

# Kravspecifikation

Precisionsreglering av gaffeltruck

2 december 2019

Version 1.3



Granskad	Jennie Bäcklin	2019-11-26
Godkänd	Erik Hedberg	2019-11-26

Kursnamn: Reglerteknisk projektkurs  
Kurskod: TSRT10  
Projekt: Precisionsreglering av gaffeltruck

Projektledarens e-post: [jongu926@student.liu.se](mailto:jongu926@student.liu.se)  
Dokumentansvarig: Jonathan Carlin  
Dokumentansvarigs e-post: [jonca673@student.liu.se](mailto:jonca673@student.liu.se)

## Projektidentitet

Grupp E-post: jongu926@student.liu.se

Beställare: Erik Hedberg, Linköpings universitet  
Tfn: +46 13 28 13 38  
E-post: erik.hedberg@liu.se

Handledare: Olov Holmer  
Tfn: +46 13-28 16 17  
E-post: olov.holmer@liu.se

Kursansvarig: Daniel Axehill  
Tfn: +46 13 28 40 42  
E-post: daniel.axehill@liu.se

## Projektdeltagare

Namn	Ansvar	E-post
Jonatan Gustafsson	Projektledare (PL)	jongu926@student.liu.se
Jonathan Carlin	Dokumentansvarig (DOK)	jonca673@student.liu.se
Sebastian Haglund	Testansvarig (TEST)	sebha953@student.liu.se
Jennie Bäcklin	Designansvarig (DES)	jenba497@student.liu.se
Carl Hynén Ulfsjö	Mjukvaruansvarig (MA)	carhy681@student.liu.se
Henrik Johansson	Kvalitetsansvarig (KA)	henjo648@student.liu.se
Linus Roos	Informationsansvarig (IA)	linro231@student.liu.se

---

Kursnamn: Reglerteknisk projektkurs  
Kurskod: TSRT10  
Projekt: Precisionsreglering av gaffeltruck

Projektledarens e-post: jongu926@student.liu.se  
Dokumentansvarig: Jonathan Carlin  
Dokumentansvarigs e-post: jonca673@student.liu.se

## INNEHÅLL

1	Inledning	1
1.1	Definitioner	1
1.1.1	Kravbeskrivning	1
1.1.2	Prioritet	1
2	Systemöversikt	2
2.1	Produktkomponenter	2
2.2	Ingående delsystem	2
2.3	Beroenden till andra system	2
2.4	Avgränsningar	2
2.5	Designfilosofi	2
2.6	Övergripande krav	3
3	Delmodul Modellering	4
3.1	Funktionella krav	4
4	Delmodul Reglering	5
4.1	Designkrav	5
4.2	Funktionella krav	5
5	Delmodul IMU	6
5.1	Utredningskrav	6
5.2	Funktionella krav	6
6	Krav på vidareutveckling	7
7	Ekonomi	7
8	Krav på säkerhet	7
9	Leveranskrav och delleranser	7
10	Dokumentation	8
11	Kvalitetssäkring	8

## DOKUMENTHISTORIK

Version	Datum	Utförda ändringar	Utförda av	Granskad
0.1	2019-09-20	Första utkast	Alla	CHU, HJ, LR, JG
0.2	2019-09-23	Andra utkast	CHU, SH, HJ, LR	JG
0.3	2019-09-24	Tredje utkast	CHU, JC, HJ	JG
1.0	2019-09-25	Godkänd version	Alla	JG
1.1	2019-10-17	Justerat och lagt till krav samt uppdaterat kravbeskrivning och ändrat språk på dokumentation	JB, JG, SH	HJ
1.2	2019-11-04	Språkliga justeringar och lägre prioritet på krav 8	JG	JB
1.3	2019-11-26	Justerat krav 28 och strukit krav 34	JG	JB

---

Kursnamn: Reglerteknisk projektkurs  
Kurskod: TSRT10  
Projekt: Precisionsreglering av gaffeltruck

Projektledarens e-post: [jongu926@student.liu.se](mailto:jongu926@student.liu.se)  
Dokumentansvarig: Jonathan Carlin  
Dokumentansvarigs e-post: [jonca673@student.liu.se](mailto:jonca673@student.liu.se)



## 1 INLEDNING

Detta dokument är kravspecifikationen för precisionsreglering av gaffeltruck i projektkursen *TSRT10 Reglerteknisk projektkurs* som ges vid Linköpings universitet. Toyota Material Handling (TMH) utvecklar truckar och allt fler av dessa truckar är autonoma. För autonoma truckar ställs höga krav på att kunna utföra precisa manövrar utan hjälp från en operatör. Detta dokument beskriver de krav som ställs på projektet. För vidare förklaring av projektet se Projektplan och Projektdirektiv.

### 1.1 Definitioner

Nedan följer beskrivning av de begrepp och förkortningar som används i detta dokument.

- *Modul*: En modul är en avgränsad del av projektet. Samtliga moduler kommer att levereras som en produkt i slutet av projektet.
- *TMH*: Toyota Material Handling.
- *ISY*: Institutionen för systemteknik vid Linköpings universitet.
- *Truck*: En skjutstativstruck BT reflex autopilot RAE250. Den truck som projektets precisionsreglering kommer att utföras på.
- *Simulink*: Verktyg som används för modellering, simulering och utveckling.
- *Speedgoat*: Realtidsdator som möjliggör att styra trucken i realtid från Simulink.
- *IMU*: *Inertial Measurement Unit*. Givare för att mäta acceleration och vinkelhastighet.
- *BP*: Beslutspunkt.

#### 1.1.1 Kravbeskrivning

Kravbeskrivningar består av kravnummer, *Krav*, och kravstatus, *Status*. Nedan beskrivs möjliga kravstatus:

- *Original*: Kravet har funnits med sedan den första godkända kravspecifikationen.
- *Justerat*: Kravet har blivit omförhandlat med beställaren.
- *Tillagt*: Kravet har blivit tillagt och förhandlat med beställaren efter version 1.0.

#### 1.1.2 Prioritet

- *Prioritet 1*: Ska vara uppfyllda i slutet på projektet.
- *Prioritet 2*: Ska i största möjliga mån vara uppfyllda i slutet på projektet.
- *Prioritet 3*: Uppfylld i mån av tid i slutet av projektet.

## 2 SYSTEMÖVERSIKT

Trucken är en autonom skjutstativtruck av modell BT reflex RAE250. Den är utrustad med en Speedgoat realtidsdator som möjliggör att köra trucken från Simulink. Trucken ska lyfta en given last från en given höjd A till en annan given höjd B.

### 2.1 Produktkomponenter

De väsentliga komponenterna som kommer att användas under projektet är trucken BT reflex RAE250, realtidsdatorn Speedgoat, tröghetssensor IMU samt simuleringsmiljön Simulink. Trucken är utrustad med ett hydrauliskt system kopplat till ett mekaniskt system, masten, vilka möjliggör lyftet. Det finns även en höjdsensor som ger information om hur högt upp gafflarna befinner sig.

### 2.2 Ingående delsystem

- *Hydrauliskt system:* Ett system med pump, ventiler och cylindrar som används för att utföra ett lyft.
- *Mekaniskt system:* Stativet fungerar som ett teleskop där det finns en ram, mellangejd och innergejd. Gejderna lyfts med hjälp av kedjor kopplade till cylindrarna.
- *Sensorsystem:* Mätssystem bestående av en höjdcoder och två trycksensorer en för frilyft och en för huvudlyft.
- *Styrsystem:* Förarens kommandon omvandlas till en referenssignal som skickas in i reglersystemet som styr ventilerna och pumpen.

### 2.3 Beroenden till andra system

- Styrningen av trucken är beroende av realtidsdatorn Speedgoat.
- Speedgoat är beroende av Simulink och Simscape.

### 2.4 Avgränsningar

- Lastens tyngdpunkt samt massa antas vara givna.
- Systemets temperaturberoende modelleras inte.
- Modellen tar ingen hänsyn till friktionen i masten.

### 2.5 Designfilosofi

All utveckling i projektet ska vara modulbaserad. Det möjliggör parallell utveckling, enkel vidareutveckling och enkel iterationsprocess. All utveckling ska ske strukturerat så att icke insatta personer ska kunna återuppta arbetet efter projektets slut. Det som utvecklas ska följa principen: Kvalitet före kvantitet.



## 2.6 Övergripande krav

Krav	Status	Beskrivning	Prioritet
1	Justerat	Ett godhetsmått på lastoscillationerna ska tas fram	1
2	Original	Modulerna ska utvecklas fristående från varandra	1
3	Original	Modulerna ska kunna beskriva andra truckkonfigurationer	2

### 3 DELMODUL MODELLERING

Projektet utgår från de modeller av systemet som TMH har bidragit med. Dessa modeller är baserade på fysikaliska principer implementerade i Simulink och kan användas direkt tillsammans med reglersystemet och Speedgoat-enheten. För att kunna utveckla ett bra reglersystem krävs det att dessa modeller beskriver systemet väl. Noggrannheten på modellerna behöver därför valideras och potentiellt förbättras för att förbättra simulinkmodellen.

#### 3.1 Funktionella krav

Krav	Status	Beskrivning	Prioritet
4	Justerat	TMH:s modell ska utvärderas med avseende på höjd, oscillationer, cylindertryck och hydraulflöde	1
5	Justerat	En modell som beskriver oscillationer i vertikalt led på ett sätt som stämmer väl överens med det verkliga systemet ska tas fram	1
6	Justerat	En modell som beskriver oscillationer i horisontellt led på ett sätt som stämmer väl överens med det verkliga systemet ska tas fram	1
7	Justerat	En modell som tar hänsyn till hur lastens massa och tyngdpunkt påverkar systemet ska tas fram	1
8	Justerat	En modell som tar hänsyn till övergången mellan frilyft och huvudlyft ska tas fram	2
9	Justerat	En modell som tar hänsyn till hur störningar påverkar systemet ska tas fram	3



## 4 DELMODUL REGLERING

Regleringen av gaffelhöjden vid lyft ska hanteras av regleringsmodulen. Eftersom systemet ska användas på en autonom truck kan lyfthöjden, lastens vikt och tyngdpunkt anses kända. Reglersystemet ska optimera lyftrörelsen i förhållande till de tre kriterierna; energiåtgång, snabbhet och oscillation.

### 4.1 Designkrav

Krav	Status	Beskrivning	Prioritet
10	Original	Reglersystemet ska fungera tillsammans med modellen i Simulink	1
11	Original	Reglersystemet ska fungera att köra direkt på trucken via Speedgoat	1
12	Justerat	Reglersystemet ska utvecklas i tre moduler: referenstrajektoria, reglermodell och återkoppling	2

### 4.2 Funktionella krav

Krav	Status	Beskrivning	Prioritet
13	Tillagt	Reglermodulen ska minska oscillationerna på lasten, i dess slutläge, i vertikalt led med minst 75% jämfört med öppen styrning	1
14	Tillagt	Reglermodulen ska minska oscillationerna på lasten, i dess slutläge, i horisontellt led med minst 33% jämfört med öppen styrning	1
15	Original	Reglersystemet ska innehålla en framkopplingsalgoritm baserad på optimering	1
16	Original	Reglersystemet ska ha en modul som genererar en referenssignal	1
17	Original	Återkopplingen ska optimeras med framkopplingen	2
18	Original	En användare ska kunna välja mellan tre moder: energieffektivitet, tidsåtgång eller minimerade oscillationer	2



## 5 DELMODUL IMU

IMU är en enhet som använder sig av accelerometrar och gyroskop för att mäta acceleration och vinkelhastighet. Datan från dessa mätningar kan användas för att kartlägga oscillationerna som uppstår i stativet under ett lyft. Datan kan användas för att modellera och verifiera oscillationer och användas vid regleringen.

### 5.1 Utredningskrav

Krav	Status	Beskrivning	Prioritet
19	Justerat	Vilken prestanda som krävs för att en IMU ska mäta lastoscillationer väl ska undersökas	1

### 5.2 Funktionella krav

Krav	Status	Beskrivning	Prioritet
20	Justerat	IMU:n ska monteras för att mäta accelerationer och vinkelhastigheter på lasten	1

## 6 KRAV PÅ VIDAREUTVECKLING

Krav	Status	Beskrivning	Prioritet
21	Original	Alla framställda dokument ska vara välstrukturerade och innehålla tydliga förklaringar av de utvecklade modulerna	1
22	Original	Algoritmerna som implementeras ska vara tydliga och lättlästa	1

## 7 EKONOMI

Krav	Status	Beskrivning	Prioritet
23	Original	Varje projektmedlem ska lägga 240 timmar på projektet	1

## 8 KRAV PÅ SÄKERHET

Krav	Status	Beskrivning	Prioritet
24	Original	Tester av trucken får endast genomföras vid närvarande av behörig personal från TMH	1
25	Original	Projektgruppen ska följa TMH:s säkerhetsföreskrifter vid vistelse i deras lokaler	1

## 9 LEVERANSKRAV OCH DELLEVERANSER

Krav	Status	Beskrivning	Prioritet
26	Original	Till BP2 ska kravspecifikation, tidsplan, projektplan samt utkast till designspecifikation levereras	1
27	Original	Till BP3 ska designspecifikation samt testplan levereras	1
28	Justerat	Till BP5 ska en fungerande modell och regulator i Simulink levereras	1
29	Original	Till BP5 ska alla krav på funktionalitet och utredning vara uppfyllda. En presentation ska hållas för att visa att så är fallet. Detta ska levereras senast 3 dagar innan leverans till kund	1
30	Original	Vecka 49 ska den framtagna produkten visas upp och presenteras för TMH	1
31	Original	Till BP6 ska teknisk rapport, efterstudie, poster till projektkonferens, hemsida och film levereras	1

## 10 DOKUMENTATION

Dokument	Språk	Syfte	Målgrupp	Format
Kravspecifikation	Svenska	Entydig bestämning av kraven som ställs på projektet och den färdiga produkten.	Projektgrupp och beställare	pdf
Projektplan	Svenska	Bestämning av projektets utförande och vilka villkor som gäller projektmedlemmar sinsemellan.	Projektgrupp	pdf
Tidsplan	Svenska	Används för att spåra gruppmedlemmars tidsåtgång samt för att dela upp arbetet i tidsblock.	Projektgrupp	xls
Designspecifikation	Engelska	Beskriver hur systemet ska konstrueras för att uppnå kraven.	Projektgrupp och handledare	pdf
Testplan	Engelska	Testplanen beskriver hur kraven ska testas.	Projektgrupp	pdf
Testprotokoll	Engelska	Testprotokollet beskriver hur testerna har utförts och resultatet av dessa.	Projektgrupp	pdf
Användarhandledning	Engelska	Dokument som beskriver för användaren hur produkten ska användas.	Kund	pdf
Teknisk rapport	Engelska	Dokument som beskriver den färdiga produktens konstruktion.	Beställare och kund	pdf
Efterstudie	Svenska	Sammanfattande dokument som sammanställer projektgruppens erfarenheter av arbetssätt, samarbete och användandet av projektmodellen.	Beställare	pdf
Mötesprotokoll	Svenska	Dokument som ligger till underlag för uppföljning av projektet.	Projektgrupp och beställare	doc

## 11 KVALITETSSÄKRING

Krav	Status	Beskrivning	Prioritet
32	Justerat	Delmodul reglering ska valideras i simuleringsmiljö	1
33	Tillagt	Delmodul reglering ska valideras på den verkliga trucken	1
34	Justerat	Delmodul IMU ska valideras på den verkliga trucken med hjälp av TMH:s positioneringssystem	1