



UPPSALA
UNIVERSITET

UPTEC STS 19014

Examensarbete 30 hp
Juni 2019

Tillståndsovervakning av fjärrstyrda distribuerade frånskiljare i mellan- spänningsnätet

William Eriksson



UPPSALA
UNIVERSITET

Teknisk- naturvetenskaplig fakultet
UTH-enheten

Besöksadress:
Ångströmlaboratoriet
Lägerhyddsvägen 1
Hus 4, Plan 0

Postadress:
Box 536
751 21 Uppsala

Telefon:
018 – 471 30 03

Telefax:
018 – 471 30 00

Hemsida:
<http://www.teknat.uu.se/student>

Abstract

Condition Monitoring of Remote Controlled Distributed MV Disconnectors

William Eriksson

This thesis studied the possibilities to monitor disconnectors' operating times to indicate when maintenance needs to be performed. The main hypothesis of this study was that the operational time in a disconnector manoeuvre, open or close, correlates with the resistance in the mechanical components. If the operational time deviates too much from the baseline duration, then this may indicate that the disconnector needs to be maintained. Five substudies were conducted to study if it was possible to monitor the operating time and if the logged operating times had been affected by external conditions. Together they illustrated it might be possible to monitor operating times, but this study cannot state it with certainty based on the available data. From the results, it was possible to see that normal operating times for disconnectors varied within a group of disconnectors of the same type and manufacturer. Why it differed within groups of the same type and manufacturer might be explained by the effects of external conditions. It was shown that a varying transfer time occurred when logging the operation times in the front end processor. Furthermore, the year of production of the disconnector affected the median operating time, but it did not affect the operating time in an intuitive way, that is the operating time did not get longer for older disconnectors. Also, the geographical position of the disconnector may affect the operating time. When these external conditions were considered, disconnectors were concluded necessary to be studied individually. If disconnectors would be studied individually condition monitoring might be possible, although, it is not possible at the moment because of the lack of observations per disconnector.

Handledare: Ying He
Ämnesgranskare: Jesper Rydén
Examinator: Elisabet Andrésdóttir
ISSN: 1650-8319, UPTec STS 19014

Sammanfattning

De två största elavbrotten i Sveriges historia har ett par saker gemensamt. Dels att de båda kunde ske till följd av kaskadfel, där fler fel följer på det första felet, dels att de på detaljnivå även har en komponent gemensamt. En del i varför kaskadfel uppstod vid båda avbrotten, var att fränksiljare inte fungerade som de skulle. Om underhåll hade utförts på de specifika fränksiljarna, vilka i efterhand kan sägas inte fungerade som de skulle, hade de stora avbrotten kanske kunnat undvikas.

I dagsläget utförs underhåll med förbestämda tidsintervall, så kallat schemalagt underhåll. Med förbestämda tidsintervall är det dock inte säkert att underhåll utförs när behovet är som störst, det är möjligt att en komponent behöver underhållas tidigare än schemalagt. Därför undersöks det, inom både akademien och industrin, möjligheten att övervaka specifika tillstånd, vilka är viktiga för att avgöra om underhåll behövs. Den här studien är en del i det arbete som pågår för att undersöka vilka tillstånd som är möjliga att övervaka, och syftar till att undersöka om det är möjligt att utveckla en metod för att övervaka manövertider hos Vattenfalls fjärrstyrda distribuerade fränksiljare, och med hjälp av manövertider kunna se när underhåll behövs.

Den här studien visar att det, utifrån den på Vattenfall tillgängliga data, inte är möjligt att tillståndsbedöma fränksiljare baserat på deras manövertider. Tillsammans visar tre av de fem delstudierna att det möjligtvis går att övervaka manövertiden för individuella fränksiljare, men på grund utav den osäkerhet som finns för mätvärdena, samt bristen på mätvärden, är det inte möjligt att göra det i dagsläget. För att säkert kunna påstå något om möjligheten att tillståndsövervaka baserat på manövertider, behöver en studie göras om hur den överföringstid, vilken uppstår när manövertiderna loggas i en frontdator, påverkar den loggade manövertiden. Vidare byggde den här studien på en förhoppning om att fränksiljare av en viss typ, det vill säga modell och tillverkare, torde bete sig någorlunda likadant. Det visades dock att förhoppningen var fel, då fränksiljare av samma typ hade intervall med manövertider som skilde sig med flera sekunder från varandra. Därmed visades att fränksiljare behöver studeras individuellt, för att hitta vad som är normalt för enskilda fränksiljare.

Vidare undersökte studien huruvida den data som användes påverkades av externa förhållanden. Som nämnt i föregående stycke fanns en påverkan från den överföringstid som uppstår, en överföringstid som 95% av gångerna var mellan [1.61 6.76] sekunder. För en manövertid om 4-15 sekunder, är en överföringstid på, exempelvis, 5 sekunder stort. Vidare kunde ingen påverkan ses från vilken typ av manöver som genomförts, eller vilken årstid manövern genomförts. Dock gick det att iakttä någon form av påverkan från fränksiljarens tillverkningsår, en påverkan som verkar vara slumpmässig för enskilda år. Det gick även att iakttä att det möjligtvis finns en påverkan från var i landet fränksiljaren befinner sig.

Innehållsförteckning

1.	Inledning	4
1.1	Syfte	5
1.2	Disposition	5
2.	Bakgrund	6
2.1	Elnätets historia i Sverige	6
2.2	Sveriges elnät	8
2.3	Frånskiljare	9
2.4	Övervakning	10
2.5	Forskningsöversikt	11
3.	Material	13
3.1	Datamängd 1	14
3.2	Datamängd 2	15
3.3	Datamängd 3	15
3.4	Datamängd 4	15
3.5	Datamängd 5	15
4.	Metod	16
4.1	Delstudie 1	16
4.2	Delstudie 2	17
4.3	Delstudie 3	19
4.4	Delstudie 4	21
4.5	Delstudie 5	21
5.	Resultat	22
5.1	Delstudie 1	22
5.1.1	Alla individer	23
5.1.2	Station 1	25
5.1.3	Överföringstid	28
5.2	Delstudie 2	29
5.2.1	Manövertid beroende på manöver	29
5.2.2	Manövertid beroende på geografisk placering	34
5.2.3	Manövertid beroende på årstid	37
5.2.4	Manövertid beroende på tillverkningsår	41
5.3	Delstudie 3	46
5.3.1	0.025-kvantil	46
5.3.2	0.975-kvantil	50
5.3.3	Spridningsintervall hos kvantiler	54
5.4	Delstudie 4	56

5.4.1	Typ 1	56
5.4.2	Typ 2	59
5.4.3	Typ 3	62
5.4.4	Typ 4	65
5.5	Delstudie 5	68
6.	Diskussion	70
7.	Slutsatser	72
7.1	Framtida studier	74
Referenser		75

1. Inledning

När 2018 nyligen övergått till 2019 drabbades Sverige, och övriga norra Europa, av en storm som kom att döpas till Alfrida. På grund utav stormen stod, som mest, över 100 000 kunder utan elektricitet (Cederblad, 2019). Detta är förstås något som kan leda till stora problem för både företag och privatpersoner, men även om 100 000 kunder verkar vara ett stort antal, är det litet i jämförelse med de största elavbrotten i Sveriges historia.

Vid ungefär samma tid på året, fast år 1983, skedde det som av Häggström (2005), i Sydsvenskan, har beskrivits som dagen då hela Sverige slocknade. Även om det är något av en överdrift att påstå att hela Sverige slocknade, är det ändå en relativt bra beskrivning av vad som hände. Den 27 december 1983 blev en fränksiljare i ett ställverk i Hamra överhettad, och föll till marken. När den föll var den fortfarande i kontakt med en 400 kV-ledare. Som ett resultat av detta skedde en kortslutning som, i förlängningen, var anledningen till att allt söder om Dalarna och Gästrikland blev strömlöst (Westerlund, 2017). Att en felande komponent skulle kunna leda till ett fel av den digniteten kan förklaras av att den kortslutning som skedde i Hamra fick till följd att två 400 kV-ledningar kopplades bort, så kallade kaskadfel. När de två kopplades bort, överbelastades övriga stamnätet söderut från Norrland extra hårt, vilket ledde till att först ännu en 400 kV-ledning kopplades bort, och sedan avbröts all överföring av el från Norrland (Riksrevisionen, 2007). För att ställa i kontrast till Alfrida, var det cirka 4,5 miljoner människor som blev strömlösa till följd av en felande komponent (Ljunggren, 2006).

Cirka 20 år senare, i september 2003 blev en stor del av södra Sverige, tillsammans med delar av Danmark, strömlösa. Även denna gång var det till följd av kaskadfel, där det första felet var att ett block i kärnkraftverket i Oskarshamn tvingades stängas ned (Svenska Kraftnät, 2003). Sveriges elnät är byggt för att klara av ett bortfall av en stor producent eller konsument utan att hela nätet ska fallera, det så kallade N-1-kriteriet. Det fungerar genom att strömmen har en alternativ väg att gå vid eventuella fel (Lundh, 2015). Fem minuter efter stoppet av kärnkraftsblocket i Oskarshamn skedde en kortslutning i ett ställverk i Horred, till följd av en felande fränksiljare. Kortslutningen gjorde att hela ställverket kopplades bort, och med det kopplades även två block från kärnkraftverket i Ringhals bort. När detta skett var det inte längre bara ett fel, vilket innebar att N-1-kriteriet inte längre gällde, och ett elavbrott var ett faktum. Till följd av detta blev cirka 1,5 miljoner människor, i Sverige, strömlösa (Svenska Kraftnät, 2003).

Även om det första exemplet nämnde antalet drabbade i kunder, och de övriga två i antalet människor, går det att se att Alfrida inte drabbade i närheten av lika många som de två andra. Att Alfrida inte drabbade lika många kan tänkas bero på att inga kaskadfel uppstod, men att studera det närmare överläts till en annan studie. De två övriga elavbrotten har gemensamt, på en övergripande nivå, att de uppstod till följd av kaskadfel, på detaljnivå har de även en komponent gemensamt: fränksiljare.

Det är ovanligt att fel av den digniteten som beskrivits här uppstår, men de kan uppstå helt, eller delvis, till följd av en felande komponent. Därför är det viktigt att komponenter såsom frånskiljare och brytare underhålls. Den här studien är en del i det arbete som sker inom olika företag, och inom akademien, för att hitta bättre metoder för att bestämma när underhåll behöver ske.

1.1 Syfte

Syftet med studien är att studera data tillgänglig från Vattenfalls SCADA-system, och utifrån tillgänglig data utveckla en metod för tillståndsovervakning. Metoden skall användas som underlag för att bedöma när underhåll av frånskiljare behövs. Vidare är syftet att utvärdera metoden, och undersöka vilka ekonomiska fördelar metoden kan ge.

Syftet kommer besvaras genom följande frågeställningar:

- Är det möjligt att detektera problem och potentiella fel på en fjärrstyrd distribuerad frånskiljare i mellanspänningsnätet, enligt avvikelse från gränsvärde i manövertid hos frånskiljaren baserad på data som lagras i SCADA-systemet?
- Hur kan externa förhållanden och miljö påverka tillståndsovervakning av frånskiljaren?
- Om resultatet är positivt, vilka ekonomiska fördelar, investeringar och kostnader förväntas genom effektiv användning av övervakning av frånskiljarens manövertid?

1.2 Disposition

Efter inledningen, där arbetets syfte och problemområde presenterats, följer ett bakgrundskapitel. I bakgrundskapitlet presenteras information om elnätet, vilken är relevant för förståelse. Vidare presenteras även bakgrundsinformation om frånskiljare och övervakning, och även en översikt av det rådande forskningsläget.

Därefter presenteras det material som legat till grund för resultatet, ett kapitel som delats upp i fem delar, ett för varje datamängd. De tre första datamängderna innehåller data över manövertider, typ av manöver som utförts, och tidsstämpel för när manövern utförts. De två andra datamängderna innehåller kompletterande data om geografisk placering, tillverkningsår, och när underhåll utförts.

Även metodkapitlet, vilket är nästföljande kapitel, är uppdelat i fem delar, ett för varje delstudie. Delstudie 3, Delstudie 4, Delstudie 5, och delvis Delstudie 1 syftar till att besvara första forskningsfrågan. Delstudie 2 och delar av Delstudie 1 syftar till att besvara andra forskningsfrågan.

Efter metodkapitlet presenteras resultaten för de fem delstudierna. De presenteras i ordning, från Delstudie 1 till Delstudie 5, och Delstudie 2 till och med Delstudie 4 var uppdelade i fyra typer.

Nästkommende kapitel är diskussionskapitlet, där resultaten diskuteras i relation till den tidigare forskning som presenterades i forskningsöversikten. Vidare diskuterades även resultatens pålitlighet och generaliserbarhet.

Sista kapitlet är det kapitel där slutsatserna presenteras. I slutsatskapitlet besvaras forskningsfrågorna med hjälp av resultatet. Som en sista del i kapitlet presenteras exempel på framtida forskning.

2. Bakgrund

I det här kapitlet presenteras bakgrundsinformation vilken är av vikt för förståelse av övriga uppsatsen.

I dagens moderna samhälle är tillgången till elektricitet av största vikt, då både våra privata liv och våra arbeten många gånger är helt beroende av apparater som aktivt behöver elektricitet (Westerlund, 2017), år 2017 var de största elanvändarna bostäder och servicesektorn, 51 %, och industrin, 36 % (Holmström, 2018). På en mikronivå drabbas privatpersoner hårt vid ett eventuellt längre strömavbrott. Nödvändigheter såsom värme, vatten och matlagning försvåras betydligt eftersom de flesta värmesystem är beroende av el, eventuella vattenpumpar fungerar inte, och inte heller spisen (Energimyndigheten, 2007). För att undvika längre avbrott behöver nätet och dess komponenter underhållas, dock är det viktigt att inte utföra underhåll för ofta. Att underhåll inte ska utföras för ofta beror på att det den del av nätet där underhåll utförs måste tas ur bruk. När en komponent tas ur bruk försvinner en del av den redundans som ska finnas i elnätet, vilket gör nätet sårbart (Westerlund, 2017). Att underhåll pågick var en av anledningarna att elavbrottet i september 2003, vilket nämnades i inledningen, blev så pass stort som det blev. Vid tidpunkten för elavbrottet var det underhåll på två 400 kV-ledningar, en 400/130 kV-transformator, och likströmslänkarna till Polen och Tyskland (Svenska Kraftnät, 2003).

I dagens läge används schemalagt underhåll, där komponenter underhålls efter förbestämda tidsintervall, vilka är bestämda ur ett säkerhetsperspektiv. För frångående är detta intervall mellan vart femte, och vart tionde år (Karlson, 2017). Detta innebär att fel kan uppstå mellan tidpunkterna för underhåll. För att undvika att det händer, samt möjligen minska antalet bortkopplingar av komponenter, kan underhåll baseras på tillståndsovervakning. Innebörden av det är att underhåll utförs när de tillstånd som bevakas tyder på att underhåll behövs (Lindström, 2016).

2.1 Elnätets historia i Sverige

Sverige har en lång historia med elektricitet. Redan 1876 användes elektriskt ljus för att lysa upp sågverket i Marma, Hälsingland (Garnert, 1989). Nästa steg för elektricitetens utveckling var lokala elnät i städer, och i anslutning till industrier, runt om i landet, vilka uppkom under mitten på efterföljande decennium. Dessa nät använde sig dock av likström, och med

användandet av likström tillkom framtida problem. Likströmmen gjorde att avståndet mellan producenter och konsumenter var begränsat, då långa avstånd ledde till att effektförlusterna blev för stora (Kaijser, 1994).

Trefas och växelström

Att kunna separera produktionen och användningen av elektricitet var viktigt för att kunna öka användandet. Det skulle göra det möjligt att utnyttja de möjligheter som vattenkraften erbjöd i form av energi. Lösningen på detta bekymmer blev ett system med trefas och växelström, vilket Jonas Wenström på Asea, nuvarande ABB, patenterade år 1890 (ABB, 2019). Tre år senare förverkligades patentet i form av en luftledning mellan Hällsjön och Grängesberg, vilken gjorde det möjligt att transportera elektriciteten från vattenkraftverket i Hällsjön, till gruvan i Grängesberg. Ledningen hade spänningen 5 kV, och en total längd på 13.7 km (Westerlund, 2017). Med växelström blev det dessutom möjligt att transformera upp, eller ned, spänningar. Med högre spänning blev det möjligt att transportera el längre sträckor med mindre förluster (ABB, 2019).

Statens inblandning

Med möjligheten att transportera el medföljde även möjligheten att elektrifiera Sverige. År 1909 bildade staten Kungliga Vattenfallsstyrelsen, vilka styrde Statens Vattenfallsverk. Det nybildade statliga verket utnyttjade de av staten tidigare införskaffade vattenrätterna i Trollhättan för att bygga ett vattenkraftverk (Kaijser, 1994; Vattenfall, 2018). Under de efterkommande åren påbörjades bygget av flera stora vattenkraftverk, utöver Olidans kraftverk i Trollhättan byggdes kraftverken i Porjus och Älvkarleby (Vattenfall, 2018). Att staten hade ett intresse i elektrifiering av Sverige berodde delvis på hur det skulle kunna hjälpa svensk industri. Staten hade en viktig roll i Luossavaara-Kiirunavaara Aktiebolag, LKAB, och dess ekonomiska styrka var av vikt för statens intresse i elektrifieringen (Westerlund, 2017). Både gruvan och Malmbanan, den järnvägslinje som användes för malmtransporter, var i behov av elektricitet för att öka sin effektivitet, och där blev kraftverket i Porjus lösningen (Viklund, 2012).

Utveckling av ett nationellt system

Vidare ledde utvecklingen mot det vi är vana med i dagsläget; ett nationellt system för produktion, transport, och konsumtion av elektricitet. I och med att kraftverket i Älvkarleby stod färdigt, byggdes en ledning mellan det nya kraftverket och Trollhättan. Den nya ledningen gick också via Västerås, och det kolkraftverk som fanns där (Kaijser, 1994). Vattenfalls samarbete med Asea för att utveckla ledningar och elkraftkomponenter, var en del av den fortsatta utvecklingen av ett nationellt system. Under 1950-talet konstruerades, bland annat, 400 kV-ledningen mellan Harsprånget och Hallsberg, och Gotlands hopkoppling med fastlandet med hjälp av HVDC, högspänd likström. 400 kV-ledningen var viktig för att kunna transportera elektricitet från de stora producenterna i Norrland, till de stora konsumenterna i Svealand och Götaland (Westerlund, 2017).

2.2 Sveriges elnät

Även i dag har vattenkraften en viktig roll i det svenska elnätet, cirka 40 % av all elektricitet kommer från vattenkraft. Lika stor andel kommer från kärnkraft, och de två energislagen utgör basen för svensk elproduktion (SCB, 2018). På grund utav skillnaden i hur de två energislagen fungerar, används vattenkraften i dag som reglerkraft, medan kärnkraften producerar full effekt. Anledningen till detta är att vattenkraft är enklare att använda för reglering, då dess produktion kan ändras fort genom att ändra vattenflödet (Obel, 2012).

Som nämnt har, historiskt, de största producenterna funnits i Norrland, medan konsumenterna funnits i Svealand och Götaland. Med kärnkraften förändrades det, Sverige har i dagsläget kärnkraftverk i Forsmark, utanför Uppsala, Ringhals, utanför Göteborg, och Oskarshamn. Alla dessa kraftverk är lokaliserade söder om Norrland, vilket jämnar ut elproduktionen över landet (Lindholm, 2018). Trots utjämningen måste fortfarande en stor del av elektriciteten transporteras från norr till syd (Obel, 2012).

Stamnät

För att se till att det finns elektricitet i den delen av Sverige där det behövs vid varje tidpunkt på dygnet, används det som kan ses som ryggraden i det svenska elnätet: stamnätet. Stamnätet ägs av staten och förvaltas av det statliga affärsverket Svenska kraftnät, och innefattar de delar av nätet som har spänningarna 220 kV och 400 kV (Energimyndigheten, 2015).

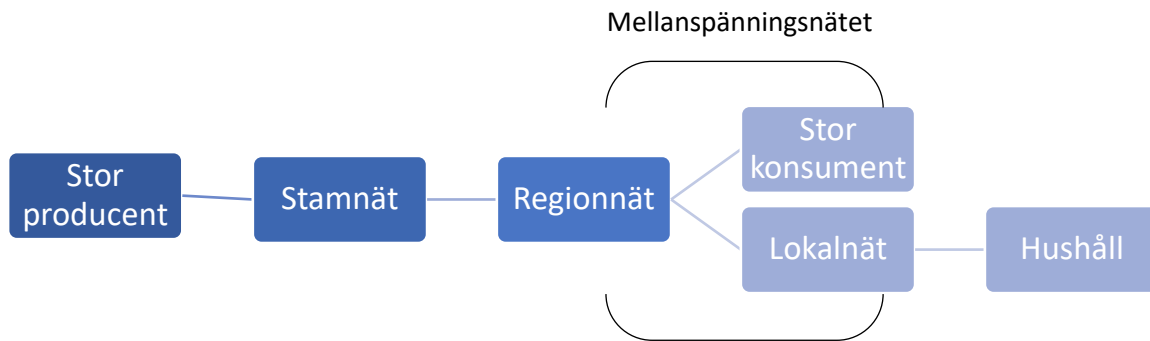
Regionnät

Från stamnätet leds elektriciteten in i regionnätet. I regionnätet återfinns spänningsnivåerna 20 kV och 130 kV, och allt däremellan. Från regionnätet levereras elektriciteten vidare till lokalnätet, men även till stora konsumenter såsom elintensiv industri. Till regionnätet levereras elektriciteten från producenter och stamnätet, elektriciteten levereras även till stamnätet när behov för transport av elektricitet uppstår. De som äger, och förvaltar, regionnätet är till största del elnätsföretagen, E.ON Elnät Sverige, Vattenfall Eldistribution och Ellevio (Nordling, 2016).

Lokalnät

Lokalnätet är de nät som levererar elektricitet till hushållen. I det förekommer spänningsnivåer från och med 0.4 kV till 20 kV. Småskaliga producenter levererar in sin elektricitet i lokalnätet, i stället för i regionalnätet. Lokalnätet ägs och förvaltas av en mängd olika bolag, totalt finns det cirka 170 olika bolag som äger delar av lokalnätet (Nordling, 2016).

I Figur 1 kan en visuell representation av Sveriges elnät ses.



Figur 1 En visuell representation av Sveriges elnät

Den här studien kommer behandla mellanspänningsnätet. Mellanspänning definieras enligt Elsäkerhetsverket (2009) som spänningar inom intervallet 1-35 kV. Det innebär att studien kommer behandla delar av både lokalnät och regionnät.

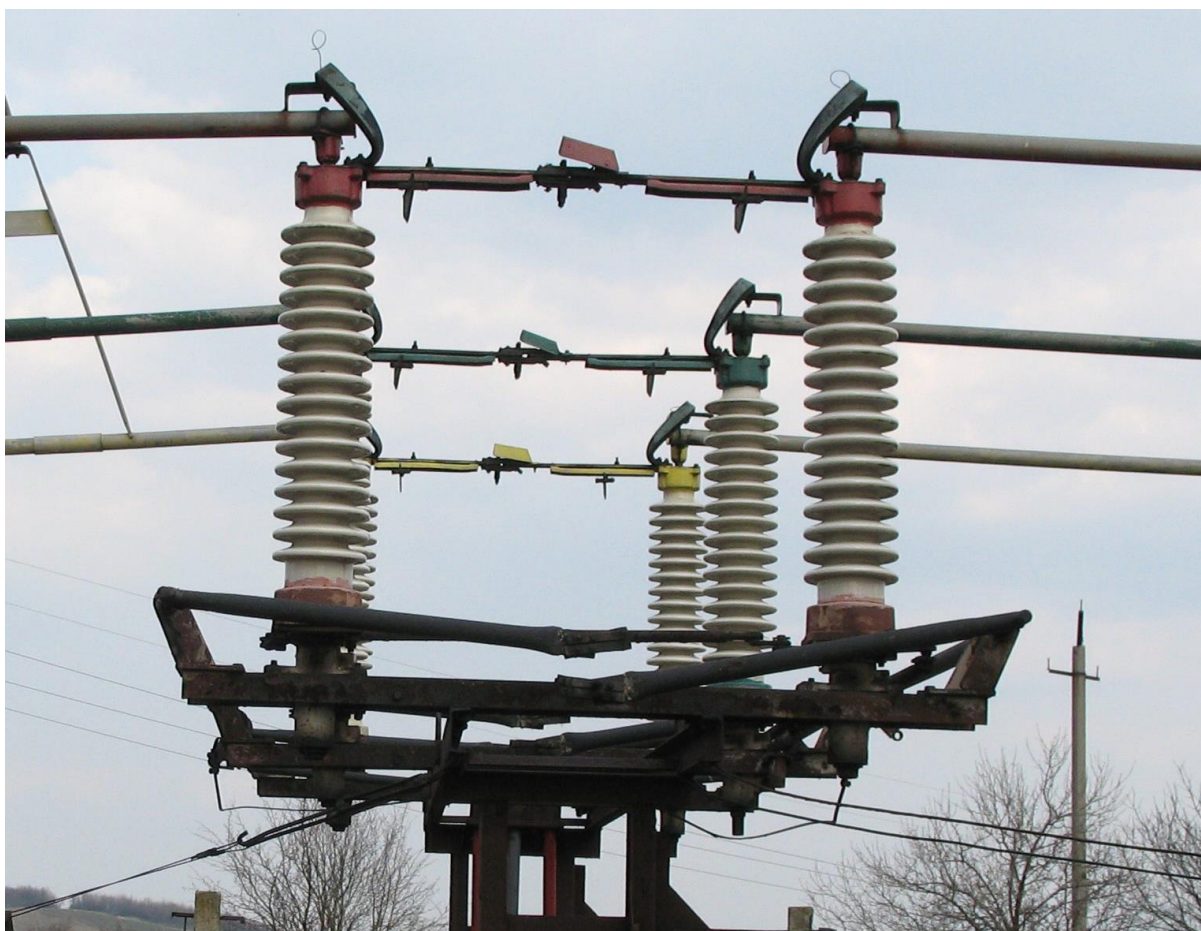
2.3 Frånskiljare

Elsäkerhetsverket definierar frånskiljare som en ”[m]ekanisk elkopplare som för säkerhetsändamål i frånläge i varje pol ger ett frånskiljningsavstånd som är betryggande för arbete på den frånskilda elanläggningen” (Elsäkerhetsverket, 1999). En frånskiljares funktion kan vidare förklaras som att den används för att bryta en spänning, och ge ett tydligt visuellt brytställe, för att det ska gå att se att ledningen inte är spänningssatt. För att illustrera är en frånskiljare konstruerad genom att två isolatorer har kontakt genom ett ledande blad. Bladet kan sedan dras ut, för att på så sätt bryta kontakten. Den har dock inget skydd mot eventuella ljusbågar, vilket gör att den inte ska användas för att bryta strömförande ledningar, den kan endast bryta låga strömmar. Förfarandet är därmed att en brytare först bryter kretsen, och släcker den ljusbåge som kan uppstå, och sedan öppnas frånskiljaren för att ge ett tydligt visuellt brytställe (Jacobsson et al., 2016).

Att brytare och frånskiljare används i kombination, har lett till att det finns komponenter där deras funktioner är kombinerade redan vid installation, i stället för att installeras som två skilda komponenter. Dessa komponenter kallas frånskiljande brytare, och är brytare som även har frånskiljande egenskaper (ABB, u.d.). Vidare finns det även de frånskiljare som kan klara av att bryta strömmar till en viss nivå. Dessa kallas lastfrånskiljare, och är frånskiljare som kompletterats med en enklare brytkammare för att kunna bryta märkströmmar, men inte felströmmar (Jacobsson et al., 2016).

I takt med moderniseringen av samhället har även komponenter såsom frånskiljare moderniserats. I dag används fjärrstyrda frånskiljare, vilka styrs från en gemensam driftcentral (Jacobsson et al., 2016).

I Figur 2 visas en frånskiljare i högspänningsnätet, i stängt läge. De röda, blåa och gula delarna som går vågrätt genom bilden är de ledande bladen, en per fas. De kan sedan separeras för att bryta spänningen.



Figur 2 Frånskiljare i högspänningsnätet, i stängt läge (Buryka, 2007)

2.4 Övervakning

SCADA

För att övervaka stora system, såsom elnätet, kan ett system som SCADA användas. SCADA står för Supervisory Control and Data Acquisition, och är ett system som kan användas för att kontinuerligt övervaka och styra en process. Systemet används i dag inom tillverkningsindustri, på flygplatser, och även inom elbranschen, där det används för att styra produktion och distribution av el. SCADA-systemet kan kopplas ihop med mätutrustning för att övervaka tillståndet inom elnätet. Bland annat kan mätutrustning som övervakar lastflöden och spänningsnivåer installeras, men även sådan utrustning som bevakar komponenter i nätet. Med hjälp av SCADA-systemet kan även komponenter, såsom frånskiljare, fjärrstyras (Engström & Lindahl, 2013).

Fjärrstyrning

Då övervakning sker kontinuerligt, samt att komponenter kan fjärrstyras, finns det möjlighet att ett större område av elnätet kan styras från en driftcentral (Engström & Lindahl, 2013). Det har möjliggjort för Vattenfall att övervaka hela sitt regionala och lokala nät från driftcentralen i Trollhättan (Lönnroth, 2010). Från en driftcentral kan då ansvarig personal

styra produktion och distribution, och även styra vilken väg elen ska distribueras vid eventuella fel eller planerade åtgärder på nätet. Vidare kan även insamlad information sparas i en databas för att användas vid studier av nätet (Engström & Lindahl, 2013).

Fjärrstyrning ger en fördel när fel uppstår. Då komponenter som annars behöver manövreras på plats i stället kan manövreras från en central, förkortas tiderna för elavbrott i de fall där det är möjligt. Vid, exempelvis, ett kabelfel, kan strömmen styras om via andra vägar, för att kunderna ska drabbas i minsta möjliga mån. Fördelen med fjärrstyrning är då att detta kan göras utan att behöva skicka ut personal för att sköta de komponenter som behöver användas vid omkopplingen, utan detta kan i stället ske från driftcentralen (Bylund, 2018).

2.5 Forskningsöversikt

Att kontinuerligt övervaka komponenter ses mer och mer som ett användbart verktyg för planering av underhåll. Enligt CIGRE (2000) ska system baserade på kontinuerlig övervakning ge information om komponenternas verkliga tillstånd, och därmed kunna optimera planeringen av underhåll. Vidare beskrivs det att en typ av övervakning är att övervaka efter feltillstånd, och utföra felprognostisering. Den typen av övervakning syftar till att övervaka specifika, relevanta parametrar, som antas vara viktiga för att förstå hur väl komponenten fungerar. Exempelvis kan en sådan parameter vara manövertider, där längre manövertider kan vara ett tecken på att underhåll behövs utföras. Genom att övervaka de utvalda parametrarnas beteende, är det möjligt att få förståelse för när de tyder på att underhåll behövs, och därmed undvika att underhålla när det ej är nödvändigt. Det innebär i längden att kostnaderna hålls nere, då det leder till att fallerande komponenter undviks i största möjliga mån (CIGRE, 2000).

Temperaturövervakning

Westerlund et al. (2014) skrev en översiktsartikel om metoder för tillståndsovervakning av franskiljare och brytare. I artikeln delade de upp tillstånden som kan övervakas i två typer: tillstånd relaterade till strömförande delar, och tillstånd relaterade till mekaniska manövrar. Bland den forskning som finns inom tillstånd relaterade till strömförande delar är temperatur det vanligaste tillståndet att övervaka (Westerlund et al., 2014). Vid temperaturövervakning är termografi det konventionella verktyget, mer specifikt är det infraröd termografi som är det konventionella tillvägagångssättet, vilket enkelt kan förklaras av det faktum att det är billigt och inte behöver kopplas in på komponenten (Lindquist & Bertling, 2008). Lindquist & Bertling (2008) beskriver det konventionella sättet att använda infraröd termografi såsom att en termografikamera riktas mot den komponenten som ska övervakas. Sedan skapas en bild över den infraröda strålningen, där onaturliga förändringar ska kunna upptäckas. Vidare beskriver Korendo & Florkowski (2001) att det konventionella sättet är att jämföra den aktuella bilden mot en referensbild, som skapats vid ett tillfälle när komponenten antagits vara i ett normalt tillstånd, där differensen mellan temperaturerna ska visa om underhåll behövs. Differensen, känt som delta T-kriteriet, beräknas i enkelhet som temperaturen i ett

område, subtraherat med temperaturen i samma område hos referensbilden (Perch-Nielsen & Sørensen, 1994).

Risikanalys

Det finns andra sätt att använda termografi, och hur feldetektering utförs är det som skiljer dem från det konventionella tillvägagångssättet. I stället för att enbart subtrahera nuvarande temperatur med referenstemperatur, kan de uppmätta temperaturvärden användas på andra sätt. Lindquist & Bertling (2008) presenterade en alternativ metod, som är tänkt att användas i kombination med den konventionella metoden. Den konventionella metoden kan användas för kontinuerlig utvärdering av en komponents tillstånd, medan den metoden som presenteras i deras artikel är tänkt att användas för riskanalys, som ska täcka in fel som inte upptäcks av den konventionella metoden. I korthet kan den presenterade metoden sammanfattas som att den syftar till att använda insamlad data över infraröd strålning, för att sedan passa in en täthetsfunktion. Med hjälp av en täthetsfunktion, och den korresponderande överlevnadsfunktionen kan en riskanalys göras (Lindquist & Bertling, 2008).

Monte Carlo

Lindquist et al. (2005) utvecklar i sin artikel, en annan typ av modell för temperaturövervakning, specifikt för fränskiljares kontaktdon. I den presenterade de en idé om att använda sig av en kvantitativ metod där termografidata samlas in under en längre tidsperiod. Den insamlade datan används sedan för att konstruera konfidensintervall med hjälp av Monte Carlo-simuleringar. Den metod de presenterar har dock ökande osäkerhet när strömstyrkan minskar (Lindquist et al., 2005). Både Lindquist et al. (2005) och Lindquist & Bertling (2008) är artiklar som handlar om komponenter för högspänning, och därmed kan metoderna inte garanterat användas för mellanspänning. Då Lindquist et al. (2005) visade att deras metod hade ökande osäkerhet vid minskande strömstyrka, är det troligt att deras metod inte är alls användbar för mellanspänning.

Motor- och fältströmmar

Vad gäller tillstånd relaterade till mekaniska manövrar finns det i artikeln av Westerlund et al. (2014) inte ett konventionellt tillvägagångssätt, till skillnad mot vad som fanns för tillstånd relaterade till strömförande delar. En tidigare uppsats som skrivits på Vattenfall behandlar övervakning av feltillstånd, med avseende på motorströmmar hos fränskiljare. I den visades att det fanns ett samband mellan låga motorströmmar och antalet fel hos de studerade individerna (Thanopoulos, 2017). Razi-Kazemi et al. (2014) undersöker i sin artikel fältströmmar hos motorerna i brytare. Närmare bestämt undersöktes hur fältströmmen beter sig vid olika typer av fel, för att på så sätt kunna bygga upp en algoritm för feldetektering. Ett vanligt sätt att skapa metoder för tillståndsövervakning är att sätta gränsvärden för en parameter, såsom Razi-Kazemi et al. (2014) gjorde för fältströmmar. Natti & Kezunovic (2011) valde att utveckla det synsättet. De valde i stället att studera parametrars sannolikhetsfördelningar, och utifrån dessa skapa en Bayesiansk metod, som sedan kontinuerligt kan matas med ny data. I deras studie låg inte fokus på en parameter, deras

metod används för att samla data från flera olika parametrar för generera ett hälsoindex (Natti & Kezunovic, 2011).

Manövertid

Vidare finns det artiklar som behandlar parametern tid, däribland Zhang et al. (2011) som analyser manövertider för brytare. I deras studie delar de upp manövertiden i sex olika deltider, där t_1 är när manövern påbörjas, och t_5 , t_6 är när kontakt b, respektive a, lyckas eller misslyckas. Nästa steg var att använda kärnskattnings¹, för att estimerade deltidernas täthetsfunktion. Tillsammans utgör sedan deltidernas respektive täthetsfunktioner den totala täthetsfunktion för brytaren. Deras metod är också adaptiv, och uppdateras kontinuerligt med insamlad data för att kunna estimerade täthetsfunktionerna bättre (Zhang et al., 2011). Även Guan et al. (2013) har studerat de deltider som Zhang et al. (2011) studerade, med skillnaden att Guan et al. (2013) dessutom har t_7 , vilket var tiden fasströmmen lyckas eller misslyckas. Utifrån insamlad data för dessa tider passas lämpliga sannolikhetsfördelningar, vilket gör att alla deltider kan ha olika sannolikhetsfördelningar. Utifrån dessa fördelningar uppskattas sedan ett totalt hälsoindex, och uppdateras kontinuerligt med ny data (Guan et al., 2013).

Pantograffrånskiljare

Qiu et al. (2016) studerade tre olika parametrar: dynamisk belastning på isolerstången, rotationsvinkel på drivaxeln, och statorströmmen hos den drivande motorn. Tester utfördes för att visa att dessa tre parametrar är relevanta hos en specifik sorts frånskiljare, närmare bestämt pantograffrånskiljare. Fokus i artikeln var högspänningsfrånskiljare, och hur de tre parametrarna beter sig när frånskiljaren utför en manöver, öppnar eller stängs. Testerna visade att fel relaterade till belastningen på isolerstången oftare uppstår när frånskiljare ska stängas. Vidare visades att relationen mellan rotationsvinkel och tiden kan visa om fel relaterade till drivaxeln är på väg att uppstå, då rotationsvinkeln blir mindre vid motsvarande tidpunkt än rotationsvinkeln hos en referens. Qiu et al. (2016) argumenterade att vid mekaniska fel hos frånskiljaren kommer manöverlasten öka, vilket leder till att manövertiden och motorströmmen ökar. Författarna argumenterade att trots att de endast studerat en specifik sorts frånskiljare, bör deras resultat kunna vara relevant som referensmaterial för andra sorter. Detta då det även hos andra sorter finns en relation mellan vridmomentet och motorströmmen, och hos rotationsvinkel och tiden (Qiu et al., 2016).

3. Material

I det här kapitlet kommer den data som användes som underlag för studien att presenteras. Två begrepp som är av vikt för det här kapitlet, och även resten av studien, är fjärrkontrollterminal², förkortat RTU, och frontdator³, förkortat FEP. Manövertider kan

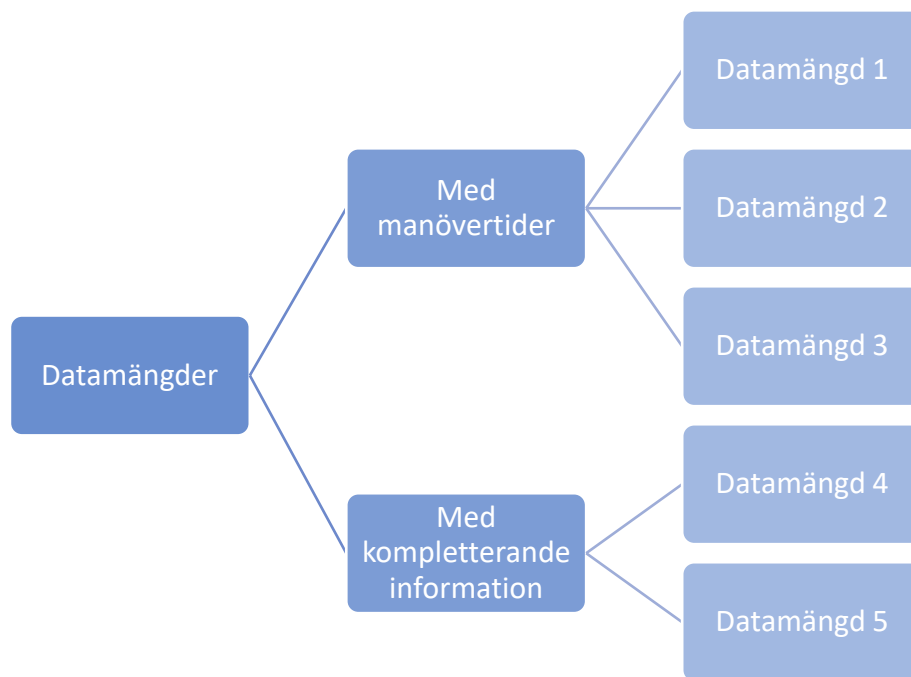
¹ Eng. Kernel estimation

² Eng. Remote terminal unit

³ Eng. Front end processor

loggas i både RTU:n och FEP:en, med skillnaden att manövertiderna loggade i RTU:n har upplösning ned till hundradelssekund, medan manövertiderna loggade i FEP:en enbart har en upplösning ned på sekundnivå. I dagsläget loggar Vattenfall manövertiderna i RTU:erna hos 39 stycken fjärrstyrda distribuerade fränskiljare, samtidigt loggas manövertiderna för dem även i FEP:en. För de övriga fränskiljarna loggas manövertiderna enbart i FEP:en. FEP:en är lokaliserad i Vattenfalls driftcentral i Trollhättan, medan RTU:erna är lokaliserade på de olika komponenterna.

I Figur 3 ses en visuell representation över vad de fem olika datamängderna innehåller.



Figur 3 Visuell representation över innehållet i de fem olika datamängderna

3.1 Datamängd 1

Den första datamängden innehöll tre filer från SCADA-systemet, vilka alla levererades från Vattenfall Eldistribution AB. Alla filer omfattar tidsperioden mellan den 1 april 2018, till och med den 30 april 2019. Första filen innehöll manövertider från de 39 stycken fränskiljare i Vattenfalls mellanspanningsnät, vilka loggar tiderna i RTU:n. De tider som loggas har en upplösning ned till hundradels sekund. Alla manövertider var kopplade till en tidsstämpel över den tid och datum då den hade registrerats. De var även kopplade till information om vilken individ som utfört manövern.

Andra och tredje filen var loggfiler från FEP:en över 2018, respektive 2019, för manövrar som skett. Respektive manövrar var kopplade till den tid och datum som manövern skett, och även information om vilken individ som utfört manövern.

3.2 Datamängd 2

Den andra datamängden innehöll två filer från SCADA-systemet, vilka båda levererades från Vattenfall Eldistribution AB. Båda filerna var loggfiler över manövrar som skett, och omfattade 2018, respektive 2019. Loggfilerna innehöll endast data över de 39 individer som förekom i Datamängd 1. Dessa filer liknade de från Datamängd 1, de inkluderade tidsstämpel med datum och tid när manövern registrerats, samt vilken manöver som skett, och information om vilken individ som utfört den. Det som skiljer dessa två loggfiler från de i Datamängd 1 är att de även innehåller manövertider loggade i FEP:en. Skillnaden är att tiderna loggade i FEP:en är på sekundnivå, och de manövertider i Datamängd 1, vilka är loggade i RTU:n, har en upplösning ned på hundradels sekund. Vidare fanns även tidsstämplar för när manövern beordrades i FEP:en, och tidsstämplar för när manövern genomförts.

3.3 Datamängd 3

Den tredje datamängden innehöll tre filer från SCADA-systemet, vilka alla levererades från Vattenfall Eldistribution AB. Alla tre filer var loggfiler över manövrar som skett, och omfattade 2016, 2017, respektive 2018. Filerna innehöll data över alla manövrar som utförts av fjärrstyrda frånskiljare i Vattenfalls nät under respektive år. Filerna bestod av tidsstämpel med datum och tid för när manövern registrerats, samt vilken manöver som skett och information om vilken individ som utfört den. Vidare fanns även manövertider, tidsstämplar för när manövern beordrades i FEP:en, och tidsstämplar för när manövern genomförts. Upplösningen för manövertiderna är på sekundnivå.

3.4 Datamängd 4

Den fjärde datamängden innehöll två filer från anläggningsregistret, vilka båda levererades från Vattenfall Eldistribution AB. De båda filerna innehöll, tillsammans, alla fjärrstyrda frånskiljare i Vattenfalls nät. Den data som fanns i filerna var sådan som geografisk placering, fabrikat och typbeteckning. Vidare fanns även data över tekniska specifikationer, fabrikationsår, och driftsättningsdatum. Även Datamängd 4 innehöll information om vilken individ respektive data tillhör.

3.5 Datamängd 5

Den femte datamängden innehöll två filer från underhållssystemet, vilka båda levererades från Vattenfall Eldistribution AB. Den första filen innehöll data om arbetsordrar över underhåll som planerats, och genomförts. Vidare innehöll filen information om förväntad kostnad, vad som skulle underhållas, och varför underhåll skulle utföras, men även information om vilken individuell frånskiljare arbetsordern gällde. Exempelvis kunde sådan information vara att ett motordon bör underhållas, antingen på grund utav att det varit planerat underhåll eller för att frånskiljaren slutat fungera. Andra filen innehöll tidpunkter för avslutade arbetsordrar. Med hjälp av ett meddelandenummer kunde dessa två filer kombineras till en lista innehållandes

de arbetsordrar över genomfört underhåll, med tillhörande data, tillsammans med tidpunkt för avslut.

4. Metod

I det här kapitlet kommer de metoder som användes i de olika delstudierna att presenteras.

4.1 Delstudie 1

I den första delstudien gjordes en analys av Datamängd 1 och 2. Då manövertiderna i Datamängd 1 hade en upplösning ned på hundraedels sekund, var det relevant att analysera huruvida eventuella resultat skulle vara beroende av en sådan upplösning.

Para ihop manövrar och manövertider

Matlab användes för att extrahera manövertider ur Datamängd 1, tillsammans med de tillhörande tidsstämplarna och information om vilken fränskiljare som utfört manöver. Nästa steg var att para ihop alla manövertider med respektive manöver, öppna eller stänga, från loggfilerna i Datamängd 1. För att göra detta användes både information om vilken fränskiljare som utfört manövern, och tidsstämpel, detta för att det är möjligt, om än osannolikt, att två olika individer har utfört en manöver vid samma tidpunkt. En ytterligare aspekt var att tidsstämplarna i loggfilerna kunde skilja sig med någon sekund från tidsstämplarna i filen med manövertiderna, och därmed skulle två manövertider som skedde nära varandra i tid kunna blandas ihop. Därmed var det viktigt att även jämföra informationen om vilken fränskiljare som utfört manövern, och ett intervall om en sekund användes runt tidsstämpeln från filen med manövertider, för att göra det möjligt att para ihop manövertiderna med respektive manöver även om tidsstämplarna skiljer sig något.

Överföringstid

Som en del av Delstudie 1 beräknades den överföringstid som förekommer när manövertider loggas i FEP:en. Överföringstiden är den tid som uppstår i överföringen av en signal mellan FEP:en och komponenten, och kan representeras av differensen mellan Datamängd 2 och Datamängd 1. Första steget för att kunna beräkna överföringstiden var att extrahera manövertider ur de loggfiler som levererades i Datamängd 2, för att sedan jämföra dessa med manövertiderna från Datamängd 1. Detta gjordes genom att med Matlab extrahera manövertiderna, tillsammans med respektive tidsstämpel och information om vilken fränskiljare som utförde manövern. Informationen om vilken fränskiljare som utförde manövern jämfördes, tillsammans med tidsstämplarna. Även denna jämförelse gjordes med ett intervall om en sekund kring tidsstämpeln, då de kan skilja sig med någon sekund mellan de olika filerna.

När manövertiderna från de båda datamängderna var samlade subtraherades manövertiderna från Datamängd 2 med de från Datamängd 1 för att få differensen. Sedan användes Matlab

för att beräkna differensens medelvärde och ett konfidensintervall med konfidensgrad 95% kring det, samt differensens 0.025- och 0.975-kvantiler.

Rychlik & Rydén (2006) definierar, i kapitel 9, kvantil som ett värde där en viss procent av observationer hos en stokastisk variabel befinner sig nedanför värdet. Exempelvis är 0.025-kvantilen ett värde där 2.5% befinner sig nedanför värdet. Det innebär att 0.025- och 0.975-kvantilerna ger ett intervall där 95% av värden befinner sig inom intervallet.

4.2 Delstudie 2

I den andra delstudien behandlades Datamängd 3 och 4, vilka analyserades ur olika perspektiv. De olika perspektiven var sådant som skulle kunna tänkas påverka manövertidernas beteende. Totalt kom det att handla om fyra perspektiv: typ av manöver, geografisk placering, årstid, och frånskiljarens ålder. Dessa fyra perspektiv kommer presenteras närmare längre fram i kapitlet.

Extrahera manövrar och tillhörande manövertider

Första steget var liknande det som gjordes i första delstudien, att manövertiderna, med hjälp av Matlab, extraherades ur loggfilerna i Datamängd 3, tillsammans med respektive tidsstämpel, typ av manöver, och information om vilken individ som utfört manövern. Skillnaden från Delstudie 1 är både att det handlar om fler frånskiljare, samt att en selektiv extrahering var tvungen att göras. Anledningen till detta var att loggfilerna i Datamängd 3 innehöll alla manövrar som utförts av en distribuerad fjärrstyrd frånskiljare, även manövrar som inte genomförts korrekt. Exempelvis fanns det manövertider som i loggen stod som godkända, men som hade en tid över 100 sekunder. Vidare fanns det även en tidsgräns som gjorde att manövrar för vissa av frånskiljarna ej kunde ta mer än 18 sekunder att utföra. Varför denna tidsgräns inte gällde alla aktuella frånskiljare var oklart, men det faktum att 18 sekunder användes som gränsvärde ledde till beslutet att exkludera de manövertider som är längre än 18 sekunder. Vidare exkluderades även manövertider om 0 sekunder, vilket gav ett intervall där manövertiderna var tvungna att vara längre än 0 sekunder, och kortare än 18 sekunder.

Para ihop manöver med kompletterande data

Efterföljande steg var att para ihop respektive manöver med den data som återfanns i Datamängd 4. Detta gjordes med hjälp av Matlab, genom att para ihop respektive individ från de extraherade manövertiderna, med de individer som fanns i de två filerna i Datamängd 4. Sedan extraherades data över geografisk placering, fabrikat, typbeteckning, tekniska specifikationer, fabrikationsår, och driftsättningsdatum, för varje fjärrfrånskiljare med de extraherade manövertiderna. Här uppstod en naturlig selektering, då inte alla av de frånskiljare som förekom bland de extraherade manövertiderna, kunde hittas i någon av filerna i Datamängd 4. Anledningen till detta var att filerna i Datamängd 4 innehöll de fjärrstyrda frånskiljare som fanns i systemet vid tidpunkten för när filerna gjordes, vilket

innebar att frånskiljare kan ha tagits ur drift. Vidare togs de frånskiljare vilka tillhörde något annat än mellanspänningsnätet bort.

Valet att studera typer

Av de kvarvarande manövertiderna hade varje enskild individ ett fåtal mätvärden, cirka 60 stycken som mest, och det var därmed ett måste att samla flera individer för att få ett större antal mätvärden att analysera, och därmed få ett större statistiskt underlag för den statistiska analysen. Ett antagande gjordes att individer av samma tillverkare och modell, vidare benämnt typ, beter sig på ett liknande sätt, det vill säga att manövertiderna är ungefär lika långa vid normal drift. Därmed gjordes ett val att samla individer av samma typ, och analysera typerna i stället för enskilda individer. Till följd av det valet valdes de typer som innehöll flest individer, och därmed flest mätvärden, ut. Utav de olika typerna var det fyra stycken som innehöll fler än 10 individuella frånskiljare, och dessa var de som valdes ut för studien. Dessa fyra typer kommer härnäst att kallas Typ 1, Typ 2, Typ 3 och Typ 4. I Tabell 1 presenteras typerna och dess respektive antal individer och mätvärden.

Tabell 1 Antal individer, och antal mätvärden hos de olika typerna

Typ	1	2	3	4
Antal individer	14	32	58	40
Antal mätvärden	274	635	985	864

Som Tabell 1 visar var det skillnader i antalet mätvärden hos de olika typerna, vilket också påverkade vilka statistiska slutsatser som kunde dras.

Perspektiv 1: Typ av manöver

Typerna analyserades sedan utifrån olika perspektiv, vilka det fanns data om i antingen Datamängd 3 eller Datamängd 4. Första perspektivet var om manövertiden skiljde sig beroende på vilken manöver som utfördes, det vill säga om frånskiljaren öppnade eller stängde.

Perspektiv 2: Geografisk placering

Andra perspektivet var frånskiljarnas geografiska placering. Vattenfall använder en geografisk uppdelning i fyra regioner: Norrland, Svealand, Östra Götaland eller Västra Götaland. Då denna uppdelning redan var etablerad, valdes att använda densamma även för uppsatsen. I Datamängd 4 fanns även data om frånskiljarnas geografiska placering på kommunnivå, vilken valdes bort då det inte var möjligt att göra en uppdelning som både hade en spatial anledning till uppdelning, och dessutom innehöll tillräckligt med mätvärden för att kunna dra statistiska slutsatser.

Perspektiv 3: Årstid

Tredje perspektivet var om de olika årstiderna, och därmed de olika medeltemperaturerna, påverkade manövertiden. För att dela in året i fyra årstider kan två olika indelningar göras, antingen kalendarisk eller meteorologisk. Skillnaden var att den kalendariska indelningen bestod utav fasta datum för de olika årstiderna, där varje årstid innefattade tre månader: mars, april och maj är vår, juni, juli och augusti är sommar, september, oktober och november är höst, och december, januari och februari är vinter. En meteorologisk indelning har inte fasta datum, i stället varierar årstidsbytet beroende på hur temperaturen varierar. Exempelvis måste dygnsmedeltemperaturen vara minusgrader minst sju dagar i följd för att det ska vara meteorologisk vinter (SMHI, 2014). För den här studien valdes kalendariska årstider. Anledningen till detta är att för meteorologiskt år inträffar årstiderna vid olika tidpunkter för olika platser i landet. Även om meteorologiska årstider skulle ha gett ett mer precist resultat, skulle det också ha inneburit programmering på en mer detaljrik nivå. Programmering hade behövt göras nästintill individuellt för varje enskild frånskiljare, där några få hade kunnat klumpas ihop då de ligger geografiskt nära varandra.

Perspektiv 4: Frånskiljarens ålder

Fjärde, och sista, perspektivet var om åldern på frånskiljarna påverkade manövertiderna. För att undersöka detta användes frånskiljarnas tillverkningsår. Det ska dock påpekas att antalet olika tillverkningsår varierade mellan de olika typerna, och även spridningen på de olika årtalen.

4.3 Delstudie 3

Tredje delstudien behandlade Datamängd 3 och 4, men med en annan infallsvinkel än Delstudie 2. Infallsvinkeln berodde på antagandet att de manövertider som finns uppmätta var vid normal drift, och att frånskiljarna fungerade som de skulle. Trovärdigheten i detta var svår att definiera, men det var osannolikt att det skulle gälla för alla frånskiljare. Trots detta gjordes antagandet, då det inte fanns någon data som visade huruvida en frånskiljare fungerade som den skulle eller ej.

Utifrån det gjordes ett val att undersöka vad som kan klassas som normala manövertider för de olika de fyra typerna som studerades i Delstudie 2. Första steget var att definiera vad som skulle anses vara normalt. Ett sätt att undersöka detta var att beräkna spridningsintervall för var och en av de studerade typerna.

Spridningsintervall

Spridningsintervall liknar konfidensintervall, med skillnaden att spridningsintervall enbart visar hur enskilda mätvärden är utspridda från medelvärdet. Konfidensintervall beskriver hur sannolikt det är att det verkliga väntevärdet för en population finns inom ett visst intervall från medelvärdet i ett stickprov (Körner & Wahlgren, 2015). Inom medicinsk statistik finns

begreppet referensintervall⁴, vilket, enligt Altman (1991), är ett sätt att definiera gränser inom vilka en viss andel av mätvärdena befinner sig. Begreppet referensintervall används för att benämna det intervall där värden normalt borde finnas. Exempelvis används det när blodets kolesterolhalt mäts, där det då finns ett referensintervall inom vilket en patients värden ska finnas för att vara normala (Altman, 1991). Referensintervall är en typ av spridningsintervall, men begreppet spridningsintervall passar bättre för den här studien och kommer därmed användas i fortsättningen.

Att bestämma intervallet går att göra på två olika vis: med en direkt metod eller med en teoretisk modell. Att använda en teoretisk modell är den vanligaste metoden, men det är en parametrisk metod som kräver att datamängden är normalfördelad. Vad gäller den för denna studie tillgängliga data, var det okänt vilken fördelning den hade. Därmed var det inte aktuellt att använda en teoretisk modell för att beräkna spridningsintervallet. Det andra, mindre vanliga, alternativet utförs genom att, exempelvis, beräkna kvantiler hos en datamängd. Att använda det alternativet påverkas inte av datamängdens eventuella fördelning, och är därmed en icke-parametrisk metod (Altman, 1991). Rychlik & Rydén (2006) definierar kvantil som ett värde där en viss procent av observationer hos en stokastisk variabel befinner sig nedanför värdet. Exempelvis är 0.025-kvantilen ett värde där 2.5% befinner sig nedanför värdet. Det innebär att 0.025- och 0.975-kvantilerna ger ett intervall där 95% av värdena befinner sig inom intervallet (Rychlik & Rydén, 2006).

Bootstrapping

Vidare var det önskvärt att undersöka hur stabila de två värdena som utgjorde spridningsintervallet var. Det vill säga, det var viktigt att hitta spridningsintervall för 0.025-respektive 0.975-kvantilen. Om det skulle resultera i ett stort spridningsintervall för en av kvantilerna, innebär det att det är stor osäkerhet kring vilket värde kvantilen egentligen har. Ett verktyg för att komma tillrätta med det är att använda bootstrapping. Bootstrapping utgår från den ursprungliga datamängden, vilken har n antal mätvärden. Utifrån den skapas en ny syntetisk datamängd, vilken fylls med värden från den ursprungliga datamängden. Även i den syntetiska mängden kommer det finnas n antal mätvärden. Värdena som ska fylla den syntetiska datamängden väljs slumpmässigt ut, utan hänseende till tidigare valda värden. Därmed kommer ett värde från den ursprungliga datamängden kunna förekomma flera gånger i den syntetiska, vilket gör att de båda mängderna kommer likna varandra men, sannolikt inte, vara likadana. Metodiken upprepas sedan B antal gånger, där B ska vara stort. Vad som anses vara stort är godtyckligt (Rosopa, 2017). För varje syntetisk datamängd kan då, exempelvis, 0.025- och 0.975-kvantilen beräknas.

Då B var godtyckligt, valdes att undersöka flera olika B . Åtta olika B valdes: 100, 500, 1000, 5000, 10000, 50000, 100000, 500000. Valet att undersöka flera B var för att se om, och hur, spridningsintervallen kan tänkas förändras om antalet mätvärden ökas. För dessa B antal syntetiska datamängder beräknades sedan dess 0.025- och 0.975-kvantilen för varje enskild datamängd. Resultatet av detta blev åtta nya datamängder, vilka innehåller 100, 500, 1000,

⁴ Eng. Reference interval

5000, 10000, 50000, 100000 respektive 500000 0.025- och 0.975-kvantiler. Utifrån dessa beräknades två spridningsintervall, ett för 0.025-kvantilen, och ett för 0.975-kvantilen, för var och en av de åtta nya datamängderna.

4.4 Delstudie 4

Fjärde delstudien var en fortsättning på tredje delstudien. Även om det var få mätvärden per enskild individ, mellan 11 till och med 53 mätvärden, kunde det vara av intresse att undersöka individuella frånskiljare var för sig, för att se om det gick att urskilja tendenser till individernas beteende.

För ändamålet valdes att studera tre individuella frånskiljare från var och en av de fyra typerna. Valet av just tre individer baserades på att alla fyra typer hade minst tre individer med minst 30 mätpunkter. De individuella frånskiljarna kommer härnäst att benämnas Individ X.1, Individ X.2 och Individ X.3, där X är numreringen för vilken typ individen tillhör.

Efterföljande steg var att beräkna medelvärde, 0.05- och 0.95-kvantil för respektive individ. Triola (2008) är noga med att påpeka att inga slutsatser ska dras från små datamängder, vilket det är i denna delstudie. Men, att det möjligtvis skulle gå att se tendenser, vilka sedan måste verifieras för statistiskt säkerställda resultat. Att valet föll på att använda 0.05- och 0.95-kvantilen i stället för 0.025- och 0.975-kvantilen berodde på bristen på mätpunkter. Om 0.025- och 0.975-kvantilen hade använts skulle eventuella outliers ha en stor påverkan, som en bieffekt av att det var en liten mängd mätpunkter. Därmed valdes 0.05- och 0.95-kvantilen, vilket visade var 90 % av alla värden befann sig, och en fingervisning gavs om hur stor spridningen av manövertiderna var.

4.5 Delstudie 5

Femte delstudien behandlade Datamängd 5, i relation till Datamängd 3 och Datamängd 4. Från Datamängd 3 användes de olika manövertiderna, tillsammans med vilken manöver som utförts och tillhörande tidsstämpel. Denna information kompletterades med data från Datamängd 4 över vilken typ av frånskiljare som utfört manövern, och vilken spänningsnivå den tillhörde.

Med hjälp av den information om vilken frånskiljare som utfört manövern, som förekom i alla tre datamängder, var det möjligt att få fram vilken typ av frånskiljare de olika arbetsordrarna berörde. Från detta var det möjligt att se att av de 27 stycken avslutade arbetsordrarna, var det bara två som gällde frånskiljare i mellanspänningsnätet. Resterande arbetsordrar tillhörde frånskiljare i högspänningsnätet.

Femte delstudien gick ut på att undersöka om det var möjligt att se en förändring i manövertid efter en arbetsorder. Manövertiderna före en arbetsorder jämfördes således med manövertiderna efter. Ett val gjordes också att inte enbart undersöka de två frånskiljarna i mellanspänningsnätet, för att se om det gick att se någon förändring hos någon frånskiljare,

även om det gäller en frånskiljare i högspänningsnätet. Detta för att undersöka om vidare studier är av värde.

Av de 27 stycken avslutade arbetsordrarna var det 17 stycken som hade en beräknad kostnad som var mer än 0 kr. Ett val gjordes då att studera de som hade en beräknad kostnad större än 0 kr, eftersom en beräknad kostnad på 0 kr tyder på att inget arbete som påverkat manövertiden gjorts.

De olika individerna kommer att benämnas Individ 5.X, där X är en indexering för att särskilja de olika individerna, och 5 används för att särskilja dem från tidigare använda individer.

5. Resultat

I det här kapitlet kommer resultaten i de olika delstudierna att presenteras.

5.1 Delstudie 1

När de unika manövertiderna hade extraherats uppdagades ett faktum att det var få individuella frånskiljare som förekom i Datamängd 1. Vidare hade varje enskild frånskiljare ett fåtal mätvärden. Därför klumpades de olika individerna ihop efter stationer. I Tabell 2 visas hur många olika stationer som fanns med i Datamängd 1, och hur många unika manövertider som tillhörde varje station.

Tabell 2 Antal mätvärden per station

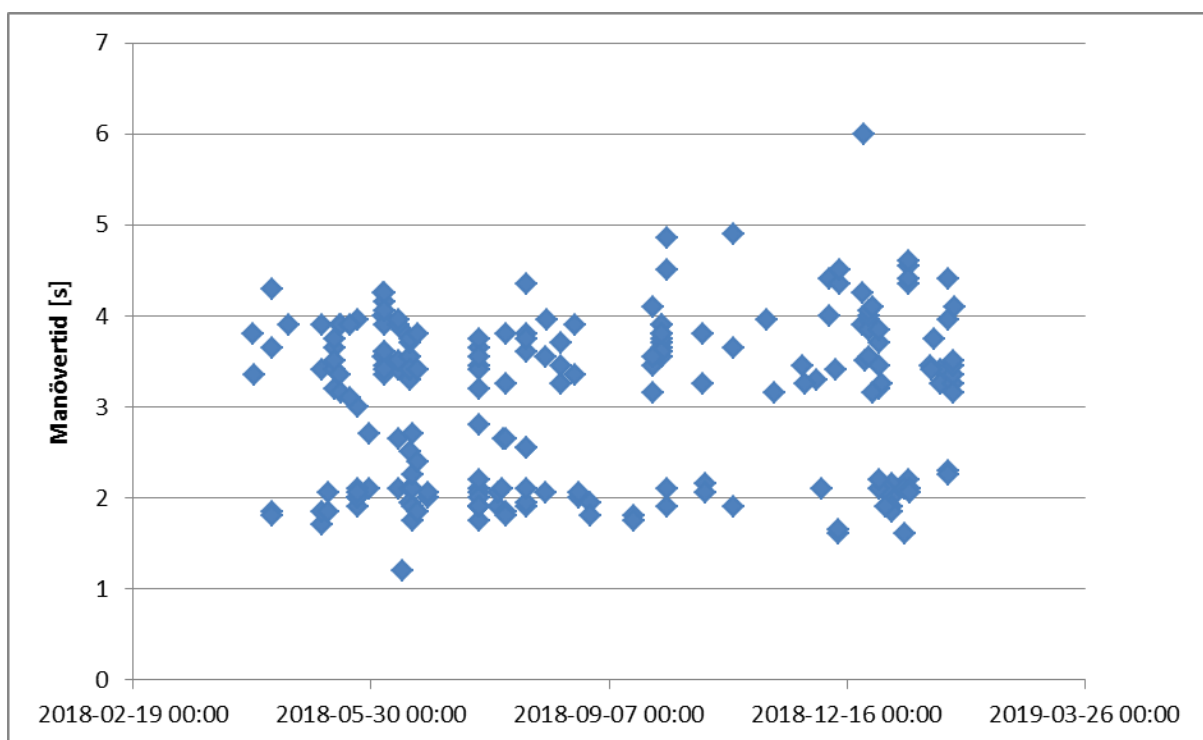
Station	Antal mätvärden
1	96
2	22
3	22
4	17
5	10
6	8
7	9
8	1
9	10
10	9
11	4
12	2

Det som går att se i tabellen är att Station 1 är den enda stationen där det möjligtvis går att dra statistiskt säkerställda slutsatser. Även om det är på det sättet att alla individer i, exempelvis,

Station 2 beter sig likadant, vilket inte är troligt, skulle det inte gå att dra en slutsats utifrån enbart 22 mätvärden.

5.1.1 Alla individer

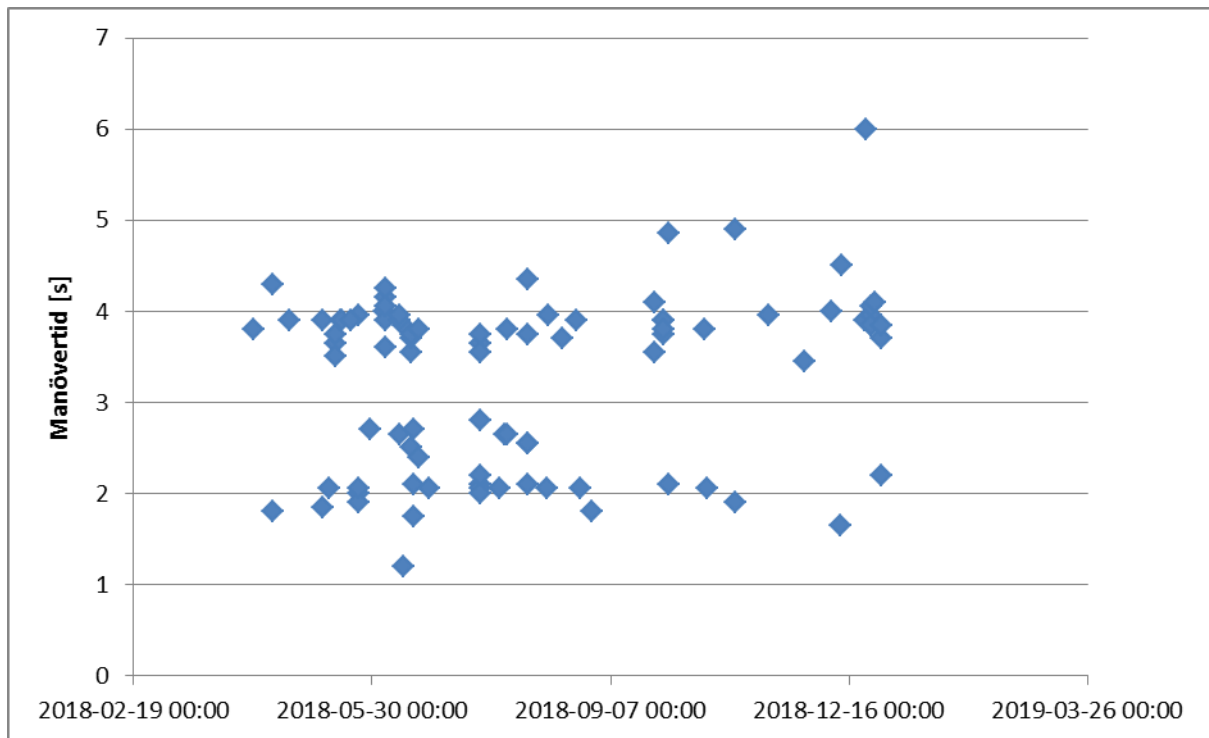
Som Tabell 2 visar var det endast Station 1 som hade ett antal mätvärden som var stort nog för att möjligtvis kunna dra statistiska slutsatser. Trots detta valdes att undersöka alla individer från alla stationer som ett första steg. Därmed klumpades tiderna från alla individer ihop, vilket kan ses i Figur 4, Figur 5 och Figur 6. För alla tre figurer representerar y-axeln manövertiden i sekunder, och x-axeln visar tidpunkt för när manövern utfördes. Figur 4 visar ett punktdiagram över alla manövertider från alla individuella frånskiljare som återfanns i Datamängd 1.



Figur 4 Alla manövertider från de individuella frånskiljarna i alla stationer

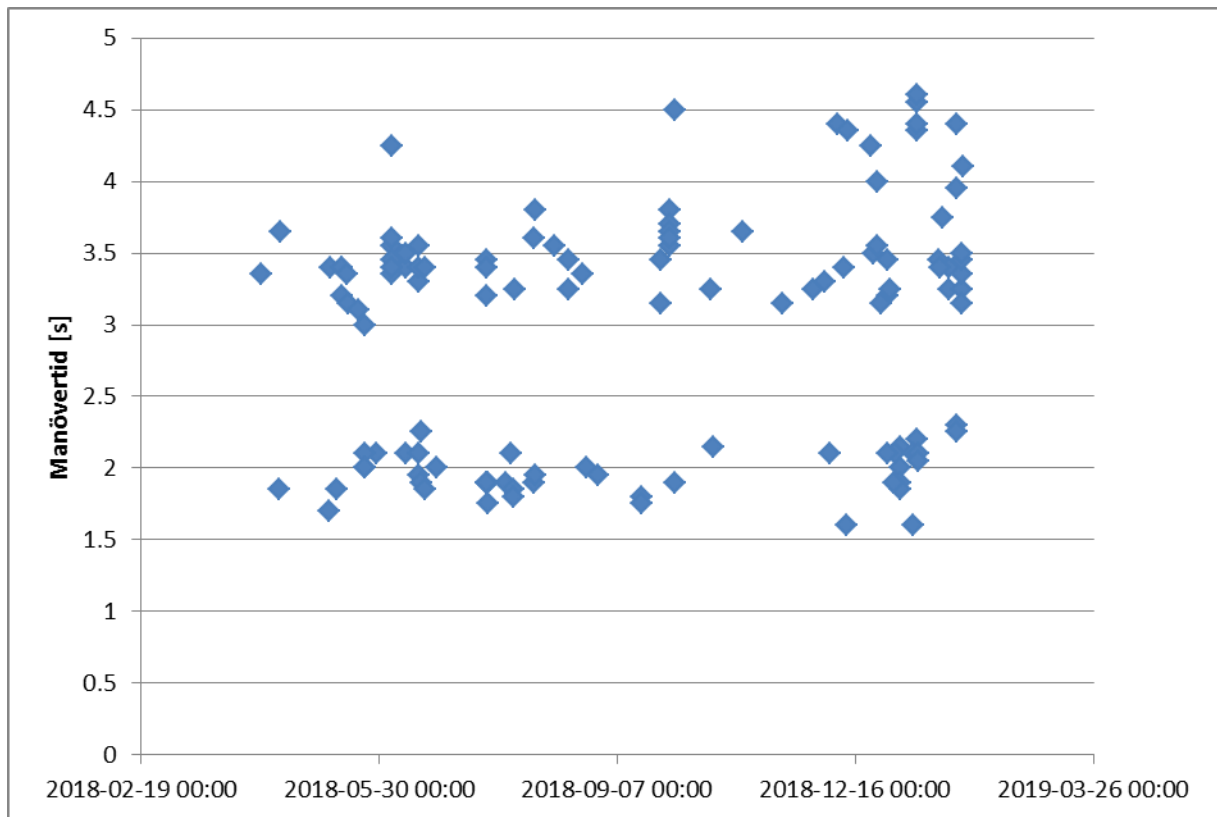
Vid en första anblick syntes två ansamlingar av manövertider, en kring 2 sekunder och en runt 3.5-4.5 sekunder. En gissning till varför kan vara att ansamlingarna representerade en manöver var. Vidare gick det att gissa att de två ansamlingarna berodde på vilken typ av frånskiljare som utfört manövern. För att undersöka det vidare delades mätvärdena upp efter vilken manöver som genomförts.

Figur 5 visar ett punktdiagram över manövertider för manövern stänga, från alla individuella frånskiljarna som återfanns i Datamängd 1.



Figur 5 Alla manövertider för manövern stänga, från de individuella frånskiljare i alla stationer

Figur 6 visar ett punktdiagram över manövertider för manövern öppna, från alla individuella frånskiljarna som återfanns i Datamängd 1.

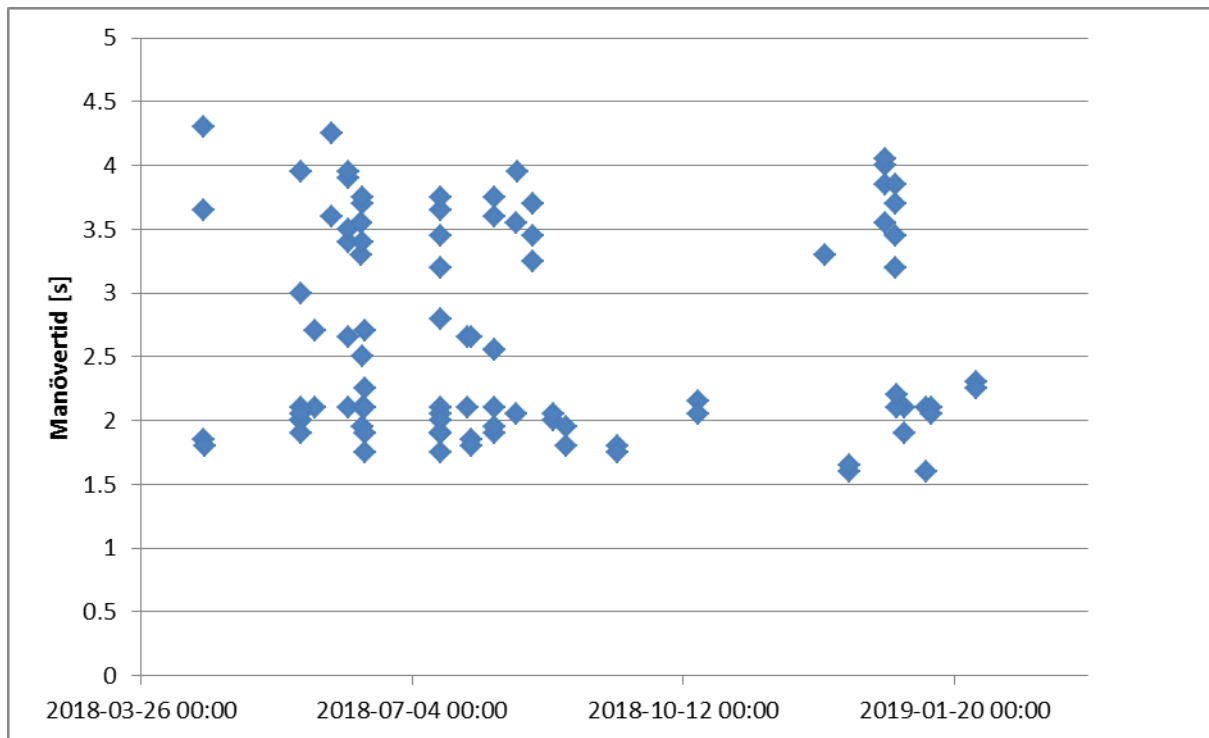


Figur 6 Alla manövvertider för manövern öppna, från de individuella frånskiljare i alla stationer

Utifrån de två figurerna ovan gick det att se att det var två ansamlingar oberoende av typ av manöver. För stänga var ansamlingarna kring 2 sekunder och 4 sekunder, och för öppna kring 2 sekunder och en spretig ansamling runt 3.5 sekunder. Den slutsats som kan dras utifrån detta var att manövvertiderna troligtvis är beroende av typ av frånskiljare, alternativt av varje enskild frånskiljare.

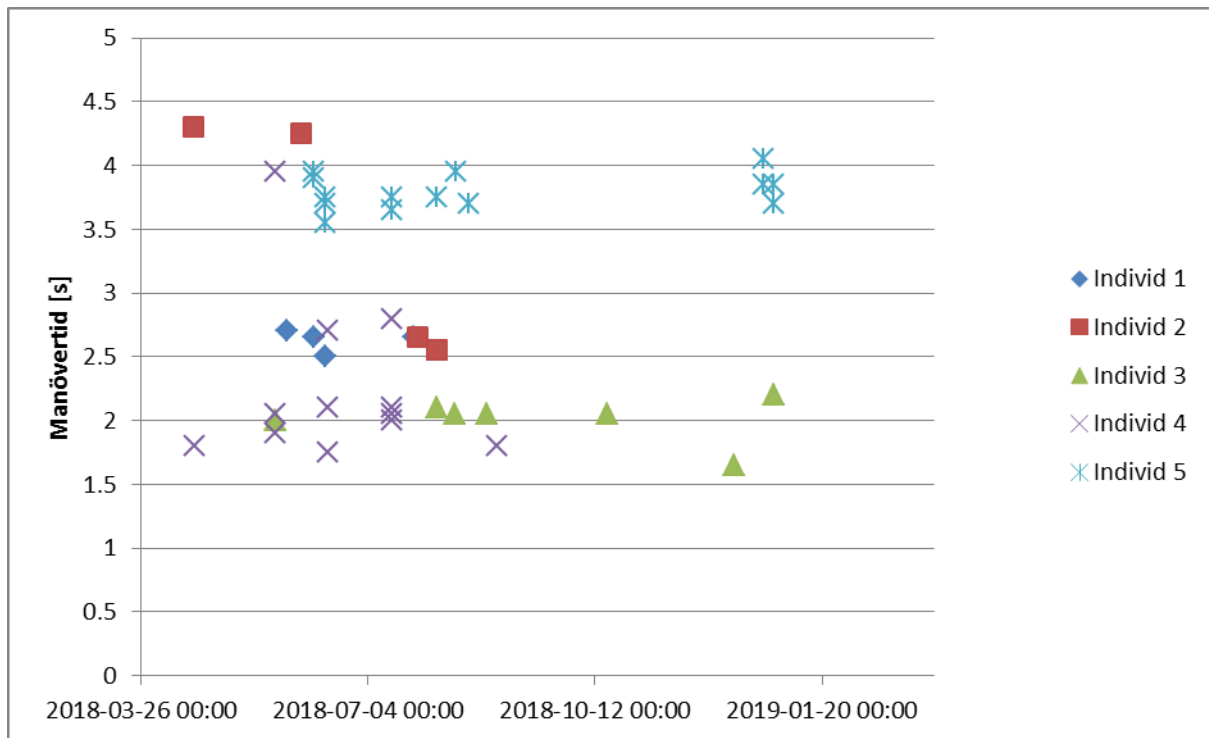
5.1.2 Station 1

Nästa steg var att undersöka Station 1, vilken var den frånskiljare där det fanns ett större antal mätvärden. I Figur 7 visas ett punktdiagram över alla manövvertider för Station 1. Y-axeln representerar manövvertiden i sekunder, och x-axeln visar tidpunkt för när manövern utfördes.



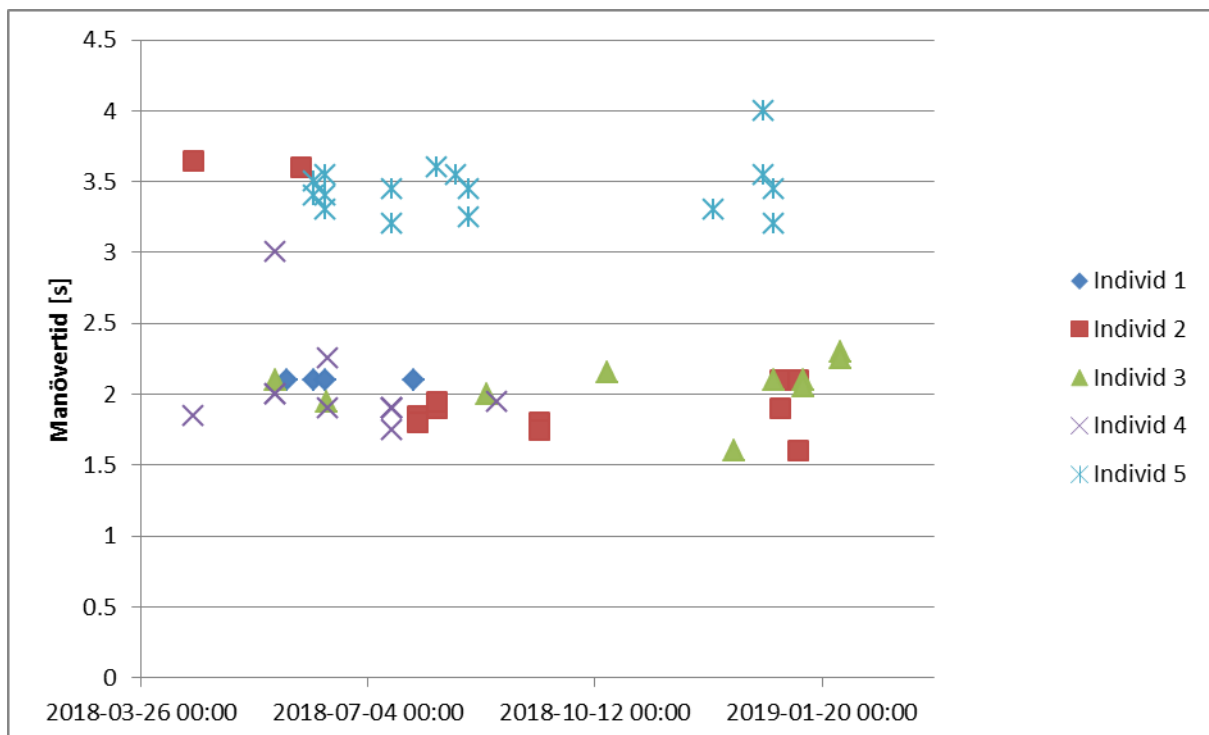
Figur 7 Alla manövertider från Station 1

I Figur 7 syns två ansamlingar, en kring 2 sekunder och en mellan 3 och 4 sekunder. För att vidare se om det är någon skillnad mellan manövern, och se om det är varför det finns två ansamlingar, presenteras ett punktdiagram per manöver. I Figur 8 presenteras manövertiderna för manövern stänga, där y-axeln representerar manövertid i sekunder, och x-axeln visar tidpunkt för när manövern utfördes. Vidare delas punkterna upp efter vilken individuell frånskiljare de olika manövertiderna tillhör.



Figur 8 Alla manövertider för manövern stänga, från Station 1

I Figur 9 presenteras manövertiderna för manövern öppna, där y-axeln representerar manövertid i sekunder, och x-axeln visar tidpunkt för när manövern utfördes. Vidare delas punkterna upp efter vilken individ de olika manövertiderna tillhör.

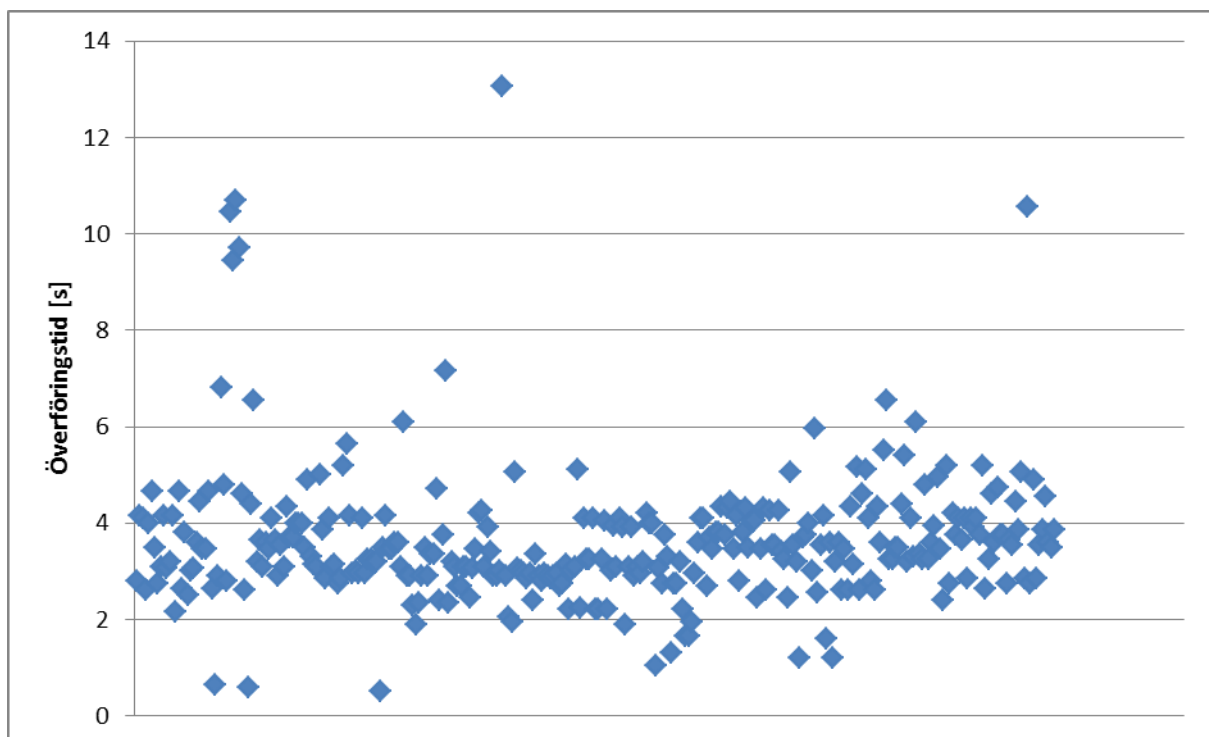


Figur 9 Alla manövertider för manövern öppna, från Station 1

Tesen om att frånskiljare av olika typer inte kan studeras tillsammans förstärktes av Figur 8 och Figur 9. I de båda figurerna var det möjligt att se att de olika individernas mätvärden befann sig inom någon av de tidigare nämnda ansamlingarna. Individ 1, Individ 3 och Individ 5 hade sina mätvärden centrerade kring 2.5 sekunder, 2 sekunder, och 3.5-4 sekunder respektive. Det ska dock påpekas att antalet mätvärden var få och därmed gick det endast att iaktta tendenser. Som motsats till de ovan nämnda individer kan Individ 2 och Individ 4 ställas, vilka båda hade mätvärden som spretade mer, och inte låg samlade kring en viss tid. Utifrån detta gick det att se hur de olika individuella frånskiljarnas manövertider skiljer sig från varandra, och därmed borde studeras individuellt för bästa resultat.

5.1.3 Överföringstid

Genom att jämföra manövertiderna från Datamängd 1 med motsvarande manövertider från Datamängd 2 gick det att beräkna den överföringstid som uppstått när manövertiderna loggats i FEP:en. Överföringstiden representeras av differensen mellan manövertiderna i Datamängd 2 och manövertiderna i Datamängd 1, vilka går att se i Figur 10. Y-axeln representerar differensen i sekunder, och x-axeln motsvarar en indexering för varje enskilt mätvärde.



Figur 10 Överföringstiden i sekunder

Vidare beräknades överföringstidens medelvärde, med tillhörande konfidensintervall med konfidensgrad 95%, och dess 0.025- och 0.975-kvantil utifrån rådata. Dessa presenteras i Tabell 3.

Tabell 3 Medelvärde, med tillhörande konfidensintervall, och 0.025- och 0.975-kvantil för överföringstiden

Medelvärde	Konfidensintervall	0.025-kvantil	0.975-kvantil
3.61	[3.45 3.77]	1.61	6.76

Väntevärdet ska då med 95% säkerhet befinna sig inom intervallet [3.45 3.77], vidare är det en stor spridning av överföringstider kring intervallet där väntevärdet torde befinna sig. Spridningsintervallet beräknades direkt från rådata till [1.61 6.76], där 95% av alla överföringstider befann sig.

I Figur 10 illustrerades ovan nämnda resultat, där det tydligt går att se att spridningen var stor, men att en majoritet av överföringstiderna var ansamlade kring medelvärdet. Kortfattat pekade detta på att det fanns en stor osäkerhet kring de manövertider som loggats i FEP:en. Innebörden av detta var att följande delstudier har en inneboende osäkerhet kring de manövertider som presenteras, vilket i slutändan kom att påverka den analys som gjorts.

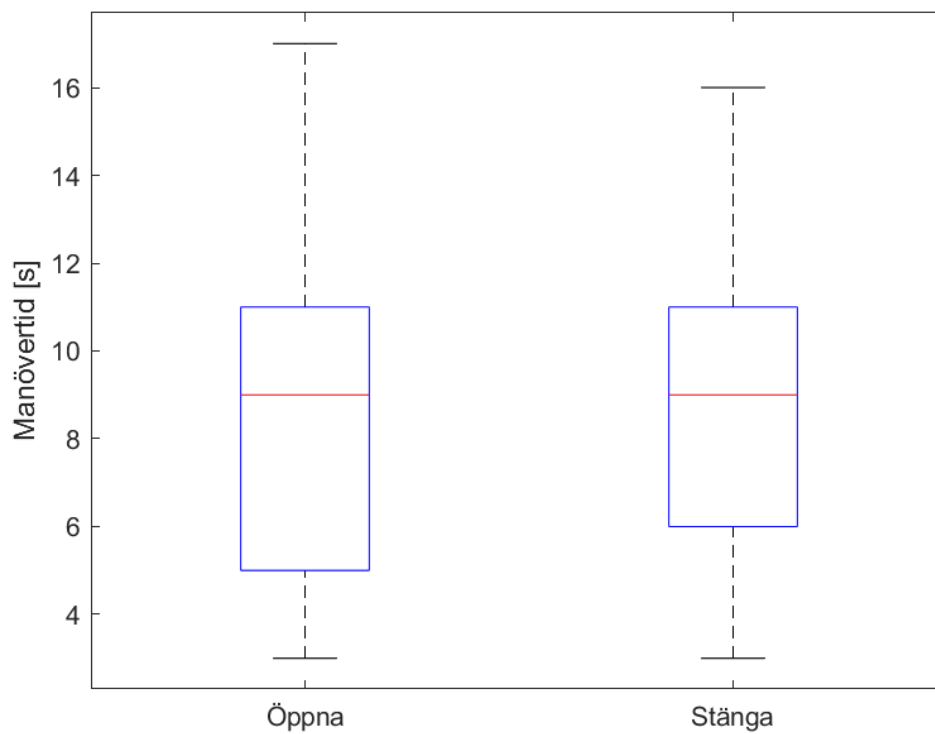
5.2 Delstudie 2

För Delstudie 2 kommer de figurer som presenteras att tolkas visuellt. Antal mätvärden per låda i lådagrammen har en påverkan på de slutsatser som kan dras, varför antalet mätvärden presenteras i aslutning till varje figur. Värt att notera är att det i flera fall förekommer att medianen är lådans övre eller nedre kant. Anledningen till detta kan vara upplösningen, vilken endast är på sekundnivå. I några fall förekommer ingen låda, utan enbart en median och en eller flera outliers. Det berodde på att nästan alla uppmätta manövertider var desamma, och att det då inte fanns någon spridning exklusive outliers.

5.2.1 Manövertid beroende på manöver

I Figur 11, Figur 12, Figur 13 och Figur 14 visas två lådagram, ett för öppna och ett för stänga, för Typ 1, Typ 2, Typ 3 och Typ 4 respektive. De visar spridningen av manövertiderna för manövrarna öppna och stänga, där de röda strecken utgör medianen. Det övre strecken i lådorna visar 0.75-kvantilen, och de undre 0.25-kvantilen. De vågräta strecken längst ut på de streckade linjerna visar de minsta, respektive största, värdena i datamängden, exklusive outliers. Outliers representeras av de röda plustecknen.

Vidare visas även fyra tabeller, Tabell 4, Tabell 5, Tabell 6 och Tabell 7, i vilka de olika typernas antal mätvärden per manöver presenteras. Tabellerna tillhör Typ 1, Typ 2, Typ 3 och Typ 4 respektive, och visas under den till typen tillhörande figuren.

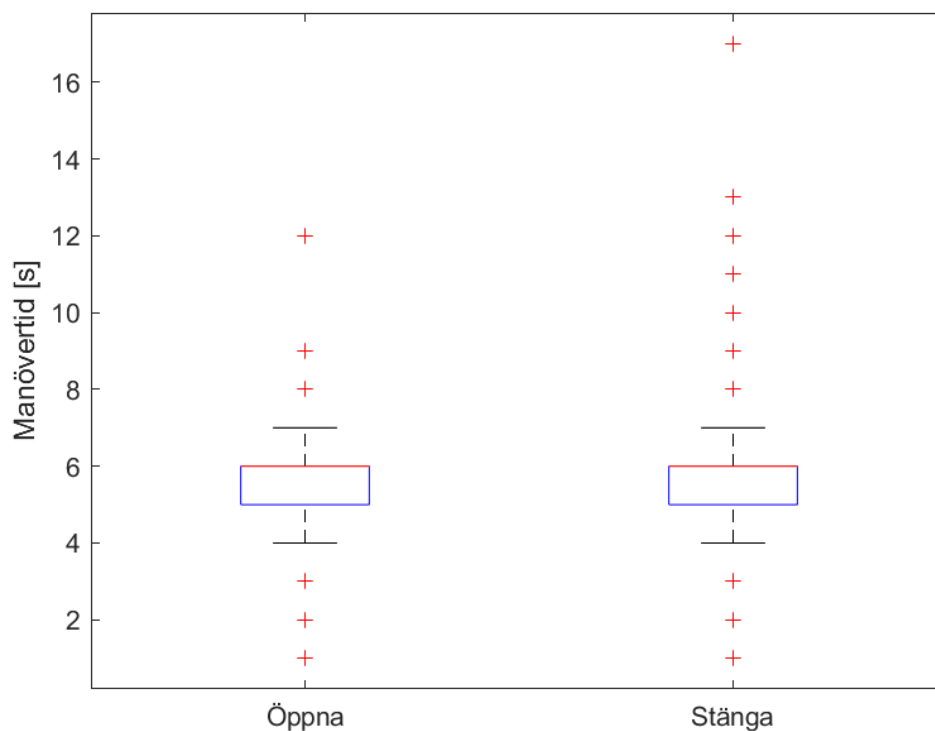


Figur 11 Spridningen av manövertider beroende på manöver, för Typ 1

Tabell 4 Antal mätvärden per manöver, för Typ 1

Manöver	Antal mätvärden
Öppna	135
Stänga	139

I Figur 11 ses en stor spridning, både för de 50% av mätvärden i lådan närmast medianen, och totalt för alla mätvärden. Medianerna för båda manövrarna var desamma, men spridningen skiljde sig något. I figuren kunde inga tydliga skillnader ses, lådagrammen för båda manövrarna var i stort sett likvärdiga.

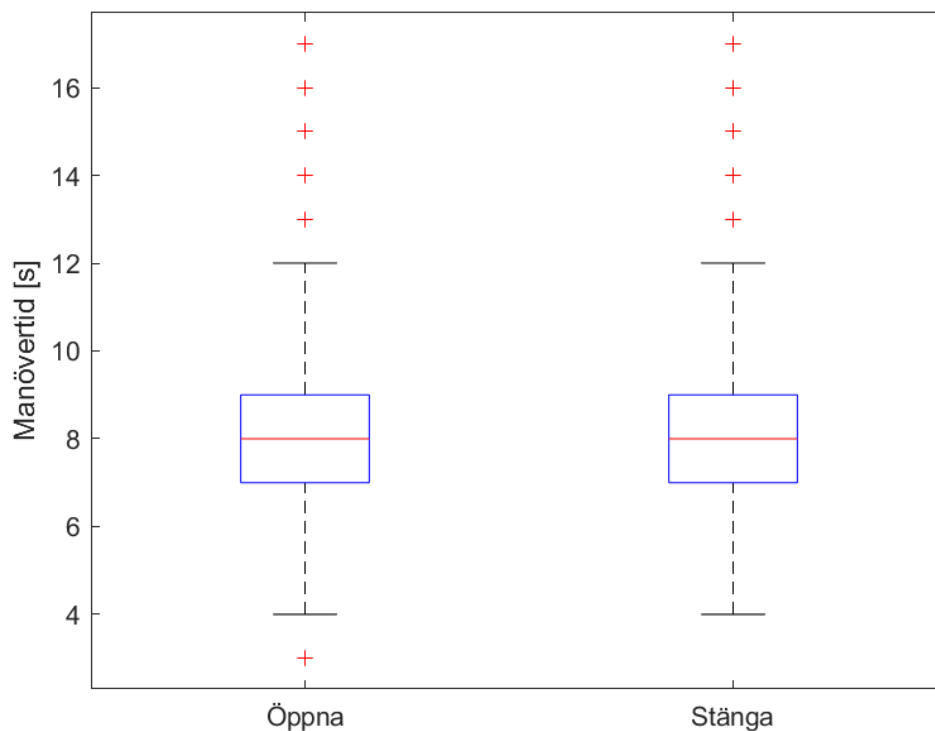


Figur 12 Spridningen av manövertider beroende på manöver, för Typ 2

Tabell 5 Antal mätvärden per manöver, för Typ 2

Manöver	Antal mätvärden
Öppna	321
Stänga	314

I Figur 12 ses en liten spridning, exklusive outliers, kring medianen. Trots att det är en liten spridning återfanns ett större antal outliers, något som tyder på att det en majoritet av manövertiderna låg kring medianen, men att det också fanns flertalet mätvärden som spretade ut onormalt mycket från övriga mätvärden. Vidare var både spridningen och medianen för båda manövrarna likvärdiga.

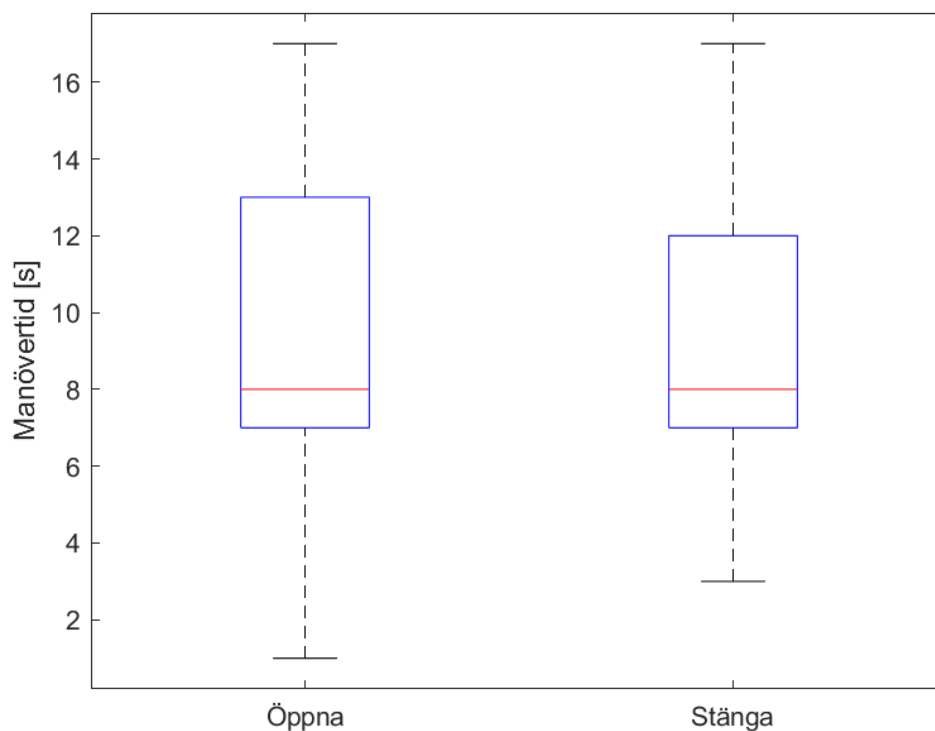


Figur 13 Spridningen av manövertider beroende på manöver, för Typ 3

Tabell 6 Antal mätvärden per manöver, för Typ 3

Manöver	Antal mätvärden
Öppna	487
Stänga	498

I Figur 13 ses en liten spridning hos de 50% av mätvärdena vilka var centrerade kring medianerna. I övrigt var spridningen över alla mätvärden, exklusive outliers, större än hos Typ 2, men inte lika stor som hos Typ 1. I princip alla outliers förekom ovanför övriga mätvärden, vilket visade att en stabilitet förekom hos Typ 3, men där det hände att manövrar tog ovanligt lång tid emellanåt. Vidare var både spridningen och medianen för båda manövrarna likvärdiga.



Figur 14 Spridningen av manövertider beroende på manöver, för Typ 4

Tabell 7 Antal mätvärden per manöver, för Typ 4

Manöver	Antal mätvärden
Öppna	430
Stänga	434

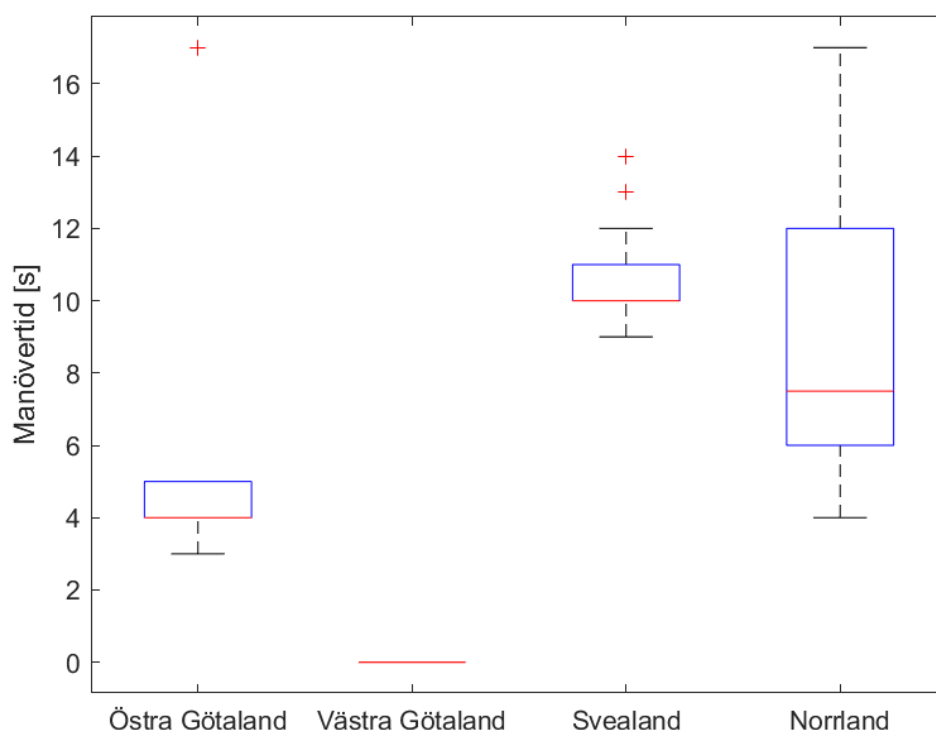
I Figur 14 ses en stor spridning hos båda manövrarna, både hos de 50% procent vilka var centrerade kring medianerna, och för alla mätvärden. Medianerna för båda manövrarna var desamma, men spridningen skiljde sig något. Trots lådorna för de båda manövrarna skilde sig något, kan inga tydliga skillnader ses, lådagrammen för båda manövrarna var i stort sett likvärdiga.

Sammanfattningsvis var det möjligt att, utifrån de fyra ovanstående graferna, dra slutsatsen att manövertiden inte påverkas av vilken typ av manöver som genomfördes. Hos alla fyra typer var lådagrammen för båda manövrarna i stort sett likadana. Denna slutsats ledde till att alla manövertider undersöktes tillsammans, oberoende av manöver, då det inte gick att se någon anledning till att studera manövrarna separat för de andra perspektiven.

5.2.2 Manövertid beroende på geografisk placering

I Figur 15, Figur 16, Figur 17 och Figur 18 visas fyra lådagram, ett för varje geografisk region, för Typ 1, Typ 2, Typ 3 och Typ 4 respektive. De visar spridningen av manövertiderna beroende av dess geografiska placering, där de röda strecken utgör medianen. Det övre strecken i lådorna visar 0.75-kvantilen, och de undre 0.25-kvantilen. De vågräta strecken längst ut på de streckade linjerna visar de minsta, respektive största, värdena i datamängden, exklusive outliers. Outliers representeras av de röda plustecknen.

Vidare visas även fyra tabeller, Tabell 8, Tabell 9, Tabell 10 och Tabell 11, i vilka de olika typernas antal mätvärden per region presenteras. Tabellerna tillhör Typ 1, Typ 2, Typ 3 och Typ 4 respektive, och visas under den till typen tillhörande figuren.

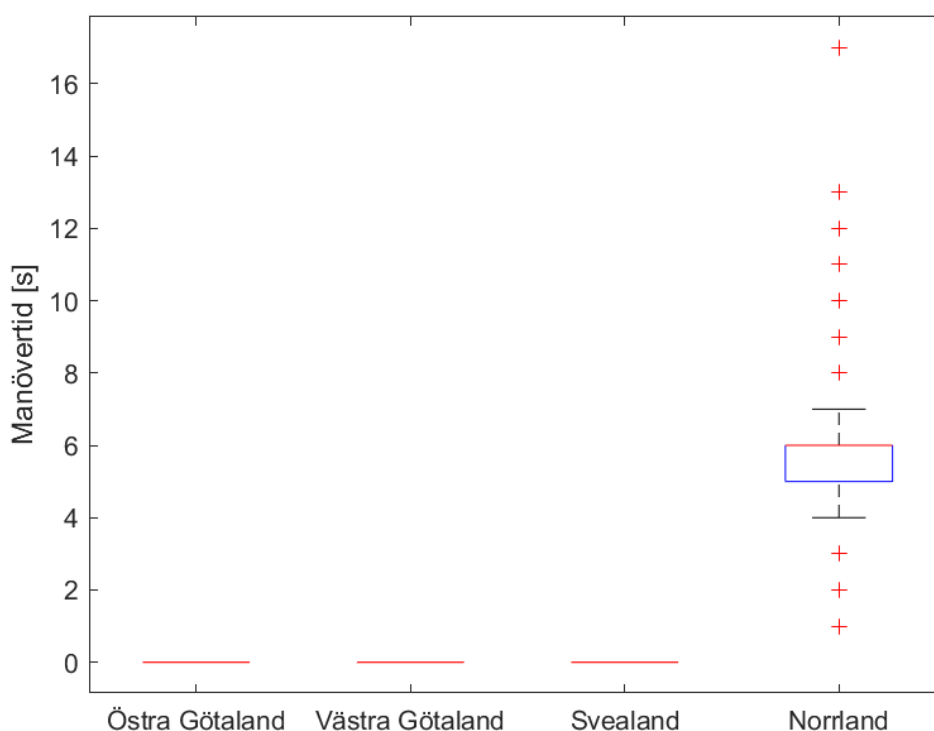


Figur 15 Spridningen av manövertider beroende på geografisk placering, för Typ 1

Tabell 8 Antal mätvärden per region, för Typ 1

Region	Antal mätvärden
Östra Götaland	31
Västra Götaland	0
Svealand	53
Norrland	190

Att Figur 15 ser ut som den gör berodde delvis på det faktum att de flesta av de frånskiljare som tillhör Typ 1 befinner sig i Norrland. Att det var färre mätvärden i Östra Götaland och Svealand fick som en bieffekt att spridningen blev mindre. Lådan för Svealand befinner sig innanför det intervall som täcks av Norrlands låda, vilket kan betyda att den stora skillnaden hos medianerna möjligtvis kan bero på mängden mätvärden. Vidare var det inte möjligt att dra en slutsats om att geografin påverkar manövertiderna utifrån Svealand och Norrland. Östra Götaland, däremot, har manövertider som var på en lägre nivå än Norrland. Anledningen till varför Östra Götaland skiljer sig ifrån de övriga kan vara att geografin har en påverkan på manövertiden, då både Svealand och Norrland är norr om Östra Götaland. Det skulle också kunna bero på överföringstiden, eller att frånskiljarna skiljer sig individuellt inom samma typ, vilket dessutom skulle kunna vara en förklaring till Norrlands stora spridning. Slutsatsen från figuren var att frånskiljarna borde studeras individuellt.

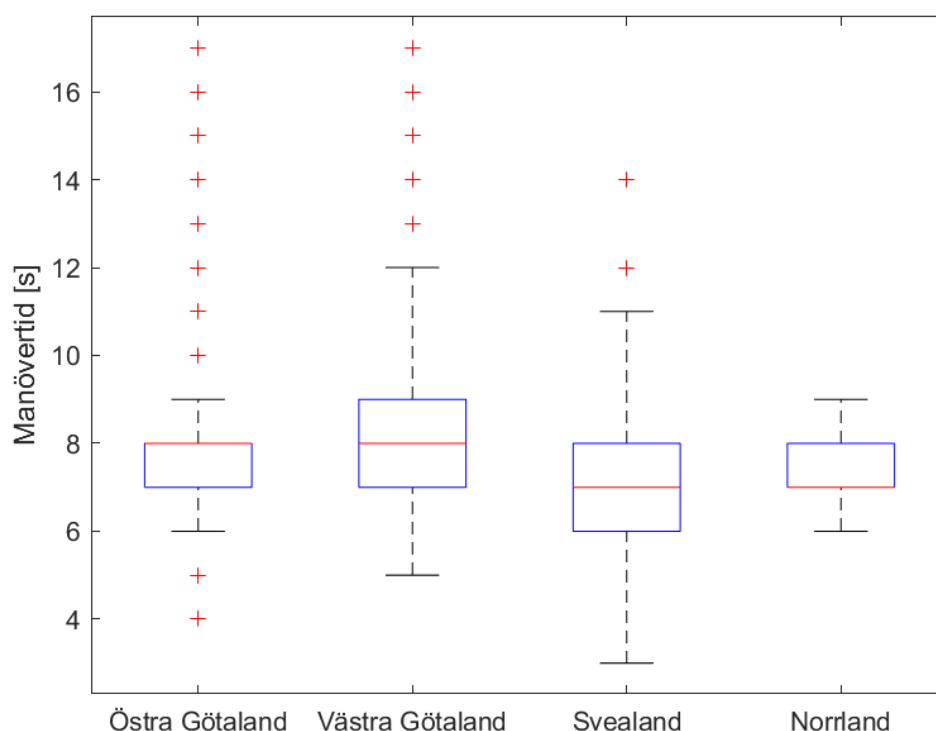


Figur 16 Spridningen av manövertider beroende på geografisk placering, för Typ 2

Tabell 9 Antal mätvärden per region, för Typ 2

Region	Antal mätvärden
Östra Götaland	0
Västra Götaland	0
Svealand	0
Norrland	635

För Typ 2 befann sig alla frånskiljare i Norrland, vilket gjorde det omöjligt att uttala något om en eventuell påverkan av geografi.

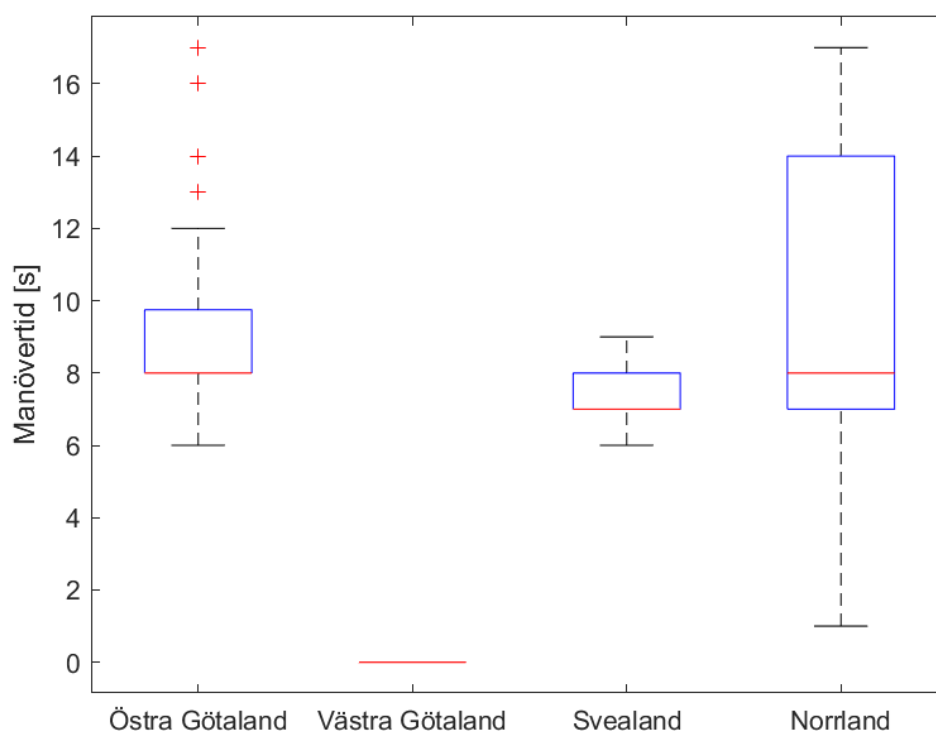


Figur 17 Spridningen av manövertider beroende på geografisk placering, för Typ 3

Tabell 10 Antal mätvärden per region, för Typ 3

Region	Antal mätvärden
Östra Götaland	230
Västra Götaland	486
Svealand	227
Norrland	42

I Figur 17 framgick det att de 50% av värdena vilka var centrerade runt medianen hade en liten spridning för alla fyra regioner. Spridningen för de värden som befann sig utanför dessa var varierande, Östra Götaland och Västra Götaland hade flertalet outliers, medan Östra Götaland och Norrland hade en liten spridning exklusive outliers. Västra Götaland och Svealand hade en stor spridning även exklusive outliers. Även om de olika medianerna skilde sig något, går det inte att dra en slutsats om frånskiljarnas geografiska placering påverkar manövertiden.



Figur 18 Spridningen av manövertider beroende på geografisk placering, för Typ 4

Tabell 11 Antal mätvärden per region, för Typ 4

Region	Antal mätvärden
Östra Götaland	91
Västra Götaland	0
Svealand	37
Norrland	736

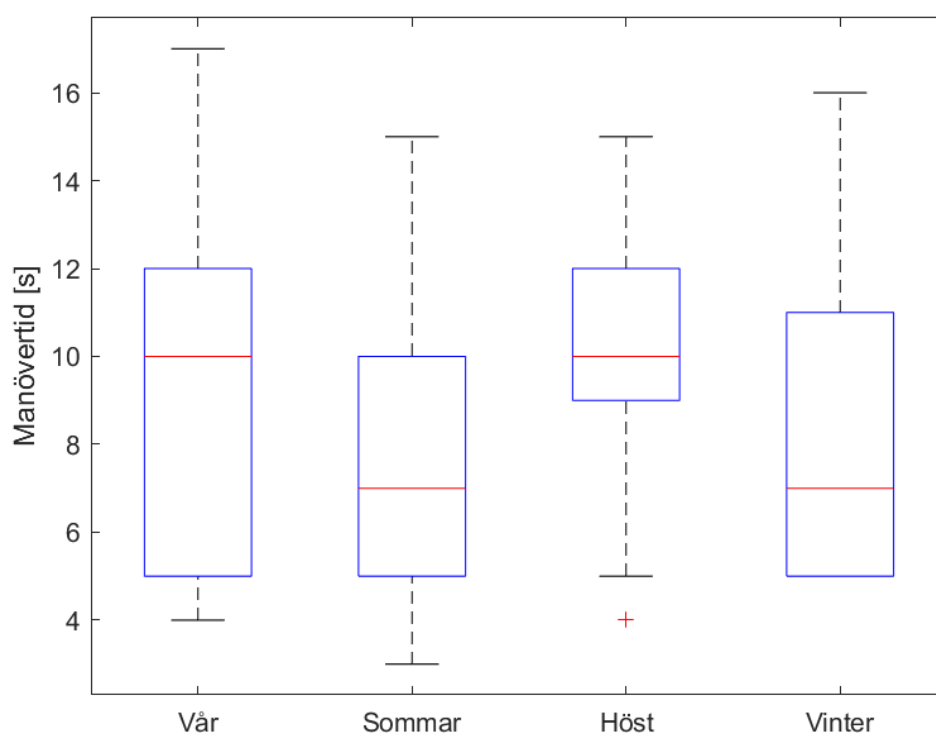
För Typ 4 befann sig de flesta frångiljare, och därmed mätvärden, i Norrland. Det medförde att för Norrland var spridningen stor, både för de 50% av mätvärden centrerade kring medianerna, men även totalt för alla mätvärden. Vidare befann sig allt lådorna som representerade Östra Götaland och Svealand innanför intervallet för Norrland. Då medianerna var ungefär desamma, var det inte möjligt att se att frångiljarnas geografiska placering skulle ha påverkat manövertiderna.

5.2.3 Manövertid beroende på årstid

I Figur 19, Figur 20, Figur 21 och Figur 22 visas fyra lådagran, ett för varje årstid, för Typ 1, Typ 2, Typ 3 och Typ 4 respektive. De visar spridningen av manövertiderna beroende av den årstid det var när manövern genomfördes, där de röda strecken utgör medianerna. Det övre strecken i lådorna visar 0.75-kvantilen, och de undre 0.25-kvantilen. De vågräta strecken

längst ut på de streckade linjerna visar de minsta, respektive största, värdena i datamängden, exklusive outliers. Outliers representeras av de röda plustecknen.

Vidare visas även fyra tabeller, Tabell 12, Tabell 13, Tabell 14 och Tabell 15, i vilka de olika typernas antal mätvärden per årstid presenteras. Tabellerna tillhör Typ 1, Typ 2, Typ 3 och Typ 4 respektive, och visas under den till typen tillhörande figuren.



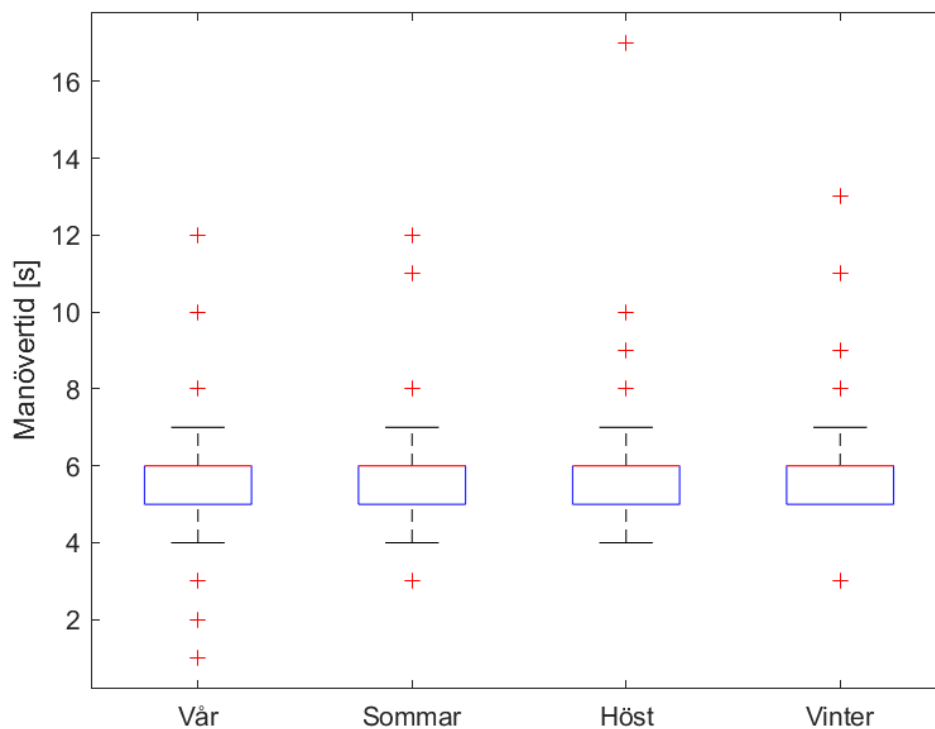
Figur 19 Spridningen av manövertider beroende på årstid, för Typ 1

Tabell 12 Antal mätvärden per årstid, för Typ 1

Årstid	Antal mätvärden
Vår	44
Sommar	92
Höst	73
Vinter	65

I Figur 19 ses fyra lådor, en per årstid, där spridningen var stor i alla fyra fall. För alla fyra överlappade spridningen hos var och en med de tre övriga lådorna. Trots att den stora spridningen, tillsammans med överlappandet mellan alla lådor, var det intressant att medianerna hos vår och höst är desamma, samt att medianerna hos sommar och höst är desamma. Då sommar och vinter torde vara meteorologiska motpoler, varmast och kallast, var det underligt att de två årstiderna hade samma median. Därmed var det, utifrån Typ 1,

inte möjligt att påstå att temperaturen påverkade manövertiderna, men att det möjligtvis finns någon egenskap hos vår och höst vilket gjorde manövertiderna längre.

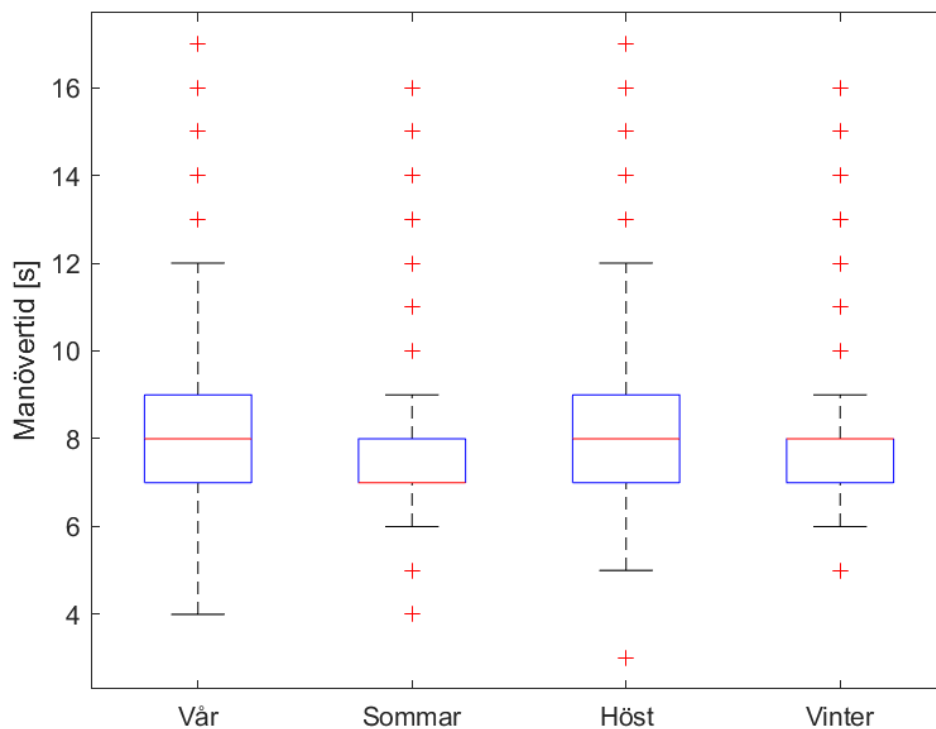


Figur 20 Spridningen av manövertider beroende på årstid, för Typ 2

Tabell 13 Antal mätvärden per årstid, för Typ 2

Årstid	Antal mätvärden
Vår	112
Sommar	91
Höst	242
Vinter	190

I Figur 20 var lådorna för alla fyra årstider mer eller mindre desamma. Vidare var det möjligt att se att spridningen var stor relativt de centrala delarna i lådorna. Bortsett från de outliers som förekom, verkade manövertiderna vara konstanta över alla årstider.

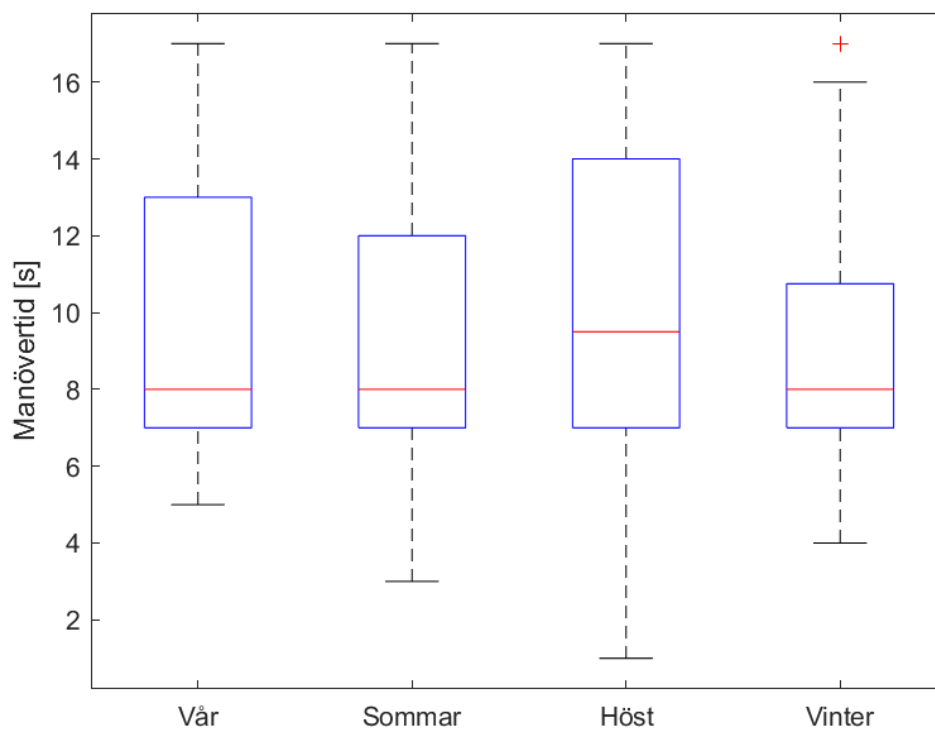


Figur 21 Spridningen av manövertider beroende på årstid, för Typ 3

Tabell 14 Antal mätvärden per årstid, för Typ 3

Årstid	Antal mätvärden
Vår	180
Sommar	251
Höst	374
Vinter	180

Figur 21 påminner om Figur 20, med en stor spridning relativt de centrala delarna i lådan. Vidare var lådorna mer eller mindre desamma, även om medianen för sommar skilde sig med 1 sekund från övriga. Bortsett från det stora antalet outliers som förekom, verkade manövertiderna vara mer eller mindre desamma över alla årstider.



Figur 22 Spridningen av manövertider beroende på årstid, för Typ 4

Tabell 15 Antal mätvärden per årstid, för Typ 4

Årstid	Antal mätvärden
Vår	163
Sommar	176
Höst	274
Vinter	251

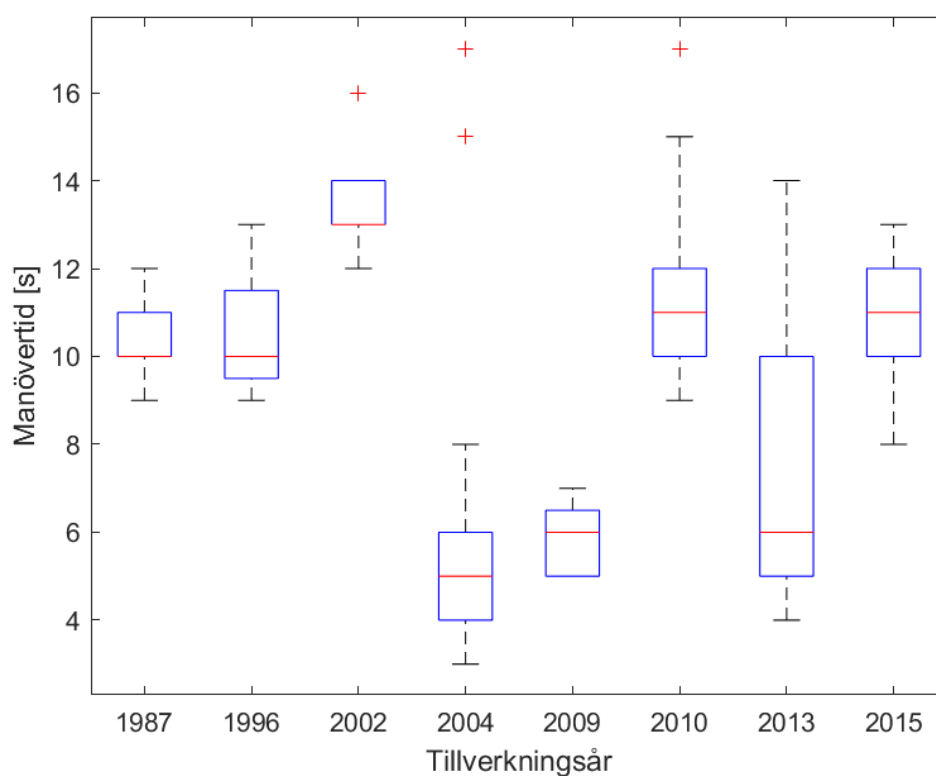
I Figur 22 ses fyra lådagram, vilka alla har en stor spridning. Medianerna är samma för vår, sommar och vinter. Även om medianen för höst skilde sig från de övriga, skilde den sig enbart med en sekund, samt att alla fyra lådor var innanför de övrigas intervall. Det var inte möjligt att se någon tydlig skillnad, och slutsatsen dras att det inte går att påstå att årstider påverkar manövertiderna.

5.2.4 Manövertid beroende på tillverkningsår

I Figur 23, Figur 24, Figur 25 och Figur 26 visas lådagram, ett för varje tillverkningsår, för Typ 1, Typ 2, Typ 3 och Typ 4 respektive. De visar spridningen av manövertiderna beroende av det år frånskiljaren som utförde manövern tillverkades, där de röda strecken utgör medianerna. Det övre strecket i lådorna visar 0.75-kvantilen, och de undre 0.25-kvantilen. De

vågräta strecken längst ut på de streckade linjerna visar de minsta, respektive största, värdena i datamängden, exklusive outliers. Outliers representeras av de röda plustecknen.

Vidare visas även fyra tabeller, Tabell 16, Tabell 17, Tabell 18 och Tabell 19, i vilka de olika typernas antal mätvärden per tillverkningsår presenteras. Tabellerna tillhör Typ 1, Typ 2, Typ 3 och Typ 4 respektive, och visas under den till typen tillhörande figuren.



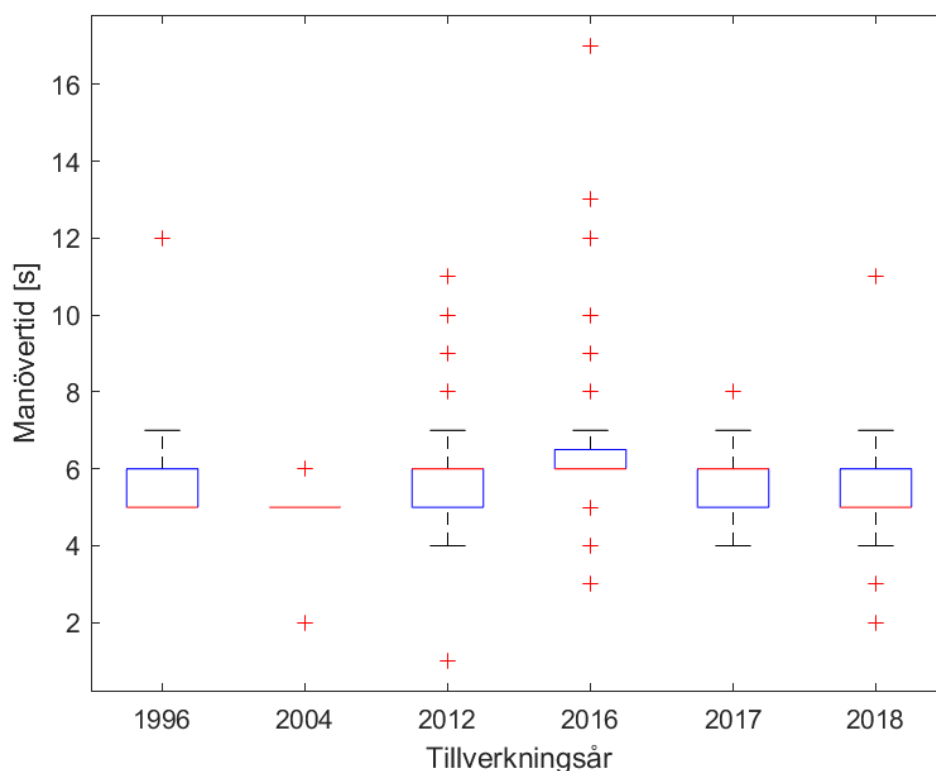
Figur 23 Spridningen av manövertider beroende på tillverkningsår, för Typ 1

Tabell 16 Antal mätvärden per tillverkningsår, för Typ 1

Tillverkningsår	Antal mätvärden
1987	23
1996	16
2002	11
2004	61
2009	12
2010	49
2013	42
2015	17

Figur 23 visar att Typ 1 hade en stor variation hos medianerna, beroende på tillverkningsår. Dock följde inte variationen den intuitiva tesen att äldre fränskiljare torde utföra manövrar

långsammare än nya. I stället utförde frånskiljare tillverkade år 1987 och år 2015 manövrar ungefär lika fort, medan frånskiljare tillverkade år 2004 och år 2009 utförde manövrar 4-6 sekunder fortare. Utifrån ovanstående graf var det möjligt att dra slutsatsen att tillverkningsår verkade påverka manövretiden, men inte på ett intuitivt vis. I stället visade grafen att frånskiljare antagligen bör studeras individuellt.

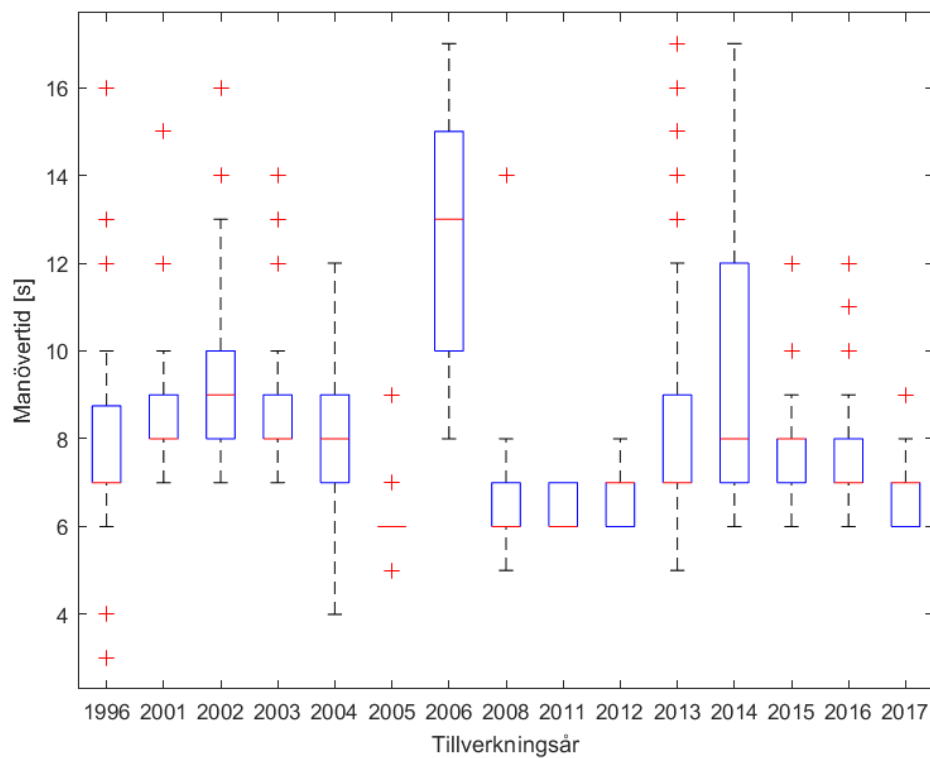


Figur 24 Spridningen av manövretider beroende på tillverkningsår, för Typ 2

Tabell 17 Antal mätvärden per tillverkningsår, för Typ 2

Tillverkningsår	Antal mätvärden
1996	11
2004	14
2012	66
2016	340
2017	70
2018	134

I Figur 24 visas fem lådagran, vilka alla återfinns kring ungefär samma median. Vidare var det en stor spridning relativt de centrala delarna i lådorna. Vad gällde år 2004 var antalet mätvärden så pass få att det enbart resulterade i en median och två outliers. Den slutsats som gick att dra utifrån Figur 24 var att tillverkningsår inte verkar påverka manövretiderna hos frånskiljare i Typ 2 nämnvärt.



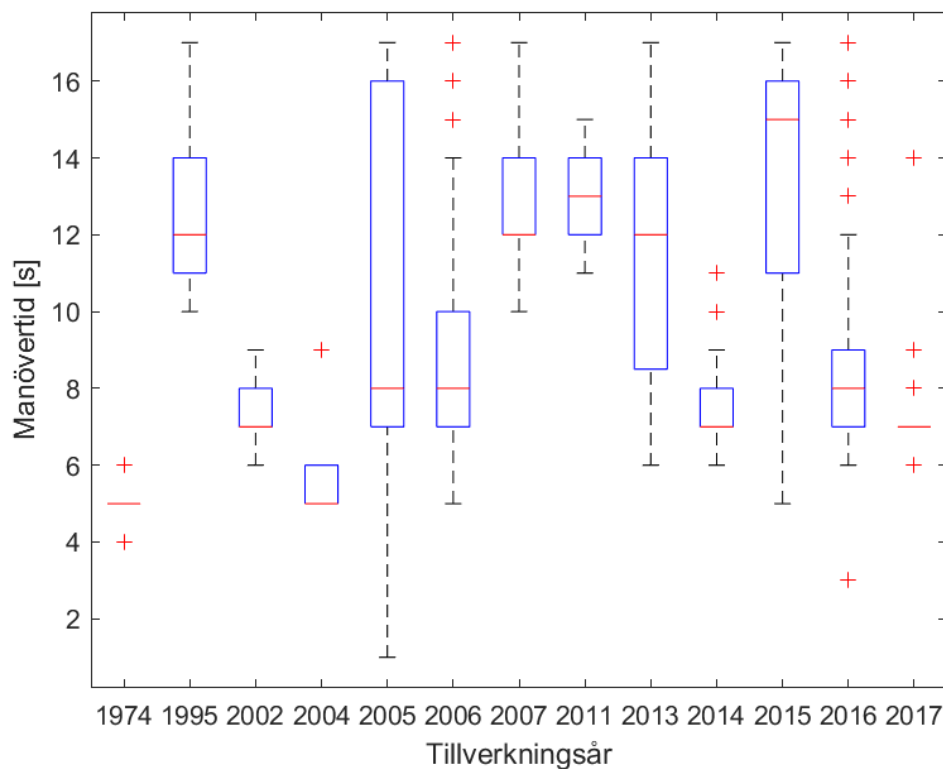
Figur 25 Spridningen av manövertider beroende på tillverkningsår, för Typ 3

Tabell 18 Antal mätvärden per tillverkningsår, för Typ 3

Tillverkningsår	Antal mätvärden
1996	51
2001	34
2002	74
2003	57
2004	54
2005	12
2006	42
2008	35
2011	14
2012	37
2013	171
2014	63
2015	87
2016	215
2017	13

I Figur 25 ses 15 olika årtal, där 13 av dem hade medianer inom intervallet [6 8] sekunder. Ett av de övriga två tillverkningsåren hade medianen 9 sekunder, och det sista tillverkningsåret

hade medianen 13 sekunder. Även spridningen för alla olika tillverkningsår är varierande, där år 2006 och år 2014 sticker ut vad gäller spridningen av de 50% av mätvärdena närmast medianen. Det som sticker ut i grafen är att år 2006 var det tillverkningsår där medianen var högre än övriga, inklusive det faktum att tillhörande spridning låg högre än flera av de övriga tillverkningsåren. Det intressanta med det var att år 2006 befann sig i mitten bland tillverkningsåren, och att det därmed inte följer den intuitiva tesen om att äldre frånskiljare borde vara långsammare. I stället kan en slutsats dras att tillverkningsår kan påverka beteende hos frånskiljare, vilka tillverkningsår som påverkas och hur dessa påverkas var dock oklart. Figur 25 pekade på att frånskiljarna bör studeras individuellt.



Figur 26 Spridningen av manövertider beroende på tillverkningsår, för Typ 4

Tabell 19 Antal mätvärden per tillverkningsår, för Typ 4

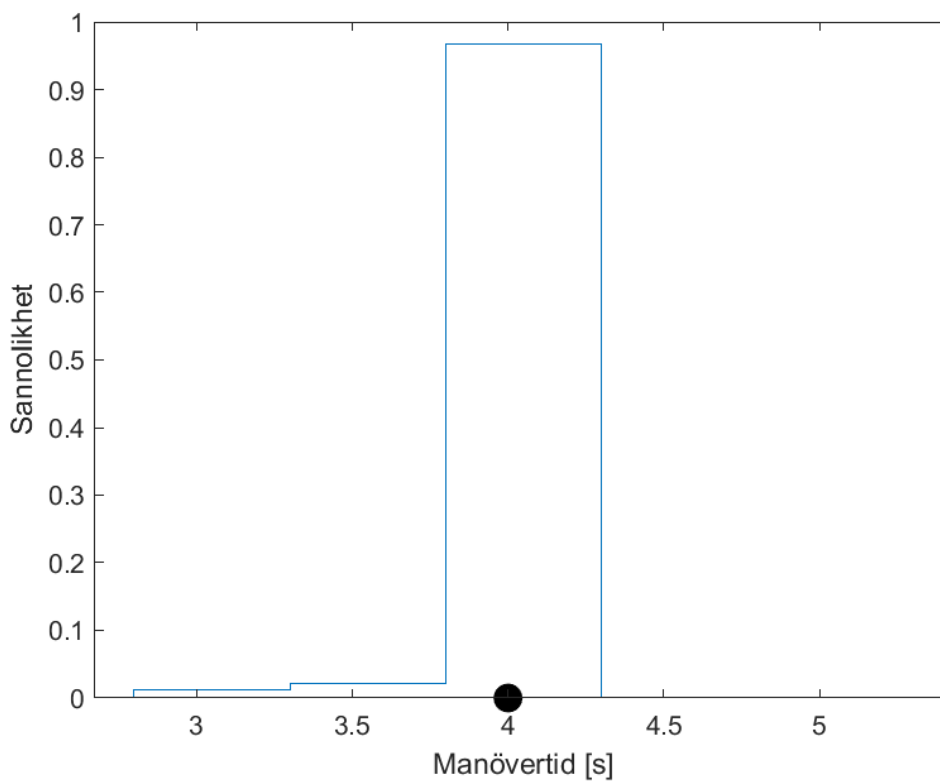
Tillverkningsår	Antal mätvärden
1974	19
1995	51
2002	37
2004	16
2005	49
2006	85
2007	12
2011	18
2013	92
2014	111
2015	132
2016	179
2017	63

Figur 26 påminner om Figur 23, det verkade till synes inte finnas någon logik i de olika tillverkningsårens medianer. Vissa av årtalen har en stor spridning, andra har en liten spridning. Inte heller för Typ 4 gick det att påstå något om vilken påverkan ett specifikt tillverkningsår har på manövertiden, men det var möjligt att se att det verkade finnas en påverkan. Exempelvis hade frångiljare tillverkade år 2002 och år 2016 ungefär samma manövertider, medan frångiljare tillverkade år 1995 och år 2011 ungefär samma manövertider, dessa två pars medianer skiljde sig dock från varandra med 4-6 sekunder. Slutsatsen som kan dras från figuren var att frångiljarna borde studeras individuellt.

5.3 Delstudie 3

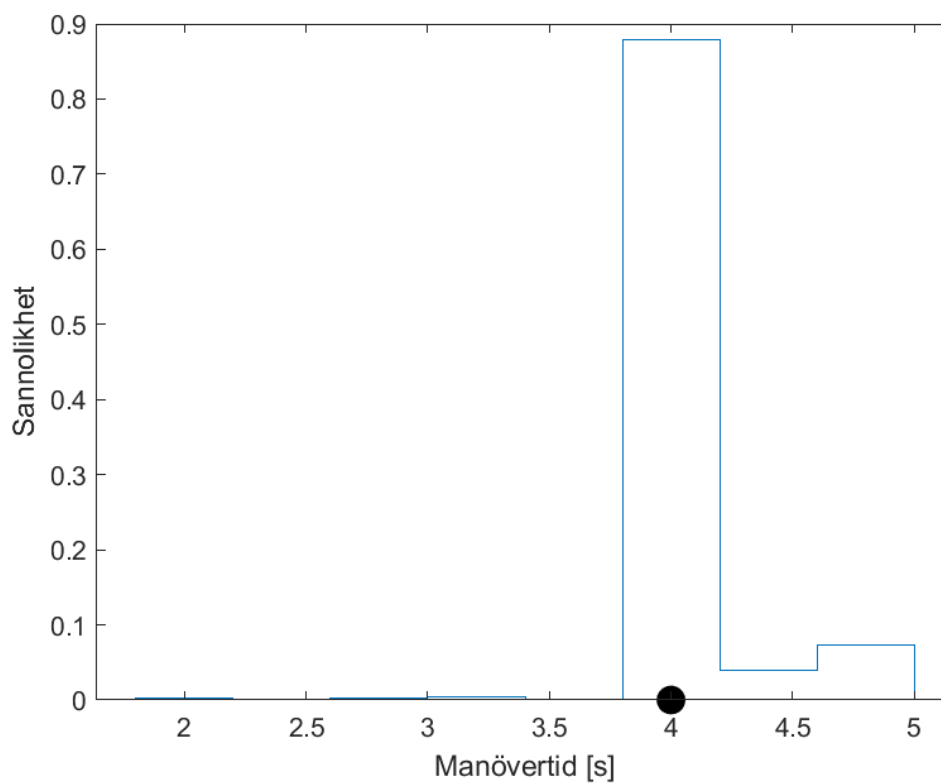
5.3.1 0.025-kvantil

I Figur 27, Figur 28, Figur 29 och Figur 30 visas fördelningen av 0.025-kvantiler hos Typ 1, Typ 2, Typ 3 och Typ 4 respektive. Diagrammen som visas är de från bootstrapping där B var 500000. Den svarta pricken visar 0.025-kvantilen hos den ursprungliga datamängden. Att det i figurerna inte förekommer fler klasser beror på att Matlab valt antal klasser, och att Matlab valde ett fåtal klasser berodde på den upplösning manövertiderna hade.



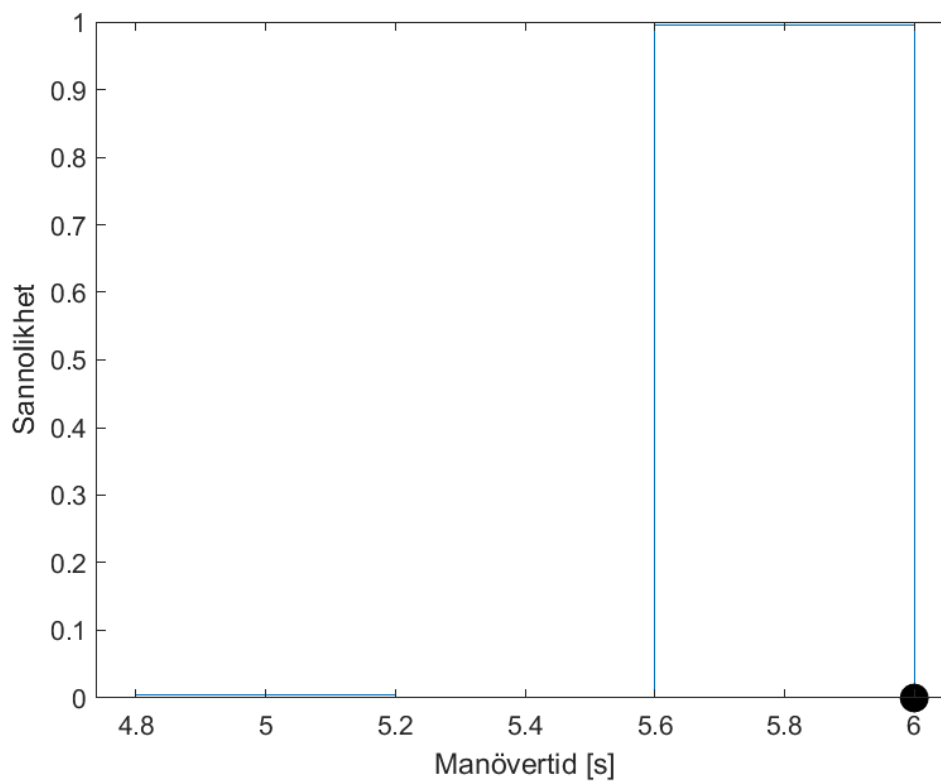
Figur 27 Fördelningen av 0.025-kvantiler hos Typ 1

I Figur 27 ses att 0.025-kvantilen hos Typ 1 hamnade stabilt kring 4 sekunder för en stor majoritet av de 500000 syntetiska datamängder som skapats med hjälp av bootstrapping. I ett fåtal fall, färre än 5% av gångerna, hamnade 0.025-kvantilen runt 3 och 3.5 sekunder. Slutsatsen som kunde dras från detta var att den nedre kvantilen hos Typ 1 torde vara stabil kring 4 sekunder.



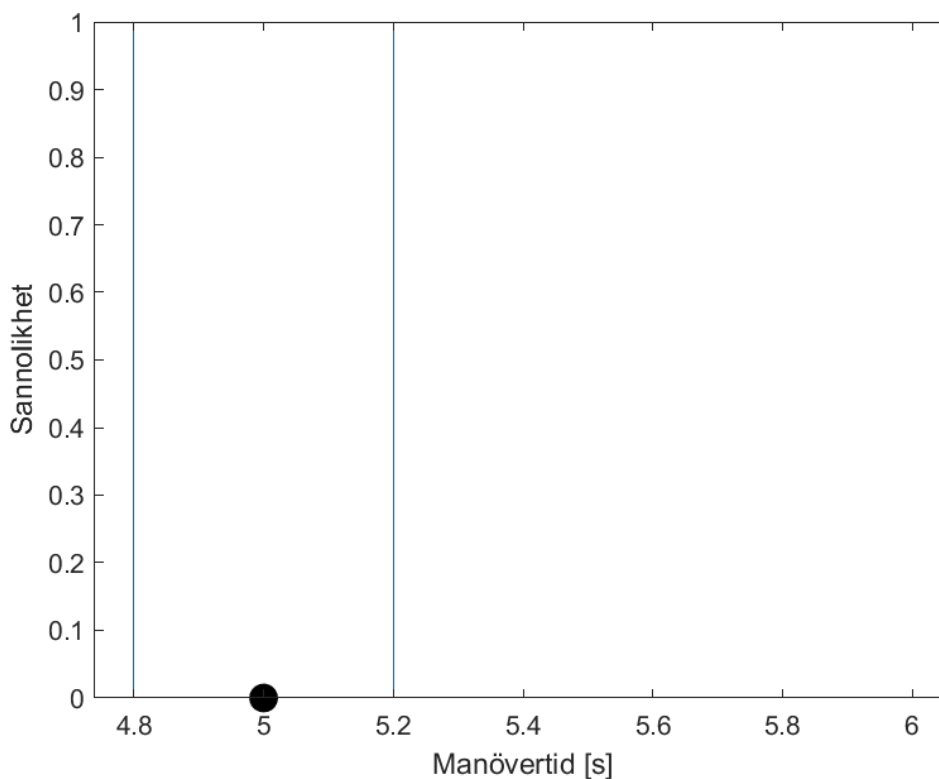
Figur 28 Fördelningen av 0.025-kvantiler hos Typ 2

I Figur 28 ses att en majoritet av 0.025-kvantilerna för Typ 2 hamnade kring 4 sekunder. Viktigt att notera är att maximum i figuren är 0.9, men att det ändå var en stor majoritet kring 4 sekunder. Bland de fåtal fall där kvantilen inte hamnade kring fyra sekunder, hamnade de flesta runt 4.5-5 sekunder, och en stor minoritet lägre än kring 4 sekunder. Även för Typ 2 verkade 0.025-kvantilen vara någorlunda stabil kring 4 sekunder.



Figur 29 Fördelningen av 0.025-kvantiler hos Typ 3

I Figur 29 ses att 0.025-kvantilen hos Typ 3 verkade vara stabil kring 5.8 sekunder för nästan alla av de 500000 syntetiska datamängderna. I ungefär 1% av fallen hamnade kvantilen runt 5 sekunder, men det var ändå möjligt att dra slutsatsen att 0.025-kvantilen var stabil för Typ 3.

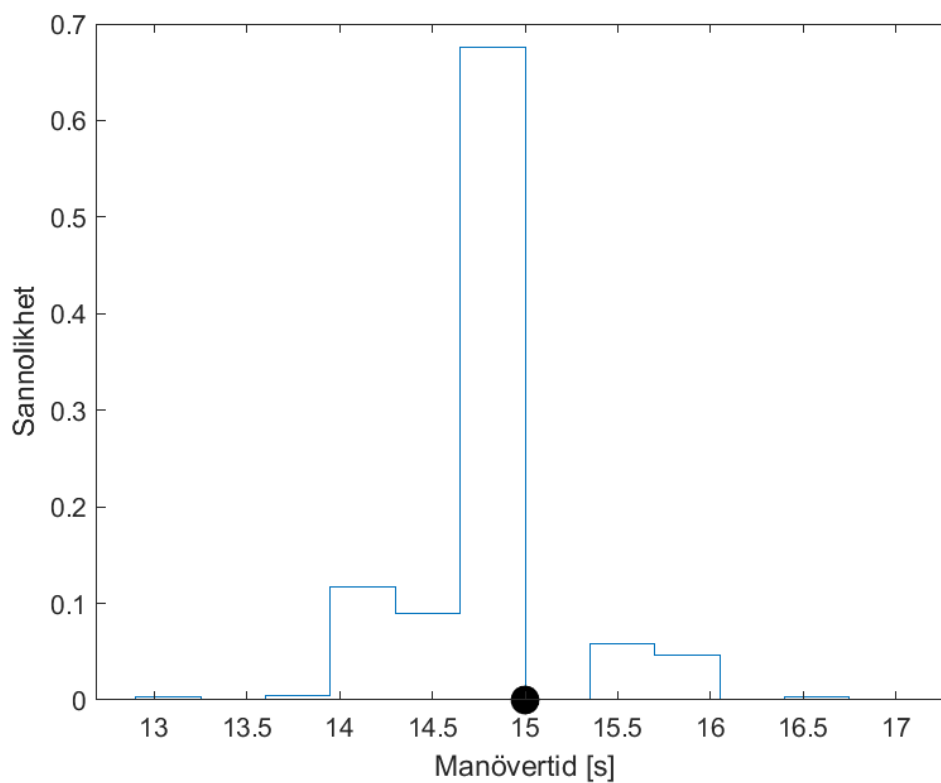


Figur 30 Fördelningen av 0.025-kvantiler hos Typ 4

Figur 30 visar att 0.025-kvantilen hos alla 500000 syntetiska datamängder hamnade mellan 4.8-5.2 sekunder. I det intervallet återfanns också kvantilen från den ursprungliga datan. Slutsatsen som gick att dra från figuren var att 0.025-kvantilen för Typ 4 var stabil.

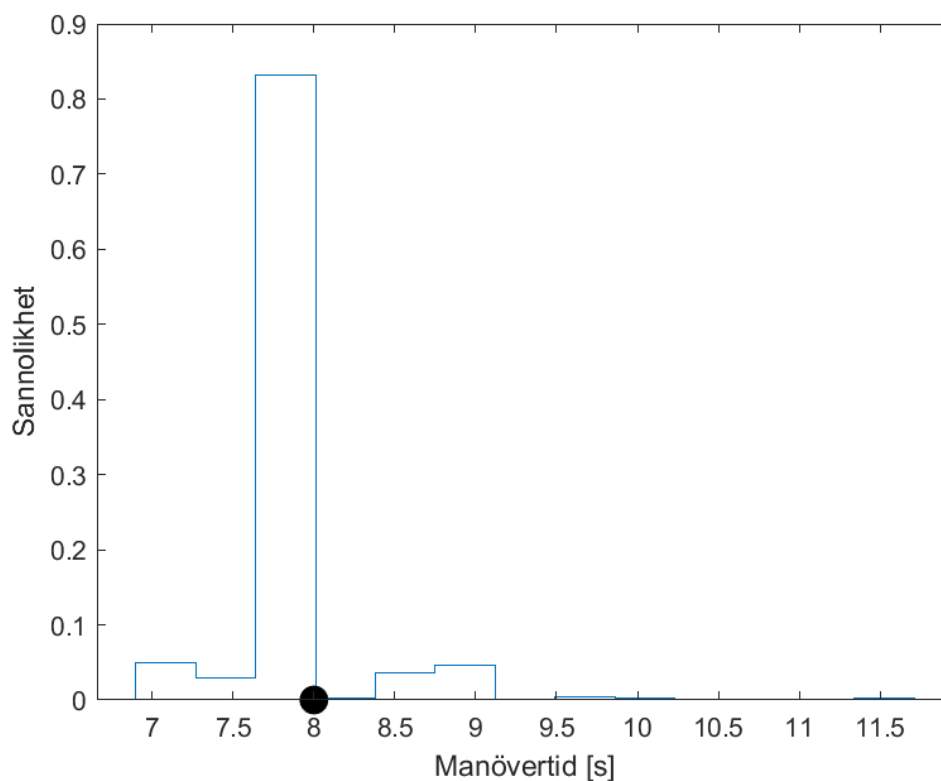
5.3.2 0.975-kvantil

I Figur 31, Figur 32, Figur 33 och Figur 34 visas fördelningen av 0.975-kvantiler hos Typ 1, Typ 2, Typ 3 och Typ 4 respektive. Diagrammen som visas är de från bootstrapping där B var 500000. Den svarta pricken visar 0.975-kvantilen hos den ursprungliga datamängden. Att det i figurerna inte förekommer fler klasser beror på att Matlab valt antal klasser, och att Matlab valde ett fåtal klasser berodde på den upplösning manövertiderna hade.



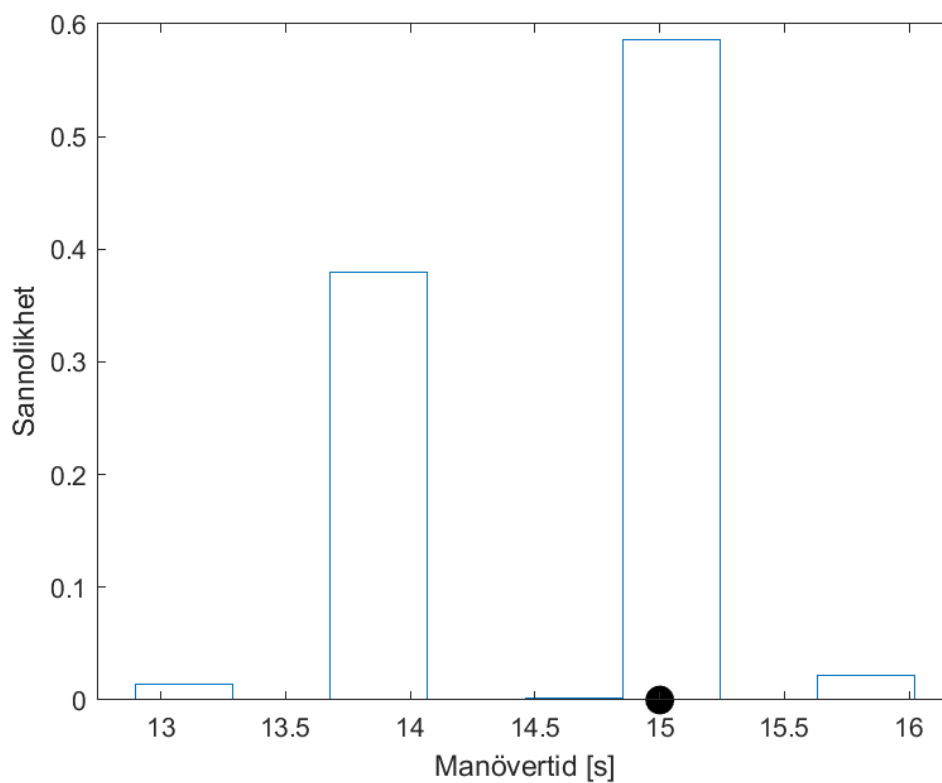
Figur 31 Fördelningen av 0.975-kvantiler hos Typ 1

I Figur 31 ses en större spridning än vad som kunde ses för 0.025-kvantilerna hos någon av typerna. Även om en majoritet hamnade mellan 14.7-15 sekunder, var det inte en lika överlägsen majoritet som gått att se i föregående figurer. I stället fanns inte samma stabilitet hos 0.975-kvantilen, där en stor majoritet hamnade mellan 14-16 sekunder. Några få fall hamnade dessutom ovanför eller under intervallet.



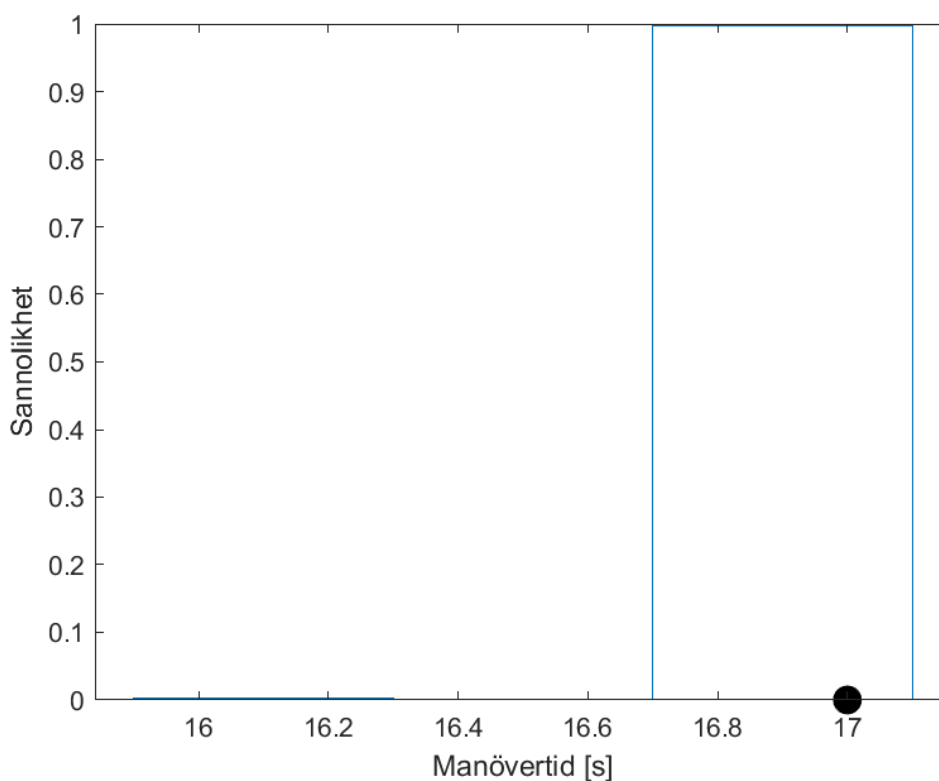
Figur 32 Fördelningen av 0.975-kvantiler hos Typ 2

I Figur 32 ses att spridningen av 0.975-kvantiler hos Typ 2, i en majoritet av fallen, hamnade mellan 7.7-8 sekunder. Det intressanta som gick att se i figuren var att spridningen var stor. Trots att en överlägsen majoritet av kvantilerna befann sig inom 6.9-9.1 sekunder, vilket i sig är ett stort intervall, befann sig de mest extrema kvantilerna kring 11.5 sekunder. Den stora skillnaden mellan lägsta och högsta värden hos kvantilerna gav en osäkerhet, även om majoriteten var koncentrerad kring 7.7-8 sekunder.



Figur 33 Fördelningen av 0.975-kvantiler hos Typ 3

I Figur 33 ses att 0.975-kvantilerna var spridda över 3.5 sekunder. Trots spridningen fanns det ett intervall där en majoritet, om än liten, av kvantilerna hamnade, mellan 14.9-15.2 sekunder. Det intressant i figuren var att de olika intervallen där det förekom kvantiler, i alla utom ett fall, inte var sammankopplade med övriga intervall. Slutsatsen som kunde dras från figuren var att 0.975-kvantilen för Typ 3 inte är stabil.



Figur 34 Fördelningen av 0.975-kvantiler hos Typ 4

I Figur 34 ses att 0.975-kvantilen hos Typ 4 var stabil mellan 16.7-17.1 sekunder. Denna stabilitet återfanns hos cirka 99% av alla de 500000 kvantiler som erhöles från bootstrapping. Den ursprungliga 0.975-kvantilen hamnade dessutom inom intervallet.

5.3.3 Spridningsintervall hos kvantiler

I Tabell 20, Tabell 21, Tabell 22 och Tabell 23 presenteras spridningsintervallen för 0.025- och 0.975-kvantilerna hos Typ 1, Typ 2, Typ 3 och Typ 4 respektive. I första kolumnen står de olika B som användes för bootstrapping. Tillsammans visar alla B hur intervallen förändras i och med ett ökat antal syntetiska datamängder.

Tabell 20 Spridningsintervallen för 0.025- och 0.975-kvantilen hos Typ 1

B	0.025	0.975
100	[3.35 4.00]	[14.00 16.00]
500	[3.35 4.00]	[14.00 16.00]
1000	[3.35 4.00]	[14.00 16.00]
5000	[3.35 4.00]	[14.00 16.00]
10000	[3.35 4.00]	[14.00 16.00]
50000	[3.35 4.00]	[14.00 16.00]
100000	[3.35 4.00]	[14.00 16.00]
500000	[3.35 4.00]	[14.00 16.00]

I Tabell 20 ses tydligt en stabilitet hos spridningsintervallen för alla B. Från det kan slutsatsen dras att det fanns en stabilitet hos Typ 1, och att 95% av dess manövertider kommer befinna sig inom de två kvantilerna. Den andra slutsatsen som kunde dra var att intervallet för 0.975-kvantilen var för brett för att kunna bestämma en övre gräns för var de normala manövertiderna bör befinna sig. Vidare var intervallet mellan kvantilintervallen stort, 10-12.65 sekunder. Det innebar att det fanns en stor variation i vad som ansågs vara normalt, vilket var ett tecken på att frånskiljarna borde studeras individuellt.

Tabell 21 Spridningsintervallen för 0.025- och 0.975-kvantilen hos Typ 2

B	0.025	0.975
100	[4.00 5.00]	[7.00 9.00]
500	[4.00 5.00]	[7.00 9.00]
1000	[4.00 5.00]	[7.00 9.00]
5000	[4.00 5.00]	[7.00 9.00]
10000	[4.00 5.00]	[7.00 9.00]
50000	[4.00 5.00]	[7.00 9.00]
100000	[4.00 5.00]	[7.00 9.00]
500000	[4.00 5.00]	[7.00 9.00]

I Tabell 21 ses att Typ 2 överlag verkade var stabil. Kvantilernas spridningsintervall var stabila för alla B, men intervallet för 0.975-kvantilen var stort. Vidare var intervallet mellan kvantilintervallen som störst 5 sekunder. Det tydde på att 95% av de manövertider som hör till Typ 2 var stabila inom ett mindre intervall, därmed skulle det möjligtvis gå att hitta gränsvärden för tillståndsovervakning vilka går att använda för alla frånskiljare i Typ 2.

Tabell 22 Spridningsintervallen för 0.025- och 0.975-kvantilen hos Typ 3

B	0.025	0.975
100	[6.00 6.00]	[14.00 16.00]
500	[6.00 6.00]	[13.88 15.00]
1000	[6.00 6.00]	[14.00 15.88]
5000	[6.00 6.00]	[14.00 15.00]
10000	[6.00 6.00]	[14.00 15.00]
50000	[6.00 6.00]	[14.00 15.00]
100000	[6.00 6.00]	[14.00 15.00]
500000	[6.00 6.00]	[14.00 15.00]

I Tabell 22 ses en stabilitet hos spridningsintervallen för alla B, även om det varierade lite för 0.975-kvantilen när B var mindre än 5000. Att 0.025-kvantilen torde vara 6 sekunder framgick tydligt. Vidare var även spridningsintervallet för 0.975-kvantilen litet. Trots de båda spridningsintervallens stabilitet var intervallen mellan dem stort, mellan 8-10 sekunder. Det

innebar att det fanns en stor variation i vad som ansågs vara normalt, vilket var ett tecken på att frånskiljarna borde studeras individuellt.

Tabell 23 Spridningsintervallen för 0.025- och 0.975-kvantilen hos Typ 4

B	0.025	0.975
100	[5.00 5.00]	[17.00 17.00]
500	[5.00 5.00]	[17.00 17.00]
1000	[5.00 5.00]	[17.00 17.00]
5000	[5.00 5.00]	[17.00 17.00]
10000	[5.00 5.00]	[17.00 17.00]
50000	[5.00 5.00]	[17.00 17.00]
100000	[5.00 5.00]	[17.00 17.00]
500000	[5.00 5.00]	[17.00 17.00]

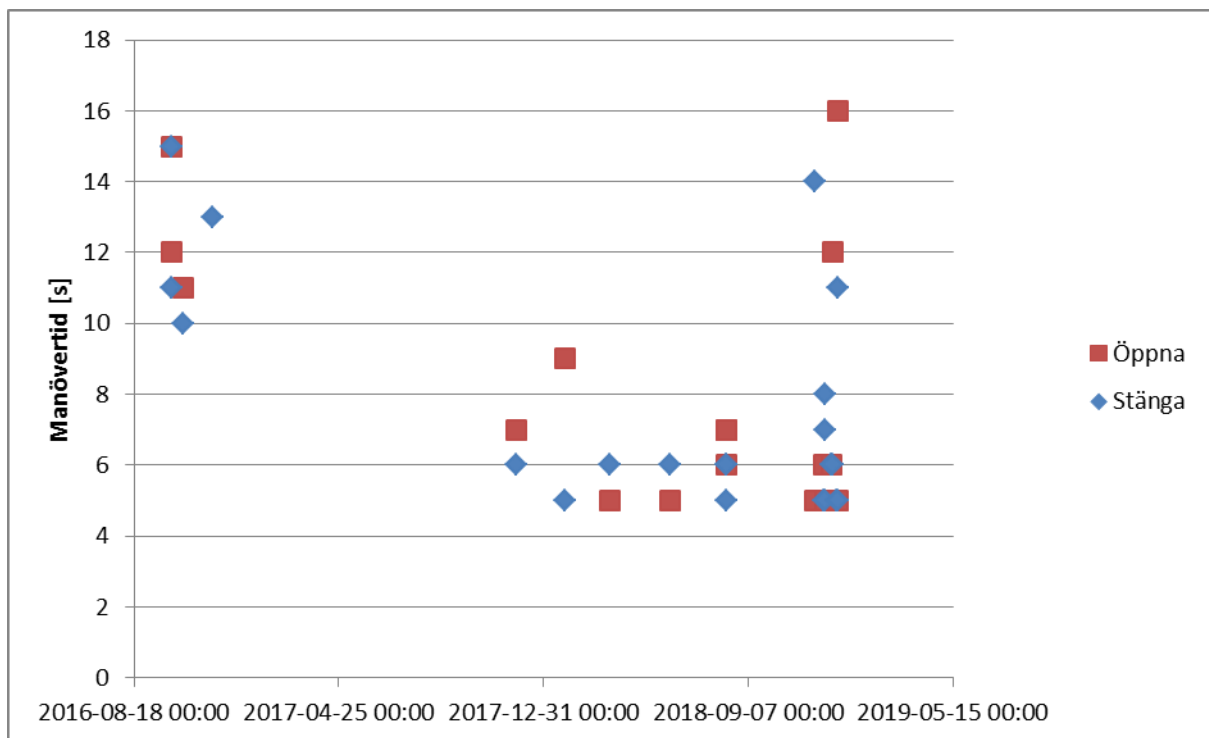
I Tabell 23 visas att även spridningsintervallen för 0.025- och 0.975-kvantilen hos Typ 4 var stabila för alla B. Det framgick två tydliga gränsvärden inom vilka 95% av värdena, de normala, förekommer. Trots detta var intervallet mellan gränsvärden stort, 12 sekunder. Det innebar att det fanns en stor variation i vad som ansågs vara normalt, vilket var ett tecken på att frånskiljarna borde studeras individuellt.

5.4 Delstudie 4

5.4.1 Typ 1

I Figur 35, Figur 36 och Figur 37 presenteras alla manövertider för Individ 1.1, Individ 1.2 och Individ 1.3 respektive. Manövertiderna är uppdelade i två dataserier: en för manövern öppna, och en för manövern stänga. Y-axeln representerar manövertiden, och x-axeln tidpunkten för när manövern genomförts.

Vidare visas tre tabeller, Tabell 24, Tabell 25 och Tabell 26, i vilka de olika individernas medelvärde, 0.05- och 0.95-kvantil presenteras. De tre tabellerna tillhör Individ 1.1, Individ 1.2 och Individ 1.3 respektive, och visas under den till individen tillhörande figuren.

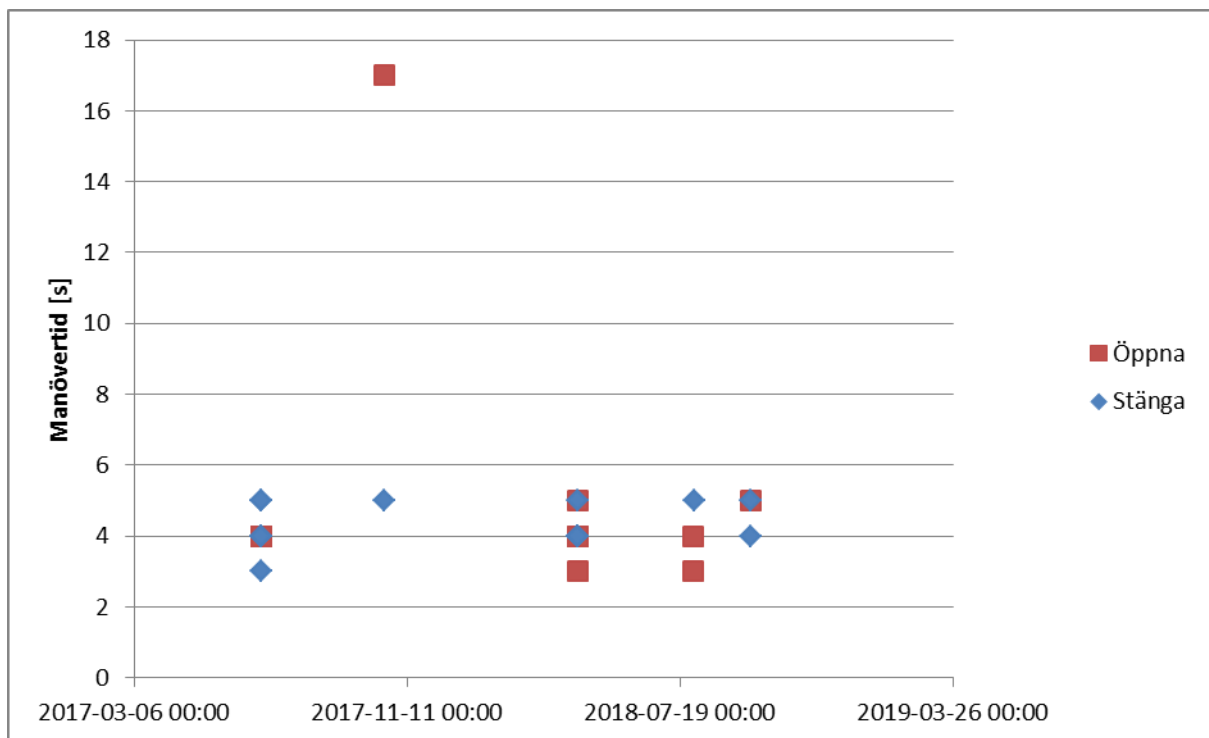


Figur 36 Alla manövertider från Individ 1.2, uppdelade efter typ av manöver

Tabell 25 Medelvärde, 0.05- och 0.95-kvantil, för Individ 1.2

Manöver	Medelvärde	0.05-kvantil	0.95-kvantil
Öppna	7.57	5.00	15.45
Stänga	7.59	5.00	14.40

Figur 36 och Tabell 25 visar att Individ 1.2 hade manövertider som hamnade både i den övre delen och den nedre delen av de manövertider som för Typ 1 anses normala. En intressant aspekt var att en manöver ofta hade en motsatt manöver strax efter, och att båda manövrarna då tog ungefär lika lång tid. Det vill säga, om en manöver tog 15 sekunder följdes den av en motsatt manöver som också tog cirka 15 sekunder, och om en manöver tog 5 sekunder följdes den av en motsatt manöver som tog ungefär 5 sekunder. Om det nu finns en inbyggd osäkerhet i överföringstiden, skulle det kunna betyda att det är en slump att manövertiderna för två efterföljande manövrar blir ungefär lika lång. Annars kan det vara på det sättet att överföringstiden är ungefär densamma konstant för en individ, och att frånskiljare bör studeras individuellt. Tesen om att frånskiljare bör studeras individuellt styrktes av det faktum att manövertiderna hos Individ 1.2 skiljde sig från manövertiderna hos Individ 1.1.



Figur 37 Alla manövertider från Individ 1.3, uppdelade efter typ av manöver

Tabell 26 Medelvärde, 0.05- och 0.95-kvantil, för Individ 1.3

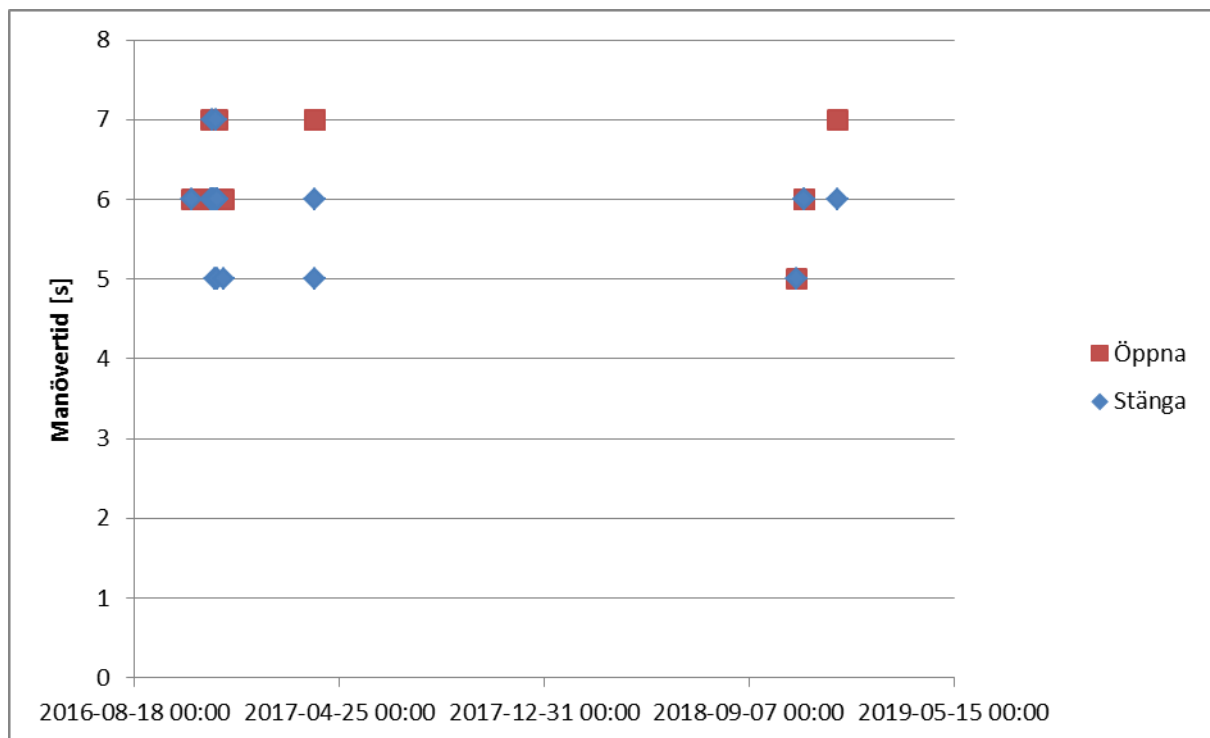
Manöver	Medelvärde	0.05-kvantil	0.95-kvantil
Öppna	4.81	3.00	13.40
Stänga	4.33	3.25	5.00

I Tabell 26 och Figur 37 visas, vad som kan anses vara, motsatsen till Individ 1.1. Individ 1.3 hade, om den manövertiden som var 17 sekunder bortses från, alla sina manövertider i den lägre delen av det intervall med manövertider som anses normalt för Typ 1. Det verkade finnas en stabilitet för manövertiderna hos Individ 1.3, men med tanke på att den enbart har manövertider i en liten del av det intervall som anses normalt för Typ 1. En slutsats som kan dras från detta var att frånskiljare bör studeras individuellt, vilket stärktes av att manövertiderna hos Individ 1.3 var en motpol till manövertiderna hos Individ 1.1

5.4.2 Typ 2

I Figur 38, Figur 39 och Figur 40 presenteras alla manövertider för Individ 2.1, Individ 2.2 och Individ 2.3 respektive. Manövertiderna är uppdelade i två dataserier: en för manövern öppna, och en för manövern stänga. Y-axeln representerar manövertiden, och x-axeln tidpunkten för när manövern genomförts.

Vidare visas tre tabeller, Tabell 27, Tabell 28 och Tabell 29, i vilka de olika individernas medelvärde, 0.05- och 0.95-kvantil presenteras. De tre tabellerna tillhör Individ 2.1, Individ 2.2 och Individ 2.3 respektive, och visas under den till individen tillhörande figuren.

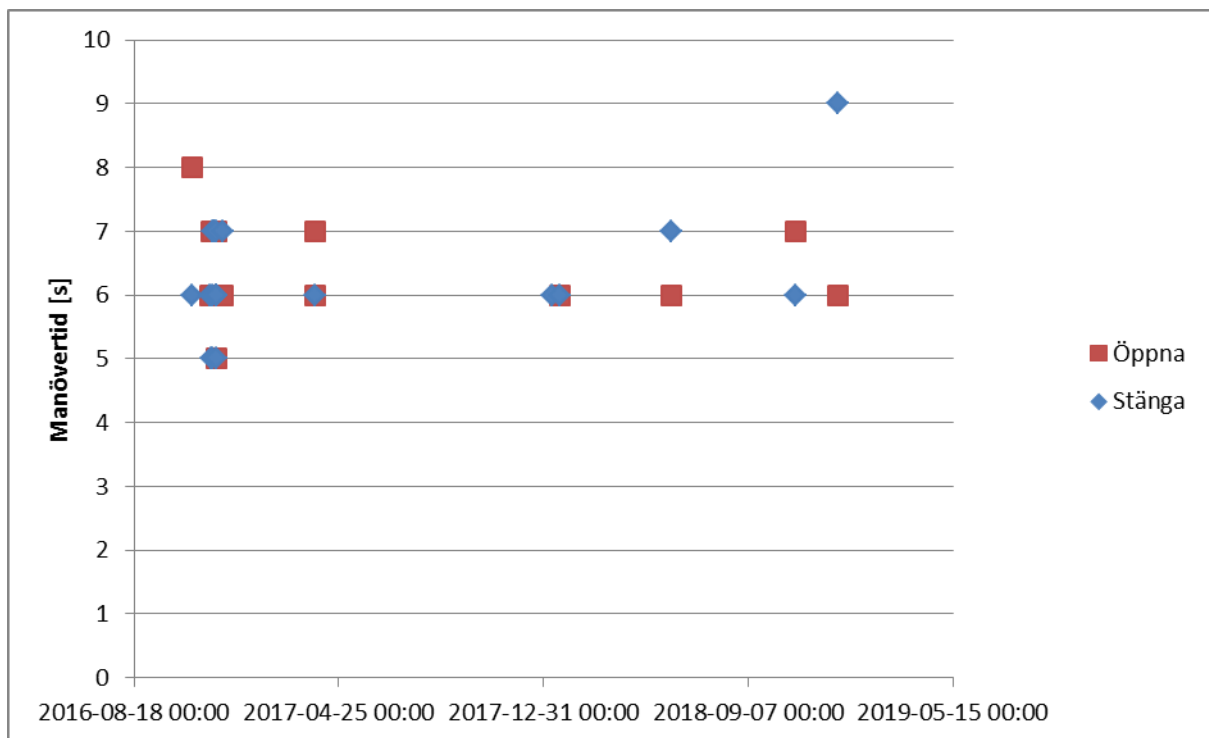


Figur 38 Alla manövertider från Individ 2.1, uppdelade efter typ av manöver

Tabell 27 Medelvärde, 0.05- och 0.95-kvantil, för Individ 2.1

Manöver	Medelvärde	0.05-kvantil	0.95-kvantil
Öppna	6.22	5.85	7.00
Stänga	5.85	5.00	7.00

Figur 38 och Tabell 27 visar att Individ 2.1 hade en stabilitet hos de tillhörande manövertiderna. Alla manövertider var inom intervallet [5 7] sekunder, och inga anomalier fanns.

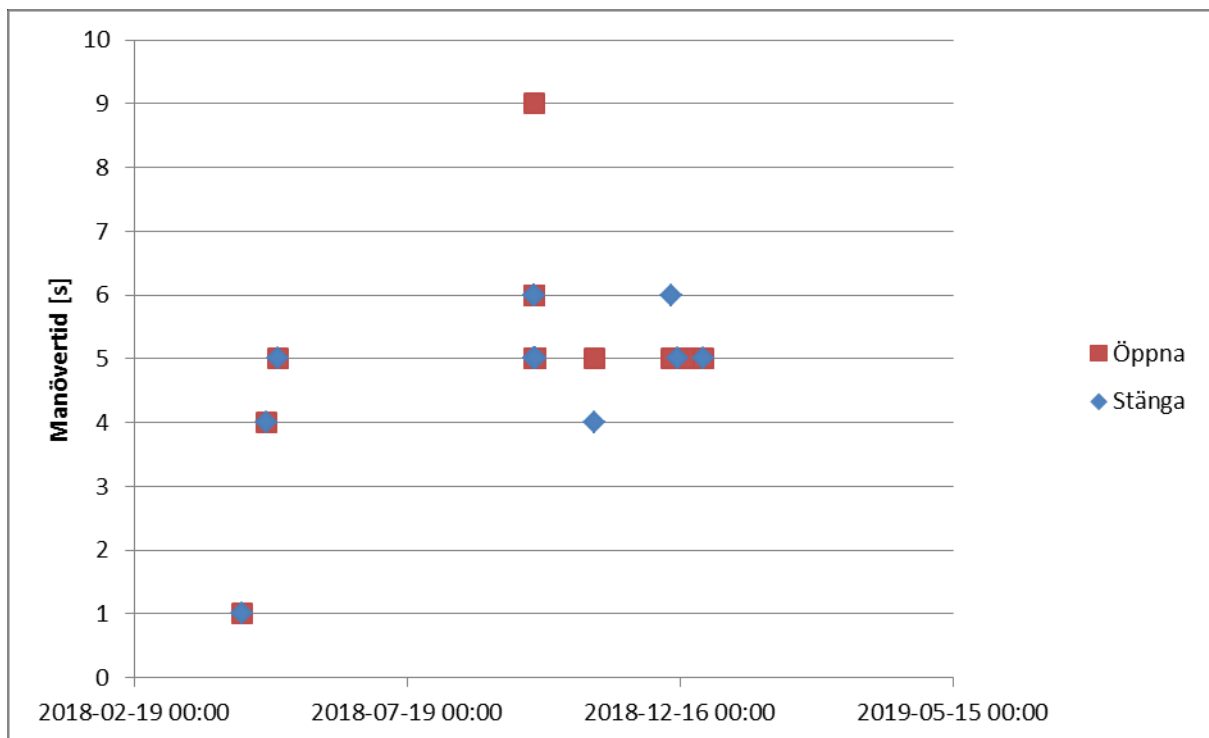


Figur 39 Alla manövertider från Individ 2.2, uppdelade efter typ av manöver

Tabell 28 Medelvärde, 0.05- och 0.95-kvantil, för Individ 2.2

Manöver	Medelvärde	0.05-kvantil	0.95-kvantil
Öppna	6.36	5.60	7.40
Stänga	6.32	5.00	7.80

Tabell 28 och Figur 39 illustrerar att det även hos Individ 2.2 verkade finnas en stabilitet, men med en liten spridning utanför intervallet [5 7] sekunder. Det verkade som att Individ 2.1 och Individ 2.2 betedde sig någorlunda lika, men då det finns tecken på en större spridning hos Individ 2.2 skulle det vara bättre om frånskiljarna studerades individuellt.



Figur 40 Alla manövertider från Individ 2.3, uppdelade efter typ av manöver

Tabell 29 Medelvärde, 0.05- och 0.95-kvantil, för Individ 2.3

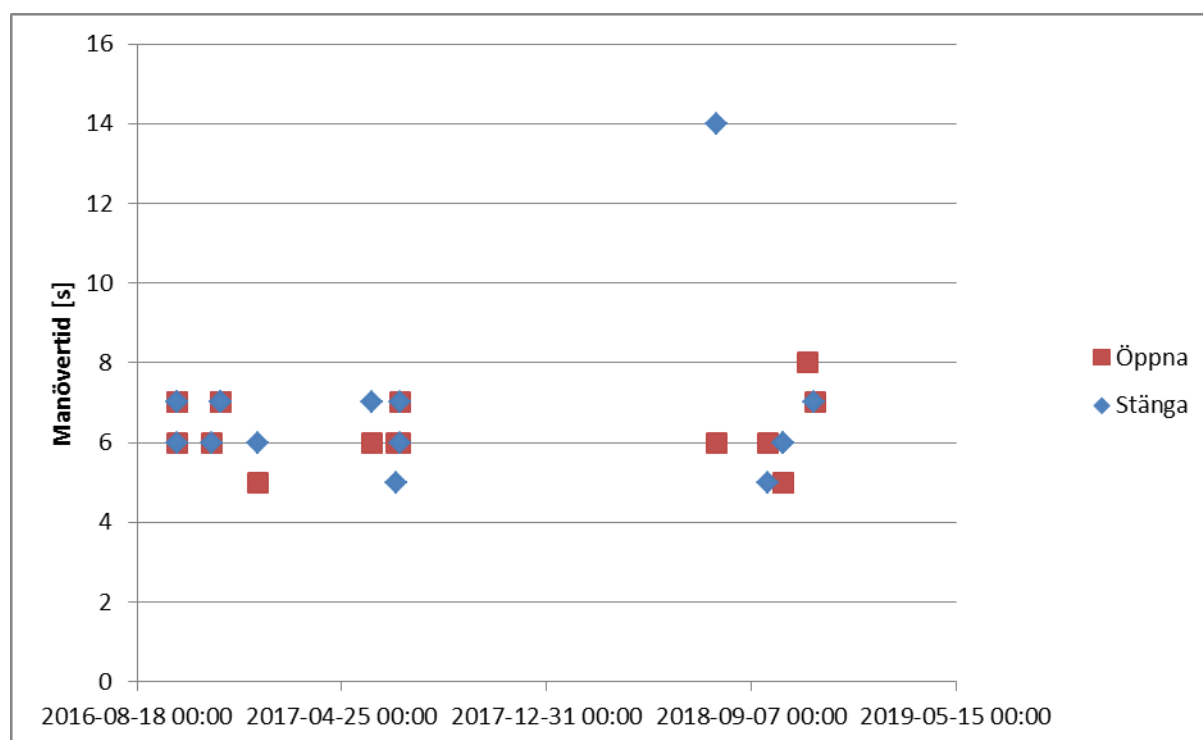
Manöver	Medelvärde	0.05-kvantil	0.95-kvantil
Öppna	5.13	1.90	8.10
Stänga	4.88	1.90	6.00

I Figur 40 och Tabell 29 ses att Individ 2.3 verkade ha en större spridning, och dessutom hade majoriteten av sina mätvärden i ett intervall en sekund lägre, än Individ 2.1 och Individ 2.2. Det faktum att det fanns två mätvärden, både för öppna och stänga, vilka tagit 1 sekund, förstärkte påståendet att det fanns en större spridning hos Individ 2.3. Om enbart ett mätvärde funnits, hade det kunnat bero på, exempelvis, överföringstiden, men två inom ett kort tidsintervall torde betyda att det kan hända att manövertiden var lägre än gängse manövertider. Slutsatsen som kunde dras utifrån Individ 2.3 var att trots att intervallet som utgjorde vilka manövertider som kan anses normala för Typ 2 var liten, borde frånskiljarna studeras individuellt.

5.4.3 Typ 3

I Figur 41, Figur 42 och Figur 43 presenteras alla manövertider för Individ 3.1, Individ 3.2 och Individ 3.3 respektive. Manövertiderna är uppdelade i två dataserier: en för manövern öppna, och en för manövern stänga. Y-axeln representerar manövertiden, och x-axeln tidpunkten för när manövern genomförts.

Vidare visas tre tabeller, Tabell 30, Tabell 31 och Tabell 32, i vilka de olika individernas medelvärde, 0.05- och 0.95-kvantil presenteras. De tre tabellerna tillhör Individ 3.1, Individ 3.2 och Individ 3.3 respektive, och visas under den till individen tillhörande figuren.

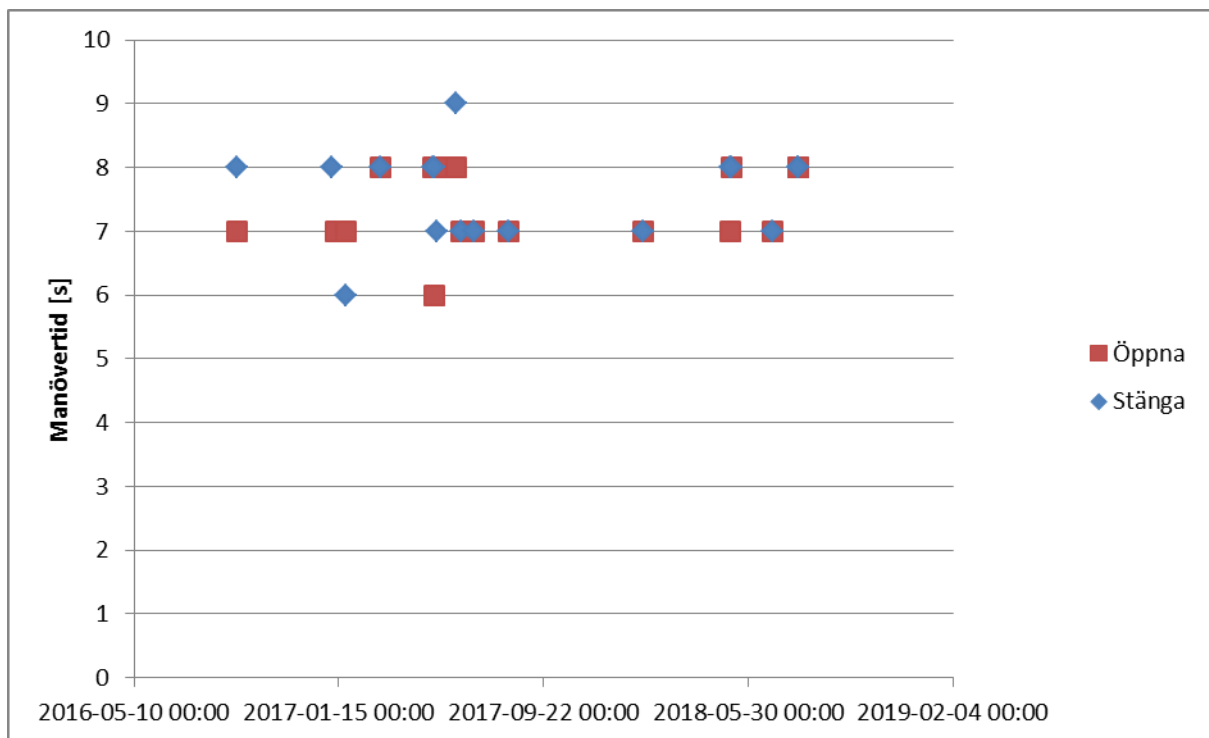


Figur 41 Alla manövertider från Individ 3.1, uppdelade efter typ av manöver

Tabell 30 Medelvärde, 0.05- och 0.95-kvantil, för Individ 3.1

Manöver	Medelvärde	0.05-kvantil	0.95-kvantil
Öppna	6.33	5.00	7.60
Stänga	6.82	5.00	11.55

Tabell 30 och Figur 41 visar att Individ 3.1, bortsett från det enstaka mätvärde på 14 sekunder och det ensamma mätvärdet på 8 sekunder, var stabilt inom intervallet [5 7] sekunder. Det var dock ett mindre intervall än det intervall som innefattar de för Typ 3 normala värdena. Vidare skilde sig den nedre gränsen för vad som kan anses normal för individen från vad som kan anses normalt för typen, då den nedre gränsen för individen var en sekund kortare än för typen. Att den nedre gränsen skilde sig, tillsammans med det faktum att Individ 3.1 enbart hade tider i den nedre delen av typens intervall, visade att frånskiljarna borde studeras individuellt.

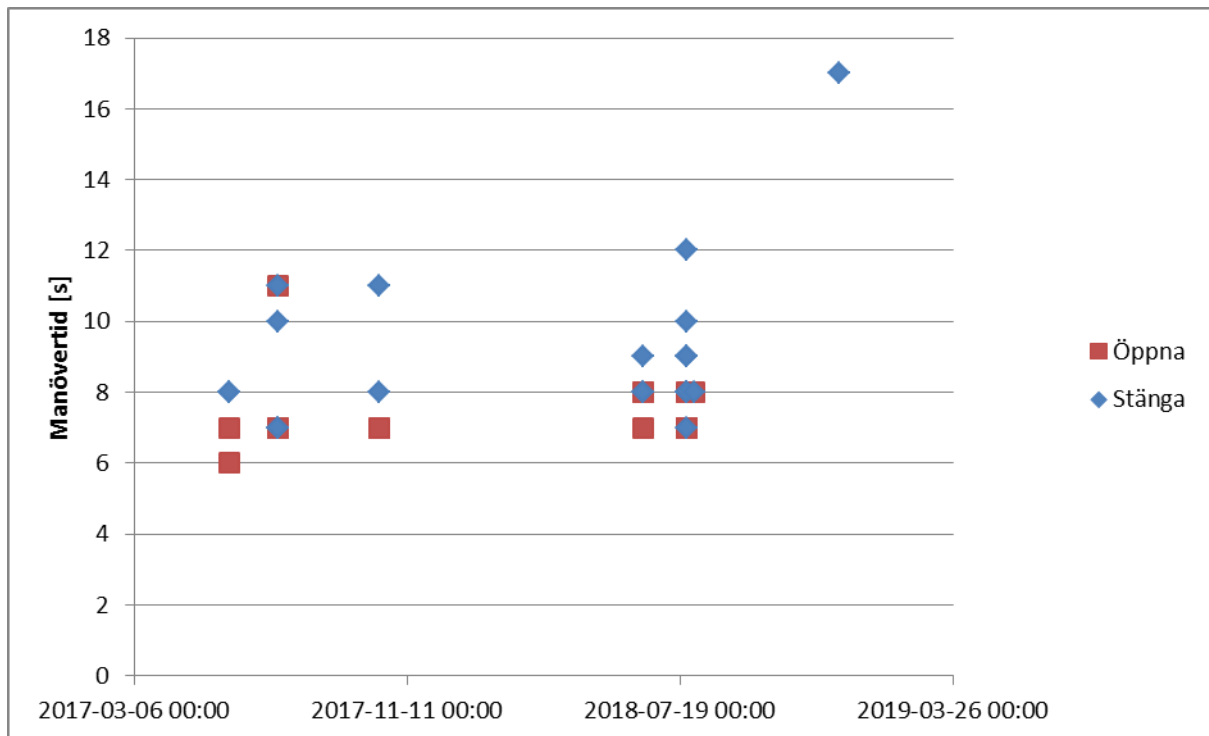


Figur 42 Alla manövertider från Individ 3.2, uppdelade efter typ av manöver

Tabell 31 Medelvärde, 0.05- och 0.95-kvantil, för Individ 3.2

Manöver	Medelvärde	0.05-kvantil	0.95-kvantil
Öppna	7.35	6.35	8.00
Stänga	7.59	6.35	8.65

Figur 42 och Tabell 31 visar att även Individ 3.2 verkade vara stabil, alla mätvärden utom ett var inom intervallet [6 8] sekunder. Trots stabiliteten befann sig manövertiderna hos Individ 3.2 endast i den nedre delen av intervallet för vilka manövertider som kan anses normala för Typ 3. Vidare befann sig manövertiderna hos Individ 3.2 något högre än de hos Individ 3.1. Slutsatsen som kan dras utifrån detta var att frånskiljarna borde studeras individuellt.



Figur 46 Alla manövertider från Individ 4.3, uppdelade efter typ av manöver

Tabell 35 Medelvärde, 0.05- och 0.95-kvantil, för Individ 4.3

Manöver	Medelvärde	0.05-kvantil	0.95-kvantil
Öppna	7.40	6.50	9.50
Stänga	9.10	7.00	14.25

fall där det är ett streck i stället för en siffra saknas mätvärden. Det röda strecket i tabellen illustrerar tillfället för underhåll.

Tabell 36 Manövertider före respektive efter utfört underhåll på frånskiljare i mellanspänningsnätet

Individ	Datum	t ₁ [s]	t ₂ [s]	t ₃ [s]	t ₄ [s]
5.1	2017-06-19	15	12	10	13
5.2	2017-06-07	15	16	13	16

Som det går att se i Tabell 36 var det få arbetsordrar som gällde frånskiljare i mellanspänningsnätet. Det som syns i tabellen är att det inte gick att urskilja någon tydlig förändring efter att underhåll utförts. För båda individerna var första mätvärdet efter underhåll kortare än det sista innan, men nästföljande mätvärde var på en liknande nivå som de två mätvärden som uppmätts innan underhåll utförts. Att de sänks skulle kunna bero på att underhåll påverkade manövertiden, men det skulle även kunna bero på naturliga variationer för individen.

Tabell 37 Manövertider före respektive efter utfört underhåll på frånskiljare i högspänningsnätet

Individ	Datum	t ₁ [s]	t ₂ [s]	t ₃ [s]	t ₄ [s]
5.3	2017-08-17	12	12	12	12
5.3	2017-11-30	12	12	12	12
5.4	2017-11-30	12	10	12	12
5.5	2018-09-07	11	12	11	12
5.6	2018-12-14	7	7	-	-
5.7	2018-12-14	7	7	-	-
5.8	2018-12-14	7	7	-	-
5.9	2018-12-14	9	10	-	-
5.10	2018-09-07	7	7	-	-
5.11	2018-09-07	7	7	-	-
5.12	2018-09-07	7	7	-	-
5.13	2018-09-07	8	8	-	-
5.14	2018-09-07	8	8	-	-
5.14	2018-11-19	8	8	-	-
5.15	2018-09-07	8	6	-	-

Tabell 37 tillkom för att vidare undersöka huruvida underhåll faktiskt påverkade manövertiderna. Tabellen visar att frånskiljaren har utfört en manöver efter att underhåll utförts, i enbart fyra av fallen. Av de fyra fallen var de två första underhållen utförda på samma individ, vilket gav ett intressant resultat. Varken första eller andra gången underhåll utfördes påverkades manövertiden, då den var densamma både före och efter. Även i de andra

två fallen gick det inte att se någon påverkan. För Individ 5.4 var sista manövertiden innan underhåll utfördes 10 sekunder, och 12 sekunder efteråt. Det berodde sannolikt på naturliga variationer. Slutsatsen som kunde dras utifrån detta, om än baserat på ett fåtal fall, var att ingen påverkan från underhåll kunde iakttas. Denna slutsats var dock baserat på individer i högspänningsnätet, och det finns en osäkerhet kring huruvida den var överförbar till mellanspänningsnätet. Då det enbart var två fall att studera för mellanspänningsnätet, samt att det fortfarande gäller samma typ av komponent, borde överföring av slutsatsen vara möjlig.

6. Diskussion

Jämförelse med tidigare forskning

En inledande fråga i ett diskussionskapitel torde vara: hur står den här studiens resultat i kontrast till övrig forskning inom ämnet? Vid en genomläsning av kapitel 2.5, innehållandes forskningsöversikt, gick det att urskilja att den största delen av forskningen på tillståndsovervakning fokuserade på ett annat tillstånd än tid. Vidare var den översiktsartikel som låg till grund för en stor del av forskningsöversikten, skriven om både frånskiljare och brytare. Därmed var det inte säkert att de exemplen som nämndes behandlade frånskiljare.

En reflektion från forskningsöversikten var att termografi är det vanligaste tillvägagångssättet för tillståndsovervakning. Att det är vanligt beror dels på att det är en relativt billig teknik, och att det då ska vara maximerad nyttoeffekt per spenderad krona. Dessutom är det en teknik som kan användas utan att kopplas in på komponenten, vilket underlättar då komponenten hade behövt kopplas bort från nätet vid en installation. Om det finns en metod för tillståndsovervakning, vilken redan är etablerad, är relativt billig, och enkel att använda, ter det sig inte konstigt att forskningen fokuserar på denna metod.

Den här studien hade som syfte att utveckla en metod för tillståndsovervakning baserat på manövertid. För att kunna utveckla en sådan metod fanns en underliggande idé om att en frånskiljares beteende borde ha en normalitet, mer specifikt att manövertiden borde vara ungefär lika lång om frånskiljaren fungerar normalt. Enkelheten i den tilltänkta metoden var att det då borde vara möjligt att hitta gränsvärden för normala värden hos frånskiljaren. Det kan jämföras med de två artiklar som nämns i forskningsöversikten vilka behandlar parametern tid. Värt att notera är att de två artiklarna behandlade brytare, det fanns inga artiklar som behandlade manövertid för frånskiljare. De två artiklarna liknade varandra, då båda delade upp en manövertiden i deltider, den ena artikeln hade 6 deltider, den andra hade 7 deltider. En viktig skillnad mellan de två artiklarna och den här studien var hur avancerade de var. Metoderna som presenterades i artiklarna krävde att det var möjligt att logga tiderna med en sådan noggrannhet att det gick att urskilja de olika deltiderna. Den noggrannheten fanns inte i den stora datamängden med tider som studerades, då de enbart hade manövertider loggade på sekundnivå, samt hade en tillhörande osäkerhet. Med de manövertider från RTU:n, de som var loggade på en nivå av hundradels sekund, kanske det skulle vara möjligt.

För att besvara den fråga som ställdes i början av kapitlet var den här studien inte en del av den dominerande forskningen av tillståndsbedömning av brytare och frånskiljare. Att forskningen för det första är dominerad av brytare, och för det andra har fokus på en etablerad metod, kan båda vara förklaringar till att inte mer forskning finns med samma inriktning som denna studie. Vidare kan en orsak vara att liknande forskning har bortsetts från då liknande metoder inte ansetts vara tillämpbara. Den ovan förda diskussionen kan vara en förklaring till de resultat som presenterats i föregående kapitel, det finns inget i den tidigare forskningen som stöder den tilltänkta metoden.

Pålitlighet

En annan viktig fråga för diskussion bör vara: hur pålitliga är resultaten? Som det gick att se var överföringstiden varierande, 95% av överföringstiderna befann sig inom ett intervall på ungefär 5 sekunder. Till följd av det fanns det en inneboende osäkerhet hos Delstudie 2 till och med Delstudie 5. En intressant följd av det var när individuella frånskiljare studeras i Delstudie 4. Trots att överföringstiden kan variera, höll sig manövertiderna hos flera av individerna, mer eller mindre, stabilt inom ett avgränsat intervall. Det tyder därmed på att överföringstiden är individuell, då det är osannolikt att överföringstiden har varierat på ett sätt som slumpmässigt lett till att de loggade manövertiderna befinner sig inom ett avgränsat intervall. Om överföringstidens påverkan är individuell kan det innebära att den tilltänkta metoden skulle kunna fungera. Det krävs dock en annan studie för att studera överföringstiden, och från den gå vidare till att analysera manövertiderna hos frånskiljarna.

Vidare fanns det även en osäkerhet i hur manövertiderna loggades, och vilka manövrar som var lyckade. I vissa fall stod det att manövern var misslyckad, i andra fall kunde det finnas en registrerad manövertid på över 100 sekunder, vilket sannolikt inte är en trovärdig manövertid för en lyckad manöver. Därför gjordes ett val, vilket nämndes i metodkapitlet, att använda det gränsvärde som fanns för vissa frånskiljare, vilken var 18 sekunder. Trots detta finns fortfarande en osäkerhet om alla manövertider som använts i den statistiska analysen, verkligen var lyckade. Det kan förklara de fall där de flesta manövertider legat stabilt, men ett mätvärde har stuckit i väg från övriga. Det som försvårar är de fall där det varit två efterföljande, och motsatta, manövrar, där båda har haft en liknande manövertid, som skiljer sig från övriga mätvärden. Osäkerheten i hur manövertiderna loggas behövs undersökas, för att ge en klarhet om och hur den påverkar.

Generaliserbarhet

Generaliserbarheten hos den här studiens resultat är också diskuterbar. Studien är utförd i en begränsad miljö. All data har sitt ursprung hos Vattenfall, och osäkerheterna som nämndes i de två ovanstående styckena beror av Vattenfalls utrustning. Då studien är så pass beroende av Vattenfall är det inte möjligt att påstå att resultaten skulle vara generaliserbara. Det skulle vara intressant om liknande studier utfördes på andra företag, för att kunna jämföra de olika resultaten.

7. Slutsatser

Är det möjligt att detektera problem och potentiella fel på en fjärrstyrd distribuerad frånskiljare i mellanspänningsnätet, enligt avvikelse från gränsvärde i manövertid hos frånskiljaren baserad på data som lagras i SCADA-systemet?

Tillsammans visade de fem delstudierna att det finns tecken på att går att detektera problem och potentiella fel utifrån de manövertider som finns i Vattenfalls SCADA-system. Att ge ett definitivt svar är dock inte möjligt utifrån det för denna studie tillgängliga materialet. För att ha en möjlighet att kunna dra statistiskt säkerställda slutsatser gjordes ett val att studera typer av frånskiljare, då det saknades individuella frånskiljare med en tillräckligt stor mängd mätvärden. För att kunna klumpa ihop individer efter typ gjordes ett antagande att frånskiljare av samma typ torde bete sig någorlunda lika. Antagandet visade sig vara fel, tre av fyra typer hade som minsta intervall för vad som kan anses normalt för den typen vilka var 8 sekunder eller större. När individuella frånskiljare från varje typ studerades, visades att enskilda frånskiljare sällan hade sina mätvärden inom ett intervall som täckte hela det intervall över manövertider som kan anses normala för den typen. Därmed behöver frånskiljare studeras individuellt, något som inte var möjligt med det tillgängliga materialet. Om de studeras individuellt kan det var möjligt att hitta gränsvärden på individnivå.

Den femte delstudien gjordes för att se om det fanns några tecken på att underhåll påverkade manövertiden hos en frånskiljare, vilket skulle underlätta vid eventuellt fortsatt arbete baserat på den här studien. Återigen var det en brist på underlag, men utifrån det underlag som fanns kunde ingen tydlig skillnad iaktas efter att underhåll hade utförts. Därmed fanns inget tecken på att manövertiden påverkades av underhållsbehov. Det är dock viktigt att påpeka att påståendet är baserat till stor del på frånskiljare i högspänningsnätet. Dessutom är det inte en säkerställd slutsats, utan enbart ett påstående utifrån vad som gick att se i det tillgängliga materialet.

Slutsatsen om att frånskiljare bör studeras individuellt, tillsammans med avsaknaden av tecken på att underhåll påverkar manövertiden, ledde till en sammanfattande slutsats. Den sammanfattande slutsatsen är att det i dagsläget inte är möjligt att detektera problem och potentiella fel enligt avvikelse från gränsvärden för manövertid. Om mätvärden samlas in under en längre tid, kanske det är möjligt att hitta gränsvärden i framtiden. Dessa gränsvärden bör vara på individbasis, då frånskiljare beter sig olika även inom samma typ.

Hur kan externa förhållanden och miljö påverka tillståndsovervakning av frånskiljaren?

Delstudie 1, delvis, och Delstudie 2 var de delstudier som hade resultat relevanta för denna fråga. I Delstudie 1 undersöktes överföringstiden, en extern aspekt som påverkar den loggade manövertiden. Överföringstiden befann sig för 95% av mätvärdena inom intervallet [1.61 6.76] sekunder. Ett så pass stort intervall medför en stor osäkerhet, vilket gör det svårt att hitta gränsvärden. Då dessa gränsvärden kan över- eller understigas till följd utav en varierande överföringstid, behöver överföringstiden studeras för individuella frånskiljare. Det skulle ge ett resultat som kanske gör det möjligt att hantera den individuella variationen om

gränsvärden bestäms. Dock är det i dagsläget inte tekniskt möjligt att studera överföringstiderna individuellt för alla fränkiljare, då detta kräver att manövertiderna loggas i både RTU:n och FEP:en. Om manövertiderna börjar loggas även i RTU:n för alla tillgängliga fränkiljare, kan en studie utföras hur överföringstiden beter sig på individbasis.

I Delstudie 2 studerades fyra perspektiv: typ av manöver, geografisk placering, årstid, och tillverkningsår, och om och hur dessa påverkade manövertiden. Typ av manöver verkar till synes inte påverka manövertiden alls, något som illustrerades i Delstudie 4. Där gick det att se att manövertiderna för de olika individerna befann sig inom samma intervall, oberoende av manöver.

För geografisk placering var det inte tydligt ifall det påverkade på något vis. För Typ 2 vara alla individer placerade i Norrland, och för Typ 4 var intervallen för Östra Götaland och Svealand helt innanför intervallet för Norrland, vilka var de tre regioner däri det fanns fränkiljare. Därmed var det inte möjligt att se någon påverkan hos Typ 2 eller Typ 4. Hos Typ 3 var manövertiderna för alla regioner ungefär desamma, och ingen påverkan kunde därför iakttas. Vad gäller Typ 1 fanns det tecken på att geografisk placering skulle kunna påverka.

För tre av fyra typer kunde ingen nämnvärd påverkan urskiljas baserat på årstid. Manövertiderna hos Typ 1 skiljde sig beroende på årstid, där vår och höst hade en median vilket var högre än för sommar och vinter. Men, den till varje årstid tillhörande spridning var stor, och det går därmed inte att dra någon slutsats om att årstid påverkar.

Tillverkningsårets påverkan gick att se hos Typ 1, Typ 3 och Typ 4. Ingen av de tre typerna hade påverkats på ett intuitivt vis, det vill säga att äldre fränkiljare är långsammare. I stället visades att tillverkningsåret hade en slumpmässig påverkan, vilket stärker slutsatsen om att fränkiljarna borde studeras individuellt.

Sammanfattningsvis går det att påstå att data från SCADA-systemet påverkats av externa förhållanden. Påverkan gick att se från överföringstiden och tillverkningsår, men även tendenser att manövertiderna påverkas av fränkiljarens geografiska placering. Slutsatsen utifrån detta blir att fränkiljare borde studeras individuellt, till följd av osäkerhet och slumpmässig påverkan.

Om resultatet är positivt, vilka ekonomiska fördelar, investeringar och kostnader förväntas genom effektiv användning av övervakning av fränkiljarens manövertid?

På grund utav att det i dagsläget inte är säkerställt att det skulle vara möjligt att tillståndsbedöma en fränkiljare utifrån dess manövertid, går det inte heller att dra någon slutsats kring vad Vattenfall skulle kunna tjäna på en eventuell metod. Därför har ingen ekonomisk analys gjorts.

7.1 Framtida studier

Det mest uppenbara som kan rekommenderas som en framtida studie är att göra en liknande studie hos Vattenfall, eller ett annat liknande bolag. Skillnaden bör främst ligga i tidsperioden som då studeras, där det viktigaste är att det finns mer än tre år med loggade mätvärden. Om det finns en större mängd mätvärden går det kanske att studera frånskiljarna individuellt, och då kanske det är möjligt att ta fram gränsvärden.

Något annat som skulle vara intressant att studera är överföringstiden som uppkommer när manövertiderna loggas i FEP:en. I den här studien förekommer den bara som en osäkerhet, och undersöktes enbart för att se hur lång den var. Att ta det vidare och undersöka vad variationen, vilken för den här studien var cirka 5 sekunder, berodde på skulle vara av intresse. En sådan studie skulle visa om överföringstiden varierar för varje individ, eller om variationen är mellan individerna, något som skulle underlätta om en ny studie av manövertider utförs.

Referenser

- ABB, 2019. *ABB: Om ABB: Historik: Jonas Wenström och trefasssystemet*. [Online]
Available at: <https://new.abb.com/se/om-abb/kort/historik/abb-jonas-wenstrom>
[Använd 12 mars 2019].
- ABB, u.d. *Frånskiljande brytare kombinerar driftsäkerhet och energieffektivitet*. [Online]
Available at: <http://new.abb.com/se/om-abb/teknik/sa-funkar-det/franskiljande-brytare>
[Använd 18 Januari 2019].
- Altman, D. G., 1991. *Practical Statistics for Medical Research*. 1:a red. London: Chapman & Hall.
- Buryka, 2007. *RNDZ-1-110*, u.o.: Wikimedia Commons.
- Bylund, K., 2018. *Elnätsautomation i distributionsnätet: Feldetektering och fjärrstyrning som metoder att förbättra leveranssäkerheten i elnätet*. Examensarbete, Umeå: Umeå universitet.
- Cederblad, J., 2019. Så ersätts du för strömavbrott. *Svenska Dagbladet*, 2 Januari.
- CIGRE, 2000. *User Guide for the Application of Monitoring and Diagnostic Techniques for Switching Equipment for Rated Voltages of 72.5 kV and Above*, u.o.: u.n.
- Elsäkerhetsverket, 1999. *Starkströmsföreskrifterna: Elsäkerhetsverkets föreskrifter om utförande och skötsel av elektriska starkströmsanläggningar samt allmänna råd om tillämpning av dessa*, Stockholm: Kerstin Risshytt.
- Elsäkerhetsverket, 2009. *Spänningskvalitet i lagstiftning och myndighetstillsyn*, Kristinehamn: u.n.
- Energimyndigheten, 2007. *Elavbrott - Vad gör jag nu?*, Eskilstuna: u.n.
- Energimyndigheten, 2015. *Energikunskap: Faktabasen: Vad är energi?: Energibärare: Elektricitet: Elnätet*. [Online]
Available at: <http://www.energikunskap.se/sv/FAKTABASEN/Vad-ar-energi/Energibärare/Elektricitet/Elnatet/> [Använd 13 mars 2019].
- Engström, F. & Lindahl, T., 2013. *Avbrottsövervakning i elnät*. Examensarbete, Karlstad: Karlstad universitet.
- Garnert, J., 1989. *Ljus och kraft - historien om Hälsinglands elektrifiering*. Stockholm: Carlsson.
- Guan, Y., Kezunovic, M., Dehghanian, P. & Gurralla, G., 2013. *Assessing circuit breaker life cycle using condition-based data*. Vancouver, BC, Kanada, IEEE.
- Holmström, C., 2018. *Ekonomifakta: Fakta: Energi: Energibalans i Sverige: Elanvändning*. [Online] Available at: <https://www.ekonomifakta.se/fakta/energi/energibalans-i-sverige/elanvandning/> [Använd 25 januari 2019].
- Häggström, B., 2005. 1983 slocknade hela Sverige. *Sydsvenskan*, 9 Januari.

- Jacobsson, K.-A., Lidström, S. & Öhlén, C., 2016. *Elkraftshandboken: Elkraftsystem 1*. Tredje red. Stockholm: Liber.
- Kaijser, A., 1994. *I fädrens spår: den svenska infrastrukturens historiska utveckling och framtida utmaningar*. Stockholm: Carlsson.
- Karlson, U., 2017. *Analys av åldring hos frånskiljare Strömberg OJYW*. Examensarbete, Stockholm: Kungliga Tekniska högskolan.
- Korendo, Z. & Florkowski, M., 2001. Thermography-based diagnostics of power equipment. *Power Engineering Journal*, 15(1), pp. 33-42.
- Körner, S. & Wahlgren, L., 2015. *Statistiska metoder*. 3:e red. Lund: Studentlitteratur.
- Lindholm, K., 2018. *Energiföretagen: Så fungerar det: Elsystemet - stabilt med låga utsläpp: Elproduktion*. [Online] Available at: <https://www.energiforetagen.se/sa-fungerar-det/elssystemet/produktion/karnkraft/> [Använd 13 mars 2019].
- Lindquist, T. M. & Bertling, L., 2008. *Hazard rate estimation for high-voltage contacts using infrared thermography*. Las Vegas, NV, USA, IEEE.
- Lindquist, T. M., Bertling, L. & Eriksson, R., 2005. *Estimation of disconnecter contact condition for modelling the effect of maintenance and ageing*. St. Petersburg, Ryssland, IEEE.
- Lindström, K., 2016. *Tillståndsovervakning av krafttransformatorer med tre fundamentala transformorkvantiteter (TFQ)*. Examensarbete, Uppsala: Uppsala universitet.
- Ljunggren, P., 2006. *Optimal och robust drift av fjärrvärmecentraler - Avkylning och egenskaper vid elavbrott*. Licentiatavhandling, Lund: Lunds Tekniska Högskola.
- Lundh, L., 2015. *Tillförlitlighet i Stockholms elnät: En analys med hjälp av Tekla NIS*. Examensarbete, Uppsala: Uppsala universitet.
- Lönnroth, V., 2010. Nu övervakar Vattenfall all el från Trollhättan. *Trollhättans Tidning - Elfsborgs Läns Allehanda*, 18 september.
- Natti, S. & Kezunovic, M., 2011. Assessing circuit breaker performance using condition-based data and Bayesian approach. *Electric Power Systems Approach*, 81(9), pp. 1798-1804.
- Nordling, A., 2016. *Sveriges framtida elnät: En delrapport*, Stockholm: Kungliga Ingenjörsvetenskapsakademien.
- Obel, F., 2012. *Balansering av en storskalig vindkraftsutbyggnad i Sverige med hjälp av den svenska vattenkraften*. Examensarbete, Stockholm: Kungliga Tekniska högskolan.
- Perch-Nielsen, T. & Sørensen, J. C., 1994. *Guidelines to thermographic inspection of electrical installations*. Orlando, FL, United States, SPIE.
- Qiu, Z., Ruan, J. & Huang, D., 2016. Mechanical Fault Diagnosis of Outdoor High-Voltage Disconnector. *IEEE Transactions on Electrical and Electronic Engineering*, 11(5), pp. 556-563.

- Razi-Kazemi, A. A., Vakilian, M., Niayesh, K. & Lehtonen, M., 2014. Circuit-Breaker Automated Failure Tracking Based on Coil Current Signature. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 29(1), pp. 283-290.
- Riksrevisionen, 2007. *Statens insatser för att hantera omfattande avbrott*, Stockholm: Riksdagstryckeriet.
- Rosopa, P. J., 2017. Bootstrapping. i: S. G. Rogelberg, red. *The SAGE Encyclopedia of Industrial and Organizational Psychology*. Charlotte: SAGE Publications.
- Rychlik, I. & Rydén, J., 2006. *Probability and Risk Analysis: An Introduction for Engineers*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- SCB, 2018. *SCB: Hitta statistik: Sverige i siffror: Miljö: Elektricitet i Sverige*. [Online] Available at: <https://www.scb.se/hitta-statistik/sverige-i-siffror/miljo/elektricitet-i-sverige/> [Använd 13 mars 2019].
- SMHI, 2014. *SMHI: Kunskapsbanken: Meteorologi: Årstider*. [Online] Available at: <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/meteorologi/arstider-1.1082> [Använd 1 april 2018].
- Svenska Kraftnät, 2003. *Elavbrottet 23 september 2003 - händelser och åtgärder*, u.o.: u.n.
- Thanopoulos, S., 2017. *Condition Monitoring of MV Remotly Controlled Distributed Disconnectors: by Motor Current Monitoring*. Examensarbete, Stockholm: Kungliga Tekniska högskolan.
- Triola, M. F., 2008. *Essentials of Statistics*. 3:e red. Boston: Pearson.
- Vattenfall, 2018. *Vattenfall: Om oss: Historia*. [Online] Available at: <https://corporate.vattenfall.se/om-oss/historia/> [Använd 13 mars 2019].
- Westerlund, P., 2017. *Condition measuring and lifetime modelling of disconnectors, circuit breakers and other electrical power transmission equipment*. Doktorsavhandling, Stockholm: Kungliga Tekniska högskolan.
- Westerlund, P., Hilber, P. & Lindquist, T., 2014. *A review of methods for condition monitoring, surveys and statistical analyses of disconnectors and circuit breakers*. Durham, UK, IEEE.
- Viklund, R., 2012. *Riksgränsbanans elektrifiering - Stat och företag i samverkan: 1910-1917*. Doktorsavhandling, Luleå: Luleå tekniska universitet.
- Zhang, D., Li, W., Xiong, X. & Liao, R., 2011. Evaluating Condition Index and Its Probability Distribution Using Monitored Data of Circuit Breaker. *Electric Power Components and Systems*, 39(10), pp. 965-978.