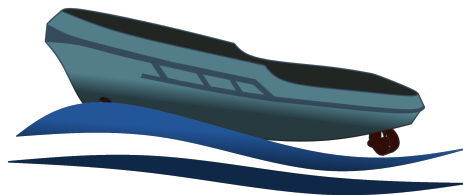


# Testprotokoll

Oscar Hermansson, Oskar Jonsson, Jonatan Siönäs,  
Axel Ståhlbom, Johannes Wenngren, Tim Wiik

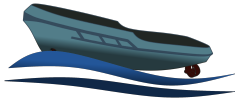
8 december 2021

Version 1.0



## Status

Granskad	Oscar Hermansson	2021-12-01
Godkänd		



### Projektidentitet

Beställare: Fredrik Ljungberg, Linköpings universitet  
E-post: [fredrik.ljungberg@liu.se](mailto:fredrik.ljungberg@liu.se)

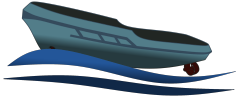
Kund: Jonas Linder, ABB Corporate Research  
E-post: [jonas.x.linder@se.abb.com](mailto:jonas.x.linder@se.abb.com)

Handledare: Gustav Zetterqvist  
E-post: [gustav.zetterqvist@liu.se](mailto:gustav.zetterqvist@liu.se)

Kursansvarig: Daniel Axehill och Gustaf Hendeby  
E-post: [daniel.axehill@liu.se](mailto:daniel.axehill@liu.se), [gustaf.hendeby@liu.se](mailto:gustaf.hendeby@liu.se)

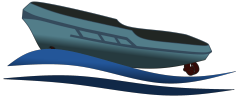
### Projektdeltagare

Namn	Ansvar	E-post
Oscar Hermansson	Dokumentansvarig	<a href="mailto:osche354@student.liu.se">osche354@student.liu.se</a>
Oskar Jonsson	Hårdvaruansvarig	<a href="mailto:oskjo275@student.liu.se">oskjo275@student.liu.se</a>
Jonatan Siönäs	Designansvarig	<a href="mailto:jonsi043@student.liu.se">jonsi043@student.liu.se</a>
Axel Ståhlbom	Mjukvaruansvarig	<a href="mailto:axest992@student.liu.se">axest992@student.liu.se</a>
Johannes Wenngren	Projektledare	<a href="mailto:johwe475@student.liu.se">johwe475@student.liu.se</a>
Tim Wiik	Testansvarig	<a href="mailto:timwi572@student.liu.se">timwi572@student.liu.se</a>



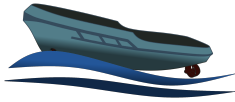
## INNEHÅLL

1	Inledning	1
2	Funktionella test	1
3	Test av användargränssnitt	3
4	Modelltest	4
5	Regleringstest	7
6	Prestandetest	7
7	Sensorfusionstest	9
8	Tillförlitlighet	9
9	Uppfyllnad av övriga krav	10
	Referenser	11



## DOKUMENTHISTORIK

<b>Version</b>	<b>Datum</b>	<b>Utförda ändringar</b>	<b>Utförda av</b>	<b>Granskad</b>
0.1	2021-11-08	Första utkast	Samtliga	Johannes
0.5	2021-11-28	Andra utkast	Samtliga	Johannes
1.0	2021-12-01	Första revision	Samtliga	Oscar



## 1 INLEDNING

Detta protokoll beskriver resultaten av de tester som har utförts under projektet *Modellbaserad styrning av småskalig ytfarkost* i kursen TSRT10. Resultaten jämförs med kraven som beskrivs i kravspecifikationen [1] uppfylls.

Alla utförda test kommer radas upp på formen:

**Testnummer:** Ett nummer som representerar testet och används för att referera till det.

**Krav:** Vilka krav från kravspecifikationen som testet ämnar verifiera. Krav inom parenteser är implicit uppfyllda om testet lyckas.

**Syftet:** En kort beskrivning av syftet med testet.

**Genomförande:** Hur testet genomfördes.

**Ansvarig:** Projektmedlemmarna som genomförde testet.

**Resultat:** En summering av resultaten av testet.

## 2 FUNKTIONELLA TEST

**Testnummer:** 1

**Krav:** 8

**Syfte:** Testet syftar på att verifiera att den specificerade noggrannheten på önskad vinkel av roderpropellerna uppnås, och bekräftar att detta krav uppfylls oavsett vilken riktning som roderpropellerna roteras ifrån.

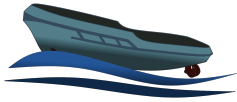
**Genomförande:** Tre olika vinklar på trustorerna testas:  $-60^\circ$ ,  $0^\circ$  och  $60^\circ$ . För varje vinkel genomfördes följande procedur:

1. Trustorvinkeln anges till en vinkel mindre än testvinkeln (cirka  $15^\circ$  mindre).
2. Trustorvinkeln anges till den önskade vinkeln. Den faktiska vinkeln mäts av med en gradskiva och antecknas.
3. Trustorvinkeln anges till en vinkel större än testvinkeln (cirka  $15^\circ$  större).
4. Trustorvinkeln anges till den önskade vinkeln. Den faktiska vinkeln mäts av med en gradskiva och antecknas.

Genom att sedan analysera resultatet blir det möjligt att se om kravet på maximalt vinkelfel uppfylls.

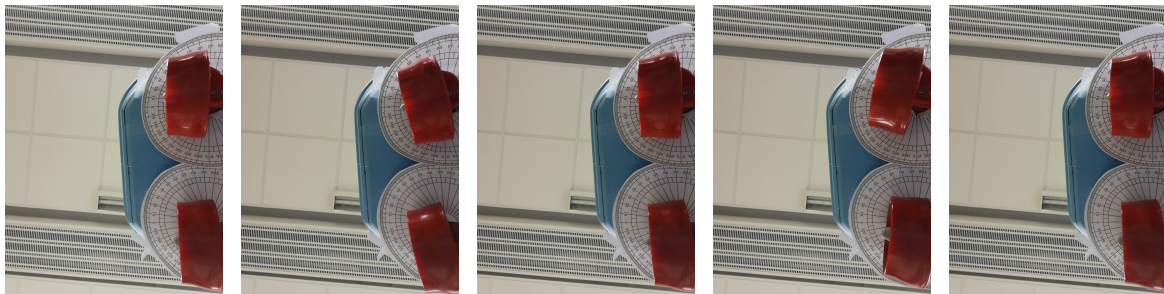
**Ansvarig:** Johannes Wenngren

**Resultat:** Resultatet av testerna syns i Figur 1, 2, 3 och Tabell 1. Det kan vara svårt att tyda utifrån bilderna men vinkelutslagen stämde bra överens med det som önskades och trustorerna lyckades alltid komma tillbaka mycket nära rätt vinkel efter en förskjutning åt något håll. I Figur 4 har testvinkeln med resultatet av procedurens steg 2 och 4 sammanfogats till en figur för att lättare se skillnaden i vinkelutslag. Som bilderna och Tabell 1 visar är det minimal vinkelskillnad mellan testerna och de ligger innanför kraven på 5 grader.

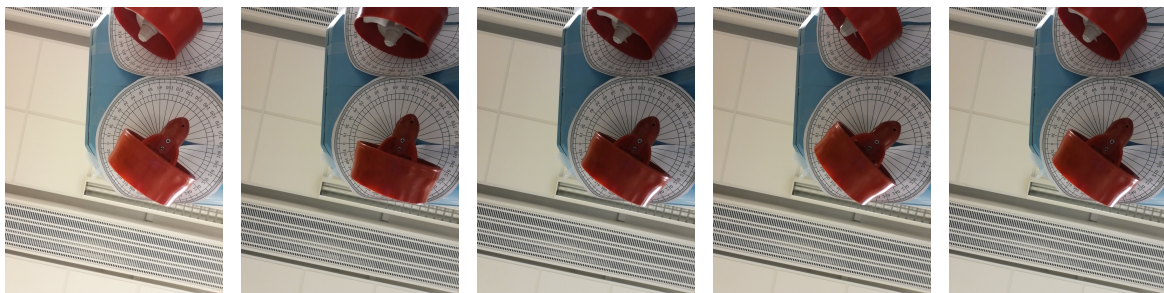


Trustor	Testvinkel	Förskjuten 15° negativt	Åter testvinkel	Förskjuten 15° positivt	Åter testvinkel
Trustor 1	0°	347°	359°	15°	0°
Trustor 2	1°	345°	0°	15°	1°
Trustor 1	303°	284°	302°	318°	304°
Trustor 2	303°	284°	303°	319°	303°
Trustor 1	60°	77°	62°	48°	60°
Trustor 2	61°	78°	63°	48°	60°

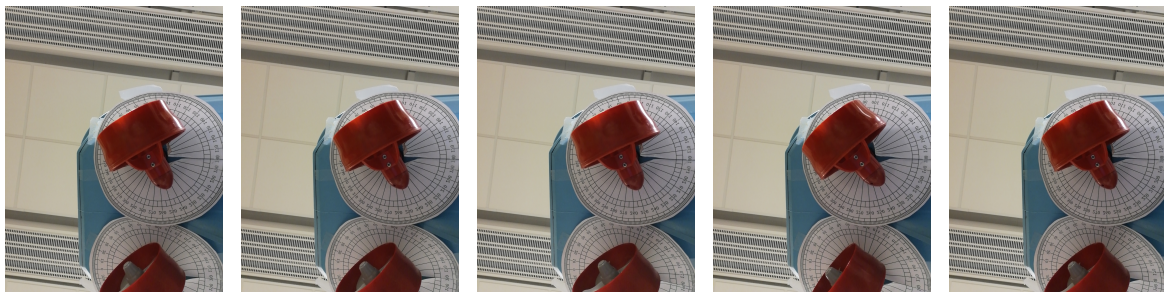
**Tabell 1:** De resulterade vinkelutslagen



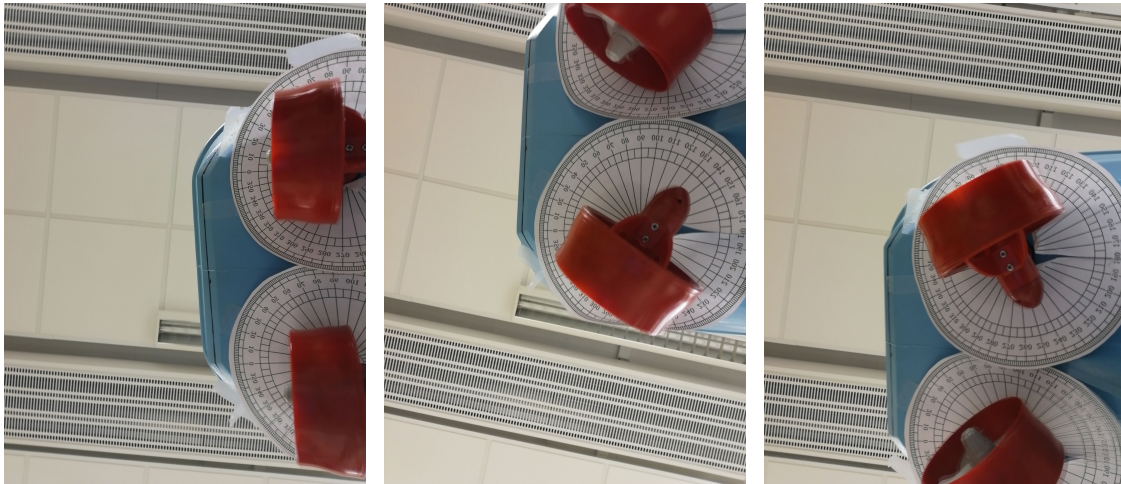
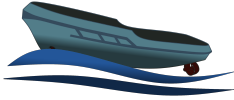
**Figur 1:** Bild av testen för vinkel 0. Notera att vinklar i bild 1, 3 och 5 är inom 5°



**Figur 2:** Bild av testen för vinkel 60. Notera att vinklar i bild 1, 3 och 5 är inom 5°



**Figur 3:** Bild av testen för vinkel -60. Notera att vinklar i bild 1, 3 och 5 är inom 5°



**Figur 4:** Bild med relevanta vinkelutslagen (bild 1, 3 och 5) sammanfogade för vinkel 0, 60 och -60

### 3 TEST AV ANVÄNDARGRÄNSSNITT

**Testnummer:** 2

**Krav:** 12, 13

**Syftet:** Testet ämnar verifiera att kommunikationen mellan farkosten och användargränssnittet fungerar och att noder kan skapas via användargränssnittet.

**Förklaring:** Användargränssnittet ska ansluta till båtens Raspberry Pi. Därefter ska fem noder som representerar en 8 meters kvadrat specificeras i gränssnittet. Datan för dessa noder skall sedan verifieras tillgänglig på Raspberry Pi:en genom en utskrift i terminalen.

**Ansvarig:** Tim Wiik

**Resultat:** Med anledning av att slutversionen av färdtrattsplaneraren sluter noderna till en kontinuerlig bana fodras enbart fyra noder för testet. Resten genomfördes enligt specifikationen och visas i Figur 8.

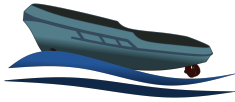
**Testnummer:** 3

**Krav:** (13), 14 [Extra], 15 [Extra]

**Syftet:** Testet ämnar verifiera att diverse funktionalitet i användargränssnittet fungerar.

**Genomförande:**

1. Användargränssnittet ska ansluta till båtens Raspberry Pi.
2. Farkostens nuvarande position, hastighet och orientering vara synlig grafiskt och med siffror i användargränssnittet
3. Farkostens ska ges ett kommando som startar alla dess motorer.
4. Nödstopp ska aktiveras i användargränssnittet.
5. Alla motorer i farkosten ska då verifieras ha stannat.



**Ansvarig:** Tim Wiik

**Resultat:** Testet genomfördes utan avvikelse från specifikationen.

**Testnummer:** 4

**Krav:** (12), (13), 16 [Extra]

**Syftet:** Testet ämnar verifiera att farkosten kan anpassa sin ruttplanering efter var den kan köra.

**Genomförande:** Användargränssnittet ska ansluta till båtens Raspberry Pi. En färdrutt bestående av två noder ska skapas. Ett område med farbart vatten skall definieras på ett sådant sätt att den planerade rutten mellan noderna ligger delvis utanför den. Farkosten skall köra rutten och verifieras hålla sig inom den skapade farbara området.

**Ansvarig:** Tim Wiik

**Resultat:** Testet uteblir med anledning av att markering av farbart vatten ej utvecklats på grund av tidsbrist.

## 4 MODELLTEST

**Testnummer:** 5

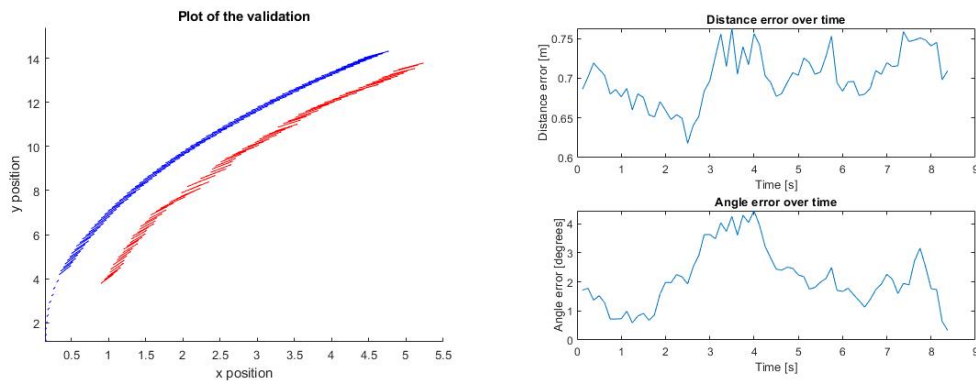
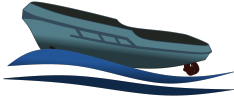
**Krav:** 18

**Syftet:** Testet syftar på att verifiera att modellen modellerar farkosten med tillräcklig hög noggrannhet jämfört med de uppmätta värdena på position och skattad orientering, när farkosten traverserar i  $x_b$ -led. Uppmätt position ges av GNSS-mottagaren med RTK och skattad yaw-vinkel från IMU:n.

**Genomförande:** Test-skriptet "5m\_fram.sh", som utformades för att skicka signaler som motsvarar en körning så rakt som möjligt i  $x_b$ -led kördes vid ett testtillfälle i den blåa lagunen. All sensordata loggades samtidigt som farkosten körde framåt med båda de riktbara proppellrarna riktade bakåt och med en hastighet som ligger innanför det specificerade intervallet på 1-3 m/s. Denna data delas upp i 2.5 sekunder långa segment som används för att se att kravet är uppfyllt.

**Resultat:** Körningen var inte helt rak, och farkosten svängde i barbord riktning under datainsamlingskörningen, sannolikt som ett resultat av olika friktion i de olika trustorerna. Som resultaten från Figur 5 visar farkostens uppmätta, blått, och predikerade, rött, position och vinkel. Notera att det plottade modellerade värdet är predikteringen 2.5 sekunder (prediktionshorisonten) i framtiden för varje mätvärde som initialt tillstånd, vilket är varför plottarna inte startar i samma punkt och de första 2.5 sekunderna av mätningen är streckade. Under denna körning blev största felmarginalen 0.7629 m och 4.4423 grader vilket ligger innanför det utsatta kravet.





**Figur 5:** Validering av modellen mot rakt fram med det uppmätta i blått och det modellerade i rött. Strecken i den vänstra bilden visar farkostens orientering

**Testnummer:** 6

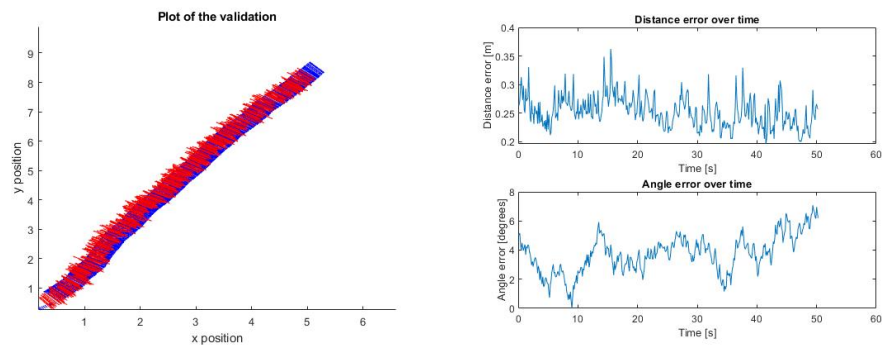
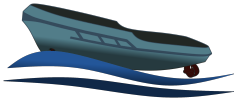
**Krav:** 19

**Syftet:** Testet syftar på att verifiera att modellen modellerar farkosten med tillräcklig hög noggrannhet jämfört med de uppmätta värden på position och skattad orientering, när farkosten traverserar i  $y_b$ -led. Uppmätt position ges av GNSS-mottagaren med RTK och skattad yaw-vinkel från IMU:n.

**Genomförande:** Test-skriptet "5m\_sway\_alt.sh", som utformades för att skicka signaler som motsvarar en körning så rakt som möjligt i  $y_b$ -led kördes vid ett testtillfälle i den blåa lagunen. All sensordata loggades samtidigt som farkosten kördes, i detta fall med bogproppelern och en utav roderpropellerna positionerad till 90 grader, med en hastighet som ligger innanför det specificerade intervallet på 0.1-0.5 m/s. Denna data delas upp i 2.5 sekunder långa segment som används för att se att kravet är uppfyllt.

**Ansvarig:** Tim Wiik

**Resultat:** Figur 6 visar farkostens uppmätta, blå, och predikterade, röd, position och vinkel. Notera att det plottade modellerade värdet är predikteringen 2.5 sekunder (prediktionshorisonten) i framtiden för varje mätvärde som initialt tillstånd, vilket är varför plottarna inte startar i samma punkt och de första 2.5 sekunderna av mätningen är streckade. Under denna körning blev största felmarginalen 0.3624 m och 7.0776 grader vilket ligger innanför det utsatta kravet.



**Figur 6:** Validering av modellen mot rakt sidled med det uppmätta i blått och det modellerade i rött. Strecken i den vänstra bilden visar farkostens orientering.

**Testnummer:** 7

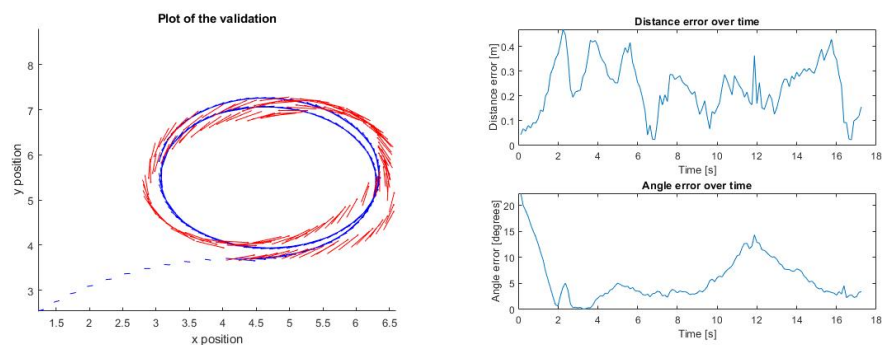
**Krav:** 20

**Syftet:** Testet syftar till att verifiera att modellen modellerar farkosten med tillräcklig hög noggrannhet jämfört med de uppmätta värden på position och skattad orientering. Den modellerade manövern utgörs av att farkosten svänger med konstant styrutslag tills färdrutten korsar sig själv. Uppmätt position ges av GNSS-mottagaren med RTK och skattad yaw-vinkel från IMU:n.

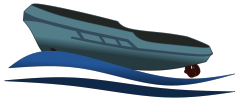
**Genomförande:** Testet utförs på samma sätt som Test 5 fast med styrutslag  $30^\circ$  och körningen fortsätter tills körvägen har slutit sig själv. Test-skriptet "looptest.sh" användes för detta test.

**Ansvarig:** Tim Wiik

**Resultat:** Figur 7 visar farkostens uppmätta, blå, och predikerade, röd, position och vinkel. Notera att det plottade modellerade värdet är predikteringen 2.5 sekunder (prediktionshorisonten) i framtiden för varje mätvärde som initialt tillstånd, vilket är varför plottarna inte startar i samma punkt och de första 2.5 sekunderna av mätningen är streckade. Under denna körning blev största felmarginalen 0.4688 m och 22.3782 grader vilket ligger innanför de utsatta kraven.



**Figur 7:** Validering av modellen mot looptest med det uppmätta i blått och det modellerade i rött. Strecken i den vänstra bilden visar farkostens orientering.



## 5 REGLERINGSTEST

**Testnummer:** 8

**Krav:** 24 [Extra], (22)

**Syftet:** Testet syftar på att verifiera hur störningar påverkar den implementerade regulatorn.

**Genomförande:** Farkosten ska kunna regleras i svagt strömmande vatten (ca 0.1 m/s). Testet utförs genom att låta farkosten följa en planerad rutt i strömmande vatten.

**Ansvarig:** Johannes Wenngren

**Resultat:** Testet uteblir med anledning av tidsbrist.

## 6 PRESTANDATEST

**Testnummer:** 9

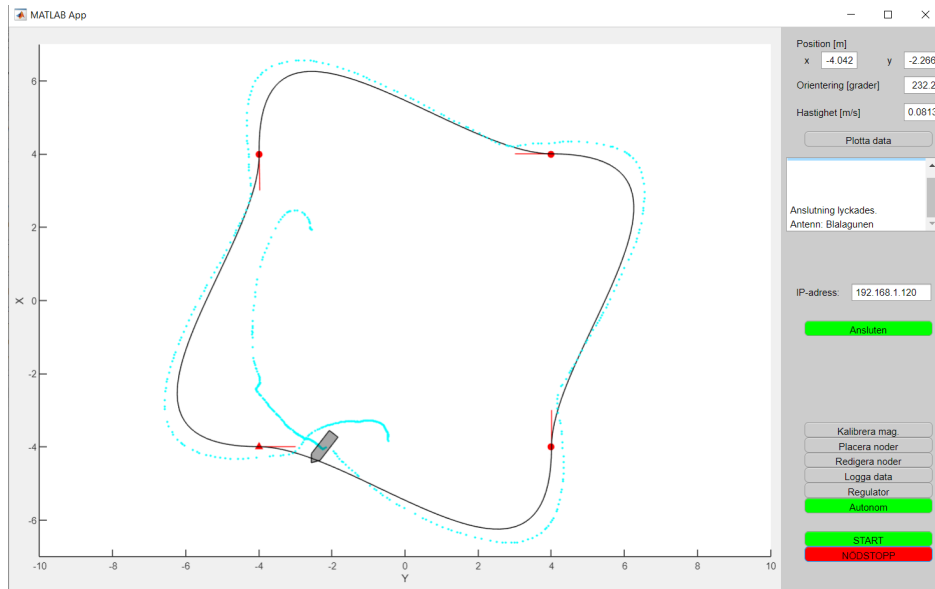
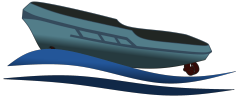
**Krav:** 25, (22)

**Syftet:** Testet syftar på att verifiera att den implementerade regulatorn fungerar.

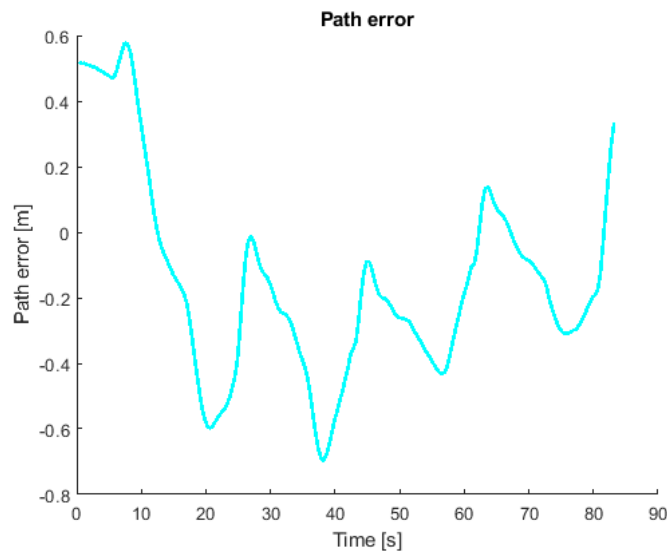
**Genomförande:** Krav 25 testas genom att låta farkosten följa en planerad rutt, där positionen för GPS-mottagaren skall vara inom 100 cm maximalt fel från rутten enligt GNSS med RTK. Rutten ska bestå av fem noder som representerar en 8 meters kvadrat.

**Ansvarig:** Oskar Jonsson

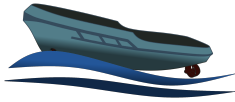
**Resultat:** Testet genomfördes med en regulator baserad på tillståndsåterkoppling. Både planerad rutt och båtens färdväg presenteras i Figur 8 och avståndsfelet i Figur 9. Efter en inspektion av resultatet fastställdes det att båten höll sig inom 70 cm från dess referens. Dock mottogs ingen RTK-data under testet så positionen baserades endast på GNSS data.



**Figur 8:** Tillståndsåterkoppling på en bana definierad av fyra noder i en 8 meters kvadrat. De blå prickarna visar farkostens färdväg. Regleringen startades någon meter till höger om startnoden (markerad med en trekant) och fortsatte moturs ett varv.



**Figur 9:** Tillståndsåterkopplingens avståndsavvikelse från banan under testkörningen.



**Testnummer:** 10

**Krav:** 26

**Syftet:** Testet syftar på att verifiera att den implementerade regulatorn kan hålla båten stilla.

**Genomförande:** Krav 26 testas genom att specificera en hamnod som farkosten ska försöka stå still vid, sedan får farkosten navigera dit och stanna där i 1 minut. Den faktiska positionen och orienteringen mäts av GNSS med RTK respektive IMU:n. Felet mäts relativt den önskade position och orientering som specificerats för hamnoden.

**Ansvarig:** Axel Ståhlbom

**Resultat:** Testet uteblir då reglering för stillastående inte utvecklades.

## 7 SENSORFUSIONSTEST

**Testnummer:** 11

**Krav:** 28

**Syftet:** Syftet med testet är att säkerställa att skattningen av farkostens riktning inte påverkas av translationsrörelser av båten.

**Genomförande:** Krav 28 testas genom att farkosten roteras ett helt antal varv och förflyttas för att utsättas för accelerationer i horisontell led vilka inte överstiger 1 g, varefter farkosten placeras i sin ursprungsposition och algoritmens angivna vinkel ska då ligga inom felmarginalen 3 grader.

**Ansvarig:** Oscar Hermansson

**Resultat:** Testet gjordes så att farkosten placerades på ett bord med hjul och ställdes mot en vägg som utgångspunkt. Från utgångspunkten flyttades farkosten en bit från väggen och roterades ett varv under skakningar samt förflyttningar i horisontellt led varefter bordet placerades mot samma vägg. Resultatet av den skattade yaw-vinkeln under körningen visas i Figur 10 och visar att skattningen är mycket rimlig. Genom att jämföra den första och sista skattningen av yaw-vinkeln under körningen blev skillnaden -2.2351 grader vilket ligger under det satta kravet på 3 grader.

## 8 TILLFÖRLITLIGHET

**Testnummer:** 12

**Krav:** 29

**Syftet:** Testet syftar till att säkerställa att farkosten kan regleras i lugnt vatten med minimala yttre störningar.

**Genomförande:** Krav 29 testas genom att utföra test 9 och 10 i en insjö (t.ex. Blå Lagunen) samtidigt som det inte blåser mer än 5 m/s och farkosten håller en ungefärlig hastighet på 0.4 m/s (förutom i närheten av hamnader).

**Ansvarig:** Tim Wiik

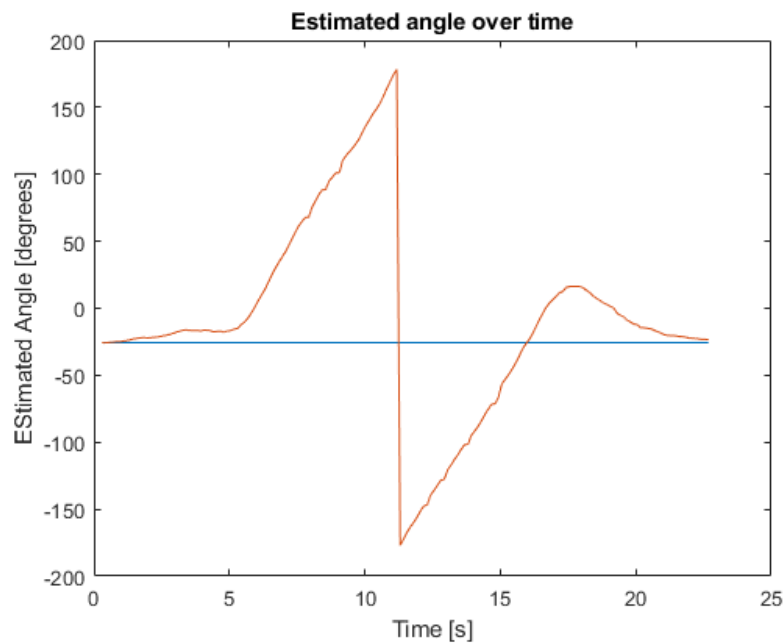
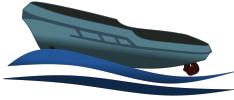
**Resultat:** Resultatet av testet är resultatet av test 9 och 10.

**Testnummer:** 13

**Krav:** 30 [Extra]

**Syftet:** Testet syftar till att säkerställa att farkosten kan regleras i lugnt vatten med yttre störningar i form av strömmande vatten.

**Genomförande:** Test 9 och 10 genomförs i strömt vatten (t.ex. Stångån). Vattnet ska strömma minst 0.1 m/s och detta



**Figur 10:** Plot av den skattade yaw-vinkeln under testet.

mäts upp på samma sätt som i test 5.

**Ansvarig:** Tim Wiik

**Resultat:** Uppreningen av test 9 uteblir med anledning av tidsbrist och uppreningen av test 10 med anledning av att mjukvaran inte utvecklats för syftet.

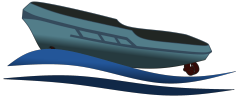
## 9 UPPFYLLNAD AV ÖVRIGA KRAV

Krav 1-7, 9-11, 23, 27 och 44-45 specificerar endast hur systemet ska designas, de kan verifieras utifrån den slutgiltiga koden och hårdvaran. Inga specifika test krävs.

Krav 17 verifieras utifrån vilken indata och utdata den framtagna modellen har. Krav 21 blir implicit uppfyllt om modellen klarar test 6 och 7.

De ekonomiska kraven 31-33, säkerhetskravet 34 och kraven om leveranser 35-41 blir uppfyllda om projektarbetet utförs enligt projektplanen [2].

Den utbildning som specificeras av krav 42 har getts och kravet är därmed redan uppfyllt. Krav 43 och 46 är administrativa och kräver inga test för att uppfyllas.



## REFERENSER

- [1] O. Hermansson, O. Jonsson, J. Siönäs, A. Ståhlbom, J. Wenngren och T. Wiik, *Kravspecifikation, Model-based Control of Small-scale Surface Vessel*, 2021.
- [2] O. Hermansson, O. Jonsson, J. Siönäs, A. Ståhlbom, J. Wenngren och T. Wiik, *Projektplan, Model-based Control of Small-scale Surface Vessel*, 2021.