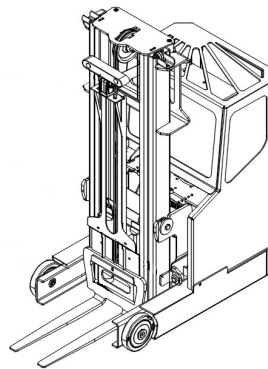


Testplan

Autonom styrning av gaffeltruck

Version 1.0

L.A.M.A.
12 oktober 2016



Status

Granskad	Samtliga projektmedlemmar	2016-10-04
Godkänd	Andreas Bergström	2016-10-12

Projektidentitet

Gruppmail: jenst280@student.liu.se
Hemsida: <http://www.isy.liu.se/edu/projekt/reglerteknik/2016/forklift/>
Beställare: Andreas Bergström, ISY, Linköpings universitet
Telefon: +46 (0)10-711 54 54, **Mail:** andreas.bergstrom@liu.se
Kund: Emil Selse, Toyota Material Handling
Telefon: +46 (0)702032254 , **Mail:** emil.selse@toyota-industries.eu
Kursansvarig: Daniel Axehill, ISY, Linköpings universitet
Telefon: +46 (0)13 284042, **Mail:** daniel@isy.liu.se
Projektledare: Jenny Stenström
Handledare: Erik Hedberg, ISY, Linköpings universitet
Telefon: +46 (0)13 281338 , **Mail:** erik.hedberg@liu.se
Samuel Lindgren, Toyota Material Handling
Telefon: +46 (0)767614024 , **Mail:** samuel.lindgren@toyota-industries.eu

Gruppmedlemmar

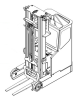
Namn	Ansvarsområde	Telefon	Mail (@student.liu.se)
Johan Almgren	Testansvarig	070-206 72 45	johal611
Henrik Andersson	Dokumentansvarig	073-854 77 79	henan562
Gustav Elingsbo	Informationsansvarig	073-685 19 75	gusel411
Mikael Hartman	Integrationsansvarig	076-771 13 38	mikha130
Petter Landerhed	Designansvarig	070-627 82 52	petla189
Andreas Norén	Mjukvaruansvarig	072-394 89 95	andno111
Jenny Stenström	Projektledare	070-329 92 21	jenst280

Dokumenthistorik

Version	Datum	Ändringar	Utförd av	Granskare
1.0	2016-10-12	Första versionen.	L.A.M.A	Samtliga projektmedlemmar
0.1	2016-10-04	Första utkast.	L.A.M.A.	Samtliga projektmedlemmar

Innehåll

1 Inledning	1
1.1 Utelämnade tester	1
1.2 Testprotokoll	1
1.3 Misslyckat test	2
1.4 Scenarion	2
2 Planerade tester	2
2.1 Generella tester	2
2.2 Modultester	13
2.2.1 Beslutsmodul och säkerhetsfunktioner	13
2.2.2 Regleringsmodul	15
2.2.3 Styrningsmodul	16
2.2.4 Positioneringsmodul	17
2.2.5 Detekteringsmodul	18
2.2.6 Kartläggningsmodul	19
2.2.7 Sensormodul	21
2.2.8 MiniTruckApp	21
3 Kodgranskning	22
Referenser	23
Appendices	23
Bilaga A Scenarion	1
Bilaga B Testprotokoll	1
Bilaga C Miljö vid scenario 1	1



1 Inledning

Detta är en testplan för projektet *Planering och Sensorfusion för autonom truck* i kursen *TSRT10 - Reglerteknisk projektkurs, CDIO* som ges vid Linköpings Universitet. I detta dokument beskrivs de tester som ska utföras för att se om projektet uppnått de mål som ställts upp i kravspecifikationen [1]. Testerna representeras i tabell med följande utseende:

Testnr.	Beskrivning	Krav	Resurser	Datum
---------	-------------	------	----------	-------

I tabellen ses alltså testets nummer, dess beskrivning, vilka krav det behandlar, vilka resurser som krävs samt när det ska utföras. Krav som listas inom parentes har prioritet 2, prioritet 3 krav tas inte med i testspecifikationerna. Beskrivningen är uppdelad i tre delar för tydlighetens skull. Dessa delar är:

- Syfte
- Utförande
- Kriterier för godkänt

För att testet ska bli godkänt krävs att utförandeplanen följts samt att alla kriterier är uppfyllda.

1.1 Utelämnade tester

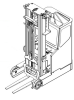
Krav på dokumentation, ekonomi, utbildning och organisation verifieras inte med ett testprotokoll utan enligt listan nedan.

1	Ekonomikraven testas genom utvärdering av tidrapporteringen vid projektets avslut.	47-53	-	-
2	Leveranser och delleveranser, så kallade <i>Besluts Punkter, BP</i> , testas genom att se till att deadline för dessa krav hålls.	59	-	-
3	Dokumentationen testas genom att gruppen godkänns vid varje beslutspunkt.	60	-	-
4	Kraven på utbildning testas när en demonstration ges till kunden. Gruppen förutsatts ha satt sig in i ROS för att kunna genomföra projektet.	61-62	-	-
5	Krav på organisationen testas när gruppprollerna tillsätts och gruppkontraktet skrivs.	63-67	-	-

Kommunikationsmodulen krävs för att kunna etablera kontakt mellan trucken och användaren. Denna modul testas alltså vid alla övriga tester och anses därför inte behöver testas på egen hand.

1.2 Testprotokoll

För varje test som utförs ska ett testprotokoll fyllas i, detta protokoll finns i bilaga B.



1.3 Misslyckat test

Om ett test, vid tidpunkten för utsatt deadline, misslyckas sker en avvägning tillsammans med kund och handledare. Då kan antingen ett beslut tas om att senarelägga deadline och lägga mer resurser på att få testet godkänt eller ett beslut om omförhandling av kraven och testplanen fattas.

1.4 Scenarion

Kraven är ställda utifrån olika scenarion som finns specificerade i kravspecifikationen [1]. De finns även listade i bilaga A.

2 Planerade tester

Under denna rubrik beskrivs de tester som ska utföras för att verifiera de krav som ställts upp i kravspecifikationen [1]. Först presenterar vi de krav som syftar till att visa att scenariorna som ställts upp uppfylls och därmed att projektet levererat det som förväntats av det, se bilaga A. Modultesterna syftar till att säkerställa till att varje del av projektet fungerar innan de sätts ihop.

2.1 Generella tester



6	<p>Syfte: Test av scenario 1 i simuleringsmiljö.</p> <p>Utförande:</p> <ol style="list-style-type: none">1. Starta upp simuleringen.2. Simuleringsmiljön ska uppfylla kraven enligt appendix C, situation 1 och 2.3. Etablera kommunikation mellan simuleringen och MiniTruckAppen.4. Ladda en färdig karta över lagret.5. Ge trucken kommandot, via appen, att autonomt placera pall nummer 1 på pallplats A.6. Placera ut ett hinder i truckens planerade rutt. <p>Kriterier:</p> <ul style="list-style-type: none">• Trucken ska klara av att kommunicera med och ta emot kommandon från MiniTruckAppen.• Trucken ska lokalisera sin plats i lagret.• Trucken ska klara av att köra till pall 1.• Trucken ska identifiera pall 1.• Trucken ska klara av att positionera gafflarna under pall 1 och lyfta upp den.• Trucken ska förflytta sig till pallplats A.• Trucken ska ställa ner pallen inom gränserna för pallplats A.• Trucken ska förflytta sig bort från pallen, utan att rubba den.• Trucken ska lösa problemet autonomt.• Trucken ska genomföra testet i en simuleringsmiljö.• Trucken ska detektera hinder och ändra rutt.	1, 3, 4, 8, 11, 13, 15, 16, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 29, 32, 33, 34, 35, 36, (38), 54	Dator	v.46
---	--	---	-------	------



7	<p>Syfte: Test av scenario 1 i demomiljö.</p> <p>Utförande:</p> <ol style="list-style-type: none">1. Starta upp trucken.2. Etablera kommunikation mellan trucken och MiniTruckAppen.3. Ladda en färdig karta över lagret.4. Demomiljön ska uppfylla kraven enligt appendix C, situation 1 och 2.5. Ge trucken kommandot, via appen, att autonomt placera pall nummer 1 på pallplats A.6. Placera ett hinder, i form av en låda, i truckens väg. <p>Kriterier:</p> <ul style="list-style-type: none">• Trucken ska klara av att kommunicera och ta emot kommandon från MiniTruckAppen.• Trucken ska lokalisera sin plats i lagret.• Trucken ska klara av att köra till pall 1.• Trucken ska identifiera pall 1.• Trucken ska klara av att positionera gafflarna under pall 1 och lyfta upp den.• Trucken ska förflytta sig till pallplats A.• Trucken ska ställa ner pallen inom gränserna för pallplats A.• Trucken ska förflytta sig bort från pallen, utan att rubba den.• Trucken ska lösa problemet autonomt.• Trucken ska genomföra testet i en verklig demomiljö.• Trucken ska detektera hinder och ändra rutt.	1, 2, 8, 11, 13, 15, 16, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 32, 33, 34, 35, 36, (38)	Truck, plattform som stöder MiniTruckAppen, pall, pallplats, karta över lagret	v.46
---	---	---	---	------



8	<p>Syfte: Test av scenario 2 i simuleringsmiljö. Detta är ett prio 2 test.</p> <p>Utförande:</p> <ol style="list-style-type: none">1. Starta simuleringsmiljön.2. Placera trucken i ett simulerat lager (max 10x10m) med endast fasta hinder.3. Etablera kommunikation mellan den simulerade trucken och MiniTruckAppen.4. Ge kommando att söka av lagret.5. Verifiera att kartan stämmer överens med den uppbyggda kartan i simuleringsmiljön. <p>Kriterier:</p> <ul style="list-style-type: none">• Trucken ska klara av att kommunicera med och ta emot kommandon från MiniTruckAppen.• Trucken ska klara av att köra runt i lagret utan att krocka med hinder eller väggar.• Trucken ska klara av att lagra positionen på alla hinder.• Trucken ska klara av att söka igenom hela lagret.• En karta ska byggas upp innehållande information om hindren.• Trucken ska kunna lagra detekterade AR-koder på pallar och pallplatser.• Trucken ska kunna lagra dessa pallar/-pallplatser i kartan.• Avsökningen ska avslutas när hela lagret är avsökta.• Kartan ska sparas när avsökningen är färdig.• Trucken ska göra sökningen autonomt.• Trucken ska klara av att göra sökningen i en simuleringsmiljö.	3, 4, 8, 10, 13, 16, 20, 21, 24, 26, 27, 28, (30), 32, 33, 34, 39, (40), 41, 54	Dator	v.48
---	--	---	-------	------



9	<p>Syfte: Test av scenario 2 i demomiljö. Scenariot har prioritet 2 och utförs därför i mån av tid.</p> <p>Utförande:</p> <ol style="list-style-type: none">1. Placera trucken i ett lager (max 10x10m) med endast fasta hinder.2. Starta trucken.3. Etablera kommunikation mellan trucken och MiniTruckAppen.4. Ge kommando att söka av lagret.5. Verifiera att kartan stämmer överens med den uppbyggda demomiljön. <p>Kriterier:</p> <ul style="list-style-type: none">• Trucken ska klara av att kommunicera med och ta emot kommandon från MiniTruckAppen.• Trucken ska klara av att köra runt i lagret utan att krocka med hinder eller väggar.• Trucken ska klara av att lagra positionen på alla hinder.• Trucken ska klara av att söka igenom hela lagret.• En karta ska byggas upp innehållande information om hindren.• Trucken ska kunna lagra detekterade AR-koder på pallar och pallplatser.• Trucken ska kunna lagra dessa pallar/-pallplatser i kartan.• Avsökningen ska avslutas när hela lagret är avsökta.• Kartan ska sparas när avsökningen är färdig.• Trucken ska göra sökningen autonomt.• Trucken ska klara av att göra sökningen i demomiljö.	3, 4, 8, 10, 13, 16, 20, 21, 24, 26, 27, 28, (30), 32, 33, 34, 39, (40), 41, 54	Truck, plattform med till- gång till MiniTruc- kAppen, lager, pall, pallplats	v.48
---	--	---	--	------



10	<p>Syfte: Test av scenario 3 i simulatoriScenariot har prioritet 2 och utförs därför i mån av tid. Detta är ett prio 2 test.</p> <p>Utförande:</p> <ol style="list-style-type: none">1. Starta upp simuleringen.2. Etablera kommunikation mellan simuleringen och MiniTruckAppen.3. Ladda en färdig karta över lagret.4. Ge kommando att trucken ska starta sökning efter pallar och pallplatser.5. Verifiera att alla pallar och pallplatser har detekterats.6. Verifiera att alla pallar och pallplatser har lagrats med rätt position. <p>Kriterier:</p> <ul style="list-style-type: none">• Trucken ska klara av att kommunicera med och ta emot kommandon från MiniTruckAppen.• Trucken ska klara av att köra runt i lagret utan att krocka med hinder eller väggar.• Trucken ska klara av att lagra positionen på alla hinder.• Trucken ska klara av att söka igenom hela lagret.• En karta ska byggas upp innehållande information om hindren.• Trucken ska kunna lagra detektera AR-koder på pallar och pallplatser.• Trucken ska kunna lagra dessa pallar/-pallplatser i kartan.• Trucken ska kunna bestämma en ny rutt när ett hinder som blockerar vägen detekteras.• Avsökningen ska avslutas när hela lagret är avsökta.• Trucken ska meddela när avsökningen är genomförd.• Kartan ska sparas när avsökningen är färdig.• Trucken ska göra sökningen autonomt.• Trucken ska klara av att göra sökningen i en simuleringsmiljö.	3, 4, 8, 9, 13, 16, 17, 20, 21, 23, 24, 26, 27, 28, 29, (30A), (30B), (30C), (31), 32, 33, 34, 35, 36, (39), (40), 54	Dator	v.48
----	--	---	-------	------



11	<p>Syfte: Test av scenario 3 i demomiljö. Scenariot har prioritet 2 och utförs därför i mån av tid.</p> <p>Utförande:</p> <ol style="list-style-type: none">1. Starta trucken.2. Etablera kommunikation mellan trucken och MiniTruckAppen.3. Ladda en färdig karta över lagret.4. Ge kommando att trucken ska starta sökning efter pallar och pallplatser.5. Verifiera att alla pallar och pallplatser detekterats.6. Verifiera att alla pallar och pallplatser lagrats på rätt plats. <p>Kriterier:</p> <ul style="list-style-type: none">• Trucken ska klara av att kommunicera med och ta emot kommandon från MiniTruckAppen.• Trucken ska klara av att köra runt i lagret utan att krocka med väggar eller hinder.• Trucken ska klara av att lagra positionen på alla hinder.• Trucken ska klara av att söka igenom hela lagret.• En karta ska byggas upp innehållande information om hindren.• Trucken ska kunna lagra detektera AR-koder på pallar och pallplatser.• Trucken ska kunna lagra dessa pallar/-pallplatser i kartan.• Trucken ska kunna bestämma en ny rutt när ett hinder som blockerar vägen detekteras.• Avsökningen ska avslutas när hela lagret är avsökta.• Trucken ska meddela när avsökningen är genomförd.• Kartan ska sparas när avsökningen är färdig.• Trucken ska göra sökningen autonomt.• Trucken ska klara av att göra sökningen i en demomiljö.	2, 4, 8, 9, 13, 16, 17, 20, 21, 23, 24, 26, 27, 28, 29, (30A), (30B), (30C), (31), 32, 33, 34, 35, 36, (39), (40), 54	Dator	v.48
----	--	---	-------	------



12	<p>Syfte: Test av scenario 4 i simuleringsmiljö.</p> <p>Utförande:</p> <ol style="list-style-type: none">1. Starta simuleringen.2. Ladda en simuleringsmiljö3. Etablera kommunikation mellan Mini-TruckAppen och simuleringen.4. Ge kommando för att få trucken att köra framåt.5. Ge kommando för att få trucken att köra bakåt.6. Ge kommando för att få trucken att svänga vänster.7. Ge kommando för att få trucken att svänga höger.8. Ge kommando för att få trucken att höja gafflarna.9. Ge kommando för att få trucken att sänka gafflarna.10. Stäng av Wi-Fi kommunikationen. <p>Kriterier:</p> <ul style="list-style-type: none">• Trucken ska ta emot kommandon från MiniTruckAppen i ett manuellt läge.• Trucken ska köra framåt på kommando.• Trucken ska köra bakåt på kommando.• Trucken ska svänga vänster på kommando.• Trucken ska svänga höger på kommando.• Trucken ska köra framåt på kommando.• Trucken ska höja gafflarna på kommando.• Trucken ska sänka gafflarna på kommando.• Trucken ska avbryta körning om kommunikationen tappas.• Trucken ska avbryta höjning/sänkning av gafflarna om kommunikationen tappas.	3, 4, 20, 21, 22, 37, 56, 57	Dator	v.40
----	---	------------------------------	-------	------



13	<p>Syfte: Test av scenario 4 i demomiljö.</p> <p>Utförande:</p> <ol style="list-style-type: none">1. Starta trucken i en demomiljö.2. Etablera kommunikation mellan MiniTruckAppen och trucken.3. Ge kommando att köra framåt.4. Ge kommando att köra bakåt.5. Ge kommando att svänga vänster.6. Ge kommando att svänga höger.7. Ge kommando att höja gafflarna.8. Ge kommando att sänka gafflarna.9. Stäng av Wi-Fi kommunikationen. <p>Kriterier:</p> <ul style="list-style-type: none">• Trucken ska ta emot kommandon från MiniTruckAppen i ett manuellt läge.• Trucken ska köra framåt på kommando.• Trucken ska köra bakåt på kommando.• Trucken ska svänga vänster på kommando.• Trucken ska svänga höger på kommando.• Trucken ska köra framåt på kommando.• Trucken ska höja gafflarna på kommando.• Trucken ska sänka gafflarna på kommando.• Trucken ska avbryta körning om kommunikationen tappas.• Trucken ska avbryta höjning/sänkning av gafflarna om kommunikationen tappas.	2, 4, 20, 21, 22, 37, 56, 57	Truck, plattform med till- gång till MiniTruc- kAppen.	v.40
----	--	---------------------------------------	---	------



14	<p>Syfte: Test av scenario 5 i simuleringsmiljö. Detta är ett test med prioritet 3. Både ett test med pallen placerad på marknivå och ett test med pallen ursprungligen placerad på ett hyllplan bör testas.</p> <p>Utförande:</p> <ol style="list-style-type: none">1. Starta upp simuleringen.2. Simuleringsmiljön ska uppfylla kraven enligt appendix C, scenario 3 och 4, med tillägg för att det kan finnas en övre gräns för ett överliggande hyllplan.3. Etablera kommunikation mellan simuleringen och MiniTruckAppen.4. Ladda en färdig karta över lagret.5. Ge trucken kommandot, via appen, att autonomt placera pall nummer 1 på pallplats A. Både pall och pallplats ska vara placerade över marknivå, inom truckens räckvidd. <p>Kriterier:</p> <ul style="list-style-type: none">• Trucken ska klara av att kommunicera och ta emot kommandon från MiniTruckAppen.• Trucken ska lokalisera sin plats i lagret.• Trucken ska klara av att köra till pall 1.• Trucken ska identifiera pall 1.• Trucken ska klara av att positionera gafflarna under pall 1 och lyfta upp den.• Trucken ska kunna lyfta ner pallen från sin pallplats på ett säkert sätt, det vill säga utan att komma åt det övre hyllplanet, om pallen befinner sig på en hylla över markplan.• Trucken ska sänka ner lasten till en lämplig transporthöjd.• Trucken ska förflytta sig till pallplats A.• Trucken ska kunna lyfta upp pallen till rätt höjd.• Pall 1 ska ställa ner pallen inom gränserna för pallplats A.	1, 3, 4, 8, 13, 15, 16, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 29, 32, 33, 34, 35, 36, (38), 54	Dator	-
----	--	--	-------	---



	<ul style="list-style-type: none">• Trucken ska förflytta sig bort från pallen, utan att rubba den.• Trucken ska sänka gafflarna till en säker höjd.• Trucken ska lösa problemet autonomt.• Trucken ska genomföra testet i en simuleringsmiljö.			
15	<p>Syfte: Test av scenario 5 i demomiljö. Detta är ett test med prioritet 3. Både ett test med pallen placerad på marknivå och ett test med pallen ursprungligen placerad på ett hyllplan bör testas.</p> <p>Utförande:</p> <ol style="list-style-type: none">1. Starta trucken i demomiljön.2. Demomiljön ska uppfylla kraven enligt appendix C, scenario 3 och 4, med tillägg för att det kan finnas en övre gräns för ett överliggande hyllplan.3. Etablera kommunikation mellan trucken och MiniTruckAppen.4. Ladda en färdig karta över lagret.5. Ge trucken kommandot, via appen, att autonomt placera pall nummer 1 på pallplats A. Både pall och pallplats ska vara placerade över marknivå, inom truckens räckvidd. <p>Kriterier:</p> <ul style="list-style-type: none">• Trucken ska klara av att kommunicera och ta emot kommandon från MiniTruckAppen.• Trucken ska lokalisera sin plats i lagret.• Trucken ska klara av att köra till pall 1.• Trucken ska identifiera pall 1.• Trucken ska klara av att positionera gafflarna under pall 1 och lyfta upp den.• Trucken ska kunna lyfta ner pallen från sin pallplats på ett säkert sätt, det vill säga utan att komma åt det övre hyllplanet, om pallen befinner sig på en hylla över markplan.	1, 2, 4, 8, 13, 15, 16, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 29, 32, 33, 34, 35, 36, (38), 54	Truck, plattform med tillgång till MiniTruckAppen, pall, pallplats, pallställage	-



	<ul style="list-style-type: none">• Trucken ska sänka ner lasten till en lämplig transporthöjd.• Trucken ska förflytta sig till pallplats A.• Trucken ska kunna lyfta upp pallen till rätt höjd.• Pall 1 ska ställa ner pallen inom gränserna för pallplats A.• Trucken ska förflytta sig bort från pallen, utan att rubba den.• Trucken ska sänka gafflarna till en säker höjd.• Trucken ska lösa problemet autonomt.• Trucken ska genomföra testet i en demomiljö.			
--	---	--	--	--

2.2 Modultester

Under denna rubrik listas de tester som utförs för att säkerställa modulernas funktion var för sig. Detta för att säkerställa att alla moduler fungerar när användarscenarion testas.

2.2.1 Beslutsmodul och säkerhetsfunktioner

Följande tester ska göras på beslutsmodulen och säkerhetsfunktionerna. Då de är nära sammankopplade och då mycket av den övriga funktionaliteten hos beslutsmodulen utvärderas i testerna av scenarion kommer kraven för beslut och säkerhet att testas tillsammans.

16	<p>Syfte: Undersöka beslutsmodulens möjlighet att kommunicera med andra moduler</p> <p>Utförande:</p> <ol style="list-style-type: none">1. Starta simuleringsmiljön.2. Starta autonomt läge3. Läs av de topics och actions som beslutsmodellen publicerar på.4. Läs av tillståndsgrafan. <p>Kriterier:</p> <ul style="list-style-type: none">• Beslutsmodulen ska publicera värden på de topics den fogar över samt utföra de actions som är planerat.• Tillståndsgrafan ska visa på att beslutsmodulen går mellan de olika tillstånden.	7	Dator	v.46
----	---	---	-------	------



17	<p>Syfte: Undersöka truckens säkerhet vid autonom drift i en simuleringsmiljö.</p> <p>Utförande:</p> <ol style="list-style-type: none">1. Starta simuleringsmiljön.2. Ladda en befintlig karta med enbart fasta hinder.3. Ge trucken kommandot att autonomt ta sig till en punkt belägen på andra sidan om ett fast hinder.4. Placera ett hinder i vägen för truckens rutt. <p>Kriterier:</p> <ul style="list-style-type: none">• Trucken ska planera rутten för att undvika kollision med det fasta hindret.• Trucken ska stanna och planera om rутten för att undvika kollision med utplacerat hinder.	9, 12, 54, 55	Dator	v.48
18	<p>Syfte: Kontrollera felhantering.</p> <p>Utförande:</p> <ol style="list-style-type: none">1. Starta simuleringsmiljön.2. Ladda befintlig karta.3. Ge trucken ett kommando att starta körning mot en punkt i rummet.4. Försök ge trucken ett kommando att köra till en punkt utanför rummet. <p>Kriterier:</p> <ul style="list-style-type: none">• Trucken ska avsluta sin körning när ett ogiltigt kommando ges.	55	Dator	v.48



19	<p>Syfte: Test av säkerhetsfunktioner vid manuell körning i simuleringsmiljö.</p> <p>Utförande:</p> <ol style="list-style-type: none">1. Starta simulering.2. Etablera kommunikation mellan truck och MiniTruckAppen.3. Kör trucken samtidigt som anslutningen bryts.4. Höj/sänk gafflarna samtidigt som anslutningen bryts. <p>Kriterier:</p> <ul style="list-style-type: none">• Truckens rörelse ska stannas så fort kommunikationen tappas.	56, 57	Dator	v.48
----	---	--------	-------	------

2.2.2 Regleringsmodul

20	<p>Syfte: Undersöka huruvida modulen klarar av att reglera hastighet och position efter en given rutt.</p> <p>Utförande:</p> <ol style="list-style-type: none">1. Starta simuleringsmiljön.2. Ladda in en färdig karta över lagret.3. Ge kommando om en slutdestination i lagret.4. Verifiera att god linjeföljning sker samtidigt som hastighet anpassas utefter ruten. <p>Kriterier:</p> <ul style="list-style-type: none">• Trucken följer den givna ruten med god precision.• Trucken anpassar sin hastighet utefter ruten.	13,14	Dator	v.45
----	--	-------	-------	------



21	<p>Syfte: Testa ruttplanerarens funktionalitet, både så att slutmål nås och att avstånd till väggar och hinder tas i hänsyn till vid planering.</p> <p>Utförande:</p> <ol style="list-style-type: none">1. Starta simuleringsmiljön.2. Ladda in en färdig karta över lagret.3. Ge kommando om en slutdestination i lagret.4. Verifiera att planeringen av rutt är väl motiverad. <p>Kriterier:</p> <ul style="list-style-type: none">• Ruttplaneringen har en god avvägning mellan kortaste väg och avstånd till hinder.• Ruttplaneringen sker utan att rutten innebär krock med hinder eller väggar.• Hela rutten från startposition till slutposition ska täckas.	16	Dator	v.45
22	<p>Syfte: Undersöka huruvida modulen klarar av att placera truckens gafflar i hålrummen på en pall då pallen och trucken är placerade enligt scenario 1.</p> <p>Utförande:</p> <ol style="list-style-type: none">1. Starta simuleringsmiljön.2. Ladda en färdig karta över lagret.3. Placera truck framför pall.4. Ge kommando att placera gafflar i pallens hålrum.5. Verifiera att gafflar placerats i pallens hålrum på ett sätt som tillåter säkert lyft av gafflar. <p>Kriterier:</p> <ul style="list-style-type: none">• Gafflarna ska vara helt inkörda i pallens hålrum.• Trucken ska inte rubba pallen då inkörning av gafflar sker.	15A	Dator	v.46

2.2.3 Styrningsmodul



23	<p>Syfte: Testa styrningsfunktionaliteten, dvs att trucken kan svänga, köra framåt och bakåt, höja/sänka gafflar och styra kameraleden.</p> <p>Utförande:</p> <ol style="list-style-type: none">1. Starta simulering.2. Ladda en simuleringsmiljö.3. Ge kommando till truck att köra framåt.4. Ge kommando till truck att köra bakåt.5. Ge kommando till truck att svänga vänster.6. Ge kommando till truck att svänga höger.7. Ge kommando till truck att höja gafflar.8. Ge kommando till truck att sänka gafflar.9. Ge kommando till truck att vrida kamerafäste uppåt.10. Ge kommando till truck att vrida kamerafäste nedåt. <p>Kriterier:</p> <ul style="list-style-type: none">• Trucken ska köra framåt då detta kommando ges.• Trucken ska köra bakåt då detta kommando ges.• Trucken ska svänga vänster då detta kommando ges.• Trucken ska svänga höger då detta kommando ges.• Trucken ska höja gafflarna då detta kommando ges.• Trucken ska sänka gafflarna då detta kommando ges.• Trucken ska köra kamerafästet uppåt då detta kommando ges.• Trucken ska köra kamerafästet nedåt då detta kommando ges.	20,21,22	Dator	v.40
----	---	----------	-------	------

2.2.4 Positioneringsmodul



24	<p>Syfte: Testa den globala noggrannheten hos positioneringsmodulen vid simulering.</p> <p>Utförande:</p> <ol style="list-style-type: none">1. Starta en simuleringsmiljö innehållande hinder.2. Ladda in motsvarande karta.3. Kör runt i rummet med antingen autonoma eller manuella kommandon. <p>Kriterier:</p> <ul style="list-style-type: none">• Positionen på de detekterade hindrena ska stämma överens med de fasta hindrenas positioner.• Truckens position ska bestämmas så precist att den klarar av att föra sig fram i rummet, runt hinder, utan att krocka.	23, 24	Dator	v.41
25	<p>Syfte: Testa den lokala noggrannheten hos positioneringsmodulen vid simulering.</p> <p>Utförande:</p> <ol style="list-style-type: none">1. Starta en simuleringsmiljö innehållande pallar och pallplatser.2. Ladda motsvarande karta.3. Ge kommando till trucken att positionera sig för upplyftning av en pall. <p>Kriterier:</p> <ul style="list-style-type: none">• Trucken ska inte rubba pallen innan upplyftning ska ske.• Trucken ska positionera gafflarna i pallens hålrum.• Trucken ska klara av att köra in gafflarna helt i pallen.	24, 25	Dator	v.48

2.2.5 Detekteringsmodul



26	<p>Syfte: Utvärdera funktionalitet hos detekteringmodulen med hänsyn till detektion av hinder.</p> <p>Utförande:</p> <ol style="list-style-type: none">1. Starta simuleringsmiljön innehållande minst ett hinder.2. Ladda in motsvarande karta.3. Ge kommando att köra fram till hinder.4. Verifiera att hinder detekterats. <p>Kriterier:</p> <ul style="list-style-type: none">• Trucken ska detektera uppkommet hinder.	28	Dator	v.40
27	<p>Syfte: Utvärdera funktionalitet hos detekteringmodulen med hänsyn till detektion av AR-koder på pallar samt pallplatser.</p> <p>Utförande:</p> <ol style="list-style-type: none">1. Starta simuleringsmiljön innehållande en minst en pall och minst en pallplats.2. Ladda in motsvarande karta.3. Ge kommando att köra fram till en pall.4. Verifiera att AR-koden på pallen detekterats.5. Ge kommando att köra fram till en pallplats.6. Verifiera att AR-koden på pallplatsen detekterats. <p>Kriterier:</p> <ul style="list-style-type: none">• Trucken ska korrekt identifiera AR-kod på både pall och pallplats.	26, 27	Dator	v.46

2.2.6 Kartläggningsmodul



28	Syfte: Testa kartläggningsmodulens förmåga att ladda en karta. Utförande: <ol style="list-style-type: none">1. Starta simuleringen i en tom miljö.2. Ladda en befintlig karta.3. Verifiera att alla hinder finns med i den laddade kartan samt att skalan är korrekt. Kriterier: <ul style="list-style-type: none">• Trucken ska kunna ladda en korrekt karta.	29	Dator	v.40
-----------	--	----	-------	------

29	Syfte: Testa kartläggningsmodulens förmåga bygga upp och spara kartor. Utförande: <ol style="list-style-type: none">1. Starta simuleringen i en okänd miljö.2. Genomför avsökning av området.3. Verifiera att alla hinder finns med i den skannade kartan samt att skalan är korrekt.4. Spara kartan. Kriterier: <ul style="list-style-type: none">• Trucken ska skapa en korrekt karta av lagret.• Kartan ska kunna sparas och användas.	30	Dator	v.40
-----------	---	----	-------	------



30	Syfte: Testa kartlägningsmodulens förmåga att spara position hos AR-koder. Utförande: <ol style="list-style-type: none">1. Starta simuleringen.2. Ladda en befintlig karta.3. Genomför en avsökning av lagret för att detektera AR-koder.4. Kontrollera att alla pallar och pallställ detekterats och sparats.5. Kontrollera att positionerna hos pallar och pallställ är lagrade på rätt ställe.6. Kontrollera att kartan är uppdaterad. Kriterier: <ul style="list-style-type: none">• Samtliga pallar och pallställ ska vara lagrade i en databas.• Positionen på pallarna och pallställen ska vara korrekt.	(30A), (30B), (30C), (31)	Dator	v.40
-----------	---	------------------------------------	-------	------

2.2.7 Sensormodul

31	Syfte: Testa modulens förmåga att hantera sensordata. Utförande: <ol style="list-style-type: none">1. Starta simulering.2. Ladda en känd karta.3. Kör runt trucken i kartan.4. Kontrollera så att hinder upptäcks och att övriga moduler kan använda sig av datan. (Exempelvis ska detekteringsmodulen upptäcka hinder.) Kriterier: <ul style="list-style-type: none">• Trucken ska känna av sina rörelser i rummet.• Trucken ska detektera hinder.	32, 33, 34	Dator	v.41
-----------	---	---------------	-------	------

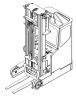
2.2.8 MiniTruckApp



32	Syfte: Testa applikationens förmåga att styra trucken vid manuell körning. Utförande: <ol style="list-style-type: none">1. Starta simulering/truck.2. Starta App.3. Via GUI få truck att köra en bana.4. Via GUI få truck att lyfta upp och skjuta ut gafflar.5. Via GUI vinkla kameran framåt. Kriterier: <ul style="list-style-type: none">• Trucken ska ha utfört uppgifterna från testet.	37	Dator/Truck	v.40/ v.44
33	Syfte: Testa applikationens förmåga att kommunicera instruktioner och ta emot statusmeddelanden från trucken. Utförande: <ol style="list-style-type: none">1. Starta simulering.2. Starta App.3. Via GUI, skicka instruktionen 'Go-To' till trucken med koordinater inom lagret. Kriterier: <ul style="list-style-type: none">• Trucken ska ha åkt ett närområde av de koordinater som skickades vid instruktionen.• Ett meddelande ska visas i GUIt då trucken har stannat.	38, 39	Dator	v.47

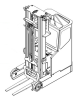
3 Kodgranskning

Vid projektslut kontrolleras att den implementerade koden följer kodstandard och uppfyller de krav som ställts för att underlätta vidareutveckling av systemet. Därmed testas även krav nummer 5 och 6.



Referenser

- [1] (2016, Sep.) Kravspecifikation - autonom styrning av gaffeltruck. Projektgrupp L.A.M.A. TSRT10 LiU. Version 1.0.



Bilaga A. Scenarion

Nedan följer de fem olika scenarion som används för att beskriva truckens potentiella arbetsuppgifter.

1. Flytta pall:

Första scenariot är att trucken ska flytta en pall till en pallplats i ett lager. Trucken har information om hur lagret ser ut, vilken position pallen har, vilken position pallplatsen har samt vilka hinder som finns i lagret. Detta scenario har högst prioritet. Arbetsgången för trucken kommer då vara enligt följande:

- Lokalisera truckens plats i lagret.
- Bestäm rutt från trucken till pallen.
- Linjeföljning längs rutt.
- Detektera och identifiera AR-kod på pallen.
- Bestäm pall A:s position relativt trucken.
- Positionera in gafflarna under pallen.
- Lyft upp pallen.
- Bestäm truckens position i lagret.
- Bestäm rutt från trucken till pallplatsen.
- Linjeföljning längs rutt.
- Detektera och identifiera AR-kod på pallplatsen.
- Bestäm pallplats position relativt trucken.
- Positionera in gafflarna över pallplatsen.
- Ställ ner pall på pallplatsen.
- Backa ut från pallen.

2. Avsökning av okänt lager:

Scenariot uppstår när trucken används för första gången i ett nytt lager där den inte har någon information om vägar, hinder, pallar eller pallplatser. Avsökning behöver göras för att kunna flytta en låda manuellt enligt scenario 1. Maxstorlek på lagret är 10 x 10 meter. Vid avsökning får bara fasta hinder finnas i lager. Dett scenario har lägre prioritet och komma implementeras i mån av tid. Arbetsgången för trucken kommer då vara enligt följande:

- Positionera sig i rummet och detektera alla hinder som för närvarande syns".
- Bestäm en rutt för att söka av lagret.
- Bestäm nya sökrutt då nya hinder upptäckts som ligger i vägen för den tänkta ruten.
- Lagra alla väggarnas positioner.
- Lagra alla hindrens positioner.
- Identifiera och lagra position och nummer på alla pallar.
- Identifiera och lagra position och nummer på alla pallplatser.
- Meddela när avsökning är klar.



3. Avsökning av känt lager:

För att kunna flytta lådor manuellt måste trucken ha kunskap om var alla pallar och pallplatser befinner sig i lagret. Detta scenario bygger på att man redan vet var alla fasta hinder är. I detta scenario så scannar man av efter pallar och pallplatser och har således redan en karta över lagret. Detta scenario har lägre prioritet och kommer implementeras i mån av tid.

- Positionera sig i rummet.
- Bestämma en rutt för att söka av lagret.
- Identifiera och lagra positioner på alla pallar.
- Identifiera och lagra positioner på alla pallplatser.
- Eventuellt planera ny rutt om pallar/pallplatser hamnar i vägen för ruten.
- Meddela när avsökning är klar.

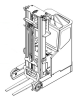
4. Manuell styrning:

Detta scenario används för att kunna köra trucken manuellt via GUI. Detta scenario har hög prioritet och kommer försöka hinnas med tidigt då det ger grundläggande kunskap om hur trucken fungerar.

- Kunna ta emot kommandon från GUI.
- Kunna köra framåt, backa, svänga och lyfta/sänka pallgafflarna.
- Avbryta om kommunikation med GUI tappas.

5. Plocka och lämna pall från hylla:

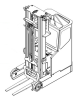
Scenariot liknar scenario 1 men med skillnaden att pallen ska kunna hämtas och lämnas från en hylla som är lokaliserad ovanför markplan. Scenariot har lägst prioritet och kommer implementeras i mån av tid, eventuellt kanske vara något för framtida utveckling.



Bilaga B. Testprotokoll

Test	Beskrivning	Krav	Resultat
Test nr.	Testbeskrivning: Datum: Utfört av:	Krav nr.	

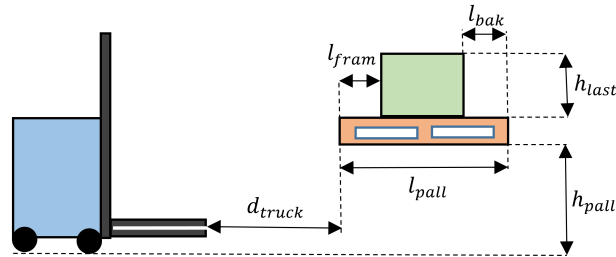
Testprotokollets utformning



Bilaga C. Miljö vid scenario 1

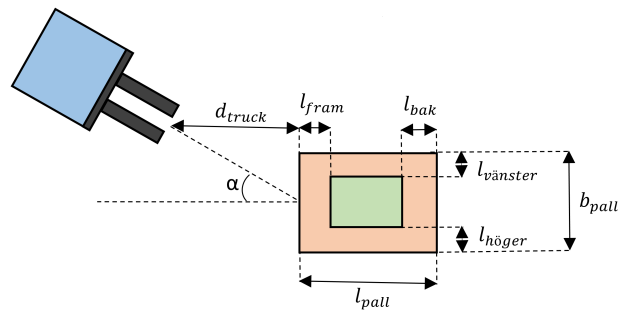
Pallyft

Nedan beskrivs de situationer där trucken ska lyfta upp en pall. Illustrerande bilder som definierar parametrar kan ses i Figur 1, Figur 2 och Figur 3.



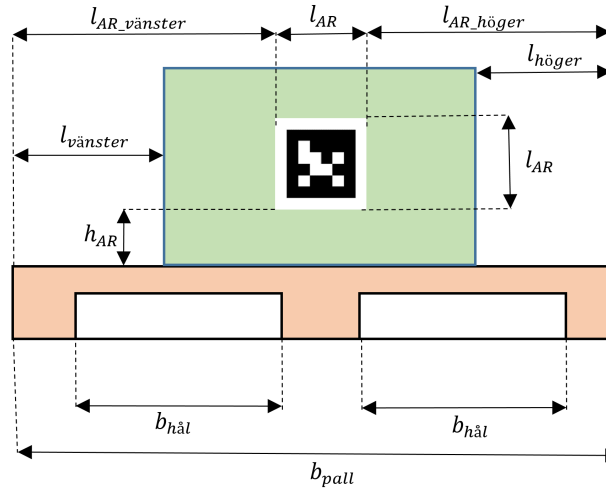
Figur 1: Truck och pall sett från sida vid start av pallyft.

- d_{truck} : Avstånd från truck till framsida av pall.
- l_{pall} : Pallens längd.
- l_{fram} : Avstånd från palls framsida till lastens närmaste punkt.
- l_{bak} : Avstånd från palls baksida till lastens närmaste punkt.
- h_{last} : Höjd på last.
- h_{pall} : Höjdskillnad mellan truckens underlag och palls underlag.



Figur 2: Truck och pall sett från ovan vid start av pallyft.

- α : Vinkel mellan truck och palls framsida.
- $l_{vanster}$: Avstånd från palls vänstra kant sett från trucken till lastens närmaste kant.
- l_{hoger} : Avstånd från palls högra kant sett från trucken till lastens närmaste kant.
- b_{pall} : Pallens bredd.



Figur 3: Pall sett från trucken.

- l_{AR} : Längd och bredd på AR-kod på last.
- $l_{ARvanster}$: Avstånd från AR-kod till pallens vänsta kant sett från trucken.
- $l_{ARhoger}$: Avstånd från AR-kod till pallens högra kant sett från trucken.
- h_{AR} : Höjd från pallen till AR-kodens botten.
- $b_{hål}$: Bredd på de hål i pallen där truckens gafflar ska skjutas in i vid pallyft.

Samtliga situationer

I samtliga situationer ska lasten få plats inom pallens kanter, d.v.s.

$$l_{fram}, l_{bak}, l_{vanster}, l_{hoger} \geq 0.$$

Lastens höjd får inte överstiga 30cm d.v.s.

$$h_{last} \leq 30cm.$$

Totalvikten för pallen med last får ej överstiga 10kg. Parametrar vars värden ej defineras i denna bilaga bör följa standardmått för en pall omskalad 1:3 för att passa att lyftas av trucken som har samma omskalning. Pallen ska vara hel, ligga plant mot underlaget och vara av ovan beskrivna form.

Situation 1

I denna situation är trucken placerad nästan rakt framför pallen på ett avstånd av 1m där pallen är i samma höjd som trucken d.v.s.

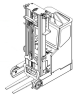
$$d_{truck} \approx 1m, \alpha \leq 5^\circ, h_{pall} = 0.$$

Lasten på pallen är placerad i pallens framkant och centrerad i sidled d.v.s.

$$l_{fram} = 0, l_{vanster} = l_{hoger}.$$

Lasten har även en AR-kod placerad enligt Figure 3 där AR koden är centrerad i sidled på lasten och därmed också på pallen. AR-koden har en sidlängd på 1dm och är placerad 1dm ovanför pallen d.v.s.

$$l_{ARvanster} = l_{ARhoger}, l_{AR} = 1dm, h_{AR} = 1dm.$$

**Situation 2**

Denna situation är samma som situation 1 dock med större frihet på vinkeln mot trucken samt avstånd från truck till pall, d.v.s. samma parametrar som situation 1 med undantag för

$$d_{truck} \in [0.5m \ 2m], \alpha \leq 15^\circ, h_{pall} = 0.$$

Situation 3

Denna situation är samma som situation 1 dock där pallen tillåts vara placerad på ett underlag på högre höjd än trucken d.v.s.

$$d_{truck} \approx 1m, \alpha \leq 5^\circ, h_{pall} \in [0m \ 1m).$$

Situation 4

Denna situation är en kombination mellan situation 2 och situation 3 där en frihet i avstånd och vinkel tillåts samtidigt som pallen får vara placerad på en högre höjd än trucken d.v.s.

$$d_{truck} \in [0.5m \ 2m], \alpha \leq 15^\circ, h_{pall} \in [0m \ 1m).$$