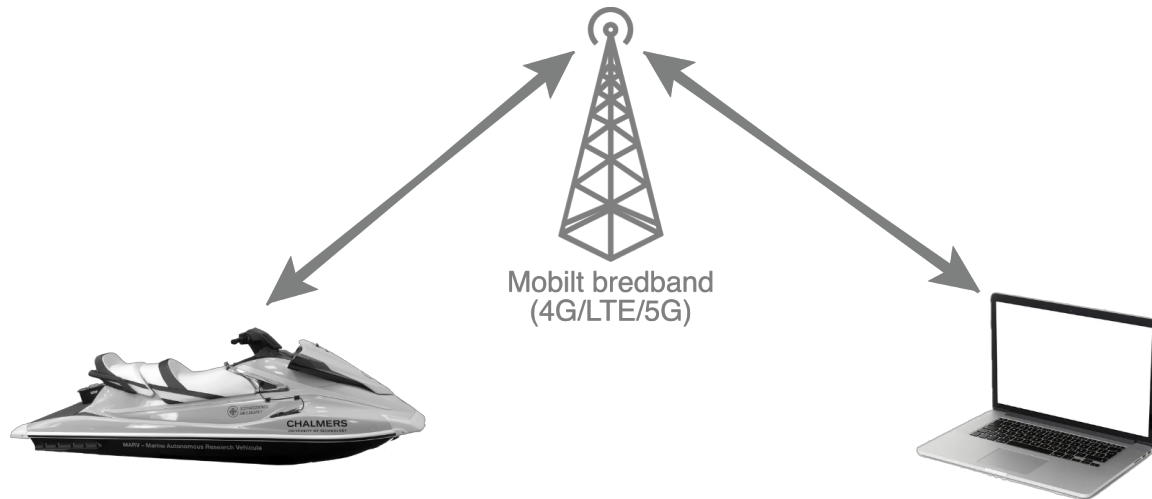




CHALMERS



# Säker fjärrstyrning via 5G för MARV - Marine Autonomous Research Vehicle

- Undersökning och implementering av nätverksbaserad fjärrstyrning av en vattenskoter

Kandidatarbete på Institutionen för Elektroteknik

HUGO BJÖRK  
LINUS JOHANSSON  
MARTIN LAMM  
ANDERS LOGREN  
JOAKIM OSTERMAN

**INSTITUTIONEN FÖR ELEKTROTEKNIK**

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA  
Göteborg, Sverige 2022  
[www.chalmers.se](http://www.chalmers.se)



KANDIDATARBETE 2022

# Säker fjärrstyrning via 5G för MARV -Marine Autonomous Research Vehicle

Undersökning och implementering av nätverksbaserad fjärrstyrning  
av en vattenskoter

HUGO BJÖRK  
LINUS JOHANSSON  
MARTIN LAMM  
ANDERS LOGREN  
JOAKIM OSTERMAN



**CHALMERS**

Institutionen för Elektroteknik  
*Avdelningen för System- och Reglerteknik*  
EENX15-22-20

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA  
Göteborg, Sverige 2022

Säker fjärrstyrning via 5G för MARV -Marine Autonomous Research Vehicle  
Undersökning och implementering av nätverksbaserad fjärrstyrning av en  
vattenskoter

HUGO BJÖRK  
LINUS JOHANSSON  
MARTIN LAMM  
ANDERS LOGREN  
JOAKIM OSTERMAN

© HUGO BJÖRK, LINUS JOHANSSON, MARTIN LAMM, ANDERS LOGREN,  
JOAKIM OSTERMAN, 2022.

Handledare: Viktor Lindström, Institutionen för Elektroteknik  
Examinator: Petter Falkman, Institutionen för Elektroteknik

Kandidatarbete 2022  
Institutionen för Elektroteknik  
Avdelningen för System- och Reglerteknik  
EENX15-22-20  
Chalmers tekniska högskola  
SE-412 96 Göteborg  
Telefon +46 31 772 1000

Omslag: Schematisk bild över kommunikation mellan operatörsdator och  
vattenskoter. Redigerade bilder från [1], CC0, och [2], CC0.

Skriven i L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X  
Göteborg, Sverige 2022

## Abstract

For the last couple of years the Swedish Sea Rescue Society, in collaboration with Chalmers University of Technology, has explored the possibility of developing an autonomous personal watercraft which can be useful during rescue missions. The aim of this project is to develop new software for the test platform MARV to enable remote control via 5G. In collaboration with Ericsson, an investigation of the 5G connection was conducted to see whether it is suitable for the application or not. Additionally, the speed and stability of the connection was analyzed to conclude if MARV could be controlled safely. Furthermore, the maritime regulations of autonomous ships were examined to determine if the system would be allowed for usage in rescue missions.

A test bed representative of MARV's control system was constructed for this project, to ease the development and testing of the remote control system. Tests were carried out to verify that the remote control system worked as intended, and showed a successful proof of concept. Research on the current state of laws regarding autonomous and unmanned watercrafts was done mainly through interviews with key persons in the field of expertise. The conclusion is that no unmanned watercrafts are allowed to drive in any water in Sweden at the time of publication.

In conclusion, the network based remote control system proved to work well, with great potential for further development. However, since the 5G network is not available in most parts of the Swedish coast, the system can not be used for rescue missions before the 5G-network has been properly expanded.

Keywords: MARV, 5G, Unmanned personal watercraft, Autonomous ships, Remote controlled, Ericsson, SSRS, Swedish Sea Rescue Society

## Sammandrag

De senaste åren har Svenska Sjöräddningssällskapet, tillsammans med Chalmers Tekniska Högskola, undersökt möjligheten att utveckla en autonom vattenskoter för att underlätta räddningsuppdrag. Detta projekt har gått ut på att utveckla ny mjukvara åt testplattformen MARV för att styra den via 5G. Tillsammans med Ericsson undersöktes om 5G är lämpat för detta syfte. Dessutom analyserades uppkopplingens hastighet och stabilitet för att utvärdera om MARV kan framföras på ett säkert sätt. Därutöver undersöktes regelverket kring autonom sjöfart för att avgöra om systemet får användas i verkligheten.

För att underlätta utvecklingen och testning av fjärrstyrningssystemet konstruerades en testbädd, representativt för MARVs styrsystem. Verifieringen av att fjärrstyrningssystemet prestera som förväntat skedde genom tester, vilka resulterade i ett lyckat konceptbevis. Regelinventeringen utfördes främst genom intervjuer av nyckelpersoner inom området från Transportstyrelsen och Saab Kockums AB. Det primära resultatet av regelundersökningen är att systemet som har utvecklats ej får användas förarlöst i Sverige vid tiden för publicering.

Lösningen för nätverksbaserad fjärrstyrning visade sig fungera väl, men med stor potential för vidareutveckling. Utöver det är 5G-nätet i dagsläget ej tillgängligt i stora delar av Sveriges kustmiljö, vilket medför att systemet inte kan användas för sjöräddning innan 5G-nätet byggs ut.

Nyckelord: MARV, 5G, Obemannad vattenskoter, Autonoma fartyg, Fjärrstyrd, Ericsson, SSRS, Sjöräddningssällskapet



# Förord

Denna rapport är skriven som ett kandidatarbete våren 2022, på Chalmers tekniska högskola. Arbetet har varit mycket lärorikt, och samtliga medlemmar har tyckt att projektet varit mycket intressant och givande. Projektet har delvis varit mycket intensivt och vi vill därför tacka alla som på ett eller annat sätt varit inblandade.

Vi vill först och främst rikta ett stort tack till vår handledare Viktor Lindström som varit med och väglett oss under arbetets gång. Vi vill även tacka de inblandade personerna från Ericsson, framförallt Magnus Castell som hjälpt oss upprätta 5G-kommunikationen och varit delaktig i testerna. Slutligen vill vi även tacka examinator Petter Falkman, Fredrik Falkman från SSRS, Jens-Olof Lindh från Saab Kockums AB och Henrik Tunfors från Transportstyrelsen/IMO, för deras medverkande.

Göteborg 2022-05-13



# Innehållsförteckning

<b>Lista över figurer</b>	<b>xi</b>
<b>Akronymer</b>	<b>xii</b>
<b>1 Inledning</b>	<b>1</b>
1.1 Bakgrund . . . . .	1
1.2 Syfte . . . . .	2
1.3 Frågeställningar . . . . .	2
1.4 Avgränsningar . . . . .	3
<b>2 Teori</b>	<b>4</b>
2.1 MARV . . . . .	4
2.1.1 REACH . . . . .	5
2.1.2 CAN . . . . .	5
2.1.3 ROS 2 . . . . .	6
2.2 Fjärrstyrningssystem . . . . .	6
2.2.1 WebSocket . . . . .	7
2.2.2 WebRTC och WebRTC-internals . . . . .	7
2.2.3 5G och LTE . . . . .	7
2.3 Lagar och regler . . . . .	8
<b>3 Metod</b>	<b>9</b>
3.1 Systemanalys . . . . .	9
3.1.1 Systemkarta . . . . .	9
3.1.2 FMEA . . . . .	10
3.1.3 Kravspecifikation . . . . .	10
3.2 Systemutveckling . . . . .	11
3.3 Validering . . . . .	12
3.4 Lagar och regler . . . . .	12
<b>4 Resultat</b>	<b>14</b>
4.1 Systemanalyser . . . . .	14
4.1.1 Systemkarta . . . . .	14
4.1.2 FMEA . . . . .	15
4.1.3 Kravspecifikation . . . . .	16
4.2 Testbädd . . . . .	17
4.2.1 Utvecklade delsystem . . . . .	17

## Innehållsförteckning

---

4.2.2	Slutgiltig systemdesign av testbädd . . . . .	18
4.3	Fjärrstyrningssystem . . . . .	19
4.3.1	Webbserver . . . . .	19
4.3.2	Webbapp . . . . .	21
4.3.3	Scenario: "Remote Network Steering" . . . . .	21
4.4	Resultat från validering . . . . .	23
4.4.1	Påverkan av bortkopplade delsystem . . . . .	23
4.4.2	Stationärt test i CASE-labbet . . . . .	23
4.4.3	Dynamiskt körtest i CASE-labbet . . . . .	28
4.4.4	Körtest av MARV med Ericsson 5G på obelastat nätverk . . . . .	28
4.4.5	Körtest av MARV på Ericsson 5G med belastat nätverk . . . . .	31
4.5	Lagar och regler . . . . .	32
4.5.1	Litteraturstudie . . . . .	32
4.5.2	Intervju med SSRS . . . . .	33
4.5.3	Intervju med Transportstyrelsen . . . . .	33
4.5.4	Intervju med Saab Kockums . . . . .	34
<b>5</b>	<b>Analys och diskussion</b>	<b>37</b>
5.1	Analys av resultat från validering . . . . .	37
5.2	Ej uppfyllda krav ur kravspecifikation . . . . .	38
5.3	Vidareutveckling av MARV . . . . .	38
5.4	Framtida lagar och regler . . . . .	40
<b>6</b>	<b>Slutsatser</b>	<b>42</b>
	<b>Källförteckning</b>	<b>44</b>
<b>A</b>	<b>Transkribering av intervju med Henrik Tunfors, Transportstyrelsen/IMO</b>	<b>I</b>
<b>B</b>	<b>Transkribering av intervju med Jens-Olof Lindh, Saab Kockums AB</b>	<b>X</b>
<b>C</b>	<b>FMEA</b>	<b>XIX</b>
<b>D</b>	<b>Kravspecifikation</b>	<b>XXI</b>
<b>E</b>	<b>Resultat från Validering</b>	<b>XXII</b>

# Lista över figurer

2.1	Bild på MARV . . . . .	5
2.2	Bild på REACH-dator som finns på både MARV och testbädden. Från [9, Fig. 2.4] (redigerad). Återgiven med tillstånd. . . . .	5
4.1	Systemkarta över hur testbädden fjärrstyrs via nätverksuppkoppling .	15
4.2	Bild över konstruerad testbädd . . . . .	18
4.3	Förenklad bild över hur fjärrstyrningssystemet är kopplat till MARV .	19
4.4	Schematisk bild över vilka protokoll som används för dataöverföring mellan operatören och MARV . . . . .	20
4.5	Foto av webbappen på en operatördator . . . . .	21
4.6	Webbserverns koppling till ROS 2 . . . . .	22
4.7	Graf över kameraflödets RTT för det stationära testet i CASE-labbet	24
4.8	Graf över pingen mellan enheterna för det stationära testet i CASE- labbet . . . . .	25
4.9	Graf över antalet bilder per sekund för det stationära testet i CASE- labbet . . . . .	26
4.10	Graf över bildupplösningen för det stationära testet i CASE-labbet .	27
4.11	Graf över antalet mottagna bytes per sekund för det stationära testet i CASE-labbet . . . . .	28
4.12	Graf över kameraflödets RTT för körtestet med 5G . . . . .	29
4.13	Graf över bildhastigheten för körtestet med 5G . . . . .	30
4.14	Graf över mottagna bytes per sekund för körtestet med 5G . . . . .	31
4.15	Återkopplingsloop för MARV och operatör med uppskattade tider enligt Lindh. . . . .	36
6.1	Bild från test vid Ericssons kontor på Lindholmen . . . . .	43

# Akronymer

Nedan följer en lista av de akronymer som har använts i rapporten i alfabetisk ordning:

CAN	Controller Area Network
COLREG	Convention on the International Regulations for Preventing Collisions at Sea
ECOM	Extended Control Model
FMEA	Failure Modes and Effects Analysis
FPS	Frames Per Second
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
IMO	International Maritime Organization
LTE	Long Term Evolution
MARV	Marine Autonomous Research Vehicle
MASS	Maritime Autonomous Surface Ships
NR	New Radio
NSA	Non-Standalone
RCU	Radio Control Unit
RNS	Remote Network Steering
ROS	Robot Operating System
RR	RescueRunner
SOLAS	International Convention for the Safety of Life at Sea
SSRS	Sjöräddningssällskapet, formellt Svenska Sällskapet för Räddning af Skeppsbrutne
UDP	User Datagram Protocol
UNCLOS	United Nations Convention on the Law of the Sea
WARA-PS	WASP-Public Safety
WASP	Wallenberg AI, Autonomous Systems and Software Program
WebRTC	Web Real-Time Communication

# 1

## Inledning

Sjöräddningssällskapet (SSRS) har under flera års tid tillsammans med Chalmers undersökt möjligheten att modifiera en vattenskoter till att bli autonom, för användning vid sjöräddning. Detta projekt, som utförs våren 2022, går ut på att tillsammans med 5G-teknik från Ericsson implementera en lösning som möjliggör förarlös körning via nätverksuppkoppling. I den här delen av rapporten presenteras bakgrunden till projektet, projektets syfte, och de frågeställningar som ska besvaras i projektet.

### 1.1 Bakgrund

SSRS har utvecklat så kallade RescueRunners (RR), som är modifierade vattenskotrar designade för att kunna användas vid sjöräddningar där mindre farkoster är bättre lämpad för uppdragen. Exempel på sådana situationer kan vara på grunt vatten, vid klippor i hård sjö, eller i sjöar dit man endast kan ta sig landvägen [3]. Båtarna som normalt används vid sjöräddning är inte tillräckligt stora för att det ska gå att hissa upp RR, vilket gör att RR måste transporteras till platsen på annat sätt. I dagens läge måste en person sitta på RR hela tiden vid drift, vilket vid hård sjö och långa avstånd blir väldigt tröttsamt [4]. Det är därför önskvärt med en lösning som gör att RR kan transporteras dit den behövs utan att någon behöver sitta på den. Bogsering skulle skada och i värsta fall förstöra RR, vilket är bakgrunden till tidigare projekt som har utforskat möjligheten att en prototyp autonomt följer en ledarbåt.

Utöver önskemålet kring att RR ska kunna följa ledarbåten autonomt uppger Fredrik Falkman, innovationsansvarig på avdelningen för forskning och utveckling på SSRS, att man nyligen också identifierat ytterligare ett användningsområde där RR skulle kunna användas. Applikationen bygger på att RR ska kunna fjärrstyras från land, och är tänkt att användas för rutinuppdrag. Falkman uppger att SSRS utför omkring 1500 skarpa uppdrag om året där människor är i fara och läget är akut. I sådana situationer kan RR inte ersätta ledarbåten, men den kan utgöra ett viktigt verktyg. SSRS utför ungefär 5500 assistansuppdrag varje år, där läget alltså inte är akut. Det kan ofta röra sig om att en båt har fått slut på bränsle eller att motorn har slutat fungera, och att assistansen endast består av en bogsering eller leverans av en bensindunk. I dagsläget krävs, för alla av SSRS båtar förutom just RR, att en

besättning med *minst* två volontärer rycker ut oavsett vilken typ av larm det är [5]. Förutsatt att tekniken är tillräckligt robust, och att det är förenligt med de lagar och regler som finns, så hade man i många fall kunnat ersätta ledarbåten och besättningen med en fjärrstyrd RR som exempelvis kan leverera en bränsledunk till båten som behöver assistans. På så sätt hade stora resurser kunnat sparas, vilket har stor betydelse eftersom SSRS är en helt ideell organisation. Falkman ser idag en större potential med en fjärrstyrd RR för assistansuppdrag än för en RR som autonomt följer efter ledarbåten vid nödsituationer. Detta projektet går därför ut på att utveckla och implementera tekniska lösningar som möjliggör fjärrstyrning av en modifierad vattenskoter via nätverksuppkoppling [6].

För att kunna upprätta en robust och säker nätverksuppkoppling för fjärrstyrning, så är projektet även ett samarbete med Ericsson. De bidrar med 5G-lösningar och teknik för kommunikationen mellan operatör och vattenskotern. Det är viktigt att dataöverföringen är så snabb som möjligt för att kunna framföra vattenskotern på ett säkert sätt utan förare. 5G är i dagens läge den snabbaste trådlösa uppkopplingen som finns tillgänglig [7], och mer information om 5G finns att läsa i del 2.2.3.

Chalmers införskaffade våren 2019 en Yamaha Waverunner VX Cruiser HO, i syfte att kunna utveckla och testa funktioner på en fullskalig prototyp. Den ligger till grund för att testa och utvärdera detta projektets lösningar i kandidatarbetets slutskede. Både kandidatarbeten och exjobb har tidigare behandlat vattenskotern, och med de tekniska modifikationer som implementerats går den nu under namnet Marine Autonomous Research Vehicle (MARV). Testning av nya funktioner på MARV är däremot omständligt, eftersom det är tidskrävande och kostsamt att sjösätta vattenskotern. För att underlätta utvecklingen av det nya fjärrstyrningssystemet byggdes därför en mindre testbädd, i form av en före detta radiostyrd bil, representativ för systemet som är installerat i MARV. Bilen refereras till i rapporten som *testbädd*.

## 1.2 Syfte

Projektets syfte är att undersöka möjligheten att upprätta en tillräckligt snabb datalänk med hjälp av 5G för att kunna fjärrstyra MARV. I fallet att detta lyckas, kan resultatet vara till grund för vidareutveckling av projektet i syfte att göra MARV helt autonom.

## 1.3 Frågeställningar

De frågeställningar som ska besvaras av projektet presenteras i punktlistan nedan. Uppfyllnadsgraden av frågeställningarna utvärderas i slutet av rapporten.

- Kan 5G användas som dataöverföringsmetod för att fjärrstyra MARV?
- Kan 5G-uppkopplingen göras tillräckligt snabb och stabil för att kunna framföra MARV på ett säkert sätt?

- Kan en testbädd som är representativ för MARVs styrsystem konstrueras, och kan den användas för att utvärdera robustheten av fjärrstyrningssystemet innan implementering på MARV?
- Tillåter dagens regelverk självkörande ytfartyg och vad krävs i så fall för att MARV skall kunna köras helt autonomt?

### 1.4 Avgränsningar

Eftersom arbetet är ett kandidatarbete och det därmed finns en tidsbegränsning på 16 veckor görs ett antal avgränsningar. Projektet syftar till att utveckla ett nytt delsystem åt MARV, inte att designa om befintliga lösningar. Projektet syftar inte heller till att framställa en permanent lösning för nätverksbaserad fjärrstyrning, utan bör snarare ses som ett konceptbevis för de utvecklade funktionerna. Eftersom 5G-nätverket i laboratoriet Chalmers Autonomous Systems and Electronics (CASE) inte finns att tillgå under projektets tidsramar kommer testerna i CASE-labbet endast utföras på 4G/Long Term Evolution (LTE) och därmed uteslutande på testbädden. Endast testerna på MARV i vattnet genomförs med 5G, närmare bestämt Ericssons egna 5G-nät på Lindholmen. Inga tester kommer att göras utanför dessa kontrollerade nätverksmiljöer, där det inte heller finns andra båtar eller människor.

# 2

## Teori

I följande kapitel beskrivs teorin för teknik och koncept som utnyttjas i MARV, testbädden och det nya fjärrstyrningssystemet. Syftet är att klargöra delsystemens och komponenternas funktion samt deras avsedda verkan för att på så sätt skapa ökad förståelse för projektets innehåll och ändamål. Teorin som presenteras här är väsentlig för att förstå hur testbädden samt fjärrstyrningssystemet är uppbyggda och varför de är konstruerade som de är. Kapitlet är tänkt att fungera som ett uppslagsverk så att det snabbt går söka upp information om delsystem i rapportens senare delar. För att underlätta uppsökning av information om specifika ämnen har kapitlet därför delats upp i många underrubriker. Vissa termer har inte översatts till svenska då det saknas en representativ översättning för dessa.

Därutöver innehåller kapitlet en redogörelse för hur lagstiftningsprocessen för nationell och internationell sjöfart ser ut. Syftet är att skapa en bättre förståelse för de aktörer som är inblandade och hur samverkan mellan dessa ser ut, för att kunna undersöka möjligheten kring att framföra MARV förarlöst.

### 2.1 MARV

MARV är en vattenskoter, ägd av Chalmers, som används i forskningssyfte att utveckla ett autonomt system; menat att kunna användas på RR i framtiden. MARV är i grunden en likadan vattenskoter som RR, men med modifikationer för det autonoma systemet. I figur 2.1 visas ett urklipp över hur MARV ser ut i dagsläget. Följande stycke beskriver de delar av MARVs befintliga system som är relevanta för detta projekt. Fullständig dokumentation om MARV finns publicerad i Chalmers arkiv [8][9].



**Figur 2.1:** Bild på MARV

### 2.1.1 REACH

Rugged Extensible Autonomous Control Hardware (REACH), är en Nvidia Xavier NX inbyggd i ett vattensäkert och stöttåligt chassi [10]. MARV är utrustad med en REACH-dator som styr hela det autonoma systemet [9]. Den version av REACH som är installerad i MARV visas i figur 2.2, där man kan se konstruktionen som är utvecklad för att klara bland annat tuffa väderförhållanden och hårda stötar [10]. REACH-datorn har fyra portar för expansionskort, där en används för att möjliggöra användandet av en CAN-bus.



**Figur 2.2:** Bild på REACH-dator som finns på både MARV och testbädden. Från [9, Fig. 2.4] (redigerad). Återgiven med tillstånd.

### 2.1.2 CAN

Controller Area Network (CAN), är ett databuss-protokoll som möjliggör kommunikation mellan enheter i ett elektroniskt sammankopplat system [11]. CAN skapar ett lokalt nätverk av sammankopplade enheter som kan skicka meddelanden mellan varandra, exempelvis status i något system eller styr signaler

mellan enheter. Varje meddelande skickas med en unik adress, vilket enheter i nätverket utnyttjar till att filtrera bort signaler eller meddelanden inte är av intresse. REACH-datorn i MARV kommunicerar med ett flertal andra enheter i vattenskotern via en CAN-buss [8]. För att testbäddens system skulle fungera som MARVs system, styrs även den av REACH via en CAN-buss med samma meddelanden som MARV styrs med.

### 2.1.3 ROS 2

Robot Operating System 2 (ROS 2), är en uppsättning mjukvarubibliotek och verktyg som används för att bygga robotapplikationer eller liknande system [12]. ROS 2 gör det enklare för utvecklare att bygga större och mer komplexa system. I REACH-datorn på MARV används ROS 2 för att koppla samman all hårdvara med mjukvara [13]. ROS 2 innefattar bland annat noder och topics som beskrivs mer ingående i följande stycken.

*Noder* är processer inom ROS 2 som ansvarar för att utföra specifika beräkningar och uppgifter. Det är noder som får saker att hända i system som bygger på ROS 2 och mer detaljerad information om noder från Open Robotics finns tillgänglig online [14].

*Topics* är ett sätt för noder att skicka data mellan varandra. Två noder kommunicerar genom att den ena noden prenumererar på ett topic som den andra noden publicerar ett meddelande till. Noder kan prenumerera på och publicera till ett godtyckligt antal topics samtidigt. För vidare läsning finns fullständig dokumentation från Open Robotics [15].

Ett *scenario* är en ROS-nod som är byggd med scenario-klassen som grund, vilket är en klass med funktioner som möjliggör kommunikation med scenario-hanteraren på MARV [9]. Scenarion är ett sätt att köra olika program på MARV, exempelvis finns det i dagsläget ett scenario som kallas "Waypoint following", ett annat som tillåter radiostyrning eller som i det här projektets fall nätverksbaserad fjärrstyrning. Scenario-klassen är skriven av handledare Viktor Lindström, alltså ingår den inte i någon standard ROS-installation, men den är endast menad att användas i noder [13].

## 2.2 Fjärrstyrningssystem

Fjärrstyrningssystemet som utvecklats under detta projekt använder sig av två olika kommunikationsprotokoll för dataöverföring över webben; WebSocket och Web Real-Time Communication (WebRTC). I följande stycken beskrivs tekniken som används i det nya fjärrstyrningssystemet, som möjliggör dataöverföring till och från MARV.

### 2.2.1 WebSocket

WebSocket är ett kommunikationsprotokoll som tillåter uppkoppling mellan en klient (webbläsare) och en server (webbserver). WebSocket-protokollet skapar en så kallad "handshake" mellan klient och server för att därefter kunna hålla en tvåvägs-kommunikation i realtid [16]. Till skillnad från enbart Hypertext Transfer Protocol (HTTP), som är halv-duplex, så är WebSocket full-duplex-kommunikation. Halv-duplex via enbart HTTP är tvåvägs-kommunikation som inte kan ske samtidigt åt bägge håll. Full-duplex med WebSocket är som telefoni, där kommunikationen kan ske åt båda håll samtidigt.

### 2.2.2 WebRTC och WebRTC-internals

WebRTC är ett applikationsprogrammeringsgränssnitt skapat för webbprogrammering som möjliggör realtidskommunikation mellan olika webbläsare. Det som gör att WebRTC är så snabbt och kan anses överföra data i realtid är det faktum att datan överförs direkt mellan datorerna istället för via en server, vilket kallas peer-to-peer. WebRTC stöds av de flesta moderna webbläsarna och används för webbapplikationer som hanterar dataöverföring, oftast i form av videosamtal eller filöverföring [17].

Till WebRTC finns ett inbyggt analystillägg i Google Chrome, som kallas för WebRTC-internals. Detta tillägg registrerar data och statistik i realtid under en pågående WebRTC session [18]. Verktyget kan användas för att mäta bland annat videokvalitet, dataöverföring och Round-trip time (RTT), tiden det tar för meddelanden att skickas fram och tillbaka inklusive avkodning. RTT är i detta fallet den tid det tar från att operatördatorn begär en bild från kameran tills dess att bilden visas på skärmen.

### 2.2.3 5G och LTE

5G och LTE är de mobila kommunikationsteknikerna som har används i projektet för att skicka data, i form av styrmeddelanden och kameraflöde, från MARV till operatören. 5G är den femte generationens mobilnät, den senaste lanserade tekniken för telekommunikation. 5G kan nå kommunikationshastigheter runt 100 gånger snabbare än 4G [7] och väntas kunna nå en överföringshastighet på runt 10 Gbit/s. Kapaciteten hos 5G medför även att latensen, tiden det tar för en signal som skickas in till att den utförs blir väldigt låg, vilket är en förutsättning för att MARV ska kunna framföras säkert med fjärrstyrning. Eftersom 5G använder ett större omfång av frekvenser än tidigare kommunikationstekniker, i form av 4G/LTE, blir även kommunikationen mer tillförlitlig i flera miljöer, med en ökad räckvidd och förbättrad kommunikationshastighet. I folkmun kallas LTE ofta för 4G, vilket inte är helt riktigt då 4G inkluderar flera olika tekniker. För mer djupgående information om LTE hänvisas läsning av en artikel från Telekom [19].

## 2.3 Lagar och regler

Det finns i huvudsak två beslutsfattande organ som avgör vilka regler som gäller till sjöss i Sverige. På internationell nivå är det International Maritime Organization (IMO) som fattar besluten kring säkerhet och miljöstandarder framförallt för internationell handelssjöfart [20]. Trots att det är ett specialiserat organ kring just handelssjöfart så påverkar många av de konventioner som finns även annan typ av sjöfart. Exempel på sådana konventioner är sjövägsreglerna (COLREG) [21], FN:s havsrättskonvention (UNCLOS) [22] och internationella konventionen för säkerhet för människoliv till sjöss (SOLAS) [23]. Värt att notera är att alla konventioner är från 1970-talet och teknik som används inom sjöfart har utvecklats mycket sedan dess.

På nationell nivå i Sverige så är det Transportstyrelsen som är den myndighet som har ansvar för bland annat regelutformning och tillståndsprövning [24]. Det är alltså transportstyrelsen som representerar Sverige vid de internationella förhandlingar som finns kring regelverken till sjöss. Transportstyrelsens vision är att möjliggöra morgondagens transporter och för att det ska ske är det viktigt att regelverken följer teknikens utveckling. Därför har det genomförts en regelinventering inom IMO de senaste två åren och det som ska göras nu är att ta fram en målbaserad kod för Marine Autonomous Surface Ships (MASS).

Ett verktyg Transportstyrelsen använder sig av för att pådriva en utveckling av dagens regelverk är ett så kallat policylabb kring smarta fartyg [25]. I policylabbet sammanlänkas olika aktörer som den regelgivande myndigheten Transportstyrelsen. De som ingår i policylabbet förutom Transportstyrelsen är Research Institutes of Sweden (RISE) som koordinator, Färjerederiet, Saab Kockums AB och ABB Marin. Med smarta fartyg åsyftas fartyg som innefattar någon form av autonomt system, där bland annat obemannade fartyg faller in. Syftet med policylabbet är att arbeta med regler för innovation och utveckling kring smarta fartyg. En del i processen är att kartlägga hur Transportstyrelsen arbetar med regelutveckling i förhållande till innovation. Policylabbet påbörjades i januari 2021 och förväntas vara klart i augusti 2022.

# 3

## Metod

Följande kapitel beskriver tillvägagångssätten som användes för att uppnå de erhållna resultaten. Kapitlet består av fyra huvudsakliga delar, där del 3.1 beskriver de analyser som gjordes för att identifiera potentiella risker och andra aspekter som behövde beaktas under projektets utveckling. Del 3.2 beskriver systemutvecklingen av testbädden samt implementeringen på MARV. Del 3.3 beskriver hur säkerheten och robustheten hos systemet validerades och slutligen i del 3.4 beskrivs den informationssökning som genomfördes kring lagar och regler för autonoma fartyg.

### 3.1 Systemanalys

Innan utvecklingen av testbädden påbörjades gjordes ett antal analyser för skapa förståelse för projektet. Detta innefattade en systemkarta, en feleffektsanalys av typen Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) och en kravspecifikation. Syftet med analyserna var att identifiera de ingående delarna, vilka risker som existerade, samt åtgärder och krav som påverkade testbädden och därmed behövde beaktas i utvecklingen. Följande del av rapporten beskriver framtagningen av dessa analyser.

#### 3.1.1 Systemkarta

För att tydligare visualisera och klargöra den övergripande bilden över samverkan mellan operatören och testbädden ritades en systemkarta upp. Systemkartan definierade alla delsystem som behövde implementeras för att framställa den slutgiltiga lösningen. Systemkartan användes som en checklista över vad som var klart och vad som fortfarande behövde implementeras. Exakt hur systemutvecklingen gick till beskrivs i avsnitt 3.2. Systemet i sin helhet kategoriserades i tre olika grupper som ansågs vara starkt förknippade med varandra: Testbäddens hårdvarunära styrsystem, det gemensamma datorsystemet i form av REACH-dator och operatörsidan. Systemkartan visas i figur 4.1 i resultatkapitlet, del 4.1.1.

### 3.1.2 FMEA

Genom att systematiskt gå igenom del för del i systemkartan och analysera delsystem utifrån dess risker skapades en FMEA, som sammanfattas i del 4.1.2. Varje delsystem analyserades med fokus på vilka möjliga fel som kan uppträda i tre aspekter: Risken att problemen uppträder, allvarligheten av problemen och vilka konsekvenser de skulle leda till. Dessa aspekter kvantifierades i en skala 1-10, se tabell 3.1 och multiplicerades ihop för att få ett totalvärde på felets påverkan. Felen kategoriserades i allvarlighet utefter deras totalvärde. Om totalvärdet var över 150 ansågs det ha hög allvarlighet, värden mellan 150 och 40 ansågs ha medelhög allvarlighet och allt under 40 betraktades som ickeproblematiska. För de problem som fått hög och medelhög allvarlighet identifierades åtgärder för att minska riskerna på de olika påverkande aspekterna och få ett nytt totalvärde. Åtgärderna vidtogs därefter i projektutvecklingen för att undvika person- och systemskador.

**Tabell 3.1:** Kvantifiering av risker i FMEA

Riskvärde	Sannolikhet för uppträdande	Allvarlighet	Sannolikhet för upptäckt
1	Avlägsen risk för uppträdande $\sim 1/100\,000$	Ingen olycksrisk eller risk för systemskador	Fel kommer alltid att upptäckas
2-3	Väldigt låg risk för uppträdande $\sim 1/10\,000$	Väldigt låg olycksrisk och obetydande risk för systemskador	Väldigt hög chans att upptäcka problem.
4-5	Låg risk för uppträdande $\sim 1/1000$	Låg olycksrisk och enklare systemskador	Hög chans att upptäcka problem.
6-7	Måttlig risk för uppträdande $\sim 1/100$	Måttlig olycksrisk och risk för systemskador	Måttlig chans att upptäcka problem
8-9	Hög risk för uppträdande $\sim 1/10$	Hög olycksrisk och risk för allvarliga systemskador	Låg sannolikhet att upptäcka problem.
10	Väldigt hög risk för uppträdande $\sim 1/1$	Väldigt hög risk för allvarliga system- och personskador	Problemet kommer inte upptäckas

### 3.1.3 Kravspecifikation

Efter att riskerna identifierats skapades en kravspecifikation över kriterierna och önskemålen för fjärrstyrningen sett till funktion och beteende. Kraven baserades på resultaten från FMEA, svar från intervjuer och egna uppskattningar över vad som behövs för att framföra MARV på ett pålitligt sätt. De specificerade kriterierna delades upp i krav och önskemål beroende på vilken inverkan de har på systemet och på hur viktiga de var för funktionerna på MARV.

## 3.2 Systemutveckling

I detta avsnitt beskrivs hur en radiostyrd bil byggdes om för att användas som testbädd för MARV, hur mjukvaran för fjärrstyrning över 5G utvecklades, samt hur det nya tillägget slutligen implementerades på MARV.

För att veta vad som behövdes köpas in inventerades den befintliga hårdvaran. Delar som ej behövdes till testbädden monterades av och de delar som saknades köptes in eller tillverkades. När testbädden hade anpassats för ändamålet påbörjades programmering av mikrokontroller för att kunna kontrollera testbädden genom gas, back och styrvinkel. Därefter implementerades funktionen att mikrokontrollern skulle svara på CAN-buss meddelanden. För att göra testbädden kompatibel med MARV användes samma CAN-adress för styrningen som det som används på MARV. För att säkerställa att mikrokontrollern tog emot rätt meddelanden användes verktyget Kvaser Leaf Light v2 [26], som är en CAN-buss monitor för att se meddelanden som skickas på bussen. Detta användes för att skicka testmeddelanden till mikrokontrollern så att korrekt respons från mikrokontrollern vid ett givet CAN-meddelande kunde säkerställas. Mikrokontrollern programmerades på ett sådant sätt att den läser av meddelanden om gas- och styrvinkel, packar upp dem och konverterar dem till rätt värden inom det signalintervall som styraktuatorerna på testbädden har. I tidigare års arbete fick MARV sina styrsignaler från en Radio Control Unit (RCU) som var kopplad direkt på CAN-bussen [8]. Men då fordonet nu skulle styras via 5G i stället behövde styrsignalerna komma från REACH-datorn. CAN-meddelanden kommer från REACH via en CAN-brygga i ROS 2 som går genom en CAN-transceiver. Detta medförde att det nya fjärrstyrningssystemet behövde gå genom ROS 2. Mer om detta finns att läsa i del 4.3.3.

Kommunikationen mellan operatören och fordonet upprättades genom en webbserver som förser operatören med ett webbgränssnitt. För att kunna se hur fordonet framfördes utom synhåll behövdes en videoström från testbädden. Eftersom det är stora mängder data i videoströmmning användes protokollet WebRTC som kommunicerar peer-to-peer för att skapa en uppkoppling med så låg latens som möjligt. Utöver WebRTC användes WebSocket för att skicka styrsignaler från operatören till testbädden och återkoppling från testbädden. För att peer-to-peer funktionaliteten för WebRTC skulle upprättas användes två modem som konfigurerades till att vara som på samma nätverk. Hur detta genomfördes finns att läsa om i avsnitt 4.2.1

När det nya fjärrstyrningssystemet uppnått den funktionalitet och de krav som specificerades i kravspecifikationen, övergick arbetet i att implementera det på MARV. Eftersom testbädden byggdes för att likna MARVs system kunde mjukvaran enkelt flyttas över och implementeras. Ett fåtal anpassningar genomfördes för att mjukvaran skulle passa det befintliga systemet. När MARV kunde styras på samma sätt som testbädden ansågs implementeringen vara lyckad.

### 3.3 Validering

För att validera att styrsystemet är robust och tillförlitligt formulerades ett antal tester. Med hjälp av valideringstesternas resultat utvärderades lösningen för att undersöka om den uppfyllt samtliga krav från kravspecifikationen. Valideringstesterna lade även grund för projektresultatet och användes som komplement för att kunna besvara frågeställningarna i projektets avslutande del.

Det finns alltid en risk att ett delsystem i MARV slutar fungera. En viktig del i säkerhetsarbetet är att säkerställa att ett sådant fel inte resulterar i ett okontrollerbart beteende av MARV. Därför utfördes tester där samtliga delsystem kopplades bort var för sig på land på testbädden, för att kontrollera att systemet stannar. Testerna som utfördes gick bland annat ut på att stänga kommunikationsvägen mellan webbserver och operatör, att koppla ut kontrollen på operatörsidan, samt ta bort nätverksuppkopplingen mellan enheterna.

För att kontrollera MARVs robusthet och körförmåga genomfördes ett test av latensen över en längre tidsperiod. Testet utfördes i två olika miljöer med olika nätverkskonfigurationer. Det ena utfördes enbart på testbädden i laboratoriemiljö på Ericssons LTE/4G-nätverk som installerats i CASE-labbet. Det andra testet skedde på MARV på Lindholmen i ett tomt hamnområde i anslutning till Ericssons kontor på deras 5G-nätverk. Tiden per test var 5 minuter, vilket bedömdes vara en tillräckligt lång tid för skapa en tydlig bild över det genomsnittliga beteendet i miljön. Latensen uppmättes både för kamerafflödet och styrningen, genom att mäta ping mellan enheterna och kontrollera RTT i WebRTC-internals för att sedan se hur de beter sig över tid.

Något som är väldigt viktigt för körupplevelsen och inte minst säkerheten vid framförandet av MARV är bilduppdateringsfrekvensen. Därför loggades mottagna frames per second (fps) på operatörsidan genom WebRTC-internals. Målvärdet var att genom hela testet hålla sig över den gräns på 20 fps som preciserades i kravspecifikationen (se bilaga D).

En skarp bild gör att hinder lättare kan identifieras från operatörens sida. Av den anledningen gjordes test för att säkerställa att upplösningen på videoflödet var stabil. Ur kravspecifikationen sattes gränsen på lägsta upplösning till 720p, vilket kontrollerades genom statistik från WebRTC-internals. Upplösningen visualiserades sedan som funktion av tiden för att se om den höll sig på en konstant och tillräckligt hög nivå.

### 3.4 Lagar och regler

Parallellt med utvecklandet av testbädden genomfördes en informationsökning om lagar och regler för autonoma farkoster till sjöss. Syftet var att skapa en överblick över de möjligheter och hinder som finns med dagens regelverk kring autonoma fartyg. Informationssökningen gjordes dels för att undersöka om det finns möjlighet

för att testa att köra MARV helt förarlöst och dels för att utforska hur nära i tiden det ligger att få framföra mindre fartyg helt förarlöst och vad som krävs för att få göra det. Informationssökningen gjordes dels genom en litteraturstudie av rapporter och artiklar kring dagens regelverk och därutöver genom semistrukturerade intervjuer med företagsrepresentanter och nyckelpersoner som arbetar inom området.

Först utfördes en litteraturstudie där en rapport [24] som beskriver en kartläggning av smarta fartyg ur Transportstyrelsens perspektiv låg till stor grund för de intervjuer som senare utfördes. Den första intervjun genomfördes med Fredrik Falkman från SSRS, som är ansvarig för innovation på avdelningen för forskning och utveckling. Falkman lanserade projektet med RescueRunner år 2002 och har stor insikt i den tekniska utvecklingen. Den andra intervjun genomfördes med Henrik Tunfors som är jurist och ledningsstrateg på Transportstyrelsen, framförallt för frågor som gäller smarta fartyg. Tunfors har jobbat med sjöfartsfrågor i 20 år och är involverad i policylabbet som gäller smarta fartyg. Tunfors representerar alltså den regelgivande myndigheten inom sjöfart i Sverige och är därför en nyckelperson inom området. Den tredje intervjun som genomfördes gjordes med Jens-Olof Lindh som är forskarexpert på Saab kockums AB och har jobbat med bland annat obemannade ytfarkoster under många års tid. Lindh har varit anställd på Saab i 22 år och ett exempel på projekt som Lindh har varit involverad i är en relativt liten ytfarkost som kallas "Piraya", vilken har testats i en simulerad sjöräddningssituation [27]. Lindh representerar med andra ord ett av företagen som påverkas av regelverket kring smarta fartyg.

Syftet med metodiken som användes för kartläggning och analys av regelverket var att skapa en nyanserad och välgrundad bild av dagens regelverk kring autonoma fartyg. Informationen lade grunden för resonemang kring den framtida utvecklingen av regelverket och hur det kan tänkas påverka projektet med MARV de närmsta åren.

# 4

## Resultat

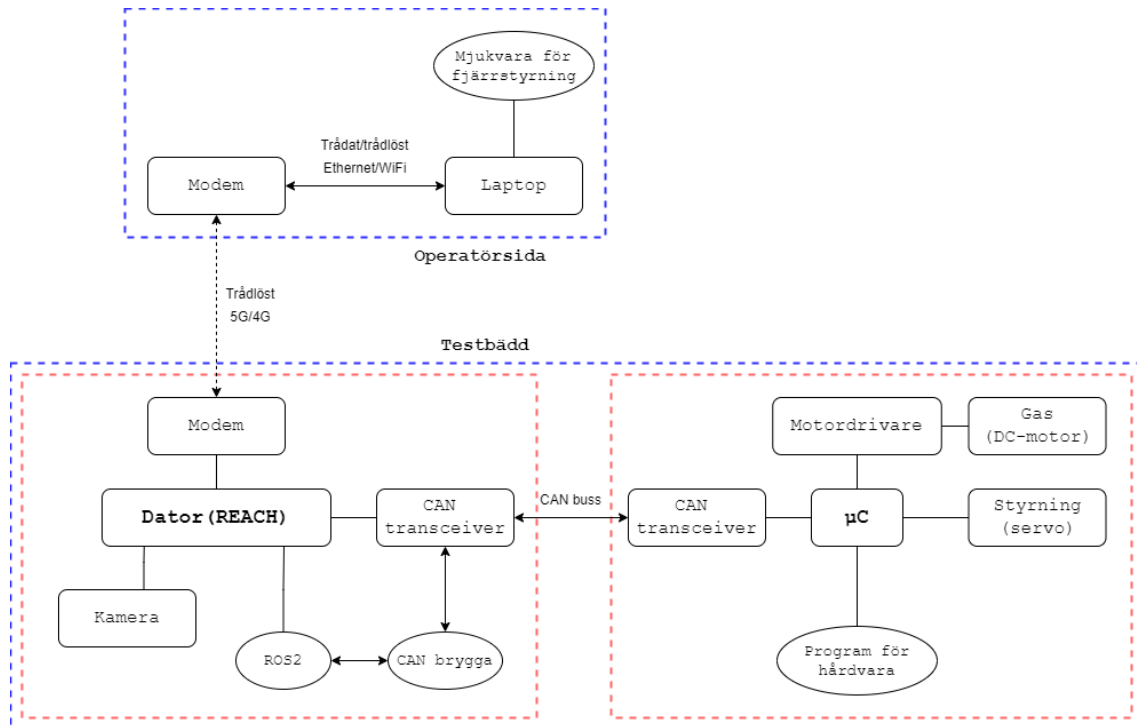
I denna del av rapporten presenteras resultatet av den tekniska utvecklingen som gjorts på MARV, samt resultatet av undersökningen kring lagar och regler som gäller förarlös körning till sjöss. Kapitlet är uppdelat i två huvudsakliga delar, där del 4.1 - 4.4 beskriver resultatet av den tekniska utvecklingen och del 4.5 beskriver resultatet av regelinventeringen.

### 4.1 Systemanalyser

I följande avsnitt beskrivs resultaten från de analyser som gjordes i projektets initiala fas. I avsnitt 4.1.1 beskrivs de definierade ingående delsystemen och hur de samverkar för att bygga upp det fullständiga systemet genom en systemkarta. I del 4.1.2 beskrivs de identifierade riskerna och åtgärderna som berörde projektet, genom en FMEA. Del 4.1.3 beskriver kravspecifikationen, vilket grundlade målen som projektet arbetade mot.

#### 4.1.1 Systemkarta

Efter att systemet hade analyserats skapades en schematisk bild över testbädden och dess ingående delsystem, vilken visas i figur 4.1. Sammanfattat behövdes en mikrokontroller för att kunna styra testbädden genom gas och svängvinkel. Mikrokontrollern behövde inkludera en CAN-transceiver för kunna svara på samma CAN-adresser som MARV. Eftersom ROS 2 användes för att styra det befintliga systemet på MARV, följde det naturligt att även det nya fjärrstyrningssystemet, via nätverk, behövde byggas kring ROS 2. För att upprätthålla nätverkskommunikationen mellan operatören och testbädden behövdes två modem och för att kunna styra testbädden från operatörsidan behövde ett användargränssnitt konstrueras med återkoppling och kameraflöde från testbädden.



**Figur 4.1:** Systemkarta över hur testbädden fjärrstyrs via nätverksuppkoppling

### 4.1.2 FMEA

Följande avsnitt sammanfattar de viktigaste resultaten från feleffektsanalysen. Det fullständiga resultatet på risker och åtgärder finns redovisat i bilaga C. Sammanfattat återfanns de största riskerna hos testbädden i dess batterier. Även om risken att ett batteri skulle skadas eller kortslutas ansågs relativt låg, skulle ett sådant problem kunna medföra allvarliga system- eller personskador. Därför följdes CASE-labbets riktlinjer för batterisäkerhet som exempelvis förvaring i ett särskilt batteriskåp och ladda batterierna under uppsyn. Generellt bestämdes också att specifikationerna på hårdvara skulle kontrolleras för att undvika att överstiga spänningsgränser och riskera att skada system.

Ett annat resultat av feleffektsanalysen var att det stora risker för personskador vid testning av MARV identifierades. Exempelvis svängar i höga hastigheter, hastiga accelerationer eller mjukvaraproblem skulle kunna medföra att föraren trillade i vattnet. För att minska dessa risker beslöts att maxhastigheten hos MARV skulle strypas till 20%, vilket motsvarar ungefär 8 km/h. Eftersom testning med MARV generellt medförde stora risker för allvarliga kollisioner och olyckor, beslöts också att all mjukvara alltid skulle testas på testbädden innan den implementerades på MARV. En annan åtgärd blev att testområdena alltid kontrollerades, i avseende att vara fri från personer och hinder innan testning. Slutligen beslöts även att en person alltid skulle befinna sig på MARV för att kunna ingripa och ta kontroll över MARV om något hände med mjukvaran eller uppkopplingen.

### 4.1.3 Kravspecifikation

Den kravspecifikation som tagits fram för detta projekt finns att se i bilaga D. Det resulterade i att den innefattade 5 kategorier av krav. Dessa kom att bli *Funktioner*, *Latens*, *Bildhastighet*, *Bildkvalitet*, *Säkerhet* och *Miljöbelastning*.

De funktioner som ställts som krav på MARV efter projektet är först och främst att den går att styra över mobilt bredband. Önskvärt inom denna kategori var att ett videoflöde skulle erhållas från MARV för att se hur den kör från operatörsidan.

Ett krav på maximal latens ansågs vara rimligt att sätta, då en för hög latens hade resulterat i en oanvändbar lösning. Enligt Saab Kockums AB är det "svårt att komma under 0.3 - 0.5 sekunder" (bilaga B) på enbart ett videoflöde. Detta blev grund till de krav som sattes på MARV. Kravet på högsta tillåtna latens sattes till 500ms men ett önskvärt värde bestämdes till mindre än 250ms.

Det absolut minsta tillåtna värdet på videoflödets uppdateringsfrekvens sattes till 20fps. 20fps ansågs vara det lägsta möjliga värdet på uppdateringsfrekvens utan att kameraflödet kändes hackigt vid okulär observation. Ett önskvärt värde på bildfrekvensen sattes till 25 fps. Anledningen till att ett krav på bildhastigheten sattes, är att operatören ska kunna få en representativ upplevelse för vad som händer med MARV.

Bildkvaliteten avgör till stor del hur bra man kan avgöra hur omgivningen ser ut. För att säkerställa en bra bildkvalitet valdes att sätta krav på minsta tillåtna bildupplösning på videoflödet. En bild av upplösningen 720p (HD) ansågs vara tillräckligt skarp för att kunna framföra MARV på ett sjösäkert sätt. För att få en ännu bättre upplevelse av fjärrstyrningen sattes 1080p (full HD) som ett önskvärt värde.

Säkerheten för projektet är mycket viktig. Med tanke på att MARV i framtiden förhoppningsvis ska kunna köras förarlöst bör säkerheten på systemen vara mycket hög. Därför fastställdes vad som skulle hända om ett delsystem i fjärrstyrningssystemet skulle haverera eller av annan anledning stängas ned. Först specificerar kravspecifikationen *Nollställning av styrkommandon vid fel på delsystem* och den tid detta ska ta. Då höga hastigheter kommer kunna uppnås med MARV ansattes en kort tid för detta att träda i kraft. Även under denna kategori sattes ett önskvärt värde. Det sattes på kravet *Beteende vid försök till att ta kontroll från annan enhet* och målvärdet sattes till att "kontroll bibehålls". Innebörden av det önskemålet är alltså att om flera operatörer försöker styra MARV skulle endast den som har kontrollen bibehålla den. Det är inte satt till ett definitivt krav då fokus för projektet inte varit att göra systemet säkert för intrång från utomstående parter.

Sista kravet på kravspecifikationen gällde miljön som tekniken skulle implementeras i. Då MARV är ett fartyg kommer det att utsättas för saltvattenstänk. Dessa miljöer är mycket krävande för de flesta material och extra farligt då elektronik är inblandat. Alla installationer valdes därför att göras med ett krav på en IP-klassning av IP66.

IP66 innebär dammtät och skyddad mot kraftig överspolning av vatten [28].

## 4.2 Testbädd

Följande avsnitt beskriver vilka delsystem som utvecklades på testbädden, framförallt de delsystemen som lades till för att skapa den slutgiltiga versionen. Detta innefattar information om bland annat mikrokontroller, batterier, kamera och modem. För närmare information om de andra delsystemen, exempelvis DC-motor, motordrivare och styrservo hänvisas läsning av tidigare arbeten på bilen [29].

### 4.2.1 Utvecklade delsystem

Mikrokontrollern som valdes till testbädden är av typen Nucleo F303K8 eftersom den har ett stöd för CAN-buss, som används för kommunikationen på MARV. Mikrokontrollern har till uppgift att tolka och omvandla de signaler som REACH-datorn tagit emot från operatören för att bestämma hur fordonet ska framföras. Signalerna omvandlas från ett meddelande med hur många procent gas och styrning som angivits av operatören till motsvarande styrsignaler för fordonets dynamik.

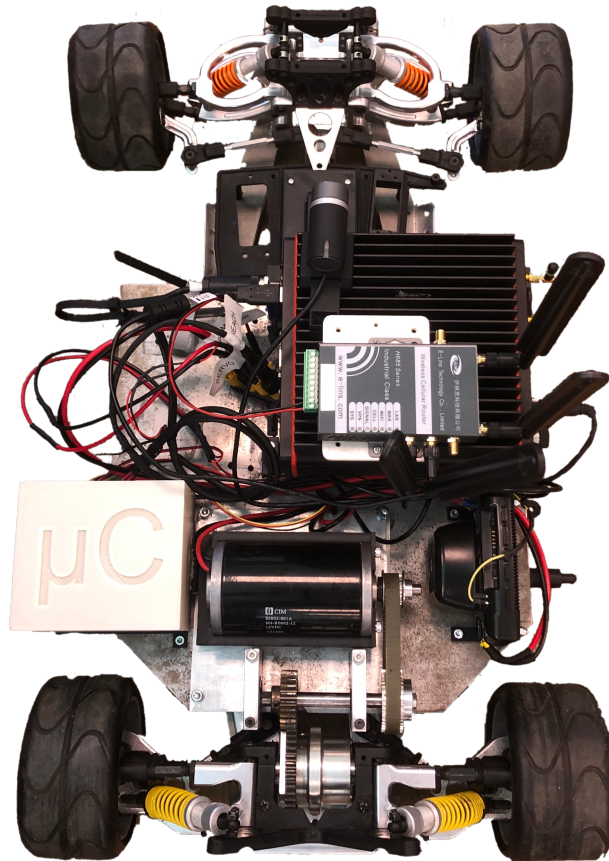
För att driva alla elektriska komponenter på testbädden krävs batterier. De komponenter som behöver strömförsörjning är främst DC-motorn, REACH-datorn, mikro-kontroller samt routrar. För att driva alla komponenter på testbädden införskaffades två likadana litium-jon-batterier. Batterierna som valdes är 3S LiPo batterier, specifikt ”RS PRO 11.1V Lithium-Ion Rechargeable, 5.2Ah” [30]. Dessa valdes eftersom REACH-datorn kräver en spänning mellan 10 och 15 V, vid drift.

Kameran som valdes för testbädden var en Sandstrøm S3Y3CAM[31]. Modellen är från 2012 och designen är simpel, avsedd för privat hemmabruk. Webbkameran filmar i 480p 30 fps och ansluts via USB. Anledning bakom kameravalet var rentav simplicitet. Kameran var ej ett föremål som köptes in för projektet, utan medtogs från hushåll av en projektmedlem. Kamerans huvudsakliga syfte var att bevisa att ett kameraflöde kunde upprätthållas, snarare än att skapa ett högupplöst videoflöde som vid ett senare tillfälle ändå skulle bytas ut. Mer om detta finns att läsa i avsnitt 5.3

Modemen som valdes till projektet var E-Lins H685 [32] med 5G modulen IncQuectel RM500Q. [33]. Modemen tillhandahölls av Ericsson tillsammans med 5G SIM-kort för mobil uppkoppling. För att upprätthålla peer-to-peer kommunikation konfigurerades modemen till att vara som på samma nätverk. Detta gjordes genom att ställa in dem på ”IP passthrough” och ”bridge mode”, vilket gör att en dator ansluten till ett modem erhåller modemets publika IP-adress på nätet. Det här är fördelaktigt eftersom nätverkstrafiken går direkt till datorn och hoppar över nätadressöversättning i modemets brandvägg och det går att komma åt datorerna direkt genom 5G-nätet.

### 4.2.2 Slutgiltig systemdesign av testbädd

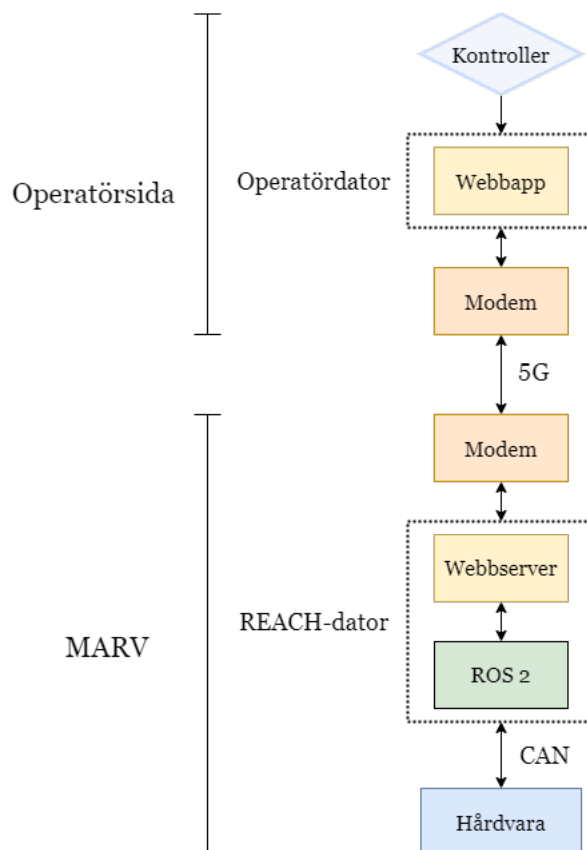
Samtliga delsystem skapade tillsammans den slutgiltiga testbädden. Figur 4.2 visar hur den färdigutvecklade testbädden såg ut innan systemet implementerades på MARV. Modem och kamera monterades ovanför REACH-datorn i den främre delen av testbädden. Mikrokontroller, DC-Motor och motordrivare sattes i bakre delen av bilen. Batterierna saknas i figuren men monterades ovanför Mikrokontroller till vänster om REACH, lättåtkomliga och avtagbara ur säkerhetssynpunkt.



Figur 4.2: Bild över konstruerad testbädd

### 4.3 Fjärrstyrningssystem

Det för MARV direkt användbara resultatet av det här projektet är fjärrstyrningssystemet som består av två delar ny mjukvara; en webbserver och ett nytt scenario. Dessa samverkar för att uppnå nätverksbaserad fjärrstyrning av MARV. Källkoden finns tillgänglig i två olika GitHub-arkiv, ett för endast fjärrstyrningssystemet [34] och ett för samma kod implementerat i MARVs system [35]. Figur 4.3 nedanför illustrerar överskådligt hur styrkommandon går från operatörens kontroller hela vägen till hårdvaran på MARV.



**Figur 4.3:** Förenklad bild över hur fjärrstyrningssystemet är kopplat till MARV

I del 4.3.1 - 4.3.3 presenteras hur fjärrstyrningsmjukvaran som visas i fig. 4.3 är uppbyggd mer ingående och hur den fungerar, samt vilken nätverkskonfiguration som användes för att systemet skulle fungera. Vattenskoterns hårdvara presenteras inte här utan mer information om den finns att läsa i kandidatrapporten från 2019 [8].

#### 4.3.1 Webbserver

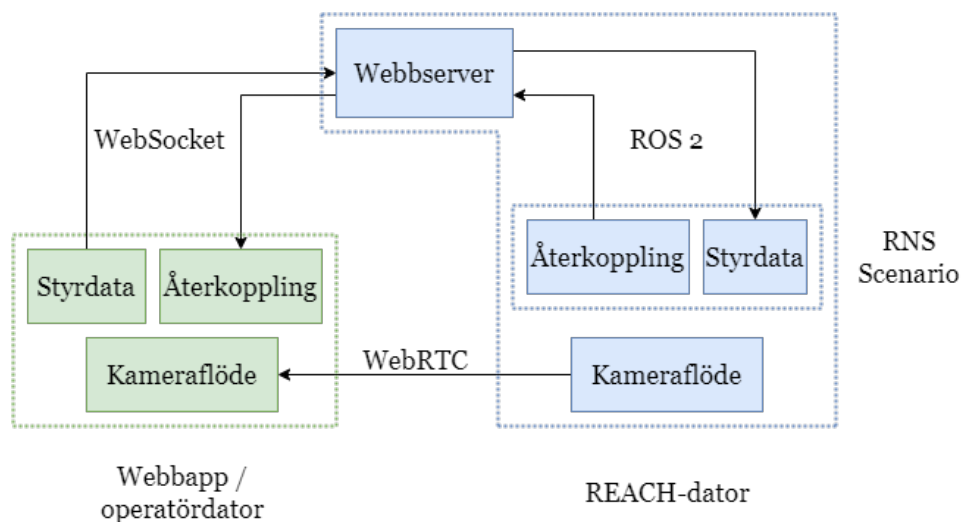
Webbservern är ett skript som finns i REACH-datorn på MARV. Servern hanterar kommunikationen över nätverk mellan operatören och MARV, samt förser operatören med ett webbgränssnitt, en webbapp, som inkluderar

realtidskameraflöde och återkoppling från MARV. Den är oberoende av vilken sorts nätverksuppkoppling som REACH-datorn har till operatördatorn, med andra ord spelar det ingen roll för servern om de är kopplade via WiFi, 4G, LTE, eller 5G.

Operatören får upp webbappen genom att skriva in serverns IP-adress i adressfältet. Därefter sker kommunikationen mellan operatörens dator och webbservern genom WebSocket. Det som behöver skickas mellan operatören och webbservern är kontrollerinmatning/styrdata och återkoppling från MARV. WebSocket används även för att upprätta WebRTC-anslutningen för kameraflödet. Detta sker genom en signaleringsprocess som går ut på att både REACH-datorn på MARV och operatördatorn skickar en begäran till webbservern om en direktuppkoppling mellan varandra “peer-to-peer”, som servern sedan etablerar [36].

För att servern skulle kunna skicka vidare styrdatan till hårdvaran och kunna ta emot återkoppling implementerades en ROS-nod i serverskriptet. Därmed går styrdatan från operatördatorn till webbservern genom WebSocket och sedan från webbservern till hårdvaran genom ROS. Detta eftersom MARVs system är byggt på ROS, som tidigare förklarats i del 2.1.3. Webbservern publicerar styrdatan till ROS genom ett topic som heter “/web\_ui/gamepad” och lyssnar efter återkoppling från ett topic som heter “/web\_ui/feedback”. Serverskriptet är skrivet i programmeringsspråket JavaScript och utnyttjar Node.js för att köras som en server.

Webbserverns alla dataflöden visualiseras i figur 4.4 nedan.



**Figur 4.4:** Schematisk bild över vilka protokoll som används för dataöverföring mellan operatören och MARV

Operatördatorn skickar en kontinuerlig ström av styrdata till MARV då webbappen är uppe, kontrollerinmatning är aktiverat och anslutningen är stabil. För att undvika att MARV sticker iväg och riskerar att krascha om anslutningen

bryts eller latensen blir för hög implementerades en timeout på 200 ms. I de fall då servern inte får in någon styrdata från operatören på 200 ms nollställs värdena för fram- och bakåtdrivning, MARV kommer då att stanna. I övrigt har webbservern inga andra säkerhetsfunktioner. Detta diskuteras mer ingående i del 5.3.

### 4.3.2 Webbapp

Operatörens webbgränssnitt som togs fram, det vill säga webbappen, visas i figur 4.5 nedan. Till vänster visas kameraflödet från MARV och till höger om rutan finns tre reglage som visar återkoppling från MARV; hastighet framåt (APS), hastighet bakåt (RPS) och styrvinkel.

Webbappen är skriven i HTML, CSS och JavaScript. I och med detta kan webbappen köras på godtycklig dator som har någon modern webbläsare, som exempelvis bygger på Chromium, utan installation av fjärrstyrningsmjukvara. Det enda som krävs för att operatören ska kunna styra MARV är en snabb nätverksuppkoppling till MARV och en Xbox-kontroll.

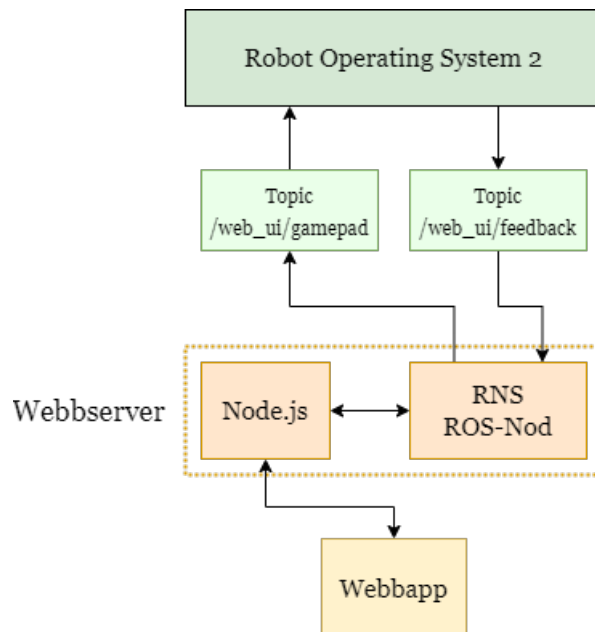


Figur 4.5: Foto av webbappen på en operatördator

### 4.3.3 Scenario: ”Remote Network Steering”

Remote Network Steering, förkortat RNS, är ROS-scenariot som utvecklats under detta projektarbete för att tillåta nätverksbaserad fjärrstyrning av MARV. RNS är en ROS-nod som är uppbyggd med scenario-klassen som grund, vilket delvis förklaras i del 2.1.3. Noden lyssnar på topic `“/web_ui/gamepad”` efter inkommande styrdata från webbservern. Styrdatan som kommer in används sedan som referens för vad operatören vill uppnå för gas och styrning. MARV kommer att sträva efter att nå dessa värden men gör detta på ett kontrollerat och jämnt sätt, genom att ha lokala

variabler för styrkommandon som rampas upp och ner. RNS skickar även de lokala variablerna för gas och styrning, den så kallade återkopplingen, till webbservern genom topic “/web\_ui/feedback”. RNS-scenariot är skrivet i Python, precis som resten av källkoden för MARVs ROS-system. Hur kopplingen ser ut mellan ROS och webbservern visas i figur 4.6.



**Figur 4.6:** Webbserverns koppling till ROS 2

För att styrkommandona från operatören ska accepteras av RNS-scenariot krävs det att operatören håller en knapp intryckt. Knappen fungerar som ett dödmansgrepp och ska förhindra att MARV kör iväg utan full kontroll av operatören. Om dödmansgreppet släpps kommer det att blockeras från att registreras igen tills operatören bekräftar att det utlösts. Detta görs genom att trycka på återställningsknappen samtidigt som man håller in knappen för dödmansgreppet.

Inför testerna begränsades MARVs gaspådrag till 20% av maxkapacitet, vilket motsvarar ungefär 8 km/h. Detta för att högre hastigheter inte ger bättre bevis på att konceptet fungerar än att köra med lägre hastigheter och för att inte utsätta någon eller något för onödiga risker. Utöver dödmansgreppet och hastighetsbegränsning implementerades inte fler säkerhetsfunktioner i scenariot då det inte ansågs nödvändigt. Motiveringen är att scenario-klassen redan har inbyggd timeout, så om RNS-scenariot eller ROS kraschar kommer det inte längre gå att styra MARV och vattenskotern kommer därmed stanna.

## 4.4 Resultat från validering

Valideringen av systemet är det som avgör huruvida projektets resultat uppfyller de krav som ställts i kravspecifikationen, vilken finns att se i sin helhet i bilaga D. I denna del presenteras den data som erhållits från utförda tester. Först presenteras testerna som gjordes i CASE-labbet i form av ett säkerhetstest att koppla bort specifika delsystem. Därefter gjordes ett stationärt drifttest av testbädden och ett körtest i CASE-labbet. Efter att systemet hade validerats på testbädden implementerades systemet på MARV för att därefter testas på Ericssons 5G-nätverk på Lindholmen.

### 4.4.1 Påverkan av bortkopplade delsystem

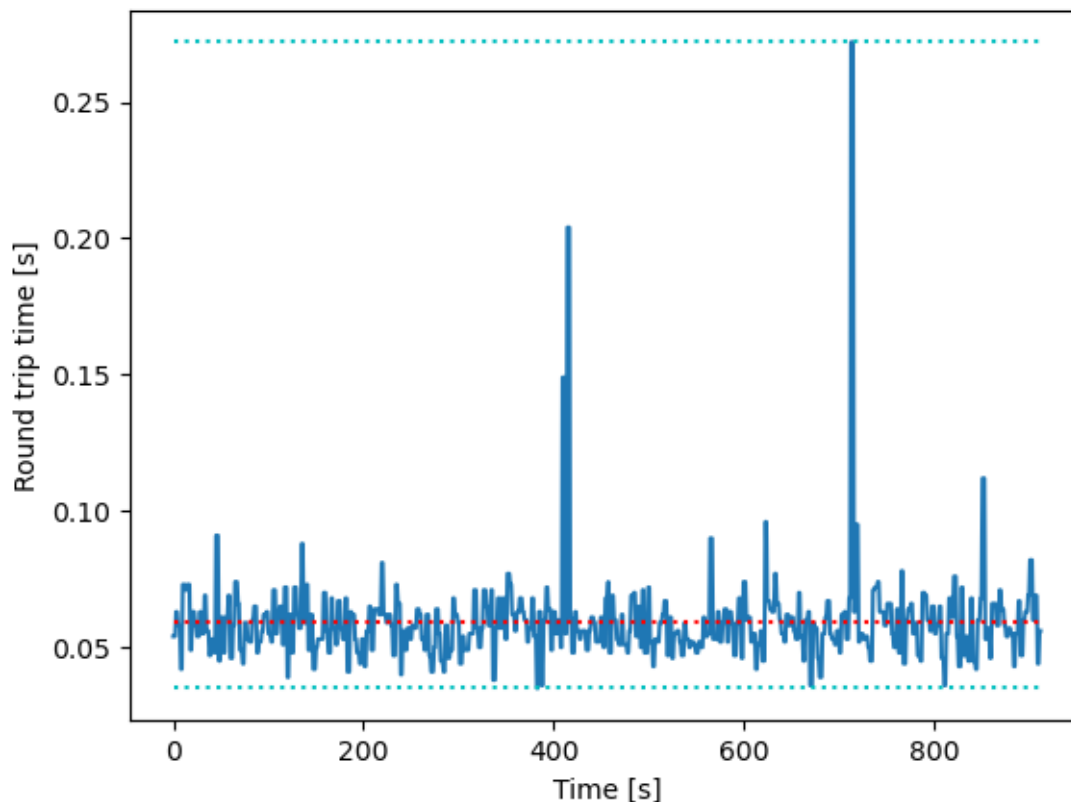
Efter att alla timeouts hade implementerats i webbservern och mikrokontrollern genomfördes ett säkerhetstest för att kontrollera testbäddens beteende vid feluppträdande. Olika delsystem kopplades växelvis bort och systemets beteende analyserades. Xbox-kontrollen kopplades ur operatörens enhet, webbservern stängdes av, uppkopplingen bröts genom att slå på flygplansläge på operatörens enhet, ROS stängdes av och CAN kopplades ur. Samtliga test slutade med att testbädden stannade och säkerhetskravet i kravspecifikationen ansågs vara uppfyllt.

### 4.4.2 Stationärt test i CASE-labbet

I följande avsnitt beskrivs resultaten från det stationära testet i CASE-labbet. Testet genomfördes på testbädden som förblev stillastående under hela sessionen. Samtliga grafer över resultatet återfinns i Bilaga E. Enligt Magnus Castell från Ericsson bestod CASE-labbets nätverk vid tillfället av ett 5G Non-standalone (NSA), vilket syftar på att nätverket bygger och förbättrar ett befintligt LTE-nätverk. Nätverket använde sig av en Ericsson Radio 2203 B3 för LTE uppkoppling, en Ericsson Indoor Radio Unit 8848 med en Ericsson Radio Dot 4479 för 5G New Radio (NR), vilket är luftbaserad 5G. Samt med Ericsson virtualized Evolved Packet Core. LTE nätverket använde LTE Band 3, med en channel bandbredd på 3 MHz vilket gav 1780,5-1783,5 MHz Upplänk och 1875,5-1878,5 MHz Nedlänk. 5G NR nätverket använde NR Band 78, med bandbredd på 40 MHz, med upplänk och nerlänk på: 3760-3800 MHz. Vid utförandet av testet var 5G nätverket bortkopplat på grund av saknad lokal licens. Testet utfördes därmed enbart på LTE nätverk. Castell uppskattade att den maximala överföringskapaciten vid tillfället låg på 10 Mbit/s upplänk och 40 Mbit/s nerlänk.

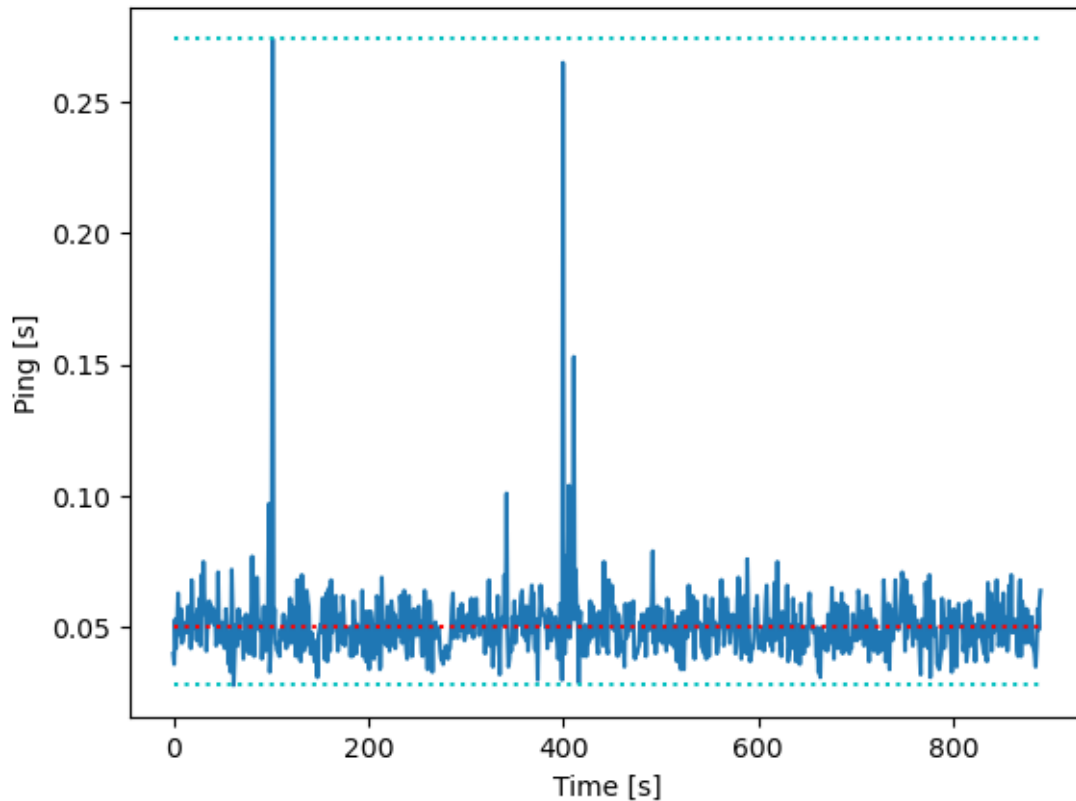
I figur 4.7 redovisas RTT för kameraflödet, med andra ord tiden från att kameraflödet efterfrågas till att det visas i WebRTC-applikationen. De ljusblå streckade linjerna visar de högsta och lägsta uppmätta värdena på svarstiden, vilket i detta fall uppmättes till 272 ms och 35 ms. Den röda streckade linjen i figuren visar den genomsnittliga svarstiden, på 59,44 ms. Samtliga värden låg under kravet om en maximal latens på 500 ms i kravspecifikationen och

genomsnittet är långt under det önskade värdet på 250 ms.



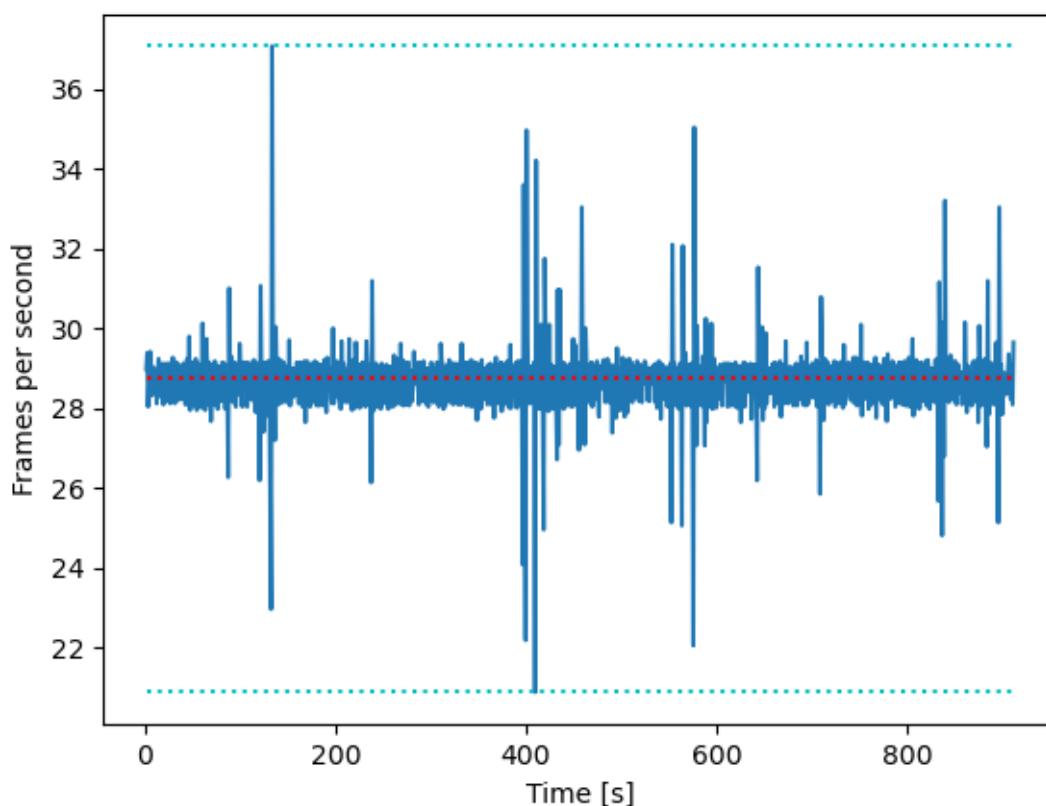
**Figur 4.7:** Graf över kameraflödets RTT för det stationära testet i CASE-labbet

Som ett mått på styrsignalernas latens via enheterna uppmättes pingens och resultatet visas i figur 4.8. Den högsta svarstiden var 274 ms, den lägsta 28 ms och ett genomsnitt på 50.62 ms. Alltså något lägre än kameraflödets RTT. Från jämförelse av testdatan, verkar kameraflödets RTT och pingens däremot inte ha någon direkt korrelation, förutom vid runt 400 sekunder när båda mätningarna upplevde en fördröjning. Även pingens i CASE-labbet var väl under kravet om en högsta latens på 500 ms och genomsnittet var mycket lägre än det specificerade önskemålet.



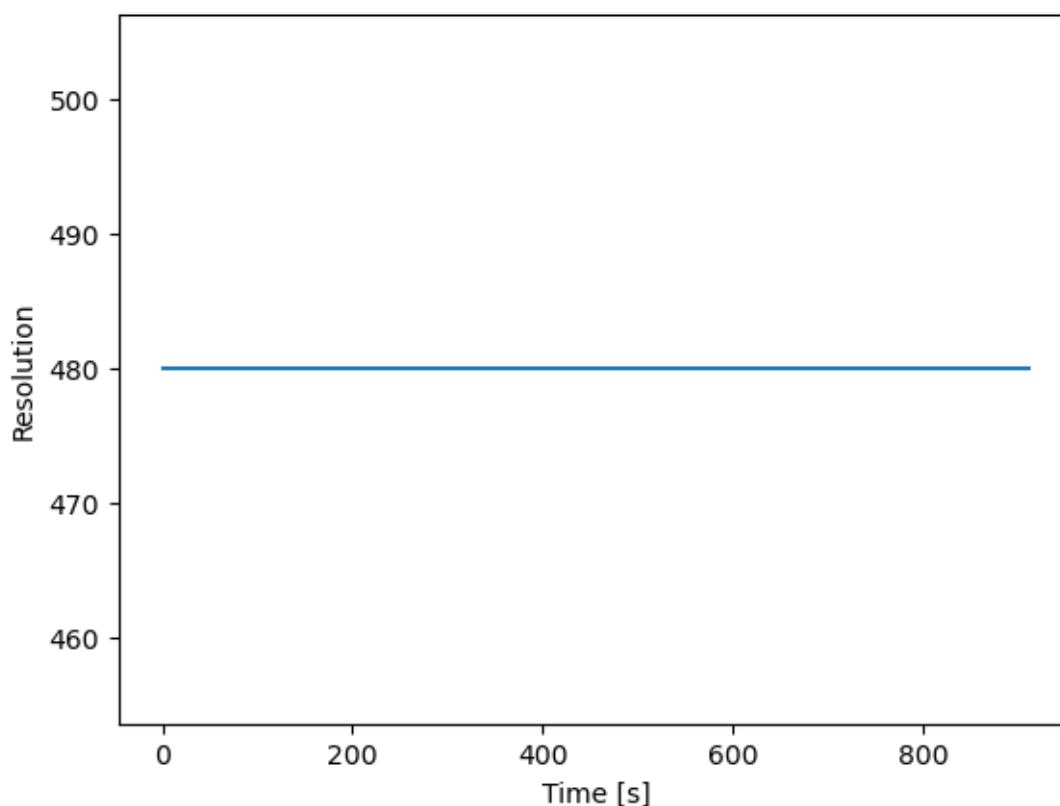
**Figur 4.8:** Graf över pingens mellan enheterna för det stationära testet i CASE-labbet

Följande stycke beskriver resultaten för bildhastighetstestet i CASE-labbet med stationär testbädd. Resultatet redovisas i figur 4.9 där man kan se de uppmätta värdena. Resultatet gav ett högsta värde på 37.07 fps, ett lägsta värde på 20.87 fps och ett genomsnitt på 28.74 fps. Kravet om minst 20 fps kan därmed anses uppfyllt, men för att klara önskemålet om minst 25 fps, skulle en stabilare uppkoppling och/eller bättre kamera krävas.



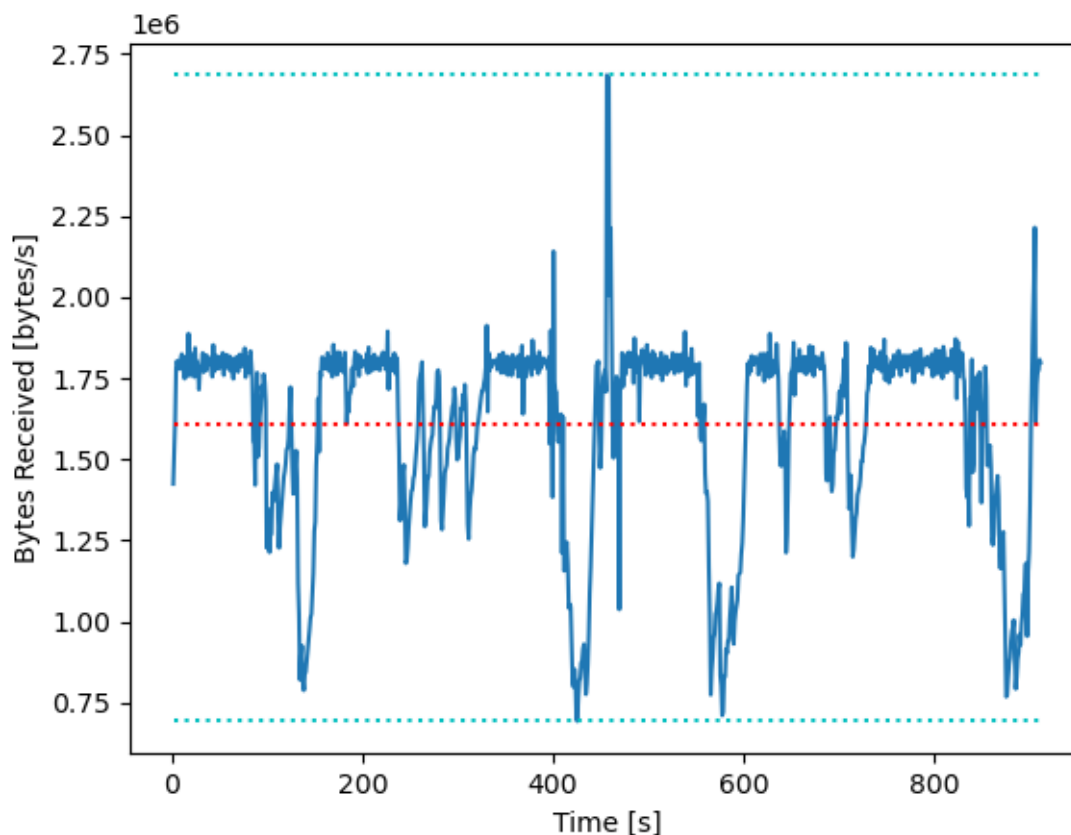
**Figur 4.9:** Graf över antalet bilder per sekund för det stationära testet i CASE-labbet

Nästa validering var att mäta på upplösningen på kameraflödet, vilket visas i figur 4.10. Resultaten från testet visade att upplösningen låg konstant på 480 p genom hela testet. Kravet i kravspecifikationen listade ett lägsta krav på 720 p, vilket innebar att upplösningskravet således inte uppfylldes. Detta resultat var däremot väntat eftersom den använda USB-kamerans maxupplösning låg på 480 p och främst användes som konceptbevis. En annan USB-kamera skulle därmed behövas för att uppfylla upplösningskravet.



**Figur 4.10:** Graf över bildupplösningen för det stationära testet i CASE-labbet

För att kontrollera stabiliteten i uppkopplingen kontrollerades även antalet mottagna bytes per sekund. I figur 4.11 nedan visas resultatet från detta test. Optimalt skulle vara att ligga på en jämn nivå genom hela testet, det vill säga att inte förlora några bilder, men fortfarande visa de senaste skickade bilderna i realtid. Resultatet från testet visade på ett antal nedgångar i dataöverföringen vilket tyder på en något instabil nätverksuppkoppling. Nedgångarna stämmer också väl överens med nedgångarna i bildhastigheten, vilket tyder på att en del bilder har kastats under dessa tillfällen för att kamerafflödet ska förbli i realtid. Vid tillfällena där datatöverföringen varit stabil, där ingen information förlorats, har överföringen legat på runt 1,8 MByte/s.



**Figur 4.11:** Graf över antalet mottagna bytes per sekund för det stationära testet i CASE-labbet

### 4.4.3 Dynamiskt körttest i CASE-labbet

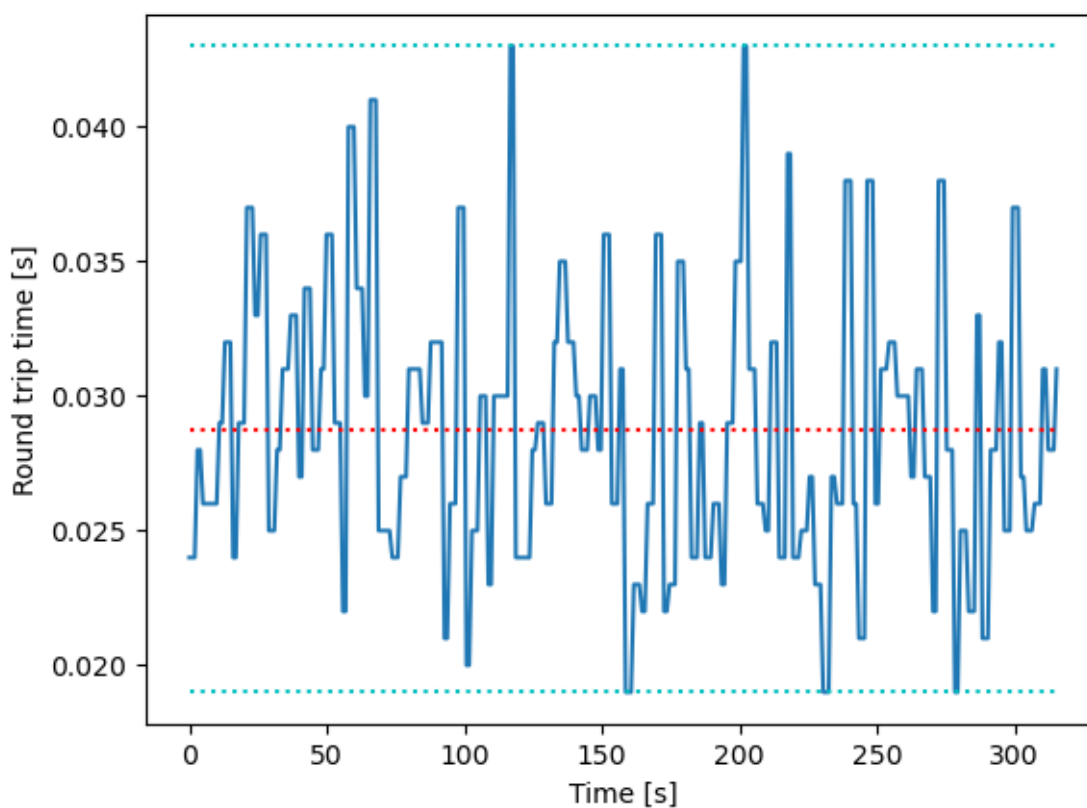
Följande test utfördes på testbädden i CASE-labbet. Till skillnad från det stationära testet utfördes detta testet på testbädden i rörelse, styrd av operatör. Testet genomfördes på testbädden i utomhusmiljö med räckvidd till CASE-labbet LTE nätverk. Samtliga grafer och resultat från testet återfinns i Bilaga E. Sammanfattat skilde sig resultaten mellan det stationära och dynamiska testen väldigt lite. Även om utseendet på graferna var olika för de båda fallen, var de genomsnittliga värdena nästintill identiska. Dessa värden slutade på en genomsnittlig RTT på 59.38 ms, en bildhastighet på 28.70 fps och upplösning på 480 p. Från detta kunde slutsatsen dras att rörelse inte hade någon större effekt på systemet.

### 4.4.4 Körttest av MARV med Ericsson 5G på obelastat nätverk

I följande avsnitt beskrivs delar av resultaten från körttestet av MARV utanför Lindholmen. Samtliga resultat återfinns i Bilaga E. Testet genomfördes på

Ericssons 5G NR NSA nätverk. Nätverket var vid tillfället obelastat bortsett från informationen som skickades mellan MARV och operatören. Enligt Castell bestod nätverket av en Ericsson Radio 2217 B28B för LTE, en Ericsson Radio AIR 3239 N77 för NR 5G och med Ericsson virtual Evolved Packet Core. LTE spektrummet använde band 28, med en bandbredd på 5 MHz, upplänk 703-708 MHz och nerlänk 758-763 MHz. 5G spektrummet använde NR band 77, med 80 MHz bandbredd, med upplänk och nerlänk på: 3800-3880 MHz. Castell uppskattade att den maximala överföringskapaciteten för nätverket låg på 100 Mbit/s upplänk och 800 Mbit/s nerlänk.

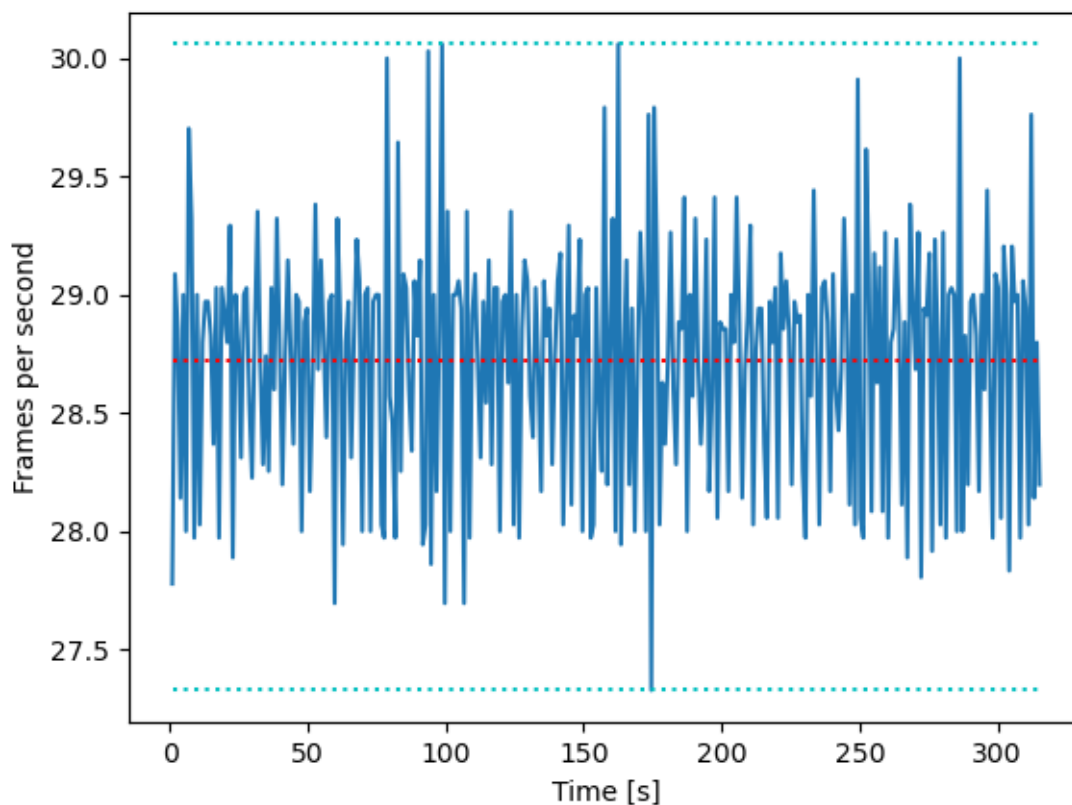
Nedan i figur 4.12 visas resultatet över kameraflödets tur och returtid. Det högsta uppmätta värdet på RTT låg på 43 ms, den lägsta värdet på 19ms och den genomsnittliga svarstiden på 28.77 ms. Jämförs dessa resultat med resultaten från testerna från CASE-labbet framgår det att latensen ungefär hade halverats när 5G-nätverket användes. Även pingens som representerar styrmeddelandenas latens visade på liknande siffror med en genomsnittlig svarstid på 23,52 ms.



**Figur 4.12:** Graf över kameraflödets RTT för körtestet med 5G

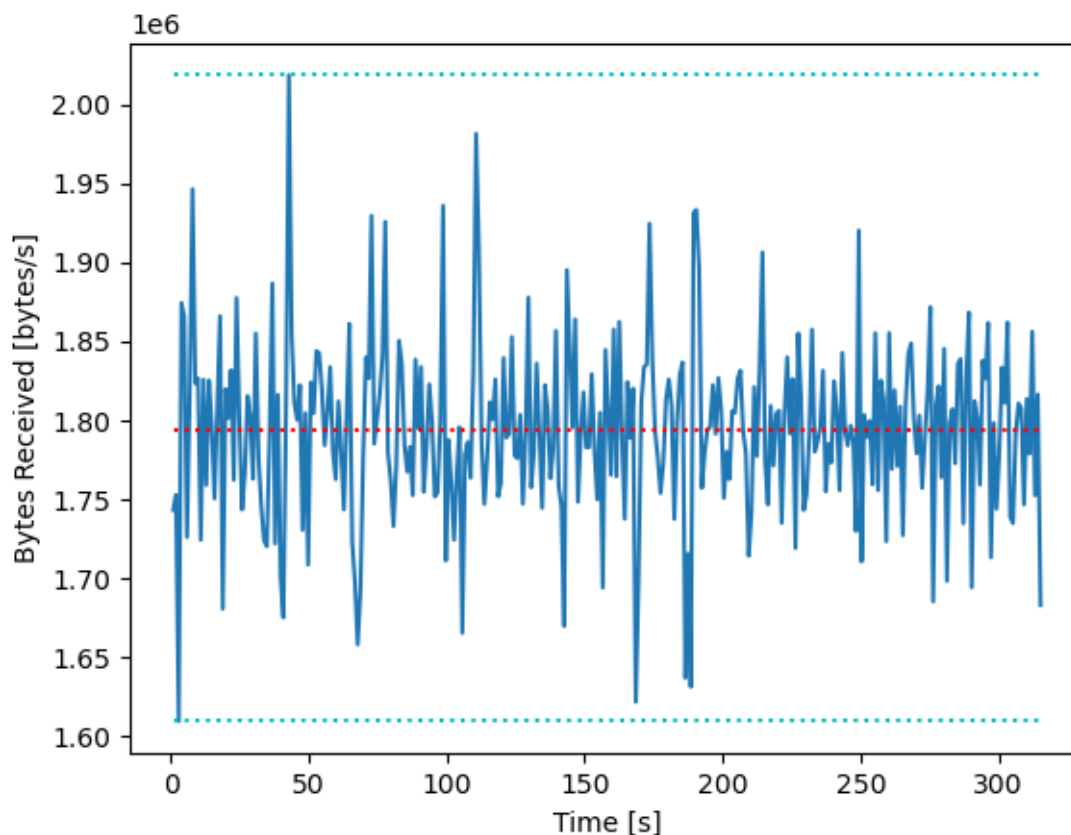
Resultatet från bildhastighetstestet redovisas i figur 4.13. Den högsta uppmätta bildhastigheten låg på 30.06 fps, den lägsta på 27.32 fps och det genomsnittliga

värdet på 28.72 fps. Som visas i figur 4.13 låg bildhastigheten på en betydligt stabilare nivå under detta test än vid LTE testerna i CASE-labbet. 5G uppkopplingen medför därmed en jämnare videoupplevelse med mindre brus i kameraflödet. Även upplösningen låg på 480 p under hela 5G-testet, lika hög som USB-kamerans maxupplösning.



**Figur 4.13:** Graf över bildhastigheten för körtestet med 5G

Även dataöverföringshastigheten låg på en betydligt stabilare nivå med 5G än med CASE-labbets LTE-nätverk vilket visas i figur 4.14. Eftersom den mottagna datan låg nära konstant nivå på 1.8 Mbyte/s genom hela testet, kunde antagandet göras att nästintill ingen data i form av bilder förlorades. Detta antagandet kunde också styrkas av den maximala överföringskapaciteten som på runt 100 Mbit/s = 12.5 Mbyte/s, vilket väl över mängden mottagen data.



Figur 4.14: Graf över mottagna bytes per sekund för körtestet med 5G

#### 4.4.5 Körtest av MARV på Ericsson 5G med belastat nätverk

Även följande test utfördes på Ericssons 5G NR NSA nätverk utanför Lindholmen. Till skillnad från det obelastade testet installerades en extra enhet på IP-nätverket som med hjälp av ett User datagram protocol (UDP), belastade nätverket med 50Mbit/s. För övrigt var nätverkskonfigurationen lika som vid föregående test. Samtliga grafer över resultatet hittas i bilaga E. Sammanfattat var nätverket fortfarande relativt stabilt trots att nätverket belastats. Bildhastigheten låg på en relativt konstant nivå med en genomsnitt på 28.70 fps förutom ett kort tapp i starten av testet. Detta tapp visade sig även i pingens som steg till 144 ms under samma tillfälle. Den genomsnittliga RTTn för kameraflödet steg till 37.03 ms för det belastade testet och pingens till 30.22 ms.

## 4.5 Lagar och regler

Här presenteras resultatet av intervjuerna med aktörer som på olika sätt arbetar med förarlös körning till sjöss, samt den litteraturstudie som gjordes innan intervjuerna. Undersökningen utfördes eftersom det övergripande målet med projektet är att SSRS ska kunna använda en förarlös vattenskoter, vilket kräver både möjliggörande teknik och att det tillåts rent lagmässigt. Undersökningens syfte var att kartlägga dagens regelverk och de utmaningar som finns samt vad som kan tänkas ske inom de närmsta åren. Därutöver undersöktes hur branschaktörer förhåller sig till regelverket och hur de går tillväga för att utföra tester.

### 4.5.1 Litteraturstudie

Litteraturstudien som gjordes består i huvudsak av en rapport som är en kartläggning om smarta fartyg ur Transportstyrelsens perspektiv [24]. I kartläggningen framgår bland annat att digitaliseringen medför en automatisering inom hela transportsektorn och att ny teknik innebär operationella och juridiska utmaningar. Utmaningarna innefattar bland annat säkerhet och teknik [37]. De juridiska utmaningarna beror på den gällande sjölagsstiftningen som gäller i Sverige, det vill säga bland annat konventionerna COLREG, UNCLOS och SOLAS.

Det resultatet från litteraturstudien som är mest betydelsefullt är att det med dagens regelverk inte är tillåtet att framföra ett fartyg utan befälhavare ombord. Storleken på fartyget spelar ingen roll, eftersom det inte finns någon undre gräns för när reglerna är tillämpliga. Det innebär i praktiken att till och med en radiostyrd leksaksbåt skulle kunna anses vara olaglig, dock har inga uppgifter hittats om att detta någonsin prövats rättsligt. För att möjliggöra användning av obemannade fartyg måste alltså regelverken ändras. För projektet innebär regelverket att en befälhavare alltid måste befinna sig ombord vid testning av MARV.

Därutöver framgår det i rapporten att det i Sverige inte finns några särskilda testområden för obemannade fartyg, vilket potentiellt hade varit relevant och aktuellt för projektet. Transportstyrelsen menar att det finns ett differentierat behov av testområden där vissa menar att behovet är stort och att det gärna kombineras med ett testområde för drönare. Transportstyrelsen menar att det är *möjligt* att upprätta ett testområde, men att det saknas bemyndigande att göra undantag från gällande lagstiftning vilket innebär att fartyg måste vara bemannade även inom upprättat testområde.

Transportstyrelsen har dock identifierat att användningsområdena och nyttorna för obemannade fartyg är många och det finns ett antal aktörer inom området som på olika sätt utvecklar obemannade ytfarkoster. Exempel på sådana aktörer är DeepVision (ekolodsteknik) [38], AutoNaut (datainsamling)[39] och Saab Kockums (militära applikationer)[40] som samtliga testar och/eller använder sig av autonoma ytfartyg i nuläget. Transportstyrelsen menar att både tillverkare och

användare anser att det finns ett behov av regler för just obemannade fartyg och att dagens regler måste ändras för att fullt ut möjliggöra användningen.

### 4.5.2 Intervju med SSRS

Den första intervjun som genomfördes var med Fredrik Falkman, som jobbar med innovation på avdelningen för forskning och utveckling på SSRS. Falkman har varit huvudansvarig för utvecklingen av RescueRunner sedan projektet startade år 2002 [3] och syftet med intervjun var att klarlägga användningsområdet och behovet av olika funktioner som kan utvecklas på MARV.

När arbetet med MARV påbörjades var tanken att den autonomt och förarlöst skulle följa ledarbåten till räddningsplatsen, men idag ser Falkman större potential med RescueRunner för assistansuppdrag. Det grundar sig i att SSRS under ett år har omkring 1500 skarpa larmsamtal där personer befinner sig i en nödsituation. Därutöver får man in approximativt 5500 samtal som är av assistanskaraktär, som exempelvis bogsering vid motorhaveri eller att någon har slut på bensin. I sådana fall skulle RescueRunnern kunna ersätta ledarbåten helt och på så sätt spara resurser, främst i form av frivillig personal som slipper åka ut för att leverera en bensindunk. Intervjun handlade i övrigt mycket om vidareutveckling vilket tas upp i del 5.3.

### 4.5.3 Intervju med Transportstyrelsen

För att skapa en fördjupad och mer nyanserad bild kring regelverket intervjuades Henrik Tunfors, jurist och Ledningsstrateg på Transportstyrelsen som är regelgivande myndighet för sjöfart i Sverige. En allmänspråklig transkribering av intervjun finns tillgänglig i bilaga A. Tunfors menar att trots att det är tre år sedan rapporten om smarta fartyg [24] skrevs och mycket har hänt sedan dess så kvarstår den grundläggande lagen att det ska finnas betryggande bemanning på alla fartyg. Om fartyget är obemannat så är det inte förenligt med dagens regelverk, trots att tekniken kan påvisas vara lika säker som konventionell bemanning.

På frågan hur man går tillväga vid testning av förarlösa fartyg svarar Tunfors att det finns ett fåtal projekt där regelverket har ställts på sin spets i Sverige. Testerna utförs ofta utan Transportstyrelsens vetskap och Tunfors medger att de inte alltid vill veta vad som sker för att slippa ingripa som inspektionsmyndighet. Anledningen är att man inte vill utgöra en bromskloss för utvecklingen inom företag som exempelvis Saab Kockums, som är ett väldigt erfaret företag med mycket seriöst säkerhetsarbete och Transportstyrelsen litar på att de utför sina tester på ett kontrollerat och säkert sätt. De vill alltså inte hindra utvecklingen som kan kulminera i en färdig produkt när lagstiftningen väl ändras. Tunfors uppger dock att det kan uppstå stora problem om en olycka skulle inträffa under sådana tester och att det då förmodligen kommer att avgöras i domstol om Kockums och/eller Transportstyrelsen agerat felaktigt.

Dock verkar frågan om testområden ha dött ut lite enligt Tunfors, vilket är ett resultat av dialogen mellan Transportstyrelsen och aktörer inom branschen. Det

beror främst på att man vill testa systemen i den miljö de är tänkta att användas i, istället för ett testområde som blir mer som en labbmiljö. Därför har Transportstyrelsen inte gått vidare med frågan, men riktlinjer för tester har tagits fram inom IMO och på EU-nivå. Riktlinjerna gäller smarta fartyg och de har omsatts till svenska riktlinjer som ska möjliggöra tester med smarta fartyg.

Kring huruvida Transportstyrelsen inväntar regeländringar från IMO eller om de kan göra förändringar på nationell nivå svarar Tunfors att den primära teknikutvecklingen sker på nationell nivå, kanske främst med olika case som hanteras inom policylabbet. Ett sådant case är Ljusteröleden [41], som är en vägfärja med många autonoma funktioner, där man undersöker vad som är tillåtet inom dagens regelverk. Trots att mycket av utvecklingen sker på nationell nivå så menar Tunfors att det i slutändan kommer krävas regeländringar från IMO för att få ett gemensamt och harmoniserat regelverk för att på så sätt säkerställa att systemet en viss redare använder sig av kommer att accepteras oavsett i vilket land man befinner sig i.

### 4.5.4 Intervju med Saab Kockums

För att inkludera en branschaktörs syn på frågor som gäller obemannade ytfartyg intervjuades Jens-Olof Lindh, specialistexpert på forskning- och utvecklingsidan på Saab Kockums AB. En allmänspråklig transkribering finns tillgänglig i bilaga B. Lindh har jobbat med bland annat nätverkssystem och obemannade båtar i många år och sedan ungefär 2007-2008 så har Saab Kockums haft obemannade båtar, Pirayorna, i drift som experimentanläggningar. Sedan 2018 så har de även en stridsbåt 90 från Dockstavarvet som används som flytande plattform. Lindh är testledare och verksamhetsutvecklare för autonomi/obemannade programmet för Saab Kockums räkning och ingår också i samarbetsgrupper som bland annat policylabbet. Lindh menar att obemannade båtar till en början var en ganska obskyr omsidesverksamhet, men att det har blivit populärt och att Saab Kockums på grund av att de har längre erfarenhet inom området än många andra och därför har en bra chans att vara med och påverka utvecklingen. Därutöver är Lindh med i styrelsegruppen för WASP-programmets WARA-PS som är övningarna med bland annat sjöräddningsscenario som görs i Västervik varje år.

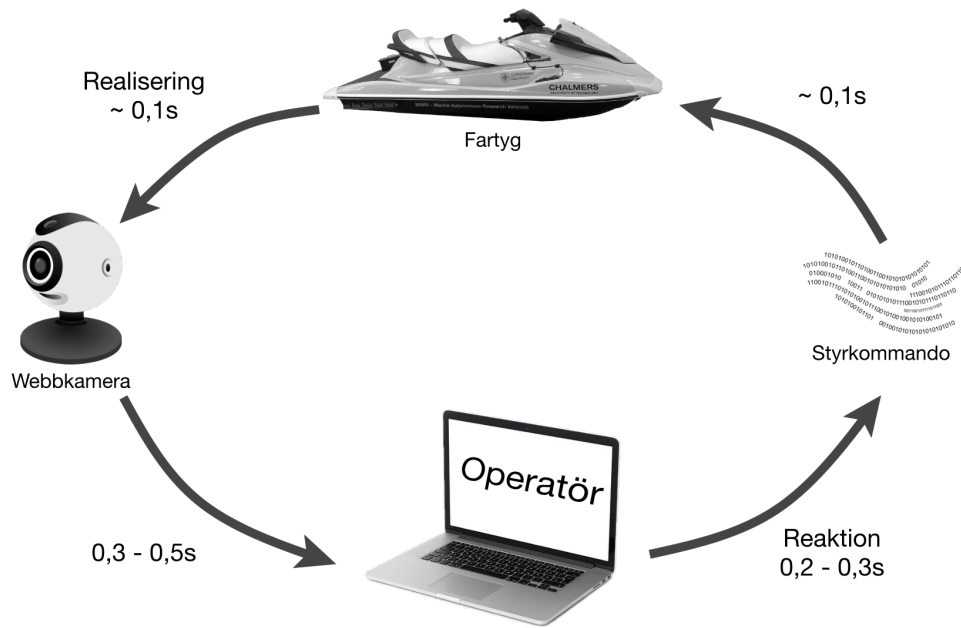
Lindh håller med om att särskilt avlysta testområden inte är särskilt intressant, främst beroende på att man i verkligheten måste ta med delar som att väja för andra båtar och dylikt. Att testa systemen på ett särskilt område som blir mer lik en labbmiljö tillför alltså inte mycket, speciellt eftersom man ändå är tvungen att följa den befintliga sjölagsstiftningen även inom ett sådant område. Saab Kockums ståndpunkt är att det är bättre att lära sig hantera båtarna inom sjölagstiftningens ramar och den viktigaste säkerhetsmekanismen är oavsett att undvika att köra om det finns annan sjöfart i närheten.

Saab Kockums har alltså utvecklat Pirayorna i mer än 15 år, men trots det är de inte lagliga att framföra obemannade. Lindh menar dock att regelverket alltid har varit något att ta i beaktning men inte att det har varit ett dominerande problem.

Lindh lyfter bland annat affärsmodellen som bidragande faktor till att utvecklingen inte har framskridit ännu snabbare. Saab Kockums har stora omkostnadsmassor på stora etablerade företag, vilket gör att det inte riktigt finns ett case för små system som ännu inte dragit in några pengar till företaget. Lindh lyfter därför bland annat studentgrupper som ett resurseffektivt sätt att driva utvecklingen framåt.

I andra nordiska länder har man kommit något längre med utvecklingen. I Norge finns ett flertal projekt kring smarta fartyg, bland annat Yara Birkeland [42] som är inne i en tvåårig testperiod för att uppnå full autonomi och därefter bli certifierat som ett autonomt containerfartyg. I Danmark har man kommit fram till att det är tillåtet att kontrollera ett fartyg från en kommandobrygga som inte är ombord på fartyget [24] och resonemanget bygger bland annat på att det fungerar väl inom flygtrafik enligt Lindh. Saab Kockums var och testade Pirayorna i Finland 2012 och där kom myndigheterna efter en dryg timme fram till att de betraktar ytfarkosterna som ett redskap som tillhör moderfartyget och att det därmed är fritt fram att framför dem obemannade. Sammanfattningsvis finns det en rad olika tolkningar av regelverket och frågan har inte riktigt landat än.

När det kommer till den tekniska aspekten av obemannade fartyg menar Lindh att fjärrstyrning via nätverk inte är en gångbar lösning och Saab Kockums har slutat med det helt. De har fjärrstyrt Pirayorna och uppmätt latensen, vilket är en viktig och relevant fråga i sammanhanget. Återkopplingsloopen, som visualiseras i figur 4.15, påbörjas genom att en bild skickas från kameran ombord på fartyget till operatören som styr. Latensen på ett digitalt videoflöde är svår att få ner under 0.3-0.5 sekunder enligt Lindh. Sedan ska operatören reagera på videoflödet och sedan ska exempelvis styrkommando skickas tillbaka till fartyget och därefter realiseras. Det är alltså svårt att komma under en sekund i latens på teknisk nivå. Saab Kockums lösning på problemet är att ha en helt analog signal, men det bygger på att fartyget man styr alltid är inom synhåll. Lindh menar dock att eftersläpningen på 1 sekund inte är ett problem när man kör via autopilot där man bestämmer kurs och hastighet relativt sällan. Referenspunkten som Lindh använder sig av för reaktionstid och kraven som finns är Erik Hollnagel och hans teorier om ECOM (Extended Control Model) [43]. Den korta sammanfattningen är att i varje situation i verkligheten så finns det tidskrav på reaktionstid och om latensen är så stor att kravet överskrids så är det otillräckligt. Det finns två tillvägagångssätt för att lösa problemet. Det första är att korta ner latenserna och det andra är att ge sig mer tid genom att köra långsammare.



**Figur 4.15:** Återkopplingsloop för MARV och operatör med uppskattade tider enligt Lindh.

# 5

## Analys och diskussion

Kapitlet beskriver analyser och diskussioner baserat på resultaten som presenterades i kapitel 4. Del 5.1 beskriver analysen av valideringstesterna, del 5.2 redogör för de krav som ej uppfylldes, del 5.3 återger en diskussion kring vidareutvecklingsområden och del 5.4 skildrar den troliga progressionen för lagar och regler kring förarlösa fartyg.

### 5.1 Analys av resultat från validering

Genom valideringstesterna kunde ett antal resultat påvisas. Samtliga tester på 5G-nätverket visade på ett väldigt stabilt nätverk. Latenserna halverades från LTE uppkopplingen, nästintill inga bilder gick förlorade och dataöverföringen låg på en konstant nivå under hela testerna. På flera av figurerna kan det se ut som om 5G-nätet haft mycket brus, vilket egentligen kan tolkas missvisande då graferna zoomats in i vertikalled för att tydligare visualisera värdena. Från den insamlade testdatan verkar 5G ha stor potential för att kunna användas i framtiden på ett liknande system, även om fler tester skulle behöva genomföras för att dra säkra slutsatser.

Från de tester som genomfördes återfanns ett annat särskilt spännande resultat. Till skillnad från Saab Kockums som ansåg att det var svårt att komma under 300 - 500 ms i latens för ett kameraflöde visade projektets testdata på betydligt mer lovande siffror. Med en genomsnittlig latens för kameraflödet två vägar på runt 30 ms för 5G-nätverket och 60 ms för LTE uppkopplingen. En orsak till den låga latensen skulle kunna bero på miljön som testerna ägde rum i. Samtliga tester ägde dock rum intill basstationen på ett privat nätverk utan övrig trafik. Det skulle förmodligen vara så att latensen skulle öka om MARV testades i verklig kustmiljö med normalt belastat nätverk och längre avstånd till mast. I dagsläget är 5G-nätet till stor del obefintligt i dessa miljöer.

Även mängden data som skickas skulle kunna ha en stor påverkan på dataöverföringens latens. Om fler högupplösta kameror installeras, vilket skulle behövas för att framföra MARV trafiksäkert, skulle även datamängden och latensen öka. Systemet som implementerats på MARV i dagsläget skulle i princip vem som helst kunna ta kontroll över. Skulle fler säkerhetsåtgärder implementeras skulle troligtvis även det ha en påverkan på latensen.

## 5.2 Ej uppfyllda krav ur kravspecifikation

Det mest omfattande kravet som tydligt ej uppfyllts är kravet gällande upplösning. Enligt kravspecifikationen, se bilaga D, var kravet 720p som upplösning för kameraflödet. Som nämnt i del 4.2.1 nyttjades en kamera med enbart 480p upplösning. Däremot är kameravalet enbart tänkt att fungera som ett konceptbevis. Valet av kamera är godtyckligt och kameran som användes under arbetet är avsedd att uppgraderas i efterföljande projekt. Eftersom arbetet inte har som avsikt att skapa ett färdigställt system redo för implementation i vardagen så anses inte detta ouppfyllda krav som problematiskt. Särskilt då kameraflödet kan utgöras av godtycklig videokälla och inte är begränsat till 480p.

Ytterligare krav som ej kan konstateras definitivt huruvida de har uppfyllts eller inte är IP66-klassificeringen som hittas under ”6. Miljöbeständighet” i bilaga D. I tidigt skede av arbetet valdes IP66-klassificering som ett krav. Kravet har sedan dess ej behandlats i tester. Fokuset var att skapa ett system för MARV som skulle fungera som temporära lösningar för att klara testerna. Åtgärder togs för att vatten- och dammskydds-säkra så stor del av systemet och komponenter som möjligt inför testerna. Dock har inte någon särskild validering relaterad till IP-klassificeringen förekommit.

## 5.3 Vidareutveckling av MARV

Både Fredrik Falkman från SSRS och Jens-Olof Lindh från Saab Kockums anser att det realistiska scenariot vid användning av en obemannad ytfarkost inte är att operatören alltid styr i realtid, utan istället att fartyget styrs av en autopilot och operatören sitter beredd att gira eller bromsa om det krävs. På MARV finns en sådan lösning implementerad där vattenskotern med hjälp av regulatorer följer så kallade waypoints [9], vilket innebär att vattenskotern kör mot sitt mål via specifika koordinater. Den framtagna modellen för detta är begränsad till att vattenskotern kör framåt med en hastighet av omkring 3-12 m/s och mer exakt navigering som att lägga till vid en brygga kräver idag icke-autonom manövrering. De två lösningarna i kombination, det vill säga manuell manövrering via 5G i låga hastigheter och följa waypoints i lite högre hastigheter, är därför ett tänkbart sätt att uppfylla det som Lindh och Falkman ser som den realistiska lösningen.

Fortsatt utveckling av MARV kommer beträffa arbete med säkerhet vid styrning med 5G. I dagsläget styrs MARV med väldigt enkla instrument. Styrningen sker via en Xbox-kontroll och kameran på MARV under drifttesterna filmade med upplösning 480p och bildfrekvens 30fps, där upplösningen och synfältet var problematiska. Upplösningen är för låg för att kunna framföra MARV på ett säkert sätt utom synhåll. Synfältet med den kamera som användes under drifttesterna är dessutom för inzoomat. Därav är det ytterst viktigt att uppgradera kameran och implementera fler kameror för att förbättra synfältet. Optimalt för att framföra MARV säkert på sjön krävs ett 360° synfält. Lösningar på detta kan exempelvis vara en 360°-kamera eller flera kameror på MARV som filmar olika vinklar av

synfältet runtom. Dessa kameror behöver dessutom kunna filma i minst HD-upplösning (720p). Detta för att kunna urskilja miljö samt eventuella hinder genom kameraflödet.

Vid arbete mot förbättrat kameraflöde påträffas dock ett dilemma kring säkerheten hos systemet, som handlar om bildkvalitet i korrelation till den mängd data som kan överföras med säkerhet. Vid arbete mot förbättrad upplösning, bredare synfält samt högre fps uppstår drastiska ökningarna av mängden data som systemet behöver klara av att överföra. Med detta i åtanke kommer arbete kring avvägningar och tester behöva utföras då man förbättrar kameraflödet för att undvika överbelastning.

Eftersom endast begränsade antal tester utförts i dagsläget med belastat nätverk, saknas underliggande data kring funktionalitet och säkerhet. De drifttester som genomfördes under arbetet återspeglar ej en realistisk 5G-uppkoppling. Testerna med Ericsson utfördes vid Ericssons kontor på Lindholmen. Under testerna riktades Ericsson's 5G-mast mot testområdet för bästa möjliga uppkoppling. Dessutom kommer MARV användas utanför kusten och kräva 5G-uppkoppling ute i skärgården, vilket ej återspeglades under testerna under arbetet. Därav krävs vidarearbete med fler drifttester i syfte att efterlikna realistisk och allmän användning av 5G-nätet. Därefter kan man härleda väl understödda slutsatser kring säkerhet samt funktionalitet hos systemet.

Under drifttesterna valdes en Xbox-kontroll för att styra MARV. Detta för att kontrollen i fråga är portabel och smidig. Den är enkel att ta med sig till godtycklig plats och kopplas enkelt till operatörens dator. Godtycklig inmatningsenhet går dock att använda om drivrutiner för den enheten implementeras i webbappen. Nackdelen med Xbox-kontrollen är att den inte ger någon haptisk återkoppling (trots att viss haptik finns i kontrollen), vilket medför att MARVs beteende i vatten inte alltid uppfattas av operatören. I fallet att man vill ha en stationär station utifrån en operatör skall kunna styra MARV så är andra val av styrning fördelaktigt. Ett exempel hade varit en replika av MARVs styre där man även implementerar haptisk feedback för att efterlikna kraftiga accelerationer och vattenmotstånd från vågor och liknande. Detta hade tillåtit operatören att kunna manövrera MARV med bättre finmotorik samt ökad säkerhet.

Vid diskussioner med Fredrik Falkman från SSRS har en vision skapats där även drönare inkluderas i samarbete med MARV. Tanken är att drönaren skall följa efter MARV autonomt och filma MARV ovanifrån. Där operatören för MARV kan ta del av denna videoström från drönaren för en bättre uppsikt. Tanken är att MARV kommer synas i 3:e person. Dessutom är tanken med drönaren för SSRS att en operatör skall kunna flyga ut drönaren till platsen i förväg. Där denna nya intagna informationen kan hjälpa SSRS med deras uppdrag [44][45]. Vidareutveckling mot denna vision är central för att skapa ett system som både är användbart och tillåtet.

Vidarearbete kring webbappen är centrerat till säkerhet under drift. I dagsläget har webbappen ingen inbyggd säkerhet. Det är nu möjligt för en annan enhet på

samma nätverk att koppla upp sig mot webbappen och styra MARV. Detta är en säkerhetsrisk som behöver åtgärdas. Exempelvis åtgärdas detta med en inbyggd säkerhetsspärr hos webbappen som förhindrar annan enhet att ansluta då uppkoppling redan skapats.

### 5.4 Framtida lagar och regler

Som tidigare nämnt i rapporten är det alltså inte förenligt med dagens regelverk att framföra en ytfarkost förarlöst. Det händer dock mycket inom området och här diskuteras hur utvecklingen kan komma att se ut inom de närmsta åren. Henrik Tunfors menar att förändringen kommer att ske inkrementellt, för att skapa tillit till systemet för alla inblandade.

Det segment det händer mest inom enligt Tunfors är det som kallas “dirty, dull, and dangerous”. I många fall rör det sig om förhållandevis små applikationer för att automatisera väldigt specifika uppgifter, där AutoNaut [39] och DeepVision [38] är två bra exempel. Inom detta segmentet är tekniken som mest avancerad och graden av autonomi är högst menar Tunfors. Detta projekt befinner sig någonstans mellan handelssjöfart och små farkoster som mäter djup eller dylikt och det är någonstans däremellan regelverket ställs på sin spets. Tunfors menar att det ligger långt fram i tiden att saker som lägesbild, sensorer och styrning samverkar tillräckligt bra för att kunna hävda att man kan navigera med tillräckligt gott sjömanskap för att uppfylla sjövägsreglerna COLREG.

Regelinventeringen inom IMO, som framförallt gäller SOLAS och COLREG, är klar och 2022 ska regler och en kod för smarta fartyg börja skrivas. Målet är att det ska vara klart 2025, men det kan mycket väl ta längre tid än så eftersom det rent generellt är en långsam process inom IMO, där man träffas en eller två gånger per år och det är 174 stater som ska enas. Det Tunfors ser framför sig att regelverken kommer innehålla är bland annat att man från myndighetshåll kommer att kräva att fartygen framförs på ett lika säkert sätt som idag. Hur man hanterar de situationer och risker som uppstår kommer att vara helt avgörande. Det är svårt att säga vilka regler som behöver uppfyllas i detalj, men i grund och botten är det samma regler som idag menar Tunfors. Lindh gissar att det är lagligt att köra obemannade fartyg redan om 3 år, men det ska understrykas att det är en gissning.

Det finns ännu inga krav på vilka detaljerade funktioner som måste finnas för att i framtiden få framföra ett fartyg förarlöst. Däremot så finns det en mängd funktioner i bland annat COLREG som handlar om utkik, vilka kommer behöva uppfyllas även fast befälhavare inte befinner sig ombord. Exakt hur detta ska uppfyllas är inte specificerat, utan det kvarstår för redaren eller tillverkaren att bevisa. Därför kommer testperioden bli oerhört viktig, eftersom det är först då man får empiri för sina påståenden och inte bara riskanalyser och teoretiska resonemang.

I slutändan kommer det i Sverige att landa på Transportstyrelsen att godkänna ett system som är tillräckligt säkert för att få användas, i och med att det är de som

har tillsynsansvaret. Det troliga scenariot är att man då kommer att använda sig av en tredjepartskontroll liknande det norska klassningsbolaget DNV [46], som har erfarenhet av att etablera en process för vilka steg man ska genomgå för att kunna få ett godkännande av ett system som inte uppfyller de existerande konventionerna. Som det ser ut idag så sker det att man genom bevis, tester och riskanalyser med rigorös dokumentation och kontinuerlig bevisföring kan visa att produkten är säker. I dagsläget är det klassbolagen som har kompetensen och kapacitet för att kunna genomföra detta och Transportstyrelsen utvärderar sedan deras arbete vid ett eventuellt godkännande.

Både Tunfors och Lindh anser att policylabbet är en viktig del i arbetet kring regelverket. Genom policylabbet har en bra dialog etablerats där frågorna kan diskuteras i en neutral situation, så att frågorna kan tas upp med de relevanta aktörerna utan krav på att de måste besvaras. På så sätt kan alla kommentera de tänkbara problemen de ser vilket i sin tur förhoppningsvis leder fram till en arbetslista med utredningspunkter. Något liknande forum hade varit intressant för vidareutveckling av projektet, där SSRS skulle kunna vara en av tänkbara aktörerna.

# 6

## Slutsatser

Här presenteras de slutsatser som kan dras i och med resultaten som presenterades i kapitel 4 med frågeställningarna i del 1.3 som utgångspunkt.

Resultat som presenterats under 4.4 visar att 5G kan användas vid styrning utav MARV. Då endast fåtal, specifika, tester genomförts har slutsatserna som härletts blivit begränsade. Den grad av 5G-nät som krävs för att implementera MARV som ett verktyg för SSRS anses vara ouppfylld i dagsläget. Tester har visat att 5G som dataöverföringsmetod, under kontrollerade förhållanden, kan göras tillräckligt snabbt och stabilt för att säkert framföra MARV. Dock återstår en stor utvidgning och uppgradering av befintligt 5G-nät för att MARV skall kunna dra nytta av fjärrstyrning via 5G.

Testbädden som konstruerats under arbetets gång är representativ för MARVs styrsystem. Testbädden har använts för systemutveckling samt rigorös prövning av robusthet hos systemet. Det har varit en essentiell del i arbetet mot implementering på MARV och har fungerat mycket väl.

Vid tiden för publicering av den här rapporten, år 2022, är det inte lagligt att framföra någon typ av ytfartyg förarlöst, MARV inkluderat. När det kommer till förarlösa tester så medger Tunfors från Transportstyrelsen dock att de inte vill utgöra en bromskloss för utvecklingen och att de därför inte alltid vill veta var, när och hur tester av förarlösa system utförs för att slippa ingripa som inspektionsmyndighet. Det är dock mycket jobb som kvarstår för att det ska gå att utföra förarlösa tester med MARV med gott samvete, vilket hade varit fallet även om det hade varit lagligt. Det som krävs är många tester under lång tid för att få empiri för systemets robusthet och säkerhet, vilket förhoppningsvis kan uppnås under vidareutveckling av projektet.

Sammanfattningsvis har många utmaningar påträffats i projektet men trots det har ett fullt fungerande fjärrstyrningssystem utvecklats. I bild 6.1 visas det lyckade testet från Lindholmen, där MARV kontrolleras av operatören som befinner sig på land.

## 6. Slutsatser

---



**Figur 6.1:** Bild från test vid Ericssons kontor på Lindholmen

# Källförteckning

- [1] *Antenna image*, juni 2014. [Online]. Tillgänglig: <https://pixabay.com/vectors/tower-antenna-radio-station-send-310252/>.
- [2] *Laptop image*, juni 2017. [Online]. Tillgänglig: <https://pxhere.com/en/photo/630175>.
- [3] Safe at Sea, *RESCUERUNNER - SAVES LIVES AT SEA*. [Online]. Tillgänglig: <https://www.safeatsea.se/rescuerunner/>.
- [4] Chalmers University of Technology, *Safe remote-control solution with 5G for MARV-Marine Autonomous Research Vehicle*, Göteborg, 2021. [Online]. Tillgänglig: [https://www.chalmers.se/en/departments/e2/education/bachelor%27s-thesis/Documents/EENX15-22-20.pdf?fbclid=IwAR0DKVzTlh0DyWfHoTYzxvSVgHX1LRLSkg2\\_qSYNOHSS-690t8DiJMIS7Q0](https://www.chalmers.se/en/departments/e2/education/bachelor%27s-thesis/Documents/EENX15-22-20.pdf?fbclid=IwAR0DKVzTlh0DyWfHoTYzxvSVgHX1LRLSkg2_qSYNOHSS-690t8DiJMIS7Q0).
- [5] Sjöräddningssällskapet, "Bemanningskrav vid sjöräddning," i *HANDBOK FÖR SJÖRÄDDARE OCH SÄKERHETSORGANISATIONEN*, 6. utg., mars 2020, kap. 5, s. 5.
- [6] Nationalencyklopedin, *datakommunikation*. [Online]. Tillgänglig: <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/datakommunikation>.
- [7] Ericsson, *5G by Ericsson*. [Online]. Tillgänglig: <https://www.ericsson.com/en/5g>.
- [8] E. Alfredsson, N. Danielsson, A. Gunnarson, V. Lindström, B. Lundgren och J. Sjöberg, "Autonomous waverunner - Drive by wire," diss., Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg, 2019. [Online]. Tillgänglig: <https://odr.chalmers.se/handle/20.500.12380/257413>.
- [9] N. Danielsson och V. Lindström, "Development and Verification of an Autonomous PersonalWatercraft Testbed," diss., Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg, 2021. [Online]. Tillgänglig: <https://hdl.handle.net/20.500.12380/304353>.
- [10] V. Lindström och N. Danielsson, *REACH-Hardware*, sept. 2021. [Online]. Tillgänglig: <https://github.com/CASE-Lab/REACH-Hardware>.
- [11] CiA (CAN in Automotion), *History of CAN technology*. [Online]. Tillgänglig: <https://www.can-cia.org/can-knowledge/can/can-history/>.
- [12] S. Macenski, Foote Tully, B. Gerkey, B. Lalancette och W. Woodall, "Robot Operating System 2: Design, architecture, and uses in the wild,"

- ScienceRobotics*, årg. 7, nr 66, maj 2022. [Online]. Tillgänglig: <https://www.science.org/doi/10.1126/scirobotics.abm6074>.
- [13] V. Lindström, *MARV-ROS*, 2021. [Online]. Tillgänglig: [https://github.com/CASE-Lab/MARV-ROS/blob/main/colcon\\_ws/src/marv\\_scenarios/library/scenario.py](https://github.com/CASE-Lab/MARV-ROS/blob/main/colcon_ws/src/marv_scenarios/library/scenario.py).
- [14] *Understanding ROS 2 nodes*, 2022. [Online]. Tillgänglig: <https://docs.ros.org/en/eloquent/Tutorials/Understanding-ROS2-Nodes.html>.
- [15] *Understanding ROS 2 topics*, 2022. [Online]. Tillgänglig: <https://docs.ros.org/en/eloquent/Tutorials/Topics/Understanding-ROS2-%20Topics.html>.
- [16] Alex Diaconu, *Ably*, april 2022. [Online]. Tillgänglig: <https://ably.com/blog/introducing-the-websocket-handbook>.
- [17] *WebRTC*. [Online]. Tillgänglig: <https://webrtc.org/>.
- [18] Hancke Philipp, *What do the Parameters in webrtc-internals Really Mean?* [Online]. Tillgänglig: <https://testrtc.com/webrtc-internals-parameters/>.
- [19] *LTE: How does it work? What can it do? Where is it available?* [Online]. Tillgänglig: <https://www.telekom.com/en/company/details/the-nine-most-important-facts-about-lte-606446>.
- [20] M. Ruth, *International Maritime Organization (IMO)*, 2020. [Online]. Tillgänglig: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=ers&AN=87995616&site=eds-live&scope=site>.
- [21] *Convention on the international regulations for preventing collisions at sea, 1972*, Consolidated ed. London: International Maritime Organization, 2003.
- [22] J. J. Brimah, *United Nations Convention on the Law of the Sea (UNCLOS)*, 2020. [Online]. Tillgänglig: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=ers&AN=89474487&site=eds-live&scope=site>.
- [23] *SOLAS*. [Online]. Tillgänglig: <http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/solas>.
- [24] M. Lokrantz och L. Jönsson, ”Smarta fartyg - En självkörande sjöfartsmarknad utan hinder?” Transportstyrelsen, Norrköping, tekn. rapport, okt. 2019. [Online]. Tillgänglig: <https://www.transportstyrelsen.se/globalassets/global/publikationer/sjofart/rapport-191030.pdf>.
- [25] Trafikverket, *Policylabb smarta fartyg*, 2021. [Online]. Tillgänglig: <https://fudinfo.trafikverket.se/fudinfoexternwebb/pages/ProjektVisaNy.aspx?ProjektId=4800>.
- [26] *Kvaser Leaf Light V2 - Kvaser*. [Online]. Tillgänglig: <https://www.kvaser.com/resource/kvaser-leaf-light-v2/>.
- [27] M. Westman Svenselius, ”Här testas autonom sjöräddning i praktiken,” *Linköpings Universitet*, okt. 2018. [Online]. Tillgänglig: <https://liu.se/nyhet/har-testas-autonom-sjoraddning-i-praktiken>.
- [28] *Elsäkerhetsverket om IP-klassning*, mars 2021. [Online]. Tillgänglig: <https://www.elsakerhetsverket.se/privatpersoner/dina-elprodukter/krav-och-markning-pa-elprodukter/ip-klasser-for-markning-av-fuktskydd/>.

- [29] A. Andersson, A. Lind-Anderton, A. Hansson, J. Templin, L. Ljungquist och S. Hansson, "Autonomous Waverunner – Follow the Leader," diss., Chalmers tekniska högskola, Göteborg, maj 2020. [Online]. Tillgänglig: <https://hdl.handle.net/20.500.12380/301979>.
- [30] *RS PRO 11.1V Lithium-Ion Rechargeable Battery Pack, 5.2Ah - Pack of 1 / RS Components*. [Online]. Tillgänglig: <https://uk.rs-online.com/web/p/rechargeable-battery-packs/1449414>.
- [31] *Sandstrøm S3Y3CAM*, juni 2014. [Online]. Tillgänglig: <https://manuall.fi/sandstrom-s3y3cam-verkkokamera/>.
- [32] *E-Lins H685*. [Online]. Tillgänglig: <https://www.e-lins.com/EN/H685-5G-Router.html>.
- [33] *Quectel RM500Q-GL*. [Online]. Tillgänglig: [https://www.quectel.com/wp-content/uploads/2021/03/Quectel\\_RM500Q-GL\\_5G\\_Specification\\_V1.3.pdf](https://www.quectel.com/wp-content/uploads/2021/03/Quectel_RM500Q-GL_5G_Specification_V1.3.pdf).
- [34] L. Johansson, *Remote-Network-Steering*, maj 2022. [Online]. Tillgänglig: <https://github.com/linusrj/Remote-Network-Steering>.
- [35] L. Johansson, *MARV-ROS-WITH-RNS*, maj 2022. [Online]. Tillgänglig: <https://github.com/linusrj/MARV-ROS-WITH-RNS>.
- [36] T. Levent-Levi, *WebRTC Signaling Servers: Everything You Need to Know*, juli 2020. [Online]. Tillgänglig: <https://www.wowza.com/blog/webrtc-signaling-servers>.
- [37] L. Kobyliński, "Marine Transport and the Fourth Industrial Revolution," Foundation for Safety of Navigation och Environment Protection, Itawa, tekn. rapport, 2016. [Online]. Tillgänglig: <https://www.wt.pw.edu.pl/content/download/6256/35235/file/Lech%20Kobyli%C5%84ski.pdf>.
- [38] DeepVision, *Welcome to the future of seabed imaging!* 2018. [Online]. Tillgänglig: <https://deepvision.se/>.
- [39] AutoNaut, *Wave Propelled Uncrewed Surface Vessels*, 2019. [Online]. Tillgänglig: <https://www.autonautusv.com/about-us>.
- [40] SAAB, *Saab samordnar övning inom OCEAN2020-projektet i Östersjön*, aug. 2021. [Online]. Tillgänglig: <https://www.saab.com/sv/newsroom/press-releases/2021/saab-samordnar-ovning-inom-ocean2020-projektet-i-ostersjon>.
- [41] C. Kullenberg Rothvall, "Färjerederiet upphandlar fyra nya vägfärjor," *Sjöfartstidningen*, okt. 2020. [Online]. Tillgänglig: <https://www.sjofartstidningen.se/farjerederiet-upphandlar-fyra-nya-vagfarjor/>.
- [42] M. Sandelin, "Jungfruresa för autonoma Yara Birkeland," *Sjöfartstidningen*, nov. 2021. [Online]. Tillgänglig: <https://www.sjofartstidningen.se/jungfruresa-for-autonoma-yara-birkeland/>.
- [43] E. Hollnagel, "Cognition as control: a pragmatic approach to the modelling of joint cognitive systems," Linköping, okt. 2002. [Online]. Tillgänglig: [https://www.researchgate.net/publication/242118181\\_Cognition\\_as\\_control\\_a\\_pragmatic\\_approach\\_to\\_the\\_modelling\\_of\\_joint\\_cognitive\\_systems\\_Control\\_91-23](https://www.researchgate.net/publication/242118181_Cognition_as_control_a_pragmatic_approach_to_the_modelling_of_joint_cognitive_systems_Control_91-23).

- [44] *Project for sea rescue operations with drones secures funding and begins flight testing.* [Online]. Tillgänglig: [https://www.airpelago.com/post/project-for-sea-rescue-operations-with-drones-secures-funding-and-begins-flight-testing?fbclid=IwAR2ZrK0usrBGeQPwZJtefEXTJLDYAt\\_YS0\\_0ZfnqUyk01CtDU7G2DsFsiGA](https://www.airpelago.com/post/project-for-sea-rescue-operations-with-drones-secures-funding-and-begins-flight-testing?fbclid=IwAR2ZrK0usrBGeQPwZJtefEXTJLDYAt_YS0_0ZfnqUyk01CtDU7G2DsFsiGA).
- [45] *Klart för drönartest i Göteborgs skärgård.* [Online]. Tillgänglig: [https://www.transportstyrelsen.se/sv/Nyhetsarkiv/2022/klart-for-dronartest-i-goteborgs-skargard/?fbclid=IwAR2pElTT8HG-DXNk95fUNn-a\\_9VY1bUEnS4p4mAiXUvsCOPZTlJdevMnsrY](https://www.transportstyrelsen.se/sv/Nyhetsarkiv/2022/klart-for-dronartest-i-goteborgs-skargard/?fbclid=IwAR2pElTT8HG-DXNk95fUNn-a_9VY1bUEnS4p4mAiXUvsCOPZTlJdevMnsrY).
- [46] DNV, *About DNV - Maritime.* [Online]. Tillgänglig: <https://www.dnv.com/about/maritime/index.html>.

# A

## Transkribering av intervju med Henrik Tunfors, Transportstyrelsen/IMO

**Medverkande: Anders Logren (A), Martin Lamm (M),  
Henrik Tunfors (H), Datum för intervju: 2022-03-25**

A: Vi kan kanske börja med en kort presentation, vill du berätta lite om dig själv?

H: Ja men det kan jag väl göra, jag är jurist så jag har inte någon sjöfartsutbildning eller dylikt. Jag har jobbat med de här frågorna ganska länge, först på Sjöfartsverket och nu på Transportstyrelsen, med regler som fokus hela tiden. Först skedde detta som jurist och föreskriftsjurist, men sedan arbetat mycket med internationella förhandlingar och därefter på implementeringsidan några år i någon slags expertsfunktion. Då arbetade jag som chef mest för tekniker som implementerade de här reglerna. Nu är jag någon slags fri agent som hanterar olika frågor som andra inte hinner med, och då är smarta eller autonoma fartyg en sådan fråga som inte har landat i organisationen än. Jag sitter på någon slags strategifunktion och vi brukar få plocka in och plocka ner de här lite oformbara frågorna som inte riktigt är färdigförhandlade eller som inte riktigt är definierade än. Vi försöker paketera det, så att det fungerar i linjeorganisationen enkelt uttryckt. Så det är helt enkelt därför jag har fått bekanta mig med smarta fartyg och den utredningen ni har hittat. Jag var inblandad i den också, tillsammans med Lina Jönsson och Malin Lokrantz som har skrivit det mesta, men jag har varit medverkat i bakgrunden.

M: Hur många år har du/ni jobbat med de här områdena, och de här frågorna?

H: I år har jag jobbat med sjöfartsfrågor generellt i 20 år, så jag började alltså direkt efter examen med detta. Jag har jobbat med autonom sjöfart sedan 2018/2019, då vi började förhandla detta i IMO som är vårt FN-organ. Det är ett FN-organ med specifik sakkompetens kring sjöfartsfrågor (Safety, environment, efficiency, facilitation) och bistånd kopplat till mindre bemedlade stater.

A: Jag tänkte också att vi kan presentera vårt projekt lite mer ingående, så att

du får en inblick i vad vi sysslar med. Projektet är ett samarbete med SSRS som har pågått i några år nu. Målet är att få med sig en modifierad vattenskoter till räddningsplatserna, utan att en person behöver köra den dit manuellt eftersom det är väldigt utmattande. Från början var tanken att vattenskotern följer ledarbåten autonomt och förarlöst, men det har utvecklats till att man i vissa fall kan tänka sig att endast köra ut med vattenskotern utan ledarbåt för rutinuppdrag som att leverera en bensindunk eller liknande. Vi sitter med den tekniska biten, och försöker implementera en lösning som möjliggör fjärrstyrning av vattenskotern via trådlöst nätverk (4G eller i framtiden 5G). En del i projektet har varit att undersöka vad man får och inte får göra enligt lag, och det vi har landat i hittills är att det inte är förenligt med dagens regelverk. Däremot är det intressant för vår del att klargöra exakt vad som gäller och vad som kan möjligen komma att gälla inom en överskådlig framtid.

H: Ja men precis, och ni har ju hittat vår utredning där vi har tittat på frågor kring detta, om än kanske inte för vattenskotrar specifikt. Utredningen är en kartläggning av vad som händer inom detta område i Sverige, och inom vilka segment som utvecklingen sker aktivt. Det var tre år sedan utredningen gjordes, och man ska ha med sig att det har hänt en del sedan dess också. Vi visste väldigt lite om vilka företag som fanns som sysslade med detta. Vi kände till Saab Kockums som har stor erfarenhet av militära applikationer, men de börjar också röra sig mer in på det civila området som man får säga att SSRS tillhör. Saab har obemannade fartyg som är runt den här storleken (ca. 5m som störst) som de håller på att utveckla.

Problemet är att vissa grundläggande regler sätter stopp för användandet av ytfartyg av detta slag. Exempel på sådana regler är att fartyget ska vara sjövärdigt, men kanske framför allt att det ska finnas en betryggande bemanning. I den lagstiftning där reglerna finns, så existerar det inga begränsningar i fartygets storlek. Den första frågan är om en vattenskoter är ett fartyg, och jag ska erkänna att jag inte läst på specifikt om vattenskotrar men jag skulle tro att det klassas som ett fartyg. Reglerna gäller förmodligen ner till minsta möjliga radiostyrda båt, vilket är absurt på ett sätt, men man har tyvärr inte satt någon gräns. Det innebär att vattenskotern ska vara betryggande bemannad, och det finns ett påhäng av regler kring när ett fartyg kan anses vara betryggande bemannat. På stora fartyg ska man bl.a. kunna evakuera och släcka bränder och det ska finnas en organisation som ska kunna omhänderta en mängd olika funktioner som framdrivning etc. Reglerna gäller ända ner till de mindre fritidsbåtarna, där det räcker med kanske en eller två personer som sköter allting. Om vi ska gå direkt på pudelns kärna så är det väl det som är den stora utmaningen när det gäller förarlösa/självkörande/fjärrstyrda/autonoma/smarta fartygen. Så länge man har en person ombord är det okej, men så fort man tar bort den personen blir det inte förenligt med regelverket. Tekniken kanske är lika säker som att ha en förare ombord, men regelverket har inte hunnit med utan man har kvar de här bestämmelserna för bemanningen.

A: Exakt, och en av våra frågor gäller just det här kring att det inte finns någon undre gräns. Det finns ju trots regelverket flera projekt med helt förarlösa båtar där

(förläsa) tester genomförts på havet. Vår första fråga är då om vad man får och inte får göra någonsin provats rättsligt i Sverige, eftersom det inte är lagligt?

H: Kort svar: jag vet inte. Det har säkert provats i handelssjöfartssammanhang, och det kan vara så enkelt som att vi (Transportstyrelsen) sätter en bemanningsnivå som redaren inte tycker är rimlig, och då välja att överklaga beslutet vilket skapar en form av praxis. När det gäller helt förläsa fartyg så finns det mig veterligen inget sådant utslag. Däremot så finns det som du säger projekt, om än inte så många i Sverige där det ställts på sin spets, men däremot är man väldigt aktiva i Norge med projekt som Yara Birkeland och Askoprojektet. De projekten rör stora containerfartyg som ska köra helt autonomt i framtiden. Där har antagligen den norska myndigheten, vår motsvarighet, fått hantera en mängd olika utmaningar när man ska godkänna det här. Man kommer börja med bemannade fartyg, det gör man alltid, för man inser att det här måste ske inkrementellt. Man måste skapa tillit så att allmänheten, andra båtar, och andra som kan tänkas påverkas av detta har tillit till systemet; annars går det åt skogen. Jag kan dra Tesla som ett exempel, där förare satt bilen på autopilot och satt sig och läst tidningen och liknande, vilket i vissa fall resulterat i krascher som är kontraproduktiva för utvecklingen. Men sammanfattningsvis så vet jag inte svaret på frågan.

A: Lite kopplat till det så undrar jag om du känner till Saab Kockums s.k. Pirayor (små förläsa ytfartyg, ungefär lika stora som en vattenskoter). Vad jag har förstått så har Saab utfört helt förläsa tester?

H: Ja, det har dem gjort. Vi känner till det, men vi känner inte till hur, när, eller var dem har gjort eller gör det. Vi vill heller inte veta alltid vad som händer, för vi vill inte tvingas ingripa som inspektionsmyndighet. Vårt sätt i dagsläget, så här får man ju inte säga egentligen, men vi vill inte hindra utvecklingen heller. Vi inser att Saab Kockums, som är ett väldigt erfaret företag med väldigt seriöst säkerhetsarbete, utför sina tester väldigt kontrollerat, säkert, och schysst så vi vill inte hindra den utvecklingen som kan kulminera i en färdig produkt någon gång när vi kanske är färdiga med lagstiftningen. Vi vill inte tvinga dem att vänta med att utveckla sina system i tio år till dess att vi är färdiga med lagstiftningen, utan att dem då redan kan sätta den på marknaden. Det är så vi ser vårt arbete här, att vi inte ska vara en bromskloss för den svenska produktutvecklingen.

Men om det skulle hända någonting (olycka), det är det som är en spännande faktor, skulle det ske en olycka och människor dör så blir det ju lite jobbigt naturligtvis. Då kan det bli en domstolsprövning som avgör.

A: Skulle ni kunna ryka dit på det, i och med att ni har sett mellan fingrarna när det gäller testerna av förläsa båtar?

H: Ja, och vi har ju dialoger med Saab Kockums och de ingår i ett projekt där vi också ingår; i ett policylabb där vi pratar just om det här med lagar och regler och var gränserna går. Så vi sitter med Färjerederiet, Sjöfartsverket, och Saab Kockums och diskuterar den här typen av frågor. Skulle det hända någonting så är vi medvetna

om att det inte skulle se bra ut för oss, och i förlängningen även regeringen som sitter på lagstiftningsmakten. Så många av de här reglerna är det inte vi som äger kan jag säga också, det är regering och riksdag som sitter på de viktigaste knutarna.

A: Sen finns det andra projekt också, som DeepVision och AutoNaut (som har testats vid Gotlands kust).

H: Ja precis, det finns en mängd sådana projekt. Segmentet de verkar inom brukar kallas ”dirty, dull, and dangerous”, och innefattar förhållandevis små applikationer som används främst för att robotisera och automatisera uppgifter som är exempelvis farliga eller monotona och tråkiga. (t.ex. minsvepning och djupmätning). Det är inom detta segment det händer mest, och det är här tekniken är som mest avancerad och närmast fullt autonoma. Det är dock en skala, och ett exempel på en applikation i andra änden av skalan är båtar där lasthanteringen automatiseras. Det är inte samma grad av autonomi, och inte alls revolutionerande på något sätt. Ett annat exempel är maskinrum på båtar, där människan har ersatts av larm som ljuder när något är fel.

Flera exempel finns alltså där tekniska system redan ersatt människan, men när man går in och försöker ersätta mänsklig navigation så hindras man av de internationella sjövägsreglerna från 1972 (COLREG). Där i står det att man ska navigera med gott sjömanskap, och det är då det ställs på sin spets. Allting ska samverka; lägesbild, sensorer, styrning och så vidare. Och det ligger långt fram i tiden. A: Min bild av situationen är att både lufttrafik (drönare) och vägtrafik (självkörande bilar) ligger före i utvecklingen både när det gäller regler och teknik. Delar du den bilden?

H: Ja, till viss del är det ju så. Det har hänt mer, det har satsat större resurser framför allt på vägtrafik. Det finns förklaringar till det och det är enklare när man har ett trafikslag där det går att modellera på ett annat sätt. Det finns till exempel inte lika stora variationer på bilar eller lastbilar som det finns på ett fartyg. När det gäller vägtrafik behöver man inte heller ta lika stor hänsyn till väder, vind, och strömmar som man behöver göra till havs. En del av förklaringen är alltså att det till havs är lite mer komplext rent tekniskt, men det är absolut så att sjöfarten ligger efter.

Framför allt så kan man säga att det jag jobbar med ligger efter, alltså lagstiftningen. För vägtrafiken i Sverige finns det idag testlagstiftning så att man kan få testa autonoma system även i trafik. I flygtrafiken har man fjärrstyrda system, och en lagstiftning har funnits för detta under ganska lång tid. Så rent lagligt är vi (sjöfarten) långt efter.

A: I rapporten fick jag också bilden av att Transportstyrelsen till stor del följer IMO's regelverk. Är det fortfarande så att Transportstyrelsen är konservativ i det att man väntar in de internationella reglerna innan regler ändras, eller finns det tendenser till att man kan göra särskilda undantag på nationell nivå?

H: Jättebra fråga, och som jag nämnde finns policylabbet till exempel. Där använder vi oss av olika case, till exempel Ljusteröleden som är Trafikverkets färja som ska

byggas. De vill bland annat ha autonoma system på den, och där sitter vi ner och ser vad vi kan göra inom dagens rättssystem så långt det går. Det händer alltså saker hela tiden, allra mest nationellt och det är på samma sätt i Norge där all utveckling sker på norskt territorium.

Så länge vi inte har regler som kommer från IMO så har vi inget gemensamt eller harmoniserat regelverk, och finns inte det så är det jättesvårt att åka med ett sådant system mellan stater. Då är nämligen inte exempelvis en svensk redare säker på att systemet accepteras i det andra länder för att det saknas gemensamt beslutsunderlag. I vanliga fall har man internationella certifikat som gör att man kan åka internationellt, men det är det som saknas här. Vi har inte certifierat något fartyg än, men vi har genom detta projekt påbörjat ett sådant arbete. Det är en mognadsprocess som vi måste genomgå här på Transportstyrelsen.

M: Vilka är det som driver de här frågorna och försöker påskynda förändring? Är det primärt branschen, eller är det olika myndigheter?

H: Generellt sett skall jag säga att det sker gemensamt genom till exempel det här projektet (policylab), och det finns också fokusgrupper. Det finns ett nätverk av aktörer, och vi försöker hålla tryck på frågan på olika sätt. Bland annat Lighthouse och Rise hjälper till med detta, men till syvende och sist så är det riksdag och regering som behöver fatta vissa grundläggande beslut.

A: Det stod också i rapporten att i utredningen om självkörande fordon på väg föreslås att begreppet förare ska breddas och innebära att en förare kan framföra ett fordon i eller utanför fordonet eller med fjärrkontroll på avstånd. Det står också att något liknande skulle kunna fungera även inom sjöfart. Har det hänt något mer med det förslaget sedan 2019 då rapporten skrevs?

H: Nej, inte i Sverige konkret, däremot så kan det bli en av de frågorna vi får ta om hand i det här projektet som jag nämnde. En del av projektet gäller just fjärrstyrning och hur man ska se på att ha kommandobryggan på ett annat ställe än på fartyget. Om man kan separera det och ändå behålla säkerheten så bör det ju inte spela någon roll. Danmark har ett väldigt kreativt synsätt, som kommer att lanseras snart, där man ska ha ett säkerhetsbesättningsbeslut för ett fartyg som har bryggan i land men att det i beslutet ska ses som en enhet. Då menar man att man behåller befälhavaren och styrningen ombord på fartyget, trots att man fysiskt sitter på land. Det är den typen av akrobatik man får ägna sig åt i tillämpningen av lagstiftningen för att kunna genomföra det med dagens regelverk.

A: Har Danmark samma regler som gäller i Sverige?

H: Vi har i princip samma och det mesta kommer från IMO. Sen finns det vissa regler i sjölagen som inte kommer från IMO, utan det är en annan typ av lagstiftning. Den ser dock likadan ut i Sverige, Danmark, Norge, Finland, och England så vi har egentligen samma förutsättningar. Skillnaden är att vi har kommit olika långt i mognaden när det gäller att fatta nya beslut.

A: Det här med testområden som du nämnde lite innan, som är väldigt intressant och aktuellt för vårt projekt, har det hänt något gällande det sedan rapporten skrevs? Är man något steg närmare att kunna upprätta särskilda testområden där ny teknik kan testas utan att omfattas av reglerna?

H: Nej, den frågan har dött lite kan man säga. Det är ett resultat av dialogerna vi har haft med branschen, det verkar inte vara särskilt efterfrågat. Saab Kockums till exempel är inte intresserade av att baxa i väg sin utrustning till ett testområde som kanske ligger 50 mil ifrån deras fabrik, utan de vill testa i sitt närområde. I Finland och Norge har testområden etablerats, men de har aldrig använts, åtminstone inte i Finland.

Däremot har man testat autonoma funktioner, men då gör man det på existerande fartyg i dess normala operation. Jag vet att Finland har kört vägfärjor autonomt, och Norge har Moss-Horten leden som går över Oslofjorden där de har testat att köra båtar autonomt i normal operation med befälhavare ombord som övervakar. De har fått väldigt goda resultat, men det är inte riktigt intressant för dem med testområden, de vill testa skarpt i stället. Det blir mer som ett laboratorium om man sätter fartyget i en annan miljö, man vill hellre testa funktionerna i den miljö där fartyget ska användas. Kontentan, och det korta svaret, är att vi inte har gått vidare med frågan eftersom det inte finns någon efterfrågan. Vi har dock tagit fram riktlinjer för tester i IMO och på EU-nivå. Riktlinjerna gäller tester för smarta fartyg, som har omsatts till svenska riktlinjer som ska möjliggöra tester med smarta fartyg.

M: Det får vi absolut kika på. Är det någon specifik svår fråga som ni kommit längre med sedan rapporten skrevs?

H: Regelarbetet internationellt har kommit långt. Vi har arbetat med detta de senaste två åren, och det som ska göras nu är att ta fram en målbaserad kod för det som kallas MASS (Maritime Autonomous Surface Ships) i internationell rätt. Nationellt har vi policylabbet där vi arbetar med branschen och försöker ta små steg för att i förlängningen kanske kunna certifiera fartyg genom riskanalyser eller genom andra alternativa lösningar. Inga större steg har alltså tagits, men vi arbetar kontinuerligt med det.

A: Det stod också i rapporten att branschen upplever att det går långsamt med regelinventeringen. Har det skett någon förändring på den fronten, eller upplevs det fortfarande som långsamt?

H: Regelinventeringen i IMO är färdig, och det har varit en tvåstegsprocess. Först arbetade vi med att identifiera alla gap genom en jättelik gapanalys, där det undersöktes vilka hinder som finns för smarta fartyg i regelverket. Om hinder identifierades så undersökte vi sedan om regeln behöver ändras, eller om den går att omtolka. Vi har alltså gått igenom alla bestämmelser inom safety-området. Framför allt gäller det SOLAS, COLREG, och Load Lines konventionerna. Nu har vi en bra bild av hindren som finns, och nu i år ska vi börja skriva regler och en

kod för den här typen av fartyg.

Sammanfattningsvis har vi alltså kommit en bra bit på vägen, men beslutsfattandet tar tid. Målet är att det ska vara klart 2025, men vi får se hur långt vi hinner på tre år. Det är en långsam process i IMO rent generellt, vi träffas en eller två gånger per år och det är 174 stater som ska försöka enas. . . Sen ska det bli rätt också, och det är viktigt att inte förhastas. Att ändra reglerna tar lika lång tid som att upprätta dem så man måste landa rätt direkt, annars blir det väldigt jobbigt.

A: Förståeligt att det tar tid, inte helt lätt såklart. För att återgå till testerna vi pratade om innan, känner du till några fler aktörer än Saab som har utfört tester som ni vet om men väljer att blunda för?

H: Saab är dem vi har haft mest kontakt med. Sen har vi haft kontakt med en mängd av det vi kan kalla robot- eller drönarföretag, som exempelvis AutoNaut. Företagen vill dels veta vad som gäller, men ibland orsakar deras produkter skada, eller tar skada själva. Även kustbevakningen har rapporterat in någon gång att något låg och drev i en farled, vilket visade sig vara en farkost från ett liknande projekt. Det viktigaste egentligen är att de inte orsakar skador. Om en fritidsbåt exempelvis skulle köra in i en sådan farkost så skulle den kunna orsaka ganska stor skada även fast det är en liten farkost. Där behöver man hitta lösningar så att sådana situationer inte uppstår.

Det finns även andra tillverkare som exempelvis Candela som tillverkar eldrivna bärplansbåtar som de i förlängningen vill kunna fjärrstyra och utrusta med autonoma funktioner. De har samarbetat med region Stockholm för att kunna komma in i kollektivtrafiken. Det finns alltså olika projekt som är i gång. Norge har också projekt, som bland annat små cykelfärjor i städer och dylikt, som i vissa fall är obemannade, eller innefattar någon form av autonomi.

M: Om regelverken skulle ändras, trots att det kanske ligger flera år fram i tiden, vad tror du att de nya regelverken skulle kunna innehålla?

H: Det jag ser framför mig är att man från myndighetshåll kommer att kräva att fartygen framförs på ett lika säkert sätt som fartygen idag framförs. Det innebär kanske inte att de ska ha en lika hög säkerhetsnivå, men den som vill köra ett autonomt eller fjärrstyrt fartyg måste hela tiden omhänderta en mängd olika risker och olika moment som uppstår. Hur man hanterar riskerna när de uppstår genom riskanalys eller likvärdighetsanalys för att hela tiden se hur man får fartyget att framföras lika säkert som på ett konventionellt fartyg kommer vara avgörande. Jag kan inte säga i detalj vilka regler som behöver uppfyllas men i grund och botten är det samma regler som gäller idag. Om det finns passagerare ombord ska de kunna evakueras på ett tryggt och säkert sätt, och där kan automationen hjälpa, och till och med göra evakueringen säkrare.

Smarta fartyg kan vara en mängd olika saker, och det måste ju inte handla om autonoma eller obemannade fartyg, utan det ”smarta” kan ha som mål att öka komforten ombord eller minska bränsleförbrukningen m.m. I princip så behöver man

konstatera att det är lika säkert som konventionella fartyg.

A: Vem är det som i slutändan skulle kunna godkänna ett system eller ett smart fartyg som tillräckligt säkert? Är det Transportstyrelsen som avgör det, eller vem hamnar det på?

H: Ja, tyvärr hamnar det väl på oss i och med att det är vi som har tillsynsansvaret. Om jag ska tjuvkika lite på hur man kan rigga det så kan man vända blicken åt Norge som har kommit längre när det gäller det här med tredjepartskontroll. De har fördelen av att ha världens största klassningsbolag, DNV, och kan luta sig väldigt mycket på deras kompetens. De använder sig av en process som kallas 1455 som handlar om alternativ design och är internationellt antagen. Med hjälp av 1455 kan man sätta upp en process för vilka steg man ska genomgå för att kunna få ett godkännande av ett system som inte uppfyller de existerande konventionerna. Det går ut på att man genom olika bevis, tester, riskanalyser etcetera kan få till en lika säker produkt. Som det är idag är det den typen av process man använder, och där krävs det rigorös dokumentation och kontinuerlig bevisföring.

I dagsläget är det DNV eller andra klassbolag som har den kompetensen och kapaciteten att göra beräkningarna och ta fram de nödvändiga rapporterna som vi sen i tur tittar på. Vi har inte själva kapacitet eller kompetens att göra det hos oss. Klassningsbolagen är enorma, och har gigantiska resurser för att ta fram det som krävs. Sedan kollar vi på deras arbete, och försöker begripa det när vi ska godkänna fartygen. Det är så jag ser framför mig att det kommer gå till, men vi har inte satt det på pränt än; vare sig nationellt eller internationellt. Norge har dock kommit en bit och tagit fram riktlinjer kring detta.

A: Hur gör man då med tester i Norge, för jag tänker mig att det är en del av bevisföringen? Som jag förstår det testar man i skarpt läge, och jag undrar då om det kommer att fungera på samma sätt i Sverige?

H: Det är såklart jättesvårt att säga. De fartygen som vi pratar om är byggda, men inte utrustade och satta i drift till 100% än. Jag vet för lite kring just detta för att kunna säga någonting med säkerhet, men jag utgår från att dem testas i skarpt läge. De kommer inte köras helt autonomt från början, utan det är en process som sker stegvis; alltså en testperiod som du säger. Det är viktigt att visa att systemen håller måttet, och att de inte är farliga.

M: Så än så länge är det företagen som jobbar med det här som själva avgör vilka sensorer som de tycker är viktiga för att klara vissa riktlinjer, det finns alltså i dagsläget inga krav från er sida på vilka sensorer och dylikt som krävs på ett smart fartyg?

H: Nej, det finns inga regler med krav på detaljerade funktioner, så är det. Däremot så finns det en mängd funktioner i regelverken idag, som COLREG och STCW om utkik. Alla de kraven måste uppfyllas, men vi har inte specificerat hur man på ett fartyg som ska vara obemannat uppfyller de kraven, så det har du rätt i. Det måste redaren eller tillverkaren bevisa, och sen får vi ta del av bevisen och avgöra

om vi tror att det fungerar. Som du säger blir testperioderna oerhört viktiga, för det är vår chans att Yara Birkeland eller ett annat fartyg kör på det sätt de ska i sin verksamhet. Då får vi empiri för det hela, inte bara riskanalyser och teoretiska resonemang, utan även faktiska erfarenheter som visar att det håller. Så kommer det antagligen gå till, men det finns inte nerskrivet än.

# B

## Transkribering av intervju med Jens-Olof Lindh, Saab Kockums AB

**Medverkande: Anders Logren (A), Martin Lamm (M),  
Jens-Olof Lindh (J-O), Datum för intervju: 2022-04-08**

M: Vi kanske kan börja med att du presenterar dig själv?

J-O: Jag heter Jens-Olof Lindh och jag är specialistexpert på Saab Kockums AB, och jag jobbar på forskning- och utvecklingsidan. Jag har en bakgrund med ett par år inom flottan och sedan en civilingenjörsutbildning inom industriell ekonomi. Jag kom till Kockums år 2000 och började arbeta med nätverkssystem, obemannade båtar, systemsäkerhet, och driftsäkerhet. Jag hade licat innan i informatik, och under Kockums-perioden var jag industridoktorand så jag har doktorsexamen i datorvetenskap. Jag tittade just på styrbarhet och att förstå hur tre obemannade minsvepare skulle kunna köra tillsammans och vad som hindrar dem från att fungera som en enhet om man vill köra dem från land. Ungefär sedan 2007-2008 så har vi haft obemannade båtar, Pirayorna, i drift som experimentanläggningar för att kunna förstå metoder och mekanismer för att få båtar att göra smarta saker till sjöss med eller utan folk ombord.

Sedan 2018 så har vi även en stridsbåt 90 från Dockstavarvet som används som flytande plattform. Min civila behörighet är Fartygsbefäl klass VIII, Maskinbefäl klass VIII plus högfarts delarna. Jag är testledare och verksamhetsutvecklare för autonomi/obemannade programmet för Saab Kockums räkning. Jag gör både tester till sjöss och laboratorieexperiment, och jag ingår i några samarbetsgrupper som bland annat policylabbet. Jag har också varit med och skrivit SARUMS-rapporten för EDA i Bryssel. Vart det här är påväg vet jag inte riktigt, men det har blivit väldigt mycket mer populärt än vad det har varit. I ganska många år har det varit en ganska obskyr omsidesverksamhet men nu har vi så pass lång erfarenhet så att vi har chans att vara med och påverka saker och ting. Därutöver är jag med i styrelsegruppen för WASP-programmets WARA-PS som är övningarna som har att göra med sjöräddningsscenario som görs i Västervik omkring september varje år.

A: Första frågan handlar om testområden. I vårt fall hade det varit relevant med ett etablerat testområde för smarta fartyg där vanliga sjöregler inte gäller och där annan sjöfart inte kan passera. Tunfors uppgav att de har undersökt frågan, men att det inte finns en efterfrågan från branschen. Har ni något behov av särskilda testområden, eller vill ni ha det som det är idag?

J-O: Vi är helt klart en del av branschen, och det finns runt 5-6 ytterligare aktörer inom just detta området. För vår del så är det så att när vi började med det här runt 2007 med Piraya-båtarna så sa vi att vi kanske måste ha ett avlyst område att köra i, men sen insåg vi att det inte kommer att hjälpa oss ett dugg. Det beror på att man i verkligheten måste testa att väja för andra båtar, följa sjöregler och så vidare. När man avlyser ett område så går det till så att man definierar en plats och en tid, och sen publicerar man det offentligt. Även om man gör allt detta är man fortfarande skyldig att följa all befintlig sjölagstiftning, så det enda man uppnår egentligen är att man kan minska antalet människor som kör in, men det är ganska många som missar eller struntar i avspärningarna ändå. Sammanlagt så är det för vår del inte värt besväret, och vår ståndpunkt är att vi lär oss hantera båtarna inom gällande lagstiftning och den viktigaste säkerhetsmekanismen vi har är att undvika att köra om det finns annan sjöfart i närheten.

I den här diskussionen om särskilt avlysta områden för tester med obemannade fartyg i Sverige så finns det ingen lättnad. Norge har fyra områden, och Finland har två. Kina hittar på egna farleder för sina fartyg som de inte säger så mycket om, trots att de snart har autonoma handelsfartyg som kör snart. Även Danmark, Sydkorea, Japan, Frankrike, Belgien, Holland, England, USA med flera är aktörer i branschen. Jag tror att långsiktigt så måste vi få detta att funka inom ramen för den vanliga verksamheten, och det är där utmaningen ligger.

A: Ni har ju hållit på med det här väldigt länge, känner ni att det står still rent juridiskt eller har ni sett en förändring under tiden?

J-O: Vi har en väldigt bra dialog just nu genom policylabbet, som finansieras av Trafikverket. Medlemmarna tillsammans tittar på en rad olika scenarion, som t.ex. en vägfärja i en trång farled, och små båtar till havs för miljöövervakning. Vi har en diskussion om hur sjötrafikledning från land, VTS-funktionen (Vessel Traffic Services), skulle kunna samverka med obemannade båtar eller fartyg med hög nivå av automatiserade funktioner från land. Tack vare policylabbet har vi kunnat etablera en bra dialog där vi kan diskutera frågorna i en neutral situation. Det är en slags gränsdragning, vi skickar inga formella frågeställningar till Sjöfartsverket och Transportstyrelsen som de är tvungna att svara på, men vi kan ta upp frågorna med de relevanta aktörerna så de ges möjlighet att kommentera de tänkbara problemen de ser. Det i sin tur leder förhoppningsvis fram till en arbetslista med utredningspunkter som då är resultatet efter policylabövningen.

M: Skulle du säga att alla parter i det här policylabbet är positivt inställda till att driva igenom regeländringar, och är det någon som tycker att det går långsamt framåt eller dylikt?

J-O: Ja, jag tycker att alla är positivt inställda och jag tycker inte att det är någon som upplever att det går långsamt. Vi måste hålla rätt på rollerna här; jag som teknikutvecklare på industrin tycker att det är bättre ju fortare man kommer någonstans. Samtidigt har jag kunskap och full respekt för gällande lagstiftning, och det är aldrig vår avsikt att bryta mot lagen. Däremot finns det i det här sammanhanget ett antagande som är typ 2000 år gammalt där det antas att det finns en människa som kör varje båt. Det har aldrig formaliserats i den bokstavliga meningen, eftersom det är antaget att det alltid finns.

Rollen för Transportstyrelsen är att vara sakkunniga för statens räkning, och att vara tillsynsmyndighet på många olika sätt och ta fram de underlag som behövs för att kunna stifta sjölagarna och upprätthålla dem. Deras jobb är att ha örnkoll på den gällande sjölagstiftningen, och jurister sitter inte och gissar. Orden är deras verktyg och varje ord har en betydelse i sitt sammanhang som är definierat genom praxis och förarbete, och är förankrat i någon slags förordning. Jag ser inget bekymmer med att vi har olika uppfattningar, i och med att vi har olika roller och olika intressen. Tidigare har jag uppfattat det som en svårighet för Transportstyrelsen att kunna ta sig an de här frågorna när de vill det, trots att viljan har funnits länge. Policylabbet är en ny mekanism vilken i bästa fall leder till en framfart i det här vilket jag tycker fungerar mycket bättre än innan.

A: Vad har varit den största bromsklossen sedan ni började med Pirayorna för ca. 15 år sedan? Har det varit Transportstyrelsen, eller är det till och med internationella organ?

J-O: Nu antyder du att det finns en bromskloss, och det är klart att man kan titta tillbaka till när vi började 2007-2008 då vi var väldigt tidiga med den här typen av teknik. Många bolag som finns nu fanns inte då, som t.ex. ASV (Autonomous Surface Vehicles) i England som var små då men ingår numer i L3Harris och är jättestora. Jag skulle påstå att den största anledningen till att vi inte har expanderat på det sätt som andra företag har gjort beror på affärsmodellen som Saab Kockums har.

Det här är en annan fråga som har att göra med innovationsteknik och med införande av nya tekniker. Jag brukar prata om värdekedjor, alltså vad som är bra och dåligt inom en organisation. För mig som individ så är det enkelt att vilja teknikutveckla, medan organisationen har en annan typ av struktur där man pratar om affärsområden, kvartalsrapporter, årsrapporter, och en typ av administrativ värdering som går ut på att saker ska gå rätt till och så vidare. Fortsätter man till ägarnivå så vill dem att aktien ska stiga i värde, det finns alltså olika motiv för olika roller inom en organisation.

Det är väl så att Kockums är så pass väletablerat på området med u-båtar, korvetter, och fregatter så det finns inget case för små saker som ännu inte har tjänat in några pengar. Vi har också ganska stora omkostnadsmassor på stora etablerade företag i allmänhet vilket gör att om man nu vill göra en liten obemannad båt så kan ju studentgrupper eller andra resursbegränsade organisationer komma ganska långt om man har med sig en del specifika komponenter. Komponenterna som krävs är bl.a.

processorer, navigationssystem, kamera, och programmeringsvana med vilka man kan få mycket gjort utan att ha ett u-båtsvarv om jag uttrycker mig så. Jag skulle påstå att lagstiftningen är och har alltid varit en sak att ta i beaktning, men det har inte varit ett dominerande problem för oss.

M: Jag tänker att jag går tillbaka lite till det här med policylabbet. Jag förstår att det här är svårt att svara på, men om du får göra en gissning; hur långt i framtiden ligger det att någonting skulle kunna ändras så att det blir tillåtet att köra obemannade fartyg?

J-O: För Sveriges del tror jag att det tar 3 år, vilket jag helt har hittat på. Det är en riktig killgissning, men jag var på ett symposium i Norge i tisdags som handlar just om maritima autonoma fartyg. Där träffade jag bland annat Henrik Tunfors, men också andra myndighetspersoner från bland annat Norge, Danmark, och en EU-representant. Danskarna har ju kommit fram till att det är okej att ha en befälhavare som inte är ombord på fartyget, och resonemanget är bland annat att om remotely piloted fungerar på flyg så funkar det på fartyg också. Norrmannen konstaterade mest att det är ett knepigt område. De har ett projekt i Norge som heter Yara Birkeland, som började köra igår (2022-04-07) faktiskt, där de har en tillfälligt monterad ombord och när den bryggan upphör att gälla törs ingen gissa. På EU-nivå är det så att EU inte är en part i IMO, eftersom IMO endast innefattar flaggstater som deltagare. Däremot har enskilda flaggstater inom EU rätt att uttrycka sig i IMO, och är alltså inte en EU-fråga på det sättet man skulle kunna tro. I princip går alla runt den här punkten utan att egentligen sätta ner foten.

A: Du nämnde att Danmark gör en annan tolkning av lagstiftningen, har de något projekt som är i trafik idag där de faktiskt kör obemannade fartyg?

J-O: De har genomfört ett projekt, men jag vet inte exakt vilken status det är nu. Häromåret så publicerades att bogserbåtsbolaget Svitzer som ägs av Maersk har gjort körningar autonoma bogserbåtar. I Norge finns också ganska många autonoma system som bland annat körs uppe i Trondheimsfjorden. Det finns en annan aspekt av det här som är lite svår att plocka, men när man tittar på det här ur Saabs perspektiv så har vi ofta militära användare som slutanvändare. Det finns något som heter UNCLOS, och i en utav paragraferna för örlogsfartyg står det att det måste vara bemannat av militär personal. Den här frågan hade vi uppe i en diskussionsgrupp i EDA (European Defence Agency) som heter SARUMS (Safety And Regulations for European Unmanned Maritime Systems), som resulterade i en rapport som släpptes 2018. Mycket har hänt efter det, men först var det ingen som tog det på allvar, sen tyckte någon att det var viktigt, och sedan kom Belgien och sa att de hade bestämt sig för att om det finns militär personal som fjärrstyr båten så är den bemannad av militär personal.

Vi var i Finland 2012 med en Piraya och hade en slags körning tillsammans med Finlands kustbevakning och miljöcentral SYKE. Efter en dryg timme återkom myndigheterna med ett beslut som innebar att de betraktar Pirayorna som ett

verktyg eller redskap som tillhör moderfartyget, och att det därmed är fritt fram att köra dem obemannade. Så det finns helt enkelt flera olika tolkningar, och frågan har inte riktigt landat än. Jag vill tipsa om ett projekt som är aktuellt just nu som heter Mayflower 400, där olika bolag som IBM och NVIDIA byggt en trimaran som ska segla över atlanten utan personal ombord. Jag har inte hört att de har diskuterat bemanningsproblemet öppet, de pratar istället mest om att man kan följa deras kameraflöde i realtid och få information om hur många valar de har sett. Det görs alltså projekt på många olika ställen, och lagstiftningen är oklar.

I vårt fall har vi valt att backa tillbaka till grunderna och återigen så står det i sjölagsstiftningen att alla fartyg ska framföras med betryggande säkerhet. Vi anser att vi har behörighet, kompetens, och metod för att göra det även med de fartyg som inte har människor ombord.

A: Om man då ändrar reglerna så att förarlös körning tillåts, vad kan tänkas krävas för att uppfylla det här med betryggande säkerhet? Finns det någon slags lista på vad som måste finnas?

J-O: Ja, det gör det, och den är kopplad till de väl specificerade bemanningsreglerna som finns. Där står bland annat att det ska finnas individer som ska ha gått vissa typer av utbildningar och skaffat sig vissa typer av kompetenser eller behörigheter. Kompetenserna och behörigheterna blir större desto större fartyg det rör sig om, och desto längre ifrån kusten man befinner sig. Allt det här handlar om att definiera kompetensnivån av de som befinner sig på fartyget, och frågan om samma behörighet och kompetensnivå krävs även fast man inte är på fartyget är egentligen inte utredd. Man har inte kommit dit än att man accepterar att folk inte är på fartyget.

Däremot finns det, om man tittar på det här ur något slags kognitionspsykologiskt perspektiv, olika egenskaper som människorna ombord på fartyget antas ha med sig. Kompetensen och behörigheten bygger bland annat på erfarenhet, och när det kommer till saker som har med sunt förnuft att göra kan det vara svårt att definiera. Om man ska kunna köra ett fartyg baserat på algoritmer måste situationerna till en början vara väldigt enkla att förstå. Det finns en rad saker man behöver göra för att föra fram fartyget på ett säkert sätt utan att krocka med andra fartyg eller land. Det första man behöver göra är att se till att fartyget är sjövärdigt, och där ser vi ingen anledning att invända mot de tekniska regler som finns. Där finns det specificerat i Sveriges nationella tekniska föreskrifter kring fartyg ner till 5 meter vad som bör uppfyllas. Det finns alltså en nedre gräns för teknisk utformning på svenska fartyg i svenska vatten.

Bemanningsfrågan är något annat, och om vi tar det här med säker framfart så är det COLREG som gäller. Läser man igenom dem och tittar på vilka funktioner som krävs så rör de flesta det kognitiva som att se, höra, göra klassificeringar, att förstå sammanhang, och kunna prediktera rörelser och situationer så att man i tillräckligt god tid vidtar åtgärder så att man undviker problem. Då hamnar man väldigt snabbt i frågan om humanekvivalens: är ett datorsystem med olika sensorer bättre eller sämre än en människa och hur bra måste det vara?

När man jämför saker så finns det så många olika perspektiv. Om man tar befälhavaren till exempel; vad är befälhavarens roll? Om man går tillbaka till COLREG så är de skrivna för att se till att man undviker krockar till sjöss. Det är egentligen en konsekvens av att något av det första som hände när båtar med motor började byggas var att de krockade. Då var man tvungen att hitta på ett sätt att få båtar att förhålla sig till varandra. Det började med grunderna som styrbord, babord, rött, och grönt och sedan lade man till saker som mistlurar efterhand. Därutöver har man lagt till prioriteringsordningar som att mindre fartyg ska väja för större och så vidare.

Det som är gemensamt för alla regler är att man förväntas kunna se och klassificera saker. Det finns siffror för vilken upplösning och vilken uppdateringsfrekvens ett öga med normal syn uppfattar saker. Det går inte att kopiera rätt av för exempelvis en kamera, utan det relevanta är egentligen att kunna uppfatta och klassificera saker och situationer på likvärdigt sätt. Vi har tittat en hel del på just det här, och det är lätt att tänka sig att det bara är att kopiera algoritmerna som självkörande bilar använder sig av. Det fungerar dock inte i praktiken eftersom självkörande bilar verkar i en helt annan miljö där man kan göra förenklade modeller av saker som ligger förhållandevis nära bilen (förenklat och generaliserat uttryckt). När det kommer till båtar till sjöss så händer mycket av det intressanta och det som ska modelleras på stora avstånd, till exempel om man ser ett annat fartyg långt bort vid horisonten. På ett litet fartyg som en vattenskoter ser man inte heller speciellt långt, man har då i runda slängar 1000 meter till horisonten. Det finns helt enkelt inte så mycket att se på en båt i många situationer. I hamnar kan algoritmerna tänkas fungera ganska bra eftersom det då finns stora objekt att förhålla sig till, men till havs och i skärgården måste man hitta på någonting annat.

Sen finns det också en annan problematik. Det är inte ovanligt att SSRS behöver ge sig ut i dåligt väder, och vattenskotern är väldigt liten i förhållande till stora vågor vilket gör det svårt att se från den farkosten. Kameran behöver då sitta högra upp på en mast eller dylikt, och då får man med sig alla rörelser som uppkommer på grund av vågorna. Ett annat problem som uppstår vid dåligt väder är att man kan få ett manöverproblem. En mänsklig förare kan se vågor från alla håll och kompensera körningen därefter, vilket är knepigare att få till utan förare. En lösning är att bygga något som är monostabilt, det vill säga att det alltid kommer tillbaka till rätt köl vid kapsejsning vilket står i direkt konflikt med att ha en hög mast för att se långt.

A: Jag tänkte också kolla om du ser det som en möjlighet att köra utom synhåll, eller om det ligger ännu längre fram i tiden?

J-O: Det är helt möjligt att göra det idag och vi har funderat rätt mycket på hur vi ska få det här att fungera. Vi delar gärna in båtkörningen i funktioner som har olika abstraktionsnivåer. I botten är det saker som roder och motor, ovanpå det så är det saker som att hålla kurs och fart, ovanpå det reaktiv kollisionsundvikning, ovanpå det så är det proaktiv kollisionsundvikning, och till sist är det verksamheten alltså att man har en resa som ska göras på något sätt. Detta hade jag upp på det senaste policylabbet, och den beskrivna lagermodellen ansågs vara ett meningsfullt

sätt att resonera kring saken.

Det finns dessutom ett tidskrav på hur fort de olika nivåerna i modellen behöver reagera. Till exempel så måste roderstyrningen och stabilitetsdelen gå jättefort, medan att välja vart man ska någonstans egentligen bara behöver ske en gång och behöver inte alls gå fort.

M: Nu avbryter jag lite här, men vi jobbar ju med trådlöst nätverk och vi har undersökt mycket hur vi kan få så låg latens som möjligt från skickat kommando till att styrning och gas faktiskt ändras. Finns det ett mått på hur låg latensen behöver vara.

J-O: Jag förstår precis vad du frågar om, och det jag kan säga är att vi har helt enkelt slutat fjärrstyra, det går inte. Anledningen till att vi kan fjärrstyra Pirayorna är att vi där har en analog signal som går direkt via en Futaba RC-sändare som bygger på en PWM-signal som är omedelbar och därför också bygger på att fartyget man styr är inom synhåll. Förutom Pirayorna har vi stridsbåt 90 som är mycket större vilken vi använder som provplattform. Sedan vi började använda den så har vi kört Pirayorna mycket mindre, dels för att slippa diskussionen kring att de inte har befälhavare ombord, dels för att stridsbåten utgör en bättre plattform för såväl kameror som datorer för beräkning.

Vi har fjärrstyrt både Pirayorna och stridsbåten med ratt och gasreglage och mätt latensen, vilket är en viktig och relevant fråga. I och med funktionerna jag pratar om så uppstår återkopplingsloopar, och loopen börjar inte när man börjar styra. Loopen börjar med att kameran på båten skickar en bild på hur omgivningen ser ut där den är just nu. Nu är alltid där, aldrig här, vilket var en av de mentala skruvarna som fick mig att börja betrakta det här på ett annat sätt; när vi är i land så är vi alltid efter. I digitala system får vi alltid en latens och den är bekymmersam på någon nivå. Vi har mätt en del på det här, och det är svårt att komma under 0.3-0.5 sekunder på ett digitalt videoflöde. Reagerar man omedelbart på videoflödet så har det gått ytterligare 0.2-0.3 sekunder, så det är svårt att komma under en sekund i latens på teknisk nivå. Så om du ska köra en båt på något vettigt sätt och förhålla dig till båtens egna rörelser eller för den delen vågor som man oftast träffar mer än en gång i sekunden så är man rökt. Det är inte meningsfullt att sitta och köra roder och gas med fjärrstyrning tycker jag. Det man behöver göra är att ha en autopilot på båten och sedan styra kurs och hastighet. Eftersläpningen på en sekund är inget problem när man kör "drive-by-wire", och har man bara gjort det lilla skiftet att man implementerar kurshållare och farthållare så ökas körbarheten drastiskt. Som farthållare räcker det med att man sätter ett gaspådrag i procent. Det enda man behöver ha i åtanke med en sådan farthållare är att hastigheten ökar vid vattenplaning.

Referenspunkten här är Erik Hollnagel och hans teorier om ECOM. I varje situation i verkligheten så finns det tidskrav på reaktionstid, men om din latens är så stor att du inte hinner med det så är det otillräckligt. För att lösa ett sådant problem finns det två tillvägagångssätt. Det första är att korta latenserna, vilket i det här fallet

typiskt görs genom att klippa bort kommunikationen det vill säga att sätta ombord den förmågan man inte kan hinna med på distans. Det andra är att ge sig själv mer tid, genom att till exempel köra långsammare.

A: Precis, och Fredrik Falkman var inne på just det du säger. Lösningen han ser framför sig är att man sätter ett slutmål och en hastighet, och sedan är operatören egentligen bara beredd att ingripa om något skulle gå fel.

J-O: Exakt, och då kan vi sätta kurs och fart och då är frågan hur vi hanterar en reaktiv undanmanöver. Det hinner man kanske med, men det beror på hur långt man ser framåt, upplösningen, och hastigheten. Jag har hittills tagit mig fram genom att försöka översätta allt som har med hastighet och position att göra till tid, jag försöker att formulera modellerna för systemen utifrån tidsperspektivet hela tiden. Det gör vi även i våra användargränssnitt, där vi beskriver avstånd och liknande i tid. Utifrån tidsperspektivet kan vi fundera på om vi hinner med eller inte. Om man tar det här med over-the-horizon så måste man välja radioteknik och det finns ett antal att välja på. Till exempel Iridium har en rätt okej bandbredd som ligger på ungefär ett hundratal kbit, men det innebär ett par sekunder i latens. Det finns lite olika satellitleverantörer, men ingen jag vet som har kommit under 0.7 sekunder. Throughput är alltså okej (inte mer än just okej dock), men inte latensen.

Det finns en aspekt till som är värd att diskutera, och det hänger ihop med hur trångt det är. Den navigatoriska komplexiteten avgör mycket, och den kan till och med vara till vår fördel. Nära land finns det oftast mycket bättre uppkoppling och där kan man alltså få en mycket bättre länk. När man är ute till havs och det är glest mellan båtarna får man inte alls lika bra uppkoppling, men där händer det å andra sidan inte så mycket vilket gör att man har lång tid på sig.

A: Som jag har förstått det så gäller inga särskilda regler ens vid tester i samband med WARA-PS, stämmer det?

J-O: Sant, och det här är viktigt. Vi pratar om bemanning bland annat och hittills har vi bara pratat om bemanning i termer av att befälhavare ska vara ombord eller inte. Det finns en annan aspekt av bemanningen, och det är vilken typ av befälsnivå och behörighetsnivå som måste finnas för den typ av sjöfart som bedrivs för den verksamhet man bedriver med båten i fråga. Det här har aktualiserats ett par gånger och framför allt så ställdes det på sin spets för tre veckor sedan ute på Hönö.

Vi hade varit ute och kört i ganska kraftig dimma på tisdagen på en fjärd söder om Göteborg där vi var ensamma, men kustbevakningen var tre-fyra sjömil bort vilket vi kunde se på vår AIS. På onsdagen så förtöjde vid för lunch på Hönö och efter en kvart så kom kustbevakningen in i hamnen och förtöjer akter om oss. Det blev ett stort pådrag för de skulle göra en bemanningskontroll av oss för efter att de har kollat upp vad vi håller på med så är stridsbåten vi använde oss av registrerad som passagerarfartyg. Ett fartyg som går i handelssjöfart, alltså att man bedriver en näringsverksamhet, så gäller en massa bemanningsregler

(behörighetsnivåer för navigationsbefäl och maskinbefäl) som tillämpas bland annat beroende på hur stora båtarna är, hur långt ifrån kusten de kör, om det finns passagerare etc. Saken är att om man inte bedriver handelssjöfart så gäller inte dem aspekterna av behörighetskraven. Kraven på fartyget och personerna ombord beror alltså på vad syftet med resan från losskastning. Om man är utanför handelssjöfarten så gäller inte samma krav, det vill säga för fritidsbåtar, men begreppet fritidsbåtar finns inte definierat i lagstiftningen.

Det här är en poäng som jag tycker att ni borde ha hört någon gång, och poängen är att juridiskt sett hamnar fritidsbåtar under sjötrafik utanför handelssjöfart. Allting är sjöfart och måste därför framföras med betryggande säkerhet, och det är sjölagen som gäller. Sedan finns det konstruktionsregler för fartyg beroende på hur stora de är och vad de ska göra, och sen finns det bemanningsregler för fartyg som utgår ifrån vilken typ av sjöfart som bedrivs. Om man inte tillhör de olika kategorierna som finns för handelssjöfart så gäller inte de bemanningsreglerna. Det är viktigt för oss i industrin att förstå att det är okej att göra det vi gör så länge vi håller på med teknisk utvecklingsverksamhet som är icke-kommersiell. Man skulle möjligen kunna hävda att det är en gråzon eftersom vi indirekt tjänar pengar då vi vill sälja den här tekniken i ett senare skede, men den diskussionen har vi inte behövt formalisera än. Jag vet inte hur SSRS påverkas av det här, men jag föreställer mig att det ligger utanför kommersiell sjöfart eftersom det är en ideell organisation.

A: Det var ungefär de frågor vi hade, tack för att du har gett branschens perspektiv på frågan.

J-O: Vi kan passa på att repetera lite av det vi pratade om innan (innan inspelningen började). Vi har en dialog med Transportstyrelsen, och vi har ganska klart för oss hur vi ser på lagstiftningen och har förstås alla ambitioner att följa den lagstiftningen som finns. Däremot så gör vi en annan tolkning än Transportstyrelsen när det gäller behovet av att befälhavaren fysiskt måste vara ombord på båten. Vi hävdar att sjölagens andra paragraf, att fartyg ska framföras på ett betryggande sätt, kan uppfyllas även om befälhavaren inte är ombord på fartyget. Det går att göra genom radiostyrning, och under vissa omständigheter via radiolänk, men det är också så att vi behöver förstärka ombordsystemen med en del logik så att de har avancerade autopiloter som kan styra kurs och fart. Därutöver krävs bildbehandlingssystem för i första hand reaktiva undanmanövrar, och i förlängningen för COLREG-manövrar. Det här är ett pågående utvecklingsarbete, och här har vi en dialog med Transportstyrelsen till exempel genom policylabbet.

C

**FMEA**

FMEA MARV - Marine Autonomous Research Vehicle																	
Group EENX15-22-20		DATE (Created) 2022-02-15															
By Martin Lamm		DATE (Latest Update) 2022-04-19															
PART		CHARACTERISTICS OF FAILURE				RATING				ACTION				2nd RATING			
No	Function / Part / Operation	Failure mode	Causes of failure	Undesirable customer effects Effects of failure on syst. / part / operation	Po	S	Pd	RPN	Recommended action	Planned action	Responsible	Po	S	Pd	RPN		
1	Hårdvara - testbädd	Batteri	Kortslutning vid laddning	Brand, personskador, skador på system	3	10	5	150	Laddning i säkerhetsbox, följa caselabbets instruktioner om laddning av batterier	Följ case-labbets instruktioner om laddning. Montera batteri lätt demonterbart	Ansvarig för laddningen	2	4	3	24		
2	Hårdvara - testbädd	Batteri	Användning med skadad battericell	Brand, personskador, skador på system	3	10	7	210	Kontrollera batterier innan användning, montering	Följ Case-labbets instruktioner om batterier	Person som monterar batteri på testbädd	2	9	2	36		
3	Testning - testbädd	Operatör/Testning	Krasch vid testning	skador på system	8	6	3	144	Förberedelser av plats innan testning	Testning i låga hastigheter	personer vid testning	4	3	3	36		
4	Hårdvara - testbädd	Mikrokontroller	Kortslutning/spänningsöverskrivning/strömöverskrivning	skador på system	4	7	7	198	Kolla instruktioner vid installation	Kontrollera spänningsgräns på mikrokontroller, installera överspänningsskydd	Installatör	2	4	3	24		
5	Mjukvara - testbädd	Mikrokontroller	Fel på mjukvara	Fellagigt uppträdande vid testning	7	4	5	140	Felsöka mjukvara kontinuerligt	Felsöka mjukvara under testning		2	2	2	8		
6	Hårdvara - testbädd	Reach-dator	strömospikar, spänningsöverskrivning	Dator kraschar, skador på system	4	8	5	160	Kontrollera gränser innan montering.	Välja batteri efter reach-datorns spänning, Kolla att säkring finns	Inköp, montering	2	2	4	16		
7	Mjukvara - testbädd/WR	Reach-dator	Problem med mjukvara	system uppträder inte som förväntat. Skador på system, Personskador.	8	9	6	432	Felsöka mjukvara kontinuerligt, testning i låga hastigheter	All testning kommer göras på testbädd först. Kontrollera testområde fritt från risker	Ansvarig för mjukvaran	3	3	2	18		
8	Hårdvara - testbädd	DC-motor	Strömöverskrivning, spänningsöverskrivning, överbelastning, Friktion i motorn borstar går emot	Skador på motor, system slutar fungera. Carbon brush partiklar i motor som förstör	4	7	4	112	Kontrollera specifikation av DC-motor	Kontrollera komponenter under installation, användna motordrivare som förser motorn med rätt ström och spänning		2	5	2	20		
9	Hårdvara - testbädd	Motordrivare	Kortslutning, Strömöverskrivning, Spänningsöverskrivning	Systemskada	3	7	4	84	Kontrollera specifikationer vid installation			1	2	2	4		
10	Hårdvara - testbädd	Testbädd/Testning	Vattenskador, Damskador	Systemskador, Bristande funktionsförmåga	5	9	7	315	Testning i säker miljö	Inga utomhustester i dåligt väder. Testning sker i ren miljö	Ansvarig vid testning	1	8	4	32		
11	Hårdvara - testbädd	Styrervo	Överbelastning, ström-/spänningsöverskrivning. Ojämn funktionalitet beroende på batterispänning/laddning	Systemskador, Bristande funktionalitet	3	7	4	84	Kontrollera specifikationer av servo	Kontroll av styrervo vid installation, Resultat-testning görs med fulladdade batterier		1	2	2	4		
12	Hårdvara - testbädd	CAN-transiviers/Can-buss	Glapp/skador på kabel	Signaler kommer ej fram	6	7	6	252	Användning på rätt sätt	Varsam vid på och avtagande, kablar skyddas med krymprör	Installatör	2	3	3	18		
13	Hårdvara - testbädd	Elsaddar	Kablar fastnar i hjul/släppas mot mark Glapp/kortslutning	Systemskador. Bristande funktionsförmåga, personskador-stötår, brand kortslutning	5	8	5	200	Skydda kablar	Cable-managment, fästa kablar med bultband. Krymprör för att skydda kablar	Installatör	2	4	4	32		
14	Hårdvara - testbädd	Elsaddar	Feldragning av kablar	Bristande funktionalitet, kortslutning	6	7	8	336	Kontrollera ingångar/utgångar	Ta bilder innan förändringar för att kunna se och montera tillbaka kablar på samma ställen	Installatör	1	4	2	8		
15	Hårdvara - testbädd	Kamera	Repor, Kameraupplösning	Otillräcklig videokvalitet för styrning via kamera	6	6	2	72	Anpassa hastighet/testning beroende på kvalitet	Tidig testning görs alltid med uppsyn av testbädd	Ansvarig för testning	2	2	1	4		
16	Hårdvara - testbädd	Modem/Router	Spänning/strömöverskrivning/uppkoppling	Skador på system, Styrsignaler kommer inte fram. Dålig Latens	5	7	5	175	Kontrollera specifikationer, anpassa hastighet	Testning i låga hastigheter, implementera "dödmansgrepp" om latensen blir för hög		3	2	3	18		
17	Funktion-WR	Svängning/Testning	Svängning i höga hastigheter	Höga G-krafter, förare kan trilla av, Vattenskoter kapsejsa	8	10	2	160	Ej svänga i skarpt höga hastigheter	Göra Möjlig svängvinkeln beroende på hastighet, mjukvara, Samt testning i låga hastigheter	Operatör vid testning	2	10	1	20		
18	Funktion-WR	Gas	För hög acceleration. I höga hastigheter blir WR instabil	Förare trillar av, WR Krockar	9	10	3	270	Ej köra i höga hastigheter	Bygga in en bestämd maxhastighet i WRs mjukvara som inte går att överstiga. Mjukvara skapar varning av hastighet för acceleration		1	10	2	20		
19	Funktion-WR	Broms/Back	Hög retardation	Höga G-krafter, förare kan trilla av	8	10	3	240	Lugn bromsning	Införa att bromsning varvas ner i steg/Backning först helt möjlig när WR står still		2	6	2	24		
20	System-WR	Testning	Lagg, fördröjning av styrsignaler	WR uppträder inte likt operatörs inskickade styrsignaler. WR Krockar, förare trillar av.	8	10	6	480	Minska hastighet	En person som kan ingripa vid problem sitter alltid på WR. Testning i låga hastigheter		5	4	2	40		

# D

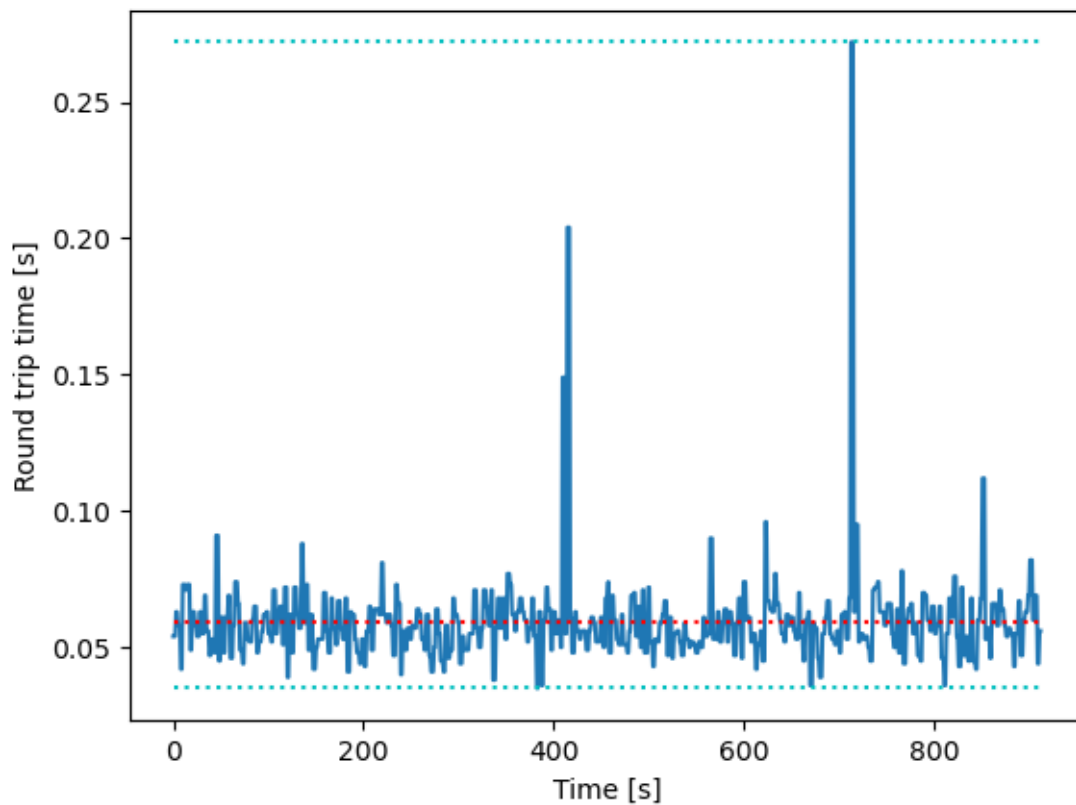
Kravspecifikation för fjärrstyrning av MARV			Skapad	Modifierad	
EENX-15-22-20	Chalmers tekniska högskola		22-04-21	2022-05-04	
	Kriterier	Målvärde	K/Ö	Kravställare	Verifiering
1. Funktioner	Styra MARV via mobilt bredband	Möjligt	K	Uppdragsgivare	Test
	Återge videoflöde samt status från MARV	Möjligt	Ö	Uppdragsgivare	Test
2. Latens	Latens över tid	< 500 ms	K	Projektgrupp	Test
	Latens över tid	< 250 ms	Ö	Projektgrupp	Test
3. Bildhastighet	Bildhastighet över tid	> 20 fps	K	Projektgrupp	Test
	Bildhastighet över tid	> 25 fps	Ö	Projektgrupp	Test
4. Bildkvalitet	Kvalitet	> 720p	K	Projektgrupp	Test
	Kvalitet	1080p	Ö	Projektgrupp	Test
5. Säkerhet	Nollställning av styrkommandon vid fel på delsystem	< 300 ms	K	Projektgrupp	Test
	Beteende vid försök till att ta kontroll från annan enhet	Kontroll bibehålls	Ö	Projektgrupp	Test
6. Miljöbeständighet	Vattentät installation	IP66	K	Projektgrupp	Test

# E

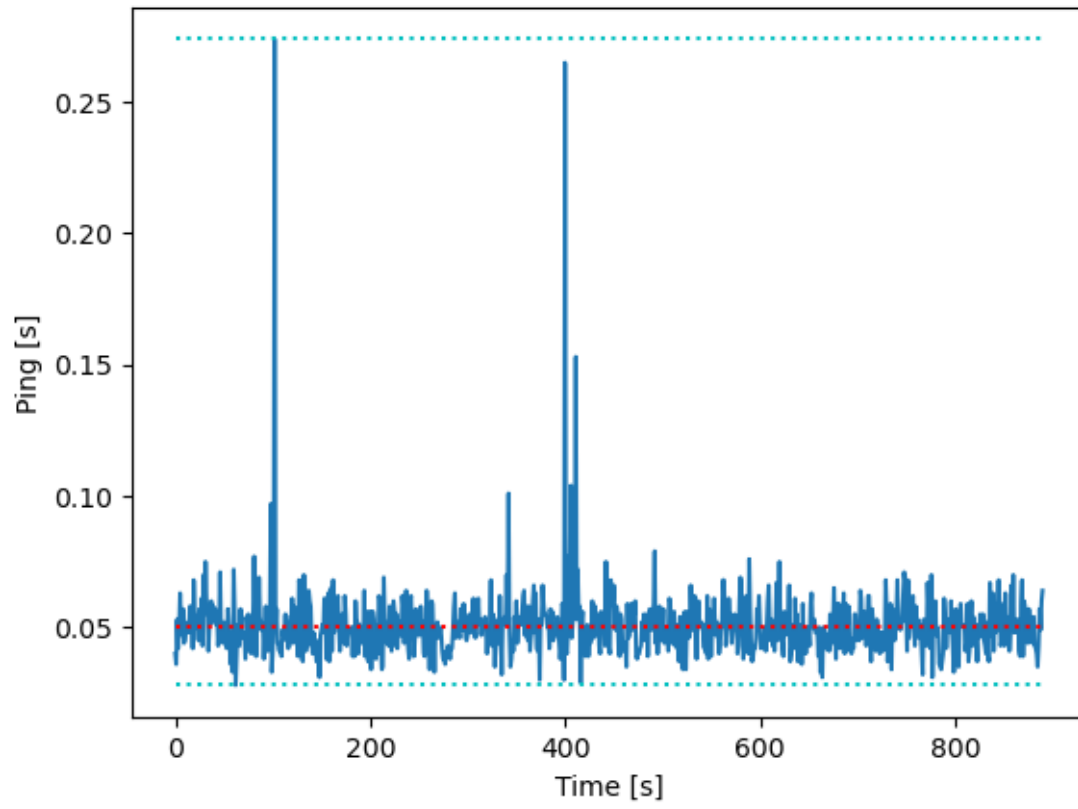
## Resultat från Validering

Stationärt test i Caselabbet

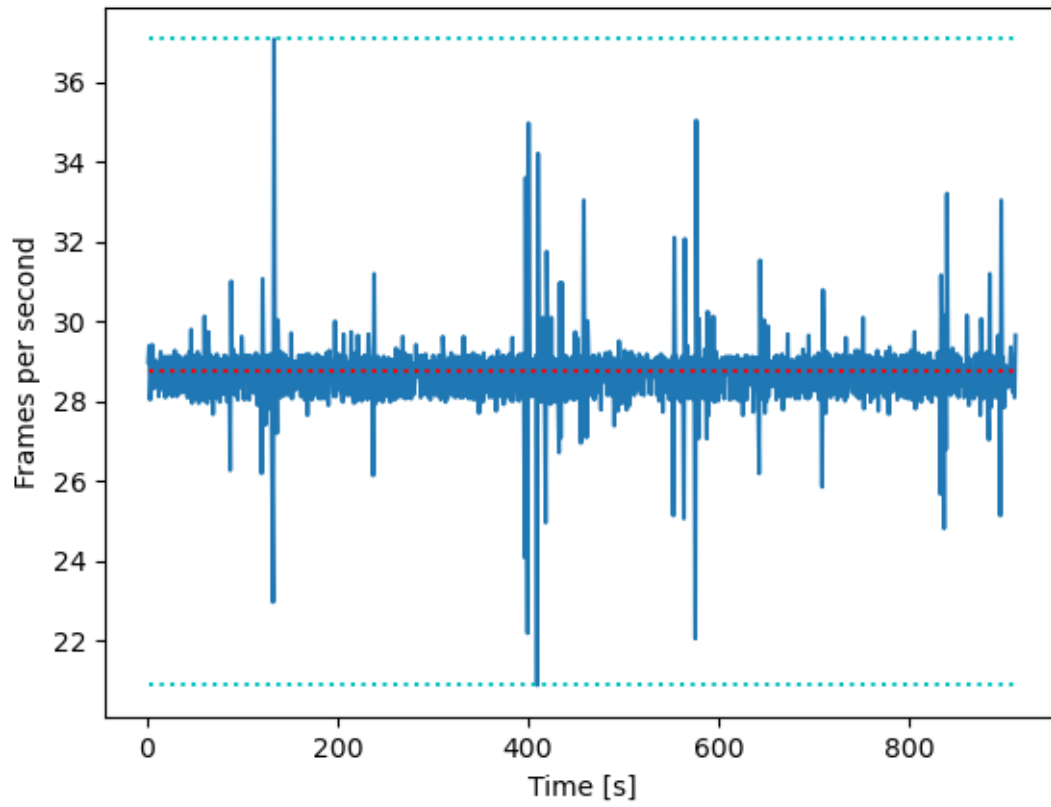
Round trip time



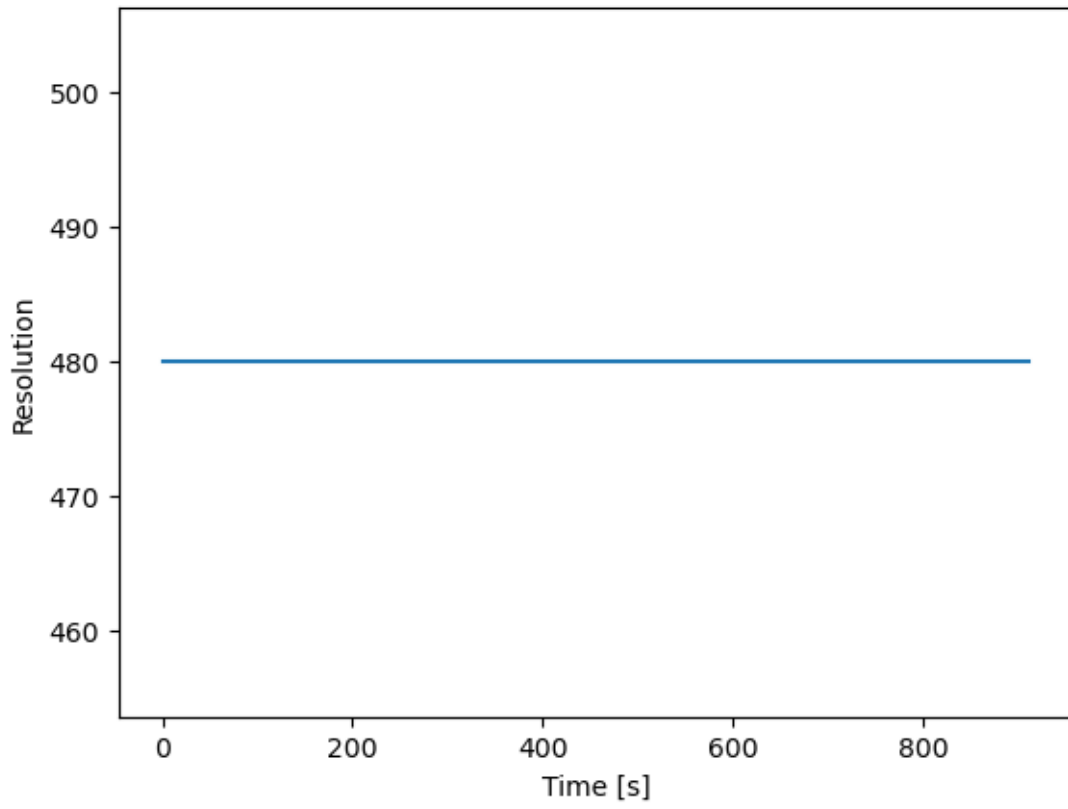
## Ping



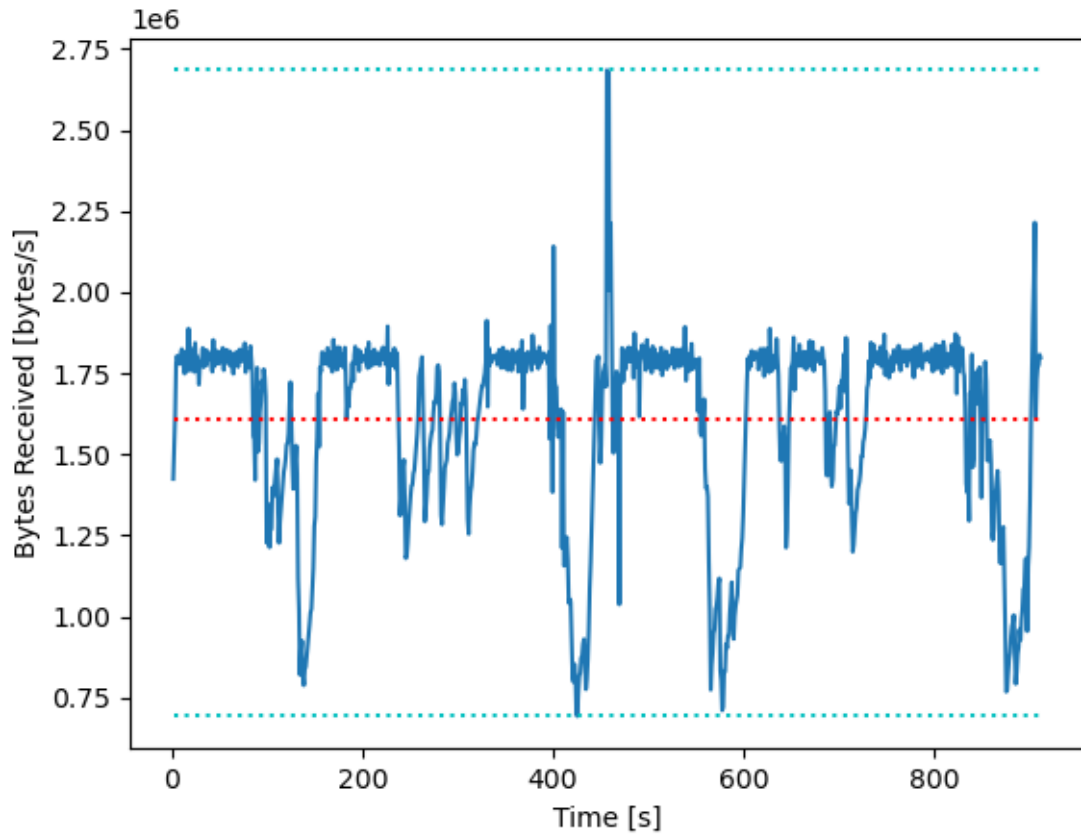
## Fps



## Upplösning

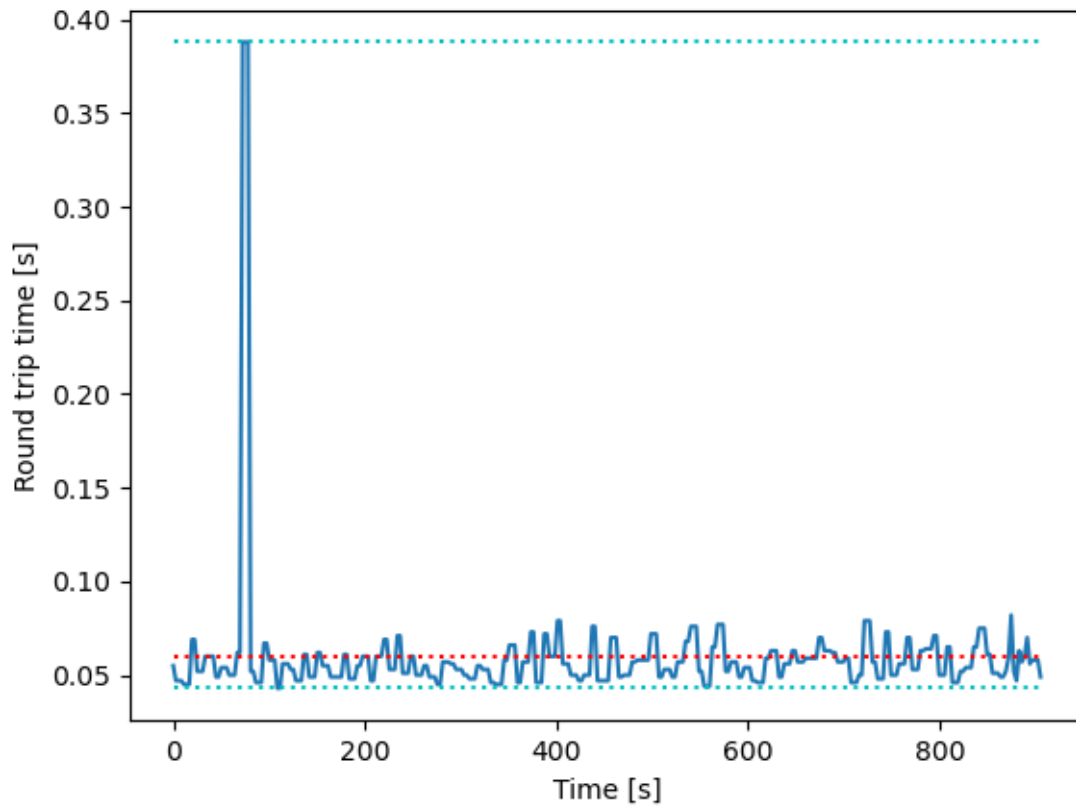


## Bytes/s

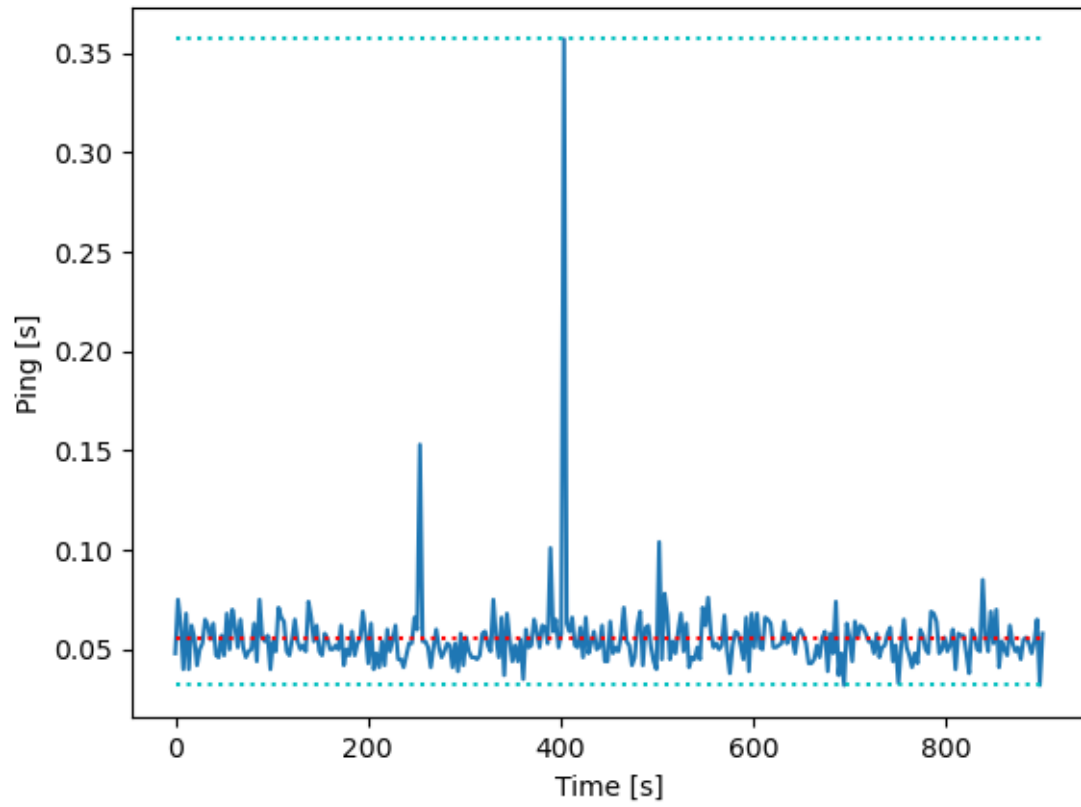


## Dynamiskt test i Caselabbet

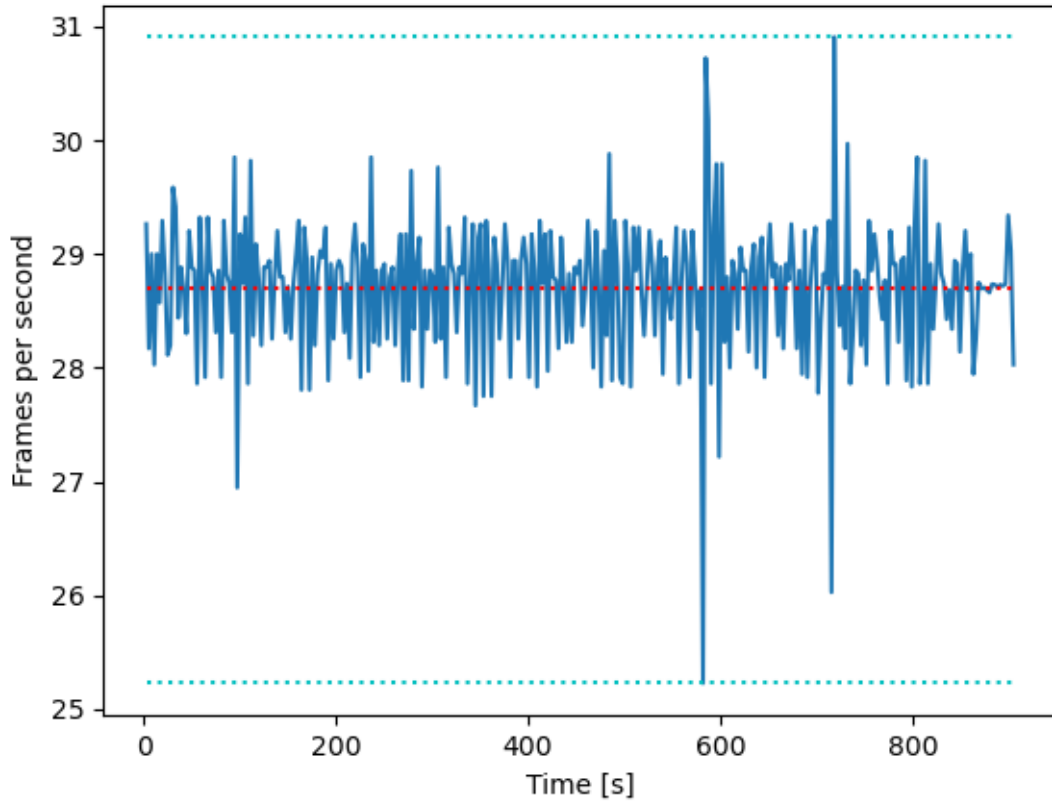
### Round trip time



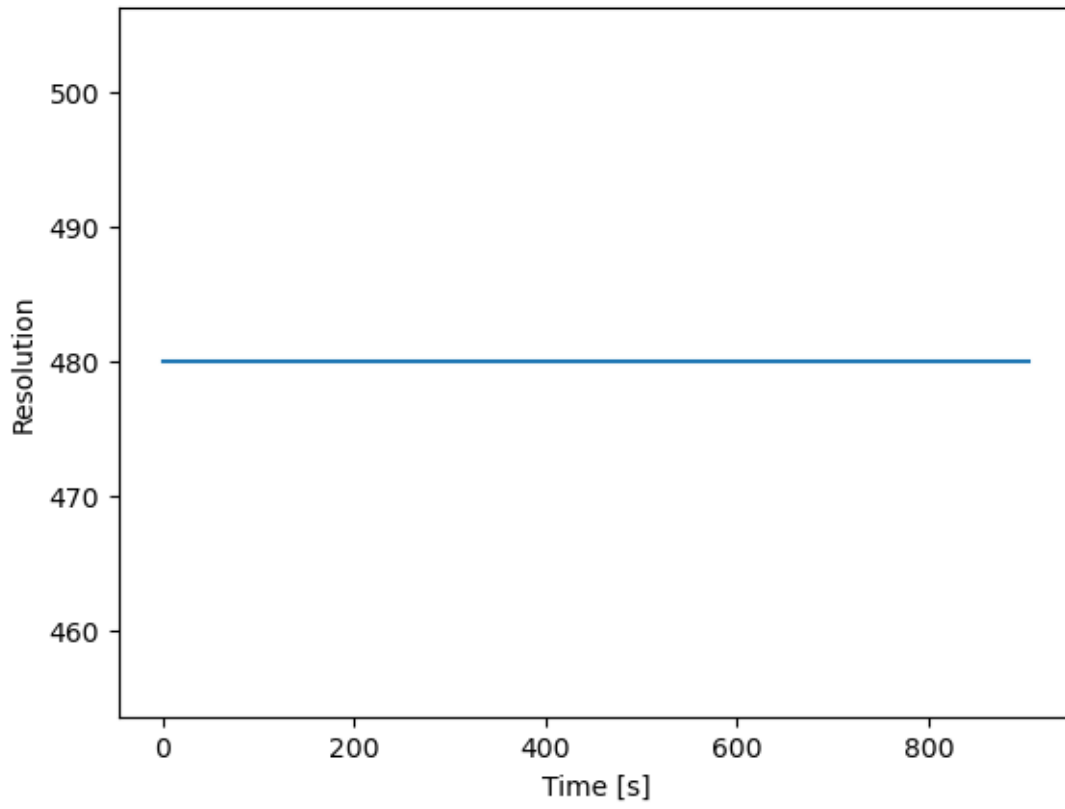
## Ping



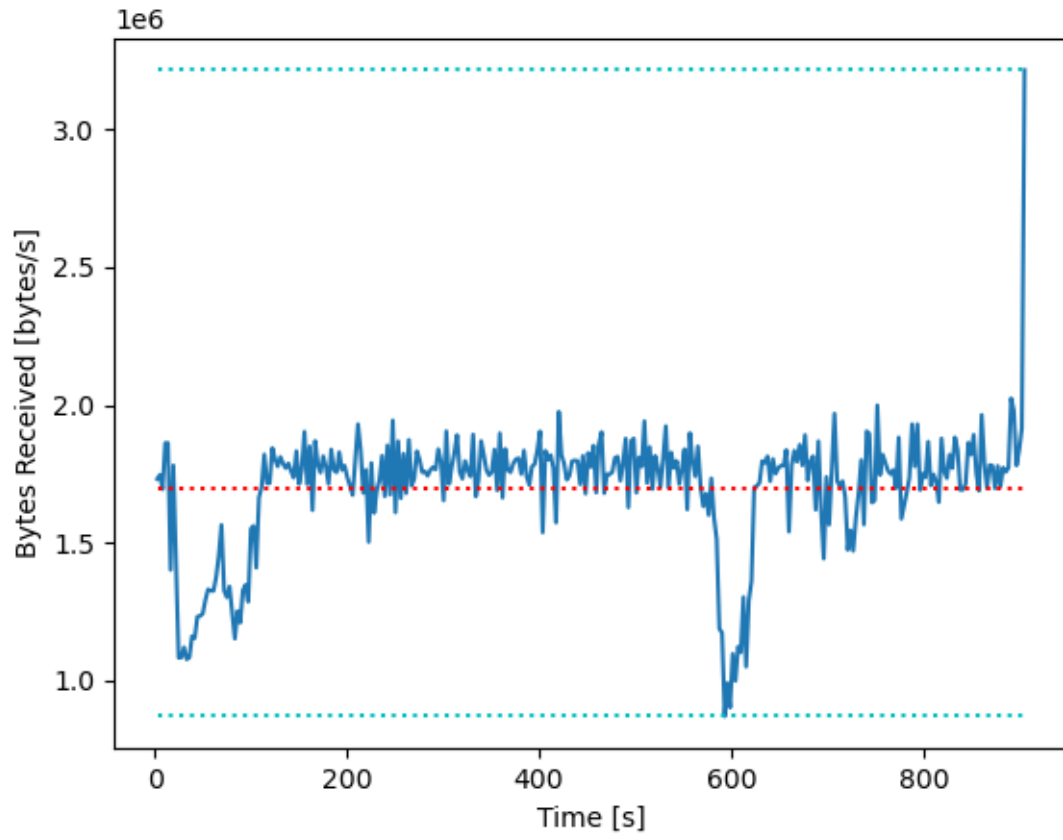
## Fps



## Upplösning

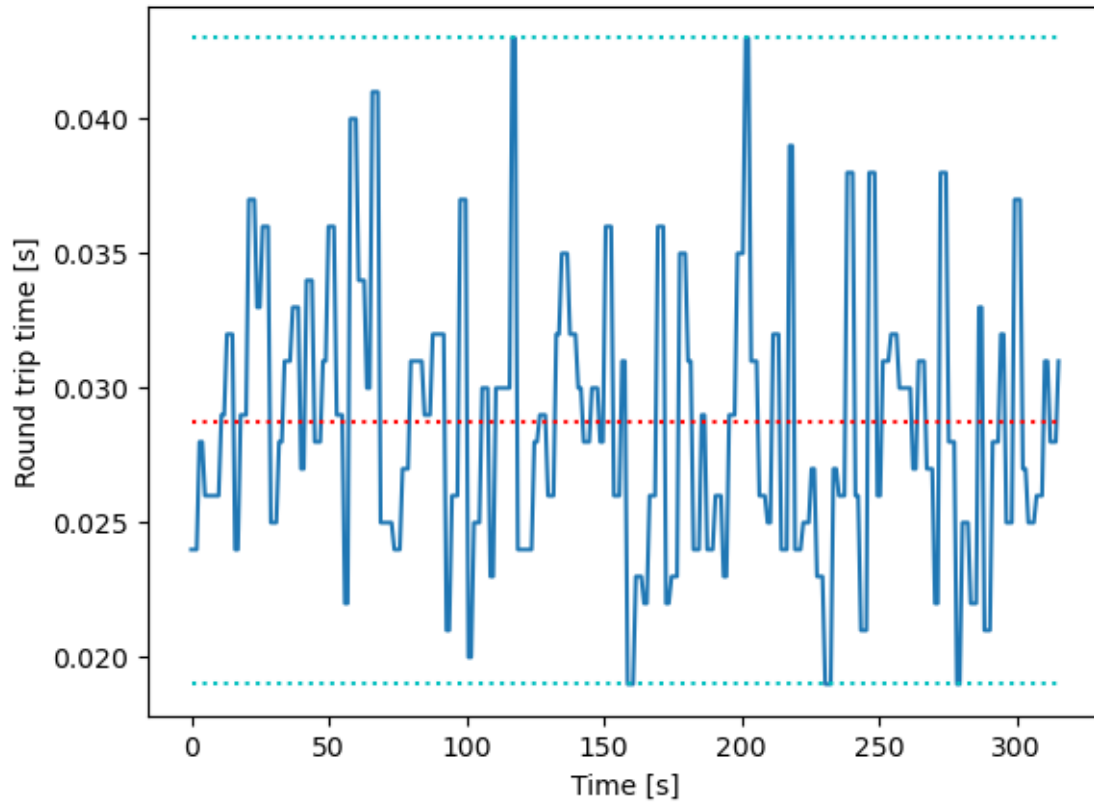


## Bytes/s

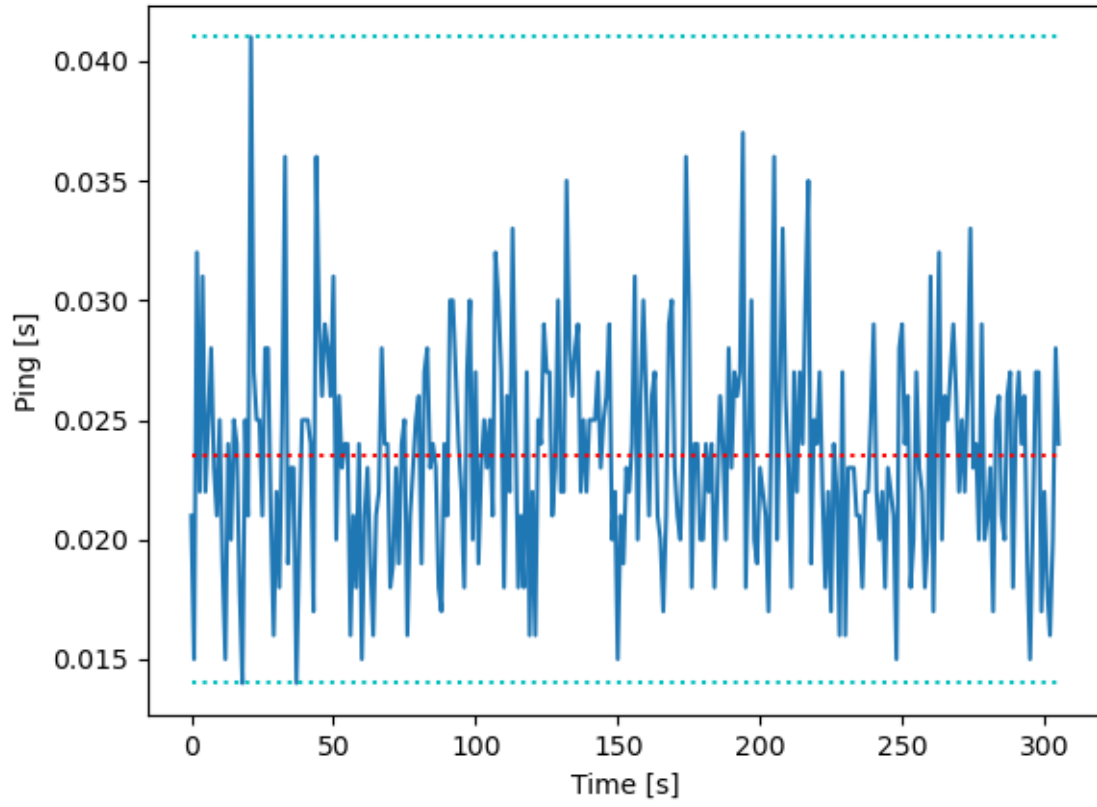


## Körtest Ericsson 5G på obelastat nätverk

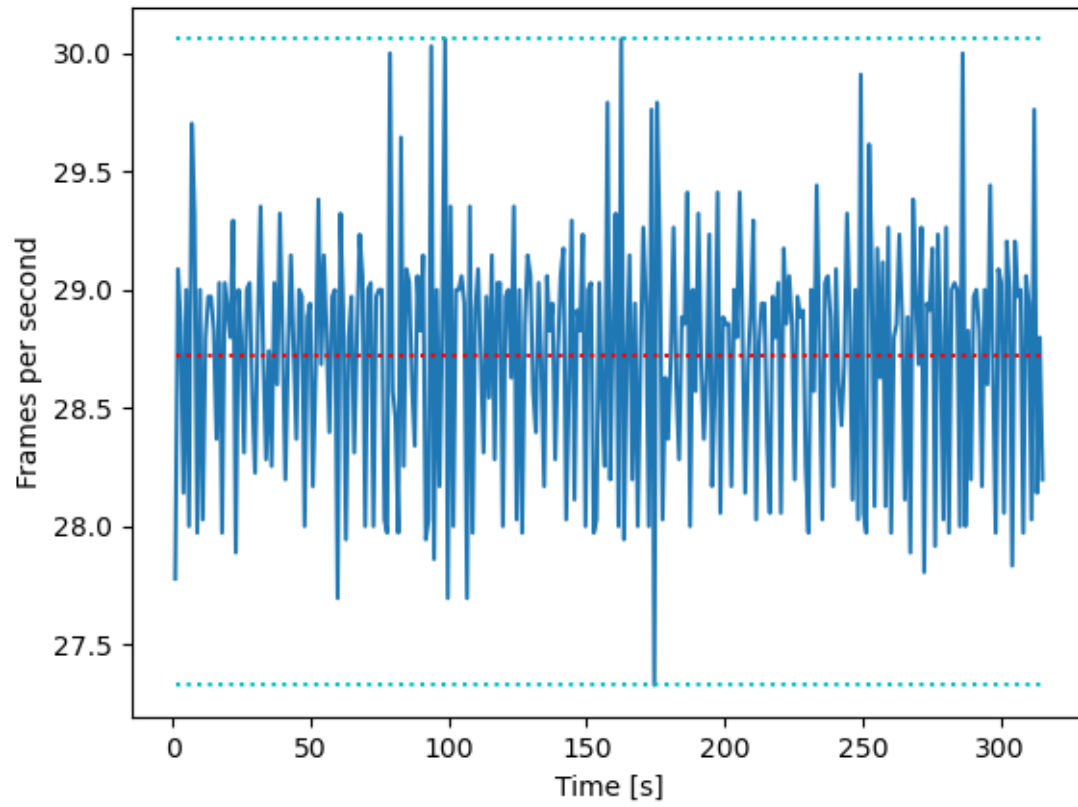
### Round trip time



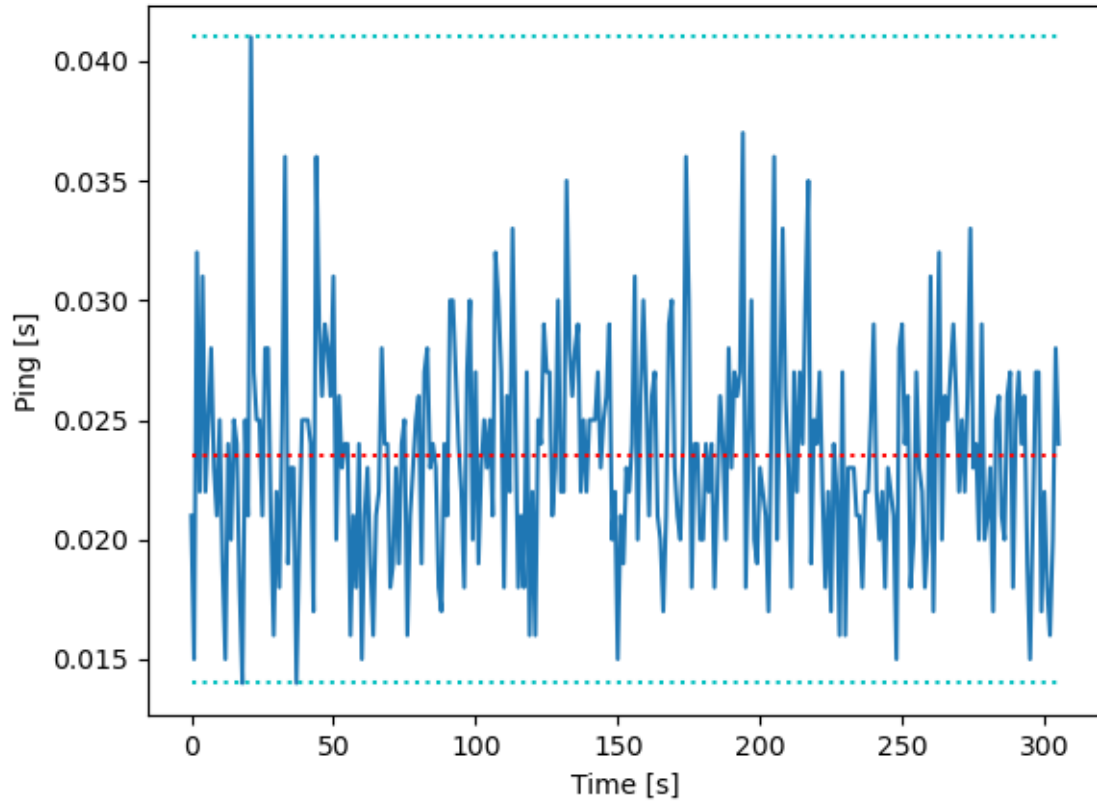
## Ping



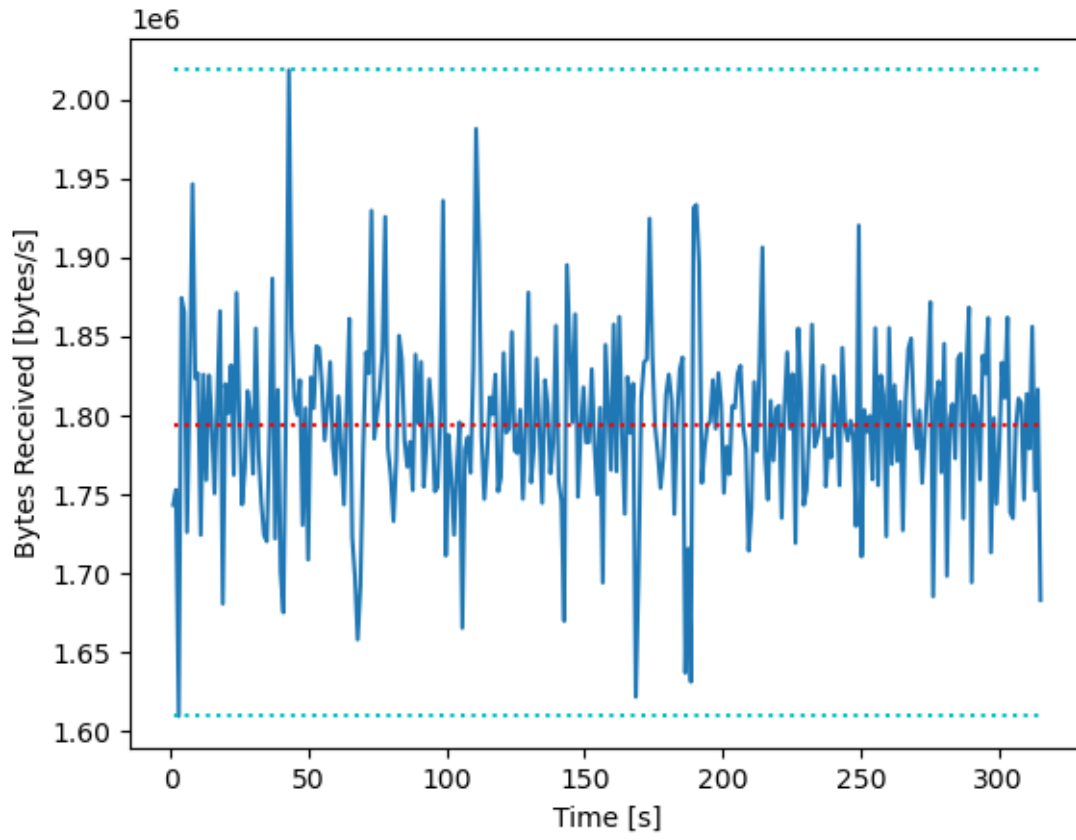
## Fps



## Upplösning

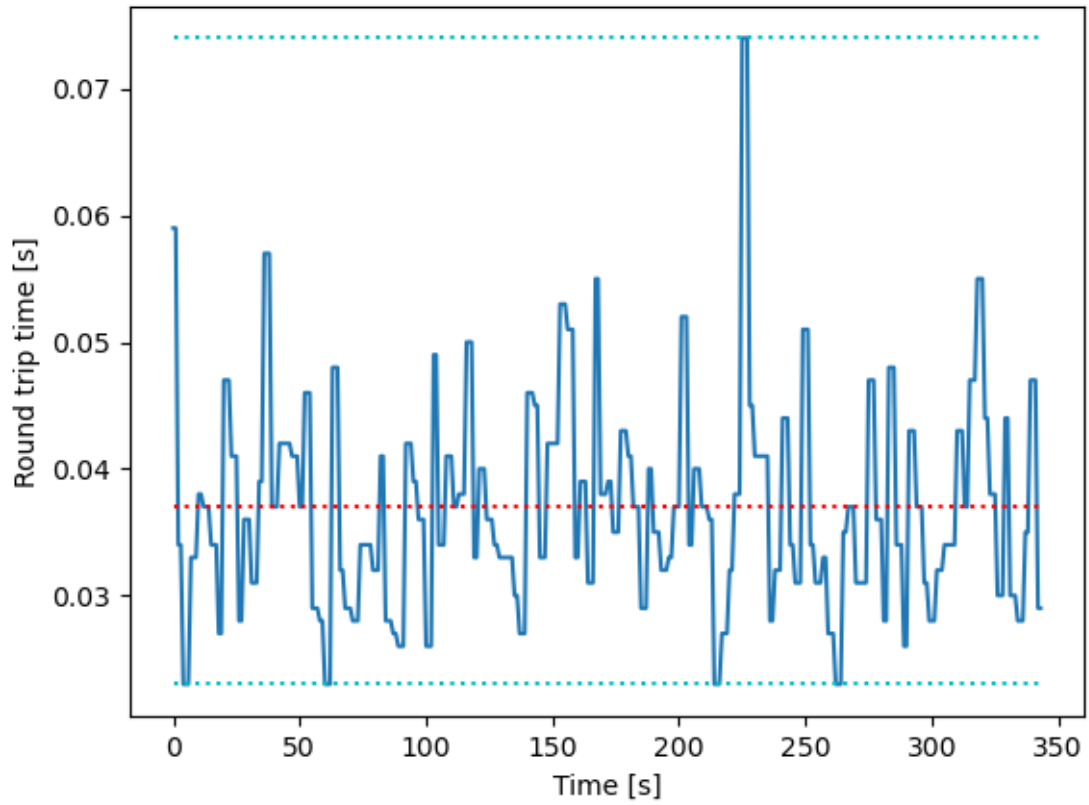


## Bytes/s

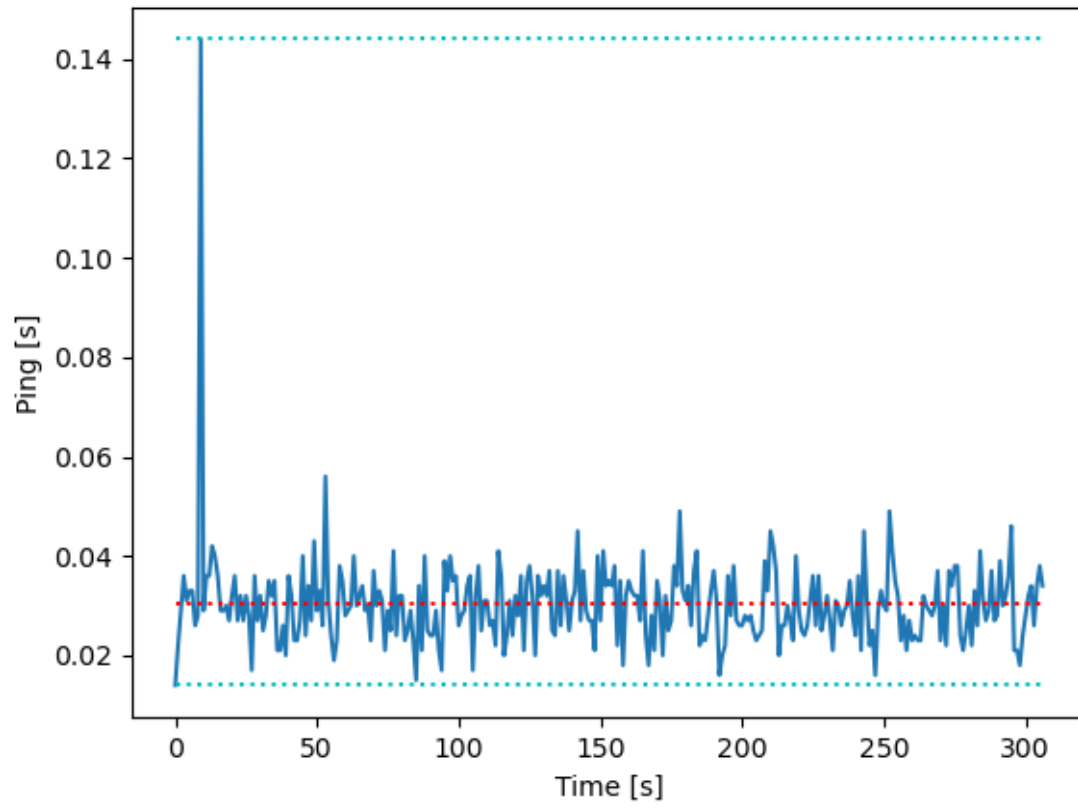


## Körtest Ericsson 5G på belastat nätverk

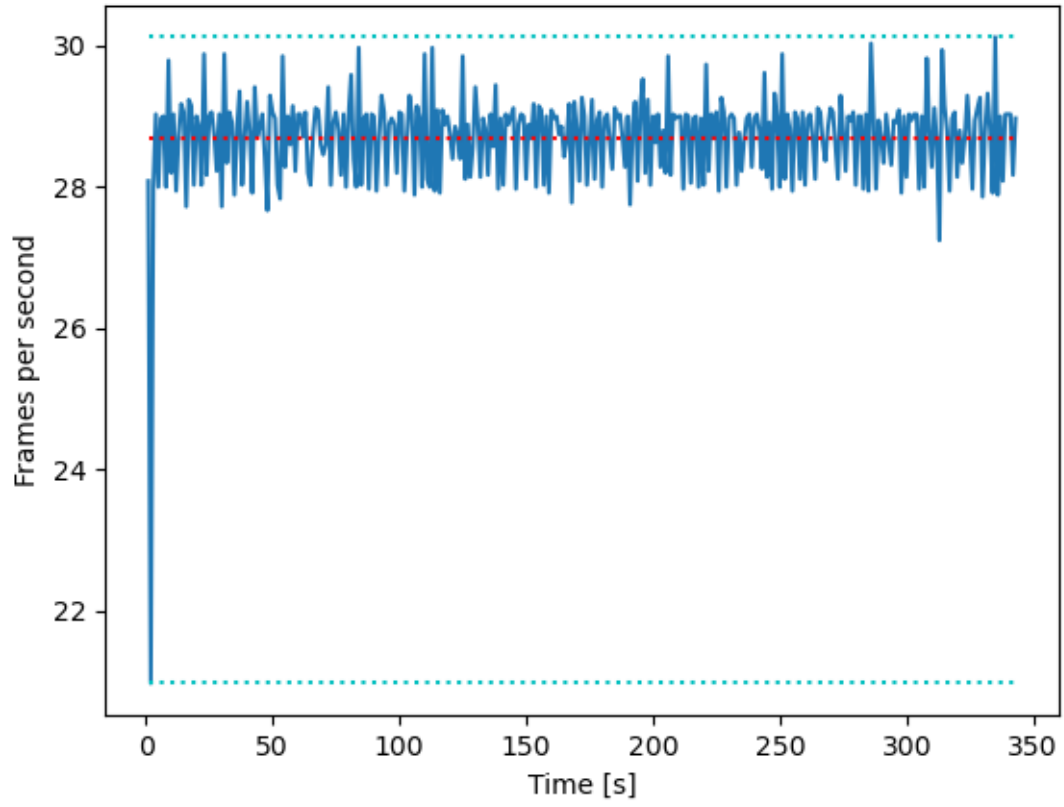
### Round trip time



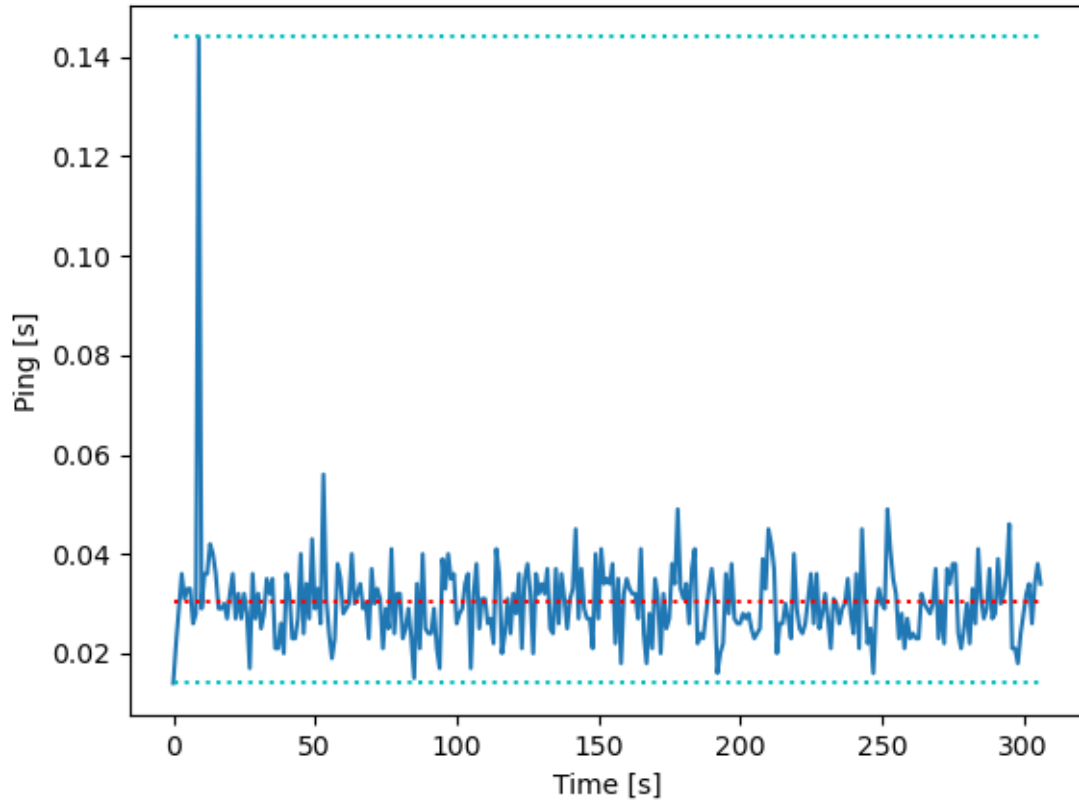
## Ping



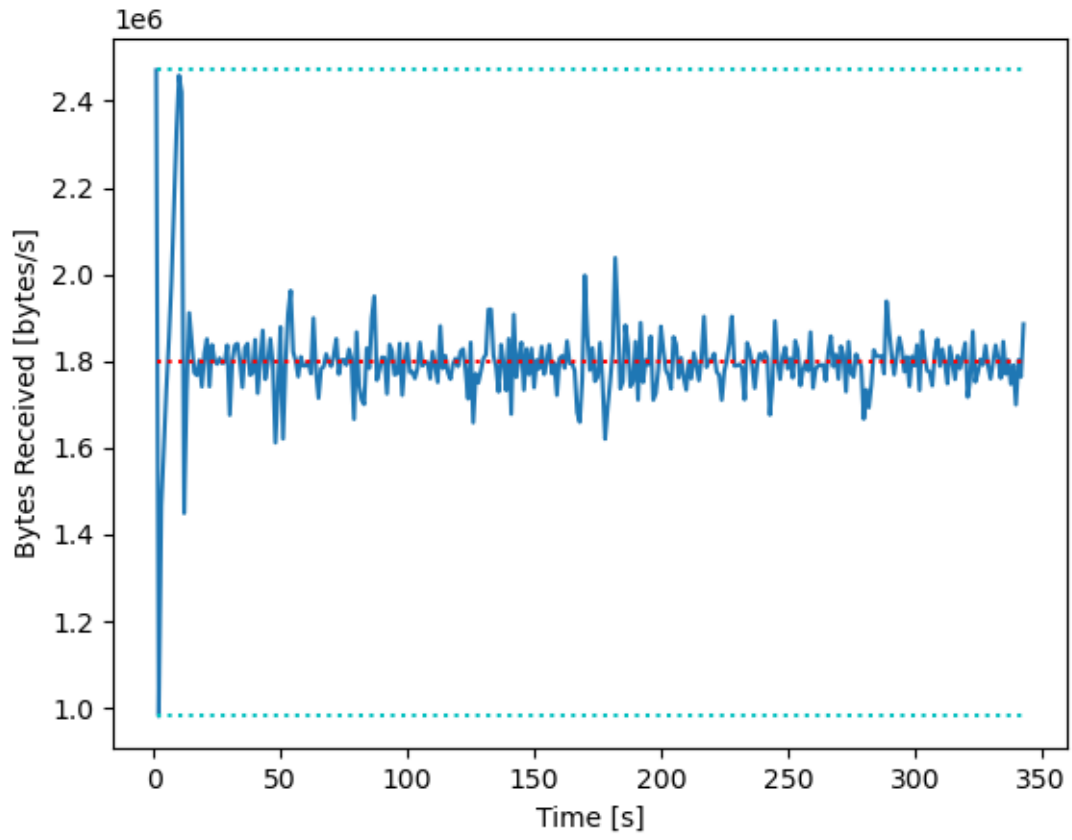
## Fps



## Upplösning



## Bytes/s



**INSTITUTIONEN FÖR ELEKTROTEKNIK**  
**CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA**  
Göteborg, Sverige  
[www.chalmers.se](http://www.chalmers.se)



**CHALMERS**