisk spridning som möjligt.

Syftet med projektet ”Förberedande kartläggning av spänningsdippar i olika typer av nät” har varit att i en förberedande studie försöka ta reda på vilka värden en huvudstudie kan ge och hur en huvudstudie lämpligast kan utformas. Genom projektets begränsade resurser har antalet instrument inte varit tillräckligt för att ge en fullständig geografisk täckning av hela landet eller möjlighet att täcka in alla typer av kunder. Detta till trots är detta den största enhetliga kartläggning av spänningsdippar som utförts i landet.

I projektet ingår totalt 12 mätpunkter fördelade enligt överenskommelse inom elbranschen (Elforsk), av dessa bekostas sex mätpunkter (*nya installationer*) av projektet medan de övriga sex mätpunkterna (*nygamla installationer*) består av mätdata som ställts till förfogande av industrikunder.

Geografisk placering framgår av figur 2.1. Valda mätpunkter har relativt olika förutsättningar både till typ av belastning och spänningsnivå. Punkterna är utvalda tillsammans med Elforsk i syfte att täcka upp olika områden och olika typer av nät i landet.

1. Göteborg, distributionsstation på 10 kV som matar småindustri i Backaområdet.
2. Stockholm, Fortums kontor, stark matningspunkt, 10 kV.
3. Luleå, köpcentrum, distribution och småindustri på Storheden, 10 kV.
4. Köping, matningspunkt till verkstadsindustri i landsbygdsnät, 130 kV.
5. Borås, distributionsnät till småindustri i Tranemoområdet 10 kV.
6. Slite, lokal fördelningsskena i industriområde 5 kV.
7. Braviken, matning till pappersindustri, 130 kV.
8. Hallstavik, fördelningsskena i pappersindustri, 5 kV.
9. Vargön, fördelningsskena i pappersindustri, 10 kV.
10. Iggesund, fördelningsskena i pappersindustri, 10 kV.
11. Husum, fördelningsskena i pappersindustri, 6 kV.
12. Nynäshamn, landbygdsmatning med kemisk industri, 20 kV.



Figur 2.1 Installerade mätpunkter

3 Mätresultat och analys

3.1 Mätresultat

3.1.1 Inledning

I detta kapitel redovisas de över 15000 mätdygnens registreringar av spänningsdippar i tabellform enligt gällande standard och som underlag för vidare diskussioner om lämpliga immunitetsnivåer kompletteras redovisningen i vissa avsnitt med en tabell och i diagrammen inritade gränsvå enligt SEMI-47. I slutet av varje avsnitt presenteras också två tabeller där dipparna fördelats efter påverkade faser, dvs. trefasiga (3-fas) respektive en- eller tvåfasiga (1,2-fas). Dessutom åskådliggörs spridningen genom att varje dippar ritats i ett diagram (varaktighet och återstående spänning). I samma diagram inritas också ofta diskuterade immunitetsnivåer. Andra intressanta iakttagelser på de olika mätplatserna redovisas under respektive avsnitt.

I första avsnittet redovisas en sammanställning av totala antalet registrerade spänningsdippar. I avsnittet redovisas också statistiskt sammanställda data för tiden från projektets start till dess slut. Detta för att få någotsånär jämförbara data.

I efterföljande avsnitt har materialet fördelats efter mät punkt.

I bilaga A framgår mellan vilka datum utrustningen funnits på plats i de olika mätpunkterna. De uppmätta dipparna redovisas för just dessa tider, men för att också möjliggöra jämförelser mellan de tolv mätpunkterna används en delmängd registreringar från samma datumperiod (med något litet undantag), dvs. gemensamma under åren 2002-2003. Underlag från åren 2002-2003 används vid jämförelserna mellan årsäsong och övrig tid.

I impedansjordade nät påverkas normalt inte kunderna av jordfel i systemet. Intermittenta jordfel leder sällan till någon bortkoppling av ledningar medan andra jordfel vanligtvis resulterar att den felbehäftade ledningen bortkopplas. Detta innebär att kunder på den felaktiga ledningen utsätts för kortare eller längre avbrott. Mätningarna i detta projekt har utförts på ett sådant sätt att jordfel i nätet detekteras av instrumentet även om anläggningsdelen där instrumentet är inkopplat inte kopplas bort och alltså inte upplever någon störning. Indikeringen är ändå intressant eftersom jordfelsindikeringen i regel är en indikation på att någon annan anläggningsdel i samma nät kopplas bort och att de anslutna abonnenterna drabbas av ett avbrott, dvs. en relativt besvärlig störning.

Spänningsändringar som orsakats av jordfel och som inte påverkar kunderna på den undersökta ledningen redovisas inte i denna rapport. I rapporten redovisas förutom spänningsdippar även korta avbrott.

3.1.2 Totala antalet registrerade dippar

Det totala antalet spänningsdippar är summan av alla registrerade spänningsavvikelser, detta innebär att varje händelse betraktas endera som en 1/2-fas dipp eller som en 3-fas dipp. Dipparna klassificeras enligt beskrivning av störningsfenomen i avsnittet ovan där dippens djup bestäms av den lägsta återstående spänningen under störningen och dippens varaktighet som tiden från det att spänningen sjunkit under tröskelnivån (90 %) till dess den sista inblandade fasen passerar densamma.

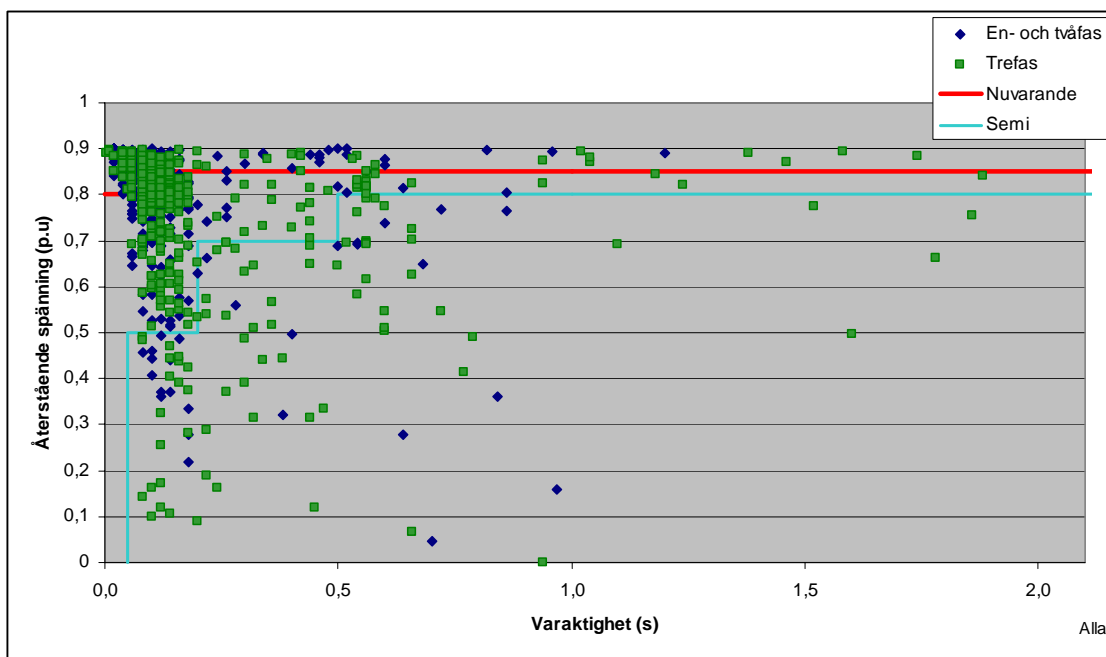
Under de drygt 15000 mätdygnen har totalt 848 mer eller mindre allvarliga spänningsdippar inträffat i projektets mätpunkter. Av dessa dippar har 373 stycken påverkat alla tre faserna i mätpunkten och 475 stycken påverkat en eller två faser. Vid störningar på framför allt högre spänningar påverkas ett betydligt större område (se kapitlet aktionsradie) varvid flera av mätutrustningarna registrerar samma dipp. Genom att avståndet (elektriska) mellan mätpunkterna i de flesta fall är stor förekommer relativt sällan att samma dipp registreras på flera platser och vid nästan samtliga tillfällen med multipla registreringar av samma spänningsdipp påverkas spänningen i de övriga mätpunkterna så pass lite att de registrerade spänningsdipparna vanligtvis placeras i övre vänstra området enligt klassificeringen (tabell 2.1) och av den anledningen tas inga speciella hänsyn till dessa multipla registreringar i den totala sammanställningen.

Den vanligaste förekommande spänningsdippen har en återstående spänning av mer än 85 % och en relativt kort varaktighet (tabell 8.1) och den näst vanligaste spänningsdippen har en återstående spänning som är högre än 70 % också den med relativt kort varaktighet. Tillsammans svarar dessa dippar för mer än hälften av alla registreringar.

Residual voltage u % of U_{ref}	Duration s							
	$0,01 < \Delta t$ $\leq 0,02$	$0,02 < \Delta t$ $\leq 0,1$	$0,1 < \Delta t$ $\leq 0,5$	$0,5 < \Delta t$ ≤ 1	$1 < \Delta t$ ≤ 3	$3 < \Delta t$ ≤ 20	$20 < \Delta t$ ≤ 60	$60 < \Delta t$ ≤ 180
$90 > u \geq 85$	41	266	52	11	8	0	0	0
$85 > u \geq 70$	1	161	104	27	5	1	0	0
$70 > u \geq 40$	0	32	76	16	4	3	0	0
$40 > u \geq 10$	0	2	24	3	0	0	0	0
$10 > u \geq 0$	0	1	1	3	0	0	2	4

Tabell 3.1 Totala antalet spänningsdippar utan hänsyn till antalet påverkade faser.

I figur 3.1 presenteras samtliga spänningsdippar uppdelade efter antalet påverkade faser. I figuren har dessutom de i dag vedertagna gränskurvorna ritats in. Den övre kurvan (röd) indikerar den immunitet som för närvarande ofta tillämpas och den undre kurvan (blå) är den diskuterade och förmodligen den mest lämpade gränskurvan enligt Semistandarden F47.



Figur 3.1 Spridningen av samtliga registrerade spänningsdippar.

Klassas spänningsdipparna efter Semistandard F47 erhålls en något annorlunda fördelning. Produkter kan i allmänhet redan i dag inhandlas enligt denna standard utan att priset ökar orimligt mycket. Enligt figur 3.1 ovan och nedanstående tabell 3.2 inses att hela 84 % av alla registrerade dippar inte borde orsaka några nämnvärda problem för utrustningarna

Residual voltage u % of U_{ref}	Duration s							
	$0,01 < \Delta t$ $\leq 0,05$	$0,05 < \Delta t$ $\leq 0,2$	$0,2 < \Delta t$ $\leq 0,5$	$0,5 < \Delta t$ ≤ 1	$1 < \Delta t$ ≤ 3	$3 < \Delta t$ ≤ 20	$20 < \Delta t$ ≤ 60	$60 < \Delta t$ ≤ 180
$90 > u \geq 80$	123	354	25	29	11	1	0	0
$80 > u \geq 70$	0	110	13	9	2	0	0	0
$70 > u \geq 50$	0	71	18	14	3	1	0	0
$50 > u \geq 10$	0	31	14	5	1	2	0	0
$10 > u \geq 0$	0	2	0	3	0	0	2	4

Tabell 3.2 Antalet registrerade spänningssänkningar fördelade enligt Semi-standard F47

I efterföljande tabell 3.3 fördelas en- och tvåfasiga spänningsdippar efter IEC-standarderna. Kortvariga spänningssänkningar dominerar där spänningssänkningar med upp till 30 % är de mest vanliga.

Residual voltage u % of U_{ref}	Duration s							
	$0,01 < \Delta t$ $\leq 0,02$	$0,02 < \Delta t$ $\leq 0,1$	$0,1 < \Delta t$ $\leq 0,5$	$0,5 < \Delta t$ ≤ 1	$1 < \Delta t$ ≤ 3	$3 < \Delta t$ ≤ 20	$20 < \Delta t$ ≤ 60	$60 < \Delta t$ ≤ 180
$90 > u \geq 85$	39	193	30	6	1	0	0	0
$85 > u \geq 70$	1	104	39	6	0	0	0	0
$70 > u \geq 40$	0	17	24	3	1	0	0	0
$40 > u \geq 10$	0	0	7	3	0	0	0	0
$10 > u \geq 0$	0	0	0	1	0	0	0	0

Tabell 3.3 Totala antalet spänningsdippar som påverkat en eller två faser

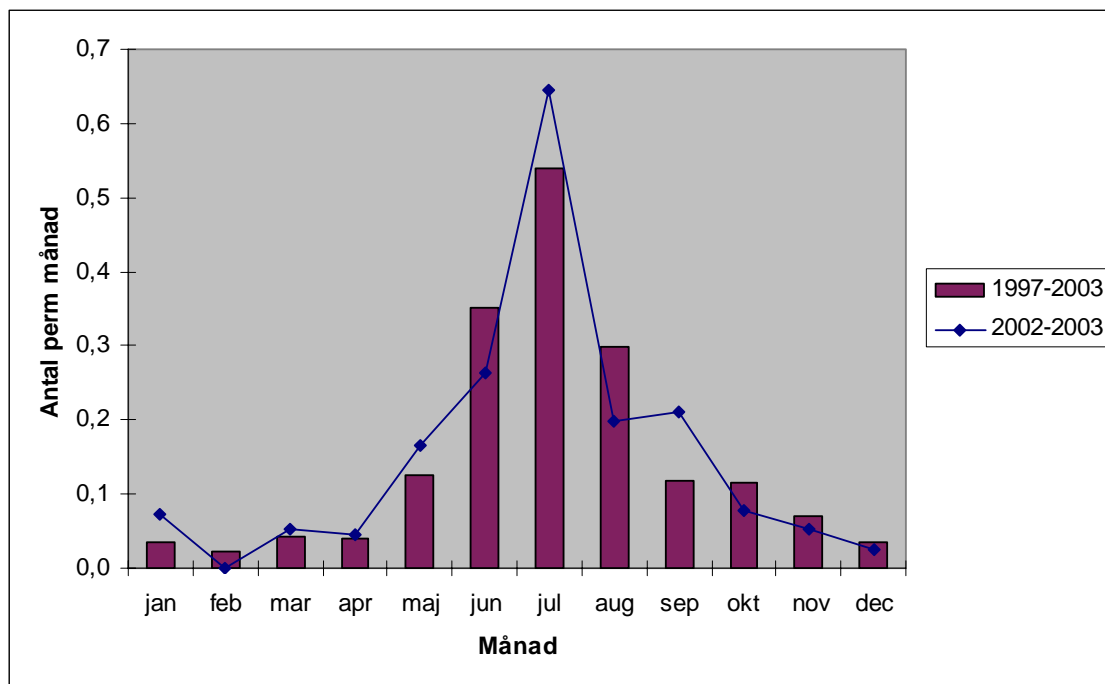
Anläggningar anslutna till högre spänningsnivåer drabbas oftare av trefasiga spänningsdippar. Även bland dessa dominerar spänningssänkningar med upp till 30 %, men det förekommer också en större mängd svårare dippar med en något längre varaktighet (100 ms – 5 s).

Residual voltage u % of U_{ref}	Duration s							
	$0,01 < \Delta t$ $\leq 0,02$	$0,02 < \Delta t$ $\leq 0,1$	$0,1 < \Delta t$ $\leq 0,5$	$0,5 < \Delta t$ ≤ 1	$1 < \Delta t$ ≤ 3	$3 < \Delta t$ ≤ 20	$20 < \Delta t$ ≤ 60	$60 < \Delta t$ ≤ 180
$90 > u \geq 85$	2	73	22	5	7	0	0	0
$85 > u \geq 70$	0	57	65	21	5	1	0	0
$70 > u \geq 40$	0	15	52	13	3	3	0	0
$40 > u \geq 10$	0	2	17	0	0	0	0	0
$10 > u \geq 0$	0	1	1	2	0	0	2	4

Tabell 3.4 Totala antalet spänningsdippar som påverkat samtliga tre faser

Mätningarna har för sex av mätpunkterna pågått under en lång tid medan mätningarna som ingår i detta projekt endast utförts under drygt ett år. Andelen spänningsdippar varierar vanligtvis under året där störningar från åska är dominerande. I efterföljande figur 3.2 visas spänningsdipparna fördelade per kalendermånad. Andelen en- och tvåfasiga spänningsdippar dominerar i distributionsnäten medan högspänningsanslutna anläggningar oftare drabbas av trefasiga spänningsdippar.

Mätningarna visar, inte helt oväntat, att antalet dippar är högst under åksäsongen. Sommarmånaderna dominerar fullständigt. Förhöjningen på hösten kan vara väderrelaterade och beror till viss del på höststormar och på under sommaren uppväxt vegetationen i kombination med blötsnö. Mätningarna har pågått en sensommar längre för de flesta mätpunkterna.



Figur 3.2 Antal registrerade spänningsdippar per kalendermånad.

3.1.3 Registrerade spänningsdippar i Backa

Transformatorstationen i Backa matar ett industriområde med mindre industrier i Göteborg. Mätpunkten sitter på en 10 kV fördelningsskena som matas från ett kabelnät. Tabell 3.5 visar fördelningen av dippar fördelade enligt standard [3].

Residual voltage u % of U_{ref}	Duration s							
	$0,01 < \Delta t$ $\leq 0,02$	$0,02 < \Delta t$ $\leq 0,1$	$0,1 < \Delta t$ $\leq 0,5$	$0,5 < \Delta t$ ≤ 1	$1 < \Delta t$ ≤ 3	$3 < \Delta t$ ≤ 20	$20 < \Delta t$ ≤ 60	$60 < \Delta t$ ≤ 180
$90 > u \geq 85$	2	14	4	0	0	0	0	0
$85 > u \geq 70$	0	11	3	0	0	0	0	0
$70 > u \geq 40$	0	2	4	0	1	0	0	0
$40 > u \geq 10$	0	0	0	0	0	0	0	0
$10 > u \geq 0$	0	0	0	0	0	0	0	0

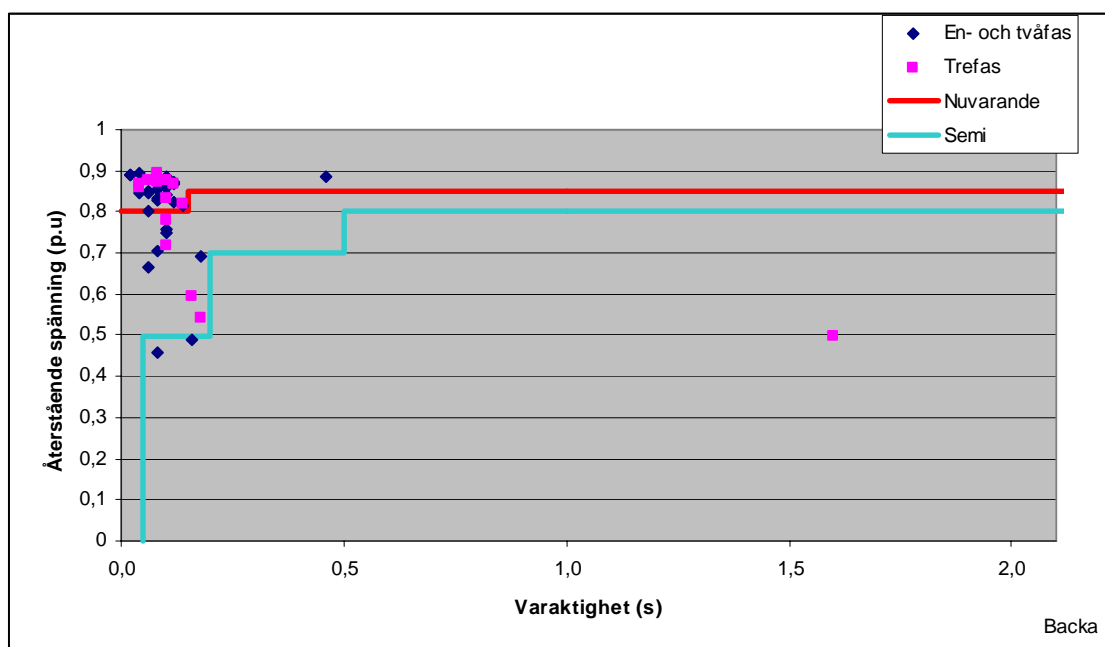
Tabell 3.5 Antalet spänningsdippar i Backa.

Nätet i Backa är utsatt för ca 10 % av alla registrerade spänningsdippar vilket är högre än medelantalet dippar men ligger på ungefär samma nivå som mellanspänningsnäten i Tranemo, Nynäshamn och Storheden och under denna mätperiod också på samma nivå som Braviken.

Nätet i Backa är liksom övriga nät mest utsatt under åksäsongen då 80 % av alla störningar inträffar, men andelen störningar under övrig tid ligger något högre än för övriga. Backa har alltså, liksom övriga småindustrinät, högre andel spänningsdippar som inte är relaterade till åksäsongen.

Antalet registrerade spänningsdippar per månad under perioden var under åksäsongen 2,8 och under övrig tid 0,7.

I figur 3.3 visas en grafisk presentation som inkluderar samtliga dippar med varaktigheten mindre än 2,1 s fördelade efter om samtliga tre faser påverkats eller endast någon eller några av faserna utsatts. Med något undantag har dipparna kopplats bort snabbt. Endast ett fåtal dippar ligger under semikurvan.



Figur 3.3 Spridningen av spänningsdippar i Backa.

Tabellerna 3.6 och 3.7 sammanställer enligt standard [3] förekomsten av spänningsdippar i Backa fördelade efter utsatta faser. Andelen dippar som påverkar samtliga faser är av naturliga skäl färre för utbredda MV-nät än när dessa ligger nära transformeringen från HV-nätet eller för rena HV-nät. Andelen enfasanslutna laster eller laster utan någon som helst backuppmatning är mycket högre, vilket också ofta innebär att de utsatta objekten störs lika mycket oavsett hur många faser som är inblandade.

Residual voltage u % of U_{ref}	Duration s							
	$0,01 < \Delta t \leq 0,02$	$0,02 < \Delta t \leq 0,1$	$0,1 < \Delta t \leq 0,5$	$0,5 < \Delta t \leq 1$	$1 < \Delta t \leq 3$	$3 < \Delta t \leq 20$	$20 < \Delta t \leq 60$	$60 < \Delta t \leq 180$
$90 > u \geq 85$	2	7	3	0	0	0	0	0
$85 > u \geq 70$	0	8	2	0	0	0	0	0
$70 > u \geq 40$	0	2	2	0	0	0	0	0
$40 > u \geq 10$	0	0	0	0	0	0	0	0
$10 > u \geq 0$	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabell 3.6 Antalet spänningsdippar i Backa som påverkat en eller två faser

Residual voltage u % of U_{ref}	Duration s							
	$0,01 < \Delta t$ $\leq 0,02$	$0,02 < \Delta t$ $\leq 0,1$	$0,1 < \Delta t$ $\leq 0,5$	$0,5 < \Delta t$ ≤ 1	$1 < \Delta t$ ≤ 3	$3 < \Delta t$ ≤ 20	$20 < \Delta t$ ≤ 60	$60 < \Delta t$ ≤ 180
$90 > u \geq 85$	0	7	1	0	0	0	0	0
$85 > u \geq 70$	0	3	1	0	0	0	0	0
$70 > u \geq 40$	0	0	2	0	1	0	0	0
$40 > u \geq 10$	0	0	0	0	0	0	0	0
$10 > u \geq 0$	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabell 3.7 Antalet spänningsdippar i Backa som påverkat samtliga tre faser

3.1.4 Registrerade spänningsdippar i Birka/Fortum

Mätpunkten Birka/Fortum är en 10 kV matningspunkt till kontor och industrifastigheter i Värtan, Stockholm. Nätet är uteslutande ett kabelnät med normalt hög kortslutningseffekt som matas från Gärdets fördelningsstation med en transformering 220/10 kV.

Residual voltage u % of U_{ref}	Duration s							
	$0,01 < \Delta t$ $\leq 0,02$	$0,02 < \Delta t$ $\leq 0,1$	$0,1 < \Delta t$ $\leq 0,5$	$0,5 < \Delta t$ ≤ 1	$1 < \Delta t$ ≤ 3	$3 < \Delta t$ ≤ 20	$20 < \Delta t$ ≤ 60	$60 < \Delta t$ ≤ 180
$90 > u \geq 85$	1	8	2	0	0	0	0	0
$85 > u \geq 70$	0	5	2	0	0	0	0	0
$70 > u \geq 40$	0	2	1	0	0	0	0	0
$40 > u \geq 10$	0	0	0	0	0	0	0	0
$10 > u \geq 0$	0	0	0	0	0	0	0	0

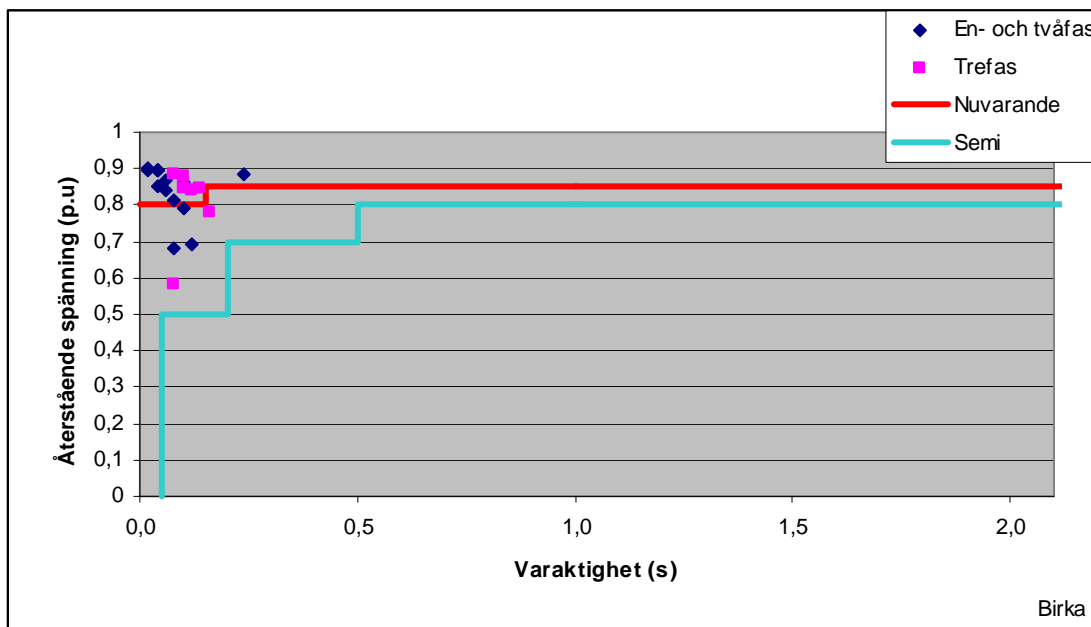
Tabell 3.8 Antalet spänningsdippar i Birka/Fortum.

Under mätperioden har förekomsten av spänningsdippar varit avsevärt lägre än för områden med hög inblandning av luftledningsnät. Ca 6 % av alla registrerade spänningsdippar registrerades vilket gör att mätpunkten ligger på samma nivå som högspänningsmatningen till de större industrierna. Från tabell 3.8 och figur 3.4 framgår att dipparna varit relativt beskedliga med förhållandevis korta varaktigheter och djup.

Andelen störningar under åksäsongen är anmärkningsvärt hög (88 %) och ligger på samma nivåer som mätpunkterna med direkt matning från HV.

Antalet registrerade spänningsdippar per månad under perioden var under åksäsongen 1,6 och under övrig tid 0,1.

I figur 3.4 visas en grafisk presentation som inkluderar samtliga dippar med varaktigheten mindre än 2,1 s fördelade efter om samtliga tre faser påverkats eller endast någon eller några av faserna utsatts.



Figur 3.4 Spridningen av spänningsdippar i Birka/Fortum. Noteras kan att inga registrerade spänningsdippar förekommer under den sk. Semi-kurvan

Mätpunktens placering avgör till stor del dipparnas varaktighet, reläskydden har korta tider.

Tabellerna 3.9 och 3.10 sammanställer enligt standard [3] förekomsten av spänningsdippar fördelade efter utsatta faser. Andelen dippar som påverkar samtliga faser är av naturliga skäl färre för utbredda MV-nät än när dessa ligger nära transformeringen från HV-nätet eller för rena HV-nät. Andelen enfasanslutna laster eller laster utan någon som helst backupmatning är ofta mycket högre i anläggningar som denna speciellt eftersom andelen kontor överväger är risken stor att utsatta objekt störs lika mycket oavsett hur många faser som är inblandade.

Residual voltage u % of U_{ref}	Duration s							
	$0,01 < \Delta t$ $\leq 0,02$	$0,02 < \Delta t$ $\leq 0,1$	$0,1 < \Delta t$ $\leq 0,5$	$0,5 < \Delta t$ ≤ 1	$1 < \Delta t$ ≤ 3	$3 < \Delta t$ ≤ 20	$20 < \Delta t$ ≤ 60	$60 < \Delta t$ ≤ 180
$90 > u \geq 85$	1	6	1	0	0	0	0	0
$85 > u \geq 70$	0	4	0	0	0	0	0	0
$70 > u \geq 40$	0	1	1	0	0	0	0	0
$40 > u \geq 10$	0	0	0	0	0	0	0	0
$10 > u \geq 0$	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabell 3.9 Antalet spänningsdippar i Birka/Fortum som påverkat en eller två faser

Residual voltage u % of U_{ref}	Duration s							
	$0,01 < \Delta t$ $\leq 0,02$	$0,02 < \Delta t$ $\leq 0,1$	$0,1 < \Delta t$ $\leq 0,5$	$0,5 < \Delta t$ ≤ 1	$1 < \Delta t$ ≤ 3	$3 < \Delta t$ ≤ 20	$20 < \Delta t$ ≤ 60	$60 < \Delta t$ ≤ 180
$90 > u \geq 85$	0	2	1	0	0	0	0	0
$85 > u \geq 70$	0	1	2	0	0	0	0	0
$70 > u \geq 40$	0	1	0	0	0	0	0	0
$40 > u \geq 10$	0	0	0	0	0	0	0	0
$10 > u \geq 0$	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabell 3.10 Antalet spänningsdippar i Birka/Fortum som påverkat samtliga tre faser

3.1.5 Registrerade spänningsdippar i Braviken

Braviken matas från två 130 kV ledningar i ett relativt starkt nät där mätningarna utförs på 130 kV-nivån.

Residual voltage u % of U_{ref}	Duration s							
	$0,01 < \Delta t$ $\leq 0,02$	$0,02 < \Delta t$ $\leq 0,1$	$0,1 < \Delta t$ $\leq 0,5$	$0,5 < \Delta t$ ≤ 1	$1 < \Delta t$ ≤ 3	$3 < \Delta t$ ≤ 20	$20 < \Delta t$ ≤ 60	$60 < \Delta t$ ≤ 180
$90 > u \geq 85$	4	63	10	4	2	0	0	0
$85 > u \geq 70$	0	38	25	2	1	0	0	0
$70 > u \geq 40$	0	11	19	0	0	0	0	0
$40 > u \geq 10$	0	0	5	0	0	0	0	0
$10 > u \geq 0$	0	0	0	0	0	0	0	1

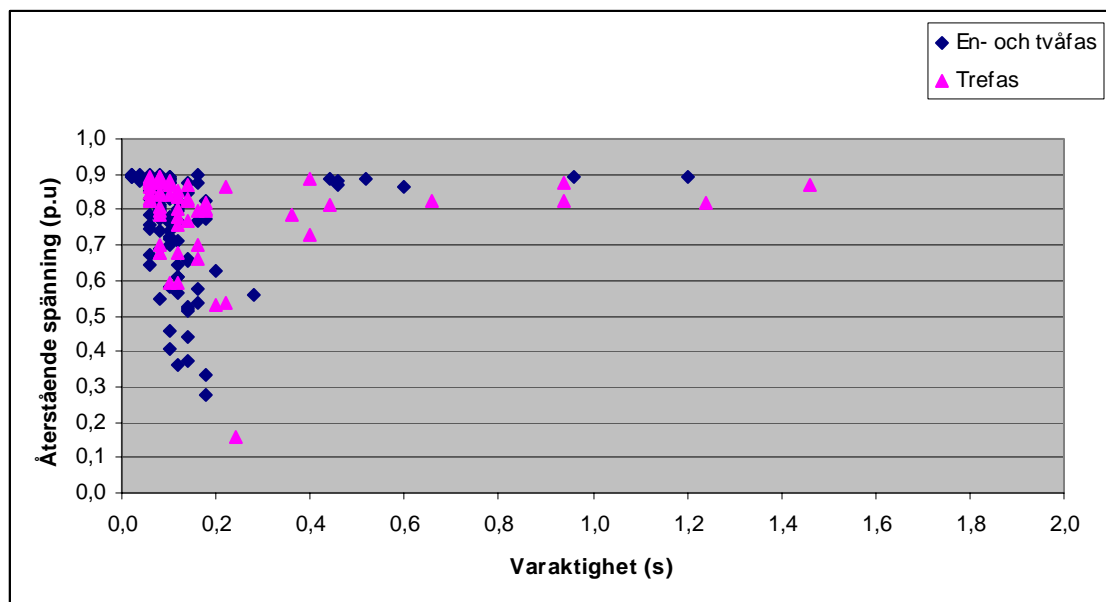
Tabell 3.11 Antalet spänningsdippar i Braviken.

Under mätperioden har förekomsten av spänningsdippar i Braviken varit ca 10 % av alla registrerade spänningsdippar, vilken är en högre nivå än för övriga industrianläggningar. Största delen av störningarna inträffar under åsksäsongen då ca 90 % av dipparna förekommer. Från tabell 3.11 och figur 3.5 framgår att dipparna ofta varit förhållandevis djupa och med varaktigheter under 200 ms samt att det förekommer dippar med litet djup men som har ganska lång varaktighet. Även de trefasiga dipparna förekommer något oftare än för övriga storindustrianläggningar.

Den relativt höga förekomsten av störningar under åsksäsongen kan förklaras av att ledningarnas exponeringsyta för åska är hög (många ledningar i det närliggande kraftsystemet, stor ”antennlängd”). Att området har ganska hög åskintensitet är bara en del av förklaringen. Se även kommentarer i avsnitt 3.7.

Antalet registrerade spänningsdippar per månad under perioden var under åsksäsongen 2,9 och under övrig tid 0,3.

I figur 3.5 visas en grafisk presentation som inkluderar samtliga dippar med varaktigheten mindre än 2,1 s fördelade efter om samtliga tre faser påverkats eller endast någon eller några av faserna varit utsatta. Intressant att notera att endast drygt 10 dippar ligger under Semistandarden. Detta gäller särskilt trefasdippar, som för denna anläggning är klart allvarligare än 1- och 2-fasdippar.



Figur 3.5 Spridningen av spänningsdippar i Braviken. Ett kortvarigt avbrott med varaktighet strax under 180 s visas inte i figuren.

Tabellerna 3.12 och 3.13 sammanställer enligt standard [3] förekomsten av spänningsdippar fördelade efter utsatta faser.

Residual voltage u % of U_{ref}	Duration s							
	$0,01 < \Delta t$ $\leq 0,02$	$0,02 < \Delta t$ $\leq 0,1$	$0,1 < \Delta t$ $\leq 0,5$	$0,5 < \Delta t$ ≤ 1	$1 < \Delta t$ ≤ 3	$3 < \Delta t$ ≤ 20	$20 < \Delta t$ ≤ 60	$60 < \Delta t$ ≤ 180
$90 > u \geq 85$	4	49	6	3	1	0	0	0
$85 > u \geq 70$	0	28	9	0	0	0	0	0
$70 > u \geq 40$	0	7	14	0	0	0	0	0
$40 > u \geq 10$	0	0	4	0	0	0	0	0
$10 > u \geq 0$	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabell 3.12 Antalet spänningsdippar i Braviken som påverkat en eller två faser

Residual voltage u % of U_{ref}	Duration s							
	$0,01 < \Delta t$ $\leq 0,02$	$0,02 < \Delta t$ $\leq 0,1$	$0,1 < \Delta t$ $\leq 0,5$	$0,5 < \Delta t$ ≤ 1	$1 < \Delta t$ ≤ 3	$3 < \Delta t$ ≤ 20	$20 < \Delta t$ ≤ 60	$60 < \Delta t$ ≤ 180
$90 > u \geq 85$	0	14	4	1	1	0	0	0
$85 > u \geq 70$	0	10	16	2	1	0	0	0
$70 > u \geq 40$	0	4	5	0	0	0	0	0
$40 > u \geq 10$	0	0	1	0	0	0	0	0
$10 > u \geq 0$	0	0	0	0	0	0	0	1

Tabell 3.13 Antalet spänningsdippar i Braviken som påverkat samtliga tre faser

3.1.6 Registrerade spänningsdippar i Hallstavik

Holmen Paper i Hallstavik matas från två parallella 70 kV-ledningar från Gråska och en 70 kV ledning från värmekraftverket i Hallstavik. Mätningarna sker på en 5 kV-skena i en för industrin känslig matningspunkt.

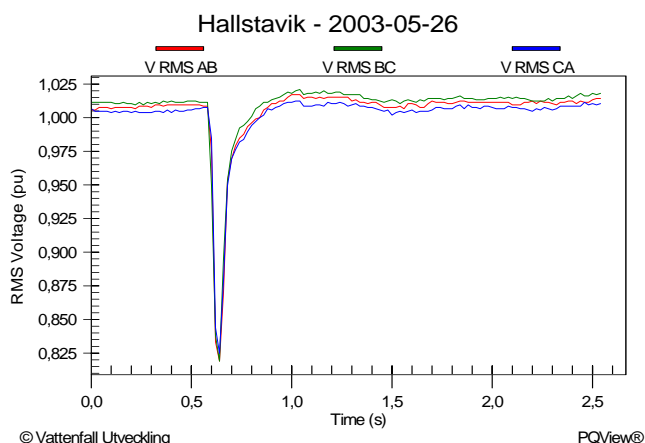
Tabell 3.14 visar samtliga dippar som registrerats i Hallstavik.

Residual voltage u % of U_{ref}	Duration s							
	$0,01 < \Delta t$ $\leq 0,02$	$0,02 < \Delta t$ $\leq 0,1$	$0,1 < \Delta t$ $\leq 0,5$	$0,5 < \Delta t$ ≤ 1	$1 < \Delta t$ ≤ 3	$3 < \Delta t$ ≤ 20	$20 < \Delta t$ ≤ 60	$60 < \Delta t$ ≤ 180
$90 > u \geq 85$	0	23	10	1	0	0	0	0
$85 > u \geq 70$	0	12	9	1	0	0	0	0
$70 > u \geq 40$	0	3	12	0	0	0	0	0
$40 > u \geq 10$	0	0	0	1	0	0	0	0
$10 > u \geq 0$	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabell 3.14 Antalet spänningsdippar i Hallstavik.

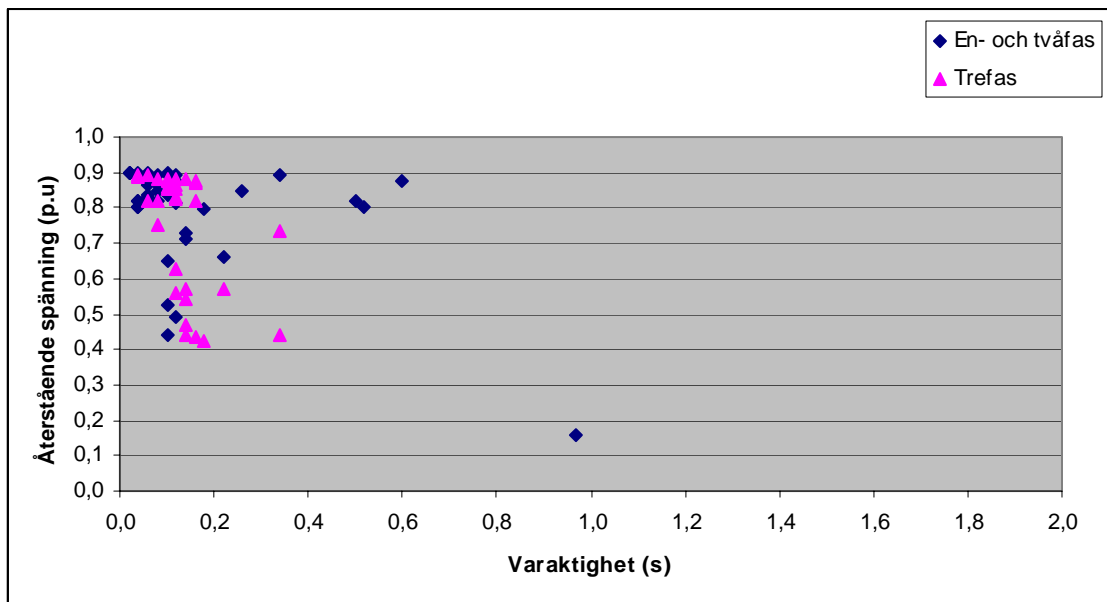
Mätningarna i Hallstavik har pågått sedan mycket länge och det kan därför vara svårt att jämföra antalet dippar med de andra platserna som bara funnits i lite mer än ett år. Under samma tidsrymd om de andra mätplatserna inträffar endast 3 % av dipparna i Hallstavik. Åsksäsongen dominerar med strax under 90 % av registrerade dippar i Hallstavik. Med 0,9 dippar per månad är Hallstavik en av de bästa platserna och överträffas bara av mätpunkten i Slite.

Följande spänningsdipp med återstående spänningen 0,82 pu och varaktigheten 60 ms resulterar i driftstopp.



Figur 3.6 Spänningsdipp i Hallstavik som orsakar driftstopp i anläggningen

I figur 3.7 sammanställs grafiskt informationen från tabellerna 3.15 och 3.16. I figuren framgår tydligt att de fåfasiga spänningsdipparna i Hallstavik har längre varaktighet.



Figur 3.7 Spridningen av spänningsdippar i Hallstavik.

Residual voltage u % of U_{ref}	Duration s							
	$0,01 < \Delta t \leq 0,02$	$0,02 < \Delta t \leq 0,1$	$0,1 < \Delta t \leq 0,5$	$0,5 < \Delta t \leq 1$	$1 < \Delta t \leq 3$	$3 < \Delta t \leq 20$	$20 < \Delta t \leq 60$	$60 < \Delta t \leq 180$
$90 > u \geq 85$	0	15	4	1	0	0	0	0
$85 > u \geq 70$	0	9	5	1	0	0	0	0
$70 > u \geq 40$	0	3	2	0	0	0	0	0
$40 > u \geq 10$	0	0	0	1	0	0	0	0
$10 > u \geq 0$	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabell 3.15 Antalet spänningsdippar i Hallstavik som påverkat en eller två faser

Residual voltage u % of U_{ref}	Duration s							
	$0,01 < \Delta t$ $\leq 0,02$	$0,02 < \Delta t$ $\leq 0,1$	$0,1 < \Delta t$ $\leq 0,5$	$0,5 < \Delta t$ ≤ 1	$1 < \Delta t$ ≤ 3	$3 < \Delta t$ ≤ 20	$20 < \Delta t$ ≤ 60	$60 < \Delta t$ ≤ 180
$90 > u \geq 85$	0	8	6	0	0	0	0	0
$85 > u \geq 70$	0	3	4	0	0	0	0	0
$70 > u \geq 40$	0	0	10	0	0	0	0	0
$40 > u \geq 10$	0	0	0	0	0	0	0	0
$10 > u \geq 0$	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabell 3.16 Antalet spänningsdippar i Hallstavik som påverkat samtliga tre faser

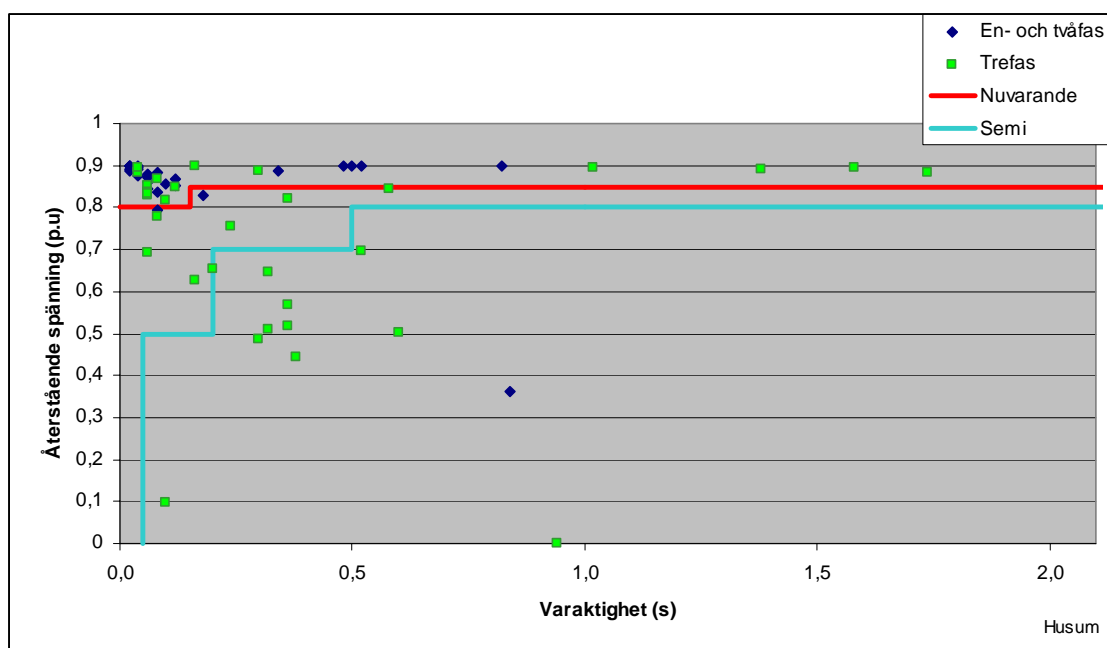
3.1.7 Registrerade spänningsdippar i Husum

Mätningarna i Husum utförs på inkommande matning till intern 6 kV-skena i M-real Groups anläggning i Husum. Mätningarna som pågått under lång tid visar på relativt få dippar men att många av dessa varit förhållandevis djupa och att många har lång varaktighet. Noteras kan att mer än hälften av alla dipparna har en längre varaktighet än 100 ms likaså noteras att en fjärdedel av alla dippar har en återstående spänning som är lägre än 70 %.

Residual voltage u % of U_{ref}	Duration s							
	$0,01 < \Delta t$ $\leq 0,02$	$0,02 < \Delta t$ $\leq 0,1$	$0,1 < \Delta t$ $\leq 0,5$	$0,5 < \Delta t$ ≤ 1	$1 < \Delta t$ ≤ 3	$3 < \Delta t$ ≤ 20	$20 < \Delta t$ ≤ 60	$60 < \Delta t$ ≤ 180
$90 > u \geq 85$	3	13	6	1	4	0	0	0
$85 > u \geq 70$	0	8	4	1	0	1	0	0
$70 > u \geq 40$	0	1	8	2	0	0	0	0
$40 > u \geq 10$	0	0	0	1	0	0	0	0
$10 > u \geq 0$	0	1	0	1	0	0	0	0

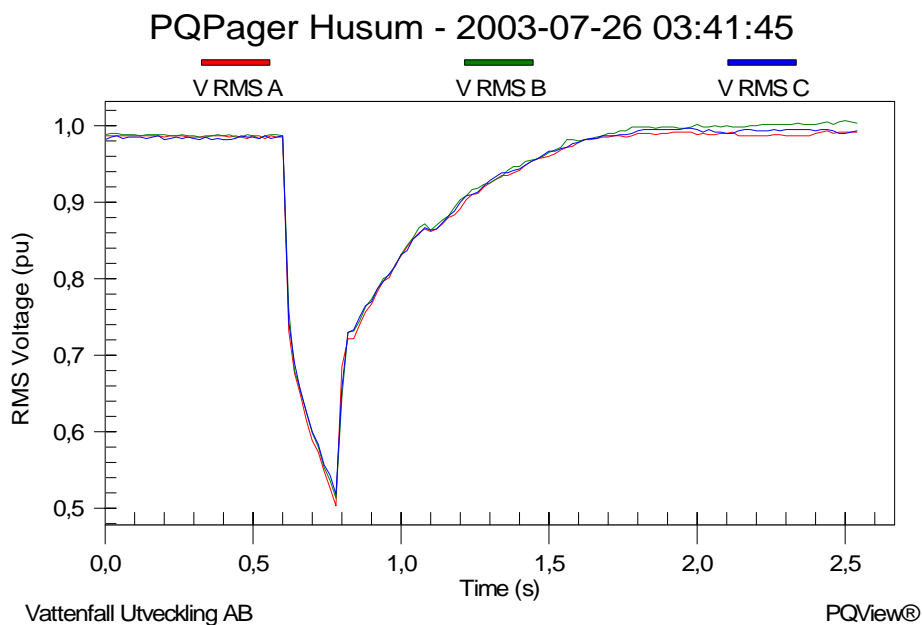
Tabell 3.17 Antalet spänningsdippar i Husum.

I figur 3.8 redovisas spridningen av registrerade dippar uppdelade efter om dipparna påverkat tre faser eller inte. Noteras kan att relativt få dippar är 1,2-fasiga och att dessa vanligen har litet djup.



Figur 3.8 Spridningen av spänningsdippar i Husum.

I figur 3.9 visas en registrerad spänningsdipp där belastningens inverkan i ett system tydligt framgår. Under dippens inledning matar lasten, i det här fallet bestående av ett betydande antal roterande maskiner, ut energi till nätet och på så sätt håller den roterande energin upp spänningen i nätet. I och med att den felbehäftade anläggningsdelen blir bortkopplad drar kvarvarande maskiner ner spänningen under accelerationsfasen.



Figur 3.9 Spänningsdipp i Husum.

Residual voltage u % of U_{ref}	Duration s							
	$0,01 < \Delta t$ $\leq 0,02$	$0,02 < \Delta t$ $\leq 0,1$	$0,1 < \Delta t$ $\leq 0,5$	$0,5 < \Delta t$ ≤ 1	$1 < \Delta t$ ≤ 3	$3 < \Delta t$ ≤ 20	$20 < \Delta t$ ≤ 60	$60 < \Delta t$ ≤ 180
$90 > u \geq 85$	3	9	4	1	0	0	0	0
$85 > u \geq 70$	0	3	1	0	0	0	0	0
$70 > u \geq 40$	0	0	0	0	0	0	0	0
$40 > u \geq 10$	0	0	0	1	0	0	0	0
$10 > u \geq 0$	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabell 3.18 Antalet spänningsdippar i Husum som påverkat en eller två faser

Residual voltage u % of U_{ref}	Duration s							
	$0,01 < \Delta t$ $\leq 0,02$	$0,02 < \Delta t$ $\leq 0,1$	$0,1 < \Delta t$ $\leq 0,5$	$0,5 < \Delta t$ ≤ 1	$1 < \Delta t$ ≤ 3	$3 < \Delta t$ ≤ 20	$20 < \Delta t$ ≤ 60	$60 < \Delta t$ ≤ 180
$90 > u \geq 85$	0	4	2	0	4	0	0	0
$85 > u \geq 70$	0	5	3	1	0	1	0	0
$70 > u \geq 40$	0	1	8	2	0	0	0	0
$40 > u \geq 10$	0	0	0	0	0	0	0	0
$10 > u \geq 0$	0	1	0	1	0	0	0	0

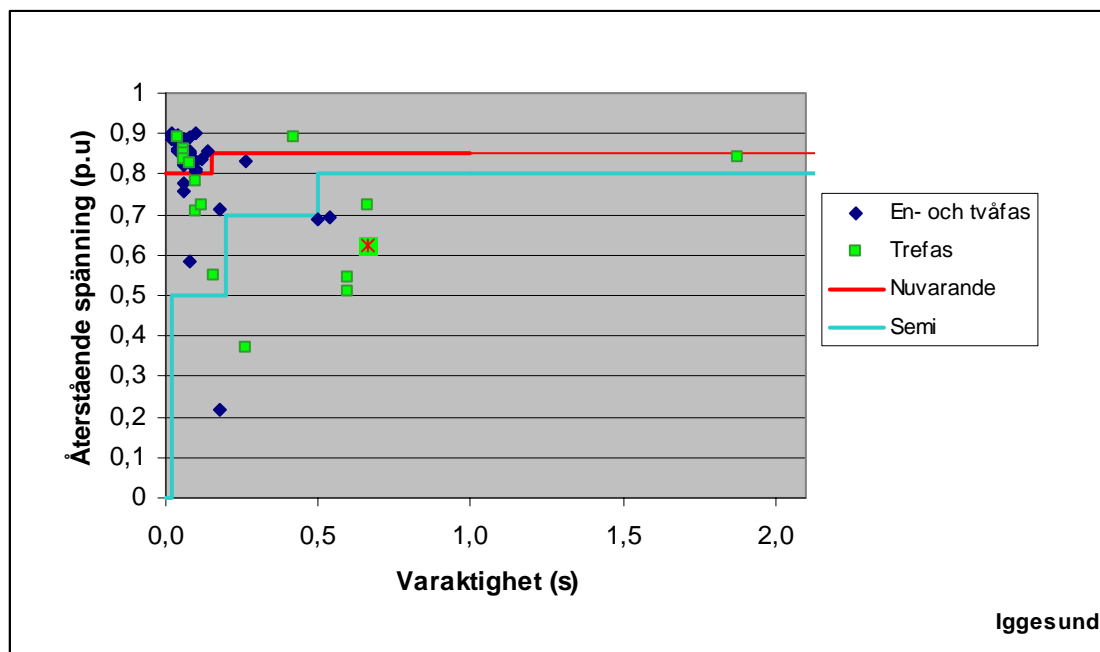
Tabell 3.19 Antalet spänningsdippar i Husum som påverkat samtliga tre faser

3.1.8 Registrerade spänningsdippar i Iggesund

Iggesund matas från 130 kV-systemet och mätningarna utförs på en viktig 10 kV-skena i anläggningen. Närheten till 130 kV-systemen avspeglas också i mätningarna där Iggesund drabbas av 4% av alla registrerade spänningsdippar (2002-2003) och sett under hela den tid som mätningar pågått i Iggesund är siffran ännu lägre. Spänningsdipparna är relativt få men ganska djupa och med lång varaktighet vilket tydligt framgår av figur 3.10. Varaktigheten har dock förbättrats påtagligt genom åren – se avsnitt 3.6.

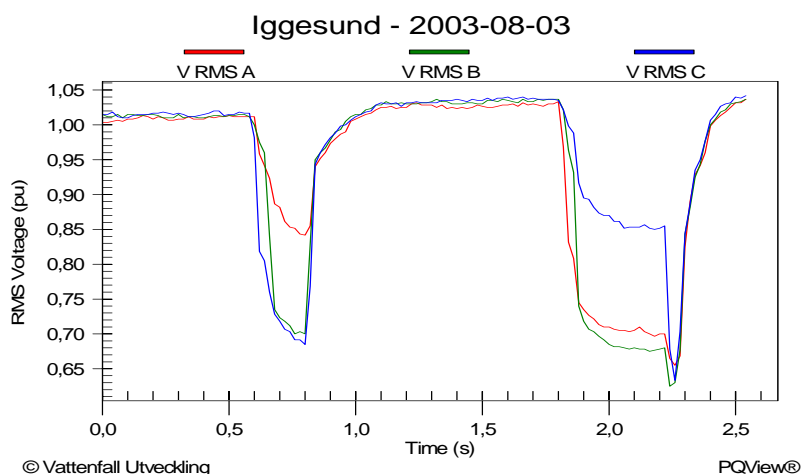
Residual voltage u % of U_{ref}	Duration s							
	$0,01 < \Delta t$ $\leq 0,02$	$0,02 < \Delta t$ $\leq 0,1$	$0,1 < \Delta t$ $\leq 0,5$	$0,5 < \Delta t$ ≤ 1	$1 < \Delta t$ ≤ 3	$3 < \Delta t$ ≤ 20	$20 < \Delta t$ ≤ 60	$60 < \Delta t$ ≤ 180
$90 > u \geq 85$	3	18	2	0	0	0	0	0
$85 > u \geq 70$	0	13	4	1	1	0	0	0
$70 > u \geq 40$	0	1	2	4	0	2	0	0
$40 > u \geq 10$	0	0	2	0	0	0	0	0
$10 > u \geq 0$	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabell 3.20 Antalet spänningsdippar i Iggesund.



Tabell 3.10 Spridningen av spänningsdippar i Iggesund.

Figur 3.11 visar en svår spänningsdipp (se markerad dipp i figur 3.10) som orsakade totalt stopp i Iggesund. Redan den första dippen är allvarlig nog för att orsaka driftstopp och den efterföljande misslyckade återinkopplingen är här av underordnad betydelse. Störningen orsakades av fel i underliggande nät



Figur 3.11 Svårare störning i Iggesund

Under åksäsongerna 2002-2003 och mellanliggande vinter har alla spänningsdippar av betydelse inträffat under åksäsongen. Antalet dippar under åksäsongen är så låg som 1,2 dippar per månad, vilket gör Iggesund till en av de minst drabbade anläggningarna.

Residual voltage u % of U_{ref}	Duration s							
	$0,01 < \Delta t \leq 0,05$	$0,05 < \Delta t \leq 0,2$	$0,2 < \Delta t \leq 0,5$	$0,5 < \Delta t \leq 1$	$1 < \Delta t \leq 3$	$3 < \Delta t \leq 20$	$20 < \Delta t \leq 60$	$60 < \Delta t \leq 180$
$90 > u \geq 80$	10	22	2	0	1	0	0	0
$80 > u \geq 70$	0	6	0	1	0	0	0	0
$70 > u \geq 50$	0	2	1	4	0	1	0	0
$50 > u \geq 10$	0	1	1	0	0	1	0	0
$10 > u \geq 0$	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabell 3.21 Antalet registrerade spänningsdippar i Iggesund fördelade enligt Semi-standard F-47

I tabell 3.21 har antalet spänningsdippar fördelats enligt Semi-standarden och anmärkningsvärt är att, sett sedan mätningarna började 1998, endast 10 spänningsdippar skulle orsakat problem om utrustningarna haft en tålighet enligt denna standard. Anläggningen producerar kartong av hög kvalitet och varje förhindrat driftstopp innebär en stor kostnadsbesparing.

I följande två tabeller har totala antalet spänningsdippar fördelats på trefasiga och övriga. Tabellerna redovisar till skillnad mot figur 3.10 även dippar med en varaktighet över 2,1 s.

Residual voltage u % of U_{ref}	Duration s							
	$0,01 < \Delta t$ $\leq 0,02$	$0,02 < \Delta t$ $\leq 0,1$	$0,1 < \Delta t$ $\leq 0,5$	$0,5 < \Delta t$ ≤ 1	$1 < \Delta t$ ≤ 3	$3 < \Delta t$ ≤ 20	$20 < \Delta t$ ≤ 60	$60 < \Delta t$ ≤ 180
$90 > u \geq 85$	3	15	1	0	0	0	0	0
$85 > u \geq 70$	0	9	3	0	0	0	0	0
$70 > u \geq 40$	0	1	1	1	0	0	0	0
$40 > u \geq 10$	0	0	1	0	0	0	0	0
$10 > u \geq 0$	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabell 3.22 Antalet spänningsdippar i Iggesund som påverkat en eller två faser

Residual voltage u % of U_{ref}	Duration s							
	$0,01 < \Delta t$ $\leq 0,02$	$0,02 < \Delta t$ $\leq 0,1$	$0,1 < \Delta t$ $\leq 0,5$	$0,5 < \Delta t$ ≤ 1	$1 < \Delta t$ ≤ 3	$3 < \Delta t$ ≤ 20	$20 < \Delta t$ ≤ 60	$60 < \Delta t$ ≤ 180
$90 > u \geq 85$	0	3	1	0	0	0	0	0
$85 > u \geq 70$	0	4	1	1	1	0	0	0
$70 > u \geq 40$	0	0	1	3	0	2	0	0
$40 > u \geq 10$	0	0	1	0	0	0	0	0
$10 > u \geq 0$	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabell 3.23 Antalet spänningsdippar i Iggesund som påverkat samtliga tre faser

3.1.9 Registrerade spänningsdippar i Nynäshamn

Nynäshamn matas från 70 kV-nätet och mätningarna utförs på 20 kV-systemet. Nätet är en landsbygdsmatning med kemisk industri. Fördelningen av spänningsdippar mellan årsäsong och övrig tid är helt jämförbar med näten runt Tranemo och Storheden. Ca 70 % av spänningsdipparna inträffar under årsäsong vilket motsvarar 2,2 dippar/månad.

Residual voltage u % of U_{ref}	Duration s							
	$0,01 < \Delta t$ $\leq 0,02$	$0,02 < \Delta t$ $\leq 0,1$	$0,1 < \Delta t$ $\leq 0,5$	$0,5 < \Delta t$ ≤ 1	$1 < \Delta t$ ≤ 3	$3 < \Delta t$ ≤ 20	$20 < \Delta t$ ≤ 60	$60 < \Delta t$ ≤ 180
$90 > u \geq 85$	7	25	4	4	0	0	0	0
$85 > u \geq 70$	0	9	13	18	1	0	0	0
$70 > u \geq 40$	0	3	3	4	1	0	0	0
$40 > u \geq 10$	0	1	2	1	0	0	0	0
$10 > u \geq 0$	0	0	0	0	0	0	2	2

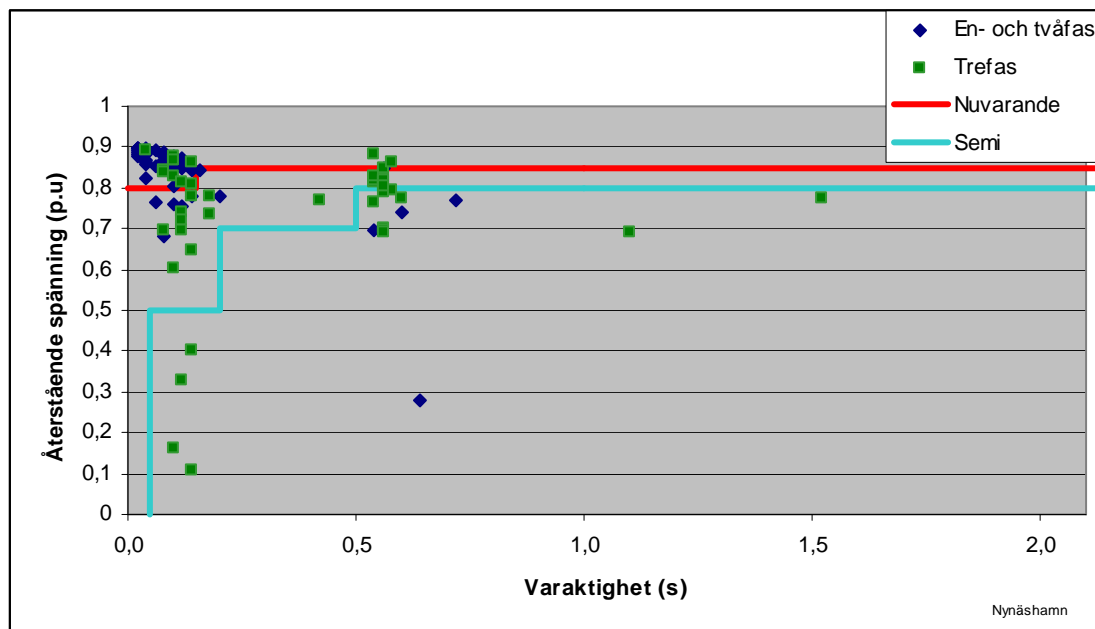
Tabell 3.24 Antalet spänningsdippar i Nynäshamn.

Figur 3.12 sammanställer tabellerna 3.24, 3.26 och 3.27 i en grafisk presentation där dippar med varaktighet mindre än 2,1 s ritas. Figuren är speciellt intressant eftersom här framgår tydligt att det finns två grupperingar beträffande spänningsdippar. Den första och största gruppen ligger koncentrerat till den vänstra halvan, precis som vi är vana att se dipparna koncentrerade. Den andra gruppen har en varaktighet över 0,5 s men med betydligt grundare dippar.

Residual voltage u % of U_{ref}	Duration s							
	$0,01 < \Delta t$ $\leq 0,05$	$0,05 < \Delta t$ $\leq 0,2$	$0,2 < \Delta t$ $\leq 0,5$	$0,5 < \Delta t$ ≤ 1	$1 < \Delta t$ ≤ 3	$3 < \Delta t$ ≤ 20	$20 < \Delta t$ ≤ 60	$60 < \Delta t$ ≤ 180
$90 > u \geq 80$	16	31	0	16	0	0	0	0
$80 > u \geq 70$	0	10	1	6	1	0	0	0
$70 > u \geq 50$	0	5	0	4	1	0	0	0
$50 > u \geq 10$	0	4	0	1	0	0	0	0
$10 > u \geq 0$	0	0	0	0	0	0	2	2

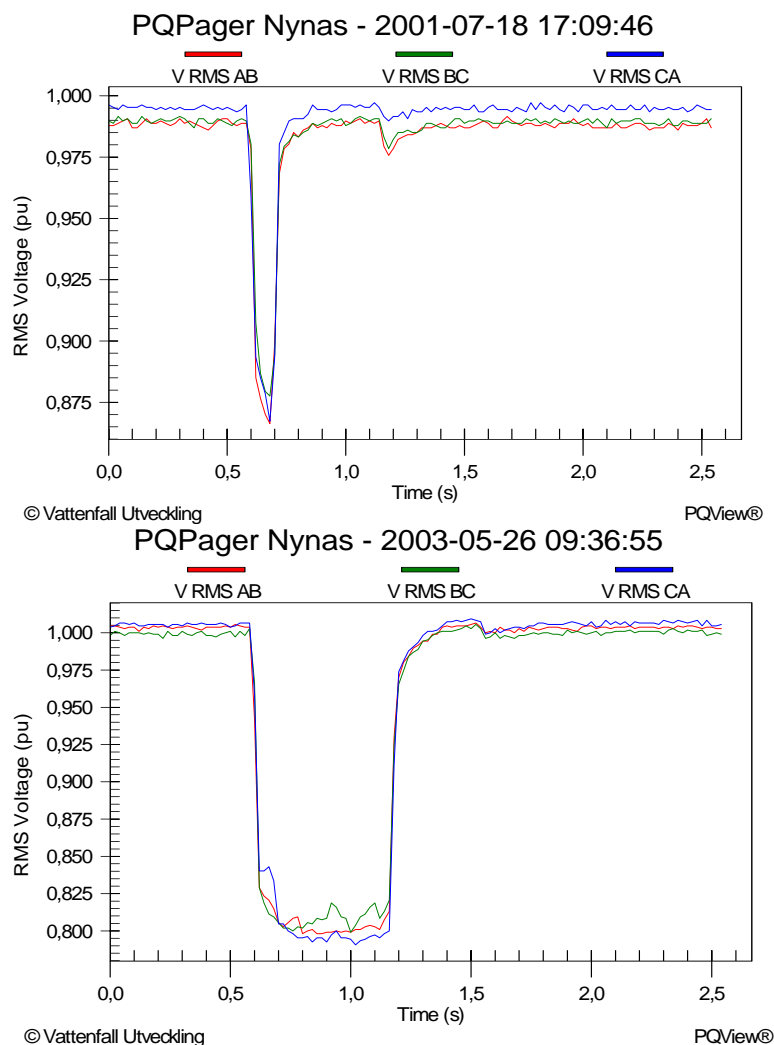
Tabell 3.25 Antalet registrerade spänningssänkningar fördelade enligt Semi-standard F-47

Ur tabell 3.25 där totala antalet spänningsdippar anges tillsammans med gränser enligt Semi-standarden ses att antalet dippar som är betydligt svårare att skydda sig mot är störst i den andra gruppen.



Figur 3.12 Spridningen av spänningsdippar i Nynäshamn.

Exempel på spänningsdippar visas i intilliggande figur där den översta diagrammet visar en relativt normal dipp vid fel på högspänningsnätet och då ofta i samband med åskfel. I det här exemplet är dippen inte så speciellt djup och det framgår också tydligt att felbortkopplingen går smärtfritt. Lasterna accelererar under den närmaste tiden och dippen ger mycket liten påkänning. Spänningen återgår till normal nivå. Efter ca 0,5 s kommer ytterligare en koppling i nätet (sannolikt snabbåterinkoppling) som inte ger några påkänningar. I den undre figuren ses ett exempel på en lång spänningsdipp.



Figur 3.13 Exempel på spänningsdippar från respektive grupp

Tabellerna 3.26 och 3.27 visar antalet dippar enligt standard IEC TR 61000-2-8 och omfattar också, till skillnad mot figur 3.12, även dippar med varaktighet över 2,1 s.

Residual voltage u % of U_{ref}	Duration s							
	$0,01 < \Delta t$ $\leq 0,02$	$0,02 < \Delta t$ $\leq 0,1$	$0,1 < \Delta t$ $\leq 0,5$	$0,5 < \Delta t$ ≤ 1	$1 < \Delta t$ ≤ 3	$3 < \Delta t$ ≤ 20	$20 < \Delta t$ ≤ 60	$60 < \Delta t$ ≤ 180
$90 > u \geq 85$	7	21	3	1	0	0	0	0
$85 > u \geq 70$	0	6	5	2	0	0	0	0
$70 > u \geq 40$	0	1	0	1	0	0	0	0
$40 > u \geq 10$	0	0	0	1	0	0	0	0
$10 > u \geq 0$	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabell 3.26 Antalet spänningsdippar i Nynäshamn som påverkat en eller två faser

Residual voltage u % of U_{ref}	Duration s							
	$0,01 < \Delta t$ $\leq 0,02$	$0,02 < \Delta t$ $\leq 0,1$	$0,1 < \Delta t$ $\leq 0,5$	$0,5 < \Delta t$ ≤ 1	$1 < \Delta t$ ≤ 3	$3 < \Delta t$ ≤ 20	$20 < \Delta t$ ≤ 60	$60 < \Delta t$ ≤ 180
$90 > u \geq 85$	0	4	1	3	0	0	0	0
$85 > u \geq 70$	0	3	8	16	1	0	0	0
$70 > u \geq 40$	0	2	3	3	1	0	0	0
$40 > u \geq 10$	0	1	2	0	0	0	0	0
$10 > u \geq 0$	0	0	0	0	0	0	2	2

Tabell 3.27 Antalet spänningsdippar i Nynäshamn som påverkat samtliga tre faser

3.1.10 Registrerade spänningsdippar i Slite

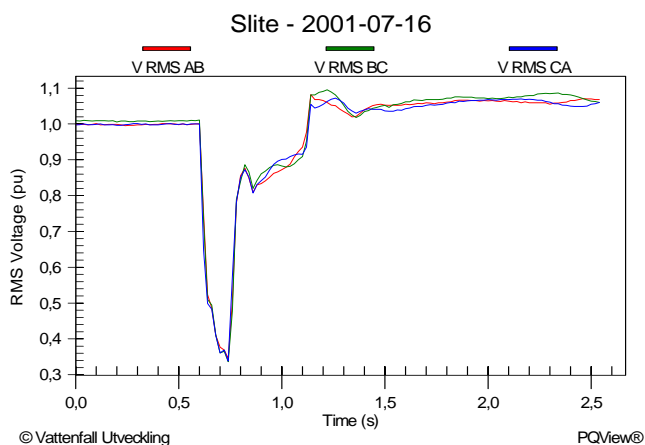
I Slite matas en industri från ett 70 kV ledningsnät. Mätpunkten är placerad på en skena inne i industrin med en känslig och viktig 5 kV matning.

Residual voltage u % of U_{ref}	Duration s							
	$0,01 < \Delta t$ $\leq 0,02$	$0,02 < \Delta t$ $\leq 0,1$	$0,1 < \Delta t$ $\leq 0,5$	$0,5 < \Delta t$ ≤ 1	$1 < \Delta t$ ≤ 3	$3 < \Delta t$ ≤ 20	$20 < \Delta t$ ≤ 60	$60 < \Delta t$ ≤ 180
$90 > u \geq 85$	2	18	3	0	0	0	0	0
$85 > u \geq 70$	0	6	5	0	0	0	0	0
$70 > u \geq 40$	0	0	1	4	0	1	0	0
$40 > u \geq 10$	0	1	5	0	0	0	0	0
$10 > u \geq 0$	0	0	0	2	0	0	0	1

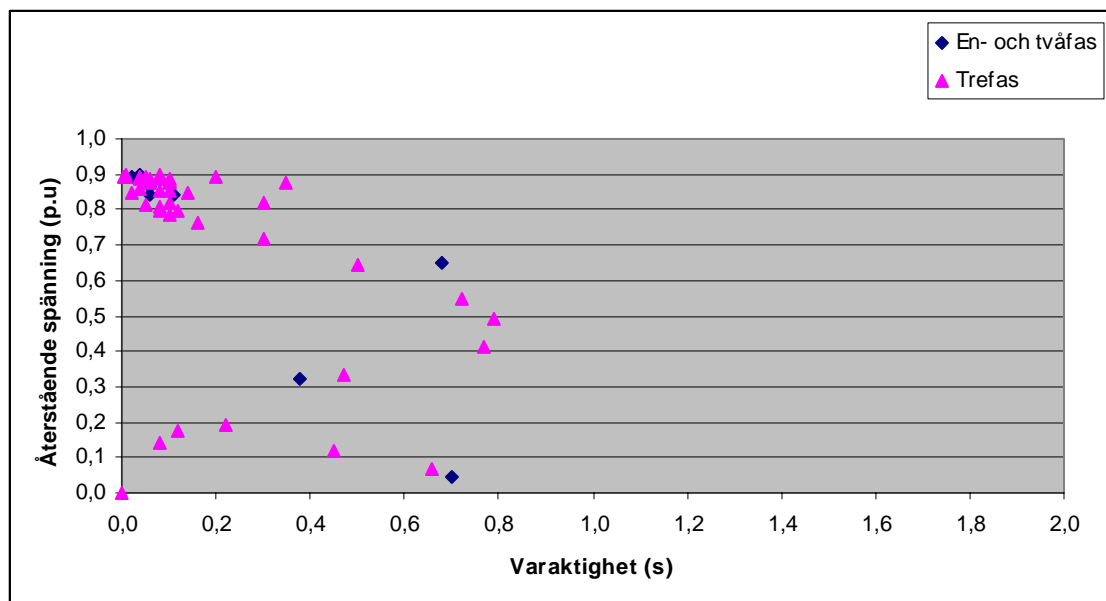
Tabell 3.28 Antalet spänningsdippar i Slite sedan 1997.

Under mätperioden sedan sommaren 2002 har förekomsten av spänningsdippar i Slite varit ca 1 % av alla registrerade spänningsdippar vilken är en mycket liten andel. Den allra största delen av dessa har inträffat under årsäsongen. Sedan 2001 har en gasturbin varit i drift under vissa perioder och det finns anledning att anta att detta kan ha bidragit till det minskade antalet dippar speciellt i området mellan 85 % och 90 %. En annan faktor som också kan ha medverkat till förbättringarna är HVDC-light anläggningen.

Från tabell 3.28 och figur 3.15 framgår att dipparna ofta varit förhållandevis djupa och med långa varaktigheter under 200 ms samt att det förekommer dippar med litet djup men som har ganska lång varaktighet. De trefasiga dipparna förekommer något oftare än för övriga storindustri- anläggningar.



Figur 3.14 Exempel på en långvarig spänningsdipp i Slite



Figur 3.15 Spridningen av spänningsdippar i Slite.

Tabellerna 3.29 och 3.30 visar antalet dippar enligt standard IEC TR 61000-2-8 och inbegriper också till skillnad mot figur 3.15 även dippar med varaktighet över 2,1 s.

Residual voltage u % of U_{ref}	Duration s							
	$0,01 < \Delta t \leq 0,02$	$0,02 < \Delta t \leq 0,1$	$0,1 < \Delta t \leq 0,5$	$0,5 < \Delta t \leq 1$	$1 < \Delta t \leq 3$	$3 < \Delta t \leq 20$	$20 < \Delta t \leq 60$	$60 < \Delta t \leq 180$
$90 > u \geq 85$	1	4	0	0	0	0	0	0
$85 > u \geq 70$	0	1	1	0	0	0	0	0
$70 > u \geq 40$	0	0	0	1	0	0	0	0
$40 > u \geq 10$	0	0	1	0	0	0	0	0
$10 > u \geq 0$	0	0	0	1	0	0	0	0

Tabell 3.29 Antalet spänningsdippar i Slite som påverkat en eller två faser

Residual voltage u % of U_{ref}	Duration s							
	$0,01 < \Delta t$ $\leq 0,02$	$0,02 < \Delta t$ $\leq 0,1$	$0,1 < \Delta t$ $\leq 0,5$	$0,5 < \Delta t$ ≤ 1	$1 < \Delta t$ ≤ 3	$3 < \Delta t$ ≤ 20	$20 < \Delta t$ ≤ 60	$60 < \Delta t$ ≤ 180
$90 > u \geq 85$	1	14	3	0	0	0	0	0
$85 > u \geq 70$	0	5	4	0	0	0	0	0
$70 > u \geq 40$	0	0	1	3	0	1	0	0
$40 > u \geq 10$	0	1	4	0	0	0	0	0
$10 > u \geq 0$	0	0	0	1	0	0	0	1

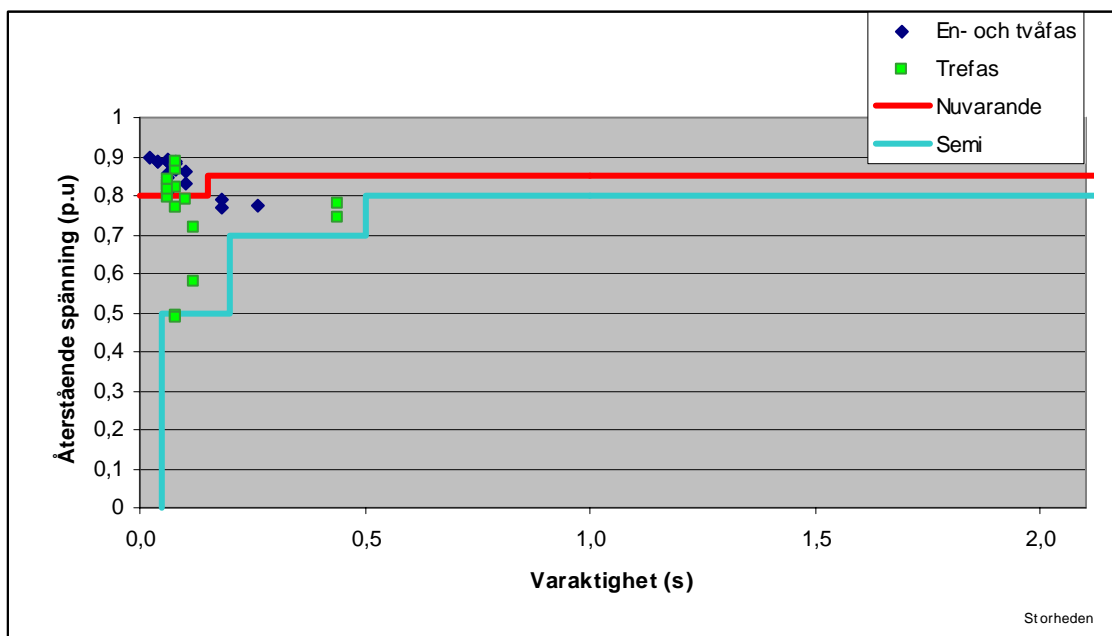
Tabell 3.30 Antalet spänningsdippar i Slite som påverkat samtliga tre faser

3.1.11 Registrerade spänningsdippar i Storheden

På Storheden i Luleå matas ett köpcentrum och småindustrier från ett 10 kV landsbygds- nät. Förekomsten av spänningsdippar i mätpunkten är i samma storleksordning som för Backa. Under åksäsongen inträffar ca 70 % av spänningsdipparna. I tabell 3.31 redovisas alla registrerade spänningsdippar uppdelade enligt IEC TR 61000-2-8. Gemensamt för alla anläggningarna med denna typ av nät är att det förekommer dippar med lång bortkopplingstid.

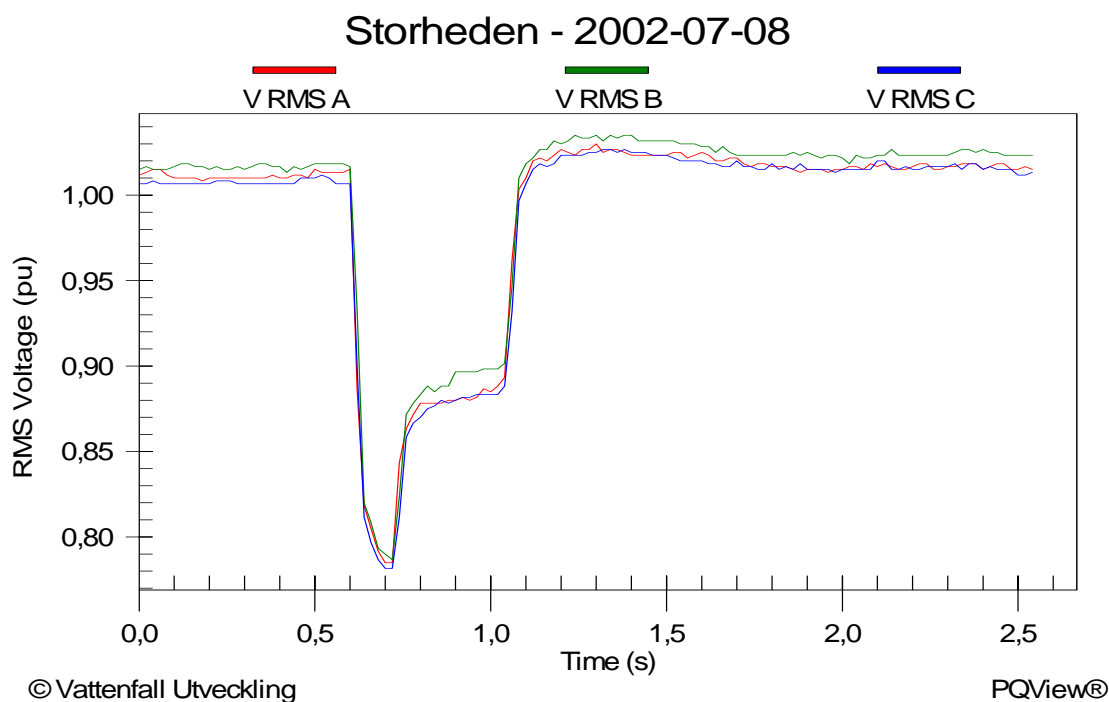
Residual voltage u % of U_{ref}	Duration s													
	$0,01 < \Delta t \leq 0,02$	$0,02 < \Delta t \leq 0,1$	$0,1 < \Delta t \leq 0,5$	$0,5 < \Delta t \leq 1$	$1 < \Delta t \leq 3$	$3 < \Delta t \leq 20$	$20 < \Delta t \leq 60$	$60 < \Delta t \leq 180$						
$90 > u \geq 85$	1	12	0	0	0	0	0	0						
$85 > u \geq 70$	0	10	6	0	0	0	0	0						
$70 > u \geq 40$	0	2	1	0	0	0	0	0						
$40 > u \geq 10$	0	0	0	0	0 </tr <tr> <td>$10 > u \geq 0$</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr>	$10 > u \geq 0$	0	0	0	0	0	0	0	0
$10 > u \geq 0$	0	0	0	0	0	0	0	0						

Tabell 3.31 Totala antalet spänningsdippar i Storheden.



Figur 3.16 Spridningen av spänningsdippar i Storheden.

I figur 3.17 ses ett exempel på en spänningsdipp i ett maskat nät med en förhållande vis lång varaktighet. Av registreringen framgår att systemet har en roterande energi som försöker upprätthålla spänningen under dippens inledningsskede. Strax efter 0,7 s i figuren (varaktighet ca 0,15 s) kopplas den felbehäftade ledningens ena ände bort varvid spänningen ökar och en del av den roterade massan accelereras. Vid drygt 1 s i figuren kopplas också ledningens andra ände bort och spänningen ökar till ett värde som är något högre än spänningen var innan dippet startade. Överspänningen efter det att den felaktiga ledningen kopplats bort tyder på att last kopplats bort. Med fullgod reläskyddskommunikation hade dippens varaktighet kunnat förkortas.



Figur 3.17 Figuren visar ett exempel på ett trefasigt fel.

De efterföljande tabellerna visar antalet spänningsdippar fördelade på trefasiga respektive en- och tvåfasiga registreringar i transformatorstationen.

Residual voltage u % of U_{ref}	Duration s							
	$0,01 < \Delta t$ $\leq 0,02$	$0,02 < \Delta t$ $\leq 0,1$	$0,1 < \Delta t$ $\leq 0,5$	$0,5 < \Delta t$ ≤ 1	$1 < \Delta t$ ≤ 3	$3 < \Delta t$ ≤ 20	$20 < \Delta t$ ≤ 60	$60 < \Delta t$ ≤ 180
$90 > u \geq 85$	1	10	0	0	0	0	0	0
$85 > u \geq 70$	0	3	3	0	0	0	0	0
$70 > u \geq 40$	0	0	0	0	0	0	0	0
$40 > u \geq 10$	0	0	0	0	0	0	0	0
$10 > u \geq 0$	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabell 3.32 Antalet spänningsdippar i Storheden som påverkat en eller två faser

Residual voltage u % of U_{ref}	Duration s							
	$0,01 < \Delta t$ $\leq 0,02$	$0,02 < \Delta t$ $\leq 0,1$	$0,1 < \Delta t$ $\leq 0,5$	$0,5 < \Delta t$ ≤ 1	$1 < \Delta t$ ≤ 3	$3 < \Delta t$ ≤ 20	$20 < \Delta t$ ≤ 60	$60 < \Delta t$ ≤ 180
$90 > u \geq 85$	0	2	0	0	0	0	0	0
$85 > u \geq 70$	0	7	3	0	0	0	0	0
$70 > u \geq 40$	0	2	1	0	0	0	0	0
$40 > u \geq 10$	0	0	0	0	0	0	0	0
$10 > u \geq 0$	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabell 3.33 Antalet spänningsdippar i Storheden som påverkat samtliga tre faser

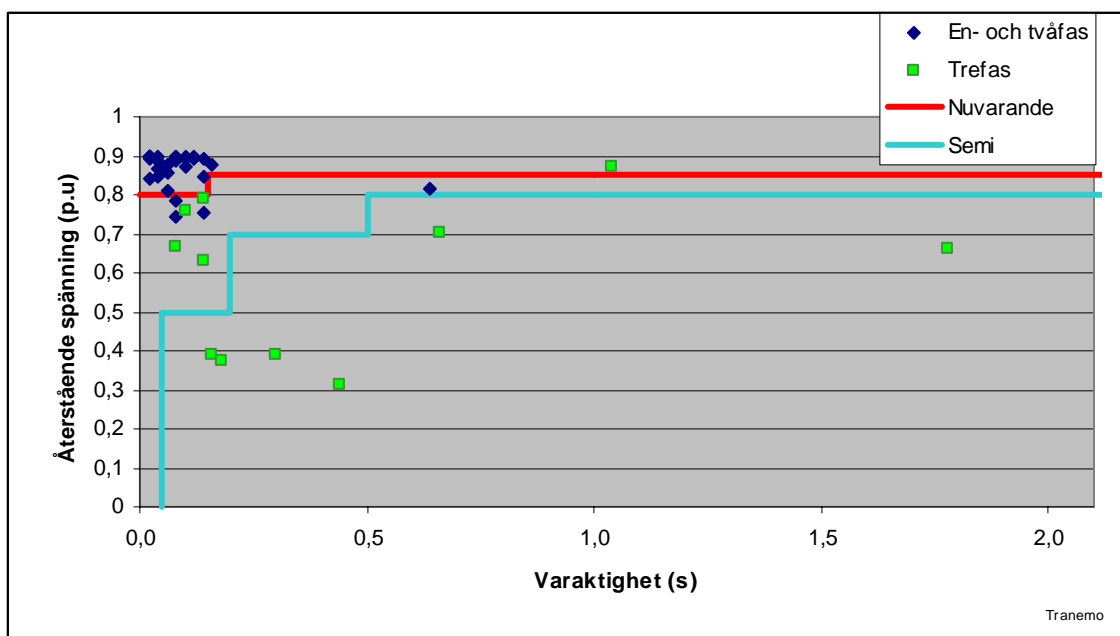
3.1.12 Registrerade spänningsdippar i Tranemo

Mätpunkten i Tranemo är placerad i en transformatorstation 40/10 kV med typiskt landsbygdsnät. I Tranemo inträffar det allra största antalet spänningsdippar i detta projekt med något över 5 dippar per månad under årsäsongen och ca 1 dipp per månad under övrig tid. Antalet korta avbrott är också högre än för övriga platser.

Residual voltage u % of U_{ref}	Duration s							
	$0,01 < \Delta t \leq 0,02$	$0,02 < \Delta t \leq 0,1$	$0,1 < \Delta t \leq 0,5$	$0,5 < \Delta t \leq 1$	$1 < \Delta t \leq 3$	$3 < \Delta t \leq 20$	$20 < \Delta t \leq 60$	$60 < \Delta t \leq 180$
$90 > u \geq 85$	7	12	4	0	1	0	0	0
$85 > u \geq 70$	1	5	3	2	0	0	0	0
$70 > u \geq 40$	0	1	1	0	1	0	0	0
$40 > u \geq 10$	0	0	4	0	0	0	0	0
$10 > u \geq 0$	0	0	0	0	0	0	0	0

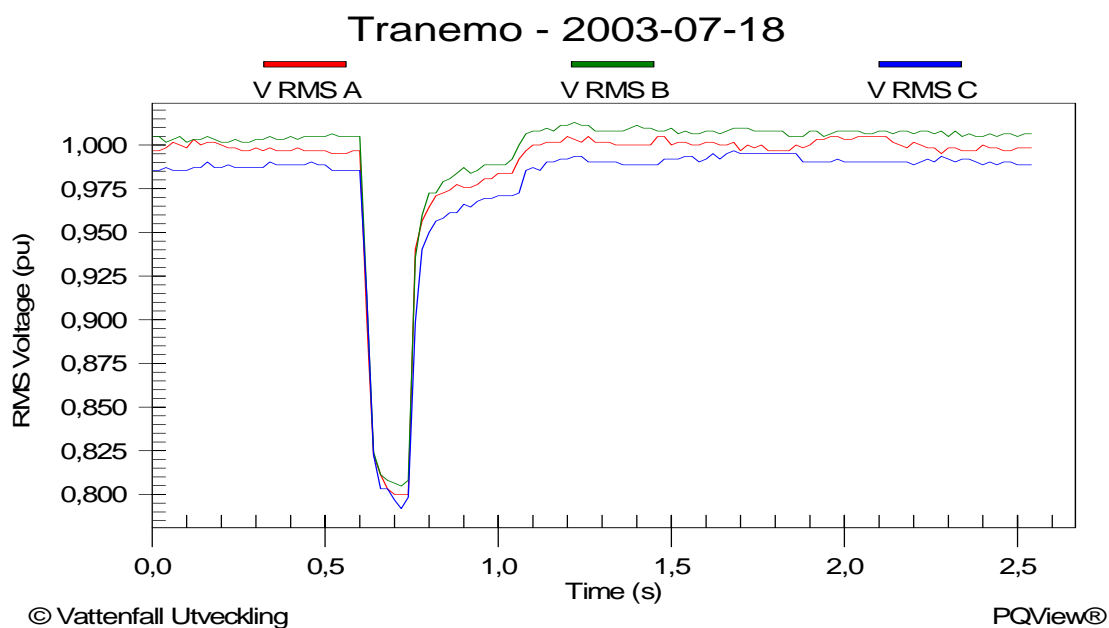
Tabell 3.34 Antalet spänningsdippar i Tranemo.

Fel på högspänningsnätet resulterar huvudsakligen i trefasiga spänningsdippar och i figur 3.18 och tabell 3.34 framgår tydligt att antalet trefasiga dippar förekommer mycket sparsamt. De trefasiga dipparna har den lägsta återstående spänningen och har dessutom förhållandevis lång varaktighet.

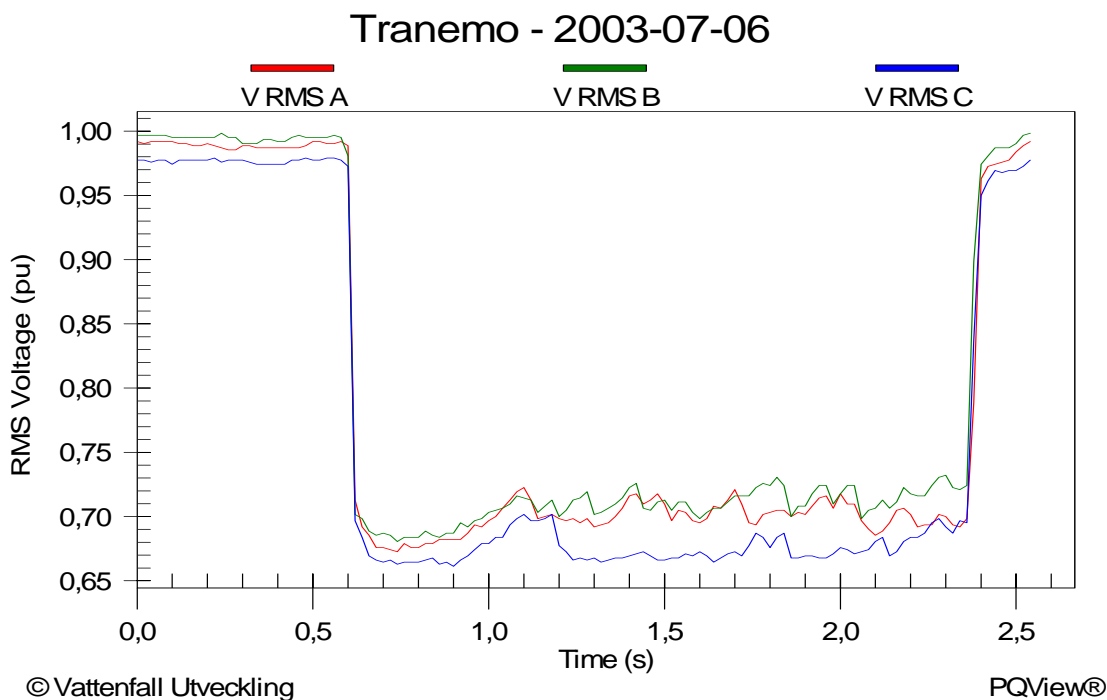


Figur 3.18 Spridningen av spänningsdippar i Tranemo.

I figur 3.19 visas kurvformen från en spänningsdipp på överliggande nät med en typisk bortkopplingstid av ca 0,1 s. Andelen trefasiga dippar i Tranemo är förhållandevis få, se tabell 3.34.

**Figur 3.19** Exempel på trefasig spänningsdipp i Tranemo

Figur 3.20 visar en registrering av en ovanligt långvarig spänningsdipp



Figur 3.20 Lång spänningsdipp, med varaktighet 1,8 s

I efterföljande två tabeller redovisas förekomsten av 1/2-fasdippar respektive 3-fasdippar.

Residual voltage u % of U_{ref}	Duration s							
	$0,01 < \Delta t \leq 0,02$	$0,02 < \Delta t \leq 0,1$	$0,1 < \Delta t \leq 0,5$	$0,5 < \Delta t \leq 1$	$1 < \Delta t \leq 3$	$3 < \Delta t \leq 20$	$20 < \Delta t \leq 60$	$60 < \Delta t \leq 180$
$90 > u \geq 85$	7	12	4	0	0	0	0	0
$85 > u \geq 70$	1	4	2	1	0	0	0	0
$70 > u \geq 40$	0	0	0	0	0	0	0	0
$40 > u \geq 10$	0	0	0	0	0	0	0	0
$10 > u \geq 0$	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabell 3.35 Antalet spänningsdippar i Tranemo som påverkat en eller två faser

Residual voltage u % of U_{ref}	Duration s							
	$0,01 < \Delta t$ $\leq 0,02$	$0,02 < \Delta t$ $\leq 0,1$	$0,1 < \Delta t$ $\leq 0,5$	$0,5 < \Delta t$ ≤ 1	$1 < \Delta t$ ≤ 3	$3 < \Delta t$ ≤ 20	$20 < \Delta t$ ≤ 60	$60 < \Delta t$ ≤ 180
$90 > u \geq 85$	0	0	0	0	1	0	0	0
$85 > u \geq 70$	0	1	1	1	0	0	0	0
$70 > u \geq 40$	0	1	1	0	1	0	0	0
$40 > u \geq 10$	0	0	4	0	0	0	0	0
$10 > u \geq 0$	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabell 3.36 Antalet spänningsdippar i Tranemo som påverkat samtliga tre faser

3.1.13 Registrerade spänningsdippar i Ullvi

Ullvi är en 130 kV-matning till en stor verkstadsindustri i ett typiskt landsbygdsnät. Samtliga registreringar har inträffat under åksäsongen med i medeltal 2 dippar per månad.

Residual voltage u % of U_{ref}	Duration s							
	$0,01 < \Delta t$ $\leq 0,02$	$0,02 < \Delta t$ $\leq 0,1$	$0,1 < \Delta t$ $\leq 0,5$	$0,5 < \Delta t$ ≤ 1	$1 < \Delta t$ ≤ 3	$3 < \Delta t$ ≤ 20	$20 < \Delta t$ ≤ 60	$60 < \Delta t$ ≤ 180
$90 > u \geq 85$	1	12	3	1	1	0	0	0
$85 > u \geq 70$	0	11	2	0	1	0	0	0
$70 > u \geq 40$	0	1	6	0	0	0	0	0
$40 > u \geq 10$	0	0	2	0	0	0	0	0
$10 > u \geq 0$	0	0	0	0	0	0	0	0

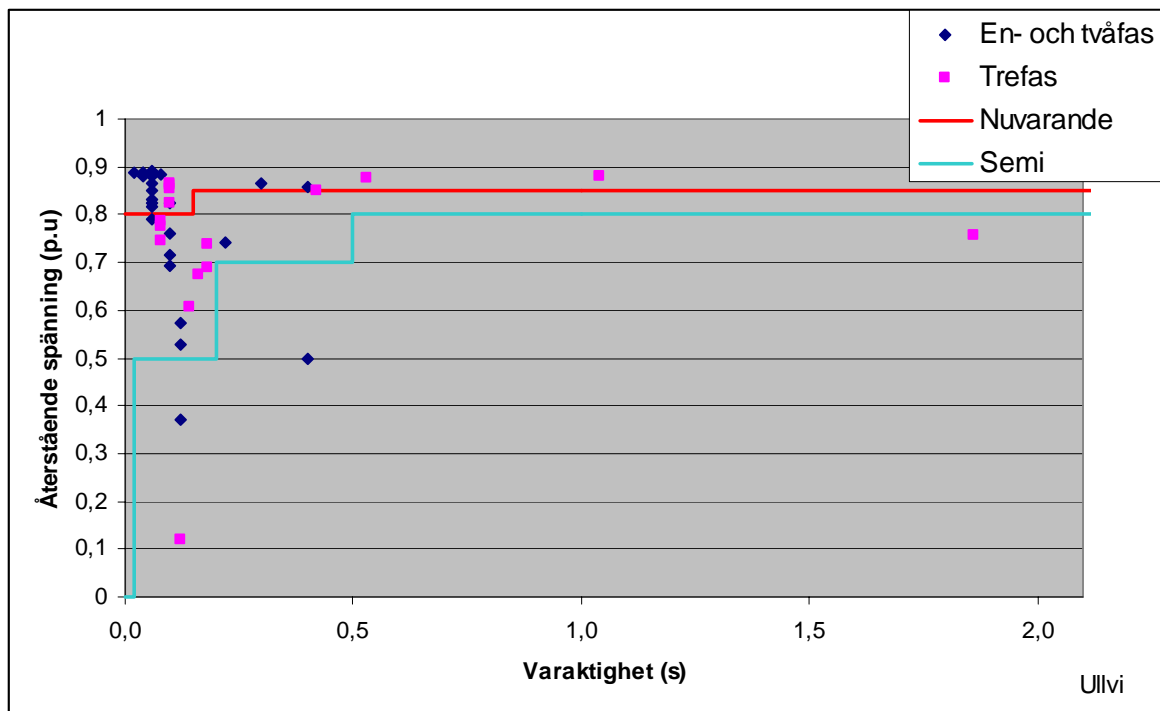
Tabell 3.37 Antalet spänningsdippar i Ullvi.

I tabell 8.38 har antalet registrerade dippar fördelats efter Semi-standarden och ur tabellen framgår nu tydligt att antalet dippar som ligger utanför Semi-standardens gränsvärden är ytterst få.

Residual voltage u % of U_{ref}	Duration s							
	$0,01 < \Delta t$ $\leq 0,05$	$0,05 < \Delta t$ $\leq 0,2$	$0,2 < \Delta t$ $\leq 0,5$	$0,5 < \Delta t$ ≤ 1	$1 < \Delta t$ ≤ 3	$3 < \Delta t$ ≤ 20	$20 < \Delta t$ ≤ 60	$60 < \Delta t$ ≤ 180
$90 > u \geq 80$	4	14	3	1	1	0	0	0
$80 > u \geq 70$	0	7	1	0	1	0	0	0
$70 > u \geq 50$	0	6	0	0	0	0	0	0
$50 > u \geq 10$	0	2	1	0	0	0	0	0
$10 > u \geq 0$	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabell 3.38 Totala antalet dippar fördelade efter Semi-standarden.

I figur 3.21 presenteras de enskilda dipparna grafiskt och på ett lättöverskådligt sätt där de fyra spänningsdipparna som ligger under Semistandarden (tabell 3.39) tydligt syns som enskilda dippar.



Figur 3.21 Spridningen av spänningsdippar i Ullvi.

I efterföljande två tabeller redovisas förekomsten av 1,2-fasdippar respektive 3-fasdippar.

Residual voltage u % of U_{ref}	Duration s							
	$0,01 < \Delta t \leq 0,02$	$0,02 < \Delta t \leq 0,1$	$0,1 < \Delta t \leq 0,5$	$0,5 < \Delta t \leq 1$	$1 < \Delta t \leq 3$	$3 < \Delta t \leq 20$	$20 < \Delta t \leq 60$	$60 < \Delta t \leq 180$
$90 > u \geq 85$	1	9	2	0	0	0	0	0
$85 > u \geq 70$	0	7	1	0	0	0	0	0
$70 > u \geq 40$	0	1	3	0	0	0	0	0
$40 > u \geq 10$	0	0	1	0	0	0	0	0
$10 > u \geq 0$	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabell 3.39 Antalet spänningsdippar i Ullvi som påverkat en eller två faser

Residual voltage u % of U_{ref}	Duration s							
	$0,01 < \Delta t$ $\leq 0,02$	$0,02 < \Delta t$ $\leq 0,1$	$0,1 < \Delta t$ $\leq 0,5$	$0,5 < \Delta t$ ≤ 1	$1 < \Delta t$ ≤ 3	$3 < \Delta t$ ≤ 20	$20 < \Delta t$ ≤ 60	$60 < \Delta t$ ≤ 180
$90 > u \geq 85$	0	3	1	1	1	0	0	0
$85 > u \geq 70$	0	4	1	0	1	0	0	0
$70 > u \geq 40$	0	0	3	0	0	0	0	0
$40 > u \geq 10$	0	0	1	0	0	0	0	0
$10 > u \geq 0$	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabell 3.40 Antalet spänningsdippar i Ullvi som påverkat samtliga tre faserna

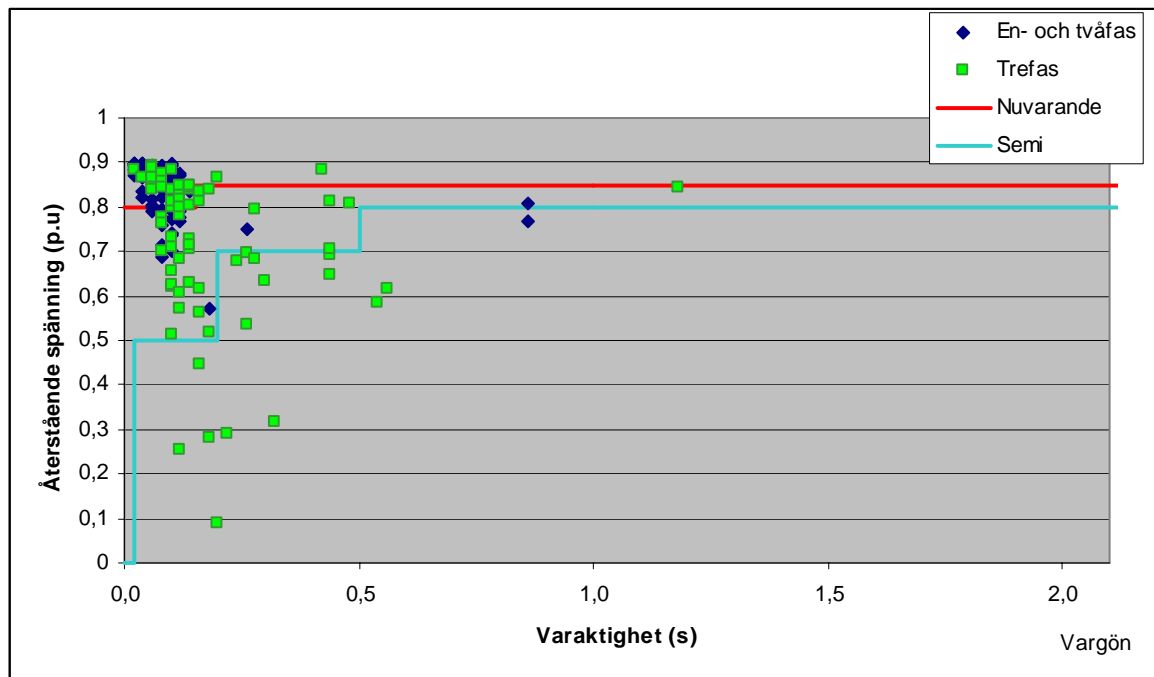
3.1.14 Registrerade spänningsdippar i Vargön

Mätpunkten i Vargön är placerad på en 10 kV industriskena i ett pappersbruk. Mätningarna har pågått länge vilket förklarar det stora antalet dippar. Under åksäsong 2002-2003 inträffade också ett stort antal spänningsdippar. Under åksäsongen registrerades över 4 dippar per månad vilket är lika ofta förekommande som i Tranemo och därmed en av de två mest påverkade platserna.

Residual voltage u % of U_{ref}	Duration s							
	$0,01 < \Delta t$ $\leq 0,02$	$0,02 < \Delta t$ $\leq 0,1$	$0,1 < \Delta t$ $\leq 0,5$	$0,5 < \Delta t$ ≤ 1	$1 < \Delta t$ ≤ 3	$3 < \Delta t$ ≤ 20	$20 < \Delta t$ ≤ 60	$60 < \Delta t$ ≤ 180
$90 > u \geq 85$	10	48	4	0	0	0	0	0
$85 > u \geq 70$	0	33	28	2	1	0	0	0
$70 > u \geq 40$	0	5	18	2	1	0	0	0
$40 > u \geq 10$	0	0	4	0	0	0	0	0
$10 > u \geq 0$	0	0	1	0	0	0	0	0

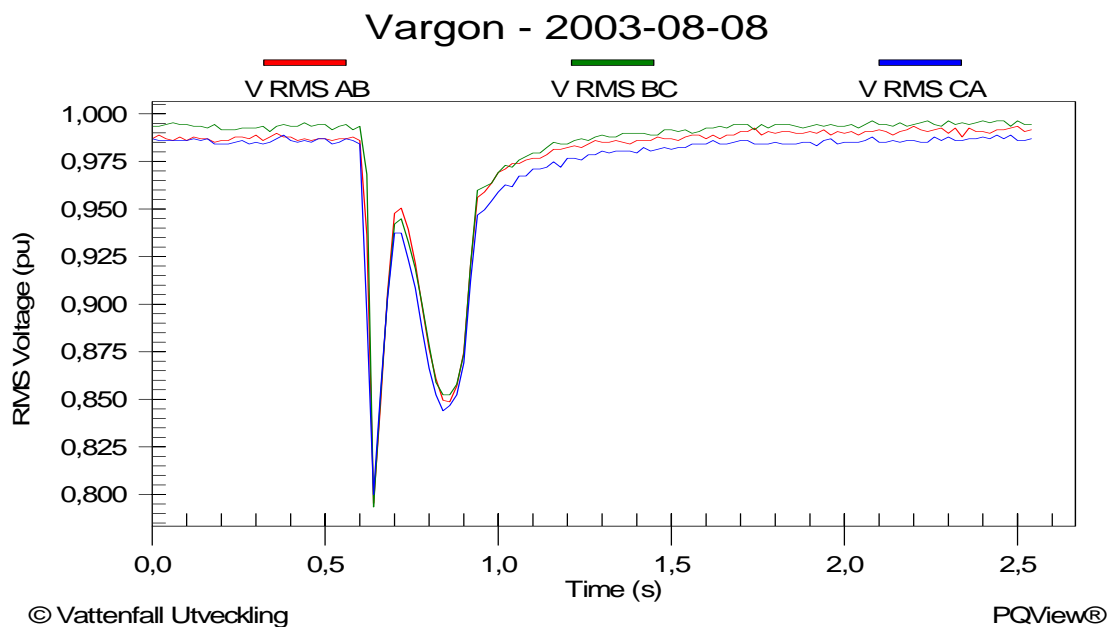
Tabell 3.41 Antalet spänningsdippar i Vargön.

Tabell 3.41 och figur 3.22 redovisar förekomsten av spänningsdippar som inträffat under hela den tid som mätningar utförts på Vargön. Merparten av alla spänningsdippar har en varaktighet kortare än 0,5 s, men många dippar är djupa. Förhållandevis många ligger under kurvan i Semi-standard.



Figur 3.22 Spridningen av enskilda spänningsdippar i Vargön sedan 1998.

Figur 3.23 visar en registrering där felet som orsakar spänningsdippen ligger internt i anläggningen.



Figur 3.23 Internt fel i anläggningen

I efterföljande två tabeller redovisas förekomsten av 1,2-fasdippar respektive 3-fasdippar.

Residual voltage u % of U_{ref}	Duration s							
	$0,01 < \Delta t$ $\leq 0,02$	$0,02 < \Delta t$ $\leq 0,1$	$0,1 < \Delta t$ $\leq 0,5$	$0,5 < \Delta t$ ≤ 1	$1 < \Delta t$ ≤ 3	$3 < \Delta t$ ≤ 20	$20 < \Delta t$ ≤ 60	$60 < \Delta t$ ≤ 180
$90 > u \geq 85$	9	36	2	0	0	0	0	0
$85 > u \geq 70$	0	23	7	2	0	0	0	0
$70 > u \geq 40$	0	1	1	0	1	0	0	0
$40 > u \geq 10$	0	0	0	0	0	0	0	0
$10 > u \geq 0$	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabell 3.42 Antalet spänningsdippar i Vargön som påverkat en eller två faser

Residual voltage u % of U_{ref}	Duration s							
	$0,01 < \Delta t$ $\leq 0,02$	$0,02 < \Delta t$ $\leq 0,1$	$0,1 < \Delta t$ $\leq 0,5$	$0,5 < \Delta t$ ≤ 1	$1 < \Delta t$ ≤ 3	$3 < \Delta t$ ≤ 20	$20 < \Delta t$ ≤ 60	$60 < \Delta t$ ≤ 180
$90 > u \geq 85$	1	12	2	0	0	0	0	0
$85 > u \geq 70$	0	10	21	0	1	0	0	0
$70 > u \geq 40$	0	4	17	2	0	0	0	0
$40 > u \geq 10$	0	0	4	0	0	0	0	0
$10 > u \geq 0$	0	0	1	0	0	0	0	0

Tabell 3.43 Antalet spänningsdippar i Vargön som påverkat samtliga tre faser

3.2 Jämförelse mellan olika typer av nät

3.2.1 Indelning

För att åskådliggöra skillnaderna i dipparnas förekomst och karaktär mellan olika typer av nät indelas mätpunkterna i tre kategorier:

Storindustri: Matning från 130 eller 70 kV-nät med stor utbredning

Mätpunkter: Braviken, Hallstavik, Husum, Iggesund, Slite, Ullvi och Vargön.

Småindustri, landsbygdsnät: Utbrett mellanspänningsnät med luftledningar och/eller kablar utsatta för störningar.

Mätpunkter: Nynäshamn, Storheden och Tranemo.

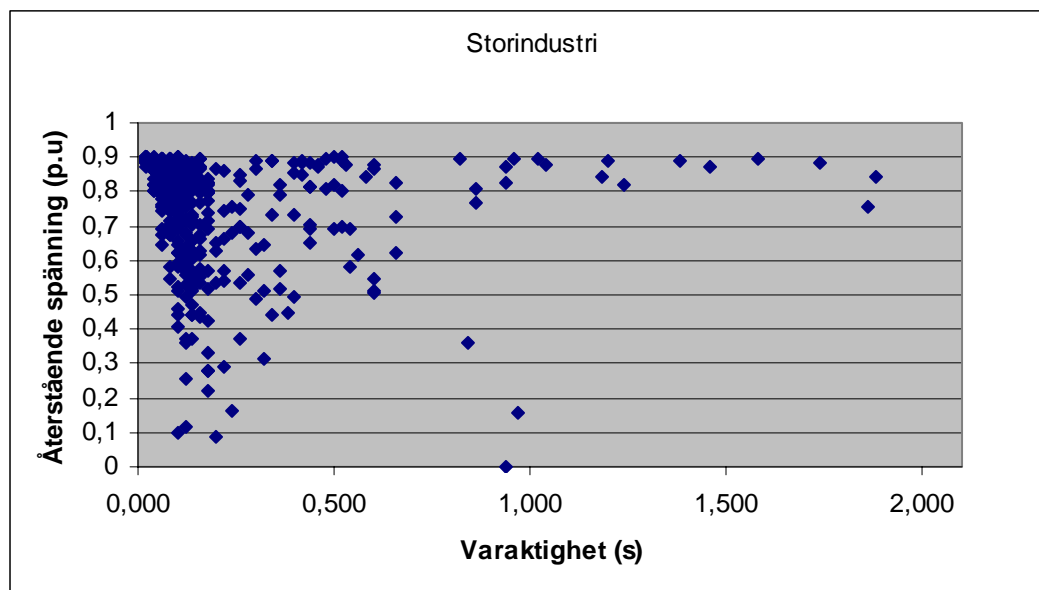
Småindustri, stadsnät: Väl skyddat mellanspänningsnät, elektriskt nära stark inmatningspunkt.

Mätpunkter: Backa, Birka/Fortum.

Uppdelningen kan givetvis inte göras helt strikt. Några av mätpunkterna har även vissa drag av någon av de andra nättyperna.

3.2.2 Storindustri

Dipparna är i huvudsak relaterade till åskfel i stamnätet och regionala nät. Totala antalet dippar varierar mellan 2,5/månad (Vargön) och 0,7/månad (Slite). Det geografiska läget har stor inverkan för dessa nät. Andelen dippar under åksäsong är mycket hög. Flera anläggningar har ca 90 % andel, ett par har 100%. Blixtnedslag i stamnätet kan vara 1, 2 eller 3-fasiga, men ju lägre nätspänning desto större andel trefasfel. Sammantaget blir andelen trefasiga dippar i storindustrierna 44 %. I dessa industrier har trefasdipparna i allmänhet avsevärt större inverkan på processen än 1, 2 –fasdippar. Kostnaderna för justeringar och förbättringar är generellt sett höga för dessa nät. Emellertid finns exempel på att ombyggnad eller justering av reläskydden ger kortare varaktighet hos dipparna (se punkt 3.6). I samband med ny- eller ombyggnad kan exempelvis topledare för 130 kV-ledningar vara motiverat.



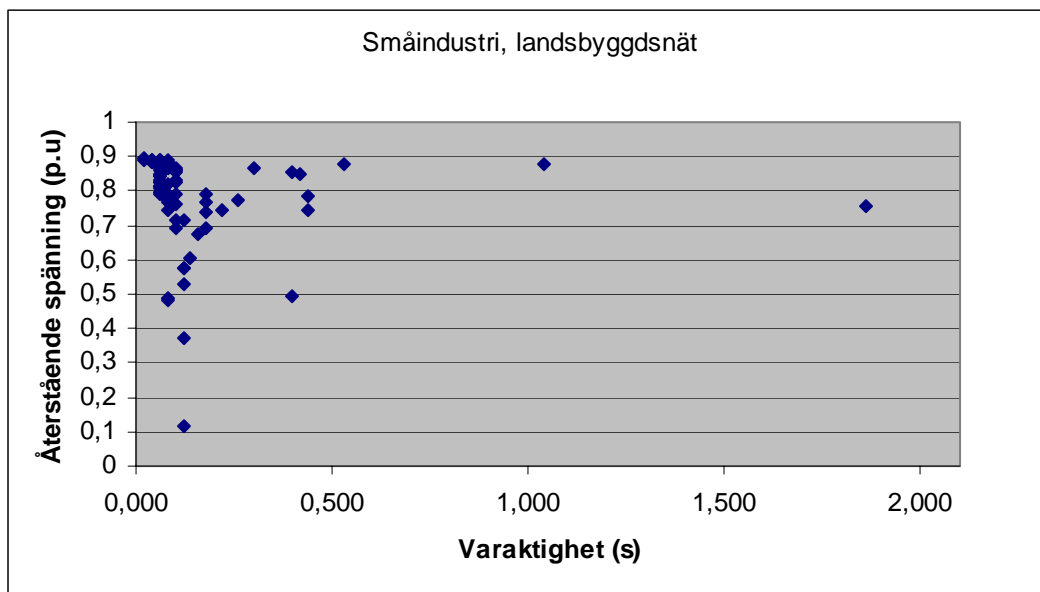
Figur 3.24 Spridningen av dipparna för storindustrierna

3.2.3 Småindustri/landsbygdsnät

Utöver störningar från stamnätet och regionala nät drabbas småindustrimätpunkterna av fel i ett utbrett mellanspänningsnät bestående av luftledningar eller kablar som kan vara utsatta för avgrävning. Därför är totala antalet dippar högt (2,4 per månad) och andelen åskrelaterade störningar relativt lågt (73 % under åksäsong). Det geografiska läget påverkar mest felen i stam- och regionnäten, vilket gör att skillnaderna blir mindre för småindustrinäten än för storindustrierna. Typiskt för småindustrinäten är att varaktigheten är lång, inte minst för 1, 2-fasdipparna.

Mätinstrumenten har registrerat ett relativt stort antal enfasiga jordfel, som inte ger någon störning i den anläggningsdel där instrumentet sitter, men man kan befara att andra anläggningsdelar i samma nät utsätts för spänningsavbrott.

För dessa nät finns en förbättringspotential, bl a genom BLL-linor, bättre kabelskydd och förbättrade reläskydd. Kostnaderna för sådana åtgärder, som naturligtvis kan bli ganska höga, får vägas mot värdet av förbättrad elkvalitet för de anslutna småindustrierna.

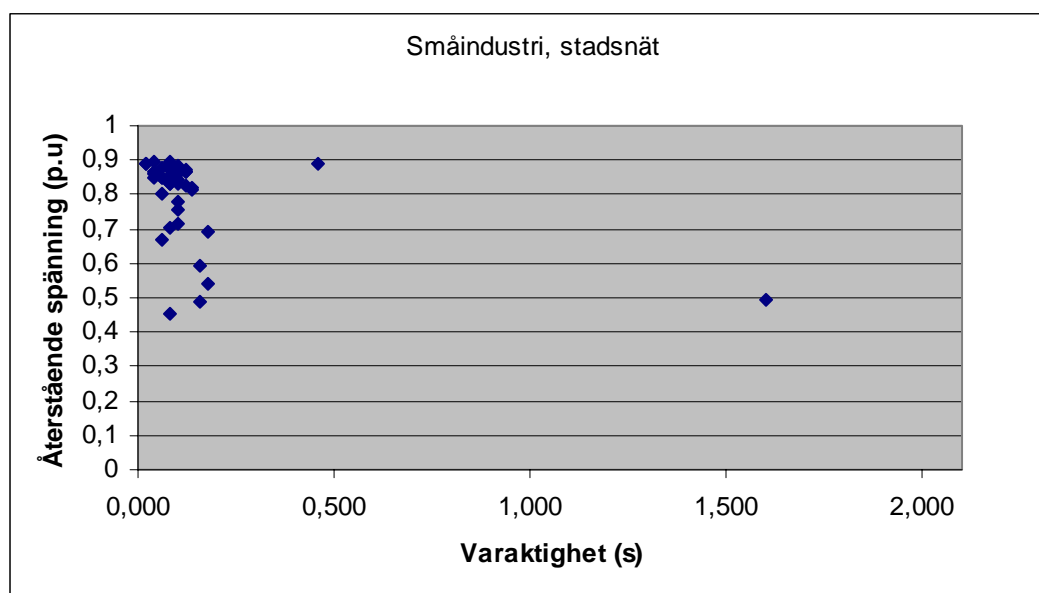


Figur 3.25 Spridningen av dipparna för småindustrierna i landsbyggsnät

3.2.4 Småindustri/stadsnät

Matande högspänningsnät har relativt bra åskskydd (toppledare) och hög kortslutningseffekt. Genom att dessutom mellanspänningsnätet, där mätpunkterna finns, är väl skyddat genom markförläggning blir dipparna få och grunda. Bra reläskydd gör att varaktigheten blir kort.

Andelen trefasfel var 35 % för dessa mätpunkter och 84 % av felen inträffade under åksäsong.



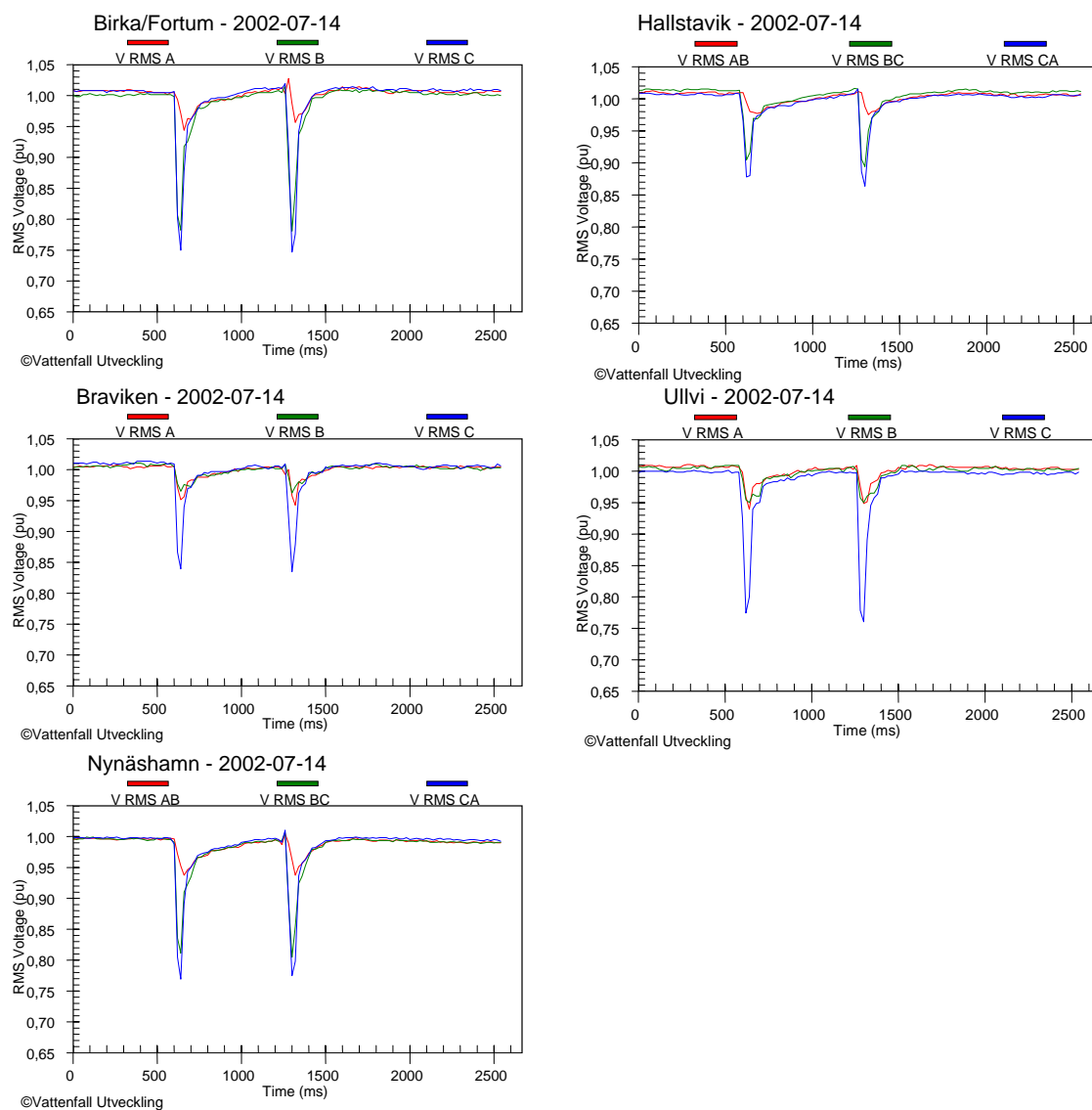
Figur 3.26 Spridningen av dipparna för småindustrierna i stadsnät

3.3 Aktionsradie

För att få en riktigt god bild över spridningen av en störning på kraftsystemet erfordras många utrustningar som är placerade på flera spänningsnivåer och noder i nätet. I följande avsnitt visas störningar med relativt stor utbredning och som kunnat detekteras med flera av de utrustningar vi haft tillgång till i detta projekt.

3.3.1 Högspänningsfel i Mellansverige

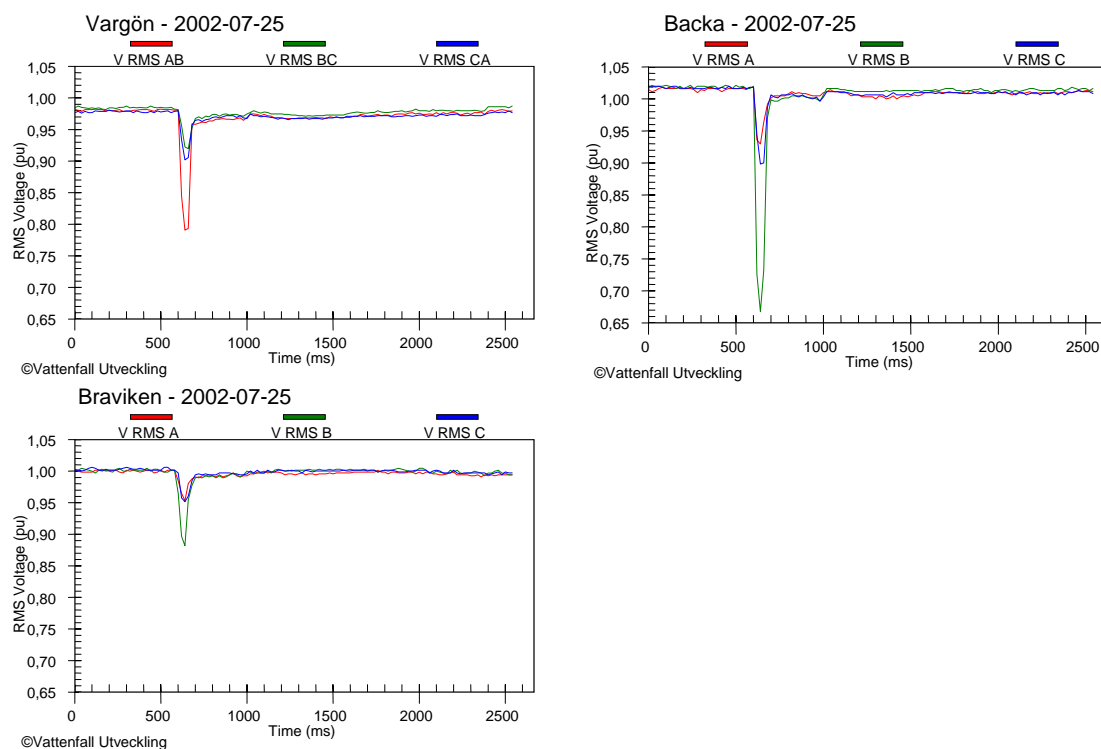
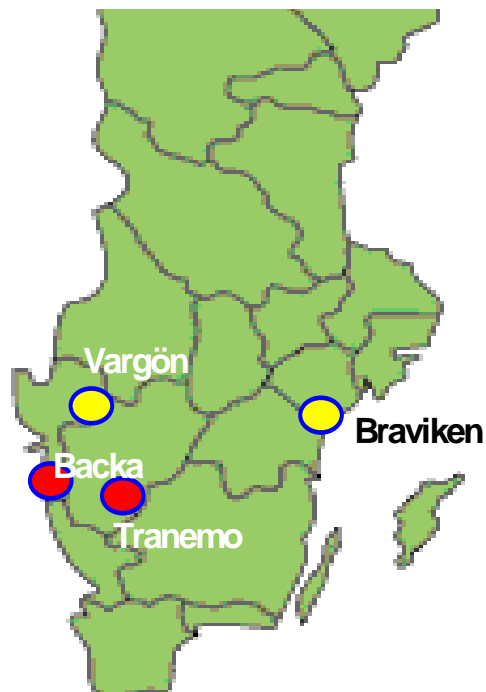
I figur 3.27 visas en typisk spänningsdipp med misslyckad snabbåterinkoppling på överliggande nät. Samtliga platser ligger inom samma område och har relativt goda kopplingar till stamlinjenätet vilket innebär att den troligaste orsaken är fel på någon av stamlinjerna som matar Hamra.



Figur 3.27 Samtidig registrering av spänningsdipp på fem platser; Birka/Fortum, Hallstavik, Braviken, Nynäshamn och Ullvi.

3.3.2 Högsäpänningsfel i sydvästra Sverige

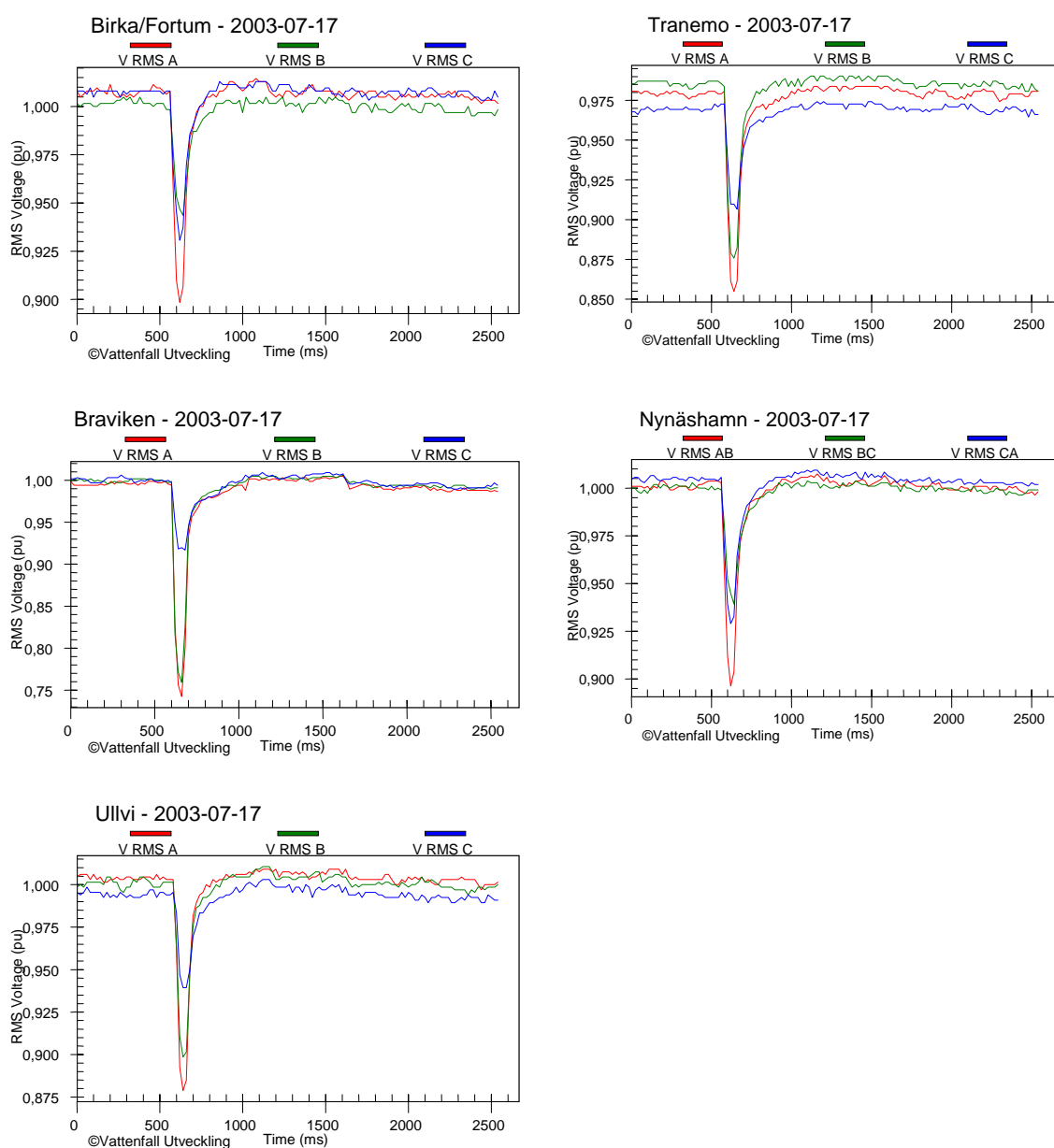
I figur 3.28 visas en störning på matande nät med en relativt stor utbredning. Spänningsdippen är störst i Backa som ligger nära inmatningspunkten på 400 kV. Spänningsdippen kan också ses i Vargön som matas från Skogsäter samt i Braviken som matas från stamlinjenätet. Tranemo som troligen matas från Breared blir opåverkat vilket innebär att inte alla 400 kV-ledningar påverkades. Det geografiska avståndet från felet till Braviken är ca.30 mil, men genom den starka kopplingen blir det "elektriska" avståndet tillräckligt litet för att nått och jämt ge en indikering i Braviken. Avståndet från felet till Tranemo är i storleksordningen hälften av avståndet till Braviken, men ändå erhöles ingen indikering genom att den elektriska kopplingen är svagare.



Figur 3.28 Registreringar i Vargön, Backa och Braviken.

3.3.3 Spänningsdipp i nordöstra Götaland

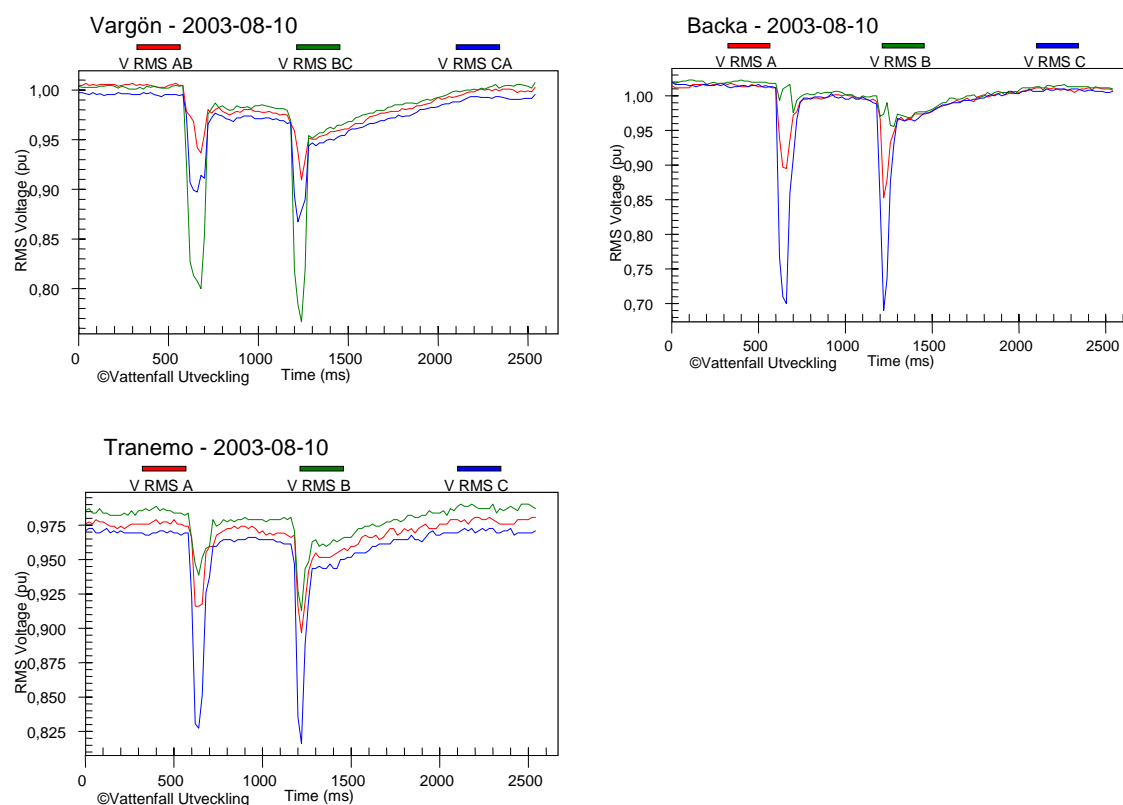
Figur 3.29 visar ett exempel på störning i överliggande nät som försvinner vid bortkopplingen vilket innebär att återinkopplingen varit lyckad. Bortkopplingstiderna är typiska för högspänningsnät och utbredningen kan ses över hela området där mätutrustningar finns utplacerade. Spänningsdippens djup är störst i Braviken men inte så djup som den skulle blivit vid fel i 130 kV-nätet. Nätet runt Braviken är relativt starkt. Med hänsyn till att också Tranemo har påverkats är det troligast att felet inträffat på ledningen från Simpevarp. Alla mätpunkterna, utom Braviken, ligger nära gränsen för dippens utbredningsområde - Nynäshamn och Birka/Fortum precis på gränsen. Det geografiska avståndet mellan Tranemo i sydväst och Birka/Fortum i nordöst är 35 mil. Ur figuren framgår också att laster påverkats och blivit bortkopplade.



Figur 3.29 Störning på ledningen mellan Kimstad och Simpevarp.

3.3.4 Spänningsdipp i Västsverige

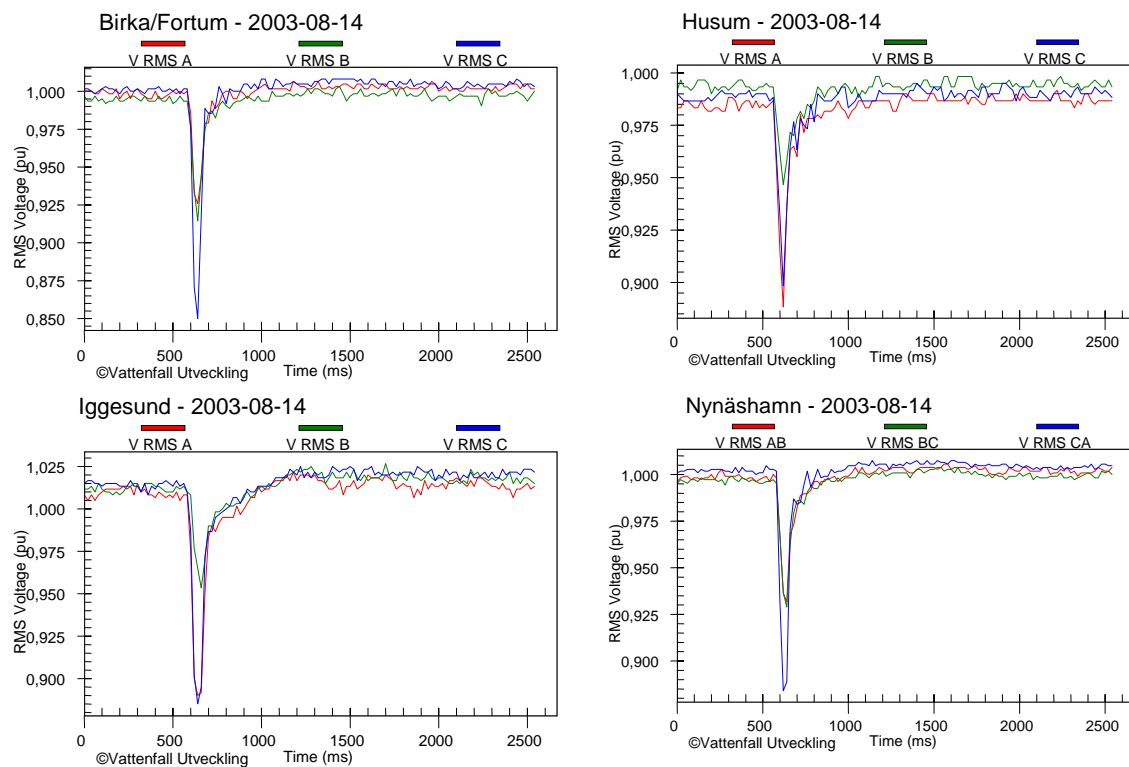
Figur 3.30 visar en besvärlig spänningsdipp på överliggande nät. Felet har inträffat relativt nära Göteborg och ger den största spänningssänkningen i Backa.



Figur 3.30 Spänningsdipp på överliggande nät i närheten av Göteborg

3.3.5 Spänningsdipp i Sydöstra Norrland

De mätpunkter som registrerat dippen ligger alla nära gränsen för utbredningsområdet. Mellan Nynäshamn på gränslinjen i söder och Husum vid norra begränsningslinjen är det 50 mil. Intressant att notera är att det ”elektriska avståndet” från Nynäshamn till Iggesund är lika stort som till Husum (eftersom även Iggesund ligger på gränslinjen), men det geografiska avståndet från Nynäshamn till Iggesund är bara 30 mil.



Figur 3.31 Dippregistreringar med stor geografisk spridning

3.4 Orsaker

Under projektets gång har iakttagits att förekomst av dippar i hög grad kan hänföras till fel i regionala nät (främst 70 och 130 kV) med tillskott från överliggande nät (stamnätet 220 och 400 kV). För mätpunkterna i småindustrinät tillkommer dessutom fel i mellanspänningsnät. Dippar från överliggande nät summeras till de nät som kunderna är anslutna till. Den bedömningen har gjorts att förhållandena för regionala nät är representativa och kan användas som bas för analysen av orsaker till spänningsdippar. Störningsstatistik för ett större regionalt nät har därför använts för orsaksanalysen.

Åska är den klart vanligaste orsaken till spänningsdippar och har i störningsstatistiken noterats för 50 % av fallen. I praktiken är andelen högre eftersom många av de ”obekanta” fenomenen i praktiken är åskfel liksom ett antal av de fel som klassas som ”externa”, exempelvis en del av felen i överliggande nät. Åskan bedöms därför stå för åtminstone 60 % av störningarna, troligen ännu mer. Den näst vanligaste posten i statistiken är ”obekant” och dessa händelser orsakar ca 20 % av störningarna. Denna andel kan tyckas hög, men här kan noteras att från 1997 (då de första mätningarna i projektet började) till 2001 (sista året i nämnda orsaksstatistik) har antalet okända orsaker minskat varje år, vilket gjorde att år 2001 klassades bara hälften så många fel som obekanta i jämförelse med 1997. Samarbetet mellan processindustrier och nätbolag, som etablerades under mätperioden, blev allt bättre vilket bidrog till bättre statistik och naturligtvis även bättre elkvalitet.

Härefter följer några orsaksgrupper som var och en står för ca 10 % av störningarna: ”Övrigt” som bl. a. innehåller speciella problem såsom fågelstörningar, ”övrig natur” och ”externt”, den senare omfattar överliggande nät (stamnätet) och intilliggande regionala nät. ”Utrustning, material” orsakar endast ca 3 % av störningarna och den sista posten ”åverkan” lyckligtvis bara ca 1 %.

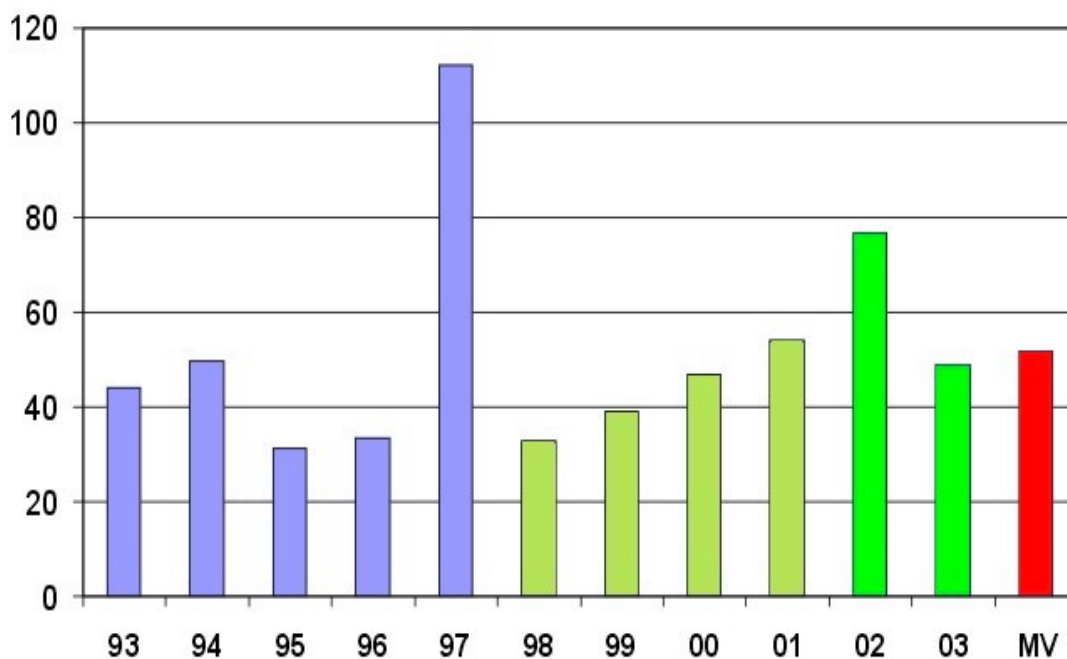
För stamnätet gäller att andelen åskrelaterade fel är ca 13 % för 400 kV och 34 % för 220 kV.

3.5 Sammanfattning av åksäsongerna (2002-2003)

Eftersom åska är den klart vanligaste orsaken till spänningsdippar är det naturligtvis intressant att studera blixtnedslagen. Antalet blixtnedslag varierar ju en hel del från år till år, men det är inte helt lätt att finna jämförelsedata som är relevanta för projektet. Från det nordiska blixtnedslagsregistreringssystemet finns visserligen data sedan 1987 men systemet har byggts ut och de senaste tre åren går inte att jämföra varken inbördes eller med tidigare år. Det bästa jämförelsematerialet för projektet verkar man få ur statistik för åskfel i stamnätet (220 och 400 kV). Figur 3.32 visar dessa fel. För åren 1996 till 2000 är överensstämmelsen bra med blixtnedslagsregistreringssystemet. Anmärkningsvärt är den höga blixtnedslagsfrekvensen 1997, något som föranledde de diskussioner som initierade mätningarna med PQPager-systemet. För de mest intressanta åren i projektets synvinkel

ses att 2002 hade högre felfrekvens än medelåret medan 2003 låg ganska nära medelvärdet.

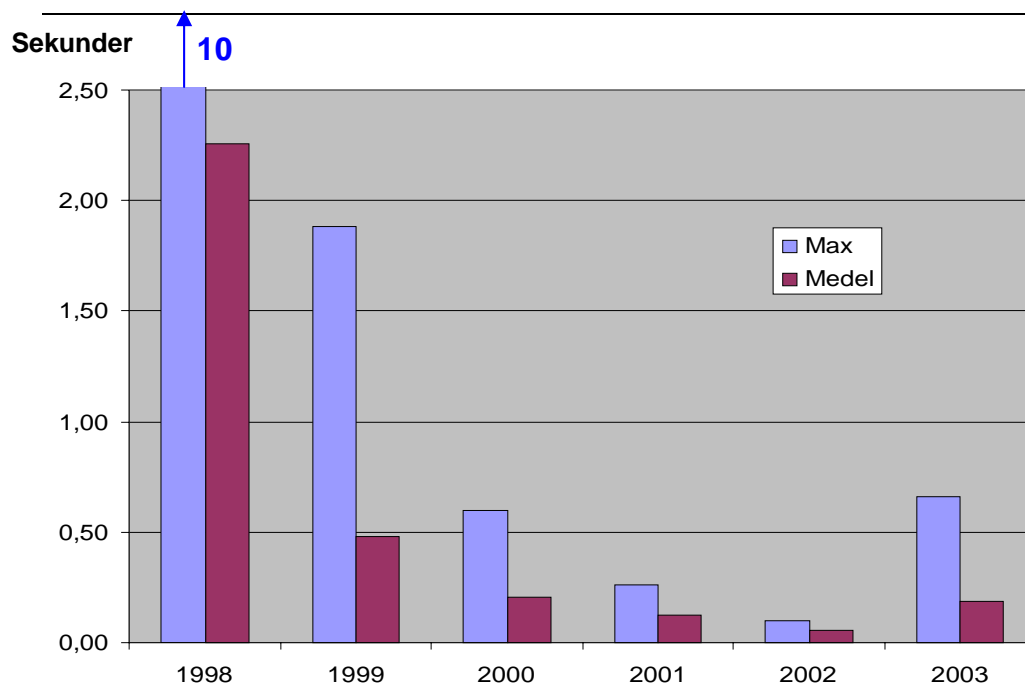
Åskfel i stamnätet 1993 - 2003



Figur 3.32 Fel orsakade av åska i stamnätet 1993-2003

3.6 Exempel på förbättring i nät

När mätningarna började i Vattenfalls tidigare mätserier 1998 hade Iggesund dippar med mycket långa bortkopplingstider och även spänningsavbrott. Efter diskussioner mellan Iggesunds Bruk/Holmen Kraft och nätägaren genomfördes åtgärder i nätet, främst förbättringar i kontrollanläggningen. Dessa åtgärder avspeglas tydligt i mätningarna, särskilt t.o.m. 2002. Att 2003 blev ett visst bakslag är snarare en påminnelse om att det handlar om stokastiska fenomen än att elkvaliteten verkligen skulle blivit sämre. Den positiva tendensen sett över de fem åren är ändå helt klar.

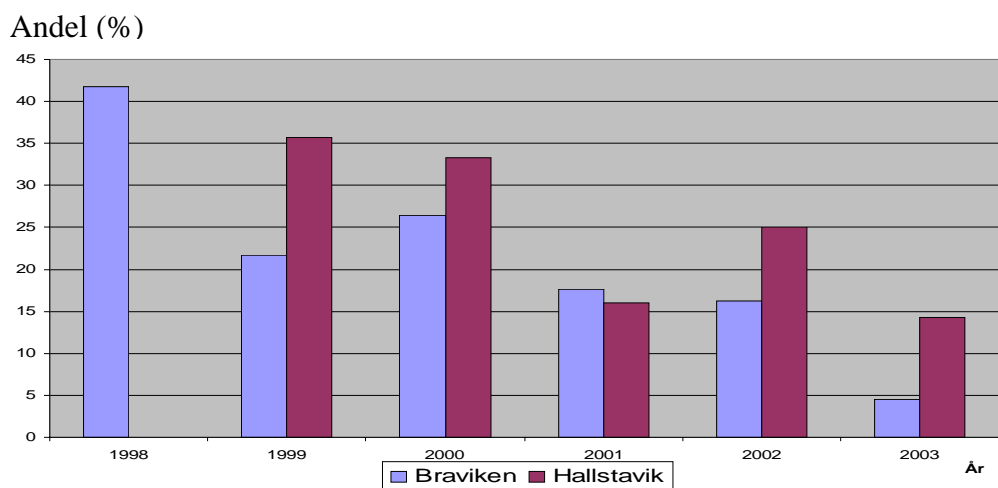


Figur 3.33 Bortkopplingstider i Iggesund

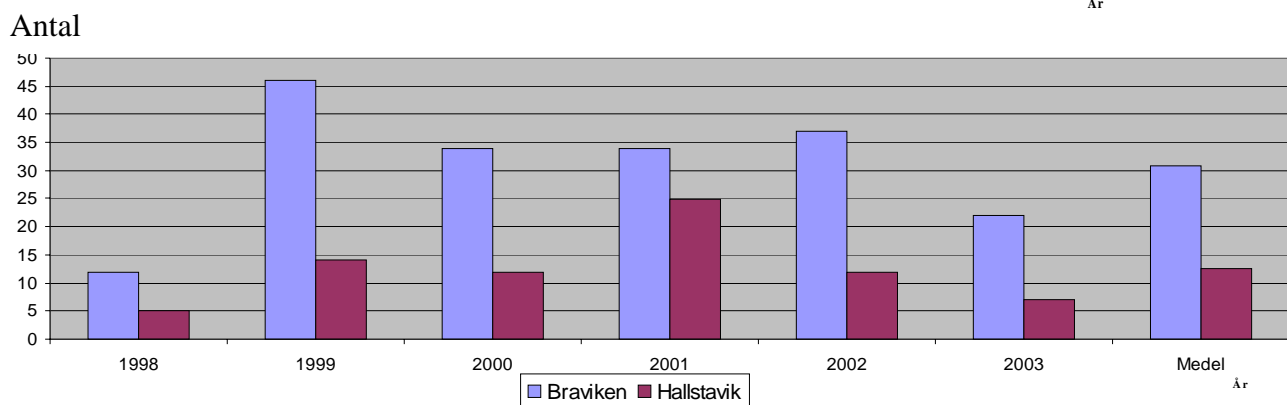
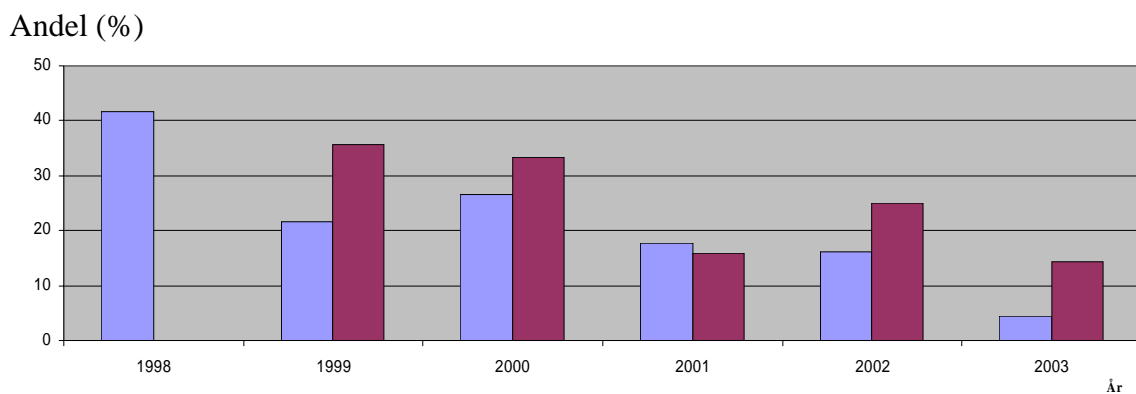
3.7 Avvägning kortslutningseffekt/"antennlängd"

Figureerna 3.34 och 3.35 illustrerar hur avvägningen kortslutningseffekt kontra "antennlängd" slår för två av mätpunkterna, Braviken och Hallstavik. Den första figuren visar andelen djupa dippar i procent. Här har dippar mindre än eller lika med 70% betraktats som djupa. Braviken har bra immunitet, inte minst för enfasdippar, och man klarar sådana dippar ner mot 70 %, men för de dippar som redovisas i figuren blir det i regel driftstopp. Braviken matas från ett starkt nät med ett antal 130 kV-ledningar som innebär en relativt stor antennlängd. Hallstavik har en svagare matning via 70 kV, men har en nära koppling till 220 kV och totalt sett måttlig antennlängd. Inte oväntat ger det starka nätet ger en lägre andel djupa dippar. Andelen djupa dippar har också minskat genom åren för båda anläggningarna. Vissa nätförstärkningar har gjorts, men det är oklart om dessa är hela förklaringen till denna tendens.

I figur 3.35 visas samma tabell tillsammans med totala antalet dippar. Det starka nätet, som var en fördel vad gäller andelen djupa dippar, är en nackdel avseende totalantalet. Sammantaget får Braviken fler dippar, inte bara totalt utan även fler djupa dippar. Åskfrekvensen är högre i norrköpingsområdet, men det ger inte hela förklaringen. Exemplet visar att nätets utformning har stor betydelse. Det är ur elkvalitetssynvinkel bättre att åstadkomma tillräcklig kortslutningseffekt med ett fåtal ledningar på hög spänningsnivå (t.ex. 220 kV) än med ett flertal sämre skyddade ledningar på lägre spänningsnivå (t.ex. 130 kV).



Figur 3.34 Andel dippar $\leq 70\%$ av U_n



Figur 3.35 Andel djupa dippar jämfört med antal

4 Teknisk bakgrundsinformation

4.1 Tillämpliga standarder/tekniska rapporter

4.1.1 SS-EN 61000-4-30

SS-EN 61000-4-30: *Electromagnetic compatibility (EMC) – Testing and Measurement Techniques – Power quality measurement methods* (utgivningsdatum; februari 2003) [2] vars syfte är att definiera mät- och utvärderingsmetoder för elkvalitetsparametrar.

4.1.2 IEC TR 61000-2-8

IEC TR 61000-2-8: *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 2-8: Environment – Voltage dips and short interruptions on public electric power supply systems with statistical measurement results* [3] är en teknisk rapport som beskriver störningsfenomenen spänningsdipp och korta avbrott, deras uppkomst, påverkan, avhjälpling och lämpliga mätmetoder. Rapporten presenterar också några resultat från tidigare undersökningar gjorda på det allmänna elnätet.

Efter överenskommelser med elbranschen, här representerad genom Elforsk, har projektets styrgrupp beslutat att använda statistisk redovisning av spänningsdippar enligt IEC TR 61000-2-8 ”*Classification of measurement results*”.

Residual voltage u % of U_{ref}	Duration s							
	$0,01 < \Delta t \leq 0,02$	$0,02 < \Delta t \leq 0,1$	$0,1 < \Delta t \leq 0,5$	$0,5 < \Delta t \leq 1$	$1 < \Delta t \leq 3$	$3 < \Delta t \leq 20$	$20 < \Delta t \leq 60$	$60 < \Delta t \leq 180$
$90 > u \geq 85$								
$85 > u \geq 70$								
$70 > u \geq 40$								
$40 > u \geq 10$								
$10 > u \geq 0$								

Tabell 4.1 Klassificering av mätresultat. Första kolumnen kan innehålla händelser orsakade av transienter och den övre raden kan innehålla större spänningsfluktuationer orsakade av stora laster. Den nedersta raden omfattar även korta avbrott.

4.1.3 SS-EN 50160

SS-EN 50160:2000 utgåva 2 – Spänningens egenskaper i elnät för allmän distribution [1]. Den svenska utgåvan av standarden har kompletterats med nationell bilaga, vilken innehåller en jämförelse mellan SS-EN 50 160 och tidigare utgiven svensk standard SS 421 18 11, utgåva 3, 1989. Inom CENELEC pågår framtagandet av en teknisk

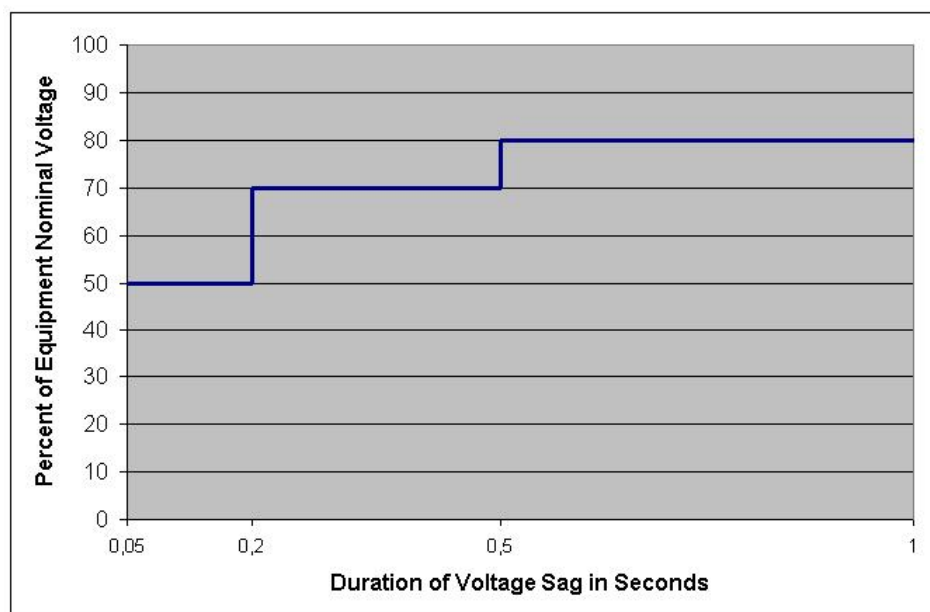
rapport (CLC/prTR 50160 final draft: August 2003 [7]) för att ge bakgrundsinformation och förklaringar till EN 50160.

SS-EN 50160 anger de viktigaste egenskaperna hos spänningen under normal drift i kundens anslutningspunkt i ett allmänt distributionsnät (nominell spänning av högst 35 kV). Standarden är inte en EMC-standard utan sammanfattar snarare de viktigaste egenskaperna hos produkten el. Angivna gränser eller värden skall således inte betraktas som EMC-nivåer eller gränsvärden för emission.

4.1.4 Semistandard F47

En av flera olika gränsvärdeskurvor över vilka utrustning förväntas fungera utan anmärkning är den så kallade SEMI F47 kurvan som tagits fram av SEMI (Semiconductor Equipment and Materials International Group).

SEMI F-47 "Specification for Semiconductor Processing Equipment Voltage Sag Immunity" definierar tröskelvärden som i första hand utrustning för tillverkning av halvledarprodukter bör klara av. Gränsvärdena är också användbara som möjliga målgränser för elnätet.



Figur 4.1 Semistandard F47 – Required Semiconductor Equipment Voltage Sag Ride-Through Capability Curve.

4.2 Definitioner

4.2.1 Duration

I den statistiska redovisningen enligt IEC TR 61000-2-8 används de engelska benämningarna i tabellen. I rapporten i övrigt används enligt svensk standard den svenska benämningen "varaktighet".

4.2.2 Högspänningsnät (HV eller VHV)

Högspänning HV $35 \text{ kV} < U_n \leq 145 \text{ kV}$

Högspänningsnät VHV U_n större än 145 kV

4.2.3 Mellanspänningsnät (MV)

Mellanspänning MV $1 \text{ kV} < U_n \leq 35 \text{ kV}$

4.2.4 Lågspänningsnät (LV)

Lågspänning LV $U_n \leq 1 \text{ kV}$

4.2.5 Residual voltage, u

I denna rapport klassificeras mätresultatet enligt IEC TR 6100-2-8 varvid de engelska uttrycken behållits enligt IEC. I denna rapport används i alla andra sammanhang uttrycket "återstående spänning".

4.2.6 Spänningsdipp, sag

Kortvarig spänningssänkning under en given tröskelnivå [1]. Spänningsdippen är vanligtvis orsakad av kortslutningar eller andra extrema situationer i nätet. Spänningsdippen karakteriseras med hjälp av kvarvarande spänning och tid (varaktighet).

I denna rapport används båda benämningarna, dipp och sag, synonymt¹.

4.2.7 Tröskelvärden – start av dipp

Spänningens r.m.s-värde används för att bestämma dippens början. Anges i procent av angiven eller nominell spänning för systemet. Enligt [1] skall denna gräns vara 90%².

¹ I äldre litteratur skiljer man på spänningsdipp, som då angavs som spänningssänkningens storlek medan "voltage sag" motsvarar den återstående spänningen vid en dipp. Begreppen är helt utbytbara där $U_{pu,dipp} = 1 - U_{pu,sag}$ och där 1 motsvarar nominell spänning (observera att i dessa äldre dokument är dipp och sag inte alternativa namn på samma fenomen).

² Andra gränser (mellan 85% och 95%) förekommer, speciellt i äldre undersökningar. Det är högst olämpligt att vid kartläggning av spänningsdippar använda sådana värden eftersom jämförelser försvåras avsevärt och kräver noggrann utvärdering av varje dipp. I vissa system kan det dock vara nödvändigt att använda tröskelnivåer under 90% på grund av att näten är för svaga för att mätningar skall vara genomförbara. Tröskelvärden över 90 % bör endast användas i samband med felsökning.

4.2.8 Tröskelvärden – slut av dipp

Spänningens r.m.s .värde används för att bestämma dippens avslut. Anges i procent av angiven eller nominell spänning för systemet. Enligt [1] skall denna gräns vara 90%. Av praktiska skäl tillåts användning av en hysteresnivå, vanligtvis 2%, för att undvika upprepade registreringar av dippar för den händelse att spänningen efter det att dippen avslutats fluktuerar runt tröskelnivån 90%. Detta är speciellt viktigt vid enbart registrering av antalet dippar.

4.2.9 Tröskelvärden för kortvarigt spänningsavbrott

Tiden för det kortvariga spänningsavbrottet bestäms på samma sätt som för spänningsdippar med den skillnaden att spänningen måste passera den undre gränsen, som är 1%.

4.2.10 U_{ref}

I den statistiska redovisningen enligt IEC TR 61000-2-8 används U_{ref} som basspänning för klassificeringen av spänningsdippar där den återvändande spänningen anges i % eller i p.u av U_{ref} . I denna rapport används vanligtvis motsvarande begrepp enligt svensk standard (U_c).

4.3 Beskrivning av störningsfenomen

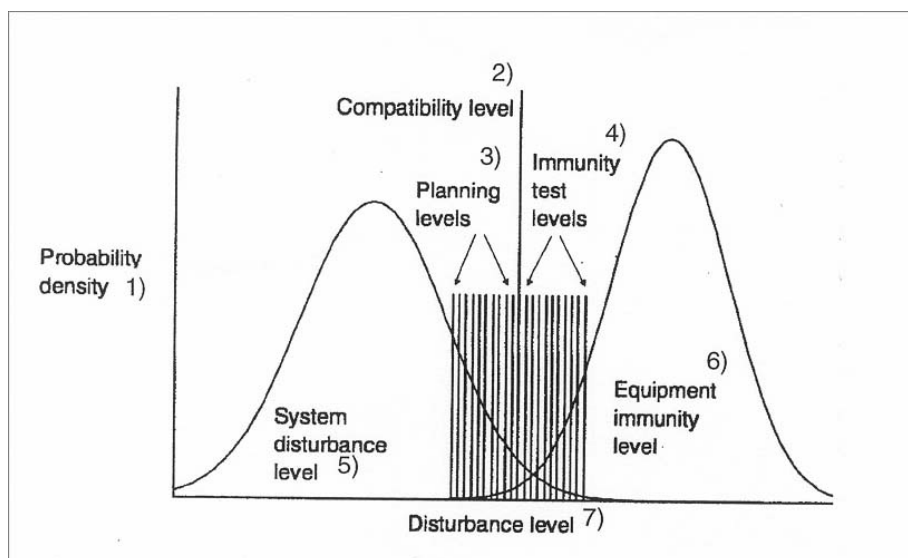
4.3.1 Allmänt

De elkvalitetsstörningar som vanligtvis orsakar de största problemen inom industrin är kortvariga spänningssänkningar och avbrott. Eftersom dessa störningar är av slumpmässig karaktär måste registreringar göras under lång tid.

För utvärdering av spänningsdippar fanns vid projektets starttidpunkt få entydiga regler eller metoder. Varje organisation har haft sina egna där UIE [4] har vara den mest pådrivande inom området. IEC har under projektets gång publicerat IEC 61000-4-30 [2] och IEC TR 61000-2-8 [3].

4.3.2 EMC-begreppet i elnät

EMC-begreppet innebär att en elektrisk apparat fungerar tillfredsställande i sin elektromagnetiska omgivning och inte heller verkar störande på denna. Utöver EMC-standarder finns det flera typer av standarder till hjälp för att nå detta övergripande mål, t.ex. emissionsstandarder, immunitetsstandarder, produktstandarder och installationsstandarder.



Figur 4.2 Illustration of basic voltage quality.

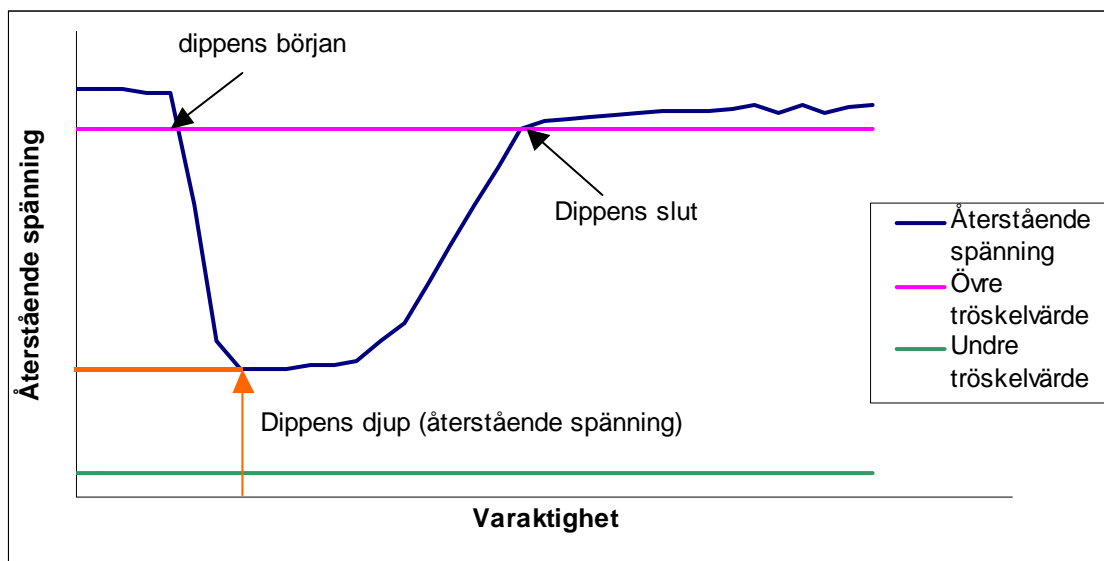
För att en apparat inte skall störa den elektromagnetiska miljön måste emissionsgränser hållas. Apparater måste också ha immunitet som är tillräcklig för den miljö den finns i och som är anpassad till den betydelse apparatens funktion har för användaren. För standardiserade immunitetsprov finns det olika kriterier för apparatens funktion, från att apparaten skall förbli helt ostörd under provet till att den upphör att fungera och måste startas manuellt eller programmeras om för att funktionen skall återfås.

Det är naturligt att det finns en statistisk osäkerhet i EMC-begreppet. Att fordringar i standarder uppfylls kan inte säkerställa EMC helt och hållet.

4.3.3 Kortvarig sänkning av matningsspänningen

Definitionsmässigt är en spänningsdipp (sag) en kortvarig tillfällig minskning i matningsspänning under en given tröskelnivå. Det är tiden från det att spänningen passerar under tröskelnivån till den återigen överskrider denna som bestämmer dippens varaktighet.

Eftersom nominell spänning kan tillåtas variera på mellan- och högspänningsnät måste en spänningsnivå anges för varje system, denna spänningsnivå kallas *angiven matningsspänning* (U_c) medan spänningsnivån på lågspänning är fixerad till 0,4 kV (*nominell systemspänning*, U_n).



Figur 4.3 Exempel på spänningsdipp med tröskelvärden enligt [1] inritade. Övre tröskelvärdet är 90 % (0,9 p.u) och det undre tröskelvärdet är 1 % (0.01 p.u).

Spänningsdippen karakteriseras enligt följande

$$1\% * U_c < \text{Återstående spänning} < 90\% * U_c$$

$$10 \text{ ms}^3 < \text{Varaktighet } (\Delta t) < 60 \text{ s}^4$$

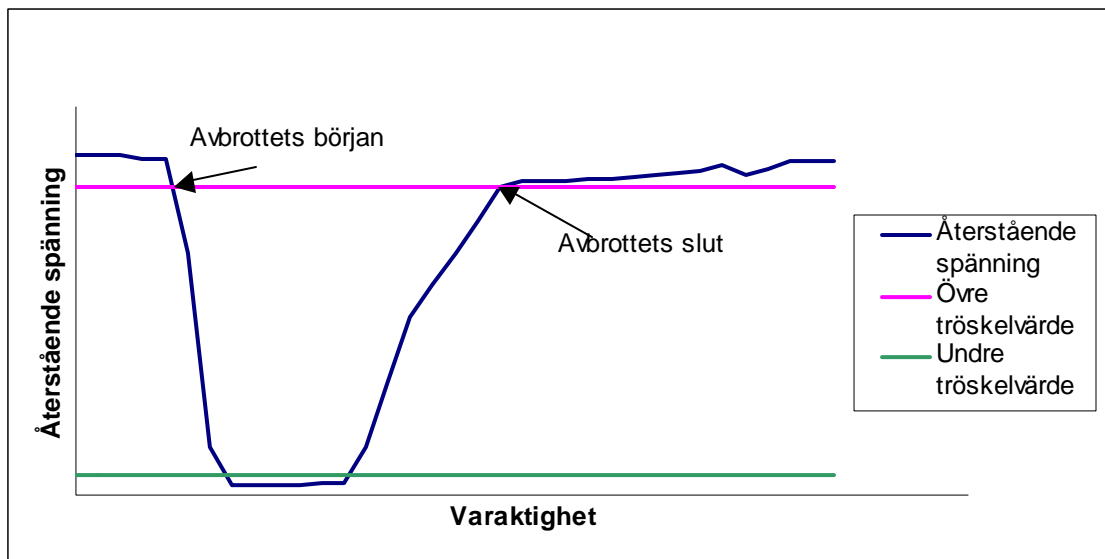
där U_c är angiven matningsspänning för mellanspänningsnät och nominell spänning för lågspänningsnät ($U_c=U_n$).

4.3.4 Korta avbrott i matningsspänningen

Avbrott är ett specialfall av en spänningsdipp där avbrottstiden bestäms av att spänningsnivån sjunker under 1 % av nominell spänning (förslag finns på 5%) och till dess den överskrider tröskelnivån (samma som för dipp).

³ Gäller för system med nominella frekvensen 50 Hz

⁴ Inom den tid som starkströmsföreskrifterna [8] tillåter tillkoppling efter fel kan normalt en snabb (inom några få sekunder) och en fördröjd (inom 90 sekunder) återinkoppling göras. Av den anledningen är det vanligt att varaktigheten för dippar utsträcks till 90 sekunder.



Figur 4.4 Exempel på spänningsändring som klassificeras som kort avbrott med inritade tröskelvärden enligt [1]. Det övre tröskelvärdet är 90 % (0,9 p.u) och bestämmer tidpunkten för start och stopp av registreringen och det undre tröskelvärdet är 1 % (0,01 p.u) och bestämmer om störningen skall klassas som avbrott.

En störning klassas som kortvarigt avbrott om spänningsnivån sjunker under det undre tröskelvärdet och att den totala varaktigheten är mellan 10 ms och 180 s. I Sverige förekommer i allmänhet inte korta avbrott med varaktighet över 90⁵ s.

4.3.5 Fasförskjutning i samband med spänningsdippar

Vissa apparater kan vara känsliga för fasförskjutningar som förekommer i samband med spänningsdippar. Enklaste sättet att upptäcka fasförskjutningar är att studera den registrerade momentana spänningskurvas form. Bestämningar av dippens fasförskjutning kan kombineras med beräkningar av obalansen i trefassspänningarna.

4.3.6 Spänningsdippens karaktär

Förutom kännedom om följdverkningar i anläggningen vid en inträffad spänningsändring är kännedom om dippens karaktär ett villkor för att lyckas med den fortsatta analysen. Dippens karaktär erhålls direkt ur spänningsdippkurvas utseende.

Spänningsdippar karakteriseras av:

- Djup

⁵ Starkströmsföreskrifterna föreskriver att automatisk tillkoppling vid fel måste ske inom 90 sekunder och att kvarstående fel därefter måste undersökas innan ny tillkoppling tillåts.

- Varaktighet
- Antal faser som påverkas
- Enstaka/upprepade dippar. För bestämning av dippens djup i ett trefasssystem

kan flera metoder användas, t.ex.

1. Djup för värsta fasen
2. Djup för näst värsta fasen
3. Medelvärde för alla tre faserna
4. Faserna var för sig
5. Karakteristisk spänning (bestämd med hjälp av symmetriska komponenter)

I denna rapport bestäms dippens djup (i ett trefasssystem) av den värsta fasen, dvs. av den fasen som har den lägsta återstående spänningen. Multipla spänningsdippar som inträffar inom en kort tidsperiod, vanligen orsakade av snabbåterinkoppling, har i denna rapport behandlats som en händelse. Den registrerade varaktigheten bestäms av den längsta av dessa dippar.

Det är viktigt att försöka finna enhetliga regler för bedömning av dippens karaktär för att informationen skall kunna användas vid jämförelser av registreringar från andra platser och vid olika tidpunkter samt för bedömning av trender och statistiska sammanställningar.

För bestämning av dippens varaktighet i ett trefasssystem kan flera metoder användas, t.ex.

1. Varaktigheten för den dipp som varar längst
2. Varaktigheten för den djupaste dippet
3. Medelvärdet av dipparnas varaktighet
4. Tiden från att den första fasens dipp passerar under tröskelvärdet till dess att den sista fasens dipp passerat övre tröskelvärdet

I denna rapport bestäms dippens varaktighet för trefasssystem utifrån bedömningen enligt punkt 4. Detta innebär att tiden för bestämning av dippens varaktighet kan starta på en fas och sluta på en helt annan fas.

Dippar kan klassificeras efter deras orsak eller deras troliga inverkan på anslutna utrustningar. Trefasiga dippar orsakar störst problem på drivsystemen i en anläggning. Dessutom påverkar dessa dippar alla belastningsobjekt i en anläggning medan de en- och tvåfasiga dipparna endast påverkar vissa fåfasanslutna utrustningar i anläggningen. I detta projekt behandlas därför trefasiga dippar och en- och tvåfasiga dippar var för sig. Till exempel om driften störs av beskedliga dippar, dvs. litet djup och kort varaktighet, är det lämpligt att fokusera insatserna på anläggningens störda apparater. Om däremot driften störs av svåra dippar, djupa och/eller med lång varaktighet, initierade i överliggande nät, bör kontakter tas med leverantören/nätägaren för bedömning om orsaken ligger i svagheter i nätet eller reläskyddssystem. Helt störningsfri går det inte att bli till rimlig kostnad, men ambitionen bör vara att minska störningarna så långt detta är rimligt samt att lindra verkningarna i de fall störningarna inte kan undvikas.

4.3.7 Vanliga orsaker till spänningsdippar

Den viktigaste orsaken till spänningsdippar är olika slags fel i kraftnätet. Åska och andra väderförhållanden initierar en stor del av de spänningsbortfall som sker på luftledningarna.

Bortkoppling av kablar i mark, som skadas vid t ex grävningsarbeten, orsakar också spänningsdippar. Andra orsaker till spänningsdippar är fel i olika slags installationer, isolationsfel i apparater m.m.

Inkoppling av stora laster orsakar också spänningsdippar. Om lastens effekt är stor i förhållande till kortslutningseffekten i anslutningspunkten sker en väsentlig spänningssänkning vid tillslag. Spänningsdippens amplitud beror på nätets styrka, samt avståndet till felet eller lastinkopplingen.

4.3.8 Vanliga verkningar av spänningsdippar

Många elkunder upplever att spänningsdippar är den störning som vållar mest bekymmer, både vad det gäller haverier och ekonomiska förluster. Det händer att spänningsdippar slår ut hela industrier genom att ett begränsat antal vitala objekt har påverkats.

Några exempel på hur enskilda utrustningar kan påverkas är:

- Felfunktioner i reglerutrustningar.
- Urladdningslampor som slocknar.
- Frånslag av kontaktorer.
- Hastighetsvariationer eller stopp på motorer.
- Felfunktion på frekvensomriktare.
- Tappad synkronism i synkronmaskiner.

4.3.9 Vanliga åtgärder mot spänningsdippar

Det bästa sättet är naturligtvis att angripa själva orsaken till problemet. Detta kan man göra genom att:

- Förbättra åskskyddet (topplinor etc).
- Använda kablar istället för luftledningarna.
- Öka kortslutningseffekten (se 3.7).
- Mjukstart av asynkronmotorer.

- Optimera tidpunkten för störande/störd industriproduktion.

Det är dock svårt att helt undvika spänningsdippar. Exempel på åtgärder som mildrar effekten av spänningsdippar är:

- SVC (tyristorstyrd kompensering av reaktiv effekt).
- UPS (avbrottsfri kraft), med ett lämpligt energilager.
- DVR (dynamic voltage restorer), spänningsstabilisering med kraftelektroniska lösningar, i allmänhet med energilager

4.3.10 Lindningskopplare

En traditionell mekanisk lindningskopplare skall inte manövreras alltför ofta, några gånger per dag brukar vara en lämplig övre gräns om man vill hålla ett någorlunda långt intervall mellan underhållstillfällena. För att uppnå detta är det vanligt att en tidsfördröjning införs mellan varje lindningskopplarmanöver.

Däremot finns det numer statiska lindningskopplare, vilka arbetar med tyristorer och kan koppla om en gång per period. Detta kan vara en lösning för att dämpa spänningsfluktuationer. Konceptet kan också användas till att överbrygga spänningsdippar. En fördel med denna lösning, jämfört med en konventionell DVR, är att man slipper ett kostnadskrävande och skrymmande energilager (energin tas från restspänningen i nätet). Reglerområdet är emellertid begränsat till något eller några tiotal procent. Att bygga en transformator med större reglerområde är inte ekonomiskt, förlusterna blir stora. Ett annat problem är att konventionella nätkommuterande tyristorer inte ger fullgod stabilisering i början och slutet av dippen. Snabba halvledarventiler, i första hand av IGBT-typ, löser detta problem, men då blir konstruktionen inte lika kostnadseffektiv.

4.4 Mätutrustning

Ofta vid störningar i industriella processer har orsaken till dessa varit svåra att kartlägga. Vanligtvis har det antagits att orsaken är en spänningsdipp på elnätet, men detta har inte alltid varit fallet, vilket då resulterat i helt felaktiga insatser och åtgärder med onödiga kostnader som följd utan att den verkliga orsaken eliminerats. Genom att kontinuerligt mäta spänningens kvalitet i viktiga punkter och omedelbart varsebli när en elkvalitetsstörning inträffat kan man snabbt komma åt orsakerna till problem i processen.

Vattenfall har i samarbete med Electric Power Research Institute, Dranetz/BMI och en del andra elkraftbolag utvecklat och utvärderat en elkvalitetsanalysator, PQPager, som enkelt kan anslutas i en lämplig nätpunkt. Instrumentet är helt inriktat på spänningskvalitet och mäter trefasigt. Förutom registreringar av dippar kan en hel del

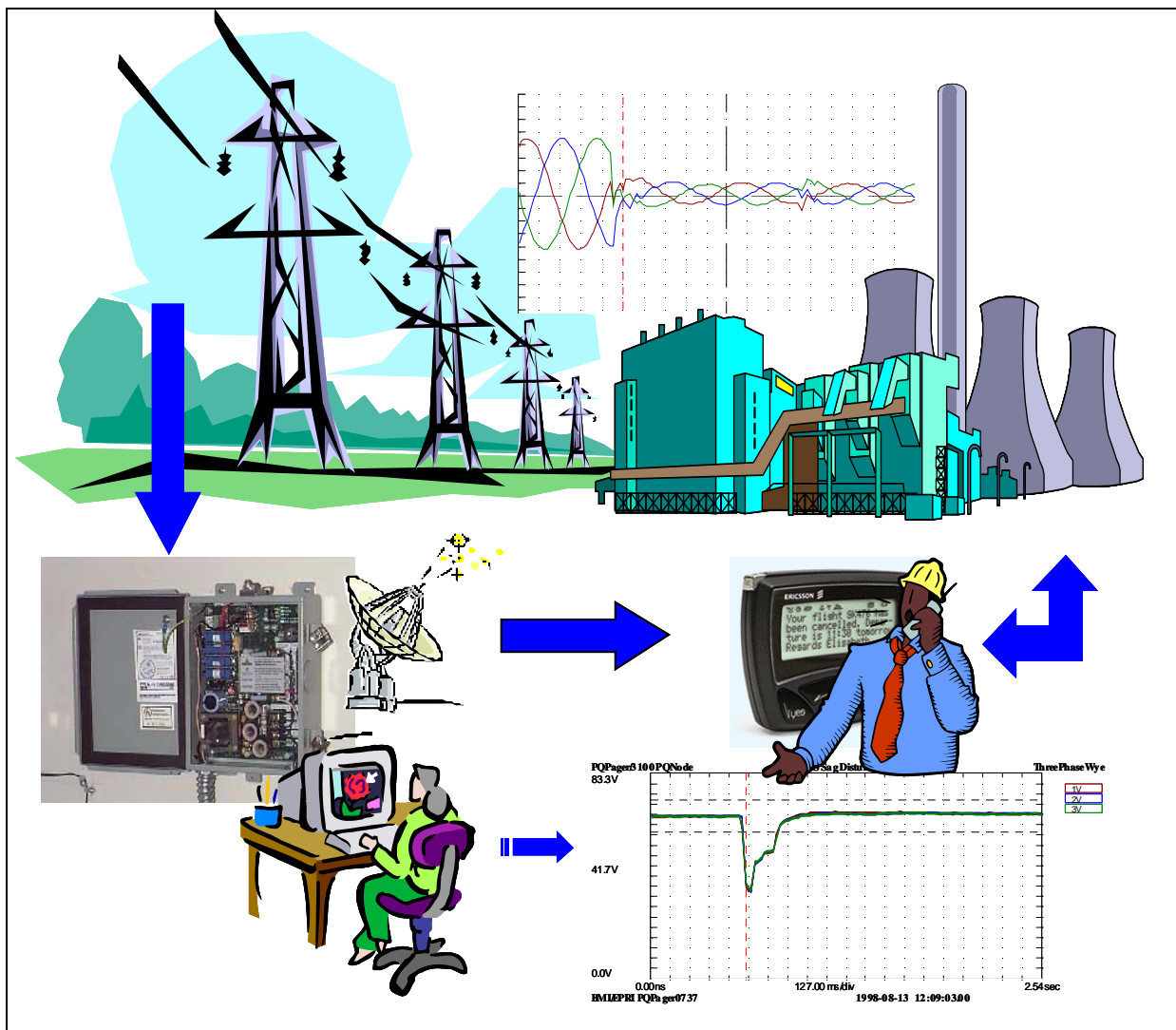
ytterligare information erhållas, såsom uppgifter om stationära spänningars max-, min- och medelvärden.

I figur 4.5 visas ett exempel på hur störningsregistreringssystemet kan användas, här vid en registrerad trefasig spänningsdipp på matande nät. Ändringen i spänning påverkar anläggningen och en kontaktor löser ut en stor maskin.

Samtidigt som spänningsdippen inträffar registreras denna av PQPagern som helt automatiskt ringer upp mobilcentralen som i sin tur skickar ut ett textmeddelande till fabriken elansvarige med information om var och när spänningsdippen inträffade, dess återstående spänning och fas. Ofta redan innan driften hunnit meddela att problem inträffat kan personalen börja vidta åtgärder och inte minst samla in underlag för bedömning vad som störts. Tidsfaktorn är vanligtvis av stor betydelse eftersom det är mycket lättare att direkt vid en störning få fram relevant information. Behöver den elansvarige mer information än vad som visas i textmeddelandet kan denne också ringa upp PQPagern och få ytterligare information.

Spänningarnas kurvformer registreras också liksom en del annan information vilken också den automatiskt laddas ned till en server. Efterbearbetning av insamlade uppgifter från den störda anläggningen, liksom registreringar i angränsande anläggningar, ger ytterligare viktig information om händelseförloppet. Här bidrar mängden registreringsutrustningar, helst i kompatibla system, med väsentlig information för framtida åtgärder i nät och industrianläggningarna.

En annan stor fördel med systemet är att det genom sin uppbyggnad där allt kan fjärrkontrolleras och dess verktyg för statusövervakning innebär att tillgängligheten kan hållas mycket hög. Detta är speciellt viktigt då de kritiska spänningsdipparna inte inträffar speciellt ofta och det gäller att bygga bort problemen så snart som möjligt innan en ny likadan dipp inträffar med driftstörning som följd. Alla fördelar och möjligheter som systemet har användes inte just i detta speciella projekt.



Figur 4.5 Exempel på hur störningsregistreringssystemet kan användas

Exempel på hur en effektiv störningsregistrering kan bidra till bättre störtlighet

I en storindustri med en störningsregistreringsutrustning inkopplad på inkommande matning kunde snabbt och enkelt anläggningens störtlighet ringas in. Tack vare att mätutrustningen direkt vid spänningsdippen varskodde driftpersonalen upptäckte man vilken utrustning i anläggningen som berörts. Dippens djup var ned till 80 %. Kort därefter inträffade ytterligare en spänningsdipp, denna gång med 85 % återstående spänning. Vid denna dipp noterades inga störningar i anläggningen och anläggningens störtlighet kunde bestämmas genom att den inte klarade dippar av 100 ms till 80 % men väl ner till 85 %. Genom att anläggningen bedömdes ha alltför låg immunitet (störtlighet) sattes åtgärder in för att öka anläggningens störtlighet mot dessa relativt små men vanligt förekommande spänningsdippar. Mätutrustningen har visat sig bidra till en nyttig dialog mellan elanvändare och nätbolag.

4.4.1 Tillgänglighet hos mätutrustningen

Spänningsdippar inträffar sporadiskt och det är därför av största vikt att mätutrustningen är i funktion när störningen inträffar. Tillgängligheten är ett mått på hur sannolikt det är att dippar verkligen registrerats och det är därför också nödvändigt att instrumentens aktiva tid registreras. De vanligaste orsakerna att registreringar inte kunnat utföras är att instrumentens interna minne för lagring av registreringar är fullt eller att kommunikationen av en eller annan orsak inte varit tillgänglig. I undantagsfall förekommer att instrument helt enkelt går sönder, andra orsaker till uteblivna registreringar kan vara att driftläggningen tillfälligt ändrats. I redovisningen av tillgängligheten har instrumentets tillgänglighet bestämts som tiden då registreringar kunnat utföras i förhållande till hela den tid instrumentet varit inkopplad i mätpunkten.

Tillgängligheten hos mätutrustningen i de olika mätpunkterna har varit mycket hög. Under projektets gång har mätningar inte kunnat utföras under endast ett fåtal dagar för någon enstaka utrustning. Den totala tillgängligheten för hela den redovisade perioden, som omfattar även registreringar på de extra mätpunkterna, redovisas i bilaga A.

5 Slutsatser

Under mätperioden har, sett över alla mätpunkter, i medeltal 1,8 st dippar förekommit per månad. I internationella studier redovisas i allmänhet högre dippfrekvens. Däremot är överensstämmelsen god med de svenska mätningarna i DISDIP-studien 1989–90 (ref 11) där i genomsnitt 1,7 st dippar noterades per månad. Det svenska medelvärdet låg en faktor 4 lägre än det samlade europeiska resultatet. Att dippförekomsten är förhållandevis låg i Sverige beror dels på vårt nordliga läge med måttligt intensiva åskväder, dels på att svenska elnät generellt sett är i ganska god kondition.

I studien redovisas stora skillnader mellan de olika mätplatserna. Dippfrekvensen varierar mellan 0,8 per månad (Slite) och 3,5 per månad (Tranemo). Även här finns en överensstämmelse med de svenska DISDIP-mätningarna där den bästa av de 10 mätpunkterna låg på 0,7 dippar/månad och den sämsta på 3,3. Icke oväntat är det stora skillnader från år till år. Att Götaland har högst dippfrekvens kan förklaras dels genom att åskfrekvensen är hög, men också genom nätens utformning vid mätplatserna i denna region. Distributionsnät på landsbygden har avsevärt högre felfrekvens än övriga nät. Att mellanspänningsnät med luftledning är utsatta för väderrelaterade och andra störningar framgår tydligt av mätresultatet. Andelen 1- och 2-fasdippar är också avsevärt högre för dessa nät. I DISDIP-studien var de svenska kabelnäten ca dubbelt så bra som mixade nät, medan samma jämförelsetal för hela den internationella studien var ca 3.

Åska är den vanligaste orsaken till spänningsdippar, men denna dominans är inte lika tydlig för landsbygdsnäten. Följaktligen blir inte felet i lika hög grad koncentrerade till sommarmånaderna för dessa nät. Under de år som mätningarna pågått (1997-2003) har andelen okända fel minskat.

Mätningarna och elkvalitetsarbetet inom Holmengruppen har bidragit till en god kommunikation med nätbolagen. En positiv effekt av detta är att orsaken till vissa okända fel kunnat fastställas, i ett fall såsom fågelstörningar. Det finns också exempel på att elkvalitetsarbetet bidragit till nätförbättringar (främst kontrollanläggningsåtgärder) som tydligt avspeglas i mätresultatet.

En diskussion som förts under projektet berör avvägningen kortslutningseffekt – ”antennlängd”. Mätresultatet visar exempel på dels att hög kortslutningseffekt bidrar till grundare dippar, men också att ett starkt nät kan bidra till en större exponeringsyta (antennlängd) för åska med högre antal dippar som följd. Hur stor exponeringsytan blir skiljer sig en hel del från fall till fall beroende på nätets utförande och spänningsnivån på de ingående ledningarna.

6 Referenser

- [1] SS-EN 50160:2000 utgåva 2 – Spänningens egenskaper i elnät för allmän distribution, SEK/SIS Förlag AB, Stockholm januari 2000
- [2] SS-EN 61000-4-30:2003 First edition – Electromagnetic compatibility (EMC); part 4-30: Testing and measurement techniques – Power quality measurement methods, IEC 2003-02
- [3] IEC TR 61000-2-8: 2002 First edition – Electromagnetic compatibility (EMC); part 2-8: Environment – Voltage dips and short interruptions on public electric power supply systems with statistical measurement results
- [4] UIE GT2, Guide to quality of electrical supply for industrial installations – Part 2: Voltage dips and short interruptions
- [5] ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE, PQPager-based Power Quality Early Warning Network, Innovators, April 1998, IN-110009
- [6] Dranetz/BMI, PQPager, User's Guide, 1998
- [7] CLC/prTR 50160: 2003 Final draft for voting – Guide to the Application of European Standard EN 50160
- [8] ELSÄK-FS 1999:5, Starkströmsföreskrifterna, Elsäkerhetsverket/Erlanders Gotab, Stockholm 1999.
- [9] Johansson, U; Grape, U; "PQPager – Elkvalitetindikator med larmfunktion", Elbranchen Nr 3, 1998.
- [10] SEMI F47-0200: "Specification for Semiconductor Processing Equipment Voltage Sag Immunity"; SEMI 2000
- [11] Tapper, Matz; "Uppmätning av kortvariga spänningssänkningar (Voltage dips)", Vattenfall Utveckling AB 1991

A Monthly Totals of Monitor Availability

Monthly Totals of Monitor Availability

PQView®

This report presents a summary of the availability of each monitoring instrument. Availability is based upon the existence of any measurement taken by the instrument for a given day. The number of days were measurements was taken is indicated by the "Monitor•Days" column. The first and last measurement dates are also provided. The percentage of days during which the instrument was available appears in the "Availability" column.

Monitor	Monitor•Days	First Date	Last Date	Availability
Göteborg, Backa	446	2002-06-28	2003-09-16	100%
Stockholm, Birka/Fortum	428	2002-07-10	2003-09-16	99%
Braviken, Holmen Paper	1876	1998-07-03	2003-09-16	99%
Gotland, Slite	2137	1997-10-27	2003-09-16	99%
Hallstavik, Holmen Paper	1889	1998-07-07	2003-09-16	100%
Husum, M-real Group	1881	1998-06-29	2003-09-16	100%
Iggesund Paperboard	1894	1998-07-03	2003-09-16	100%
Nynäshamn	1391	1999-09-07	2003-09-16	95%
Borås, Tranemo	386	2002-08-27	2003-09-16	100%
Luleå, Storheden	447	2002-06-27	2003-09-16	100%
Köping, Ullvi	455	2002-06-19	2003-09-16	100%
Vargön, Holmen Paper	1890	1998-07-08	2003-09-16	100%

ELFORSK

SVENSKA ELFÖRETAGENS FORSKNINGS- OCH UTVECKLINGS - ELFORSK - AB
Elforsk AB, 101 53 Stockholm. Besöksadress: Olof Palmes Gata 31
Telefon: 08-677 25 30. Telefax 08-677 25 35
www.elforsk.se