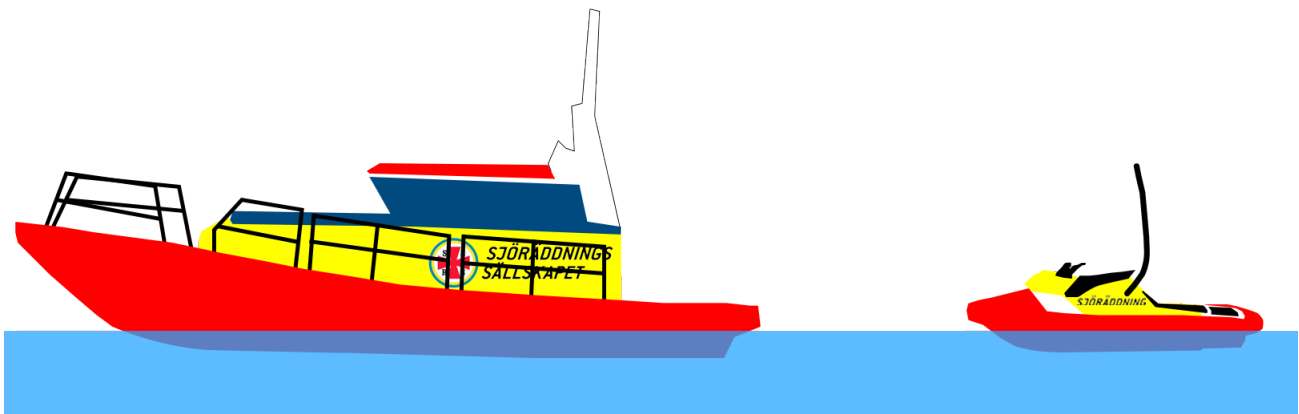




CHALMERS



Autonom eskortering av Rescuerunner I SAMARBETE MED SVENSKA SJÖRÄDDNINGSSÄLLSKAPET

Författare:

Adam Andersson
Victor Bäckman
Oskar Grankvist
Oscar Pantzare
Anders Sarvik

Autonom eskortering av Rescuerunner

I SAMARBETE MED SVENSKA SJÖRÄDDNINGSSÄLLSKAPET

Författare:

Adam Andersson
anadam@student.chalmers.se
Victor Bäckman
vicbac@student.chalmers.se
Oskar Grankvist
oskgr@student.chalmers.se
Anders Sarvik
sarvik@student.chalmers.se
Oscar Pantzare
pantzare@student.chalmers.se

Examinator:

Martin Fabian
fabian@chalmers.se

Handledare:

Petter Falkman
petter.falkman@chalmers.se

Kontaktperson på SSRS:

Fredrik Falkman

Kandidatarbete SSYX02-15-38
Institutionen för Signaler och system
Chalmers tekniska högskola
412 96 Göteborg, Sweden
7 juni 2015

Samarbeten

Projektet har utförts i samarbete med svenska Sjöräddningssällskapet. Initiativtagare är Fredrik Falkman som har utvecklat Rescuerunnern.

Omslagsbild

Omslagsbilden är skapad av ©Adam Andersson och är en illustration av en räddningsbåt samt en Rescuerunner.

Tack till

Vi vill tacka Hans Sjöberg vid institutionen för Produkt- och produktionsutveckling för bistånd med verktyg och hjälp. Vi vill även tacka Jan Bragee i prototyplaboratoriet för handräckning vid det praktiska arbetet.

Sammanfattning

Svenska Sjöräddningssällskapet, SSRS, har utvecklat en vattenskoter kallad Rescuerunner för att underlätta räddningsuppdrag på grunda vatten. Det är dock mycket ansträngande att framföra Rescuerunnern längre sträckor vilket leder till att den ofta inte används i praktiken.

Projektet syftar till att utveckla ett system som enkelt kan transportera en Rescuerunner och därmed avlasta sjöräddarnas arbetsbörda. Detta genom att få Rescuerunnern att autonomt följa efter (eskorteras av) en större räddningsbåt. Väl på plats ska en sjöräddare kunna embarkera Rescuerunnern för manuell framföring under räddningsuppdraget. När sjöräddaren sedan har utfört sin uppgift och debarkerat från Rescuerunnern ska den åter igen följa räddningsbåten tillbaka i hamn.

Projektets huvudsakliga resultat är möjligheten att fjärrstyra en Rescuerunner trådlöst via Wi-Fi genom en handkontroll. Ett system för att autonomt eskortera Rescuerunnern testades även med ett inte lika lyckat resultat. Ytterligare arbete behövs för att få följningen att fungera korrekt.

Abstract

The Swedish Sea Rescue Society, SSRS, has developed a jet ski called Rescuerunner to facilitate rescue operations in shallow waters. However, it is very tiring to drive over longer distances in harsh weather.

The project aims to develop a system that can easily transport a Rescuerunner and thus relieve the workload of the crew. This will be achieved by getting the Rescuerunner autonomously to follow (or to be escorted by) a rescue boat. Once in place, a rescuer is able to embark the Rescuerunner for manual control during the rescue mission. When the rescuer has performed his task and has disembarked from the Rescuerunner, the Rescuerunner shall once again follow the rescue boat back to port.

The project's main result is the ability to remotely control a Rescuerunner wirelessly via Wi-Fi through a controller. A system to autonomously escort the Rescuerunner was also tested but not completely successful. Further work is needed to get the following ability to function properly.

Nyckelord: vattenskoter, Rescuerunner, autonom, eskortering, följning, räddning, SSRS, Arduino, inbyggda system, simulering.

Innehåll

1	Inledning	1
1.1	Sjöräddningssällskapet	1
1.1.1	Rescuerunner	1
1.2	Bakgrund	1
1.3	SSRS:s vision och mål	1
1.4	Problembeskrivning	2
1.4.1	Elektronisk gas och styrning av Rescuerunnern	2
1.4.2	Kommunikationslänk mellan Rescuerunner och räddningsbåt	2
1.4.3	Positionering av Rescuerunner och räddningsbåt	2
1.5	Förutsättningar	3
1.6	Avgränsningar	3
1.7	Kravspecifikation för projektet	3
2	Teori	4
2.1	Tidigare relaterat arbete	4
2.2	Matematisk beskrivning av en Rescuerunner	4
2.2.1	Matematisk modell	4
2.2.2	Rörelseekvationer	6
2.2.3	Diskretisering av rörelseekvationer	7
2.3	Banföljningsalgoritm	8
2.4	Regulator	8
2.5	Matematisk modell av likströmsmotor	10
2.6	Remväxel	11
2.7	Rescuerunnerns mekaniska system	11
2.7.1	Förbränningsmotor	12
2.7.2	Styrsystem	12
2.8	Positionering	12
2.9	Trådlös kommunikation	13
2.10	Arduino	13
3	Elektronisk kontroll av styrvinkel	15
3.1	Kravspecifikation	15
3.2	Valt styrkoncept	15
3.3	Motorval till elektronisk styrning	17
3.4	Färdigt styrsystem och montering	18
3.5	Mätning av styrets vinkel	19
3.6	Växling mellan manuell och automatisk styrning	20
3.7	Teoretisk prestanda för elektrisk kontroll av styrvinkel	20
3.8	Faktisk prestanda för elektrisk kontroll av styrvinkel	21
4	Elektronisk kontroll av gaspådrag	23
4.1	Prestanda för gassystemet	26
5	Positionering med GPS	27
5.1	Prestanda för positionering med GPS	27
6	Kommunikation mellan räddningsbåt och Rescuerunner	29

7	Integrering av dellösningar	31
7.1	Komponenter i Rescuerunnern	32
7.2	Komponenter på räddningsbåten	33
7.3	Programmering av mikrokontroller	35
8	Fjärrstyrning av Rescuerunner med handkontroll	36
9	Autonom eskortering	38
9.1	Simuleringar	38
9.2	Informationsflöde	38
9.3	Banföljningsalgoritm	39
9.4	Regulator för gas och styrning	39
9.5	Verkliga tester	39
10	Diskussion och slutsatser	42
10.1	Förenklad matematisk beskrivning av Rescuerunnern	42
10.1.1	Rescuerunnerns önskade styrvinkel realiseras inte vid eskortering	42
10.1.2	Förbättrad banföljningsalgoritm	42
10.2	Elektroniskt gassystem	42
10.3	Styrsystemet	43
10.4	Precision med GPS	43
10.5	Fjärrstyrning av Rescuerunnern	43
10.6	Vidareutveckling	44
A	Koncept för styrning	48
B	Koncept för gasstyrning	50
C	Koncept för positionering	51

Figurer

1	En sprängskiss av en Rescuerunner, ©Fredrik Falkman.	8
2	Definierade storheter med referensriktningar för Rescuerunnern.	5
3	Kraftfriläggning av Rescuerunnern i rörelse.	6
4	Ansatta längder för Rescuerunnern.	6
5	Illustration hur banföljningen fungerar. Där dS är det direkta avståndet mellan Rescuerunnern och nästa mål.	8
6	Illustration över hur regulatorstrukturen syftar till att minimera felet mellan insignal och utsignal.	9
7	Modell över likströmsmotor.	10
8	Modell över remväxel	11
9	Skiss över befintligt styrsystem. Dysan är mynningen från vattenjetmotorn, Rescuerunnern svänger när dysans vinkel ändras.	12
10	CAD modell som visar det valda styrsystemkonceptet.	16
11	I markeringen ses anslutningspunkten mellan styret och styrvajern i orginalutförande. I det nya styrsystemet byts vinkellänken ut till en med längre gängstång vilket tillåter den anslutande armen från remskivan att monteras på ovasidan av fästpunkten.	16
12	Varvtal-Moment diagram, för MicroMotors E192.12.125. Diagrammet är gjort utifrån data hämtad från datablad tillhandahållet av tillverkaren.[1] Den röda linjen visar var på varvtals-axeln motorn arbetar vid rotation, från mitten till max på en sekund, vid denna hastighet är det möjligt att få ut 8,2Nm	17
13	Det färdiga styrsystemet innan montering i Rescuerunnern. Under likströmsmotorn syns lasersensorn som används för att mäta styrets vinkel. Under den större remskivan syns IR-sensorn som initierar styrningen	18
14	Styrsystemet monterat i Rescuerunnern, i manuellt läge.	19
15	Figuren visar ett stegsvar från ett ändläge till mittenläget, ett visst översläng observeras.	21
16	Utvärdering av styrsystemets prestanda på land.	22
17	Illustration av reläfunktion	24
18	Analys av digitalpotentiometer	24
19	Kopplingsschema över framtaget gassystem.	25
20	Rescuerunnerns hastighetsändring efter gaspådrag	26
21	Utvärdering av GPS-prestanda som visar att enheterna ligger inom önskad noggrannhet. Den vänstra bilden är räddningsbåtens GPS-enhet och den högra är Rescuerunnerns GPS-enhet.	28
22	Sekventiellt funktionsdiagram över Rescuerunnern.	30
23	Sekventiellt funktionsdiagram över räddningsbåten.	30
24	Överblick över komponenter.	31
25	Schema över informationsflöde för komponenter.	31
26	Elektriska komponenter i Rescuerunnern	32
27	FollowMe-knapp samt strömbrytare på Rescuerunner vid styrstammen.	33
28	Inbyggnadslåda för komponenter i Rescuerunnern.	33
29	Handkontroll för användning ombord på räddningsbåt.	34
30	Av Rescuerunnern körd bana, styrd med hjälp av handkontroll	37
31	Den grafiska återkopplingen från simuleringen i Matlab. Där ringar symboliserar Waypoints där båten har varit och den grå linjen Rescuerunnerns position. Den nedre figuren visar Rescuerunnerns orientering i rummet samt momentan data för hastighet, acceleration, styrvinkel och kurs.	38
32	Ett övergripande schema hur den matematiska modellens funktioner implementerades.	39
33	Uppmätta positioner, verkliga kurser och av systemet beräknad kurs till båten.	40
34	Jämförelse mellan beräknad önskad kurs till båten och Rescuerunnerns uppmätta kurs och styrvinkel.	41
35	Jämförelse mellan den simulerade båtens hastighet och Rescuerunnerns uppmätta hastighet.	41

Tabeller

1	Kravspecifikation för hela projektet	3
2	Potentiometervärden	12
3	Kravspecifikation styrning.	15
4	Kravspecifikation för gasstyrning.	23
5	Kravspecifikation för positionering.	27
6	Kravspecifikation för kommunikation.	29
7	Pughmatris 1 styrning	48
8	Pughmatris 2 styrning	49
9	Pughmatris gasstyrning	50
10	Pughmatris positionering	51

Nomenklatur

- Rescuerunner - Vattenskoter utformad för räddningsuppdrag, se figur 1.
- SSRS - Svenska Sjöräddningssällskapet eller Svenska Sällskapet för Räddning af Skeppsbrutne.
- Vattenjet - Propulsortypen på Rescuerunnern, bygger på principen att en vattenstråle riktas bakåt för att driva farkosten framåt.
- Dysa - Cylinder som riktar den vattenstråle som skjuts ut av vattenjeten.
- TPS - Throttle position sensor. Avser systemet som består av både en lägesgivare för gasspjället och en APS.
- APS - Accelerator position sensor. En enhet för att omvandla mekanisk gasreglering till elektrisk signal.
- ECM - Engine Control Module, även kallat ECU. En elektronisk styrenhet som styr motorn för att optimera användandet.
- Sköld - Tillägg till Arduino som monteras ovanpå Arduinos.



Figur 1: En sprängskiss av en Rescuerunner, ©Fredrik Falkman.

1 Inledning

Projektet genomförs för att hjälpa Sjöräddningssällskapet (SSRS) att utveckla sin verksamhet. Initiativtagaren till projektet är Fredrik Falkman, SSRS.

1.1 Sjöräddningssällskapet

Svenska Sällskapet för Räddning af Skeppsbrutne, SSRS, grundades 1907 med syfte att undsätta och assistera vid olyckor till havs. Idag har de 67 stationer runt om i landet, främst längs kusterna men även vid de största sjöarna. Vid utryckning kan någon av de 2000 frivilliga lämna kajen inom 15 minuter efter att larmet kommit in. SSRS jobbar även proaktivt med utbildning, utvecklingsprojekt och informering om Sjöräddningssällskapets arbete. Målet för den ideella organisationen är att ingen skall omkomma till sjöss. Till sin hjälp har de ett antal olika båtmodeller, flera som har utvecklats av SSRS, från 20 meters Rausing-klassen ned till Rescuerunner.

1.1.1 Rescuerunner

Rescuerunner är en specialutvecklad sjöräddningsvattenskoter som är framtagen av Fredrik Falkman tillsammans med SSRS, se figur 1. I grunden bygger den på en Yamaha Waverunner¹ med en motoreffekt på 140 hästkrafter. Rescuerunnern har fått ett skrov som är både längre och bredare än original, samtidigt som det är tillverkat av mjukt och tåligt polyeten. Detta för att få en farkost som är lätt att manövrera på grunda vatten. Det stora mjuka skrovet minskar risken för skador på nödställda samtidigt som det ger plats för upp till tre personer på Rescuerunnern. Dessa egenskaper gör Rescuerunnern väldigt användbar i trånga utrymmen där det är riskabelt att gå nära en nödställd med en större räddningsbåt.

1.2 Bakgrund

Nackdelen med Rescuerunnern är att det är mycket fysiskt påfrestande för föraren att köra långa transportsträckor eller i dåliga väderförhållanden. Detta har lett till att Rescuerunnern inte tas med ut på uppdrag och därför inte uppfyller sitt fulla syfte.

De flesta av SSRS:s båtar är för små för att kunna förvara Rescuerunnern ombord vid transport. En traditionell bogsering med tamp innebär stor kognitiv belastning² för föraren av den bogserande båten. Detta på grund av att mycket fokus måste riktas till att hålla koll på vart Rescuerunnern befinner sig.

På grund av vattenjetens uppbyggnad måste motorn på Rescuerunnern vara igång under en traditionell bogsering. Även detta belastar föraren kognitivt för att ständigt hålla koll på om motorn fortfarande är igång.

1.3 SSRS:s vision och mål

SSRS har efterfrågat ett sätt för besättningen att få med sig Rescuerunnern till olycksplatsen utan att ytterligare belastas kognitivt eller fysiskt. Detta i form av ett system där Rescuerunnern autonomt, utan förare, följer efter en större räddningsbåt till olycksplatsen. Väl på plats kan en utvilad förare embarkera Rescuerunnern, byta till manuell styrning och utföra räddningsuppdraget. När uppgiften är avklarad kan föraren debarkera och låta Rescuerunnern autonomt följa efter båten tillbaka i hamn. Målet är således att vidareutveckla Rescuerunnern att autonomt följa en större båt. Detta utan att implementeringen inkräktar på Rescuerunnerns funktioner vid

¹En kommersiell vattenskoter.

²Kognitiv belastning är den mentala belastningen på en person som utför en viss uppgift [2].

manuellt användande. Rapporten syftar därför till att presentera en konkret lösning för att nå detta mål.

1.4 Problembeskrivning

Från att ett larm når sjöräddaren ska det gå så fort som möjligt att bege sig ut på sjön. I dagsläget måste ett beslut tas om vilket fordon som är bäst lämpat. Detta med avseende på hur långt bort olycksplatsen är, hur vädret är och om det är möjligt att plocka upp de i sjönöd från en större båt. Projektet ska syfta till att helt eliminera ett sådant beslut genom att möjliggöra att få med sig både en större båt och en Rescuerunner utan att ytterligare belasta besättningen.

För att detta ska vara genomförbart måste ett antal delproblem lösas:

- Teoretisk kunskap om hur en Rescuerunner beter sig i havet.
- Styra gaspådrag och styrvinkel elektroniskt.
- Byta mellan autonom och manuell styrning.
- Skapa en kommunikationslänk mellan Rescuerunner och båt.
- Beräkna Rescuerunnerns position relativt båten.
- Ta fram en algoritm som kan realisera autonom följning.
- Implementera regulatorer för att realisera önskat gaspådrag och önskad styrvinkel.
- Ta fram en lösning för att kunna fjärrstyra Rescuerunner med handkontroll.

En mer detaljerad problembeskrivning än ovanstående lista beskrivs under följande underrubriker.

1.4.1 Elektronisk gas och styrning av Rescuerunnern

För att hålla sig på rätt kurs och på ett säkert avstånd bakom räddningsbåten måste Rescuerunnern kunna reglera både styrning och gas kontinuerligt. Väl framme vid olycksplatsen är det viktigt att enkelt kunna byta till manuell kontroll. Vid ett sådant läge får den autonoma installationen inte vara i vägen eller på annat sätt störa föraren under räddningsuppdraget.

1.4.2 Kommunikationslänk mellan Rescuerunner och räddningsbåt

När det är dags för Rescuerunnern att börja följa efter räddningsbåten behöver Rescuerunnern få detta kommunicerat till sig. Även information om vilket avstånd Rescuerunnern bör hålla från båten måste kommuniceras. Detta för att besättningen på den större båten ska kunna säga till Rescuerunnern att komma närmare för embarkering och manuell körning. Kommunikationen ska fungera oavsett väder och bör inte vara beroende av någon fysisk kontakt mellan Rescuerunnern och den större båten. Kommunikationen bör fungera på avstånd större än 150 meter för att möjliggöra ett säkert avstånd under transport.

1.4.3 Positionering av Rescuerunner och räddningsbåt

För att kunna avgöra hur Rescuerunnern ska köra behöver systemet veta avstånd och riktning mellan den större båten och Rescuerunnern. Då allt sker i en dynamisk marin miljö behöver systemet fungera även när det går mycket sjö och regnar.

1.5 Förutsättningar

För att genomföra projektet ställde SSRS en av sina befintliga Rescuerunners till förfogande. Denna skall återlämnas efter projektets slut (29/5 2015), i operativt skick. Det finns även möjlighet att testa lösningen med en större sjöräddningsbåt via SSRS.

1.6 Avgränsningar

Då detta är ett pilotprojekt görs stora avgränsningar för att ett resultat skall nås innan tiden för projektet löper ut:

- Tester kommer att genomföras i lugnt väder, det vill säga platt vatten och försumbar vind.
- Rescuerunnern kommer att köra i låg hastighet (lägre än 5 knop).
- Programmet tar inte hänsyn till förlorad kommunikation mellan båt och Rescuerunner.
- Rescuerunnern körs på öppen yta utan yttre störningar av andra båtar eller hinder.
- Projektet undersöker inte möjligheter för Rescuerunnern att autonomt köra ut från en hamn till en ledarbåt.
- Embarkeringsfunktion där Rescuerunnern kör fram till ledarbåten för påstigning kommer inte tas fram.

1.7 Kravspecifikation för projektet

För att göra det möjligt att bedömma om lösningarna uppfyller kraven ställdes följande kravspecifikation upp.

Tabell 1: Kravspecifikation för hela projektet

Kriterier	Kontrollmetod	Målvärde	Krav/Önskemål
Autonomt följa efter större båt	Test	Ja	K
Kunna köras manuellt	Test	Ja	K
Låg kognitiv belastning	Utvärdering från SSRS	Ingen	K
Låg fysiskt belastning	Utvärdering från SSRS	Ingen	K
Litet/Inget behov av anpassning på större båt	Montering	Ingen	K
Fjärstarta	Test	Ja	Ö
Intuitiv kontroll	Utvärdering från SSRS	Ingen förklaring behövs	Ö
Nödankring	Test	Rescuerunner håller position	Ö
Automatisk sjösättning	Test	Ja	Ö
Fungera på tillräckligt stora avstånd	Test	Minst 50 m	K
Fungera på tillräckligt stora avstånd	Test	Minst 150 m	Ö
Möjlighet att flytta lösningen från en ledarbåt till en annan	Utvärdering från SSRS	Ja	Ö

Specifikationen leder arbetets röda tråd och kompletteras senare av olika delproblems egna kravspecifikationer.

2 Teori

För att få en kunskapsbas att utgå från studeras flera olika teorier som anknyter till projektet. Detta exempelvis i form av litteraturstudier om liknande arbeten och beskrivningar om hur Rescuerunnern fungerar mekaniskt.

2.1 Tidigare relaterat arbete

Idag bedrivs mycket forskning om så kallad styrd körning[3], efter engelskans platooning, ett problem som kan te sig vara likt problemdefinitionen i detta projekt. Dessa system använder sig i stor utsträckning av radar för att känna av avstånd till framförvarande fordon. En begränsning med dessa radarsystem är att de har ett väldigt begränsat horisontellt synfält på större avstånd[4] samt att de är känsliga för vertikala vinkeländringar. För att kunna använda sig av radar förutsätts också att det finns ett fordon inom synfältet att följa efter, något som inte kan antas vara fallet för Rescuerunnern. Det finns autopiloter som kan reglera segelbåtars roder, vilka kan styra segelbåtar med hänsyn till destination, vindar samt vågor. Dessa autopiloter tillåter byte mellan automatiskt läge och manuell läge, men begränsas i sina krav på indata i form av vindvinkel och önskad kurs [5]. Det finns liknande projekt vid Norwegian University of Science and Technology, där större motorbåtar görs autonoma [6]. Dock kan inte deras teorier tillämpas direkt på en Rescuerunner på grund av skillnaden i fordonens uppbyggnad. En vanlig båt styrs ofta med hjälp av roder medan Rescuerunnerns styrning endast är beroende av vattenjetens vinkel och kraft. Med andra ord måste man gasa för att svänga med en Rescuerunner medan det, för en båt med roder, räcker att ha en hastighet.

2.2 Matematisk beskrivning av en Rescuerunner

Med en matematisk beskrivning är det möjligt att teoretiskt uppskatta hur Rescuerunnern rör sig beroende på given gas och styrvinkel. Utgående från beskrivningen kan även en simulering över manöverduglighet göras och redovisas grafiskt. Från simuleringen är det möjligt att göra en kvalificerad skattning av kontrollparametrar. I följande avsnitt kommer en modell av Rescuerunnern att härledas. Denna modell kommer sedan att kontrolleras av en banföljningsfunktion med regulatorer för gas och styrning.

2.2.1 Matematisk modell

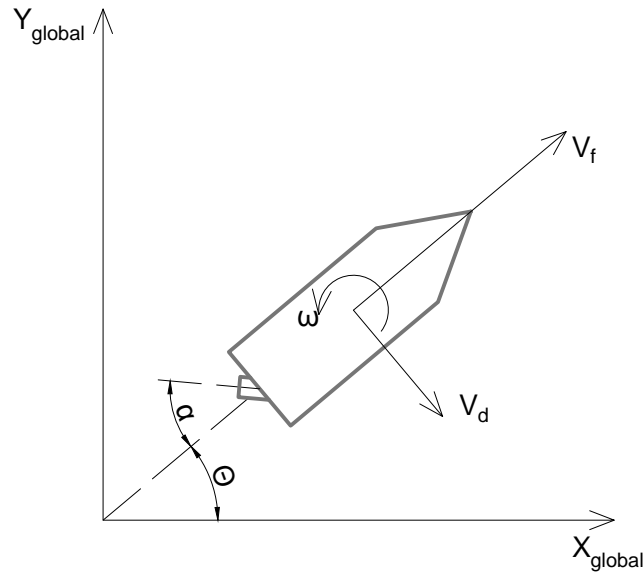
Rescuerunnern antas vara en stelkropp med tre frihetsgrader; translation i två riktningar samt rotation runt axeln vinkelrät mot translationen. För att underlätta härledningen används två stycken skilda koordinatsystem; ett för Rescuerunnern och ett globalt.

- **Globalt koordinatsystem**

Detta kan liknas med det geografiska systemet som används vid GPS-positionering och är alltså fast relativt jorden. Systemet antas vara inertialt då Rescuerunnern rör sig med låg hastighet relativt jordens rotationshastighet. Detta betyder att de lokala krafterna på Rescuerunnern är mycket större än de som uppstår på grund av jordens rotation [7].

- **Vattenkoterns koordinatsystem**

Detta koordinatsystem sitter fast och roterar med Rescuerunnern. Genom att definiera riktningar enligt figur 2 kan kraftekvationer sättas upp och beräknas. Dessa storheter transformeras sedan till det globala koordinatsystemet för att kunna användas ytterligare.



Figur 2: Definierade storheter med referensriktningar för Rescuerunnern.

Rescuerunnerns styrning sker genom att vinkla vattenjeten, denna styrvinkel relativt båtens riktning deklarerar som α . Vinkeln Θ används för att beskriva Rescuerunnerns riktning relativt det fixa koordinatsystemets x -axel. Denna rymdvinkeln Θ sparas sedan tillsammans med Rescuerunnerns globala position (x_{global}, y_{global}) i vektorn P_{global} enligt

$$\vec{P}_{global} = \begin{pmatrix} x_{global} \\ y_{global} \\ \Theta \end{pmatrix}.$$

Rescuerunnern antas ha tre stycken hastigheter; V_f framåt i förens riktning, V_d i sidled som beskriver drift och en rotationshastighet ω . Genom att ta fram uttryck för dessa hastigheter kan nya positioner beräknas. Detta genom att beräkna förflyttningen efter ett litet tidsintervall Δt och addera föregående position. Förflyttningen fås genom att anta konstant hastighet enligt $\Delta \vec{S} = V \cdot \Delta t$. Beräkningen förenklas genom att skapa en hastighetsvektor enligt

$$\vec{V}_{skoter} = \begin{pmatrix} V_f \\ V_d \\ \omega \end{pmatrix}.$$

Förflyttningen $\Delta \vec{S}_{skoter}$ i Rescuerunnerns koordinatsystem beräknas då enligt

$$\Delta \vec{S}_{skoter} = \vec{V}_{skoter} \cdot \Delta t.$$

Observera att detta endast betecknar förflyttningen i Rescuerunnerns roterande koordinatsystem. För att beskriva rörelsen i det globala koordinatsystemet måste denna förflyttning transformeras om. Detta görs enklast med hjälp av en rotationsmatris [8] $Rot(\Theta)$ som beror av Rescuerunnerns riktning Θ enligt

$$Rot(\Theta) = \begin{pmatrix} \cos(\Theta) & -\sin(\Theta) \\ \sin(\Theta) & \cos(\Theta) \end{pmatrix}.$$

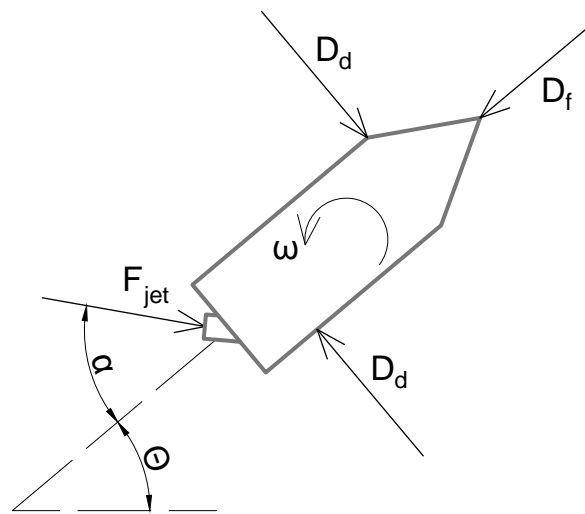
Den nya positionen \vec{P}'_{global} kan nu beskrivas i det globala koordinatsystemet enligt

$$\vec{P}'_{global} = \vec{P}_{global} + \Delta \vec{S}_{skoter} Rot(\Theta),$$

där \vec{P}_{global} är Rescuerunnerns nuvarande läge.

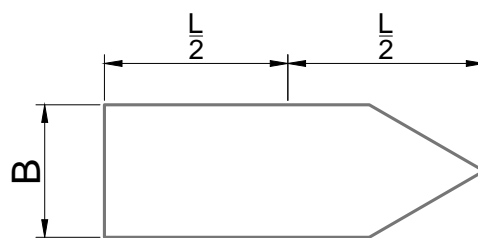
2.2.2 Rörelseekvationer

Genom att utgå från Newtons andra lag $F = ma = m\dot{V}$ kan Rescuerunnerns resulterande acceleration beräknas i respektive led. Vattenjeten ger upphov till den drivande kraften F_{jet} som får Rescuerunnern att åka framåt, rotera och driva beroende på jetvinkeln α . Avgränsningen att havet är stilla och att det inte blåser gör att krafter från vågor och vind kan bortses. Kvarvarande dämpande krafter blir vattenmotståndet mot att åka framåt D_f , i sidled D_d och att rotera D_Θ . En friläggning av krafterna kan ses i figur 3.



Figur 3: Kraftfriläggning av Rescuerunnern i rörelse.

Då ett moment M definieras som en kraft F multiplicerat med en hävarm L enligt $M = F \cdot L$ måste Rescuerunnerns yttre mått tas i åtanke. Variablerna för dessa mått är deklarerade i figur 4.



Figur 4: Ansatta längder för Rescuerunnern.

Eftersom Rescuerunnern har en utbredd massa kommer den även ha ett tröghetsmoment I_z runt rotationsaxeln. Kraftekvationerna kan nu formuleras i Rescuerunnerns riktning \hat{f} , hur Rescuerunnern driver \hat{d} , samt roterar $\hat{\Theta}$, enligt

$$\begin{aligned}\hat{f}: \quad F_f &= F_{jet} \cos(\alpha) - D_f \\ \Rightarrow \dot{V}_f &= \frac{1}{m} (F_{jet} \cos(\alpha) - D_f)\end{aligned}\tag{1}$$

$$\begin{aligned}\hat{d}: \quad F_d &= F_{jet} \sin(\alpha) - D_d \\ \Rightarrow \dot{V}_d &= \frac{1}{m} (F_{jet} \sin(\alpha) - D_d)\end{aligned}\tag{2}$$

$$\hat{\Theta}: \quad M_z = F_{jet} \sin(\alpha) \frac{L}{2} - 2D_\Theta \frac{L}{4}.\tag{3}$$

Dämpningen från vattenmotståndet kan approximeras enligt

$$D = \frac{1}{2} C \rho A V^2.$$

Där C är en konstant som beskriver hur strömlinjeformad objektet är. A är tvärsnittsarean av objektet som åker genom fluiden, ρ är fluidens (i detta fall saltvattnets) densitet och V betecknar objektets hastighet relativt fluiden [9]. Eftersom Rescuerunnern inte är symmetrisk måste olika vattenmotstånd beräknas för olika led med olika konstanter enligt

$$\begin{aligned}\hat{f}: \quad D_f &= \frac{1}{2} C_f \rho A_f V_f^2 \\ \hat{d}: \quad D_d &= \frac{1}{2} C_d \rho A_d V_d^2 \\ \hat{\Theta}: \quad D_\Theta &= \frac{1}{2} C_\Theta \rho \frac{A_d}{2} V_\Theta^2.\end{aligned}$$

Om massfördelning antas vara homogen på en tvådimensionell rektangel kan tröghetsmomentet beräknas med formeln $I_z = \frac{m}{12} \cdot (L^2 + B^2)$ [10]. Masströgheten ger upphov till ett moment som motverkar Rescuerunnerns rotation enligt $M_z = I_z \cdot \dot{\Theta}$. De ursprungliga rörelseekvationerna (1) - (3) kan nu formuleras om till

$$\hat{f}: \quad \dot{V}_f = \frac{1}{m} (F_{jet} \cos(\alpha) - D_f)\tag{4}$$

$$\hat{d}: \quad \dot{V}_d = \frac{1}{m} (F_{jet} \sin(\alpha) - D_d)\tag{5}$$

$$\hat{\Theta}: \quad \dot{\Theta} = \frac{1}{I_z} (F_{jet} \sin(\alpha) \frac{L}{2} - 2D_\Theta \frac{L}{4}).\tag{6}$$

2.2.3 Diskretisering av rörelseekvationer

För att lösa differentialekvationerna i ekvationsystem (4)-(6) tillämpas numeriska metoder. Detta genom att approximera derivatorna att vara linjära under ett kort tidssteg Δt enligt

$$\dot{f}(k+1) = \frac{f(k+1) - f(k)}{\Delta t}.\tag{7}$$

Genom att tillämpa approximationen (7) på rörelseekvationerna kan hastigheterna i de olika ledens fås ut enligt

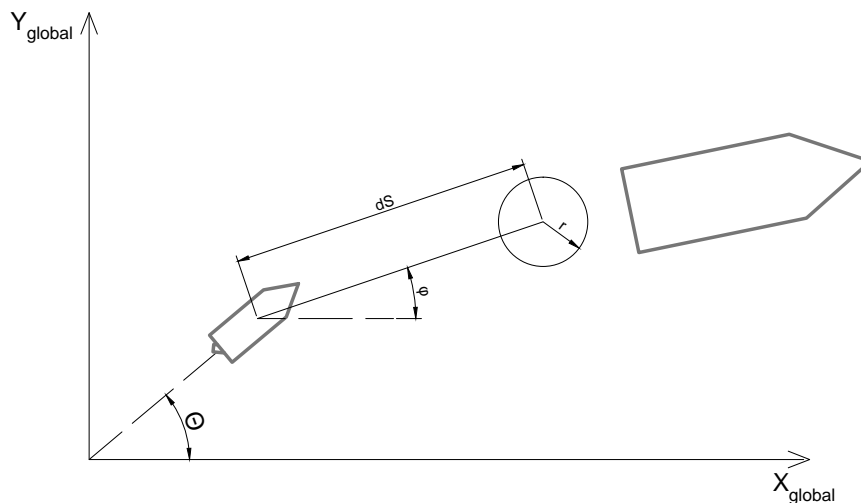
$$\begin{aligned}\hat{f}: \quad V_f(k+1) &= \frac{\Delta t}{m}(F_{jet}\cos(\alpha) - D_f(V_f(k))) + V_f(k) \\ \hat{d}: \quad V_d(k+1) &= \frac{\Delta t}{m}(F_{jet}\sin(\alpha) - D_d(V_d(k))) + V_d(k) \\ \hat{\Theta}: \quad \Theta(k+1) &= \frac{\Delta t}{I_z}(F_{jet}\sin(\alpha)\frac{L}{2} - 2D_\Theta(V_\Theta(k))\frac{L}{4}) + \Theta(k).\end{aligned}$$

2.3 Banföljningsalgoritm

För att Rescuerunnern ska veta hur mycket den ska gasa och styra för att följa efter räddningsbåten behövs en banföljningsalgoritm. Eftersom projektet är avgränsat till öppet hav utan hinder används en förenklad banföljningsalgoritm som illustreras i figur 5. Rescuerunnern får kontinuerligt nya mål som ligger med ett visst säkerhetsavstånd bakom båten. För att underlätta banföljningen ytterligare anses Rescuerunnern ha nått sitt mål om den är inom en radie r från den önskade punkten.

För att ta fram en kurs används vägskillnaden mellan räddningsbåtens och Rescuerunnerns koordinater. Med hjälp av trigonometri kan önskad kurs φ då fås fram enligt

$$\varphi = \text{atan}\left(\frac{\Delta Y_{global}}{\Delta X_{global}}\right).$$



Figur 5: Illustration hur banföljningen fungerar. Där dS är det direkta avståndet mellan Rescuerunnern och nästa mål.

2.4 Regulator

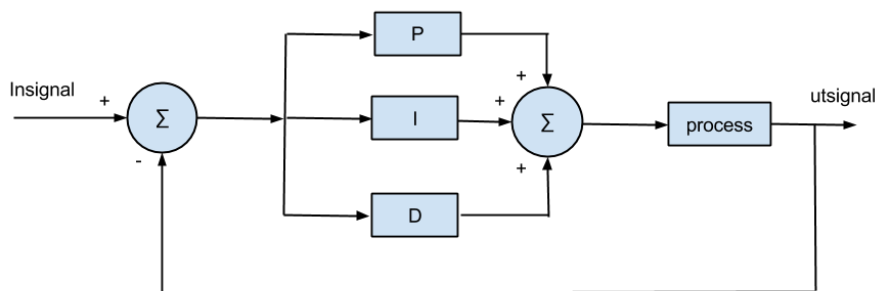
En PID-regulator (proportionell, integrering, derivering) används för att minimera felet mellan önskad och uppmätt hastighet samt kurs. Den består av tre separata delar (P, I och D) som viktas

med vardera tillhörande konstant. Den proportionella delen minimerar det nuvarande felet, den integrerande delen tar hänsyn till fel som har varit och den deriverande förutser framtida fel. Summan av dessa delar används därefter för att justera systemet till ett önskat tillstånd [11].

En PID-regulator i tiden t som minimerar ett fel $e(t)$ med en utsignal $u(t)$ kan beskrivas

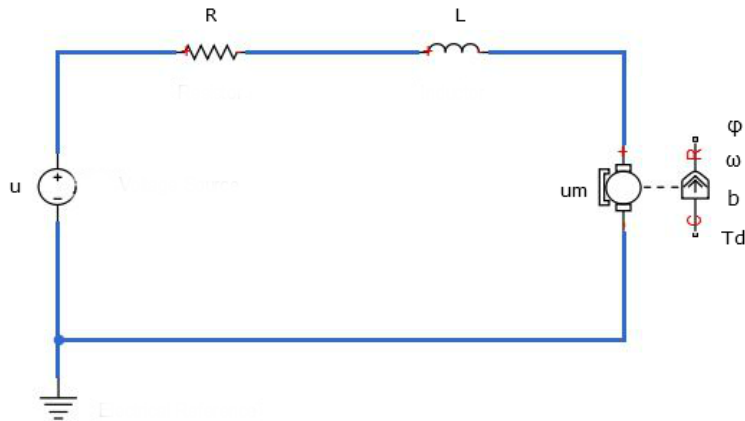
$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{d}{dt} e(t).$$

Där K_p , K_i och K_d är de konstanta vikterna för respektive del. Regulatorstrukturen är den enklaste av de strukturer som syftar till att minimera felet mellan önskat värde och riktigt värde och kan ses på figur 6.



Figur 6: Illustration över hur regulatorstrukturen syftar till att minimera felet mellan insignal och utsignal.

2.5 Matematisk modell av likströmsmotor



Figur 7: Modell över likströmsmotor.

För att modellera en likströmsmotor delas modellen upp i två delar[12]. Den mekaniska delen och den elektriska delen som sedan slås samman för att kunna reglera vinkeln på motorns utgående axel.

Den mekaniska modellen härleds från Newtons lagar enligt följande, där J är lastens tröghetsmoment och b är ett friktionsmotstånd och T_d är det utgående momentet

$$J \frac{d\omega(t)}{dt} + b\omega(t) = T_d(t).$$

Den elektriska delen härledes från Kirchoffs lagar

$$Ri(t) + L \frac{d}{dt}i(t) + u_m = u$$

Dessa ekvationer är kopplade enligt följande samband där K_m är motorns momentkonstant och K_u är en konstant som kopplar momentkonstanten u_m till motorns rotationshastighet

$$T_d = K_m i$$

$$u_m = K_u \omega.$$

De termer som är intressanta är ingående spänning samt lastens position. Detta kan beskrivas på följande form där resterande termer är konstanta

$$\frac{RI - Lb}{K_m} \frac{d\omega}{dt} + \left(\frac{Rb}{K_m} + K_u \right) \omega(t) = u$$

För att kunna reglera systemet på ett enkelt sätt önskas systemet linjäriseras samt diskretiseras. I ekvationen nedan har de konstanta termerna ersatts av termerna A och B

$$\frac{A(\omega_2 - \omega_1)}{dt} + B\omega_2 = u$$

Detta leder vidare till

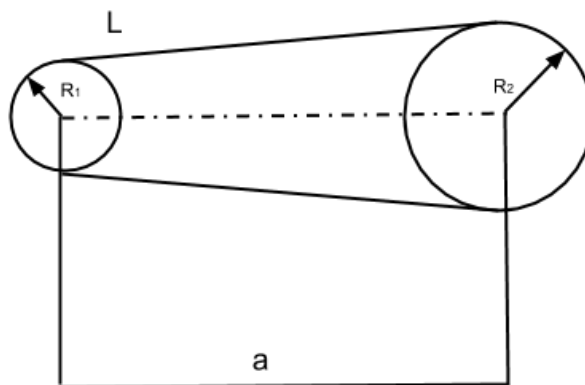
$$\omega_2 = \frac{u dt + A\omega_1}{A + B dt}$$

Om detta uttryck multipliceras med tidssteget nås det slutgiltiga uttrycket som beskriver vinkel på lasten beroende av ingående spänning

$$\varphi_2 = \frac{u dt + A \frac{\varphi_1}{dt} dt}{A + B dt}$$

Detta uttryck kan nu implementeras i en PID regulator, som är beskriven i avsnitt 2.4

2.6 Remväxel



Figur 8: Modell över remväxel

En remväxel är en anordning för kraftöverföring som ändrar rotationshastighet, vridmoment och rotationsriktning från en roterande axel till en annan, se figur 8. Kraftöverföringen sker med hjälp av en rem och skivorna och kan vara utan kuggar. För att beräkna axelavståndet mellan två remskivor från en given remlängd används följande ekvation [13] där L är remlängden och a är axelavståndet

$$L \approx 2a + \pi(R_2 + R_1) + \frac{(R_2 - R_1)^2}{a}$$

Ur detta kan axelavståndet a lösas ut enligt

$$a \approx -\frac{\frac{\pi}{2}(R_2 + R_1) - \frac{L}{2}}{2} + \sqrt{\left(\frac{\frac{\pi}{2}(R_2 + R_1) - \frac{L}{2}}{4}\right)^2 - \frac{(R_2 - R_1)^2}{2}}$$

2.7 Rescuerunnerns mekaniska system

I detta stycke följer en beskrivning av det nuvarande gas- och styrsystemet.

2.7.1 Förbränningsmotor

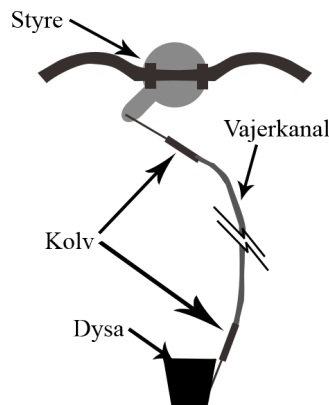
Dagens förbränningsmotorer använder sig i stor utsträckning av elektronisk insprutning istället för förgasare. Istället för en helmekanisk lösning omvandlas förarens inmatning med hjälp av en eller flera potentiometrar till en spänning i en APS, från engelskans Accelerator Position Sensor. På Rescuerrunnern består APS:en av dubbla potentiometerar som styrs av ett handreglage. APS:en matas med två spänningar som delas till vardera potentiometer, för att sedan skickas till motorstyrenheten. Ur manual [14] utläses vilket motstånd potentiometrarna levererar i dess ändlägen, dessa värden presenteras i tabell 2. Motorstyrenheten tar hänsyn till bland annat lufttillförsel, gaspådrag och temperatur innan den beräknar optimal mängd bränsle som tillförs motorn. Mängden bränsle styrs genom att öppna och stänga gasspjällen med en så kallad electronic throttle control (ETC) och motorstyrenheten får feedback från en throttle position sensor (TPS) om hur öppna gasspjällen är. Rescuerrunnern använder just ett sådant APS-system

Tabell 2: Potentiometervärden

	Ingen gas	Full gas
APS 1	0,5 - 0,9 k Ω	3,75 - 4,35 k Ω
APS 2	0,35 - 1,05 k Ω	3,60 - 4,50 k Ω

2.7.2 Styrsystem

Styret på Rescuerrunnern är direkt kopplat till dysan via en vajer som löper genom Rescuerrunnern, se figur 9.



Figur 9: Skiss över befintligt styrsystem. Dysan är mynningen från vattenjetmotorn, Rescuerrunnern svänger när dysans vinkel ändras.

2.8 Positionering

Global Positioning System (GPS) är ett USA-ägt positioneringssystem. Systemet bygger på minst 24 stycken satelliter i omloppsbanan kring jorden. Varje satellit sänder ut information om sin position tillsammans med den aktuella tiden. En GPS-mottagare på jorden kan sedan ta emot signalerna och med hjälp av tidsdifferensen räkna ut avståndet till satelliten som signalen kommer ifrån. Har mottagaren kontakt med minst 4 satelliter kan den med hjälp av multilateration [15]

bestämna en tredimensionell punkt där den befinner sig. Genom att kontinuerligt ta emot och behandla signaler från satelliterna fås även hastighet och riktning fram.

Positionen från GPS:en är uttryckt i longitud och latitud i ett geografiskt koordinatsystem fixerat på jorden. För att beräkna avståndet och vinkeln mellan två punkter i koordinatsystemet antas jorden vara sfärisk. Då kan avståndet dS , se figur 5, på randen av sfären beräknas med hjälp av "Haversines formula" [16] enligt

$$dS = 2R \cdot \arcsin \left(\sqrt{\sin^2 \left(\frac{\Delta Lat}{2} \right) + \cos(Lat_1) \cos(Lat_2) \sin^2 \left(\frac{\Delta Lon}{2} \right)} \right).$$

Där R är jordens medelradie, ΔLat och ΔLon är skillnaden i latitud respektive longitud mellan räddningsbåt och Rescuerunner.

2.9 Trådlös kommunikation

Trådlös lan (Wi-Fi)[17] är en teknologi som gör det möjligt för datorer och enheter att kommunicera med varandra i ett trådlöst nätverk. Det finns flera olika protokoll som avgör hur enheterna ska förhålla sig till varandra gällande handskakningar och överföringar. Med handskakningar menas den procedur där två enheter i ett nätverk skapar en koppling mellan varandra och kvitterar att kopplingen är upprättad.

För att öka säkerheten på ett nätverk kan ett lösenord användas, även där finns det olika protokoll och standarder att använda sig av. WEP och WPA[18] är de två vanligaste protokollen för lösenordsskydd och kryptering av trådlösa nätverk, där WPA är den nyare av de två och har en högre säkerhetsklassning. Med WPA används en algoritm kallad TKIP (Temporal Key Integrity Protocol)[18] för att med hjälp av nätverkets namn (SSID) och en lösenordsfras skapa krypteringsnycklar för enheterna i nätverket. Dessa är ej statiska utan ändras ständigt.

Rent fysiskt behövs det en accesspunkt som skapar det trådlösa nätverket och gör det möjligt för andra enheter att ansluta till den. Detta realiserar ofta med en router som kan ha internetanslutning. Fördelen med en router är att det även är lätt att ansluta trådburna enheter och kunna kommunicera mellan trådlösa och trådburna enheter. Routern behöver en antenn för att kunna sända ut och ta emot signaler, denna antenn är viktig för att bestämma hur bra räckvidd nätverket har.

När ett trådlöst nätverk är skapat måste enheterna kunna prata med varandra på ett sätt som de alla förstår, detta kan realiserar med ett UDP (efter engelskans User Datagram Protocol)[19]. UDP är ett protokoll som är till för att skicka textmeddelanden utan att skapa en förbindelse mellan sändare och mottagare. Detta innebär att ett UDP-meddelande sänds ut utan att avsändaren får kvittens på om meddelandet kommit fram. UDP lämpar sig därför för applikationer där ett gammalt meddelande inte behöver sparas, alltså då kommer nya meddelanden hela tiden och det endast är det senaste som gäller. Ett UDP-meddelande består av en avsändarport, destinationsport, längd, kontrollsumma och data [19]. Med hjälp av ett IP-protokoll blir också avsändarens och mottagarens IP-adresser tillgängliga, vilket krävs för att kunna svara på ett visst meddelande till rätt avsändare.

2.10 Arduino

Arduino är ett hård- och mjukvaruföretag baserat i Italien som tillhandahåller hård- och mjukvara för interaktiva projekt till låg kostnad [20]. Bland hårdvaran finns till exempel mikrokontrollerkort Arduino Mega 2560, som består av en mikrokontroller, ATmega2560, digitala och analoga in- och utgångar samt seriell kommunikation. Alla mikrokontrollerkort från Arduino använder sig av standardiserade anslutningar vilket ger användaren möjlighet att ansluta kringutrustning, så

kallade sköldar, som kopplas direkt på mikrokontrollerkortet. Sköldarna består oftast av olika sensorer och aktuatorer ³, och det finns ett flertal sköldar på marknaden, både från Arduino och från tredjepartstillverkare. Med hjälp av Arduinos utvecklingsmiljö och programmeringsspråk kan sedan Arduinokortet programmeras så att det till exempel utför önskade åtgärder vid en viss signal från sensorerna. Programmeringsspråket som används liknar i stor utsträckning C och C++.

³Synonym för ställdon

3 Elektronisk kontroll av styrvinkel

För att förstå hur styrningen fungerade användes reverse engineering [21]. Rescuerunnern öppnades och vissa delar monterades bort för att blottlägga det manuella styrsystemet. Detta visade att systemet fungerade som beskrivet i teoriavsnittet 2.7.2 för styrsystemet. För att kontrollera styrsystemet automatiskt föreslogs att endast göra ett tillägg till den befintliga styrningen. Detta skulle göra det möjligt att koppla isär systemen och låta den manuella styrningen förbli opåverkad. Detta skulle även underlätta vid återställning av Rescuerunnern till sitt befintliga skick. Ett antal koncept togs fram och presenteras i bilaga A, dessa koncept utgick från kravspecifikationen som beskrivs i avsnitt 3.1.

3.1 Kravspecifikation

Nedan följer den kravspecifikationen som beskriver de uppsatta kraven för funktionen elektrisk kontroll av styrvinkel.

Tabell 3: Kravspecifikation styrning.

Kriterier	Kontrollmetod	Målvärde	Krav/Önskemål
Vrida dysan max - max	Test	JA	K
Veta om sitt mittläge	Test	JA	K
Upplösning	Test	5°	K
Upplösning	Test	1°	Ö
Vrida mitten - max	Test	1 s	K
Vrida mitten - max	Test	0.5 s	Ö
Hålla vinkel	Test	JA	K
Växla mellan autonom och manuell styrning	Test	JA	K

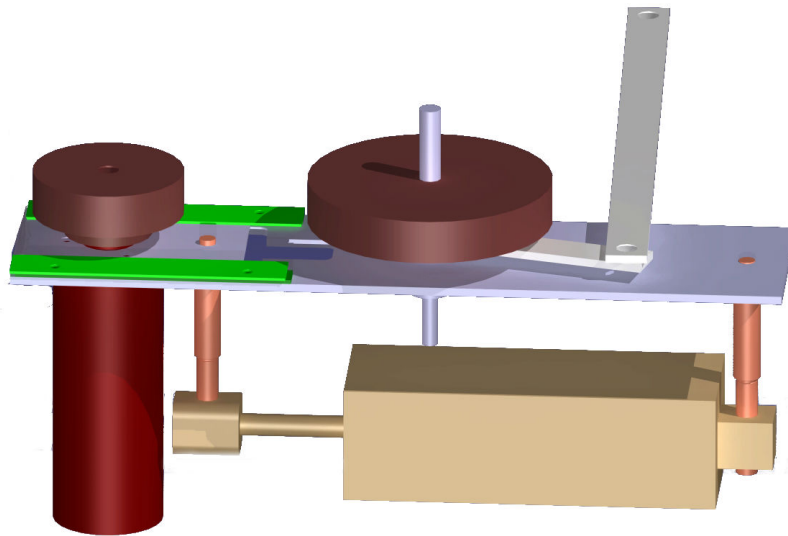
Kravspecifikation för elektrisk kontroll av styrning

Denna kravspecifikation har varit ledande i det arbetet som beskrivs i följande stycken.

3.2 Valt styrkoncept

I figur 10 visas en CAD modell av det valda konceptet (koncept 4). För att lösningen endast skulle vara ett tillägg till den befintliga styrningen monterades alla komponenter först på en stålplåt som sedan installerades i Rescuerunnern. Detta för att enkelt kunna montera bort vid behov.

För att detta koncept skulle fungera vid manuell styrning installerades en växellåda. Att frikoppla gör det mycket lättare att styra vid manuell körning och skyddar även elektronik mot backströmmar.



Figur 10: CAD modell som visar det valda styrsystemkonceptet.

Växellådan utgörs av en enkel remväxel bestående av två remskivor (av Z-typ) samt en rem (av SPZ-typ). Remmen är kilformad utan tänder för att inte riskera att remmen driver under manuell körning, remskivan har ett spår som remmen passar i. För mer information om remväxlar se [22]. Själva växlandet utgörs av en linjärmotor placerad under anordningen som är i den borte änden fäst i plattan som bär hela anordningen och i den andra änden fäst via en platta i motorn som är direkt kopplad till den mindre remskivan. Anledningen till att en växling måste genomföras är att den valda motorn tål inte att vridas manuellt utan måste frikopplas när styret vrids manuellt.



Figur 11: I markeringen ses anslutningspunkten mellan styret och styrvajern i originalutförande. I det nya styrsystemet byts vinkellänken ut till en med längre gängstång vilket tillåter den anslutande armen från remskivan att monteras på ovansidan av fästpunkten.

Den arm som sticker ut från den större remskivan ansluter till styret på samma punkt som styrvajern i den befintliga lösningen, vilket kan ses i figur 11. I markeringen ses en vinkellänk i originalutförande, i den nya lösningen byttes originaldelen ut till en med längre gänga som den anslutande armen får plats på. Den anslutande armen säkras med den mutter med låsring som var monterad i original och återfinns i figur 11.

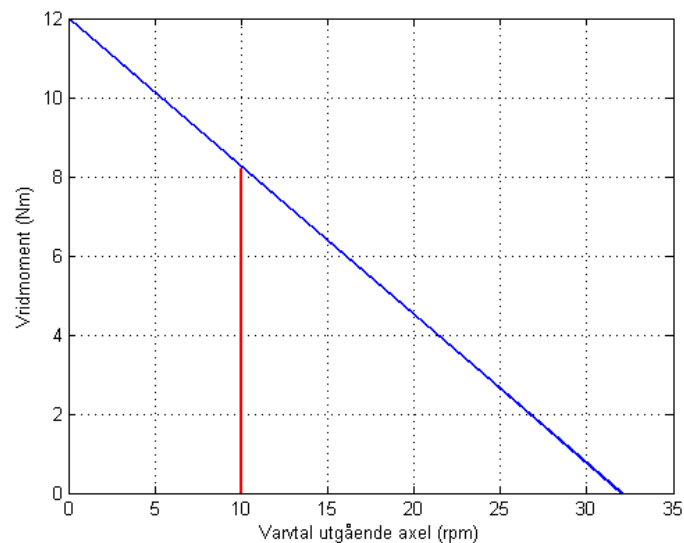
3.3 Motorval till elektronisk styrning

För att kunna beräkna vilka krav som ställs på motorn var indata i form av önskad kraft nödvändig. Denna kunde mätas med hjälp av en dynamometer som monterades vid samma punkt som de valda konceptet skulle ansluta till styret på och drogs parallellt med den övre kolven, se figur 11. Styret var vid försökets start ställt i vinkel 10° och avläsningen gjordes då styret börjat röra sig (vinkeln var då mellan 5° och 0°), försöket upprepades tre gånger och samtliga gånger avlästes 40N.

Hävarmen vid styret som dynamometern fästers vid är 90 mm lång.

$$M_{min} = 0,090 * 40 = 3,6\text{Nm}$$

Detta är uppmätt stillastående på land utan vattenmotstånd därför påläggs en säkerhetsmarginal på 25%, det moment som krävs för att vrida styret är 4,5Nm. Det krävs alltså en motor som efter utväxling kan ge minst 4,5Nm. Motorns nominella varvtal önskas vara lågt (< 50 rpm) då styret endast vrids inom vissa vinklar och storleken liten (längd $< 150\text{mm}$) för att få plats, i Rescuerrunnerns trånga motorrum.



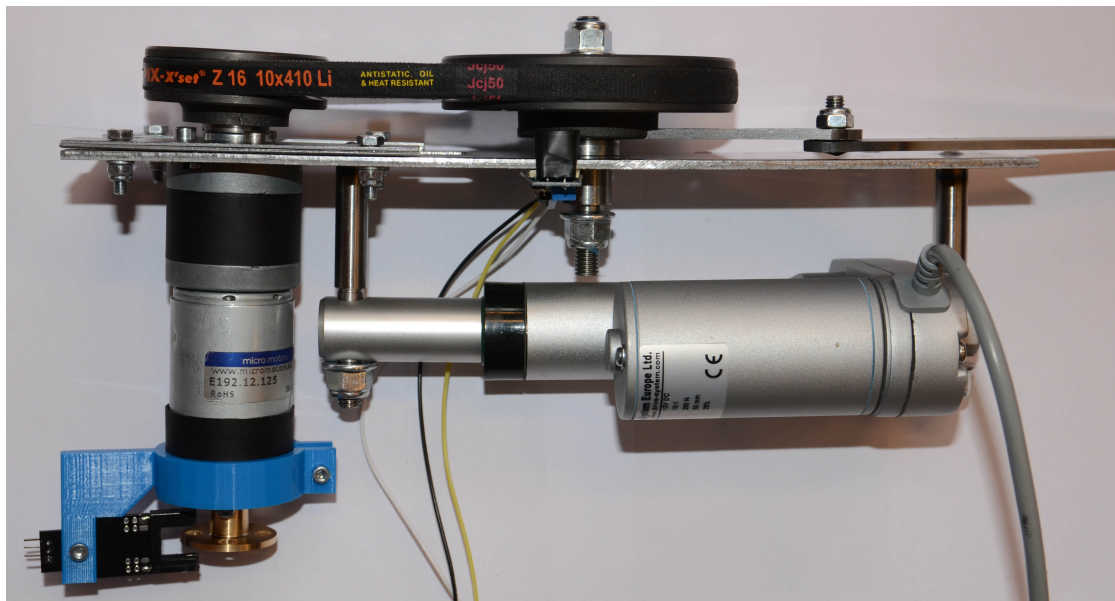
Figur 12: Varvtal-Moment diagram, för MicroMotors E192.12.125. Diagrammet är gjort utifrån data hämtad från datablad tillhandahållet av tillverkaren.[1] Den röda linjen visar var på varvtals-axeln motorn arbetar vid rotation, från mitten till max på en sekund, vid denna hastighet är det möjligt att få ut 8,2 Nm

Motorn som beskrivs av digrammet ovan vilken är en permanentmagnetiserad likströmsmotor passar in på de krav som ställs angående moment (förutsatt att växellådan har en utväxling > 1.5) och varvtal, dessutom är den kompakt och får plats i motorrummet. Den uppfyller även

kravet på möjlig rotationshastighet för styret, då den har hög maximal utgående effekt 15.9 W för att klara kravet krävs 2.25 W ($P = (s * F)/t$), där $t = 1$ s enligt kravspecifikationen, $F = 40$ N är kraften i kolvens riktning enligt ovan och $s = 0.045$ m halva kolvens slaglängd).

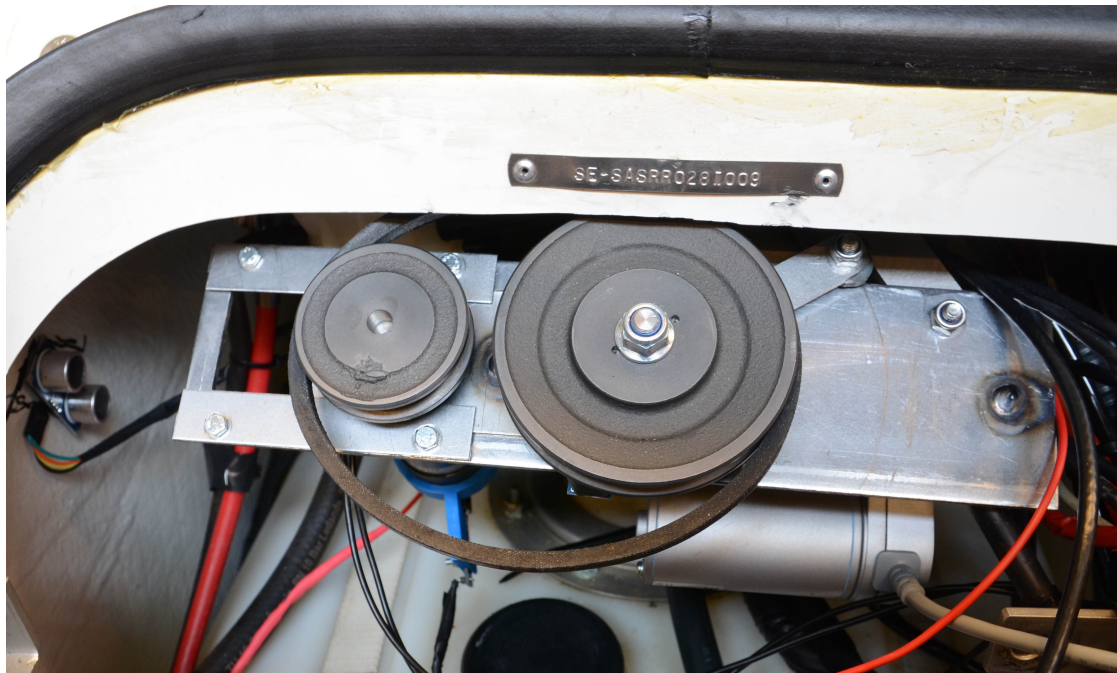
Utväxlingen i växellådan måste vara större än 1.5, dvs diametern på den stora remskivan måste vara 1.5 gånger så stor som den lilla. Då utrymmet i Rescuerrunnern är begränsat efterfrågas så små remskivor som möjligt för att var säker på att dessa får plats. Minsta remskivan som återfanns i butik var 50 mm i diameter, och då valdes skiva nummer 2 till 85 mm, detta ger en utväxling på 1.7.

3.4 Färdigt styrsystem och montering



Figur 13: Det färdiga styrsystemet innan montering i Rescuerrunnern. Under likströmsmotorn syns lasersensorn som används för att mäta styrets vinkel. Under den större remskivan syns IR-sensorn som initierar styrningen

Styrsystemet monteras på ovansidan av den plattan som håller styrvajern. På figur 13 ses styrsystemet omonterat.



Figur 14: Styrsystemet monterat i Rescuerrunnern, i manuellt läge.

Monteringen möjliggör enkelt underhåll av systemet då det är synligt och lätt tillgängligt i motorrummet när man lyft upp motorkåpan. Figur 14 visar styrsystemet i monterat läge samt ultraljudssensorn monterat på Rescuerrunnerns inre vägg. Denna sensor beskrivs ytterliggare i avsnitt 3.6.

3.5 Mätning av styrets vinkel

För att hela systemet ska vara reglerbart måste den aktuella styrvinkeln vara känd. För att lösa detta utnyttjades det faktum att på undersidan av den motor som valdes till styrsystemet sitter det en liten axel som är direkt kopplad till motorn och inte till växellådan. Denna axel roterar fortare relativt den utgående axeln, tack vare den inbyggda växellådans utväxling på 125 : 1. Den snabba rotationshastigheten möjliggör vinkelmätning av styrets position med hög noggrannhet. För att mäta hur mycket motorn snurrar används en lasersensor, se figur 13. Vilken monteras vid den lilla axeln, som roterar med hög hastighet, med hjälp av en 3D-skriven hållare. På den lilla axeln fästes en skiva med 2 hål, lasersensorn ger värdet 1 då den är vid ett hål och 0 i annat fall. Detta medger att en så kallad avbrottsrutin kan användas för att hålla reda på hur många varv axeln har roterat. Varje gång sensorn går från 0 till 1 går koden in i en rutin där en räknare håller reda på antalet hål som har passerats. För att vinkelmätningen skall fungera måste denna initieras, detta löstes genom att i ett av ändlägena montera en IR-sensor⁴, se figur 13 som känner av när kontraster ändras, under den större remskivan. På remskivan som är svart drogs ett vitt streck i ändläget. När IR-sensorn byter värde vet regulatorn att ändläget (-23°) är nått och kan med hjälp av lasersensorn rätta upp styret så att det står rakt fram.

⁴Infraröd sensor

3.6 Växling mellan manuell och automatisk styrning

För att växla mellan spänd och slak rem krävs en förflyttning av elmotorn på 3,5 cm, denna åstadkoms med en linjärmotor. Se avsnitt 2.6 för beräkning av hur mycket remmen ska spännas.

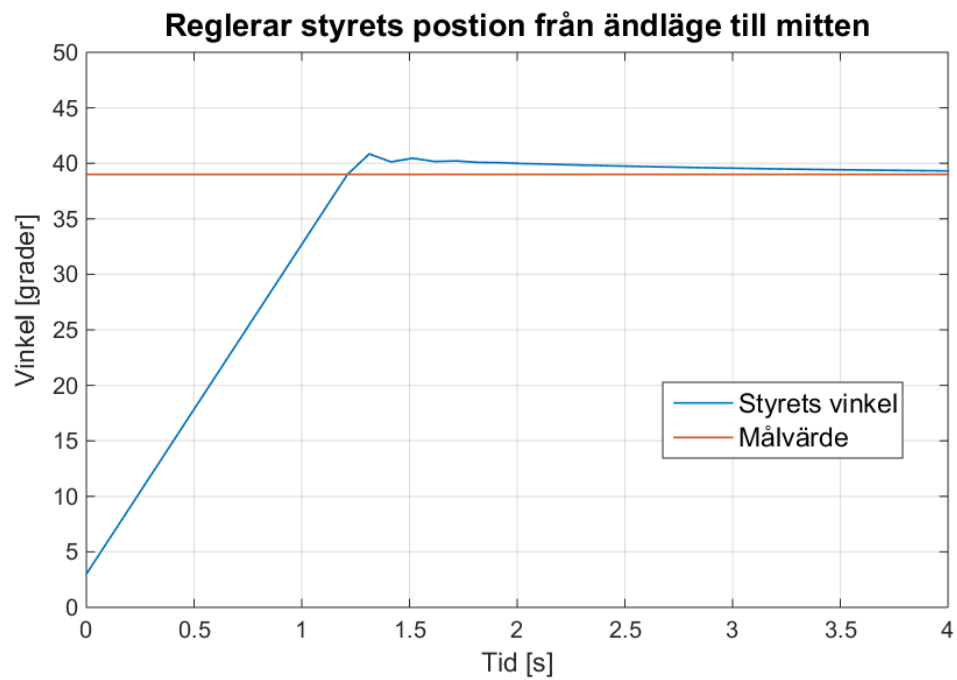
Linjärmotorn har en slaglängd som är större än vad som krävs för att spänna remmen[23]. För att undvika att linjärmotorn körs ut för långt och riskerar att skada växellådan har en ultraljudssensor[24] monterats på innersidan av skottet på Rescuerunnern, se figur 14. Den är riktad mot likströmsmotorn så att när remmen är tillräckligt spänd talar sensorn om för linjärmotorn att stanna.

Axelavståndet beräknades med hjälp av uttrycket i avsnitt 2.6. Det beräknade axelavståndet blev 97 millimeter, med remmen spänd till detta avstånd så slirade remmen mot skivorna. För att utvärdera detta spändes remmen med hjälp av ett batteri till 105 millimeter, då slutade den slira.

3.7 Teoretisk prestanda för elektrisk kontroll av styrvinkel

Styrsystemets prestanda mättes på ett antal punkter. Likströmsmotorn har en utväxling på 125 : 1, remväxeln har en utväxling på 1 : 1,7 detta ger ett förhållande mellan den oväxlade delen av likströmsmotorn som vinkeln på styret mäts på och styret på 125 : 1,7. Mässingshylsan som sitter vid lasersensorn har två hål, se avsnitt 3.5. Detta leder till att vinkeln uppdateras två gånger per varv, upplösningen blir då 180 : 2.44 alltså för varje gång hylsan roterar ett halvt varv så borde styret ha roterat

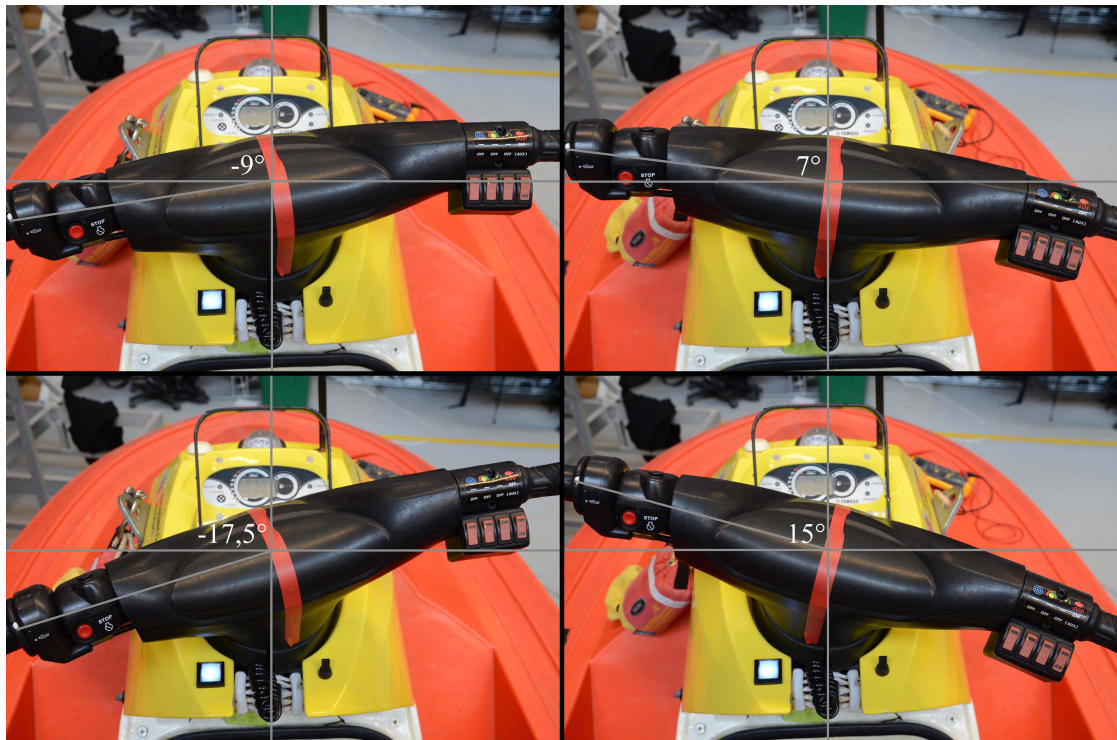
Den verkliga upplösningen nåddes genom att med den uträknade upplösningen rätta upp styret från ett ändläge till mitten manuellt och se i koden vilken vinkel som hade räknats fram. Det visade sig vara 85°. Med hjälp av det uppmätta värdet skalades upplösningen om till 0.66° på styret per utslag från lasersensorn. För att uppnå önskad vinkel på styret används en PID-regulator. En teoretisk modell togs fram i MATLAB, hur väl den presterade kan ses i figur 15. Dock har några motorparameter uppskattats så figur 15 visar inte en perfekt modell. Från ändläget till mitten av styrets rörelsebana uppmättes 23° tillsammans med remväxelns utväxling på 1,7 måste motorn rotera totalt 39°



Figur 15: Figuren visar ett stegsvar från ett ändläge till mittenläget, ett visst översläng observeras.

3.8 Faktisk prestanda för elektrisk kontroll av styrvinkel

Styrvinkeln beskrivs som ett diskret tal där negativa värden representerar sväng vänster och positiva sväng höger, Styret rakt fram representeras av 0° . I figur 16 visas fyra bilder där fyra olika styrvinklar har testats.



Figur 16: Utvärdering av styrsystemets prestanda på land.

I Figur 16 visar den övre vänstra bilden styrutslag vid begärd styrvinkel -10° (10° vänster), medans den övre högra bilden visar styrutslag vid begärd styrvinkel 10° (10° höger). Samma gäller för de två undre bilderna där den nedra vänstra visar -20° medans den högra visar 20° .

På samtliga mätningar kommer inte styret upp i de värden som är begärda och styret vinklas mer vänster än höger vid samma begärda vinkel åt de olika hållen. Vinkelmätningen genomfördes med en inbyggd funktion i Photoshop.

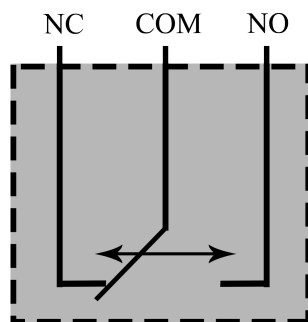
4 Elektronisk kontroll av gaspådrag

För att få en förståelse för hur det befintliga gassystemet fungerar studerades servicemanualer och datablad, tillhandahållna av Fredrik Falkman (SSRS). Från servicemanualen utlästes att gasregleringen styrdes elektriskt med hjälp av APS och ETC, beskrivet i teoriavsnitt 2.7.1. Efter analys av det befintliga systemet togs en kravspecifikation fram med krav på de egenskaper styrningen för det autonoma systemet kräver. Kravspecifikationen visas i tabell 4, att systemet inte får störa vid manuell körning är ett krav ifrån SSRS, medan kraven på gasrespons och upplösning är satta för att underlätta reglering.

Tabell 4: Kravspecifikation för gasstyrning.

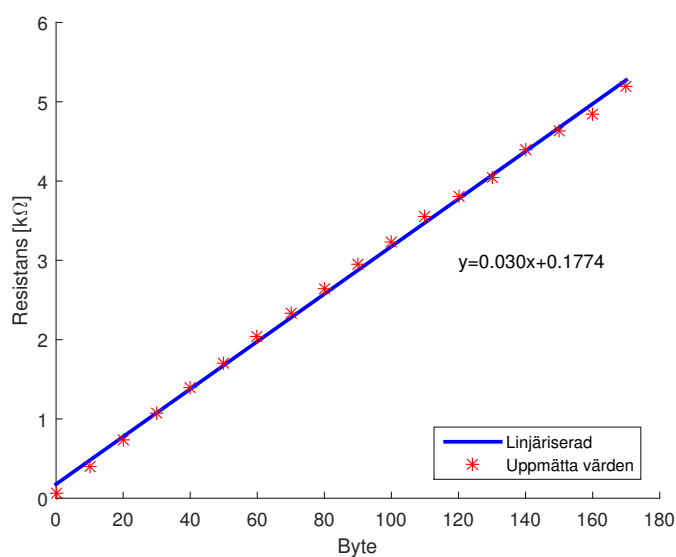
Kriterie	Kontrollmetod	Målvärde	Krav/Önskemål
Justerbar gas 0-75 %	Uppskattning	Ja	Krav
Upplösning på gas	Test	5 steg (min-max)	Krav
Upplösning på gas	Test	10 steg eller mer	Önskemål
Ej störa manuell körning	Bedömning	Ja	Krav
Hålla konstant gas	Test	Ja	Krav
Tid från 0-75 % gas	Tidtagning	3 sekunder	Krav
Tid från 0-75 % gas	Tidtagning	1 sekund	Önskemål

Med hjälp av kravspecifikationen genomfördes konceptgenerering där fyra olika lösningsalternativ togs fram. En pughmatrix, som kan ses i tabell 9, användes för att utse det bästa konceptet vilket valdes för vidareutveckling, lösningsalternativen och pughmatrisen kan studeras i bilaga B. Det valda konceptet använder sig utav sex reläer som kopplar om signalerna som normalt går mellan ECM:en och APS:en så att de styrs med en digital potentiometer istället för potentiometern i APS:en. Den digitala potentiometern kan i sin tur styras från en mikrokontroller, och genom att variera resistansen kan gaspådraget justeras. För att kunna efterlikna det befintliga systemet behövdes fler analyser genomföras. Ur datablad[14] framgick vilket motstånd som motsvarade full gas respektive tomgång. Dessa värden kontrollerades även genom uppmätning på den i Rescuerunnern monterade APS:en. Sex reläer används för att koppla om mellan manuell och elektroniskt styrd gas, dessa reläer har tre portar som illustreras i figur 17. Detta innebär att de har två olika lägen, antingen är kretsen sluten mellan NC och COM eller mellan NO och COM. När reläerna inte är spänningssatta är det kretsen mellan NC och COM som är sluten, på grund av detta kopplades den manuella gasen in via NC-porten för att kunna fungera även vid spänningsbortfall.



Figur 17: Illustration av reläfunktion

Ur databladet för potentiometern [25] utläses hur kommunikationen går till för att få önskade motståndsvärden. Med hjälp av SPI (Serial Peripheral Interface) överförs en byte (värdet 0 - 255) till potentiometern, där värdet 0 motsvarar minsta möjliga motstånd och 255 motsvarar högsta möjliga motstånd. Mätningar genomfördes på potentiometern för att försäkra sig om att motståndet var linjärt samt att få en bra uppskattning över hur det linjära sambandet såg ut. I figur 18 visas de uppmätta värdena samt den linjärisering som utfördes för att kunna använda i kod.



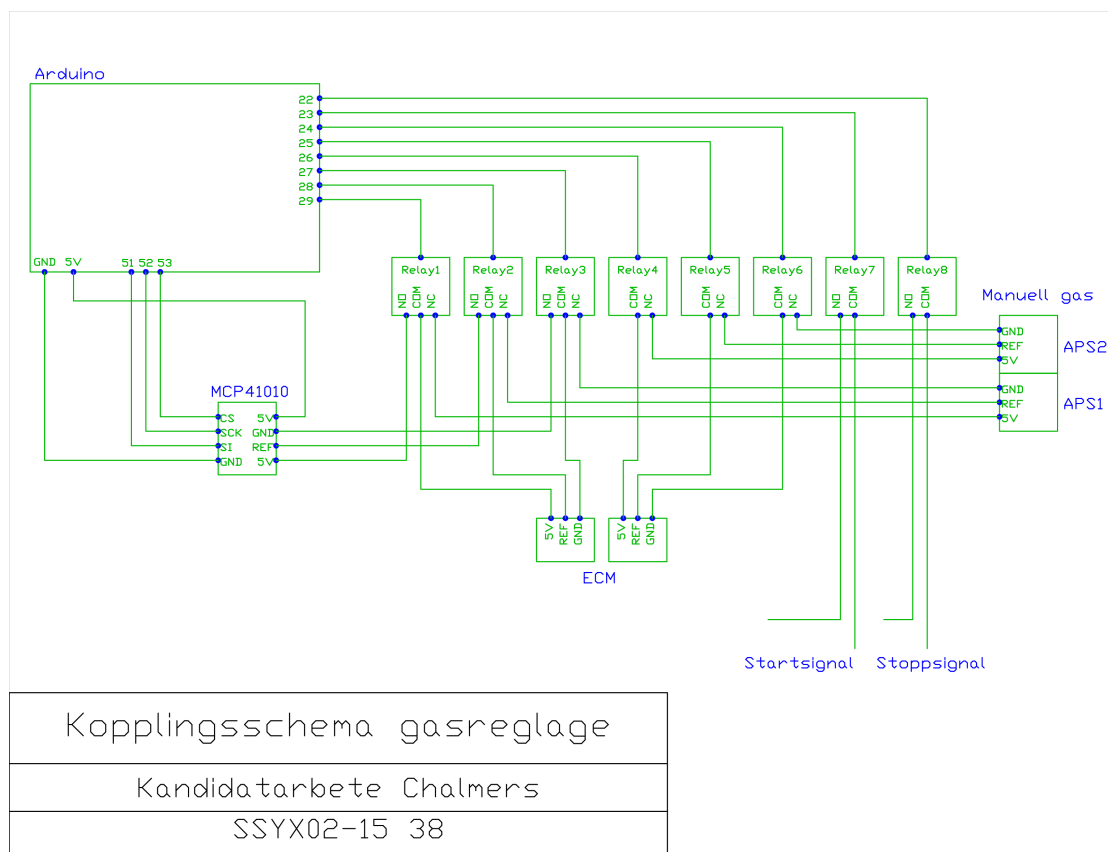
Figur 18: Analys av digitalpotentiometer

För att kunna skicka in en önskad procent och få ut rätt gas gjordes ytterligare en omvandling för att efterlikna det manuella systemet där 0% gas (tomgång) motsvarar 0,9 kΩ och 100% motsvarar 4,77 kΩ. Den slutgiltiga ekvationen för att med hjälp av en önskad procent får ut vilken byte som behövs skrivs till digitalpotentiometern visas nedan i ekvation 9.

$$gas = \frac{4,77 - 0,9}{100} procent + 0,9 = 0,0387 procent + 0,9 \quad (8)$$

$$byte = \frac{(0,0387\text{procent} + 0,9) - 0,1774}{0,03} = \frac{0,0387\text{procent} + 0,7726}{0,03} \quad (9)$$

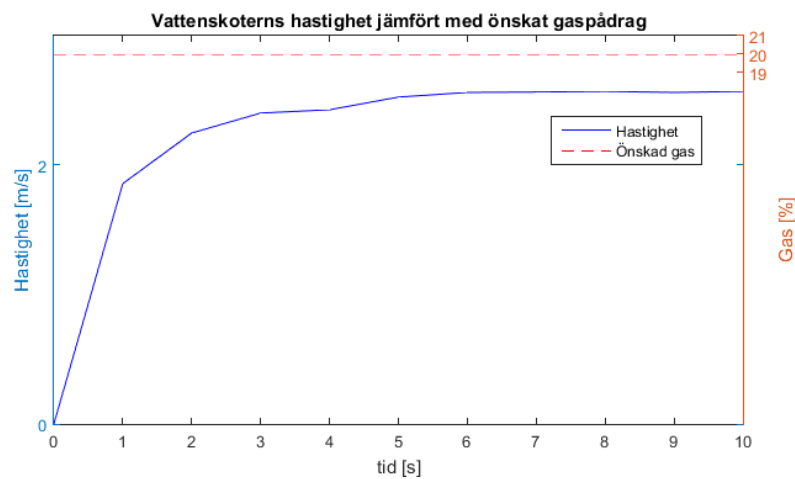
Startandet av motorn sker med hjälp av ett relä som parallellkopplats in i kretsen för Rescuerrunnerns startknapp, genom att slå om relät sluts kretsen och motorn startar. För att stänga av motorn används ytterligare ett relä som parallellkopplats in i kretsen för stoppknappen. På detta sätt åsidosätts inte de existerande start- och stoppknapparna samt att säkerhetsfunktionen med dödmansgrepp fortfarande fungerar. Kopplingsschemat för detta återfinns i figur 19. Med hjälp av en mikrokontroller kan reläerna styras genom att ge en digital signal som avgör i vilket läge respektive relä ska befinna sig. För att bestämma hur stort motstånd som potentiometern ska leverera skrivs ett antal bitar till ett internt minne i potentiometern. Upplösningen för potentiometern är 8 bitar, vilket motsvarar värden mellan 0 och 255, där värdet 0 ger minsta möjliga resistans (80 Ω) och 255 ger högsta möjliga resistans (10 k Ω) [14]. För att efterlikna det befintliga systemet i största möjliga mån begränsas de värden som skickas till potentiometern till minst 26 och maximalt 143, vilket motsvarar 0,9 k Ω respektive 4,5 k Ω . Detta leder till att gassystemet kan kontrolleras med 117 steg i det spann som den manuella lösningen arbetar. I figur 19 kan kopplingsschemat för den digitala potentiometern, de sex reläerna som växlar mellan manuell och elektrisk gas samt de två reläerna som styr start och stoppfunktionerna studeras. Hur detta har implementerats i Rescuerrunnern beskrivs utförligare i kapitel 7.1.



Figur 19: Kopplingsschema över framtaget gassystem.

4.1 Prestanda för gassystemet

Eftersom gassystemet är helt och hållet elektroniskt ger det utslag inom ett par mikrosekunder, och motorns ECM svarar även den snabbt på indata. I detta fall är Rescuerrunnerns acceleration i vattnet så pass mycket långsammare än elektroniken att tiden det tar för elektroniken att reagera blir försumbar. Därför mäts prestandan med hjälp av ett stegsvar där gasen går från 0 till 20 % av sitt maxvärde, detta görs med systemet inkopplat och Rescuerrunnern i vatten. I figur 20 visas hur hastigheten förändras med hänsyn till gasen. Mätdata är tagen från GPS-datan och har därför upplösningen 1 Hz, notera att den streckade linjen är procentuell gas, inte önskad hastighet.



Figur 20: Rescuerrunnerns hastighetsändring efter gaspådrag

5 Positionering med GPS

För att Rescuerunnern ska kunna köras autonomt krävs ett system för att veta var Rescuerunnern befinner sig i förhållande till räddningsbåten. Kraven på detta system, som kan studeras i tabell 5, är bland annat en noggrannhet på minst 5 meter, en uppdateringsfrekvens som inte är långsammare än 1 Hz samt det är väderoberoende och inte stör vid manuell manövrering av Rescuerunnern.

Tabell 5: Kravspecifikation för positionering.

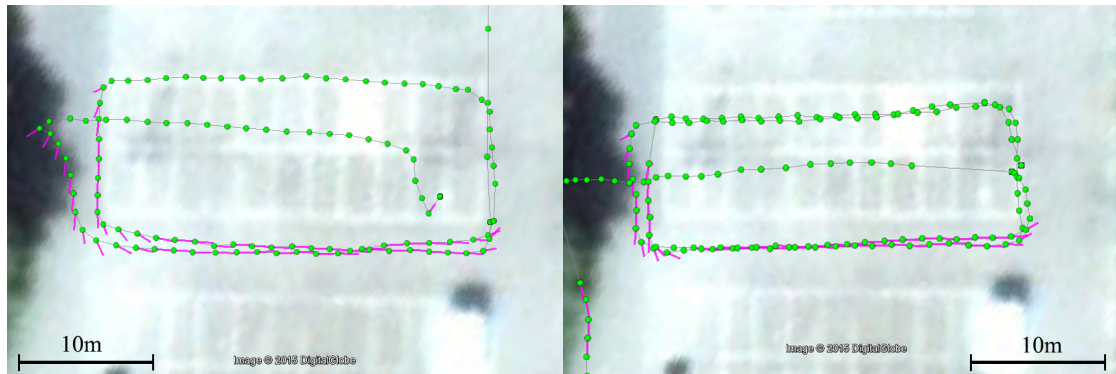
Kriterier	Kontrollmetod	Målvärde	Krav/Önskemål
Noggrannhet	Litteraturstudie	1 m	Önskemål
Noggranhet	Litteraturstudie	5 m	Krav
Uppdateringsfrekvens	Litteraturstudie	10 Hz	Önskemål
Uppdateringsfrekvens	Litteraturstudie	1 Hz	Krav
Ej störa manuell körning	Bedömning	Ja	Krav
Enkelt att implementera	Bedömning	Ja	Önskemål
Väderoberoende	Litteraturstudie	Ja	Krav

Utifrån kravspecifikationen, tabell 5, togs 4 koncept för positionering fram, där det bästa konceptet valdes ut med hjälp av en pughmatrix, i bilaga C kan alla framtagna positioneringskoncept studeras tillsammans med pughmatrisen i tabell 10.

Konceptet som valdes för vidareutveckling är ett system om bygger på två GPS:er, en GPS-enhet i räddningsbåten och en i Rescuerunnern. GPS-enheterna kan anslutas till en mikrokontroller som beräknar position, hastighet och kurs, med hjälp av denna informationen för både Rescuerunnern och räddningsbåten kan även deras position, hastighet och kurs i förhållande till varandra beräknas.

5.1 Prestanda för positionering med GPS

För att utvärdera noggrannheten hos de två GPS-enheterna, samlades data in medan mottagarna förflyttades efter en förutbestämd bana. Testerna skedde samtidigt och under identiska förhållanden. Resultatet kan presenteras i figur 21, där den vänstra delen är räddningsbåten GPS-enhet och den högra är Rescuerunnerns GPS-enhet. Enligt tillverkarens specifikationer[26] har GPS-enheterna en uppdateringsfrekvens på 10 Hz.



Figur 21: Utvärdering av GPS-prestanda som visar att enheterna ligger inom önskad noggrannhet. Den vänstra bilden är räddningsbåtens GPS-enhet och den högra är Rescuerunnerns GPS-enhet.

6 Kommunikation mellan räddningsbåt och Rescuerunner

Enligt den kravspecifikation som upprättades för kommunikationen, se tabell 6, fanns ett par olika alternativ för trådlös överföring på marknaden så som VHF[27], Bluetooth[28] och Wi-Fi[17]. Eftersom det är väldigt små mängder data över relativt korta avstånd rekommenderade Brännström⁵ att trådlöst nätverk (Wi-Fi) av valfri IEEE 802.11-standard skulle användas, vilket skulle uppfylla de uppsatta kraven. Att använda sig av Wi-Fi har också den fördelen att det är ett väl beprövat kommunikationssätt och leder till en enkel implementering, vilket var ett önskemål i kravspecifikationen.

Tabell 6: Kravspecifikation för kommunikation.

Kriterier	Kontrollmetod	Målvärde	Krav/Önskemål
Trådlös räckvidd	Specifikation	300 m	Önskemål
Trådlös räckvidd	Specifikation	100 m	Krav
Överföringshastighet	Specifikation	1 kbps	Krav
Väderoberoende	Litteraturstudie	Ja	Krav
Ej störa manuell körning	Bedömning	Ja	Krav
Enkelt att implementera	Bedömning	Ja	Önskemål

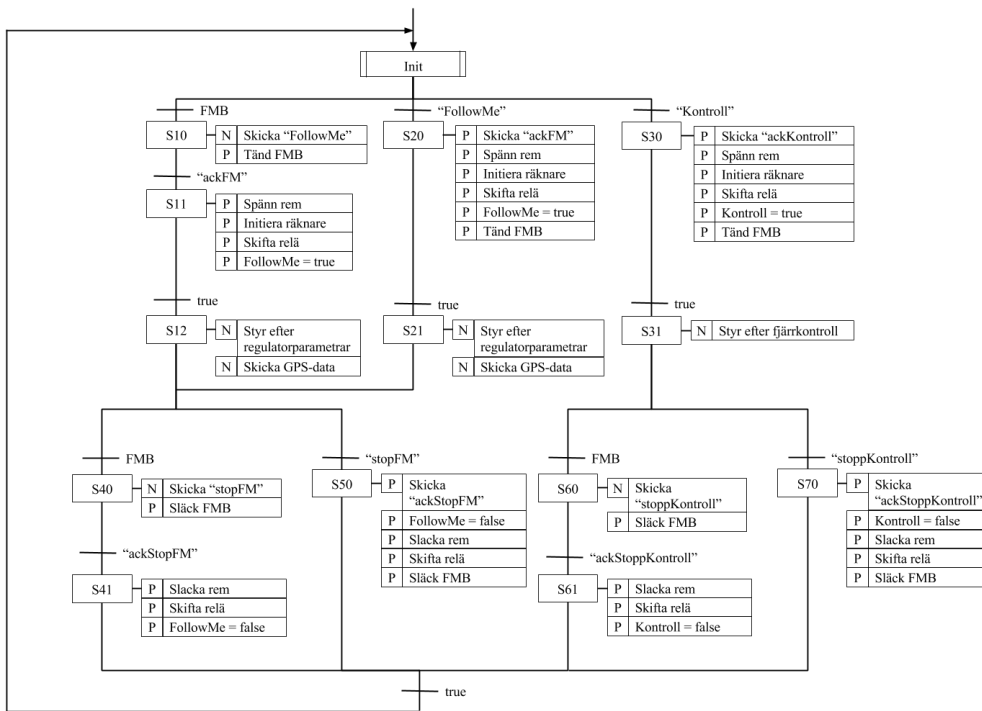
Då utrymmet är högst begränsat på Rescuerunnern beslutades att båten skulle vara värd till nätverket, där placeras en router⁶[29] tillsammans med en antenn med räckvidd på 450 meter[30]. En router möjliggör att de enheter som är i nära anslutning till routern kan använda sig av trådburen kommunikation och fortfarande kunna kommunicera med trådlösa enheter på nätverket. Nätverket skyddas av ett lösenord med hjälp av säkerhetsprotokollet WPA[18]. Med hjälp av ett standardiserat protokoll, UDP beskrivet i avsnitt 2.9, möjliggörs kommunikation mellan de enheter som är anslutna till nätverket. Meddelandet som skickas är väldigt flexibelt vad gäller innehållet.

För att få en bra överblick över hur Rescuerunnern och räddningsbåten ska hantera de meddelanden som skickas och i vilken sekvens som operationer ska utföras skapades två sekventiella funktionsdiagram (efter engelskans Sequential Function Chart, SFC)[31]. En SFC är egentligen tänkt som ett programmeringsspråk men har här inte använts för att programmera utan för att skapa en överskådlig figur över sekvenserna. SFC:n för Rescuerunnern återfinns i figur 22 och den för räddningsbåten återfinns i figur 23. SFC:erna beskriver hur och när meddelanden skickas samt vad som krävs för att systemet ska gå vidare till nästa operation. Ofta är det ett meddelande från den andra enheten som krävs, alternativt att en knapp ska tryckas in, för att programmet ska gå vidare. De övergångstillstånd som är inom citationstecken visar att dessa är UDP-meddelanden som skickas till enheten. De åtgärder som är inom citationstecken visar UDP-meddelanden som skickas från enheter. FMB⁷ är en tryckknapp med lampa som sitter på Rescuerunnern och båten som kan tändas och släckas.

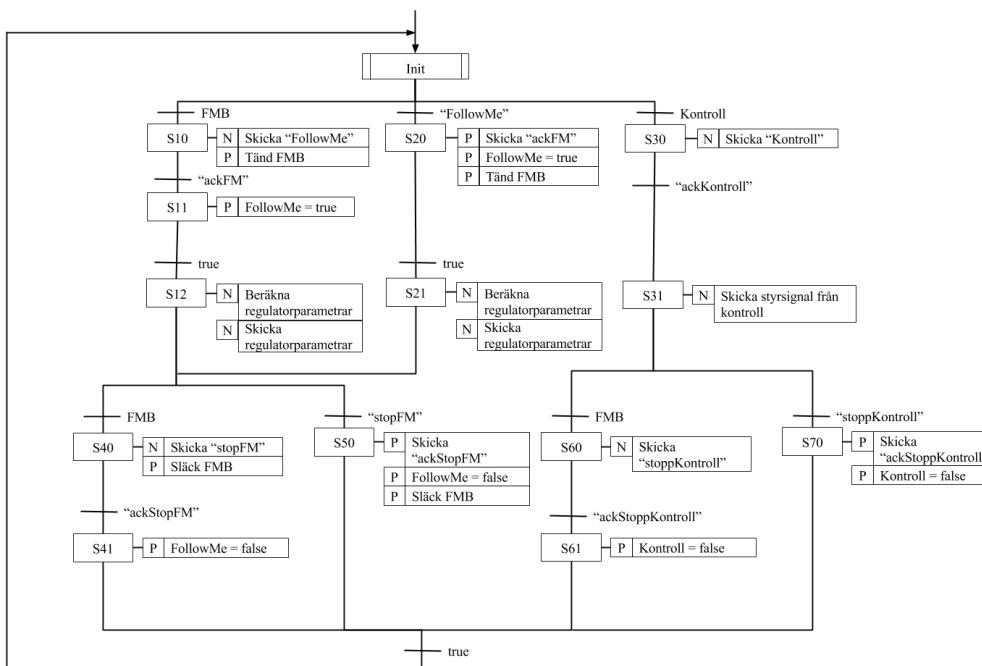
⁵Enligt möte med Fredrik Brännström, Docent Signaler och system, Chalmers den 24 februari 2015

⁶En router förmedlar datatrafik mellan två eller flera enheter

⁷FollowMeButton



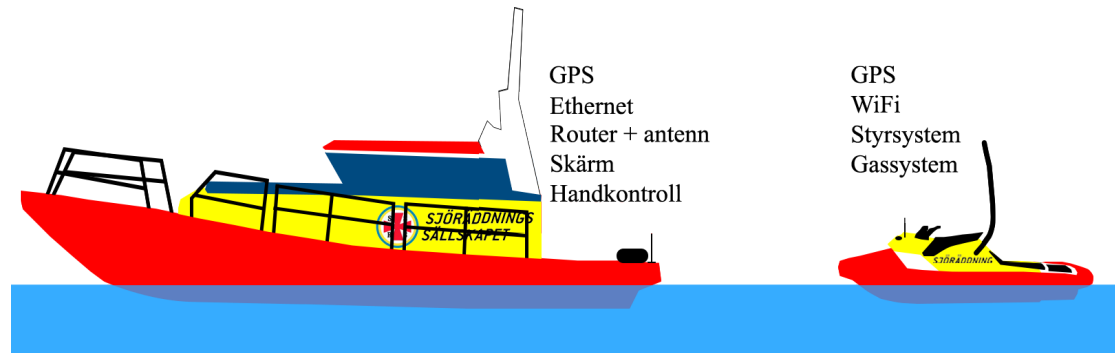
Figur 22: Sekventiellt funktionsdiagram över Rescuerunnern.



Figur 23: Sekventiellt funktionsdiagram över räddningsbåten.

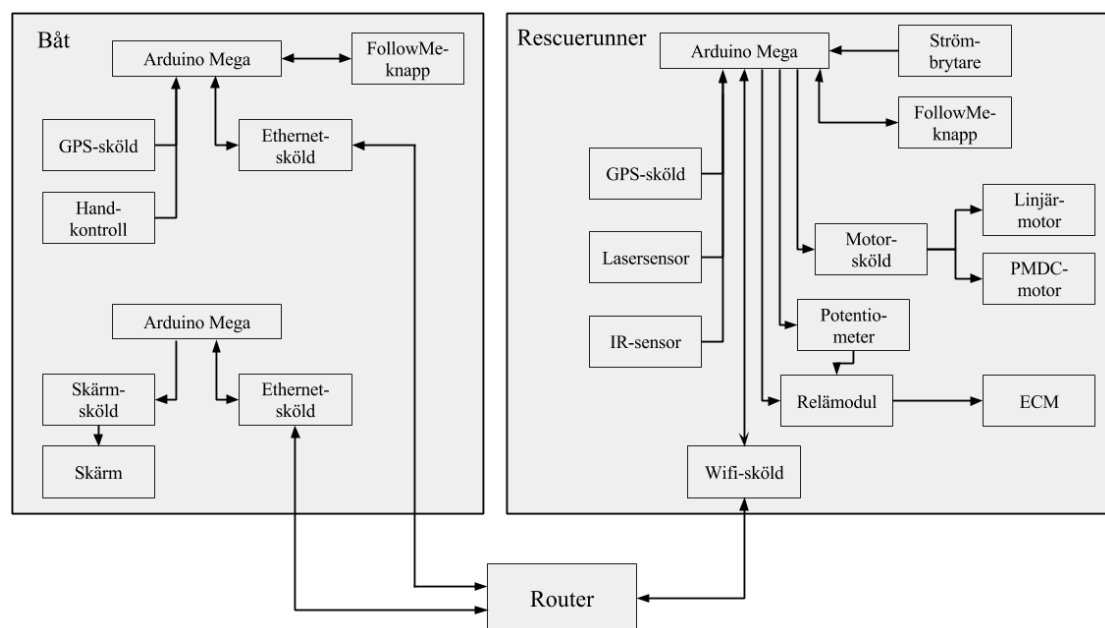
7 Integrering av dellösningar

Med alla dellösningar färdigställda krävdes ett sätt att koppla ihop dessa och möjliggöra kommunikation mellan samtliga enheter. Till detta användes tre Arduino Mega; en på Rescuerunnern och två ombord på räddningsbåten. I figur 24 kan en överblick av de funktioner som används för att realisera lösningen ses.



Figur 24: Överblick över komponenter.

Ett informationsflöde hur de elektriska komponenterna kopplas ihop kan ses i figur 25. En mer detaljerad beskrivning av dessa komponenter kommer att behandlas för Rescuerunnern i avsnitt 7.1 och för räddningsbåten i avsnitt 7.2



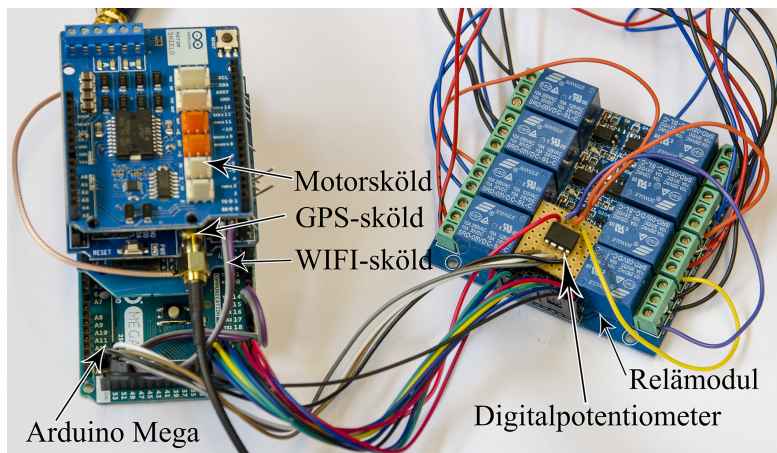
Figur 25: Schema över informationsflöde för komponenter.

7.1 Komponenter i Rescuerunnern

Den elektriska kontrollen av styrvinkeln sker med hjälp av de motorer och sensorer som beskrivits i avsnitt 3. En motorsköld används för att kontrollera de två motorerna samtidigt samt att på ett enkelt sätt kunna skifta poler och där med byta riktning på motorerna, motorskölden är kopplad till en Arduino Mega.

Kontrollen av gaspådrag sker med de komponenter som finns beskrivna i avsnitt 4. Dessa kopplas in i samma Arduino Mega som används för att kontrollera den elektriska styrningen av styrvinkel. I figur 26 visas hur dessa har kopplats in.

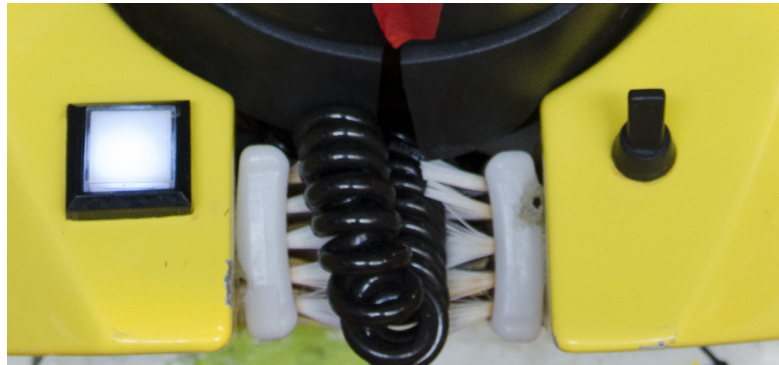
För positionering används en GPS-sköld för Arduino kopplad till en Arduino Mega. I figur 26 visas hur GPS-enheten i Rescuerunnern sitter monterad. Till GPS-skölden kopplas en extern GPS-antenn in, på Rescuerunnern fanns det redan en GPS-antenn att tillgå som ej användes till något befintligt system, som därför användes.



Figur 26: Elektriska komponenter i Rescuerunnern

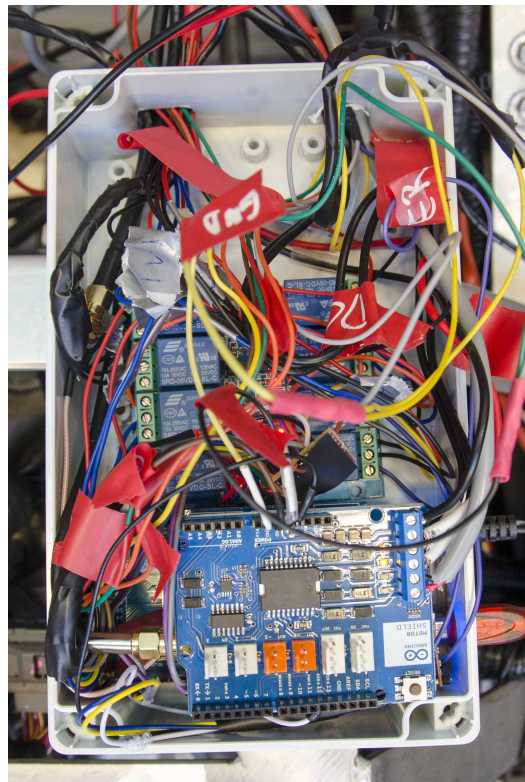
På Rescuerunnerns Arduino sitter en WiFi-sköld som ansluter till det på räddningsbåten upprättade nätverket. Med hjälp av UDP (beskrivit i avsnitt 2.9) skickas Rescuerunnerns position till båten, där regleringen för gas och styrtslag beräknas, enligt avsnitt 9, och önskad gas och styrtslag skickas tillbaka till Rescuerunnern.

Alla komponenter i Rescuerunnern får sin strömförsörjning från Rescuerunnerns befintliga batteri på 12V. För att få rätt spänning till Arduino används en spänningsomvandlare mellan batteriet och Arduino. De två motorerna, linjärmotorn och DC-motorn, behöver 12V och därför matas motorskölden med 12V direkt från batteriet som sedan används till motorerna. Ombord på Rescuerunnern monterades en strömbrytare, lätt tillgänglig för föraren, samt en FollowMe-knapp för att kunna avbryta den autonoma styrningen av Rescuerunnern samt att kunna växla över kontrollen till det autonoma systemet. I figur 27 visas FollowMe-knappen samt strömbrytaren.



Figur 27: FollowMe-knapp samt strömbrytare på Rescuerrunner vid styrstammen.

För att så gott som möjligt skydda utrustningen mot yttre påverkan, så som värme och fukt, byggdes de komponenterna som visas i figur 26 in i en plastlåda som visas i figur 28.



Figur 28: Inbyggnadslåda för komponenter i Rescuerrunnern.

7.2 Komponenter på räddningsbåten

För att möjliggöra autonom eskortering måste både Rescuerrunnerns och räddningsbåtens positioner vara kända. Detta motiveras vidare i avsnitt 9. Ett system liknande det som för Rescuerrunnern, beskrivet i föregående avsnitt, används för att få tillgång till räddningsbåtens position.

Skillnaden är att den externa GPS-antennen som redan fanns tillgänglig på Rescuerunnern ersattes med en annan antenn.

Då den Arduino som sammankopplar systemen ombord på räddningsbåten befinner sig nära den router som är värd för det trådlösa nätverket används en Ethernet-sköld och kabel för anslutning till nätverket.

De komponenter som behöver användas ombord på räddningsbåten placeras i en inbyggnads-låda som benämns handkontroll. Denna handkontroll visas i figur 29.

Ombord på räddningsbåten kommer besättningen behöva återkoppling om i vilket läge systemet befinner sig i. Detta realiseras med en skärm som sitter på handkontrollen. Då skärmen kräver många anslutningar och mycket datorkraft använder den en egen Arduino Mega som kommunicerar över nätverket genom en Ethernetkabel ansluten till routern. Utöver att visa nätverksstatus visar skärmen även vilken typ av körning som är initierad; manuell kontroll på Rescuerunnern, fjärrstyrning via handkontroll eller autonom körning. Utöver denna information visas även GPS-positioner, regulatorparametrar och avstånd mellan räddningsbåt och Rescuerunner vid autonom körning. Vid fjärrstyrd körning via handkontrollen visas önskad styrvinkel och gaspådrag.



Figur 29: Handkontroll för användning ombord på räddningsbåt.

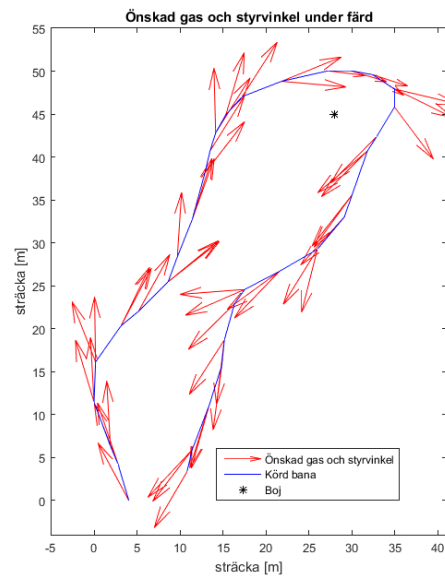
Spänningen till de komponenter som finns på den större båten kommer från en spänningsomvandlare som kopplas till ett 230V vägguttag alternativt ett 12V cigarettuttag.

7.3 Programmering av mikrokontroller

De beräkningar som kommer behöva utföras för att eskortera Rescuerunnern antas vara relativt beräkningstunga. För att få en jämn fördelning på beräkningar läggs dessa i mikrokontrollern ombord på räddningsbåten. För att realisera de funktioner som beskrivs i figur 22 och 23 samt informationsflödet i figur 25 har C-kod skapats och implementerats i respektive Arduino. Denna återfinns via länk med givet lösenord under källa [32].

8 Fjärrstyrning av Rescuerunner med handkontroll

För att kunna verifiera att kommunikationen mellan räddningsbåt och Rescuerunner fungerar som den ska samt för att göra det möjligt att analysera hur styrutslag och gaspådrag påverkar Rescuerunnern när den är till havs krävs ett sätt att fjärrstyra den. Detta är även något som kan vara användbart i gränslägen där varken manuell eller autonom körning är lämpligt, till exempel i en hamn innan avfärd. Eftersom all beräkning och reglering sker i den stora båten, som beskrivet i avsnitt 7.2, kräver Rescuerunnern bara en önskad styrvinkel och gaspådrag. Detta realiseras med hjälp av en arduinosköld med joystick, framtagen av företaget Funduino, som fästs på Arduino Megan i båten. Joysticken kalibreras så att rörelsen framåt ger en önskad gas mellan 0-20 % (av säkerhetsskäl begränsad maxgas) och rörelsen i sidled ger en styrvinkel, 0-20° åt antingen höger eller vänster. Utöver joysticken har skölden knappar som används för att starta samt stoppa Rescuerunnerns motor samt en knapp för att kalibrera om styret, något som kan behövas om remmen slirar. Vid denna typ av fjärrstyrd körning läser Arduinon av handkontrollen för att sedan direkt skicka parametrarna över nätverket till Rescuerunnern. Rescuerunnern returnerar då sin GPS-data, detta för att kunna verifiera vart Rescuerunnern befinner sig samt att kunna logga datan. För att testa hur väl fjärrstyrningen fungerade, styrdes Rescuerunnern med hjälp av handkontrollen längs en förutbestämd bana om cirka 100 meter, från startposition, ut för att runda en boj och sedan tillbaka. Avståndet mellan Rescuerunnern och operatören påverkar resultatet eftersom det på längre avstånd blir svårt att se hur Rescuerunnern betar sig. Det är en markant fördröjning mellan en insignal till handkontrollen ges och det att den verkställs, detta beror främst på två saker, dels är kommunikationen långsam för att det är mycket annan kod som behöver behandlas innan ett UDP-meddelande kan skickas, och dels är mekaniken i till exempel styrningen långsam. Detta syns då figur 30 studeras, notera att styrsignalerna hela tiden skickas en eller ett par mätpunkter innan de börjar ge utslag på Rescuerunnerns rörelse.



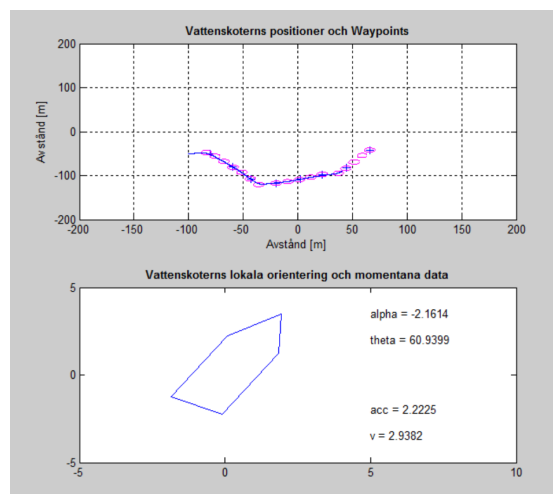
Figur 30: Av Rescuerunnern körd bana, styrd med hjälp av handkontroll

9 Autonom eskortering

Teorin som beskrivs i avsnitt 2.2 implementerades först i Matlab för att verifiera data och justera parametrar. Därefter skrevs Matlab-koden om till C-kod för att implementeras i en Arduino-miljö. All kod kan hittas via länken med tillhörande lösenord under källa [32].

9.1 Simuleringar

Flertalet simuleringar gjordes i Matlab för att optimera regulatorparametrar och algoritmen för banföljning. Resultatet utvärderades grafiskt genom att kontinuerligt rita upp hela processen. Hur själva simuleringsmiljön såg ut kan ses i figur 31.

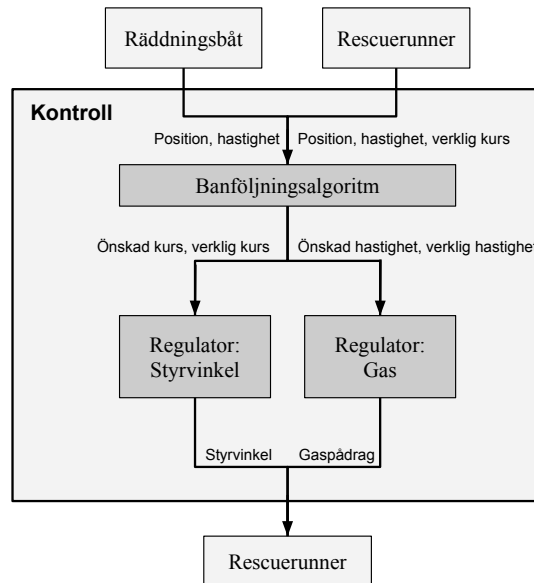


Figur 31: Den grafiska återkopplingen från simuleringen i Matlab. Där ringar symboliserar Waypoints där båten har varit och den blå linjen Rescuerrunnerns position. Den nedre figuren visar Rescuerrunnerns orientering i rummet samt momentana data för hastighet, acceleration, styrvinkel och kurs.

I simuleringen används alltså den matematiska modellen endast för att beräkna hur Rescuerrunnern skulle reagera. I verkligheten behövs inte modellen då man istället mäter upp nödvändiga storheter.

9.2 Informationsflöde

Simuleringen och implementeringen byggdes runt en kontrollfunktion som dirigerade data till mindre funktioner med ett tydligare syfte. Ett övergripande flödesschema över detta kan ses i figur 32. Där kontrollen får data från både räddningsbåt och Rescuerrunnern. Denna information förs sedan vidare till ytterligare funktioner som resulterar i ett önskat gaspådrag och styrvinkel för att Rescuerrunnern ska följa efter båten.



Figur 32: Ett övergripande schema hur den matematiska modellens funktioner implementerades.

9.3 Banföljningsalgoritm

Rescuerunnerns gaspådrag bestäms genom att reglera Rescuerunnerns hastighet till att ha samma hastighet som räddningsbåten. Detta görs med hjälp av en PID-regulator som beskrivs i avsnitt 9.4, där regulatorparametrarna har skattats med hjälp av grafisk återkoppling från simuleringar.

Rescuerunnerns önskade kurs φ bestäms genom att beräkna vinkeln till nästa mål enligt teoriavsnitt 2.3. Teorin använder den matematiska funktionen $\varphi = \text{atan}(\frac{y}{x}) : 0 < \varphi < 2\pi$ som har periodiska singulariteter då kvoten $\frac{y}{x} = n \cdot (\pm\frac{\pi}{2})$, $n = 1, 3, 5, \dots$ [8]. För att undvika dessa singulariteter implementeras den liknande funktionen $\varphi = \text{atan2}(\frac{y}{x}) : -\pi < \varphi < \pi$.

Då $\text{atan2}(\frac{y}{x})$ transformerar värdemängden från $0 < \varphi < 2\pi$ till $-\pi < \varphi < \pi$ kan det uppstå olika felaktiga translationer på grund av numeriska avrundningar i datorn. Detta sker då $y \rightarrow 0$ eller $x \rightarrow 0$ för kvoten $\frac{y}{x}$. Problemet löstes genom att spara flera efterföljande värden för φ i en vektor och endast tillåta små variationer mellan två efterföljande vinklar.

Även vattenskoterns önskade kurs reglerades med hjälp av en PID-regulator. Detta genom att minimera felet mellan Rescuerunnerns önskade och nuvarande kurs genom att kontrollera styrvinkeln.

9.4 Regulator för gas och styrning

PID-regulatorn som beskrivs i teoriavsnitt 2.4 implementerades numeriskt. Detta genom att diskretisera och approximera integralen av felet med hjälp av trapetsmetoden enligt $\int_0^t e(\tau) d\tau \approx \frac{(e_0 + e_1)}{2} \cdot dt$. Även termen innehållandes en derivata diskretiserades och antogs vara linjär under tidssteget dt enligt $\frac{de(t)}{dt} \approx \frac{(e_1 - e_0)}{dt}$.

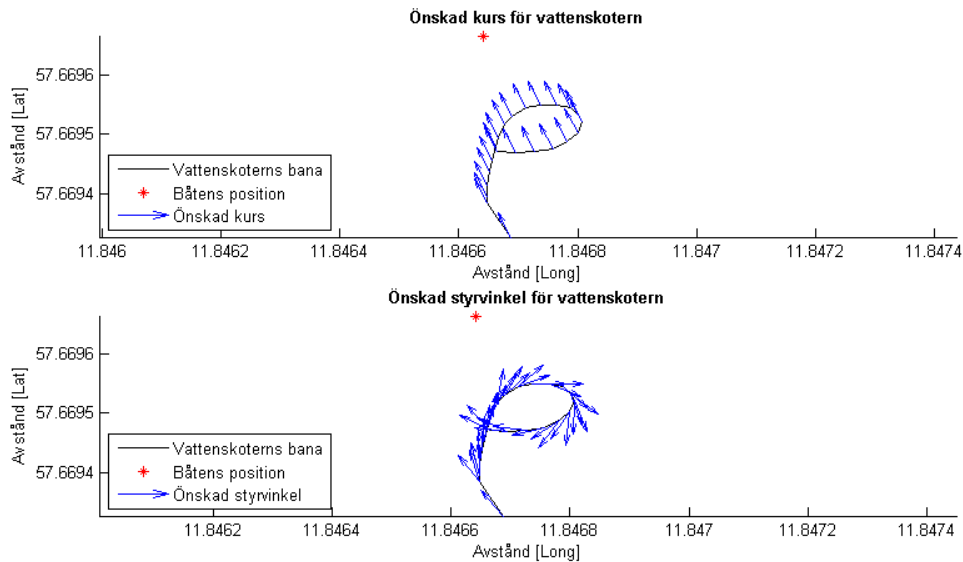
Simuleringarna försökte efterlikna Rescuerunnerns mekaniska system i största möjliga mån. Detta genom att begränsa regulatorer till verkliga funktioner, som exempelvis styrets maximala vinkelhastighet.

Kod för regulatorn och simuleringarna av den samma återfinns via källa [32].

9.5 Verkliga tester

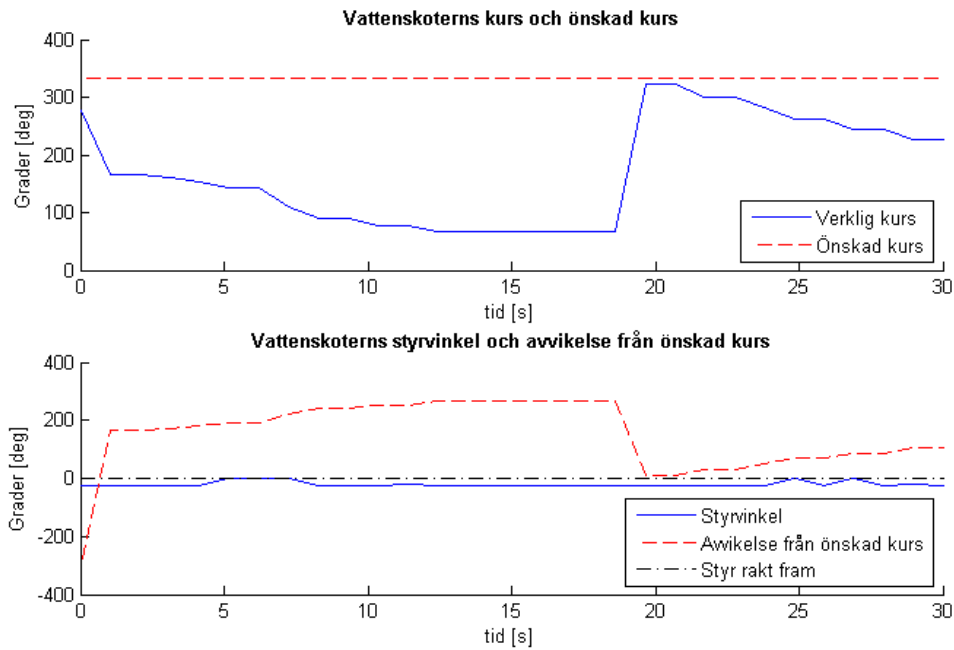
Då den autonoma eskorteringen skulle testas i havet fanns det inte tillgång till en större räddningsbåt att följa efter. För att ändå kunna testa systemet efterliknades istället en ledarbåt med

konstant hastighet vid en fix position. Det skulle då bli tydligt om Rescuerunnern försökte åka mot denna punkt samt reglerade sin hastighet att matcha båtens. I figur 33 kan båtens position samt Rescuerunnerns bana, önskad kurs och uppmätt kurs ses. Vid jämförande av kurserna är det tydligt att systemet beräknar korrekt kurs men fallerar att mäta sin egen kurs. Detta betyder att Rescuerunnern inte vet vart den är på väg och därför heller inte heller kan korrigera sin kurs korrekt.



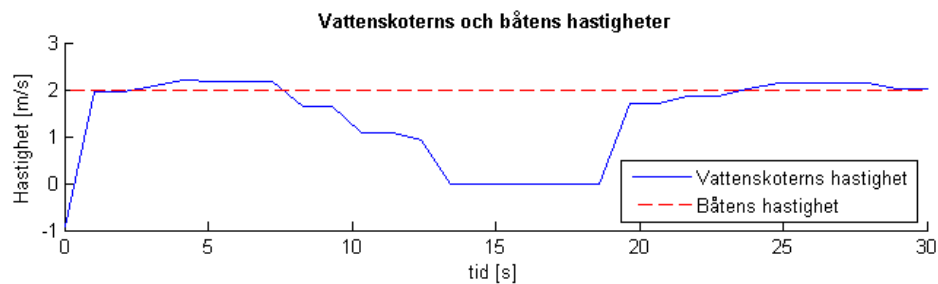
Figur 33: Uppmätta positioner, verkliga kurser och av systemet beräknad kurs till båten.

I figur 34 jämförs önskad kurs och Rescuerunnerns uppmätta kurs samt styrvinkel. Här verifieras att Rescuerunnern inte vet vart den är på väg då avvikelsen från den önskade kursen inte minskar konstant.



Figur 34: Jämförelse mellan beräknad önskad kurs till båten och Rescuerunnerns uppmätta kurs och styrvinkel.

Banföljningsalgoritmen tar inte hänsyn till att Rescuerunnern inte kan backa, detta begränsas först i modellen av Rescuerunnern då gaspådraget istället sätts till tomgång. På grund av den inskränkningen gasar Rescuerunnern endast när den är på någorlunda rätt kurs. Fenomenet observerades under tester och verifieras i datan som presenteras i figur 35, där gaspådraget och hastigheten minskar mitt i testet.



Figur 35: Jämförelse mellan den simulerade båtens hastighet och Rescuerunnerns uppmätta hastighet.

10 Diskussion och slutsatser

Projektet syftade till att möjliggöra en autonom eskortering av en Rescuerunner, ett mål som har testats men inte helt uppnåtts. Ett system som teoretiskt har möjlighet att uppfylla målet har ändå utvecklats och står redo för vidareutveckling. Konstruktion har även testats genom att ta fram en handkontroll som kan styra Rescuerunnern fjärrstyrt. För att uppnå de mål SSRS har för en autonom Rescuerunner kvarstår arbete inom flera områden. De krav som sattes upp för projektet genom kravspecifikationen i tabell 1 uppfylldes delvis. Kvarstående arbete är huvudsakligen den autonoma följningen där en grund för vidare arbete skapats.

10.1 Förenklad matematisk beskrivning av Rescuerunnern

En mer utförlig matematisk modell hade behövts för att korrekt kunna beskriva Rescuerunnern. Den matematiska beskrivningen är förenklad till två dimensioner. Detta för att underlätta härledning och implementering och stöds endast av våra avgränsningar. För att klara av hårdare sjö och högre hastigheter bör en utförligare modell utvecklas. Mestadels för att ta hänsyn till hur Rescuerunnern roterar på grund av vågor, vilket kan ställa till det för regulatorer.

En ytterligare förenkling har gjorts för att beskriva Rescuerunnerns vattenjet. I verkligheten kan den endast backa begränsat med hjälp av en kåpa som fälls över jetstrålen, vilket inte är trivialt att implementera. Därför har alla försök från regulatorn att backa istället satts till tomgångskörning framåt. Detta försvårar regulatorns uppgift väldigt mycket då den omedvetet motverkar sig själv väldigt ofta. Ett lösningsförslag på detta hade varit att spegla styrningen och motsvarande gaspådrag framåt så fort regulatorn vill backa, vilket ger motsvarande önskad effekt.

10.1.1 Rescuerunnerns önskade styrvinkel realiserar inte vid eskortering

I avsnitt 9.5 är det tydligt att Rescuerunnern har svårt att reglera sin egen riktning. Kursen beräknas för nuvarande med hjälp av Rescuerunnerns ändring i position. Detta kräver en tydlig ändring av positionen för att fungera då positioneringssystemets upplösning är begränsad. Den tar heller inte hänsyn till Rescuerunnerns orientering vid dessa positioner.

En ytterligare stor felkälla är att Rescuerunnern driver mycket i sidled, speciellt när den ändrar riktning kraftigt. Eftersom kursen endast beräknas via skillnad i position kan detta förvirra systemet ytterligare. En lösning på detta problem kan vara att installera en dedikerad kompass. Ett annat alternativ är att också installera ett gyroskop för att mäta Rescuerunnerns rotation med hjälp av uppmätt vinkelhastighet.

En tredje felkälla är att regulatorerna inte tar hänsyn till den verkliga fördröjningen innan Rescuerunnern har realiserat ett önskat utfall. Detta i kombination med kodens långa exekveringstid gör att regulatorn förmodligen inte hinner med i processen.

10.1.2 Förbättrad banföljningsalgoritm

Tack vare avgränsningen att eskorteringen ska ske under låga hastigheter bör följningsmetoden beskriven i avsnitt 9.3 räcka. Om hastigheten ökar är det även lämpligt att ta hänsyn till kurvaturen på huvudbåtens bana. Detta för att kunna klara av snäva svängar i höga hastigheter. Vid ett stort spann av hastigheter bör man även justera regulatorparametrar kontinuerligt beroende på hastigheten. Detta för att stabilisera Rescuerunnerns eskortering samt för att motverka översvängningar och liknande. Den nuvarande regulatorn byter endast parametrar diskret beroende på hastigheten. Detta kan medföra stora fel i regleringen om hastigheten pendlar snabbt mellan två gränser. Vidare förbättringar av regulatorernas prestanda hade kunnat uppnås via noggrannare teoretisk analys av regulatorparametrerna.

10.2 Elektroniskt gassystem

Gassystemet styr gasen med diskreta steg och kan även anpassas väl till varje Rescuerunner då dessa skiljer något i motstånd vid tomgång och full gas. Digitalpotentiometern är en liten

komponent som är lätt att placera, de relän som används hade kunnat ersättas med transistorer eller liknande för att konstruera en ännu mindre integrerad krets av gassystemet. Växlingen mellan manuell och autonom gasreglering gick utan att någon skillnad på motorvarvtal kunde observeras. I kapitel 4 beskrivs att gassystemet kan kontrolleras med 177 diskreta steg vilket, med god marginal, tillgodoser de krav och önskemål som ställdes på systemet. Eftersom det manuella gassystemet är intakt kommer manuell användning att fungera på samma sätt som före installation, vilket också var ett krav.

10.3 Styrsystemet

Enligt styrsystemets kravspecifikation, se tabell 3 önskades en vinkelupplösning på 1° . I figur 16 framgår att upplösningen inte uppnåddes. Styrsystemet presterade inte konsekvent samma vinkel utan hade en felmarginal på cirka $\pm 5^\circ$ detta kan bero på ett antal felkällor. Dels finns det ett visst glapp i styret på ungefär en grad. Som kan ses i figur 15 är inte PID regulatorn perfekt utan har en felmarginal på nån grad samt att det är ungefär en halv grad mellan på styrets vinkel mellan hålen i mässingshylsan som lasersensorn mäter på. Allt detta leder till en felmarginal på ungefär 5° vilket leder till att styrningen av Rescuerunnern blir något mindre precis.

Ett viktigt krav är att det måste gå att växla mellan autonom och manuell körning. Om det inte går att köra manuellt går det inte att genomföra några räddningsuppdrag.

Antingen har man en lösning som klarar av både autonom körning och manuell eller så löses det med två lösningar som man växlar mellan, som var lösningen i det här projektet. Problemet är att de vanligaste och enklaste aktuatorerna som finns som till exempel vanliga elmotorer eller linjärmotorer inte klarar av att röras manuellt.

En alternativ lösning på styrsystemet hade varit att helt frikoppla styret från resten av styrningen och placera någon form av elektrisk sensor för att mäta dess vinkel. En linjärmotor hade kunnat kopplas till styrvajern direkt vid kolven, se figur 9. Det hade varit en enklare lösning än den som valdes med avseende på antal komponenter och montering. Dock om den hade valts hade det dels varit omöjligt att komma från en fördröjning i styrningen vid manuell körning, eftersom en linjärmotor inte kan köra lika snabbt som styret vrids manuellt. Detta ändrar permanent köregenskaperna vilket önskas undvikas. Det som har utvecklats är en prototyp och om SSRS skulle behöva Rescuerunnern till ett riktigt räddningsuppdrag får inget få fel. Anledning till att den lösningen med remväxel valdes var för att hela styrsystemet ansluter väldigt enkelt till Rescuerunnern. Två fästpunkter är allt som krävs i en platta som finns nära styrstången som bär lösningen samt en fästpunkt till styrstången. Detta är positivt för att det är enkelt för sjöräddningen att montera lösningen i flera skotrar. Dock så består själva växellådan av många delar som måste specialtillverkas vilket inte är optimalt för att implementera i många Rescuerunnerns.

10.4 Precision med GPS

GPS är ett verktyg som är väldigt enkelt och billigt att arbeta med samtidigt som det har stor täckning. Enheterna som används i projektet har en specificerad uppdateringsfrekvens på 10 Hz och noggrannheten skall vara god på så pass öppna ytor som det är på havet. Trots att specifikationerna såg bra ut blev GPS:en något av en flaskhals då det tog lång tid att läsa av den. Detta gjorde att processorn i både räddningsbåten och Rescuerunnerns Arduino stod still i väntan på godtagbar data. Koden för att hämta ut data från GPS:erna bör kunna optimeras för att få en ökad uppdateringsfrekvens samtidigt som det kommer göra prestandan för hela systemet bättre. Även om uppdateringsfrekvensen blev något lägre än väntat var noggrannheten tillräckligt bra.

10.5 Fjärrstyrning av Rescuerunnern

Då det bara blev ett delmål att Rescuerunnern skulle gå att styra med hjälp av en handkontroll, var inte detta i fokus från starten av projektet. Hade huvudmålet varit fjärrstyrning hade ingen GPS behövts och koden hade kunna kortas ner och optimerats avsevärt. Detta hade fått

en mycket mer responsiv kontroll med mindre fördröjning innan styrsignalerna realiserades på Rescuern. Trots den fördröjning som nu försvårar fjärrstyrningen är detta en viktig aspekt sett ur produktens helhetsperspektiv, om Rescuern utan förare ska följa efter en annan båt är det bra att även ha ett mellanting mellan autonom körning och manuell körning. I en vidareutveckling kan en lösning tas fram för autonom embarkering, men då detta är väldigt avancerat är en fjärrstyrd Rescuern ett bra steg på vägen.

För att förbättra responsen vid fjärrstyrning bör GPS och andra funktioner som inte är nödvändiga i det låget inaktiveras tills fjärrstyrningen är avslutad.

10.6 Vidareutveckling

SSRS:s vision som beskrivs i avsnitt 1.3 uppfylls inte helt av resultatet från detta projekt med tanke på de avgränsningar som gjorts. Det krävs därför fortsatt arbete för att kunna använda lösningen operativt av SSRS. Just nu tar inte lösningen hänsyn till vad som händer vid en eventuell förlust av kommunikation utan Rescuern slutar att köra. Detta kanske kan vara en tillfredsställande lösning men har ej analyserats närmre i denna rapport utan behöver utredas. Önskemål från SSRS finns om att göra någon form av nödankring så att Rescuern stannar på samma plats, vid eventuellt fel, för att senare kunna tas hand om av sjöräddningspersonal.

Vid ett plötsligt stopp hos den större båten kommer det inte vara mekaniskt möjligt för Rescuern att köra bakåt autonomt, detta är något som skulle vara önskvärt och kunna underlätta reglering.

Ett av huvudmålen med projektet har varit att minska den kognitiva belastningen hos besättningen på den större båten, det krävs därför ytterligare arbete för att skapa ett bra gränssnitt för att kontrollera Rescuerns funktioner.

Vidare fattas en lösning för att embarkera Rescuern när olycksplatsen är nådd efter autonom körning. Rescuern måste kunna köra fram till räddningsbåten och kunna lägga sig intill den så att sjöräddaren kan stiga på, detta med ett kommando som endast bör vara ett knapptryck. Ett liknande problem är även att det måste finnas ett system för att autonomt kunna navigera ut från hamn. Det är inte självklart att ledarbåten och Rescuern står på rad när uttryckningen börjar. Det kan vara så att Rescuern måste kunna navigera runt bryggor och andra båtar innan ledarbåten nås. Detta är inget som har undersökts i det här arbetet. För att fortsätta hålla den kognitiva belastningen låg är det önskvärt att även dessa funktioner kan genomföras med endast ett knapptryck.

Den nuvarande koden är inte optimerad och utnyttjar inte den fulla potentialen hos Arduino Mega, vidare arbete behöver därför se till att så blir fallet alternativt använda sig av andra beräkningsenheter. Att ha endast en beräkningsenhet på Rescuern kanske inte är det bästa alternativet, möjligheten finns att istället använda sig av mindre enheter som utför delar av beräkningar och hantering av signaler för att sedan kommunicera dessa med varandra. Till exempel för att få en bättre uppdateringshastighet på GPS-signaler hade ett bra alternativ varit att utrusta GPS-skölden med en egen mikrokontroller och kunna kommunicera detta med resterande enheter på ett bra sätt.

För närvarande är inte elektroniken helt säkrad från vatten. I projektets avgränsningar bestämdes det att projektet skulle klara att köra i lugnt vatten och bra väder utan regn. För att kunna klara av hårdare sjö och väder måste åtgärder vidtas för att se till att vatten inte kan komma in i elektriska komponenter. För närvarande är det mesta av elektroniken fastsatt i lådor tätade med smältlim kring öppningar. Detta anses hålla tätt för relativt mycket vatten men för närvarande är ultraljudssensorn fastsatt på Rescuerns inre vägg. Vid hård sjö riskerar det att rinna vatten över sensorn vilket skulle kunna förstöra den. En rimlig lösning vore att bygga något slags skydd runt den. Samma gäller för spänningsomvandlaren som vid de skarpa testerna fick ligga i en plastpåse i brist på bättre lösning. Ett annat vattenrelaterat problem är korrosion. Vid styrsystemet finns det ett antal metallkomponenter med hål i sig. Om vatten kommer in i dessa hål riskerar så kallad spaltkorrosion uppkomma vilket skulle sänka livslängden på systemet avsevärt [33]. Att tillverka något slags skydd över hålen eller fylla dem med något material hade varit en möjlig lösning på problemet.

I och med att komponenterna ombord på Rescuerunnern matas med spänning från samma batteri som till exempel Rescuerunners startmotor kan vissa spänningsfall uppstå. Detta kan få systemet att oväntat starta om då Arduinon är känslig för höga respektive låga spänningar. För att få ett stabilare och mer pålitligt system bör det därför finnas en separat spänningsmatning för det autonoma systemet.

Även om projektets alla mål inte uppnåddes full ut har ändå en grund lagts inför möjliga vidareutvecklingar. Projektet kan därför bidra till SSRS vision att kunna utföra räddningsuppdrag med hjälp av autonoma Rescuerunners och därmed underlätta räddningsaktioner till havs.

Referenser

- [1] "Datasheet series e192," 2013, [Hämtad 9 maj 2015]. Tillgänglig: <https://www1.elfa.se/data1/wwwroot/assets/datasheets/05445507.pdf>
- [2] M. Bohgard, S. Karlsson, E. Lovén, L. Åke Mikaelsson, L. Mårtensson, A.-L. Osvalder, L. Rose, and P. Ulfvengren, *Arbete och teknik på människans villkor*. Stockholm: Prevent, 2010.
- [3] E. Coelingh and S. Solyom, "All aboard the robotic road train," november 2012, [Hämtad 2 juni 2015]. Tillgänglig: <http://jalopnik.com/how-electronic-throttle-control-works-499966101>
- [4] "Delphi electronically scanning radar," 2015, [Hämtad 3 maj 2015]. Tillgänglig: <http://delphi.com/manufacturers/auto/safety/active/electronically-scanning-radar>
- [5] "Välja rätt autopilot till båt," 2015, [Hämtad 19 maj 2015]. Tillgänglig: <http://www.flotecmarin.se/hur-man-valjer-ratt-autopilot-till-sin-bat-a-28.html>
- [6] T. M. Jensen, "Waypoint-following guidance based on feasibility algorithms," Master's thesis, Norwegian University of Technology.
- [7] M. A. Rothman, *Discovering the Natural Laws: The Experimental Basis of Physics*. Courier Dover Publications, 1989.
- [8] L. Råde and B. Westergren, *Mathematics Handbook (for Science and Engineering)*. Studentlitteratur, 2004.
- [9] G. Falkovich, *Fluid Mechanics (A short course for physicists)*. Cambridge University Press, 2011.
- [10] C. Nordling and J. Österman, *Physics Handbook (for Science and Engineering)*. Studentlitteratur, 2006.
- [11] T. Glad and L. Ljung, *Reglerteknik (Grundläggande teori)*. Studentlitteratur, 2006.
- [12] B. Lennartson, *Reglerteknikens grunder*. Studentlitteratur, 2002.
- [13] M. E. och Per Svedensten, *Maskinelement övningar*. Göteborg: Studentlitteratur, 2005.
- [14] L. Yamaha Motor Co., *WaveRunner VX Sport, VX Cruiser, VX Deluxe SERVICE MANUAL*. Hamamatsu, Shizuoka, Japan: Yamaha Motor Co., Ltd, 2010.
- [15] I. S. J. M. T. A. B Cook, G Buckberry, "Indoor location using trilateration characteristics," 9 2005, proceedings London Communications Symposium.
- [16] "Haversine formula," 2015, [Hämtad 16 maj 2015]. Tillgänglig: http://en.wikipedia.org/wiki/Haversine_formula
- [17] "Wireless fidelity (wi-fi)," 2014, [Hämtad 14 april 2015]. Tillgänglig: <http://www.accessscience.com/content/wireless-fidelity-wi-fi/802040>
- [18] A. H. Lashkari, M. Mansoori, A. S. Danesh, and I. C. Soc, "Wired equivalent privacy (wep) versus wi-fi protected access (wpa)," *Proceedings of the 2009 International Conference on Signal Processing Systems*, pp. 445–449, 2009, ISI Document Delivery No.: BNW98.
- [19] "Introduktion till ip - internet protocol," 2009, [Hämtad 14 april 2015]. Tillgänglig: <https://www.iis.se/lar-dig-mer/guider/introduktion-till-ip-internet-protocol>
- [20] M. McRoberts, *Beginning Arduino*. 233 Spring Street, 6th Floor, New York, NY 10013: Apress, 2010.

- [21] K. N. Otto and K. L. Wood, "Product evolution: A reverse engineering and redesign methodology," *Research in Engineering Design-Theory Applications and Concurrent Engineering*, vol. 10, no. 4, pp. 226–243, ISI Document Delivery No.: 167QN.
- [22] "Remväxel spz," 2015, [Hämtad 26 maj 2015]. Tillgänglig: <http://www.mecmove.se/kilremmar/02.pdf>
- [23] "Linjär dc-motor," 2013, [Hämtad 9 maj 2015]. Tillgänglig: http://www.conrad.se/Standard-linj%e4r-DC-motor-Drive-System-Europe-DSZY1-12-10-A-050-IP65-12-V%2fDC-50-mm-250-N-29-mm%2fs.htm?websale8=conrad-swe&pi=191855&ci=SHOP_AREA_17346_1101104
- [24] "Avståndssensor," 2015, [Hämtad 19 maj 2015]. Tillgänglig: <http://www.kjell.com/sortiment/el/elektronik/mikrokontroller/arduino/avstandssensor-p87891>
- [25] "Produktbeskrivning digitalpotentiometer," 2015, [Hämtad 2 maj 2015]. Tillgänglig: <http://www.microchip.com/wwwproducts/Devices.aspx?product=MCP41010>
- [26] "Globalsat eb365," 2015, [Hämtad 2 juni 2015]. Tillgänglig: http://www.globalsat.com.tw/products-page.php?menu=4&gs_en_product_id=4&gs_en_product_cnt_id=64
- [27] "Vhf-fakta," 2015, [Hämtad 2 juni 2015]. Tillgänglig: <http://www.stockholmradio.se/vhf-fakta>
- [28] "Fast facts bluetooth," 2015, [Hämtad 2 juni 2015]. Tillgänglig: <http://www.bluetooth.com/Pages/Fast-Facts.aspx>
- [29] "Trådlös router," 2015, [Hämtad 12 maj 2015]. Tillgänglig: <http://www.kjell.com/sortiment/dator-kringutrustning/natverk/tradlost-natverk/tradlosa-routrar/d-link-dir-600-tradlos-router-p68722>
- [30] "Wlan-antenn," 2015, [Hämtad 12 maj 2015]. Tillgänglig: <http://www.kjell.com/sortiment/dator-kringutrustning/natverk/tradlost-natverk/wlan-antenner/antenner/wlan-antenn-p30228>
- [31] K. Fujino, K. Imafuku, Y. Yuh, and N. Hirokazu, "Design and verification of the sfc program for sequential control," *Computers & Chemical Engineering*, vol. 24, no. 2–7, pp. 303 – 308, 2000. Tillgänglig: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0098135400004841>
- [32] A. Andersson, V. Bäckman, O. Grankvist, A. Sarvik, and O. Pantzare, "Follow me," 2015, [Hämtad 2 maj 2015] Lösenord: M3546R4uxY. Tillgänglig: <https://chalmersuniversity.box.com/FollowMe>
- [33] H. Mattson and M. Norell, *Materialteknik - Korrosion M2*. Institutionen för Material- och Tillverkningssteknik, 2012.

A Koncept för styrning

Genom att utgå från en kravspecifikation för styrningen som kan ses i tabell 3 togs ett flertal koncept fram enligt punktlistan nedan. Val av koncept gjordes sedan med hjälp av två Pugh-matriser enligt tabell 7 och 8.

- **Koncept 1 styrning**

En kuggstång fästs vid styrets hävarm och ligger i ett "spår", och en motor fästs runt styrtappens hyllsa för att motorn ska följa med i dess rörelse. Motorn har kontakt med kuggstången på kuggstångens ovasida. Motorns rotation puttar/drar i styrtappen.

- **Koncept 2 styrning**

En kuggstång fästs vid styrets hävarm och ligger i ett "spår", och en motor fästs runt styrtappen för att motorn ska följa med i dess rörelse. Motorn har kontakt med kuggstången på kuggstångens undersida. Motorns rotation puttar/drar i styrtappen.

- **Koncept 3 styrning**

En separat hävarm som går till en vertikalt fäst motor som överför momentet från motorn till armen.

- **Koncept 4 styrning**

Motorn fästs vid plattan på motorns utgående axel sitter en hävstång (lik den i botten på styret) De två hävstångerna (den på motorn och den på styret) länkas samman med ett ledat stag, detta gör att motorns rörelse överförs till styret.

- **Koncept 5 styrning**

Ett slags kuggjul fäst runt styrtstången och styrs av en vertikal motor, motorns rotation överförs då direkt till styret.

Tabell 7: Pughmatris 1 styrning

Kriterier	Viktning (1-5)	Koncept				
		1*	2	3	4	5
Antal komponenter	4	0	0	-	0	+
Monterbarhet	5	0	0	-	+	0
Tål miljön	5	0	0	0	0	0
Vikt	4	0	0	0	0	+
Pris	1	0	0	0	0	-
Hållbarhet	3	0	0	-	+	+
Möjlighet till utveckling	4	0	0	0	+	§
Tilläggsfunktioner	3	0	0	0	0	0
Summa		0	0	-12	12	14

* : Markerar referens

Tabell 8: Pughmatris 2 styrning

Kriterier	Viktning (1-5)	Koncept				
		1	2	3	4	5*
Antal komponenter	4	-	-	-	-	0
Monterbarhet	5		0	-	+	0
Tål miljön	5	0	0	0	0	0
Vikt	4	0	0	-	-	0
Pris	1	+	+	+	+	0
Hållbarhet	3	-	-	-	+	0
Möjlighet till utveckling	4	-	-	-	+	0
Tilläggsfunktioner	3	0	0	0	0	0
Summa		-10	-10	-15	2	0

* : Markerar referens

B Koncept för gasstyrning

Genom att utgå från en kravspecifikation för gasstyrningen som kan ses i tabell 4 togs ett flertal koncept fram enligt punktlistan nedan. Val av koncept gjordes sedan med hjälp av Pugh-matrisen enligt tabell 9.

- **Koncept 1 gasstyrning**

Med hjälp av relän kopplas spänningen som normalt går till APS:en om, istället går den till en digital potentiometer styrd från en mikrokontroller. Med hjälp av den digitala potentiometern styrs spänningen som går tillbaka till ECM och därmed även gasen. Detta är en fysiskt liten lösning som installeras helt i Rescuerunnerns inandöme.

- **Koncept 2 gasstyrning**

Med hjälp av relän kopplas styrsignalen som normalt går från ECM till ETV om så att den styrs från en Arduino. På så sätt styr Arduinon gasspjällen direkt och därmed även gasen. Detta är en fysiskt liten lösning som installeras helt i Rescuerunnerns inandöme men som inte utnyttjar motorstyrenhetens optimering.

- **Koncept 3 gasstyrning**

En elmotor är kopplad till det manuella gasreglaget som sitter på styret. Motorn efterliknar en mänsklig förare och drar mekaniskt i reglaget.

- **Koncept 4 gasstyrning**

APS:en har en mekanisk potentiometer som är kopplad med vajer till gasreglaget. Med en elmotor som vrider direkt på potentiometern blir koncept 4 en variant på koncept 3 men installerat inne i Rescuerunnern istället.

Tabell 9: Pughmatris gasstyrning

Kriterier	Viktning (1-5)	Koncept			
		1*	2	3	4
Antal komponenter	4	0	0	-	-
Monterbarhet	5	0	-	-	-
Tål miljön	5	0	0	-	-
Vikt	4	0	0	-	-
Pris	1	0	0	-	-
Hållbarhet	3	0	0	-	-
Möjlighet till utveckling	4	0	0	0	0
Tilläggsfunktioner	4	0	0	0	0
Ej störa manuell körning	5	0	-	-	0
Upplösning på gas	3	0	0	+	1
Hålla konstant gas	3	0	0	0	0
Tid från 0-75 % gas	4	0	0	-	-
Tid från 0-100 % gas	2	0	0	-	-
Summa		0	-10	-30	-25

* : Markerar referens

C Koncept för positionering

När en kravspecifikation satts upp, togs 4 förslag på lösningar fram. Därefter användes en pugh-matris för att reda ut vilket alternativ som var bäst och försätta utveckla det.

- **Koncept 1 positionering**

Med tre eller fler sändare på båten kan Rescuerunnerns position beräknas med hjälp av multilateration[15]. Sändarna, placerade så brett i sär som möjligt, mäter avståndet till Rescuerunnern. Upplösningen blir relativt låg, då båten är en begränsad yta, och avståndet mellan sändarna blir väldigt kort relativt avståndet till Rescuerunnern.

- **Koncept 2 positionering**

I moderna bilar och lastbilar används ett visuellt system baserat på kamera och laser eller radar för att följa efter framförkörande bil på rätt avstånd[3]. Kameran tar hänsyn till väglinjerna och bilen framför, medan radar eller laser avgör avståndet. Kamera och laser/radar bör ha fri sikt mot den stora båten, samt hålla båten stabilt inom synfältet.

- **Koncept 3 positionering**

Genom att placerar en gps-mottagare på både båten och Rescuerunnern kan deras positioner, hastigheter och riktningar jämföras. Noggrannheten hos GPS påverkas av hur fri sikt det är mot himlen och kvalitet på mottagaren.

- **Koncept 4 positionering**

Båtar är normalt sätt utrustade med marin radar, även SSRS större båtar har denna utrustning. Med hjälp av radarn är det möjligt att från båten hålla reda på var Rescuerunnern är, och sedan skicka styr signaler till den. Noggrannheten påverkas dock av formen på föremålet som iaktas och runt den större båten finns ett blindområde vilket gör det svårt att iakta föremål inom ett par meters avstånd från radarsändare. Då vattenRescuerunnern är strömlinjeformad och låg får den en väldigt svag radarsignatur och kommer därför vara svår att följa samt mäta avstånd och riktning till.

Tabell 10: Pughmatris positionering

Kriterier	Viktning (1-5)	Koncept			
		1*	2	3	4
Noggrannhet	5	0	+	+	0
Uppdateringsfrekvens	4	0	0	0	-
Ej störa manuell körning	5	0	-	0	0
Enkelhet att implementera	3	0	-	+	+
Väderoberoende	4	0	-	+	+
Möjlighet till utveckling	4	0	+	0	0
Hållbarhet	3	0	0	+	+
Summa		0	-3	15	6

* : Markerar referens