



EXAMENSARBETE INOM ELEKTROTEKNIK,
AVANCERAD NIVÅ, 30 HP
STOCKHOLM, SVERIGE 2020

Detektering av mekaniska fel på frånskiljare genom signalbehandling av strömmen vid manövrering

YOUSUF RASSAM

Detektering av mekaniska fel på frånskiljare genom signalbehandling av strömmen vid manövrering

Yousuf Rassam

EI270X: EXAMENSARBETE INOM ELEKTROTEKNISK TEORI OCH KONSTRUKTION

Titel på engelska: Detection of mechanical faults on disconnectors by signal processing of the current during operation

Handledare: Elin Viberg & Per Westerlund

Uppdragsgivare: Svenska kraftnät

Examinator: Patrik Hilber

Sammanfattning

Denna studies syfte är att upptäcka automatiskt mekaniska fel på fränkiljare, som finns i stationerna i elnätet alltså i knutpunkterna dit kraftledningar och kablar går. Fränkiljare används för att isolera några av stationens komponenter vid underhållsarbete eller vid omkoppling. Ett fysiskt avstånd uppstår när fränkiljaren manövreras till öppet läge och då bryts den elektriska kontakten. För att undvika att fränkiljaren inte kan användas när den behövs är det fördelaktigt att kunna identifiera avvikelser i tiden eller kraften det tar för fränkiljaren att utföra sin manöver. Genom att övervaka fränkiljare automatiskt vid varje manöver kan onödiga underhållsavbrott undvikas.

En tidigare studie inom detta ämne visar hur gångtiden och strömvärdet kan ändras när ett mekanisk fel inträffar. En annan studie undersöker variationen i både gångtiden och strömvärdet efter tio manövrar. Dessa studier bestämmer både gångtiden och strömvärdet genom att en person studerar strömkurvan. Denna rapport beskriver hur mätvärdena beräknas automatiskt. Även används de insamlade mätvärdena för att identifiera manöverdonstyp automatiskt.

För att övervaka fränkiljarens manövreringar automatiskt installeras en strömsensor på likströmskabeln som matar fränkiljarens manöverdon, som är en motor som skapar fränkiljarens rörelse. En strömkurva samlas in för varje fränkiljarmanöver. Strömkurvorna analyseras automatiskt för att detektera avvikelser i både gångtid och strömvärde. Den framtagna metoden använder en signalbehandlingsfunktion som identifierar snabba förändringar i strömkurvan och på så sätt kan start- respektive sluttiden för manövreringen identifieras. Tidpunkterna används för att ta fram gångtid och strömvärde för varje fränkiljare för respektive fas.

Utifrån installationen av strömsensorn går det inte att identifiera vilken strömkurva som tillhör vilken fränkiljare. För att komma runt problemet används gångtider och strömvärde för att identifiera vilken manöverdonstyp en strömkurva tillhör. I detta fall används en bivariat normalfördelning som beräknar sannolikheten att strömkurvan tillhör en viss manöverdonstyp baserat på gångtiden och strömvärdet.

För att avgöra om gångtiden eller strömvärdet avviker från det normala används en diagnosprocess. Bedömningen sker utifrån tre olika nivåer; "Ok värde", "Håll under uppsikt" och "Undersök närmare". Diagnosprocessen behöver identifiera varje strömkurvas manöverdonstyp.

Resultatet visar att det går att identifiera gångtider för respektive strömkurva, men att metoden inte alltid träffar det sanna värdet. Det går även lätt att identifiera vilken manöverdonstyp som manövreras i respektive station och därmed kan komplicerade sensorinstallationer i stationen undvikas. Utifrån resultatet av diagnosprocessen dras slutsatsen att det skulle kunna gå att hitta avvikelser i både gångtid och strömvärde. Denna studie visar inga tecken på mekaniska fel på fränkiljarna och därför är det svårt att avgöra om variationen i både gångtid och strömvärde mellan varje manöver är orsakad av mekaniska fel. På grund av den begränsade mängden insamlade data leder det till en aktsamhet i slutsatserna och mer data bör analyseras i fortsatta studier. Fokus bör ligga på insamling av fler strömkurvor samt analys av tillståndsparmetrar för att bedöma tillståndet för varje fränkiljarindivid. Utöver det bör flera strömsensorer installeras i andra stationer.

Abstract

This study aims to detect automatically mechanical faults on disconnectors. A disconnector is located in an electrical station and is used to insulate the station's components during maintenance work or when switching. A physical distance occurs when the disconnector is operated to the open position and the disconnector does not have electrical contact. When a disconnector is or not used for a long time, mechanical failure occurs. In order to avoid that disconnectors cannot be used when needed, it is advantageous to be able to identify deviations in the time or force it takes the disconnector to perform its maneuver. By monitoring disconnectors automatically at each operation, unnecessary maintenance interruptions can be avoided.

A previous study in this subject shows how the operation time and current value can change when a mechanical failure is introduced. Another study examines the variation in both operation time and current value after ten maneuvers. These studies determine both the operation time and the current value by studying visually the curve of the motor current. This report describes how the measured values are calculated automatically. Also, the collected measurements are used to identify the actuator type automatically.

To monitor automatically the operations of the disconnector, a current sensor was installed on the DC cable that feed the actuator of the disconnector. The actuator is an engine that creates the movement of the disconnector. A current curve was collected for each disconnector actuator. The current curves were automatically analyzed to detect deviations in both operation time and current value. The method developed uses a signal processing function that identifies rapid changes in the current curve and thus the start and end times of operation can be identified. The times were used to obtain the operation time and the current value of each disconnector for each phase.

Based on the installation of the sensor, it is not possible to identify which current curve belongs to which disconnector. To get around the problem, operation times and current values are used to identify which type of actuator a current curve belonged to. To identify the actuator type, a bivariate normal distribution was used which calculates the probability that the current curve's running time and current value belong to different actuators types.

To determine whether the operation time or current value deviates from normal, a diagnostic process was used. The diagnostic process is a process in which the operation time and the current value are assessed based on three different levels; "Ok value", "Keep under supervision" and "Examine more closely". By identifying each current curve actuator type, the diagnostic process can be performed for each station and actuator type.

The results show that it is possible to identify the operation times for each current curve, but that the method does not always meet the true value. It is also easy to identify which type of actuator has been operated in each station and thus complicated sensor installations in the station can be excluded. Based on the results of the diagnostic process, it is concluded that it could be possible to find deviations in both operation time and current value. In this study, no data on mechanical faults of disconnectors has been found and this makes it difficult to determine whether the variation in the readings between each maneuver gives a clear answer if deviations in both running time and current value are due to mechanical failure. Due to the limited amount of data, collected leads to caution in the conclusions and further studies should analyze more data.

Förord

Den avslutande delen i civilingenjörsprogrammet utgörs av examensarbetet som ger 30 hp. Examensarbetet genomfördes under vårterminen 2020 och skrivet vid institutionen för elektroteknisk teori och konstruktion vid Kungliga Tekniska högskolan (KTH) och i samarbete med Svenska kraftnät i Stockholm.

Först och främst vill jag rikta ett stort tack till mina handledare Elin Viberg och Per Westerlund för att jag fick vara en del av detta projekt. Jag vill även tacka de för väsentlig handledning och lärariska diskussioner under genomförandet av projektet. Vidare vill jag tacka examinatorn Patrik Hilber vid Kungliga Tekniska högskolan.

Slutligen vill jag även tacka mina nära och kära för allt stöd, utan er hjälp hade examensarbetet inte blivit utfört.

Innehållsförteckning

1. Introduktion	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Etiska aspekter och inverkan på samhället	1
1.3 Syfte och problemställning	2
1.3.1 Syfte	2
1.3.2 Problemställning	2
1.4 Begränsningar	2
1.5 Disposition	3
2. Frånskiljare.....	3
2.1 Uppbyggnad och funktionsbeskrivning	3
2.1.1 Enpelarfrånskiljare	4
2.1.2 Tvåpelarfrånskiljare	4
2.1.3 Trepelarfrånskiljare	5
2.2 Manuell tillståndsovervakning av frånskiljare	5
3. Litteraturstudie om automatisk tillståndsovervakning av frånskiljare.....	5
4. Installation.....	6
4.1 Stationsdesign	6
4.2 Installation av sensorerna i stationerna	6
4.3 Insamling av data	7
5. Analys av insamlade data	7
5.1 Att skilja på brytarens och frånskiljarens strömkurvor	7
5.2 Att identifiera frånskiljarindividen	8
6. Automatisk identifiering av tillståndsparmetrar	8
6.1 Starttid och sluttid	9
6.2 Gångtid	10
6.3 Motorström	10
7. Automatisk identifiering av manöverdonstyp.....	10

8. Automatisk tillståndsbedömning	11
9. Resultat	13
9.1 Analys av insamlade data	13
9.2 Starttid och sluttid	15
9.2.1 N-värdet	15
9.2.2 Gångtid och strömvärde	22
9.3 Automatisk klassificering	25
9.4 Automatisk tillståndsbedömning	28
10. Diskussion	32
11. Slutsats	33
Litteraturförteckning	34
12. Bilagor	35
Bilaga 1 Registreringar	35
Bilaga 2 Tillståndsbedömningar	39
Bilaga 3 Strömkurvor	45

1. Introduktion

I detta kapitel kommer bakgrunden, syftet, problemställningen, begränsningar och dispositionen att presenteras.

1.1 Bakgrund

Ett väl fungerande elnät är viktigt i det moderna samhället, eftersom det är viktigt för överföringen av el från producenter till konsumenter. Elnätet är en grundläggande infrastruktur som består av stamnätet, regionnät och distributionsnät och lokalnät [1]. Stamnätet transporterar el från kraftverken genom långa ledningar med en systemspänning på 400 kV och 220 kV till regionnäten. Därefter transformeras spänningen ner från 400/220 kV till 130 kV och 20 kV [2]. Stamnätet omfattar kraftledningar, stationer och deras komponenter, med mera.

Stamnätet ägs av Svenska kraftnät som ansvarar för balansering mellan produktion och förbrukning, samt har uppdrag att förvalta och utveckla det svenska stamnätet [3]. Det är viktigt för Svenska kraftnät att hålla en hög tillgänglighet på stamnätets komponenter, för att ha en effektiv och pålitlig energiöverföring. För att undvika stora strömavbrott utförd regelbundet underhåll av stamnätets komponenter. Underhåll av komponenter som kräver att de tas ur drift bör inte utföras allt för ofta, eftersom en del av redundans i stamnätet försvinner [4]. Idag utgörs funktionskontroller inom ett bestämt tidsintervall för att övervaka tillståndet på komponenterna i en station.

Svenska kraftnät vill minska antal bortkopplingar av komponenter och övergå från kalenderstyrt underhåll till riskbaserat underhåll [5]. Genom att upptäcka avvikelser innan ett fel inträffar kan förebyggande underhåll prioriteras bättre.

I ett forsknings- och utvecklingsprojekt testar Svenska kraftnät att samla in motorströmkurvor från fränkskiljare varje gång de manövreras. Tio strömsensorer i olika stationer har installerats för att utvärdera om strömkurvorna kan användas för att kontinuerligt övervaka tillståndet på fränkskiljaren. Förändringar i motorströmmen och gångtiden kan indikera på mekaniska fel hos fränkskiljare.

1.2 Etiska aspekter och inverkan på samhället

Att kunna detektera avvikelser i komponenter hos ett elsystem innan de inträffar är viktigt för att ha stabil och hög elkvalité. För att kunna upprätthålla detta krävs det att variationen i spänningsnivån är inom de tillåtna riktvärdena och där elleveransen är fri från avbrott, vilket i sin tur förebygger negativa konsekvenser som samhället kan drabbas av. Med negativa konsekvenser menas t.ex. förluster av människoliv eller förluster i ekonomin.

Genom att förebygga elavbrott som orsakas av mekaniska fel i fränkskiljare, motverkas stora förluster vad gäller ekonomen och även arbetstillfällen, särskilt hos industriföretag. Elavbrottet som inträffade den 23:e september 2003 är väldigt känt eftersom det hade stor inverkan på samhället då 857 000 svenska konsumenter inte fått el levererat på grund av avbrottet. Samhällsekonomiska förluster, speciellt inom industrin beräknades till ca 500 Mkr [6]. Utöver det så drabbades östra Danmark där cirka 2,4 miljoner danskar drabbades i en tidsperiod upp till 7 timmar. De samhällsekonomiska förlusterna i form av reparationer och inkomstbortfall uppräknades till totalt 135 miljoner danska kronor [7].

Bra elkvalitet handlar om korta avbrott och på t.ex. sjukhus är en viktig faktor för att kunna rädda liv och speciellt i operationssalar där maskiner och annan utrustning drivs främst av el. Läget förvärras om backupsystemet på sjukhuset inte funkar som det ska, vilket i sin tur ökar risken för patienter att avlida

[8]. Det är av sådana anledningar det blir viktigt att kunna bibehålla ett fungerande elsystem genom att detektera avvikelser i förväg och hindra dessa från att inträffa.

1.3 Syfte och problemställning

1.3.1 Syfte

Syftet med detta examensarbete är att undersöka om det går att använda de insamlade mätvärdena för att automatiskt kunna upptäcka avvikelser i gångtid och strömvärde när fränkskiljare manövreras. En observerad avvikelse kan ge en anledning till att börja övervaka fränkskiljaren, för att se ifall avvikelsen upprepas vid andra tillfällen. Upprepas händelsen kan en funktionskontroll utföras innan ett haveri inträffar.

Målet är uppdelat i fyra delmål som beskrivs nedan i delkapitel 1.3.2.

1.3.2 Problemställning

Examensarbetet går ut på att:

- Identifiera insamlade strömkurvor
 - Manuellt skilja på strömkurvor som tillhör brytare och fränkskiljare.
 - Manuellt identifiera vilken fränkskiljarindivid som tillhör respektive strömkurva, genom att jämföra datum och tid mellan händelsefiler och insamlade strömkurvor.
 - Ta fram teknisk data för respektive fränkskiljarindivid via anläggningsregister.
- Ta fram en metod för att automatisk identifiera gångtid och strömvärde för respektive pol och strömkurva.
- Ta fram en metod för att automatisk identifiera vilken manöverdonstyp en strömkurva har med hjälp av historisk insamlade strömkurvor.
- Ta fram en tillståndbedömningsmetod.

1.4 Begränsningar

Examensarbetet kommer endast ta fram metoder för att analysera motorströmar från fränkskiljare med systemspänning 400 kV. Begränsning kan sammanfattas enligt nedan:

- Vissa stationer saknar eller har inte tillräckligt många strömkurvor när fränkskiljare manövreras.

1.5 Disposition

Kapitlen i denna rapport presenterar:

Kapitel två: Tre olika typer av fränksiljare och deras konstruktion.

Kapitel tre: Litteraturstudie.

Kapitel fyra: Installation av komponenter i stationen, installation av strömsensorn och hur strömkurvorna registreras

Kapitel fem: Metoder som används för att identifiera vilka fränksiljarindivider har manövrerat och vad dessa individer har för tekniska data.

Kapitel sex: Metoden som används för att beräkna gångtid och strömvärde för respektive pol.

Kapitel sju: Metoden som används för att klassificera strömkurvan till en manöverdonstyp.

Kapitel åtta: Tillståndsbedömning.

Kapitel nio: Resultat.

2. Fränksiljare

En luftisolerad fränksiljare är en mekanisk komponent med en isolerande funktion. Den används för att isolera stationens komponenter vid underhållsarbete eller omkoppling. Fördelen med att använda en fränksiljare istället för en effektbrytare med inbyggd fränksiljarfunktion, är att den ger ett tydligt visuellt brytställe. En fränksiljare manövreras till öppen endast om lasten är bortkopplad, vilket betyder att effektbrytaren är öppen och strömmen bruten [9].

I denna studie kommer tre olika typer av fränksiljare (enpelare, tvåpelare och trepelare) och deras konstruktioner att presenteras.

2.1 Uppbyggnad och funktionsbeskrivning

Alla fränksiljares konstruktioner består i princip av samma huvudkomponenter, dvs. stödisolator, vridisolator, arm, kontaktyta och manöverdon. En arm är en stav som är tillverkad av antingen koppar eller aluminium och som är monterad på vridisolatorn. Vrid- och stödisolator är en stödjande komponent som är monterad mellan armarna och fränksiljares basyta, och är tillverkad av icke ledande material för att förebygga kortslutning.

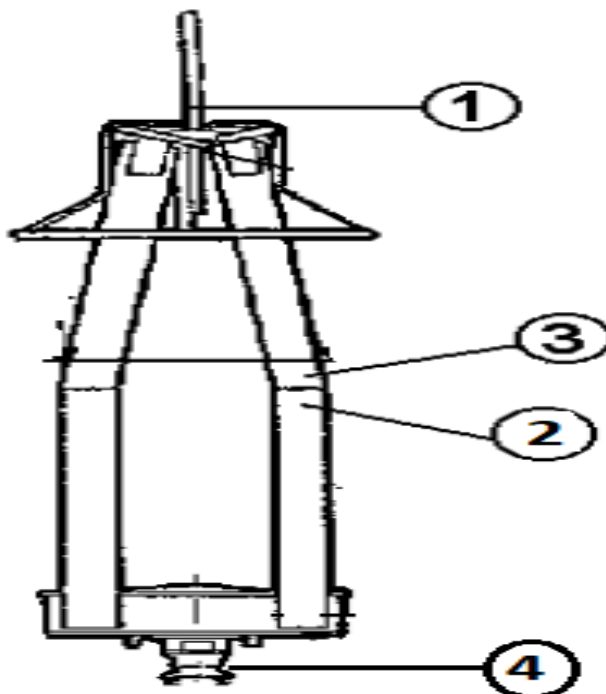
Antal isolatorer i en fränksiljare varierar mellan två och tre beroende på hur den är designad. Enpelarfränksiljare har två isolatorer, en stödisolator och en vridisolator. Tvåpelarfränksiljare har bara två vridisolatorer, och trepelarfränksiljare har en vridisolator och två stödisolatorer [10].

Vridisolatorn är sammankopplad med ett manöverdon, via en manöveraxel. Axeln är en mekanisk komponent som sitter i ett manöverdon, för att överföra effekten till vridisolatorn. Kraftkällan i fränksiljaren utgörs av manöverdonet, som genererar den kraft som behövs för att utföra en manövrering [10]. Det finns två typer av manöverdon, motor och hand. Motormanöverdon är en kraftkälla, som drivs av en elmotor som kan fjärrstyras från ett kontrollrum eller lokalt i en station. Till skillnad från ett motormanöverdon drivs ett handmanöverdon av en spak. Spaken används för att vrida armarna manuellt via en axel [11].

2.1.1 Enpelarfrånskiljare

Figur 1 visar en design på en enpelarfrånskiljare. Frånskiljaren består av två isolatorer (4), en kontaktkniv (1) och två armar (2 & 3).

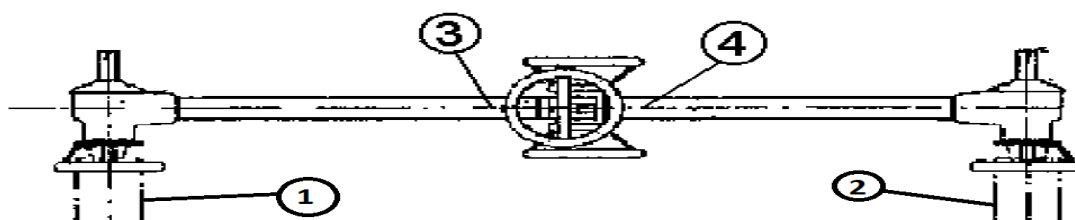
Vid manövrering överförs den producerade kraften av manöverdonen till nedre armen (2) genom vridisolatorn (4). När vridisolator börjar rotera börjar den nedre armen rör sig uppåt. När den nedre armen rör sig uppåt lyfter den med sig den övre armen (3) fram till att båda armarna är totalt spända och kontaktkniven (1) har klämt fast på skenan [12].



Figur 1: Enpelarfrånskiljare. 1. Kontaktkniven. 2. Nedre armen. 3. Övre armen. 4. Vridisolatorn (Utsnitt ur en arbetsorder hos Svenska kraftnät).

2.1.2 Tvåpelarfrånskiljare

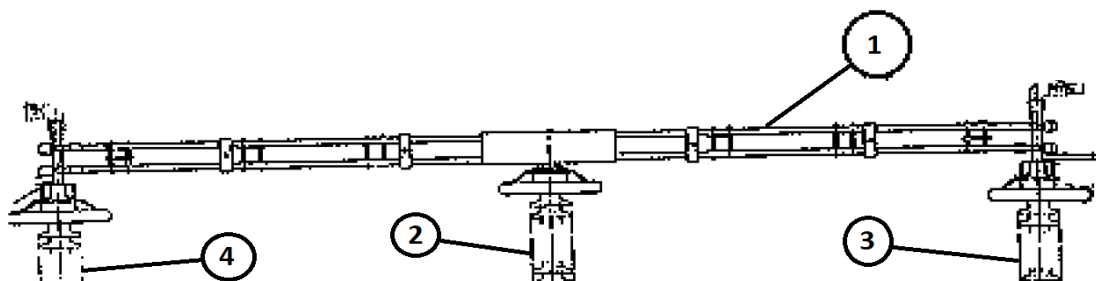
Figur 2 nedan visar en design på tvåpelarfrånskiljare. Frånskiljaren består av två vridisolatorer (1 & 2) och två armar (3 & 4). Designen på tvåpelarfrånskiljare gör att den horisontell rörelse av armarna inte kräver stora motormoment för att klara av manövreringen [13]. Vid manövrering, aktiveras manöverdon för att generera kraften till vridisolatorerna (1 och 2), och på så sätt vridas armarna (3 och 4) horisontellt.



Figur 2: Tvåpelarfrånskiljare. 1 & 2 vridisolatorerna. 3 & 4 armarna. (Utsnitt ur arbetsorder hos Svenska kraftnät)

2.1.3 Trepelarfrånskiljare

Trepelarfrånskiljare visas i Figur 3 och består av en arm (1), en vridisolator (2) och två stödisolatorer (3–4). Designen av trepelarfrånskiljare gör att den horisontella rörelsen av armarna inte kräver stora motormoment för att klara av manövreringen [14]. Vid manövreringen roterar den monterade armen på vridisolatorn horisontellt tills den har uppnått 90 graders rotation.



Figur 3: Trepelarfrånskiljare. 1. Armen. 2. Vridisolatorn. 3 & 4 stödisolatorerna. (Utsnitt ur arbetsorder hos Svenska kraftnät).

2.2 Manuell tillståndsovervakning av frånskiljare

Som nämnt tidigare undersöks tre olika typer av frånskiljare i denna studie. Svenska kraftnät använder två olika bestämda tidsintervaller för tillståndsbaserat underhåll för deras frånskiljare, sex år för enpelarfrånskiljare och tolv år för två- och trepelarfrånskiljare. Alternativt så görs avhjälpande underhåll så snart ett avbrott är möjligt om ett allvarligt fel har inträffat. Ett fel kan definieras som en frånskiljare inte fungerar som önskat, till exempel vid utebliven manöver eller varmgång. Vid underhåll undersöks olika tillståndsvariabler hos en frånskiljare, som t.ex. gångtid och motorström.

3. Litteraturstudie om automatisk tillståndsovervakning av frånskiljare

När ett mekaniskt fel på en frånskiljare inträffar kan det leda till elavbrott. På grund av detta startade en forskningsgrupp ett experiment för att undersöka vilka tillståndsparmetrar som kan övervakas för att detektera ett mekaniskt fel på frånskiljare innan den inträffar. Tillståndsparmetrar sammanfattas som gångtid, toppvärde, och stigtid. Experimentet utfördes på enpelarfrånskiljare av typ GW5-35DW, för att jämföra toppvärde och dess tider vid normalt och onormalt driftförhållande. Mätvärde på dessa parametrar samlades genom att koppla en sensor på kabeln som levererar ström till frånskiljarens manöverdon. Sensorn registrerade mätvärden för motorström när frånskiljaren hade manövrerats. Det insamlade mätvärdena analyserades genom att undersöka strömmens toppvärde och kurvformen innan och efter simulering av ett mekaniskt fel. Det mekaniska felet simulerades som ett motstånd när frånskiljare manövrerades. Resultatet visade att strömmen ökade väsentligt vid ett allvarligt mekaniskt fel, och kurvformen förändrades. Strömmen ökade för att motorn behövde mer moment för att klara av manövreringen [15].

Vidare har STRI utfört ett liknade experiment på tvåpelarfrånskiljare i två 400 kV stationer. I denna studie undersöktes gångtiden och motströmmen utan att simulera ett mekaniska fel. Gångtid och kurvform registrerades för 10 manövrar för att detektera hur stor variation frånskiljarnas tillståndsparmetrar hade efter 10 manövrar. Resultatet visade att några av frånskiljarnas gångtid hade

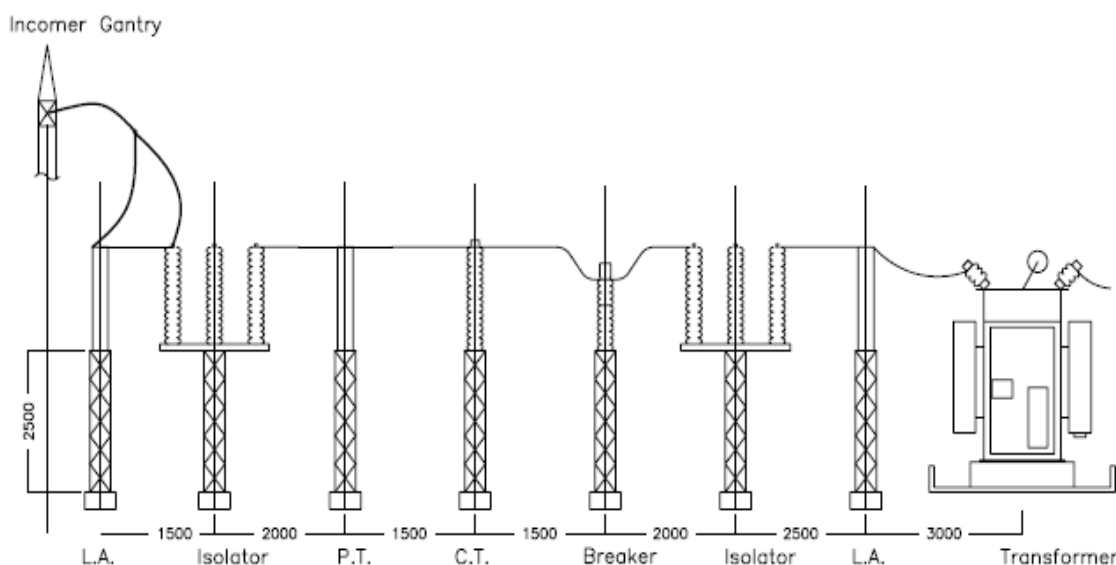
ökat eller minskat med tiotal millisekunder efter den tionde manövern och för några fränksiljare var gångtiden oförändrad. Resultatet visade samma sak för motströmmen. Utifrån resultatet bedömdes det att det inte var nödvändigt att utreda varför skillnaden av gångtiden uppstod eftersom fränksiljarna verkade vara felfria i sin grundfunktion [16].

4. Installation

4.1 Stationsdesign

En station är en anläggning i kraftnätet som har funktionen att överföra effekt, transformera spänningen eller utföra andra funktioner som att koppla in eller ur ledningar för underhållsarbete. Stationen består huvudsakligen av två delar, en eller flera samlingsskenor och ett eller flera fack. Figur 4 visar en förenklad bild över ett fack med olika komponenter som behövs för att utföra funktionerna ovan. Komponenterna består av är ventilavledare (L.A.), fränksiljare (Isolator), spänningstransformator (P.T), strömtransformator (C.T.), effektbrytare (Breaker) och krafttransformator. Ventilavledaren skyddar den andra komponenterna och leder bort blixstens skadliga effekter. Spänning- och strömtransformator är mättransformatorer som används för att mäta spänningen och strömmen i facket.

I denna rapport används definitionen fränksiljarindivid, vilket är benämningen på tre stycken fränksiljare för respektive fas. Fränksiljarpol används för att definiera en av de tre fränksiljarna i en fränksiljarindivid. Antal individer och dess placering i facket är beroende på hur stationen är designad. I vissa stationer finns två stycken fränksiljarindivider placerad i samma fack, innan eller efter effektbrytare, eller på båda sidor av brytaren som visas i Figur 4.



Figur 4: Förenklad bild över ett fack, med från vänster ventilavledare (L.A.), fränksiljarindivid (Isolator), spänningstransformator (P.T), ström-transformator (C.T.), effektbrytare (Breaker) och krafttransformator. [17]

4.2 Installation av sensorerna i stationerna

För att kunna registrera strömkurvan över hur en fränksiljare manövreras installerades det en eller fler sensorer i kontrollhuset på likströmskabeln (LHC) som levererar ström till fränksiljarens manöverdon. Likströmskabeln matar kraft åt alla motorer ut i stationen. Beroende på hur stationen är designad kan

det finnas fler likströmskablar och därför installerades det en eller fler sensorer för att samla in alla frånskiljarmanövreringar.

4.3 Insamling av data

Strömsensorn är kopplad till distribuerat I/O som i sin tur är kopplad till ett programmerbart styrsystem (PLC) med en optisk fiber. Den optiska fibern omvandlar den analoga signalen till digital. Insamling av data triggas när strömmen i LHC ökar, det vill säga när något i ställverket manövreras. Data samlas in med ett samplingsintervall på 1 millisekund och insamlingen slutar efter en viss tid efter strömmen har återgått till sitt nominella värde. Datat sparas med en tidsstämpel i PLC och en databas läser av PLC efter nya data var femte minut.

5. Analys av insamlade data

För att kontinuerligt övervaka frånskiljares tillstånd samlades mätvärden in för gångtid och strömvärde. Tillståndet bedöms genom att kontrollera om mätvärdena avviker från det ett visst förbestämt gränsvärde. Avviker mätvärdena kan frånskiljaren behöva underhåll eller tillståndet övervakas.

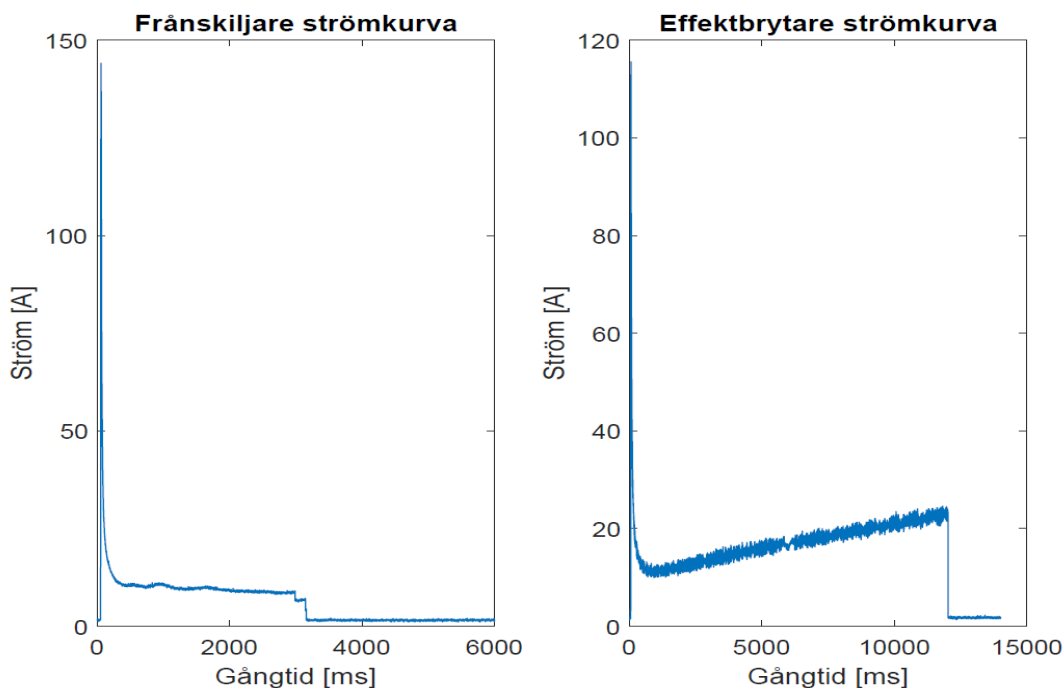
Insamlade data hämtades manuellt från databasen. Information om vilka typer av frånskiljare och deras tekniska data samlades också in för de frånskiljare som hade registrerade strömkurvor.

5.1 Att skilja på brytarens och frånskiljarens strömkurvor

Strömsensorn är installerad på LHC-kabeln som matar både manöverdonet till frånskiljaren och en motor som används för att spänna upp en fjäder i en effektbrytare, för att effektbrytaren ska kunna utföra sin funktion. De insamlade strömkurvorna innehåller båda typerna.

Båda strömkurvorna har kort stigtid med en hög amplitud. När frånskiljarens manöverdon belastas sjunker strömmen till en nivå där strömvärdet fortsätter stabilt tills manövreringen avslutas, medan effektbrytarens strömkurva stiger linjärt, se Figur 5.

Effektbrytarens strömkurvor sorterades bort manuellt.



Figur 5: Frånskiljarens strömkurva till vänster respektive effektbrytarens till höger.

5.2 Att identifiera frånskiljarindividen

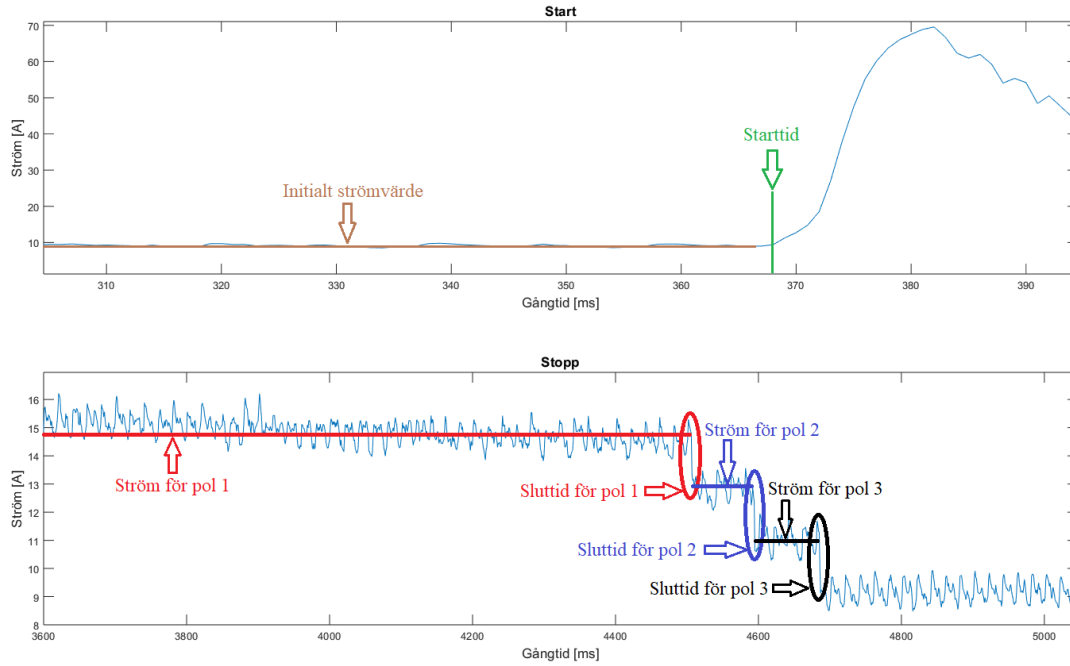
I nästa steg identifierades vilka frånskiljarindivider som tillhörde respektive strömkurva. Det utfördes genom att ladda ner en händelselogg där alla frånskiljarindividers manövreringar sparas tillsammans med en tidsstämpel. Tidsstämpeln från de insamlade strömkurvorna matchades med tidsstämpeln i händelseloggen och respektive strömkurva matchades med en frånskiljarindivid. Utifrån händelseloggen identifierades det även vilken typ av manövrering strömkurvan bestod av, om manövreringen var en öppning eller slutning av frånskiljaren. Från ett anläggningsregister kunde även frånskiljarens tekniska data tas fram så som, typbeteckning, manöverdonstyp och antal manöverdon.

6. Automatisk identifiering av tillståndsparmetrar

Syftet med detta kapitel är att ta fram en metod för att automatiskt beräkna gångtid och motorström för respektive pol. Metoden går ut på att hitta tidpunkten för snabba förändringar i strömkurvan för att hitta start- och sluttiden.

I Figur 6 visas förändringar i strömnivån som uppstår vid början och slutet på strömkurvan. Vid starttidpunkten aktiveras motormanöverdon tills den kommer upp i rätt varvtal. Då startas frånskiljarens manöver, och då sjunker strömmen till den nivå där strömvärdet fortsätter stabilt tills manövreringen

avslutas. I slutet av strömkurvan uppstår tre trappsteg, som beror på att strömmen faller när varje fränksiljarpol slutför sin manöver.



Figur 6: Bilden visar början och slutet på strömkurvan. De tre färgade ringarna visar sluttiden för manöver för respektive pol. De tre färgade raka linjerna visar medelvärdet på strömmen för respektive pol.

6.1 Starttid och sluttid

För att detektera start- och sluttid används en signalbehandlingsfunktion, find abrupt changes signal. Syftet är att hitta de tre sista stegen i strömkurvan när fränksiljare avslutar sin manöver. Det leder till att tiderna kan identifieras för varje pol. Funktionen delar upp strömkurvan till delmängder där kurvan förändras snabbt enligt ekvation (6.1), [18].

För varje punkt i delmängden x_i beräknas avvikelsen från delmängdens medelvärde x_r . Därefter summeras avvikelserna i kvadrat för att beräkna den totala residualen J . Antal delmängder som kurvan delas upp i beror på N -värdet, där ekvationen hittar det N antal största förändring i residualen. L är antal mätpunkter på strömkurvan, och k är punkten där strömkurvan delas

$$J = \sum_{i=1}^{k-1} (x_i - \frac{1}{k-1} \sum_{r=1}^{k-1} x_r)^2 + \sum_{i=k}^L (x_i - \frac{1}{N-k+1} \sum_{r=k}^L x_r)^2 \quad [A^2] \quad (6.1)$$

En iterativ algoritm används för att strömkurvan ska delas upp i flera delmängder för att hitta de delningspunkter där residualen hittar sluttiden för respektive pol med hög noggrannhet.

Antal ändringpunkter (N) hos funktionen tas fram genom att delar upp strömkurvorna i en träningsmängd och en testmängd. Träningsmängden används för att justera funktionens noggrannhet

och motsvarar 80 % av det totala antalet strömkurvor. Testmängden används för att utvärdera hur bra funktionens noggrannhet är och motsvarar 20 % av det totala antalet strömkurvor. Tränings- och testmängden har inga gemensamma strömkurvor och väljs manuellt. Med träningsmängden testas olika N-värden manuellt, tills funktionen detekterar rätt sluttid för respektive pol. Det framtagna N-värdet testas på testmängden för att visa att N-värdet från träningsmängden är den mesta optimala.

6.2 Gångtid

Gångtid är tiden det tar från att motordonen aktiveras till att fränkskiljaren avslutar sin manöver. Detta beräknas med ekvation 6.3 nedan:

$$gångtid_i = sluttid_i - starttid_i \quad [ms] \quad (6.2)$$

Där i motsvarar pol 1,2 eller 3

Sluttiden fås med hjälp av N-värdet genom att välja tiden för tre sista förändringarna i residualen som motsvarar sluttiden för respektive pol. Det vill säga, sluttiden för pol 3 motsvarar den sista förändringen i residualen, sluttiden för pol 2 motsvarar den näst sista förändringen i residualen och sluttiden för pol 1 motsvarar den tredje sista förändringen i residualen.

Starttiden bestäms genom att detektera det första värdet som har större strömvärde än medelvärdet av det initiala strömvärdet. Det initiala strömvärdet är inte noll, vilket kan bero på kalibreringsfel, en konstant förbrukning eller överlagrad AC-signal på DC-strömmen.

6.3 Motorström

Motorströmen är strömmen som fränkskiljaren behöver för att utföra manövern. Eftersom strömkurvan består av en summering av de tre strömkurvorna för respektive pol beräknas strömmen för respektive pol enligt ekvationerna 6.3–6.5 nedan.

$$I_{pol\ 3} = \text{strömmens medelvärde för pol 3} - \text{initialt strömvärde} \quad [A] \quad (6.3)$$

$$I_{pol\ 2} = \text{strömmens medelvärde för pol 2} - \text{strömmens medelvärde för pol 3} \quad [A] \quad (6.4)$$

$$I_{pol\ 1} = \text{strömmens medelvärde för pol 1} - \text{strömmens medelvärde för pol 2} \quad [A] \quad (6.5)$$

Där strömmens medelvärde för pol 3 och 2 beräknas från och med sluttid för pol 2 till pol 3, respektive sluttid för pol 1 till pol 2. Strömmens medelvärde för pol 1 beräknas från och med sluttiden för pol 1 till den punkten där strömmen har stabiliserat sig kring den normala strömnivån. Initialt strömvärde subtraheras från beräkningen, eftersom den betraktas som oönskat, se Figur 6.

7. Automatisk identifiering av manöverdonstyp

På grund av strömsensorns placering på LHC-kabeln och för att hålla installationen enkel har inga signaler som indikerar en fränkskiljarmanöver samlats in. Det leder till att det inte går att identifiera vilken fränkskiljarindivid som tillhör vilken strömkurva. Istället kan strömkurvans manöverdonstyp identifieras utifrån strömkurvans tillståndsparmetrar och jämföras med andra strömkurvor med samma manöverdonstyp. Avviker en strömkurvas tillståndsparmetrar från tillståndsparmetrarna inom samma manöverdonstyp kan en manuell granskning ange vilken fränkskiljarindivid som har en avvikande strömkurva. Varje manöverdonstyp har ungefär samma strömvärde och gångtid, vilket leder till

tillståndsp parametrar med en liten avvikelse. Därför antas strömvärden och gångtider vara normalfördelade.

För att kunna klassificera varje strömkurva till en manöverdonstyp används en multivariat normalfördelning som beräknar sannolikheten (likelihood) för en strömkurvas gångtid och strömvärde för olika manöverdonstyper, enligt ekvation (7.1), [19].

$$f(x; \mu, \Sigma) = \frac{1}{\sqrt{|\Sigma|(2\pi)^2}} e^{(-\frac{1}{2}(x-\mu)^T \Sigma^{-1}(x-\mu))} \quad (7.1)$$

Där x är en vektor med gångtiden och strömvärdet för en slumpmässigt utvald pol för den strömkurvan som manöverdonstypen ska bestämmas. μ är en (2×1) vektor med medelvärde på respektive klusters gångtid och strömvärde och Σ är kovariansmatrisen med dimensionen (2×2) för respektive kluster.

För att ta fram μ och Σ för respektive manöverdonstyp delas strömkurvorna åter igen in i en tränings- och testmängd. Träningsmängden motsvarar 80 % av det totala antalet strömkurvor för respektive manöverdonstyp. Testmängden motsvarar 20 % av den totala mängden strömkurvorna som används för att utvärdera hur bra klassificeringen är. Tränings- och testmängden har inga gemensamma strömkurvor och väljs manuellt.

Utifrån träningsmängden estimeras μ och Σ för varje manöverdonstyp med Maximum likelihood-metoden (MLE), se funktionen (7.2) nedan, [19].

$$l(\mu, \Sigma) = -\frac{kn}{2} \log(2\pi) - \frac{n}{2} \log(|\Sigma|) - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (x^i - \mu)^T \Sigma^{-1} (x^i - \mu) \quad (7.2)$$

Där n är antal mätpunkter för gångtid och strömvärde, k är antal variabler som är två i detta fall och $\{X^i, i = 1, \dots, n\}$. För att få fram estimering på μ och Σ divideras ekvation 7.2 med avseende på μ och Σ . Ekvationerna sätts lika med noll som leder till ekvationerna 7.3 och 7.4.

$$\hat{\mu} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x^i \quad (7.3)$$

$$\hat{\Sigma} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x^i - \hat{\mu})(x^i - \hat{\mu})^T \quad (7.4)$$

8. Automatisk tillståndsbedömning

Efter att ha lyckats hitta metod som beräknar automatiskt tillståndsp parametrar utifrån de tillgängliga strömkurvorna, skapas vidare en metod för att bedöma tillståndet på frånskiljaren. Metoden bedömer om frånskiljare är i bra eller dåligt skick, genom att utvärdera de insamlade mätvärdena på tillståndsp parametrar.

Metoden är en diagnosprocess som handlar om att granska individens gångtid och motorström i tidsföljd, för att kunna se om det finns variation och utveckling av gångtid och motorström. Variation och utveckling av tillståndsp parametrar kan tyda på att [16]:

- Mekaniska motståndet ökar, ifall gångtiden ökar samtidigt som motorströmmen ökar.

- Motorn blir varm. Resistansen ökar och då drar motorn mindre ström och utvecklar mindre effekt. Detta ifall gångtiden ökar samtidigt som motorströmmen minskar.

För att bedöma om gångtiden och strömvärdet ligger inom det normala delades bedömningsskalan i tre olika nivåer enligt Tabell 1. Den gröna nivån är för mätvärden som motsvara ett konfidensintervall på 95 %, vilket borde antyda att frångiljaren är i bra skick. Den gula nivån är för mätvärden som avviker från ett konfidensintervall på 95 %, men är inom ett konfidensintervall på 99,7%. Dessa frångiljare bör hållas under uppsikt och vid upprepade gånger bör strömkurvornas frångiljarindivid identifieras. Den röda nivån är den absolut högsta nivån. Variationen från medelvärdet för någon av tillståndsparametern är stor och dessa strömkurvor bör undersökas närmare för att ta redan på vilken frångiljarindivid som strömkurvan tillhör. Bedömningsskalan tas fram för varje manöverdon i varje station.

Tabell 1: Tre bedömningsnivåer.

Bedömning	Värde
Värde ok	$\mu - 2\sigma \leq x \leq \mu + 2\sigma$
Håll under uppsikt	$\mu - 3\sigma \leq x < \mu - 2\sigma$ eller $\mu + 2\sigma < x \leq \mu + 3\sigma$
Undersök närmare	$\mu - 3\sigma < x$ eller $x > \mu + 3\sigma$

9. Resultat

I det här kapitlet presenteras resultat de av olika metoder som användes i kapitel 5–8.

9.1 Analys av insamlade data

Utifrån analysen av den insamlade strömkurvor visade det sig att det finns 6 olika manöverdonstyper fördelade över fem stationer. Dessa manöverdonstyper hade olika antal insamlade strömkurvor, vilket tyder på att vissa typer har manövrerats mer än andra, se Tabell 2.

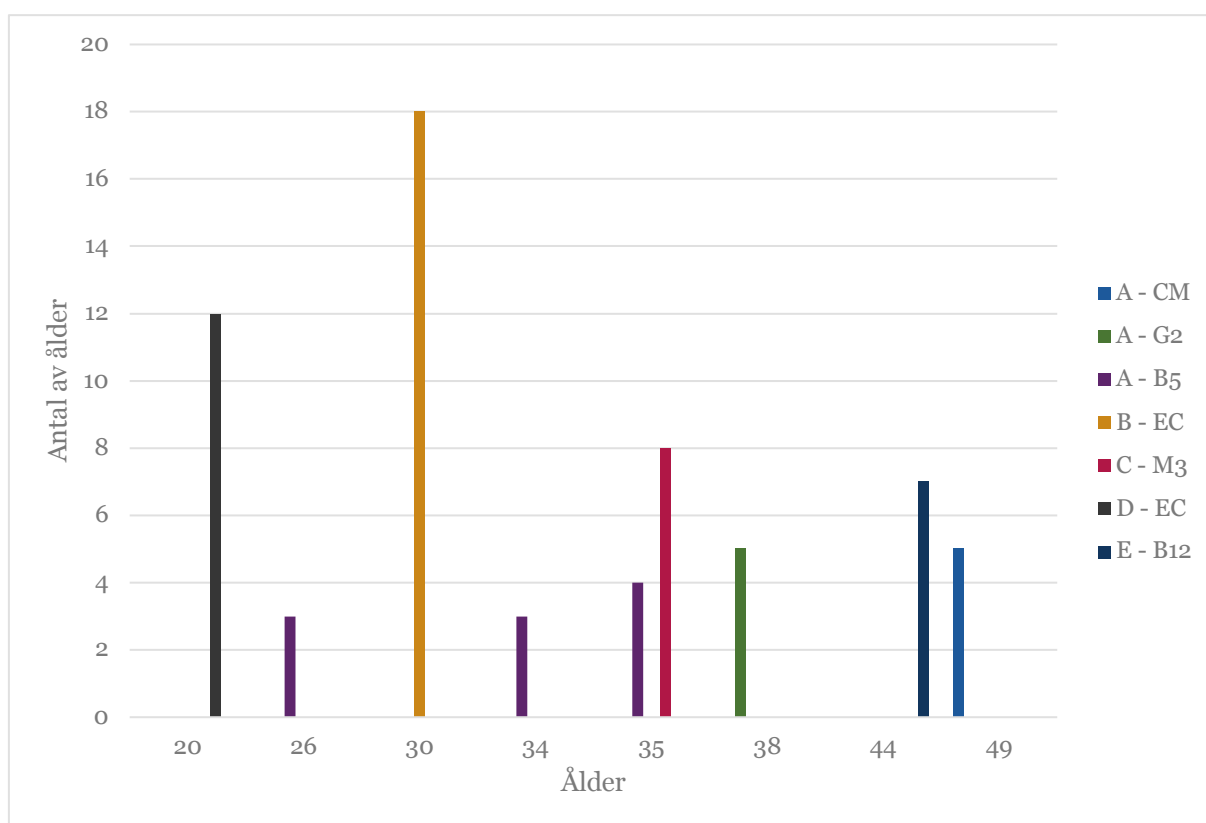
Tabell 2: Övergripande data över de insamlade strömkurvor som anger manöverdonstyp för olika stationer, samt antal strömkurvor.

Station	Manöverdons- typ	Utförandeform	Totalt antal frånskiljare	Antal frånskiljare med insamlade strömkurvor	Antal tillgängliga strömkurvor		Maximalt antal strömkurvor hos en frånskiljar- individ
					Öppning	Slutning	
A	CM	Tvåpelare	5st	3st	4	5	2
	G2	Tvåpelare	5st	2st	7	6	10
	B5	Tvåpelare	10st	8st	18	16	6
B	EC	Tvåpelare	18st	10st	11	12	4
C	M3	Trepelare	8st	4st	4	3	2
D	EC	Tvåpelare	12st	12st	31	27	9
E	B12	Enpelare	7st	7st	5	5	3

Tabell 3 visar andel befintliga manöverdonstyper per station för de insamlade strömkurvorna. Spridningen av typerna visar att station A har tre olika typer, medan andra stationer har en enda typ. I Figur 7 visas ålder för samtliga frånskiljarindivider i en station.

Tabell 3: Andelen manöverdonstyper av de insamlade strömkurvorna per station.

Station	Manöverdonstyp per station		
A	CM: 25 %	G2: 25 %	B5: 50 %
B	EC: 100 %		
C	M3: 100 %		
D	EC: 100 %		
E	B12: 100 %		

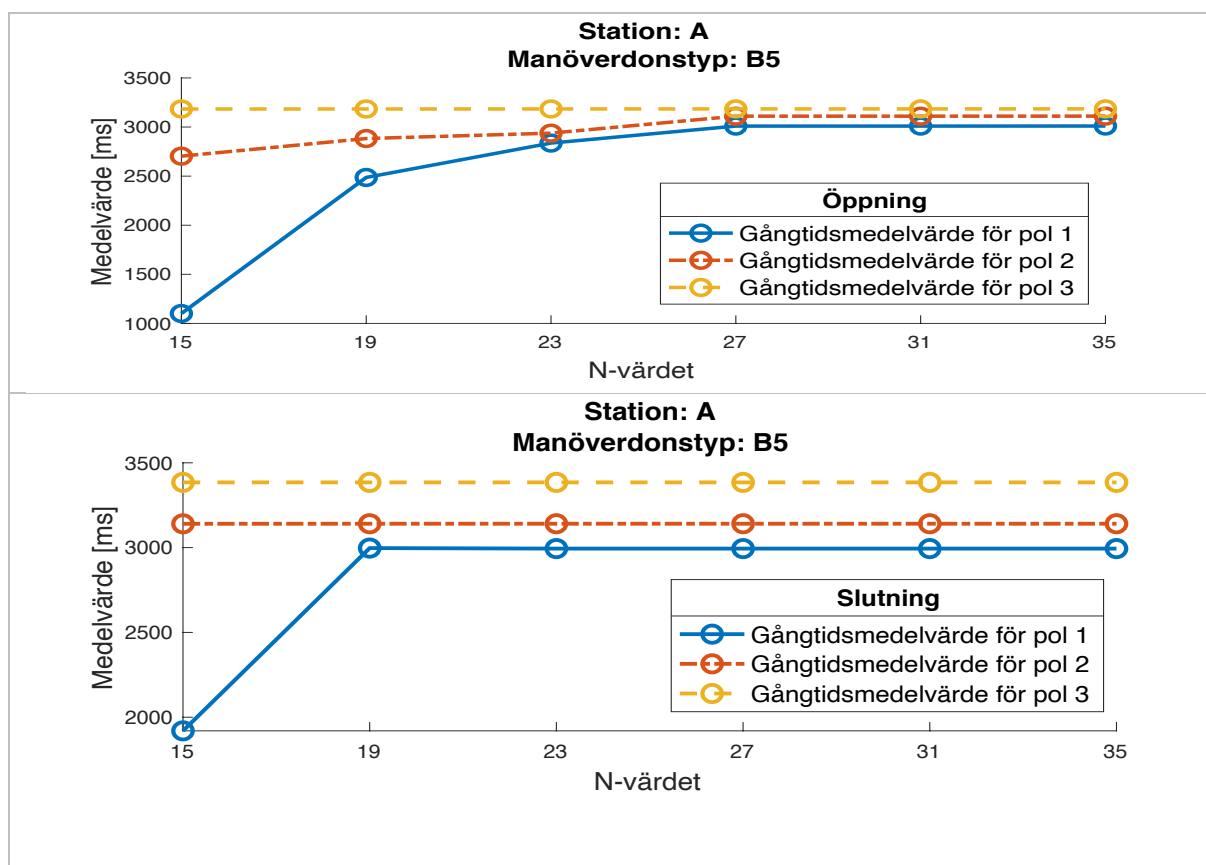


Figur 7: Åldersfördelning per manöverdonstyp.

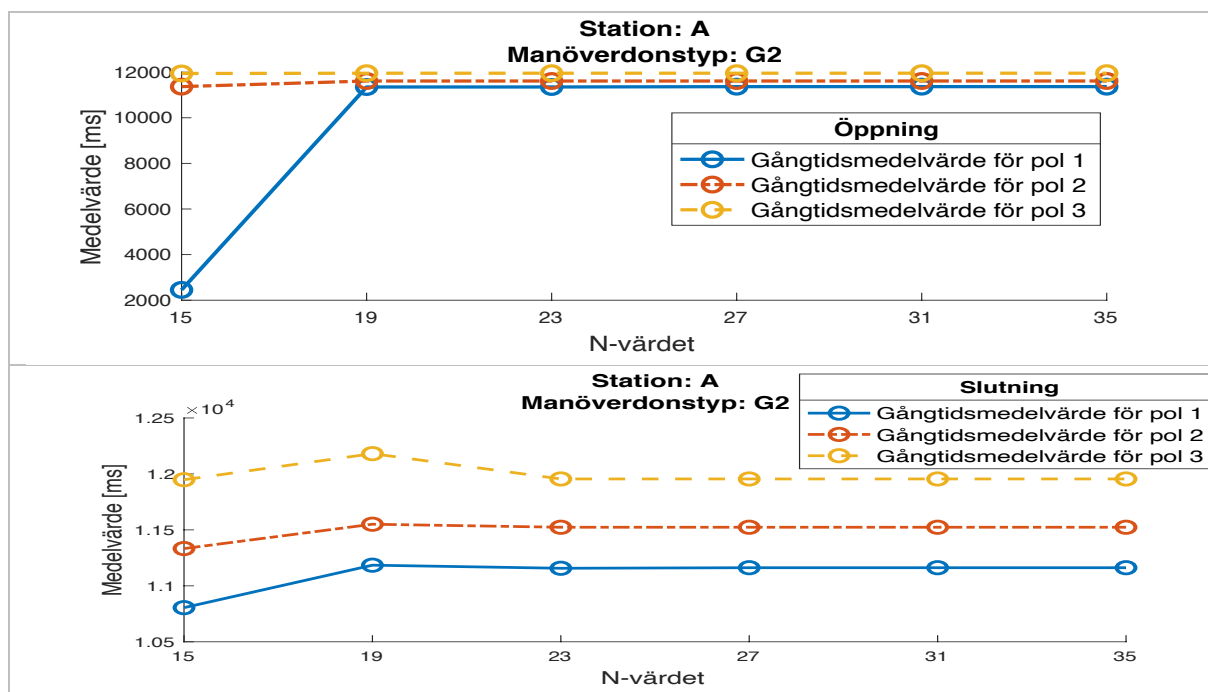
9.2 Starttid och sluttid

9.2.1 N-värdet

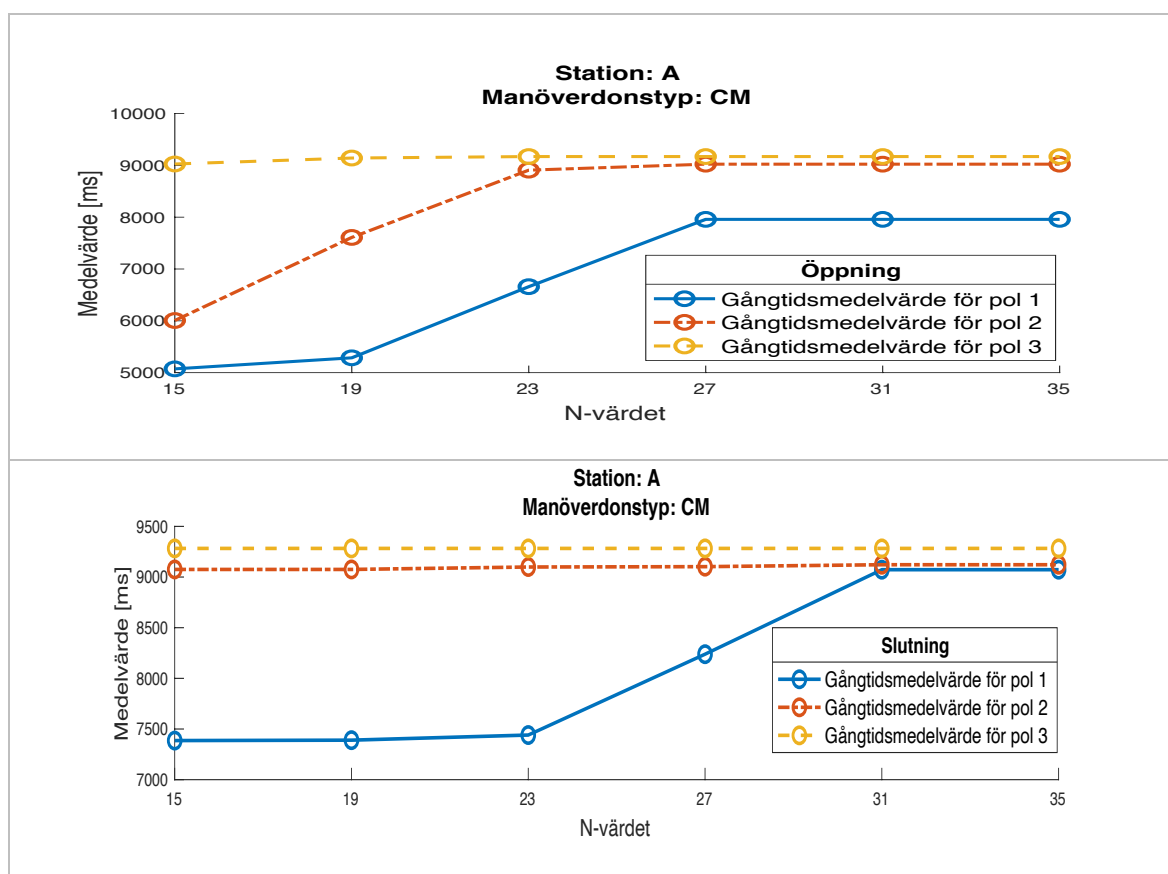
Som nämnt tidigare i kapitel 6 bestäms N-värdet genom att använda en träningsmängd på 80 % av samtliga strömkurvor av för manöverdonstyp. Figur 8-Figur 14 visar resultat på träningsmängden för typerna som nämndes i Tabell 2. Resultatet visar hur medelvärdet för samtliga gångtider för respektive pol närmar sig till det sanna värdet med ökande N-värden. Utifrån dessa figurer har N-värdet 27 valts då det passar alla manöverdonstyper både för öppning och slutning.



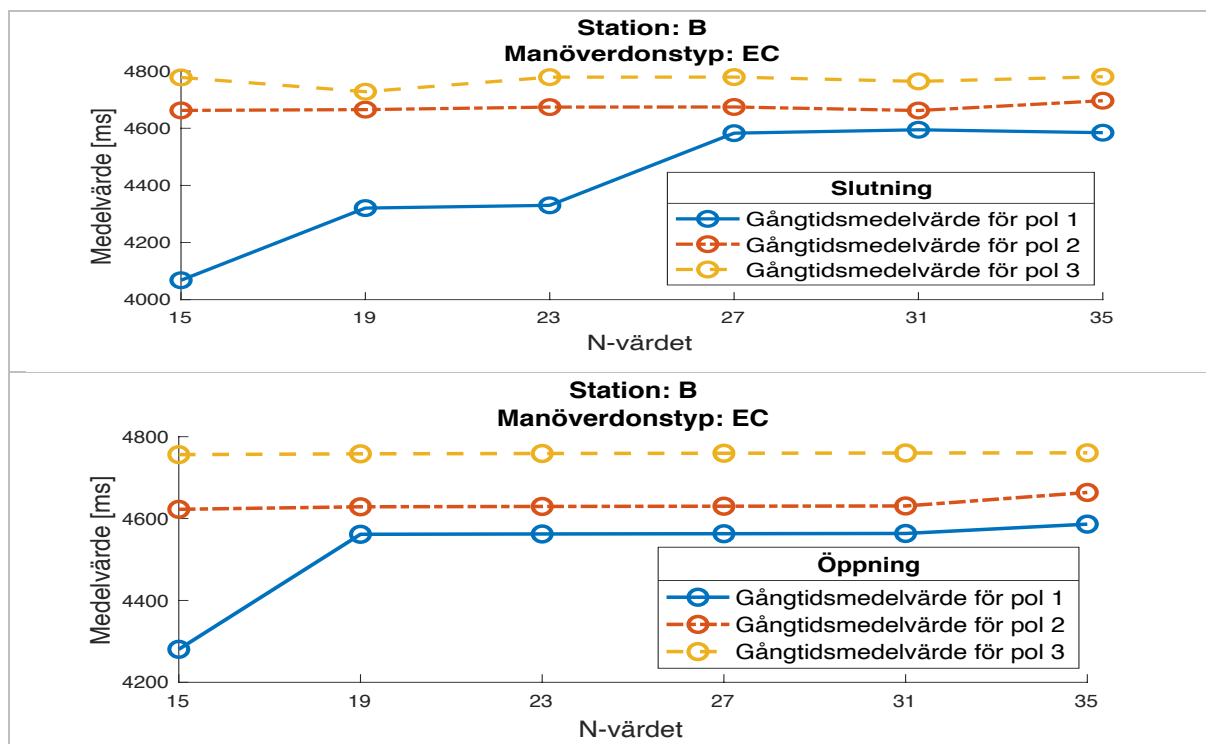
Figur 8: Medelvärdet av gångtiden för olika N-värden för manöverdonstyp B5.



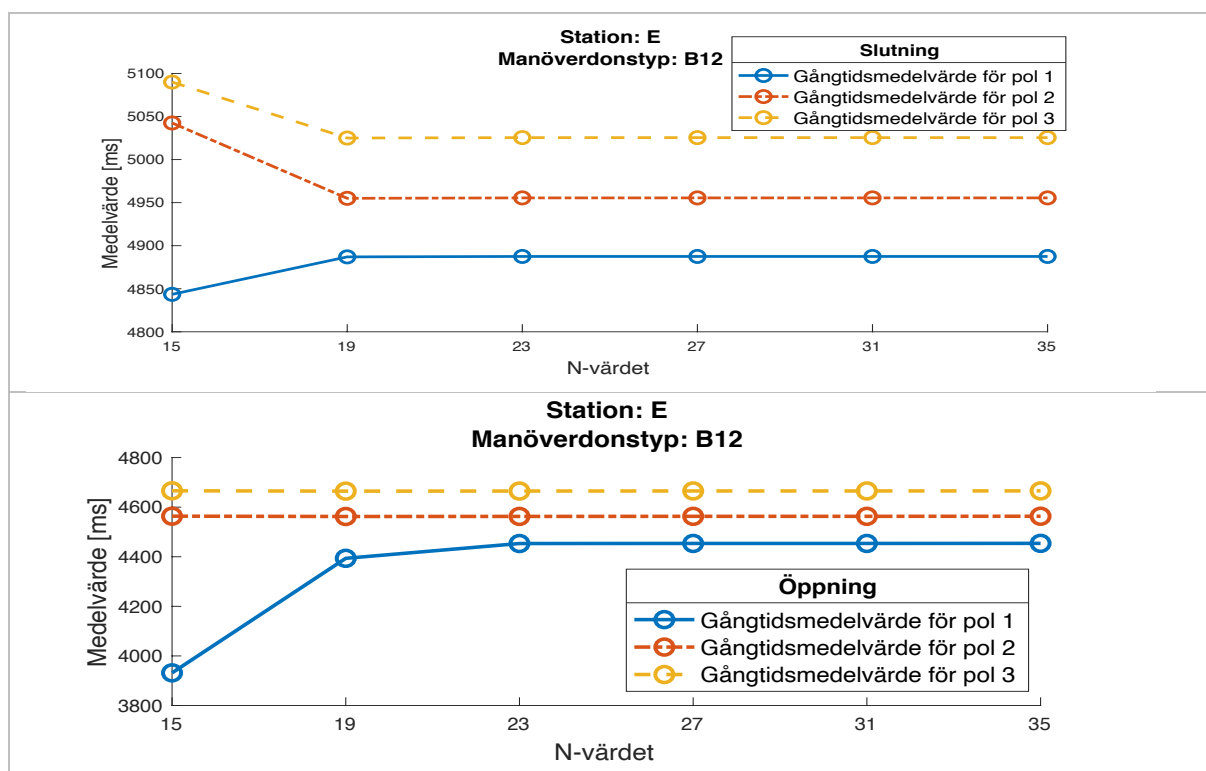
Figur 9: Medelvärdet av gångtiden för olika N-värden för manöverdonstyp G2.



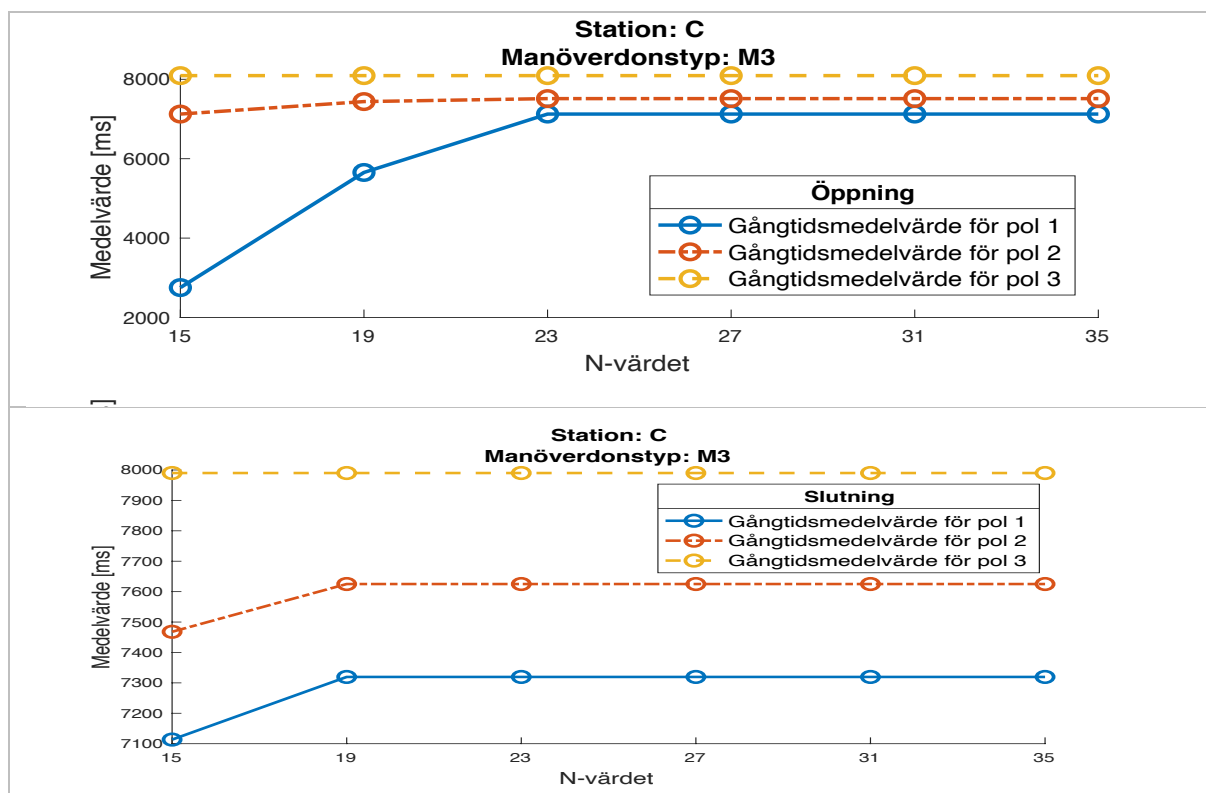
Figur 10: Medelvärdet av gångtiden för olika N-värden för manöverdonstyp CM.



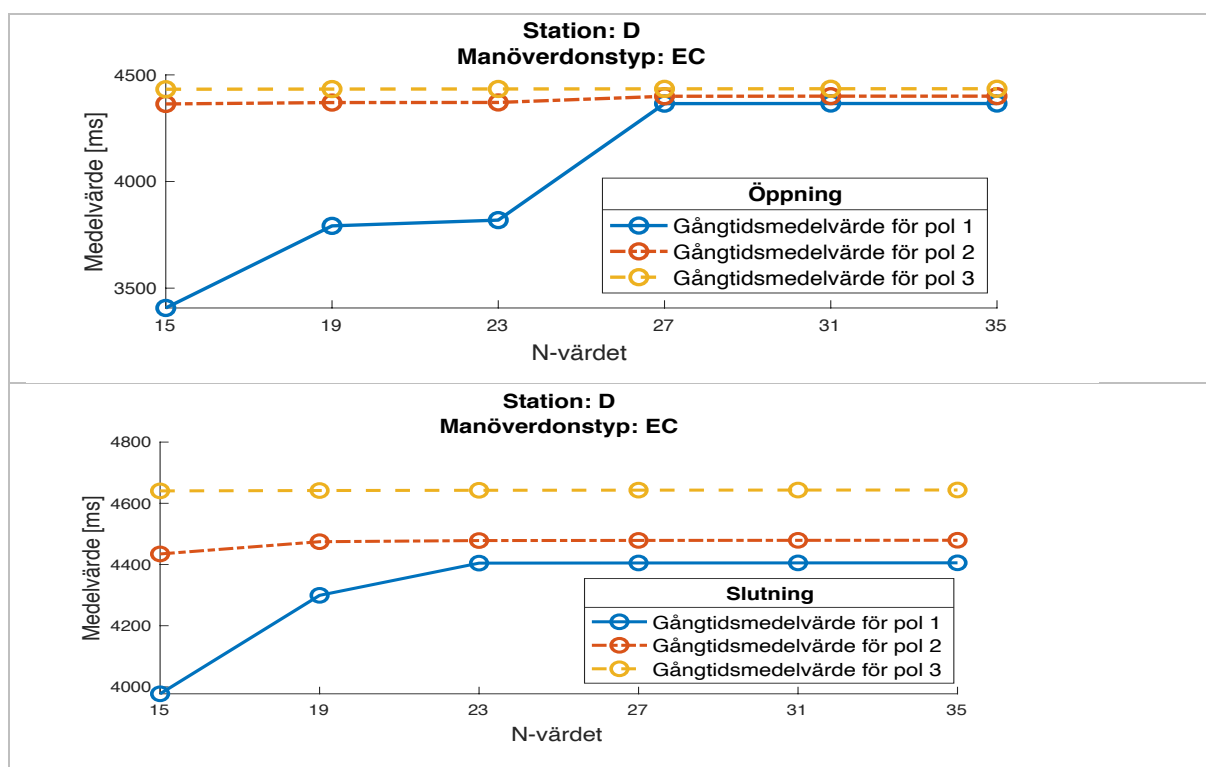
Figur 11: Medelvärdet av gångtiden för olika N-värden för manöverdonstyp EC.



Figur 12: Medelvärdet av gångtiden för olika N-värden för manöverdonstyp B12.

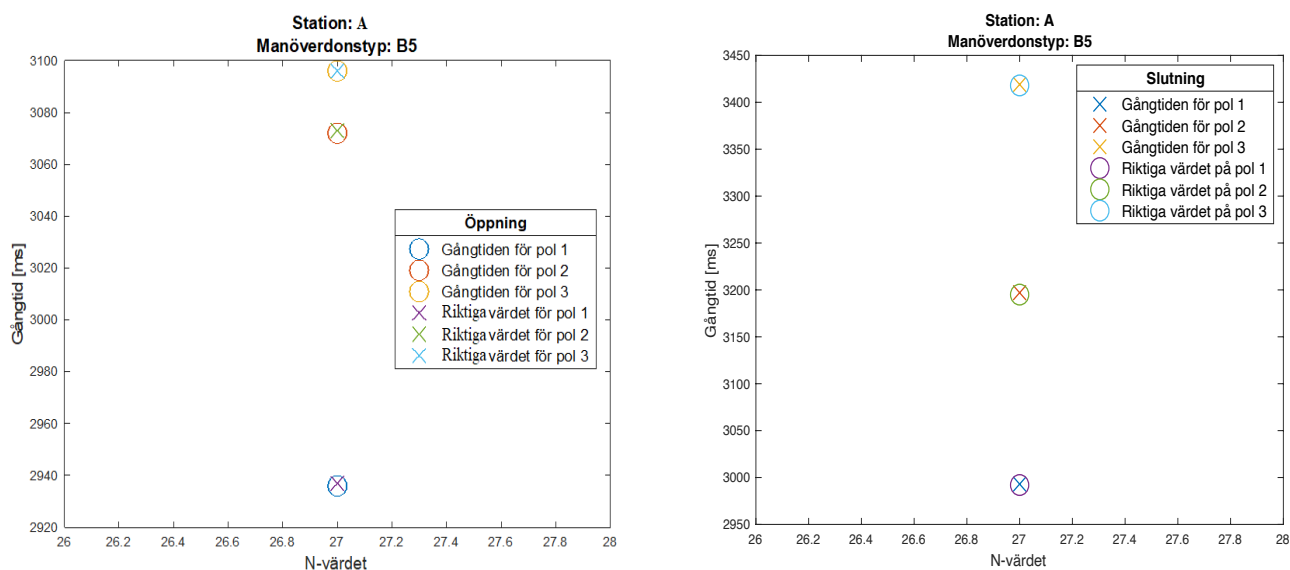


Figur 13: Medelvärdet av gångtiden för olika N-värden för manöverdonstyp M3.

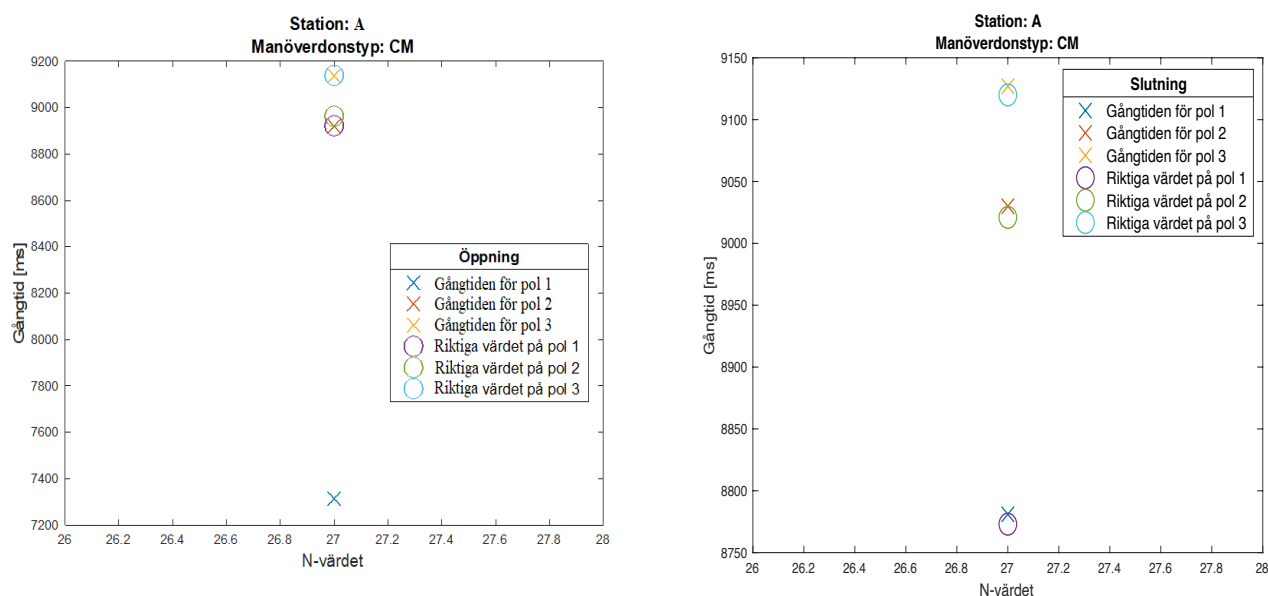


Figur 14: Medelvärdet av gångtiden för olika N-värden för manöverdonstyp EC.

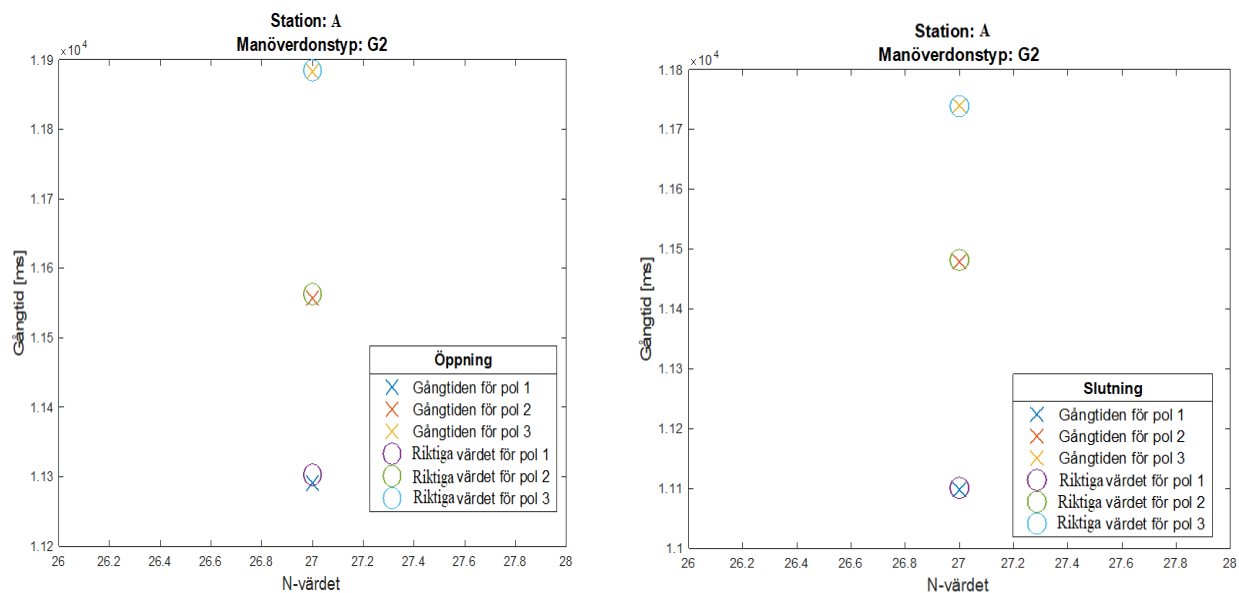
Det utvalda N-värdet testades på testmängden för att bekräfta att algoritmen kan hitta gångtiden för respektive pol med värdet 27. Figur 15- Figur 21 visar resultat på hur de riktiga värdena träffar det automatiskt beräknade gångtiderna för respektive manöverdonstyp vid öppning och slutning, förutom CM typen vid öppning.



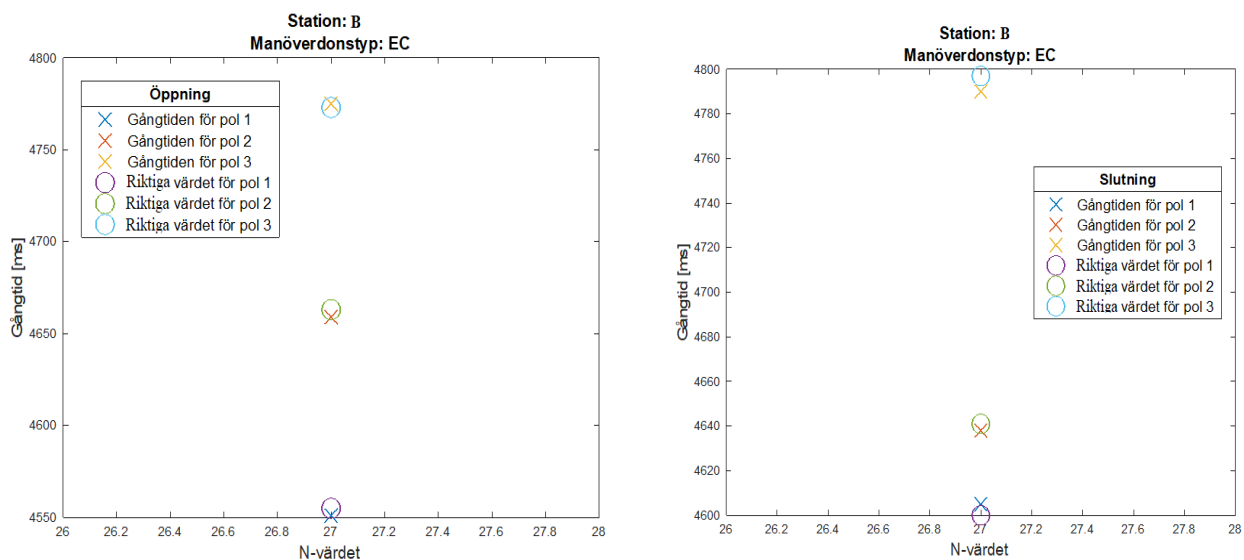
Figur 15: Den beräknade gångtiden matchar riktiga värdet med N-värdet 27 för manöverdonstyp B5.



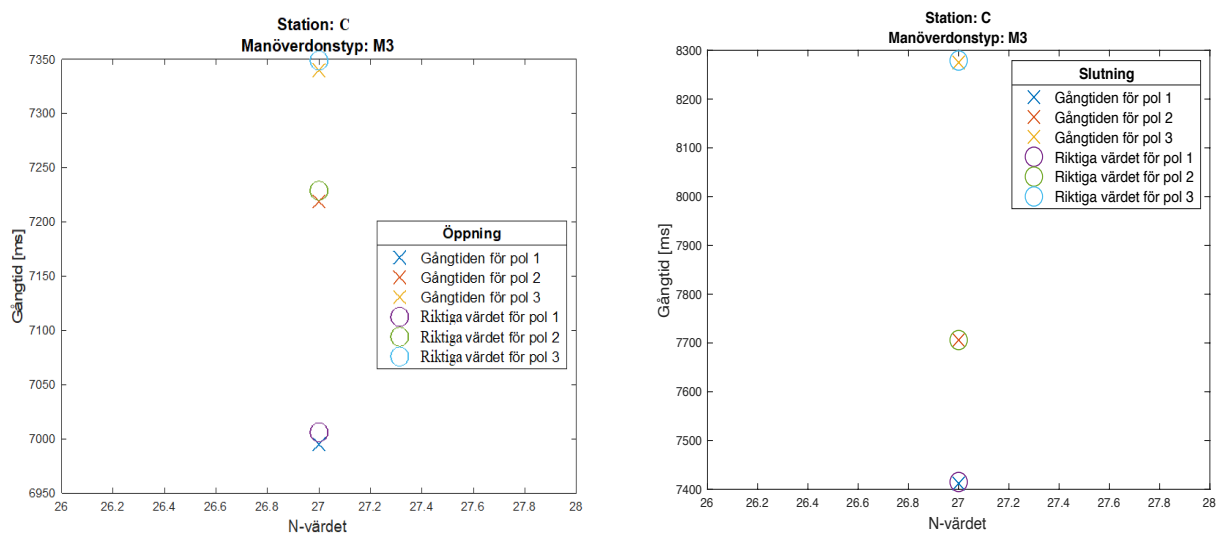
Figur 16: Den beräknade gångtiden matchar riktiga värdet med N-värdet 27 för manöverdonstyp CM.



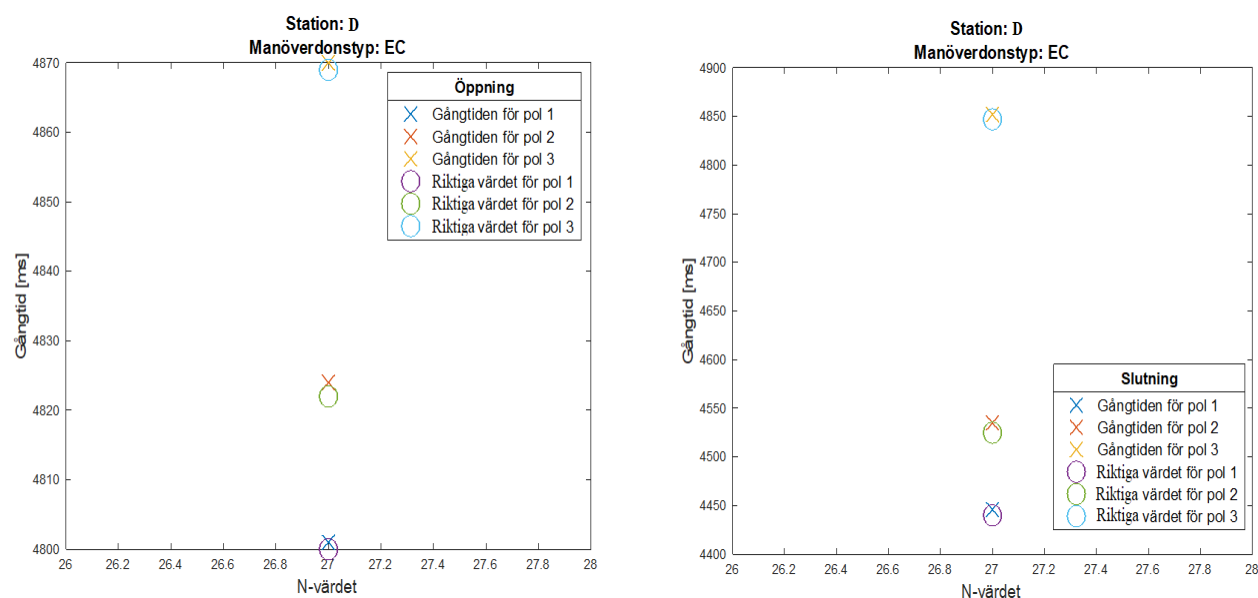
Figur 17: Den beräknade gångtiden matchar riktiga värdet med N-värdet 27 för manöverdonstyp G2.



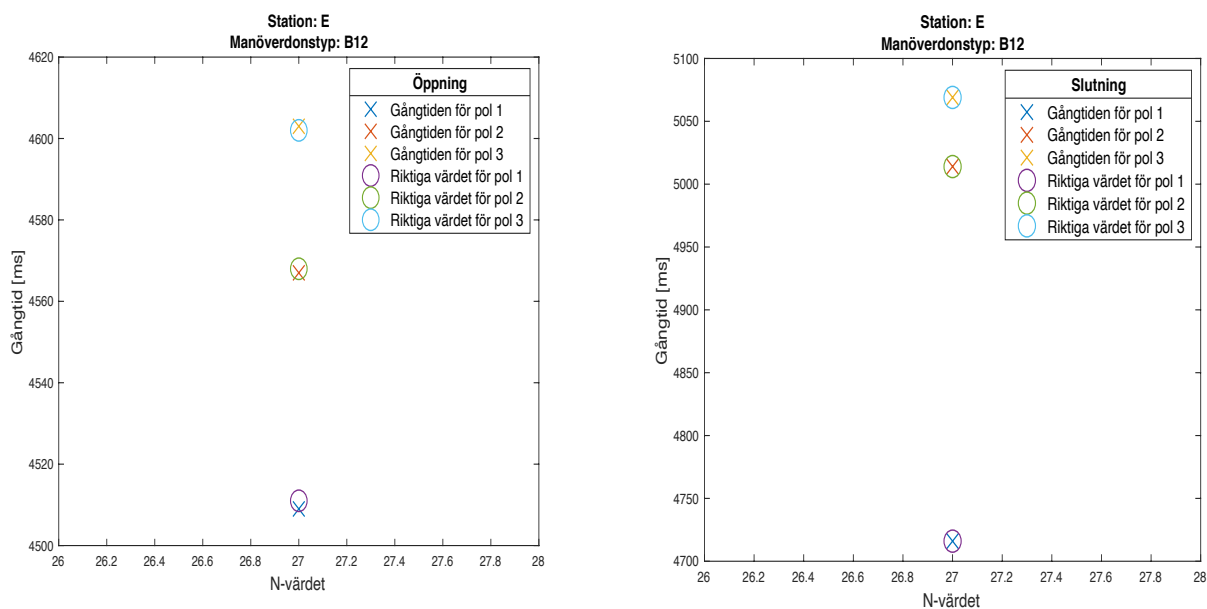
Figur 18: Den beräknade gångtiden matchar riktiga värdet med N-värdet 27 för manöverdonstyp EC.



Figur 19: Den beräknade gångtiden matchar riktiga värdet med N-värdet 27 för manöverdonstyp M3.



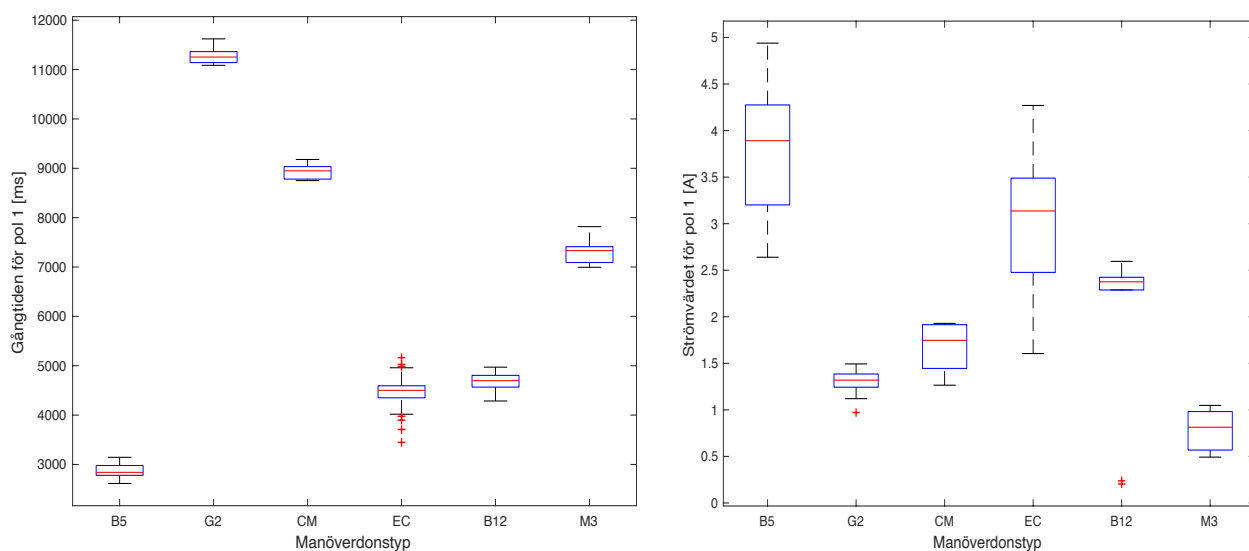
Figur 20: Den beräknade gångtiden matchar riktiga värdet med N-värdet 27 för manöverdonstyp EC.



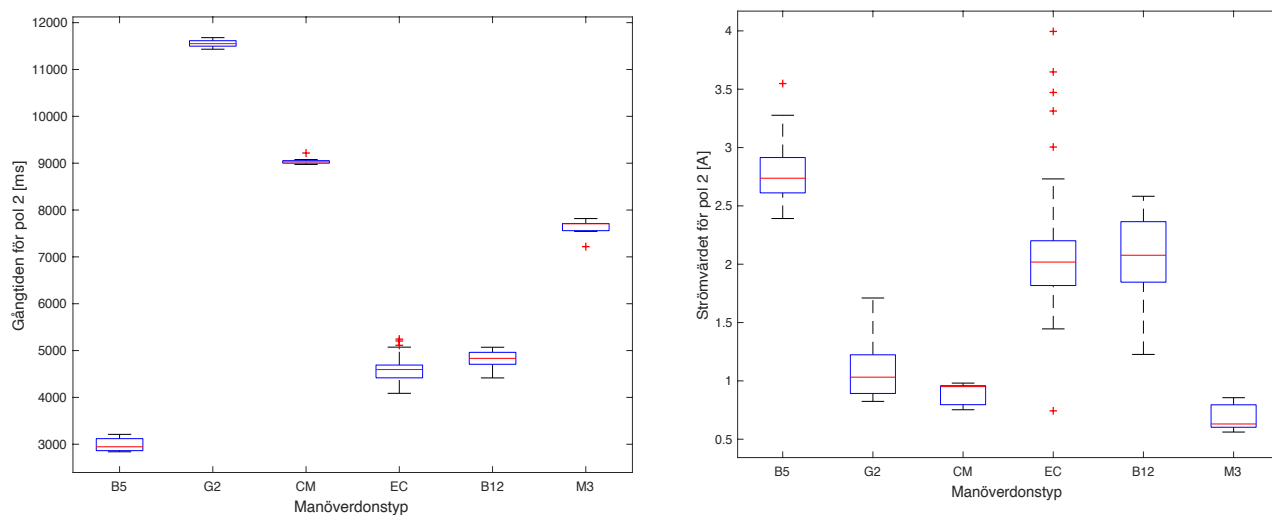
Figur 21: Den beräknade gångtiden matchar riktiga värdet med N-värdet 27 för manöverdonstyp B12.

9.2.2 Gångtid och strömvärde

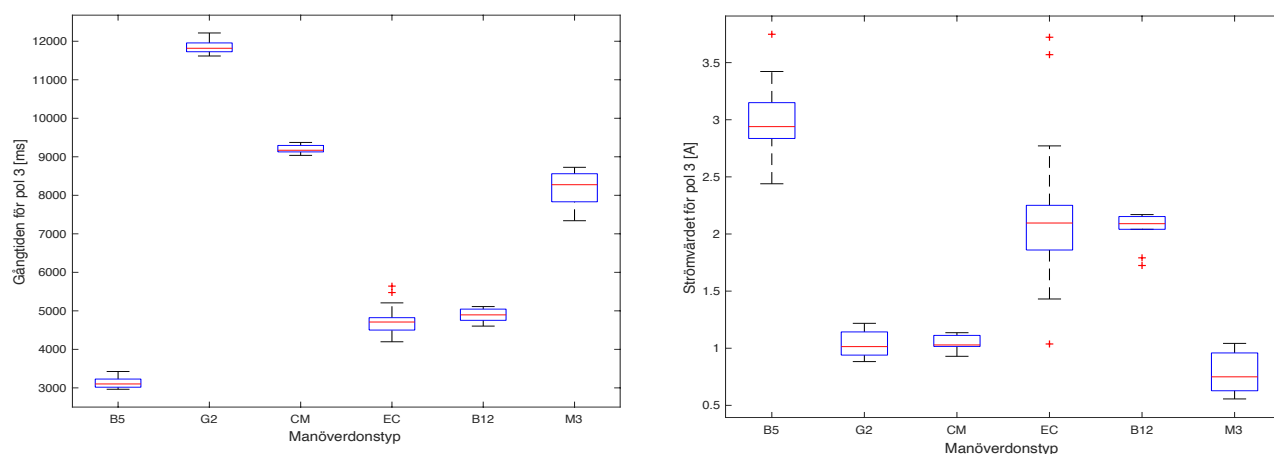
Efter att N-värde är bestämt kan gångtiden och strömvärdet automatisk tas fram för samtliga tillgängliga strömkurvor. Resultatet sparas i form av några tabeller under bilaga (Bilaga 1). Variationen för de insamlade gångtiderna och strömvärden för respektive pol visas i Figur 22-Figur 24. Figurerna visar hur gångtiden och strömvärdet varierar mellan varje pol med en liten avvikelse.



Figur 22: Spridning av gångtid och strömvärde för pol 1 per manöverdonstyp



Figur 23: Spridning av gångtid och strömvärde för pol 2 per manöverdonstyp.



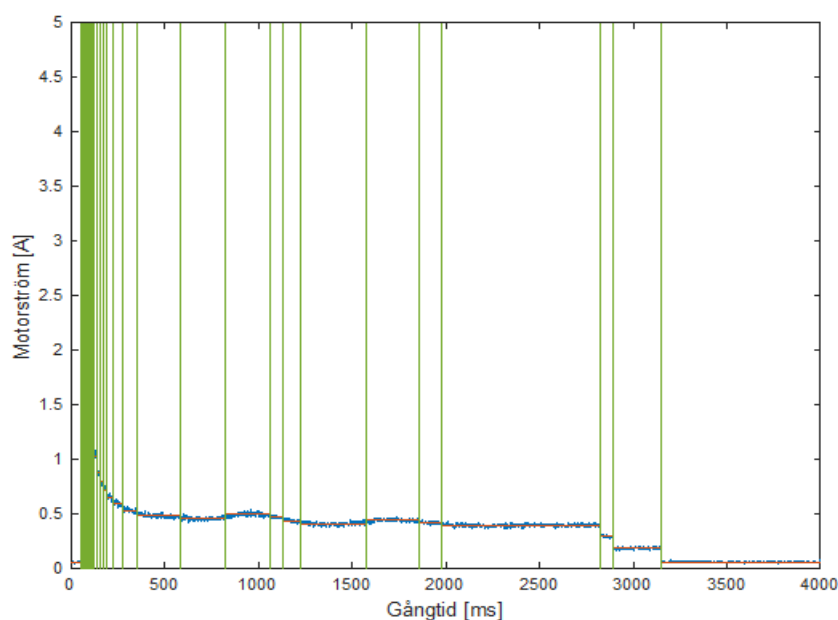
Figur 24: Spridning av gångtid och strömvärde för pol 3 per manöverdonstyp.

För att analysera resultatet, jämfördes det sanna värdet för gångtiden med den automatiskt beräknade för respektive strömkurva. Jämförelse ger både ett positivt och negativt resultat. Ett positivt resultat innebär att algoritmen hittade värden som matchar med det sanna värdet för gångtiden. Ett negativt resultat innebär att algoritmen inte kunde generera ett värde som matchar med det sanna värdet för gångtiden. Det negativa resultatet beror på en del faktorer som diskuteras längre ner i rapporten. Det finns inga gränser för vad som uppfattas som ett negativt respektive positivt resultat utan den bedömningen har genererats manuellt med egna uppfattningar. Den manuella bedömningen är alltså baserad på vad som anses vara orimliga mätvärden på grund av fel lokalisering av polerna på de framtagna graferna. Nedan redovisar Tabell 4 resultatet av jämförelsen.

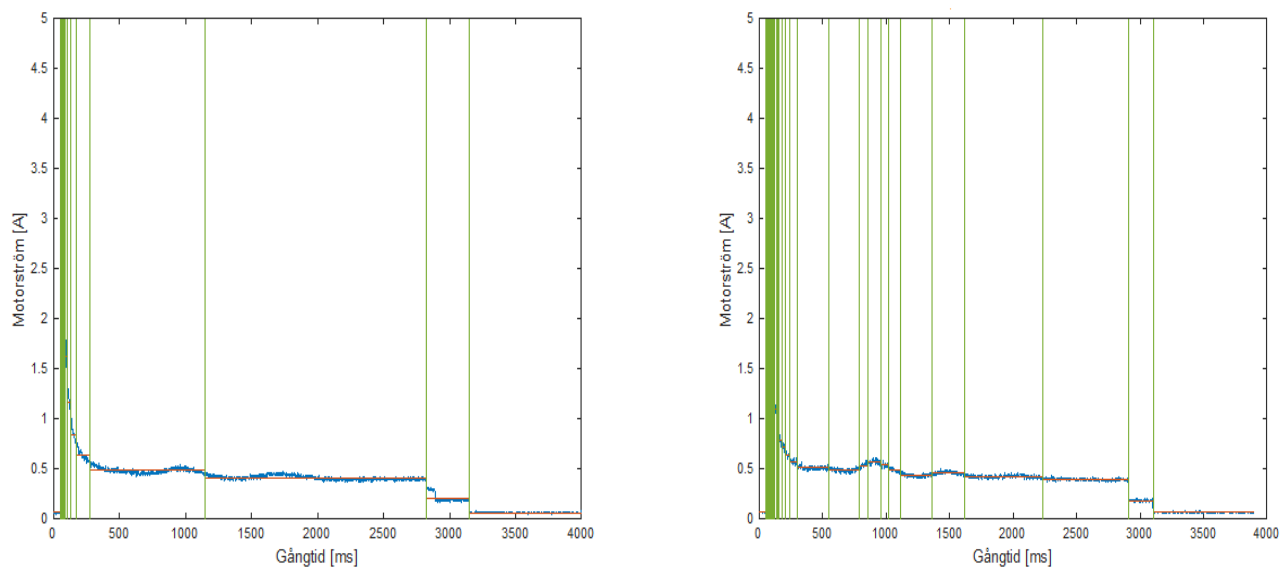
Tabell 4: Den presenterar resultat av jämförelse mellan riktiga värdet och beräknade värdet.

Station	Andel strömkurvor som träffat rätt (antal kurvor)		
A	CM: 78 % (7)	G2: 92 % (12)	B5: 85 % (29)
B		EC: 96 % (22)	
C		M3: 86 % (6)	
D		EC: 91 % (52)	
E		B12: 70 % (7)	

Figur 25 och Figur 26 visar ett positivt respektive negativt resultat. De positiva resultaten för de sanna värdena på gångtiderna för respektive pol med N-värdet 27. De negativa resultaten innebär att funktionen har lokaliserat fel gångtid för en eller flera poler.



Figur 25: Den genererade strömkurvan av algoritmen visar ett positivt resultat.



Figur 26: Den genererade strömkurvan av algoritmen visar ett negativt resultat. Funktionen har lokaliserat fel gångtid respektive två poler har exakt samma gångtid.

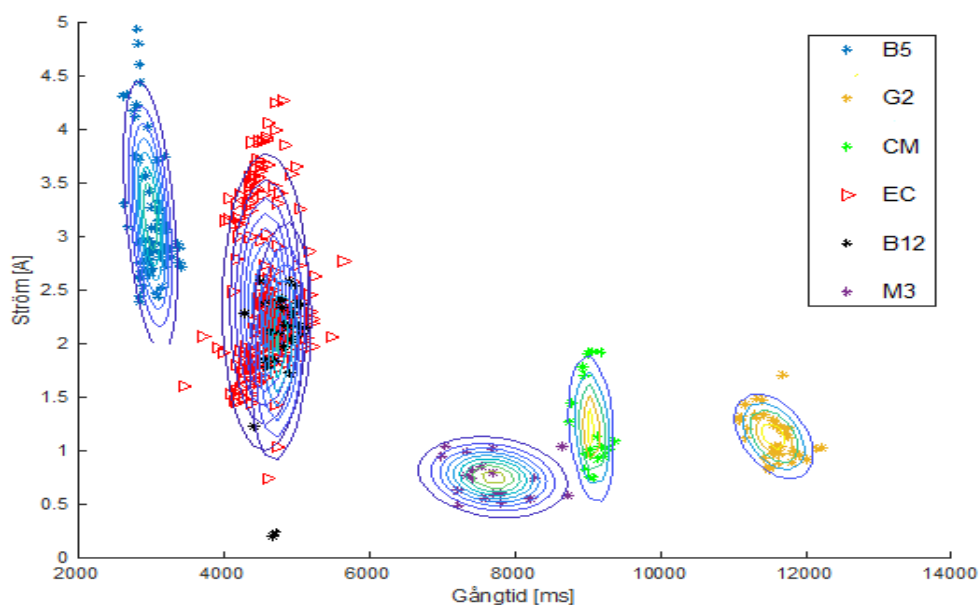
9.3 Automatisk klassificering

Klassificeringsmetoden har utförts och testmängden utvärderar metodens resultat genom att jämföra den automatiskt klassificerade typen med vad som är framtaget manuellt. Utvärderingen ger bara positivt eller negativt resultat, vilket betyder antingen att typen är klassificerad rätt eller fel. 100 % betyder att alla strömkurvorna i testmängden klassificerat rätt. I Tabell 5 visas resultat från klassificeringen i testmängden.

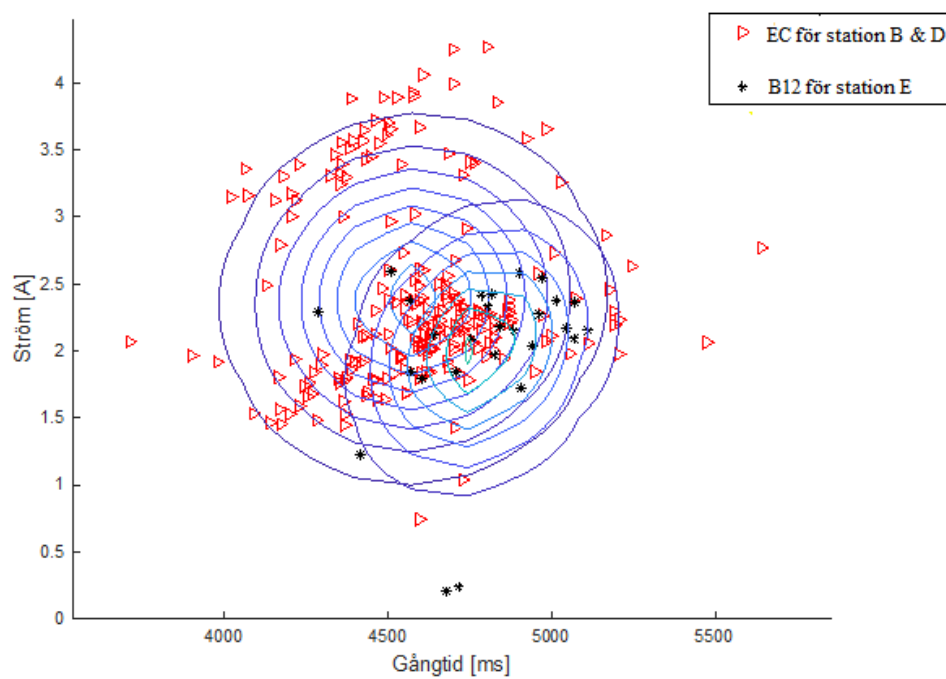
Tabell 5: Resultat av klassificeringsmetoden.

Station		Matlab resultat	
A	CM: 100 %	B5: 100 %	G2: 100 %
B	EC: 100 %		
C	M3: 14 %	CM: 86 %	
D	EC: 100 %		
E	B12: 0 %	EC: 100 %	

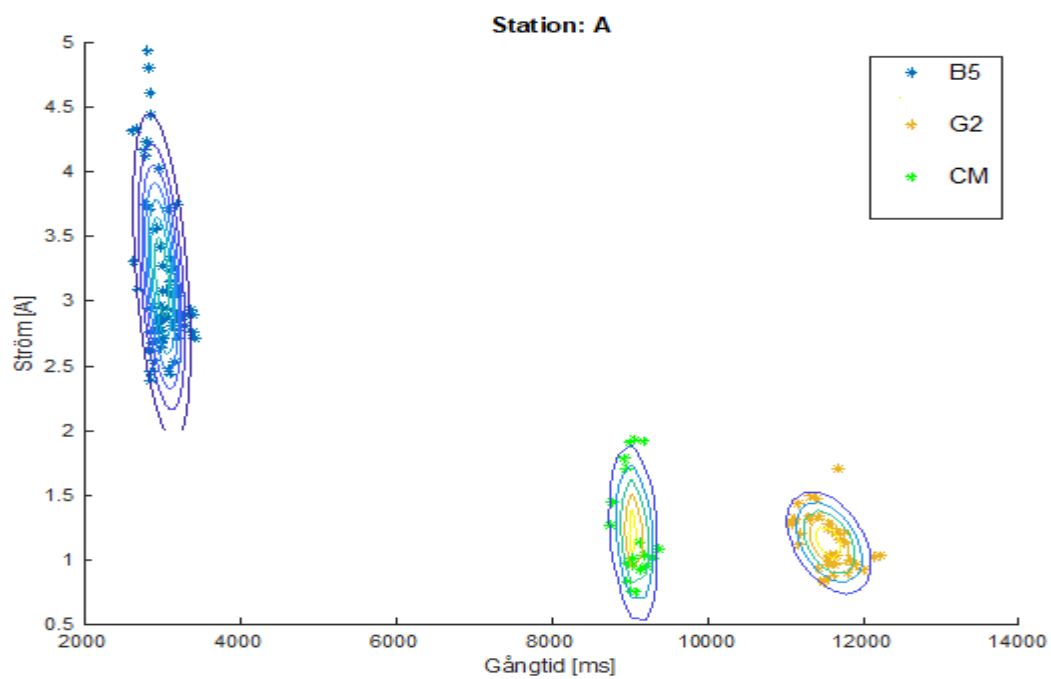
Utifrån tabellen framgår det att klassificeringsmetoden visar utmärkt resultat för typerna CM, G2, B5 och EC, men inte för M3 och B12. Anledning till detta är att typerna CM, G2, B5 och EC inte överlappar varandra, vilket gör att metoden har lätt att klassificera rätt. Medan mätvärden för B12 överlappar mätvärden för EC och därför visar algoritmen att station E har EC istället för B12 vilket bör vara tvärtom. Algoritmen klassificerar att endast 14 % visar M3 medan resten visas som CM och anledningen till det att det ligger relativt nära CM, vilket gör att metoden har svårt att klassificera rätt, se Figur 27 och Figur 28. Figur 29 och Figur 30 visar mätvärdena för manöverdonstyperna B5, CM och G2 för station A respektive manöverdonstypen EC för station D och B.



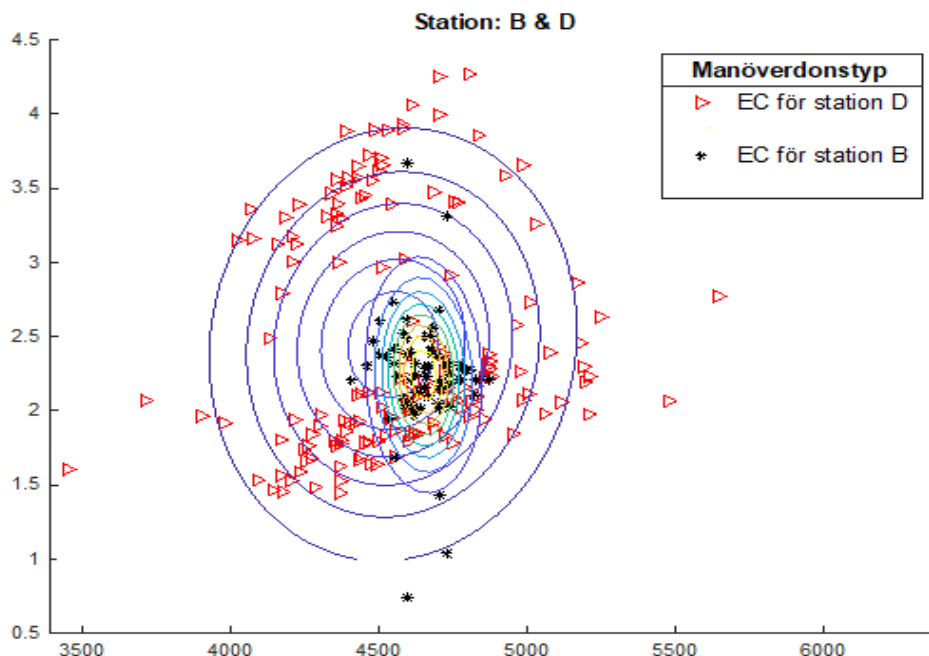
Figur 27: Fördelning av alla manöverdonstyper.



Figur 28: Överlappning av EC och B12.



Figur 29: Fördelning av manöverdonstyperna för station A.



Figur 30: Fördelning av manöverdonstyp EC för station B & D.

9.4 Automatisk tillståndsbedömning

Nedan visas resultatet på intervallerna för att avgöra om gångtiden och strömvärden för respektive manöverdonstyp behöver övervakas eller undersökas närmare, se Tabell 6 och Tabell 7.

Tabell 6: Bedömningsintervall av gångtiden för respektive manöverdonstyp.

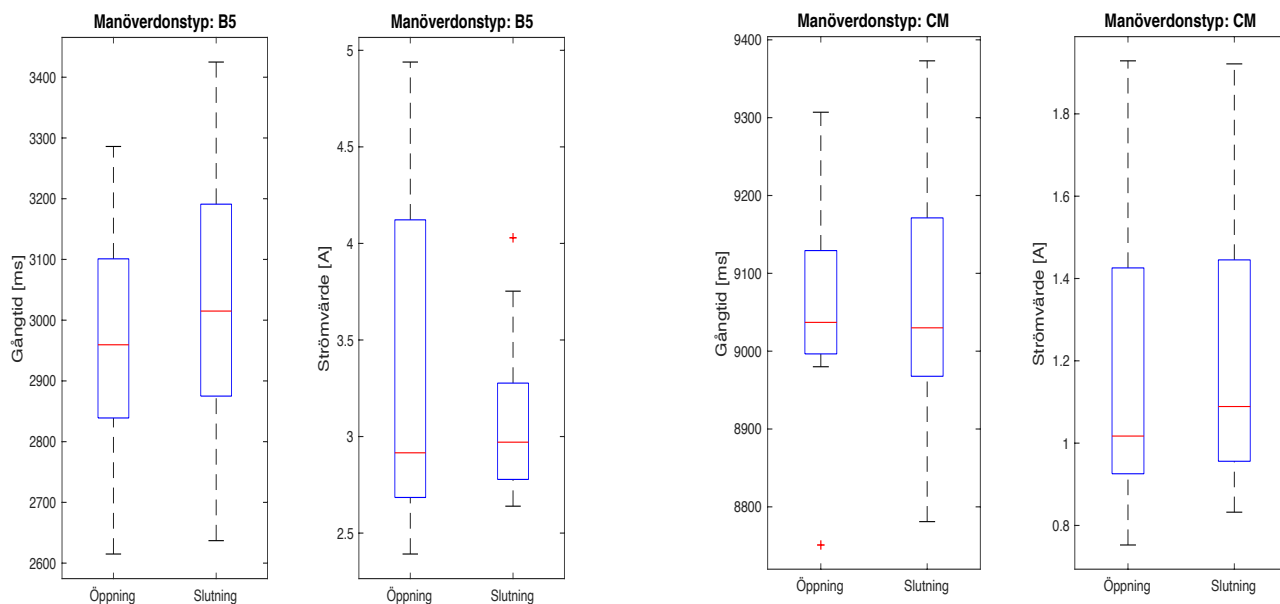
Manöverdonstyp	Gångtid [ms]		
	$\mu - 2\sigma \leq x \leq \mu + 2\sigma$	$\mu - 3\sigma \leq x < \mu - 2\sigma$ eller $\mu + 2\sigma < x \leq \mu + 3\sigma$	$\mu - 3\sigma > x$ eller $x > \mu + 3\sigma$
B5	[2632, 3360]	[2450, 2632) eller (3360, 3542]	$(-\infty, 2450)$, eller $(3542, \infty)$
CM	[8741, 9377]	[8582, 8741) eller (9377, 9536]	$(-\infty, 8582)$, eller $(9536, \infty)$
G2	[10997, 12125]	[10 715, 10 997) eller (12125, 12 407]	$(-\infty, 10 715)$, eller $(12 407, \infty)$
EC	[4022, 5130]	[3745, 4022) eller (5130, 5407]	$(-\infty, 3745)$, eller $(5407, \infty)$
M3	[6726, 8678]	[6238, 6726) eller (8678, 9166]	$(-\infty, 6238)$, eller $(9166, \infty)$
B12	[4313, 5181]	[4096, 4313) eller (5181, 5398]	$(-\infty, 4096)$, eller $(5398, \infty)$

Tabell 7: Bedömningsintervall för strömvärden för respektive manöverdonstyp.

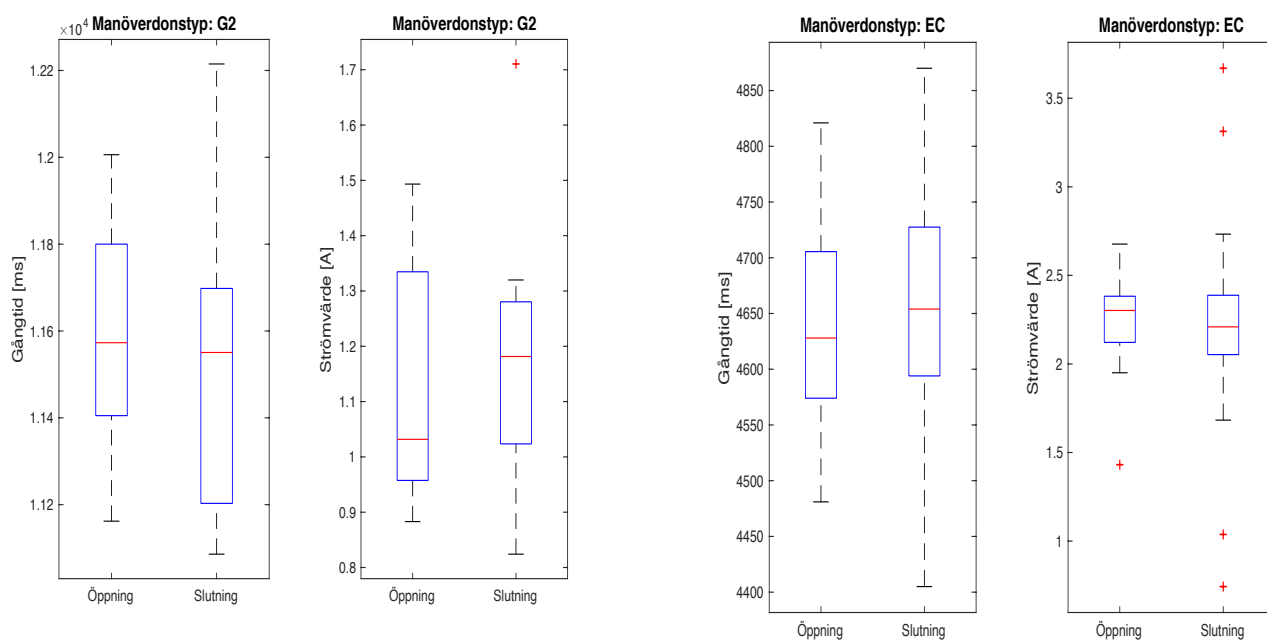
Manöverdonstyp	Strömvärde [A]		
	$\mu - 2\sigma \leq x \leq \mu + 2\sigma$	$\mu - 3\sigma \leq x < \mu - 2\sigma$ eller $\mu + 2\sigma < x \leq \mu + 3\sigma$	$\mu - 3\sigma > x$ eller $x > \mu + 3\sigma$
B5	[1.95, 4.43]	[1.33, 1.95) eller (4.43, 5.05)	$(-\infty, 1.33)$, eller $(5.05, \infty)$
CM	[0.45, 1.97]	[0.07, 0.45) eller (1.97, 2.35]	$(-\infty, 0.07)$, eller $(2.35, \infty)$
G2	[1, 1.6]	[0.85, 1) eller (1.6, 1.73]	$(-\infty, 0.85)$, eller $(1.73, \infty)$
EC	[1.05, 3.73]	[0.38, 1.05) eller (3.73, 4.4]	$(-\infty, 0.38)$, eller $(4.4, \infty)$
M3	[0.40, 1.12]	[0.22, 0.40) eller (1.12, 1.3]	$(-\infty, 0.22)$, eller $(1.3, \infty)$
B12	[1.86, 3.14]	[0.29, 1.86) eller (3.14, 3.71]	$(-\infty, 0.29)$, eller $(3.71, \infty)$

Resultatet på bedömning för tillståndsp parametrar samlades i Tabell 8 under bilagan (Bilaga 2). Utöver det kan strömkurvan undersökas för att jämföra formen genom att plotta alla strömkurvor för manöverdonstypen i en och samma figur, se Figur 34-Figur 40 under bilagan (Bilaga 3). Figurerna illustrerar tydligt hur gångtiden för varje strömkurva varierar mellan strömkurvorna vid öppning och slutning, samt visar hur kurvans form ser ut.

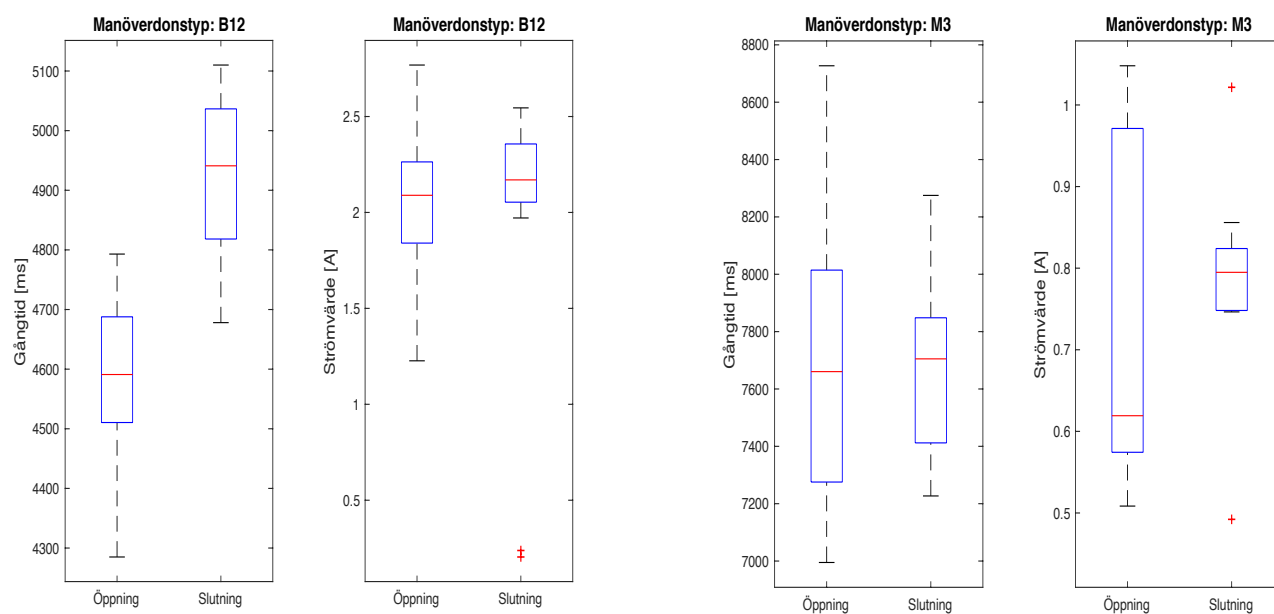
Vid en automatisk klassificering kan inte algoritmen avgöra om strömkurvan är en öppning eller slutning. Mätvärdena för gångtid och strömvärde vid öppning och slutning har därför jämförts, se Figur 31-Figur 33. Jämförelse visar att alla manöverdonstyperna har ungefärligt samma värde.



Figur 31: Den beräknade gångtid och strömvärde för B5 och CM manöverdonstyp vid öppning och slutning.



Figur 32: Den beräknade gångtid och strömvärde för G2 och EC manöverdonstyp vid öppning och slutning.



Figur 33: Den beräknade gångtid och strömvärde för G2 och EC manöverdonstyp vid öppning och slutning.

10. Diskussion

Detta projekt undersökte fränkskiljare som har en spänning på 400 kV. Anledningen är att utrustningen på Svenska kraftnät endast har registrerat strömkurvor från fränkskiljare med den nämnda spänningen. Under projektet studerades strömkurvor utifrån flera träningsmängder och tester. Fördelningen mellan träningsmängden och testmängden är 80 % respektive 20 %, vilket innebär att 80 % av strömkurvorna är endast för träning medan de resterande 20 % är för att testa de framtagna parametrarna. Den främsta anledningen till denna fördelning är för att ha en stor del träningsmängd samtidigt som man har tillräckligt mycket material för att testa parametervärdena.

För att bedöma tillståndsp parametrarna, gångtid och strömvärde, skapades en identifieringsmetod som tog fram automatiskt värdet för gångtiden från de insamlade strömkurvorna. Resultatet av identifieringsmetoden utvärderas genom att kolla på andelen positiva resultat i Tabell 4. Resultatet tyder på att metoden som har använts för att beräkna gångtiden inte lyckas träffa varje gång det sanna värdet på gångtiderna. Felen har två olika anledningar.

Den första anledningen är att två poler har exakt samma gångtid som i Figur 26, och den andra anledningen är att skillnaden mellan två polers gångtid är ett tiotal millisekunder, vilket gör det svårt för metoden att identifiera gångtiden. För att undvika de sistnämnda har högre N-värden än 27 testats. Resultatet med ett högre N-värde har visat att polernas gångtid för strömkurvorna identifierades korrekt. Ett högre N-värde har dock inte valts eftersom det kan leda till identifiering av en oönskad händelse mellan eller efter polernas sluttider, se Figur 41. En annan anledning till att inte välja ett högre N-värden är de fall då strömkurvan har ändrat sin kurvform och metoden skulle då missa att detektera dessa förändringar. Därför har 27 valts då det är det minsta värde på N som klarar av att lokalisera det sanna värdet på gångtiden för alla manöverdonstyper.

Metoden för att identifiera vilken strömkurva som tillhör vilken manöverdonstyp visas i Tabell 5. Resultatet visar att typerna G2, CM, B5 och EC kunde klassificeras rätt utan ett enda fel. Detta är för att mätvärdena för respektive manöverdonstyp är fördelade över olika områden, se Figur 27. Manöverdonstyperna B12 och M3 kunde inte klassificeras rätt, när de läggs till med de andra typerna. Detta eftersom mätvärdena för B12 överlappar med mätvärdena i EC och M3 samt ligger nära CM:s mätvärden, vilket det gör svårt för metoden att klassificera vilket mätvärde som tillhör respektive typ, se Figur 27 och Figur 28. För att lösa problemet kan varje klassificering utföras enskilt på varje station och då bara för de manöverdonstyper som finns i den stationen.

Vidare användes de automatiskt beräknade gångtiderna och strömvärdena för respektive manöverdonstyp för att bedöma tillståndet på fränkskiljarindividen. Tillståndsbedömningen använde diagnosprocessen för att utvärdera ifall strömkurvans tillståndsp parametrar hamnar i kategorierna värde ok (grön), håll under uppsikt (gul) eller undersök närmare (röd). Om någon av tillståndsp parametrarna bedöms hamna i det gula området upprepade gånger eller en gång i det röda området bör strömkurvan bedömas visuellt för att avgöra om fränkskiljaren behöver undersökas av en apparatspecialist.

Resultatet visar även att gångtiderna och strömvärdena mellan olika strömkurvor för samma manöverdonstyp har en variation på några millisekunder vilket kan antas vara försumbart. Samtidigt har vissa individer en enda strömkurva vilket gör det svårt att bedöma tillståndet på fränkskiljarindividen. En tidigare studie som utförts av STRI visade ett liknande resultat där variationen av gångtid och strömvärde på ett tiotal millisekunder inte hade någon större betydelse. Utifrån det bedöms det som onödigt att undersöka skillnaden av gångtiderna och strömvärdena mellan olika fränkskiljarindivider inom samma manöverdonstyp.

Man har inte tagit hänsyn till tidpunkterna för de insamlade strömkurvorna, delvis för enkelhetens skull men även för att skillnaden i strömkurvorna från olika årstider är försumbara. Utöver detta så har de strömkurvorna som tagits fram endast jämförts med varandra och ingen strömkurva har jämförts med strömkurvor från fabriks- och drifttagningsmätningar.

11. Slutsats

Målet med examensarbetet var att analysera strömkurvor från olika stationer, för att detektera automatiskt avvikelser i både gångtid och strömvärde då frångiljare manövrerats. I denna studie har inga mekaniska fel på frångiljare hittats och det gör det svårt att avgöra om variationen av mätvärdena mellan varje manöver ger ett tydligt svar om avvikelser i både gångtid och strömvärde beror på mekaniska fel. Begränsningen av det tillgängliga materialet i studien ledde till en försiktighet med att dra slutsatser då fler strömkurvor för varje frångiljarindivid behöver samlas in. Utöver det utfördes automatisk identifiering av manöverdonstyp utifrån de insamlade strömkurvorna. Resultatet visade att det går lätt att identifiera vilken frångiljartyp som har manövrerats. Med hjälp av det kan man dra slutsatsen att automatisk identifiering av manöverdonstyp undviker komplicerade sensorinstallationer i stationen.

Det rekommenderas som ett framtida projekt att fortsätta med att samla in fler strömkurvor och att analysera tillståndsparmetrarna för varje frångiljarindivid för att kunna bedöma tillståndet, samt att installera fler strömsensorer i andra stationer. I en fortsatt studie skulle även kurvformen kunna utvärderas automatiskt, men mer data behövs för att göra en sådan studie. Utöver detta så kan man titta närmare på strömkurvorna och hur de skiljer sig för olika årstider och temperaturer.

Litteraturförteckning

- [1] P. Westerlund, "Condition measuring and lifetime modelling of disconnectors, circuit breakers and other electrical power transmission equipment," . Doktorsavhandling, Digitala Vetenskapliga Arkivet, Kungliga Tekniska högskolan, Stockholm, 2017.
- [2] W. Eriksson, "Tillståndsovervakning av fjärrstyrda distribuerade fränskiljare i mellanspänningsnätet," . Examensarbete, Digitala Vetenskapliga Arkivet, Uppsala Universitet, Uppsala, 2019. [Online]. Available: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1323469/FULLTEXT01.pdf>.
- [3] Svenska kraftnät, "Om oss," mars 2020. [Online]. Available: <https://www.svk.se/om-oss/verksamhet/?id=865>.
- [4] P. Westerlund, "Condition measuring and lifetime modelling of electrical power transmission equipment," . Licentiatuppsats, Digitala Vetenskapliga Arkivet, Kungliga Tekniska högskolan, Stockholm, 2015.
- [5] A. Lindskog, "Automatisk datainsamling för förvaltningsändamål," RISE Research Institutes of Sweden AB, Växjö, 2017.
- [6] Svenska kraftnät, "Elavbrottet 23 september 2003- händelser och åtgärder," Tekniska riktlinjer, Svenska kraftnät, Stockholm, 2003.
- [7] L. Westling, "Blackout," Energimyndigheten, Stockholm, 2004.
- [8] Uniper, "Svängmassa," [Online]. Available: <https://www.uniper.energy/sverige/go-electric/svaengmassa>.
- [9] U. Karlson, "Analys av åldring hos fränskiljare Strömberg OJYW," . Kandidatexamensarbete, Digitala Vetenskapliga Arkivet, Kungliga Tekniska högskolan, Stockholm, 2017. [Online]. Available: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1142962/FULLTEXT01.pdf>.
- [10] B. Uday och B. Mayuresh, Power System-II, First Edition red., Malout: Technical Publications, 2009, p. 26.
- [11] Svenska kraftnät, "Fränskiljare i Utomhusutförande 12-420 kV," Svenska kraftnät, Stockholm, 2013.
- [12] COELME, "Disconnectors," April 2020. [Online]. Available: https://www.coelme-egic.com/en/prod/23/Pantograph_%28VR2D%29/. [Använd 2020].
- [13] COELME, "Disconnectors," April 2020. [Online]. Available: https://www.coelme-egic.com/en/prod/20/Centre-break_%28CBD%29/. [Använd 2020].
- [14] COELME, "Disconnectors," Januari 2019. [Online]. Available: https://www.coelme-egic.com/en/prod/21/Double-break_%28TCB_and_STC%29/. [Använd 2020].
- [15] Q. Zhibin, R. Jiangjun, H. Daochun och H. Yuchen , "Mechanical fault diagnosis of high voltage outdoor disconnector based on motor current signal analysis," i *POWERCON*, Chengdu, 2014.
- [16] E. Petersson, "Fortsatta mätningar av motorström vid manövrering av fränskiljare i 400 kV ställverk," STRI, Stockholm, 2015.
- [17] "My Blog," Februari 2018. [Online]. Available: <http://pravacepost.blogspot.com/2018/02/33-kv-substation-sample-drawing.html>.
- [18] MathWorks, "findchangepts," [Online]. Available: <https://www.mathworks.com/help/signal/ref/findchangepts.html>.
- [19] L. Wasserman, All of Statistics: a concise course in statistical inference, New York: Springer, 2003.
- [20] Göteborg Energi, "Vårt energisystem," [Online]. Available: <https://www.goteborgenergi.se/om-oss/vad-vi-gor/vart-energisystem/sa-funkar-elnetet>. [Använd Oktober 2019].

12. Bilagor

Bilaga 1 Registreringar

Station	Date	ManoverdonTyp	AlarmText	OperationTimePole_1	OperationTimePole_2	OperationTimePole_3	CurrentPole_1	CurrentPole_2	CurrentPole_3
C	2019-06-18 05:13:33.136	M3	Open	3940	7818	8655	0.508449786803711	0.607696769097285	1.04251355785554
C	2019-06-18 05:14:19.919	M3	Open	7332	7606	8727	0.992860059725493	0.561295784550803	0.587458492019941
C	2019-06-18 05:13:57.515	M3	Open	7046	7715	8211	1.0480197764506	0.600639577650528	0.55623167396049
C	2019-06-18 05:14:34.650	M3	Open	6995	7219	7340	0.94952515231686	0.630656947550091	0.770542321900335
C	2019-06-19 07:09:56.647	M3	Close	7412	7706	8275	0.813429779985586	0.794897836841362	0.749688430165036
C	2019-06-19 07:09:56.680	M3	Close	7412	7706	8275	0.746406725679416	0.794897836841362	0.748740841400784
C	2019-06-19 07:10:19.679	M3	Close	7227	7544	7705	0.492184606798839	0.855917839942934	1.02165039224884

Station	Date	ManoverdonTyp	AlarmText	OperationTimePole_1	OperationTimePole_2	OperationTimePole_3	CurrentPole_1	CurrentPole_2	CurrentPole_3
E	2019-08-28 14:15:33.281	B12	Open	4420	4515	4605	2.19060577137618	1.83831146472928	2.0257693052892
E	2019-08-28 11:12:50.603	B12	Open	4509	4567	4603	2.59516249809977	1.84637343118415	1.79132529455554
E	2019-08-28 14:15:50.722	B12	Open	4285	4415	4639	2.28773491438782	1.22667230440543	2.1200040627037
E	2019-08-28 11:13:12.310	B12	Open	4567	4707	4754	2.37546515913149	1.84612305965204	2.0894117395727
E	2019-08-28 11:12:26.847	B12	Open	4591	4704	4793	2.76833981062507	1.56653663988304	2.11598598751522
E	2019-08-28 11:06:13.373	B12	Close	4970	5070	5110	2.5450618284089	2.36469263368148	2.15259572474459
E	2019-08-28 10:58:10.836	B12	Close	4678	4961	5044	0.204143895833888	2.27268109634474	2.16970639871989
E	2019-08-28 10:50:06.124	B12	Close	4716	5014	5069	0.238000822538419	2.37417614810379	2.09088293520356
E	2019-08-28 14:09:47.459	B12	Close	4805	4841	4941	2.33393696261199	2.18238183261975	2.04111388459402
E	2019-08-28 14:11:12.354	B12	Close	4816	4825	4883	2.42408796098759	1.97123718983051	2.15701557153313

Station	Date	ManoverdonTyp	AlarmText	OperationTimePole_1	OperationTimePole_2	OperationTimePole_3	CurrentPole_1	CurrentPole_2	CurrentPole_3
B	2019-08-19 05:31:22.980	EC	Open	4599	4713	4878	2.36718864835045	2.17531784029596	2.40183203617595
B	2019-08-20 17:21:09.108	EC	Open	4680	4702	4705	2.3854845689813	2.67675502119565	1.43109926604839
B	2019-08-19 05:32:35.386	EC	Open	4524	4676	4707	2.3627699221077	2.4204370051879	2.1419406304552
B	2019-08-19 05:32:53.408	EC	Open	4502	4702	4737	2.38119436213265	2.36429250238391	2.23878694439543
B	2019-08-20 17:21:57.145	EC	Open	4681	4719	4737	2.5598628442524	2.30191317645074	2.02135733634741
B	2019-08-19 05:31:42.803	EC	Open	4502	4580	4667	2.6057751618856	2.08410646432682	2.09688691174577
B	2019-08-19 05:32:06.387	EC	Open	4481	4534	4821	2.46653664955809	1.95018216319445	2.10532102176555
B	2019-06-17 05:14:59.933	EC	Open	4593	4621	4628	2.61601908792714	2.24511660991379	2.01909669052795
B	2019-08-19 05:33:05.198	EC	Open	4579	4622	4627	2.52277239689977	2.31744141856061	2.01363150679825
B	2019-06-17 05:15:11.631	EC	Open	4551	4659	4775	2.31791096790097	2.22696874229593	2.30189329874827
B	2019-08-20 17:22:20.115	EC	Open	4559	4628	4733	2.23165232008643	2.12703931832884	2.31530450544935
B	2019-08-20 17:11:42.314	EC	Close	4593	4605	4702	2.38101264123156	2.06028079454474	2.19905840972449
B	2019-08-22 15:45:41.554	EC	Close	4666	4701	4774	2.30246688043456	2.01006309027778	2.20843610040681
B	2019-08-20 17:11:16.922	EC	Close	4546	4554	4810	2.73282810600482	1.68270382636187	2.27519992209268
B	2019-08-22 15:44:20.558	EC	Close	4459	4589	4699	2.30131895498126	2.03841648240148	2.04515892485804
B	2019-08-20 17:10:34.923	EC	Close	4405	4656	4779	2.20385752759748	2.28309078529826	2.28822611247728
B	2019-08-22 15:43:15.362	EC	Close	4656	4796	4824	2.500799689655	2.27283035020787	2.2101684437942
B	2019-08-22 15:44:49.800	EC	Close	4593	4606	4617	2.48686710685343	2.20378158333333	1.99307843808705
B	2019-08-22 15:45:12.157	EC	Close	4595	4596	4870	3.66925393319572	0.743028858636365	2.20802472259216
B	2019-06-19 11:32:33.837	EC	Close	4673	4727	4728	2.50215022492123	3.31292296818181	1.03734671992456
B	2019-08-20 17:10:23.115	EC	Close	4549	4652	4713	2.41916303210176	2.1543332058933	2.17038690042538
B	2019-06-19 11:32:01.026	EC	Close	4605	4638	4790	2.39427749568301	2.01616642892157	2.27345074808459
B	2019-08-22 15:42:39.961	EC	Close	4552	4617	4736	2.41368488573448	1.96999294905303	2.18340269105392

Station	Date	ManoverdonTyp	AlarmText	OperationTimePole_1	OperationTimePole_2	OperationTimePole_3	CurrentPole_1	CurrentPole_2	CurrentPole_3
A	2019-02-28 02:32:06.058	G2	Open	11419	11648	12006	1.33469698731434	1.04037542100703	0.922260615637689
A	2019-04-02 16:36:28.995	G2	Open	11315	11581	11907	1.31884358991684	1.03874751234667	0.957492823467136
A	2019-04-06 07:00:45.032	G2	Open	11305	11565	11863	1.33684529048746	1.02472963144133	0.957868923237609
A	2019-05-18 18:01:43.565	G2	Open	11162	11433	11617	1.43362780679722	0.933885672854729	0.883022326028534
A	2019-06-20 12:47:14.853	G2	Open	11322	11548	11800	1.49328913705944	0.967805889760322	0.896441817457702
A	2019-04-02 16:15:17.115	G2	Open	11405	11661	11836	1.47355772289783	1.20788216090489	0.995816314920518
A	2019-04-06 07:01:42.876	CM	Open	8751	8980	9037	1.26483141651391	0.980925755416046	1.01719665042159
A	2019-01-26 13:44:50.888	CM	Open	7539	8866	8969	0.438912083568876	1.02095605580978	0.768790532595029
A	2019-02-27 20:49:48.300	CM	Open	6895	9002	9283	1.12822119375491	1.75105427858779	1.07534691431539
A	2019-04-01 06:36:03.792	CM	Open	7169	9070	9307	1.05422851449553	1.82356578039555	1.03999633454118
A	2019-05-18 06:39:19.459	B5	Open	2937	3094	3107	3.34044693782735	2.71548943037975	2.38870074144089
A	2019-06-11 05:34:08.836	B5	Open	2943	3079	3103	3.56871224101845	2.47950365565694	2.43957369025825
A	2019-06-20 07:28:09.238	B5	Open	2902	3094	3123	3.31467604653055	2.62034344580311	2.48557602882872
A	2019-04-01 06:49:58.240	B5	Open	3105	3211	3267	3.32130038840312	3.0687332597229	2.88648354866949
A	2019-04-05 22:55:58.283	B5	Open	3089	3191	3229	3.34054147658226	2.95832955594971	2.74640992539709
A	2019-05-08 05:10:44.040	B5	Open	3090	3160	3286	3.72209499953129	2.53467425063769	2.81392878602421
A	2019-03-26 09:29:04.878	B5	Open	2670	2937	2989	4.33456232801887	2.68449329292805	2.85863883751622
A	2019-09-11 06:32:39.299	B5	Open	2615	2898	2964	4.31469290731913	2.54043958921589	2.85990432040269
A	2019-03-26 09:29:46.168	B5	Open	2802	2867	3142	4.23624707861302	2.61151327717391	3.24975157499462
A	2019-09-11 06:32:21.557	B5	Open	2774	2839	3101	4.16962151786679	2.62473943402177	3.14959939437124
A	2019-03-26 09:29:46.168	B5	Open	2802	2867	3142	4.23624707861302	2.61151327717391	3.24975157499462
A	2019-09-11 06:32:21.557	B5	Open	2774	2839	3101	4.16962151786679	2.62473943402177	3.14959939437124
A	2019-03-18 06:38:54.913	B5	Open	2849	3010	3064	4.4404794532254	2.71061842166106	3.07995497742581
A	2019-04-08 10:21:05.295	B5	Open	2790	2955	3020	4.12213057532322	2.79885545878514	2.94504561663753
A	2019-01-26 12:57:36.966	B5	Open	2182	2856	3052	2.58808045742641	5.30998793371966	2.93552727892287
A	2019-04-02 16:32:17.593	B5	Open	2835	2852	3040	4.80396874928243	2.45402024338625	3.70976855164878
A	2019-05-08 09:21:52.686	B5	Open	2818	2860	2989	4.93926587446065	2.3916267436941	2.78043998543381
A	2019-04-02 16:12:09.657	B5	Open	2846	2976	3133	4.1030453782153	2.85596066216543	2.81080332243035
A	2019-02-27 20:52:18.832	G2	Close	11203	11545	12147	1.23917137669814	1.02351242959332	1.03264329708313
A	2019-04-01 06:39:23.662	G2	Close	11176	11556	12215	1.12037062502109	1.28290688329487	1.03264329708313
A	2019-04-05 22:23:44.795	G2	Close	11121	11502	11763	1.31990141812687	0.84027124834639	1.12909394651259
A	2019-05-18 06:17:49.099	G2	Close	11086	11489	11698	1.29444388357264	0.824137881862332	1.1565366400354
A	2019-06-11 05:09:54.280	G2	Close	11095	11494	11641	1.28034185807846	0.850320823543923	1.21812030965524
A	2019-04-01 06:52:08.910	G2	Close	11622	11680	11757	0.971116741359809	1.71046459270969	1.20992689178454
A	2019-04-05 22:22:02.039	CM	Close	8781	9030	9127	1.4452375835336	0.958513753918368	1.13590965481156
A	2019-01-26 13:44:26.229	CM	Close	7515	8920	9020	0.533807542964245	1.03857527216772	0.794081680779932
A	2019-01-26 12:57:07.225	CM	Close	7511	9179	9373	0.961860765581913	1.89200584289992	1.2791543889323
A	2019-02-28 02:33:33.283	CM	Close	8966	9026	9192	1.70944805865972	0.955109998269854	1.0367196350606
A	2019-06-13 12:30:09.911	B5	Close	2993	3197	3391	2.63934604438078	2.71454179500939	2.75788409693435
A	2019-06-20 12:13:17.590	B5	Close	2999	3203	3425	2.67230373911209	2.77793121031937	2.71782714509814
A	2019-04-02 16:18:33.408	B5	Close	2704	3122	3332	-0.347367272752461	6.11303245124476	2.92447753904063
A	2019-04-06 06:39:12.500	B5	Close	3145	3183	3374	3.04787846662001	2.88478574499199	2.93441888833636
A	2019-05-08 09:17:04.606	B5	Close	3130	3203	3401	2.93467298228388	3.09295468548146	2.90013663785746
A	2019-03-26 16:53:30.952	B5	Close	2689	2870	3015	3.09279262795747	2.97918730813639	3.08246175979694
A	2019-09-11 11:38:04.264	B5	Close	2637	2859	2980	3.30993059285542	2.75964130830516	2.96237803848399
A	2019-03-26 16:53:02.797	B5	Close	2565	2911	3224	-0.324336801154354	6.45727199999309	3.87176880568681
A	2019-09-11 11:36:46.899	B5	Close	2875	2892	3191	2.67843709080109	3.54855831972222	3.74821306386764
A	2019-03-20 19:19:06.477	B5	Close	2786	3027	3060	3.75281738785559	2.86704491225085	3.08172265361787
A	2019-04-08 13:58:55.428	B5	Close	2778	3001	3026	3.78370892137718	2.88612789922734	2.96450287790507
A	2019-02-27 20:47:39.561	B5	Close	2492	2862	3001	0.0345718083109201	6.62172877880725	3.54025360510866
A	2019-04-01 06:35:38.228	B5	Close	2845	2859	2988	3.71422281391384	2.94416196602564	3.42237054538551
A	2019-05-08 05:02:13.517	B5	Close	2816	2861	2983	3.5670549280874	3.12182805938494	3.33644293056385
A	2019-04-06 07:01:19.756	B5	Close	2965	3015	3114	4.02919881464479	3.27667489563726	3.24206553226048
A	2019-04-01 06:53:22.996	B5	Close	2987	3109	3221	3.30946279311247	3.56926216247572	3.46078745439895
A	2019-04-02 16:30:29.606	CM	Close	7325	8931	9148	1.08585942924927	1.56222554966929	1.09383368514564

Station	Date	ManoverdonTyp	AlarmText	OperationTimePole_1	OperationTimePole_2	OperationTimePole_3	CurrentPole_1	CurrentPole_2	CurrentPole_3
D	2019-03-25 06:26:32.345	EC	Open	4801	4824	4870	4.26991349186688	2.1662730212766	2.28173372108982
D	2019-09-16 05:16:04.901	EC	Open	4493	4516	4603	3.61487743782691	1.83082141761363	2.00315288162878
D	2019-09-16 05:16:04.901	EC	Open	4493	4516	4603	3.61487743782691	1.83082141761363	2.00315288162878
D	2018-12-01 06:14:35.085	EC	Open	4501	4554	4570	3.70178259769949	1.68796784449892	2.21750230572594
D	2019-03-27 08:56:16.725	EC	Open	4750	4775	4821	3.41040078205394	2.02058367471359	2.00415274821641
D	2019-05-20 05:26:16.363	EC	Open	3709	4363	4393	2.06837606885173	1.62362364104901	3.56967005515608
D	2019-09-16 05:16:17.721	EC	Open	4336	4367	4385	3.46494335529365	1.5261136796875	1.8598066734346
D	2019-09-16 05:16:17.721	EC	Open	4336	4367	4385	3.46494335529365	1.5261136796875	1.8598066734346
D	2019-03-27 08:58:01.743	EC	Open	4483	4682	4825	3.89109950188849	2.14729504861112	2.09764751668621
D	2019-05-20 05:24:39.144	EC	Open	4179	4370	4431	3.3026456491723	1.80201358068717	1.6671140721535
D	2018-12-01 06:14:46.083	EC	Open	4959	5112	5207	2.57869559344873	2.05584401826299	2.23131887995907
D	2019-03-27 08:56:39.610	EC	Open	4737	4810	4972	2.91430111951538	2.06141305587797	2.26319546762266
D	2019-05-20 05:26:50.942	EC	Open	4169	4212	4272	2.79198430082794	1.93766114511923	1.84134927446678
D	2019-03-25 06:26:44.093	EC	Open	4697	4761	4999	4.25199862853878	2.06336221380753	2.11232089765413
D	2019-03-25 06:26:59.241	EC	Open	4984	5055	5188	3.65490332067662	1.97927941547471	2.29661617599284
D	2018-12-01 06:15:18.238	EC	Open	3899	4424	4698	1.96459104320424	3.64827282211198	2.42962918374048
D	2019-03-27 08:56:05.227	EC	Open	4383	4415	4714	3.51360432374554	1.91293957583334	2.38214073311607
D	2019-05-20 05:27:01.740	EC	Open	4606	4745	4984	2.60358157150619	1.78156341473213	2.07355385349445
D	2018-10-15 06:27:05.472	EC	Open	4353	4420	4865	3.32629660854779	2.10446996631824	2.30282237092499
D	2019-03-25 06:25:24.578	EC	Open	5027	5244	5642	3.25867635801474	2.63195837540241	2.77116541353383
D	2019-09-02 05:01:27.498	EC	Open	4356	4459	4868	3.39390069927978	2.12433559016182	2.3800727118336
D	2018-10-15 06:27:17.070	EC	Open	4506	4594	4685	2.96628712936191	1.7912434231192	1.88002487064886
D	2018-12-01 06:13:43.511	EC	Open	4322	4428	4499	3.30854230129001	1.93028481814641	2.12449949116666
D	2019-03-25 06:25:48.232	EC	Open	4471	4585	4599	3.55071141229377	2.35182709637681	2.0277733539881
D	2019-05-20 05:25:40.007	EC	Open	4203	4244	4258	3.17271997591786	1.73853768571428	1.76303765212524
D	2019-09-02 05:02:46.883	EC	Open	4216	4298	4364	3.12260667807432	1.97256943611761	1.77692894340416
D	2019-03-26 07:21:53.505	EC	Open	4575	4650	4728	3.92983999691989	2.19833012908061	2.33216013887423
D	2019-03-27 08:57:39.535	EC	Open	3977	4433	4461	1.912679667713846	2.11267962533011	3.72223234827476
D	2019-05-20 05:25:51.005	EC	Open	4581	4599	4628	3.02260038961212	2.03238539824562	1.84428792370533
D	2018-12-01 06:13:54.741	EC	Open	4922	5073	5192	3.58501957582697	2.39162719890352	2.1924665749279
D	2019-03-25 06:25:59.730	EC	Open	4831	5007	5177	3.85612460886206	2.73121069769056	2.45525039075639
D	2019-03-26 14:34:06.622	EC	Close	4526	4539	4718	3.89142046718922	1.95320876448413	1.82885510236841
D	2019-03-26 14:28:23.025	EC	Close	4423	4460	4600	3.56898582382098	1.78643080011198	1.83568805983284
D	2018-12-01 13:36:45.064	EC	Close	4433	4589	4610	3.43124633933907	2.07585277851765	2.11884359810851
D	2019-03-29 14:55:41.815	EC	Close	4353	4379	4451	3.24427034229875	1.93496018138001	1.78566943839819
D	2019-05-20 15:49:12.858	EC	Close	4070	4138	4252	3.1606618679343	1.46411440217391	1.659572004038
D	2018-12-01 13:34:39.104	EC	Close	4538	4599	4626	3.39250690877462	2.21807692540322	2.09525518586243
D	2019-03-29 14:53:57.552	EC	Close	4360	4397	4503	2.99984507448617	1.92161159653222	2.02324530142374
D	2019-05-20 15:48:30.726	EC	Close	4126	4164	4294	2.48919387775958	1.80398932295948	1.89584575174164
D	2019-05-20 15:48:30.726	EC	Close	4126	4164	4294	2.48919387775958	1.80398932295948	1.89584575174164
D	2019-03-29 14:55:41.815	EC	Close	4353	4379	4451	3.24427034229875	1.93496018138001	1.78566943839819
D	2019-05-20 15:49:32.842	EC	Close	3447	4203	4228	1.604833135423	3.00433311501628	1.58774499360968
D	2019-03-26 14:35:28.077	EC	Close	4369	4550	4679	3.29543853805678	1.86537678186813	1.91936968091604
D	2018-12-01 13:38:15.674	EC	Close	4446	4535	4852	3.45092345091991	1.95854462468554	2.22160057858959
D	2019-03-29 14:56:36.591	EC	Close	4354	4367	4746	3.55772265090449	1.44559912396616	2.08938429043928
D	2019-05-20 15:49:45.455	EC	Close	4153	4171	4495	3.12368771613355	1.45313339813765	1.79464741409115
D	2018-10-20 18:21:22.460	EC	Close	4607	4616	4876	4.06165909915722	1.84344647739464	2.22923218560626
D	2019-03-29 14:54:08.400	EC	Close	5164	5204	5475	2.86306925091589	1.97507049574067	2.0644407295549
D	2018-10-20 18:21:34.058	EC	Close	4762	4800	4949	3.404558488885	1.9597303473077	1.84414636380952
D	2018-12-01 13:34:50.564	EC	Close	4348	4699	4853	1.79492758955878	3.99552262298387	1.94285704097646
D	2019-03-29 14:55:05.228	EC	Close	4225	4352	4465	3.39013098716715	1.76055742722039	1.63864395929975
D	2019-05-20 15:48:42.024	EC	Close	4061	4167	4280	3.35809001104852	1.56306409979095	1.48313197198112
D	2019-03-26 14:30:34.002	EC	Close	4267	4682	4719	1.67823538125687	3.4722285745825	2.26648877992261
D	2019-03-29 14:55:16.626	EC	Close	4384	4436	4489	3.88412743973016	1.69380937945493	1.63892759885945
D	2019-05-20 15:48:58.885	EC	Close	4018	4087	4197	3.14908196964293	1.53240232545046	1.52749874197464
D	2018-12-01 13:35:47.932	EC	Close	4577	4729	4869	3.90249537986965	2.15383287373105	2.33344761922113
D	2019-03-26 14:30:22.448	EC	Close	4507	4635	4782	3.65540922179085	2.12943603557773	2.15777455934371

Bilaga 2 Tillståndsbedömningar

Tabell 8: Bedömning av tillståndsparmetrarna för respektive strömkurva, både för slutna och öppna kurvor.

Station	Manöverdonstyp	Individ	Strömkurva	Gångtid [ms]			Strömvärde [A]		
				Pol 1	Pol 2	Pol 3	Pol 1	Pol 2	Pol 3
A	CM	1	1	8781	9030	9127	1.45	0.96	1.14
			2	8751	8980	9037	1.26	0.98	1.02
		2	1	8920	8920	9020	0.53	1.03	0.79
			2	8859	8866	8969	0.43	1.02	0.77
		3	1	9169	9207	9363	1.92	0.95	1.09
			2	8991	9010	9272	1.91	0.76	1.02
			3	8955	9015	9181	1.71	0.96	1.04
			4	9057	9067	9296	1.93	0.75	1.01
			5	8920	8962	9137	1.78	0.83	0.93
	G2	1	1	11203	11545	12147	1.21	1.24	1.02
			2	11419	11648	12006	1.33	1.04	0.92
			3	11176	11556	12215	1.12	1.28	1.03
			4	11315	11581	11907	1.32	1.04	0.96
			5	11121	11502	11763	1.31	0.84	1.13
			6	11305	11565	11863	1.34	1.02	0.96
			7	11086	11489	11698	1.29	0.85	1.22
			8	11162	11433	11617	1.43	0.93	0.88
			9	11095	11494	11641	1.28	0.85	1.22
			10	11322	11548	11800	1.49	0.97	0.90
		2	1	11622	11680	11757	0.97	1.71	1.21
			2	11405	11661	11836	1.47	1.21	1
	B5	1	1	3105	3211	3267	3.32	3.07	2.89

			2	3122	3122	3332	3.06	3.06	2.92
			3	3089	3191	3229	3.34	2.96	2.75
			4	3145	3183	3374	3.04	2.88	2.93
			5	3090	3160	3286	3.72	2.53	2.81
			6	3130	3203	3401	2.93	3.09	2.90
		2	1	2937	3094	3107	3.34	2.72	2.39
			2	2943	3079	3103	3.57	2.48	2.49
			3	2993	3197	3391	2.64	2.71	2.76
			4	2902	3094	3123	3.31	2.62	2.49
			5	2999	3203	3425	2.67	2.78	2.72
		3	1	2669	2936	2988	4.33	2.68	2.86
			2	2689	2870	3015	3.09	2.98	3.08
			3	2614	2897	2963	4.31	2.54	2.86
			4	2637	2859	2980	3.31	2.76	2.96
		4	1	2911	2911	3224	3.23	3.23	3.87
			2	2802	2867	3142	4.24	2.61	3.25
			3	2774	2839	3101	4.17	2.62	3.15
			4	2875	2892	3191	2.68	3.55	3.75
		5	1	2849	3010	3064	4.44	2.71	3.08
			2	2786	3027	3060	3.75	2.87	3.08
			3	2790	2955	3020	4.12	2.80	2.95
			4	2778	3001	3026	3.78	2.89	2.96
		6	1	2856	2856	3052	2.59	2.59	2.94
			2	2862	2862	3001	3.31	3.31	3.54
			3	2845	2859	2988	3.71	2.94	3.42
			4	2835	2852	3040	4.80	2.45	2.88
			5	2816	2861	2983	3.57	3.12	3.34
			6	2818	2860	2989	4.94	2.39	2.78
		7	1	2989	3077	3271	4.53	2.98	3.39

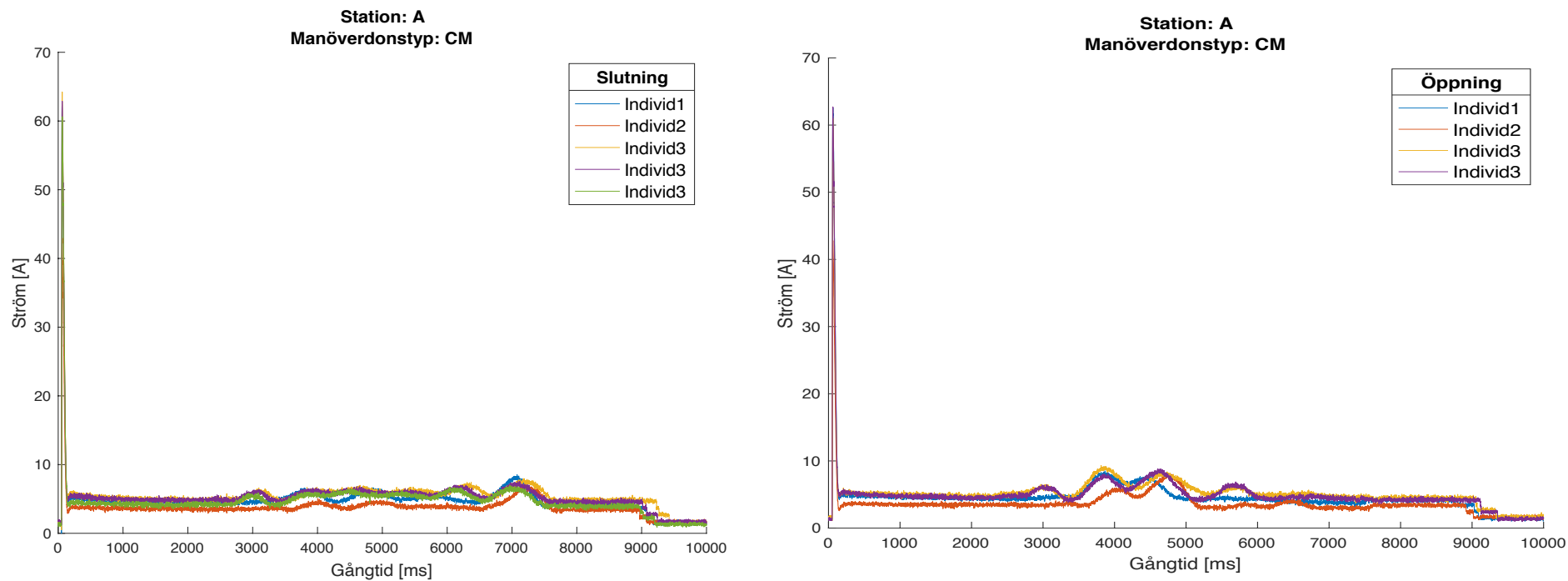
			2	2965	3015	3114	4.03	3.28	3.24
		8	1	2987	3109	3221	3.31	3.57	3.46
			2	2846	2976	3133	4.6	2.86	2.81
B	EC	1	1	4599	4713	4878	2.37	2.18	2.40
			2	4593	4605	4702	2.38	2.06	2.2
		2	1	4680	4702	4705	2.39	2.68	1.43
			2	4666	4701	4774	2.30	2.01	2.21
		3	1	4524	4676	4707	2.36	2.42	2.14
			2	4546	4554	4810	2.73	1.68	2.28
		4	1	4459	4589	4699	2.30	2.04	2.05
		5	1	4502	4702	4737	2.38	2.36	2.24
			2	4656	4796	4824	2.5	2.27	2.21
		6	1	4681	4719	4737	2.56	2.30	2.02
			2	4656	4796	4824	2.5	2.27	2.21
		7	1	4502	4580	4667	2.61	2.08	2.1
			2	4593	4606	4617	2.49	2.20	1.99
		8	1	4481	4534	4821	2.47	1.95	2.11
			2	4595	4596	4870	3.67	3	2.2
		9	1	4593	4621	4628	2.62	2.25	2.02
			2	4673	4727	4728	2.50	3.31	1.04
			3	4579	4622	4627	2.52	2.32	2.01
			4	4549	4652	4713	2.42	2.15	2.17
		10	1	4551	4659	4775	2.32	2.23	2.30
			2	4605	4638	4790	2.39	2.02	2.27
			3	4559	4628	4733	2.23	2.13	2.32
			4	4552	4617	4736	2.41	1.97	2.18
C	M3	1	1	7818	7818	8655	0.51	0.61	1.04
		2	1	7332	7606	8727	1	0.56	0.59
			2	7412	7706	8275	0.81	0.79	0.74

D	EC	3	1	7046	7715	8211	1.04	0.6	0.56
			2	7412	7706	8275	0.75	0.79	0.75
		4	1	6995	7219	7340	0.95	0.63	0.77
			2	7227	7544	7705	0.5	0.86	1.02
		1	1	4801	4824	4870	4.27	2.17	2.28
			2	4526	4539	4718	3.89	1.95	1.83
			3	4493	4516	4603	3.61	1.83	2
		2	1	4521	4755	4855	3.76	2.24	2.37
			2	4423	4460	4600	3.57	1.79	1.84
		3	1	4501	4554	4570	3.7	1.69	2.22
			2	4433	4589	4610	3.43	2.08	2.12
			3	4750	4775	4821	3.41	2.02	2
			4	4353	4379	4451	3.24	1.93	1.79
			5	4363	4363	4393	2.07	1.62	3.57
			6	4070	4138	4252	3.16	1.46	1.66
			7	4336	4367	4385	3.46	1.53	1.86
		4	1	4322	4552	4665	3.58	2.05	2
			2	4538	4599	4626	3.39	2.22	2.09
			3	4483	4682	4825	3.89	2.15	2.1
			4	4360	4397	4503	3	1.92	2.02
			5	4127	4318	4379	3.2	1.8	1.67
			6	4126	4164	4294	2.49	1.80	1.9
		5	1	4959	5112	5207	2.58	2.06	2.23
			2	4441	4465	4554	3.36	1.9	2.06
			3	4737	4810	4972	2.91	2.06	2.26
			4	4353	4379	4451	3.23	1.93	1.79
			5	4169	4212	4272	2.79	1.94	1.84
			6	4203	4203	4228	1.60	3	1.59
		6	1	4498	4562	4800	4.34	2.06	2.11

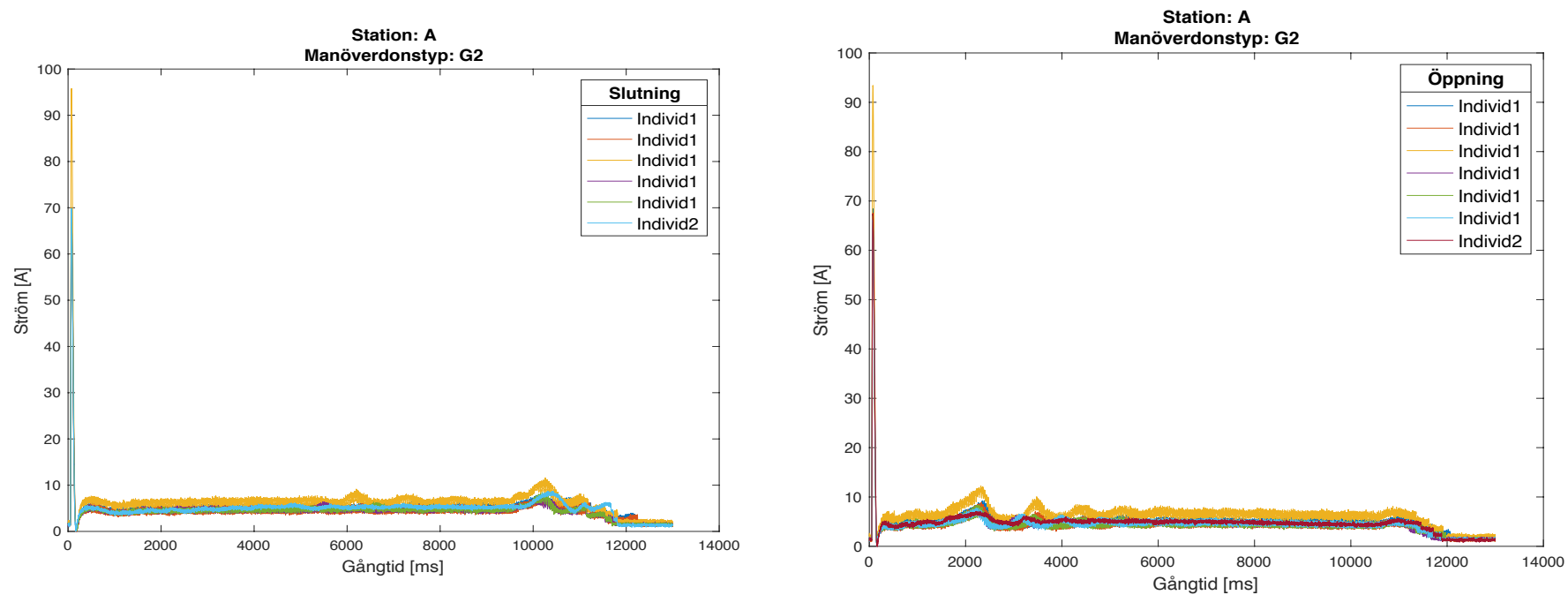
		7	1	4984	5055	5188	3.65	1.98	2.3
			2	4369	4550	4679	3.3	1.87	1.92
		8	1	3899	4424	4698	1.96	3.65	2.43
			2	4446	4535	4852	3.45	1.96	2.22
			3	4383	4415	4714	3.51	1.91	2.38
			4	4354	4367	4746	3.56	1.45	2.09
			5	4606	4745	4984	2.6	1.78	2.07
			6	4153	4171	4495	3.12	1.45	1.79
		9	1	4506	4594	4685	2.97	1.79	1.88
			2	4607	4616	4876	4.06	1.84	2.22
			3	4831	5007	5177	3.86	2.73	2.46
			4	5164	5204	5475	2.86	1.98	2.06
			5	4356	4459	4868	3.39	2.12	2.38
		10	1	4506	4594	4685	2.97	1.79	1.88
			2	4762	4800	4949	3.40	1.96	1.84
			3	4322	4428	4499	3.31	1.93	2.12
			4	4348	4699	4853	1.79	4	1.94
			5	4471	4585	4599	3.55	2.35	2.03
			6	4225	4352	4465	3.39	1.76	1.64
			7	4203	4244	4258	3.17	1.74	1.76
			8	4061	4167	4280	3.35	1.56	1.48
			9	4216	4298	4364	3.12	1.97	1.78
		11	1	4575	4650	4728	3.93	2.2	2.33
			2	4267	4682	4719	1.68	3.47	2.27
			3	3977	4433	4461	1.92	2.11	3.72
			4	4384	4436	4489	3.88	1.69	1.64
			5	4581	4599	4628	3.02	2.03	1.84
			6	4087	4087	4197	3.15	1.53	1.53
		12	1	4922	5073	5192	3.59	2.39	2.19

E	B12		2	4577	4729	4869	3.90	2.15	2.33
			3	4831	5007	5177	3.86	2.73	2.46
			4	4507	4635	4782	3.66	2.13	2.16
		1	1	4420	4515	4605	2.19	1.84	2.03
		2	1	4509	4567	4603	2.59	1.85	1.79
			2	4816	4825	4883	2.42	1.97	2.16
		3	1	4970	5070	5110	2.55	2.36	2.15
			2	4285	4415	4639	2.29	1.23	2.12
		4	1	4567	4707	4754	2.38	1.85	2.09
		5	1	5014	5014	5069	2.36	2.37	2.09
		6	1	4805	4841	4941	2.33	2.18	2.04
		7	1	4591	4704	4793	2.76	1.57	2.12

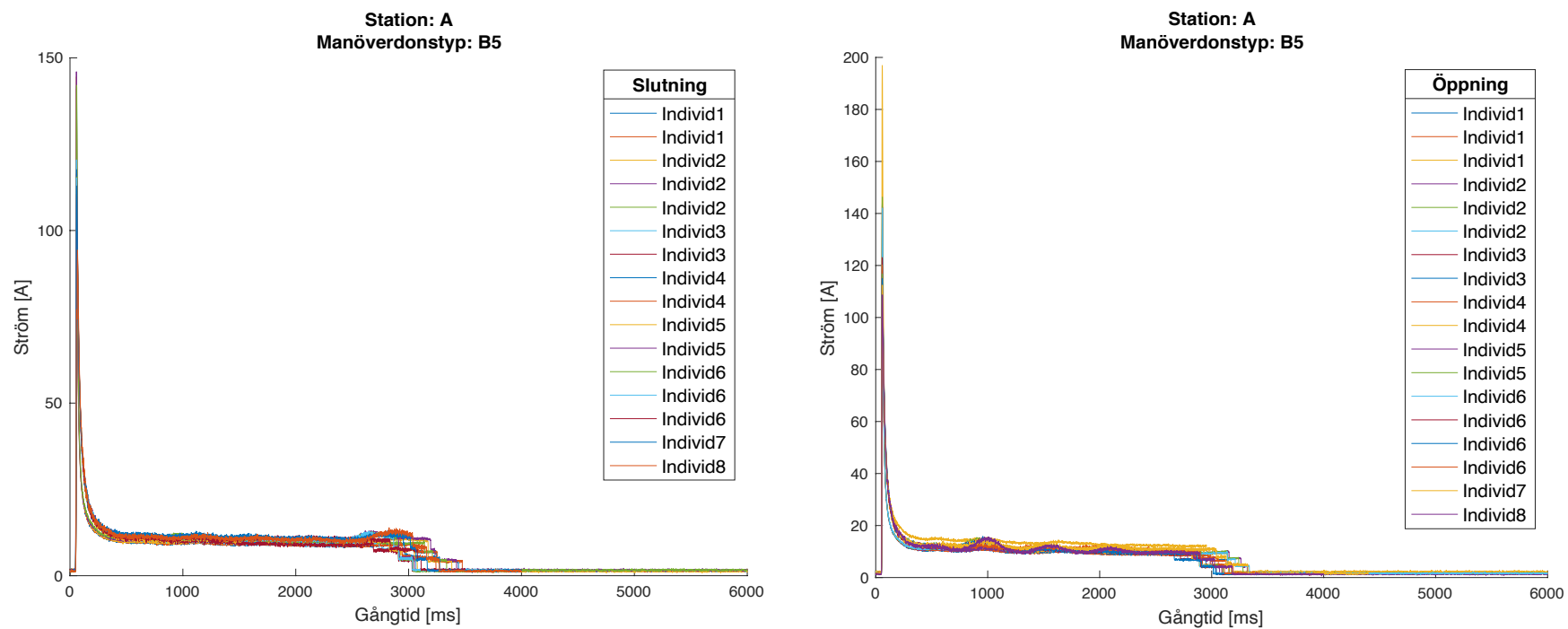
Bilaga 3 Strömkurvor



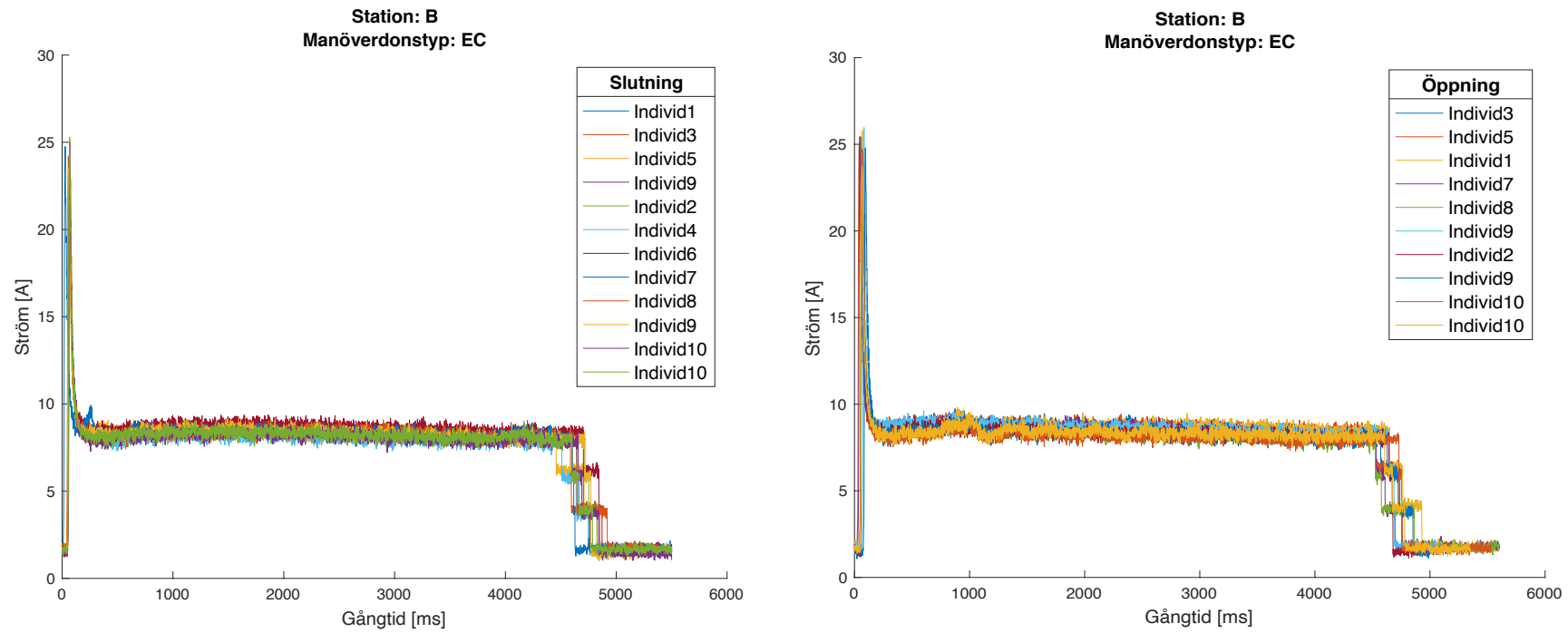
Figur 34: Bilden visar samtliga strömkurvor för manöverdonstyp CM vid slutning och öppning



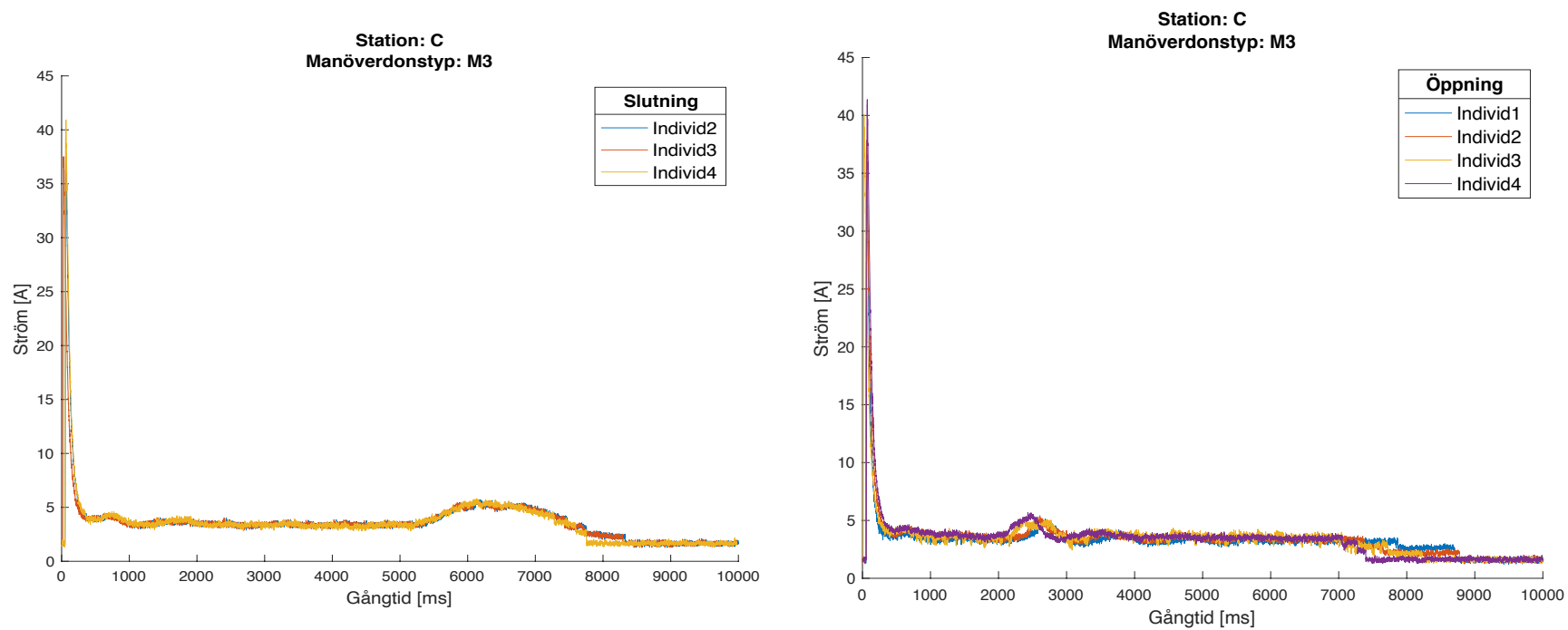
Figur 35: Bilden visar samtliga strömkurvor för manöverdonstyp G2 vid slutning och öppning.



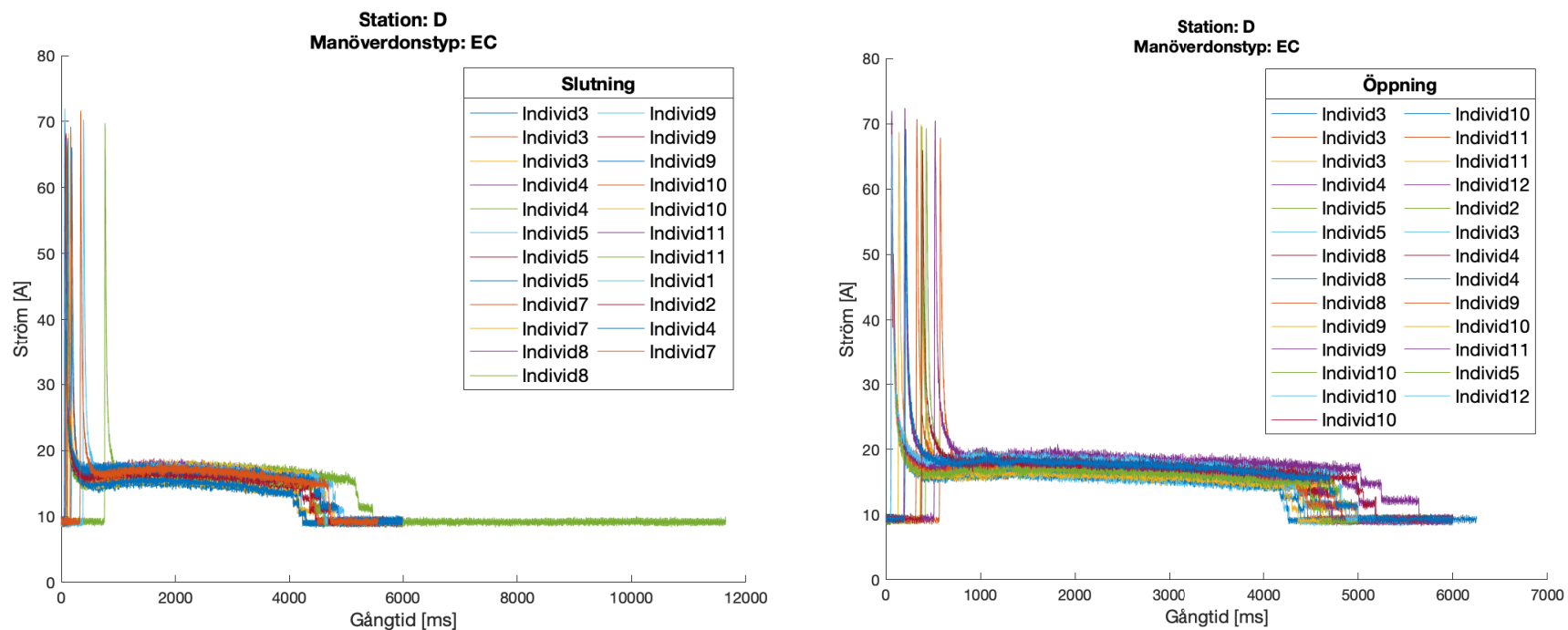
Figur 36: Bilden visar samtliga strömkurvor för manöverdonstyp B5 vid slutning och öppning.



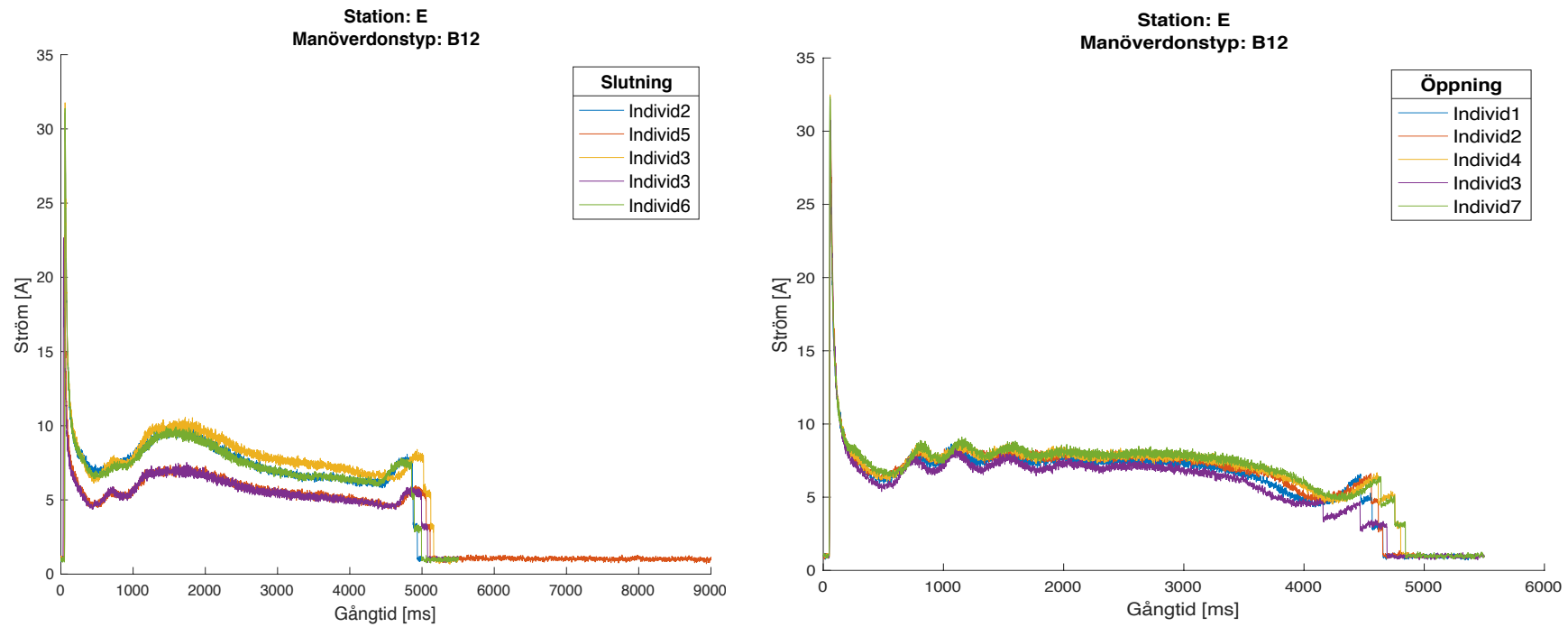
Figur 37: Bilden visar samtliga strömkurvor för manöverdonstyp EC vid slutning och öppning.



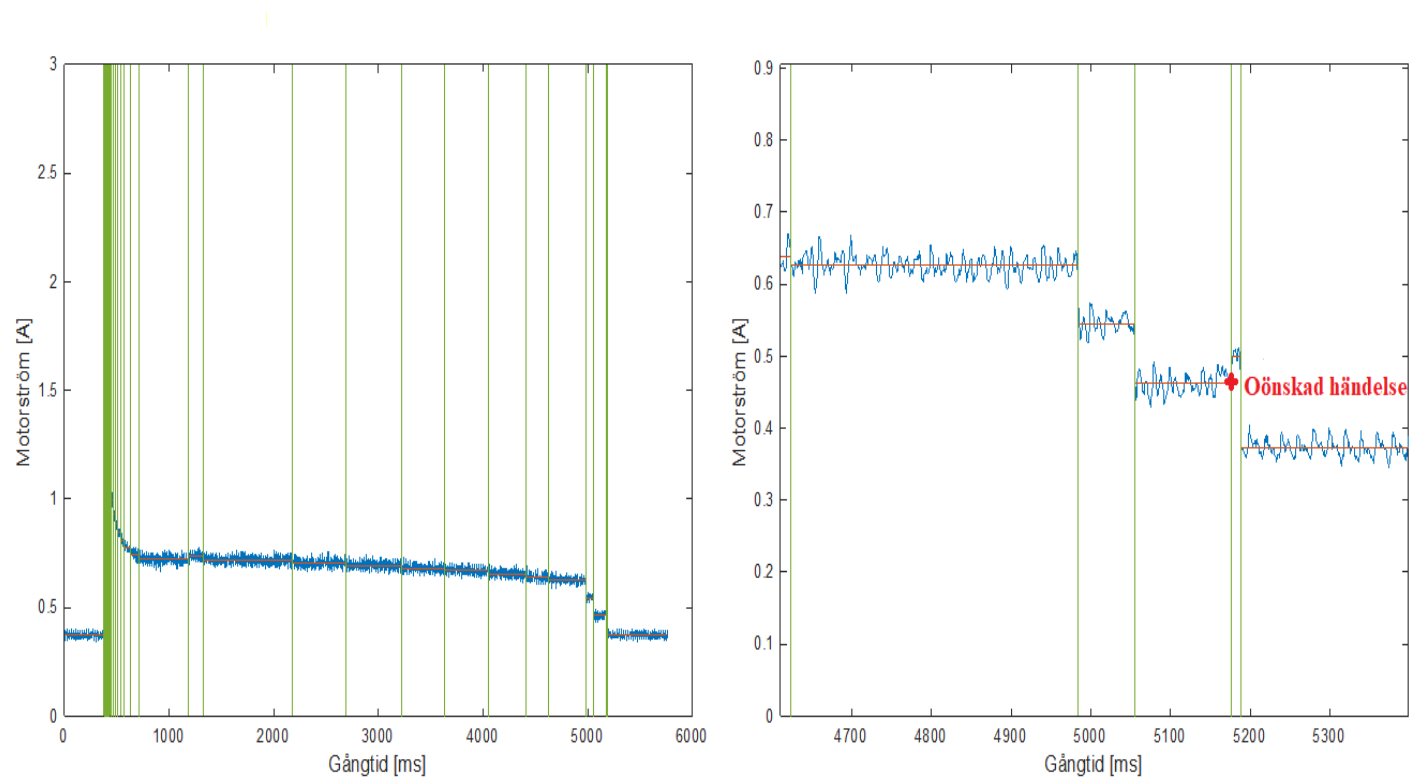
Figur 38: Bilden visar samtliga strömkurvor för manöverdonstyp M3 vid öppning.



Figur 39: Bilden visar samtliga strömkurvor för manöverdonstyp EC vid slutning och öppning.



Figur 40: Bilden visar samtliga strömkurvor för manöverdonstyp B12 vid slutning eller öppning.



Figur 41: Ointressant ändringpunkten har lokaliserat vid N-värdet 40.

