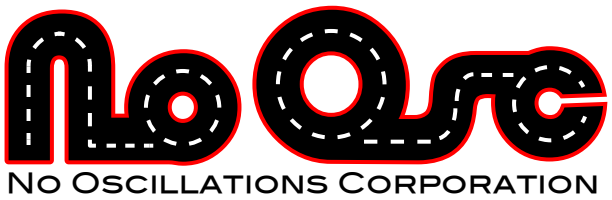



# Testprotokoll

## Optimal Styrning av Autonom Racerbil

Version 1.0

Författare: Mathias Hallmén
Datum: 20 december 2013

### Status

| | | |
|---|---|---|
| Granskad | Sofia Johnsen | 2013-12-12 |
| Godkänd | | |

## Projektidentitet

| | |
|---|---|
| **E-post:** | noosc@googlegroups.com |
| **Hemsida:** | http://www.isy.liu.se/edu/projekt/reglerteknik/2013/osaar/ |
| **Beställare:** | Kristoffer Lundahl, Linköpings Universitet<br>**Telefon:** 013-286623, **E-post:** kristoffer.lundahl@liu.se |
| **Kund:** | Daniel Axehill, Linköpings Universitet<br>**Telefon:** 013-284042, **E-post:** daniel@isy.liu.se |
| **Kursansvarig:** | Daniel Axehill, Linköpings Universitet<br>**Telefon:** 013-284042, **E-post:** daniel@isy.liu.se |
| **Projektledare:** | Mikael Rosell |
| **Handledare:** | Isak Nielsen, Linköpings Universitet<br>**Telefon:** 013-282804, **E-post:** isak.nielsen@liu.se |

## Gruppmedlemmar

| **Namn** | **Ansvarsroller** | **Telefon** | **E-post** (@student.liu.se) |
|---|---|---|---|
| Mikael Rosell (MR) | Projektledare (PL) | 070-3901264 | mikro418 |
| Victor Carlsson (VC) | Informationsansvarig (IA) | 073-0568295 | vicca226 |
| Henrik Edlund (HE) | Hårdvaruansvarig (HA) | 070-4202846 | hened061 |
| Mathias Hallmén (MH) | Testansvaring (TA) | 073-8054244 | matha848 |
| Sofia Johnsen (SJ) | Designansvarig (DA) | 073-6459540 | sofjo100 |
| Lukas Lorentzon (LL) | Figuransvarig (FA) | 072-2347314 | luklo656 |
| Dennis Lundström (DL) | Dokumentansvarig (DOC) | 076-3377642 | denlu994 |
| Oskar Sunesson (OS) | Leveransansvarig (LA) | 070-2632041 | osksu783 |

## Dokumenthistorik

| Version | Datum | Förändringar | Sign | Granskad |
|---|---|---|---|---|
| 0.1 | 2013-10-08 | Första utkastet | Alla | Alla |
| 0.2 | 2013-11-28 | Verifieringar ifyllda | Alla | SJ |
| 0.3 | 2013-12-01 | Komplettering efter handledares kommentarer | SJ | MR |
| 0.4 | 2013-12-02 | Komplettering efter handledares kommentarer | SJ | MR |
| 1.0 | 2013-12-12 | Komplettering efter beställares kommentarer | MR | SJ |

# Innehåll

**1 Inledning** **1**

1.1 Definitioner . . . . . 1

**2 Kravverifiering** **1**

2.1 Generella systemkrav . . . . . 1

2.2 Reglersystemet . . . . . 2

2.3 Målföljningssystemet . . . . . 3

2.4 Fordonssimulatorn . . . . . 5

2.5 Visualiseringssystemet . . . . . 7

**A Appendix** **10**

# 1 Inledning

I detta dokument verfieras systemkraven som finns definierade i kravspecifikationen. Ouppfyllda krav med prioritet 2 samt de krav som blivit ersatta med omförhandlade krav utesluts ur detta dokument. Krav 28-44 redovisas inte heller i dokumentet då de är trivialt uppfyllda. För mer information om dessa krav hänvisas till Kravspecifikationen [1].

## 1.1 Definitioner

Här definieras förkortningar och begrepp som används i dokumentet.

**Optimal trajektoria:** Det av tidigare projektgrupp förberäknade spåret optimerat med avseende på varvtiden givet deras framtagna bilmodell.

**Kalibreringsplan:** Det plan som är parallellt med bilbanans plan och skär kalibreringsmarkörernas positioner.

**Koordinater:** Variabler i det globala koordinatsystemet betecknas med stora bokstäver och variabler i bilens koordinatsystem betecknas med små.

**Energiberäkning för reglerfelet:** Den andel av energin hos reglerfelet som i frekvensdomänen ligger i intervallet $[0,\ 2]$ Hz beräknas enligt $E_{low}/E_{tot}$ där

$$E_{tot} = \sum_{n=0}^{N-1} |F[n]|^2$$

$$E_{low} = \sum_{n=0}^{N-1} |F_{low}[n]|^2$$

$F[n]$ betecknar reglerfelets diskreta fouriertransform, DFT. $F_{low}[n]$ betecknar reglerfelets diskreta fouriertransform för oscillationer i intervallet $[0,\ 2]$ Hz. N är antalet mätpunkter. Signalens DFT beräknas enligt

$$F[n] = \sum_{k=0}^{N-1} x[k] \cdot e^{-i2\pi nk/N}.$$

# 2 Kravverifiering

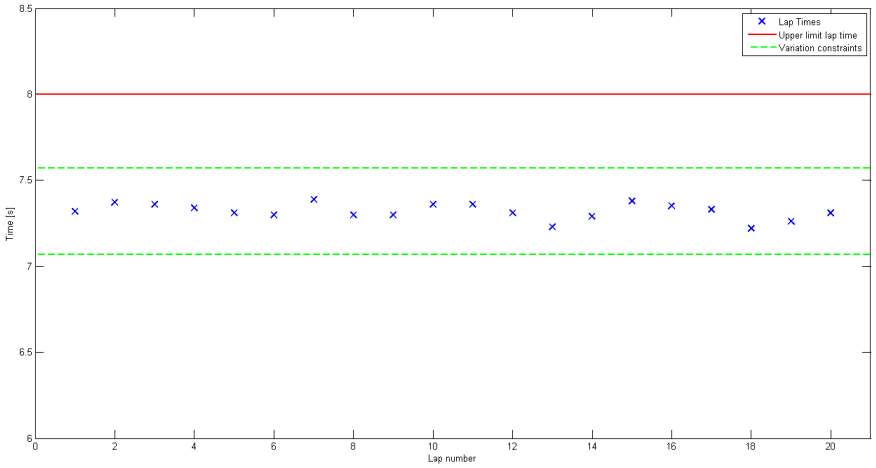
I detta avsnitt redovisas dokumentation på att kraven är uppfyllda. Avsnittet är uppdelat i de olika delsystemen. Först presenteras kravet på samma sätt som i kravspecifikationen och därefter visas dokumentation på att kravet är uppfyllt. Efter dokumentationen redovisas datum och vem som har gjort verifieringen.

## 2.1 Generella systemkrav

Nedan beskrivs hur generella krav på systemet verifieras.

| | | | |
|---|---|---|---|
| Krav nr 48 | Tillkommet, ersätter krav 1 | Vid autonom körning ska bilen kunna köra 20 på varandra följande varv med alla varvtider under 8 sekunder. Första varvet sker med flygande start. Varvtiderna får variera max 0.5 sekunder. | 1 |

Kravet verifieras genom att köra systemet i autonomt läge och logga körningen. Från loggen plottas varvtiderna mot varv tillsammans med variationsgränser och maxgräns för varvtiden, se Figur 1.




Figur 1: Plot med varvtider från 20 varv som verifierar att krav 48 är uppfyllt.

**Verifierat av: VC, LL, OS**
**Datum: 2013-11-28**

## 2.2 Reglersystemet

Nedan beskrivs hur krav på reglersystemet verifieras.

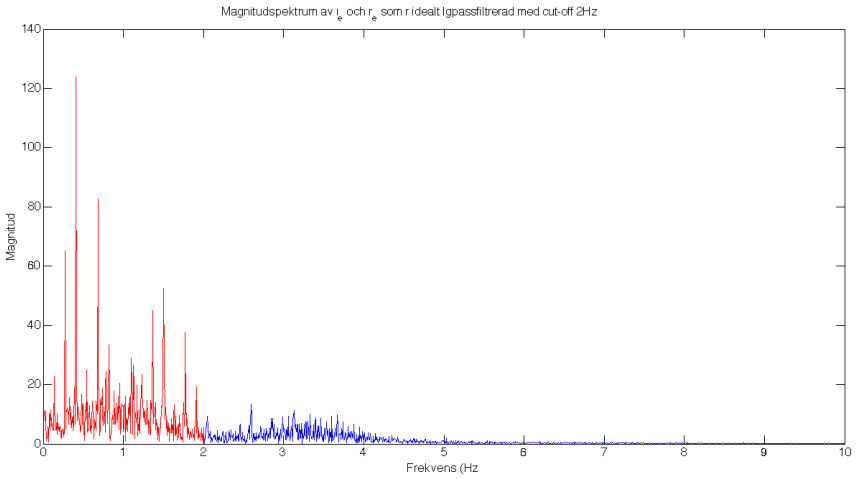
| | | | |
|---|---|---|---|
| Krav nr 49 | Tillkommet, ersätter krav 4 | Under autonom körning enligt krav nr 48 ska minst 90% av reglerfelets energi i frekvensdomänen ligga i intervallet 0-2 Hz. Se sektion 1.4 Definitioner för förtydligande av hur ovan beräkning ska göras. Reglerfelet avser avståndet mellans bilens mittpunkt och referenstrajektorian. | 1 |

Beräkningarna som enligt kravet finns i sektion 1.4 Definitioner i Kravspecifikationen [1] motsvarar de beräkningar som i detta dokument finns beskrivna i avsnitt 1.1 Definitioner. Kravet verifieras genom att dessa beräknar görs och kravet är uppfyllt om minst 90% av reglerfelets energi i frekvensdomänen ligger i intervallet 0-2 Hz.

I Figur 2 ses magnitudspektrumet för reglerfelen och de lågpassfiltrerade reglerfelen. Energiförhållandet från ekvationerna i avsnitt 1.1 Definitioner blir

$$\frac{E_{low}}{E_{tot}} = \frac{1228}{1330} = 0.9233$$

92.33 % av energin ligger under 2 Hz.




Figur 2: Magnitudspektrum för avvikelsen $r_e$ (blå) och det lågpassfiltrerade $r_e$ (röd) i intervallet 0-10 Hz.

**Verifierat av: DL, MR**
**Datum: 2013-11-28**

| | | | |
|---|---|---|---|
| Krav nr 50 | Till-kommet, ersätter krav 5 | Under autonom körning enligt krav nr 48 ska reglersystemet se till att bilens mittpunkt aldrig avviker mer än 60 mm från referenstrajektorian samt att minst 90% av avvikelserna är under 40 mm. | 1 |

Genom att spara bilens tillstånd under en körning enligt krav 48 kan bilens position relativt den optimala trajektorian tas fram för varje mätning av målföljningssystemet. Avståndet mellan bilens position och den optimala trajektorian plottas mot tiden för 20 på varandra följande varv Figur 3. Andelen mätpunkter som som har en avvikelse under 40mm beräknas genom att dividera antalet mätpunkter som har absolutbeloppet mindre än 40mm med totala antalet mätpunkter. Andelen mätpunkter som som har en avvikelse under 40mm blir då 97.8 %. I Figur 4 ses avståndet mellan bilens position och den optimala trajektorian för ett varv.

**Verifierat av: SJ, MR, MH**
**Datum: 2013-11-28**

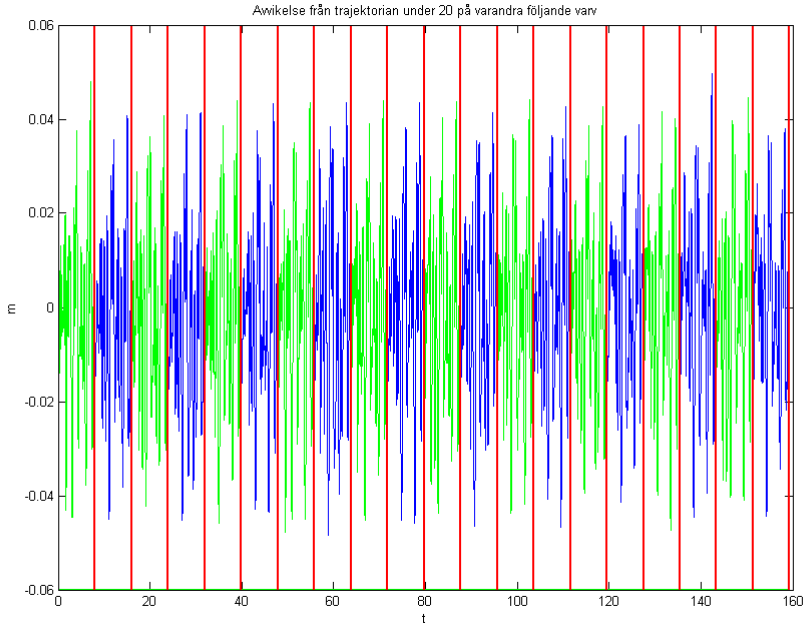
| | | | |
|---|---|---|---|
| Krav nr 6 | Original | Givet ett förberäknat spår ska reglersystemet kunna beräkna en gas- och bromsprofil adaptivt online. | 1 |

Gas- och bromsprofil loggas efter varje körning. Från loggen plottas gas- och bromsprofil färgkodat mot position för olika varv, se Figur 5.

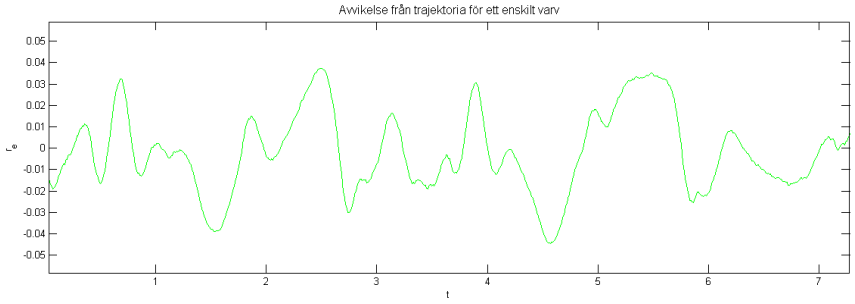
**Verifierat av: LL, VC**
**Datum: 2013-11-28**

## 2.3 Målföljningssystemet

Nedan beskrivs hur krav på målföljningssystemet verifieras.




Figur 3: Avvikelsen från trajektorian under 20 på varandra följande varv plottade mot tiden. Färgväxlingen mellan blå och grön samt de röda lodräta linjerna representerar ett nytt varv.




Figur 4: Avvikelsen från trajektorian under ett varv plottade mot tiden.

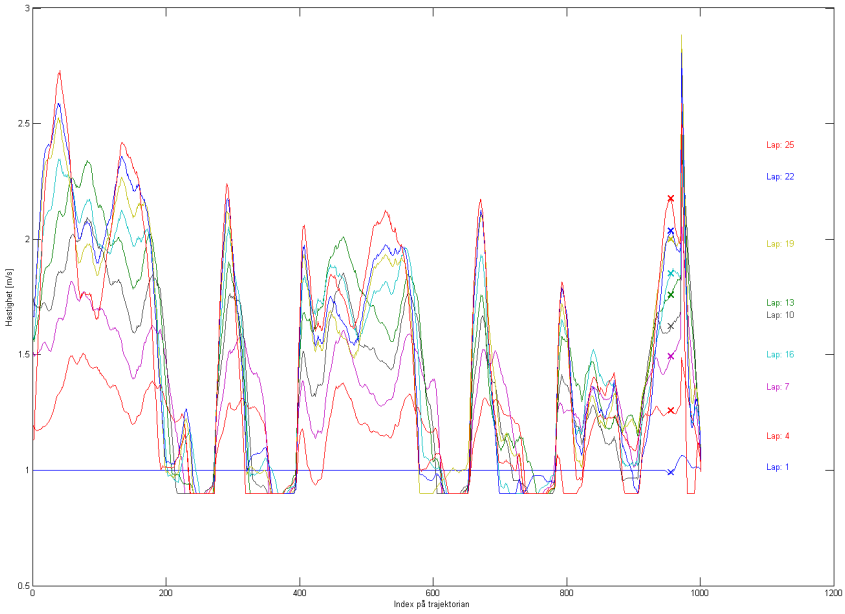
| | | | |
|---|---|---|---|
| Krav nr 9 | Original | Filtret ska ta hänsyn till markörernas geometri. | 1 |

Kravet verifieras i samband med verifiering av krav 10.

**Verifierat av: HE, MH**
**Datum: 2013-11-28**

| | | | |
|---|---|---|---|
| Krav nr 10 | Original | Målföljningssystemet ska kunna skatta lastbilens position. | 1 |

Kravet verifieras genom 8 mätningar, uppmätta med tumstock och skattade med målföljningssystemet, där lastbilen är placerad på kända positioner på bilbanan. Positionerna är mitten av varje 180° sväng, precis efter de två 90° svängarna och mitten av den längsta raksträckan.




Figur 5: Det adaptiva systemet uppdaterar hastighetsvektorn efter varje varv.

Positionerna ges i världskoordinater i Tabell 1.
I tabell 2 verifieras krav nr 9 och krav nr 10.

**Verifierat av: HE, MH**
**Datum: 2013-11-28**

| Position | X [m] | Y [m] |
|---|---|---|
| 1 | -0.027 | 0.290 |
| 2 | -1.526 | 0.589 |
| 3 | -1.227 | 2.068 |
| 4 | -0.628 | 0.882 |
| 5 | -0.030 | 2.065 |
| 6 | 1.468 | 1.778 |
| 7 | 0.272 | 1.183 |
| 8 | 1.470 | 0.592 |

Tabell 1: Tabell över positioner upmätta med tumstock för test av målföljningssystemet.

## 2.4 Fordonssimulatorn

Nedan beskrivs hur krav på simulatorsystemet verifieras.

| | | | |
|---|---|---|---|
| Krav nr 14 | Original | En simulator ska implementeras baserat på tidigare framtagna modeller av bilarna. Simulatorn ska kunna simulera en körning på bilbanan. | 1 |

| Position | X [m] | Y [m] |
|---|---|---|
| 1 | -0.026 | 0.290 |
| 2 | -1.533 | 0.597 |
| 3 | -1.228 | 2.081 |
| 4 | -0.632 | 0.886 |
| 5 | -0.030 | 2.068 |
| 6 | 1.472 | 1.770 |
| 7 | 0.266 | 1.174 |
| 8 | 1.469 | 0.584 |

Tabell 2: Tabell över skattade positioner för test av målföljningssystemet.

Kravet verifieras i filmen Simulation system. Vid tid 0.
`http://www.youtube.com/watch?v=KjxaM5ZTkRU`

**Verifierat av: VC, OS**
**Datum: 2013-11-28**

| | | | |
|---|---|---|---|
| Krav nr 15 | Original | Simulatorn ska vara moduluppbyggd och innehålla följande moduler: rörelsemodell för fordon, bilbana, regulator och referenstrajektoria. Moduler ska kunna bytas ut. | 1 |

Kravet verifieras i filmen Simulation system. Vid tid 0:50 och 1:35.
`http://www.youtube.com/watch?v=KjxaM5ZTkRU`
Programmet körs i denna film med samma regulator. Detta eftersom endast en regulator har tagits fram i detta projekt. Modifiering av regulatorn kan ske genom att ändra PID-parametrar i interfacet eller genom att skapa en ny totController class med in/ut-signaler enligt designspecifikationen.

**Verifierat av: VC, OS**
**Datum: 2013-11-28**

| | | | |
|---|---|---|---|
| Krav nr 16 | Original | Simulatorn ska kunna köras manuellt med handkontroll och autonomt med hjälp av regulator och referenstrajektoria. | 1 |

Kravet verifieras i filmen Simulation system. Vid tid 0:12, 0:25, 0:45 samt 1:30.
`http://www.youtube.com/watch?v=KjxaM5ZTkRU`

**Verifierat av: VC, OS**
**Datum: 2013-11-28**

| | | | |
|---|---|---|---|
| Krav nr 45 | Tillkommet, ersätter krav 17 | Simulatorn ska ha ett interface där inputläge(autonom/manuell) ska kunna ändras. | 1 |

Kravet verifieras i filmen Simulation system. Vid tid 0:48.
`http://www.youtube.com/watch?v=KjxaM5ZTkRU`

**Verifierat av: VC, OS**
**Datum: 2013-11-28**

| | | | |
|---|---|---|---|
| Krav nr 18 | Original | Simulatorn ska kunna köras fristående från utrustning i billabbet. | 1 |

Kravet verifieras i filmen Simulation system. Vid tid 0:45.
`http://www.youtube.com/watch?v=KjxaM5ZTkRU`

**Verifierat av: VC, OS**
**Datum: 2013-11-28**

## 2.5 Visualiseringssystemet

Nedan beskrivs hur krav på visualiseringssystemet verifieras.

| | | | |
|---|---|---|---|
| Krav nr 46 | Tillkommet, ersätter del av krav 23 | Projektorn ska kunna spela upp en tidigare simulerad körning på bilbanan samtidigt som en fysisk bil kör på bilbanan. | 1 |

Kravet verifieras genom att ett tidigare simulerat varv spelas upp på bilbanan samtidigt som en fysisk bil körs. Uppspelning av tidigare kört varv är oberoende av om det är en tidigare simulerad körning eller en tidigare fysisk körning eftersom de sparas ner på samma sätt. Därför verifierar samma filmsekvens både krav 46 och 47.

Kravet verifieras i en film vid tid 0:52: `http://www.youtube.com/watch?v=qE3gh0CKFqg`

**Verifierat av: LL, MR, SJ, DL, MH, HE**
**Datum: 2013-11-28**

| | | | |
|---|---|---|---|
| Krav nr 47 | Tillkommet, ersätter del av krav 23 | Projektorn ska kunna spela upp en tidigare fysisk körning på bilbanan samtidigt som en fysisk bil kör på bilbanan. | 1 |

Kravet verifieras genom att ett tidigare kört varv spelas upp på bilbanan samtidigt som en fysisk bil körs. Uppspelning av tidigare kört varv är oberoende av om det är en tidigare simulerad körning eller en tidigare fysisk körning eftersom de sparas ner på samma sätt. Därför verifierar samma filmsekvens både krav 46 och 47.

Kravet verifieras i en film vid tid 0:52: `http://www.youtube.com/watch?v=qE3gh0CKFqg`

**Verifierat av: DL, LL, MR, MH, SJ, HE**
**Datum: 2013-11-28**

| | | | |
|---|---|---|---|
| Krav nr 24 | Original | Visualiseringssystemet ska ta hänsyn till bilarna och bilbanans geometri, så att den projicerade bilden har rätt proportioner och geometri över hela banan. | 1 |

Kravet verifieras genom att sätta ut lastbilen på de 8 punkter som specifieras i Tabell 1. Kravet är uppfyllt om visualiseringssystemet projicerar en rektangel på lastbilen som motsvarar dess proportioner.

För resultat se Appendix A.

**Verifierat av: HE, MH**
**Datum: 2013-11-28**

| | | | |
|---|---|---|---|
| Krav nr 25 | Original | Varvtider, mellantider, klocka, markörers uppmätta position, igenkänning av bil, bilens position, referenstrajektoria, konfidensintervall för bilens skattade position samt bilens orientering och hastighetsvektor ska kunna visas på bilbanan i realtid under körning. | 1 |

Kravet verifieras om ovan nämnda saker kan ses på bilbanan under körning.
Kravet verifieras i en film vid tid 0:00 - 0:50: `http://www.youtube.com/watch?v=qE3gh0CKFqg`

**Verifierat av: DL, LL, OS, VC**
**Datum: 2013-11-28**

.

| | | | |
|---|---|---|---|
| Krav nr 26 | Original | Den körda trajektorian ska ritas upp på bilbanan samtidigt som bilen körs. Trajektorian ska vara färgkodad utifrån gas- och bromsprofil. Även referenstrajektorian ska kunna visas. | 1 |

Kravet verifieras genom att ovan nämnda saker ses på bilbanan samtidigt som en graf visar gas- och bromsprofilen mot tiden.
Länk till film där kraven valideras: `http://www.youtube.com/watch?v=qE3gh0CKFqg`

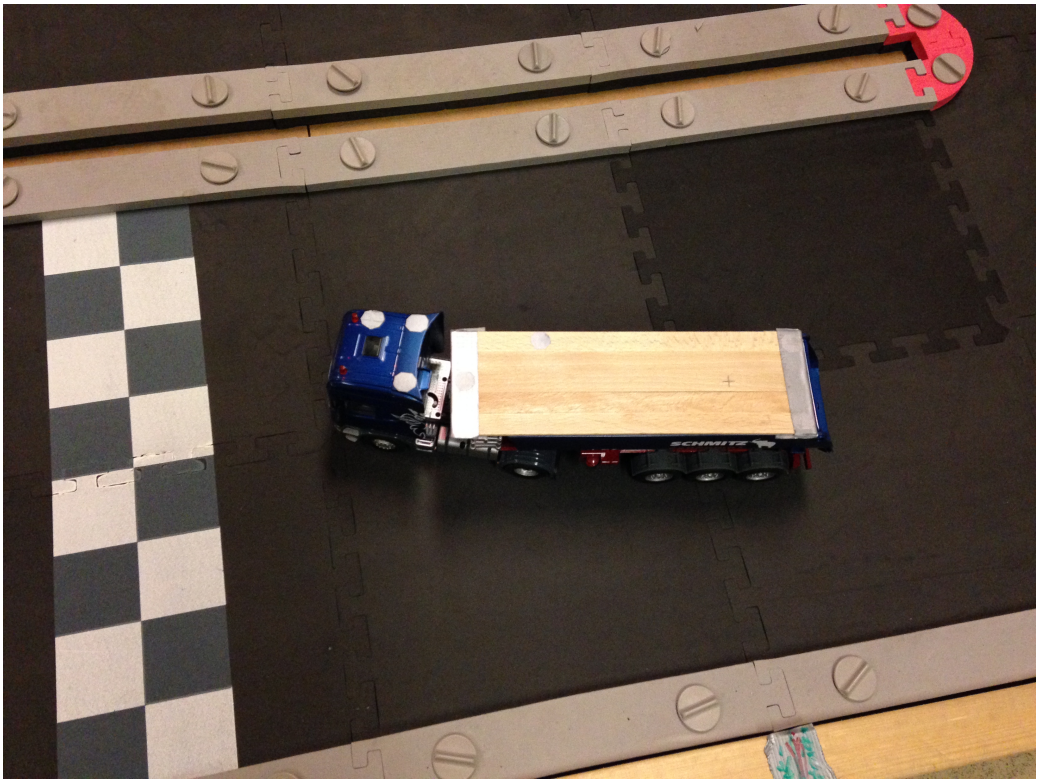
**Verifierat av: DL, LL, OS, VC**
**Datum: 2013-11-28**

.

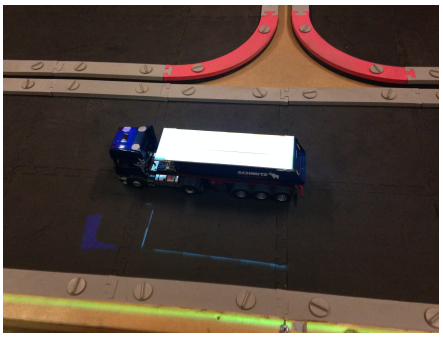
# Referenser

[1] Projektgruppen No Oscillations Corporation. 2013. *Kravspecifikation Optimal Styrning av Autonom Racerbil.* Linköpings Universitet, Linköping.

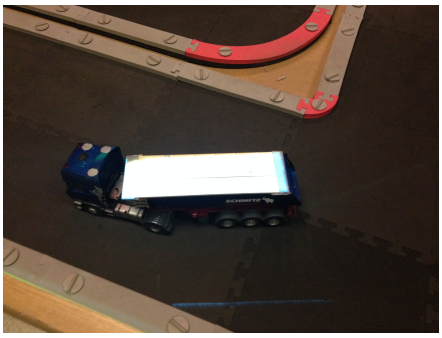
# A Appendix



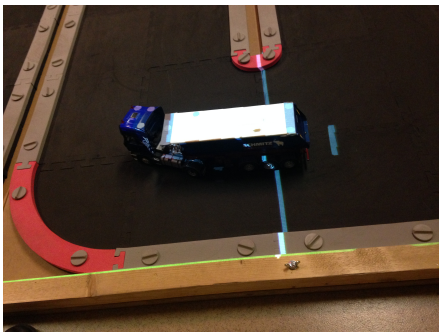
Figur 6: Lastbil utan projicerad rektangel.



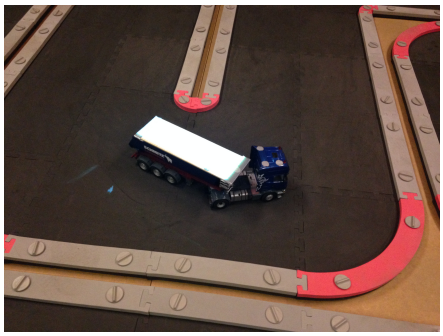
Figur 7: Position 1.



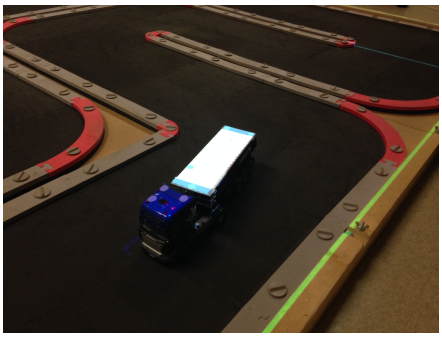
Figur 8: Position 2.



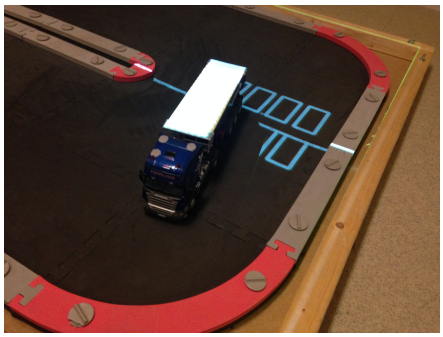
Figur 9: Position 3.



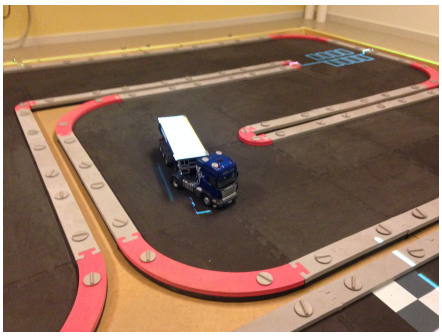
Figur 10: Position 4.



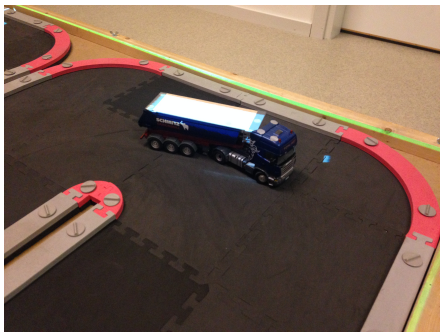
Figur 11: Position 5.



Figur 12: Position 6.



Figur 13: Position 7.



Figur 14: Position 8.