

Undersökning av radarbaserad hastighetsmätare



Arvid Rosenström Bergkvist

Division of Industrial Electrical Engineering and Automation
Faculty of Engineering, Lund University

Undersökning av radarbaserad hastighetsmätare



**LUNDS
UNIVERSITET**
Lunds Tekniska Högskola

TH vid Campus Helsingborg

Industriell Elektroteknik och Automation

Examensarbete:

Arvid Rosenström Bergkvist

© Copyright Arvid Rosenström Bergkvist

LTH vid Campus Helsingborg

Lunds universitet

Box 882

251 08 Helsingborg

LTH at Campus Helsingborg

Lund University

Box 882

SE-251 08 Helsingborg

Sweden

Tryckt i Sverige

Lunds universitet

Lund 2026

Sammanfattning

Detta examensarbete utvärderar möjligheten att ersätta befintliga hastighetsmätare på Bulltoftabanans halkbana med radarteknik. Arbetet har utförts på uppdrag av företaget Darotec och fokuserar på att integrera IFM R2D110 radar med ett Siemens S7-1200 PLC-styrssystem. Målet var att undersöka om radarn pålitligt kan mäta hastigheten på personbilar upp till 55 km/tim på halkbanan på 10 meters avstånd.

Hastighetsmätaren utvecklades iterativt och tester genomfördes på plats på Bulltoftabanan. Arbetet utmanades av att filtrera bort clutter, bakgrundsbrus och falska larm, samt att hantera radarns tendens att periodvis tappa bort fordon eller felaktigt detektera en personbil som två separata objekt. Genom programmeringen i PLC, implementation av filter baserade på radarns förtroende-tröskel av dynamiska objekt och radarinställningar, lyckades systemet hantera felaktiga identifieringar.

Sluttestet, omfattande 73 mätpunkter i hastigheter mellan 16 och 60 km/tim, visade en genomsnittlig mätavvikelse på 2,41 km/tim jämfört med personbilens egna hastighetsmätare. Radarn visade tyvärr allvarliga brister i vid högre hastigheter; redan vid 50 km/tim började systemet missa fordon helt, och vid 55-60 km/tim misslyckades över hälften av mätningarna.

Då radarn inte uppfyller Bulltoftabanans krav blir den slutgiltiga rekommendationen att inte installera IFM R2D110. En marknadsöversikt för alternativ radar slutade inte med rekommendation, då prestandamässigt lämpliga alternativ på marknaden krävde slutna helhetslösningar eller saknade direkt kompatibilitet med PLC-miljöer.

Nyckelord: Radarteknik, R2D110, PLC, Siemens S7-1200, Hastighetsmätning, FMCW

Abstract

This thesis evaluates the possibility of replacing existing speedometers on the Bulltoftabanan slippery track with radar technology. The work has been carried out on behalf of the company Darotec and focuses on integrating the IFM R2D110 radar with a Siemens S7-1200 PLC control system. The goal was to investigate whether the radar can reliably measure the speed of passenger cars up to 55 km/h on the slippery track at a distance of 10 meters.

The speedometer was developed iteratively and tests were carried out on site at Bulltoftabanan. The work was challenged with filtering out clutter, background noise and false alarms, as well as dealing with the radar's tendency to periodically lose the vehicle or falsely detect a passenger car as two separate objects. Through programming in the PLC, filters based on the radar's confidence threshold of dynamic objects and radar settings, was the system able to handle false detections.

The final test, comprising 73 measurement points at speeds between 16 and 60 km/h, showed an average measurement deviation of 2.41 km/h compared to the passenger car's own speedometer. The radar showed serious shortcomings at higher speeds; already at 50 km/h the system began to miss the vehicle completely, and at 55-60 km/h over half of the measurements failed.

Since the radar does not meet the requirements of the Bulltoftabanan, the final recommendation is to not install the IFM R2D110. A market review of alternative radars did not end with a recommendation, as the performance-wise suitable alternatives on the market required closed, complete solutions or lacked direct compatibility with PLC environments.

Keywords: Radar technology, R2D110, PLC, Siemens S7-1200, Speed measurements, FMCW

Förord

Det är med glädje jag presenterar mitt examensarbete, det har varit en rolig del av utbildningen som knyter ihop säcken på det hela.

Jag vill tacka David Regnersen och Robert Agerskov från Darotec. Deras engagemang, pedagogik och entusiasm har varit ovärderliga. Det går inte att hitta bättre gubbar. Stort tack till alla på Bulltoftabanan som har hjälpt till och gav mig den här möjligheten.

Slutligen vill jag tacka min sambo och vänner som har givit mig otrolig stöd genom hela utbildningen och som alltid lyckas motivera mig.

Innehållsförteckning

1 Inledning	8
1.1 Syfte	8
1.2 Målformulering	9
1.3 Problemformulering	9
1.4 Motivering av examensarbete	9
1.5 Avgränsningar	9
2 Teknisk bakgrund	11
2.1 Hårdvara	11
2.1.1 R2D110	11
2.1.2 Siemens S7-1200 1215C DC/DC/DC	13
2.1.3 IFM DX1063	13
2.1.4 IFM AL 1060	14
2.2 Mjukvara	14
2.2.1 STEP 7 och TIA Portal	14
2.2.2 IFM Vision Assistant	15
2.3 Begrepp	16
2.3.1 RCS	16
2.3.2 Clutter	17
2.3.3 Falskt Alarm	18
3. Metod	20
3.1 Konstruktion av hastighetsmätare	20
3.2 Insamling av data	21
3.3 Programmering av PLC	22
3.4 Konfigurering av R2D110	23
3.5 Utförandet av sluttest	24
3.6 Utvecklingsmetodik	25
3.7 Källkritik	25
4 Resultat och analys	27
4.1 Initial RCS-datainsamling	27
4.1.1 Resultat	27
4.1.2 Analys	28
4.2 Hastighetsmätning	29
4.2.1 Resultat	29
4.2.2 Diskussion	30
5 Slutsats och framtida arbete	32

5.1 Svar på problemformulering	32
5.2 Slutsats	33
5.3 Framtida arbete	33
5.4 Terminologi	34
6 Källförteckning	35

1 Inledning

Bulltoftabanan erbjuder utbildning inom trafiksäkerhet och har en trafikövningsplats med stora ytor för att elever ska öva på farliga situationer i trafiken, helt utan risk. Elever testar på att köra halkbana och bromstester vid höga hastigheter. Bulltoftabanan har anlitat Darotec som är ett automationsföretag med huvudsakliga fokus på tillverkningsindustrin, stora lantbruk, energi, livsmedels- och processindustrin för att byta ut styrsystemet som de använder idag. I samband med det vill Bulltoftabanan utvärdera ifall de kan byta ut de sensorer som används för att mäta hastigheten på fordon med radarteknik. Efter ett blixtnedslag på området har sensorerna vid slumpmässiga tillfällen missat mätningar på fordon. Sensorerna är nergrävda under en halkbanan som består av ett lager epoxi och asfalt. Att byta ut sensorerna med nya kräver att bryta upp halkbanan, asfaltera om och sedan lägga ett nytt lager av epoxi.

På halkbanan får elever testa bromssträcka, vattenplaning och undvika hinder. Halkbanan har ett "programmable logic controller"-system (PLC) som tar in data från sensorerna under banan och triggar olika event beroende på vilken övning som handledaren har ställt in. I alla event så används ett par sensorer för att mäta hastigheten på bilen som kör övningen. En elev i taget kör på halkbanan och ifall deras hastighet är under 55 km/tim dyker hinder upp från marken som elever ska undvika. För att förlänga livslängden på hindren så får elever inte köra snabbare än 55 km/tim.

För att möjligen undvika den kostsamma processen att bryta upp halkbanan vill Bulltoftabanan utvärdera möjligheten att radarteknik ersätter den befintliga hastighetsmätaren. Darotec har köpt in en radar (IFM R2D110) och en PLC som ska användas för undersökningen.

1.1 Syfte

Undersökningen ska ge en rekommendation till Bulltoftabanan ifall det går att ersätta hastighetsmätningen med radarteknik samt den hårdvara som Darotec har köpt in. Syftet med arbetet är att undersöka ifall det går att utnyttja radarteknik för att ersätta befintliga sensorer som hastighetsmätare.

1.2 Målformulering

Examensarbetet ska skapa en detaljerad undersökning av radarsensorn IFM R2D110 som hastighetsmätare åt Bulltoftabanan. Undersökningen ska besvara ifall radarn är lämplig för miljön på Bulltoftabanan, deras personbilar och krav. Ifall radarn anses lämplig för arbetet ska ett monteringsförslag ges.

I mån av tid och om radarn är godkänd på personbilar ska förstudien utvidgas och radarn ska testas på mopeder och lastbilar. Ifall radarn inte anses lämplig ska en marknadsöversikt för alternativa val av radarsensorer göras.

1.3 Problemformulering

Examensarbetet kommer svara på följande frågor:

1. Är det möjligt med radarn att mäta enstaka hastigheten på fordon som kör upp till 55 km/tim?
2. Är det möjligt att konfigurera radarn så gör en hastighetsmätning varenda gång ett fordon passerar med hastigheter inom spannet av 0-55 km/tim?
3. Är det möjligt att konfigurera radarn så att den inte aktiveras när ingen kör?
4. Hur presterar radarn mot den befintliga hastighetsmätaren?
5. Går det att klara av punkt 1, 2, 3 med 10 meters avstånd mellan radarn och vägens mittpunkt?

1.4 Motivering av examensarbete

Valet av examensarbetet grundar sig i viljan av att arbeta med något praktiskt och ta lärdom av hur företag utför en undersökning. PLC och problemorienterade lösningar har varit en stor del av utbildningen. Darotec erbjuder att arbeta med ett projekt som ger praktisk erfarenhet med Siemens produkter och ger möjligheten att arbeta med modern teknik i form av radarn. Examensarbetet undersöker ifall det är en smart lösning som fyller kundens behov och kan hjälpa dem möjligtvis med en permanent lösning.

1.5 Avgränsningar

De avgränsningar som examensarbetet har är följande:

- All hårdvara var bestämd och införskaffad innan examensarbetet påbörjades.

- Slutsatser och rekommendationer är enbart baserade på det väder som har varit aktuellt under arbetets gång.

2 Teknisk bakgrund

I detta kapitel presenteras hårdvara och mjukvara som används under arbetet samt ger en grundläggande förståelse för radarteknik.

2.1 Hårdvara

Här introduceras de komponenter som gör upp hastighetsmätaren samt de som användes för kommunikation och konfiguration.

2.1.1 R2D110

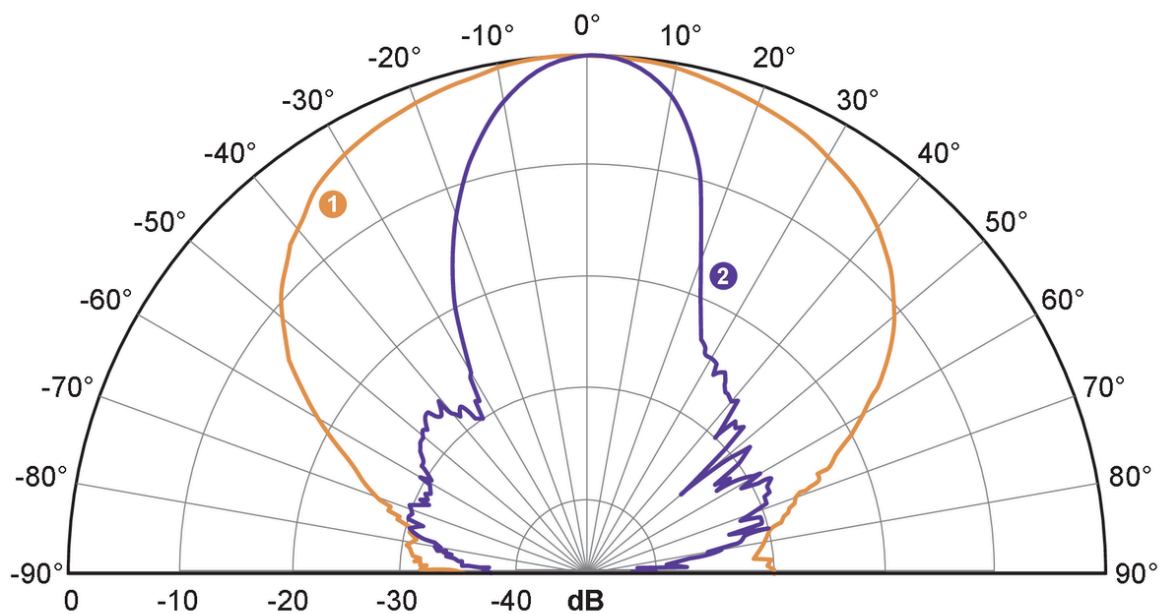
R2D110 är en radar som kan mäta avstånd, hastighet och position för både rörliga och stationära objekt. Sensorn arbetar inom frekvensområdet 60-64 GHz och klarar av att detektera objekt på avstånd mellan 0,3-30 meter med hastigheter upp till 54 km/tim [1].



Figur 2.1.1: Bild på R2D110 [2].

Radarn använder en teknik som heter “Frequency Modulated Continuous Wave” (FMCW). Genom att sända en signal som har vågformen av en sågtand kan radarn jämföra den utgående signalen med ekot för att bestämma distansen till objektet. Om objektet är i

rörelse så beräknas hastigheten genom att även mäta påverkan av dopplereffekten på signalen [3, pp. 17-18].



Figur 2.1.2: strålningsmönstret för R2D110. Orangea (1) visar azimuth, lila (2) visar höjd [1].

Radarns detekteringsfält, så kallad lob, har en stor cylindrisk öppningsvinkel på horisontellt 140 grader (azimut) och vertikalt 50 grader (höjd). Strålningsmönstret i figur 2.1 visar hur en signals upplevda styrka påverkas beroende på ingående vinkeln i decibel. Den starkaste signalen (0 dB) finns centrerad direkt framför sensorn. Men om den ingående vinkeln var 50 grader skulle signalen endast upplevas som 10% av den verkliga styrkan. Detta innebär att objekt som befinner sig i ytterkanterna av loben kräver en högre reflektionsförmåga för att bli pålitligt detekterad [1][4]. Radarn har två driftlägen, ett för kort sikt med maxdistans på 20 meter och lång sikt med maxdistans på 30 meter. Båda driftlägena har en mätfrekvens på 20 Hz men långsiktiga läget har större spann på avståndsnoggrannhet på ± 15 mm och hastighetsnoggrannhet på $\pm 0,04$ m/s. R2D110 har totalt två konfigurerbara utgångar som kan sända digitala signaler när ett objekt befinner sig inom en larmzon eller ifall ett objekts attributer som hastighet, distans, eller "Radar Cross Section"-värde (RCS), RCS förklaras vidare i kapitel 2.3.1. Det finns möjlighet att överföra ytterligare information som hastighet på föremål till en PC men hårdvaran för möjligheten att göra det till en PLC var ej införskaffad inför arbetet. R2D110 är byggd för att tåla extrema miljöer med en

kapslingsklass på IP65 upp till IP69K. Driften sker vid en spänning på 10-30 V DC och anslutning för konfigurering sker via en standardiserad M12-kontakt med IO-link som kommunikationsgränssnitt [1].

2.1.2 Siemens S7-1200 1215C DC/DC/DC

Siemens S7-1200 är en PLC-enhet. Systemet fungerar som en central styrenhet som hanterar information via analoga och digitala signaler. Systemets namn berättar vilken CPU som används och vilken typ av spänningar systemet har för inmatning och utmatning. Delen av namnet "1215C" representerar systemets CPU, som har följande processtider per instruktion [5]:

- Bitoperation: 0,08 μ s.
- Word-operation: 1,7 μ s.
- flyttalsberäkningar: 2,3 μ s.

Vidare så betyder "DC/DC/DC" att systemet drivs på 24V DC, digitala ingångar samt utgångar hanterar 24V DC. Totalt finns det 14 digitala ingångar, 10 digitala utgångar, 2 analoga ingångar och 2 analoga utgångar som har utmatningskapacitet från 0-20 mA [5].

2.1.3 IFM DX1063

IFM DX1063 är en multifunktionsdisplay som är ett universellt gränssnitt då den hanterar allt från ström- och spänningssignaler till direktanslutna temperaturgivare.



Figur 2.1.3: Bild på IFM DX1063 [6].

Användaren kan fritt konfigurera enheten för att välja datatyper, text, och kan visa hastigheter mellan 0-100 km/tim. Värdet som visas bestäms av en ingående spänning mellan 0-20 mA och displayen drivs med en matningsspänning på 24 V DC [7].

2.1.4 IFM AL 1060

AL 1060 är ett IO-Link adapter som sköter omvandlingen av kommunikation mellan IO-Link-baserade sensorer som R2D110 och PC. Detta görs med en M12-kontakt till sensorerna och USB till PC [8]. IO-Link är ett standardiserat kommunikations-gränssnitt för små givare och ställdon [9].

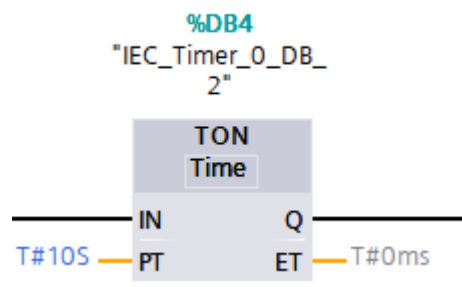
2.2 Mjukvara

I detta avsnitt beskrivs mjukvaran som användes för att programmera PLC-enheten och konfigurera R2D110.

2.2.1 STEP 7 och TIA Portal

TIA Portal (Totally Integrated Automation Portal) är en utvecklingsplattform från Siemens som har programmeringsmiljön STEP 7. STEP 7 används för att programmera logiska styrsystem och inkluderar språk som Ladder Logic (LAD), Function Block Diagram (FBD) och Structured Control Language (SCL) [10].

Mjukvaran tillåter användaren att konfigurera PLC, utgångar, ingångar och ger tillgång till information om systemets CPU. STEP 7 erbjuder färdiga funktionsblock som IEC-timers som kan användas för att lösa tidsrelaterade problem. Det är tidsfunktioner som följer den internationella standarden IEC 61131-3, vilket garanterar ett standardiserat och enhetligt beteende oavsett vilket programmeringsspråk som används [11].



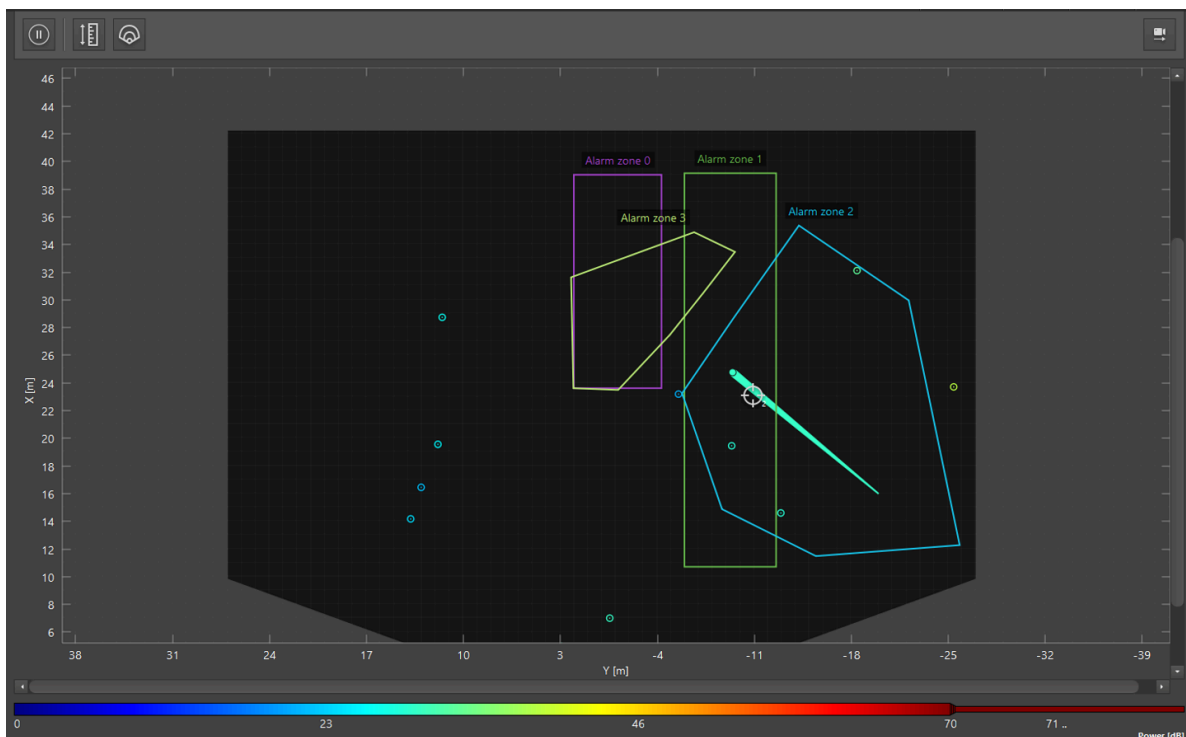
Figur 2.2.1: En TON-timer.

En IEC-timer i STEP 7 är “Time On-Delay” (TON). Syftet med en TON-timer är att fördröja aktiveringen av en utsignal efter att en styrsignal har slagits till. Den har två huvudsakliga ingångar och två utgångar. Ingången IN fungerar som timers startvillkor, och ingången PT (Preset Time) är den tid man vill fördröja signalen med. På utgångssidan finns Q, som är själva logikutgången, samt ET (Elapsed Time) som visar hur lång tid som hittills har förflutit sedan timern startade [12].

2.2.2 IFM Vision Assistant

IFM Vision Assistant är användargränssnittet för IFMs produkter. Mjukvaran skapar en visualisering av mätdatan i realtid och låter användaren konfigurera den kopplade enheten. När en PC har skapat en förbindelse med R2D110 via IFM AL 1060 så kan användaren utföra parameterinställning, filter och skapa larmzoner. Parametrarna som är tillgängliga är: distans, velocitet, total amplitud på reflektion, RCS och positionering. Alla objekt är klassificerade antingen som ett statiskt eller dynamiskt objekt och programmet visar även nivån av förtroende radarn har på klassificeringen i procent. Det är även möjligt att sätta en förtroende-tröskel som kräver att objektet har minst det angivna värdet av förtroende i procent för att objektet ska aktivera larmzonen och radarn skickar en signal till angivna

utgång [13].



Figur 2.2.2: Bild på Vision Assistant med fyra larmzoner och ett dynamiskt objekt.

Vision Assistants har tekniken att kombinera alla tidigare nämnda parametrar till ett begränsat område, så kallad larmzon. Totalt kan 8 larmzoner skapas och användaren har full kontroll över storlek, form och krav på objektets attributer som behöver uppfyllas för att en signal ska skickas på bestämd utgång på R2D110 [13].

2.3 Begrepp

Här presenteras grundläggande begrepp inom radartechnik som används för att beskriva fenomen och mätningmetoder.

2.3.1 RCS

Radar Cross Section, är ett begrepp inom radartechnik som beskriver ett objekts förmåga att reflektera radiovågor tillbaka till en mottagande sensor. Det är ett mått på hur stort och synligt ett objekt framstår för radarn. Detta mått är oberoende av distans men har inte en direkt korrelation med storleken på föremålet då material och form har stor påverkan på nivån av radareko [14, pp. 219-224].

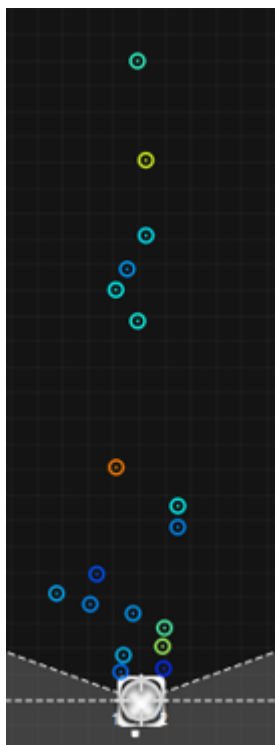
Eftersom ett verkligt mål som en personbil består av en mängd olika ytor och kanter är personbilens RCS aldrig ett fast nummer. Det förändras dramatiskt beroende på objektets

aspektvinkel. När personbilen ändrar sin vinkel till radarn kommer ekona från de olika delarna av personbilen att hamna i antingen fas eller motfas med varandra. Denna interferens gör att det resulterande RCS-värdet fluktuerar från en sekund till en annan [14 pp 247-249].

Även om RCS i teorin är en helt isolerad egenskap hos själva föremålet, påverkas mätningen av omgivningen där radarn befinner sig i. Ett vanligt fenomen ute i fält är flervägsutbredning, vilket innebär att radarsignalen inte bara färdas i en rak linje utan även studsar mot marken, väggar eller träd på sin väg till och från målet. Beroende på hur dessa studsar sammanträffar kan signalerna antingen förstärka varandra och få objektet att se större ut, eller dämpa och visa ett mycket mindre objekt än verkligheten [14, pp.117-120].

2.3.2 Clutter

Personbilen som ska mätas i detta examensarbete finns inte i ett vakuum, bilen kör på en väg, vid vägen finns det koner och bakom konerna finns det träd. Alla föremål som finns i omgivningen är inte relevanta för hastighetsmätningen men de reflekterar tillbaka radarns signaler. Dessa föremål är clutter, irrelevanta föremål som detekteras inom radarns synfält. Till skillnad från brus så finns föremålen i omgivningen, det kan även komma i form av väder som snö eller regn [14, pp.76-78].



Figur 2.3.2: Bild inom IFM Vision Assistant som visar clutter.

2.3.3 Falskt Alarm

Ett falskt alarm definieras som en felaktig deklaration av ett objekt [14, pp.97-100]. Det är när radarsystemet anser att ett mål är närvarande på en viss plats, när det i verkligheten var brus eller clutter.

Detta problem uppstår på grund av att den mottagna radarsignalen alltid innehåller en viss mängd slumpmässigt brus som kan komma från externa miljöfaktorer. För att avgöra om ett inkommande eko faktiskt är ett verkligt mål använder radarn ett tröskelvärde. Om den insamlade signalstyrkan överstiger detta tröskelvärde registreras en detektion. Eftersom bruset är statistiskt och slumpmässigt händer det att rena brusspikar tillfälligt blir så pass starka att de passerar tröskeln. När detta sker tolkar radarn bruset som en giltig reflektion, vilket är ett falskt alarm [14, pp. 97-100].

När radarns synfält är tomt på mål tvingas systemet att fatta beslut enbart baserat på brus och clutter, då är det en tidsfråga innan en slumpmässig brusspik har tillräckligt hög amplitud för att överstiga tröskeln. Men radartechnik har algoritmer som Constant False

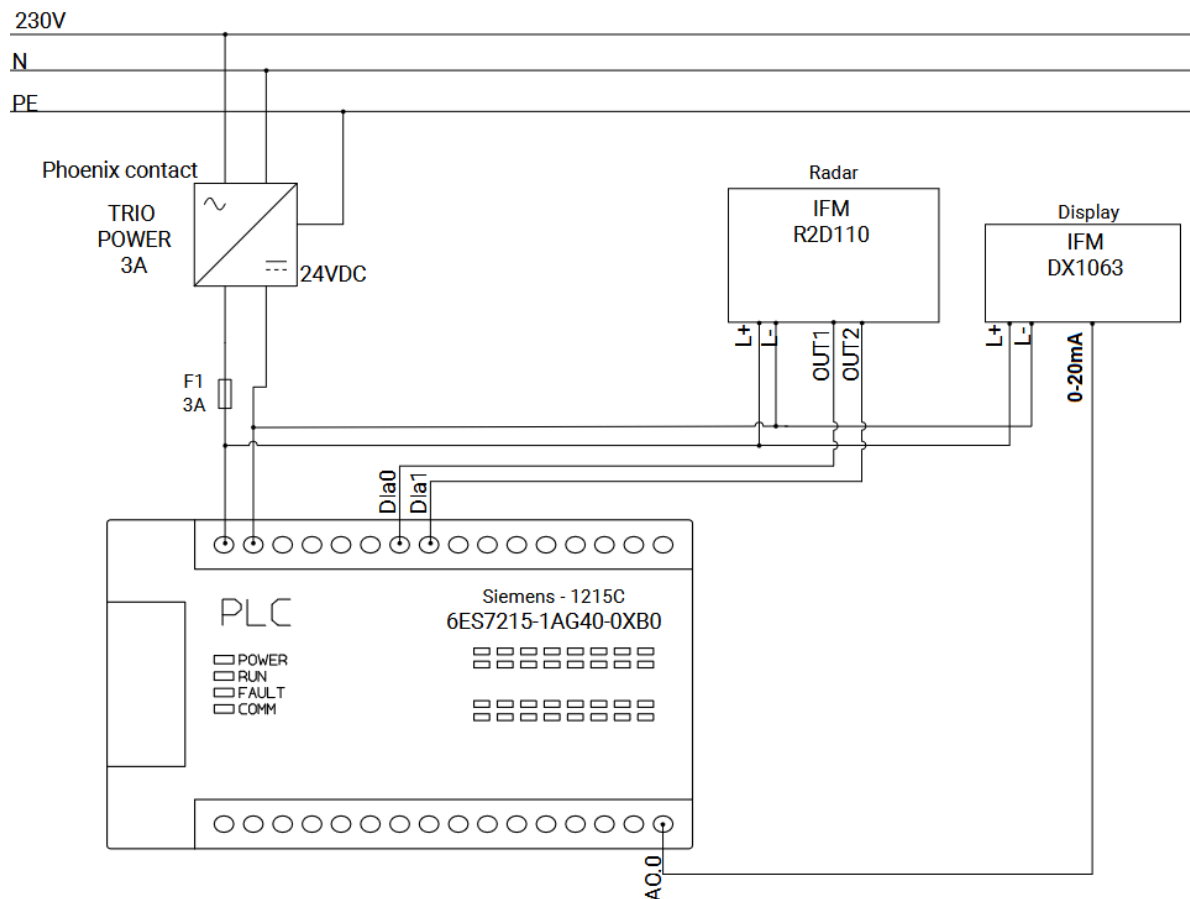
Alarm Rate (CFAR). CFAR-algoritmen är designad för att hålla sannolikheten för falska larm på en låg nivå genom att uppskatta den genomsnittliga effekten hos bakgrundsstörningarna i radarns synfält [14, pp.589-592].

3. Metod

Detta kapitel beskriver hur R2D110 integrerades med PLC-styrsystemet, PLC-programmeringen samt hur R2D110 konfigurerades inför de slutgiltiga tester som rekommendationen till Bulltoftabanan är baserad på.

3.1 Konstruktion av hastighetsmätare

Hastighetsmätaren var konstruerad enligt kopplingsschemat i figur 3.1.1. Nätaggregatet Phoenix contact TRIO POWER var installerad av elektriker med behörighet.

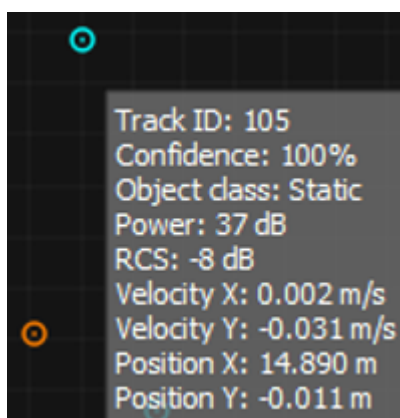


Figur 3.1.1: kopplingsschema av hastighetsmätaren.

3.2 Insamling av data

För att minimera påverkan av clutter och falska alarm så utfördes det en serie av mätningar på bulltoftabanan för att få en inblick i vad som behöver filtreras bort samt vad personbilen har för attributer. Det finns två parametrar som både var för sig, och i kombination, har möjligheten att filtrera bort både clutter och falska alarm. Det var RCS-värde och förtroende-tröskeln.

Mätningen av RCS-värde på personbilen gjordes på bulltoftabanan genom att köra framför radarn med varierande hastigheter mellan 10-55 km/tim. RCS-värdet som Vision Assistant visade togs på halkbanan där Bulltoftabanan ville att hastighetsmätningen skulle ske och senare larmzoner skulle ta plats. Resultatet av RCS-mätningen diskuteras i kapitel 4.1.

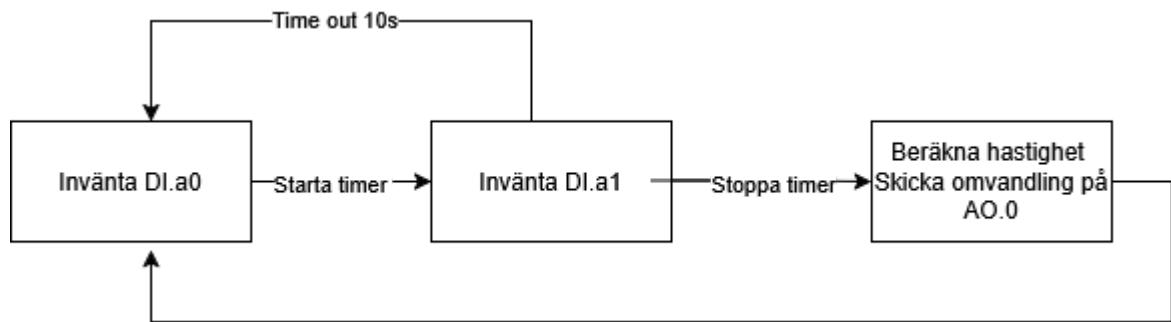


Figur 3.2.1: Bild i IFM Vision Assistant på ett statiskt objekts attributer.

För att etablera lägsta möjliga nivå av förtroende-tröskel som lyckas filtrera bakgrundsljud och clutter på bulltoftabanan skapades en larmzon. Larmzonen fick endast aktiveras av objekt som radarn klassificerade som ett dynamiskt objekt. Datan som söktes var vilken procent där larmzonen slutade sända falska alarm och inte längre detekterade clutter. Testet utfördes genom att montera radarn 10 meter från vägens mittpunkt och i hälften av personbilens höjd på bulltoftabanan och vid lyckad detektering av objekt höjdes förtroendet-tröskeln. Testet avslutades med att larmzoner aktiverades av objekt som klassificerades som dynamiskt med 30% eller högre förtroende och inga falska larm skedde under 5 timmar av bruk.

3.3 Programmering av PLC

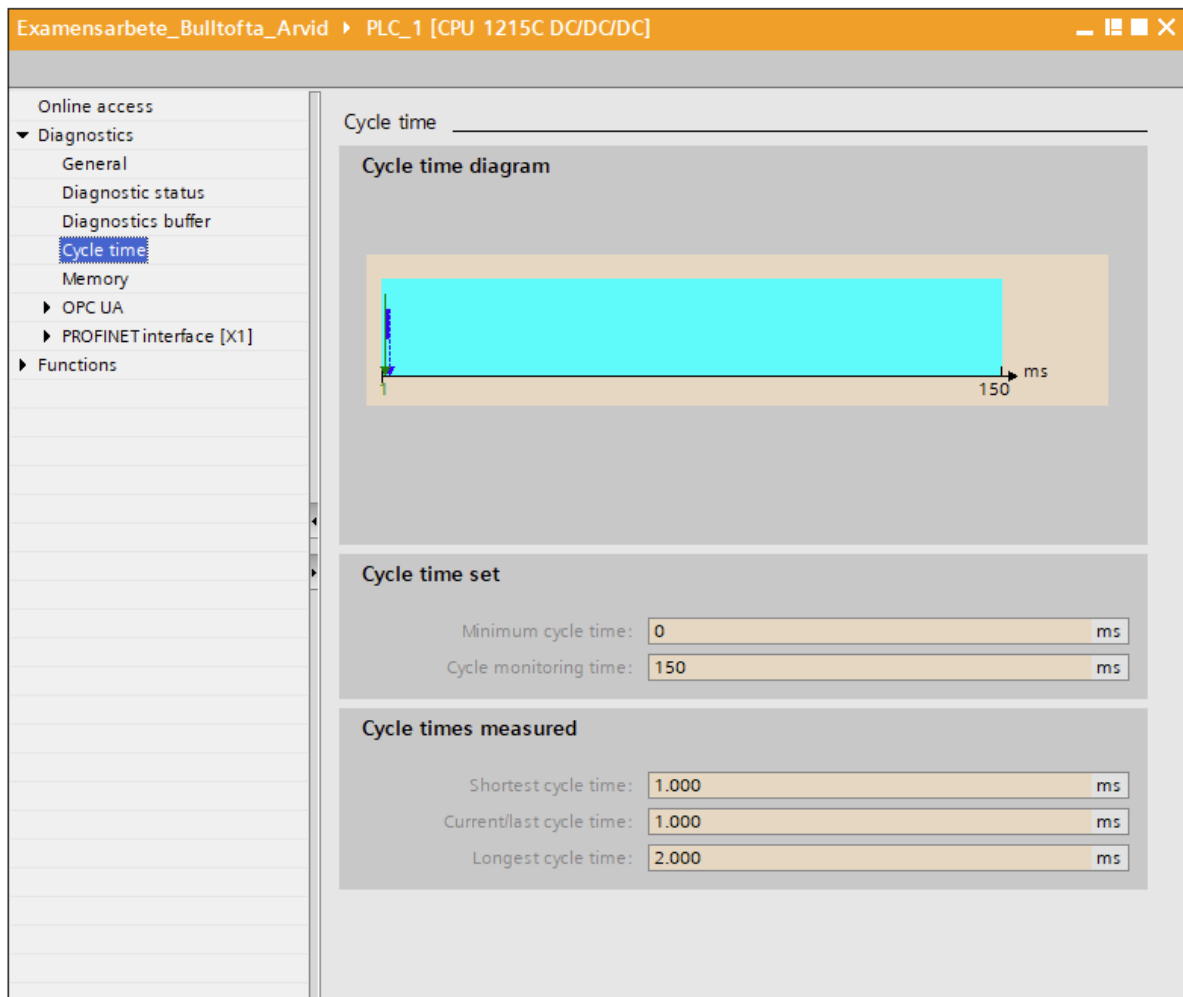
Hela programmet är ett funktionsblock som består av fyra nätverk, varav nätverk 1 till 3 är programmerade i LAD och nätverk 4 i SCL. Utvecklingen av programmet skedde iterativt efter de problem och oväntade resultat från test på bulltoftabanan som diskuteras i kapitel 4.3. En förenklad version av programmet beskrivs i figur 3.3.1.



Figur 3.3.1: Flödesschema för programmet. DI.a0 och DI.a1 är ingångar som får signaler från R2D110 och AO.0 sänder en spänning mellan 0-20 mA som sätter hastigheten på DX1063.

Den slutgiltiga versionen av programmet hade en väldigt låg cykeltid som låg inom spannet av 1-2 ms vilket är hela processen av att läsa ingångar, exekvera programmet och sedan uppdatera utgångar. Detta ger exekveringsfrekvensen av programmet mellan 500-1000 Hz

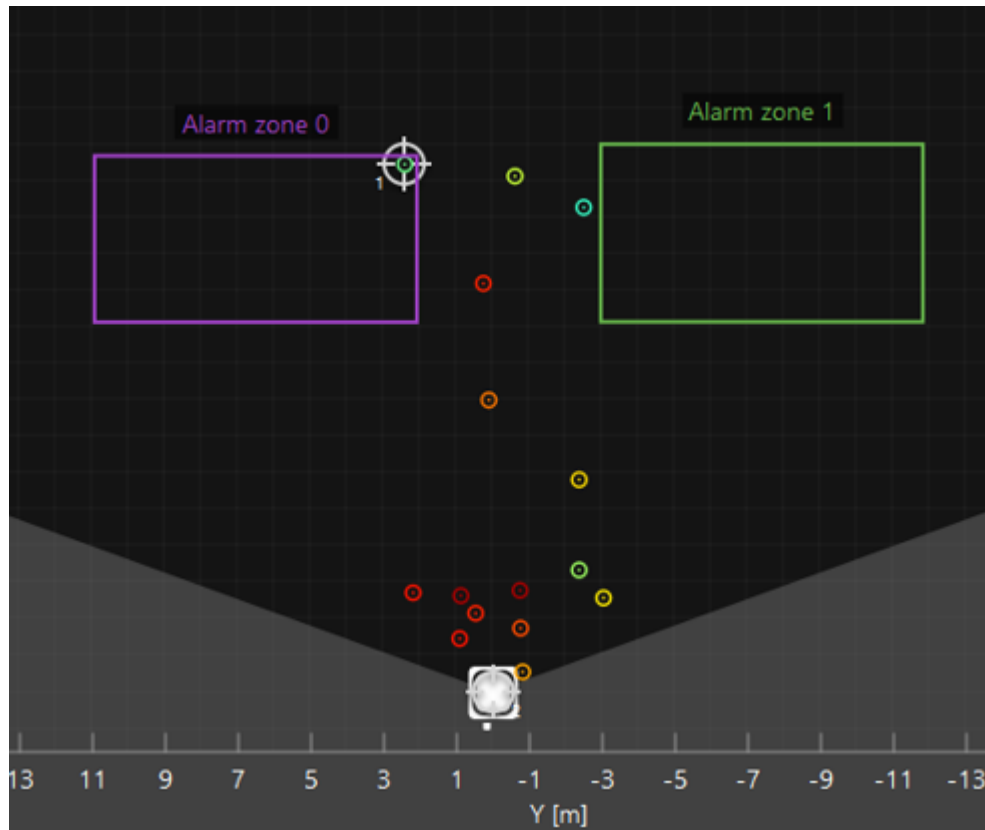
som kan ses i figur 3.3.2.



Figur 3.3.2: Bild på cykeltid av PLC. Bilden var tagen under ett test på Bulltoftabanan.

3.4 Konfigurering av R2D110

Genom Vision Assistant skapades två larmzoner som skickade digitala signaler genom respektive OUT1 och OUT2. För att kunna hantera högsta möjliga hastighet sätts R2D110 på "long-range mode" som höjer räckvidden och maxhastigheten men ökar även spannet på variationen i noggrannheten. För att garantera att alla signaler skickade av R2D110 ska bli registrerade av PLC sattes en "switch-off delay" på båda larmzonerna med 100 ms. Detta innebär att efter en signal gått från att vara hög till låg så fortsätter switch-off fördröjningen att skicka signalen i ytterligare 100ms.



Figur 3.4.1: Exempel på hur larmzonerna var placerade.

Larmzonerna var placerade över vägen där personbilarna körde och från radarns perspektiv kom fordonen från vänster och körde genom båda larmzonerna.

3.5 Utförandet av sluttest

Inför testet placerades R2D110 lodrätt, 10 meter från vägens mittpunkt och i hälften av personbilens höjd för att skapa största möjliga vinkelräta yta mellan radar och personbilen. Sedan placerades larmzonerna i Vision Assistant enligt konfigurationen i kapitel 3.5 och distansen från början av larmzon 1 till larmzon 2 mättes med ett måthjul för att sedan användas i uträkningen av hastigheten. Illustration syns i figur 3.5.1.



Figur 3.5.1: Illustration av placeringen av R2D110 (röd) med radarsensorns synfält och larmzoner (gul) på bulltoftabanen.

På grund av omständigheter var den befintliga hastighetsmätaren ur funktion vid tillfället av testet. För att få en jämförelse till resultatet fick en handledare från Darotec hjälpa som förare. Föraren accelererade upp till en bestämd hastighet och vid hastigheter över 30 km/tim lät personbilens farthållare hålla hastigheten genom larmzonerna och kommunicerade värdet som personbilens hastighetsmätare visade. Totalt blev det 73 mätningar där hastigheten varierade mellan 16-60 km/tim som kommer att diskuteras kapitel 5.

3.6 Utvecklingsmetodik

Efter konstruktionen av hastighetsmätaren utfördes arbetet iterativt med kontinuerlig testning för att validera ny kod eller se påverkan av nya parametrar. Mindre ändringar i programmeringen av PLC testades genom att simulera ingående signaler på DI.a0 och DI.a1 inom TIA portalen. Men ändringar av parametrar och radarinställningar var miljöberoende och testades på bulltoftabanen.

3.7 Källkritik

Källorna [1], [2], [6], [7], [8] och [13] är från IFMs egna webbplats som har senaste publicerade versioner av datablad och användarmanualer. För att bygga en teoretisk grund har källorna [3], [4] och [14] utnyttjats. Källorna är publicerade böcker som är skrivna av experter inom området och bedöms vara trovärdiga. Den tekniska dokumentationen för

PLC och de mjukvarumiljöer som använts är [5], [10], [11] och [12]. Det är manualer, datablad och officiell beskrivning av produkter som anses trovärdiga då de kommer från tillverkarens officiella supportportal som beskriver avsedd användning av deras produkter. Hade företaget inte varit konsekvent med manualer och datablad skulle deras produkter inte anses som seriösa inom automationsbranschen. Källa nummer [9] är hämtad direkt från den officiella organisationen för IO-Link-standard. Detta är en mycket pålitlig källa eftersom den utgör det officiella dokumentet för protokollet. Slutligen är källa [16] har inhämtats direkt från Sveriges riksdags officiella hemsida, medan källorna [17] och [18] utgörs av officiella dokument utgivna av FN:s ekonomiska kommission för Europa. Dessa myndighetskällor är trovärdiga då de utgör officiella lagtexter och internationella direktiv.

4 Resultat och analys

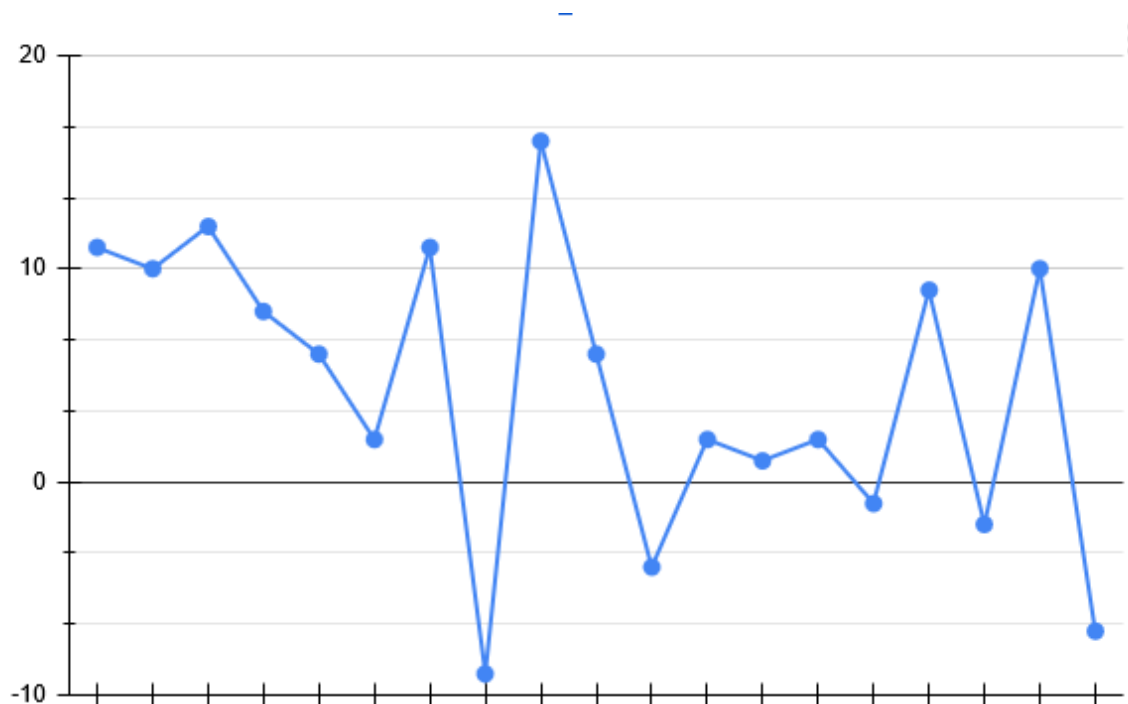
Under detta kapitel kommer resultatet från datainsamlingen av RCS-värde och hastighetsmätningen redovisas. Sedan kommer detaljer om val som gjordes i metoden diskuteras, det är problem som uppstod under utvecklingen som formade programmeringen och konfigureringen av radarn.

4.1 Initial RCS-datainsamling

I detta avsnitt presenteras värdena från RCS-mätningen och beskriver resultatet av filtret som var baserad på den uppmätta datan. Sedan diskuteras de problem som uppstod under mätningar och tester som examensarbetet fick anpassa sig efter.

4.1.1 Resultat

Den insamlade datan på RCS-värde visade en hög variation som inte var distinkt nog från bakgrundsljudet för att kunna användas som filter effektivt.



Figur 4.1.1: Y-axeln är data på uppmätt RCS-värde på personbil i hastigheter från 10-55 km/tim i decibel över mätpunkter på x-axeln.

När larmzonerna var konfigurerade för att tillåta det lägsta av det uppmätta RCS-värdet så präglades testet av falska positiva signaler. Detta uteslöt filter baserat på RCS-värde för larmzonerna och gav väg till förtroende-tröskel filter som användes i metoden.

Anledningen till varför RCS-värdet varierar så mycket beror på aspektvinkeln när värdet var noterat. För att hastighetsmätningen sker över en större yta krävdes det att ha flera olika vinklar för att se hur mätvärdet förändras.

4.1.2 Analys

R2D110 hade tre problem som upplevdes under flera tester som formade hur programmeringen samt konfigureringen togs till väga.

Första problemet var att det upplevdes att R2D110 hade en variation på när ett objekt först identifierades. Ifall larmzonernas storlek var för små fanns det en direkt koppling till hur ofta R2D110 missade mätningar. Problemet med en för stor larmzon är att personbilen kan identifieras väldigt sent inne i larmzonen. Detta resulterade i en mycket högre hastighet då distansen som används i beräkningen var distansen mellan början av larmzon 1 till början av larmzon 2 enligt figur 3.5.1.

Andra problemet var att R2D110 hade förmågan att tappa bort ett objekt. Detta resulterade i att en till flera cyklar försvann den detekterade personbilen för att sedan detekteras på nytt. Fenomenet upptäcktes under ett test när larmzonerna hade två olika tider på "switch-off delay" och PLC-programmet räknade antalet signaler som var skickade. Larmzonen med en kortare off-delay hade ett högre antal skickade höga signaler än andra larmzonen. Under testet så hade hastighetsmätaren lyckats mäta alla bilar som har kört förbi. Detta indikerar att larmzonen har blivit aktiverade, tappat detekteringen och sedan fått tillbaka den under samma körning. Sedan bekräftades det visuellt i Vision Assistant. För att garantera att alla signaler blev registrerade i framtida test blev "switch-off delay" satt på 100ms.

Tredje problemet är att en personbil identifierades som två olika objekt. Framkanten och bakkanten av personbilen kunde upplevas som två helt olika objekt. I värsta fall skedde en kombination med de två tidigare problemen. En personbil kunde plötsligt dyka upp som två objekt lodrätt med radarn, försvinna och sedan bli detekterad igen. Detta visade maxhastigheten på 100 km/tim direkt då båda larmzonerna skickade en hög signal samtidigt. För att undvika detta problem sattes det ett mellanrum på en personbils längd mellan larmzonerna för att säkerställa att bilen har kört ut ur första larmzonen innan den kan aktivera den andra. Problemet med detta är att figur 2.1.2 visar att radarn har lägre

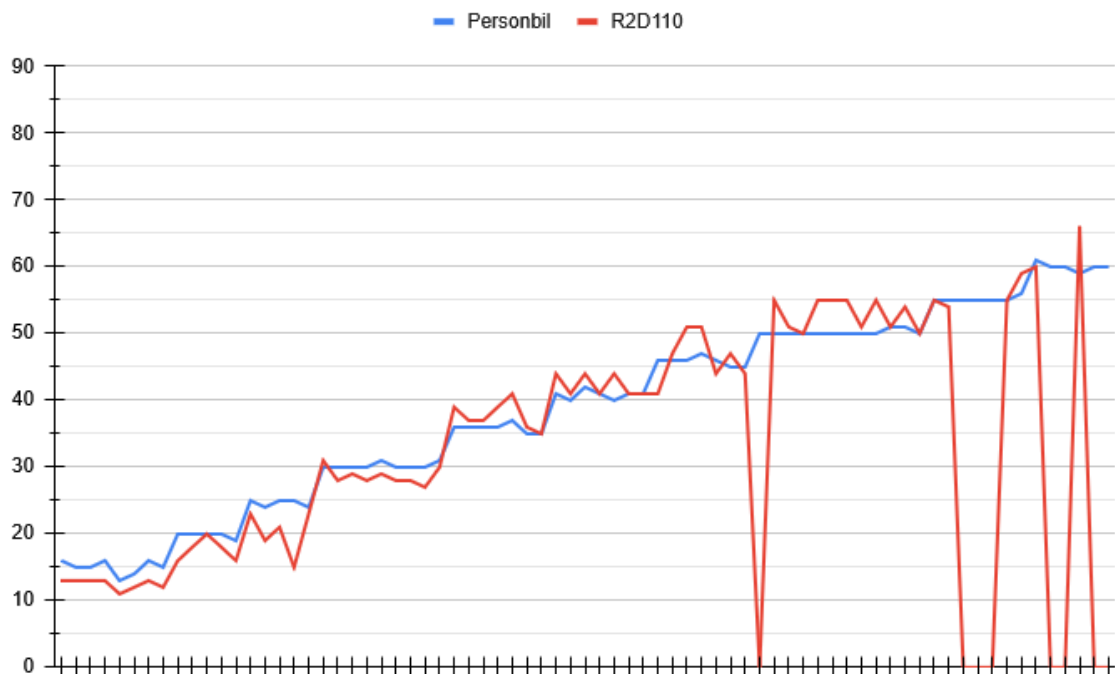
förmåga att detektera objekt som inte är vinkelrät med radarn, detta kan påverka var i larmzonen personbilen detekteras.

4.2 Hastighetsmätning

I detta avsnitt presenteras resultatet av sluttestet som beskrevs i kapitel 3.5 och diskuterar hur resultatet kan tolkas efter förändringen av hastighetsmätaren som radar-hastighetsmätaren jämförs mot.

4.2.1 Resultat

Sluttestet som beskrevs i metoden består av totalt 73 mätpunkter på hastigheter från 16 till 60 km/tim enligt personbilens hastighetsmätare som syns i figur 4.2.1. Figuren visar den uppmätta hastigheten enligt personbilen (blå) och R2D110 (röd) i km/tim på y-led över mätpunkter i x-led. En misslyckad mätning innebär att personbilen körde enligt de förbestämda villkoren men examensarbetets hastighetsmätare gav inte något resultat. Hastighet på 0 km/tim betyder att det var en misslyckad mätning.



Figur 4.2.1: Graf på uppmätta hastigheter över mätpunkter.

Medelvärde på skillnaden mellan de två resultaten ges av att addera ihop absolutvärdet av differensen mellan varje värdepar i alla lyckade mätpunkter och dela med antalet mätpunkter. Detta ger ett medelvärde på 2,41 km/tim.

Sluttestet kördes i omgångar som ökade med ungefär 5 km/tim enligt personbilens hastighetsmätare med lite variation. Segmentet med den lägsta differensen, utan att inkludera de med fler än en misslyckad mätning, är 40-42 km/tim spannet. Segmentet hade totalt 7 mätningar varav 0 misslyckades och hade en differens med 1,4 km/tim i medelvärde.

Värsta differens-medelvärdet är 4,4 km/tim och tillhör 24-25 km/tim spannet. Totalt var det 5 mätningar varav 0 misslyckades och där finns även den största skillnaden i ett mätpunkts-par. Personbilen gav 25 km/tim och radar-hastighetsmätaren gav 15 km/tim.

Totalt finns det tre segment som innehåller misslyckade mätningar, vilket är:

- 50-51 km/tim med 1 missad av 12 mätpunkter.
- 55-56 km/tim med 3 missade av 7 mätpunkter.
- 59-61 km/tim med 4 missade av 6 mätpunkter.

4.2.2 Diskussion

Då jämförelsen av hastighetsmätarna skiftades från den befintliga på Bulltoftabanan till personbilens egna, måste lagarna angående vad ett fordon's hastighetsmätare får visa presenteras. Trafikverket kräver ett ECE-typgodkännande av fordon, det är ett certifikat som följer FN-reglemente 39 som lyder att relationen mellan visad hastighet (V1) och verklig hastighet (V2) i ett fordon måste lyda ekvation 1 nedan [15][16][17].

$$0 \leq (V1 - V2) \leq 0.1 V2 + 4 \text{ km/tim} \quad (1)$$

Det är förbjudet för en personbils hastighetsmätare att visa en hastighet som är lägre än den verkliga, men får ha ett felmarginal på 10% +4 km/tim. Det betyder att det finns en möjlighet att personbilens verkliga hastighet i grafen från figur 5.2.1 är lägre än vad som har presenterats. Men skulle det vara fallet så är radarhastighetsmätarens felmarginal större än tidigare trott och det hade inte förändrat rekommendationen till Bulltoftabanan.

De lyckade mätningarna som endast har några få km/tim skillnad i resultatet sker pga de problem som togs upp i kapitel 4.2. Då fordonet kan detekteras mitt i första larmzonen eller försvinna precis innan andra och komma tillbaka djupare i larmzon 2 blir uträkningen av hastighet fel. Beräkningen av hastigheten har fast värde på distansen mellan framkant larmzon 1 och framkanten av larmzon 2. När personbilen inte detekteras på första möjliga chans i båda larmzonerna matchar beräkningen inte verkligheten.

R2D110 har möjligheten för att ha fler larmzoner som ersätter en stor med flera mindre för att få en mer verklig mätning. Men R2D110 har endast två utgångar för signaler. Det finns inget sätt att identifiera vilken larmzon som detekterade föremålet. R2D110 är fel radar för kraven Bulltoftabanan gav då den inte kan pålitligt hantera de hastigheter som krävs.

5 Slutsats och framtida arbete

Detta kapitel kommer att besvara problemformuleringen, ge en slutsats på examensarbetet och presentera idéer för framtida arbete.

5.1 Svar på problemformulering

1. Är det möjligt med radarn att mäta enstaka hastigheten på fordon som kör upp till 55 km/tim?

Ja. R2D110 lyckades att detektera fordon i hastigheter upp till och med 60 km/tim. Detta lyckades även då R2D110s datablad påstår att maxhastigheten är 54 km/tim [1]. Själva uträkningen av hastigheten sköttes av PLC.

2. Är det möjligt att konfigurera radarn så gör en hastighetsmätning varenda gång ett fordon passerar med hastigheter inom spannet av 0-55 km/tim?

Nej, enligt de tester och utveckling som har gjorts i detta examensarbete anses det inte möjligt att garantera en lyckad hastighetsmätning som bevisas i kapitel 3.6.

3. Är det möjligt att konfigurera radarn så att den inte aktiveras när ingen kör?

Ja, det var möjligt att filtrera bort både clutter och eventuella brusspikar men det är möjligt att det påverkar prestandan av detekteringsförmågan av personbilar. Men detta problem var högre prioriterat då dålig filtrering påverkar också detekteringsförmågan.

4. Hur jämförs radarn mot den befintliga hastighetsmätaren?

Detta problem gick ej att besvara då den befintliga hastighetsmätaren gick ur drift. Men jämfört med personbilens hastighetsmätare var medelvärde på skillnaden godkänt enligt Bulltoftabanan. Dock ansågs mätpunkten med största skillnaden på 10 km/tim och de misslyckade mätningarna att ej vara godkända.

5. Går det att klara av punkt 1, 2, 3 med 10 meters avstånd mellan radarn och vägens mittpunkt?

Nej, punkt 1 och 3 gick vid majoriteten av hastigheter men vid höga hastigheter som +50 km/tim gick det inte längre att klara av punkt 2.

5.2 Slutsats

Examensarbetet har skapat en detaljerad undersökning av R2D110 som resulterade i en radarbaserad hastighetsmätare som hanterade majoriteten av hastigheterna som var testade men tyvärr började bli opålitlig redan när personbilar hade hastigheten 50 km/tim och blev värre vid högre hastigheter.

Programmeringen av PLCn i kombination med konfigureringen av R2D110 lyckades hantera en personbil som blev fel-identifierad som flera. När R2D110 tappade objektet och registrerade det som ett nytt föremål i larmzonen. Med on-delay kan det garanteras att ifall en signal blev skickad från R2D110 blev den registrerad av PLCn även när de ligger på olika klockcykler. Alla problem som uppstod med eller efter identifiering av en personbil gick att lösa. Men när radarn opålitligt fördröjer identifieringen eller helt missar en personbil går det inte att programmera runt.

Med detta så dras slutsatsen att det är möjligt att skapa en radarbaserad hastighetsmätare som är adopterbar till en PLC-miljö, men tyvärr inte med R2D110 i detta fall. Därför rekommenderas inte R2D110 till bulltoftabanan.

Efter flera konversationer med olika tillverkare fattas beslutet att inte ge en rekommendation till bulltoftabanan på en alternativ radar. Detta är fallet då de produkter som teoretiskt, enligt specifikationerna, skulle klara av både miljö och hastigheter, inte var kapabla att bli integrerade till en PLC-miljö. Detta var oftast fallet för att producenten ville sälja ett helt styrsystem eller en helhetslösning. I andra fall krävdes det att fysiskt ändra i hårdvaran vilket skulle bryta mot eventuella garantier och integriteten av radarn.

5.3 Framtida arbete

För framtida studier och vidareutveckling av systemet skulle en rekommendation att införskaffa hårdvara som tillåter PLC-enheten att kommunicera direkt via IO-link med radarsensorn. Genom att implementera fullt IO-link-stöd skulle mer data kunna överföras, vilket potentiellt kan eliminera det nuvarande systemets begränsningar i att vara sekvens- och positionsberoende på grund av larmzonerna. Utöver detta bör framtida arbete utvärdera alternativa filtreringsmetoder för att undersöka radarns tendens att missa fordon vid högre

hastigheter kvarstår, eller om prestandan kan förbättras genom att designa och implementera andra typer av filter i mjukvaran.

5.4 Terminologi

Aspektvinkel: Objektets orientering till förhållande av radarn.

Azimut: Det horisontella planet

Gränssnitt: Förbindelselänk mellan två objekt, till exempel, hårdvara till användare.

6 Källförteckning

- [1] ifm electronic, “R2D110 Datablad,” ifm electronic, Essen, Tyskland, Typ: R2D110-00, [Online]. Tillgänglig: https://media.ifm.com/dam/fe1e1efa-5d4e-448c-8731-aed6fe001634/Original/R2D110-00_EN-GB.pdf [Hämtad: 26-02-2026].
- [2] ifm electronic, “3D-radarsensor R2D110,” ifm electronic, se/sv produktwebbplats. [Online]. Tillgänglig: <https://www.ifm.com/se/sv/product/R2D110> [Hämtad: 26-02-2026].
- [3] M. A. Richards, J. A. Scheer och W. A. Holm, red., *Principles of Modern Radar, Vol. 3: Radar Applications*. New York, NY, USA: SciTech Publishing, IET, 2014, s. 17-18 . [Online]. Tillgänglig: <https://ftp.idu.ac.id/wp-content/uploads/ebook/tdg/ADVANCED%20MILITARY%20PLATFORM%20DESIGN/Principles%20of%20Modern%20Radar.%20Volume%20%203.pdf> [hämtad: 27-04-2026].
- [4] C. A. Balanis, *Antenna Theory: Analysis and Design*, 3:e uppl. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, 2005, kap. 2.2.1, s. 43. [Online]. Tillgänglig: https://jontalle.web.engr.illinois.edu/Public/BOOKS/Balanis-AntennaTheoryAnalysis_Design3rdEd.05.pdf [Hämtad: 20-05-2026].
- [5] Siemens AG, “SIMATIC S7-1200 Datablad,” Siemens Industry Online Support, Tyskland, [Online]. Tillgänglig: <https://support.industry.siemens.com/cs/pd/142915?ptd=td&dl=en&lc=en-RU> [Hämtad: 04-03-2026].
- [6] ifm electronic, “Multifunktionsdisplay DX1063,” ifm electronic, se/sv produktwebbplats. [Online]. Tillgänglig: <https://www.ifm.com/se/sv/product/DX1063> [Hämtad: 23-05-2026].
- [7] ifm electronic, “DX1063 Datablad,” ifm electronic, Essen, Tyskland, Typ: DX1063-00, [Online]. Tillgänglig: https://media.ifm.com/dam/ee254e4e-0048-426a-a312-b85a1cd1d238/Original/DX1063-00_SV-SE.pdf [Hämtad: 06-03-2026].

- [8] ifm electronic, "IO-Link-master AL1060," ifm electronic, se/sv produktwebbplats. [Online]. Tillgänglig: <https://www.ifm.com/se/sv/product/AL1060> [Hämtad: 14-05-2026].
- [9] IO-Link Community, "IO-Link Webbplats," io-link.com. [Online]. Tillgänglig: <https://io-link.com/> [Hämtad: 14-05-2026].
- [10] Siemens AG, "TIA Portal Webbplats," [siemens.com/sv-se](https://www.siemens.com/sv-se). [Online]. Tillgänglig: <https://www.siemens.com/sv-se/products/tia-portal/> [Hämtad 18-05-2026].
- [11] Siemens AG, "STEP 7 (TIA Portal) - IEC 61131 Compliance," Siemens, Teknisk Rapport/Manual, [Online]. Tillgänglig: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/748/109476748/att_845621/v1/IEC_61131_compliance_en_US.pdf [Hämtad 18-05-2026].
- [12] Siemens AG, *SIMATIC S7-1200 Automation System System Manual*, Siemens AG, Nürnberg, Tyskland, 2024. [Online]. Tillgänglig: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/293/109988293/att_1327503/v1/S71200_G2_system_manual_en-US_en-US.pdf [Hämtad 04-03-2026].
- [13] ifm electronic, *Software Manual: ifm Vision Assistant*, v1.11, ifm electronic, Essen, Tyskland. [Online]. Tillgänglig: https://media.ifm.com/CIP/mediadelivery/asset/952b51557dc31d4580d50c3a07445a74/11426744_00_GB.pdf?contentdisposition=inline [Hämtad 02-03-2026].
- [14] M. A. Richards, J. A. Scheer och W. A. Holm, red., *Principles of Modern Radar, Vol. 1: Basic Principles*. New York, NY, USA: SciTech Publishing, IET, 2010, s. 96, s. 219 (kap. 6.3). [Online]. Tillgänglig: <https://ftp.idu.ac.id/wp-content/uploads/ebook/tdg/ADNVANCED%20MILITARY%20PLATFORM%20DESIGN/Principle%20Modern%20Radar.pdf> [Hämtad 27-04-2026].
- [15] Trafikverket, *Fordonsförordning (2002:925)*, Justitiedepartementet, Svensk författningssamling, SFS 2002:925, 4 kap. [Online]. Tillgänglig: https://www.riksdagen.se/sv/dokument-och-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/fordonsforordning-2002925_sfs-2002-925/#K4 [Hämtad 23-05-2026].
- [16] United Nations Economic Commission for Europe (UNECE), *Status of the 1958 Agreement (ECE/TRANS/WP.29/343/Rev.34)*, Genève, Schweiz, 2026. [Online].

Tillgänglig:

https://unece.org/sites/default/files/2026-03/ECE-TRANS-WP.29-343-Rev.34_0.pdf

[Hämtad 23-05-2026].

[17] Europeiska unionen, “Förordning/Rättsligt meddelande,” *Official Journal of the European Union*, L_202501902, 2025. [Online]. Tillgänglig:

https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202501902 [Hämtad

23-05-2026].