

ENKLA ELNÄT, SÄKRA ELLEVERANSER

RAPPORT 2015:105



ELNÄT VINDKRAFT OCH SOLEL



Enkla Elnät, Säkra Elleveranser

*Simple Distribution Networks, Reliable Power
Electricity*

Energiforsk rapport 2015:105

Ying He and Emil Eriksson,
Vattenfall Research and Development AB

Kvalitetsgranskad: Jenny Paulinder

Februari 2015

Förord

Denna rapport baserar sig på rapport 10:08 som togs fram på engelska av Ying He och Emil Eriksson, Vattenfall Research and Development AB i Elforsk projektet "Enkla elnät, säkra elleveranser", inom programmet Nätutveckling år 2010. Syftet med projektet var att med hjälp av tillförlitlighetssimuleringar undersöka möjlighet att förenkla nätstrukturer och reducera antalet komponenter med bibehållen leveranssäkerhet.

Projektet genomfördes i huvudsak av Vattenfall Research and Development AB med medverkan av Vattenfall Eldistribution AB. Följande personer har bidragit och hjälpt till med projektet:

- Sigvard Hansander, Nätanalys, Vattenfall Eldistribution AB;
- Dennis Sipovac, Felbortkoppling, Vattenfall Eldistribution AB;
- Kurt Andersson, Underhållsanalytiker, Vattenfall Eldistribution AB;
- Håkan Olsson, Nätanslutningar, Vattenfall Services Nordic AB;
- Anders Holm, granskning, Vattenfall Research and Development AB;
- Simon Olausson, översättning från engelska till svenska.

Vid framtagning av rapporten 10:08 bestod projektets styrgrupp av följande personer som har bistått med värdefulla kommentarer och synpunkter för projektets utförande:

- Per-Olof Olofsson, Vattenfall Eldistribution AB;
- Per Bengtsson, Fortum Distribution;
- Robert Lagerström, E.ON Elnät Sverige AB;
- Åke Sjödin/Susanne Olausson, Elforsk AB.

En kvalitetsgranskning av rapporten genomfördes under vintern 2014-2015 av Jenny Paulinder, Göteborg Energi i program Riskanalys II 2010-2015.

Stort tack till programstyrelsen för bra initiativ samt stöd till kvalitetsgranskningsprojektet. Programstyrelsen bestod av följande personer:

- Horst Blüchert/Per Höjevik/Anders Richert, Elsäkerhetsverket
- Peter Söderström, Vattenfall Eldistribution
- Kjell Oberger, Fortum Distribution
- Ola Ivarsson, E.ON Elnät
- Jenny Paulinder, Göteborg Energi
- Najib Mirkhani, Svk
- Pär-Erik Petrusson, Jämtkraft
- Sven-Åke Polfjärd, FIE
- Tommy Johansson, Elsäkerhetsverket
- Susanne Olausson, Energiforsk AB

Mars 2015

Sammanfattning

Samhällets ökade krav på elleveranssäkerhet och elnätbolagens behov av att kostnadseffektivisera sin verksamhet har lett till ett ökat behov av att rationalisera uppbyggnaden av framtida elnät.

Dagens elnät byggdes upp successivt under lång tid. De tekniska studier och analyser som gjordes vid uppbyggnaden var framförallt belastningsfördelningar, beräkningar av förluster, livstidskostnader, o dyl., medan elnätstrukturrelaterade tillförlitlighetssimuleringar och analyser inte genomförts lika utbrett. Elleveranssäkerhet påverkas av elnätstruktur, antalet komponenter och komponenternas placeringar. Tillförlitlighetssimuleringar analyserar denna påverkan och kan användas som ett verktyg för att rationalisera elnätets uppbyggnad och få största möjliga leveranssäkerhet per satsad investeringskrona. Utan sådana analyser kan konsekvensen bli att man bygger ett för sofistikerat elnät och installerar för många komponenter.

Framtidens elnät kommer att baseras på nuvarande elnäts infrastruktur. De elnätsanläggningar som används idag kommer att fortsätta att spela en viktig roll i framtiden. Dagens elnätstrukturer bör förstärkas och uppgraderas. Men en viktig fråga för elnätbolag är hur tillförlitliga framtida elnätsstrukturer ska utvecklas på ett kostnadseffektivt sätt.

Syftet med projektet är att med hjälp av tillförlitlighetssimuleringar undersöka hur man kan förenkla elnät och reducera antalet komponenter med bibehållen leveranssäkerhet. Projektaktiviteterna har fokuserat på följande tre delmoment:

- Omvärldsstudier för att utreda trender i elnätstruktur avseende förändringar och utveckling samt vad man gjort i omvärlden när det gäller förenklingar och nya lösningar för elnätstrukturer. Omvärldsstudien görs för att ge input till projekt och till fallstudierna av elnätsförenklingar.
- Studie av ett landsbygdsnät.
- Studie av ett stadsnät.

En serie simuleringar och beräkningar har utförts i projektet för att kvantifiera effekten av olika alternativa förenklingar och undersöka möjligheten att förenkla elnät med bibehållen leveranstillförlitlighet. Beräkningarna visar att det finns potential att minska antalet elnätskomponenter och förenkla befintliga elnätstrukturer utan att försämra nätets tillförlitlighet. Det finns möjlighet att bygga framtida elnät med färre komponenter, enklare strukturer och säkrare elleveranser.

Studierna visar att elnätskomponenter kan påverka tillförlitligheten på olika sätt. Att bygga ett sofistikerat elnät och installera flera komponenter betyder inte nödvändigtvis att elnätets tillförlitlighet automatiskt höjs. Att investera i flera komponenter kan innebära ett införande av flera aktiva komponentfel och kan eventuellt resultera i försämring av nätets tillförlitlighet.

Landsbygdsnätsstudien visar att det finns potential att reducera antalet lastfrånskiljare och frånskiljare i befintligt elnät utan att påverka nätets tillförlitlighet negativt. Det finns möjlighet att minska antalet sektioneringsfrånskiljare genom optimering av frånskiljarplaceringar.

Resultatet av stadsnätsstudien visar att vissa extra sammankopplingar mellan maskade nätdelar kan tas bort utan att påverka nätets tillförlitlighet negativt.

Rapporten avslutas med en sammanställning av huvudresultat från projektets olika delstudier. Beräknade värden och diskussioner av resultaten dokumenteras i rapporten.

Summary

Distribution systems are becoming increasingly important for electric utilities. The society's increased demand on reliable electricity has resulted in an increased focus on power system reliability. Power supply utilities are taking increasing interest in finding ways to improve the reliability of power supply in a cost effective manner.

Today's power distribution networks were built gradually over time. They were originally set up in the 1940-1950s or even earlier. The technical studies and analyses then for the network buildings were based on basic network design principles and were mainly load flow analysis, power loss calculations, lifetime cost analysis, and suchlike things, while the network structure related reliability simulations and evaluations have not been performed so much.

The distribution systems of the future will be built up based on the present network infrastructure. The power equipment used today will continue to play important roles in the future. The present network structures should be reinforced and upgraded. But, how in a cost effective way to develop a reliable architecture for the future is an important concern of power utilities. It is therefore expected that this project, through reliability evaluations on existing networks, investigates possibilities to simplify the present network structures and component placement, and by doing so to aid future network planning.

The project addresses the important considerations of how to build a reliable distribution network in a cost effective way and how network configurations and network components affect customer reliability indices. The project activities have focused on the following studies:

- The world-around study to identify trends of future network structure development;
- Rural network study;
- Urban network study.

A series of reliability evaluations have been performed to investigate possibilities to simplify network structures while maintaining network reliability. The results of the reliability analyses show that there is potential to reduce the number of network components and simplify the existing network structures without degrading network reliability. It is feasible to build future networks with less components, simpler structures, and reliable customer service.

The studies demonstrate that network components affect the reliability in different ways. It cannot be concluded that installing increased number of components automatically increases the network reliability. Switch devices have potential to improve reliability by allowing faults to be isolated and customers to be restored before the fault is repaired. However, place more switch devices will introduce more active component failures and may eventually result in degradation of system reliability due to the failure probability of each device. It is of great value to consider these effects and

perform reliability quantification in order to obtain the most beneficial solutions of network structures of the future distribution systems.

The rural system analyses show that on existing rural distribution networks some of lateral switches, feeder switches, and certain load-disconnectors can be removed without affecting the network reliability negatively. There is potential to reduce sectionalized switches by optimizing feeder sections.

One feature evident in the results of the urban system study is that some of extra tie interconnections between meshed network parts can be removed without affecting the network reliability negatively.

In the conclusion chapter of the report, the summary of the main results from each part of the project is provided. The detail calculation results, and discussions of the results are described in the different Chapters of case studies.

Innehåll

1	Introduktion	1
1.1	Bakgrund.....	1
1.2	Syfte.....	2
1.3	Projekt utförande.....	2
2	Tillförlitlighetsutvärdering.....	3
3	Trender och aktivitetsanalys.....	5
3.1	Framtidens nätverkstrukturer	5
3.2	Påverkan av nya teknologier	6
3.3	Pågående förändringsarbete av nätstrukturer.....	8
3.4	Några rapporterade nätverksstrukturer	9
4	Landsbygdssystemnätanalys	12
4.1	Studerat system på landsbygden.....	12
4.2	Tillförlitlighetsdata	14
5	Fallstudie S1: Effekt av en minskning av sidoavgreningsfrånskiljare omkopplare	16
6	Fallstudie S2: Effekten av reducering ett minskat antal sektioneringsfrånskiljare uppdelade mataromkopplare	27
7	Fallstudie S3: Effekten av en minskning av antalet lastfrånskiljare omkopplare	37
8	Fallstudie S4: Effekten av en minskning av antalet frånskiljare omkopplingsenheter	45
9	Fallstudie S5: Effekten av en uppgradering av manuella omkoppfrånskiljare till fjärrstyrda kontrollerade	49
10	Fallstudie S6: Effekten av att lägga till reservkraftsmatning	56
11	Analys av stadsnät system.....	63
11.1	Studerade stadsnätverk.....	63
11.2	Strukturella egenskaper	65
11.3	Tillförlitlighetsdata	67
12	Fallstudie U1: Effekten av borttagning av extra knutpunktskoppling TC33	69
13	Fallstudie U2: Effekten av borttagning av knutpunktskoppling med två sammanhängande slingor	73
14	Fallstudie U3: Effekten av att ta bort av knutpunktskoppling mellan två separata slingor	76
15	Fallstudie U4: Effekten av att flytta knutpunktskoppling TC3	79

16 Fallstudie U5: Effekten av att lägga till knutpunkter mellan stationer	82
17 Fallstudie U6: Effekten av att byta säkring-lastfrånskiljare lastsäkrade omkopplare till säkringar på omkopplingsbara sidoavgrenar	86
18 Slutsatser	90
19 Referenser	92

1 Introduktion

1.1 Bakgrund

Eldistributionssystem är viktiga för det moderna samhället. I dagens konkurrensutsatta elmarknad har den ekonomiska utvecklingen och samhällets ökade efterfrågan på tillförlitlig elförsörjning resulterat i ökat fokus på kraftsystemets tillförlitlighet. Eldistributörernas intresse för att hitta sätt att förbättra tillförlitligheten i kraftförsörjningen på ett kostnadseffektivt sätt har ökat.

Dagens kraftnät har successivt byggts ut under lång tid. Det började ursprungligen byggas upp på 1940-1950-talet eller ännu tidigare. De tekniska undersökningarna och analyserna för nätets uppbyggnad baserades på grundläggande principer inom elnätsdesign, främst lastflödesanalys, förlustberäkningar, livslängdskostnadsanalys och liknande, medan tillförlitlighetsanalys och utvärderingar relaterade till elnätets struktur inte utförts i samma utsträckning.

Kraftsystemets beteende är av stokastisk karaktär och systemfel inträffar slumpmässigt. Elförsörjningens tillförlitlighet påverkas av bland annat nätstruktur, antal komponenter i nätet och komponenternas placering. Tillförlitlighetsanalyser simulerar systemfel och kan förutspå ett nätverks framtida tillförlitlighet. Det kan användas för att bedöma effekten av olika nätstrukturalternativ på nätets tillförlitlighet och användas som ett verktyg för att rationalisera nätplaneringen. Utan en sådan analys kan konsekvensen bli att alltför komplicerade nät byggs eller att för många komponenter används.

Framtidens eldistributionssystem kommer att baseras på den befintliga infrastrukturen. Elkraftkomponenter som används idag, till exempel kraftledningar, kablar, stationer och transformatorer, kommer att fortsätta att spela en viktig roll även i framtiden. Den befintliga nätstrukturen bör förstärkas och förbättras. Att på ett kostnadseffektivt sätt utveckla en tillförlitlig nätstruktur för framtiden är en viktig fråga för eldistributörer. Syftet med detta projekt är därför att, genom tillförlitlighetsberäkningar, utföra analys av nätstrukturer och undersöka möjligheterna att förenkla nuvarande nätstrukturer och placering av komponenter, och genom att göra detta stödjer projektet framtida nätplanering.

1.2 Syfte

Syftet med projektet är att genom tillförlitlighetsutvärdering av olika nätkonfigurationer undersöka möjligheterna att förenkla nätstrukturen och minska antalet komponenter samtidigt som nätens tillförlitlighetsnivå behålls.

Det är önskvärt att genom tillförlitlighetsutvärderingen och kvantifieringen i detta projekt kunna sprida kunskap om att bygga av sofistikerade nätverk och investering i alltför många komponenter inte nödvändigtvis innebär tillförlitligare strömförsörjning. Projektresultatet kan därmed användas för att stödja nätplaneringen och hjälpa till att rationalisera investeringar för framtida utveckling av nätet.

1.3 Projektutförande

För att utföra tillförlitlighetsanalys krävs indata och tillförlitlighetsmodeller som beskriver det verkliga system som undersökningen utförs för. För att säkerställa de tänkta analyserna, har projektets arbete delats in i fyra delar:

- Omvärldsstudie;
- Tillförlitlighetsmodellering av elnäten;
- Landsbygdsnätsstudie;
- Stadsnätstudie.

Att utveckla ett smart nät i framtiden har varit ett aktivt FoU-område över hela världen under de senaste åren. Begreppet smarta nät har uppstått inom ett mycket brett område och kan innebära olika principer och metoder för att göra kraftsystem pålitliga och smarta. För att få ny stimuli utifrån startade projektet med en omvärldsstudie. Studien granskade verksamheter och pågående projekt inom området, gällande effekterna av framtida ny teknik för nätinфраstruktur och arbete med att förändra och förenkla befintliga nätstrukturer.

Omvärldsstudien följdes av att bygga modeller av elnät i programmet NEPLAN för datorsimuleringar. Baserat på verkliga distributionssystem upprättades ett antal NEPLAN modeller av nättyper med olika struktur för tillförlitlighetssimuleringar.

Projektets huvudaktiviteter, studier på landsbygds- och stadsnät, utfördes på två mellanspänningsnät från Vattenfall Distribution Nordic. En rad scenarier har analyserats för att undersöka möjligheterna till förenklingar av nätets konfiguration och potentialen i att minska antalet komponenter utan att påverka elnätets tillförlitlighet negativt.

2 Tillförlitlighetsutvärdering

Ett distributionssystems tillförlitlighet beskriver förmågan hos systemet att utföra sin uppgift och är kopplat till utrustningsfel och avbrott hos kund. Det är därför en inneboende egenskap hos ett system och en viktig designparameter.

Distributionstillförlitlighet mäts vanligtvis i termer av tillförlitlighetsindex. Det finns två uppsättningar av tillförlitlighetsindex: Lastpunktsindex och systemindex. Lastpunktsindex speglar tillförlitligheten i en enskild kunds lastpunkt, medan systemindex speglar tillförlitligheten på övergripande systemnivå.

Tillförlitlighetsutvärdering av ett system kallas ofta för kvantitativ bedömning av systemets tillförlitlighet antingen med analytiska metoder eller med simuleringsmetoder. Metoder för tillförlitlighetsutvärdering simulerar systemets slumpmässiga beteende, härleder konsekvenserna av fel, och beräknar tillförlitlighetsindex. Dessa numeriska värden ger ett kvantifierat mått och kan användas för att jämföra och bedöma tillförlitligheten hos alternativa kraftsystem.

Tre primära index används allmänt för att kvantifiera tillförlitligheten i en lastpunkt. Dessa tre index är genomsnittlig felfrekvens (λ), genomsnittlig årlig otillgänglighet (U) (årlig avbrottstid) och genomsnittlig icke levererad energi (ILE):

λ = genomsnittligt antal fel per år (f/år)

U = genomsnittlig årlig otillgänglighet (min/år)

ILE = genomsnittlig icke levererad energi (MWh/år)

Baserat på lastpunktsindex, kan ett antal systemtillförlitlighetsindex beräknas och en fullständig representation av systemets beteende kan erhållas. De viktigaste systemindexen är:

SAIFI = System Average Interruption Frequency Index

$$= \frac{\text{totala antalet avbrott per år}}{\text{totala antalet kunder}} \\ = \frac{\sum \lambda_i \cdot N_i}{\sum N_i} (\text{antal avbrott / år och kund})$$

SAIDI = System Average Interruption Duration Index

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{summa av kundavbrotts var aktighet}}{\text{totalt antal kunder}} \\ &= \frac{\sum U_i \cdot N_i}{\sum N_i} (\text{min / år och kund}) \end{aligned}$$

ILE_s = Total icke levererad energi i systemet

$$= \sum ILE_i$$

där:

λ_i = felfrekvens i lastpunkt i

U_i = årlig otillgänglighet i lastpunkt i

ILE_i = icke levererad energi i lastpunkt i

För att utvärdera tillförlitlighet finns det två huvudkategorier av metoder: analysmetoder och simuleringsmetoder. Analysmetoden bedömer tillförlitligheten i ett system matematiskt. Denna teknik utnyttjar en matematisk modell för att representera ett system och utför sedan tillförlitlighetsanalys direkt på modellen genom att lösa matematiska ekvationer. Simuleringsmetoder, å andra sidan, uppskattar tillförlitligheten genom att simulera den verkliga processen och systemets slumpmässiga beteende. Simuleringen uppskattar sannolikhet och indextillförlitlighet genom att räkna antalet inträffade händelser.

För att få snabba och effektiva lösningar av tillförlitlighetsberäkningar, har ett flertal datorprogram utvecklats. NEPLAN, ett PC-orienterat programvara utvecklad av Busarello Cott Partner Inc. (BCP), Schweiz, är ett sådant program. NEPLAN är ett generellt programpaket för kraftnätplanering, analys, simulering och optimering. Den innehåller fler än 30 moduler och ett stort modellbibliotek. Den stöder olika tekniska och ekonomiska analyser, inklusive statiska, dynamiska, tillförlitlighets-, optimerings-, underhålls- och investeringsanalyser. NEPLANs tillförlitlighetsmodul har utvecklats baserat på den analytiska Markov-metoden och har god förmåga för tillförlitlighetsmodellering. Den modellerar inte bara primära nätverk utan även fjärrkontrollsystem. Den simulerar felhändelser och återhämtningsprocesser och kvantifierar deras effekter på tillförlitligheten. Programmet ger goda möjligheter att utföra studier för att utvärdera olika nätkonfigurationer och valdes därför att användas i det här projektet.

3 Trender och aktivitetsgranskning

För att tillföra ytterligare influenser utifrån till studierna av nätstruktur, utfördes en omvärldsstudie. Målet med studien var att identifiera trender i nätstrukturutveckling och vad som gjorts i omvärlden när det gäller förenklingar och nya lösningar av nätkonfigurationer. Studien har tittat på följande frågor:

- Hur kommer framtida distributionssystem att se ut från ett nätstrukturperspektiv?
- Hur kommer näten att påverkas vid införandet av ny teknik?
- Hur och vad har gjorts i omvärlden för att förenkla nätet och modifiera befintliga nätstrukturer?

I följande avsnitt beskrivs kortfattat resultatet av studien.

3.1 Framtidens nätstrukturer

Önskad funktionalitet

Det finns en rad olika projekt samt forskning och utveckling över hela världen för att studera framtida distributionssystem. Många av FoU-verksamheterna har en gemensam syn på önskad funktionalitet av distributionsnät. Några av dessa önskade funktioner är:

- Automatiserat och självläkande, automatisering är hjärtat i ett smart kraftsystem i framtiden. Det kommer att spela en nyckelroll i och med en hög nivå på strömförsörjningstillförlitligheten. För en eldistributör innebär automatisering ett självläkande, självoptimerande kraftsystem som automatiskt räknar ut lämpliga åtgärder och snabbt reagerar på störningar för att minimera deras effekter och eliminera avbrott;
- Hög tillförlitlighet och leveranskvalitet. Nätet bör ha funktioner som gör det möjligt för kunder att slippa avbrott för de flesta fel på överliggande nät.
- Underlätta anslutning av olika nya produktionskällor och integrera ett brett utbud av distribuerad generering och alternativ energilagring,
- Erhålla och bearbeta elsysteminformation på ett nytt och effektivt sätt. Kraftsystemövervakning, skydd och kontroll är integrerade och genomförda på ett kostnadseffektivt sätt med hjälp av moderna mikrodatorer, digitala signalprocessorer, och kommunikationsteknik;
- Distribuerad intelligens;
- Minimerade drift- och underhållskostnader.

Strukturegenskaper

För att uppnå önskade funktioner bör näten förändras och förbättras. Det framtida elsystemet kommer att bygga på det befintliga elnätets infrastruktur. Samma typer av elkraftkomponenter som används idag, till exempel kraftledningar, kablar, stationer och transformatorer, kommer att spela en viktig roll även i framtiden. Men framväxten av ny teknik, inklusive distribuerad intelligens och distribuerade energiresurser kommer att öka effektiviteten, kvaliteten och tillförlitligheten i de befintliga kraftsystemen och möjliggöra utveckling av en ny struktur för det framtida elnätet.

Framtidens elnät kommer att vara ett automatiserat nät som övervakar och styr konsumenterna och nätnoderna, säkerställer ett tvåvägs effektflöde och informationsutbyte mellan alla punkter i nätet. I det framtida elnätet ansluter alla när som helst, var som helst, till ren, effektiv och tillförlitlig el. Från nätstrukturperspektiv är dess utmärkande egenskaper följande:

- Kan kontrolleras med fjärrstyrda kopplingsapparater. Snabbare upptäckt av fel och snabbt återställande av leverans till kund;
- Har kompakta stationer;
- Flexibelt;
- Med redundanta anslutningar;
- Med lokala kraftmatningar.

3.2 Påverkan av ny teknik

Elektriska distributionssystem genomgår nu en snabb förändring på grund av ökningen av distribuerad generering och kraftelektronik samt införandet av effektiva beräknings-, kommunikations- och kontrollmekanismer.

Denna nya teknik kommer att påtagligt påverka utformningen av framtidens elnät. Distributionssystemen kan inte längre betraktas som ett passivt bihang till transmissionsnäten. Hela kraftsystemet skall utformas och användas som ett integrerat och aktivt system.

Den teknikutveckling som har störst inverkan ur nätstrukturperspektiv är distribuerade energikällor och automatisering. Deras effekter beskrivs kortfattat på följande sätt:

Inverkan av distribuerad generering

Distribuerad generering är en ny modell för elkraftssystemdesign. Det kommer att påverka nätet tekniskt på en rad olika sätt och ge betydande effekter på nätinfrastrukturen i framtiden. Det bygger på att små och medelstora distributionsgeneratorer med ny och förnybar energiteknik integreras i elnäten. Alla dessa generatorer blir sammanlänkade genom ett fullt ut interaktivt intelligent elnät. Denna integration kräver sofistikerad kontroll- och kommunikationsteknik för att säkerställa en smidig drift av

elnätet. Baserat på denna nya paradigm för konventionella eldistributionsnät kommer det att krävas en omvandling till tvåvägs effektförflöde i elnätet.

Distribuerad generering kommer att spela en central roll i uppbyggandet av framtida elinfrastruktur. Den inför ett brett spektrum av olika tekniker i elnätet, bland annat förnybar elproduktion som levererar småskalig energi på platser som ligger nära konsumenterna och distribuerad kraftreserv.

Man tror att genom sammankoppling av dessa decentraliserade produktionsresurser, kan små och billiga markkablar användas i stället för 3-fas luftledningar. Förekomsten av luftledningar minskar därmed i omfattning i framtiden och det finns stort intresse för underjordiska distributionssystem.

Inverkan av automatisering

Automatiseringstekniken skapar möjligheter. Den underlättar överföringen av fysiska krav till en automatiserad process. Distributionsautomatisering omfattar tre nivåer; automatiska komponenter, automatiserade stationer och automatiserade distributionssystem.

Automatisering av komponenter är tillämpligt på kopplingsapparater. Det uppgraderar ett nät på komponentnivå. Genom installation av fjärrstyrda/automatiserade frångångsbrytare/brytare för sektionering kan felaktiga nättdelar snabbt identifieras och genom fjärrstyrning/automatik kan funktionen återställas och därmed minskar avbrottstiden och tillförlitligheten förbättras.

Den traditionella transformatorstationen har blivit en ineffektiv konstruktion för att möta den framtida efterfrågan. Automatisering av en transformatorstation innebär framtagande av information, kontrollåtgärder och hantering av nätdriftprocesser. Detta uppnås i allmänhet genom databehandling, interaktion mellan datorprogram och elsystem och kommunikation mellan transformatorstationer. En automatisk intelligent transformatorstation delar all information om utrustning, kontroll, skydd och mätning med andra. Stationsautomatisering med integration av skydd och kontroll erbjuder en kompatibel, kapabel och kompakt stationsplattform. Framtida transformatorstationer kommer att ha kompakt design och minska i storlek jämfört med dagens stationer.

Distributionsautomatisering innebär automatisering av hela systemet. Det betyder distribuerad intelligens. Dess främsta fördel är möjligheten till automatisk fellokalisering, isolering av fel och omkonfigurering och därmed minskar antalet avbrott och den icke levererade energin och tillförlitligheten i elleveransen ökar. Andra möjliga fördelar med distributionsautomatisering är; minskade skador på utrustning, enklare övervakning av nätets tillstånd, bättre tillgång till systeminformation, förbättrad operativ planering och fjärrkontroll av laststyrning.

3.3 Pågående arbete för förändring av nätstruktur

Vi använder nätet på ett sätt det inte var avsett för. För att integrera distribuerad generering i elnätet och för att möta framtida efterfrågan krävs investeringar och förbättring av befintlig nätinфраstruktur. Nedan beskrivs kortfattat arbetet med att modifiera dagens elektriska infrastruktur.

Få rapporter om att förenkla befintliga nät

Det finns inte många rapporter om arbete med att förenkla befintliga distributionsnät, och mycket lite har även hittats om hur man kan upprätthålla eller förbättra tillförlitligheten genom att förenkla eller ändra nätstrukturer. Snarare handlar förändringar av nätstruktur om att lägga till nya funktioner och ny teknik i nätet för att möta framtida krav och uppnå önskade funktioner.

Fokus på modernisering av befintliga nät med ny teknik

För att stödja önskade funktioner och nya krav i framtiden måste nätets arkitektur ändras. Det huvudsakliga arbetet med att ändra befintliga nät är relaterat till förbättring och ändring av nätets arkitektur genom att införa ny teknik. Arbetet med att modernisera nätet och införa ny teknik har varit inriktat på att:

- Skapa en enkel och kompakt transformatorstation. Att bygga nästa generation av stationer som består av utbytbara moduler med inget eller litet underhållsbehov. I stället för underhållbarhet, har utbytbarhet och mobilitet blivit viktiga frågor. Transformatorstationer kommer att bli enkla och kompakta främst genom:
 - Förenkling av transformatorstationens layout;
 - Minskat antal apparater i transformatorstationen.
- Uppgradering från ointelligent till intelligent. Att anpassa och integrera teknik för kommunikation och kontroll i nätet och göra nätet smart, så att nätet snabbt och flexibelt kan omkonfigureras och blir mer effektivt och tillförlitligt.
- Förändring från radiell till sammankopplad och maskad struktur. De gamla distributionssystemen är i huvudsak radiella. Distributionssystemet i framtiden är maskat, intelligent och sammanlänkas med distribuerad generering och lokal reservmatning.
- Uppgradera nätet från lite kontroll till helt kontrollerbart. Förenkla kraftåterställande efter avbrott och göra nätet helt kontrollerbart genom en kombination av kommunikationstjänster med hög överföringshastighet, kopplingsapparater, intelligenta styrsystem och omkopplingsmöjligheter. Uppgradera nät från manuell till fjärrstyrd driftomkoppling eller till och med automatisk. Sektionering är automatiserad.

- Optimera sektionering som ett sätt att förbättra leveranssäkerheten. Minimera den nädal som lämnas strömlös efter att ett fel inträffat.
- Optimering av redundans för matande ledningar.

3.4 Några rapporterade nätstrukturer

Nedan följer några intressanta nätstrukturer eller varianter av elnät som har studerats eller rapporterats om:

Vattenfalls vision för konstruktion av transformatorstation 2010

Vattenfall har föreslagit en vision för konstruktion av transformatorstationer. Det är ett resultat av Vattenfalls interna projekt "Transformatorstation för 2010-talet"[4]. Stationsschemat är mycket enkelt och har följande utmärkande egenskaper:

- Det finns bara en samlingsskena;
- Frånskiljare och brytare är integrerade i en enhet;
- Det finns bara en transformator;
- Det finns maximalt fyra utgående och inkommande linjer.

Varianter för linjer

- Placera en eller flera brytare på en radiell linje.
- Automatisera kopplingsapparaterna vid utgående ledningar med radiell- eller slingtopologi.

Dubbelmatad lågspänningsskena

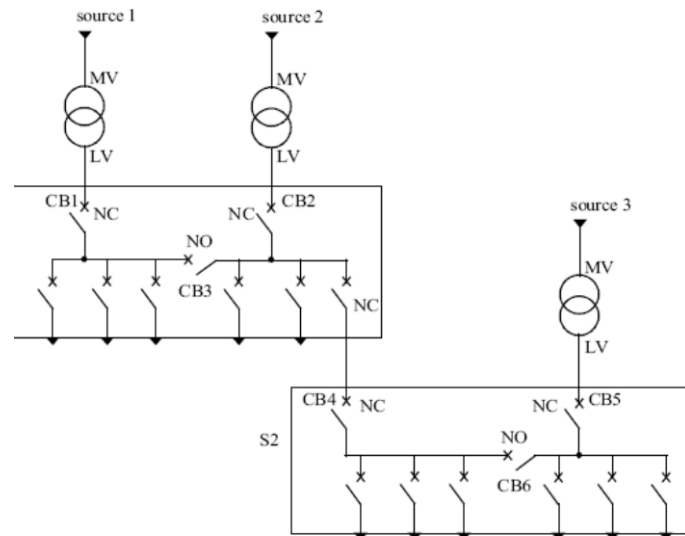


Figure 1-24: dual fed LV switchboards with coupler

Figur 3-1: Dubbelmatat lågspänningsställverk med sammankopplingsbrytare.
Källa: [5].

En transformator och en generator

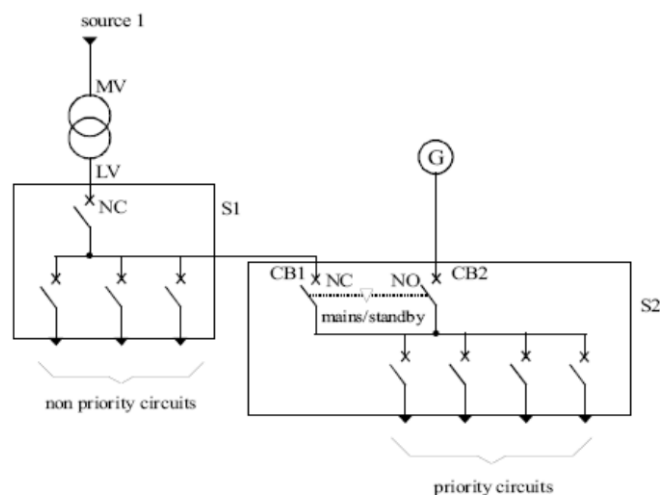
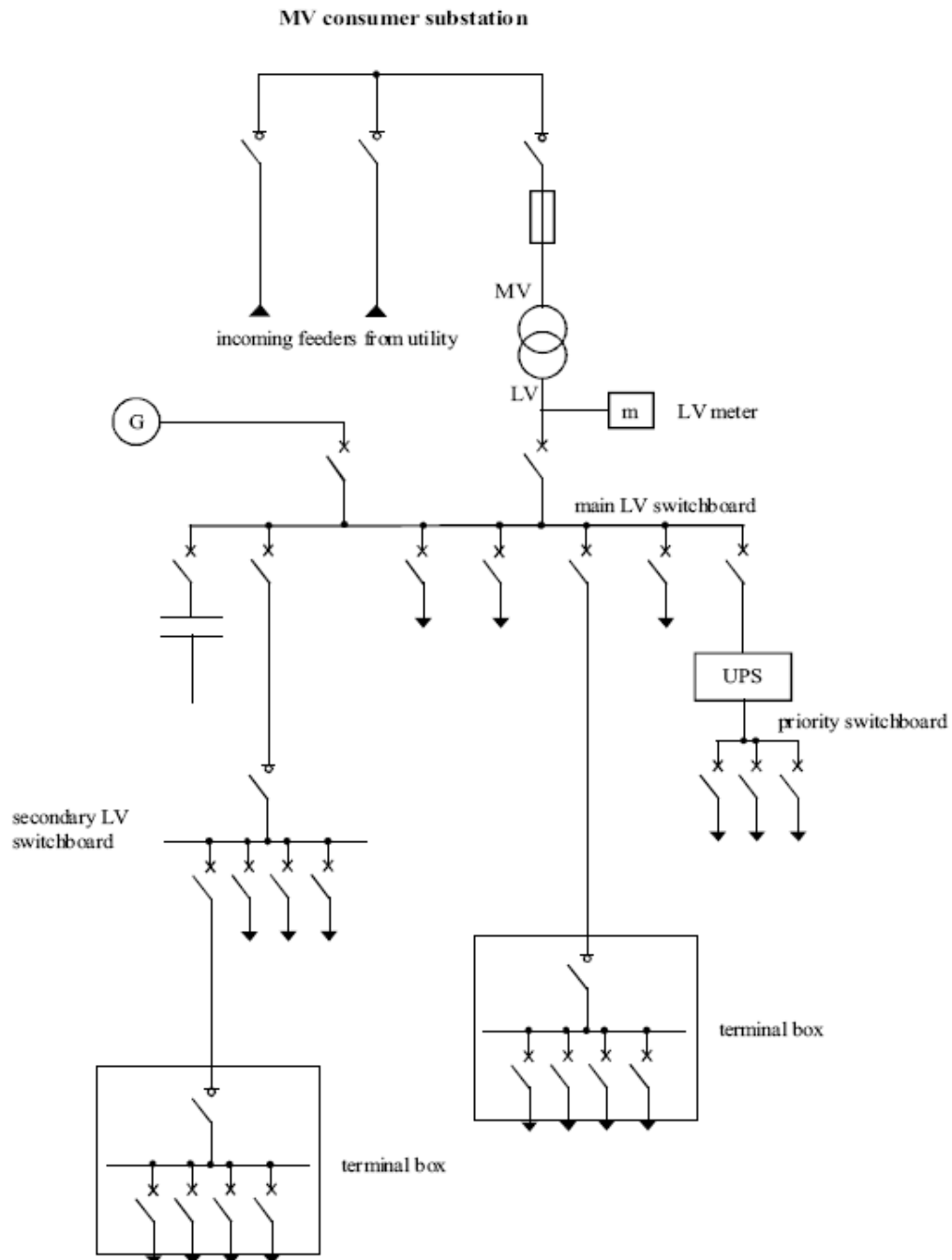


Figure 1-27: 1 transformer and 1 generator

Figur 3-2: Konfiguration med en transformator och en generator. Källa: [5].

Standardnät från Schneider Electric



Figur 3-3: Ett exempel på en standardnätstruktur. Källa: [5].

4 Analys av landsbygdsnät

Landsbygdsnät är ofta byggda med radiell topologi. För en radiell struktur kännetecknas varje komponent av sin väg mot en kraftkälla. Lastdensiteten i ett system på landsbygden är normalt låg och de flesta ledningarna är exponerade luftledning. De flesta elnät är dock sammankopplade med normalt öppna förbindelseledningar och drivs radiellt. Syftet med dessa öppna förbindelseledningar är att minska den del av nätet som drabbas vid ett fel på en matarledning och att se till att, i händelse av ett fel, en normalt öppen kopplingsapparat kan stängas och en annan öppnas i syfte att minimera den totalt bortkopplade lasten.

Avbrottsstatistik visar att landsbygdens distributionssystem fortfarande ger ett betydande bidrag till otillgängligheten i elleveranserna till kund. Den ökande efterfrågan på tillförlitlig kraftförsörjning och pågående förändringar av kraftnät mot framtida smarta nät, medför en drivkraft hos nätbolagen att söka en lösning på hur framtida tillförlitliga landsbygdssystem kan byggas med låg totalkostnad. Detta har resulterat i ett ökat fokus på systemets tillförlitlighet. För att minska kundavbrotten, läggs mer arbete ner på att optimera systemets konstruktion och förbättra systemuppbyggnaden av det framtida landsbygdsnätet.

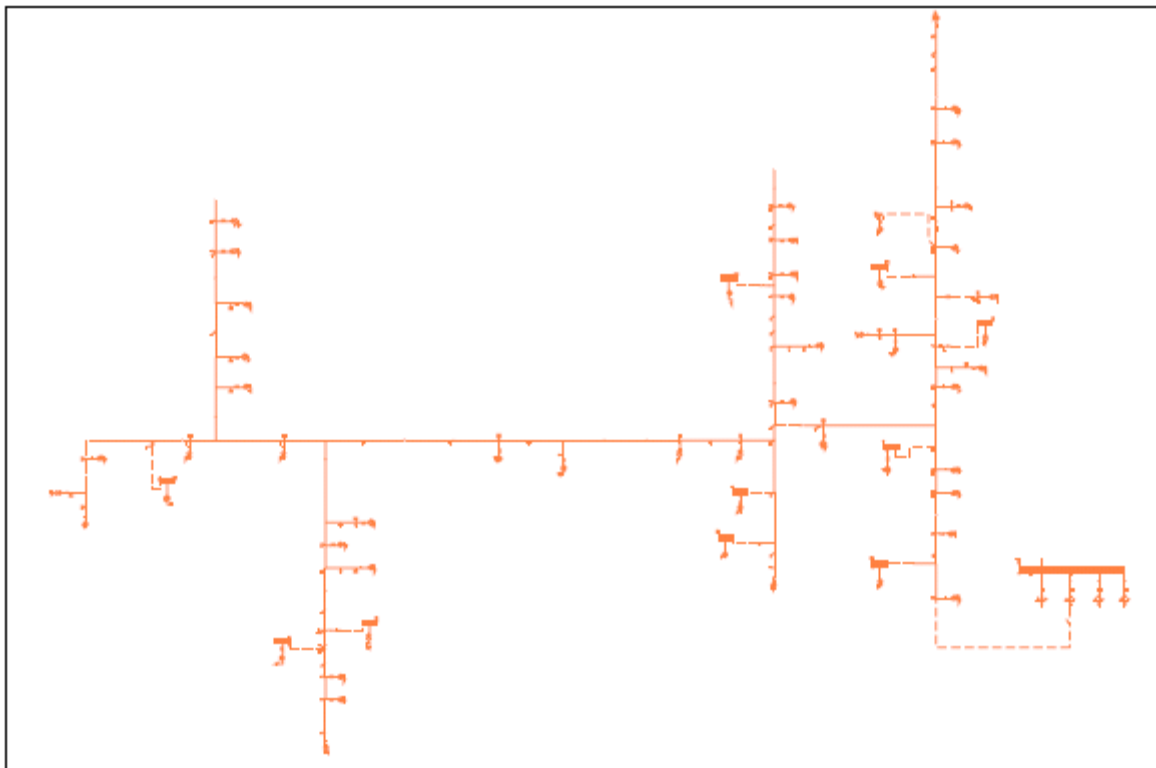
Detta kapitel och de efterföljande kapitlen 5-10 genomför tillförlitlighetsutvärderingar på landsbygdssystem. Utvärderingen fokuserar på möjligheterna att förenkla nätstrukturen utan att försämra tillförlitligheten. Tillförlitlighetskvantifieringen är relaterat till olika alternativa ändringar av systemkonfigurationen. Analyserna avser att bidra till utvecklingen av ekonomiska och pålitliga distributionssystem för landsbygden.

4.1 Studerat system på landsbygden

Ett landsbygdssystem hos Vattenfall har använts i projektet. Figur 4-1 visar en översikt av systemet. Systemet är ett typiskt nät på landsbygden i Sverige. Det har en radiell struktur och består av en primär transformatorstation och 54 sekundära transformatorstationer (nätstationer) utspridda längs linjerna. Den totala längden luftledningar i nätet är ca 67 km och 37 km jordkablar används. I nätstationerna sänker distributionstransformatorer spänningen från 11 kV till 0,4 kV. Totalt är 313 kunder anslutna till systemet. Effektförbrukningen i lastpunkterna varierar från 1 till 123 kW. Den totala belastningen i nätet är ca 2,5 MW. Tabell 4-1 ger en översikt över nätets ingående delar.

Från den primära transformatorstationen utgår en huvudlinje med en franskiljare som sedan är ansluten till en huvudbrytare. Figur 4-2 visar layouten för den primära transformatorstationen. Den primära matarledningen går runt området och är ansluten till andra ledningar i knutpunkter. Sidoförgreningarna leder ut från den primära matarledningen och täcker därmed området som ska förses med el.

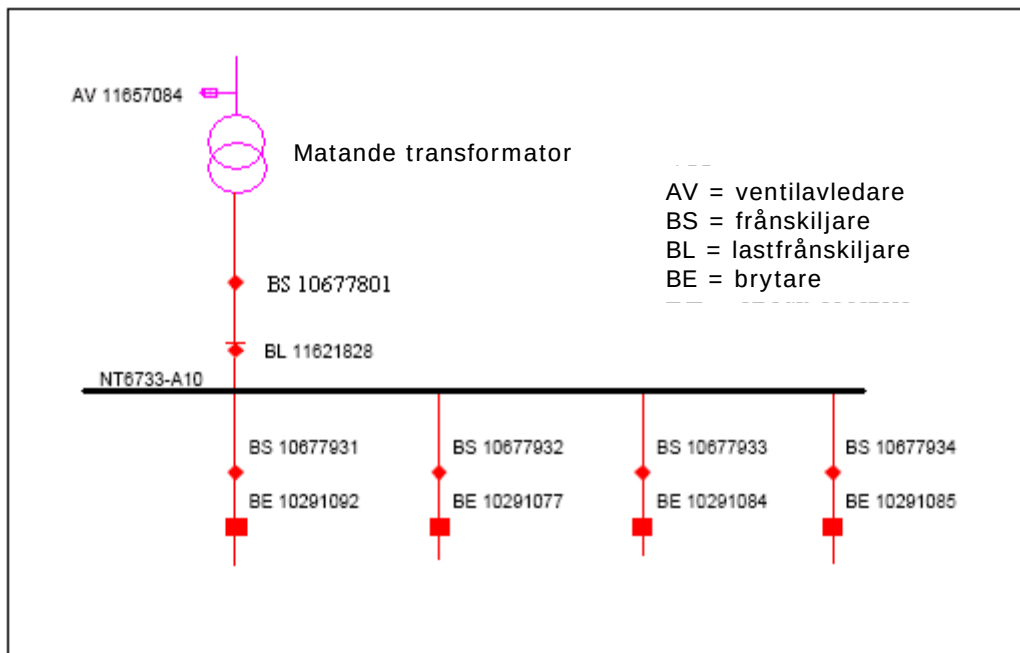
På två olika ställen är nätet anslutet till angränsande distributionsnät genom normalt öppna frånskiljare. Reservmatning från dessa, normalt öppna punkter, kan försörja lasten i nätet vid fel i den primära stationen.



Figur 4-1: Översikt av det studerade landsbygdsnätet.

Tabell 4-1: Sammanställning av nätojekt.

Objekt	Antal
Primär transformatorstation (<i>Primary substation</i>)	1
Nätstation (<i>Secondary substation</i>)	54
Luftledning (<i>Overhead line</i>)	67 km
Markkabel (<i>Underground cable</i>)	37 km
Distributionstransformator (<i>Distribution transformer</i>)	54
Brytare (<i>Circuit breaker</i>)	4
Säkringar (<i>Fuse</i>)	54
Lastfrånskiljare (<i>Load-switch</i>)	8
Frånskiljare (<i>Disconnect-switch</i>)	26
Kunder (<i>Customer</i>)	313
Kundlast (<i>Customer load</i>)	2458 kW



Figur 4-2: Layout av den primära transformatorstationen.

4.2 Tillförlitlighetsdata

Ett distributionssystem består av nätkomponenter. Komponentfel kan leda till systemfel och komponenternas driftstopp är den grundläggande orsaken till ett fel i systemet. Tillförlitligheten för nätkomponenter beskrivs av deras tillförlitlighetsdata och felegenskaper. Datan beskriver de två viktigaste aspekterna av komponentbeteendet, det vill säga felprocessen och processen för återställande efter fel.

Helst ska de komponentparametrar som används för tillförlitlighetsberäkningar komma från det system som ska studeras. De tillförlitlighetsdata som används i landsbygdsnätsstudien i denna rapport grundar sig på felstatistik från Vattenfall Distribution Nordic. Tabell 4-2 sammanfattar de data som använts i analyserna.

Omkopplingstid är den genomsnittliga tiden för manöver av frångiljare vid felisolering och återställande. Den är systemspecifik och påverkas av många faktorer. En manuell omkoppling kan normalt variera från 30 minuter till ett par timmar, och fjärromkoppling varierar från några minuter till 15 minuter. Omkopplingstiden sattes i denna studie till 1-2 timmar för manuella frångiljare och 3-15 minuter för fjärrstyrda frångiljare i de olika beräkningarna. Längden på omkopplingstiden påverkar tidsberoende

tillförlitlighetsindex, som SAIDI och ILEs. Ökad omkopplingstid kan öka värdet på sådana index.

Med hjälp av dessa data, analyserar de efterföljande kapitlen 5-10 möjligheterna att förenkla ett distributionssystem för landsbygd. En rad fallstudier utfördes på alternativa nätkonfigurationer.

Tabell 4-2: Tillförlitlighetsdata använd vid analys av landsbygdssystem.

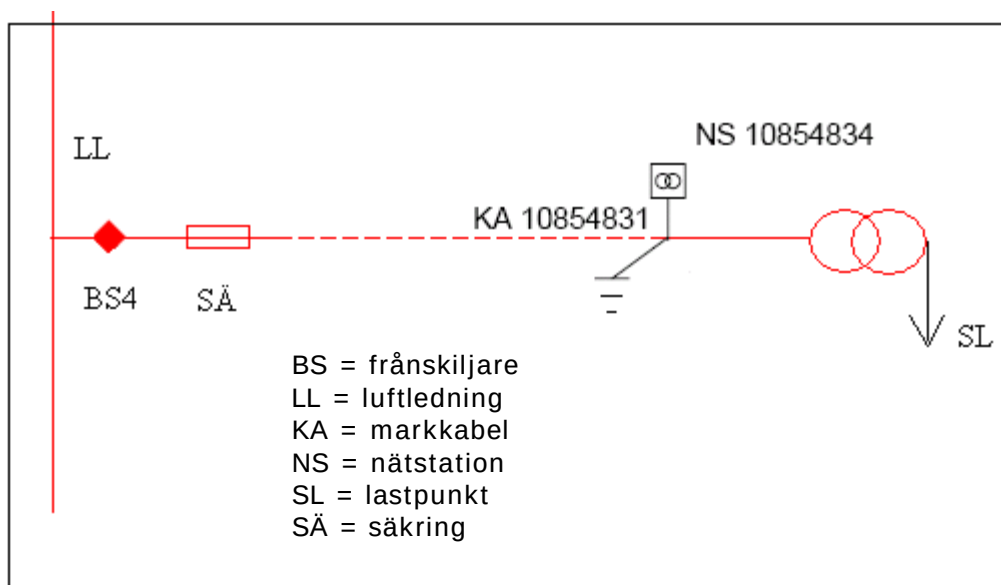
Utrustning	Källa	Felfrekvens (fel/år.enhet), (fel/år.km)	Avbrottstid (timmar/fel)	Otillgänglighet (%)
Msp oisolerad friledning	Vattenfall	0,050	6,0	0,003
Msp markkabel		0,020	5,9	0,001
Msp hängkabel		0,021	6,0	0,001
Distributionstransformatorer 10-20/0.4 kV		0,010	5,0	0,001
Krafttransformatorer 44/11 kV		0,002	1,7	0,000
Frånskiljare 10-20 kV	Elforsk rapport [8]	0,05	4,0	0,002
Lastfrånskiljare 10-20 kV		0,05	4,0	0,002
Säkring	Vattenfall	Sannolikhet att fastna: 5%		

5 Fallstudie S1: Inverkan av ett reducerat antal avgreningsfrånskiljare

Distributionssystem för landsbygd består av matarledningar som transporterar ström från en primär transformatorstation till distributionstransformatorer. Den primära matarledningen går från en transformatorstation och till det område den ska betjäna. Radiella sidoförgreningar som leder från huvudledningen används för att nå ut till lastpunkterna.

Vid T-korsningen för en avgrening installeras normalt en isolerande skyddsanordning, såsom säkring, för att hindra avbrott på matarledningen vid fel som inträffat på avgreningen. Fel på en avgrening orsakar att säkringen löser ut. Detta leder till frångkoppling av avgreningen, men orsakar inte bortkoppling av någon annan lastpunkt längs huvudledningen.

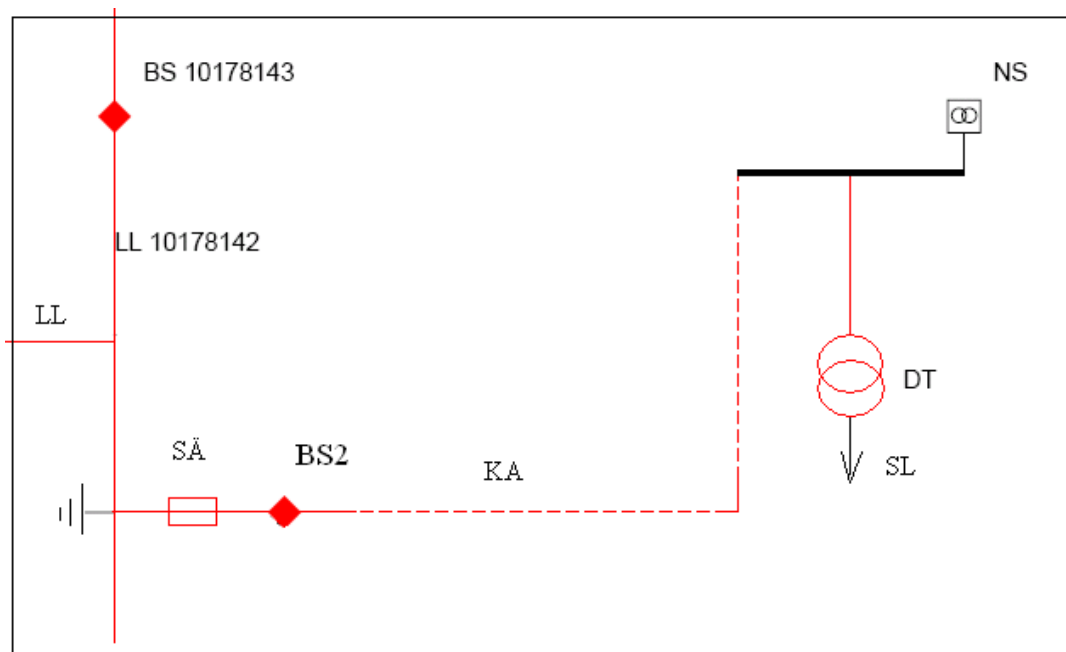
Figurerna 5-1, 5-2 och 5-3 visar exempel på nätstruktur med radiella avgreningar i Vattenfalls distributionssystem.



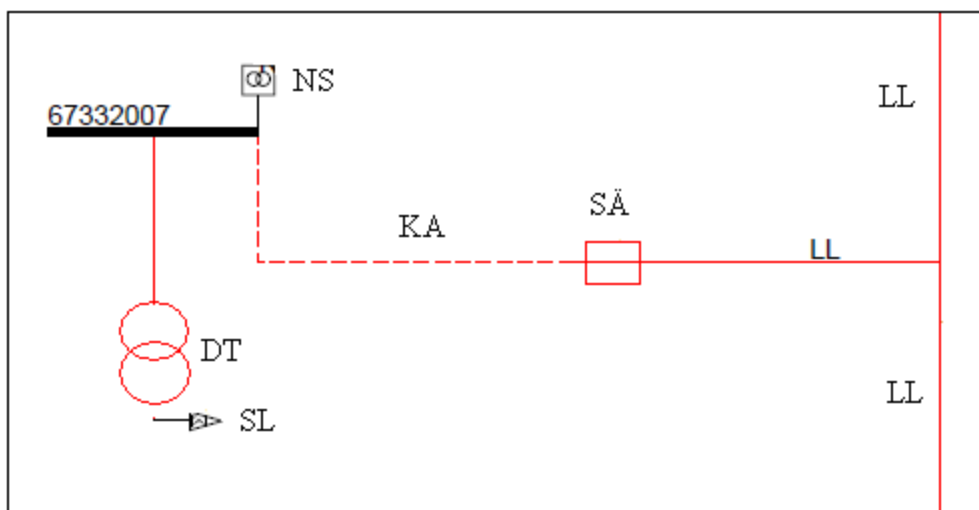
Figur 5-1: En radiell avgrening i Vattenfalls distributionssystem där frångskiljaren är placerad före säkringen.

Dessa radialer är ett påstick på huvudledningen och avgreningsfrångskiljaren kan placeras direkt vid påsticket som visas i figur 5-1, eller placeras efter

säkringen enligt figur 5-2. Figur 5-3 visar en annan möjlighet till påstick, där det inte finns någon frånskiljare utan bara en säkring som används som isolerande skyddsanordning.



Figur 5-2: En radiell avgrening i Vattenfalls distributionssystem där frånskiljaren är placerad efter säkringen. DT = distributionstransformator

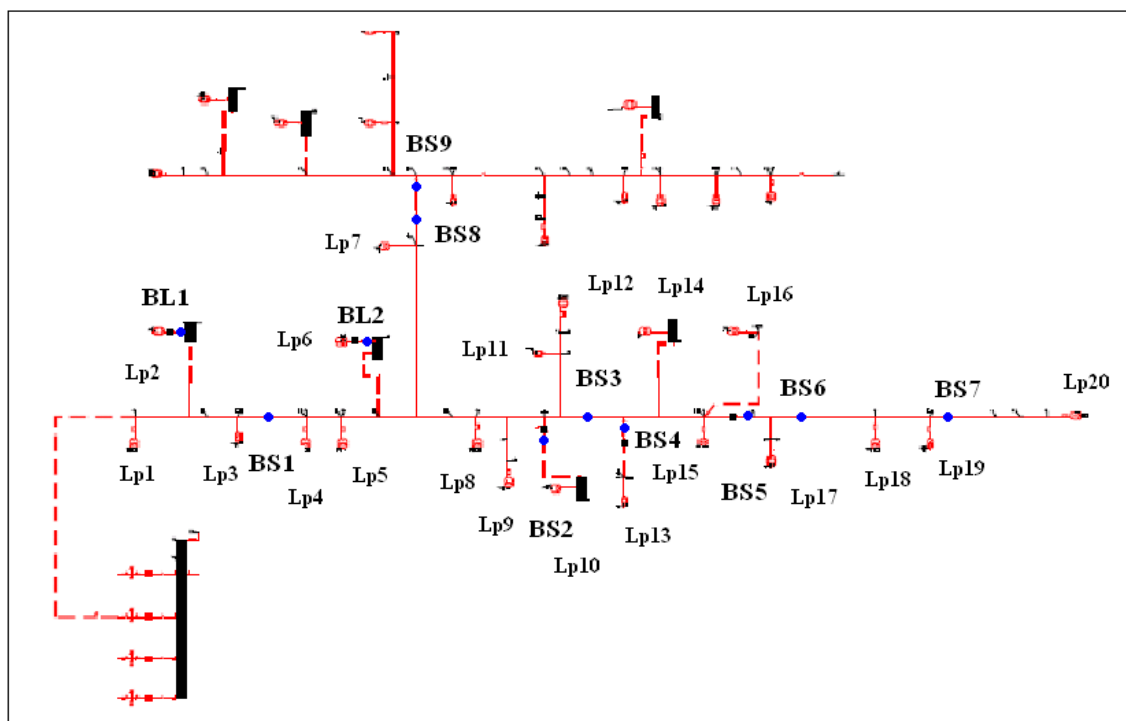


Figur 5-3: En radiell avgrening i Vattenfalls distributionssystem utan frånskiljare.

För att kvantifiera effekten, avseende tillförlitlighet, av att minska antalet avgreningsfrånskiljare, har följande fyra fall studerats:

- Basfall: det befintliga elnätet utan ändringar;
- Fall S1-1: samma som Basfall men avgreningsfrånskiljare BS4_m (BS10854832) som visas i figur 5-1, tas bort;
- Fall S1-2: samma som Basfall men avgreningsfrånskiljare BS2_m (BS11032799) som visas i figur 5-2 tas bort;
- Fall S1-3: samma som Basfall men båda frånskiljarna BS4_m och BS2_m tas bort.

Systemindex och lastpunktsindex beräknas. I denna beräkning presenteras endast resultaten för de slingor som visas i figur 5-4, men liknande resultat skulle ses för alla andra slingor i systemet eftersom denna del av nätet har karakteristisk struktur för det studerade distributionssystemet och är därför representativt för att beskriva utvärderingsresultaten.

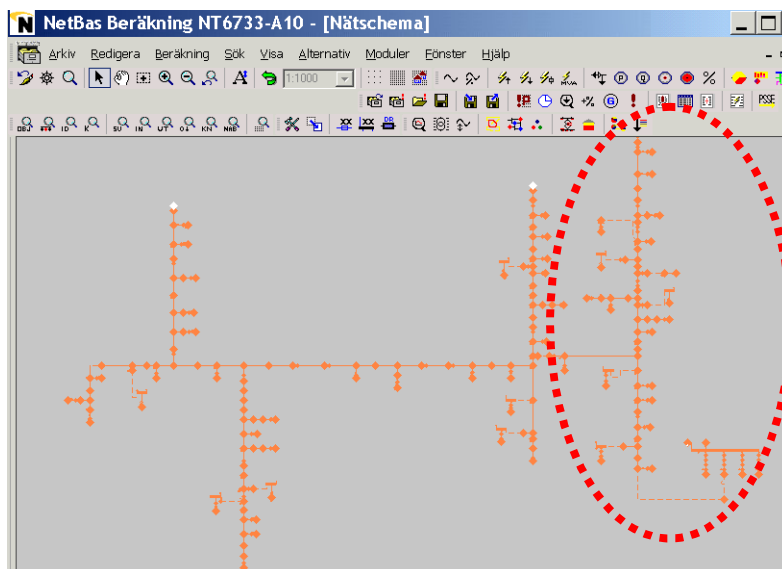


Figur 5-4: Nätdelen som det presenterade resultatet gäller för.

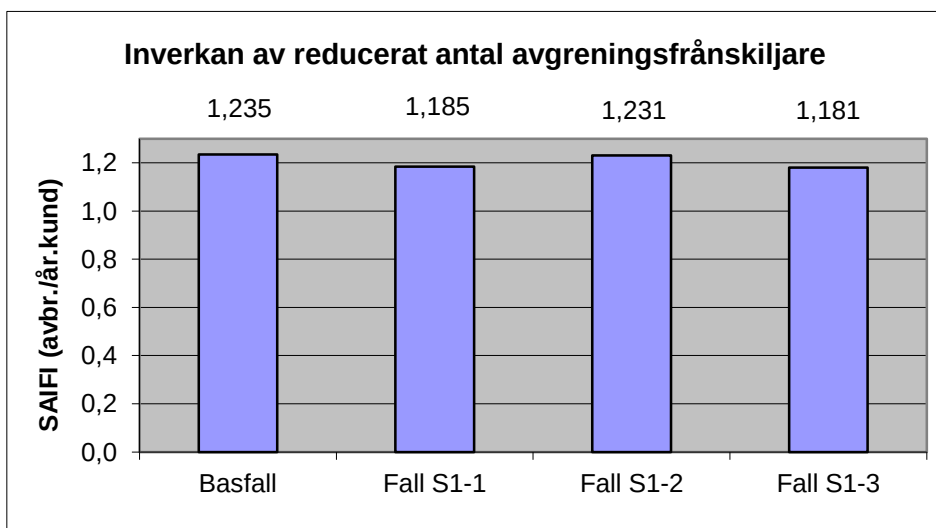
Resultatet av beräkningarna presenteras i figurerna 5-6 ~ 5-11 och tabellerna 5-1 ~ 5-4. Dessa resultat representerar inverkan på systemets tillförlitlighet

när antalet avgreningsfrånskiljare minskar. Som väntat minskar felfrekvensen både på system- och lastpunktsnivå när antalet avgreningsfrånskiljare minskar, vilket tydligt framgår av figurerna 5-6 och 5-7.

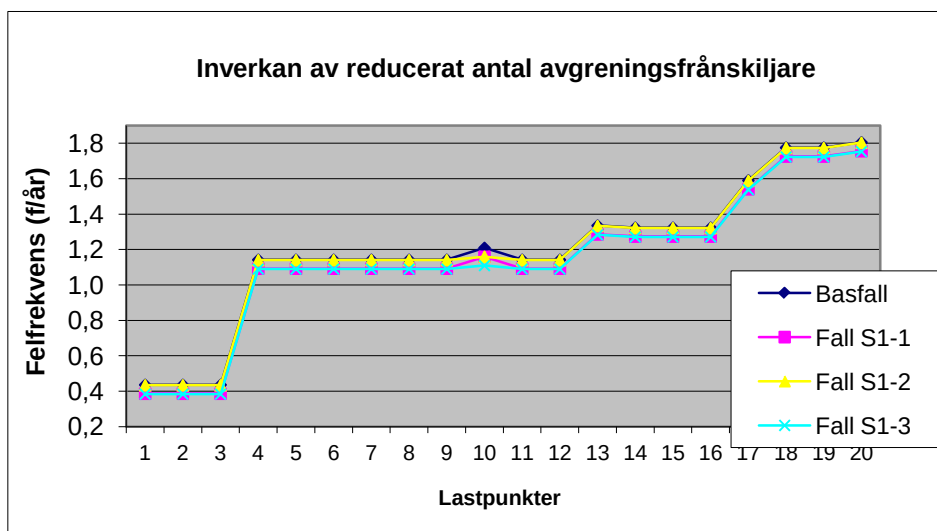
Vid jämförelse av resultatet i fall S1-1 med det i fall S1-2, är det intressant att notera att borttagning av BS4_m i fall S1-1 resulterar i större positiv inverkan på tillförlitligheten än att ta bort BS2_m i fall S1-2. Frånskiljaren BS4_m är installerad vid avgrensningens slut före den skyddande säkringen. I det här fallet skulle en kortslutning i frånskiljaren BS4_m få till följd att brytaren i den primära transformatorstationen öppnar och kopplar bort alla lastpunkter på huvudledningen. Frånskiljaren BS2_m är dock placerad efter säkringen. En kortslutning i frånskiljaren skyddas av säkringen och utlöser inte huvudbrytaren eftersom säkringen smälter. Borttagandet av frånskiljare BS4_m ger därför större positiv effekt på tillförlitligheten än att ta bort frånskiljaren BS2_m.



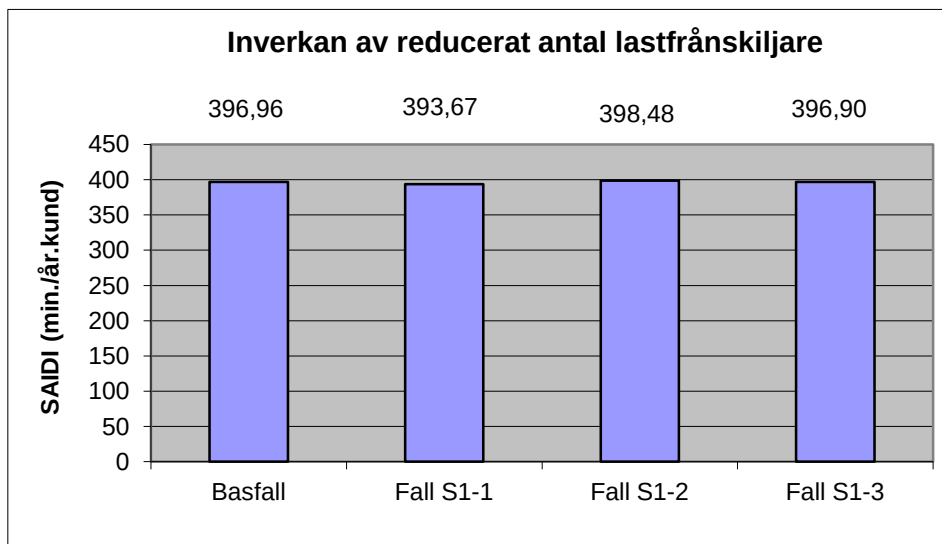
Figur 5-5: Den del av nätet som det presenterade resultatet gäller för.



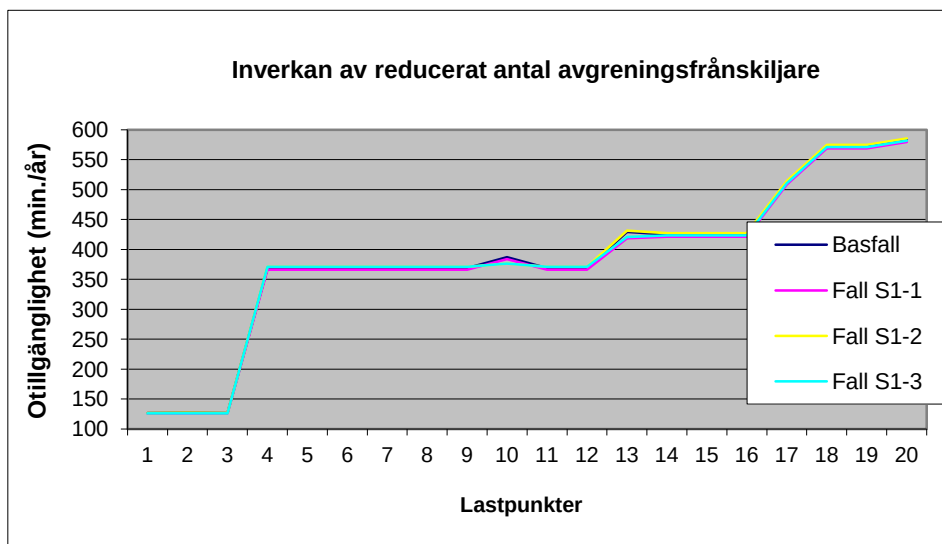
Figur 5-6: Resultat för fallstudie S1 - SAIFI.



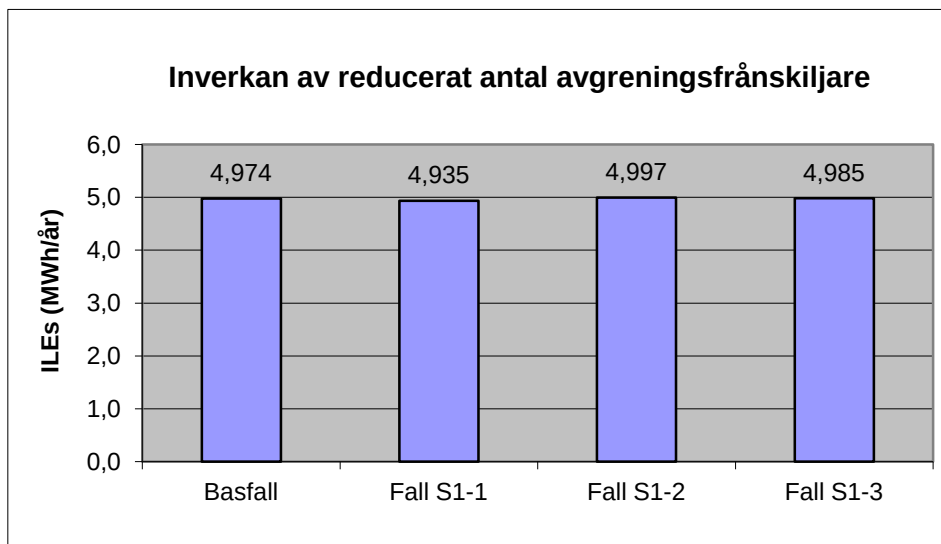
Figur 5-7: Resultat för fallstudie S1 – Felfrekvens per lastpunkt.



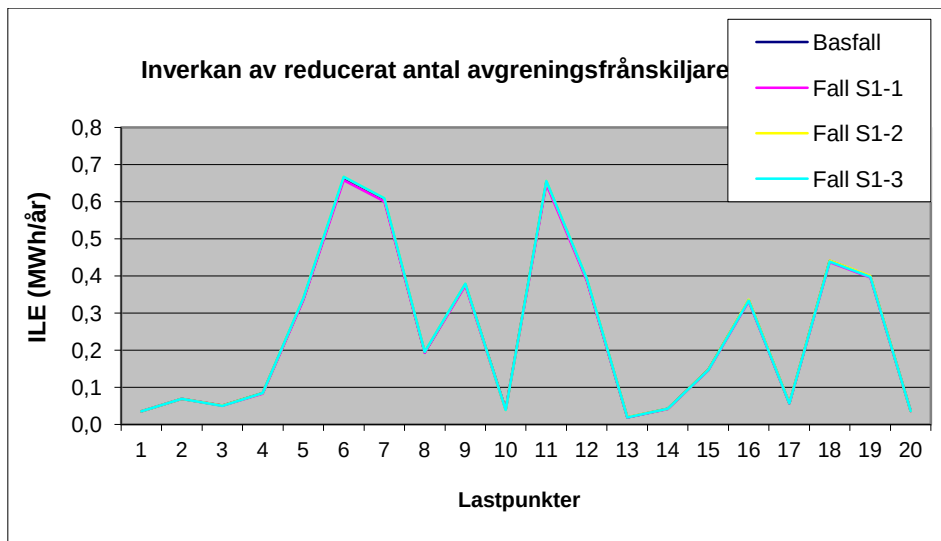
Figur 5-8: Resultat för fallstudie S1 - SAIDI.



Figur 5-9: Resultat för fallstudie S1 – Otilgänglighet per lastpunkt.



Figur 5-10: Resultat för fallstudie S1 – Icke levererad energi på systemnivå.



Figur 5-11: Resultat för fallstudie S1 – Icke levererad energi per lastpunkt.

De beräknade indexen i fall S1-2 visar att borttagandet av frånskiljaren BS2_m leder till en marginell ökning av avbrottsvaraktighet och icke levererad energi jämfört med basfallet. När denna radial (lastpunkt 10) isoleras, vid till exempel fel på radialen, och frånskiljaren BS2_m är bortkopplad, bör angränsande sektioneringsfrånskiljare på huvudledningen, BS1 och BS3, användas för att isolera felet. Detta medför avbrott för lastpunkt 4-10 tills felet reparerats, och detta resulterar i något längre avbrottsvaraktighet.

Efter förändringar av nätet i fallen S1-1, S1-2, och S1-3, ligger tillförlitligheten fortfarande på nästan samma nivå. Förändringarna i indexen till följd av förändringarna i nätet är endast marginella. Detta visar att det minskade antalet frånskiljare i dessa tre fall inte påverkar systemets tillförlitlighet märkbart negativt.

Tabell 5-1: Resultat för basfallet.

Fall: S1-Basfall				
Lastpunkt	λ (f/år)	U (min/år)	r (h/f)	ILE (MWh/år)
1	0,437	126,9	4,84	0,0350
2	0,437	127,0	4,85	0,0690
3	0,437	126,9	4,84	0,0510
4	1,143	369,0	5,38	0,0840
5	1,143	369,0	5,38	0,3380
6	1,143	369,2	5,38	0,6630
7	1,143	369,0	5,38	0,6060
8	1,143	369,0	5,38	0,1940
9	1,143	369,0	5,38	0,3770
10	1,210	387,0	5,33	0,0400
11	1,143	369,0	5,38	0,6530
12	1,143	369,0	5,38	0,3910
13	1,336	429,2	5,35	0,0190
14	1,324	425,1	5,35	0,0420
15	1,324	425,0	5,35	0,1470
16	1,324	425,0	5,35	0,3340
17	1,591	512,2	5,37	0,0570
18	1,776	572,6	5,38	0,4400
19	1,776	572,6	5,38	0,3980
20	1,806	583,4	5,39	0,0360
SAIFI (avbr./år.kund)	SAIDI (min./år.kund)	ILEs (MWh/år)		
1,235	396,96	4,974		

Tabell 5-2: Resultat för fall S1-1.

Fall: S1-1 Ta bort BS vid lastpunkt 13				
Lastpunkt	λ (f/år)	U (min/år)	r (h/f)	ILE (MWh/år)
1	0,387	126,1	5,43	0,0349
2	0,387	126,3	5,44	0,0684
3	0,387	126,1	5,43	0,0502
4	1,093	366,0	5,58	0,0830
5	1,093	366,0	5,58	0,3355
6	1,093	366,2	5,58	0,6579
7	1,093	366,0	5,58	0,6009
8	1,093	366,0	5,58	0,1928
9	1,093	366,0	5,58	0,3740
10	1,160	384,0	5,52	0,0397
11	1,093	366,0	5,58	0,6473
12	1,093	366,0	5,58	0,3880
13	1,286	418,4	5,42	0,0188
14	1,274	421,3	5,51	0,0416
15	1,274	421,3	5,51	0,1453
16	1,274	421,3	5,51	0,3314
17	1,541	508,4	5,50	0,0568
18	1,726	568,9	5,49	0,4371
19	1,726	568,9	5,49	0,3954
20	1,756	579,6	5,50	0,0357
SAIFI (avbr./år.kund)	SAIDI (min./år.kund)	ILEs (MWh/år)		
1,185	393,67	4,935		

Tabell 5-3: Resultat för fall S1-2.

Fall: S1-2 Ta bort BS vid lastpunkt 10				
Lastpunkt	λ (f/år)	U (min/år)	r (h/f)	ILE (MWh/år)
1	0,435	126,8	4,87	0,0351
2	0,435	127,0	4,87	0,0688
3	0,435	126,8	4,87	0,0505
4	1,141	371,1	5,42	0,0841
5	1,141	371,1	5,42	0,3401
6	1,141	371,2	5,42	0,6669
7	1,141	371,1	5,42	0,6092
8	1,141	371,1	5,42	0,1954
9	1,141	371,1	5,42	0,3791
10	1,160	376,6	5,41	0,0389
11	1,141	371,1	5,42	0,6562
12	1,141	371,1	5,42	0,3933
13	1,334	431,2	5,39	0,0194
14	1,322	427,1	5,39	0,0421
15	1,322	427,1	5,39	0,1473
16	1,322	427,1	5,39	0,3359
17	1,589	514,2	5,40	0,0574
18	1,774	574,6	5,40	0,4415
19	1,774	574,6	5,40	0,3994
20	1,804	585,4	5,41	0,0361
SAIFI (avbr./år.kund)	SAIDI (min./år.kund)	ILEs (MWh/år)		
1,231	398,48	4,997		

Tabell 5-4: Resultat för fall S1-2.

Fall: S1-3 Ta bort BS vid lastpunkter 10 och 13				
Lastpunkt	λ (f/år)	U (min/år)	r (h/f)	ILE (MWh/år)
1	0,385	126,1	5,47	0,0349
2	0,385	126,2	5,47	0,0684
3	0,385	126,1	5,47	0,0502
4	1,091	371,1	5,67	0,0841
5	1,091	371,1	5,67	0,3401
6	1,091	371,2	5,67	0,6669
7	1,091	371,1	5,67	0,6092
8	1,091	371,1	5,67	0,1954
9	1,091	371,1	5,67	0,3791
10	1,110	376,6	5,65	0,0389
11	1,091	371,1	5,67	0,6562
12	1,091	371,1	5,67	0,3933
13	1,284	420,4	5,46	0,0189
14	1,272	423,4	5,55	0,0418
15	1,272	423,3	5,55	0,1460
16	1,272	423,3	5,55	0,3330
17	1,539	510,4	5,53	0,0570
18	1,724	570,9	5,52	0,4386
19	1,724	570,9	5,52	0,3968
20	1,754	581,6	5,53	0,0359
SAIFI (avbr./år.kund)	SAIDI (min./år.kund)	ILEs (MWh/år)		
1,181	396,90	4,985		

Tabell 5-5: Resultat för fall S1-3.

6 Fallstudie S2: Effekten av ett reducerat antal sektioneringsfrånskiljare

Det är vanligt att sektioneringsfrånskiljare installeras på matarledningar i distributionsnät. De är antingen lastfrånskiljare eller vanliga frånskiljare. De placeras på olika platser för att isolera felaktiga sektioner i det annars felfria elsystemet. Efter att ett fel har uppstått, lokaliseras felet och de relevanta sektioneringsfrånskiljarna öppnas respektive stängs för att isolera felet. De felfria delarna av systemet kan därefter återställas. I processen för omkonfigurering och återställande av nätet spelar sektioneringsfrånskiljare en viktig roll. Dessa bör användas frekvent inom distributionsnätet för att undvika längre kundavbrott och kan därmed innebära en ökad tillförlitlighet i elnätet.

Det är dock tyvärr så att även sektioneringsfrånskiljare är föremål för fel på samma sätt som alla andra typer av nätkomponenter. När det blir ett fel på dessa, får felet huvudbrytaren att koppla ifrån alla lastpunkter på slingan. Utplacering av sektioneringsfrånskiljare kan därför möjligen leda till fler aktiva utrustningsfel i nätet och det är därför inte garanterat att de ökar ett systems tillförlitlighet.

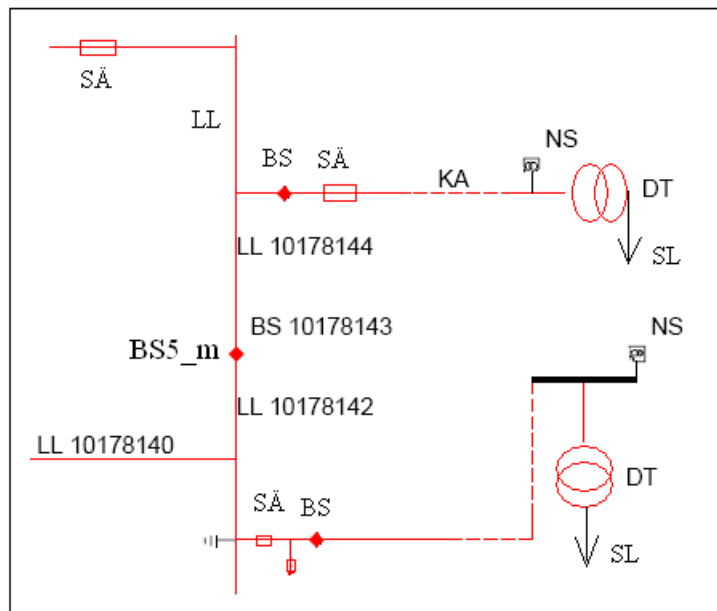
Inom distributionssystemplanering har antalet och placeringen av sektioneringsfrånskiljarna stor betydelse. För att säkerställa kundleveransens tillförlitlighet, är det därför viktigt att installera ett rimligt antal sektioneringsfrånskiljare på rätt positioner.

Studera ledningarna i Vattenfalls nät som visas i figur 5-4. Fem sektioneringsfrånskiljare installeras på huvudledningen, varav två är manuella (BS3 och BS5) och de övriga tre är fjärrstyrda. Dessa frånskiljare delar linjen i sex olika sektioner. För att utvärdera effekten av ett minskat antal sektioneringsfrånskiljare, definieras följande fall:

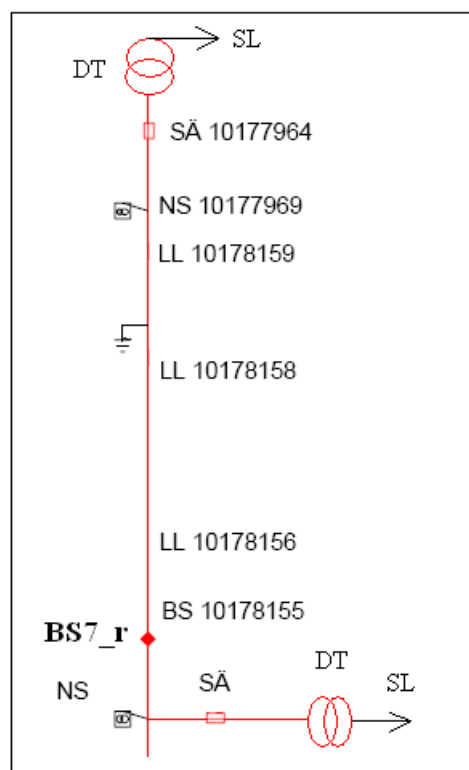
- Fall S2-1: samma som basfallet men den manuella sektioneringsfrånskiljaren BS5_m (BS10178143) tas bort.
- Fall S2-2: samma som basfallet men den fjärrstyrda sektioneringsfrånskiljaren BS7_r (BS10178155) tas bort.
- Fall S2-3: samma som basfallet men båda frånskiljarna BS5_m och BS7_r tas bort.

Figurerna 6-1, 6-2 och 6-3 visar fler detaljer om dessa kopplingsapparater. Resultat av tillförlitlighetsberäkningarna i dessa tre fall jämförs med basfallet, vars resultat anges i fallstudie S1, och presenteras i figurerna 6-4 till 6-9. De detaljerade värdena på fallstudiernas tillförlitlighetsindex finns i tabellerna 6-1, 6-2 och 6-3.

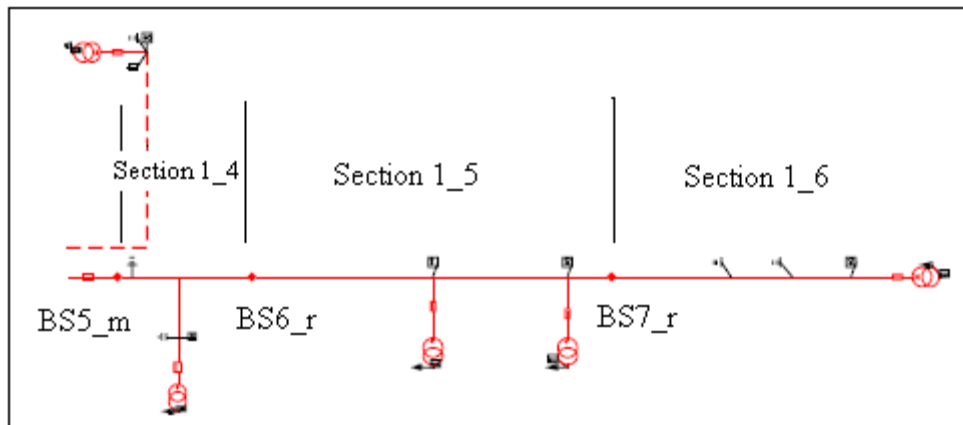
Felfrekvensen som anges i figurerna 6-4 och 6-5 bekräftar åter att en minskning av antalet komponenter minskar antalet aktiva komponentfel och leder till en förbättring av SAIFI och till och med felfrekvensen i vissa lastpunkter.



Figur 6-1: Placering av den manuella sektioneringsfrånskiljaren BS5_m.



Figur 6-2: Placering av den fjärrstyrda sektioneringsfrånskiljaren BS7_r.

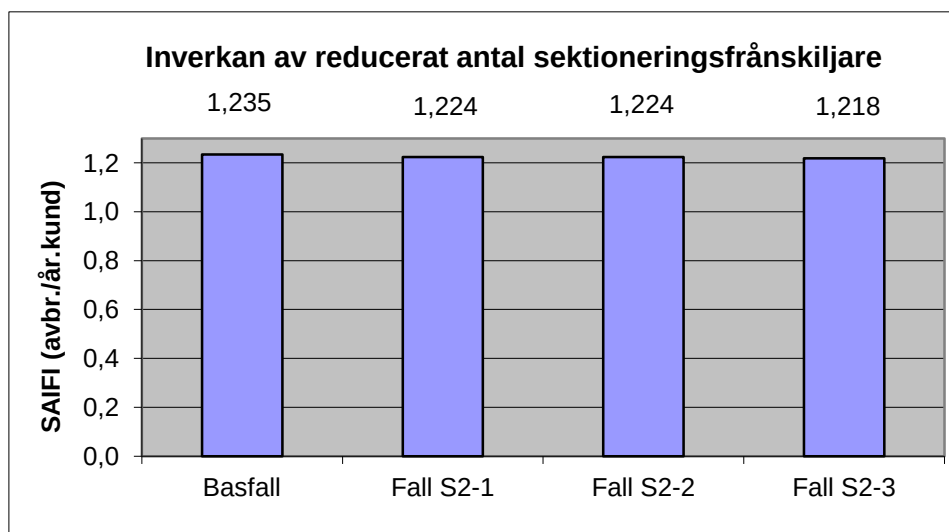


Figur 6-3: Sektionerna som separeras av frånskiljarna BS5 och BS7.

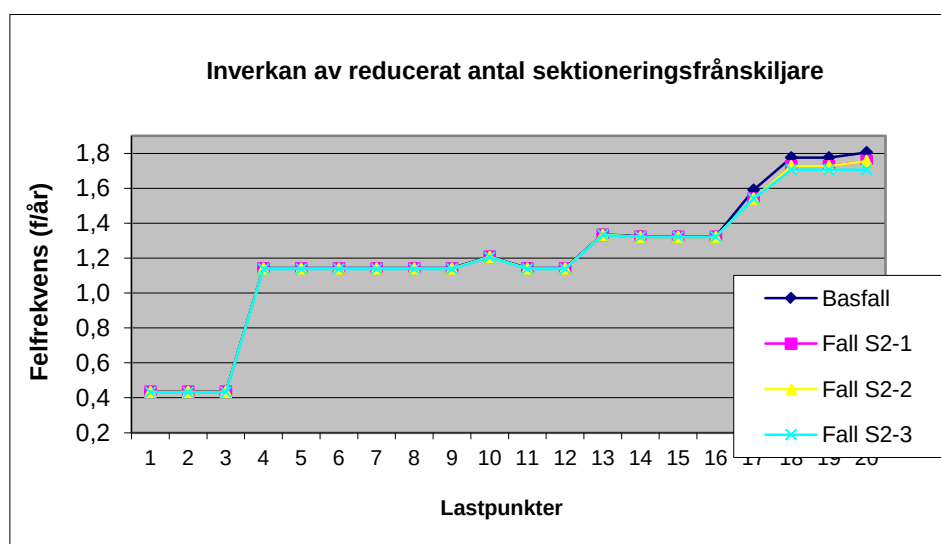
Huvudlinjen har en total längd på ca 15,5 km. Avlägsnandet av frånskiljare BS5_m och BS7_r minskar antalet sektioner från sex stycken till fyra stycken. Som kan ses i figurerna 6-6 och 6-8 skulle denna minskning inte försämra SAIDI och ILEs.

Placeringen av sektioneringsfrånskiljare påverkar systemets tillförlitlighet. I radiella distributionssystem är frånskiljarna placerade i syfte att förbättra systemets tillförlitlighet. De isolerar den felaktiga sektionen av nätet medan resten av systemet fortfarande är spänningssatt. Det går dock inte att dra slutsatsen att ett ökat antal sektioneringsfrånskiljare automatiskt ökar tillförlitligheten. Beräkningarna i fallstudie S2 illustrerar att installation av flera frånskiljare inte nödvändigtvis ger någon förbättring av tillförlitligheten.

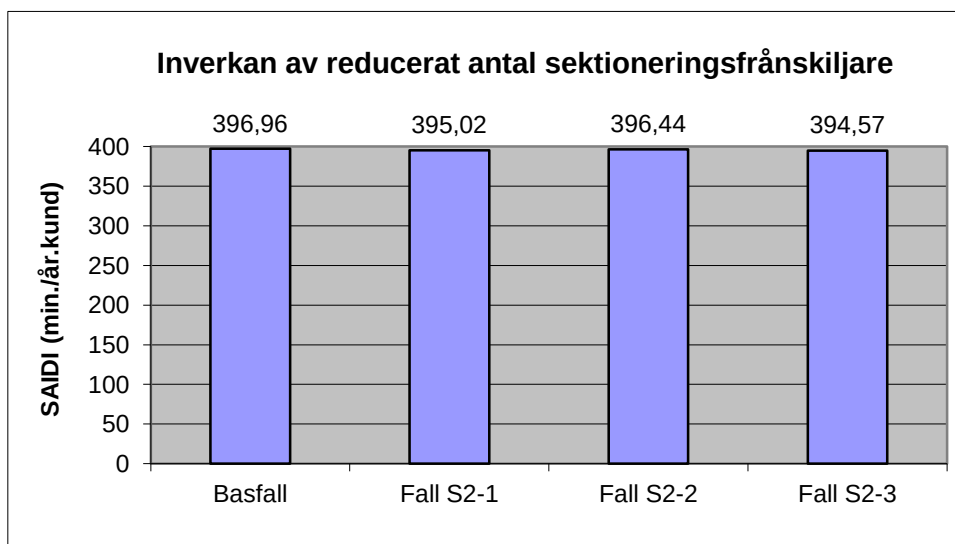
I den felfrekvens för luftledningar som användes i beräkningarna ingår både kortslutningsfel och jordfel som kan orsaka att en brytare löser ut. För den del av nätet som skyddas av säkringar, representeras jordfelen av säkringens sannolikhet att fastna.



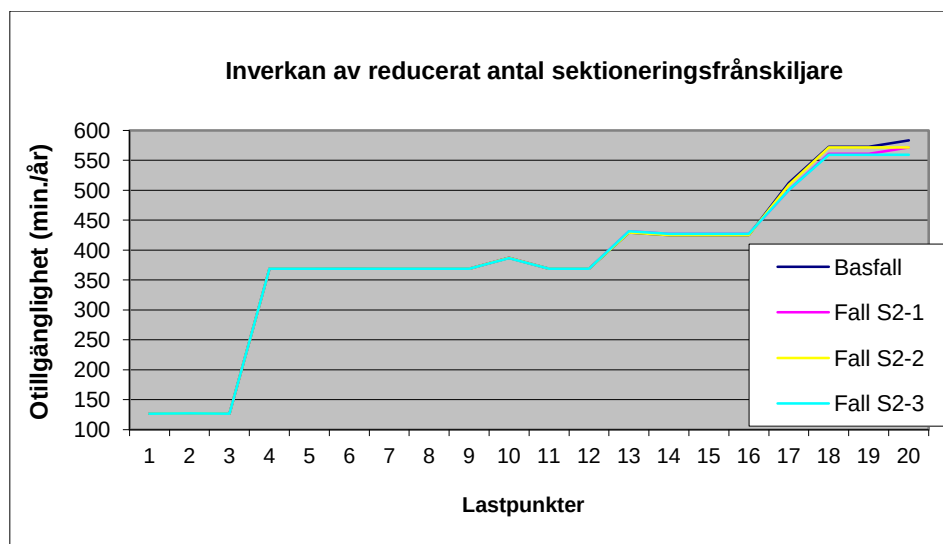
Figur 6-4: Resultat för fallstudie S2 - SAIFI.



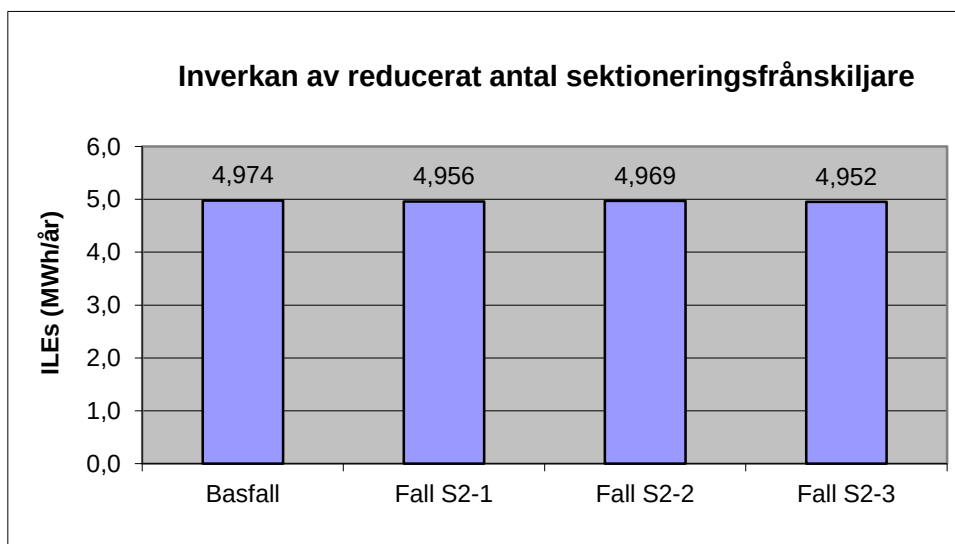
Figur 6-5: Resultat för fallstudie S2 – Felfrekvens per lastpunkt.



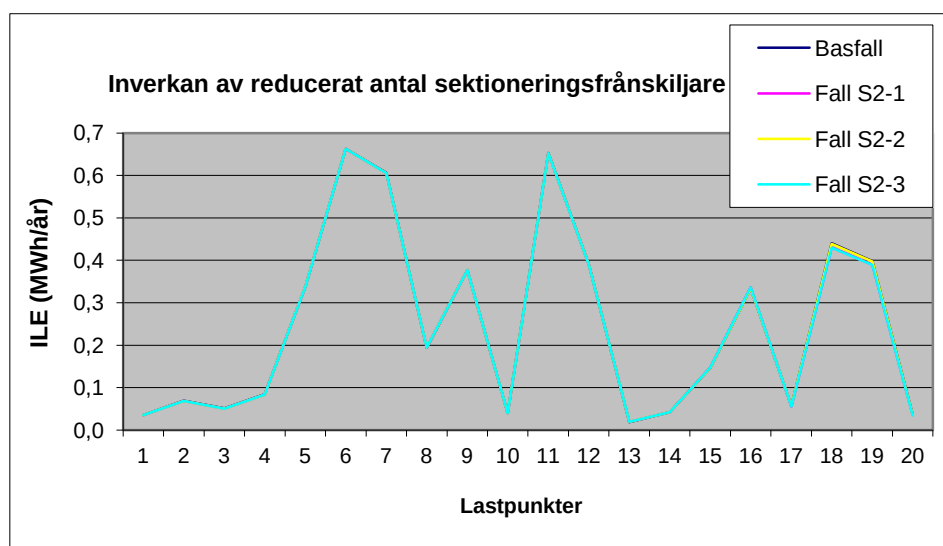
Figur 6-6: Resultat för fallstudie S2 - SAIDI.



Figur 6-7: Resultat för fallstudie S2 – Otilgänglighet per lastpunkt.



Figur 6-8: Resultat för fallstudie S2 – Icke levererad energi på systemnivå.



Figur 6-9: Resultat för fallstudie S2 – Icke levererad energi per lastpunkt.

Tabell 6-1: Resultat för fall S2-1.

Fall: S2-1 Ta bort BS5_m				
Lastpunkt	λ (f/år)	U (min/år)	r (h/f)	ILE (MWh/år)
1	0,435	126,8	4,87	0,0351
2	0,435	127,0	4,87	0,0688
3	0,435	126,8	4,87	0,0505
4	1,141	368,9	5,39	0,0836
5	1,141	368,9	5,39	0,3381
6	1,141	369,0	5,39	0,6630
7	1,141	368,9	5,39	0,6056
8	1,141	368,9	5,39	0,1943
9	1,141	368,9	5,39	0,3769
10	1,208	386,9	5,34	0,0400
11	1,141	368,9	5,39	0,6523
12	1,141	368,9	5,39	0,3910
13	1,333	431,3	5,39	0,0194
14	1,322	427,2	5,39	0,0421
15	1,322	427,1	5,38	0,1473
16	1,322	427,1	5,38	0,3360
17	1,541	500,2	5,41	0,0559
18	1,726	560,6	5,41	0,4308
19	1,726	560,6	5,41	0,3896
20	1,756	571,4	5,42	0,0352
SAIFI (avbr./år.kund)	SAIDI (min./år.kund)	ILEs (MWh/år)		
1,224	395,02	4,956		

Tabell 6-2: Resultat för fall S2-2.

Fall: S2-2 Ta bort BS7_r				
Lastpunkt	λ (f/år)	U (min/år)	r (h/f)	ILE (MWh/år)
1	0,435	126,8	4,87	0,0351
2	0,435	127,0	4,87	0,0688
3	0,435	126,8	4,87	0,0505
4	1,141	368,9	5,39	0,0836
5	1,141	368,9	5,39	0,3381
6	1,141	369,0	5,39	0,6630
7	1,141	368,9	5,39	0,6056
8	1,141	368,9	5,39	0,1943
9	1,141	368,9	5,39	0,3769
10	1,208	386,9	5,34	0,0400
11	1,141	368,9	5,39	0,6523
12	1,141	368,9	5,39	0,3910
13	1,334	429,1	5,36	0,0193
14	1,322	425,0	5,36	0,0419
15	1,322	424,9	5,36	0,1466
16	1,322	424,9	5,36	0,3342
17	1,541	509,2	5,51	0,0569
18	1,726	571,4	5,52	0,4390
19	1,726	571,4	5,52	0,3971
20	1,756	571,4	5,42	0,0352
SAIFI (avbr./år.kund)	SAIDI (min./år.kund)	ILEs (MWh/år)		
1,224	396,44	4,969		

Tabell 6-3: Resultat för fall S2-3.

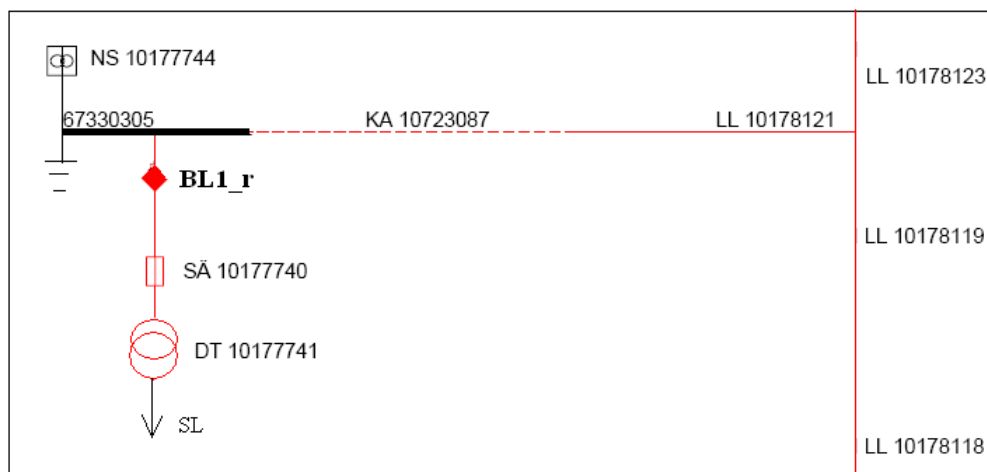
Fall: S2-3 Ta bort BS5_m och BS7_r				
Lastpunkt	λ (f/år)	U (min/år)	r (h/f)	ILE (MWh/år)
1	0,432	126,8	4,89	0,0351
2	0,432	126,9	4,90	0,0688
3	0,432	126,8	4,89	0,0505
4	1,138	368,7	5,40	0,0836
5	1,138	368,7	5,40	0,3380
6	1,138	368,9	5,40	0,6627
7	1,138	368,7	5,40	0,6053
8	1,138	368,7	5,40	0,1942
9	1,138	368,7	5,40	0,3767
10	1,205	386,7	5,35	0,0400
11	1,138	368,7	5,40	0,6520
12	1,138	368,7	5,40	0,3909
13	1,333	431,3	5,39	0,0194
14	1,322	427,2	5,39	0,0421
15	1,322	427,1	5,38	0,1473
16	1,322	427,1	5,38	0,3360
17	1,541	500,2	5,41	0,0559
18	1,706	559,4	5,46	0,4298
19	1,706	559,4	5,46	0,3888
20	1,706	559,4	5,46	0,0345
SAIFI (avbr./år.kund)	SAIDI (min./år.kund)	ILEs (MWh/år)		
1,218	394,57	4,952		

7 Fallstudie S3: Effekten av ett reducerat antal lastfrånskiljare

Lastfrånskiljare är lastströmbrytare och används frekvent inom distributionsnäten. De kan öppnas och stängas med en normal lastström som passerar genom dem. De används för att skapa synligt brytställe vid underhåll eller reparation. De kan också användas för att omkonfigurera anslutningen av distributionsledning/kablar och annan utrustning.

Men fel förekommer ibland hos lastfrånskiljare på samma sätt som hos andra komponenter. En kortslutning i en lastfrånskiljare kan orsaka utlösning av viktiga brytare och orsaka avbrott för kunder som matas via huvudlinjen.

På det studerade Vattenfallsägda landsbygdssystemet var lastfrånskiljare installerade på olika platser på matarledningar respektive i T-korsningar. I nätdelen som visas i figur 5-4, är två lastfrånskiljare, BL1_r och BL2_r, utplacerade vid avgreningarnas ändpunkter vid lastpunkt 2 och 6. Figur 7-1 och 7-2 visar detaljerna för dessa frånskiljare.

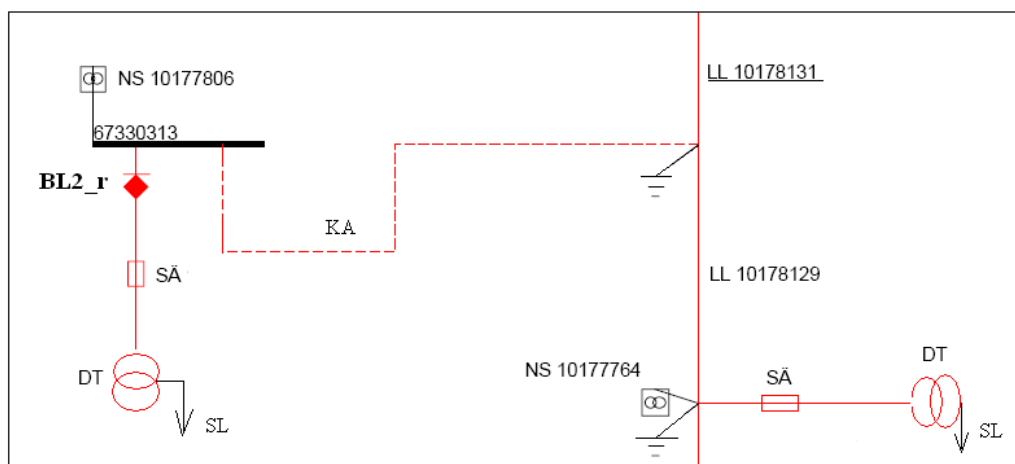


Figur 7-1: Placering av lastfrånskiljare BL1_r.

För att studera effekterna av ett minskat antal lastfrånskiljare utvärderas de tre följande fallen:

- Fall S3-1: Samma som basfallet men utan lastfrånskiljaren BL1_r (BL10299463).
- Fall S3-2: Samma som basfallet men utan lastfrånskiljaren BL2_r (BL10299460).
- Fall S3-3: samma som basfallet men utan båda lastfrånskiljarna BL1_r och BL2_r.

Tillförlitlighetsindex beräknas för dessa fall och jämförs med basfallet. De presenteras i figurerna 7-3 till 7-8. Tabellerna 7-1, 7-2 och 7-3 ger tillförlitlighetsindexdetaljer för vart och ett av dessa fall.

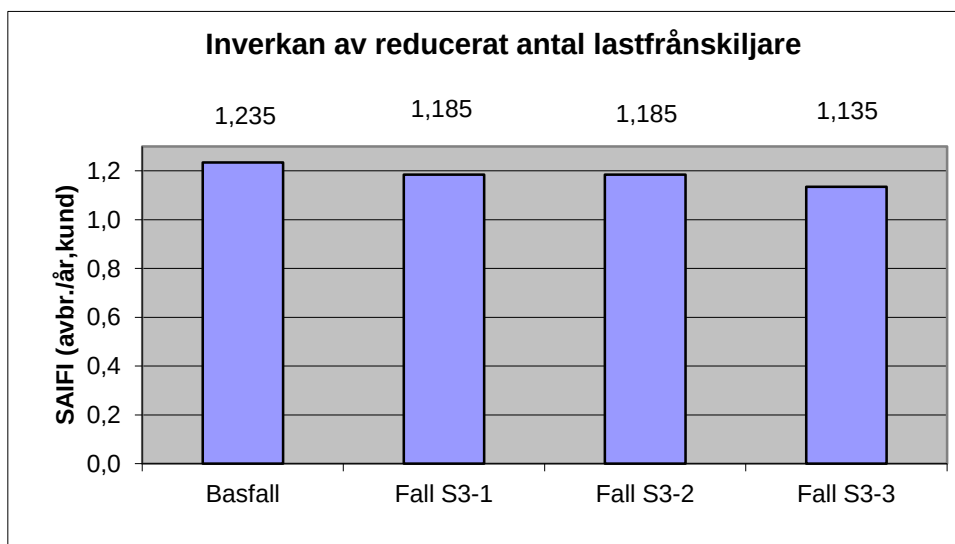


Figur 7-2: Placering av lastfrånskiljare BL2_r.

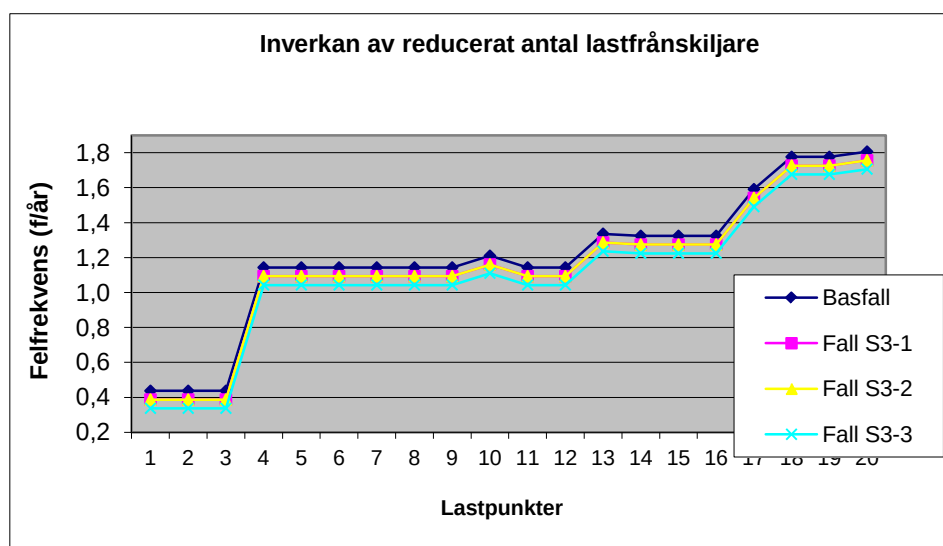
Eftersom lastfrånskiljarna BL1_r och BL2_r har placerats före säkringen, leder ett eventuellt fel hos någon av dem till att brytaren till huvudledningen öppnas och alla lastpunkterna på huvudledningen kommer att kopplas bort. Genom att ta bort alla lastfrånskiljare elimineras deras aktiva fel och därmed minskar felfrekvensen. Denna påverkan märks tydligt i figur 7-3 och 7-4.

Jämförelsen av avbrottets varaktighet och den icke levererade energin visar att avlägsnandet av dessa lastfrånskiljare inte påverkar indexen negativt. Anledningen är att vid fel i lastfrånskiljaren BL2 bör till exempel sektioneringsfrånskiljarna BS1 och BS3 öppnas för att isolera felet. Detta leder till fränkoppling av nätet nedströms frånskiljare BS1. Återställning av lastpunkterna 4-20 nedströms förblir omöjlig tills reparationen av lastfrånskiljaren BL2 har slutförts. Om man tar bort lastfrånskiljaren BL2 undviks driftstoppet som orsakats av dess fel.

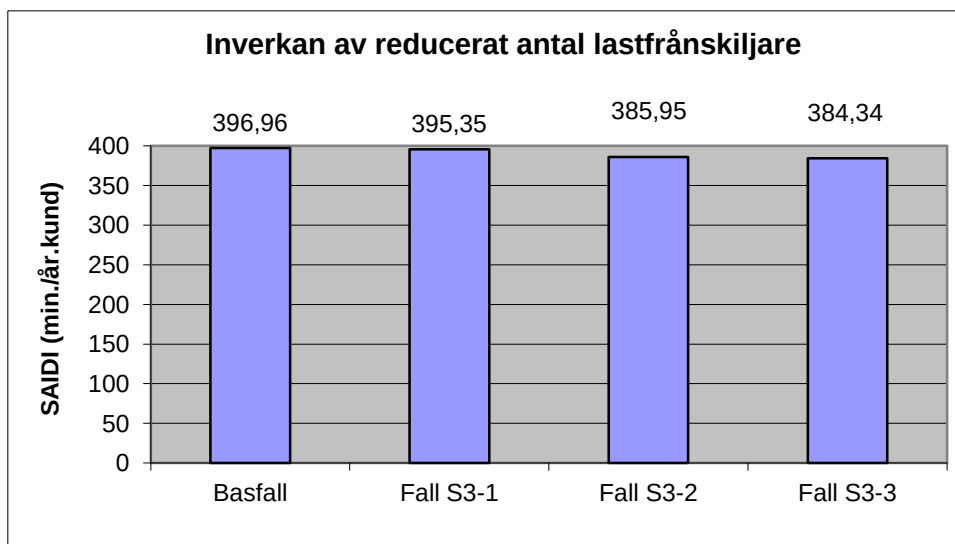
Det bör påpekas att den största fördelen med lastbrytare är den minskade avbrottsfrekvensen till följd av planerade avbrott. Vid utvärdering av effekten av lastbrytare på avbrottets varaktighet skall hänsyn tas till konsekvenserna av planerade avbrott och underhåll. Den rimliga omfattningen av användandet av lastbrytare bör därför utvärderas med hänsyn till både felfunktioner i utrustningen och den förväntade frekvensen av planerade avbrott.



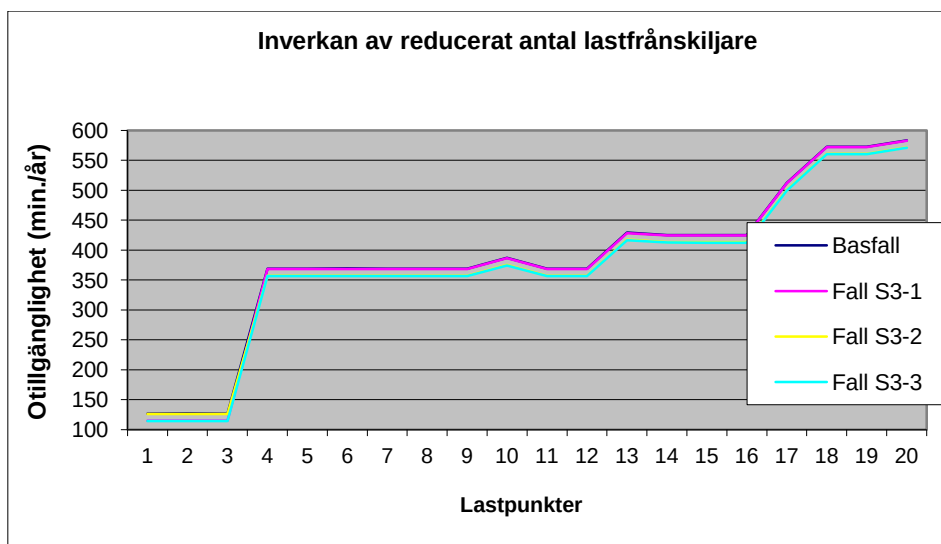
Figur 7-3: Resultat för fallstudie S3 - SAIFI.



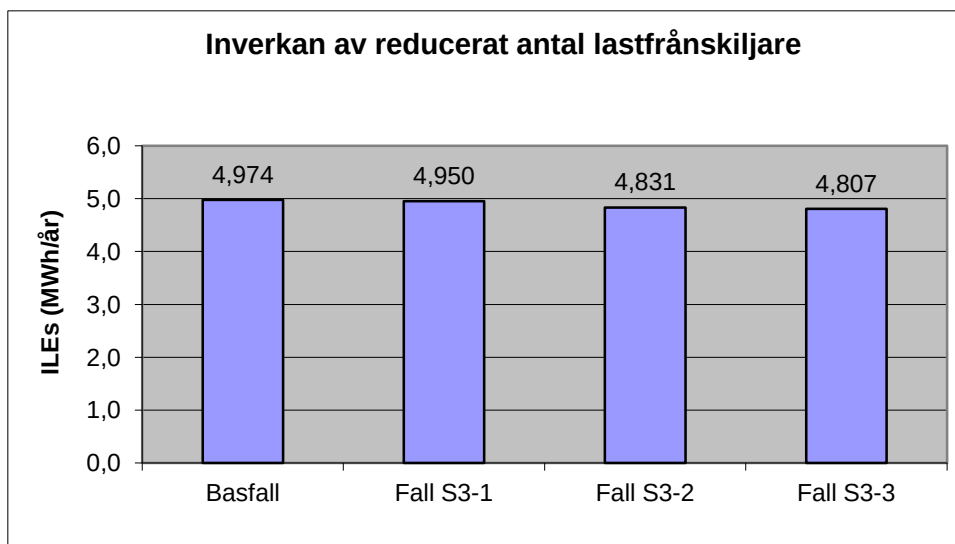
Figur 7-4: Resultat för fallstudie S3 – Felfrekvens per lastpunkt.



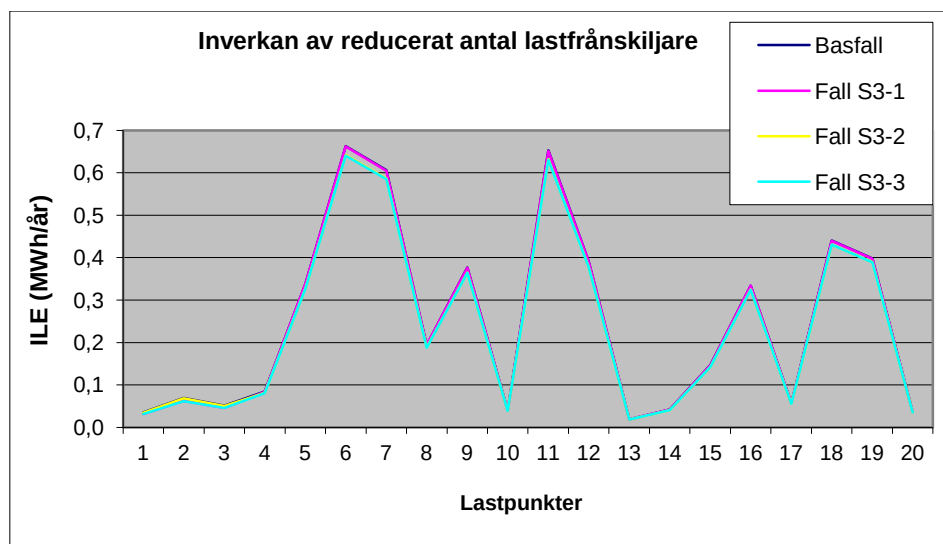
Figur 7-5: Resultat för fallstudie S3 - SAIDI.



Figur 7-6: Resultat för fallstudie S3 – Otilgänglighet per lastpunkt.



Figur 7-7: Resultat för fallstudie S3 – Icke levererad energi på systemnivå.



Figur 7-8: Resultat för fallstudie S3 – Icke levererad energi per lastpunkt.

Tabell 7-1: Resultat för fall S3-1.

Fall: S3-1 Ta bort BL1_r vid lastpunkt 2				
Lastpunkt	λ (f/år)	U (min/år)	r (h/f)	ILE (MWh/år)
1	0,387	115,0	4,95	0,0318
2	0,387	115,0	4,95	0,0623
3	0,387	115,0	4,95	0,0458
4	1,093	368,3	5,62	0,0835
5	1,093	368,3	5,62	0,3376
6	1,093	368,4	5,62	0,6619
7	1,093	368,3	5,62	0,6046
8	1,093	368,3	5,62	0,1940
9	1,093	368,3	5,62	0,3763
10	1,160	386,3	5,55	0,0399
11	1,093	368,3	5,62	0,6512
12	1,093	368,3	5,62	0,3904
13	1,286	428,5	5,55	0,0193
14	1,274	424,4	5,55	0,0419
15	1,274	424,3	5,55	0,1464
16	1,274	424,3	5,55	0,3338
17	1,541	511,4	5,53	0,0571
18	1,726	571,9	5,52	0,4394
19	1,726	571,9	5,52	0,3974
20	1,756	582,6	5,53	0,0359
SAIFI (avbr./år.kund)	SAIDI (min./år.kund)	ILEs (MWh/år)		
1,185	395,35	4,950		

Tabell 7-2: Resultat för fall S3-2.

Fall: S3-2 Ta bort BL2_r vid lastpunkt 6				
Lastpunkt	λ (f/år)	U (min/år)	r (h/f)	ILE (MWh/år)
1	0,387	126,1	5,43	0,0349
2	0,387	126,3	5,44	0,0684
3	0,387	126,1	5,43	0,0502
4	1,093	357,2	5,45	0,0810
5	1,093	357,2	5,45	0,3274
6	1,093	357,2	5,45	0,6417
7	1,093	357,2	5,45	0,5864
8	1,093	357,2	5,45	0,1881
9	1,093	357,2	5,45	0,3649
10	1,160	375,1	5,39	0,0388
11	1,093	357,2	5,45	0,6316
12	1,093	357,2	5,45	0,3786
13	1,286	417,3	5,41	0,0188
14	1,274	413,2	5,41	0,0408
15	1,274	413,2	5,40	0,1425
16	1,274	413,2	5,40	0,3250
17	1,541	500,3	5,41	0,0559
18	1,726	560,8	5,41	0,4308
19	1,726	560,8	5,41	0,3897
20	1,756	571,5	5,42	0,0352
SAIFI (avbr./år.kund)	SAIDI (min./år.kund)	ILEs (MWh/år)		
1,185	385,95	4,831		

Tabell 7-3: Resultat för fall S3-3.

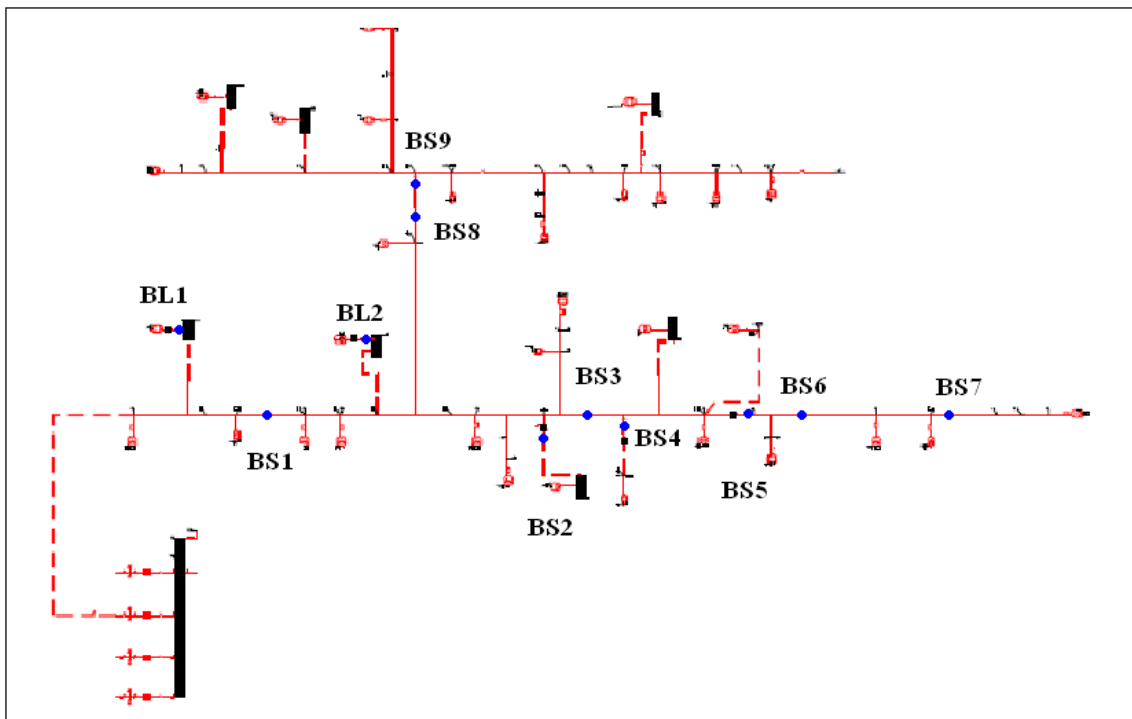
Fall: S3-3 Ta bort BL1_r och BL2_r				
Lastpunkt	λ (f/år)	U (min/år)	r (h/f)	ILE (MWh/år)
1	0,337	114,3	5,65	0,0316
2	0,337	114,3	5,65	0,0619
3	0,337	114,3	5,65	0,0455
4	1,043	356,4	5,70	0,0808
5	1,043	356,4	5,70	0,3267
6	1,043	356,4	5,70	0,6404
7	1,043	356,4	5,70	0,5851
8	1,043	356,4	5,70	0,1877
9	1,043	356,4	5,70	0,3642
10	1,110	374,4	5,62	0,0387
11	1,043	356,4	5,70	0,6303
12	1,043	356,4	5,70	0,3778
13	1,236	416,6	5,62	0,0187
14	1,224	412,5	5,62	0,0407
15	1,224	412,4	5,62	0,1423
16	1,224	412,4	5,62	0,3244
17	1,491	499,6	5,58	0,0558
18	1,676	560,0	5,57	0,4303
19	1,676	560,0	5,57	0,3892
20	1,706	570,7	5,58	0,0352
SAIFI (avbr./år.kund)	SAIDI (min./år.kund)	ILEs (MWh/år)		
1,135	384,34	4,807		

8 Fallstudie S4: Effekten av ett reducerat antal kopplingsapparater

Kopplingsapparater, inklusive lastbrytare, frånskiljare, sektioneringsfrånskiljare och avgreningsfrånskiljare, spelar en stor roll för nätets tillförlitlighet. Hur enheterna placeras ut i ett distributionsnät är därför en viktig faktor i nätplaneringen. Generellt har kopplingsapparater potential att minska avbrottsvaraktigheten och förbättra nätets tillförlitlighetsindex genom att isolera felet.

Men kopplingsapparater bör placeras optimalt i nätet. För att uppnå maximal nytta, måste rätt antal enheter installeras på rätt platser. Utplaceras fler kopplingsapparater än vad som behövs, kan det så småningom resultera i en försämring av tillförlitligheten på grund av felfrekvensen hos varje enhet.

En analys av möjligheten att förenkla nätet genom att minska antalet kopplingsapparater, kan göras genom en intressant undersökning där systemets tillförlitlighet studeras när placeringen av enheterna och antalet enheter varierar.



Figur 8-1: Nätdelen som använts i fallstudie S4.

En rad fall specificeras. Fallen är utformade så att antalet kopplingsorgan minskas gradvis och varje minskning görs på olika platser i nätet. Studera nätdelen i figur 8-1. Det är totalt 11 kopplingsapparater, varav två är

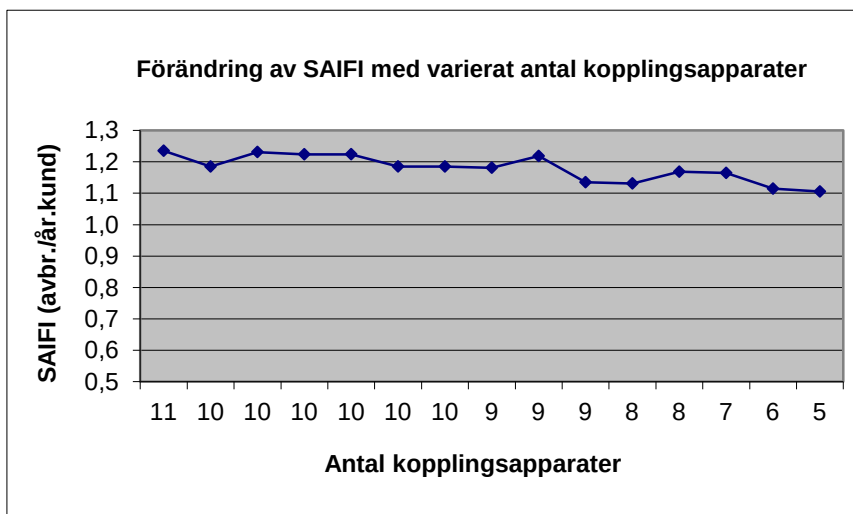
lastfrånskiljare, två avgreningsfrånskiljare och sju sektioneringsfrånskiljare. Tabell 8-1 listar alla specificerade fall, där de beräknade indexen för varje enskilt fall även redovisas.

Tabell 8-1: Studerade fall.

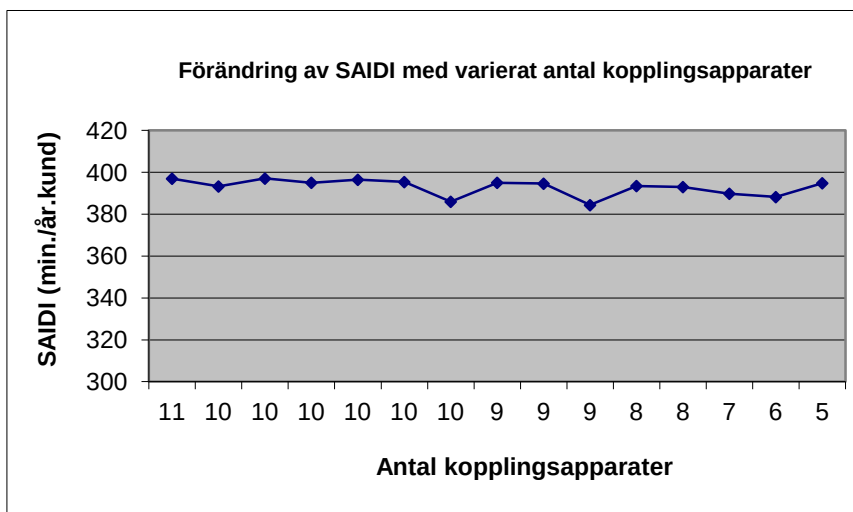
Fall: S4 Inverkan av antal kopplingsapparater					
Fall	Antal	Kopplingsapparat	SAIFI	SAIDI	ILEs
	enheter		(avbr./år.kund)	(min./år.kund)	(MWh/år)
Basfall	11	BL1,BL2,BS1, BS2-BS5 , BS6,BS7,BS8_as,BS9	1,235	396,960	4,974
S4-1	10	Alla, utom BS4	1,185	393,247	4,931
S4-2	10	Alla, utom BS2	1,231	397,014	4,978
S4-3	10	Alla, utom BS5	1,224	395,024	4,956
S4-4	10	Alla, utom BS7	1,224	396,440	4,969
S4-5	10	Alla, utom BL1	1,185	395,350	4,950
S4-6	10	Alla, utom BL2	1,185	385,946	4,831
S4-7	9	Alla, utom BS2,BS4	1,181	395,011	4,962
S4-8	9	Alla, utom BS5,BS7	1,218	394,573	4,952
S4-9	9	Alla, utom BL1,BL2	1,135	384,335	4,807
S4-10	8	Alla, utom BS2,BS4,BL1	1,131	393,461	4,940
S4-11	8	Alla, utom BS5,BS7,BL1	1,168	392,968	4,928
S4-12	7	Alla, utom BS5, BS7,BS2,BS4	1,164	389,785	4,908
S4-13	6	Alla, utom BS5, BS7,BS2,BS4,BL1	1,114	388,175	4,885
S4-14	5	Alla, utom BS5, BS7,BS2,BS4,BL1, BS6	1,105	394,793	4,932

Effekten av förändringar i antalet kopplingsenheter kan avläsas i figurerna 8-2, 8-3 och 8-4. Som väntat flyttar sig kurvan gradvis nedåt för SAIFI när antalet enheter reduceras. Figur 8-3 och 8-4 visar tydligt att SAIDI och ILEs är känsliga för var kopplingsapparaterna placeras.

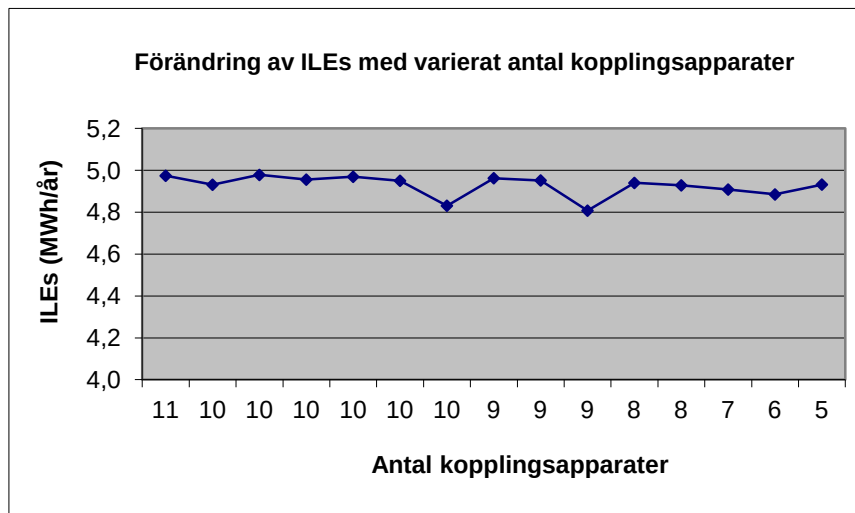
Det har konstaterats att både SAIDI och ILEs varierar beroende på antalet enheter. Men denna minskning av antalet enheter försämrar inte systemets tillförlitlighet. När antalet kopplingsapparater minskar från 11 till 5, håller SAIDI och ILEs värden samma nivå som i basfallet. Detta innebär att det finns en potential för att förenkla det befintliga nätet genom att minska antalet kopplingsapparater utan att det påverkar nätets tillförlitlighet negativt.



Figur 8-2: Resultat för fallstudie S4 - SAIFI.



Figur 8-3: Resultat för fallstudie S4 - SAIDI.



Figur 8-4: Resultat för fallstudie S4 – Icke levererad energi på systemnivå.

9 Fallstudie S5: Effekten av en uppgradering av manuella frånskiljare till fjärrstyrda

Tillförlitligheten och kvaliteten på elleveransen har alltid varit ytterst viktigt för elbolagen och dess vikt kommer att fortsätta att öka i framtiden. För tillförlitlighetsförbättringar av framtida distributionssystem har ny teknik en viktig roll. Kontroll och automatisering är tekniker som skapar möjligheter. Det underlättar överföringen då många fysiska krav ersätts av en automatiserad process. Det är nu erkänt som ett sätt som bidrar till att öka tillförlitligheten i distributionssystemen.

Automatisering och fjärrstyrning av distribution omfattar tre nivåer; automatiserade enheter, stationsautomation och distributions-systemautomation. Automatiserad och fjärrstyrd utrustning innebär automation och utökad kontroll på komponent (enhets) nivå.

Att installera fjärrstyrda/automatiska kopplingsapparater kommer att underlätta för systemoperatören, eller ett automatiskt återställandeprogram, att snabbt identifiera en felaktig sektion och på distans/automatiskt styra kopplingsapparater för att återställa leveransen till kunderna och avsevärt minska den genomsnittliga längden av kundavbrott och därmed förbättra tillförlitligheten.

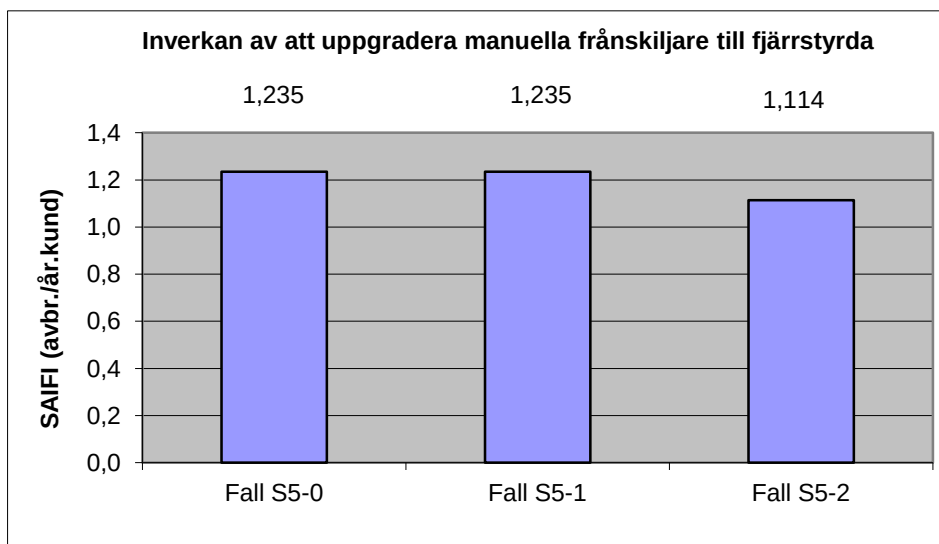
Eldistributörerna har i allt större utsträckning automatiserat och gått över till fjärrstyrda nät för att tillhandahålla pålitliga tjänster till elkonsumenterna. Automation är den viktigaste aspekten för framtidens smarta nät. Vid utvecklingen av framtida smarta elnät kommer automatisering och fjärrstyrning att spela en nyckelroll för att uppnå hög grad av strömförsörjningstillförlitlighet.

Enligt analysen i tidigare kapitel finns det möjlighet att förenkla de befintliga näten genom att minska antalet kopplingsapparater. Vad är effekten av denna förenkling när nätet blir automatiserat? Denna fallstudie analyserar denna effekt.

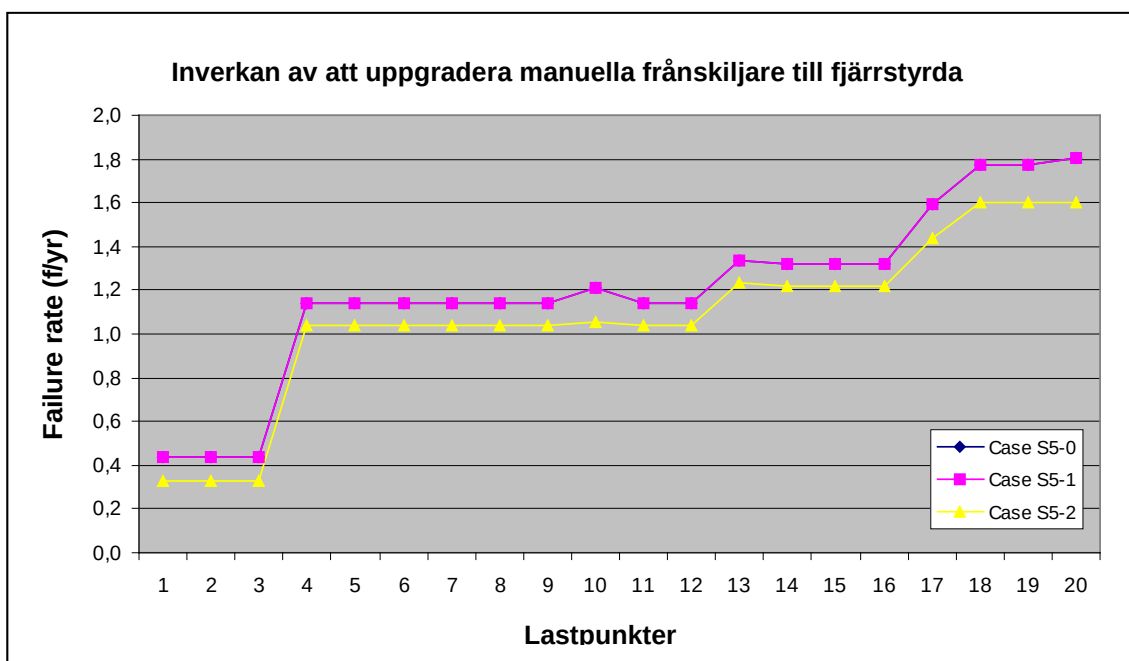
Tre fall definieras:

- Fall S5-0: samma som basfallet men sektioneringstiden är satt till två timmar för manuella frånskiljare och tre minuter för fjärrstyrda frånskiljare.
- Fall S5-1: samma som fall S5-0 men fyra manuella frånskiljare BS2, BS3, BS4 och BS5 (BS2_m, BS3_m, BS4_m, BS5_m, visas i Figur 8-1) uppgraderas till fjärrstyrda.
- Fall S5-2: samma som fall S5-0 men bara en manuell frånskiljare BS3 uppgraderas till fjärrstyrd och de andra tre manuella frånskiljarna (BS2, BS4, BS5) tas bort.

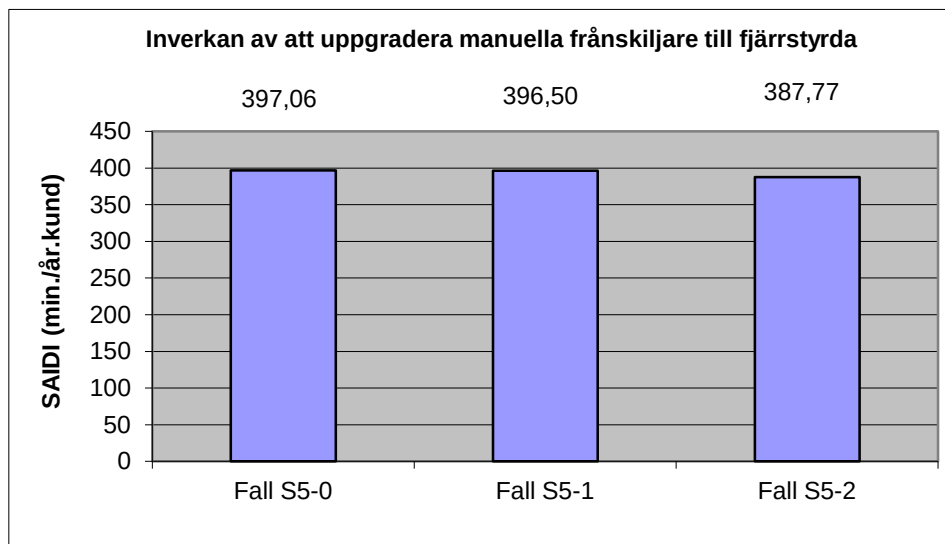
De beräknade tillförlitlighetsindexen i dessa fall jämförs och presenteras i figurerna 9-1 till 9-5. Indexdetaljerna för de tre fallen anges i tabell 9-1, 9-2 och 9-3.



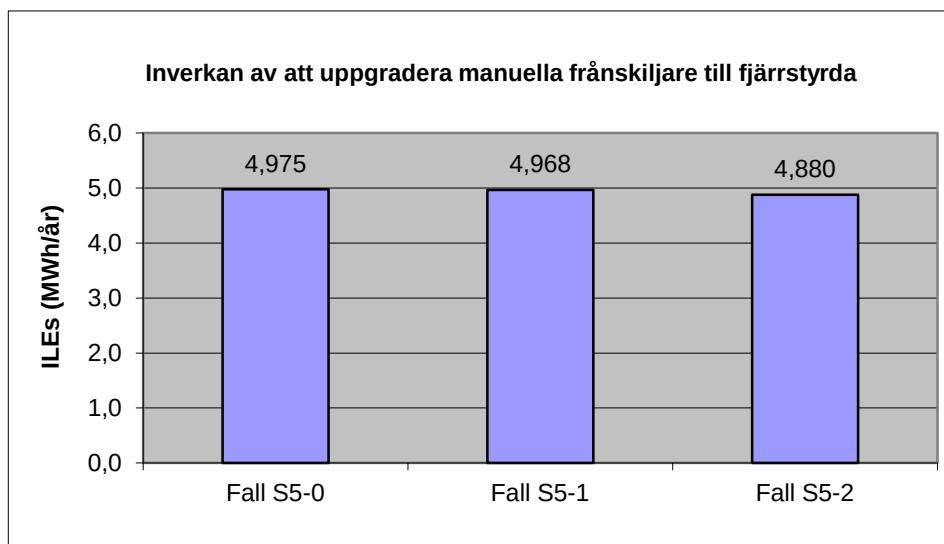
Figur 9-1: Resultat för fallstudie S5 – SAIFI.



Figur 9-2: Resultat för fallstudie S5 - Felfrekvens per lastpunkt.



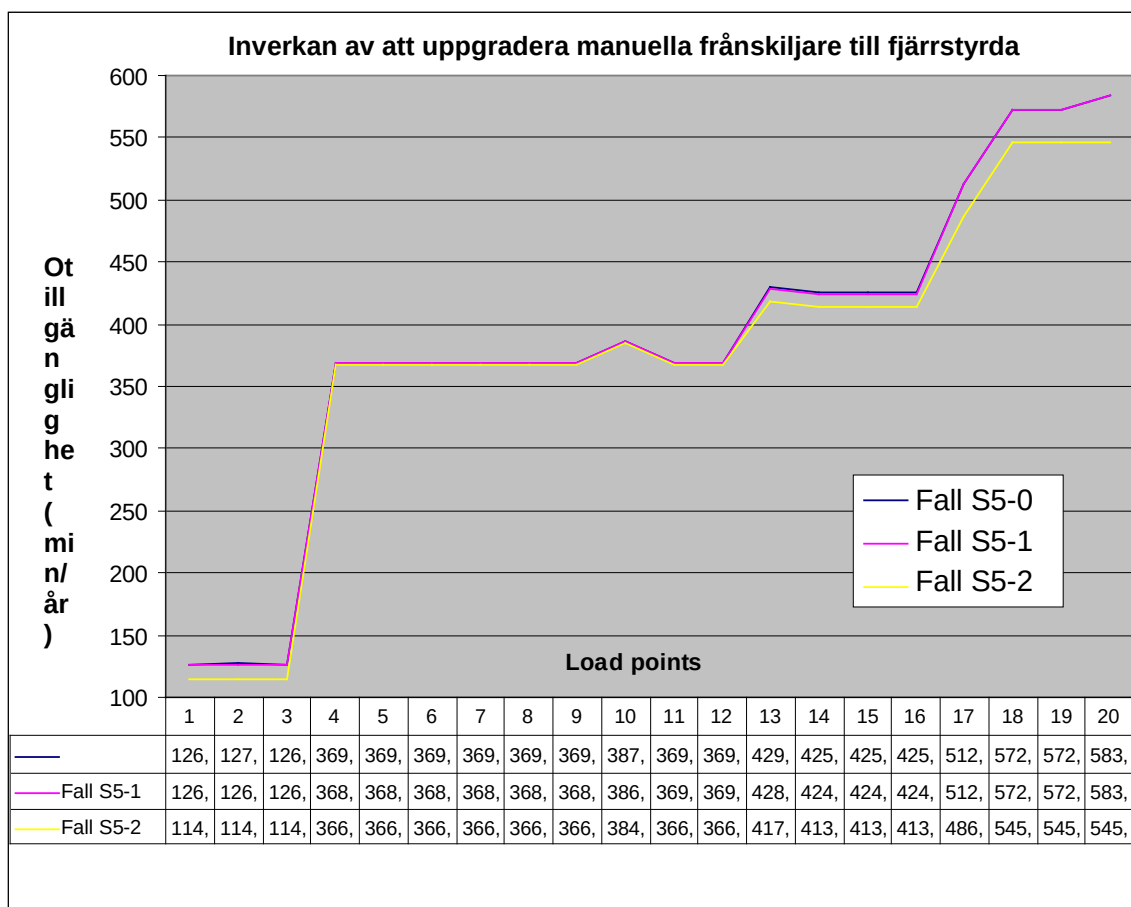
Figur 9-3: Resultat för fallstudie S5 - SAIDI.



Figur 9-4: Resultat för fallstudie S5 – Icke levererad energi på systemnivå.

Tillförlitligheten kan i allmänhet förbättras om manuella kopplingsapparater uppgraderas till fjärrkontrollerade. Det är dock uppenbart att fjärrkontrollstyrningen inte ändrar de felfrekvenser som visas i figur 9-1. Detta beror på att antalet fel upptäckta av brytare vid huvudledningen är samma. Hur mycket tillförlitligheten förbättras påverkas kraftigt av placeringen av kopplingsapparaterna. Det framgår att uppgraderingen av en frånskiljare efter borttagandet av de andra tre manuella kopplingsapparaterna

i fall S5-2 ger en större förbättring i tillförlitlighetsindexet ILEs än uppgraderingen av alla fränksiljare i fall S5-1. Eftersom antalet fel på kopplingsapparaterna som upptäcks av effektbrytaren på huvudledningen minskar då fränksiljarnas antal minskar i fall S5-2, minskar även bidraget från utrustningsfel till avbrottsvaraktigheten. Denna effekt avspeglas alltså inte bara i felfrekvensen uppmätt i SAIFI, utan också i index tillhörande avbrottets varaktighet uppmätta i SAIDI och ILEs. Det kan noteras att inte alla kunder får samma grad av nytta i tillförlitlighetsförbättring genom moderniseringen av kopplingsapparaterna. Som framgår av Figur 9-5 är lastpunkterna 13-20, anslutna nedströms fränksiljaren BS3, mer gynnade än andra lastpunkter eftersom de nu snabbt kan återställas med fjärrkontroll efter fel. Fallstudien visar att det är bra att överväga möjligheten att förenkla nät när näten automatiseras för att säkerställa kostnadseffektiva investeringar.



Figur 9-5: Resultat för fallstudie S5 – Otilgänglighet per lastpunkt.

Tabell 9-1: Resultat för fall S5-0.

Fall: S5-0				
Lastpunkt	λ (f/år)	U (min/år)	r (h/f)	ILE (MWh/år)
1	0,437	126,87	4,84	0,0350
2	0,437	127,02	4,85	0,0690
3	0,437	126,87	4,84	0,0510
4	1,143	369,02	5,38	0,0840
5	1,143	369,02	5,38	0,3380
6	1,143	369,17	5,38	0,6630
7	1,143	369,02	5,38	0,6060
8	1,143	369,02	5,38	0,1940
9	1,143	369,02	5,38	0,3770
10	1,210	387,05	5,33	0,0400
11	1,143	369,02	5,38	0,6530
12	1,143	369,02	5,38	0,3910
13	1,336	429,76	5,36	0,0190
14	1,324	425,67	5,36	0,0420
15	1,324	425,58	5,36	0,1470
16	1,324	425,58	5,36	0,3350
17	1,591	512,20	5,37	0,0570
18	1,776	572,65	5,38	0,4400
19	1,776	572,65	5,38	0,3980
20	1,806	583,39	5,39	0,0360
SAIFI (avbr./år.kund)	SAIDI (min./år.kund)	ILEs (MWh/år)		
1,235	397,06	4,975		

Tabell 9-2: Resultat för fall S5-1.

Fall: S5-1: Uppgradering av fyra manuella frånskiljare till fjärrstyrda				
Lastpunkt	λ (f/år)	U (min/år)	r (h/f)	ILE (MWh/år)
1	0,437	126,62	4,83	0,0350
2	0,437	126,77	4,83	0,0687
3	0,437	126,62	4,83	0,0504
4	1,143	368,29	5,37	0,0835
5	1,143	368,29	5,37	0,3376
6	1,143	368,43	5,37	0,6620
7	1,143	368,29	5,37	0,6046
8	1,143	368,29	5,37	0,1940
9	1,143	368,29	5,37	0,3763
10	1,210	386,21	5,32	0,0399
11	1,143	369,02	5,38	0,6526
12	1,143	369,02	5,38	0,3912
13	1,336	428,67	5,35	0,0193
14	1,324	424,57	5,34	0,0419
15	1,324	424,49	5,34	0,1464
16	1,324	424,49	5,34	0,3339
17	1,591	512,14	5,37	0,0572
18	1,776	572,59	5,37	0,4399
19	1,776	572,59	5,37	0,3979
20	1,806	583,33	5,38	0,0360
SAIFI (avbr./år.kund)	SAIDI (min./år.kund)	ILEs (MWh/år)		
1,235	396,50	4,968		

Tabell 9-3: Resultat för fall S5-2.

Fall: S5-2: Uppgradera en manuell frånskiljare till fjärrstyrd				
Lastpunkt	λ (f/år)	U (min/år)	r (h/f)	ILE (MWh/år)
1	0,330	114,0	5,77	0,032
2	0,330	114,2	5,78	0,062
3	0,330	114,0	5,77	0,045
4	1,036	366,8	5,90	0,083
5	1,036	366,8	5,90	0,336
6	1,036	367,0	5,91	0,659
7	1,036	366,8	5,90	0,602
8	1,036	366,8	5,90	0,193
9	1,036	366,8	5,90	0,375
10	1,055	384,8	6,08	0,040
11	1,036	366,8	5,90	0,649
12	1,036	366,8	5,90	0,389
13	1,231	417,9	5,66	0,019
14	1,220	413,8	5,66	0,041
15	1,220	413,7	5,65	0,143
16	1,220	413,7	5,65	0,325
17	1,439	486,8	5,64	0,054
18	1,604	545,9	5,67	0,419
19	1,604	545,9	5,67	0,379
20	1,604	545,9	5,67	0,034
SAIFI (avbr./år.kund)	SAIDI (min./år.kund)	ILEs (MWh/år)		
1,114	387,775	4,880		

10 Fallstudie S6: Effekten av att lägga till reservmatning

Äldre distributionssystem kännetecknas ofta av radiell topologi. Framtidens distributionssystem är sammankopplade och intelligenta. Det finns många tekniker och metoder som kommer att medverka till att skapa framtidens intelligenta nät. Dessa omfattar avancerade digitala mätare, distributionsautomation, kommunikationssystem och distribuerade energiresurser.

Andelen förnybar lokal elproduktion kommer att fortsätta att öka i betydelse i framtidens distributionsnät. Integrationen av lokal produktion kommer att påverka nätet tekniskt på en rad olika sätt och ge betydelsefulla effekter på framtidens nätinфраstruktur.

Den lokala produktionen kan ha inverkan på system såsom spänningskontroll, reservkraftsmatning och en förbättrad tillförlitlighet. För att förstå effekterna av lokal reservkraft för tillförlitligheten och hur den förbättrade tillförlitligheten kan påverkas av en eventuell nätförenkling, har två fall utformats och studerats i detta kapitel.

Med tanke på att linjen nedströms BS3 i det nät som studerats skulle lämnas spänningslös i händelse av ett fel på ledningen, läggs en lokal reservkraft G till i slutet av ledningen, nära lastpunkt 20 som visas i figur 10-1.

Antag att systemets huvudsakliga matning avbryts på grund av driftstopp uppströms från BS3. Det fortfarande felfria nätet nedströms försörjs då med el från den lokala reservmatningen G. Följande två fall utvärderas:

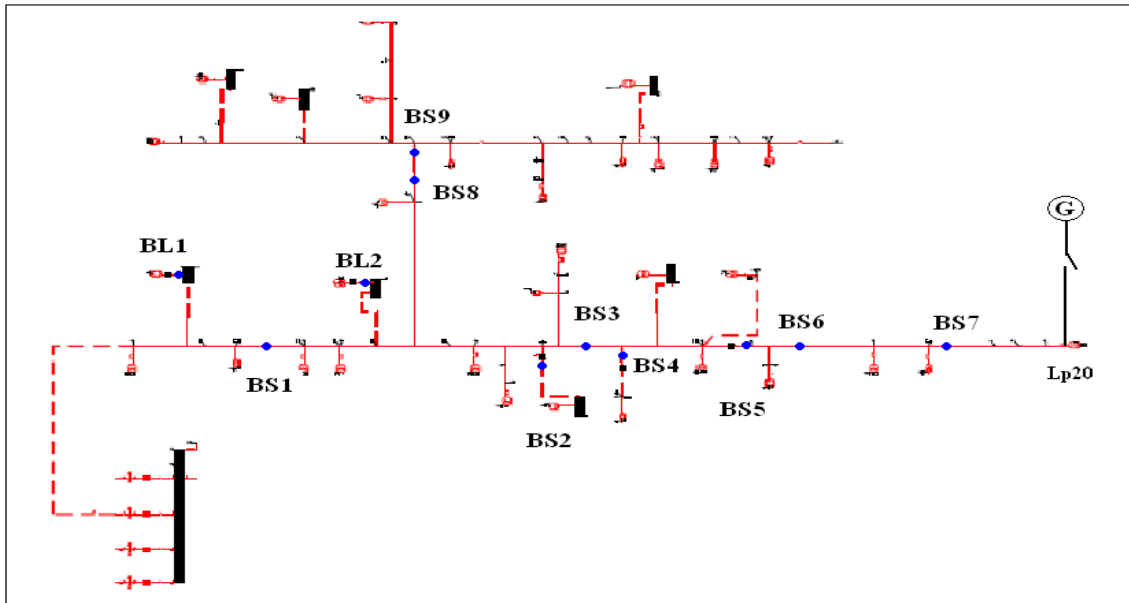
- Fall S6-1: samma som basfallet men med ett tillägg av en lokal reservkraft G, vid lastpunkt 20.
- Fall S6-2: samma som S6-1 men utan de fem kopplingsapparaterna: BL1, BS2, BS4, BS5 och BS7.

De beräknade indexen jämförs med basfallet. Resultaten presenteras i figur 10-2 till 10-7. Tabell 10-1 och 10-2 sammanfattar de beräknade indexen.

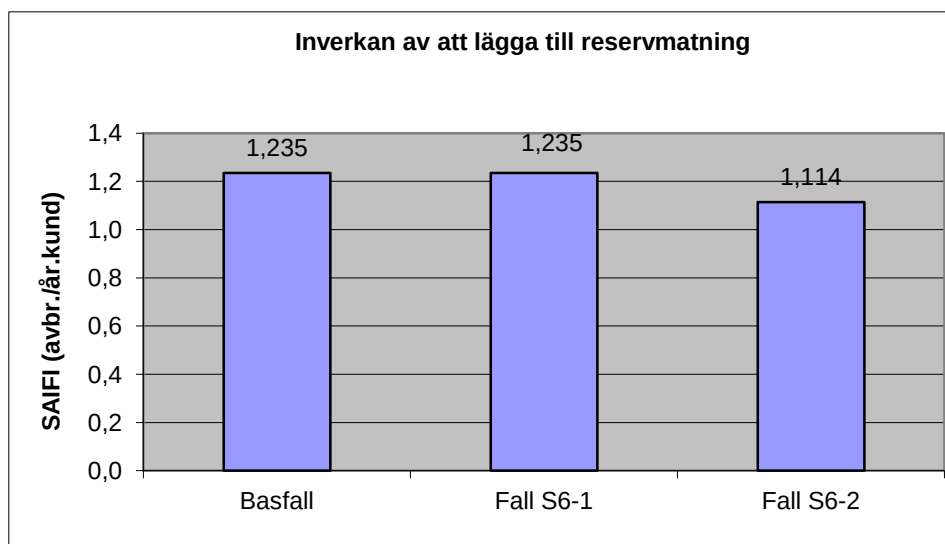
Det är självklart att tillägg av lokal reservkraft i fall S6-1 inte ökar antalet fel. Men den årliga otillgängligheten mätt som SAIDI och icke levererad energi minskar kraftigt, då nätet nedströms från BS3 nu snabbt kan återställas med reservkraft från den lokala produktionen. Resultatet i fall S6-1 bekräftar att tillhandahålla reservkraft är ett effektivt sätt att öka systemets tillförlitlighet. Kurvorna i figur 10-5 och 10-7 visar att kunder som är anslutna i lastpunkt 13-20 får mest nytta av att lägga till den lokala genereringen eftersom de är direkt anslutna till reservkraften.

Resultaten av fall S6-2 visar att en förenkling av nätet ytterligare skulle kunna förbättra tillförlitligheten genom att minska antalet felfunktioner i utrustningen. Den relativa felfrekvensen som mäts med SAIFI minskar i fall

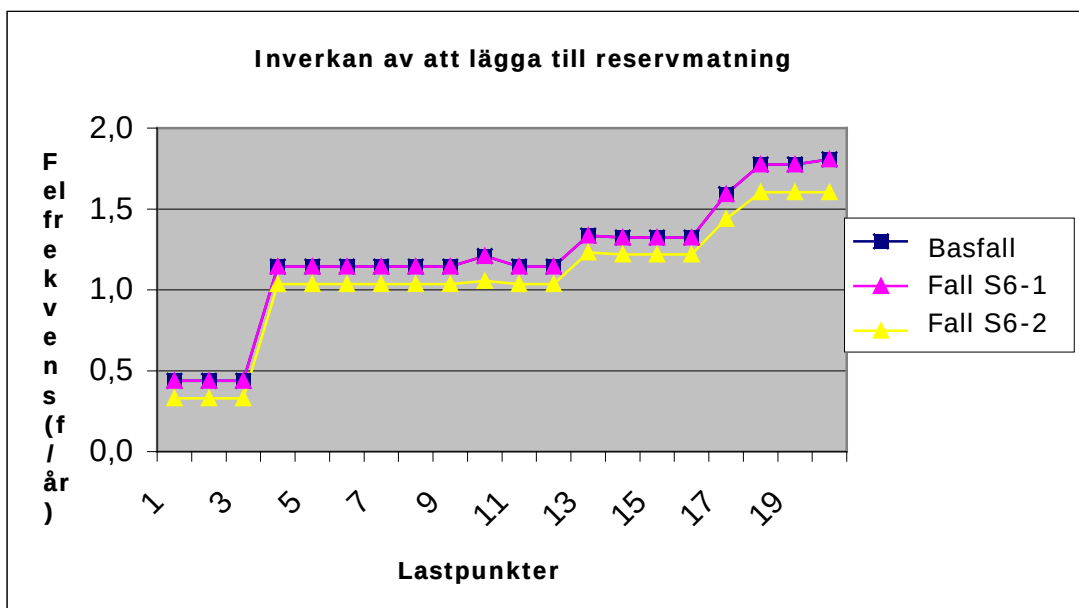
S6-2 jämfört med basfallet vilket framgår i figur 10-2. Detta innebär att det är gynnsamt att överväga möjligheten att förenkla nätet vid införandet av distribuerad produktion och lokal matningsreserv i nät för att säkerställa kostnadseffektiva investeringar i framtida system.



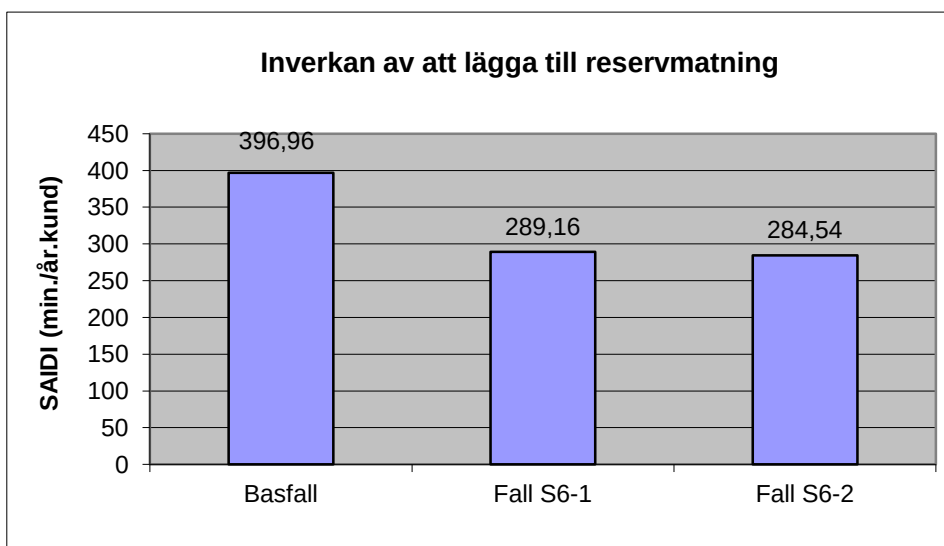
Figur 10-1: En lokal reservkraftkälla vid lastpunkt 20.



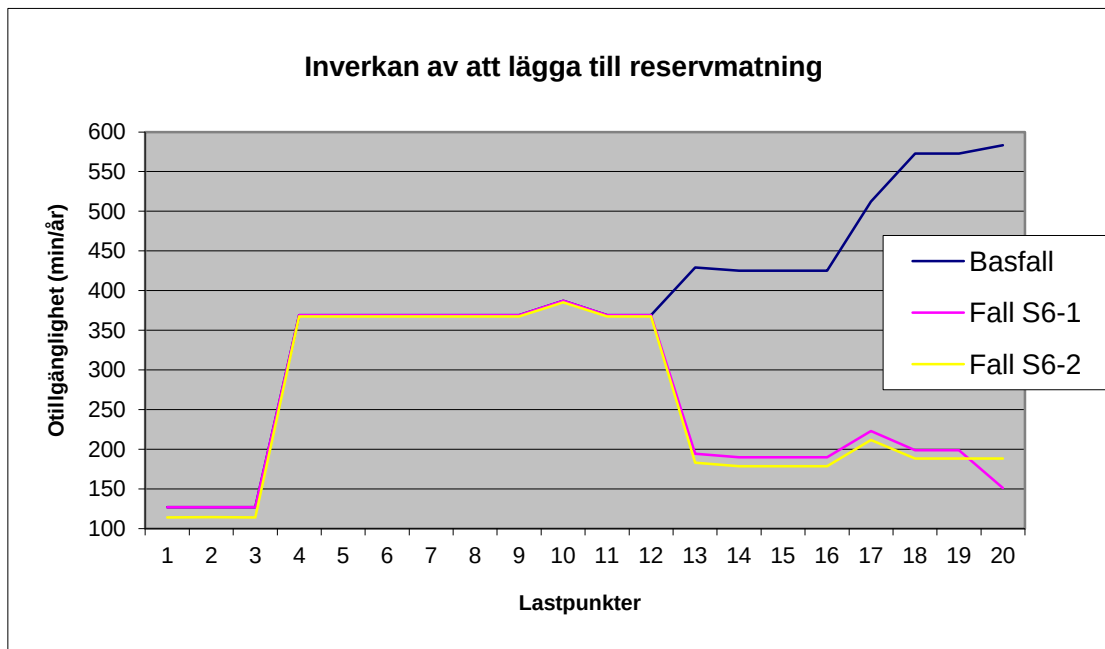
Figur 10-2: Resultat för fallstudie S6 - SAIFI.



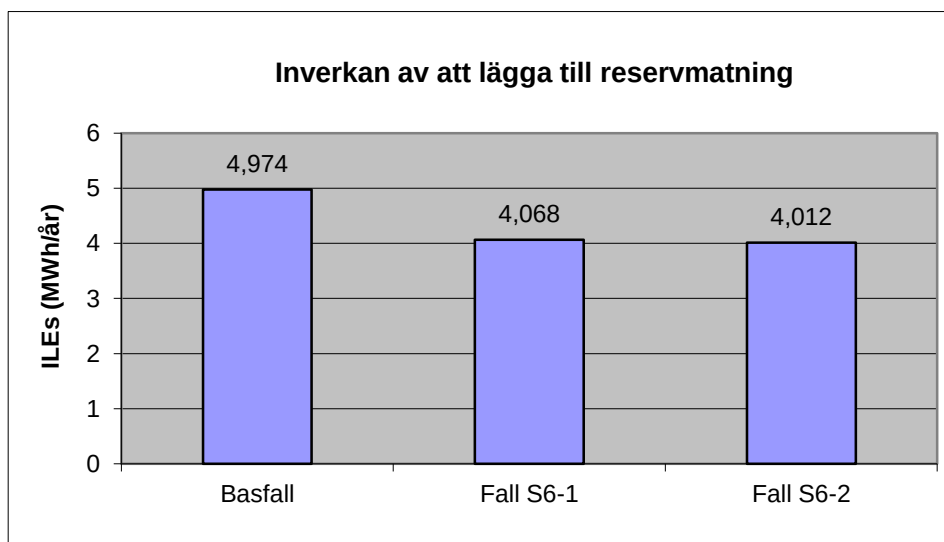
Figur 10-3: Resultat för fallstudie S6 – Felfrekvens per lastpunkt.



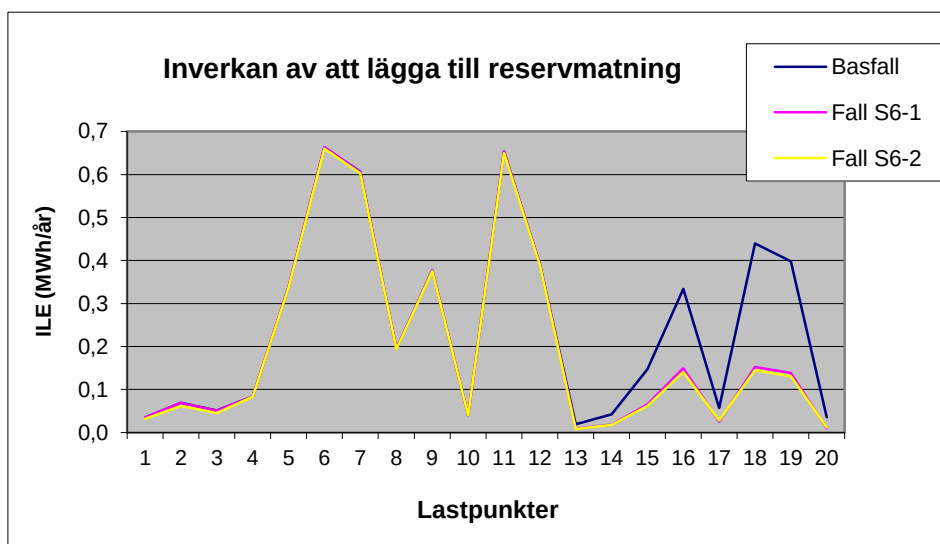
Figur 10-4: Resultat för fallstudie S6 - SAIDI.



Figur 10-5: Resultat för fallstudie S6 – Otillgänglighet per lastpunkt.



Figur 10-6: Resultat för fallstudie S6 – Icke levererad energi på systemnivå.



Figur 10-7: Resultat för fallstudie S6 – Icke levererad energi per lastpunkt.

Tabell 10-1: Resultat för fall S6-1.

Fall: S6-1: Samma som basfallet, men med reservmatning vid lastpunkt 20				
Lastpunkt	λ (f/år)	U (min/år)	r (h/f)	ILE (MWh/år)
1	0,437	126,9	4,84	0,035
2	0,437	127,0	4,84	0,069
3	0,437	126,9	4,84	0,051
4	1,143	369,0	5,38	0,084
5	1,143	369,0	5,38	0,338
6	1,143	369,2	5,38	0,663
7	1,143	369,0	5,38	0,606
8	1,143	369,0	5,38	0,194
9	1,143	369,0	5,38	0,377
10	1,210	387,0	5,33	0,040
11	1,143	369,0	5,38	0,653
12	1,143	369,0	5,38	0,391
13	1,336	194,1	2,42	0,009
14	1,324	190,0	2,39	0,019
15	1,324	190,0	2,39	0,066
16	1,324	190,0	2,39	0,149
17	1,591	222,9	2,34	0,025
18	1,776	198,8	1,87	0,153
19	1,776	198,8	1,87	0,138
20	1,806	150,9	1,39	0,009
SAIFI (avbr.år.kund)	SAIDI (min./år.kund)	ILEs (MWh/år)		
1,235	289,156	4,068		

Tabell 10-2: Resultat för fall S6-2.

Fall: S6-2: Samma som fall S6-1, men med fem forsk borttagna.				
Lastpunkt	λ (f/år)	U (min/år)	r (h/f)	ILE (MWh/år)
1	0,330	114,2	5,77	0,032
2	0,330	114,3	5,78	0,062
3	0,330	114,2	5,77	0,045
4	1,036	367,2	5,91	0,083
5	1,036	367,2	5,91	0,337
6	1,036	367,3	5,91	0,660
7	1,036	367,2	5,91	0,603
8	1,036	367,2	5,91	0,193
9	1,036	367,2	5,91	0,375
10	1,055	385,2	6,09	0,040
11	1,036	367,2	5,91	0,649
12	1,036	367,2	5,91	0,389
13	1,231	182,8	2,48	0,008
14	1,220	178,8	2,44	0,018
15	1,220	178,7	2,44	0,062
16	1,220	178,7	2,44	0,141
17	1,439	251,8	2,92	0,028
18	1,604	188,4	1,96	0,145
19	1,604	188,4	1,96	0,131
20	1,604	188,4	1,96	0,012
SAIFI (avbr./år.kund)	SAIDI (min./år.kund)	ILEs (MWh/år)		
1,114	284,538	4,012		

11 Analys av stadsnät

Ett stadsdistributionsnät förser en stad med elkraft. Dess topologiska struktur kännetecknas av slingor och maskade jordkabelnät. Idag har underjordiska distributionsnät blivit en väletablerad och viktig del i elnätet och måste leverera elkraft med hög tillförlitlighet till stadens industri, handel och hushåll.

Städernas distributionssystem brottas, precis som landsbygdsnät, med problemet med en föråldrad infrastruktur, konventionella mönster och ökade kund- och samhällskrav på högre tillförlitlighet och leverans kvalitet. Ekonomisk press och krav på hög tillförlitlighet har tvingat elbolag att söka effektiva sätt att hantera sina stadsdistributionsystem. Förutom ökade investeringar i förstärkta nät, ger nätbolagen ytterligare tyngd åt optimal systemplanering, design och konstruktion och tillförlitlig uppbyggnad av det framtida underjordiska stadsnätet.

Detta kapitel och de efterföljande kapitlen 12-17 analyserar inneboende tillförlitlighet i ett stadsdistributionsystem. Analysen fokuserar på möjligheterna att förenkla nätstruktur och systemdesign med fokus på tillförlitlighet och kvantifiering. Tillförlitlighetens kvantifiering förknippas med olika systemdesignalternativ och nätförändringar, inklusive anslutning av reservmatning och användning av nätkomponenter. Analysen syftar till att ge mer underlag och främja tekniska metoder som bidrar till utvecklingen av ekonomiska och pålitliga stadsdistributionsystem för framtiden.

11.1 Studerade stadsnät

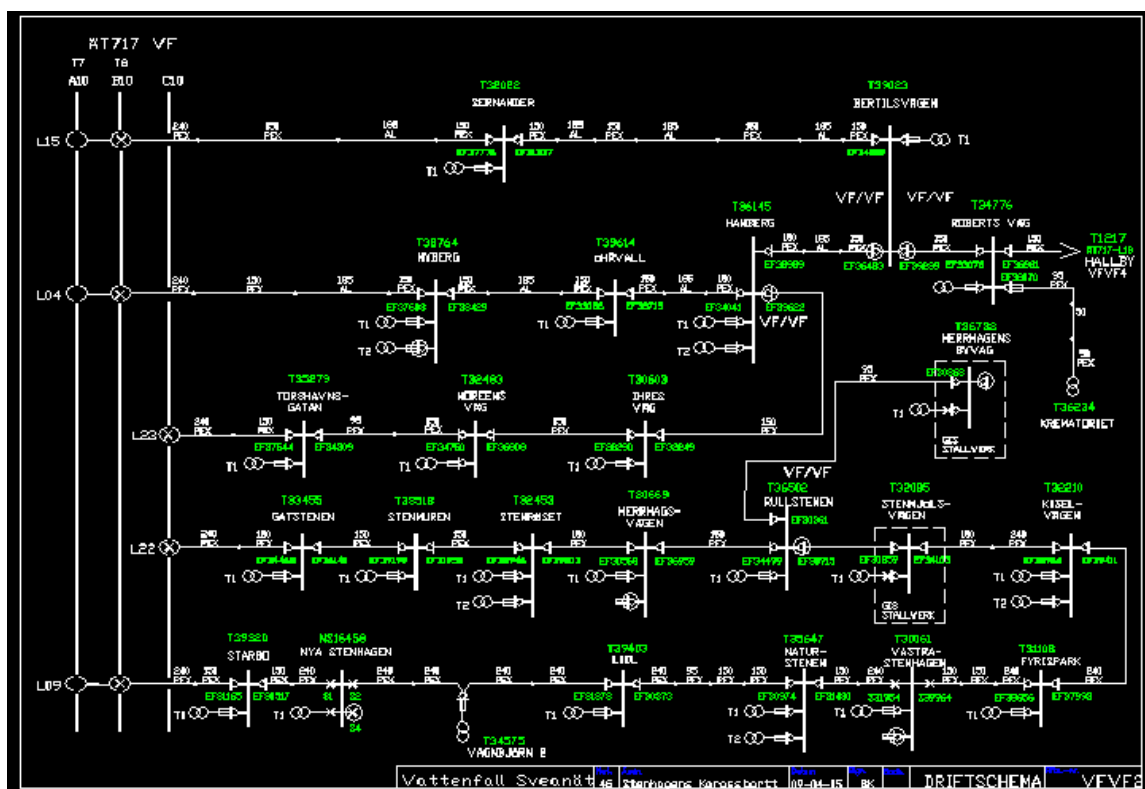
Systemet som studerats är ett typiskt stadsnät från Vattenfall Distribution Norden, Uppsala väst. Det har typiska strukturella egenskaper för kraftnät i stora städer. Nätverket består av jordkabel som levererar ström från primära transformatorstationer till nätstationer. En utgående linje börjar med en brytare med tillhörande frånskiljare i den primära transformatorstationen och går sedan runt i aktuellt område. En linje är vanligtvis ansluten till andra linjer genom normalt öppna sektioneringspunkter.

Från en matarledning får ett antal avgreningar anslutas för att täcka effektbehovet för området. Avgreningarna skyddas normalt av säkringar och är anslutna till matarledningen via säkringslastfrånskiljare. Ett antal lastfrånskiljare installeras längs matarledningen för att möjliggöra omkonfigureringar.

För att ledningar ska kunna passera nära varje kund, använder varje primär transformatorstation flera utgående linjer för att täcka distributionsområdet. I de flesta fall är dessa ledningar sammanlänkade och förenade genom normalt öppna sektioneringsfrånskiljare för att möjliggöra reservmatning.

Figur 11-1 visar det maskade jordkabelnät som studerats. Nätet kopplar samman två primära transformatorstationer och distribuerar ström till 31 nätstationer utspridda i området. Den totala längden jordkabel i nätet är ca

30 km. Inga luftledningningar används. Tabell 11-1 ger en översikt över nätets ingående delar.



Figur 11-1: Studerät stadsnät.

Tabell 11-1: Sammanställning av elnätskomponenter

Komponent	Antal
Primär transformatorstation (<i>Primary substation</i>)	2
Nätstation (<i>Secondary substation</i>)	31
Jordkabel (<i>Underground cable</i>)	29,51 km
Brytare (<i>Circuit breaker</i>)	7
Säkringslastfrånskiljare (<i>Fuse-load-switch</i>)	87
Frånskiljare (<i>Disconnect-switch</i>)	14
Distributionstransformator (<i>Distribution transformer</i>)	36
Kunder (<i>Customer</i>)	3813
Kundlast (<i>Customer load</i>)	8906 kW

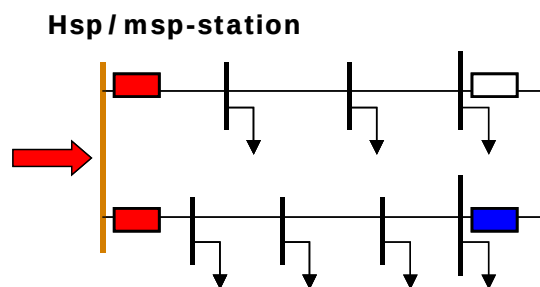
I nätstationen sänker distributionstransformatorer spänningen från 11 kV till 0,4 kV för anslutning av de kunder som ligger under den. Totalt 3 813 kunder betjänas av systemet. Den totala genomsnittliga lasten i nätet är ca 8906 kW.

11.2 Strukturella egenskaper

Även om det studerade nätet är ett typiskt lokalnätssystem är det erkänt att systemet byggdes och konstruerades med vanliga och grundläggande konfigurationer för stadsnät. För att förstå strukturen i systemet beskrivs dessa gängse konfigurationer nedan.

A. Öppen slingkonfiguration

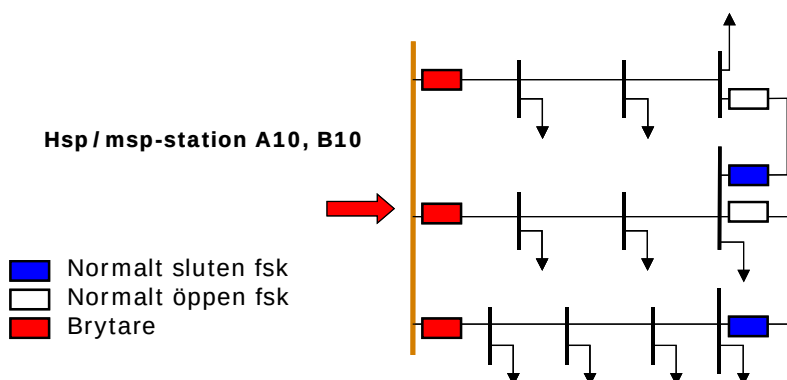
En enkel och vanligt förekommande grundläggande konfiguration av matarledningar för mellanspänning visas i figur 11-2. Den har två radiella linjer som utgår separat från en matningspunkt genom lastområdet och är sammanbundna till en slinga med normalt öppna franskiljare. I normal drift fungerar systemet effektivt som två radiella matarledningar. I denna konfiguration har ledningar och andra komponenter tillräckligt med reservkapacitet för att mata den last som kan anslutas genom omsektionering av slingan. Fel och bortkoppling av matningspunkten för en utgående linje kommer inte att resultera i ett längre strömavbrott. Lastpunkter som ansluter enskilda distributionslaster har någon form av bortkopplingsutrustning för inkommande och utgående ledning och för transformatorn. Manuell, automatisk eller fjärrstyrd omkoppling förekommer för isolering av felaktiga sektioner och inkoppling av alternativ matningsväg så att elleveransen till felfria sektioner snabbt kan återställas.



Figur 11-2: Öppen slingkonfiguration.

B. Dubbel öppen slingkonfiguration

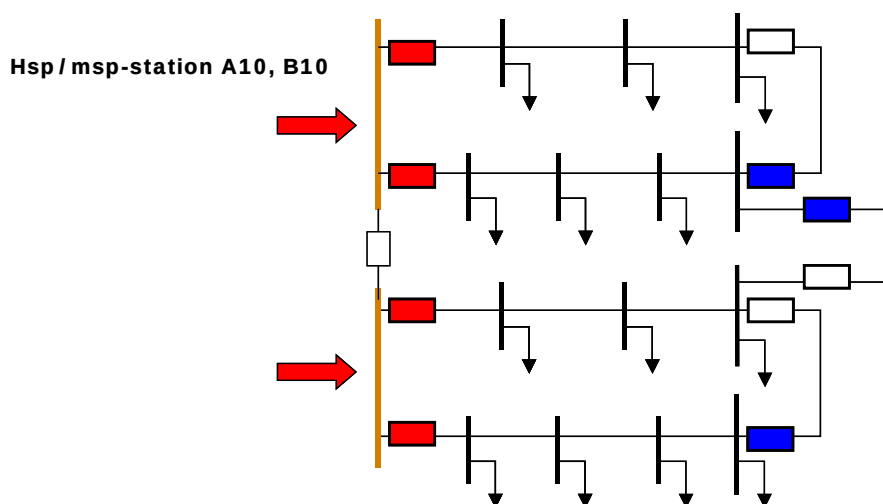
En systemkonstruktion liknande öppen slingkonfiguration, men som med ytterligare en utgående linje bildar två slingor, visas i figur 11-3. Detta system består av tre radiella matarledningar som kan utgå från samma eller olika skenor i en primär transformatorstation. Varje utgående ledning har normalt kapacitetsreserv att mata last i hela delnätet vid händelse av avbrott i en annan matarledning. Förlust av någon utgående ledning kommer att leda till avbrott tills lasten sektionerats om till de andra linjerna av automatiska, fjärrstyrda eller manuellt styrda sektioneringsomkopplare. Denna konfiguration kostar mer än parallella radiella linjer men kan avsevärt minska felfrekvens och avbrottsvaraktighet för kunderna.



Figur 11-3: Dubbel öppen slingkonfiguration.

C. Multipel öppen slingkonfiguration

En nätconfiguration som består av multipla öppna slingor visas i figur 11-4.

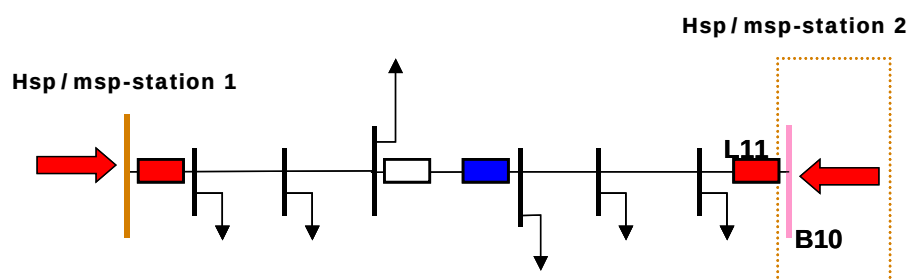


Figur 11-4: Multipla öppna slingor.

Systemet liknar konstruktionen för två öppna slingor, men med en extra normalt öppen sammankopplingsfrånskiljare mellan de två slingorna. Matningen kommer antingen från samma eller olika skenor i en primär transformatorstation. Belastningsflödena kan vara dubbelriktade, och ett öppet eller felaktigt slingavsnitt kan matas från andra hållet (*back-fed*). En parallell slinga kan snabbt återställa elleveransen genom sammankopplingsfrånskiljaren. Systemet skulle normalt klara av att upprätthålla leveransen när ett avbrott inträffat i en slinga. Manuell eller fjärrstyrd kopplingsutrustning används ofta i kombination med två slingor.

D. Öppen slinga mellan stationer

En vanlig slingstruktur för mellanspänning visas i figur 11-5. Denna konfiguration förbinder två linjer, sammanlänkade i ändpunkterna med en normalt öppen sammankopplingsfrånskiljare. De två utgående linjerna matas från två olika primära transformatorstationer. Denna öppna ringkonfiguration ökar tillförlitligheten genom att låta kunderna på en felaktig ledning matas från den andra slingans station genom att stänga sammankopplingsfrånskiljaren. Då extra matningspunkt finns tillgänglig kan den här konfigurationen upprätthålla leveransen även vid ett fel på en primär transformatorstation.



Figur 11-5: Öppen slinga mellan stationer.

11.3 Tillförlitlighetsdata

Komponenttillförlitlighetsdata är en viktig aspekt vid tillförlitlighetsanalyser. Med tanke på att de bästa parametrarna för beräkningar av systemets tillförlitlighet är de uppgifter som kommer från systemet som studeras, användes uppgifter från Vattenfall Distribution Norden [10, 11]. Tabell 11-2 sammanfattar tillförlitlighetsdata för komponenterna som används i tillförlitlighetsanalyserna. Omkopplingstid för manuella kopplingsapparater är satt till 1 timme i alla beräkningarna.

Med hjälp av dessa uppgifter, undersöker de efterföljande kapitlen 12-17 möjligheterna att förenkla distributionssystemet. En rad fallstudier utfördes för att analysera den inneboende tillförlitligheten på både system- och lastpunktsnivå förknippade med olika förändringar av slingkonfigurationer och byte av komponenttyper.

Tabell 11-2: Tillförlitlighetsdata använd vid stadsnätanalys.

Utrustning	Källa	Felfrekvens (fel/100enh.år), (fel/100km.år)	Avbrottslängd (h/f) (inkl. sektionering)	Otillgänglighet (%)
Msp jordkabel (Jordkabel PEX 10 -20 kV)		0,5	10,5	0,001
Distributionstransformator 10-20/0.4 kV		1,0	5,0	0,001
Säkringslastfrånskiljare 10 - 20 kV	Vattenfall	1,3	4,0	0,001
Frånskiljare 10-20 kV		1,3	4,0	0,001
Brytare		1,0	4,0	0,0005
Primär transformatorstation		0,1	4,0	0,00005
Säkring		Sannolikhet att fastna: 5%		

- Basfall: det befintliga nätet med alla tre förbindelseledningar, TC1, TC2 och TC3.

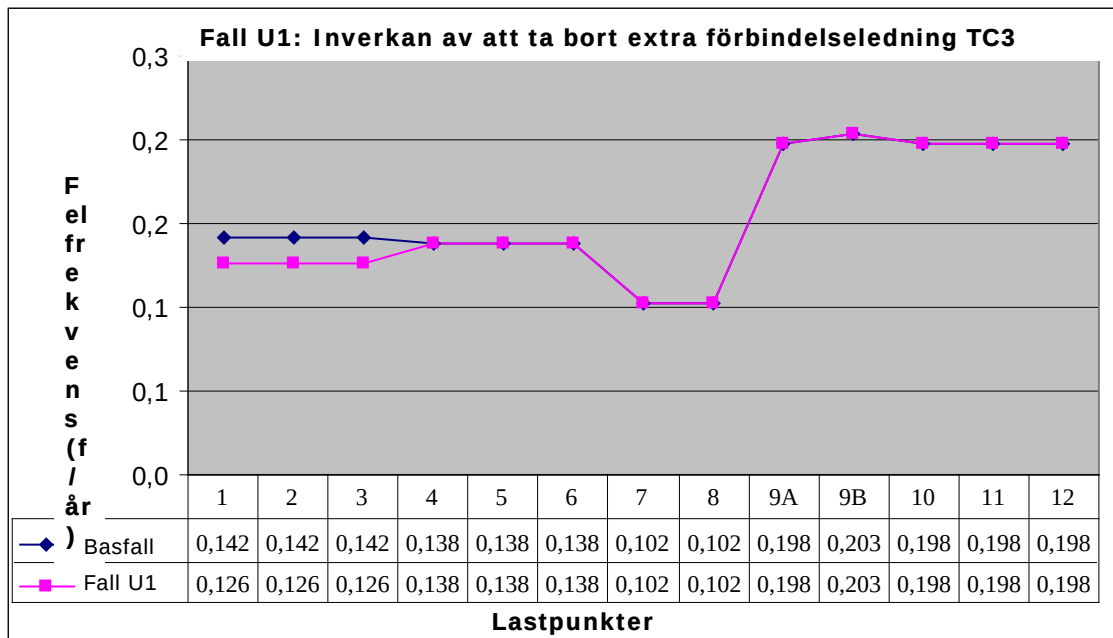
- Fall U1: Samma som basfallet men utan förbindelseledningen TC3.

Tabell 12-1 och figurerna 12-2, 12-3 och 12-4 sammanfattar resultaten av studien. Som framgår av tabell 12-1, resulterar borttagning av förbindelseledningen TC3 i minskade värden på SAIFI, SAIDI, och ILE. Detta innebär att byggnation av en extra förbindelseledning TC3 inte ger någon tillförlitlighetsnytta och genom att ta bort denna förbindelseledning skulle inte nätens tillförlitlighet påverkas negativt.

Genom att undersöka lastpunktsindex i figur 12-2, 12-3 och 12-4, kan man se att borttagning av förbindelseledning TC3 leder till minskad felfrekvens och minskade avbrottstider vid lastpunkt 1-3. Denna minskning av felfrekvensen resulterar i minskad icke levererad energi i dessa lastpunkter.

Tabell 12-1: Resultat för fallstudie U1 – SAIFI, SAIDI och icke levererad energi på systemnivå.

Fall	SAIFI (avbr./år.kund)	SAIDI (min./år.kund)	ILEs (MWh/år)
Basfall	0,138	18,36	1,639
Fall U1	0,132	17,19	1,602

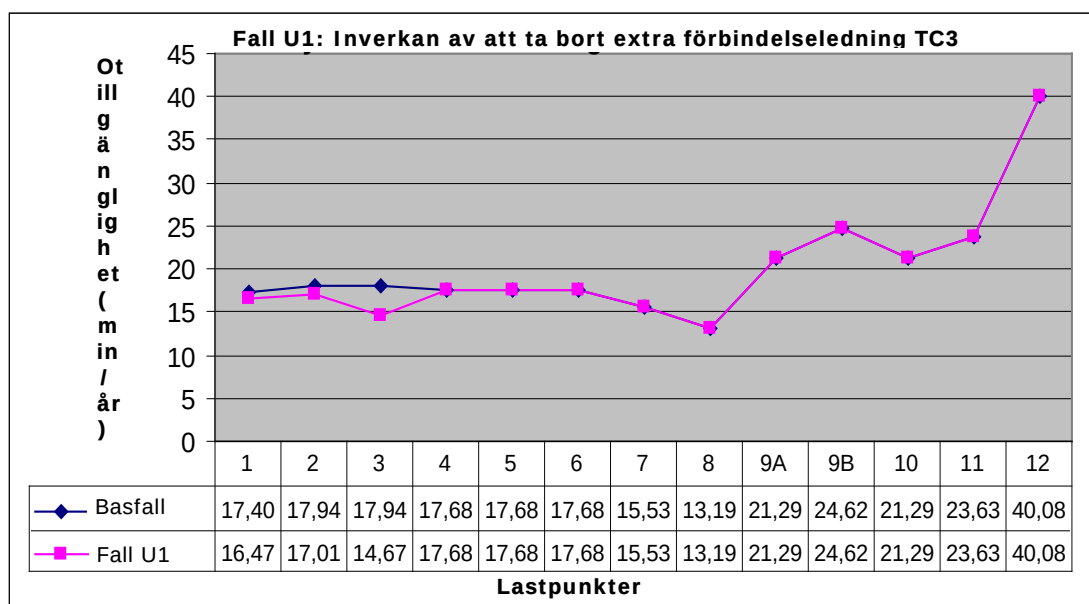


Figur 12-2: Resultat för fallstudie U1 – Felfrekvens per lastpunkt.

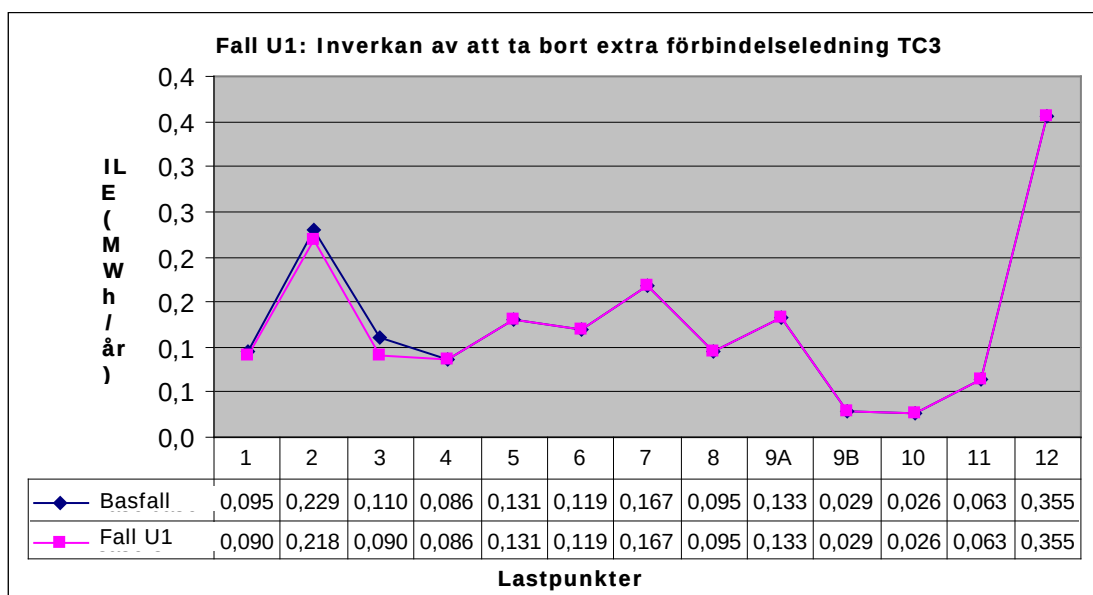
Nätet var, genom förbindelseledningar mellan skenor vid stationen ÄT7171 och genom förbindelseledningarna TC1 och TC2, väl maskat mellan ledningar

och stationer. Att lägga till förbindelseledningen TC3 bidrar inte till systemets tillförlitlighet. Denna extra anslutning inför dock fler komponenter i systemet. När dessa komponenter fallerar, till exempel vid en kortslutning på lastfrånskiljare BL34 kommer brytaren vid ledning L04 lösa ut och kunderna i lastpunkterna 1-3 får avbrott. Tillförlitligheten i dessa lastpunkter är därför bättre utan den extra förbindelseledningen.

Sammankopplade och maskade nät ökar tillförlitligheten. Rimliga sammankopplingar av ledningar, slingor och stationer ger tillförlitlighetsnytta. Men extra hög grad av sammankoppling kommer inte nödvändigtvis att ge positiv påverkan på systemets tillförlitlighet. Försök därför inte att bygga förbindelseledningar överallt i nätet.



Figur 12-3: Resultat för fallstudie U1 – Otillgänglighet per lastpunkt.

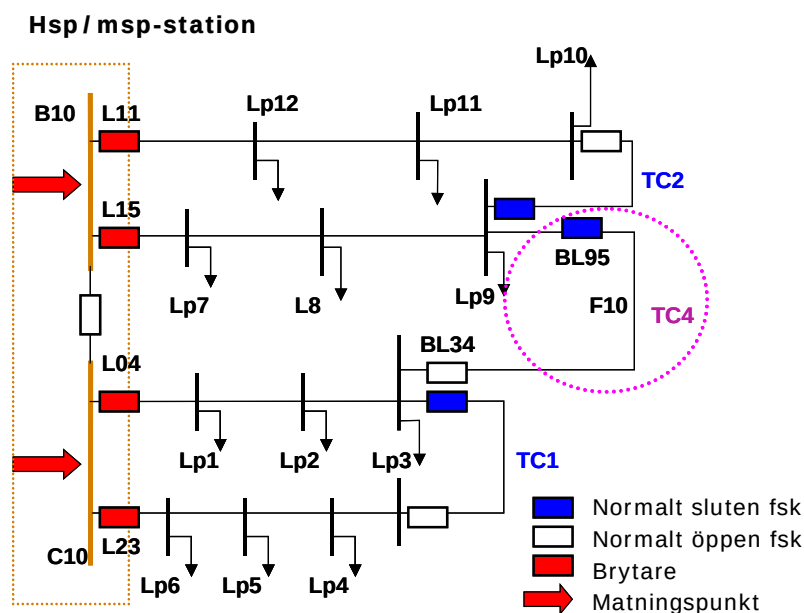


Figur 12-4: Resultat för fallstudie U1 – Icke levererad energi per lastpunkt.

13 Fallstudie U2: Effekten av borttagning av förbindelseledning mellan två sammankopplade slingor

En vanlig konfiguration i stadsnät är slingstruktur. Ett antal lastpunkter är förbundna med en ringformad matarledning, vilken i sin tur är sammankopplad med andra slingor eller ledningar.

Studera nätstrukturen som visas i figur 13-1. Fyra linjer går ut från den primära stationen. Två linjer från samma samlingsskena bildar en slinga genom en normalt öppen förbindelseledning. De två samlingsskenorna är sammankopplade med en normalt öppen frånskiljare, vilket sammanbinder de två slingorna i deras matningspunkter. De två slingorna är också sammankopplade i sina slutpunkter genom förbindelseledningen TC4.



Figur 13-1: Nätkonfiguration studerad i fall U2.

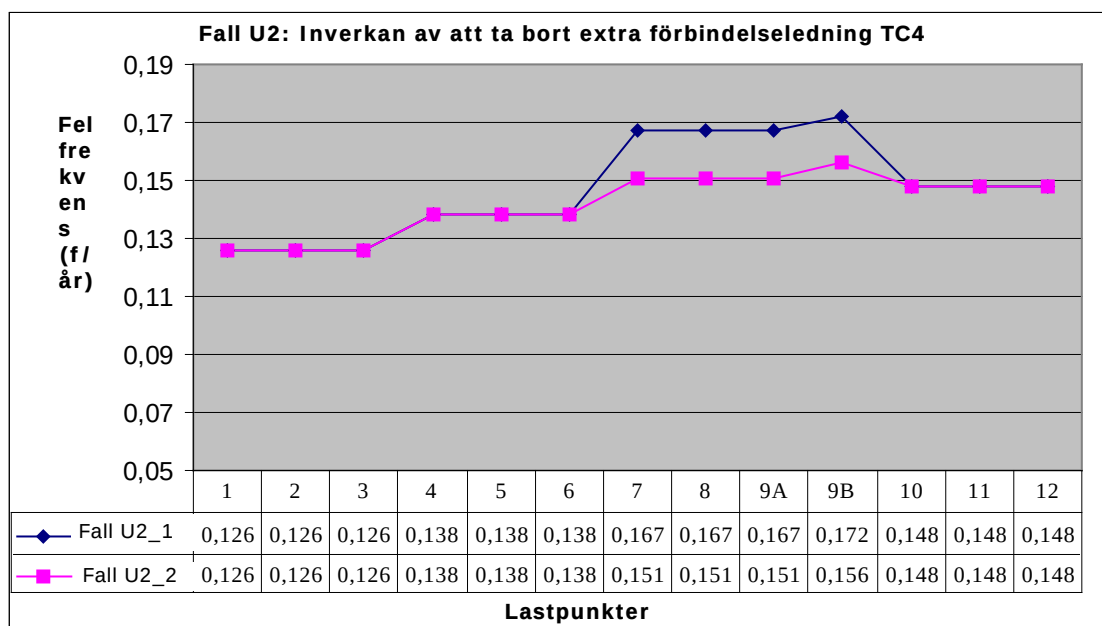
För att förstå hur mycket denna förbindelseledning TC4 bidrar till systemets tillförlitlighet, studeras två fall:

- Fall U2_1: Nät av två ringslingor med förbindelseledning TC4.
- Fall U2_2: Samma som fall U2-1, men utan förbindelseledning TC4.

Resultat av beräkningarna finns i tabell 13-1 och figur 13-2, 13-3 och 13-4. Som framgår av tabell 13-1, minskar borttagning av förbindelseledningen TC4 SAIFI, SAIDI, och icke levererad energi. Detta innebär att införande av den extra förbindelseledningen TC4 i detta fall inte bidrar till en förbättring av systemets tillförlitlighet.

Tabell 13-1: Resultat för fallstudie U2 – SAIFI, SAIDI och icke levererad energi på systemnivå.

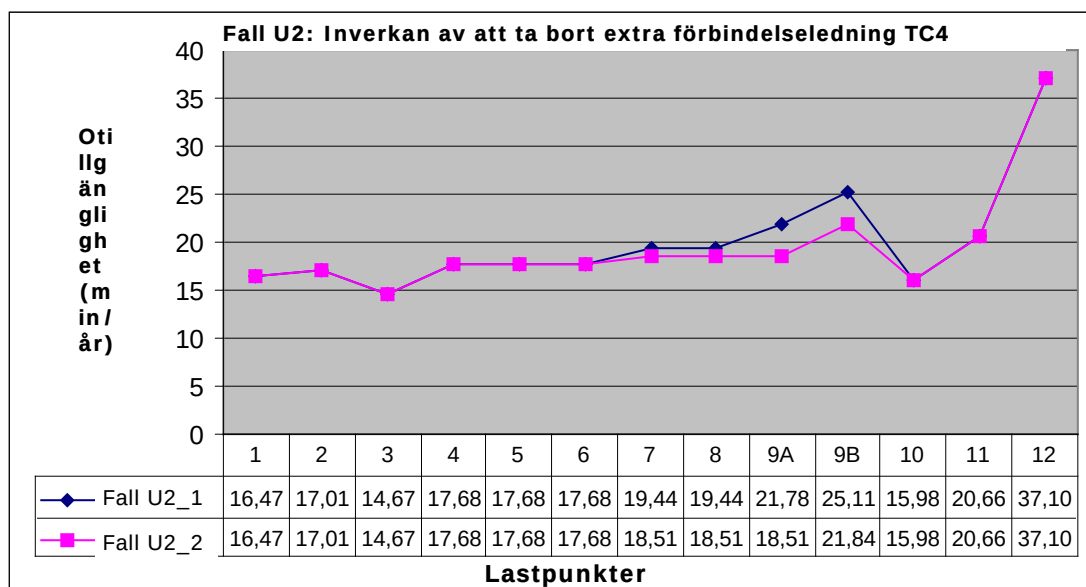
Fall	SAIFI (avbr./år.kund)	SAIDI (min./år.kund)	ILEs (MWh/år)
Fall U2_1	0,143	18,04	1,652
Fall U2_2	0,138	17,67	1,611



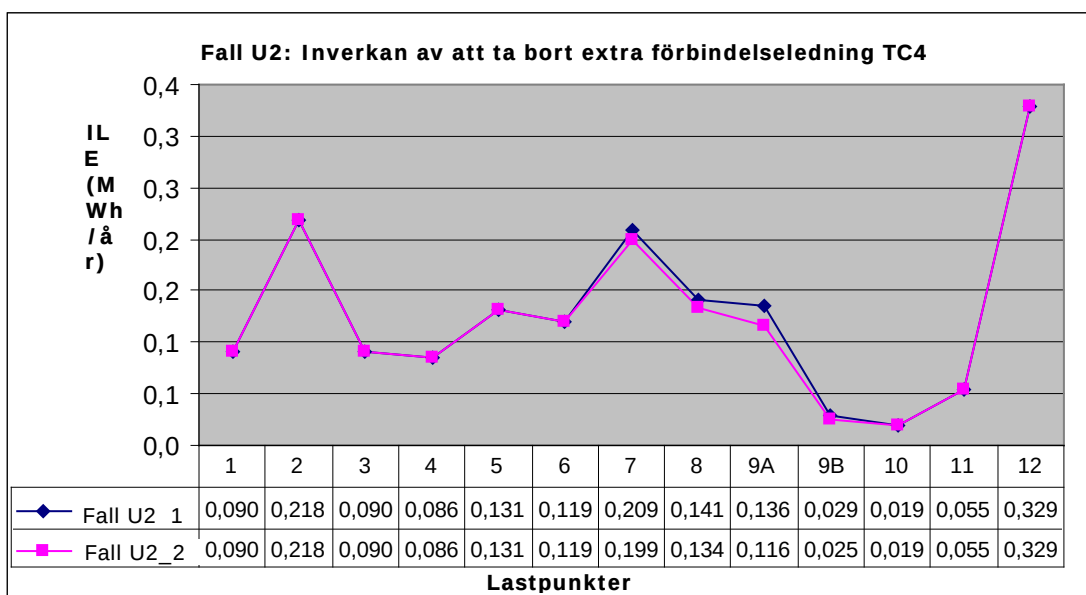
Figur 13-2: Resultat för fallstudie U2 – Felfrekvens per lastpunkt.

Studera lastpunktsindex som visas i figurerna 13-2, 13-3 och 13-4. Man kan observera att borttagning av förbindelseledningen TC4 minskar felfrekvens och otillgänglighet vid lastpunkterna 7-9, och denna minskning leder till en minskning av icke levererad energi i dessa lastpunkter. Detta beror på att avskaffandet av linjen TC4 eliminerar de avbrott på linje L15 som kan orsakas av komponentfel associerade med linje TC4.

Resultaten av studien visar att när två slingor är sammankopplade i matningspunkten, ökar inte en extra förbindelseledning mellan dem nödvändigtvis systemets tillförlitlighet. Borttagning av denna linje påverkar därför inte tillförlitligheten negativt.



Figur 13-3: Resultat för fallstudie U2 – Oti llg än gli gh et per lastpunkt.

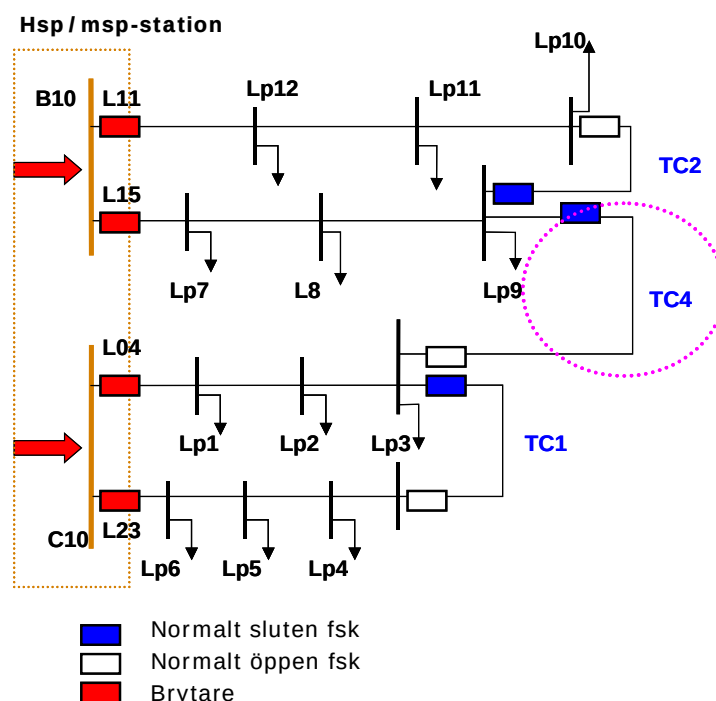


Figur 13-4: Resultat för fallstudie U2 – Icke levererad energi per lastpunkt.

14 Fallstudie U3: Effekten av att ta bort förbindelseledning mellan två separata slingor

Ett grundläggande krav för maskade stadsdistributionssystem, är att erbjuda alternativ matning för lastpunkter för att kunna öka tillgängligheten på begäran. I den tidigare fallstudien U2 kan man se att när två slingor redan är sammankopplade, kommer en extra förbindelseledning mellan slingorna inte att ge ytterligare tillförlitlighetsförbättringar. Det är intressant att se hur ihopkoppling av separata slingor påverkar systemets tillförlitlighet. Detta fall undersöker denna inverkan.

Studera det maskade nätet som visas i figur 14-1. Linjerna L11 och L15 utgör en slinga ansluten till samlingsskena B10, och slingan bestående av linjerna L04 och L23 är ansluten till samlingsskena C10. De två skenorna är anslutna till varsin matande transformator och det finns ingen koppling mellan dessa två skenor.



Figur 14-1: Nätkonfiguration studerad i fall U3.

Studera följande två fall:

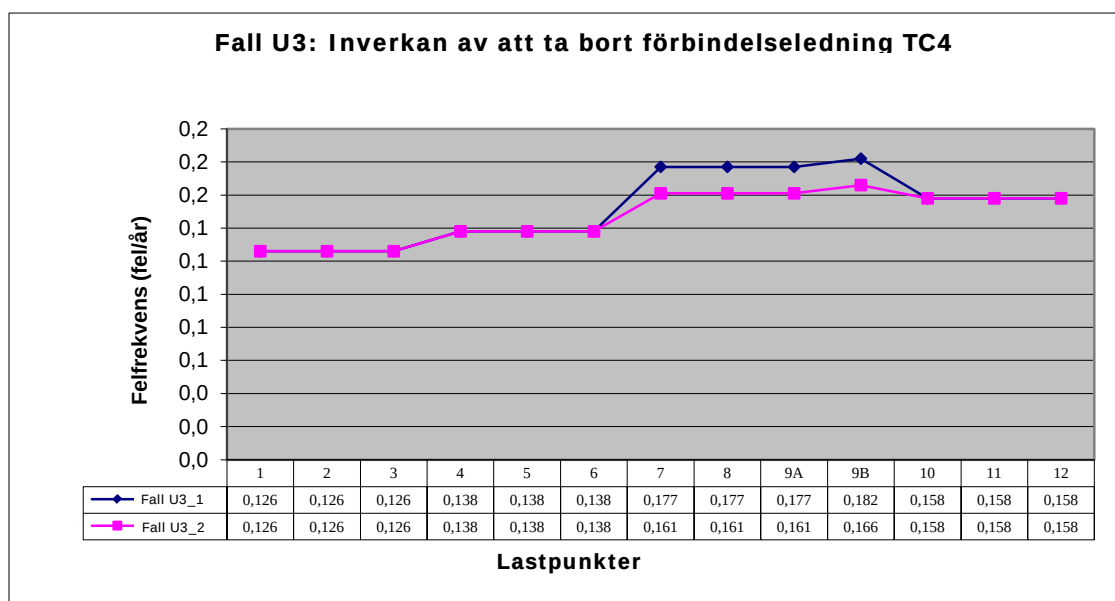
- Fall U3_1: nät med två slingor sammankopplade med förbindelseledningen TC4.
- Fall U3_2: samma som fall U3-1, men utan förbindelseledningen TC4.

Med samma tillförlitlighetsuppgifter som i fallstudie U2, beräknas tillförlitlighetsindex och lastpunktsindex. Resultaten presenteras i tabell 14-1 och figur 14-2, 14-3 och 14-4. Som väntat minskar felfrekvensen i lastpunkterna 7-9 när förbindelseledningen TC4 tas bort, vilket leder till minskad SAIFI i fall U3_2. Detta beror på att borttagandet av förbindelseledningen TC4 eliminerar komponentfel associerade med denna ledning.

De tydligt negativa effekterna på SAIDI och icke levererad energi vid borttagning av denna förbindelseledning ska dock observeras. Resultaten visas i tabell 14-1 och figur 14-3 och 14-4 och anger en försämring av tillförlitligheten vid borttagandet av förbindelseledning TC4. Både SAIDI och ILE ökar när förbindelseledningen mellan slingorna tas bort.

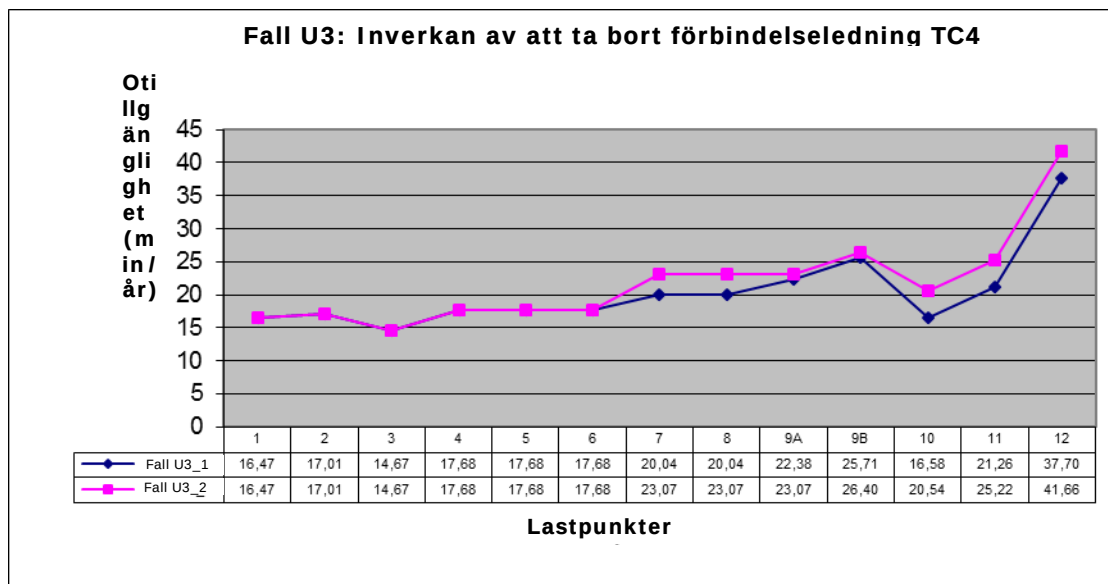
Tabell 14-1: Resultat av fallstudie U3 – SAIFI, SAIDI och icke levererad energi på systemnivå.

Fall	SAIFI (avbr./år.kund)	SAIDI (min./år.kund)	ILEs (MWh/år)
Fall U3_1	0,147	18,28	1,675
Fall U3_2	0,142	19,46	1,785

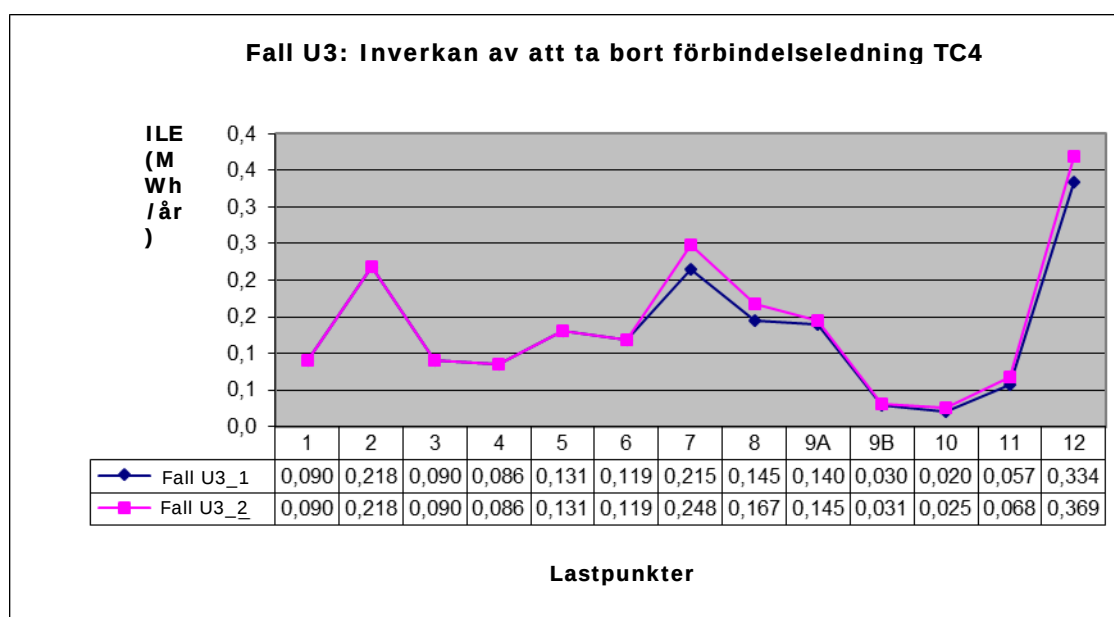


Figur 14-2: Resultat av fallstudie U3 – Felfrekvens per lastpunkt.

Analysen visar att det är viktigt att koppla samman separata slingor. Vid ett strömbavbrott, t.ex. ett fel i samlingsskena B10, kommer alla lastpunkter på linjerna L11 och L15 vara ur drift och de kan inte återställas förrän reparation av skenan är klar, om inte förbindelseledning TC4 finns. När det gäller sammankopplade nät, som i fall U3_1, kan leverans till lastpunkterna snabbt återställas innan reparationen har slutförts med tillgängligt stöd från den andra matningspunkten C10 genom förbindelseledningen TC4, och detta resulterar i minskat SAIDI och minskad icke levererad energi.



Figur 14-3: Resultat av fallstudie U3 – Otillgänglighet per lastpunkt.



Figur 14-4: Resultat av fallstudie U3 – Icke levererad energi per lastpunkt.

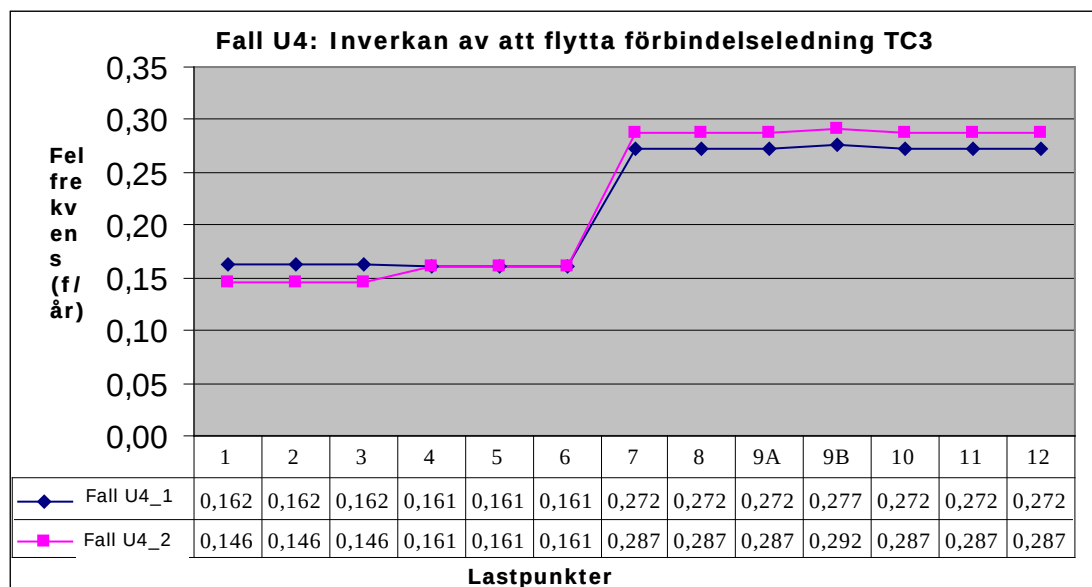
Följande två fall utvärderas:

- Fall U4_1: nätet maskas med förbindelseledning TC3 genom att ansluta linje L15 till den intilliggande slinga som består av linjerna L04-L23.
- Fall U4_2: samma som fall U4_1, men förbindelseledning TC3 flyttas för att anslutas mellan linje L15 och linje L11 utgående från station 2.

Resultatet av beräkningarna sammanfattas i tabell 15-1 och figur 15-2, 15-3 och 15-4. Som väntat förblir SAIFI densamma i båda fallen eftersom flytt av förbindelseledningen TC3 inte inför eller eliminerar komponentfel associerade med ledning TC3. Det är intressant att både SAIDI och ILE förbättras avsevärt i fall U4_2. SAIDI och ILE minskar med cirka 10% i fall U4_2 jämfört med fall U4_1. Detta innebär att placering av förbindelseledningen TC3 mellan linjerna L15 och L11 kan ge större förbättring i tillförlitlighet än att koppla ihop linjerna L15 och L04.

Tabell 15-1: Resultat av fallstudie U4 – SAIFI, SAIDI och icke levererad energi på systemnivå.

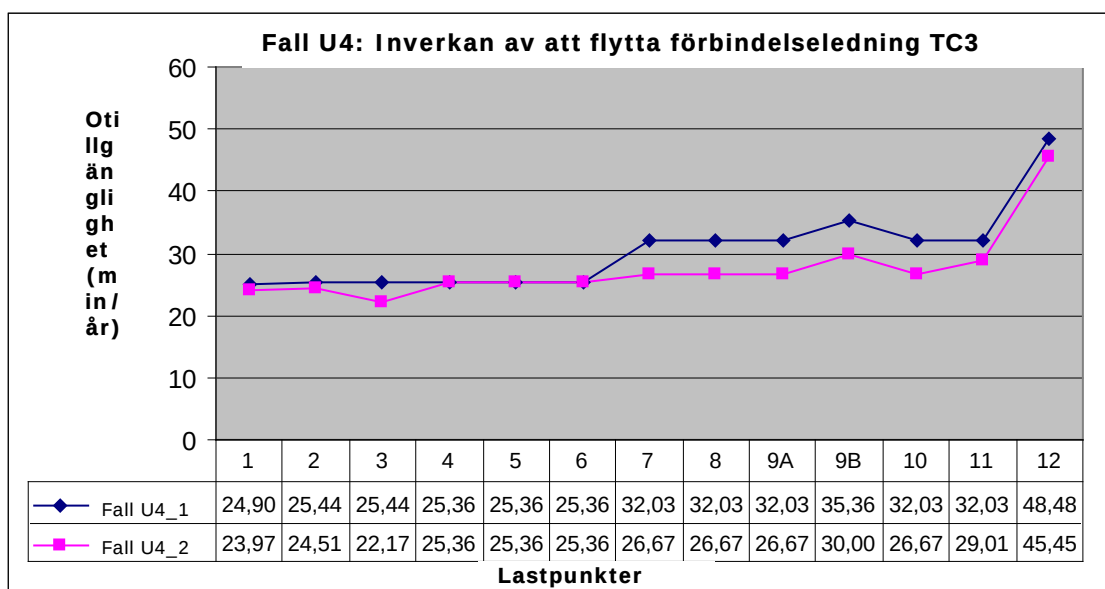
Fall	SAIFI (avbr./år.kund)	SAIDI (min./år.kund)	ILEs (MWh/år)
Fall U4_1	0,205	28,559	2,471
Fall U4_2	0,205	25,491	2,256



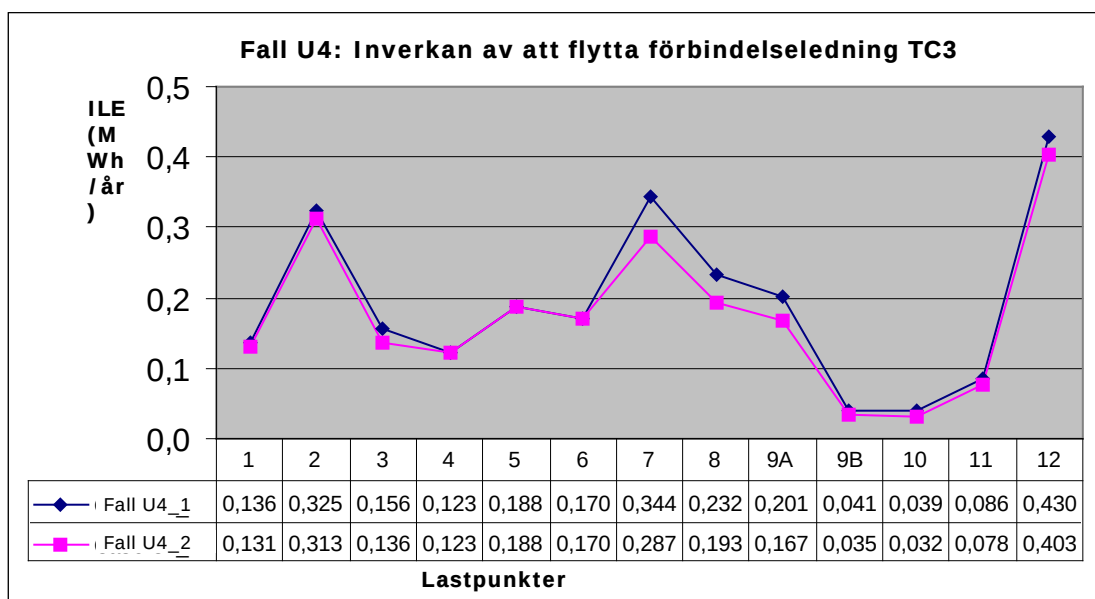
Figur 15-2: Resultat för fallstudie U4 – Felfrekvens per lastpunkt.

Figurerna 15-3 och 15-4 bekräftar att sammankoppling av linje L15 och station 2 vid U4_2 effektivt kan förbättra tillförlitligheten i lastpunkt 7-12. Vid problem att mata samlingsskena B10, kan leverans till lastpunkterna på L15 snabbt återställas genom matning från station 2 genom förbindelseledningen TC3 (fall U4_2), och därmed minska avbrottstiden, medan i fall U4_1 skulle alla lastpunkter vara utan elförsörjning tills reparationen är klar.

Resultaten av denna fallstudie visar återigen att ökad tillförlitlighet kan uppnås genom att bygga förbindelseledningar i stadsnäten och därmed få tillgång till reservmatning. Men de förbättringar som erhålls från förbindelseledningen påverkas av hur de placeras. Det är viktigt ta hänsyn till denna faktor i planeringsprocessen för att hitta de mest gynnsamma lösningarna.



Figur 15-3: Resultat av fallstudie U4 – Otilgänglighet per lastpunkt.



Figur 15-4: Resultat av fallstudie U4 – Icke levererad energi per lastpunkt

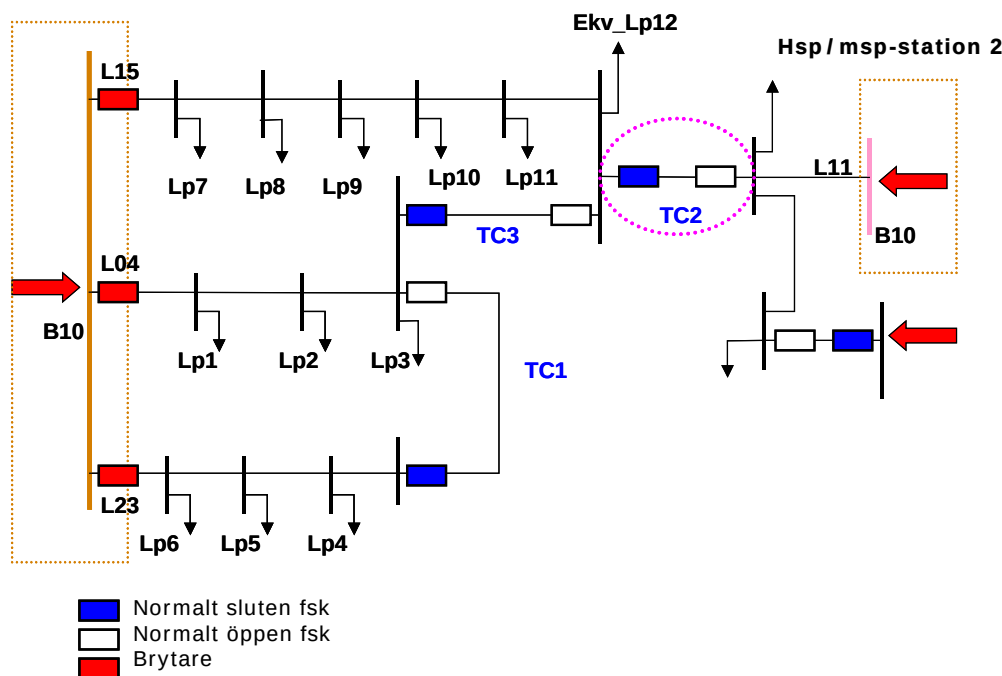
16 Fallstudie U5: Effekten av att lägga till förbindelser mellan stationer

I den tidigare fallstudien U4 visade det sig att en förbindelseledning som ansluter till intilliggande stationer effektivt höjer tillförlitligheten genom att låta strömlösa kunder matas från intilliggande stationer genom att sluta sammankopplingsfrånskiljare. I detta kapitel undersöks ytterligare en nätstruktur med förbindelseledning mellan stationer.

Betrakta nätet som visas i figur 16-1. Linje L15 och slingan från linje L04 till L23 är väl maskade med förbindelseledningar TC1 och TC3. Är det fördelaktigt för tillförlitligheten att införa en ytterligare förbindelseledning TC2? Om ja, hur mycket kommer denna linje förbättra tillförlitligheten? För att svara på frågorna, anges ett nytt fall på följande sätt:

- Fall U5: samma som fall U4_1 definierat i föregående kapitel, men en förbindelseledning TC2 mellan stationerna läggs till.

Hsp / msp-station 1



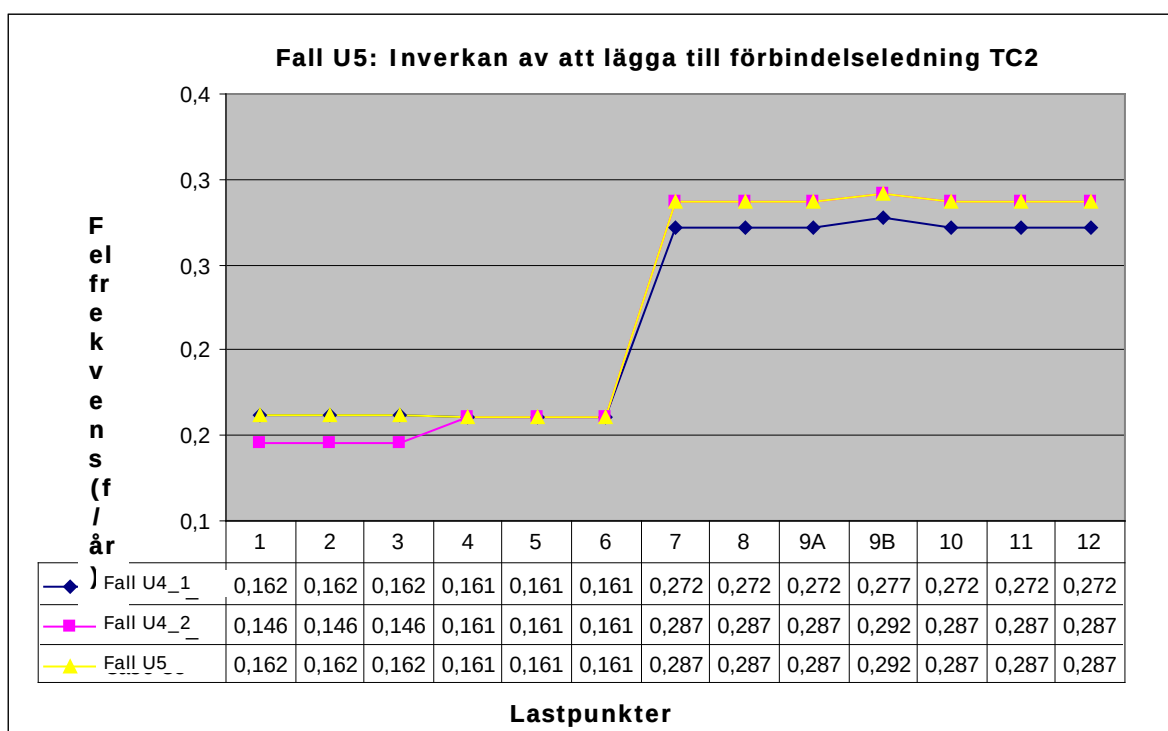
Figur 16-1: Nätkonfiguration studerad i fall U5.

De nya beräkningsresultaten finns i tabell 16-1 och figur 16-2, 16-3 och 16-4 tillsammans med resultaten från fallstudie U4 för jämförelse. Att lägga till en ny linje tillförde ytterligare komponentfel relaterade till denna linje. SAIFI ökar därför i fall U5. Alla lastpunkterna 7-12 på linje L15 får högre felfrekvens

på grund av dessa komponentfel. Men det kan noteras en betydande förbättring av SAIDI och ILE i fall U5 när en förbindelseledning lagts till mellan stationerna. SAIDI och ILE minskar cirka 20% i fall U5 jämfört med fall U4_1.

Tabell 16-1: Resultat för fallstudie U5 – SAIFI, SAIDI och icke levererad energi på systemnivå.

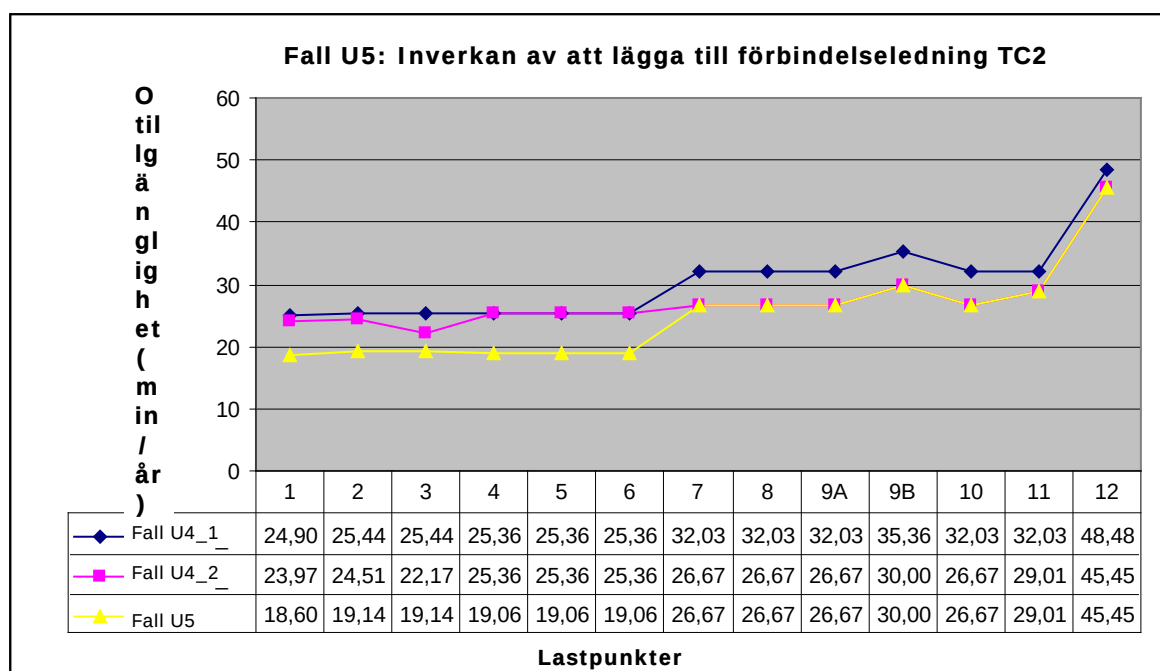
Fall	SAIFI (avbr./år.kund)	SAIDI (min./år.kund)	ILEs (MWh/år)
Fall U4_1	0,205	28,559	2,471
Fall U4_2	0,205	25,491	2,256
Fall U5	0,211	22,830	2,020



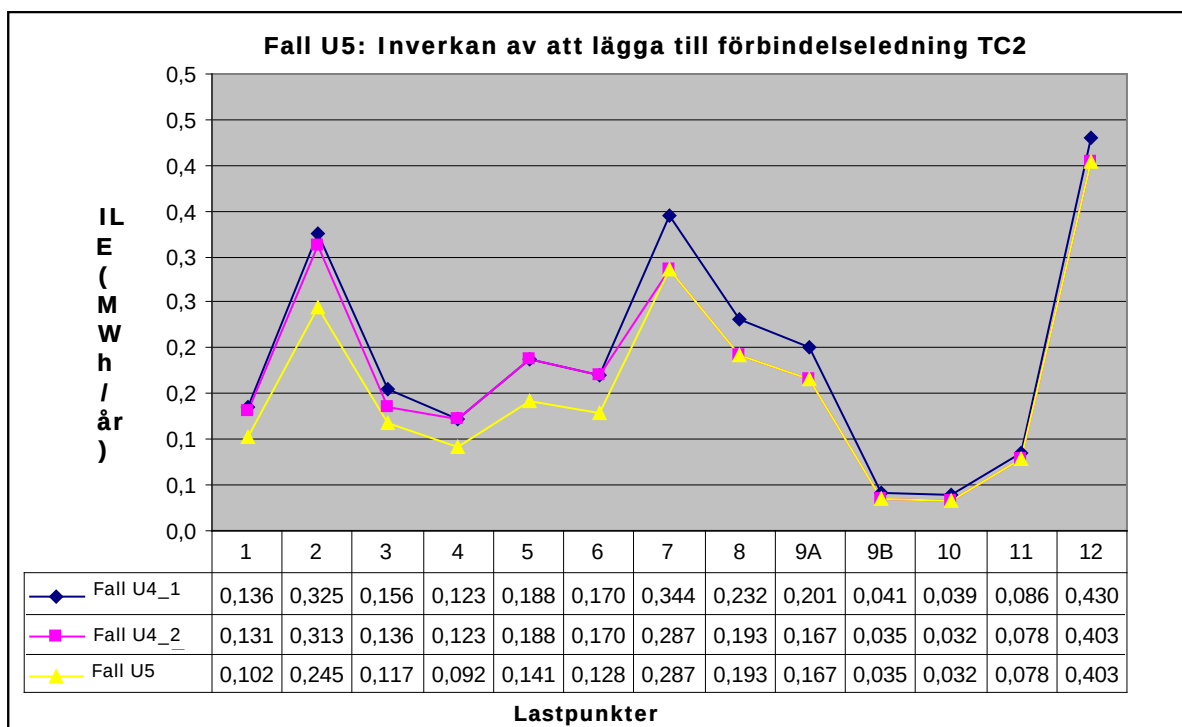
Figur 16-2: Resultat för fallstudie U5 – Felfrekvens per lastpunkt.

Jämförelse av lastpunktsindex i figurerna 16-3 och 16-4 visar att förbindelseledningen effektivt skulle kunna minska avbrottstiden för alla lastpunkter i nätet och därmed minska icke levererad energi jämfört med fall U4_1. Vid, till exempel, ett fel i samlingsskenan B10, skulle inte bara lasten på linje L15 kunna återfå strömförsörjning snabbt, genom att stänga förbindelseledningen, utan även leveransen till kunder som är anslutna på slingan från linje L04 till L23 kunde återställas, genom att utnyttja förbindelseledningarna TC1 och TC3 och mata från station 2.

Många statsdistributionssystem är starkt sammankopplade och har flera förbindelseledningar mellan olika linjer. Dessa förbindelseledningar ger större omkopplingsflexibilitet. Men det är viktigt att inse att införandet av fler förbindelseledningar inte nödvändigtvis innebär förbättrad tillförlitlighet. Den förbättring i tillförlitlighet som erhållits vid flera förbindelseledningar varierar från fall till fall. En intressant jämförelse kan göras mellan fallstudie U1 och U5. I båda fallen har näten liknande slingkonfigurationer med samma antal förbindelseledningar. Att införa förbindelseledningen TC3 ger inga större tillförlitlighetsförbättringar i fall U1, men om både förbindelseledning TC2 och TC3 byggs samtidigt i fall U5 skulle det avsevärt kunna förbättra systemets tillförlitlighet. Det är därför värdefullt att göra tillförlitlighetsbedömningar i nätplaneringsprocessen för att få kostnadseffektiva lösningar och tillförlitliga nätkonfigurationer.



Figur 16-3: Resultat för fallstudie U5 – Otilförlitlighet per lastpunkt.

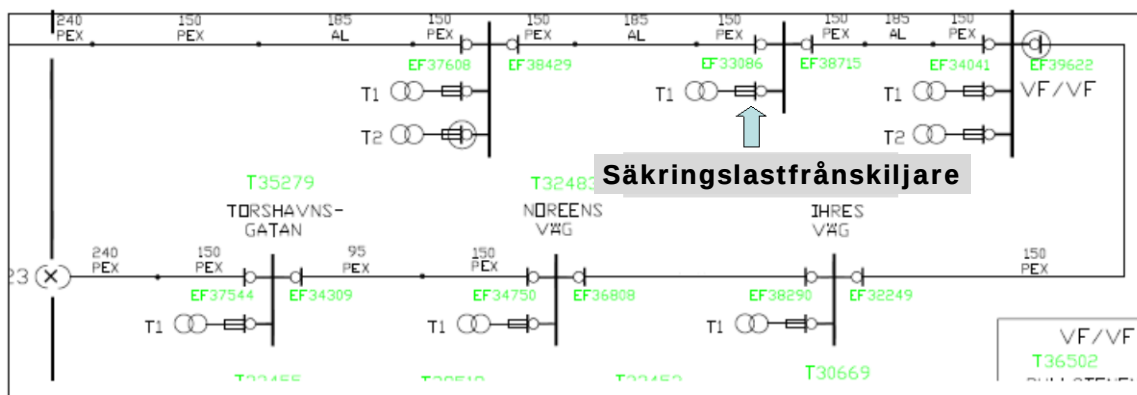


Figur 16-4: Resultat för fallstudie U5 – Icke levererad energi per lastpunkt.

17 Fallstudie U6: Effekten av att byta säkringslastfrånskiljare mot säkring på kopplingsbara avgreningar

I fallstudierna U1-U5 är analysen inriktad på systemstruktur och sammankoppling av nät. Detta kapitel studerar möjligheten att använda enklare komponenttyper.

Placering av en skyddsanordning, typiskt en säkring, på en sidogren av ett stadsnät är en enkel och effektiv metod för att förbättra systemets tillförlitlighet. I Vattenfalls studerade stadsnät, var en säkringslastfrånskiljare installerad i T-punkten för varje avgrening som visas i figur 17-1.



Figur 17-1: En säkringslastfrånskiljare på en avgrening i Vattenfalls stadsnät.

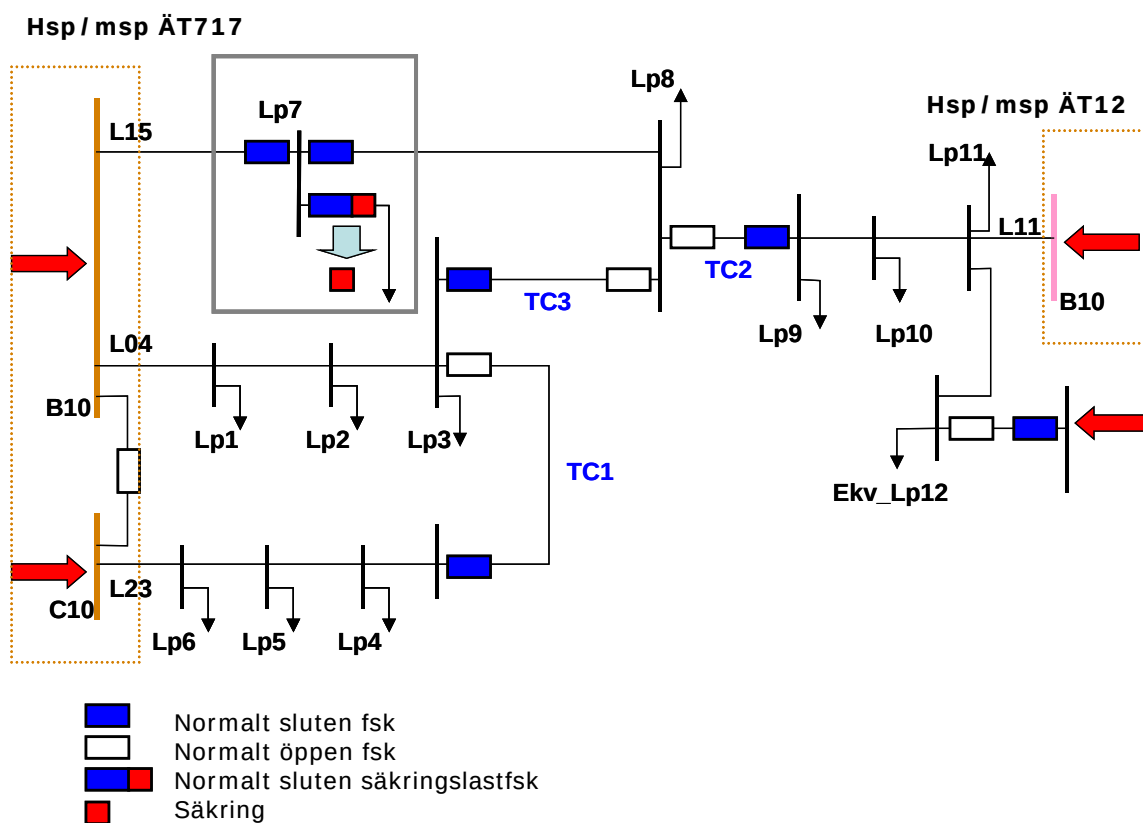
En säkringslastfrånskiljare är i grunden en kombination av två komponenter, en säkring och en lastfrånskiljare. Den används för att skydda mot överström på en avgreningslinje samt vara inkopplings- och urkopplingsmekanism vid avgreningens T-korsning. På detta kabelnät är alla linjer utrustade med lastfrånskiljare vid kabelavslut för att kunna sektionera linjer och koppla avgreningar.

Både säkringslastfrånskiljare och lastfrånskiljarna vid kabelavsluten har funktionen att koppla in eller koppla ur ledningen. Finns det möjlighet att förenkla detta arrangemang samtidigt som det inte påverkar tillförlitligheten negativt? För att besvara den frågan, har följande fall studerats:

- Fall U6: samma som basfall som specificeras i fallstudie U1, men säkringslastfrånskiljare byts ut mot säkringar vid avgreningar för sex lastpunkter 1, 2, 5, 6, 7 och 10 som visas i figur 17-2.

Avgreningarna har vid alla sex lastpunkterna samma strukturella arrangemang, en inkommande linje, en utgående linje och en sidogren, som visas på Lp7 i figur 17-2. Vid fel på sidogrenen, kan de två franskiljarna i kabeländarna användas för att isolera den felaktiga delen utan att påverka matningen till de andra lastpunkterna.

De beräknade tillförlitlighetsindexen för fall U6 visas i tabell 17-1 och figurerna 17-3, 17-4 och 17-5, tillsammans med de index som beräknats för basfallet i fallstudie U1 för jämförelse.

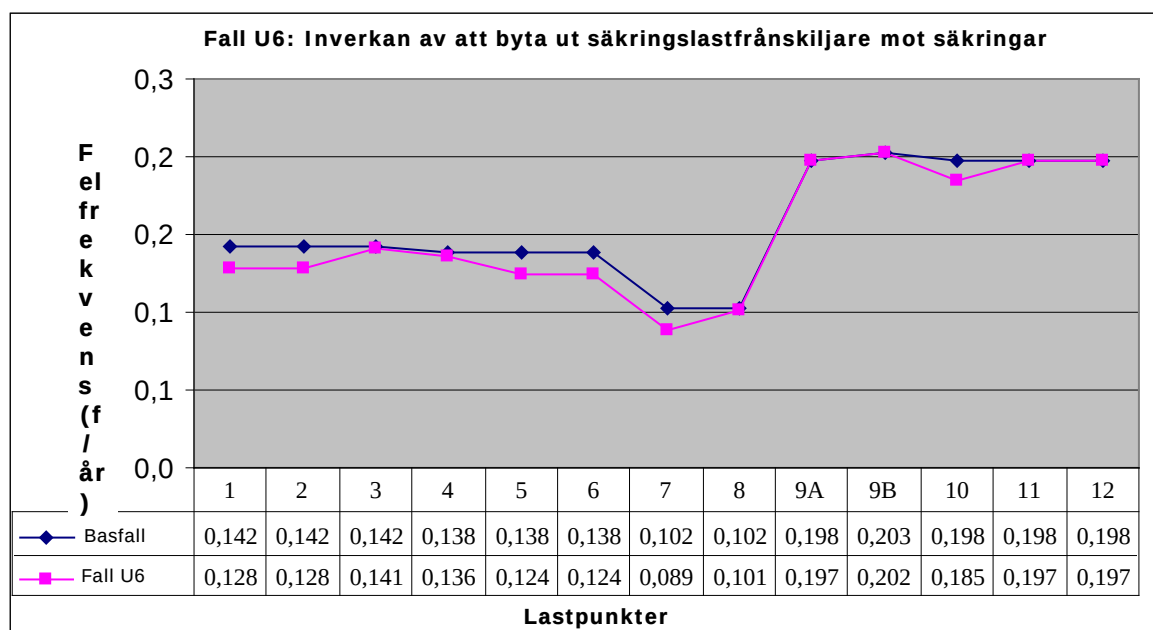


Figur 17-2: Elnät studerat i fall U6.

Tabell 17-1: Resultat för fallstudie U6 – SAIFI, SAIDI och icke levererad energi på systemnivå.

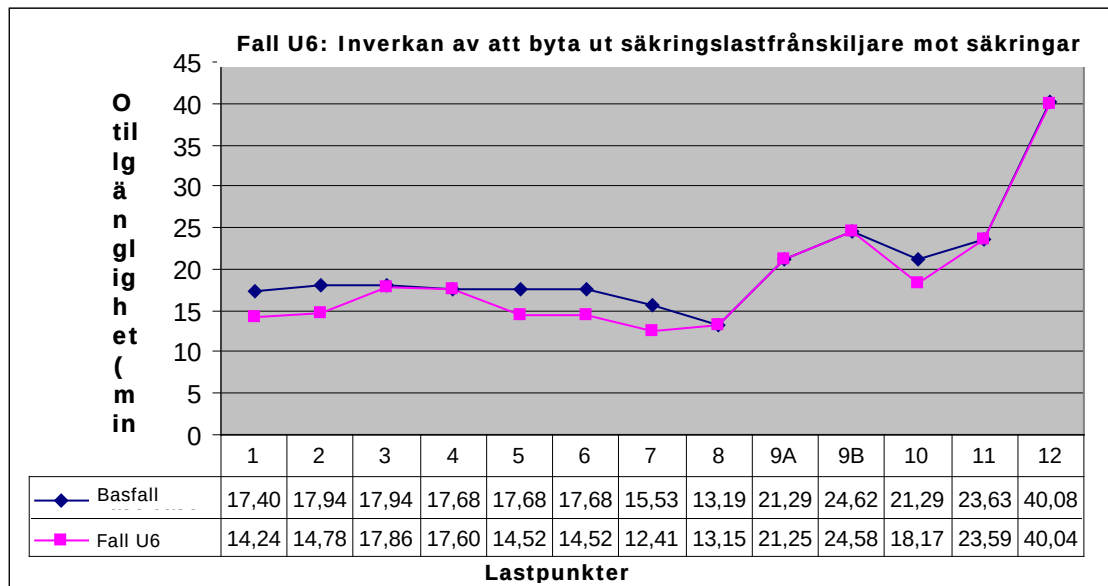
Fall	SAIFI (avbr./år.kund)	SAIDI (min./år.kund)	ILEs (MWh/år)
Basfall	0,138	18,359	1,639
Fall U6	0,131	16,899	1,497

Det framgår av tabell 17-1 att systemets felfrekvens SAIFI är lägre i fall U6 än i basfallet pga. förenkling av komponenter. Till exempel kommer en kortslutning på säkringslastfrånskiljaren vid sidogrenen vid belastningspunkt 1, få brytaren på den anslutande L04 att öppna och orsaka fränkoppling av alla lastpunkter 1-3. Genom att byta säkringslastfrånskiljarna till säkringar elimineras denna typ av aktivt komponentfel och därför minskar systemets felfrekvens.

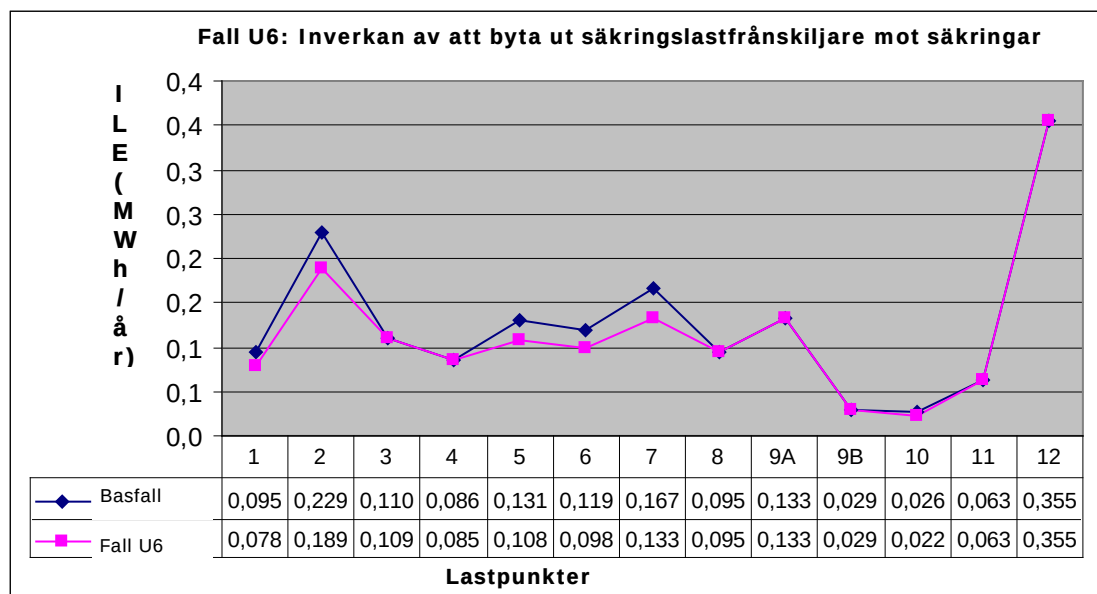


Figur 17-3: Resultat för fallstudie U6 – Felfrekvens per lastpunkt.

Resultaten av fallstudien U6 visar också att förenkling av säkringslastfrånskiljare påverkar avbrottstider och icke levererad energi. Det kan noteras att systemets årliga otillgänglighet, SAIDI och ILE-värde, minskar avsevärt. Denna effekt återspeglas också i lastpunktsindex som visas i figur 17-4 och 17-5. Det konstateras att den genomsnittliga avbrottstiden i lastpunkterna i allmänhet förbättras, och de sex lastpunkterna 1,2,5,6,7 och 10 gynnas mer än andra eftersom de är direkt anslutna till de förenklade komponenterna. I basfallet har nätet säkringslastfrånskiljare vid varje T-korsning för lastpunkterna, som skulle avbryta leveransen till lastpunkterna om ett aktiv fel skulle inträffa på säkringslastfrånskiljaren, och lastpunkten skulle vara utan elförsörjning tills reparationen är avslutad. När dessa aktiva felhändelser tas bort och avbrottstider som orsakas av sådana fel eliminerats, kommer därför den årliga otillgängligheten och icke levererad energi förbättras.



Figur 17-4: Resultat för fallstudie U6 – Otilgänglighet per lastpunkt.



Figur 17-5: Resultat för fallstudie U6 – Icke levererad energi per lastpunkt.

18 Slutsatser

Övergripande slutsatser

Detta projekt har utfört en serie tillförlitlighetsutvärderingar för att utreda möjligheterna att förenkla elnät och minska antalet nätkomponenter med bibehållen tillförlitlighet. Den tar upp viktiga aspekter som hur man bygger ett tillförlitligt distributionsnät på ett kostnadseffektivt sätt och hur nätkonfigurationer och nätkomponenter samt placering av dessa påverkar tillförlitlighetsindex för kunderna.

Projektet har inriktat sig på tre studier:

- Omvärldsstudie för att identifiera trender i framtida nätstrukturutveckling;
- Studie av landsbygdsnät;
- Studie av stadsnät.

Närmare detaljer om dessa studier presenteras i rapporten.

Resultaten visar att det finns möjligheter att minska antalet nätkomponenter och förenkla de befintliga näten utan att försämra nätens tillförlitlighet. Införandet av tillförlitlighetsanalys är viktig i distributionssystemplanering och -utformning för att säkerställa kostnadseffektiva investeringar. Det är möjligt att bygga framtida nät med färre komponenter, enklare strukturer och pålitliga leveranser.

Studierna visar att nätkomponenter påverkar tillförlitligheten på olika sätt. Man kan inte dra slutsatsen att ett ökat antal komponenter automatiskt ökar nätens tillförlitlighet. Kopplingsapparater har potential att förbättra tillförlitligheten genom att isolera fel och återställa kunders elförsörjning innan felet har reparerats. Men att lägga till kopplingsapparater kommer att tillföra fler aktiva komponentfel och kan eventuellt resultera i degradering av tillförlitligheten på grund av ökad sannolikhet att en enhet felar.

Det är därför av stort värde att undersöka dessa effekter och utföra tillförlitlighetskvantifiering för att hitta den mest gynnsamma nätstrukturen för framtida distributionsnät.

Trender i utveckling av nätstruktur

Det framtida elektriska systemet kommer att bygga på det befintliga elnätets infrastruktur. Samma typer av komponenter som används idag, till exempel kraftledningar, kablar, stationer och transformatorer, kommer att fortsätta att spela en viktig roll i framtiden. Men uppkomsten av nya tekniker, inklusive distribuerad intelligens och distribuerade energiresurser kommer att öka effektiviteten, kvaliteten och tillförlitligheten hos de befintliga kraftsystemen och möjliggör utveckling av en ny struktur för framtidens smarta nät.

Det framtida elnätet kommer att vara ett automatiserat elnät som övervakar och styr konsumenterna och nätnoderna, säkerställer ett två-vägs kraftflöde

och informationsutbyte mellan alla punkter i nätet. Från arkitekturellt perspektiv är dess egenskaper:

- Kontrolleras med fjärrstyrda kopplingsapparater, snabbare upptäckt av avbrott och snabb återställning av leverans till kund;
- Flexibel och med kompakta stationer, redundanta anslutningar och lokal kraftmatning.

Slutsatser från studien av landsbygdssystem

De viktigaste resultaten från studien av landsbygdssystemet sammanfattas enligt följande:

- I befintliga landsbygdistributionsnät kan några av avgreningsfrånskiljarna, linjefrånskiljarna och vissa lastfrånskiljare tas bort utan att påverka nätens tillförlitlighet negativt.
- Det finns potential att reducera antalet sektioneringsfrånskiljare i landsbygdistributionsnät genom att optimera ledningssektioner.
- Det är fördelaktigt att överväga möjligheten att förenkla nät vid automatisering för att garantera en kostnadseffektiv investering.
- Sammankopplingsfrånskiljare kan ha en direkt effekt på kundernas avbrottstid. Det är fördelaktigt att överväga möjligheten att förenkla nät vid införandet av distribuerad produktion och reservkraft för att garantera en kostnadseffektiv investering.

Slutsatser från studien av stadssystem

Nedan sammanfattas de viktigaste resultaten från studien av stadsnätet:

- I befintliga stadsdistributionsnät finns det potential att förbättra tillförlitligheten genom att ändra nätstrukturer.
- I stadsdistributionsnät kan några extra förbindelser mellan maskade nätdelar tas bort utan att påverka nätens tillförlitlighet negativt.
- I stadsdistributionsnät kan, under vissa förutsättningar, en del reservförbindelser mellan slingkonfigurerade nät, tas bort utan att påverka nätens tillförlitlighet negativt.
- I stadsdistributionsnät kan några av nätkomponenterna förenklas utan att påverka nätens tillförlitlighet negativt.

19 Referenser

- [1] NEPLAN, Power System Analysis Software, Busarello Cott Partner Inc., Switzerland.
- [2] R. Billinton and R. Allan, "Reliability Evaluation of Power Systems", Second edition, ISBN 0-306-45259-6, Plenum Press, 1996.
- [3] R. N. Allan, et al., "Modelling and Evaluating the Reliability of Distribution Systems", IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, PAS-98, No. 6, pp. 2181-2189, Nov./Dec. 1979.
- [4] Vattenfall, "Transformatorstation för 2010-talet", 92-06-01.
- [5] Schneider Electric, "Industrial Electrical network Design Guide", 6 883 472/AE.
- [6] R. Billinton and J. E. Billinton, "Distribution System Reliability Indices", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 4, No. 1, pp. 561-568, January 1989.
- [7] Richard E. Brown, "Network Reconfiguration for Improving Reliability in Distribution Systems", IEEE PES 2001 Transmission and Distribution Conference and Exposition in Atlanta. CA. Oct. 2001.
- [8] Y. He, "Distribution Equipment Reliability Data", Elforsk report 07:59, September 2007.
- [9] T. Senjyu, H. Yamashiro, and K. Uezato, "Optimal Configuration of Power Systems Using GA based on Reliability and Loss of Load", 0-7803-6338-8 2000IEEE.
- [10] Per-Åke Wikström, "Parametrar för kalkylering i första planeringsfasen", Vattenfall Eldistribution, 2005-09-23.
- [11] Ying He, "Tillförlitlighetsdata på komponent nivå för eldistributionsnät", Elforsk rapport 07:59, sep. 2007.
- [12] Richard E. Brown and John H. Spare, "The Effects of System Design on Reliability and Risk", IEEE 0-7803-9193-4/06, 2006.
- [13] R. L. Capra, M. W. Gangel, and S. V. Lyon, "Underground Distribution System Design for Reliability", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, vol. Pas-88, no. 6.
- [14] IEEE Committee Report, Distribution Subcommittee Task Group on System Design of the Transmission and Distribution Committee, "Guidelines for Use in Developing a Specific Underground Distribution System Design Standard", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-97, no. 3.
- [15] Richard E. Brown, "Electric Power Distribution Reliability", second edition, CRC Press, ISBN: 978-0-8493-7567-5.

Enkla elnät, säkra elleveranser

Ett nytt steg i energiforskningen

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

