

# FELSTATISTIK OCH RISKANALYS

– FÖR 10KV KABELFÖRBAND

Högskoleingenjörsutbildning i Energiteknik  
Elkraft

Emma Lorenz



HÖGSKOLAN I BORÅS

## **Förord**

Det här examensarbetet skrivs som ett obligatoriskt moment i programmet Energiingenjör vid Högskolan i Borås och är det som avslutar den 3 åriga utbildningen på 180 högskolepoäng. Det här arbetet motsvarar 15 högskolepoäng och har gjorts i samarbete med Göteborg Energi Nät AB under våren år 2020.

Ett jättestort tack till alla som har hjälpt till med det här arbetet. Jimmy Vylynd på Göteborg Energi Nät AB som har tagit fram idén till examensarbetet, varit min handledare samt har varit mycket hjälpsam under arbetets gång med stöttning, information, kontorsplats och goda råd. Tack till min examinerare Leif Näslund som har kommit med feedback och stöttning. Tack till er som har delat med er av kunskap och funderingar.

Alla figurer i rapporten är framställda av författaren om inget annat anges.

Maj 2020  
Emma Lorenz

**Program:** Energiingenjör med inriktning elkraft  
**Svensk titel:** Felstatistik och riskanalys för 10kV kabelförband  
**Engelsk titel:** Fault statistics and risk analysis for 10 kV cable connections  
**Utgivningsår:** 2020  
**Författare:** Emma Lorenz  
**Handledare:** Jimmy Vylund  
**Examinator:** Leif Näslund  
**Nyckelord:** felstatistik, risk, kablar

---

## **Sammanfattning**

Den här rapporten har studerat ett 10kV kabelförband och redovisat risk-värdet för alla inkluderande ledningar. Syftet för arbetet är att vidareutveckla felstatistiken på Göteborg Energi Nät AB (hädanefter GENAB) och utifrån den identifiera vilka ledningar som har störst risk för framtida fel. För att bygga en felstatistik för ledningarna har även arbetet inneburit att skapa riktlinjer för vad som ska tolkas som ett historiskt fel.

Tillvägagångssättet har varit att granska alla ledningar för först hitta alla fel (skarv- och kabelfel). Efter första granskningen kunde alla riktlinjer skapas och därefter har felstatistiken kunnat byggas upp. När felstatistiken är fulländad har alla ledningar granskats igen och alla kabellängder och skarvar har fått varsitt risk-värde. Därefter har alla ledningar ett eget värde och kan lätt jämföras och analyseras med varandra.

Resultatet för rapporten visar att de långa ledningarna (över 2km) har lätt för att få ett högt risk-värde. Samtidigt som det finns korta ledningar som har ett högt risk-värde likaså en lång ledning har ett lågt. Det som bidrar till att en ledning får ett högt värde är om det finns många skarvar av typen plast/plast. Det som bidrar till ett högt värde från kablar är om det finns många PEX-kablar som är över 20 år eller FCJJ-kablar som är runt 70 år.

## **Abstract**

This report has studied a 10kV cable connection and reported the risk value for all inclusive cable wires. The purpose was to further develop the fault statistics at Göteborg Energi Nät AB (henceforth GENAB) and to identify which wires are most at risk for future faults. To build a fault statistic for the wires, the work has also meant creating guidelines for what should be interpreted as a historical fault.

The approach has been to first examine all wiring to find all faults (joints and cable faults). After the first examination, all guidelines could be created and then the fault statistics could be built up. When the fault statistics are complete, all wires have been re-examined and all cable lengths and joints have each received a risk value. After that, all wires have their own value and can easily be compared and analyzed between each other.

The results of the report show that the long wires (over 2km) are easy to get a high risk value. While there are short wires that have a high risk value as well as a long wire has a low. What contribute a wire get a high value is if there are many joints of the type plastic/plastic. What

contributes to a high value from cables is whether there are many PEX-cables that are over 20 years old or FCJJ-cables that are around 70 years old.

# INNEHÅLLSFÖRTECKNING

<b>1 INLEDNING</b> .....	<b>6</b>
1.1 Bakgrund .....	6
1.2 Syfte .....	6
1.2.1 Frågeställning .....	6
1.2.2 Avgränsningar.....	6
<b>2 METOD</b> .....	<b>7</b>
<b>3 TEORI</b> .....	<b>7</b>
3.1 Sveriges elnät .....	7
3.1.1 Elnätets uppbyggnad .....	7
3.1.2 Leverans .....	7
3.2 GENAB:s elnät .....	8
3.3 Kabelns konstruktion.....	8
3.3.1 Ledare .....	9
3.3.2 Isolering.....	9
3.3.3 Ledande skikt.....	9
3.3.4 Skärm.....	9
3.3.5 Mantel .....	10
3.3.6 Badkarsmodellen.....	10
3.4 Skarvar .....	10
3.5 NIS-systemet DpSpatial .....	11
3.6 Kabellistor .....	12
<b>4 RESULTAT</b> .....	<b>13</b>
4.1 Riktlinjer och regler .....	13
4.1.1 Riktlinjer .....	13
4.1.2 Ej ett fel .....	16
4.1.3 Flödesschema .....	17
4.2 Sammanställning av felstatistik .....	18
4.2.1 Skarvar .....	19
4.2.2 Antaganden .....	19
4.2.3 Kablar .....	20
4.2.4 Förtydligande av felstatistiken .....	21
4.3 Risk-värdet för alla kablar.....	22
<b>5 DISKUSSION</b> .....	<b>24</b>
<b>6 SLUTSATS</b> .....	<b>24</b>

**REFERENSER..... 25**

**ILLUSTRATIONER ..... 25**

# 1 INLEDNING

## 1.1 Bakgrund

Göteborgs Energi Nät AB (hädanefter GENAB) har idag ett kabelnät för 10kV där reinvesteringstakten historiskt sett varit mycket låg. Det har identifierats att det åldrande kabelnätet leder till en ökad mängd fel och därmed sjunker leveranssäkerheten och oförutsedda kostnader ökat.

Att kabelnätet åldras innebär att fler kablar når slutet på dess tekniska livslängd. Risken för fel på kablar förväntas vara högre de första åren, då misstag vid förläggning exempelvis mantelskador (yttre skiktet på kabeln) uppenbarar sig. Efter det förväntas det att felen på kablarna sjunker under en längre tid, det kallas för den användbara livstiden för kabeln. Till slut når kabeln slutet på sin tekniska livslängd, då förväntas risken för fel höjas igen till dess att kabeln byts ut. Att uppskatta en kabels livslängd är mycket svårt och är beroende på en mängd parametrar, till exempel förläggningsmiljö, belastning och kabelkonstruktion.

GENAB har sammanställt felstatistik på komponentnivå från år 2016 och framåt. Underlaget hade behövt vara mer tillförlitligt och i större mängd.

## 1.2 Syfte

Syftet med arbetet är att vidareutveckla felstatistiken på GENAB och baserat på den identifiera ”risk-kablar”, kablar med en förhöjd risk för framtida fel. Rapporten ska även skapa tydliga riktlinjer för vad som ska tolkas som ett historiskt fel i GENABs NIS-system dpSpatial.

I rapporten ska även felstatistiken sammanställas för ett urval av kablar utifrån de riktlinjer som tagits fram. Med hjälp av framtagen felstatistik, identifiera sammanlagd risk för framtida fel på de undersökta kablarna.

För att kunna skapa en felstatistik kring urvalet kablar måste storheterna kring ämnet väljas. Tillsammans med riktlinjerna för de historiska felen och analys kring vilka kablar som har störst risk för framtida fel, har den här rapporten sin frågeställning.

### 1.2.1 Frågeställning

Nedan listas frågeställningen för rapporten:

- Vilka storheter ska felstatistiken kring kablar innehålla/ta upp?
- Vilka riktlinjer behövs för att tolka vad som är ett historiskt fel?
- Utifrån den framtagna felstatistiken, vilken kabel har störst risk för framtida fel?

### 1.2.2 Avgränsningar

För att avgränsa arbetet berörs endast 10kV-kablar. Avgränsningar har även skett vid uppdelning av kabeltyper, där grupperar den här rapporten endast in dem i FCJJ och PEX.

## 2 METOD

Tillvägagångssättet för den här rapporten har bestått av flera olika metoder som tillsammans möjliggjort en sammanställning av riktlinjer, felstatistik och en riskanalys.

Det första som behövdes för att kunna bygga felstatistiken var att gå igenom alla kabellistor (kapitel 3.6) för de ledningar som ska vara med och leta upp felen. Parallellt med att leta fel skapades också riktlinjerna (kapitel 4.1) för vad som ska tolkas som ett fel. Med hjälp av de fel som hittats, i kombination med information om GENAB:s nät har en felstatistik kring skarvar och kablar sammanställts.

För att få ett risk-värde för varje ledning som sen kan jämföras med andra ledningar, har varje kabellängd och skarv som finns i ledningen fått ett eget värde med hjälp av felstatistiken. Med andra ord har felstatistiken bidragit till en sammanlagd risk för varje ledning. Risk-värdet för alla ledningar har sedan jämförts och därifrån har vissa ledningar valts ut för att granska lite extra.

## 3 TEORI

För att öka förståelsen kring det som studerats finns nedan information som tar upp det betydande för att förklara den här rapportens viktiga delar.

### 3.1 Sveriges elnät

Sverige har idag ett väl utvecklat elnät som har en stor betydelse för välförhållandet.

#### 3.1.1 Elnätets uppbyggnad

På 1930-talet togs den första ledningen för 220kV i drift i Sverige som tog elektriciteten från Norrland till Stockholm. Den ledningen anses vara den första delen av det svenska stamnätet, det nät som möjliggör långa transporter av elektricitet. Idag sträcker sig stamnätet över hela Sverige, även till våra grannländer och spänningen hos dessa ledningar är för det mesta 400kV.

Resten av elnätet, den delen som gör att elektriciteten kan förbrukas och komma till användning kallas för regionnät och lokalnät. Regionnätet tar emot elektricitet från stamnätet och vidare till lokalnätet eller i vissa fall direkt till större elkonsumenter. Vanligtvis används 40-130kV i regionnätet. På samma sätt som stamnätsledningarna, utgörs regionnätsledningarna oftast av luftledningarna.

De lokala näten distribuerar elektricitet med spänning i området 10-30kV. I de delar som kallas för lågspänning är spänningen i ledningarna 230/400V, det är för att elen ska vara hanterbar för dem som ska använda den. Här finns både luftledningarna och markkablar, det beror oftast på om det är trångt där ledningarna ska gå eller inte (Svenska Kraftnät 2014).

#### 3.1.2 Leverans

Elektricitet är en viktig samhällsfunktion. Ett långt avbrott kan få många hushåll att förlora sina primära funktioner såsom värme, matlagning och vatten. Att Sverige har en hög leveranssäkerhet har visat sig i en internationell jämförelse, där flera år och kunder har

granskats. 99,98 procent av elektriciteten som förfrågats har levererats. De avbrott som sker beror till största del av skador eller fel i elnätet. På landsbygden där luftledningarna finns är orsaken för det mesta att träd och grenar faller på ledningarna. I tätorten där markkablarna finns beror avbrotten oftast på materialfel eller att kabeln grävs av.

I takt med att ny teknik kommer, kommer även nya krav på säkerheten och kvalitén på elnätet. Svenska Kraftnät (2014) berättar att i och med att energianvändningen ökar måste de gamla elledningarna bytas ut eller förstärkas. Samtidigt som det har investerats mycket i stamnätet för att öka det nordiska energiutbytet har region- och lokalnäten blivit tvungna att satsa sina investeringar på att ansluta ny elproduktion t.ex. vindkraft.

### 3.2 GENAB:s elnät

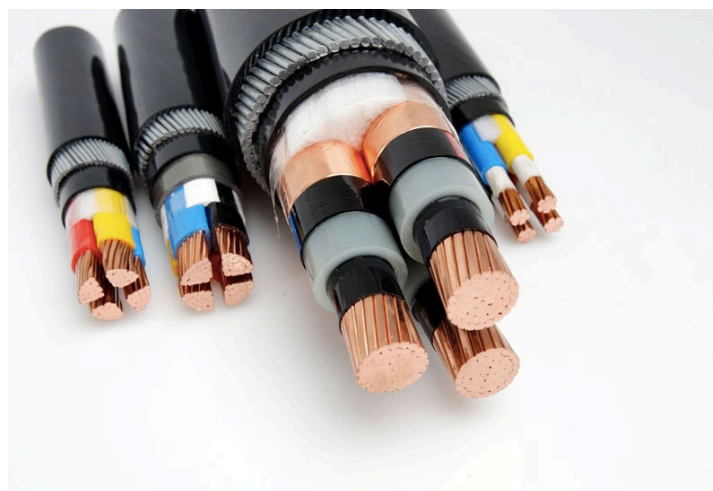
Elnätet i Göteborg består till störst del av markförlagd kabel i och med att det är ett stadsnät. Elnätet anses vara mycket gammalt, då det historiskt sett inte gjorts många reinvesteringar. Många delar av nätet är även byggt samtidigt som staden elektrifierades.

Mottagarstationer finns det ungefär 21st i GENAB:s nät. De här stationerna har som uppgift att transformera 130kV ner till 10kV. All utrustning i en station behöver ha ett fysiskt skydd, som t.ex. för kablar skyddas dem genom att de är nedgrävda. På liknande sätt behöver ställverket och transformatorer skyddas. Det är en av anledningarna till varför mottagarstationer kan finnas i bergrum eller uppfattas som inbyggda (Lindberg & Pålsson 2018).

Nätstationer har samma uppgift som mottagarstationen. Skillnaden är att en nätstation transformerar 10kV till 0,4kV och sedan fördelar strömmen till användare. Det finns betydligt fler av den här varianten, i GENAB:s nät finns det ungefär 2 000st (Lindberg & Pålsson 2018).

### 3.3 Kabelns konstruktion

Det finns flera olika typer av kablar. Det som skiljer de olika typerna åt är huvudsakligen materialet för de olika skikten. Den grundläggande konstruktionen har alla kabeltyper gemensamt.



Figur 3.1 Kabelns konstruktion (Wikimedia Commons 2013)

### **3.3.1 Ledare**

Ledaren kan bestå av antingen aluminium eller koppar. Koppar är dyrare än aluminium, då kopparledaren har bättre ledningsförmåga samt har ett starkare motstånd emot oxidering och korrosion. Aluminiumledaren är den vanligast förekommande ledaren av kostnadsskäl. Ledningsförmågan hos aluminium är ungefär 2/3 av kopparens.

Ledaren kan vara antingen rund eller sektorformad. Den kan även vara solid, få- eller mångtrådig, vilket bidrar till kabelns böjlighet samt hur lätthanterlig den är vara vid montage (NKT Cables AB 2015).

### **3.3.2 Isolering**

Runt ledaren finns en isolering som skyddar ledaren. Som ledarisoleringen används huvudsakligen gummi eller plast. I dagens kablar används mest Polyeten (PE), tvärbunden PE (PEX) och polyvinylklorid (PVC). Dock finns det fortfarande kvar mycket blypapperskabel, som togs i drift i början på 1900-talet. I blypapperskabeln utförs isoleringen av olje- eller vaximpregnerat papper (Andersson & Lindell 2014).

PE delas in i flera undergrupper beroende på densitet, hårdhet är en faktor som varierar beroende på grupp. Den här sortens plast har en mycket hög elektrisk isolationsförmåga, dock är den mycket beroende av temperaturen. PEX innebär att polyetenet har långa molekylkedjor som förbinds med varandra via kisel- eller kolatomer. Resultatet blir plast med bättre mekaniska och termiska egenskaper. I och med att tvärbindingen även ökar värmeresistansen och hållfastheten har PEX fler fördelar jämfört med PE. PVC är en termoplast som kan arbeta i ett brett temperaturintervall. Plasten är flexibel samt självlocknande. Nackdelen med PVC är att den enbart passar i 1kV-området, blir spänningen högre ökar förlusterna (NKT Cables AB 2015).

I den här rapporten kommer blypapperskabeln kallas för både papperskabel och FCJJ-kabel. Plast- och gummityperna kommer alla gå under namnet PEX-kabel.

### **3.3.3 Ledande skikt**

Ett ledande skikt används i kablar för spänning över 3kV. Det här skiktet finns för att justera ytan mellan isolering och skärm respektive isolering och ledare. Målet är att undvika glimning genom att få en så jämn fältfördelning som möjligt. Det här skiktet kräver en hög renhet (Lindmark 2020).

### **3.3.4 Skärm**

Skärmen befinner sig utanför ledaren och isoleringen samt de ledande skikt som eventuellt finns mellan de olika lagren. Skärmen kan bestå av koppar- eller aluminium i olika utformningar. Syftet med skärmen kan yttra sig olika beroende på kabeltyp samt vilken spänning som används. För 1kV-kablar ska skärmen fungera som en PEN- eller PE-ledare. Hos alla andra kraftkablar fungerar skärmen som personskydd. På de äldre blypapperskablar är skärmen gjord av bly (NKT Cables AB 2015).

### 3.3.5 Mantel

Manteln är kabelns yttersta skikt som främst skyddar mot yttre påfrestningar, till exempel kemiska eller mekaniska påkänningar. Materialet som manteln är gjord av är främst PE eller PVC. De kablar som tillverkas idag har PE som mantelmaterial, då det har en hög isolationsförmåga och står emot fukt bättre (Andersson & Lindell 2014).

### 3.3.6 Badkarsmodellen

På samma sätt som GENAB:s nät blir äldre blir även kablarna det. Att en kabel blir äldre innebär att den kommer närmare slutet av sin tekniska livslängd. Det går att beskriva en kabelns livslängd genom en modell, där man tittar på felintensiteten jämt mot åldern. Modellen kallas för Badkarsmodellen och talar om hur felintensiteten kan förväntas vara hos en kabel. De första 5 åren kan felintensiteten förväntas vara högre, då misstag eller skador vid förläggningen uppenbarar sig, till exempel mantelskador. Efter det följer generellt en period med låg felintensitet, alltså den mest användbara tiden för kabeln. Slutligen ökar felintensiteten åter och den tekniska livslängden närmar sig till dess att kabeln byts ut.



Figur 3.2 Badkarsmodellen beskriver förväntad felintensitet

## 3.4 Skarvar

Skarvar är väldigt viktigt för att ha ett fungerande elnät. För att underlätta vid tillverkning, transport och montage av en kabel är varje kabelsektion cirka 300m. Konsekvensen av det är att kabeln måste skarvas för att kunna driftsätta ledningar som är längre än det. För att göra en skarv krävs ett noggrant hantverk, därav är en skarv mycket känslig berättar Vylund<sup>1</sup>. Det gör att en skarv blir en svag punkt som oftast går sönder före någon annan av komponenterna som finns i nätet (Andersson & Lindell 2014).

<sup>1</sup> Jimmy Vylund Planeringsingenjör Göteborg Energi Nät AB, e-post april 2020

I verkligheten, som visas genom kabellistorna (kapitel 3.6) finns det olika skarvtyper. Då olika kabeltyper skarvas ihop, får varje skarv olika förutsättningar. Det som bestämmer vilken skarvtyp det är, är vilka kabeltyper som har skarven har satt ihop. Om det till exempel är en papperskabel som skarvas ihop med en PEX-kabel blir skarvtypen papper/plast. Samma sak gäller papper/papper- och plast/plast-skarvar.



Figur 3.3 Bild på en skarv

### 3.5 NIS-systemet DpSpatial

Digpro AB heter företaget som äger nätinformationssystemet (NIS) som används av verksamheter som vill ha drift-, underhålls- och investeringsfrågor samlat. DpSpatial är samlingsnamnet för de olika NIS-produkterna som Digpro har. DpPower heter systemet som innehåller information om Elnätet, det finns även enskilda produkter för bland annat Vatten och Avlopp men också Fjärrvärme (Digpro AB 2019).

I programmet finns sammanställd information om alla skarvar och alla kabelsektioner som finns i hela GENAB:s nät. När felstatistiken gjordes var dpPower till god nytta genom att få fram bland annat det totala antalet driftsatta skarvar av en viss typ under vissa år eller totala längden av en viss kabeltyp förlagd under vissa år.

Under arbetet med att tolka kabellistorna (kapitel 3.6) har dpPower även använts då felen är otydliga eller om det har saknats information i listorna. I vissa fall kan det se ut som ett fel i kabellistan, men i dpPower ser man att det har skett en ombyggnation, tack vare att man kan se ledningar som har tagits bort och om flera kablar har skarvats på samma ställe. Med andra ord kan kabellistan få enkla förklaringar till varför det ser ut som det gör, genom dpPower.

I dpPower kan man i de flesta fall klicka på ledningar, skarvar, stationer etc. och få upp information kring just denna komponent. Alltså kan man även klicka på ledningar och skarvar ur drift för att förhoppningsvis se vilken ledning de tillhört innan. Vilket också underlättar att få en hjälpande översikt över kabellistan och förhoppningsvis förstå situationen bättre.

I figuren 3.4 nedan är en typisk bild på hur en ombyggnation kan se ut. De röda linjerna är ledningarna varav den blå är den valda. De gröna fyrkanterna är skarvar och de gråa streckade linjerna är ledningar ur drift. Den här situationen är med stor säkerhet en ombyggnation, då alla röda ledningarna med stor sannolikhet har gått där de gråa linjerna går. Det kan tolkas så på grund av utseendet och att alla ledningarna skarvats på samma ställe.



Figur 3.4 Hur en ombyggnation kan se ut i dpPower

### 3.6 Kabellistor

Kabellistan för en ledning är lagrad i dpPower (kapitel 3.5) och finns för varje ledning i GENAB:s nät.

Kabellistan innehåller:

- Kabelns totala längd
- Hur gammal och lång varje kabelsektion är
- När skarvarna gjordes
- Vad det är för skarv- och kabeltyp
- Mellan vilka stationer kabeln går

Dock är alla kabellistor långt ifrån exakta och fulltaliga. I det här arbetet har dpPower varit till stor hjälp när något saknats i listorna, till exempel en längd på en kabelsektion. Oftast har det varit på grund av ombyggnation och att dokumentationen inte är färdigställd.

Nedan är en översikt på en kabellista, namnet på ledningen och mellan vilka stationer den går mellan är borttagna. I den här rapporten har kolumnerna *Skarv/fack drifftagen datum*, *Kabel-/Skarvtyp*, *Kabel drifftagen datum* och *Längd* studerats allra mest.

Stationsnamn	ID/Typ	Ledning ID	Skarv/fack drifftagen datum	Kabel-/Skarvtyp	Kabel drifftagen datum	Längd	Ack. längd från ändpunkt 1	Ack. längd från ändpunkt 2
				AXCEK 3X240/25	1986-01-01			
			1986-01-01					
				FCJJ 3X95/25	1947-01-01	123	123	518
			2001-01-01					
				AXCEL 3X1X240/35	2001-01-01	33	156	395
			2016-06-10	EPKJ 17 C/3				
				AXCEL 3X240/35	2016-06-10	10	166	362
			2016-06-10	EPKJ 17C/3+SMOE61873				
				FCJJ 3X95/25	1947-01-01	53	219	352
			1947-01-01					
				FCJJ 3X95/25	1947-01-01	43	262	299
			1947-01-01					
				FCJJ 3X95/25	1947-01-01	256	518	256
			1980-01-01					

Figur 3.5 Bild på en kabellista

## 4 RESULTAT

### 4.1 Riktlinjer och regler

För att kunna skapa riktlinjer för historiska fel har tolkning av kabellistor gjorts för de kablarna som ska analyseras. Historiska fel inkluderar även de gånger det inte ska tolkas som ett fel. För att få ännu mer förståelse samt skapa en tillförlitlig metod, har ett flödesschema som täcker de flesta fall gjorts.

#### 4.1.1 Riktlinjer

Det är sällan kabellistor är identiska och är därför svårt att skapa en exakt mall om hur de bör tolkas. Det är såklart svårt att veta exakt vad det är som orsakat, till exempel ett fel på en kabel för 40 år sedan. För att underlätta tolkning och förhoppningsvis kunna sortera ut de flesta felen finns nedan riktlinjer tillsammans med exempel ur kabellistorna. Genom att skapa ett antal regler att förhålla sig till, kan man enklare och snabbare bestämma om det är ett fel eller inte samt vilken typ av fel det är.

**I:** Den allra första riktlinjen är att hitta de kabelsektioner (i kolumnen *Längd*) som är 10m eller kortare. Som rapporten tagit upp tidigare, är kabelsektioner vanligtvis långa. Därmed är det inte logiskt att någon bestämt sig för att lägga ner 10m kabel eller kortare med två skarvar, utan anledning.

En vanlig situation är när en skarv går sönder. De flesta gångerna går det inte att klippa av kabeln och skarva ihop den igen, då kabeln blir kortare när man tagit bort den dåliga skarven. Då måste man lägga till en bit kabel, vilket resulterar i en extra skarv och en kort kabellängd.

På bilden nedan ser vi ett exempel på detta. Den svarta kabeln är den nya korta längden som lagts ner. Resultatet i kabellistan är två nya skarvar ihop med en kort kabellängd med samma datum.



Figur 4.1 Exempel på riktlinje 1 i verkligheten

**II:** En annan riktlinje, som också är ett undantag för regel I, är att vid varje anslutning till en station (kapitel 3.2) är det inte ovanligt att det är korta kabelsektioner. Om det blir fel på en kabel i närheten av en station är det ibland mest fördelaktigt att man drar in en ny kabel från felet in till stationen. Det är fördelaktigt på grund av att man minimerar risken för framtida fel samt att man redan gräver i närheten och det blir inte argumenterbart dyrt att dra in en ny.

I många fall har det dragits in en ny kabel in i stationen för att man har bytt ut stationen mot en ny, då resulterar det i en kort kabelsektion i närheten. Vid stora mottagarstationer, där det går väldigt många kablar ifrån är det inte heller ovanligt. Där kan de kortare kabellängderna sträcka sig ungefär 20m från stationen utan att det egentligen är något fel, fast det i kabellistan kan se ut som det. Det är för att det kan ske ändringar eller ombyggnader i närheten samt att stationen kan finnas i bergrum och att det i så fall är en bit ut från stationen.

Sammanfattningsvis ska de korta kabelsektionerna i närheten av stationerna inte räknas in av regel I. Se ett exempel från kabellistan nedan, där kabeln går ut från en mottagarstation:

Stationsnamn	Skarv/fack drifttagen datum	Kabel-/Skarvtyp	Kabel drifttagen datum	Längd
Anslutning i stationen	2000-11-24			
		AXCEL 3X240/35	1996-01-01	7
	2012-06-07	EPKJ/C3		
		AXCEL 3X240/35	2012-06-07	3
	2012-06-07	EPKJ/C3		
		FCJJ 3X120/25	1972-01-01	3
	1972-01-01			
		FCJJ 3X95/25	1967-01-01	166

Figur 4.2 Exempel för riktlinje II

**III:** Den här riktlinjen är för ett typiskt skarvfel. Nedan i figur 4.3 nedan visas ett exempel från ett utdrag ur kabellistan. Där det överst i listan står att det ligger en papperskabel som är 303m från år 1941. Därefter kommer det två skarvar och en kabel på 3m från år 1958 och sen ligger det 48m papperskabel från år 1941 igen. Vi kan räkna ut att båda kabellängderna från år 1941 är nerlagda samtidigt, men att skarven som fanns mellan sektionerna har gått sönder och man har varit tvungen att lägga ner 3m ny kabel för att få ihop kabellängderna igen.

Skarv/fack drifttagen datum	Kabel-/Skarvtyp	Kabel drifttagen datum	Längd
	FCJJ 3X95/25	1941-01-01	303
1958-01-01			
	FCJJ 3X95/25	1958-01-01	3
1958-01-01			
	FCJJ 3X95/25	1941-01-01	48

Figur 4.3 Exempel för riktlinje III

**IV:** Den här riktlinjen är för kabelfel. I dessa fall krävs det lite mer information från kabellistan. Generellt gäller det att kabelsektionerna innan och efter det uppletade felet, inte är långa. Det är återigen för att man egentligen vill ha långa kabellängder och få skarvar.

I figur 4.4 nedan kan man anta att kabellängderna från år 1935 som är 10m och 18m har suttit ihop innan, utan med hjälp av en skarv. Skarven som för längesen skarvade ihop de längre sektionerna finns nämligen kvar mellan de sektioner som är 21m och 10m. Därav tror man inte att någon satt ihop 21m, 10m och 18m år 1935. Mer information får man inte från listan då inte mer kabel från år 1935 finns i anslutning. Sammanfattningsvis tolkar vi kabellängden och skarvarna från år 2011 i exemplet som ett kabelfel.

Skarv/fack drifttagen datum	Kabel-/Skarvtyp	Kabel drifttagen datum	Längd
1988-01-01			
	FCJJ 3X95/25	1935-01-01	21
1935-01-01			
	FCJJ 3X95/25	1935-01-01	10
2011-09-19	SMDE 61873		
	AXCEL 3X240/35	2011-09-19	5
2011-09-19	EPKJ-17C		
	FCJJ 3X95/25	1935-01-01	18
1988-01-01			

Figur 4.4 Exempel för riktlinje IV

I och med att ett kabelfel är lite mer komplicerat finns ett till exempel i figur 4.5 nedan. År 1941 lades kabeln ner och skarvades efter 303m. Vi ser att skarvarna och kabellängden på 3m är ifrån år 1958 (ett skarvfel). Kabeln från år 1941 fortsätter, men troligtvis inte med skarvar efter 48m respektive 51m. Därav har kabellängden på 4m från år 2009 tolkats som ett kabelfel. Mer information finns inte då kabeln från år 1941 inte fortsätter. Det som måste uppmärksammas vid kabelfel är att det är samma kabeltyp och är driftsatt samma år.

Skarv/fack drifttagen datum	Kabel-/Skarvtyp	Kabel drifttagen datum	Längd
	FCJJ 3X95/25	1941-01-01	303
1958-01-01			
	FCJJ 3X95/25	1958-01-01	3
1958-01-01			
	FCJJ 3X95/25	1941-01-01	48
2009-11-16	17C/3		
	AXCEL 3X240/35	2009-11-16	4
2009-11-16	17C/3		
	FCJJ 3X95/25	1941-01-01	51
1962-01-01			

Figur 4.5 Exempel för riktlinje IV

#### 4.1.2 Ej ett fel

På samma sätt som att det finns riktlinjer för hur man hittar fel, finns det även riktlinjer om vad som inte är ett fel. I figur 4.6 nedan hittas ett potentiellt fel enligt riktlinje I. Kontrolleras sedan datumen ser man att ena skarven (från år 2013) inte stämmer överens med den andra skarven (från år 1975). Kabellängden från år 1975 som är 7m lång kan enligt riktlinje II vara ett gammalt skarvfel. Men på grund av kabellängden från år 2013 kan det omöjligt bevisas. Därav bedöms inte det här exemplet som något fel.

Skarv/fack drifttagen datum	Kabel-/Skarvtyp	Kabel drifttagen datum	Längd
	AXLJ TT 3X240/35	2013-11-14	48
2013-11-14	EPKJ 17 C/3+SMOE		
	ACJJ 3X240/35	1975-01-01	7
1975-01-01			
	ACJJ 3X240/35	1970-01-01	83

Figur 4.6 Exempel 1 för hur det kan se ut när det ej ska tolkas som ett fel

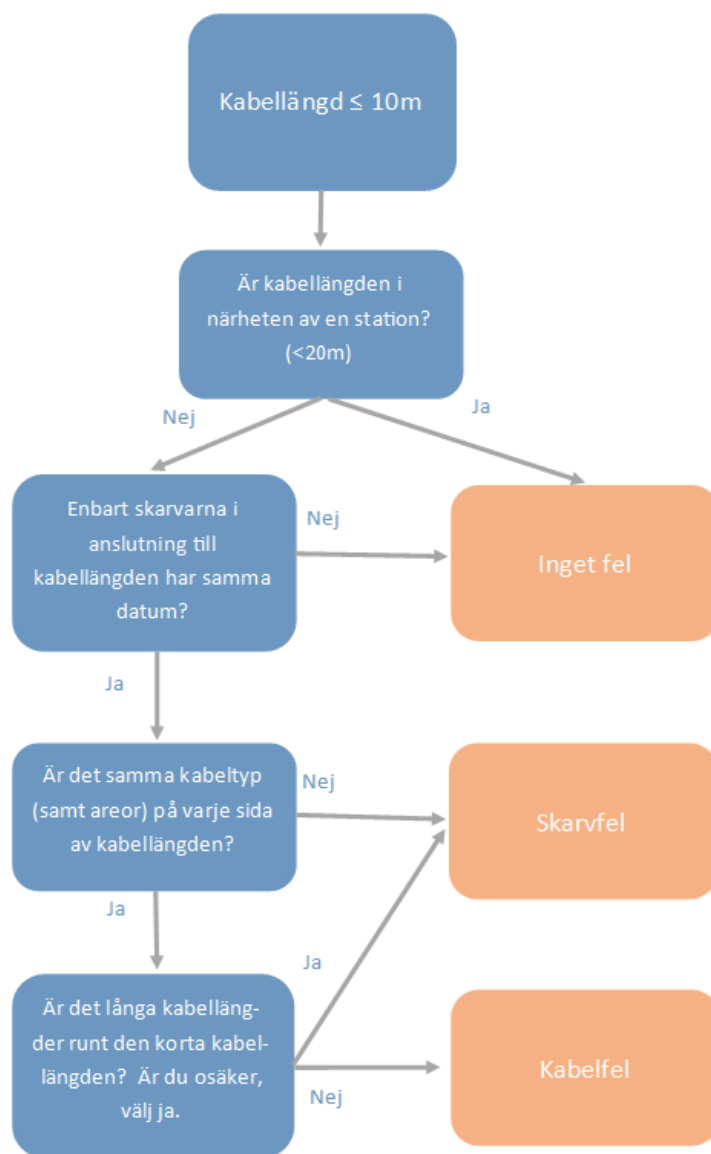
I figur 4.7 nedan är ett annat exempel på en situation som inte heller bedöms som ett fel. Här är kabellängden som är 21m från år 1999 gjord samtidigt som båda skarvarna inklusive sektionen på 4m. Med andra ord är det här ingenting som bedöms som ett fel.

Skarv/fack drifttagen datum	Kabel-/Skarvtyp	Kabel drifttagen datum	Längd
	AXCEL 3X240/35	1999-01-01	21
1999-01-01	KRYMPSKARV		
	AXCEL 3X240/35	1999-01-01	4
1999-01-01	KRYMPSKARV		
	AXCEK 3X240/25	1990-01-01	150

Figur 4.7 Exempel 2 för hur det kan se ut när det ej ska tolkas som ett fel

#### 4.1.3 Flödesschema

I figuren nedan visas ett flödesschema över arbetet gått till under tiden kabellistorna granskats och fel har hittats. De allra flesta situationerna börjar med att leta upp en kabellängd som är  $\leq$  10m, dock finns ett undantag. Det är då endast en skarv har gjorts om. Det ser man genom att en skarv har ett nyare datum än kabellängderna i anslutning till skarven.



Figur 4.8 Flödesschema

## 4.2 Sammanställning av felstatistik

I den här delen av rapporten sammanställs felstatistiken. Med hjälp av riktlinjerna har alla kabellistor för de aktuella kablarna granskats och alla felen har dokumenterats. För att kunna jämföra kablarna med varandra och se vilka som har störst risk för återkommande fel, krävs det en stor samling data för hur stor risk de olika åldrarna på skarvar/kablar har. I den här rapporten har sammanställningar för  $\frac{fel}{skarv \cdot \text{år}}$  gjorts för de tre skarvtyperna som finns och på samma sätt har  $\frac{fel}{km \cdot \text{år}}$  tagits fram för båda kabeltyperna som finns i listorna, FCJJ och PEX.

Resultatet av alla fel som hittades och sedan sammanstälts, var att totalt 54st skarvfel och 6st kabelfel hittades. Det är med andra ord den mängd fel som felstatistiken är byggd på.

### 4.2.1 Skarvar

För att få en rättvis bild av hur stor risk det är att få ett skarvfel, har felstatistiken kring det delats upp. De olika skarvtyperna *papper/papper*, *papper/plast* och *plast/plast* har fått varsin del. Årtalen för när varje skarv gjordes är indelat i 10-års intervaller på grund av att det finns begränsat med fel ifrån kabellistorna.

De olika skarvtyperna driftsattes under olika tidsintervaller, till exempel täcker papper/papper-delens statistik skarvar gjorda fram till år 1989. Det beror på att det inte gjordes några av den typen efter år 1990. Därav täcker inte alla skarvtyper alla årtal.

För att kunna få fram hur stor risk det är för att bli ett skarvfel av en viss typ vid en viss ålder, har antalet skarvar som är gjorda under just det årsintervallet tagits fram och jämförts med det antalet som letats upp med hjälp av kabellistorna. För varje 10-års intervall finns alltså en summa som visar det totala antalet skarvar som är gjorda under just de åren. Genom att använda det antalet skarvar tillsammans med informationen om skarvfelen från kabellistorna och vid vilken ålder de gick sönder har statistiken kunnat byggas och komma fram till enheten  $\frac{fel}{skarv \cdot \text{år}}$ . I figur 4.9 nedan är ett utdrag för papper/papper-skarvarnas felstatistik, som driftsattes under år 1980 till och med år 1989.

Skarvar driftsatta mellan 1980-1989 och fortfarande i drift 2020				
2022	st			
<b>Ålder på hittade fel</b>				
27				
20				
12				
9				
3				
Ålder	Inträffade fel	Totalt antal fel	Totalt antal fel/skarv	Totalt antal fel/skarv/år
1		0	0	0
2		0	0	0
3	1	1	0,00049456	0,000164853
4		1	0,00049456	0,00012364
5		1	0,00049456	9,8912E-05
...		...	...	...

Figur 4.9 Utdrag ur papper/papper-delens felstatistik

### 4.2.2 Antaganden

På grund av att kabellistorna inte är exakt ifyllda har vissa antaganden fått göras när den sammanlagda risken,  $\frac{fel}{\text{år}}$  ska räknas ut för varje ledning. Antaganden har också gjorts när felstatistiken inte varit tillräcklig eller saknats. När felstatistiken inte räckte till har antagen gjorts för att få ett rimligt värde för den skarven/kabeln istället för att räkna bort den helt.

Det vanligaste antagandet var när en skarv var driftsatt några år innan eller efter de år felstatistiken täckte, då kompenseras det med att räkna av/lägga på de åren som saknades till felstatistiken på åldern för skarven.

Ibland saknades kabeltypen för en viss längd i kabellistan. Regeln som följdes då var att all kabel som var förlagd efter år 1990 var PEX berättar Vylund<sup>2</sup>. I de fall det saknats vilken längd en kabelsektion har, har det i vissa fall gått att se i dpPower vilken längd de har. I de andra fallen har de längderna fått räknats bort. Är det ett nytt datum kan anledningen vara att arbetet inte är färdigt eller inte dokumenterats klart.

### 4.2.3 Kablar

För att på samma sätt som med skarvarna få en rättvis bild gällande risken för kabelfel, har felstatistik byggts upp. Dock skiljer den sig metodmässigt på grund av att det blev färre antal fel bland kablarna än hos skarvarna. Sammanfattningsvis valdes den här metoden för att få en mer rättvis och verklig bild för risk-värdet för ledningarna.

Istället för att titta på vilket år kablarna togs i drift, tittar statistiken på hur gamla kablarna är och sedan åldern på kabelfelen som hittades i listorna för att sedan ta ut statistiken därifrån. Med andra ord kollar inte felstatistiken på när kablarna driftsattes, utan endast på åldern. På grund av att det endast fanns ett kabelfel på en PEX-kabel skiljer sig även metoderna åt mellan kabeltyperna.

Ålder [år]	Medelvärde [ $\frac{fel}{km \cdot \text{år}}$ ]
20-27	2,13E-04
28-34	2,25E-04
35-41	0
42-49	5,95E-05
50-57	0
58-64	0
65-71	5,25E-05
72-79	1,48E-04
80-87	3,23E-04
88-94	2,94E-04
95-111	2,60E-04

Figur 4.10 Felstatistik för FCJJ

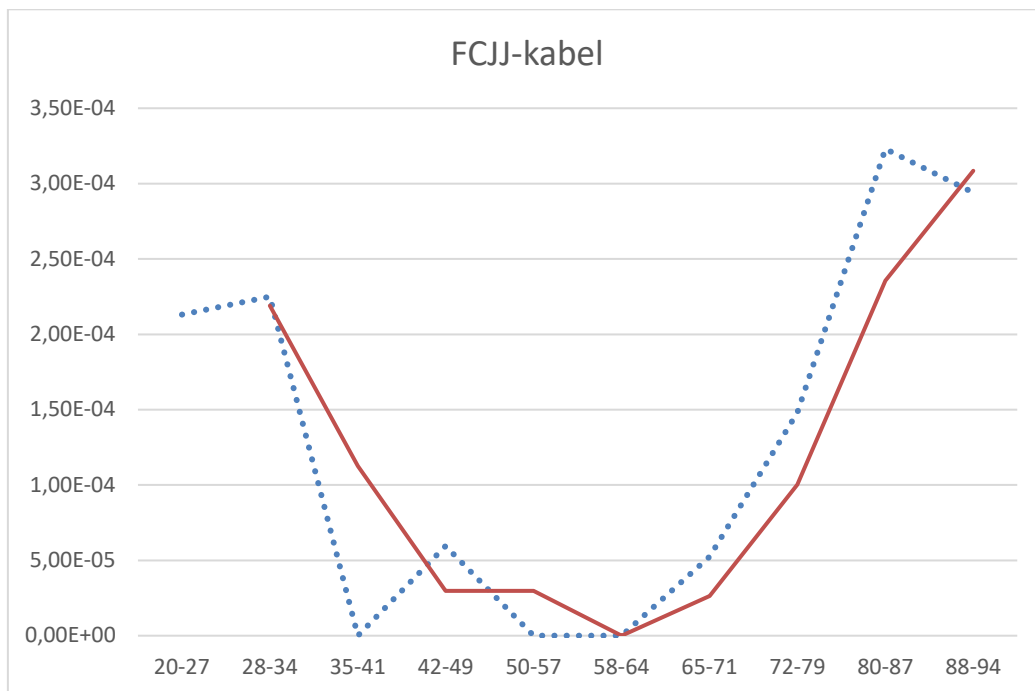
Ålder [år]	Medelvärde [ $\frac{fel}{km \cdot \text{år}}$ ]
0-14	0
15-19	6,90E-05
20-51	9,20E-05

Figur 4.11 Felstatistik för PEX

För FCJJ-kablar gjordes statistiken i 14-års intervaller. Det börjar på kablar som är 20 år gamla, varav det inte finns några papperskablar i drift som är yngre, och slutar på 111 år. För varje intervall finns en total summa för antal meter av den kabeltypen som blev förlagd under just det årsintervallet.

<sup>2</sup> Jimmy Vylund Planeringsingenjör Göteborg Energi Nät AB, e-post april 2020

För att göra statistiken mer tillförlitlig genom att argumentera för att det är en bra metod har ett diagram gjorts för papperskablarna. Diagrammet (figur 4.12) visar sig vara lik figur 3.2 Badkarsmodellen. Vilket stärker argumentet att använda den metoden och att den stämmer överens med verkligheten. Med andra ord stämmer figuren nedan överens med hur man ser på kablar och vad som förväntas av dem, vilket passade bra i den här rapporten. Den blåprickade linjen i figuren är värdena och den röda är en trendlinje för att förtydliga budskapet genom att göra kurvan lite mer linjär. Kurvan följer x-axeln, som står för åldern.

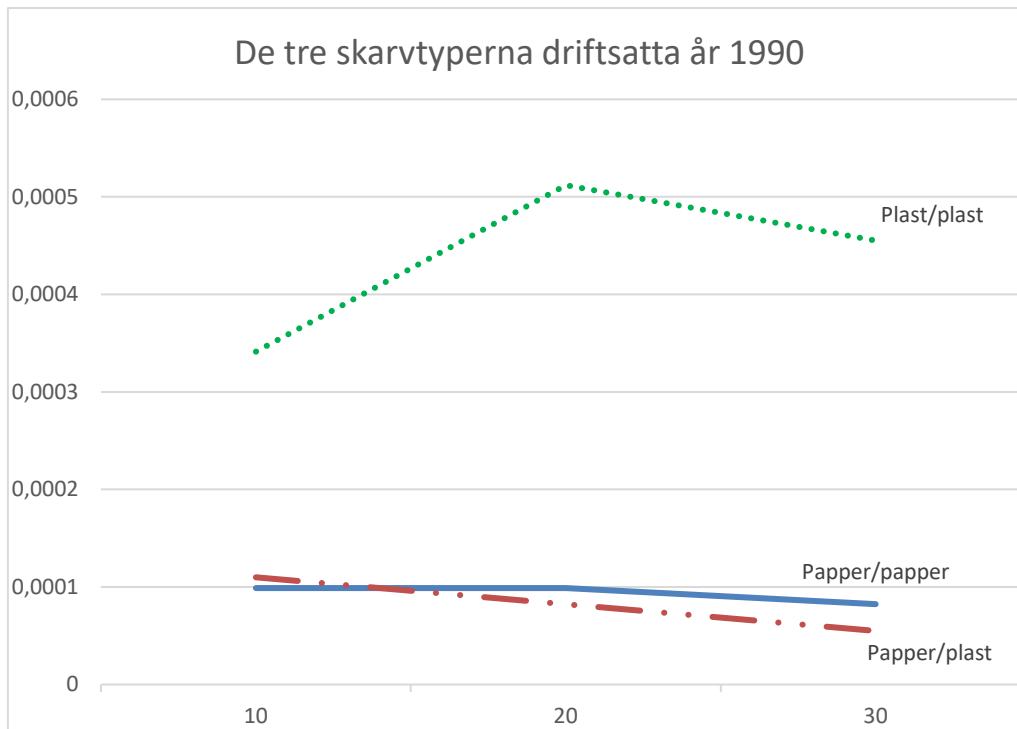


Figur 4.12 Linjediagram över för FCJJ-värdena

#### 4.2.4 Förtydligande av felstatistiken

För att presentera samt förtydliga felstatistiken, ska det här kapitlet visa jämförelser mellan olika felstatistik och dess värden. Dels för att kunna veta samt diskutera vad som ger en ledning ett högt risk-värde och vad som inte ger något värde alls.

I figur 4.13 nedan visas ett diagram över de tre skarvtyperna och dess felstatistik. Värdena är för skarvar som är driftsatta år 1990 för papper/plast och plast/plast. För papper/papper har värden från skarvar som är driftsatta år 1989 använts då felstatistiken tar slut där. För att få en kurva för varje skarvtyp har värden tagits från då skarvarna är 10 år, 20 år och 30 år gamla. Vad diagrammet visar är att papper/papper- och papper/plast-skarvarna har ett liknande värde och utseende och att plast/plast-skarvarna har ett väldigt högt värde och liknar inte alls de andra två kurvorna.

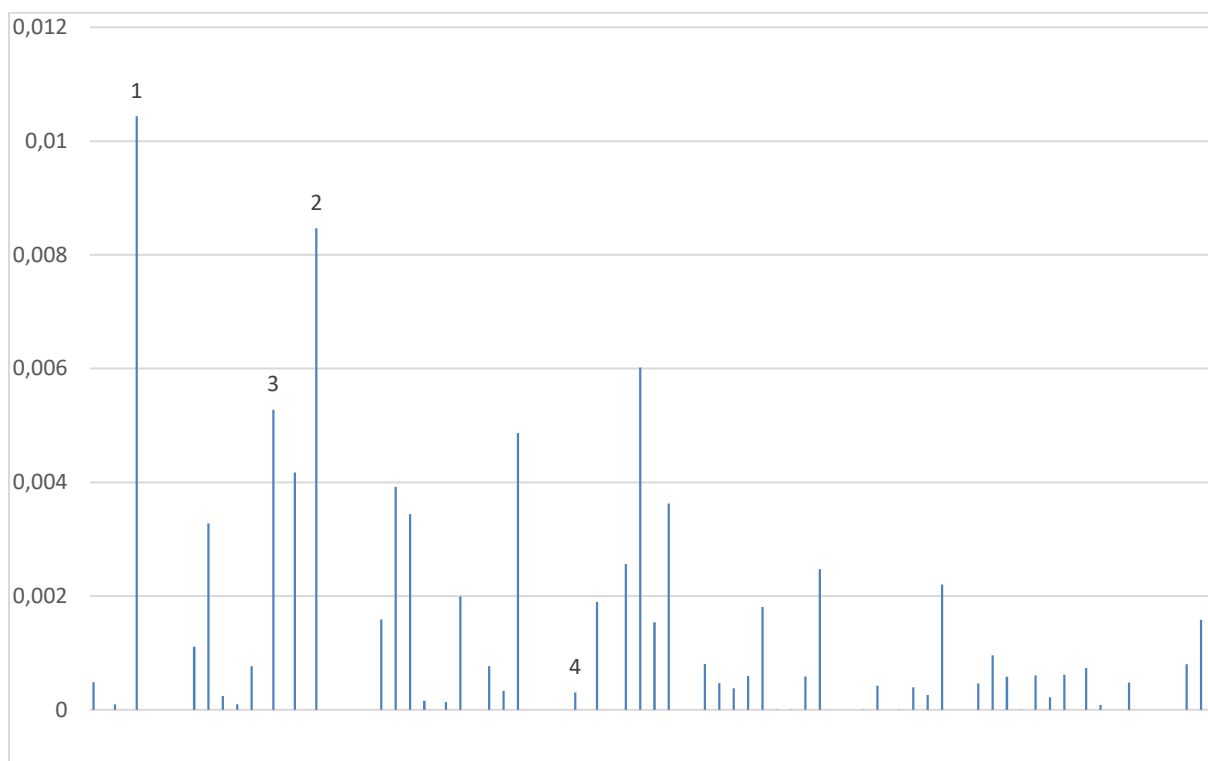


Figur 4.13 Jämförelse mellan de tre skarvtyperna

Att göra samma jämförelse mellan FCJJ och PEX är inte lika lätt då de inte liknar varandra lika mycket för att göra en tillräcklig jämförelse. De olika kabeltyperna har inte heller värden på samma åldrar, då felstatistiken för FCJJ börjar på 20 år och för PEX börjar det tredje och sista värdet på 20 år. Med andra ord hänvisas kabeltypernas jämförelse till figur 4.10 och 4.11. Där kan man utläsa att PEX-kablarna får för det mesta ett liknande värde som när papperskablarna är i sin användbara livstid, alltså i mitten av sin ålder. I början och i slutet av papperskablarnas livstid är värdet högre.

### 4.3 Risk-värdet för alla kablar

I figur 4.14 nedan ser vi sammanställningen över alla kablar som är granskade och dess riskvärde. De ytor som är tomma är kablar som har värdet 0 för  $\frac{fel}{\text{år}}$ . I och med att det är få ledningar säger en siffra inte mycket, men det hjälper till vid jämförelse mellan varandra.



Figur 4.14 Alla granskade kablar och dess risk-värde

De ledningarna som heter 1 och 2 är väldigt lika, båda är drygt 3km lång. Det är långa kablar då medellängden för varje kabel som är granskad är 1,09km. Det som utmärker de här ledningarna är att de har väldigt mycket FCJJ-kabel som är 80-90 år och PEX-kabel som är över 20 år, vilket ger de här ledningarna ett högt värde då åldrarna ger dessa värden för respektive kabeltyp det högsta värdet. På grund av att ungefär halva kabellistorna också är PEX-kabel innebär det att det finns många plast/plast-skarvar, som ger ett väldigt högt värde jämfört med de andra skarvarna.

Ledningen som heter 3 har också ett högt värde, den är ungefär 4km lång. Det som utmärker den här ledningen är att den består av endast PEX-kabel där den äldsta är 23 år gammal. På grund av alla plast/plast-skarvar får den här ledningen också ett högt värde.

Ledningen som har en 4:a ovanför sig är en ledning som är ungefär 1km lång. Som det yttar sig i figur 4.14 ovan har den här ledningen ett väldigt lågt värde jämfört med resterande kablar. Det är på grund av att kabeln har till största del FCJJ-kabel som är 51 år. Vad man kan läsa ut ur figur 4.10 är att en 51 år gammal papperskabel ger ett risk-värde som är  $0 \frac{fel}{år}$ . I ledningen finns inte heller några plast/plast-skarvar som ger ett högt värde.

## 5 DISKUSSION

Resultatet för den här rapporten är bland annat att det är skarvfelen som är dominerande. Det är på grund av att det nämns i teoriavsnittet att skarvarna är känsliga och i samband med att det hittades väldigt mycket fler skarvfel än kabelfel i kabellistorna. Tack vare det blir även felstatistiken kring skarvarna mer tillförlitlig och mer lik verkligheten.

Riktlinjerna som skapades visar att är lätt att hitta ett fel men svårare att bedöma om det är ett skarv- eller kabelfel. Med hjälp av flödesschemat (kap 4.1.3) och som sagt riktlinjerna med inkluderade exemplen, underlättar dessa att tolka samt förstå varför det är ett skarv- eller kabelfel.

Felstatistiken och dess uppbyggnad visar åter igen att mängden skarvfel gjorde att statistiken kring skarvarna blev mer exakt, tydlig och täckande än för kablarna. Statistiken för papperskablarna kan också anses som tillförlitlig då kurvan för värdena liknar den kurva man förväntar sig av felintensitet för kablar enligt badkarsmodellen (kapitel 3.3.6).

Det som visade sig efter att alla ledningarna fått varsitt risk-värde var att långa kablar (över 1,09km) tenderade på att få ett högre risk-värde då de har fler skarvar och längre kablar. Det visade sig dock att längre kablar också kunde få låga värden både på grund av att kablarna var inne på sin tekniska livslängd men även att det inte fanns några plast/plast-skarvar som gjorde så värdet ökade.

Rapporten har tagit fram de kablar som har ett högt risk-värde genom att ta fram tydliga riktlinjer och regler för att hitta fel i kabellistorna och även genom att bygga en felstatistik över skarvtyper och kabeltyper. Storheten som felstatistiken avslutat med är  $\frac{fel}{skarv*år}$  för skarvar, vilket innefattar totala antalet gjorde skarvar, totala antalet fel och åldern på skarven. För kablar gäller samma storheter, dock att det är totala antalet km istället för gjord skarv.

## 6 SLUTSATS

De slutsatser som kunnat göras av den här rapporten är att skarvar är mycket känsligare och går sönder oftare än en kabel. En annan slutsats som kunnat göras av resultatet är att FCJJ-kablar för ett högt risk-värde runt 70-års ålder, medans PEX-kablar får ett högt värde redan vid 20-års ålder. Gällande skarvar har de ett lågt värde om det inte är en plast/plast-skarv.

Nästa steg för att utveckla det här är att göra om alla riktlinjer och regler till logaritmer, med andra ord låta en dator sköta felstatistiken och samtidigt kunna granska alla ledningar i GENAB:s nät. Genom att titta på alla ledningar hade en felstatistik kunnat byggas upp och spegla verkligheten ännu mer och kunna förutse kommande fel. Det skulle bidra till en tydlig översikt över elnätet och kunna minska de oförutsedda kostnaderna väsentligt.

## REFERENSER

Andersson, T. & Lindell, E. (2014). *Kartläggning av begränsade faktorer vid fellokalisering med pulsekometod på mellanspänningskablar*. Examensarbete, Institutionen för ingenjörsvetenskap. Trollhättan: Högskolan Väst.

<https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:756477/FULLTEXT01.pdf>

[2020-05-05]

Digpro AB. (2019). *Användarguide* [internt material]

[2020-04-02]

Lindberg, J. & Pålsson, A-C. (2018). *Miljöpåverkan vid eldistribution i stadsnät – Göteborg Energi Nät AB*. Stockholm: IVL Svenska Miljöinstitutet.

<https://www.ivl.se/download/18.14bae12b164a305ba1114ed1/1538991437525/B2313.pdf>

[2020-05-14]

Lindmark, N. (2020). *Utredning av förläggning av kraftkablar i rör hos Göteborg Energi Nät AB*. Examensarbete, Institutionen för ingenjörsvetenskap. Trollhättan: Högskolan Väst.

[2020-02-22]

Nordiske Kabel och Traadfabriker (NKT) Cables AB. (2015). *Kraftkabelhandboken*. Falun.

[https://www.nkt.se/fileadmin/user\\_upload/NKT\\_kraftkabelhandboken.pdf](https://www.nkt.se/fileadmin/user_upload/NKT_kraftkabelhandboken.pdf)

[2020-05-04]

Svenska kraftnät. (2014). *Elnät i fysisk planering*. Stockholm.

<https://www.svk.se/siteassets/om-oss/rapporter/elnat-i-fysisk-planering-webb.pdf>

[2020-05-06]

## ILLUSTRATIONER

Figur 3.1: Wikimedia Commons. (2013). Power Cables. [fotografi]

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Power\\_cables.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Power_cables.jpg)

[2020-05-14]



# HÖGSKOLAN I BORÅS

Besöksadress: Allégatan 1 · Postadress: 501 90 Borås · Tfn: 033-435 40 00 · E-post: [registrator@hb.se](mailto:registrator@hb.se) · Webb: [www.hb.se](http://www.hb.se)