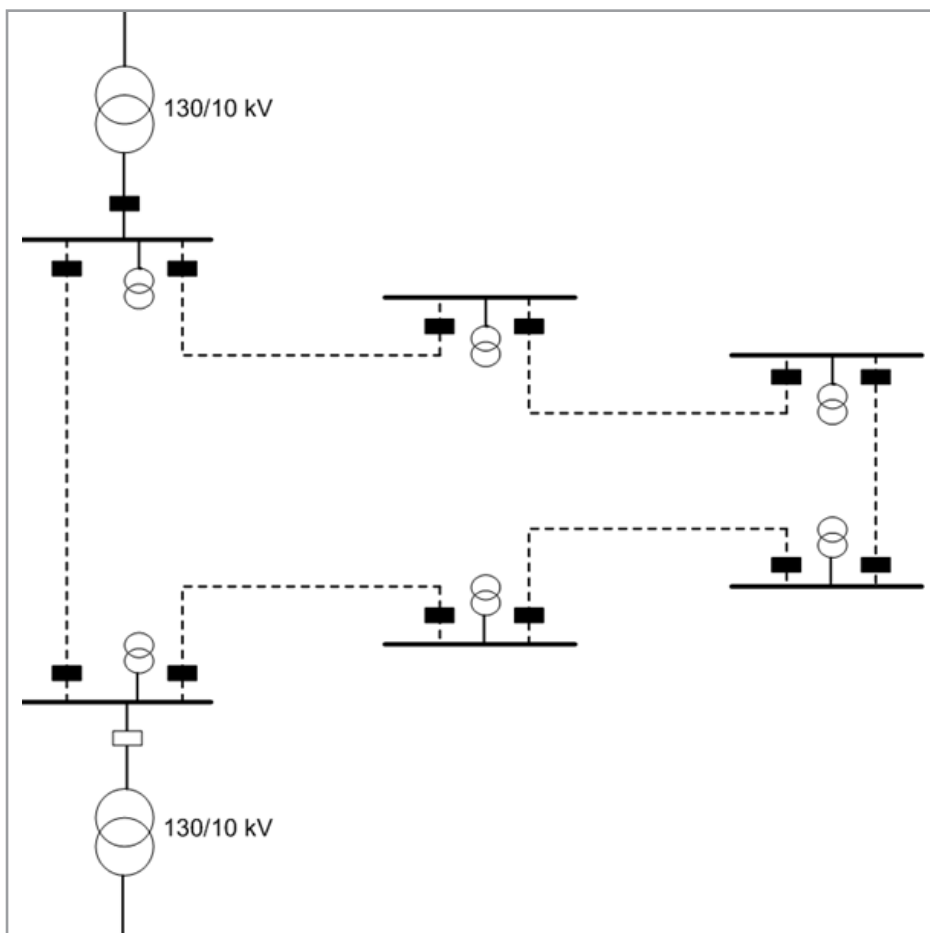


NÄTUPPBYGGGNAD OCH AUTOMATIKER FÖR ÖKAD TILLGÄNGLIGHET

RAPPORT 2016:274



Nätuppbyggnad och automatiker för ökad tillgänglighet

Monica Lexholm

ISBN 978-91-7673-274-8 | © 2016 ENERGIFORSK

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

Förord

Detta projekt behandlar fokusområdet Ekonomiska incitament för att bygga det smarta eldistributionsnätet, med fokus på förbättrad leverans kvalitet och lägre avbrottskostnader inom programmet Smarta Elnät. Projektresultatet utgör underlag för val av elnätskonfiguration i samband med nybyggnation, uppgradering och ändringar. Resultatet utgör även underlag för forcerade ombyggnader av nät med alltför låg tillförlitlighet. Ett systematiskt sätt att designa elnät för olika applikationer, såsom uppsamling av produktion och elanvändardistribution, beskrivs. I dagsläget finns många olika filosofier, som leder till olika slutsatser och olika elnätuppbyggnad för likartade nätapplikationer. Det är av stor vikt, både för samhället i stort och för elnätsföretagen, att, samla ihop, paketera och tillämpliggöra information och bevekelsegrunder, som idag finns spridda på många olika håll.

Monica Lexholm från Gothia Power har varit projektledare för projektet. Stort tack också till referensgruppen, som på ett mycket välförtjänt sätt har bidragit till projektet:

- Magnus Sunnesson, Öresundskraft AB
- Marcus Halvarsson, Vattenfall AB
- Ilijaz Kenjar, Göteborgenergi AB
- David Nord, Svensk Energi
- Joar Johansson, Ellevio AB
- Daniel Karlsson, Gothia Power AB

Programmets Smarta Elnät programstyrelse består av följande ledamöter:

- Peter Söderström, Vattenfall Eldistribution AB (ordförande)
- Göran Ericsson, Svenska kraftnät (vice ordförande)
- Patrik Björnström, Sveriges ingenjörer (Miljöfonden)
- Fredrik Hartman, Ellevio AB
- Ferruccio Vuinovich, Göteborg Energi AB
- Torbjörn Solver, Mälarenergi AB
- Susann Persson, Jämtkraft AB
- Anders Höglund, Öresundskraft AB
- Johan Wennerholm, Umeå Energi Elnät AB
- Peter Addicksson, HEM AB
- Henric Johansson, Jönköping Energi AB
- Claes Wedén, ABB AB
- Hannes Schmied, NCC AB
- Björn Ållebrand, Trafikverket
- Matz Tapper, Svensk Energi (adjungerad)

Följande bolag har deltagit som intressenter till projektet. Energiforsk framför ett stort tack till samtliga företag för värdefulla insatser.

- Sveriges Ingenjörer, Miljöfonden
- Vattenfall Eldistribution AB
- Ellevio AB
- Svenska Kraftnät
- Göteborg Energi AB
- Elinorr ekonomisk förening
- Mälarenergi Elnät AB
- Krafringen Nät AB
- Jämtkraft AB
- Umeå Energi Elnät AB
- Öresundskraft AB
- Karlstads Elnät AB
- Jönköping Energi Nät AB
- Halmstad Energi & Miljö Nät AB
- Falu Elnät AB
- Borås Elnät AB
- AB Borlänge Energi
- C4 Elnät AB
- Luleå Energi AB
- ABB AB
- Elsäkerhetsverket
- Akademiska Hus
- NKT Cables AB
- NCC Construction Sverige AB
- Trafikverket

Stockholm i april 2016

Susanne Olausson
Energiforsk AB
Programområde Elnät, Vindkraft och Sol

Sammanfattning

Idag finns komponenter som möjliggör nya tankesätt när det gäller design av elnät på distributionsnivå för ökad tillgänglighet. I takt med att priserna på komponenter har sjunkit kan en design som förut var förbehållen transmissionssystem också vara kostnadseffektiv på distributionsnivå. Huvudidén är att öka tillgängligheten genom att se till att alternativa matningsvägar existerar och genom att inkludera mätning, kommunikation, fjärrstyrning och automatik.

För kunder som är mycket känsliga för elavbrott kan det finnas skäl att köra drift i sluten slinga. Det kan gälla, till exempel, sjukhus eller vissa industrier. I ett sådant nät ger fel och bortkoppling av enstaka överföringselement inte upphov till elavbrott överhuvudtaget. Trots att en sådan designlösning är kostsam, kan den vara lönsam med tanke på de mycket höga avbrottskostnaderna. Som kontrast kan ett typiskt landsbygdsnät ställas, med gles kundtätthet och kunder som inte är så känsliga för elavbrott. Trots låg tillgänglighet, är det troligen inte kostnadseffektivt att göra stora investeringar för att öka tillgängligheten eftersom det är så gles med kunder.

Hur kostnadseffektiv en designprincip är, beror både på utgångsläget och på typen av nät. Utgångsläget avgör till stor del investeringskostnaderna medan typen av nät sätter begränsningar för hur mycket det finns att tjäna på minskade avbrottstider. För det sistnämnda är både kundtätthet och kundtyp relevant. Vid nyanläggning, modernisering och förnyelse av elnät, bör en investeringskalkyl upprättas som en viktig del av utvärderingen av en designprincip. Processen och viktiga överväganden att beakta presenteras i denna rapport i form av beräkningsexempel för ett antal typnät med tillhörande förslag till design.

För ett visst distributionsnät kan den årliga kostnaden för avbrott beräknas utifrån en årlig felrat, en uppskattning av avbrottstid per fel och avbrottskostnader för olika kundtyper. En ny designlösning innebär en kortare avbrottstid per fel och därmed en sänkning av den årliga kostnaden för avbrott. Med hjälp av nuvärdesmetoden erhålls hur mycket den årliga kostnadssänkningen är värd i dagsläget, givet en viss kalkylränta och en viss ekonomisk livslängd. Investeringen bedöms vara lönsam om nuvärdet överstiger investeringskostnaderna.

Det är viktigt att poängtera att beräkningsexemplen i denna rapport enbart är exempel och att resultaten är beroende av indata för fiktiva typnät. Hög kundtätthet, alternativt hög andel kunder med särskilt höga avbrottskostnader, medger större investeringskostnader i ökad tillgänglighet. Distributionsnät med hög kundtätthet återfinns framförallt i större tätorter medan distributionsnät med kunder med särskilt höga avbrottskostnader kan vara särskilda industrier, som till exempel sjukhus.

Summary

Today there are components that allow for new design of power distribution systems. With falling prices, designs that were only applicable to the transmission system before, can now be profitable also for distribution systems. The overall idea is to increase availability by making sure that alternative power feeds exist and by increasing the amount of measurements, communication, remote control and automation.

For power customers that are very sensitive to power failure, it might make sense to operate in closed loops. That could apply to, for example, hospitals or certain industries. In such distribution systems, failure of a single element will not lead to power failure at all. Although such a design is costly, it can be profitable considering the high power failure costs. In contrast, typical rural distribution systems, with low customer density and customers that are not sensitive to power failures, would not benefit from such a design. In such systems, it is probably not profitable to invest in increased availability even though the availability is low, since the customers are so few.

How profitable a design is depends on both the initial conditions and on the type of distribution system. The initial conditions determine the investment costs while the type of distribution system dictates the value of increased availability. Both customer density and type of customer is relevant to the latter. When building new distribution systems or modernizing and renovating existing ones, it is important to make an investment calculation in order to evaluate the profitability of a design. The process and important considerations to address, are presented in this report in terms of calculation examples for a number of typical distribution systems and associated designs.

For a certain distribution system, the yearly costs for outages can be calculated given a yearly failure rate, an estimate of the outage duration per failure and outage costs for different customer types. A new design would reduce the outage time and thereby cut the yearly costs for outages. The net present value method gives the current value of the reduction of yearly costs, given a certain WACC (Weighted Average Cost of Capital) and a certain economic life. The investment is deemed profitable if the net present value exceeds the investment costs.

It is important to stress that the calculation examples in this report are merely examples and the results depend on input for fictitious distribution systems. High customer density, or many customers with high costs for power failures, allow for larger investments in increased availability. Distribution systems with high customer density are found in larger cities, while distribution systems with many customers with high costs for power failures can be certain industries or hospitals.

Innehåll

1	Introduktion	11
2	Bakgrund och förutsättningar	12
2.1	Nyttan av ökad tillgänglighet	13
2.1.1	Lokal produktion	13
2.1.2	Sjukhus – tryggare vård	13
2.1.3	Industrianläggningar – ökad konkurrenskraft	14
2.1.4	Elnätsföretag – möta krav från Energimarknadsinspektionen	14
2.1.5	Nya marknader och kunder	14
2.1.6	Miljöaspekter och hållbar utveckling	15
2.2	Krav och regelverk	15
2.2.1	Ellagen	15
2.2.2	Energimarknadsinspektionen	17
3	Nuvarande elnätskonfiguration	21
3.1	Dagens konfiguration	21
3.1.1	Slingnät	21
3.1.2	Radiellt nät	23
3.1.3	Dubbelkabelnät	24
3.2	Tillgänglighet	25
4	Förslag att överväga vid nybyggnad och ombyggnad av distributionsnät	27
4.1	Val av kopplingsstruktur	27
4.2	Slingnät	28
4.2.1	Öppen slinga	28
4.2.2	Sluten slinga	30
4.3	Radiellt nät	31
4.4	Dubbelkabelnät	31
4.5	Övriga aspekter	32
5	Modellering av typnät	33
5.1	Felrater	33
5.2	Avbrottstid	34
5.3	Kostnader per avbrott	34
5.3.1	Kundkostnader	34
5.3.2	Personalkostnad vid avbrott	35
5.3.3	Utökad underhållskostnad	35
5.3.4	Avbrottsersättning och goodwill	35
5.4	Typ av investeringskalkyl	36
6	Typnät 1 – tätbefolkad landsbygd	37
6.1	Förslag till ny design	38
6.2	Investeringskalkyl	40
6.2.1	Investeringskostnader	43

6.2.2	Sammanfattning	44
7	Typnät 2 – tätort	45
7.1	Förslag till ny design	46
7.2	Investeringskalkyl	48
7.2.1	Investeringskostnader	51
7.2.2	Sammanfattning	51
8	Typnät 3 – industrinät	52
8.1	Förslag till ny design	53
8.2	Investeringskalkyl	54
8.2.1	Investeringskostnader	56
8.2.2	Sammanfattning	57
9	Typnät 4 – dubbelkabelnät	58
9.1	Förslag till ny design	60
9.2	Investeringskalkyl	60
9.2.1	Investeringskostnader	62
9.2.2	Sammanfattning	62
10	Typnät 5 – glesbefolkad landsbygd	63
10.1	Förslag till ny design	64
10.2	Investeringskalkyl	65
10.2.1	Investeringskostnader	67
10.2.2	Sammanfattning	67
11	Slutsatser	68
	Referenser	70

1 Introduktion

Denna rapport avser att ge en klar och dokumenterad bild av hur stor potentialen är för att med modern teknik och uppgraderade kopplingslägen, på ett kostnadseffektivt sätt, kunna förbättra tillgängligheten i nya och befintliga system för distribution av elektrisk kraft. Principiell och handgriplig vägledning ges för att underlätta den utvärdering, av kostnad kontra nytta, som bör ligga till grund för beslut vid nyanläggning, modernisering och förnyelse av elnät av skiftande slag. Målet är att, till nytta både för samhället i stort och för elnätsföretagen, samla ihop, paketera och tillämpliggöra information och bevekelsegrunder, som idag finns spridda på många olika håll.

I "bakgrund och förutsättningar" beskrivs vad det finns för motiv till att förändra dagens nätuppbbyggnad och driftfilosofi. Vidare diskuteras vad det finns för möjligheter att öka tillgängligheten med hjälp av modern teknik och uppgraderade kopplingslägen. I avsnitt "nuvarande elnätskonfiguration" sammanfattas nuvarande elnätskonfiguration baserat på intervjuer med branschfolk. I "förslag att överväga vid nybyggnad och ombyggnad av distributionsnät" presenteras hur modern teknik kan användas för att öka tillgängligheten. För att åskådliggöra ett möjligt tillvägagångssätt för att utvärdera om lösningarna är kostnadseffektiva, presenteras i avsnitt "modellering av typnät" allmänna aspekter. Därefter följer investeringskalkyler för ett antal typnät med tillhörande designförslag. Eftersom resultatet av investeringskalkylerna är helt beroende av indata för ett specifikt nät, är det metoden och resonemangen som är generellt applicerbara. I avsnitt "slutsatser" sammanfattas viktiga aspekter att beakta vid utvärdering av nyttan av minskade avbrott till priset av komplexare elnät.

Avslutningsvis bör nämnas att modellering och efterföljande analys uteslutande bygger på system och komponenter som finns tillgängliga i dagsläget. Värdet av projektresultaten är således inte avhängiga att särskilda teknikgenombrott görs eller utvecklingsnivåer nås. Däremot kan tillämpningsområden såsom uppsamlingsnät för vindkraftsproduktion respektive solkraftproduktion bli beroende av utbyggnaden som i sin tur är incitamentsberoende.

2 Bakgrund och förutsättningar

Energimarknadsinspektionen skriver att "En väl fungerande elförsörjning är av stor betydelse för samhällets och näringslivets funktion och utveckling. Då teknik- och övrig samhällsutveckling leder mot ett allt mer högteknologiskt och teknikintegrerat samhälle ökar också beroendet av ett tillförlitligt elsystem." I dagsläget har de flesta elkunder hög leveranssäkerhet men det finns samtidigt många med låg leveranssäkerhet. Under 2012 drabbades över 70 000 kunder av minst 12 avbrott och över 7 000 kunder hade en sammanlagd avbrottstid på över 48 timmar. I lokalnäten är antal långa avbrott per kund och år mycket högre i glesbygdsnät än i tätortsnät. Under åren 1998-2012 syns dock en svag trend mot ökat antal avbrott i tätortsnät. Det finns en stor variation i leveranssäkerhet mellan olika elnätsföretag. Som exempel nämns i [1] att medelavbrottstiden i hela Sverige uppgick till ca 90 minuter under 2012 samtidigt som vissa elnätsföretag har en medelavbrottstid mellan 4 och 12 timmar. Det finns alltså ett antal nät, framförallt i glesbygd, med genomgående låg leveranssäkerhet. Mer anmärkningsvärt är att det finns stora skillnader i leveranssäkerhet mellan geografiskt angränsande områden inom samma elnätsföretag. En annan intressant slutsats, baserad på statistiken från 1998-2012, är att väderhändelser är få men leder till långa avbrott. [1]

Elavbrott påverkar hela samhället och medför höga kostnader. Under 2012 uppskattades kundkostnaderna till följd av elavbrott till närmare en miljard kronor. Värst drabbades gruppen handel och tjänster även om det fanns stora variationer inom varje kundgrupp. Detta trots att nästan 90 % av Sveriges elkunder är hushåll och att kundgruppen industri förbrukar mest energi. För tillverkningsindustrin handlar det oftast om produktionsbortfall, förstörd utrustning och skadestånd till följd av missade leveranser. Det kan också kosta att återställa data- och styrsystem. Handels- och tjänstesektorn påverkas främst av störningar i tele- och IT-system. I takt med att jordbruket automatiseras i högre grad, blir det också mer sårbart vid elavbrott.

Även om de största kostnaderna monetärt uppstår inom näringslivet, kan individens välfärd påverkas kraftigt till exempel vad gäller uppvärmning av hemmet, vatten- och värmeledningar som riskerar att frysa och förstöras, tillagning och förvaring av mat, belysning, IT-system och vid längre avbrott kan även den normala vattenförsörjningen påverkas.

Elavbrott kan dessutom påverka samhällsviktiga funktioner som hälso- och sjukvård, vatten- och livsmedelsförsörjning, tele- och datakommunikationer, ledningsfunktioner på kommunal, regional och central nivå samt flyg, väg- och järnvägstransporter. Särskilt svåra lägen kan uppstå i de fall reservkraft inte finns tillgänglig alls, är för klen dimensionerad eller är dåligt underhållen. [1]

Stora delar av våra distributionssystem byggdes upp i strukturer som baserades på tillgänglig teknik för mer än ett halvsekel sedan. Samlingsbegreppet "smarta elnät" inrymmer en stor mängd nya tekniker och applikationer som lämpar sig väl för att förbättra tillgängligheten för såväl befintliga som helt nya elektriska distributionssystem.

Priset på kontrollutrustning är sådant att designprinciper (teknik och lösningar) som tidigare var förbehållet transmissionssystem, numera även kan vara kostnadseffektiva på distributionsnivå. Det handlar främst om **mätning** och **kommunikation** av mätsignaler från olika delar av systemet samt **fjärrstyrning** och **automatiker** för olika typer av kopplingsorgan ute i distributionssystemet. Kommunikation via optisk fiber

ger också möjligheter till en mer effektiv felbortkoppling med hjälp av kommunicerande längsdifferentialskydd och kommunicerande jordfelskydd. Modern teknik ger därmed förutsättningar för att, under drift, välja mellan **alternativa matningsvägar**. För detta krävs också ett nytt tankesätt på planeringsstadiet så att alternativa matningsvägar existerar, till exempel i form av parallella matningsvägar, ökad maskning eller slutna slingor. I nät som drivs maskat eller i slutna slingor ökar tillgängligheten markant, eftersom fel och bortkoppling av ett enstaka överföringselement inte påverkar effektmatningen till anslutna kunder.

I detta kapitel diskuteras nyttan av ökad tillgänglighet för olika typer av nät och aktörer i avsnitt 2.1. I avsnitt 2.2 presenteras rådande krav och regelverk för distribution av el med fokus på tillgänglighet.

2.1 NYTTAN AV ÖKAD TILLGÄNGLIGHET

Tillgängligheten i elförsörjning på distributionsnivå och hur viktig den är beror på vad det är för typ av nät. Här kan finnas stora skillnader mellan uppsamlingsnät för produktion, överföringsnät och anslutningsnät för uttagskunder. Vidare finns skillnader i struktur mellan kabelnät och luftledningsnät; mellan stadsnät, industri- eller institutionsnät, och landsbygdsnät. Härvid noteras även att olika kundkategorier (produktionskunder såväl som konsumtionskunder) har olika krav på tillgänglighet. Värdet av att öka tillgängligheten är förmodligen störst i tätorter samt i industriella och institutionella anläggningar, där det kanske mest typiska exemplet är sjukhusområden.

2.1.1 Lokal produktion

När lokal produktion introduceras får elnätet ny karaktär och därmed ställs andra krav på skydd och tillgänglighet. Samtidigt finns det andra möjligheter till lokal reservkraft vilket skulle kunna minska behovet av tillgänglighet till elnätet. Det gäller framförallt vind- och solkraftproduktion men också den lite mer avlägsna möjligheten att använda elbilar för lagring av energi. I många fall kan nya designprinciper för elnätet vara en förutsättning för att kunna installera lokal produktion. Med andra ord kan elnätets utformning vara en förutsättning för utbredningen av miljövänliga energikällor och därmed en förutsättning för hållbar utveckling. Utöver att nya principer kan motiveras ekonomiskt kan det alltså finnas etiska och politiska argument.

2.1.2 Sjukhus – tryggare vård

Sjukhusområden har ofta både alternativa inmatningsvägar och egen reservkraft, men uppbyggnad och driftfilosofi (vad vi sett så här långt) öppnar för mycket stora förbättringsmöjligheter, i fråga om robusthet och tillgänglighet, till rimliga kostnader. Fler landsting förväntas följa efter Landstinget i Värmland, där man sett över elmatningen och byggt om enligt nya principer: *Lars Messing är konsult på Gothia Power och den som skissat upp sjukhusets nya system. Han är "filosofen i sammanhanget", enligt Per-Erik Agneholm, elansvarig för alla landstingsfastigheter i Värmland. Nyckelord i det nya strömförsörjningssystemet är selektivitet och kommunikation.*¹

¹ <http://www.abb.com/cawp/seitp202/7d24025c6ec111f1c1257d9400374a2d.aspx>

2.1.3 Industrianläggningar – ökad konkurrenskraft

Industrianläggningar, t ex pappersbruk och andra processindustrier med hög elförbrukning, har alltför ofta kritiska komponenter i elförsörjningen utan reserver, t ex transformatorer, som "helt enkelt inte får haverera". Den hårdnande konkurrensen på världsmarknaden, ökad kostnadsjakt i kombination med ett begynnande långsiktigt tänkande inom industrin, gör att elsystemen och deras tillgänglighet kommer att hamna i fokus.

2.1.4 Elnätsföretag – möta krav från Energimarknadsinspektionen

Flera elnätsföretag, särskilt mindre, förväntas få stor nytta av uppgraderade kopplingslägen som ökad maskning och drift i slutna slingor. I vissa fall kan det dock bli för dyrt för den nytta det skulle innebära. Oavsett vilket är det viktigt att beslut vid nyanläggning, modernisering och förnyelse av elnät av skiftande slag grundas på en utvärdering av kostnad kontra nytta baserad på dagens verklighet och möjligheter. I dagsläget verkar flertalet nätuppbbyggnadsprinciper bygga på tumregler, den enskilde ingenjörens uppfattningar och tradition inom respektive elnätsföretag. Det saknas lättillgängligt och dokumenterat underlag för att på ett effektivt sätt jämföra hur tillgängligheten i nätets uttagspunkter varierar med nätets uppbyggnad och styrning, främst automatiska kopplingsmöjligheter. Den kalkylerade tillgängligheten måste också tillskrivas ett ekonomiskt värde för att kunna jämföras med eventuella ökade investeringskostnader och kostnader för drift och underhåll. Den omedelbara ekonomiska nyttan för elnätsföretagen består i minskade kundersättningar i samband med avbrott samt en potentiellt ökad intäktsram till följd av förbättrad elkvalitet.

Under senare år har fokus flyttas från robusthet och prestandarelaterade krav mot investerat kapital och elnätsföretagens möjligheter att ta betalt av sina kunder. Det saknas idag en samsyn inom elnätsbranschen och dess avnämare om hur man väljer balanspunkten mellan prestanda och kostnader i fråga om elnätens tillgänglighet. Under senare år har dock lagstiftaren gett vissa riktlinjer ifråga om avbrottsersättning. Värdet av hög tillgänglighet och få och korta avbrott kommer att öka i takt med att tillsynsmyndigheten skärper kraven på kundersättning från elnätsföretagen i samband med avbrott i elanslutningen. Inte bara själva avbrotten kommer att kosta utan elnätsföretags statistiska elkvalitet kommer att bestämma hur höga tariffer nätbolagen får ta ut. Förutom dessa formella krav, som beskrivs mer uttömmande i avsnitt 2.2, måste nätbolagen överväga hur den levererade elkvaliteten påverkar deras varumärke.

I dagsläget finns ca 160 elnätsföretag som äger och driver lokalnät (i huvudsak inom spänningsnivåerna 0,4 kV – 20 kV). De tre största nätbolagen, E.ON, Ellevio och Vattenfall, har tillsammans över hälften av alla elnätskunder i Sverige. Regionnätet (i huvudsak inom spänningsnivåerna 40 kV – 130 kV) drivs av totalt 5 elnätsföretag och levererar till ca 600 större industrikunder och ca 1600 gränspunkter till underliggande lokalnät. De tre största nätbolagen, E.ON, Ellevio och Vattenfall, står för ca 95 % av ledningslängden och den överförda energin på regionnätet.

2.1.5 Nya marknader och kunder

Metoder att medvetet konstruera elförsörjningssystem för hög tillgänglighet öppnar också för att attrahera nya storkunder, såsom processindustri, elektronikindustri, och serverhallar av olika slag med extrema tillgänglighetskrav. Ett målinriktat arbete kan ge som resultat att storföretag som Facebook, Google, Twitter, med flera, förlägger verksamheter till de norra delarna av Sverige.

2.1.6 Miljöaspekter och hållbar utveckling

En bättre anpassad elnätsstruktur och effektivare styrprinciper för ökad tillgänglighet av elnät och en ökad förståelse och samsyn vad gäller bakomliggande principer, förväntas ha en indirekt positiv miljöpåverkan i fråga om ianspråktagande av materiella resurser och energiförbrukning. Nya designprinciper kan också vara en förutsättning för att småskalig och miljövänlig elproduktion, såsom vind- och solkraft, ska kunna installeras.

2.2 KRAV OCH REGELVERK

Eftersom distribution av el sker genom så kallade *naturliga monopol* (elnätsföretagen har ensamrätt inom sina respektive geografiska områden), är den också reglerad genom de krav som finns i ellagen.

2.2.1 Ellagen

De mest grundläggande kraven på anslutning och överföring av el till elnätsföretagets kunder är definierade i ellagen (1997:857). Dessa krav är formulerade i ganska allmänna ordalag för att inte behöva uppdateras för ofta. Det ställs krav på att överföringen av el skall vara av god kvalitet och att anslutningen ska ha hög tillgänglighet och hög säkerhet. Samtidigt pekar ellagen ut vissa myndigheter med preciserade ansvarsområden och befogenheter som får specificera ovan nämnda krav i förordningar och föreskrifter.

När det gäller nätverksamhet lyder den inledande bestämmelsen (ellagen 3 kap, 1 § (2005:404)) som följer:

"Ett företag som bedriver nätverksamhet ansvarar för drift och underhåll och, vid behov, utbyggnad av sitt ledningsnät och, i tillämpliga fall, dess anslutning till andra ledningsnät. Företaget svarar också för att dess ledningsnät är säkert, tillförlitligt och effektivt och för att det på lång sikt kan uppfylla rimliga krav på överföring av el."

I en senare paragraf (ellagen 3 kap, 6 § (2005:404)) formuleras kravet att nätägaren måste ansluta dem som önskar bli elkunder inom nätkoncessionen:

"Den som har nätkoncession för linje är, om det inte finns särskilda skäl, skyldig att på skäliga villkor ansluta en elektrisk anläggning till ledningen."

Samma krav ställs på den som har nätkoncession för område.

När det gäller själva överföringen och dess kvalitet gäller följande (ellagen 3 kap, 9 § (2005:1110)):

"Den som har nätkoncession är skyldig att på skäliga villkor överföra el för annans räkning."

Överföringen av el skall vara av god kvalitet.

En nätkoncessionshavare är skyldig att avhjälpa brister hos överföringen i den utsträckning kostnaderna för att avhjälpa bristerna är rimliga i förhållande till de olägenheter för elanvändarna som är förknippade med bristerna.

Regeringen eller den myndighet som regeringen bestämmer får meddela föreskrifter om vilka krav som skall vara uppfyllda för att överföringen av el skall vara av god kvalitet."

I samma paragraf specificeras också att elavbrott inte får, enligt lag, vara längre än 24 timmar, såvida inte avbrottet ligger utom nätbolagets kontroll eller inte skäligen kunde undvikts av nätbolaget.

I ellagen 4 kap, 1 § (2014:270) står allmänt om nättariffer:

"Nättariffer ska vara objektiva och icke-diskriminerande. De ska utformas på ett sätt som är förenligt med ett effektivt utnyttjande av elnätet och en effektiv elproduktion och elanvändning.

Regeringen eller, efter regeringens bemyndigande, nätmyndigheten får meddela föreskrifter om hur nättarifferna ska utformas för att främja ett effektivt utnyttjande av elnätet eller en effektiv elproduktion och elanvändning."

I ellagens femte kapitel diskuteras regleringen av nätkoncessionshavarens intäkter från nätverksamheten. Det står att nätkoncessionshavare ska lämna in ett förslag till intäktsram till nätmyndigheten som ska besluta om fastställande av intäktsramen i förväg för varje tillsynsperiod om fyra kalenderår. För beräkning av intäktsramens storlek gäller följande (ellagen 5 kap, 6 § (2009:892)):

"Intäktsramen ska täcka skäligen kostnader för att bedriva nätverksamhet under tillsynsperioden och ge en rimlig avkastning på det kapital som krävs för att bedriva verksamheten (kapitalbas)."

Vidare specificeras att kvaliteten i nätverksamheten bör påverka vad som kan anses vara en rimlig avkastning på kapitalbasen (ellagen 5 kap, 7 § (2009:892)):

"När intäktsramen bestäms ska hänsyn tas till kvaliteten i nätkoncessionshavarens sätt att bedriva nätverksamheten. En sådan bedömning kan medföra en ökning eller minskning av vad som anses vara en rimlig avkastning på kapitalbasen.

Vid bedömningen enligt första stycket ska ett avbrott i överföringen av el beaktas i den utsträckning avbrottet inte medför skadeståndsskyldighet för nätkoncessionshavaren eller ger rätt till avbrottsersättning enligt 10 kap. 10 §.

Regeringen eller, efter regeringens bemyndigande, nätmyndigheten får meddela föreskrifter om vad som avses med kvaliteten i nätkoncessionshavarens sätt att bedriva nätverksamheten."

Utifrån kraven i ellagen utser regeringen lämpliga myndigheter för olika ansvarsområden genom förordningar. För elnätverksamheten ansvarar Energimarknadsinspektionen för frågor som berör tillgänglighet och kvalitet för el och Elsäkerhetsverket för frågor som berör personsäkerhet och anläggningssäkerhet. I Elförordningen (2013:208) fastslås i 3 § att:

"Energimarknadsinspektionen ska vara nätmyndighet enligt 1 kap. 7 § ellagen (1997:857) och handlägga de frågor som anges i denna förordning."

ellagen 1 kap, 7 § (1999:770):

"Regeringen skall utse en myndighet som skall handlägga de frågor som enligt denna lag eller enligt föreskrifter som har meddelats med stöd av lagen ligger på nätmyndigheten."

Energimarknadsinspektionens uppgift är både att ta fram föreskrifter som specificerar kraven på "god kvalitet" för el och att utöva tillsyn inom ansvarsområdet. I föreskriften [2] definierar Energimarknadsinspektionen vad som menas med god kvalitet, eller leveranskvalitet, både för spänningskvalitet och för leveranssäkerhet. Spänningskvalitet innefattar alla störningar i spänning, exklusive avbrott, medan leveranssäkerhet beskriver sannolikheten att el överförs till kund utan avbrott. I detta projekt diskuteras

uteslutande leveranssäkerhet, ibland benämnt *tillgänglighet*. Elöverföringen till lågspänningskunder anses vara av god kvalitet vid 3 eller färre oaviserade långa (längre än 3 minuter) avbrott per år och kund medan minst 12 oaviserade långa avbrott per år och kund anses vara dålig kvalitet.

2.2.2 Energimarknadsinspektionen

En av de främsta uppgifterna för Energimarknadsinspektionen, som tillsynsmyndighet för elmarknaden, är att säkerställa att elnätsföretagens överföring av el på kort och lång sikt är leveranssäker och av god kvalitet. Eftersom elnätsföretagen har ensamrätt inom sina respektive geografiska områden kan man inte förlita sig på marknadskrafter när det gäller investeringar och åtgärder. För att skapa incitament för en välfungerande självreglering använder Energimarknadsinspektionen därför följande tre styrmedel:

- Administrativa styrmedel
 - Föreskrift om god kvalitet på elleveranserna
 - Funktionskrav som förbjuder avbrott över 24 timmar
- Ekonomiska styrmedel
 - Kvalitetsjustering i tariffregleringen
 - Avbrottsersättning till kunderna för avbrott över 12 timmar
- Informativa styrmedel
 - Lägesrapport med redovisning av elavbrotten i Sverige
 - Publicering av avbrottsdata

De administrativa styrmedlen är främst till för att upprätthålla en viss miniminivå på kvaliteten. Syftet med de ekonomiska styrmedlen är att skapa incitament för elnätsföretagen att öka leveranssäkerheten och fortlöpande underhålla och investera i sina elnät. Det finns två olika typer av ekonomiska styrmedel:

- Reglering av elnätsföretagens intäkter baserat på redovisad leveranssäkerhet [5 kap.7 § ellagen]
- Avbrottsersättning till kunder vid elavbrott längre än 12 timmar [10 kap. ellagen]

Dessa två kompletterar varandra eftersom avbrottsersättningen syftar till att minska de långvariga avbrotten medan regleringen av intäkter syftar till att upprätthålla eller förbättra medelkvaliteten.

De informativa styrmedlen används för att uppmärksamma utvecklingen av de svenska elnätens leveranssäkerhet och inkluderar rapporter som till exempel [1].

Kvalitetsreglerade nättariffer

Elmarknaden avreglerades 1996 men för nätverksamheten råder fortsatt monopol och tillsynsmyndigheten Energimarknadsinspektionen har ansvar för att elnätsbolagen inte tar mer betalt av sina elkunder, än vad som bedöms som skäliga nättariffer. Historiskt har utvärderingen av vad som får anses skäligt skett på olika sätt. På slutet av 90-talet bestod skälighetsbedömningen av en granskning av elnätsföretagens faktiska kostnader. Denna mycket resurskrävande metod ersattes år 2003 med den så kallade Nätnyttomodellen. Den byggde på att skapa ett referensnät utifrån objektiva förutsättningar i ett område. Kapitalkostnaden för referensnätet beräknades och jämfördes med elnätsföretagets kapitalkostnader. Vidare beräknades förväntad avbrottskostnad utifrån en uppskattning av kunders betalningsvilja för att undvika elavbrott. Nätnyttomodellen reviderades många gånger och små parameterjusteringar gav stora utslag i resulterande "skäliga" tariffer. Nätbolagen upplevde den heller inte

som verklighetsförankrad då den medgav för låga tariffer för att täcka elnätsföretagens kostnader. Nätnyttomodellen övergavs år 2009 och i en övergångsperiod övervakades elnätsföretagen med hjälp av ekonomiska marginalmått.

År 2012 infördes en ny reglering med förhandsprövning som gäller för den så kallade första tillsynsperioden 2012-2015. Tack vare att den rapporterade avbrottsstatistiken blivit mer detaljerad sedan 2010 har metoden kunnat vidareutvecklas inför andra tillsynsperioden 2016-2019. Bland annat har kostnadsparametrar uppdaterats och hänsyn tas till drabbad kundtyp. Dessutom jämförs elnätsföretagen mot en generell normnivå istället för gentemot sin egen historiska kvalitet.

Idag tillämpas alltså en kvalitetsjustering av nättariffer för att motverka risken för kvalitetsförsämringar till följd av elnätsföretagens monopolställning. Kvalitetsförsämringar kan uppstå om elnätsföretag försöker öka vinsterna genom till exempel minskat underhåll, minskad åtgärdsberedskap eller låga reinvesteringar i föråldrade anläggningar.

Idén med att kvalitetsjustera nättariffen, är att elnätsföretagens och samhällets prioriteringar ska sammanfalla genom att kundernas avbrottskostnader blir styrande via kvalitetsregleringen. Optimal leveranssäkerhet definieras som den leveranssäkerhet för vilken den totala kostnaden för samhället (kunders avbrottskostnader samt kostnader för elnätet) minimeras. Vid låg leveranssäkerhet är kundernas avbrottskostnader höga eftersom elavbrotten är många. Vid hög leveranssäkerhet är kostnaderna för elnätet höga. När elnätsföretagets marginalkostnad för att öka leveranssäkerheten är lika med kundernas minskade avbrottskostnader kommer det inte att löna sig för elnätsföretagen att investera mer i tillförlitlighet. Leveranssäkerhetsnivån blir på så sätt självreglerande och tillsynsmyndigheten behöver inte känna till elnätsföretagets kostnader för ökad leveranssäkerhet. Hur väl den här teorin omsätts i praktiken beror till stor del på hur väl kundernas avbrottskostnader kan bedömas. (egen notering: en brist i det här är att normvärdet inte motsvarar optimal leveranssäkerhet utan bygger på ett medelvärde av nuvarande leveranssäkerhet)

Dagens på förhand utförda kvalitetsreglering innebär en ökning eller minskning av intäktsramen beroende på om det aktuella elnätsföretaget har en god eller mindre god kvalitet på elöverföringen. Regleringen avser endast avkastning på kapitalbasen och ska inte inkräkta på den skäliga kostnadstäckningen. Värdet av ett tillförlitligt elnät mäts i avbrottskostnader, det vill säga de kostnader kunder får till följd av elavbrott. I [3] specificerar Energimarknadsinspektionen följande fem styreffekter:

1. De avbrottskostnader som används i incitamentet ska spegla samhällets kostnader.
2. Regleringen ska ge incitament att förbättra leveranskvaliteten i nätet.
3. Regleringen ska ge incitament till elnätsföretag (redovisningsenhet) som redan har en hög kvalitet att upprätthålla den kvaliteten.
4. Regleringen ska ge incitament som motverkar oskäligen kvalitetskillnader mellan elnätsföretag (redovisningsenheter).
5. Regleringen ska ge incitament som motverkar oskäligen kvalitetskillnader inom ett elnätsföretag (redovisningsenhet).

Inför den andra tillsynsperioden har avbrottskostnaderna uppdaterats enligt en nyare kundundersökning från 2003-2004 [4] [5], jämfört med den som använts tidigare från 1993 [6], för att bättre spegla samhällets kostnader (styreffekt 1). Avbrottskostnaden varierar mycket mellan kundtyperna: hushåll, industri, handel och tjänster, jordbruk

och offentlig verksamhet. För andra tillsynsperioden 2016-2019 gäller avbrottskostnader enligt Tabell 1.

Tabell 1 Kostnadsparametrar för kvalitetsreglering av intäktsramen för tillsynsperioden 2016-2019. [3]

Prisnivå 2013	Kostnad oaviserade avbrott		Kostnad aviserade avbrott	
	energi (SEK/kWh)	effekt (SEK/kW)	energi (SEK/kWh)	effekt (SEK/kW)
Industri	71	23	70	22
Handel och tjänster	148	62	135	41
Jordbruk	44	8	26	3
Offentlig verksamhet	39	5	24	4
Hushåll	2	1	2	0
Gränspunkter	66	24	61	18

Det bör nämnas att det inte finns inrapporterad data av icke-levererad energi eller avbruten effekt per avbrott. Istället används medelförbrukningen under året för de kunder som drabbas av avbrott.

Till sitt förfogande har Ei sedan 2010 avbrottsdata på kundnivå för samtliga elnätskunder i Sverige. I denna ingår, bland annat, antal avbrott, avbrottstid, ansluten effekt, överförd energi och en geografisk koppling till varje kund. Denna data möjliggör en riktad tillsyn mot de delar av elnäten i störst behov av förbättring.

I den redovisade avbrottsdatan görs skillnad mellan korta respektive långa avbrott och aviserade respektive oaviserade avbrott. Avbrott kortare än tre minuter klassificeras som korta. Det ställs höga krav på driftsäkerheten av elnätet, och elleveransens tillgänglighet var till exempel 99,98 % år 2010. Det är svårt att få en uppfattning om huruvida leveranssäkerheten är hög eller inte när måttet på tillgänglighet ligger så nära 100 %. Därför använder Energimarknadsinspektionen avbrottsindikatorer, alltså mått på otillgänglighet, istället. Definitionen av dessa indikatorer finns att hitta i [7].

De indikatorer som används i kvalitetsregleringen för lokalnät är SAIDI (System Average Interruption Duration Index=total avbrottstid/totalt antal kunder [minuter per kund och år]) och SAIFI (System Average Interruption Frequency Index=totalt antal långa avbrott/totalt antal kunder [avbrott per kund och år]) för oaviserade avbrott mellan 3 minuter och 12 timmar samt aviserade avbrott längre än 3 minuter (för kortare avbrott finns inte tillförlitlig statistik och längre avbrott än 12 timmar anses adresseras av de lagstadgade avbrottsersättningarna). Energimarknadsinspektionen kommer att beräkna en medelavbrottsnivå för alla lokalnät för att kunna jämföra kvalitetsskillnader mellan elnätsföretag (styreffekt 4). Elnätsföretag med sämre leveransskvalitet än medelavbrottsnivån, får medelavbrottsnivån som normvärde (styreffekt 2). Elnätsföretag med bättre leveransskvalitet än medelavbrottsnivån, får sin historiska leveransskvalitet som normvärde (styreffekt 3). Oavsett vilket beräknas normvärdet per kundtyp.

Skillnaden mellan ett elnätsföretags indikatorer SAIDI och SAIFI och dess tilldelade normvärde multipliceras med en kostnadsparameter för att få en avbrottskostnad.

Beroende på om denna avbrottskostnad är bättre eller sämre än normvärdet får elnätsföretaget ett tillägg eller avdrag på sin intäktsram. För att motverka oskäligen skillnader inom elnätsföretag (styreffekt 5) justeras avbrottskostnaden slutligen med hjälp av kvalitetsindikatorn CEMI4 (Customers Experiencing Multiple Interruptions = antal kunder med minst 4 avbrott/totalt antal kunder).

Regleringen för regionnätet går till på liknande sätt med skillnaden att elnätsföretagen bara jämförs med sin egen historiska kvalitet. Anledningen till detta är att det inte finns statistiskt underlag för att ta fram normvärden eftersom regionnätsföretagen är så få.

Avbrottsersättning

Nätbolagen är enligt ellagen skyldiga att betala ersättning till sina elkunder för elavbrott som varar längre än 12 timmar. Energimarknadsinspektionen ansvarar för att denna avbrottsersättning betalas ut enligt nedanstående principer. Elavbrottet anses avslutat vid den tidpunkt avbrottet upphört, om överföringen under de närmsta två timmarna fungerar. Avbrottsersättningen beräknas enligt följande principer (ellagen 10 kap, 12 §)

- För avbrott som varar mellan 12 och 24 timmar: 12,5 % av elanvändarens beräknade årliga nätkostnad, dock lägst 2 % av prisbasbeloppet (specificerat i [socialförsäkringsbalken (2010:110)], 44500 SEK år 2015) avrundat till närmast högre hundratal kronor.
- För varje därefter påbörjad tjugofyrtimmarsperiod ökas ersättningen med 25 % av elanvändarens beräknade årliga nätkostnad, dock lägst 2 % av prisbasbeloppet avrundat till närmast högre hundratal kronor.
- Den maximala avbrottsersättningen för ett elavbrott är 300 % av elanvändarens beräknade årliga nätkostnad.

Elanvändaren har inte rätt till avbrottsersättning om (ellagen 10 kap, 10 §):

- avbrottet beror på elanvändarens försummelse,
- överföringen av el avbryts av säkerhetsskäl eller för att upprätthålla en god drift- och leveranssäkerhet,
- avbrottet beror på ett fel utom nätbolagets kontroll som inte skäligen kunde undvikts av nätbolaget,
- avbrottet beror på ett fel i ett ledningsnät med en spänning om 220 kV (eller mer).

Elanvändare kan också ha rätt till ersättning för kostnader, inkomstförlust och andra skador orsakade av elavbrott, oberoende av hur långt avbrottet är (ellagen 11 kap, 10 §).

3 Nuvarande elnätskonfiguration

I detta kapitel sammanfattas nuvarande elnätskonfiguration baserat på intervjuer med branschfolk [17][18][19][20][21]. I avsnitt 3.1 diskuteras framförallt hur ledningsfel på mellanspänningsnivå hanteras eftersom det är en nyckelfråga vad gäller tillgänglighet. I avsnitt 3.2 presenteras dagens siffror för tillgänglighet översiktligt.

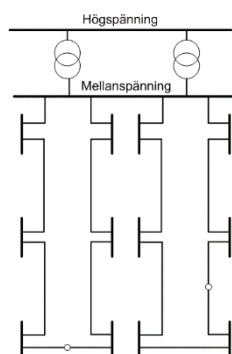
3.1 DAGENS KONFIGURATION

I det svenska distributionsnätet finns tre huvudsakliga kopplingsstrukturer: *slingnät*, *radiellt nät* och *dubbelkabelnät*. Det förstnämnda är vanligast förekommande och kommer därför att ges mest utrymme i föreliggande rapport. Radiella nät utan alternativa matningsvägar är vanligast på glesbefolkad landsbygd medan dubbelkabelnät uteslutande finns i storstäder (framförallt i Stockholm). Det bör också noteras att många nät består av en blandning av slingnät och radiella nät.

Kopplingsstrukturerna skiljer sig åt på mellanspänningsnivå men är oftast väldigt lika på lågspänningsnivå. I varje nätstation finns distributionstransformatorer som transformerar från mellanspänning till lågspänning. Dessa är oftast försedda med säkringar, vilket innebär att fel på lågspänningssidan bara ger upphov till avbrott hos de kunder som matas av samma distributionstransformator.

3.1.1 Slingnät

Ett slingnät kännetecknas av att alla nätstationer har *alternativa matningsvägar*. Figur 1 visar den vanligaste konfigurationen där den alternativa matningen sker från ett annat fack i samma fördelningsstation. Det finns dock varianter där nätstationer kan matas från olika fördelningsstationer, så kallade strängnät.



Figur 1 Exempel på ett slingnät som drivs öppet.

Slingnät drivs nästan alltid öppet vilket innebär att en öppen lastfrånskiljare delar slingan i två delar som matas av olika fack i fördelningsstationen. Det sitter nästan alltid effektbrytare i matande fack i fördelningsstationen medan det i nätstationer oftast, men inte alltid, sitter lastfrånskiljare. Vid övergång mellan kabel- och friledning finns det ibland linjefrånskiljare. Last- och linjefrånskiljarna är oftast lokalt styrda men det finns även fjärrstyrda sådana. Fjärrstyrning kräver någon form av kommunikationsmöjlighet med driftcentral.

Effektbrytarna i matande fack i en fördelningsstation är försedda med reläskydd som oftast innehåller överströms- och jordfelsskydd. I vissa fall kan de även innehålla distansskydd men för det krävs spänningsmätning och därmed spänningstransformatorer. Vid ett fel på mellanspänningsnivå kommer alltså brytaren i matande fack att koppla bort alla kunder som matas av det facket. Det händer dock att transformatorbrytaren i fördelningsstationen kopplar bort hela skenan.

Då ett fel uppstår på mellanspänningsnivå och brytaren i matande fack löser måste felet lokaliseras. I de allra flesta slingnät krävs det att personal rycker ut och lokaliserar felbehäftad sträcka genom patrullering av en ledning samt manuellt **sektionerar** bort den. Fellokalisering på jordkabel kräver ofta mätning med kabelfelsökare, vilket är tidskrävande. I de fall det finns fjärrstyrda lastfrånskiljare i slingan sektioneras dessa bort ifrån driftcentralen varpå tillkoppling sker. Det finns föreskrifter, som formellt är utgångna men fortfarande efterföljs, som kräver att ett sådant förlopp måste ske inom 90 s såvida felet inte lokaliserats eller avhjälpes [8]. I de fall det finns mätning i nätstationer, till exempel med felindikatorer, kan felet lokaliseras genom avläsning av dessa. Om det dessutom skulle finnas kommunikationsmöjlighet mellan nätstationer och driftcentral så att mätning av felström kan avläsas i driftcentralen, kräver fellokaliseringen ingen utryckning av personal överhuvudtaget.

När felet lokaliserats kan **omkoppling** ske och alternativa matningsvägar utnyttjas så att avbrottet upphör för så många kunder som möjligt trots att felbehäftat element inte reparerats eller ersatts ännu, utan bara tagits ur drift. Om minsta del som kan kopplas bort innehåller nätstationer kommer dessa inte att kunna matas förrän felet är åtgärdat. Avbrottstiden ökar markant om den varar från fel till reparationen är färdig jämfört med om den varar från fel till omkoppling. Hur många och vilka nätstationer som förses med kopplingsdon är en designfråga. Fler kopplingsdon minskar avbrottstiden och ökar därmed tillgängligheten. Samtidigt innebär fler komponenter i nätet också fler potentiella felkällor. Vad gäller hur tätt lastfrånskiljare placeras har en del nätbolag särskilda premisser vad gäller avstånd, antal kunder, last, antal nätstationer med mera. Om de ska placeras tätare än dessa konventioner ska det särskilt motiveras av att det, till exempel, ofta uppstår fel just här.

Det vanligaste är alltså att personal måste rycka ut och patrullera en ledning för att lokalisera felet och därefter manuellt koppla om till följd av ett mellanspänningsfel i ett slingnät. Tidsåtgången för denna åtgärd beror på många parametrar, som t ex placering av slingnätet, hur åtkomliga nätstationerna är, hur lång inställningstid personalen har m.m. I många fall får inställningstiden inte överskrida en timme och totalt sett borde fellokalisering och omkoppling då vara utförd inom några timmar.

I de fall vissa kunder inte kan matas från fördelningsstationen tills felet är åtgärdat kan strömförsörjningen tillfälligt ordnas med hjälp av reservverk.

I dagsläget utförs generellt bara strömmätning på fack i fördelningsstation och effektmätning hos kund. Ibland finns även spänningsmätning på fack i fördelningsstation, till exempel om facket innehåller lokal produktion. I vissa fall finns det felindikatorer i nätstationer som visar (oftast bara genom att tända en lampa) om felström passerat indikatorn.

Det finns sällan kommunikationsmöjlighet mellan nätstationer och matande fördelningsstation (och i förlängningen driftcentralen). Ibland finns det i nätstationer en RTU (eller annan kommunikationsenhet) som kan kommunicera med driftcentralen på olika sätt: signalkabel, radio, GSM, RAKEL, optisk fiber, m.m. Optisk fiber är dock

sällsynt. Vissa nätbolag har som princip att lägga optisk fiber vid nyanläggning eller ombyggnad medan andra lägger rör för framtida fiber. De flesta anser det inte vara kostnadseffektivt utan väljer hellre en annan form av kommunikation.

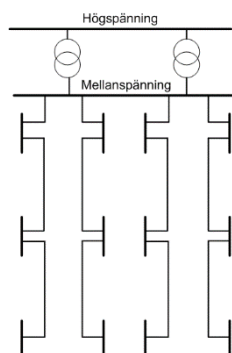
Vissa lastfrånskiljare och linjefrånskiljare är i dagsläget fjärrstyrda men inte majoriteten. När en brytare i ett mellanspänningsfack slagit från testas först att från driftcentral sektionera med de fjärrstyrda kopplingsdon som finns. På detta sätt begränsas antalet drabbade kunder så fort som möjligt. Om inte alla ledningar i slingan är utrustade med fjärrstyrda kopplingsdon måste personal rycka ut för att fortsätta fellokaliseringen och manuellt sektionera på plats i nätstationerna.

Det är ytterst sällsynt att det finns automatiker för fellokalisering och omkoppling. Ibland finns det fördröjd återinkopplingsautomatik på brytaren i matande fack. Om det är ett övergående fel, det vill säga att felet avhjälpas utan reparation, kan kunderna med hjälp av automatisk fördröjd återinkoppling återfå matning efter ett mycket kort avbrott (i storleksordningen en halv minut) och utan någon insats av personal.

Det finns slingor som drivs slutna men det är mycket sällsynt i distributionsnätet. Oftast är det motiverat av att de anslutna kunderna är extremt känsliga för avbrott, som till exempel sjukhus och vissa industrinät. För att uppfylla felbortkopplingskraven kan det krävas andra typer av skydd än de konventionella tidsselektiva skydden, som överströmsskydd och jordfelsskydd. Istället kan längsdifferentielskydd och kommunicerande jordfelsskydd användas vilket ger selektiv och mycket snabb felbortkoppling. I stort sett appliceras då skyddskoncept från högre spänningsnivåer i distributionsnät. Det ger hög tillgänglighet men är också kostsamt.

3.1.2 Radiellt nät

Ett radiellt nät karakteriseras av att varje nätstation bara har en matningsväg, se Figur 2. Därmed finns det ingen redundans i själva nätet.



Figur 2 Exempel på ett radiellt nät.

Det sitter nästan alltid effektbrytare i matande fack i fördelningsstationen medan det i vissa nätstationer sitter lastfrånskiljare. Vid övergång mellan kabel- och friledning finns det ibland linjefrånskiljare. Last- och linjefrånskiljarna är nästan alltid lokalt styrda och fjärrstyrda sådana är sällsynta. Fjärrstyrning kräver någon form av kommunikationsmöjlighet med driftcentral vilket är ovanligt i radiella nät.

Effektbrytarna i matande fack i fördelningsstationen är försedda med reläskydd, oftast överströms- och jordfelsskydd. Vid ett fel på mellanspänningsnivå kommer alltså brytaren i matande fack att koppla bort alla kunder i det radiella nätet. För att

lokalisera felet krävs det att personal rycker ut och felsöker. Om det finns mätning av felström i nätstationer kan felet lokaliseras genom avläsning istället för att patrullera ledningar. Det är dock mycket sällsynt att nätstationer i radiella nät är försedda med denna typ av mätinstrument. Ännu ovanligare är det att det dessutom finns kommunikationsmöjlighet mellan sådana mätinstrument i nätstationer och driftcentralen så att fellokalisering kan ske ifrån driftcentralen helt och hållet.

När felet lokaliserats kan omkoppling ske så att nätstationerna, mellan matande fack och lastfränkskiljaren närmast ovanför felstället, kan strömförsörjas från fördelningsstationen. Nedanför denna lastfränkskiljare kan nätstationerna inte matas från fördelningsstationen förrän felet är reparerat eller felbehäftat element är ersatt. Om denna avbrottsd tid förutspås bli för lång kan kundernas strömförsörjning tillgodoses med hjälp av reservverk. Radiella nät återfinns ofta i glesbefolkad landsbygd där det kan vara svårt att ta sig ut till nätstationer och ännu svårare att transportera och koppla in ett reservverk. Av samma anledning är också tidsåtgången för att lokalisera ett fel i genomsnitt längre än i typiska slingnät till exempel. Om mobila reservverk inte används blir avbrottsd tiderna mycket långa för kunderna nedanför felstället eftersom felet måste åtgärdas innan de återfår strömmen.

Vad gäller mätning finns det oftast bara strömmätning på fack i fördelningsstation och effektmätning hos kund men ingen mätning överhuvudtaget i nätstationer. Ibland finns även spänningsmätning på fack i fördelningsstation, till exempel om där finns lokal produktion ansluten.

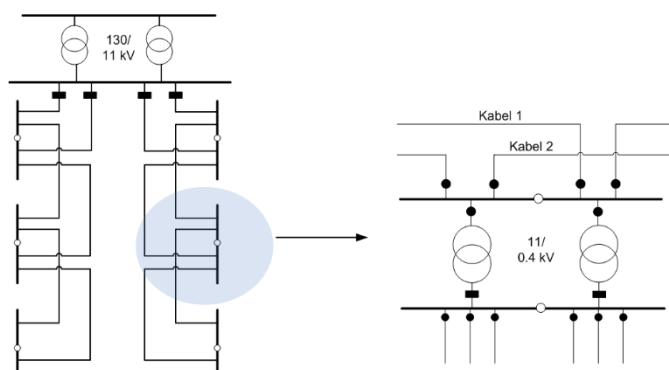
Det finns väldigt sällan någon kommunikationsmöjlighet mellan nätstationer och driftcentral. I de fall det finns rör det sig om någon enklare form, som t ex radiokommunikation, och inte optisk fiber.

Fränkskiljare i radiella nät är mycket sällan fjärrstyrda. Det finns inte så mycket att vinna ur ett tillgänglighetsperspektiv på att ha fjärrstyrda kopplingsdon eftersom det inte finns alternativa matningsvägar i radiella nät. Kunder nedanför felstället kan ändå inte matas förrän felet är åtgärdat såvida inte ett reservverk kopplas in under tiden.

I radiella nät som innehåller luftledning finns ofta automatik för fördröjd återinkoppling på brytaren i matande fack. Om det är ett övergående fel, kan kunderna med hjälp av återinkopplingsautomatik återfå matning efter ett mycket kort avbrott och utan någon insats av personal.

3.1.3 Dubbelkabelnät

Ett dubbelkabelnät kännetecknas av att varje nätstation kan matas av två parallella kablar, enligt Figur 3. Nätstationerna i ett dubbelkabelnät är oftast, *dubbelkabelstationer*, konstruerade enligt Figur 3 men kan även vara slingstationer. Dubbelkabelnät drivs nästan alltid radiellt, d.v.s. nätstationer matas från en av två möjliga kablar som i sin tur matas av olika fack i fördelningsstationen. Det sitter effektbrytare i matande fack i fördelningsstationer medan det i nätstationer sitter lastfränkskiljare. Lastfränkskiljarna är sällan fjärrstyrda men i många fall motordrivna för att tillåta omkopplingsautomatik som diskuteras nedan. Som namnet antyder består ledningen i dubbelkabelnät nästan uteslutande av kabel. Därmed är ledningsfel inte övergående.



Figur 3 Exempel på ett dubbelkabelnät och en dubbelkabelstation i förstoring.

Effektbrytarna i matande fack i fördelningsstationen är försedda med reläskydd som oftast innehåller överströms- och jordfelsskydd. Vid ett fel på mellanspänningsnivå kommer brytaren i matande fack att koppla bort alla kunder som matas av det facket. En av fördelarna med dubbelkabelnät är att vid fel kan omkoppling, så att alla kunder återfår matning, ske *före* fellokalisering. Lastfrånskiljarna i de drabbade dubbelkabelstationerna kopplas helt enkelt om så att stationerna går över till att matas av den andra kabeln, som i sin tur matas av ett annat fack i fördelningsstationen. Avbrottstiden till följd av fel beror alltså bara av hur lång tid det tar att åstadkomma omkopplingen. Fellokalisering måste ändå ske men påverkar inte tillgängligheten.

I många fall finns automatik som, vid avbrott, åstadkommer omkopplingen av frånskiljarna i dubbelkabelstationen. En stor fördel med denna automatik är att den styrs av mätdata som inhämtas lokalt i stationen och därmed inte kräver någon kommunikation. Den förutsätter dock motorstyrning av lastfrånskiljare.

I de fall omkopplingsautomatik saknas måste personal rycka ut till drabbade nätstationer och manuellt koppla om lastfrånskiljarna. I Stockholm, som har det största dubbelkabelnätet i Sverige, är tillgängligheten till nätstationer begränsad i dagsläget. Det gör att avbrottstiderna kan vara ett antal timmar trots de goda förutsättningarna.

De två kablarna i dubbelkabelnät läggs ofta i samma grav. Därmed kommer vissa kabelfel att drabba båda kablarna samtidigt. I så fall kan kunder inte matas från fördelningsstationen förrän felet är åtgärdat.

I dubbelkabelnät är mätning och kommunikation inte direkt kritisk för att minska avbrottstiderna för elkunder. Däremot är det användbart, till exempel, vid fellokalisering och för att föra statistik. I Stockholmsnätet finns till exempel många nätstationer med felindikatorer som mäter felström. Det finns också olika typer av kommunikationsmöjligheter, som till exempel optisk fiber, koppartråd eller hyrda teleförlinor.

3.2 TILLGÄNGLIGHET

De mått på tillgänglighet som nätbolag redovisar till Energimarknadsinspektionen, som till exempel SAIDI och CAIDI, gäller för hela nätbolaget och är inte uppdelade på olika typer av nätkonfiguration [9]. Det är heller inte specificerat vilken typ av fel som ligger bakom avbrottstiden. Den sammanställning som Svensk Energi gör årligen ger en bild av hur antalet fel fördelas mellan olika typer av fel [10]. Utifrån denna data går det dock inte att se hur långa avbrott de olika typerna av fel resulterar i.

Eftersom de stora nätbolagen har så många olika typer av nättopologier och kopplingsmöjligheter och framförallt så många distributionsnät går det inte att urskilja hur en specifik slingstruktur bidrar till statistiken av tillgänglighet. Internt däremot skulle nätbolag kunna kategorisera sin statistik utifrån typnät för att få ett bedömningsunderlag för hur designprinciper påverkar tillgänglighetsmåten.

Det som kan sägas generellt är dock att fel på lågspänningssidan är många fler till antalet än de på mellanspänningsnivå. Däremot påverkar felen på mellanspänningsnivå så många kunder att dessa helt och hållet dominerar tillgänglighetsmåten. En annan generell observation är att ledningsfel är den vanligaste typen av fel på mellanspänningsnivån [10].

Sammanfattningsvis är det svårt att ur nätbolagens rapporterade data dra slutsatser om hur lång avbrottstid olika typer av fel ger upphov till i olika typer av nätkonfigurationer.

4 Förslag att överväga vid nybyggnad och ombyggnad av distributionsnät

Huvudsyftet med föreliggande arbete är att diskutera hur nätuppgbyggnad och modern teknik kan implementeras i distributionsnätet för att på ett kostnadseffektivt sätt öka tillgängligheten. I detta kapitel ges konkreta förslag att utvärdera vid nybyggnad, modernisering och ombyggnad. I nästa kapitel ges exempel på hur förslag för ett antal typnät kan utvärderas med hjälp av en investeringskalkyl.

När det gäller att öka tillgängligheten finns det två angreppssätt: 1) att bygga bort felkällor så att felrater minskar och 2) att förbättra felhanteringen. Det förstnämnda gäller till exempel dimensionering av transformatorer och ledningar, andel kabel kontra friledning och antal nätstationer med mera. Hur robust ett nät än byggs kommer det ändå att uppstå fel. Därför måste även felhantering utvärderas vid ny- och ombyggnad. De två angreppssätten är givetvis korrelerade så till vida att ju klenare nät desto större behov finns det av effektiv felhantering.

Den årliga kostnaden för avbrott i ett specifikt nät sätter ramen för hur stor investering som är kostnadseffektiv för att öka tillgängligheten. För att uppskatta avbrottskostnader kan följande förenklade samband antas gälla:

- Tekniska specifikationer (andel kabel kontra friledning, dimensionering, ledningslängder, mm ger felrater)
- Kopplingsstruktur och felhantering ger antal avbrott och avbrottstid till följd av fel.
- Kundtätthet och kundtyp ger kostnad för avbrott som beror både på antal avbrott och avbrottstid.

De två översta punkterna ger tillgängligheten i nätet medan den sista punkten sätter ett värde på densamma. I detta arbete ligger fokus på att öka tillgängligheten genom att med nätuppgbyggnad och modern teknik effektivisera felhantering medan sätt att bygga bort felorsaker samt uppskattning av kundkostnader ligger utanför projektets omfattning. Vid nybyggnad, ombyggnad och modernisering måste alla tre aspekter och samspelet dem emellan beaktas.

Valet av kopplingsstruktur behandlas i avsnitt 4.1 och är aktuellt vid nybyggnad. Givet en viss kopplingsstruktur är övervägandena desamma vid ny- och ombyggnad. I avsnitt 4.2-4.4 presenteras därför idéer till hur nätuppgbyggnad och modern teknik kan öka tillgängligheten utifrån de tre vanligaste kopplingsstrukturerna.

4.1 VAL AV KOPPLINGSSTRUKTUR

Det är främst vid nybyggnation som det är aktuellt att fundera över vilken kopplingsstruktur som är att föredra. Det bör noteras att nybyggnation är relativt ovanlig eftersom distributionsnätet i Sverige är så väl utbyggt.

Ur ett tillgänglighetsperspektiv förespråkas att välja en konfiguration där alla nätstationer har alternativa matningsvägar. Om det är kostnadseffektivt eller inte beror givetvis på förutsättningarna. I första hand är det kundtätthet och kundtyp som styr. Det beror också på vilka felrater som förutspås, något som i sin tur beror på hur robust design som kommer att implementeras. Som diskuterades ovan ligger denna aspekt utanför denna rapport men måste likväl beaktas vid val av kopplingsstruktur.

För effektiv felhantering som resulterar i ökad tillgänglighet är slingnät som drivs öppna, ett bra och väletablerat koncept. Det finns ett antal parametrar, som till exempel antal nätstationer, andel kabel- och friledning och dimensionering på transformatorer, som kan varieras för att optimera kostnadseffektiviteten med avseende på kundtätthet och kundtyp. Erfarenhetsmässigt går det att designa kostnadseffektiva slingnät i tätorter och tätbefolkad landsbygd.

Ju lägre kundtätthet och ju högre andel hushållskunder, desto svårare blir det att ekonomiskt motivera slingnät framför radiellt nät. Det innebär att det i glesbefolkad landsbygd kan vara orimligt att vid nybyggnad välja något annat än radiell konfiguration trots att tillgängligheten inte blir lika hög.

I andra änden av skalan av kundtyper återfinns högekänsliga kunder som till exempel sjukhus och viss industri. Att designa för drift i slutna slingor är kostsamt med tanke på det skyddskoncept som krävs för att möta felbortkopplingskraven. Därför är det bara lönsamt om avbrotten också är kostsamma. Avbrott kan ju dessutom vara kostsamma på andra sätt än ekonomiska, som till exempel på sjukhus.

Valet av kopplingsstruktur bör också styras av omgivande nät. I städer som Stockholm och Göteborg där dubbelkabelnät respektive trebenskoppling är vanligt förekommande kan dessa vara vettiga alternativ. Det finns stora fördelar med enhetlighet vad gäller rutiner, driftfilosofi och erfarenhet.

4.2 SLINGNÄT

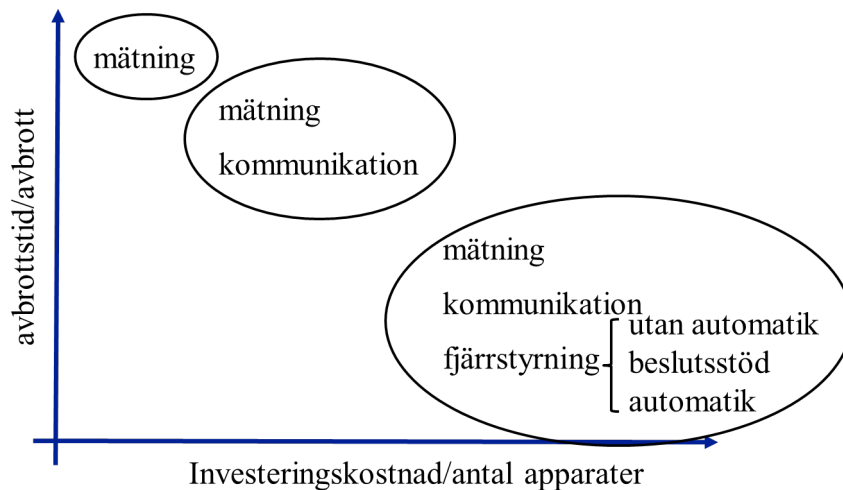
Ökad tillgänglighet i ett slingnät kan åstadkommas både genom att minska antalet avbrott och genom att minska avbrottstiden givet en viss felrat. Antalet avbrott skulle minska om man drev slingnätet slutet istället för öppet. En sådan lösning kräver ett helt annat skyddskoncept och effektbrytare på alla ledningar. Därför är drift i slutna slingor bara kostnadseffektiv för kunder som är mycket känsliga för avbrott. Drift i slutna slingor diskuteras i avsnitt 4.2.2. I alla övriga fall är det rimligare att driva ett slingnät öppet och att fokusera på att minska avbrottstiden istället. Avsnitt 4.2.1 diskuterar förslag till hur tillgängligheten kan ökas genom att minska avbrottstiden i öppna slingnät.

4.2.1 Öppen slinga

Hur många och vilka nätstationer som förses med fränkskiljare är en viktig designfråga som kräver utredning. För så effektiv felhantering som möjligt bör varje ledning i slingan förses med kopplingsdon i båda ändar. Då kan alla nätstationer matas trots att en ledning är bortkopplad. Det är naturligtvis en kostnadsfråga men även en riskbedömning. Fler kopplingsdon innebär också fler potentiella felkällor. Precis som i valet av kopplingsstruktur beror detta strategiska beslut till stor del på kundtätthet, kundtyp och felrater i aktuell slinga. För nybyggnad måste generell statistik användas för att uppskatta felrater medan det vid ombyggnad är önskvärt att utgå ifrån historisk data för aktuellt nät. Det förutsätter att fel och påföljande avbrottstider löpande dokumenteras och finns tillgängliga vid denna typ av strategiska beslut.

Beroende på hur stora årliga kostnader elavbrott medför i ett specifikt slingnät, kan det vara ekonomiskt motiverat att implementera olika grad av fjärrstyrning (med eller utan automatik), kommunikation och mätning för att öka tillgängligheten, se Figur 4. Om hela felhanteringen, i form av lokalisering av fel och omkoppling till alternativ matning, kan hanteras från driftcentralen bör avbrottstiden inte vara längre än tio

minuter. En sådan lösning med höga investeringskostnader kan vara aktuell att implementera i slingnät i tätorter med höga kostnader för avbrott till följd av hög kundtätthet och många känsliga kunder.



Figur 4 De årliga avbrottskostnaderna bestämmer vilka investeringskostnader som är rimliga. Ju högre investeringskostnader desto högre grad av mätning, kommunikation, fjärrstyrning och automatik kan implementeras för att få ner avbrottstiden per avbrott och därmed öka tillgängligheten.

Fellokalisering ifrån driftcentral förutsätter strömmätning i nätstationer och kommunikation av mätdata till driftcentralen. För att möjliggöra fjärrstyrd omkoppling måste det också finnas kommunikationsmöjlighet mellan driftcentral och lastfrånskiljare som i sin tur måste vara motorstyrda. Effektbrytaren i matande fack i fördelningsstationen skulle fortfarande ta hand om själva felbortkopplingen, medan omkopplingen av frånskiljare för isolering av felstället följt av tillslag av samma effektbrytare kan ses som en form av återinkoppling. Därmed ställs inte samma krav på kommunikationshastigheten vilket innebär att andra typer av kommunikation än optisk fiber är tänkbara.

Kostnaden för att implementera denna design beror på förutsättningarna. Vad gäller fjärrstyrningen av lastfrånskiljare kan motorstyrning i de flesta fall efterinstalleras om sådan saknas på befintliga kopplingsdon. Kostnadmässigt kan det dock vara svårt att motivera en sådan efterinstallation jämfört med att byta ut befintliga lastfrånskiljare mot nya motordrivna, alternativt mot effektbrytare.

Kraven på kommunikationsmöjligheter utgör en desto större utmaning. Den snabbaste och säkraste formen av kommunikation är, i dagsläget, optisk fiber. Att i befintligt nät gräva ner en optisk fiber är mycket kostsamt och kan därmed inte rimligtvis enbart motiveras av ökad tillgänglighet. Det kan däremot finnas andra skäl till att optisk fiber redan finns eller rör för optisk fiber redan är anlagda i befintligt nät. På samma sätt har vissa nätbolag som praxis att vid nybyggnad lägga optisk fiber eller rör för optisk fiber. Det finns dock andra typer av kommunikation, som t ex via GSM-nätet eller radiokommunikation, som skulle kunna appliceras eftersom hastighetskraven inte är så höga som om det gällde felbortkoppling.

Givet möjligheten att ifrån driftcentral kunna koppla om till alternativa matningsvägar vid fel, kan olika grad av automatik övervägas. Med full automatik skulle alla kunder

återfå strömmen inom ett par sekunder efter ett ledningsfel på mellanspänningsnivå. Att minska avbrottstiden ner till ett par sekunder jämfört med tio minuter är mest relevant för särskilt känslig last, som till exempel hissar. Det finns dock skäl att noggrant överväga ofrånkomliga risker med automatik i form av tillförlitlighet och säkerhet. Är vikten av tillförlitlig omkoppling större än vinsten med att minska avbrottstiden från storleksordningen tio minuter till några sekunder finns ingen anledning att implementera automatik. På samma sätt bör automatik undvikas om det finns risk att arbete pågår utan att detta syns i övervakningssystemet och därmed kan påverka omkopplingen. Det finns också kompromisser mellan ingen och full automatik där automatisk omkoppling sker efter godkännande av behörig personal i driftcentral, så kallat *beslutsstöd*.

För slingnät med inte fullt så höga kostnader för avbrott kan en del av frånskiljarna i slingan vara fjärrmanövrerade för att kunna utföra en grov omkoppling ifrån driftcentralen. Finare omkoppling får då ske manuellt genom att personal rycker ut.

För slingor med ytterligare ett steg lägre kostnader för avbrott, är det kanske inte ekonomiskt motiverbart med fjärrmanövrerade frånskiljare överhuvudtaget. Däremot kan strömmätning i nätstationer och kommunikation av mätdata till driftcentral fortfarande vara aktuellt. Det skulle innebära att fellokalisering kan ske ifrån driftcentral så att personal kan rycka ut till rätt nätstationer för manuell omkoppling. Med en sådan lösning borde avbrottstiden uppskattningsvis inte vara längre än någon timme.

För slingnät med ännu lägre kostnader för avbrott kan enbart mätning i nätstationer vara ett alternativ att överväga. Med en sådan lösning skulle fellokalisering kräva att personal körde runt till nätstationer för avläsning av mätvärde men inspektion av friledningar eller mätning med kabelfelsökare på jordkablar skulle inte behövas. En sådan effektivisering av fellokaliseringen skulle kunna minska avbrottstiden i snitt från ca 3 till 1,5 timme.

En annan typ av automatik som är relevant att överväga är *fördröjd återinkoppling*. Denna typ av automatik som styr effektbrytaren i matande fack är redan idag väletablerad och finns i de flesta felbortkopplingssystem. En sådan automatik återställer matningen till alla kunder inom en minut om felet är övergående. Övergående fel uppstår framförallt på friledningar och fördröjd återinkoppling bör därför finnas i alla slingnät som innehåller luftledning.

4.2.2 Sluten slinga

Drift i sluten slinga kan vara aktuellt för laster med så höga kostnader för avbrott att det inte är tillräckligt att minimera avbrottstiden, utan att antalet avbrott måste minska. Det kan tänkas vara sjukhus där elavbrott kan vara en fråga om liv och död. En annan möjlig målgrupp skulle kunna vara industrier vars verksamheter blir stillastående en längre tid till följd av elavbrott, oavsett avbrottstid.

För att ett ledningsfel inte ska ge upphov till något elavbrott överhuvudtaget krävs reläskydd och effektbrytare på alla ledningar. Konventionella tidsselektiva skydd, som överströmsskydd och jordfelsskydd, kan, i långa slingor, kräva otillåtet långa tidsfördröjningar för fel på ledningarna närmast matningen. I andra lägen kan ledningar vara för korta för att tillräcklig selektivitet ska kunna uppnås med dessa typer av skydd. För att komma runt den här problematiken kan längsdifferentialskydd och kommunicerande jordfelsskydd användas. Båda typerna av skydd bygger på att

det finns kommunikationsmöjligheter mellan alla nätstationer. För att uppfylla tidskrav på felbortkoppling krävs snabb kommunikation, företrädesvis optisk fiber eller signalkabel. Annan typ av kommunikation skulle i dagsläget inte ge tillräckligt snabb felbortkoppling. Båda skyddskoncepten är absolutselektiva och ger mycket snabb felbortkoppling. Utformningen av selektivplanen blir dessutom mycket enklare och därmed säkrare. Förutom dessa uppenbara fördelar kan alltså längsdifferentialskydd och kommunicerande jordfelsskydd vara en förutsättning för att klara felbortkopplingskraven i slutna slingor.

Sammanfattningsvis kan kostsamma skyddskoncept, med absolutselektiv felbortkoppling, från högre spänningsnivåer vara värda att överväga i distributionsnät med höga krav på tillgänglighet.

4.3 RADIELLT NÄT

Alla förslag som gäller för öppen slinga skulle hypotetiskt kunna appliceras på radiella nät. Den stora skillnaden är att det i radiella nät saknas alternativa matningsvägar, varför omkoppling bara kan återupprätta matning till kunder mellan matande fack i fördelningsstationen och felstället. På andra sidan felet kan nätstationerna inte matas från fördelningsstationen förrän felet är reparerat eller felbehäftat element är ersatt. Däremot kan reservverk kopplas in för att avbrottstiden för dessa kunder inte ska bli alltför lång.

Med tanke på kundtätthet och kundtyper i typiska radiella nät är de totala avbrottskostnaderna inte så stora. Det innebär att det inte finns mycket utrymme för att investera i ökad tillgänglighet. Därför är fullskalig implementering av föreslagen designlösning, i form av fjärrstyrda lastfrånskiljare i varje nätstation, i praktiken otänkbar. Delar av förslaget kan trots allt vara kostnadseffektiva. Om det till exempel ofta uppstår fel långt ut i nätet kan det finnas skäl att på ett strategiskt ställe placera ut en lastfrånskiljare som kan manövreras från driftcentralen.

Övergående fel är vanliga i radiella nät eftersom de ofta innehåller hög andel luftledning. Därmed är fördröjd återinkopplingsautomatik, som styr effektbrytaren i matande fack, att rekommendera i de fall det inte redan finns.

4.4 DUBBELKABELNÄT

En av fördelarna med dubbelkabelnät är att alla nätstationer har en alternativ matningsväg. Omkopplingen vid fel kan dessutom ske före fellokalisering. Avbrottstiden bestäms därmed av tidsåtgången för att åstadkomma omkopplingen. Fellokalisering, med hjälp av inspektion av ledning eller mätning, måste ändå ske men påverkar inte tillgängligheten.

I en del dubbelkabelstationer finns automatik som sköter omkopplingen av frånskiljarna vid avbrott. En stor fördel med denna automatik är att den endast kräver indata som kan inhämtas lokalt i stationen och därmed inte förutsätter någon kommunikationsmöjlighet med driftcentral. Den kräver dock motorstyrning av lastfrånskiljare.

Om omkopplingsautomatik saknas måste personal rycka ut och koppla om manuellt. Nätstationerna är inte alltid lättillgängliga vilket kan innebära avbrottstider runt ett par timmar. Med automatik minskas avbrottstiden till ett par sekunder. Kostnaden för att installera automatik utgörs till största delen av att åstadkomma motorstyrning av

lastfrånskiljare, antingen genom att ersätta kopplingsdon eller genom efterinstallation av motorstyrning på befintligt kopplingsdon. Dessutom måste omkopplingsautomatik installeras i varje nätstation. Den totala kostnaden bör vara liten i förhållande till vinsten i ökad tillgänglighet. Installation av omkopplingsautomatik i dubbelkabelstationer är därmed att rekommendera.

Det bör nämnas att mätning och kommunikation i dubbelkabelnät kan vara mycket användbart även om det är svårt att rättfärdiga med ökad tillgänglighet. Till exempel kan det innebära att fellokalisering kan utföras ifrån driftcentral. Likaså kan mätning vara användbart för att få information om nätet så att framtida strategiska beslut kan grundas på statistik.

Övergående fel är mycket ovanliga i dubbelkabelnät eftersom ledningarna nästan uteslutande är kablar. Därmed är fördröjd återinkopplingsautomatik, som styr effektbrytaren i matande fack, inte lika relevant för att öka tillgängligheten som i friledningsnät.

4.5 ÖVRIGA ASPEKTER

Ovanstående förslag att införa modern teknik och fler kopplingsdon måste ställas mot den ökade risken för fel som kommer med att bygga in fler komponenter i nätet. Det är också viktigt att förslag till effektivare felhantering vägs mot alternativa lösningar som gör nätet robustare och därmed minskar antalet uppkomna fel. Avslutningsvis bör det noteras att det kan finnas andra motiv än ökad tillgänglighet som rättfärdigar ovanstående förslag. Som exempel kan fjärrmanövrering av kopplingsdon inte bara spara tid och pengar, utan möjliggör också en säkrare arbetsmiljö.

5 Modellering av typnät

I vilken utsträckning det är lönsamt att investera i ökad tillgänglighet beror på förutsättningar vad gäller kopplingsstruktur, kundtätthet och kundtyp. För att utvärdera om en designlösning är kostnadseffektiv måste en investeringskalkyl upprättas. Nedan följer beräkningsexempel för ett antal olika förslag och typnät för att åskådliggöra ett möjligt tillvägagångssätt. Det är viktigt att poängtera att resultatet är helt beroende av indata för ett specifikt nät, såsom antal kunder och kundtyp, antal nätstationer, installerad effekt, total last, andel jordkabel kontra oisolerad luftledning, ledningslängder med mera. Det är alltså metoden och resonemangen som är generellt användbara, inte själva resultatet. Därför är det i nedanstående exempel tydligt specificerat på vilka grunder olika indata valts och varifrån information har hämtats.

För varje typnät presenteras en designlösning som anses relevant för denna typ av nät. Det bör dock poängteras att det finns andra designlösningar som också kan vara aktuella för en viss typ av nät, beroende på dess egenskaper.

När en investeringskalkyl ska upprättas måste vinsten av ökad tillgänglighet kvantifieras, vilket innebär att den totala årliga kostnaden för elavbrott (oavsett vem den drabbar) för ett specifikt nät måste uppskattas. För det krävs uppskattning av antal fel per år, *felrater*, och avbrottstid per avbrott samt kostnader per avbrott för ett visst nät. Om en designlösning ökar tillgängligheten innebär det en minskning av den totala årliga kostnaden för elavbrott. Denna minskade kostnad ställs mot investeringskostnaden och den ökade drift- och underhållskostnaden som designlösningen medför.

5.1 FELRATER

I dessa förenklade beräkningsexempel behandlas enbart ledningsfel på mellanspänningsnivå eftersom de dominerar tillgänglighetsmåten SAIDI och CAIDI. För att beräkna hur många elavbrott som sker till följd av ledningsfel i ett specifikt nät, krävs felrater - *antal fel per kilometer och år* - för de ingående ledningstyperna. Energimarknadsinspektionen sammanställer alla nätbolags årsrapporter och där finns totala installerade ledningslängden för högspänningsledningar i lokalnät. I [11] redovisas att den totala ledningslängden för oisolerad luftledning var 60 489 km och för jordkabel 112 128 km år 2013. I denna sammanställning framgår inte antalet fel uppdelat på olika felorsaker. Det går däremot att finna i Svensk Energis sammanställning av driftstörningsstatistik DARWin [12]. För 2013, inträffade 8460 respektive 3678 fel, som gav upphov till elavbrott längre än 3 minuter, på oisolerad luftledning respektive jordkabel. Med dessa siffror erhålls följande felrater:

$$\frac{8460 \text{ antal fel}}{60489 \text{ km}} \approx 0,140 \text{ antal fel}/(\text{km} \cdot \text{år})$$

oisolerad luftledning

$$\frac{3678 \text{ antal fel}}{112128 \text{ km}} \approx 0,033 \text{ antal fel}/(\text{km} \cdot \text{år})$$

jordkabel

Hur många ledningsfel som uppstår under ett år i ett specifikt nät beror på hur många kilometer oisolerad luftledning respektive jordkabel som ingår samt på väderförhållandena under det betraktade året.

5.2 AVBROTTSTID

Det finns ingen statistik på avbrottstider till följd av fel på jordkabel respektive oisolerad luftledning. Den avbrottstid som rapporteras till Energimarknadsinspektionen är inte uppdelad på olika typer av fel. Avbrottstiden till följd av fel på jordkabel respektive oisolerad luftledning har därför uppskattats med tanke på vilka åtgärder som krävs i det aktuella typnätet.

5.3 KOSTNADER PER AVBROTT

Investeringskostnader och ökade driftkostnader kommer att drabba elnätsföretagen. Minskade avbrottstider och därmed minskade kundkostnader kommer däremot elkunderna till godo. Det är alltså en part som står för investeringen och en annan som tjänar på den. Denna obalans bör jämnas ut med hjälp av reglering av nättariffen utifrån Energimarknadsinspektionens regelverk [13]. Förutsatt att regelverket fungerar är det därför mer intressant att utvärdera investeringen ur ett helhetsperspektiv än för respektive part. Föreliggande rapport utgår ifrån ett samhällsperspektiv och tittar på alla in- och utgifter, oberoende av vem de drabbar eller tillfaller, och ersättningen mellan elnätsföretagen och dess kunder har uteslutits.

5.3.1 Kundkostnader

Den stora kostnaden av elavbrott drabbar elkunderna. Historiskt har det gjorts många försök att kvantifiera dessa kostnader. I de flesta undersökningar kategoriseras elkunderna i olika kundtyper eftersom olika verksamheter är olika känsliga för elavbrott. För varje kundtyp delas kostnaden upp i en effektterm och en energiterm. Effekttermen ger ett mått på kostnaden för ett elavbrott oavsett avbrottstiden medan energitermen mäter kostnaden till följd av avbrottstiden. Vissa industrikunder blir hårt drabbade även av korta avbrott vilket representeras med en hög effektterm. För de flesta hushållskunder är motsvarande term mycket liten eftersom korta avbrott inte får så stora konsekvenser.

I följande investeringskalkyl används kundkostnaderna från [5] den senaste grundliga kundkostnadsundersökningen, vilken också Energimarknadsinspektionen utgår ifrån vid kvalitetsregleringen av intäktsramen för tillsynsperioden 2016-2019 [3].

Tabell 2 Energimarknadsinspektionens kostnadsparametrar för kvalitetsregleringen av intäktsramen för tillsynsperioden 2016-2019. Kostnaderna gäller för oaviserade avbrott och ligger på 2013-års prisnivå.

Kundtyp	Kostnad per energi (kr/kWh)	Kostnad per effekt (kr/kW)
Hushåll	2	1
Industri	71	23
Handel och tjänster	148	62
Jordbruk	44	8
Offentlig verksamhet	39	5

Om den bortkopplade lasten för kundtyp i benämns P_i , blir kundkostnaden K_i för ett avbrott som varar t timmar

$$K_i = K_i^{effekt} \cdot P_i + K_i^{energi} \cdot P_i \cdot t,$$

där K_i^{effekt} och K_i^{energi} hämtas ur Tabell 2.

5.3.2 Personalkostnad vid avbrott

Om fellokalisering och omkoppling, så att alla kunder återfår strömmen, kan ske via fjärr antas arbetsinsatsen från driftcentralen kunna utföras av personal som ändå är på plats och i tjänst vilket alltså inte medför någon merkostnad. I de fall personal behöver rycka ut för att patrullera ledningar för att lokalisera fel, läsa av mätvärden och manuellt koppla om fränksiljare, uppskattas kostnaden till 5 000 kr per tillfälle.

5.3.3 Utökad underhållskostnad

De olika designlösningarna innefattar installation av komponenter i olika utsträckning. Den ytterligare utrustning som en föreslagen lösning medför, kommer att höja den årliga underhållskostnaden. Ökningen av underhållskostnaden bör därmed subtraheras från den årliga kostnadssänkningen som en föreslagen designlösning uppskattas resultera i.

5.3.4 Avbrottsersättning och goodwill

Enligt lag är nätbolag skyldiga att betala avbrottsersättning till sina elkunder vid avbrott längre än 12 timmar. I dessa beräkningsexempel, där avbrottstiden maximalt uppskattas till fem timmar, är avbrottsersättning alltså inte aktuell. För att styra nätbolagen mot att ändå minska antal elavbrott och avbrottstider kortare än 12 timmar är nättariffen kvalitetsreglerad. I praktiken bör detta innebära att färre och kortare avbrott tillåter nätbolag att ta ut en högre nättariff. Denna bedömning gör Energimarknadsinspektionen baserat på nätbolagets totala avbrottsstatistik utifrån rådande regelverk [3]. Detta tillvägagångssätt infördes för första gången inför tillsynsperioden 2012-2015 och justerades inför nästa tillsynsperiod. De föreslagna designlösningarna för typnäten medför kortare avbrottstider för just de näten och skulle därmed påverka nätbolagets statistik och följaktligen nättariffen. Deras påverkan är dock försumbar och effekten på nättariffen går inte att kvantifiera.

På samma sätt är det omöjligt att sätta ett pris på den goodwill som minskade avbrottskostnader skulle medföra hos de berörda elkunderna i det specifika exemplet.

Även om goodwill är svår att inkludera i form av ekonomisk nytta i en investeringskalkyl, kan den ändå vara ett starkt motiv till en investering.

5.4 TYP AV INVESTERINGSKALKYL

Det finns olika typer av investeringskalkyler för att bedöma en investerings lönsamhet. Den enklaste och vanligaste är *payback*-metoden som visar hur lång tid det tar för en investering att återbetala sig. Den tar dock inte hänsyn till att pengar är värda mer idag än framöver. För större och mer långsiktiga projekt, som detta, är därför *nuvärdesmetoden* lämpligare. I den beräknas vad framtida in- och utbetalningar är värda i dagsläget med hjälp av en ansatt kalkylränta. Kalkylräntan ger ett mått på avkastningskravet. I den innefattas räntan för lånefinansierade investeringar men även ränteintäkter för alternativa investeringar. Energimarkandsinspektionen hänvisar till tre oberoende rapporter med uppskattningar av real kalkylränta för tillsynsperioden 2016-2019 (3,8 % [14], 4,72 % [15], 4,55 % [16]). I den reala kalkylräntan tas ingen hänsyn till inflation. I nedanstående exempel har inflationen ansatts till 2 %.

För varje typnät uppskattas hur mycket respektive designlösning skulle sänka kostnaderna årligen. Nuvärdesmetoden visar hur mycket det motsvarar i dagsläget, givet en viss ekonomisk livslängd. Med andra ord erhålls hur mycket designlösningen får kosta för att antas vara lönsam totalt sett.

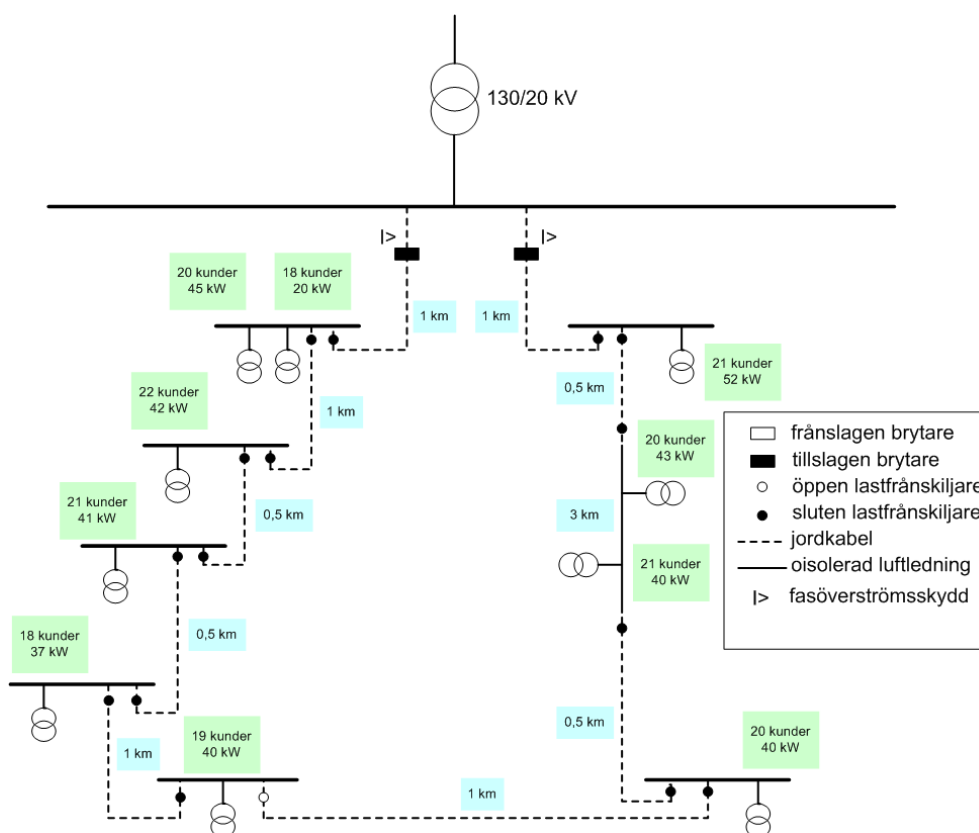
Elkraftkomponenter kan antas ha en ekonomisk livslängd på 40 år. Annan utrustning, som till exempel felindikatorer, kommunikationsutrustning och annan elektronik, lever bara i 15 år. Därför ansätts en generell livslängd om 20 år. Det finns en problematik med att byta enstaka delar i en nätstation när det kommer till åldersbestämning.

En stor andel av nödvändig indata i följande exempel är behäftad med stora osäkerheter. För att få en uppfattning om vad som påverkar resultatet mest görs en känslighetsanalys där olika ingående parametrar varieras en i taget.

Det är mycket svårt att uppskatta investeringskostnader. Priser varierar kraftigt beroende på hur hela beställningen är utformad, både avseende volym och kund. Dessutom beror kostnaden mycket på utgångsläget. Till exempel är det väldigt olika hur enkelt och därmed billigt det är att efterinstallera motorstyrning på lastfrånskiljare. Installationskostnader varierar givetvis också. Som tumregel har installationskostnaden för en viss utrustning uppskattats till samma kostnad som själva utrustningen. Uppskattningarna i beräkningsexemplen har diskuterats med branschfolk [17][18][19][20][21].

6 Typnät 1 – tätbefolkad landsbygd

Figur 5 visar utformningen av det fiktiva typnät för tätbefolkad landsbygd som ligger till grund för nedanstående beräkningsexempel. Två mellanspanningsfack matar en öppen slinga med totalt 7 nätstationer och 10 distributionstransformatorer med en märkeffekt om 200 kVA vardera. Dessa förser totalt 200 elkunder med en genomsnittlig förbrukning om 400 kW. Den öppna slingan utgörs av 7 km jordkabel och 3 km oisolerad luftledning. På utgående mellanspanningsfack finns en fjärrstyrd brytare, kopplad till överströms- och jordfelsskydd. I utgångsläget är alla ledningarna försedda med manuellt styrda lastfrånskiljare. Vidare antas det varken finnas strömmätning i nätstationer eller kommunikationsmöjlighet mellan nätstationer och driftcentral.



Figur 5 Typnät för tätbefolkad landsbygd - utgångsläge. De två mellanspanningsfacken förser 200 kunder, med en genomsnittlig förbrukning om totalt 400 kW, utspridda på 9 nätstationer och 10 distributionstransformatorer med en märkeffekt om 200 kVA vardera. Den öppna slingan utgörs av 7 km jordkabel och 3 km oisolerad luftledning. På utgående mellanspanningsfack finns överströms- och jordfelsskydd och ledningarna är försedda med lastfrånskiljare utan fjärrstyrning.

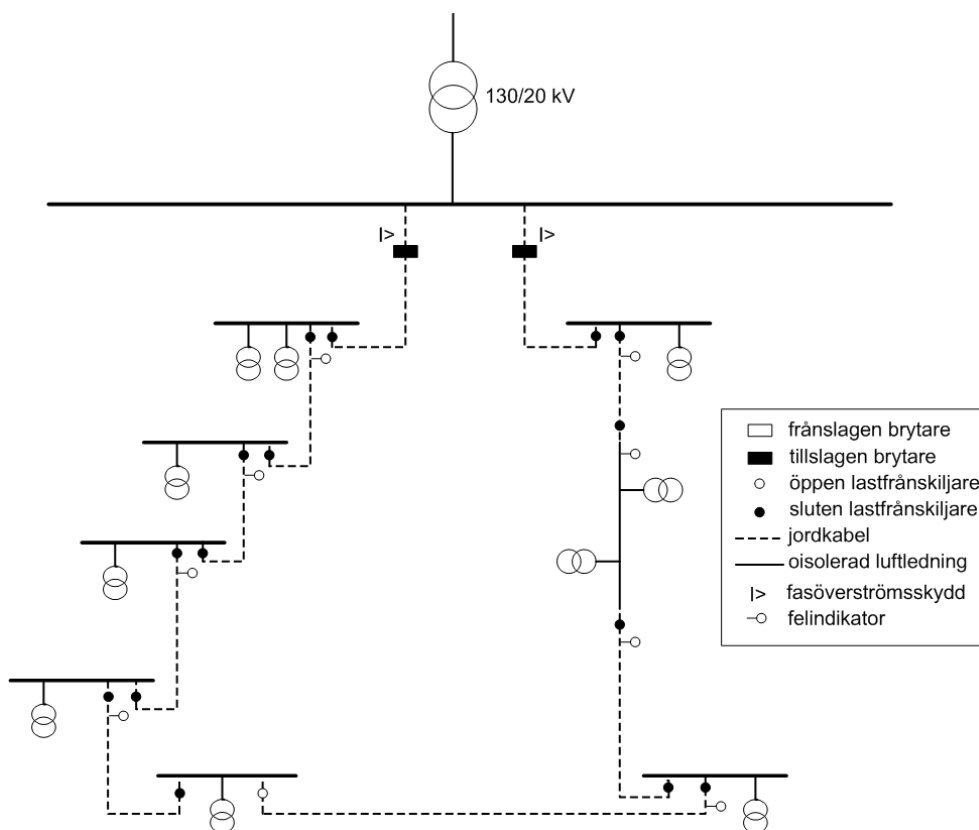
Antaganden vad gäller antal nätstationer, installerad effekt per nätstation, kopplingsdon och reläskydd är baserade på erfarenhet och information från referensgruppen [17]. Rimliga värden för ledningslängder, andel jordkabel respektive oisolerad luftledning, antal kunder per nätstation och genomsnittlig förbrukning är baserade på data från tabell 2.5 i [22]. Förbrukningsfördelning från tabell 3.4 i referens [22] används för uppdelningen av kunder i olika kundtyper. I ett verkligt fall, då investeringskalkylen gäller ett specifikt nät, antas denna typ av indata vara känd.

Fel på luftledning eller kabel är den i särklass vanligaste orsaken till elavbrott i denna typ av nät. Ett sådant fel ger upphov till frånslag av brytaren i matande mellanspänningsfack som därmed bryter elförsörjningen till alla kunder som matas av just det facket. Personal måste rycka ut för att lokalisera felbehäftad sträcka och sektionera bort den och därmed utnyttja alternativa matningsvägar.

6.1 FÖRSLAG TILL NY DESIGN

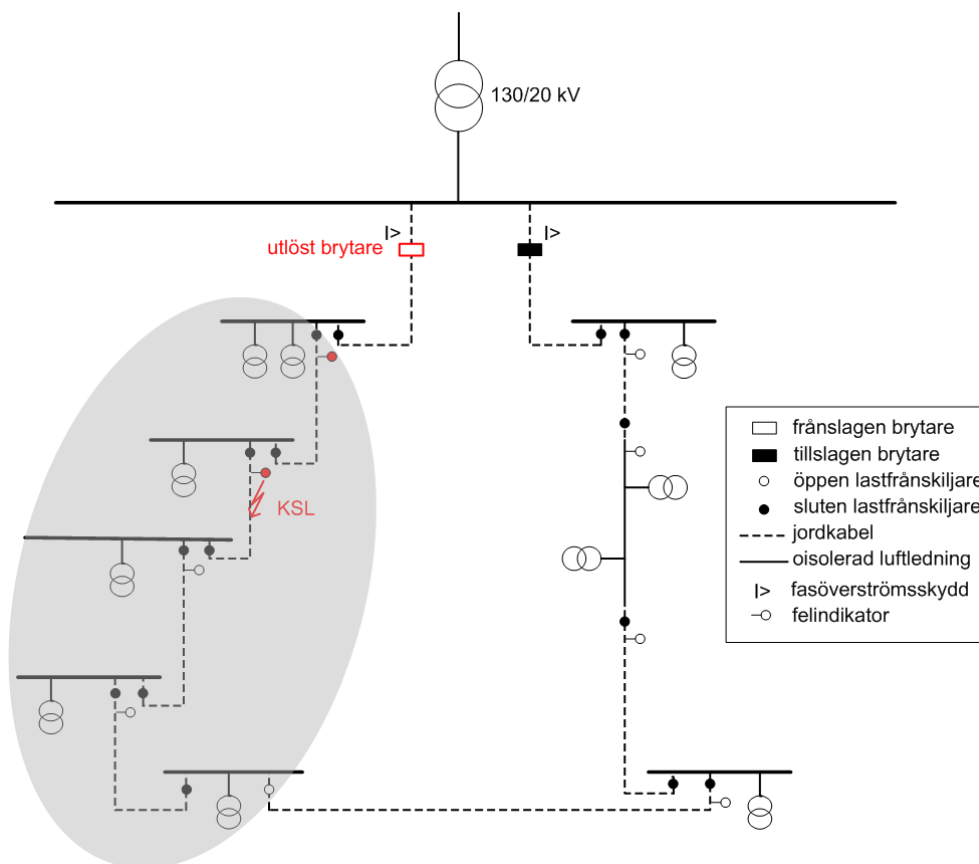
En design som skulle åstadkomma fellokalisering via fjärr vore att installera felindikatorer i alla nätstationer samt kommunikationsmöjlighet till driftcentralen. Strömförsörjningen till felindikatorerna och kommunikationsenheten måste då säkerställas med någon typ av batteri.

För att dessutom kunna sköta omkoppling ifrån driftcentralen måste lastfränkskiljarna i nätet utrustas med motorstyrning. Om omkopplingen ska ske med hjälp av automatik eller beslutsstöd, måste dessa implementeras mjukvarumässigt i driftsystemet.



Figur 6 Tynät för tätbefolkad landsbygd – ny designlösning. Jämfört med utgångsläget i Figur 5, har 8st felindikatorer placerats ut på ledningarna i den öppna slingan. Det har också installerats kommunikationsmöjlighet mellan nätstationer och driftcentral för att kunna skicka mätdata och styra lastfränkskiljare. För att omkopplingen ska kunna ske via fjärr har lastfränkskiljarna försetts med motorstyrning. Vid ett luftlednings- eller kabelfel med efterföljande brytarfränslag, ger denna lösning möjlighet att lokalisera felet och koppla om matningsvägarna ifrån driftcentralen.

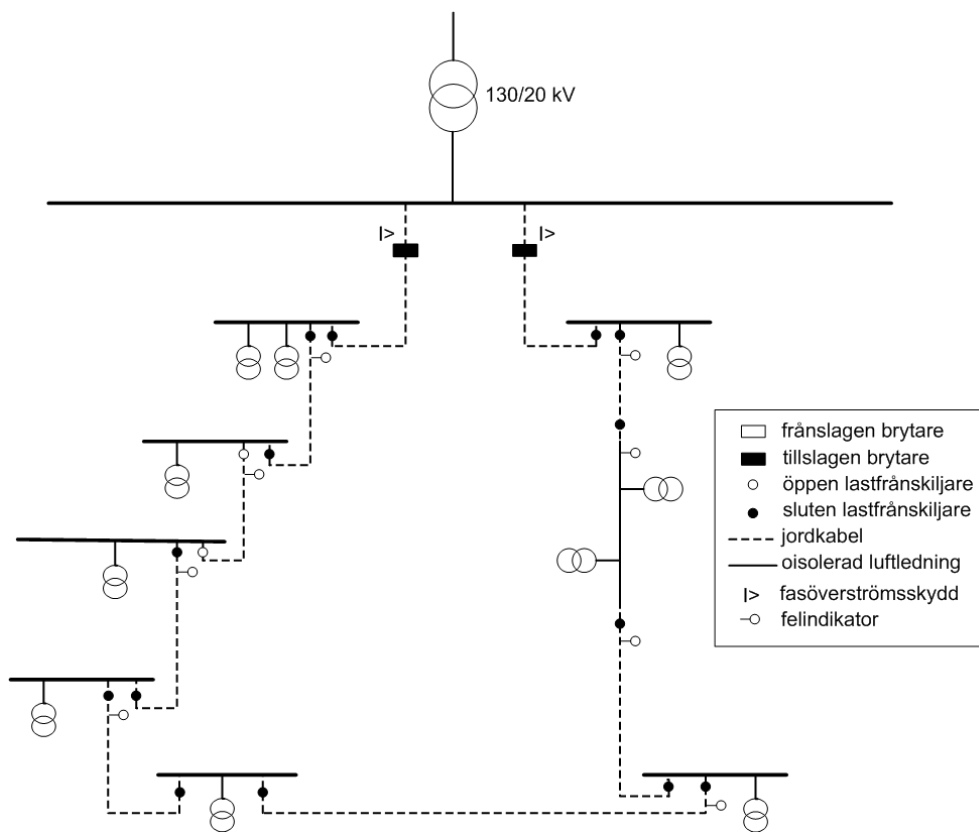
Med en sådan designlösning, se Figur 6, skulle ett ledningsfel fortfarande ge upphov till brytarfränslag på utgående mellanspänningsfack, enligt Figur 7, men åtgärderna för att koppla bort felbehäftad sträcka skulle kunna utföras mycket snabbare.



Figur 7 Vid ett kortslutningsfel på en jordkabel utlöses brytaren i matande fack. Därmed uppstår ett strömavbrott för alla elkunder i ena delen av slingan. Så långt är skeendet lika för utgångsläget respektive den föreslagna lösningen. Den avbrottsid som följer förkortas däremot avsevärt om fellokalisering samt omkoppling kan ske ifrån en driftcentral.

Om både fellokalisering och omkoppling till följd av ledningsfel i öppna slingor kunde ske med automatik, styrd ifrån driftcentralen, skulle avbrottsiderna minska från storleksordningen 3 timmar till ett par sekunder². Tills den feldrabbade sträckan är reparerad, alternativt, utbytt, skulle alternativa matningsvägar utnyttjas enligt Figur 8.

² I beräkningsexemplet har 3 timmar och 5 sekunder använts som avbrottsid för utgångsläget respektive för föreslagen design.



Figur 8 Efter kortslutningsfelet i Figur 7, är målet att så fort som möjligt åstadkomma ovanstående reservdriftfall. Det får därefter råda tills felet är åtgärdat och man kan återgå till normaldrift.

Vid nybyggnad är det viktigt att beakta att en förutsättning för att den föreslagna lösningen ska vara realiserbar är att ledningarna inte bara är dimensionerade för normaldriftfallet, utan även tål största last vid ett reservdriftfall. Det är också viktigt att på förhand se till att rådande skyddsinställningar ger adekvat felbortkoppling även i sådana reservdriftfall. Framförallt måste överströmsskydden vara tillräckligt känsligt inställda för att detektera fel längst bort. Eftersom jordfel i höghögt jordade mellanspänningsnät ger upphov till samma jordfelsström oberoende av var i slingan felet uppstår, borde jordfelsskydden kunna ha samma inställningar oberoende av matningsväg. I befintliga nät är dessa två aspekter säkerligen redan hanterade.

Merkostnaden för att driva och underhålla den ytterligare utrustning som den föreslagna lösningen medför, uppskattas till 10 000 kr årligen.

6.2 INVESTERINGSKALKYL

Ett ledningsfel i den vänstra delen (se Figur 7) av den öppna slingan, med 4 km jordkabel, skulle ge upphov kostnaderna i Tabell 3.

Tabell 3 Kostnader (kr) för ett fel i den vänstra delen (se Figur 7) av den öppna slingan med 4 km jordkabel, förutsatt att befintlig design ger en avbrotts tid om 3 timmar medan den föreslagna designlösningen skulle reducera densamma till 5 sekunder.

Kundtyp	Bortkopplad effekt (kW)	Avbrottskostnad – befintlig design	Avbrottskostnad – ny design	Skillnad i kostnad
Hushåll	107	752	108	
Industri	45	10620	1039	
Handel och tjänster	53	26987	3318	
Jordbruk	9	1238	71	
Offentlig verksamhet	10	1220	51	
Omkopplings-kostnad		5000	0	
Totalt		45 816	4 587	41 230

Ovan beräknades felraten för jordkabel till 0,033 *antal fel/(km · år)*. Antal fel per år som uppstår i denna del av den öppna slingan blir följaktligen

$$0,033 \text{ antal } \frac{\text{fel}}{\text{km} \cdot \text{år}} \cdot 4 \text{ km} = 0,132 \text{ antal fel/år}.$$

Den nya designlösningen skulle därmed innebära en årlig kostnadssänkning om

$$0,132 \text{ antal fel/år} \cdot 41230 \text{ kr/fel} \approx 5400 \text{ kr/år},$$

för denna del av den öppna slingan.

Ett ledningsfel i den högra delen (se Figur 7) av den öppna slingan, med 3 km jordkabel och 3 km oisolerad luftledning, skulle ge upphov till kostnaderna i Tabell 4.

Tabell 4 Kostnader (kr) för ett fel i den högra delen (se Figur 7) av den öppna slingan med 3 km jordkabel och 3 km oisolerad luftledning, förutsatt att befintlig design ger en avbrotts tid om 3 timmar medan den föreslagna designlösningen skulle reducera densamma till 5 sekunder.

Kundtyp	Bortkopplad effekt (kW)	Avbrottskostnad – befintlig design	Avbrottskostnad – ny design	Skillnad i kostnad
Hushåll	69	480	69	
Industri	15	3540	346	
Handel och tjänster	75	37781	4645	
Jordbruk	7	1002	58	
Offentlig verksamhet	10	1220	51	
Omkopplings-kostnad		5000	0	
Totalt		49 024	5 168	43 855

Ovan beräknades felraten för jordkabel till $0,033 \text{ antal fel}/(\text{km} \cdot \text{år})$ och för oisolerad luftledning till $0,140 \text{ antal fel}/(\text{km} \cdot \text{år})$. Antal fel per år som uppstår i denna del av den öppna slingan blir följaktligen

$$0,033 \text{ antal } \frac{\text{fel}}{\text{km} \cdot \text{år}} \cdot 3 \text{ km} + 0,140 \text{ antal } \frac{\text{fel}}{\text{km} \cdot \text{år}} \cdot 3 \text{ km} = 0,519 \text{ antal fel/år}.$$

Den nya designlösningen skulle därmed innebära en årlig kostnadssänkning om

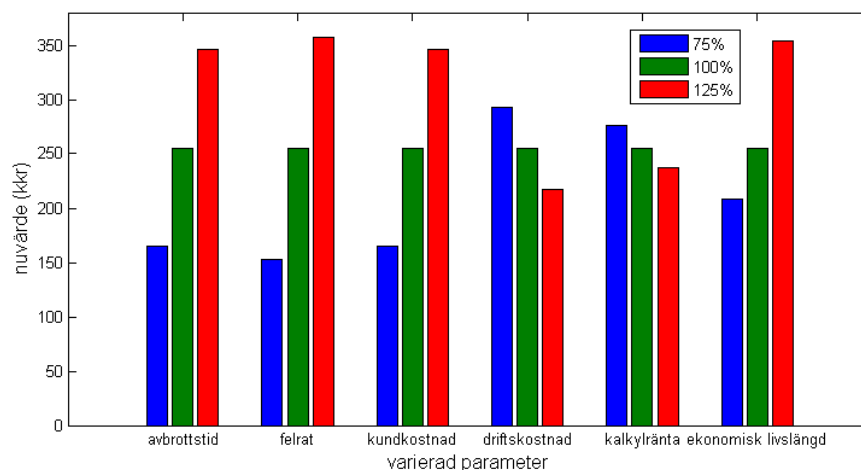
$$0,519 \text{ antal fel/år} \cdot 43855 \text{ kr/fel} \approx 21300 \text{ kr/år},$$

för denna del av den öppna slingan. För hela den öppna slingan skulle den föreslagna designlösningen alltså ge upphov till följande årliga kostnadssänkning

$$5400 \text{ kr} + 21300 \text{ kr} \approx 27000 \text{ kr}.$$

Samtidigt antas den ytterligare utrustning som den föreslagna lösningen medför öka den årliga drift- och underhållskostnaden för den öppna slingan med 10 000 kr årligen. Nettoförtjänsten blir därmed ca 17 000 kr om året. Med 2013-års prisnivå, en kalkylränta om 3,8 %, och en ekonomisk livslängd på 20 år, blir nuvärdet (år 2016) av framtida förtjänster ca 260 000 kr om den nya designlösningen antas komma i drift år 2016. Det innebär att om investeringen år 2016 kostar mindre än 260 000 kr så är den lönsam. Skillnaden mellan nuvärdet och grundinvesteringen kallas *nettonuvärdet* och är alltså större än noll om investeringen är lönsam.

I Figur 9 visas hur nuvärdet påverkas vid en känslighetsanalys där olika ingående parametrar varierats en i taget. Det kan noteras att variationer i avbrottstiden med befintlig design, felraten för ingående ledningar samt kundkostnaderna vid avbrott ger störst utslag vid samma procentuella variation.



Figur 9 Känslighetsanalys med avseende på nuvärdet av framtida intäkter givet den föreslagna designlösningen. Parametrarna har varierats en i taget och 100 % motsvarar 3 timmar för avbrottstiden (befintlig design), 0,033 och 0,140 antal fel per kilometer och år på jordkabel respektive oisolerad luftledning för felraten, värdena i Tabell 2 för kundkostnaderna, 10 000 kr/år för den årliga drift- och underhållskostnaden (ny design), 3,8 % för kalkylräntan och 20 år för den ekonomiska livslängden.

6.2.1 Investeringskostnader

Enligt beräkningen ovan skulle den föreslagna designlösningen vara lönsam om grundinvesteringen kostade mindre än 260 000 kr. Kostnaden bör täcka följande:

- (8st) Felindikator med batteri för avbrottsfri strömförsörjning
- (8 st) Kommunikation nätstationer och driftcentral
- (16 st) Motorstyrning av lastfrånskiljare
- Utveckla och implementera omkopplingsautomatik

Den enklaste formen av felindikator kostar runt ett par tusen kronor. Med installation kan kostnaden per mätinstrument uppskattas till 5 000 kr.

När det gäller kommunikation är det överhuvudtaget inte rimligt att ekonomiskt rättfärdiga installation av optiskt fiber ur ett tillgänglighetsperspektiv i detta typnät. Det kan tänkas att optisk fiber ska installeras av andra skäl varpå denna kostnadspost försvinner ur föreliggande investeringskalkyl. Ett mer realistiskt kommunikationsalternativ är istället radio- eller mobilkommunikation.

Priset på att efterinstallera motorstyrning på befintliga lastfrånskiljare är mycket svårt att uppskatta. En grov uppskattning är att den tekniska utrustningen med installation kan kosta ca 25 000 kr per kopplingsdon.

För personal med erfarenhet av automatiker och god kännedom om driftsystemet bör utveckling och implementering av omkopplingsautomatik inte kosta mer än ca 20 000 kr.

Troligtvis finns där i alla uppskattningar en skalningsfaktor som gör att priset per enhet sjunker ju fler enheter som ingår. Dessutom är priser ofta beroende på hur hela beställningen är utformad.

Alla kostnadsuppskattningar utom kommunikationsposten summeras ihop till

$$8 \cdot 5000kr + 16 \cdot 25000kr + 20000kr \approx 460000kr.$$

Utifrån denna investeringskalkyl bedöms designlösning inte vara kostnadseffektiv för det här typnätet eftersom investeringskostnaderna överstiger nuvärdet av framtida förtjänster.

Det kan följaktligen vara värt att utvärdera en mindre omfattande designlösning som enbart innefattar installation av mätning och kommunikationsmöjligheter. I så fall skulle fellokalisering kunna utföras från driftcentral medan omkoppling till alternativ matningsväg skulle kräva utryckning. Då skulle avbrottstiden uppskattningsvis minska från 3 timmar till 1 timme vilket skulle innebära ett nuvärde om framtida inkomster om ca 115 000 kr (med en utryckningskostnad om 2 000 kr i det senare fallet). I detta fall får kostnaden för kommunikationsmöjligheterna inte överskrida 75 000 kr. Om detta anses orimligt kan ytterligare nedskärning övervägas i form av att bara upprätta mätning i nätstationer. Det skulle innebära att personal måste rycka ut för att fellokalisera men det räcker att läsa av mätinstrument. Då skulle avbrottstiden kanske minska från 3 timmar till 1,5 timmar vilket motsvarar ett nuvärde om framtida inkomster om ca 47 000 kr (med en utryckningskostnad om 3 000 kr i det senare fallet). Eftersom installation av felindikatorer uppskattades kosta 40 000 kr, bör denna enklaste form av designlösning bedömas vara kostnadseffektiv.

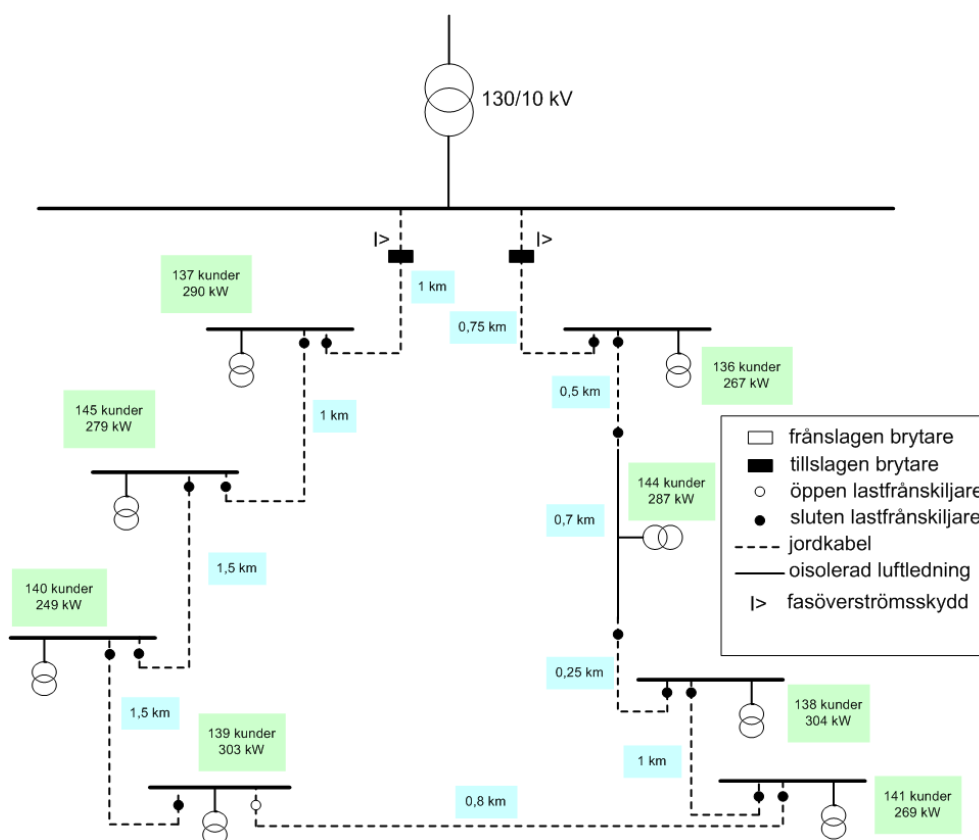
6.2.2 Sammanfattning

Känslighetsanalysen av nuvärdet av framtida intäkter i Figur 9 varierar kraftigt med variationer i indata. Varje parameter innehåller osäkerheter antingen för att den faktiskt varierar från år till år, för att den har stor spridning eller för att den är svår att uppskatta. Felraten varierar till exempel kraftigt från år till år. Dessutom är det inte troligt att felraten för ledningarna i en specifik slinga stämmer med genomsnittet i hela landet. Många kabelfel uppkommer till följd av att kablarna av misstag grävs av, något som är mycket vanligare i tätorter med mycket ombyggnad. Avbrottstiden beror på hur lättåtkomliga nätstationerna är, hur snabbt en person kan börja felsökningen och hur lång tid felsökning samt omkoppling tar, något som är olika från nät till nät. Den mest osäkra parametern är förmodligen kundkostnaderna, som bygger på en enkätundersökning där hushållskunder har angett sin betalningsvilja för att minska antalet elavbrott medan andra kundtyper har fått uppskatta sina monetära förluster till följd av elavbrott. Uppskattningen av investeringskostnaden innehåller också stora osäkerheter som diskuterades i avsnitt 6.2.1.

Denna investeringskalkyl innehåller så stora osäkerheter att resultatet inte kan tjäna som enda bevekelsegrund i utvärderingen av den föreslagna designlösningen. Dessutom har ingen hänsyn tagits till den goodwill, som ökad tillgänglighet medför. Det kan också finnas andra motiv att investera, som till exempel för att bidra till utvecklingen av framtidens smarta elnät. Trots dessa förbehåll är det viktigt att upprätta en investeringskalkyl av det här slaget för att utvärdera en ny designlösning.

7 Typnät 2 – tätort

Figur 10 visar utformningen av det fiktiva typnät för en tätort som ligger till grund för nedanstående beräkningsexempel. Två mellanspänningsfack matar en öppen slinga med totalt 7 nätstationer och 8 distributionstransformatorer med en märkeffekt om 830 kVA vardera. Dessa förser totalt 1 120 elkunder med en genomsnittlig förbrukning om totalt 2,24 MW. Den öppna slingan utgörs av 8,3 km jordkabel och 0,7 km oisolerad luftledning. På utgående mellanspänningsfack finns en fjärrstyrd brytare, kopplad till överströms- och jordfelskydd. I utgångsläget är alla ledningarna försedda med manuellt styrda lastfrånskiljare. Vidare antas det varken finnas strömmätning i nätstationer eller kommunikationsmöjlighet mellan nätstationer och driftcentral.



Figur 10 Typnät för tätort - utgångsläge. De två mellanspänningsfacken förser 1 120 kunder, med en genomsnittlig förbrukning om totalt 2,24 MW, utspridda på 7 nätstationer och 8 distributionstransformatorer med en märkeffekt om 830 kVA vardera. Den öppna slingan utgörs av 8,3 km jordkabel och 0,7 km oisolerad luftledning. På utgående mellanspänningsfack finns överströms- och jordfelskydd och ledningarna är försedda med lastfrånskiljare utan fjärrstyrning.

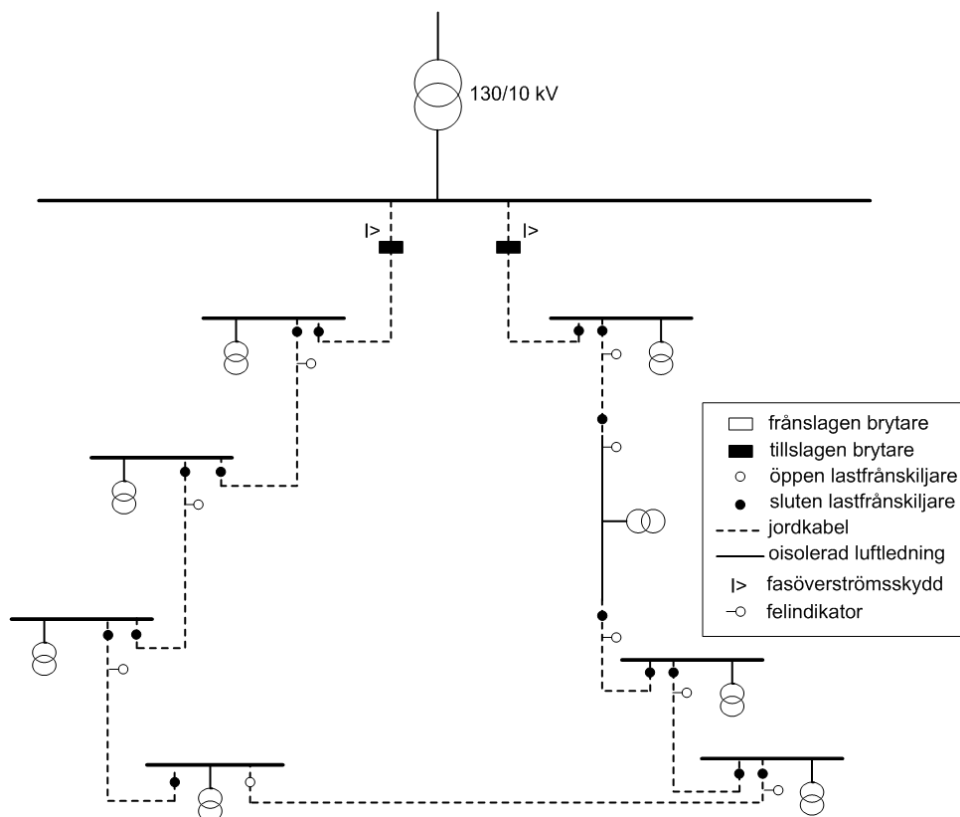
Antaganden vad gäller antal nätstationer, installerad effekt per nätstation, kopplingsdon och reläskydd är baserade på erfarenhet och information från referensgruppen [17]. Rimliga värden för ledningslängder, andel jordkabel respektive oisolerad luftledning, antal kunder per nätstation och genomsnittlig förbrukning är baserade på data från tabell 2.5 i [22]. I detta fall används förbrukningsfördelning från tabell 3.3 i referens [22], för uppdelningen av kunder i olika kundtyper. I ett verkligt

fall, då investeringskalkylen gäller ett specifikt nät, antas denna typ av indata vara känd.

Fel på luftledning eller kabel är den i särklass vanligaste orsaken till elavbrott i denna typ av nät. Ett sådant fel ger upphov till fränslag av brytaren i matande mellanspänningsfack som därmed bryter elförsörjningen till alla kunder som matas av just det facket. Personal måste rycka ut för att lokalisera felbehäftad sträcka och sektionera bort den för att utnyttja alternativa matningsvägar.

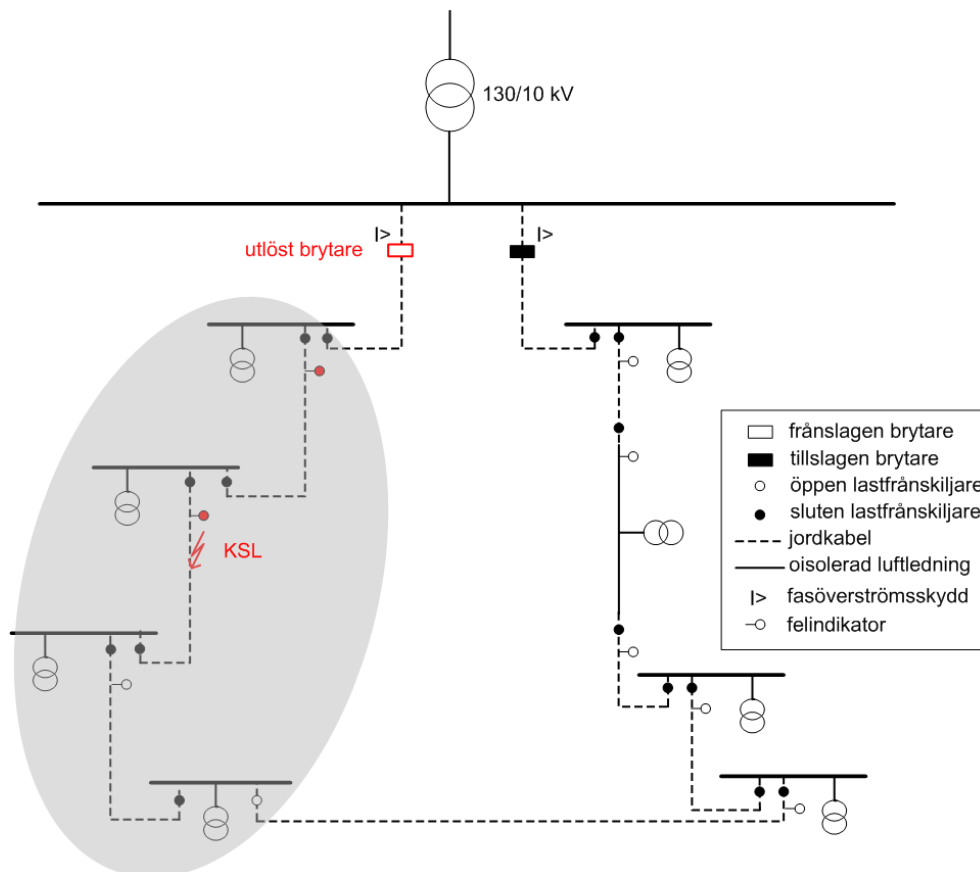
7.1 FÖRSLAG TILL NY DESIGN

Förutom parametrar som antal kunder, antal nätstationer, total förbrukning, andel kabel- respektive luftledning och fördelningen av kunder i olika kundtyper, är typnätet detsamma i detta beräkningsexempel som i det föregående i kapitel 6. Därmed föreslås samma designlösning som i avsnitt 6.1. För detta typnät innefattar det installation av 8 st felindikatorer, kommunikationsmöjlighet mellan felindikatorer samt lastfränkskiljare och driftcentral, motorstyrning på befintliga 16 lastfränkskiljare och omkopplingsautomatik.



Figur 11 Typnät för tätort – ny designlösning. Jämfört med utgångsläget i Figur 10, har 8 st felindikatorer placerats ut på ledningarna i den öppna slingan. Det har också installerats kommunikationsmöjlighet mellan nätstationer och driftcentral för att kunna skicka mätdata och styra lastfränkskiljare. För att omkopplingen ska kunna ske via fjärr har lastfränkskiljarna försetts med motorstyrning. Vid ett luftlednings- eller kabelfel med efterföljande brytarfränslag, ger denna lösning möjlighet att lokalisera felet och koppla om matningsvägarna ifrån driftcentralen.

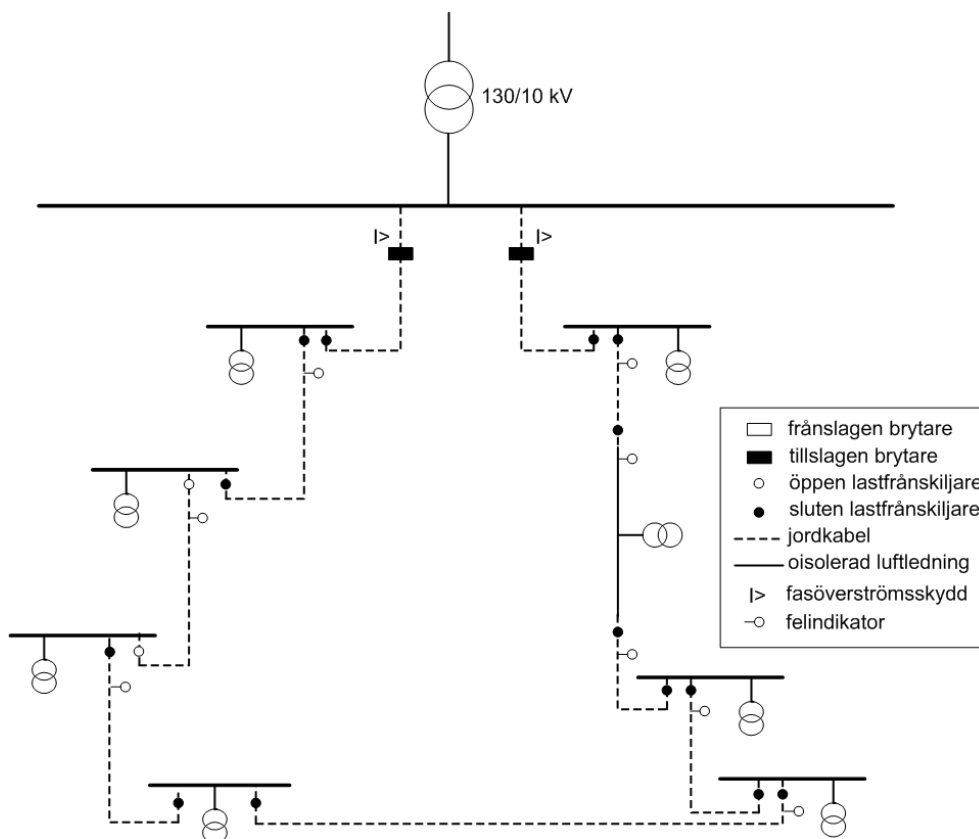
Med en sådan designlösning, se Figur 11, skulle ett ledningsfel fortfarande ge upphov till brytarfrånslag på utgående mellanspänningsfack enligt Figur 12, men åtgärderna för att koppla bort felbehäftad sträcka skulle kunna utföras mycket snabbare.



Figur 12 Vid ett kortslutningsfel på en jordkabel utlöses brytaren i matande fack. Därmed uppstår ett strömavbrott för alla elkunder i ena delen av slingan. Så långt är skeendet lika för utgångsläget respektive för den föreslagna lösningen. Den avbrottsid som följer förkortas däremot avsevärt om fellokalisering och omkoppling kan ske ifrån en driftcentral.

Om både fellokalisering och omkoppling till följd av ledningsfel i öppna slingor kunde ske med automatik styrd ifrån driftcentralen, skulle avbrottsiderna minska från storleksordningen 2 timmar till ett par sekunder³. Tills den feldrabbade sträckan är reparerad, alternativt utbytt, skulle alternativa matningsvägar utnyttjas enligt Figur 13.

³ I beräkningsexemplet har 2 timmar och 5 sekunder använts som avbrottsid för utgångsläget respektive för föreslagna design.



Figur 13 Efter kortslutningsfelet i Figur 12, är målet att så fort som möjligt åstadkomma ovanstående reservdriftfall. Det får därefter råda tills felet är åtgärdat och man kan återgå till normaldrift.

Precis som i förra beräkningsexemplet förutsätter denna designlösning att ledningarna inte bara är dimensionerade för normaldriftfallet, utan även tål största last vid ett reservdriftfall. Likaså måste rådande skyddsinställningar även i detta förslag ge adekvat felbortkoppling i reservdriftfallet. I befintliga nät är dessa två aspekter säkerligen redan hanterade men vid nybyggnad bör de beaktas.

Merkostnaden att driva och underhålla den ytterligare utrustning som den föreslagna lösningen medför, uppskattas till 10 000 kr årligen.

7.2 INVESTERINGSKALKYL

Ett ledningsfel i den vänstra delen (se Figur 12) av den öppna slingan, med 5 km jordkabel, skulle ge upphov kostnaderna i Tabell 5.

Tabell 5 Kostnader (kr) för ett fel i den vänstra delen (se Figur 12) av den öppna slingan med 5 km jordkabel, förutsatt att befintlig design ger en avbrotts tid om 2 timmar medan den föreslagna designlösningen skulle reducera densamma till 5 sekunder.

Kundtyp	Bortkopplad effekt (kW)	Avbrottskostnad – befintlig design	Avbrottskostnad – ny design	Skillnad i kostnad
Hushåll	298	1490	299	
Industri	155	25520	3573	
Handel och tjänster	617	220937	38390	
Jordbruk	4	369	31	
Offentlig verksamhet	47	3873	236	
Omkopplings-kostnad		5000	0	
Totalt		257 190	42 528	214 662

Ovan beräknades felraten för jordkabel till $0,033 \text{ antal fel}/(\text{km} \cdot \text{år})$. Antal fel per år som uppstår i denna del av den öppna slingan blir följaktligen

$$0,033 \text{ antal} \frac{\text{fel}}{\text{km} \cdot \text{år}} \cdot 5 \text{ km} = 0,165 \text{ antal fel/år}.$$

Den nya designlösningen skulle därmed innebära en årlig kostnadssänkning om

$$0,165 \text{ antal fel/år} \cdot 214660 \text{ kr/fel} \approx 35400 \text{ kr/år},$$

för denna del av den öppna slingan.

Ett ledningsfel i den högra delen (se Figur 12) av den öppna slingan, med 4,3 km jordkabel och 0,7 km oisolerad luftledning, skulle ge upphov till kostnaderna i Tabell 6.

Tabell 6 Kostnader (kr) för ett fel i den vänstra delen (se Figur 12) av den öppna slingan med 3,3 km jordkabel och 0,7 km oisolerad luftledning, förutsatt att befintlig design ger en avbrotts tid om 2 timmar medan den föreslagna designlösningen skulle reducera densamma till 5 sekunder.

Kundtyp	Bortkopplad effekt (kW)	Avbrottskostnad – befintlig design	Avbrottskostnad – ny design	Skillnad i kostnad
Hushåll	296	1478	296	
Industri	174	28710	4019	
Handel och tjänster	597	213573	37110	
Jordbruk	8	738	62	
Offentlig verksamhet	53	4427	270	
Omkopplings-kostnad		5000	0	
Totalt		253 925	41 757	212 168

Ovan beräknades felraten för jordkabel till $0,033 \text{ antal fel}/(\text{km} \cdot \text{år})$ och för oisolerad luftledning till $0,140 \text{ antal fel}/(\text{km} \cdot \text{år})$. Antal fel per år som uppstår i denna del av den öppna slingan blir följaktligen

$$0,033 \text{ antal } \frac{\text{fel}}{\text{km} \cdot \text{år}} \cdot 3,3 \text{ km} + 0,140 \text{ antal } \frac{\text{fel}}{\text{km} \cdot \text{år}} \cdot 0,7 \text{ km} = 0,21 \text{ antal fel/år}.$$

Den nya designlösningen skulle därmed innebära en årlig kostnadssänkning om

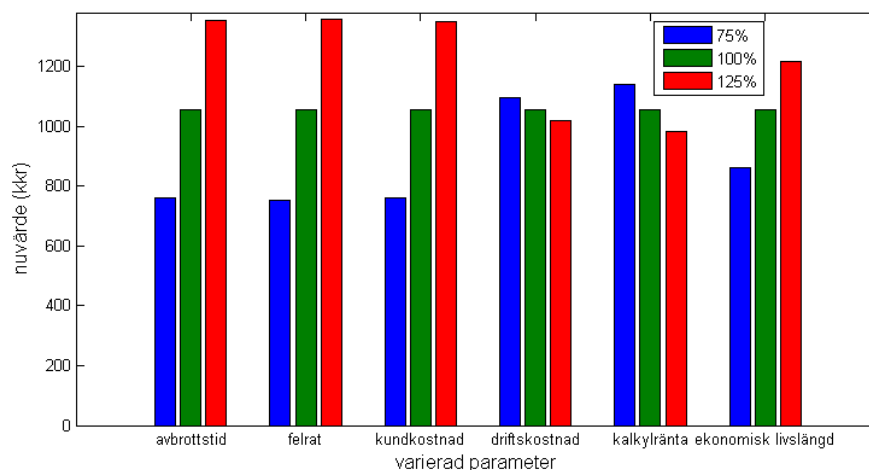
$$0,21 \text{ antal fel/år} \cdot 212170 \text{ kr/fel} \approx 43900 \text{ kr/år},$$

för denna del av den öppna slingan. För hela den öppna slingan skulle den föreslagna designlösningen alltså årligen ge upphov till följande årliga kostnadssänkning

$$35400 \text{ kr} + 43900 \text{ kr} \approx 79300 \text{ kr}.$$

Samtidigt antas den ytterligare utrustning som den föreslagna lösningen medför öka den årliga drift- och underhållskostnaden för den öppna slingan med 10 000 kr. Nettoförtjänsten blir därmed ca 69 000 kr om året. Med 2013-års prisnivå, en kalkylränta om 3,8 %, och en ekonomisk livslängd på 20 år, blir nuvärdet (år 2016) av framtida förtjänster ca 1 056 000 kr om den nya designlösningen antas komma i drift år 2016. Det innebär att om investeringen år 2016 kostar mindre än 1 056 000 kr så är den lönsam. Skillnaden mellan nuvärdet och grundinvesteringen kallas *nettonuvärdet* och är alltså större än noll om investeringen är lönsam.

I Figur 14 visas hur nuvärdet påverkas vid en känslighetsanalys där olika ingående parametrar varierats en i taget. Det kan noteras att variationer i avbrottstiden med befintlig design, felraten för ingående ledningar samt kundkostnaderna vid avbrott ger störst utslag vid samma procentuella variation.



Figur 14 Känslighetsanalys med avseende på nuvärdet av framtida intäkter givet den föreslagna designlösningen. Parametrarna har varierats en i taget och 100 % motsvarar 2 timmar för avbrottstiden (befintlig design), 0,033 och 0,140 antal fel per kilometer och år på jordkabel respektive oisolerad luftledning för felraten, värdena i Tabell 2 för kundkostnaderna, 10 000 kr/år för den årliga drift- och underhållskostnaden (ny design), 3,8 % för kalkylräntan och 20 år för den ekonomiska livslängden.

7.2.1 Investeringskostnader

Enligt beräkningen ovan skulle den föreslagna designlösningen vara lönsam om grundinvesteringen kostade mindre än 1056 000 kr. Kostnaden bör täcka följande:

- (8 st) Felindikator med batteri för avbrottsfri strömförsörjning
- (8 st) Kommunikation nätstationer och driftcentral
- (16 st) Motorstyrning av lastfrånskiljare
- Utveckla och implementera omkopplingsautomatik

Samma kostnadsuppskattningar som diskuterades i avsnitt 6.2.1 används i detta beräkningsexempel. Alltså antas kostnaden per felindikator, inklusive installation, uppgå till 5 000 kr. Kostnaden för efterinstallation av motorstyrning uppskattas grovt till 25 000 kr per kopplingsdon. Utveckling och implementering av omkopplingsautomatik bör inte kosta mer än ca 20 000 kr. Totalt sett summeras dessa kostnader ihop till

$$8 \cdot 5000kr + 16 \cdot 25000kr + 20000kr \approx 460000kr.$$

För att designlösningen i sin helhet ska antas vara lönsam bör då kostnaden för kommunikationsmöjligheterna inte överskrida

$$1056000kr - 460000kr \approx 600000kr.$$

I detta exempel finns det kostnadsmässig höjd som skulle kunna rymma förläggning av optisk fiber, den i dagsläget överlägset bästa kommunikationsformen tekniskt sett.

Utifrån denna investeringskalkyl bedöms designlösningen vara kostnadseffektiv för det här typnätet.

7.2.2 Sammanfattning

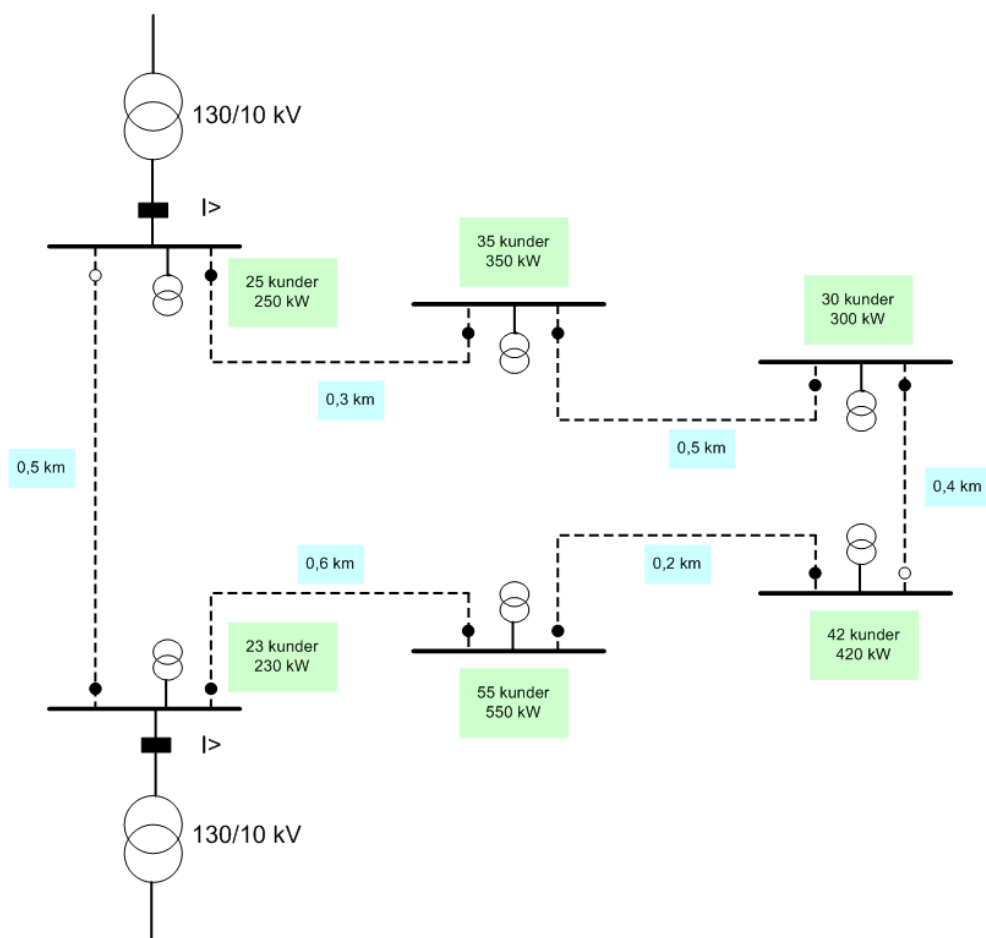
Känslighetsanalysen av nuvärdet av framtida intäkter i Figur 14 varierar kraftigt med variationer i indata precis som i föregående exempel. Samma osäkerheter vad gäller felrater, avbrottstid, kundkostnader och investeringskostnader som diskuterades i avsnitt 6.2.2 gäller även här.

Även om denna investeringskalkyl innehåller lika stora osäkerheter som den förra, är marginalen så pass stor att den bör kunna bedömas vara lönsam.

Det kan noteras att för denna typ av nät med mycket hög kundtätthet och hög andel känsliga kunder, skulle drift i slutet slinga kunna vara aktuell. En sådan designlösning, som presenteras i avsnitt 8.1, skulle ge ännu högre tillgänglighet men är också mer kostsam.

8 Typnät 3 – industrinät

Figur 15 visar utformningen av det fiktiva typnät för industrinät som ligger till grund för nedanstående beräkningsexempel. Två mellanspanningsfack i olika fördelningsstationer matar en öppen slinga med totalt 6 nätstationer och 6 distributionstransformatorer med en märkeffekt om 800 kVA vardera. Dessa förser totalt 210 elkunder med en genomsnittlig förbrukning om 2,1 MW. Den öppna slingan utgörs av 2,5 km jordkabel. På utgående mellanspanningsfack finns en effektbrytare, kopplad till överströms- och jordfelsskydd. I utgångsläget är alla ledningarna försedda med fjärrstyrda lastfrånsljare. Vidare antas det finnas strömmätning i nätstationer och kommunikationsmöjlighet mellan nätstationer och driftcentral.



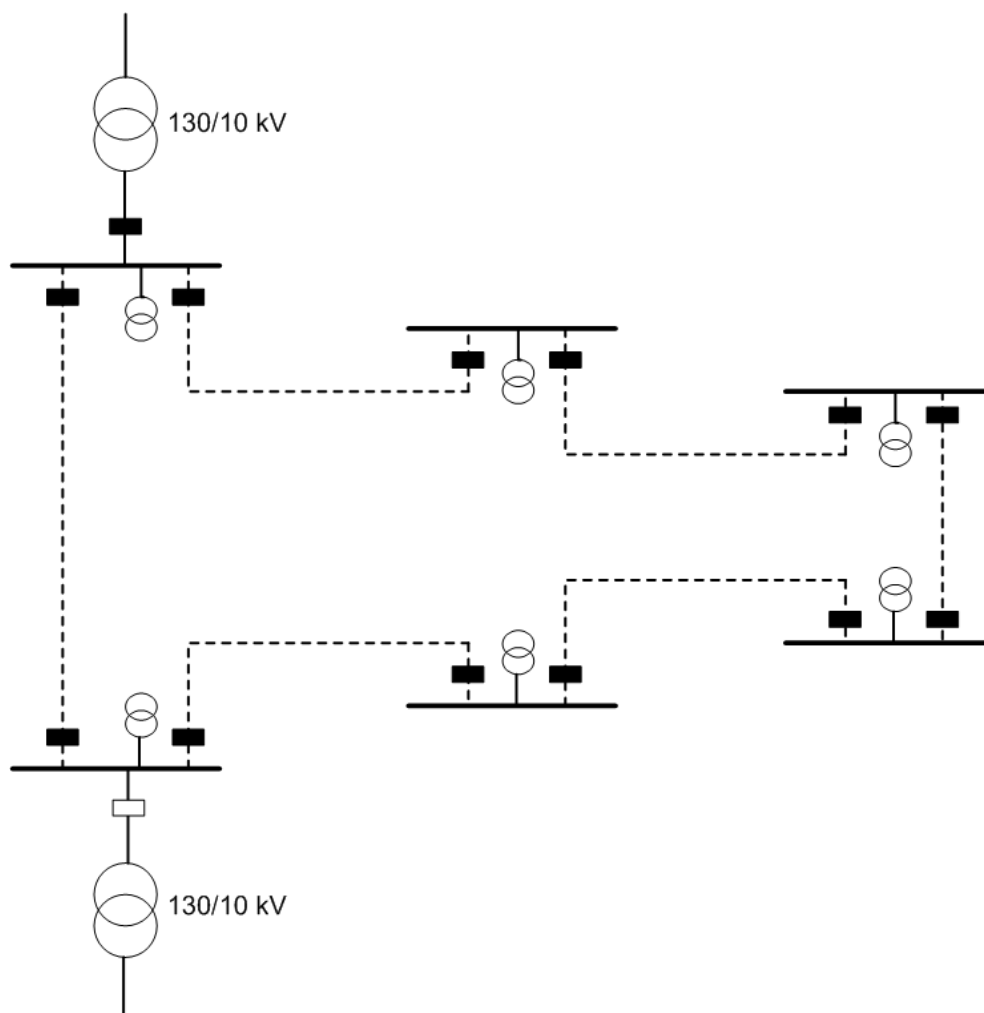
Figur 15 Typnät för industrinät - utgångsläge. De två mellanspanningsfacken i olika fördelningsstationer förser 210 kunder, med en genomsnittlig förbrukning om totalt 2,1 MW, utspridda på totalt 6 nätstationer och 6 distributionstransformatorer med en märkeffekt om 800 kVA vardera. Den öppna slingan utgörs av 2,5 km jordkabel. På matande mellanspanningsfack finns överströms- och jordfelsskydd och ledningarna är försedda med lastfrånsljare med fjärrstyrning.

Antaganden vad gäller, till exempel, antal nätstationer, installerad effekt per nätstation, kopplingsdon och reläskydd är baserade på erfarenhet. Alla kunder antas vara industrikunder. I ett verkligt fall, då investeringskalkylen gäller ett specifikt nät, antas denna typ av indata vara känd.

Fel på kabel är den vanligaste orsaken till elavbrott i denna typ av nät. Ett sådant fel ger upphov till frånslag av brytaren i matande mellanspänningsfack som därmed bryter elförsörjningen till alla kunder som matas av just det facket. Omkoppling antas ske ifrån driftcentral men utan automatik. Avbrottstiden till följd av ledningsfel på mellanspänningsnivå uppskattas till 15 minuter.

8.1 FÖRSLAG TILL NY DESIGN

Förslaget för detta typnät innebär övergång till drift i sluten slinga, matad av en fördelningsstation med möjlighet till reservmatning från den andra, se Figur 16. Alla frånskiljare byts ut mot effektbrytare. För att uppnå tillräcklig selektivitet i denna slinga med relativt korta ledningar föreslås längsdifferentialskydd och kommunicerande jordfelsskydd på alla ledningar. Båda typerna av skydd bygger på att det finns kommunikationsmöjligheter mellan alla nätstationer. För att uppfylla tidskrav på felbortkoppling krävs mycket snabb kommunikation och följaktligen optisk fiber.



Figur 16 Typnät för industrinät– ny designlösning. Jämfört med utgångsläget i Figur 15, har lastfrånskiljare bytts ut till effektbrytare med längsdifferentialskydd och kommunicerande jordfelsskydd. Slingan drivs nu sluten och matas av en fördelningsstation med möjlighet till reservmatning från den andra.

Med denna lösning ger ledningsfel på mellanspänningsnivå, i teorin, inte upphov till avbrott överhuvudtaget.

Merkostnaden att driva och underhålla den ytterligare utrustning som den föreslagna lösningen medför, uppskattas till 10 000 kr årligen.

8.2 INVESTERINGSKALKYL

Ett ledningsfel i den övre delen (se Figur 15) av den öppna slingan, med 0,8 km jordkabel, skulle ge upphov kostnaderna i Tabell 7.

Tabell 7 Kostnader (kr) för ett fel i den övre delen (se Figur 15) av den öppna slingan med 0,8 km jordkabel, förutsatt att befintlig design ger en avbrotts tid om 15 minuter medan den föreslagna designlösningen inte ger något avbrott överhuvudtaget.

Kundtyp	Bortkopplad effekt (kW)	Avbrottskostnad – befintlig design	Avbrottskostnad – ny design	Skillnad i kostnad
Hushåll	0	0	0	
Industri	900	36675	0	
Handel och tjänster	0	0	0	
Jordbruk	0	0	0	
Offentlig verksamhet	0	0	0	
Omkopplingskostnad		0	0	
Totalt		36 675	0	36 675

Ovan beräknades felraten för jordkabel till 0,033 *antal fel/(km · år)*. Antal fel per år som uppstår i denna del av den öppna slingan blir följaktligen

$$0,033 \text{ antal } \frac{\text{fel}}{\text{km} \cdot \text{år}} \cdot 0,8 \text{ km} = 0,026 \text{ antal fel/år}.$$

Den nya designlösningen skulle därmed innebära en årlig kostnadssänkning om

$$0,026 \text{ antal fel/år} \cdot 36675 \text{ kr/fel} \approx 970 \text{ kr/år},$$

för denna del av den öppna slingan.

Ett ledningsfel i den nedre delen (se Figur 15) av den öppna slingan, med 0,8 km jordkabel, skulle ge upphov till kostnaderna i Tabell 8.

Tabell 8 Kostnader (kr) för ett fel i den nedre delen (se Figur 15) av den öppna slingan med 0,8 km jordkabel, förutsatt att befintlig design ger en avbrotts tid om 15 minuter medan den föreslagna designlösningen inte ger något avbrott överhuvudtaget.

Kundtyp	Bortkopplad effekt (kW)	Avbrottskostnad – befintlig design	Avbrottskostnad – ny design	Skillnad i kostnad
Hushåll	0	0	0	
Industri	1200	48900	0	
Handel och tjänster	0	0	0	
Jordbruk	0	0	0	
Offentlig verksamhet	0	0	0	
Omkopplings-kostnad		0	0	
Totalt		48 900	0	48 900

Ovan beräknades felraten för jordkabel till 0,033 *antal fel/(km · år)*. Antal fel per år som uppstår i denna del av den öppna slingan blir följaktligen

$$0,033 \text{ antal } \frac{\text{fel}}{\text{km} \cdot \text{år}} \cdot 0,8 \text{ km} = 0,026 \text{ antal fel/år}.$$

Den nya designlösningen skulle därmed innebära en årlig kostnadssänkning om

$$0,026 \text{ antal fel/år} \cdot 48900 \text{ kr/fel} \approx 1300 \text{ kr/år},$$

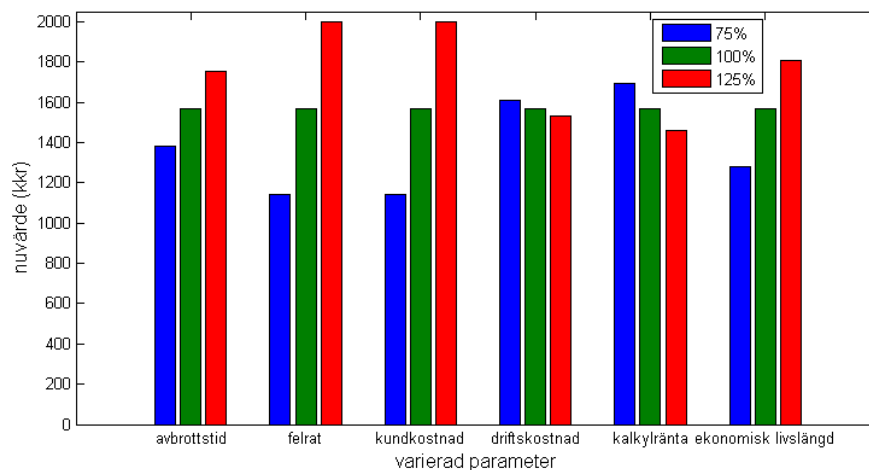
för denna del av den öppna slingan. För hela den öppna slingan skulle den föreslagna designlösningen alltså årligen ge upphov till följande årliga kostnadssänkning

$$970 \text{ kr} + 1300 \text{ kr} \approx 2300 \text{ kr}.$$

Samtidigt antas den ytterligare utrustning som den föreslagna lösningen medför öka den årliga drift- och underhållskostnaden för den öppna slingan med 10 000 kr. Redan på det här stadiet blir det uppenbart att den föreslagna designlösningen är alldeles för kostsam med tanke på att bara driftkostnaden överstiger den årliga kostnadssänkningen.

Kundkostnaden för industrikunderna i exemplet, 71 kr/kWh och 23 kr/kW är hämtade ur Tabell 2 och bör representera en vanlig industrikund. Den föreslagna designlösningen lämpar sig förmodligen för industrikunder med mycket höga krav på tillgänglighet och därmed också mycket högre kundkostnader vid avbrott än vad en medelindustrikund har. Låt oss därför anta att kostnaderna för industrikunderna i beräkningsexemplet är 50 gånger större än för medelkunden, det vill säga 3 550 kr/kWh och 1 150 kr/kW. Då blir den årliga kostnadssänkningen istället 113 000 kr. Med en drift- och underhållskostnad om 10 000 kr/år blir då nettoförtjänsten ca 103 000 kr om året. Med 2013-års prisnivå, en kalkylränta om 3,8 %, och en ekonomisk livslängd på 20 år, blir nuvärdet (år 2016) av framtida förtjänster ca 1 570 000 kr om den nya designlösningen antas komma i drift år 2016. Det innebär att om investeringen år 2016 kostar mindre än 1 570 000 kr så är den lönsam. Skillnaden mellan nuvärdet och grundinvesteringen kallas *nettonuvärdet* och är alltså större än noll om investeringen är lönsam.

I Figur 17 visas hur nuvärdet påverkas vid en känslighetsanalys där olika ingående parametrar varierats en i taget. Det kan noteras att variationer i felraten för ingående ledningar samt kundkostnaderna vid avbrott ger störst utslag vid samma procentuella variation.



Figur 17 Känslighetsanalys med avseende på nuvärdet av framtida intäkter givet den föreslagna designlösningen. Parametrarna har varierats en i taget och 100 % motsvarar 15 minuter för avbrottstiden (befintlig design), 0,033 antal fel per kilometer och år för felraten, värdena i Tabell 2 multiplicerat med en faktor 50 för kundkostnaderna, 10 000 kr/år för den årliga drift- och underhållskostnaden (ny design), 3,8 % för kalkylräntan och 20 år för den ekonomiska livslängden.

8.2.1 Investeringskostnader

- (12 st) effektbrytare
- (12 st) längsdifferentialskydd
- (12 st) kommuniserande jordfelsskydd
- Optisk fiber i hela slingan

Med tanke på att befintliga lastfrånskiljare måste bytas ut mot effektbrytare är det rimligt att anta att nätstationerna får bytas ut i sin helhet. Det behövs alltså 6 st nya nätstationer med vardera två mellanspänningsfack utrustade med effektbrytare med längsdifferentialskydd och kommuniserande jordfelsskydd.

Distributionstransformatorerna antas kunna återanvändas. Ett sådant paket uppskattas kosta ca 200 000 kr per nätstation inklusive installationskostnader. Totalt skulle det för slingan kosta

$$6 \cdot 200000kr = 1200000kr.$$

Då skulle det finnas

$$1570000kr - 1200000 = 370000kr$$

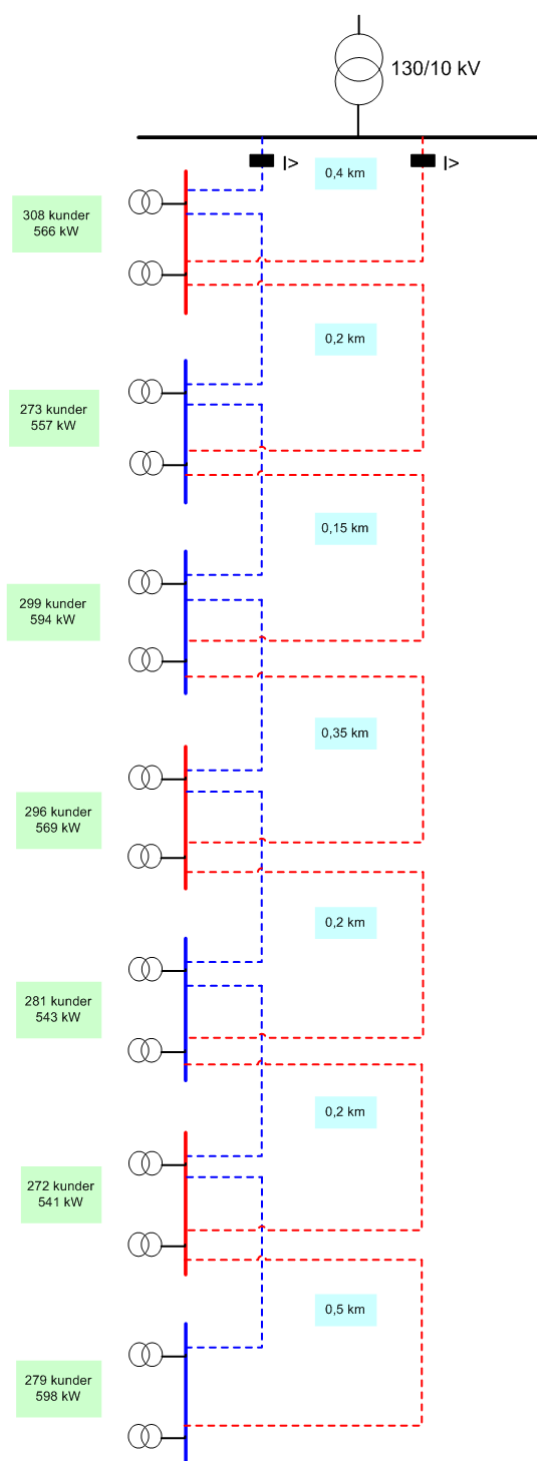
kvar till att installera optisk fiber i hela slingan. Det är möjligt men inte självklart att det är genomförbart.

8.2.2 Sammanfattning

Precis som i de andra exemplen är resultatet helt beroende av indata. I det här exemplet med en så specifik målgrupp går det knappast att använda de generella kundkostnaderna i Tabell 2. Det kan vara mycket svårt att omsätta avbrottskostnaderna i enbart monetära kostnader för speciella tillämpningar. Det enklaste exemplet är sjukhus, där det kan handla om liv och död.

9 Typnät 4 – dubbelkabelnät

Figur 18 visar utformningen av det fiktiva typnät för ett dubbelkabelnät i stor tätort som ligger till grund för nedanstående beräkningsexempel. Två mellanspänningsfack (11 kV) matar en öppen slinga med totalt 7 dubbelkabelstationer och 14 distributionstransformatorer med en märkeffekt om 800 kVA vardera. Dessa förser totalt 2000 elkunder med en genomsnittlig förbrukning om totalt 4 MW. De två kablarna är vardera totalt 2 km. I normaldrift matas 4 nätstationer av ena kabeln och 3 nätstationer av den andra. På utgående mellanspänningsfack finns en effektbrytare, kopplad till överströms- och jordfelsskydd. I utgångsläget är alla ledningarna försedda med manuellt styrda lastfrånskiljare. Förbrukningsfördelning från tabell 3.4 i referens [22] används för uppdelningen av kunder i olika kundtyper.



Figur 18 Typnät för dubbelskåpnät- utgångsläge. De två mellanspänningsfacken förser 2000 kunder, med en genomsnittlig förbrukning om totalt 4 MW, utspridda på 7 nätstationer och 14 distributionstransformatorer med en märkeffekt om 800 kVA vardera. Färgkodningen av nätstationer visar vilken kabel som matar respektive nätstation i normaldrift. Vardera jordkabel är 2 km lång. På utgående mellanspänningsfack finns överströms- och jordfelsskydd och ledningarna är försedda med lastfrånskiljare utan fjärrstyrning.

Kabelfel är den vanligaste orsaken till elavbrott i denna typ av nät. Ett sådant fel ger upphov till frånslag av brytaren i matande mellanspänningsfack som därmed bryter

elförsörjningen till alla kunder som matas av just det facket. Omkopplingen vid fel kan ske före fellokalisering. Avbrottstiden bestäms därmed av tidsåtgången för att åstadkomma omkopplingen. I detta typnät, där omkopplingen måste utföras manuellt och därmed kräver uttryckning, uppskattas avbrottstiden till 2 timmar.

9.1 FÖRSLAG TILL NY DESIGN

Designförslaget för detta typnät omfattar installation av automatik som sköter omkopplingen av lastfränkskiljarna vid avbrott, något som redan i dagsläget finns i många befintliga dubbelkabelnät. Förslaget kräver i detta typnät efterinstallation av motorstyrning av de 14 befintliga lastfränkskiljarna samt 7 PLC (Programmable Logic Controller). Ingen mätning eller kommunikation mellan nätstationer och driftcentral ingår i förslaget. Med denna design skulle avbrottstiden minska till ett par sekunder⁴.

Merkostnaden att driva och underhålla den ytterligare utrustning som den föreslagna lösningen medför, uppskattas till 10 000 kr årligen.

9.2 INVESTERINGSKALKYL

Ett ledningsfel i den blå kabeln (se Figur 18) skulle ge upphov till kostnaderna i Tabell 9.

Tabell 9 Kostnader (kr) för ett fel i den blå kabeln (se Figur 18), förutsatt att befintlig design ger en avbrottstid om 2 timmar medan den föreslagna designlösningen skulle reducera densamma till 5 sekunder.

Kundtyp	Bortkopplad effekt (kW)	Avbrottskostnad – befintlig design	Avbrottskostnad – ny design	Skillnad i kostnad
Hushåll	599	2993	600	
Industri	348	57420	8038	
Handel och tjänster	1234	441874	76779	
Jordbruk	8	738	62	
Offentlig verksamhet	103	8577	522	
Omkopplingskostnad		5000	0	
Totalt		516 602	86 002	430 600

Ovan beräknades felraten för jordkabel till 0,033 *antal fel/(km · år)*. Antal fel per år som uppstår i denna del av den öppna slingan blir följaktligen

$$0,033 \text{ antal } \frac{\text{fel}}{\text{km} \cdot \text{år}} \cdot 2 \text{ km} = 0,066 \text{ antal fel/år.}$$

Den nya designlösningen skulle därmed innebära en årlig kostnadssänkning om

$$0,066 \text{ antal fel/år} \cdot 430600 \text{ kr/fel} \approx 28400 \text{ kr/år,}$$

för den blå kabeln.

⁴ I beräkningsexemplet har 2 timmar och 5 sekunder använts som avbrottstid för utgångsläget respektive för föreslagen design.

Ett ledningsfel i den röda kabeln (se Figur 18) skulle ge upphov till kostnaderna i Tabell 10.

Tabell 10 Kostnader (kr) för ett fel i den röda kabeln (se Figur 18), förutsatt att befintlig design ger en avbrotts tid om 2 timmar medan den föreslagna designlösningen skulle reducera densamma till 5 sekunder.

Kundtyp	Bortkopplad effekt (kW)	Avbrottskostnad – befintlig design	Avbrottskostnad – ny design	Skillnad i kostnad
Hushåll	468	2338	469	
Industri	193	31900	4466	
Handel och tjänster	926	331406	57585	
Jordbruk	12	1108	93	
Offentlig verksamhet	77	6363	387	
Omkopplings-kostnad		5000	0	
Totalt		378 115	63 000	315 115

Ovan beräknades felraten för jordkabel till 0,033 *antal fel/(km · år)*. Antal fel per år som uppstår i denna del av den öppna slingan blir följaktligen

$$0,033 \text{ antal } \frac{\text{fel}}{\text{km} \cdot \text{år}} \cdot 2 \text{ km} = 0,066 \text{ antal fel/år.}$$

Den nya designlösningen skulle därmed innebära en årlig kostnadssänkning om

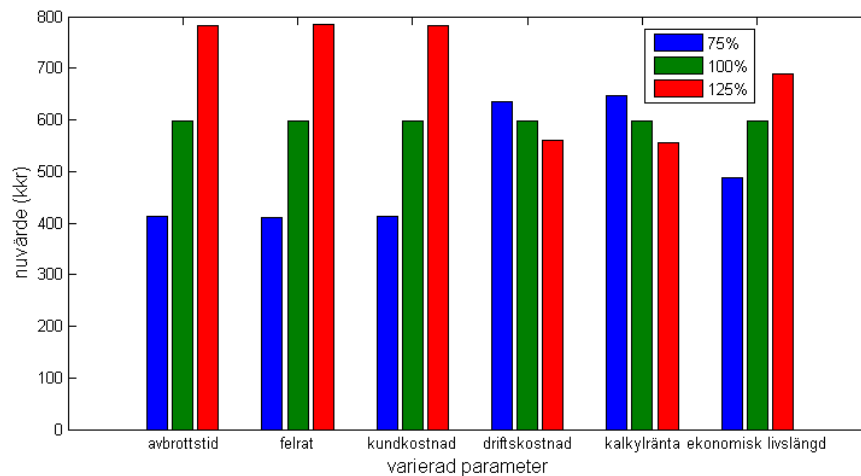
$$0,066 \text{ antal fel/år} \cdot 315115 \text{ kr/fel} \approx 20800 \text{ kr/år,}$$

för den röda kabeln. För hela dubbelkabelnätet skulle den föreslagna designlösningen alltså årligen ge upphov till följande årliga kostnadssänkning

$$28400 \text{ kr} + 20800 \text{ kr} \approx 49200 \text{ kr.}$$

Samtidigt antas den ytterligare utrustning som den föreslagna lösningen medför öka den årliga underhållskostnaden för den öppna slingan med 10 000 kr. Nettoförtjänsten blir därmed ca 39 000 kr om året. Med 2013-års prisnivå, en kalkylränta om 3,8 %, och en ekonomisk livslängd på 20 år, blir nuvärdet (år 2016) av framtida förtjänster ca 600 000 kr om den nya designlösningen antas tas i drift år 2016. Det innebär att om investeringen år 2016 kostar mindre än 600 000 kr så är den lönsam. Skillnaden mellan nuvärdet och grundinvesteringen kallas *nettonuvärdet* och är alltså större än noll om investeringen är lönsam.

I Figur 19 visas hur nuvärdet påverkas vid en känslighetsanalys där olika ingående parametrar varierats en i taget. Det kan noteras att variationer i avbrotts tiden med befintlig design, felraten för ingående ledningar samt kundkostnaderna vid avbrott ger störst utslag vid samma procentuella variation.



Figur 19 Känslighetsanalys med avseende på nuvärdet av framtida intäkter givet den föreslagna designlösningen. Parametrarna har varierats en i taget och 100 % motsvarar 2 timmar för avbrottstiden (befintlig design), 0,033 antal fel per kilometer och år på jordkabel för felraten, värdena i Tabell 2 för kundkostnaderna, 10 000 kr/år för den årliga drift- och underhållskostnaden (ny design), 3,8 % för kalkylräntan och 20 år för den ekonomiska livslängden.

9.2.1 Investeringskostnader

Enligt beräkningen ovan skulle den föreslagna designlösningen vara lönsam om grundinvesteringen kostade mindre än 600 000 kr. Kostnaden bör täcka följande:

- (14 st) Motorstyrning av lastfränkskiljare
- (7 st) PLC för omkopplingsautomatik

Kostnaden för efterinstallation av motorstyrning uppskattas grovt till 25 000 kr per kopplingsdon, i enlighet med föregående beräkningsexempel. Med installation kan kostnaden per reläskydd uppskattas till 10 000 kr.

Precis som i övriga typnät, finns där i dessa kostnadsuppskattningar en skalningsfaktor som gör att priset per enhet sjunker ju fler enheter som ingår.

Den totala investeringskostnaden för denna designlösning blir då

$$14 \cdot 25000kr + 7 \cdot 10000kr = 420000kr.$$

Utifrån denna investeringskalkyl bedöms designlösningen vara kostnadseffektiv för det här typnätet.

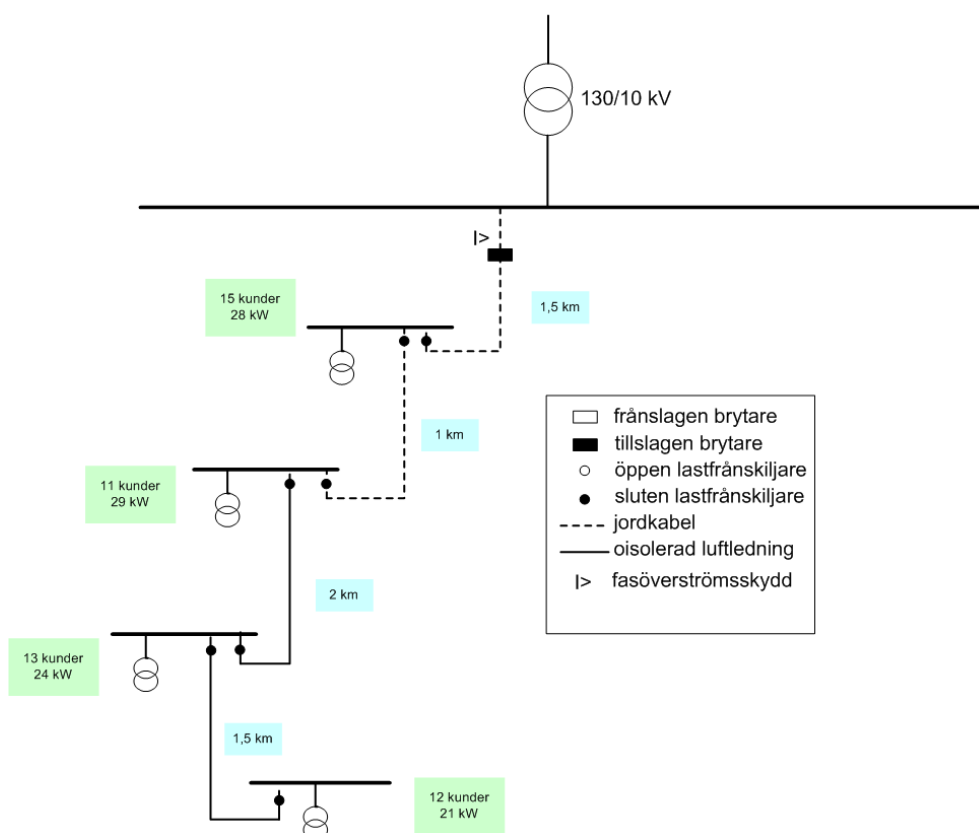
9.2.2 Sammanfattning

Känslighetsanalysen av nuvärdet av framtida intäkter i Figur 19 varierar kraftigt med variationer i indata precis som i övriga exempel. Samma osäkerheter vad gäller felrater, avbrottstid, kundkostnader och investeringskostnader som diskuterades i avsnitt 6.2.2 gäller även här.

Trots stora osäkerheter är marginalen så pass stor att investeringen troligtvis skulle vara lönsam.

10 Typnät 5 – glesbefolkad landsbygd

Figur 20 visar utformningen av det fiktiva typnät för glesbefolkad landsbygd som ligger till grund för nedanstående beräkningsexempel. Ett mellanspänningsfack matar ett radiellt nät med totalt 4 nätstationer och 4 distributionstransformatorer med en märkeffekt om 200 kVA vardera. Dessa förser totalt 51 elkunder med en genomsnittlig förbrukning om 100 kW. Det radiella nätet utgörs av 2,5 km jordkabel och 3,5 km oisolerad luftledning. På utgående mellanspänningsfack finns en effektbrytare, kopplad till överströms- och jordfelsskydd. I utgångsläget är alla ledningarna försedda med manuellt styrda lastfrånskiljare. Vidare antas det varken finnas strömmätning i nätstationer eller kommunikationsmöjlighet mellan nätstationer och driftcentral.



Figur 20 Typnät för glesbefolkad landsbygd - utgångsläge. Mellanspänningsfacket förser 51 kunder, med en genomsnittlig förbrukning om totalt 100 kW, utspridda på 4 nätstationer och 4 distributionstransformatorer med en märkeffekt om 200 kVA vardera. Radialen utgörs av 2,5 km jordkabel och 3,5 km oisolerad luftledning. På utgående mellanspänningsfack finns överströms- och jordfelsskydd och ledningarna är försedda med lastfrånskiljare utan fjärrstyrning.

Antaganden vad gäller antal nätstationer, installerad effekt per nätstation, kopplingsdon och reläskydd är baserade på erfarenhet och information från referensgruppen [17]. Rimliga värden för ledningslängder, andel jordkabel respektive oisolerad luftledning, antal kunder per nätstation och genomsnittlig förbrukning är baserade på data från tabell 2.5 i [22]. Förbrukningsfördelning från tabell 3.4 i referens [22] används för uppdelningen av kunder i olika kundtyper. I ett verkligt fall, då investeringskalkylen gäller ett specifikt nät, antas denna typ av indata vara känd.

Fel på luftledning eller kabel är den i särklass vanligaste orsaken till elavbrott i denna typ av nät. Ett sådant fel ger upphov till frånslag av brytaren i matande mellanspänningsfack som därmed bryter elförsörjningen till alla kunder som matas av just det facket. För att lokalisera felet måste personal rycka ut och patrullera och felsöka ledningen, innan manuell omkoppling kan ske för att kunder mellan felstället och matande fack ska återfå strömmen. Kunder nedanför felstället kan inte matas från fördelningsstationen förrän felet är reparerat eller felbehäftad sträcka är ersatt.

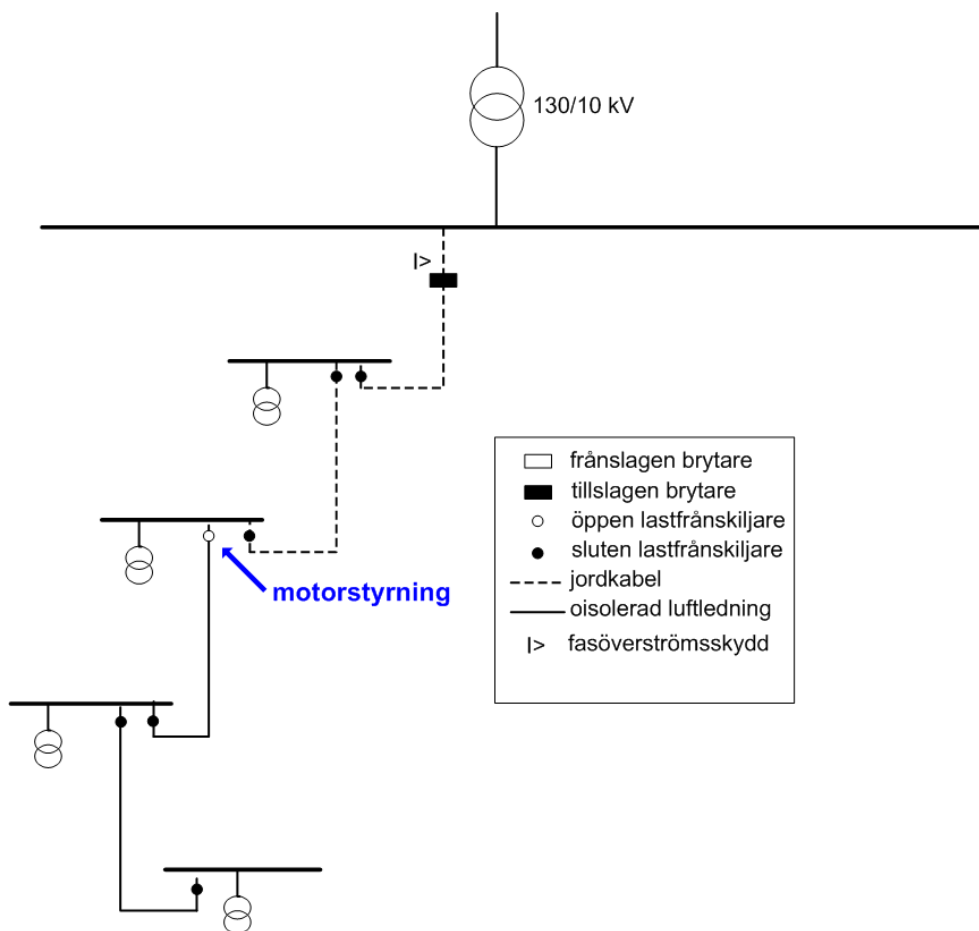
10.1 FÖRSLAG TILL NY DESIGN

Förslaget för detta typnät innebär installation av en fjärrmanövrerbar lastfrånskiljare i *en* nätstation samt kommunikationsmöjlighet mellan denna nätstation och driftcentral. Vilken lastfrånskiljare som är mest strategisk att göra fjärrmanövrerbar beror på det specifika nätet med avseende på var särskilt känsliga kunder finns och var många fel inträffar. En naturlig placering är i brytpunkten mellan jordkabel och oisolerad luftledning, vilket också väljs i detta typnät, se Figur 21. Dessutom förespråkas omkopplingsautomatik för denna fjärrmanövrerbara lastfrånskiljare. Med en sådan designlösning, skulle ett ledningsfel som uppstår nedanför den fjärrmanövrerbara lastfrånskiljaren fortfarande ge upphov till brytarfrånslag på utgående mellanspänningsfack. Automatiken skulle koppla bort lastfrånskiljaren följt av tillkoppling av brytaren på utgående mellanspänningsfack.

I de fall ledningsfel uppstår nedanför den fjärrstyrda lastfrånskiljaren kommer avbrottstiden för kunderna ovanför densamma att minska från 5 timmar till ett par sekunder⁵. För kunder nedanför aktuell lastfrånskiljare kommer designlösningen inte att öka tillgängligheten. Tillgängligheten kommer heller inte att påverkas vid fel ovanför den fjärrstyrda lastfrånskiljaren.

Merkostnaden för att driva och underhålla den ytterligare utrustning som den föreslagna lösningen medför, uppskattas till 3 000 kr årligen.

⁵ I beräkningsexemplet har 5 timmar och 5 sekunder använts som avbrottstid för utgångsläget respektive för föreslagen design.



Figur 21 Typnät för glesbefolkad landsbygd – ny designlösning. Jämfört med utgångsläget i Figur 20, har markerad lastfränskiljare försetts med motorstyrning. Det har också installerats kommunikationsmöjlighet mellan den och driftcentral samt omkopplingsautomatik. Vid ett luftledningsfel med efterföljande brytarfränslag, ger denna lösning möjlighet att koppla bort luftledningarna, varefter kunderna ovanför den fjärrstyrda lastfränskiljaren kan återfå strömmen inom ett par sekunder.

10.2 INVESTERINGSKALKYL

Ett ledningsfel nedanför den fjärrmanövrerbara lastfränskiljaren, skulle ge upphov till kostnaderna i Tabell 11 för kunder ovanför aktuell lastfränskiljare.

Tabell 11 Kostnader (kr) för kunder ovanför aktuell lastfränskiljare (se Figur 21) vid ett ledningsfel nedanför densamma, förutsatt att den föreslagna designlösningen skulle reducera avbrottstiden från 5 timmar till 5 sekunder för dessa kunder.

Kundtyp	Bortkopplad effekt (kW)	Avbrottskostnad – befintlig design	Avbrottskostnad – ny design	Skillnad i kostnad
Hushåll	23	256	23	
Industri	8	2835	173	
Handel och tjänster	21	17109	1327	
Jordbruk	2	384	14	
Offentlig verksamhet	3	667	17	

Kundtyp	Bortkopplad effekt (kW)	Avbrottskostnad – befintlig design	Avbrottskostnad – ny design	Skillnad i kostnad
Omkopplings-kostnad		5000	0	
Totalt		26 251	1 554	24 697

Ovan beräknades felraten för oisolerad luftledning till 0,140 *antal fel/(km · år)*. Antal fel per år som uppstår i denna del av den öppna slingan blir följaktligen

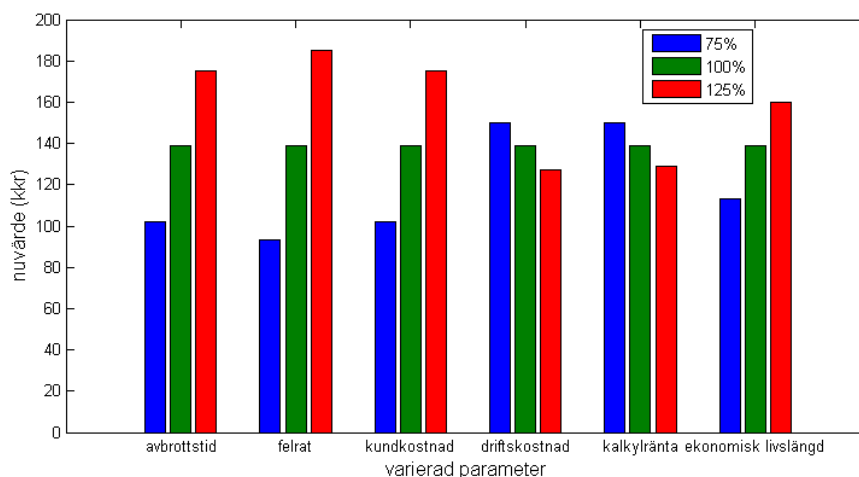
$$0,140 \text{ antal } \frac{\text{fel}}{\text{km} \cdot \text{år}} \cdot 3,5 \text{ km} = 0,490 \text{ antal fel/år}.$$

Den nya designlösningen skulle därmed innebära en årlig kostnadssänkning om

$$0,490 \text{ antal fel/år} \cdot 24697 \text{ kr/fel} \approx 12100 \text{ kr/år}.$$

Samtidigt antas den ytterligare utrustning som den föreslagna lösningen medför öka den årliga drift- och underhållskostnaden för den öppna slingan med 3 000 kr. Nettoförtjänsten blir därmed ca 9 000 kr om året. Med 2013-års prisnivå, en kalkylränta om 3,8 %, och en ekonomisk livslängd på 20 år, blir nuvärdet (år 2016) av framtida förtjänster ca 140 000 kr om den nya designlösningen antas komma i drift år 2016. Det innebär att om investeringen år 2016 kostar mindre än 140 000 kr så är den lönsam. Skillnaden mellan nuvärdet och grundinvesteringen kallas *nettonuvärdet* och är alltså större än noll om investeringen är lönsam.

I Figur 22 visas hur nuvärdet påverkas vid en känslighetsanalys där olika ingående parametrar varierats en i taget. Det kan noteras att variationer i avbrottstiden med befintlig design, felraten för ingående ledningar samt kundkostnaderna vid avbrott ger störst utslag vid samma procentuella variation.



Figur 22 Känslighetsanalys med avseende på nuvärdet av framtida intäkter givet den föreslagna designlösningen. Parametrarna har varierats en i taget och 100 % motsvarar 5 timmar för avbrottstiden (befintlig design), 0,140 antal fel per kilometer och år på oisolerad luftledning för felraten, värdena i Tabell 2 för kundkostnaderna, 3 000 kr/år för den årliga drift- och underhållskostnaden (ny design), 3,8 % för kalkylräntan och 20 år för den ekonomiska livslängden.

10.2.1 Investeringskostnader

Enligt beräkningen ovan skulle den föreslagna designlösningen vara lönsam om grundinvesteringen kostade mindre än 140 000 kr. Kostnaden bör täcka följande:

- (1 st) Kommunikation nätstationer och driftcentral
- (1 st) Motorstyrning av lastfrånskiljare
- Utveckla och implementera omkopplingsautomatik

När det gäller kommunikation är det överhuvudtaget inte rimligt att ekonomiskt rättfärdiga installation av optisk fiber ur ett tillgänglighetsperspektiv i detta typnät. Det kan tänkas att optisk fiber ska installeras av andra skäl varpå denna kostnadspost försvinner ur föreliggande investeringskalkyl. Ett mer realistiskt kommunikationsalternativ är istället radio- eller mobilkommunikation.

Priset på att efterinstallera motorstyrning på befintliga lastfrånskiljare är mycket svårt att uppskatta. En grov uppskattning är att den tekniska utrustningen kan kosta ca 25 000 kr per kopplingsdon inklusive installationsarbetet.

För personal med erfarenhet av automatiker och god kännedom om driftsystemet bör utveckling och implementering av omkopplingsautomatik inte kosta mer än ca 20 000 kr.

Troligtvis finns där i alla uppskattningar en skalningsfaktor som gör att priset per enhet sjunker ju fler enheter som ingår. Dessutom är priser ofta beroende på hur hela beställningen är utformad.

Alla kostnadsuppskattningar utom kommunikationsposten summeras ihop till

$$1 \cdot 25000kr + 20000kr \approx 45000kr.$$

För att designlösningen i sin helhet ska antas vara lönsam bör då kostnaden för kommunikationsmöjligheterna inte överskrida

$$140000kr - 45000kr \approx 95000kr.$$

Denna designlösning ställer inga höga krav på snabb kommunikation. Kommunikationsalternativ som radio- eller mobilkommunikation är därmed rimligast att välja. Det borde vara högst rimligt att installera någon sådan typ av kommunikation för mindre än 95 000 kr.

Utifrån denna investeringskalkyl bedöms designlösningen vara kostnadseffektiv för det här typnätet.

10.2.2 Sammanfattning

Känslighetsanalysen av nuvärdet av framtida intäkter i Figur 22 varierar kraftigt med variationer i indata precis som i övriga exempel. Samma osäkerheter vad gäller felrater, avbrottstid, kundkostnader och investeringskostnader som diskuterades i avsnitt 6.2.2 gäller även här.

Trots stora osäkerheter är marginalen så pass stor att den troligtvis skulle vara lönsam.

11 Slutsatser

Det finns stora möjligheter att öka tillgängligheten i distributionsnät på ett kostnadseffektivt sätt med modern teknik. För att utvärdera lönsamheten i en investering bör en investeringskalkyl upprättas. Denna rapport ger exempel på hur en investeringskalkyl kan se ut för ett antal typnät och tillhörande designförslag. Även om slutsatsen blir olika för olika fall, är metodiken densamma.

Utifrån längden jordkabel respektive oisolerad luftledning i ett visst distributionsnät, kan den årliga felraten beräknas baserat på statistik för hela landet. Därefter måste avbrottstiden till följd av ett mellanspänningsfel uppskattas för utgångsläget, det vill säga innan någon förändring skett. Givet en årlig felrat och en uppskattning av avbrottstid per fel, kan den årliga kostnaden för avbrott beräknas. Omvandlingen från avbrottstid till monetärt värde bygger på antal kunder i nätet, kundtyper och avbrottskostnader för olika kundtyper. Den föreslagna designlösningen innebär en kortare avbrottstid per fel och därmed en sänkning av den årliga kostnaden för avbrott. Nuvärdesmetoden visar hur mycket den årliga kostnadssänkningen är värd i dagsläget, givet en viss kalkylränta och en viss ekonomisk livslängd. Investeringen bedöms vara lönsam om detta nuvärde överstiger investeringskostnaderna.

Behovet av investering är olika beroende på utgångsläget. Först och främst är det skillnad på nybyggnad och ombyggnad. I det senare fallet, finns det, till exempel, redan kommunikationsmöjlighet mellan driftcentral och nätstationer? Vid ombyggnad beror investeringsbehovet också på om det befintliga kopplingsdonet är motormanövrerbart och därmed fjärrmanövrerbart givet att kommunikationsmöjlighet existerar. Priset på nödvändig utrustning är inte heller fixt, utan beror, bland annat, på leverantör och volym.

Investeringskalkylerna i kapitel 6 - 10 beaktar enbart ledningsfel på mellanspänningsnivå. De föreslagna designlösningarna kommer att minska avbrottstiden även vid andra typer av mellanspänningsfel. Lönsamheten i förslagen är därmed underskattad.

I denna rapport presenteras *en* designlösning för vart och ett av fem typnät. De föreslagna lösningarna är inte bara applicerbara på respektive typnät. Till exempel kan drift i slutna slingor diskuteras i kapitel 8 för industrinät, vara aktuellt även för tätortsnät med mycket hög kundtätthet.

I alla beräkningsexemplen varierar nuvärdet av framtida intäkter kraftigt med variationer i indata. Varje parameter innehåller osäkerheter antingen för att den faktiskt varierar från år till år, för att den har stor spridning eller för att den är svår att uppskatta. Den mest osäkra parametern är troligtvis kundkostnaderna, som bland annat bygger på en enkätundersökning där hushållskunder har angett sin betalningsvilja för att minska antalet elavbrott. Särskilt svårt är det för kunder med mycket höga krav på tillgänglighet jämfört med en genomsnittlig kund. Det kan dessutom vara mycket svårt att uppskatta avbrottskostnaderna i enbart monetära kostnader för till exempel sjukhus.

Sammanfattningsvis rymmer investeringskalkylen osäkerheter i indata av sådan storleksordning att resultatet inte kan tjäna som enda bevekelsegrund i utvärderingen av en investering. Dessutom går det inte enkelt att omsätta den goodwill, som ökad tillgänglighet medför, i pengar. Denna, väl så viktiga aspekt, måste alltså bedömas

utöver den konkreta investeringskalkylen. Det kan också finnas anledning att se investeringen som ett bidrag till utvecklingen av framtidens smarta elnät, särskilt vid nybyggnation. Trots att en investeringskalkyl av det här slaget alltid kommer att innehålla osäkerheter, är den ett viktigt led i processen att utvärdera en ny designlösning.

Syftet med exemplen är i huvudsak att illustrera processen och diskutera frågor som bör beaktas. Det är svårt att dra generella slutsatser vad gäller lönsamheten i de föreslagna designlösningarna baserat på ovanstående beräkningsexempel. Det kan dock sägas att kundtäteten tillsammans med andelen avbrottskänsliga kunder sätter ramen för hur mycket det är värt att investera i ökad tillgänglighet. I tätortsnät med hög kundtätet och stor andel kunder inom, till exempel, handel och tjänster, kan kostsamma designlösningar vara aktuella. I glesbefolkad landsbygd däremot, med låg kundtätet och mindre andel kundtyper som är mycket känsliga för avbrott, är det osannolikt att stora investeringar i modern teknik för att öka tillgänglighet kan motiveras ekonomiskt. I dessa fall måste icke lönsamma investeringar göras till exempel med offentlig finansiering, för att möjliggöra acceptabel driftsäkerhet.

Ovanstående förslag att införa modern teknik och fler kopplingsdon måste ställas mot den ökade risken för fel som kommer med att bygga in fler komponenter i nätet. Det är också viktigt att förslag till effektivare felhantering vägs mot alternativa lösningar som gör nätet robustare och därmed minskar antalet uppkomna fel.

Sammanfattningsvis finns det stora möjligheter att öka tillgängligheten med smart nätuppgbyggnad och automatiker. Det finns även andra motiv än ökad tillgänglighet, som rättfärdigar en ökad användning av modern teknik för mätning, kommunikation, fjärrstyrning och automatiker i distributionsnätet.

Referenser

- [1] Energimarknadsinspektionen, Leveranssäkerheten i elnäten 2012, Ei R2014:04, 2014
- [2] Energimarknadsinspektionens författningssamling, EIFS 2013:1, 2013
- [3] Energimarknadsinspektionen, Kvalitetsreglering av intäktsram för elnätsföretag, Ei R2015:06, 2015
- [4] F. Carlsson, P. Martinsson, Kostnader av elavbrott – En studie av svenska elkunder, Elforsk rapport 06:15, 2006
- [5] H. Vefsnmo och G.Kjølle, Estimation of Costs of Electricity Interruptions in Sweden – Interruption cost parameters based on the survey conducted by University of Gothenburg from 2005, SINTEF, 2015
- [6] Svenska Elverksföreningen, Avbrottskostnader för elkunder, ISBN 91 7622 096-6, 1994
- [7] IEEE Guide for Electric Power Distribution Reliability Indices, IEEE Standard 1366TM-2012
- [8] <http://www.elsakerhetsverket.se/globalassets/foreskrifter/aldre-foreskrifter/1999-5.pdf>
- [9] Energimarknadsinspektionen, Leveranssäkerheten i elnäten 2013, Ei R2015:14, 2015
- [10] M. Tapper, DARWin – Driftstörningsstatistik 2014, Svensk Energi, 2015
- [11] Energimarknadsinspektionens sammanställning av lokalnäten baserat på elnätsföretagens årsrapporter 2008-2014, Särskilda rapporten – teknisk data, www.energimarknadsinspektionen.se/sv/Publikationer/Arssrapporter/
- [12] M. Tapper, DARWin – Driftstörningsstatistik 2013, Svensk Energi, 2014
- [13] Energimarknadsinspektionen, Energimarknadsinspektionens föreskrifter om intäktsramar för elnätsföretag, Ei R2015:01, 2015
- [14] Grant Thornton för Energimarknadsinspektionen, Kalkylränta (WACC) för elnätsföretagen under tillsynsperioden 2016-2019., 2015
- [15] Ernst & Young för Energimarknadsinspektionen, WACC för elnätsföretag för tillsynsperioden 2016-2019, 2015
- [16] Montell & Partners för Energimarknadsinspektionen, Framtagande av kalkylränta för en skälig avkastning för elnätsföretagen för perioden 2016-2019, 2015
- [17] Referensgruppsmöte 1, 2015-09-17 med Marcus Halvarsson (Vattenfall), Joar Johansson (Ellevio), Ilijaz Kenjar (Göteborgs Energi), Lars Messing (Gothia Power), Magnus Sjunnesson (Öresundskraft)
- [18] Intervju med Tomas Johannesson (E.ON Elnät Sverige AB)
- [19] Intervju med Ulf Lager (Gothia Power)
- [20] Intervju med Jan-Mikael Pått (ABB Oy)
- [21] Intervju med Patrik Nilsson (ABB AB)
- [22] O. Engblom, M. Ueda, Representativa testnät för svenska eldistributionsnät, Elforsk rapport 08:42, 2008

NÄTUPPBYGGNAD OCH AUTOMATIKER FÖR ÖKAD TILLGÄNGLIGHET

Idag finns komponenter som möjliggör nya tankesätt när det gäller design av elnät på distributionsnivå för ökad tillgänglighet. Framförallt handlar det om att öka tillgängligheten genom att se till att alternativa matningsvägar existerar och genom att inkludera mätning, kommunikation, fjärrstyrning och automatik. Vid nyanläggning, modernisering och förnyelse av elnät, bör en investeringskalkyl upprättas som en viktig del av utvärderingen av en designprincips lönsamhet. Processen och viktiga överväganden att beakta presenteras i denna rapport i form av beräkningsexempel för ett antal typnät med tillhörande förslag till design.

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



Energiforsk