

2015-01-16



# **Kartläggning av faktorer som kan minska antalet återkopplingar i elnätet**

**Roger Mellqvist**

**EXAMENSARBETE**  
**Högskoleingenjör, Elektroteknik, inriktning elkraft**  
**Institutionen för ingenjörsvetenskap**

# EXAMENSARBETE

## Kartläggning av faktorer som kan minska antalet återinkopplingar i elnätet

### Sammanfattning

Vattenfall Eldistribution AB distribuerar el till ca 900 000 kunder i Sverige. Det handlar om både privatkunder och företagskunder. Enheten Nätdrift vars driftcentral är placerad i Trollhättan har till uppgift att se till att elnätet är spänningssatt och att man skall minimera avbrottstiderna.

Då dagens samhälle är allt mer beroende av störningsfri leverans av el är det viktigt att kartlägga faktorer som orsakar korta avbrott på nätet. Ett kort avbrott definieras som ett avbrott som varar allt från 100 millisekunder till 3 min. I myndigheternas föreskrifter finns inga krav angående hur frekvent korta avbrott får förekomma i elnätet, då dessa avbrott oftast är orsakade av åska och därmed omöjliga att förutse. Genom att åskan åstadkommer en nedbrytning av isolationshållfastheten i systemet kan en ljusbåge uppträda vilken drar med sig nätspänningen till jord. Ledningsskydden känner av förekommande felströmmar och löser ut. En konsekvens av detta är att ett kort avbrott av nätets driftspänning uppstår innan en återinkoppling kan ske och normal drift åter föreligger.

Arbetet är avgränsat genom att det endast handlar om avbrott orsakade av åsköverspänningar samt endast spänningsnivåer över 1000V.

Utifrån litteraturstudier som är gjorda på kurslitteratur, forskning samt Vattenfalls eget material i ämnet, har arbetet resulterat i ett antal olika åtgärder som skulle kunna minska antalet korta avbrott i högspänningsnätet. Detta examensarbete förordar att arbetet med att identifiera och analysera bakomliggande orsaker och möjliga åtgärder för att kunna minska antalet återinkopplingar fortsätter. I en fortsatt fördjupad analys bör även ekonomiska aspekter vägas mot nyttan av åtgärderna för både kunder och nätbolag.

|                     |   |
|---------------------|---|
| <b>Datum:</b>       | 2015-01-16  |
| <b>Författare:</b>  | Roger Mellqvist   |
| <b>Examinator:</b>  | Björn Sikström  |
| <b>Handledare:</b>  | Gunnar Erixon, Vattenfall Eldistribution AB<br>Joakim Axelsson, Högskolan Väst  |
| <b>Program:</b>     | Elektroingenjör med inriktning mot elkraft, 180 hp  |
| <b>Huvudområde:</b> | Elektroteknik <b>Utbildningsnivå:</b> grundnivå   |
| <b>Poäng:</b>       | 15 högskolepoäng  |
| <b>Nyckelord:</b>   | Korta avbrott, åska, ventilavledning, gnistgap  |
| <b>Utgivare:</b>    | Högskolan Väst, Institutionen för ingenjörsvetenskap,<br>461 86 Trollhättan<br>Tel: 0520-22 30 00 Fax: 0520-22 32 99 Web: www.hv.se |

# BACHELOR'S THESIS

## A survey of factors which can reduce the number of short interruptions in the electrical grid

### Summary

In Sweden Vattenfall Eldistribution AB provides electrical power to approximately 900000 customers, both private customers and business customers. The grid is operated from Trollhättan and it is the division Nät drift's main purpose to, beside keeping the grid operating with a minimum of disturbances, to plan, optimize, manage and develop the operating systems.

The society today is increasingly depending of an uninterrupted transmission of electricity and therefore it is important to make a survey of the factors that causes short interruptions in the grid. A short interruption is defined as an interruption that has a duration between 100 ms and 3 min. The regulations provided by the authorities do not include any demands regarding how frequent these short interruptions may occur in the grid. This is due to the fact that they are mostly caused by overvoltage from lightning storms, and therefore hard to predict. When lightning strikes on an overhead line, a breakdown of the insulation will occur due to overcurrent and a shortcut will ignite an arc between the wire and earth. This will start the phase-fault protection system to react and activate the feeder circuit breakers involved. This protection of the grid will cause a short interruption of the power supply before the automatic reclosing repowers the overhead line back to normal operating voltage.

This thesis has been based on short interruptions caused by lightning and there has been no considerations taken to short interruptions occurring in grids with a voltage level below 1000 V.

In this thesis a study of literature has been conducted from course literature, research and Vattenfalls internal documents. The result has been that a number of possible actions can be taken in consideration for making short interruptions less frequent. This thesis is also recommending that the survey of actors which are causing short interruptions continues. When doing so, the economical aspects should also be taken in consideration regarding the customers as well as the network company.

|                             |   |
|-----------------------------|---|
| <b>Date:</b>                | Januari 16, 2015  |
| <b>Author:</b>              | Roger Mellqvist   |
| <b>Examiner:</b>            | Björn Sikström  |
| <b>Advisor:</b>             | Gunnar Erixon, Vattenfall Eldistribution AB<br>Joakim Axelsson University West  |
| <b>Programme:</b>           | Electrical Engineering, Electric Power Technology, 180 HE credits   |
| <b>Main field of study:</b> | Electrical Engineering <b>Education level:</b> first cycle  |
| <b>Credits:</b>             | 15 HE credits   |
| <b>Keywords</b>             | Short interruption, lightning, surge arrestor, protective gap   |
| <b>Publisher:</b>           | University West, Department of Engineering Science,<br>S-461 86 Trollhättan, SWEDEN<br>Phone: + 46 520 22 30 00 Fax: + 46 520 22 32 99 Web: www.hv.se |

## **Förord**

Detta examensarbete har genomförts vid Vattenfall Eldistribution AB under min utbildning till elektroingenjör vid Högskolan Väst. Examensarbetet utfördes under 10 veckor. Jag vill tacka alla inblandade för all hjälp vid rapportens tillkomst, ingen nämnd – ingen glömd. Ett speciellt tack vill jag dock rikta till min handledare vid Vattenfall Eldistribution AB, Gunnar Erixon och till min handledare från Högskolan Väst, Joakim Axelsson. Ett speciellt tack vill jag även rikta till Rune Svensson vid Vattenfall Eldistribution AB, som initierade detta examensarbete.

Samtliga figurer är framtagna av denna rapportens författare, där inget annat anges.

Rapporten kan med fördel skrivas ut i färg, för extra tydlighet med figurer.

## Innehåll

|  |     |
|--|-----|
| Sammanfattning .....                             | i   |
| Summary.....                                     | ii  |
| Förord.....                                      | iii |
| 1 Inledning.....                                 | 1   |
| 1.1 Problembeskrivning.....                      | 1   |
| 1.2 Översikt över tidigare arbeten.....          | 1   |
| 1.3 Syfte/ mål/avgränsningar .....               | 2   |
| 1.4 Metod/tillvägagångssätt .....                | 2   |
| 2 Teori.....                                     | 3   |
| 2.1 Ledningsnätens uppbyggnad .....              | 3   |
| 2.2 Avbrott .....                                | 3   |
| 2.2.1 Dippar.....                                | 3   |
| 2.2.2 Korta avbrott .....                        | 4   |
| 2.2.3 Långa avbrott.....                         | 4   |
| 2.3 Avbrott i luftledningsnät .....              | 4   |
| 2.4 Avbrott i kabelnät .....                     | 5   |
| 2.5 Elkvalitens inverkan.....                    | 5   |
| 2.6 Klimatförändringar och åska .....            | 6   |
| 2.7 Åsköverspänning.....                         | 7   |
| 2.8 Statistik över korta avbrott .....           | 7   |
| 2.9 Kundens ersättningsanspråk .....             | 9   |
| 2.10 Samhällets kostnader för korta avbrott..... | 10  |
| 3 Skyddsfilosofi.....                            | 11  |
| 3.1 130kV.....                                   | 11  |
| 3.1.1 Distansskydd .....                         | 11  |
| 3.1.2 Längsdifferentialskydd:.....               | 11  |
| 3.1.3 Jordfelsskydd:.....                        | 11  |
| 3.2 70kV .....                                   | 11  |
| 3.2.1 Distansskydd .....                         | 11  |
| 3.2.2 Längsdifferentialskydd.....                | 12  |
| 3.2.3 Jordfelsskydd.....                         | 12  |
| 3.3 40kV – 1kV .....                             | 12  |
| 3.3.1 Överströmsskydd .....                      | 12  |
| 3.3.2 Distansskydd .....                         | 12  |
| 3.3.3 Längsdifferentialskydd.....                | 12  |
| 3.3.4 Riktat jordströmsskydd.....                | 12  |
| 4 Återkoppling.....                              | 13  |
| 4.1 Automatisk återkoppling.....                 | 13  |
| 4.2 Manuell återkoppling.....                    | 13  |
| 5 Överspänningsskydd.....                        | 15  |
| 5.1 Ventilavledare .....                         | 15  |
| 5.2 Gnistgap .....                               | 16  |
| 6 Resultat .....                                 | 17  |
| 7 Analys/diskussion .....                        | 18  |
| 8 Slutsatser och framtida arbete .....           | 20  |

|   |                      |    |
|---|----------------------|----|
| 9 | Källförteckning..... | 21 |
|---|----------------------|----|

# **1 Inledning**

Vattenfall Eldistribution AB distribuerar el till cirka 900000 företags- och privatkunder i Sverige genom ett elnät som har en sammanlagd längd motsvarande tre varv runt jorden. Elnätet övervakas dygnet runt från en av Sveriges största driftcentraler lokaliserad i Trollhättan. Inom Vattenfall är det enheten Nät drift som har uppgiften att hålla elnätet spänningssatt och att minimera avbrottstider. Huvuduppgifterna är förutom att planera, optimera och övervaka driften av elnäten, att effektivt säkerställa felavhjälpning, dokumentera anläggningar, utveckla övervaknings- och driftstödssystem samt informera kunder vid avbrott. I enlighet med gällande lagar och förordningar skall elleveransen ske med el av god kvalitet och med ett minimum av störningar. Driftövervakningssystemet rapporterar störningar och fel som inträffar i elnätet med spänningsnivå över 1000 V. Driften av elnätet planeras på region- och lokalnivå för att samverka med alla inblandade parter, såväl angränsande nätägare som entreprenörer som utför förekommande arbeten i nätet, för att minimera antalet kundstörningar.

## **1.1 Problembeskrivning**

Samhället går mot ett ökat elberoende och måste kunna förlita sig på en hög leveranssäkerhet av el. Detta medför att det ställs höga krav på säker och oavbruten elleverans från elnätsbolagen. Det är inte tekniskt eller ekonomiskt möjligt att konstruera en starkströmsanläggning så att avbrott aldrig uppstår. Ett stort antal korta avbrott kan upplevas negativt ur hushållens synvinkel men än mer ur industrins perspektiv där viktiga processer störs och produktionsbortfall sker. Vattenfall önskar kartlägga olika faktorer/åtgärder vilka gör att ledningsskydden kopplar bort ledningar vid åsköverspänningar och därigenom undersöka möjligheter att minska antalet återinkopplingar.

## **1.2 Översikt över tidigare arbeten**

Som förberedelse inför denna rapport har några tidigare rapporter och dokument studerats.

- Förberedande kartläggning av spänningsdippar i olika typer av nät. [1]. Denna rapport behandlar kortvariga spänningssänkningar i elnäten, bl.a. förekommande spänningsdippar och kortvariga avbrott i elleveranserna till processindustrin.
- Lightning-Induced overvoltages in medium voltage distribution systems and customer experienced voltage spikes [2]. Doktorsavhandlingen utreder åsknedslagets betydelse för avbrott i det finska mellanspänningsnätet.
- Leveranssäkerheten i elnäten 2012. [3]. Rapporten presenterar statistik och analys av elavbrotten i Sverige.

- Riktlinjer för felbortkoppling inom Vattenfall Eldistribution AB [4]. Detta dokument innehåller Vattenfalls riktlinjer gällande felbortkoppling.

### **1.3 Syfte/ mål/avgränsningar**

Syftet med examensarbetet är att kartlägga faktorer som kan minska antalet förekommande korta avbrott i elnätet med efterföljande återinkopplingar, samt att föreslå möjliga åtgärder vilka höjer kundnyttan genom att minska antalet korta avbrott med efterföljande återinkopplingar i elnätet.

Målet med denna litteraturstudie, varav examensarbetet huvudsakligen bestod av, var att presentera en kartläggning av faktorer som kan minska antalet återinkopplingar i elnätet och att detta examensarbete skall kunna ligga till grund för vidare studier inom området för överspänningsskydd.

Avgränsningar:

- Arbetet avgränsas till korta avbrott orsakade av åsköverspänningar.
- Spänningsnivåer lägre än 1000V tas ej i beaktande

### **1.4 Metod/tillvägagångssätt**

Denna rapport har tillkommit genom litteraturstudier med faktainsamling från tillgänglig litteratur såsom kurslitteratur, forskningsrapporter, publicerade utredningar och Vattenfalls företagsinterna dokument, samt genom intervjuer och samtal med Vattenfalls personal inom Driftplanering, Skydd och kontroll samt Elkvalitet.



## **2 Teori**

### **2.1 Ledningsnätens uppbyggnad**

Elnäten i Sverige är kategoriserade i tre nivåer. Stamnät med spänningsnivån 220kV eller 400kV, regionnät med spänningsnivå mellan 20kV och 130kV samt distributionsnät med en spänningsnivå mellan 0,4kV och 20kV. 130kV-nät är konstruerat som ett direktjordat maskat system. 70kV-nätet är det vi benämner som ett spoljordat maskat system. Detta innebär i korta drag att det vid normal drift är ett maskat nät men vid fel i nätet klipps nätet upp och blir att betrakta som ett spoljordat radialnät. Detta system finns företrädevis i region mellan och öst (Vattenfalls beteckning). Ledningsnät med spänningsnivåer mellan 6 kV och 40 kV är konstruerade som ett spoljordat radiellt system. Dock kan inmatning till elnätet förekomma på lokal nivå och matning kan således förekomma från flera håll även i det vanligtvis radiellt matade nätet.

### **2.2 Avbrott**

Det räknas som ett elavbrott när elanvändarens anläggning, i en eller flera faser, är elektriskt fränkopplad[5]. Elavbrott kan delas upp i två kategorier, aviserade och oaviserade avbrott. Aviserade avbrott är när elnätsföretaget i förväg underrättar kunderna om ett kommande avbrott, t.ex. inför ett planerat underhållsarbete som skall utföras i elnätet. Oaviserade avbrott är oförutsedda avbrott i eldistributionen. Sådana kan inträffa till följd av yttre händelser såsom utrustningsfel eller andra störningar, exempelvis i samband med åskväder. Elnätsföretagens skyldigheter regleras bl.a. i ellagen och i Energimarknadsinspektionens föreskrifter.

Ett avbrott räknas från den tidpunkt då nätföretaget har fått eller borde ha fått kännedom om avbrottet. Avbrottets slut räknas från den tidpunkt då angiven driftspänning är återställd i uttagpunkten. Avbrott kan delas upp i följande undergrupper:

#### **2.2.1 Dippar**

En spänningsdipp är per definition i EIFS 2013:1, en tillfällig spänningssänkning av spänningens effektivvärde till under 90 % av den angivna referensspänningen i uttagpunkten. För att räknas som en tillfällig dipp skall dess varaktighet vara mellan 10 millisekunder och 1 minut[5]. Den mest förekommande spänningsdippen är ett spänningsbortfall som har en återstående spänning på mellan 85 – 90 %. Ett spänningsbortfall inom intervallet 70 – 85 % kvarstående spänning betraktas som den näst vanligaste typen av spänningsbortfall [1]. Dessa spänningsdippar står tillsammans för hälften av alla registrerade spänningsbortfall.

### **2.2.2 Korta avbrott**

Ett kort avbrott definieras som ett avbrott som varar allt från 100 ms till 3 min enligt EIFS 2010:5 1§ [6]. I föreskrifterna finns inga krav angående hur frekvent korta avbrott får förekomma i elnätet, då dessa avbrott oftast är orsakade av åska och därmed omöjliga att förutse. Genom att åskan åstadkommer en nedbrytning av isolationshållfastheten i systemet kan en ljusbåge uppträda vilken drar med sig nätspänningen till jord. Ledningsskydden känner av förekommande felströmmar och löser ut. En konsekvens av detta är att ett kort avbrott av nätets driftspänning uppstår innan en återinkoppling kan ske och normal drift åter föreligger.

### **2.2.3 Långa avbrott**

Långt avbrott är enligt definitionen ett avbrott om varar längre än 3 min. [6] Enligt EIFS 2013:1 6 kap. 1§ [5] är det dessutom ett krav för att kunna räknas som god elkvalitet endast möjligt att ha upp till 3 oaviserade långa avbrott per år. Det räknas som oacceptabelt att ha över 11 oaviserade långa avbrott per år. I intervallet däremellan befinner man sig i en gråzon där en dialog mellan kund och elnätsföretag kan komma att behövas för att avgöra vad som är god elkvalitet.

## **2.3 Avbrott i luftledningsnät**

Förutom de planerade och aviserade avbrott som är nödvändiga för skötsel och underhåll av elanläggningarna förekommer i olika omfattning oaviserade avbrott av varierande längd. Dippar och korta avbrott är en naturlig följd av att ledningsskydden fungerar på avsett sätt genom att vid kortslutningar, jordfel och överspänningar automatisk ombesörja att fränkopplingar och omkopplingar utförs i elnätet. Genom detta förfarande undviks att små störningar i elnätet utvecklas till långvariga avbrott. Överslag och kortslutningar beror exempelvis på växtlighet eller trädöverfall i luftledningsgatorna. Det kan också bero på väderfenomen såsom saltbeläggning, isbildning eller stark vind så linorna slår ihop, så kallad lindans.

Nedan följer kort beskrivning av utvalda konsekvenser p.g.a. åska som kan orsaka avbrott i luftledningsnät:

Kortslutning kan inträffa mellan två alternativt tre faser, vid två eller trefasiga jordfel samt även vid enfasiga jordfel i direktjordade elnät. I dessa nät ger kortslutningar stora konsekvenser med spänningsdippa även på långt avstånd från felkällan.

Jordslutning kan ske mellan fas och jord, två faser och jord eller alla tre faserna och jord.

Överspänningen kan vara av två olika karaktärer, inre eller yttre överspänning. Inre överspänning orsakas exempelvis av inkoppling av kondensatorbatterier eller kopplingsmanövrar. Yttre överspänning är vanligtvis orsakad av åska med direktnedslag i ledningar, eller mera vanligt med nedslag i ledningarnas närhet. I båda fallen induceras en spänningsvåg som fortplantar sig i ledningens båda riktningar.

## 2.4 Avbrott i kabelnät

Vid fel i kabelnät är dessa oftast av typen ej övergående och blir därmed långvariga. Intermittenta fel kan förekomma men är dock sällsynta. Om så är fallet handlar detta oftast om att stenar har skadat kabelns isolering eller att kopplingspunkternas isolering är skadad. Små skador likt dessa kan orsaka korta avbrott inledningsvis men med tiden kan detta utvecklas till en bestående skada och orsaka ett längre avbrott.

## 2.5 Elkvalitets inverkan

I Vattenfalls instruktion för elkvalitet [7], återges hur myndigheternas direktiv för elkvalitet skall tillämpas, bland annat med avseende på avbrott av varierande längd. Anläggningar och utrustningar är skyddade mot förekommande åsköverspänningar, men även med snabb och korrekt felbortkoppling kan åsknedslag i högspänningsnätet orsaka korta avbrott. Enligt instruktionerna kan kortvariga avbrott med en spänningssänkning där spänningen närmar sig 0 eller är lika med 0 V, och med en varaktighet mellan 10 ms och 1 min. jämföras med en kortvarig spänningssänkning som faller inom område B i myndigheternas krav EIFS 2013:1, 6 kap. 6§ [5]:

*”För referensspänningar upp till och med 45kV gäller följande: Det skall inte inträffa några kortvariga spänningssänkningar med sådan kvarstående spänning och sådan varaktighet som framgår av område C i tabell 3. Nätägaren är skyldig att åtgärda kortvariga spänningssänkningar inom område B i tabell 3 i den utsträckning åtgärderna är rimliga i förhållande till de olägenheter för elanvändarna som är förknippade med de kortvariga spänningssänkningarna”*

| U[%]        | Varaktighet t [ ms] |               |                |                 |                  |
|-------------|---------------------|---------------|----------------|-----------------|------------------|
|             | 10 ≤ t ≤ 200        | 200 < t ≤ 500 | 500 < t ≤ 1000 | 1000 < t ≤ 5000 | 5000 < t ≤ 60000 |
| 90 > U ≥ 80 | B                   |               |                |                 | C                |
| 80 > U ≥ 70 |                     |               |                |                 |                  |
| 70 > U ≥ 40 | A                   |               |                |                 |                  |
| 40 > U ≥ 5  |                     |               |                |                 |                  |
| 5 > U       |                     |               |                |                 |                  |

Figur 2.5.1 Kortvarig spänningssänkning vid referensspänning upp till och med 45kV

För högre spänningar tillämpas föreskriften EIFS 2013:1, 6 kap.7§ [5]:

*”För referensspänningar över 45kV gäller följande: Det skall inte inträffa några kortvariga spänningssänkningar med sådan kvarstående spänning och sådan varaktighet som framgår av område C i tabell 4. Nätägaren är skyldig att åtgärda kortvariga spänningssänkningar inom område B i tabell 4 i den utsträckning åtgärderna är rimliga i förhållande till de olägenheter för elanvändarna som är förknippade med de kortvariga spänningssänkningarna”*

| U[%]        | Varaktighet t [ ms] |               |               |                |                  |
|-------------|---------------------|---------------|---------------|----------------|------------------|
|             | 10 ≤ t ≤ 100        | 100 < t ≤ 150 | 150 < t ≤ 600 | 600 < t ≤ 5000 | 5000 < t ≤ 60000 |
| 90 > U ≥ 80 | A                   |               | B             | C              |                  |
| 80 > U ≥ 70 |                     |               |               |                |                  |
| 70 > U ≥ 40 |                     |               |               |                |                  |
| 40 > U ≥ 5  |                     |               |               |                |                  |
| 5 > U       |                     |               |               |                |                  |

Figur 2.5.2 Kortvarig spänningssänkning vid referensspänning över 45kV

I enlighet med myndigheternas krav åligger det sålunda nätägaren att åtgärda kortvariga spänningssänkningar, om åtgärderna är rimliga i proportion till kundnytta och kostnader för åtgärdernas genomförande.

## 2.6 Klimatförändringar och åska

De oplanerade avbrott som uppkommer i elnätet är till största delen väderrelaterade. Långvariga avbrott kan inträffa vid stormar beroende på träd som faller över ledningar emedan kortvariga avbrott vanligtvis beror på åsköverspänningar. Dessa korta avbrott är störningar i elnätet som är av övergående art, där berörda ledningsskydd kopplar bort ledningen för att sedan göra en automatisk återinkoppling. Vid kraftig åska kan detta förfarande komma att upprepas åtskilliga gånger. I Sverige har man gjort väderobservationer i mer än 150 år [8].

I SMHI's rapport jämförs väderobservationer från perioden 1991 – 2013 med observationer från den äldsta registrerade perioden, 1861 – 1891. I rapporten konstaterar man att den svenska årsmedeltemperaturen har under den senare perioden ökat med 1,6°C. Detta är mer än dubbelt så mycket jämfört med den globala ökningen, sett under samma tid. Årsnederbörden har vid motsvarande jämförelse ökat med 8 %. Under den senare perioden ser man även en markant skillnad vad gäller väderutvecklingen i form av nederbörd. Ur ett kortare perspektiv kan variationerna vara stora men ingen tidigare period

har varit lika rik på nederbörd under så lång tid. Störst skillnad i nederbörd kan avläsas under sommaren, med en ökning på 17 %.

Stormar kan även föra med sig salt från havet vilket resulterar i saltbeläggning på ledningar och utrustningar. Detta orsakar en försämring av isolationsförmågan och överslag i utrustningar förekommer mer frekvent.

Under 2002-2009 har SMHI gjort mätningar med ett blixlokaliseringssystem som har påvisat att den region i Sverige som har störst antal åsknedslag per år är västkusten. De flesta nedslagen sker under juli månad tätt följt av augusti och juni. Man har i studien också kunnat konstatera att åskdagar över havet är som flest under augusti månad, troligtvis beroende på att vattentemperaturen är som högst då [9]. Detta påverkar i hög grad ledningar framdragna i kustnära miljö.

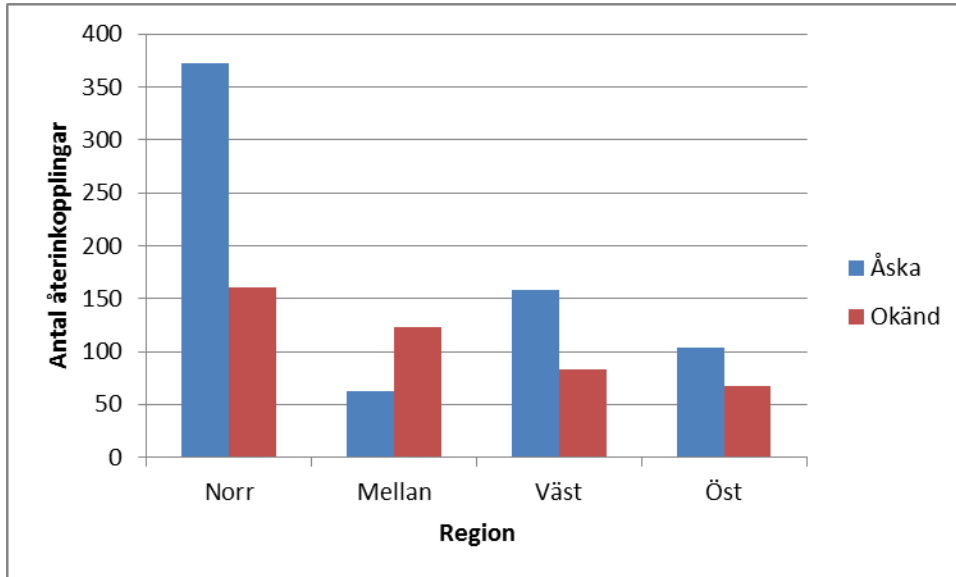
## **2.7 Åsköverspänning**

Den åskenergi som varje urladdning innehåller har ett strömmedelvärde på 30kA, men toppvärden över 200kA har registrerats. Det förekommer direkta nedslag i stolpar och ledningar men vanligare är nedslag i ledningars närhet, som då genom induktion överförs till ledningen. Efter nedslag fortplantar sig en spänningsvåg med brant flank samt hög amplitud i ledningens båda riktningar. Spänningsvågen uppstår som en funktion av blixstens strömstorlek och ledningens impedans. Den branta spänningsvågen kan ha olika karaktär beroende på typ av blix, åsknedslagetets närhet till elanläggningar, ledningars karakteristik m.m. Beroende på molnens interna laddning kan blixstar vara både positiva och negativa. Negativa urladdningar sker från molnens nedre del och de med större strömstyrka positiva urladdningarna sker från molnens övre del. Den högre strömstyrkan förklaras av det större isolationsavståndet från molnens övre delar, och de positiva blixstarna har också en längre varaktighet. Urladdningar kan även ske från mark till moln. [9]

## **2.8 Statistik över korta avbrott**

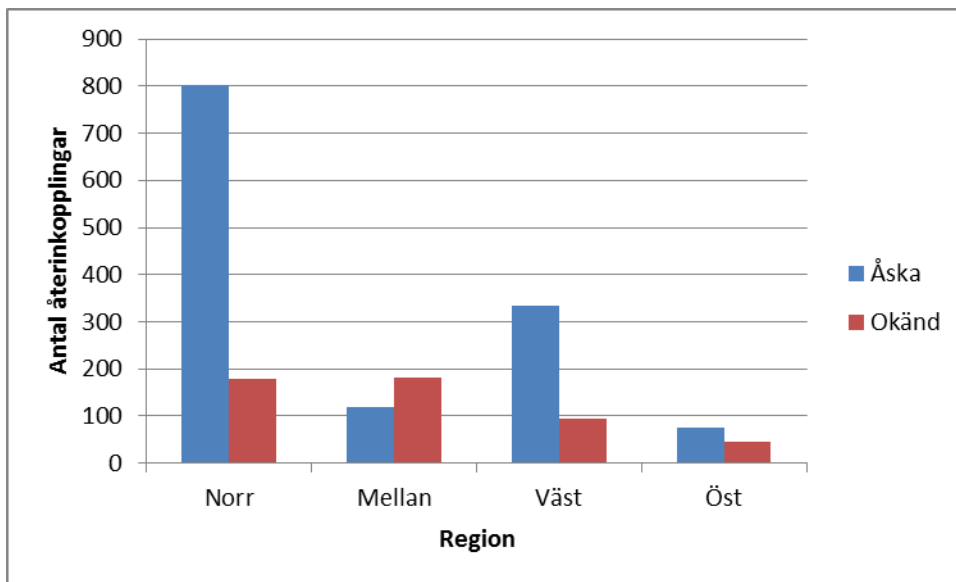
Statistik kring korta avbrott är sammanställd av en arbetsgrupp på Vattenfall och presenterad i en rapport till Vattenfalls sortimentråd[10]. I sammanställningen fokuseras på återinkopplingar som är orsakade av åsköverspänning eller av annan okänd anledning. Gruppen har valt att i rapporten avgränsa från återinkopplingar orsakade av regn, vind, återvändande last, provning samt överbelastning då dessa avbrott endast förekommer i undantagsfall.

Enligt statistik från Vattenfall från perioden 2013-06-01 till 2013-08-31 fördelade sig antalet återinkoppling på följande vis vid spänningsnivåer 1kV – 40kV:



Figur 2.8.1 Sammanställning av antalet återinkopplingar under perioden 20130601-20130831

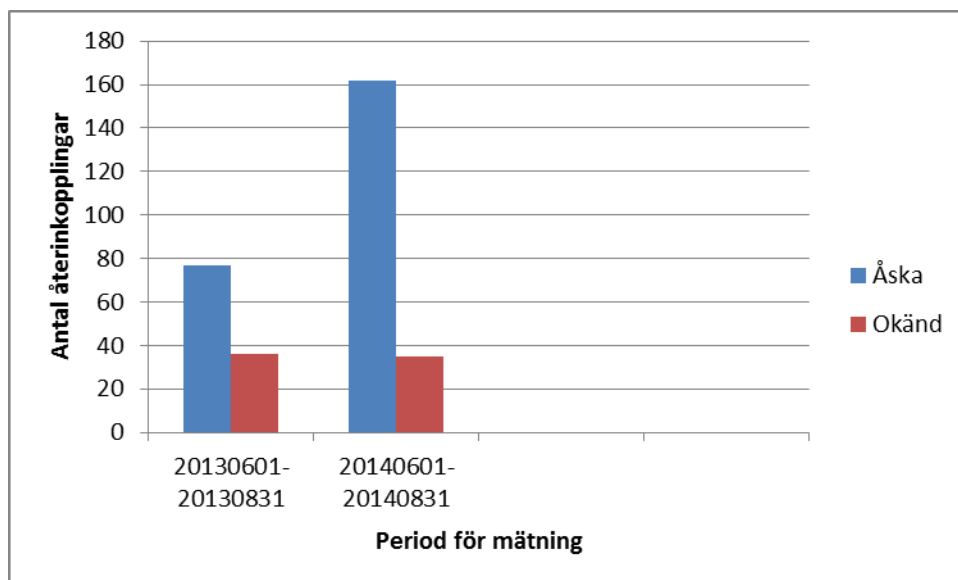
Enligt statistik från Vattenfall från perioden 2014-06-01-2014-08-31 fördelade sig antalet återinkopplingar på följande vis på spänningsnivåer 1kV – 40kV:



Figur 2.8.2 Sammanställning av antalet återinkopplingar under perioden 20140601-20140831

I 130kV-nät är antalet återkopplingar ej lika vanligt förekommande som i nät med lägre spänningsnivåer, då 130kV-nätet är uppbyggt som ett maskat nät.

Nedan finns ett diagram gällande återkopplingar i nät med spänningsnivån 130kV – 70kV för perioden 20130601-20130831 jämfört med samma period 20140601-20140831.



Figur 2.8.3 Jämförelse av antalet återkopplingar på regionnät under perioden 20130601-20130831 kontra perioden 20140601-20140831

Arbetsgruppen på Vattenfall kan inte finna några andra orsaker till de okända återkopplingarna än att de trots allt även de har en koppling till åsköverspänning. Vid jämförelse av data från 2013 och 2014 ser man en ökning av åskrelaterade återkopplingar, vilket ligger i linje med klimatrappporter från SMHI.

## 2.9 Kunders ersättningsanspråk

Såväl samhället i stort som enskilda kunder är idag beroende av en säker elleverans av hög kvalitet. I Ellagen (1997:857) 3 kap. 9§ [11] står bl.a. att utläsa:

*”Den som har nätkoncession är skyldig att på skäligen villkor överföra el för annans räkning. Överföringen av el skall vara av god kvalitet.”*

Vilka parametrar det gäller och vilka krav och toleranserna för dessa som är av avgörande betydelse för att el skall anses vara av god kvalitet, är specificerat i Energimarknadsinspektionen författningssamling [5] samt klargjort i EIFS handbok för tillämpningar om leverans kvalitet [12]. Efter stormen Gudrun 2005 gjordes en översyn av ellagen för att säkerställa eldistribution till kunderna. De ändringar som genomfördes var för att skapa en större leveranssäkerhet i elöverföringen. De regler som gäller vid längre avbrott samt vilka skadeståndsanspråk som kunder kan ställa finns redogjort i ellagen[11]. Ett avbrott får inte överstiga 24 timmar för händelser som kan förutses av ett nätföretag, men kunder kan redan efter 12 timmars elavbrott kräva skadestånd. När det gäller korta

avbrott finns dessa inte specificerade som anledningar till ersättningsanspråk från kund, utan dessa avbrott faller inom begreppet elkvalitet.

## **2.10 Samhällets kostnader för korta avbrott**

Samhället i stort har med tiden blivit mer elberoende och därmed mer störningskänsligt. Åsköverspänningar orsakar emellanåt stora kostnader för förstörd utrustning hos kunder men även återinkopplingar kan orsaka problem för vissa processer, om inte batteribackup finns. Detta problem kan uppstå om inte alla delar av processen har avstannat helt innan processens uppstarts-förfarande igångsättes vid återinkoppling av spänningen.

I en rapport från Nordiska ministerrådet [13] kan man konstatera att kostnaden för konsumenten är delad på två olika komponenter: kostnaden för den erhållna servicen för elleverans samt kostnaden för avbrottservice. Sammantagna avgiften beror på tillförlitligheten på elförsörjningen. Kostnaden för dippar och kortare avbrott (mindre än 3 min) uppgår till 1-1,5 miljarder kronor årligen.



### **3 Skyddsfilosofi**

Ledningsskydd skall längs hela ledningssträckan kunna detektera avbrott, jordfel och kortslutningar och ge brytare frånslagsimpuls. De reläskydd som samverkar som ledningsskydd vid förekommande åsköverspänningar är; överströmsskydd, distansskydd, längsdifferentialskydd och jordfelsskydd.[4, 14, 15].

#### **3.1 130kV**

I Sverige är 130kV-systemet uppbyggt som ett direktjordat maskat system. Vid förekommande kortslutningar och jordfel blir felströmmarna höga. Skydden skall lösa alla faser momentant inom 0,4 s vid reläskyddskommunikation, annars inom 1 s.

##### **3.1.1 Distansskydd**

Detta skydd mäter ledningens impedans. Skyddet har ett förinställt impedansvärde för respektive linje. Vid uppkomna kortslutningar och jordfel förändras ledningens impedans mellan inmatningspunkt och felställe. När uppmätt impedans är lägre än inställt värde löser skydden momentant. Distansskydd används för bortkoppling vid två och trefasiga kortslutningar och jordfel.

##### **3.1.2 Längsdifferentialskydd**

Detta skydd används för detektering av kortslutning och jordfel. Skyddet mäter trefasigt strömmarnas momentanvärde och jämför dessa i båda ändar av ledningen. Om strömmarna uppvisar avvikelser vid jämförelse inom skyddszone löser skydden för såväl en, två som trefasiga fel. Skyddet skall lösa ut brytare i samtliga linjeändar oavsett om felström matas från ett eller flera håll.

##### **3.1.3 Jordfelsskydd**

Detta skydd är nollföljdsströmmätande och används för bortkoppling av jordfel. Normalt används ett 4-stegs jordfelsskydd med tre riktade samt ett oriktat steg. Jordfelsskydd är det skydd som vanligtvis reagerar först då de flesta förekommande fel är en och tvåfasiga jordfel.

#### **3.2 70kV**

Då 70 kV-nätet är konstruerat som ett spoljordat maskat nät innehåller detta ett antal nollpunktsmotstånd. Detta medför att eventuella åsköverströmmar kan matas från två håll, och skydden måste vara riktningskännande för att selektiv bortkoppling skall kunna utföras. Hela nätet är normalt maskat med ett eller flera nollpunktsmotstånd i de olika sektionerna. Vid feldetektering klipps det maskade nätet upp och blir till ett radiellt nät så att endast ett nollpunktsmotstånd ingår i felkretsen.

##### **3.2.1 Distansskydd**

Samma funktioner som 3.1.1

### **3.2.2 Längsdifferentialskydd**

Samma funktioner som 3.1.2

### **3.2.3 Jordfelsskydd**

För bortkoppling vid jordfel i spoljordat nät skall jordströmsskyddet bestå av två riktade skydd, riktat jordströmsskydd (JSr) och nollpunktsspänningsskydd + riktat jordströmsskydd (NUS+JSr) samt ett oriktat nollpunktsspänningsskydd (NUS). Skydd skall mäta nollföljdsström och nollföljdsspänning.

## **3.3 40kV – 1kV**

Vid dessa spänningsnivåer består näten av ett antal olika ledningsareor, där varierande termisk kortslutningshållfasthet kan förekomma. Selektivitet åstadkoms med hänsyn tagen till både högsta ström och tidsfördröjning utmed radialnätet.

### **3.3.1 Överströmsskydd**

Skydd är strömmätande och av två typer, riktat och oriktat. Riktningfunktionen uppnås genom en vinkeldetektering mellan felström och en referensspänning. Vid upprättande av selektivplaner måste de maximala belastningsströmmar som passerar reläskydden vara kända, då överströmsskydd kan inte skilja på felström och belastningsström.

### **3.3.2 Distansskydd**

I förekommande fall gäller samma funktion som i 3.1.1

### **3.3.3 Längsdifferentialskydd**

I förekommande fall gäller samma funktion som i 3.1.2

### **3.3.4 Riktat jordströmsskydd**

Skydd skall vara anslutet till nollföljdsström och nollföljdsspänning.

## 4 Återinkoppling

Syftet med återinkoppling, manuell eller automatisk, är att på ett snabbt och säkert sätt återgå till normalt driftläge efter en störning [16]. Detta skall ske utan risk för person eller egendom. 2008 frångick man rådet att två provinkopplingar av linje kan utföras inom loppet av 90 sekunder. En snabb återinkoppling och en fördröjd återinkoppling. Idag är tidskravet borttaget i Starkströmsföreskrifterna [17] och focus ligger numera på att ”*riskbedömning skall göras innan provinkoppling*” på alla typer av nät.

### 4.1 Automatisk återinkoppling

I luftledningsnät är flertalet fel av övergående karaktär och för att minimera avbrottstiden och de olägenheter som kan uppstå hos kunderna, sker därmed en automatisk återinkoppling efter en kort tid. Syftet med automatisk återinkoppling är att så snabbt som möjligt återgå till normalt driftläge på de utlösta nätdelarna. De flesta återinkopplingar brukar lyckas vid första försöket. När återinkopplingar lyckas är oftast den bakomliggande orsaken till avbrottet att ett blixtnedslag inträffat direkt i eller i ledningens närhet. Felorsak har varit av övergående art och ledningsskydd har därmed löst ut och gjort linjen spänningslös. Felet är inte kvarstående då uppkommen kortslutning/jordfel/ljusbåge har upphört vid spänningslöshet. I lokalnät är korta avbrott oftast orsakade av åskrelaterade bortkopplingar men kan även orsakas av grenar, träd och dylikt i ledningarnas närhet. Fåglar som orsakar ljusbågar i gnistgap är också förekommande. Tidigare var praxis att en återinkoppling utfördes vid spänningsnivå 130 kV-nätet, och att två återinkopplingar utfördes vid lägre spänningsnivåer. Efter 2008 är praxis att en återinkoppling sker momentant på 130 kV-nätet och att på lägre spänningsnivåer, endast en återinkoppling sker efter 30 sekunder. Dock bör nämnas att det inte är lämpligt med automatisk återinkoppling vid rena kabelnät eller blandnät där övervägande ledningssträckor består av kabel och man kan anta att det därmed är ett varaktigt fel på kabeln. Ett misstänkt kvarstående fel bör åtgärdas innan återinkopplingen av linjen kan ske. Återinkopplingsautomatik skall ställas av vid vissa förekommande arbeten i nätet såsom rójning, invidarbete, arbete med spänning eller dylikt.

### 4.2 Manuell återinkoppling

Vid återkommande automatiska återinkopplingar av samma ledning bör automatiken ställas av och felsökning utföras. I samband med felsökning och sektionering av ledning utförs återinkoppling av ledning manuellt [18]. För att utföra en manuell återinkoppling krävs både att en riskbedömning där sannolik felbortkopplingsorsak och konsekvensanalys har utförts, samt att information från driftsystemet är analyserad. Då 90-sekundersregeln för tillkoppling inte längre finns med i elsäkerhetsföreskrifterna måste de checklistor, riskbedömningar, instruktioner och rutiner som DC-operatörerna har vara tydliga när det gäller manuell tillkoppling och att all återinkoppling sker efter stor eftertanke. Om det finns väl inarbetade arbetsätt ökar sannolikheten att återinkopplingen sker korrekt. Genom att

använda standardiserade bedömningskriterier kan man analysera vad bakomliggande orsak till bortkopplingen är, och vad konsekvenserna blir vid en återkoppling. Viktigt vid återkoppling är att man tar hänsyn till de olika typer av nät som finns, och vilken typ av störning som inträffat. Det är också viktigt att det finns rutiner när det gäller manuella återkopplingar på underliggande nät. Detta beroende på att det här oftast finns en mängd olika fysiska felorsaker.

## **5 Överspänningskydd**

Reläskydd är aktiva och kopplar bort ledningssträckor som uppvisar onormala strömvärden eller ledningsimpedanser. Detta förfarande används i enlighet med Vattenfalls riktlinjer för felbortkoppling för att skydda elledningarna vid förekommande kortslutningar och jordfel [4]. Utöver dessa aktiva ledningsskydd finns passiva överspänningskydd installerade i elnäten för att skydda utrustningar och anläggningar mot åsköverspänningar. Syftet med överspänningskydden är att verka som fördefinierade punkter i ledningsnätet där överslag till jord kan ske under kontrollerade former. I samverkan med de aktiva reläskydden sker detta på olika sätt beroende på spänningsnivå.

### **5.1 Ventilavledare**

Vid högre spänningsnivåer används ventilavledare för att skydda utrustningar mot överspänning. Detta sker genom att avleda åsköverspänning till jord emedan normal driftspänning kvarstår i nätet. Efter att spänningsnivån återgått till normal driftspänning upphör ventilavledarens ledande egenskaper och normaldrift föreligger åter i nätet. En ventilavledare är ett olinjärt motstånd, vanligtvis bestående av zinkoxid. Ventilavledaren är starkt spänningsberoende och kryptströmmen igenom densamma är försumbar [19], och den kan vid normal drift betraktas som ett avbrott. Tidigare var ventilavledarens spärrskikt bestående av kiselkarbid, vilket har något sämre spärregenskaper än zinkoxid. Ventilavledare av det äldre utförandet är fortfarande vanligt förekommande i elnätet. Ventilavledare skall placeras nära det objekt som den är avsedd att skydda, vanligtvis på stationernas inkommande linje i transformatorernas omedelbara närhet, och vara dimensionerad så att förekommande driftspänning inte överstiger ventilavledarens tändspänning. Vid åsknedslagen bildas en spänningsvåg med brant flank samt hög amplitud som fortplantar sig utmed ledningen i båda riktningar från nedslagsplatsen. Den branta urladdningsvågen möter ledningens vågimpedans. Detta genererar en hög stötspänning som överstiger ventilavledarens tändspänning, varvid denna blir en ledande förbindelse till jord och på så sätt begränsas spänningstoppen. I direktjordade högspänningsnät är uteslutande ventilavledare använda emedan i mellanspänningsnät är användningen av ventilavledare i dagsläget begränsad. Ventilavledare monteras i ändstationer samt högt placerade stolpstationer. I blandnät monteras ventilavledare vid övergång mellan kabel och luftledning samt vid frånskiljare och säkringsapparater då kabellängder i intervallet 20 – 250 meter förekommer. En nackdel med ventilavledare är att haverier på desamma är svårlokaliserade och linjen kan inte spänningssättas innan reparation är utförd. Vid konstaterat haveri på en ventilavledare skall dock alla tre fasernas ventilavledare bytas, vilket innebär en merkostnad.

## **5.2 Gnistgap**

På mellanspänningsnivåer används vanligtvis gnistgap som en fördefinierad punkt i nätet där överslag till jord kan ske under kontrollerade former för att skydda övrig utrustning från åsköverspänningar. Detta medför dock att uppkommen ljusbåge kvarstår till dess att ledningsskydd aktiveras och driftspänningen bryts. Konsekvensen av detta förfarande är att kunderna blir spänningslösa under en tid innan återinkoppling sker. Gnistgap är vanligtvis placerade utmed linjer i särskilt åskdrabbade områden. En nackdel med gnistgap är att de endast är avsedda som skydd för mindre transformatorer. En fördel ur ett investeringsperspektiv är att gnistgap är ett billigt överspänningskydd.

## **6 Resultat**

Vid en kartläggning av orsaker till korta avbrott kan det konstateras att åsköverspänning orsakad av blixtnedslag direkt i, eller i närheten av ledningar är oundvikligt då ledningarna har en stor utbredning, leder ström bra och har förbindelse till jord. Genom att åsköverspänningen åstadkommer en nedbrytning av isolationshållfastheten i systemet kan en ljusbåge uppträda. Denna ljusbåge drar i sin tur med sig nätspänningen till jord varvid ledningsskydden detekterar förekommande felströmmar och ger brytarutlösningssimpuls. En konsekvens av detta är att ett kort avbrott av nätets driftspänning uppstår vid bortkopplad ledning innan en återinkoppling kan ske. Effekten av åsköverspänningar utmed ledningarna är kraftigt beroende av djupet på spänningssänkningen och varaktigheten på spänningsbortfallet. De identifierade åtgärderna för att minska antalet korta avbrott är olika beroende på vid vilken spänningsnivå de är tänkta att tillämpas.

Följande åtgärder, vilka presenteras utan inbördes ordning, kan vara en väg att gå för att minska antalet åskrelaterade korta avbrott på spänningsnivå:

### **130kV – 70kV:**

- Topplinor över linjesträckningar i områden med hög åskafrekvens.
- Ökad användning av linjeavledare i åskfrekventa områden.
- Förlängning av stationernas inledningsskydd över flera ledningsspann.
- Höjd isolationsnivå.

### **40kV – 1kV:**

- Ökad användning av markkablar.
- Kombinationsskydd bestående av ventilavledare i serie med gnistgap.
- Ökad användning av linjeavledare i åskfrekventa områden.
- Optimerad driftläggning av elnäten.
- Förändrad nätstruktur, kortare ledningar.
- Utlokaliserade brytare och reläskydd.
- Höjd isolationsnivå.

## 7 Analys/diskussion

Vid en analys av föreslagna åtgärder för att minska antalet åskrelaterade korta avbrott, kan följande resonemang föras på spänningsnivå:

### **130kV – 70kV:**

#### ***Topplinor:***

Alla 130kV-ledningar har inte topplinor idag. En utökad användning av topplinor skulle ge ett bra skydd mot direkta åsknedslag.

#### ***Linjeavledare:***

Ökad användning av linjeavledare i åskfrekventa områden. Om linjeavledare installeras parallellt med linjeisolatorer minskar risken för oönskade överslag i isolatorerna. Det finns två olika typer av linjeavledare; med inbyggt seriegap eller utan seriegap. Vid ett haveri på linjeavledare med seriegap kan ledningen drivas vidare då seriegapet har tillräcklig isolationsförmåga vid rådande driftspänning.

#### ***Förlängda inledningsskydd:***

Om inledningsskyddens utbredning ökas med fler ledningsspann utökas förmågan att fånga upp åsköverspänningar och leda dessa till jord.

#### ***Höjd isolationsnivå:***

Höjd isolationsnivå, exempelvis genom förlängning av kedjeisolatorer, skapar förutsättningar för att minska risken för kortslutningar och jordslutningar orsakade av överspänningar. Denna åtgärd är till hjälp vid inre överspänningar men huruvida denna åtgärd hjälper mot åsköverspänning behöver utredas vidare.

### **40kV – 1kV:**

#### ***Ökad användning av markkabel:***

Ersätt luftledningar med markkabel. Genom denna åtgärd kan förekomsten av jordfel och kortslutningsfel beroende på väderrelaterade åsköverspänningar minimeras. Kortslutningsfel beroende på växtlighet och som är kopplade till kontakt med olika djur minimeras också genom detta förfarande. Dock skall man vara medveten om att vid händelse av fel är reparationstiden betydligt längre.

#### ***Kombinationskydd:***

På spänningsnivåer mellan 40kV och 1kV kan en kombination av ventilavledare i serie med gnistgap användas. Ventilavledare för montering på detta sätt kan väljas med lägre tändspänning då gnistgapets överslagsmotstånd kan räknas bort. Vid åsköverspänning tänds en ljusbåge över gnistgapet och ventilavledaren blir härmed ledande, åsköverspänningen leds till jord, varvid spänningsnivån sjunker till driftspänning, ljusbågen slocknar och normal drift föreligger åter. Detta sker utan att störningar uppträder i nätet och återinkopplingar utförs härmed inte. Under normal drift har inte ventilavledaren



galvanisk kontakt med driftspänningen. Detta har en positiv inverkan på ventilavledarens förväntade livslängd. Dessa kombinationsskydd kan installeras i befintliga nät. Fördelen blir att överslag i ventilavledarna inte medför att nätspänningen leds till jord.

***Ökad användning av linjeavledare:***

Ökad användning av linjeavledare i syfte att minimera antalet återinkopplingar är även möjligt vid spänningsnivåer mellan 40kV – 1kV.

***Driftoptimera elnätet:***

Genom en optimering av driftläggning i det maskat byggda men radiellt drivna elnätet kan antalet kunder som drabbas av återinkopplingar minimeras. Dessa förändringar kan genomföras med en relativt låg investeringskostnad då justeringar utförs i befintligt nät.

***Förändrad nätstruktur:***

Genom att förändra befintliga radialnät till ett utförande med flera kortare radially utledningar blir inte lika många kunder drabbade av korta avbrott. I det befintliga nätet är linjedragningen gjord för länge sedan och förutsättningarna har förändrats sedan dess. En nackdel med att förändra nätstrukturen är att det kan medföra en relativt stor investeringskostnad.

***Utlökaliserade brytare:***

Genom att installera brytare i kombination med reläskydd ute i radialnätet i frekvent åskdrabbade områden kan fränkoppling av mindre delar av nätet ske och därmed drabbas färre kunder.

***Höjd isolationsnivå:***

Bygg om ledningar med oisolerade faslinor till utförande med isolerade faslinor eller hängkabel. Genom att använda isolerade faslinor kan felfrekvensen minska. Ljusbågshorn alternativt gnistgap skall implementeras i nätet vid utbyte till isolerade linor. Kombinationsskydd (se nedan) kan användas i nät med isolerade linor. Hängkabel kan användas där det kan motiveras ur tekniskt och ekonomist perspektiv.

## 8 Slutsatser och framtida arbete

Detta examensarbete förordar att arbetet med att identifiera och analysera bakomliggande orsaker och möjliga åtgärder för att kunna minska antalet återinkopplingar fortsätter. I en fortsatt fördjupad analys bör även ekonomiska aspekter vägas mot nyttan för både kund och nätbolag.

Arbetet med denna rapport har resulterat i att följande förslag till åtgärder bör analyseras djupare. Förslagen presenteras utan inbördes ordning.

*Studera placering och effekter av ökad användning av linjeavledare vid olika spänningsnivåer.*

*Studera ökad användning av kombinationskydd och var dessa skall placeras i nätet för att ge optimalt resultat.*

*Studera var i nätet som utlokaliserade brytare/reläskydd kan placeras för att ge bäst effekt som skydd mot åsköverspänningar.*

*Studera om ett utbyte av befintliga ventilavledare till ventilavledare med bättre prestanda att hantera åsköverspänningar än tidigare generationer ger nyttoeffekt.*

*Studera om branschens riktlinjer för val av ventilavledarnas tekniska prestanda behöver omvärderas. Samtliga elnätsbolag i Sverige följer i varierande utsträckning samma riktlinjer.*

*Studera möjligheter att åstadkomma önskat överspänningskydd med ny teknik.*

*Studera om kombinationen av luftledning och markkabel kräver andra egenskaper av åskskydden.*

*Studera varför återinkopplingar är så frekventa i område Norr på lokalnät.*

*Studera förväntad klimatförändring och dess inverkan på elöverföringen.*

*Studera effekten av ökad användning av topplinor i 130kV-nätet.*

*Studera vilka parametrar som kan adderas till totalkalkylen vid markkabelförläggning.*

## 9 Källförteckning

1. Johansson U och Grape U (2004), *Förberedande kartläggning av spänningsdippar i olika typer av nät*. [Elektronisk]. Elforsk AB. Tillgänglig: <[http://www.elforsk.se/Rapporter/?download=report&rid=04\\_43](http://www.elforsk.se/Rapporter/?download=report&rid=04_43)> [2014-12-12]
2. Nehmdoh A. Sabida (2010), *Lightning-induced overvoltages in medium voltage distribution systems and customer experienced voltage spikes*. [Elektronisk] Aalto University. Tillgänglig: <[http://www.google.se/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&frm=1&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=0CDIQFjAB&url=http%3A%2F%2Flib.tkk.fi%2FDiss%2F2010%2Fisbn9789526030463%2Fisbn9789526030463.pdf&ei=PkG5VOqTLYKeygOq04LQCQ&usg=AFQjCNF5pAzrki6O4v6DHu3kAXBE00HycQ&sig2=U3C27J-cUVC\\_0-iPYqBVPA](http://www.google.se/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&frm=1&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=0CDIQFjAB&url=http%3A%2F%2Flib.tkk.fi%2FDiss%2F2010%2Fisbn9789526030463%2Fisbn9789526030463.pdf&ei=PkG5VOqTLYKeygOq04LQCQ&usg=AFQjCNF5pAzrki6O4v6DHu3kAXBE00HycQ&sig2=U3C27J-cUVC_0-iPYqBVPA)> [2014-12-14]
3. Granath K och Gustavsson B (2014), *Leveranssäkerhet i elnäten 2012. Statistik och analys av elavbrotten i Sverige*. [Elektronisk]. Energimarknadsinspektionen. Tillgänglig: <[http://www.energimarknadsinspektionen.se/Documents/Publikationer/rapporter\\_r\\_och\\_pm/Rapporter%202014/Ei\\_R2014\\_04.pdf](http://www.energimarknadsinspektionen.se/Documents/Publikationer/rapporter_r_och_pm/Rapporter%202014/Ei_R2014_04.pdf)> [2014-11-18]
4. Svensson N (2011), *Riktlinjer för felbortkoppling inom Vattenfall Eldistribution AB*. Vattenfall internt dokument, ej godkänt för spridning.
5. Morén G (2013), *Energimarknadsinspektionens författningssamling EIFS 2013:1*. [Elektronisk] Energimarknadsinspektionen. Tillgänglig: <[http://www.ei.se/Documents/Publikationer/foreskrifter/EI/EIFS\\_2013\\_1.pdf](http://www.ei.se/Documents/Publikationer/foreskrifter/EI/EIFS_2013_1.pdf)> [2014-11-19]
6. Morén G (2010), *Energimarknadsinspektionens författningssamling EIFS 2010:5*. [Elektronisk]. Energimarknadsinspektionen. Tillgänglig: <<http://www.ei.se/sv/Projekt/Projekt/Revidering...eifs-2010-5/eifs-2010-5>> [2014-11-19]
7. Brännman G (2012), *Instruktion för elkvalitet*. Vattenfall internt dokument, ej godkänt för spridning.
8. Kjellström E m.fl. (2014), *Uppdatering av det klimatvetenskapliga kunskapsläget*. [Elektronisk] SMHI. Tillgänglig: <[http://www.smbi.se/polopoly\\_fs/1.81608!/Menu/.../Klimatologi\\_9%20.pdf](http://www.smbi.se/polopoly_fs/1.81608!/Menu/.../Klimatologi_9%20.pdf)> [2014-12-15]
9. Isaksson L och Wern L (2010), *Åska i Sverige 2002-2009*. [Elektronisk] SMHI. Tillgänglig: <<http://www.smbi.se/publikationer/aska-i-sverige-2002-2009.1.14674>> [2014-11-20]
10. Rocklöv H m.fl. (2014), *Val och placering av överspanningskydd*. Vattenfall internt dokument, ej godkänt för spridning.

11. Regeringskansliet (1997), *Svensk författningssamling 1997:857 Ellag 1997:857*. [Elektronisk] Näringsdepartementet. Tillgänglig: <[http://www.riksdagen.se/sv/Dokument-Lagar/Lagar/Svenskforfattningssamling/Ellag-1997857\\_sfs-1997-857/](http://www.riksdagen.se/sv/Dokument-Lagar/Lagar/Svenskforfattningssamling/Ellag-1997857_sfs-1997-857/)> [2015-01-03]
12. Ström L (2012), *Handbok för tillämpning av föreskrifterna om leverans kvalitet EIFS:2011:2*. [Elektronisk] Energimarknadsinspektionen. Tillgänglig: <[http://ei.se/Documents/Publikationer/handbocker\\_och\\_intyg/Elnat/Handbocker\\_elavbrott\\_och\\_kvalitet/Handbok\\_for\\_foreskrifterna\\_%20om\\_leveranskvalitet\\_EIFS\\_2011\\_2.pdf](http://ei.se/Documents/Publikationer/handbocker_och_intyg/Elnat/Handbocker_elavbrott_och_kvalitet/Handbok_for_foreskrifterna_%20om_leveranskvalitet_EIFS_2011_2.pdf)> [2014-12-13]
13. Lehtonen.M.(1994), *Kostnader för elavbrott Tema Nord 1994:627*, [Elektronisk] Nordisk ministerråd. Tillgänglig: <<https://books.google.se/books?id=hY9Dite96SsC&pg=PA3&lpg=PA3&dq=Kostnader+f%C3%B6r+elavbrott+Temanord+1994:627&source=bl&ots=IkETibd-lr&sig=brqUCGYZMzdSGVVTiFUDlhDYJlQ&hl=sv&sa=X&ei=WkW5VPzMKebRygPttoKoBg&ved=0CCUQ6AEwAA#v=onepage&q=Kostnader%20f%C3%B6r%20elavbrott%20Temanord%201994%3A627&f=false>> [2014-08-05]
14. Vattenfall Eldistribution AB, *Teknisk riktlinje för kontrollanläggning VTR2-03*. Vattenfall internt dokument, ej godkänt för spridning.
15. Andersson L m.fl. (2012), *Elkraftshandboken Elkraftsystem 1*. Stockholm: Liber.
16. Wall D m.fl.(2007), *Återinkoppling i Vattenfall Eldistribution AB:s elnät*. Vattenfall internt dokument, ej godkänt för spridning.
17. Larsson C (2008), *Starkströmsföreskrifterna Elsäk-FS 2008:3*. [Elektronisk] Elsäkerhetsverket. Tillgänglig: <<http://www.elsakerhetsverket.se/om-oss/lag-och-ratt/gallande-regler/Elsakerhetsverkets-foreskrifter-listade-i-nummerordning/elsak-fs-20083/>> [2014-12-01]
18. Hansson T m.fl. *Branschens hantering av automatiska och manuell återinkoppling av utlösta ledningar*, [Elektronisk] Svenska Kraftnät i samarbete med Svensk Energi. Tillgänglig: <<http://www.svk.se/PageFiles/56768/Automatisk-och-manuell-aterinkoppling.pdf>> [2015-01-07]
19. Hileman Andrew R. (1999), *Insulation Coordination for Power Systems*, Boca Raton, FL: Taylor & Francis Group.

### **Muntliga källor**

Parallellt med litteraturstudier under rapportens tillblivelse har intervjuer och samtal genomförts med:

- Gunilla Brännman, Elkvalitet, intervju den 12 december 2014.
- Björn Jansson, Skydd och kontroll, intervju den 18 december 2014.
- Ulrika Ugglå, Skydd och kontroll, intervju den 12 januari 2015.
- Samtal med personal från Vattenfalls Driftplanering, utförda under perioden 15 november 2014 till 16 januari 2015.