



UPPSALA  
UNIVERSITET

UPTEC STS 12 036

Examensarbete 30 hp  
December 2012

# Automatisk nivåreglering av strålkastare

---

Axel Elmelid



UPPSALA  
UNIVERSITET

Teknisk- naturvetenskaplig fakultet  
UTH-enheten

Besöksadress:  
Ångströmlaboratoriet  
Lägerhyddsvägen 1  
Hus 4, Plan 0

Postadress:  
Box 536  
751 21 Uppsala

Telefon:  
018 – 471 30 03

Telefax:  
018 – 471 30 00

Hemsida:  
<http://www.teknat.uu.se/student>

## Abstract

### Automatisk nivåreglering av strålkastare

### Automatic headlight level control

---

*Axel Elmelid*

To be allowed to sell Z-suspended vehicles with dipped beam Xenon or LED lighting, Scania have to develop automatic headlight level control. This master's thesis aims to be the foundation to that development.

The thesis consists of several parts; a market analysis of how competitors to Scania and the general vehicle industry solve this problem; several available principles for detecting the amount of control needed; the construction of a test station for sensors, a control unit and components connected controlled by the control unit; a further theoretical and practical development of one principle – one rotational sensor connected between the chassis and the back drive axis; a state flow model programmed in Simulink that produces the control signal for the headlight leveling from the sensor input.

Lastly the thesis gives some recommendations to the further development and implementation of automatic headlight level control on Scania vehicles.

Handledare: Achraf Dirhoussi  
Ämnesgranskare: Kjell Staffas  
Examinator: Elisabet Andrésdóttir  
ISSN: 1650-8319, UPTEC STS 12 036

## Populärvetenskaplig sammanfattning

För att få lov att sälja bladfjädrade fordon med Xenon- eller LED-belysning behöver Scania utveckla automatisk nivåreglering av strålkastarna. Detta examensarbete gör anspråk på att utgöra en stabil grund för denna utveckling.

Examensarbetet inbegriper flera olika delar; en marknadsundersökning av hur fordonsindustrin ligger till gällande automatisk nivåreglering av strålkastarna; tillverkning av en teststation för sensorer och reglermjukvara; utveckling och val av princip för lösning av problemet med att automatisk nivåreglering av strålkastarna; modellbaserad utveckling av funktionaliteten; test av en utvecklad princip med en enkel prototyp.

Till sist ges förslag på vidare arbete med en implementering av automatisk nivåreglering av strålkastarna i produktionen av Scantias fordon.

## Ordlista och beteckningar

### Förkortningar

|              |                                                                                                                                                        |
|--------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ACC          | Automatic Climate Control                                                                                                                              |
| CAN          | Controller Area Network                                                                                                                                |
| COO          | Coordinator                                                                                                                                            |
| CUV          | Control Unit Visibility                                                                                                                                |
| ELC          | Electronic Level Control                                                                                                                               |
| EOL          | End Of Line, när bilen rullar ut från fabriken.                                                                                                        |
| ESP          | Electronic Stability Program                                                                                                                           |
| LED-lampor   | Light Emitting Diode-lampor                                                                                                                            |
| MBD          | Model Based Design – Modellbaserad utveckling                                                                                                          |
| PWM          | Pulse Width Modulation                                                                                                                                 |
| RPS          | Rapid Prototyping System                                                                                                                               |
| Xenon-lampor | Xenon är en gas som exciteras och på så vis utsänder kraftigt ljus. Modernare och kraftigare än Halogen-lampor, men en generation äldre än LED-lampor. |

### Beteckningar

|              |                                                                                                                                    |
|--------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\alpha$     | Belysningens vinkel gentemot referensaxeln.                                                                                        |
| $\delta$     | Fordonets nivåavvikelse. Vinkelskillnaden mellan chassi axeln och referensaxeln                                                    |
| h            | Höjd mellan leden i strålkastaren och fästet för elmotorn som sköter nivåregleringen.                                              |
| $L_k$        | Kalibrerad armlängd, alltså avståndet från motorn som sköter nivåregleringen till dess fäste i lyktan vid elmotorns innersta läge. |
| $L_s$        | Slaglängd hos elmotorn som sköter nivåregleringen.                                                                                 |
| Chassi axel  | En axel som är parallell med chassit.                                                                                              |
| Referensaxel | En axel parallell med vägbanan.                                                                                                    |
| Z-fjädring   | En annan benämning på bladfjädring.                                                                                                |

## Innehållsförteckning

|                                                                                                      |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Inledning.....                                                                                       | 1  |
| Bakgrund .....                                                                                       | 1  |
| Syfte.....                                                                                           | 1  |
| Disposition.....                                                                                     | 1  |
| 1. Avsnitt 1 - Förutsättningar .....                                                                 | 3  |
| 1.1 Lagkrav på strålkastarnivån .....                                                                | 3  |
| 1.2 Belysning hos Scantias fordon idag – CUV.....                                                    | 5  |
| 1.3 Forskningsläge .....                                                                             | 7  |
| 1.4 Läget för nivåreglering av halvljus på lastbilsmarknaden .....                                   | 8  |
| 1.4.1 Mercedes-Benz.....                                                                             | 8  |
| 1.4.2 Volvo.....                                                                                     | 8  |
| 1.4.3 MAN.....                                                                                       | 8  |
| 1.4.4 DAF .....                                                                                      | 8  |
| 1.4.5 Renault .....                                                                                  | 9  |
| 1.4.6 IVECO .....                                                                                    | 9  |
| 1.5 Läget för automatisk nivåreglering av strålkastare på personbilsmarknaden.....                   | 9  |
| 2. Avsnitt 2 – Nivåregleringen idag och möjliga lösningar till automatisk nivåreglering .....        | 10 |
| 2.1 Värsta tänkbara lastbilskonfiguration – Scania LA4x2MSZ .....                                    | 10 |
| 2.2 Styrsystemet för nivåreglering .....                                                             | 11 |
| 2.2.1 Nivåregleringen i det specifika fallet LA4x2MSZ, det teoretiskt värsta tänkbara fallet .....   | 14 |
| 2.2.2 Felmarginal hos elmotorn .....                                                                 | 15 |
| 2.3 Möjliga lösningar för att bestämma fordonets nivåavvikelse .....                                 | 16 |
| 2.3.1 Kriterier för lösning och kriteriernas viktning .....                                          | 16 |
| 2.3.2 Lösningsförslag .....                                                                          | 17 |
| 2.3.3 Beslutsmatris .....                                                                            | 21 |
| 3. Avsnitt 3 – Vidare utveckling av utvald lösning.....                                              | 23 |
| 3.1 Vidare utveckling av lösningen med en vinkelsensor.....                                          | 23 |
| 3.1.1 Förutsättningar för automatisk nivåreglering av strålkastarna med endast en vinkelsensor ..... | 23 |
| 3.2 Komponenter i prototyplösningen .....                                                            | 26 |
| 3.2.1 Vinkelsensorn som mäter avstånd mellan hjulaxlar och chassi .....                              | 27 |
| 3.2.2 Elmotorn som styr den fysiska nivåregleringen .....                                            | 28 |
| 3.2.3 Lågpasfilter.....                                                                              | 28 |

|                                                                                                     |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.2.4 PWM – pulse width modulation.....                                                             | 28 |
| 3.2.5 Lågpasfilter + PWM-signal = analog DC-signal.....                                             | 29 |
| 3.3 Teststation.....                                                                                | 31 |
| 3.3.1 Avdelning 1 – styrenhet.....                                                                  | 32 |
| 3.3.2 Avdelning 2 – ingång för huvudspänning och jord samt ingång för flashning av styrenhet        | 33 |
| 3.3.3 Avdelning 3 – ingångar för sensorer och CAN-bussar samt utgångar för olika spänning ....      | 33 |
| 3.3.4 Avdelning 4 – utgångar för styrsignaler .....                                                 | 34 |
| 3.4 MBD, modellbaserad design – modellen som sköter nivåregleringen .....                           | 34 |
| 3.4.1 Ramverk för programmering av styrenheten, RPS.....                                            | 34 |
| 3.4.2 Modellen som beräknar utsignalen till elmotorn.....                                           | 34 |
| 4. Avsnitt 4 – Tester, resultat, slutsatser och förslag till vidare arbete.....                     | 37 |
| 4.1 Utförda tester av den utvecklade lösningen på lastbilar, Grimm och Marco .....                  | 37 |
| 4.1.1 Framaxelmonterad vinkelsensor på Grimm .....                                                  | 37 |
| 4.1.2 Resultat av test på Grimm .....                                                               | 38 |
| 4.1.3 Framaxel- och bakaxelmonterade sensorer på Marco .....                                        | 39 |
| 4.1.4 Resultat av test med vinkelsensorer på Marco .....                                            | 45 |
| 4.2 Slutsatser från testerna .....                                                                  | 50 |
| 4.3 Fortsatt arbete och förslag på vidare utveckling av automatisk nivåreglering av halvljuset..... | 51 |
| 4.3.1 Förslag på vidare arbete.....                                                                 | 51 |
| Källförteckning.....                                                                                | 53 |
| Appendix 1, alternativeChooser .....                                                                | 55 |
| Appendix 2 <sup>a</sup> , mätdata test på Grimm .....                                               | 56 |
| Appendix 2 <sup>b</sup> , mätdata test på Marco .....                                               | 56 |

# Inledning

## Bakgrund

En av de viktigaste faktorerna för säkerheten hos ett fordon är belysningen. Dels ska fordonet synas för medtrafikanter, dels ska belysningen ge föraren goda förutsättningar för att kunna köra säkert genom att ge denne god sikt. Ju mer ljus strålkastarna belyser vägen med, desto bättre ser föraren och desto säkrare kan han köra. Dock kan en allt för stark ljuskälla ge problem för medtrafikanterna. De kan bli bländade och därför finns det regler på hur ljuset ska vinklas för att undvika detta i största möjliga mån. Det blir en kompromiss mellan förarens och medtrafikanternas sikt.

Beroende på hur ett fordon lastas kommer vinkeln på fordonet gentemot vägplanet att ändras. Detta gör att ju mer som lastas på bakändan av fordonet desto mer kommer halvljusnivån att stiga från sitt ursprungsläge. Detta kan göra att man bryter mot reglerna för vinkeln mellan halvljuset och vägplanet, men framför allt att man riskerar säkerheten för sina bländade medtrafikanter.

Om ljusstyrkan från halvljuset överstiger gränsvärdet 2000 lumen måste nivåreglering ske automatiskt. Xenon och LED är vanliga lamptyper som överstiger gränsvärdet. Om ljusstyrkan inte överstiger 2000 lumen är det tillåtet att föraren reglerar halvljusets nivå manuellt för att uppfylla ställda krav. (United Nations, Regulation 48, rev.6, 2010)

På luftfjädrade fordon är detta inget problem. I dessa sitter ett styrsystem kallat ELC (Electronic Level Control), vilket med automatik reglerar chassits vinkel efter olika lastförhållanden så att nivåreglering av strålkastarna inte behövs. På bladfjädrade fordon där ingen reglering av vinkeln på chassit är möjlig får däremot inte den kraftigare typen av lampor användas idag, eftersom de inte i dagsläget regleras automatiskt.

## Syfte

Uppgiften i detta examensarbete är att undersöka olika möjligheter till automatisk nivåreglering<sup>1</sup> av strålkastarna och att utveckla en lösning för att automatiskt reglera nivån hos halvljuset till bladfjädrade fordon. Styrningen av strålkastarnivån ska ske när fordonet står still och på bladfjädrade fordon utan aktiv kontroll över chassinivån<sup>2</sup>.

## Disposition

Arbetet är uppdelat i fyra avsnitt. Avsnitt 1- "*Förutsättningar*" består av en bakgrund till varför automatisk nivåreglering av strålkastarna behövs. Även en djupare förklaring av problem som måste lösas för att lyckas uppfylla arbetets syfte finns här. Avsnittet inleds med vilka lagar som reglerar hur halvljuset ska regleras och fortsätter med hur den exteriöra belysningen hos ett Scaniafordon fungerar idag. Avsnitt ett avslutas med en marknadsundersökning av vad övriga fordonsindustrin hittills har utvecklat för lösningar till att automatiskt reglera nivån på strålkastarna.

Avsnitt två - "*Nivåregleringen idag och möjliga lösningar till automatisk nivåreglering av strålkastarna*" är en genomgång av hur systemet för nivåreglering fungerar idag samt en skiss av ett

---

<sup>1</sup>I all användning av ordet strålkastarnivå genom arbetet avses den vertikala vinkeln hos strålkastarna.

<sup>2</sup>Det finns flera typer av passiv fjädring. Bladfjädring är en typ av sådan och används som för passiv fjädring hos Scantias fordon genom hela rapporten. Aktiv fjädring innebär pneumatiska system som t.ex. luftfjädring. Z-fjädring förekommer också som benämning på passiv fjädring.

värsta fall som möjliga lösningar till automatisk nivåreglering ska testas på. Därefter följer av en genomgång av olika möjligheter till att bestämma hur mycket nivån hos strålkastarna ska regleras. Argument för och emot dessa lösningars lämplighet formuleras. Andra avsnittet avslutas med en formalisering av hur den mest lovande lösningen valts ut för vidare utveckling.

Tredje avsnittet - "*Vidare utveckling av utvald lösning*" innehåller en vidareutveckling av den utvalda lösningen. För att kunna prova olika mjukvaror som programmerats för lösningen har en teststation byggts. Även en fungerande modell för vald lösning, alltså ett exempel på hur en programvara kan se ut och hur den tagits fram, finns beskrivet i detta avsnitt.

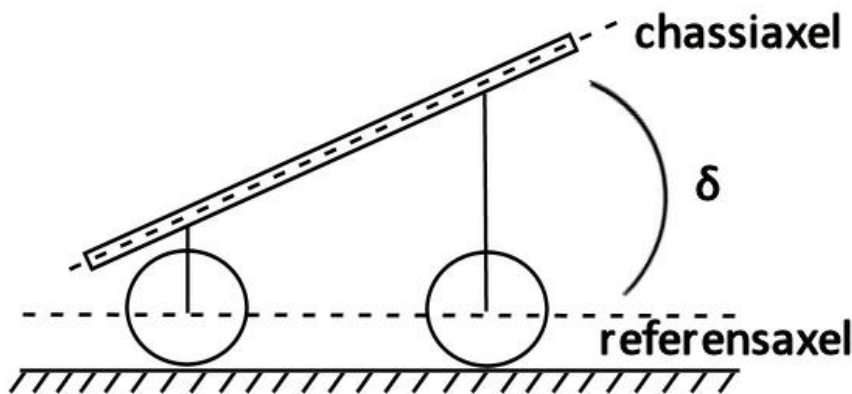
Avsnitt fyra - "*Tester, resultat, slutsatser och förslag till vidare arbete*" innehåller en beskrivning av de tester som utförts på två olika lastbilar. Därefter avslutas arbetet med slutsatser dragna från resultaten och förslag på hur fortsatt arbete på området kan framskrida.



## 1. Avsnitt 1 - Förutsättningar

### 1.1 Lagkrav på strålkastarnivån

För att inte blända medtrafikanter finns det regler på hur strålkastarna får lov att belysa fordonets omgivning. Eftersom strålkastarna sitter i chassit beror nivån hos halvljuset på vinkelskillnaden mellan planet som chassit ligger i (chassiaxeln) och vägplanet (referensaxeln) enligt Figur 1. Vinkeln  $\delta$  kallas *nivåavvikelsen* hos fordonet. Om denna nivåavvikelse är stor så kommer följaktligen halvljuset att lysa högt och det finns risk att man bländar medtrafikanter. Om nivåavvikelsen är liten (eller negativ) finns det risk att strålkastarna belyser för kort del av vägbanan för att föraren ska kunna köra säkert. Därför måste man kompensera för  $\delta$  genom att reglera nivån hos strålkastarna.



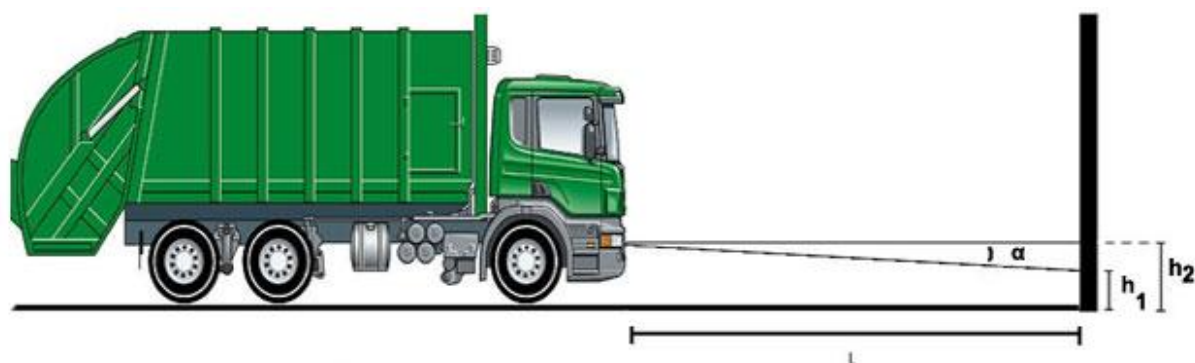
Figur 1: Fordonets nivåavvikelse,  $\delta$ . Lutningen av chassiaxeln gentemot referensaxeln. Om höger är fram på bilen så är  $\delta$  positiv. Om vänster är fram på bilen är  $\delta$  i figuren negativ.

Vilken vinkel strålkastarna har gentemot chassiaxeln betecknas med  $\alpha$ .  $\alpha$  har enheten procent i lagkraven<sup>3</sup> och sambandet till grader enligt ekvation 1.

$$\frac{h_1 - h_2}{L} \cdot 100 = \alpha[\%] \xLeftrightarrow{\frac{h_1 - h_2}{L} = \tan \alpha[^\circ]} \tan(\alpha[^\circ]) \cdot 100 = \alpha[\%] \Leftrightarrow \frac{\alpha[\%]}{100} = \tan \alpha[^\circ] \Leftrightarrow \arctan \frac{\alpha[\%]}{100} = \alpha[^\circ] \quad (\text{Ekvation 1})$$

$h_2$  är höjden över vägplanet till strålkastarnas nederkant och  $h_1$  är höjden från vägplanet till var ljuskäglans överkant träffar en kalibreringsskärm.  $L$  är ljuskällans avstånd till kalibreringsskärmen. Se Figur 2.

<sup>3</sup> Lagkraven använder procent istället för radianer eller grader. Tangens för grader används i ekvationen.



Figur 2: Avvikelse i nivå från referensaxeln för halvljuset.

Ju större  $\delta$  är, desto större blir alltså  $\alpha$  ( $\alpha$  har negativt tecken så länge  $h_1$  är mindre än  $h_2$ ) eftersom  $h_1$  ökar om  $\delta$  blir större, medan  $h_2$  är konstant oavsett storlek på  $\delta$ .

På olika fordon sitter strålkastarna på olika höjd. Beroende på hur högt de sitter ska den initiala nedvinklingen av halvljuset vara olika vid kalibrering från fabrik. När fordonet används kan vinkeln  $\delta$  gentemot referensaxeln ändras beroende på applikation<sup>4</sup>.

Beroende på hur fordonet lastas kommer  $\delta$  att förändras, och lika mycket kommer  $\alpha$  att förändras. Detta syns tydligt vid jämförelse av Figur 2 och Figur 1. Vid applikation måste  $\alpha$  hålla sig inom olika lagstadgade intervall beroende på hur högt strålkastarna sitter på chassit. Höjden  $h_2$  mätt från vägplanet till nederkant av halvljusets ljusöppning, intervall som  $\alpha$  kalibreras till från fabrik och gränser för  $\alpha$  vid applikation syns i Tabell 1.

Tabell 1: Intervall för nedvinkling av halvljus. (United Nations, Regulation 48, rev.6, 2010)

| Höjd $h_2$                                       | $h_2 < 0,8m$               | $0,8m < h_2 < 1,0m$                                                      | $h_2 > 1,0m$               |
|--------------------------------------------------|----------------------------|--------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| Vinkel kalibrerad vid EOL, end of line, $\alpha$ | $-1,0\% > \alpha > -1,5\%$ | $-1,0\% > \alpha > -1,5\%$<br>alternativt<br>$-1,5\% > \alpha > -2,0\%$  | $-1,5\% > \alpha > -2,0\%$ |
| Gränser vid applikation                          | $-0,5\% > \alpha > -2,5\%$ | $-0,5\% > \alpha > -2,5\%$<br>alternativt:<br>$-1,0\% > \alpha > -3,0\%$ | $-1,0\% > \alpha > -3,0\%$ |

Dessa intervall måste  $\alpha$  hålla sig inom för i standarden definierade statistiska lastscenarier. Om det behövs reglering av strålkastarna och därmed  $\alpha$  för att uppfylla kraven i alla scenarier kan detta göras manuellt av föraren om inte halvljuskällan är för kraftig.

Detta innebär att kraftig belysning, till exempel av Xenon eller LED-typ, inte får lov att användas om det inte finns automatisk reglering av strålkastarnivån. Så länge ingen lösning för automatisk nivåreglering av halvljuset finns tillgänglig för Scania, så kan Scania heller inte erbjuda kunder bladfjädrade lastbilar med Xenon- eller LED-ljus.

<sup>4</sup> När slutanvändaren använder fordonet.

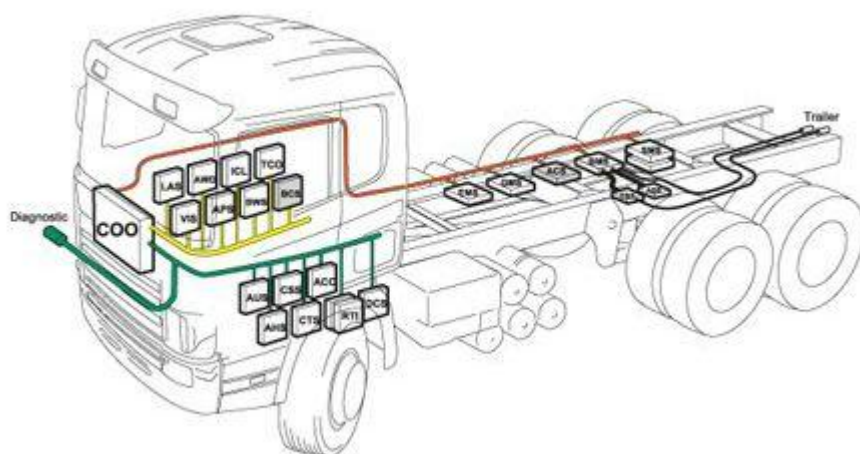
Gränsen för att få lov att reglera strålkastarnas nivå manuellt är 2000 lumen<sup>5</sup>. Är ljuskällan kraftigare än 2000 lumen måste nivån regleras automatiskt om inte kriterierna uppfylls i alla scenarier. (United Nations, Regulation 48, rev.6, 2010)

Som man kan se i tabellen ligger gränserna för strålkastarnivån vid applikation inom ett intervall på 2%. I grader blir ramen för strålkastarnivån ca 1,15° enligt ekvation 2:

$$2\% \xleftrightarrow{\text{ekvation 1}} \arctan \frac{2\%}{100} = 1,1458^\circ \quad (\text{Ekvation 2})$$

## 1.2 Belysning hos Scantias fordon idag – CUV (Dirhoussi, 2012)

Alla styrsystem i Scantias fordon är sammankopplade via en koordinator (COO i Figur 3) och sitter på en av tre olika CAN-bussar (Controller Area Network). Se Figur 3. CAN är ett kommunikationsprotokoll som används av hela fordonsbranschen. De tre bussarna är indelade efter grad av allvarighet förlust av CAN-kommunikationen för de anslutna styrenheterna. Fel på röd buss innebär att fordonet genast måste stanna. Fel på gul buss innebär att fordonet snabbast möjligt måste ta sig till en verkstad för egen maskin, medan fel på grön buss endast innebär att någon ”komfort”-funktion såsom exempelvis ACC (Automatic Climate Control) kanske inte fungerar.



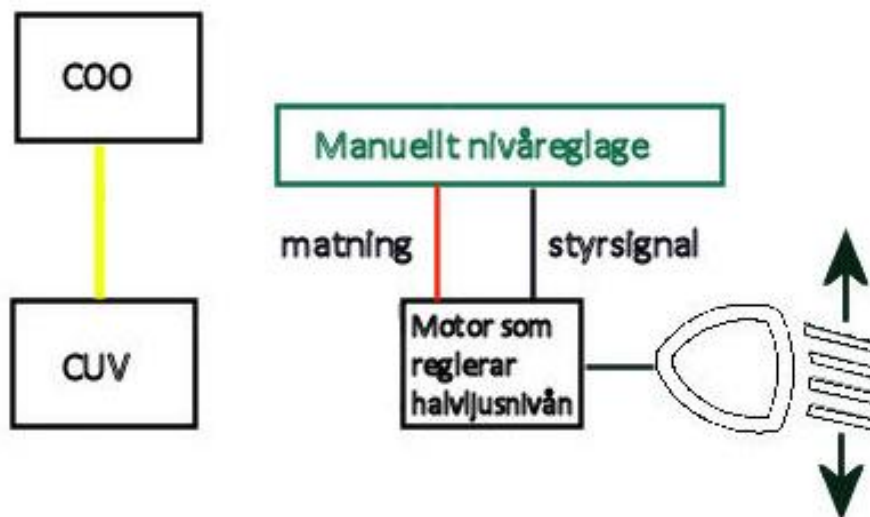
Figur 3: Schematisk bild över CAN-nätverket i ett fordon.

Styrenheten som hanterar alla belysning, alltså utvändigt hos fordonen, heter CUV (Control Unit Visibility) och sitter på gul buss. Detta styrsystem får signaler från föraren och från andra styrsystem via gula CAN-bussen. CUV:en reglerar belysning utifrån informationen i signalerna.

På ett bladfydrat fordon sitter idag inga sensorer för som mäter nivåavvikelsen ( $\delta$  enligt Figur 1). Detta medför att ingen information om fordonets nivåavvikelse finns tillgänglig för CUV:en. Föraren måste själv reglera nivån på strålkastarna med ett reglage i hytten. Idag ser elschemat på bladfydrade fordon förenklat ut som i Figur 4. Att regleringen sköts manuellt är begränsande för vilken typ av belysning som får användas på fordonet. LED-lampor eller Xenon-lampor<sup>6</sup> får alltså, som tidigare också nämnts, inte användas på Scantias bladfydrade fordon i dagsläget.

<sup>5</sup> Gränsen avser lampans designvärde. §2.7.27 i (United Nations, Regulation 48, rev.6, 2010)

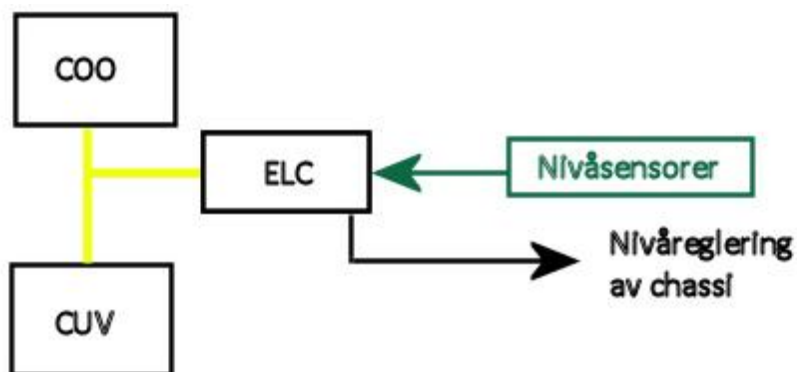
<sup>6</sup> Förutsatt att de har en ljusstyrka över 2000 lm.



Figur 4: Förenklat CAN-schema hos ett bladfjädrat fordon. Nivån för halvljuset regleras manuellt.

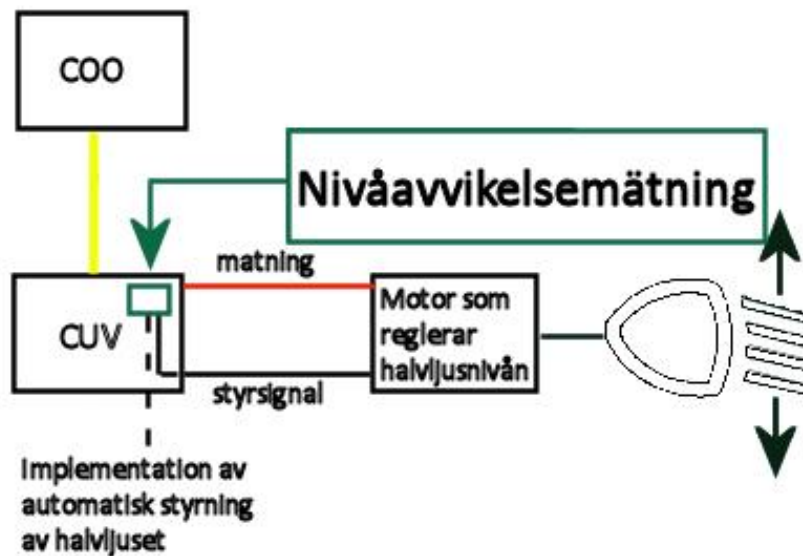
På Scantias luftfjädrade fordon sitter det en styrenhet som heter ELC (Electronic Level Control), som använder information från nivåsensorer mellan chassi och hjulaxlar för att kunna reglera nivåavvikelsen. På så vis regleras också belysningens nivå implicit. Förenklat CAN-schema ses i Figur 5. ELC saknas helt på bladfjädrade fordon.

Skillnaden mellan ett luftfjädrat och ett bladfjädrat fordon är att fjädringen på ett luftfjädrat fordon består av luftbälgar i vilka man kan kontrollera trycket och på så vis chassits nivå över hjulaxlarna. Detta ger en mjukare fjädring med möjlighet att snabbt lyfta på en trailer. Luftfjädringen är dock dyrare än bladfjädring.



Figur 5: Förenklat CAN-schema för ett luftfjädrat fordon. ELC reglerar fordonets nivåavvikelse automatiskt.

Uppgiften är att utveckla styrningen av belysningen på bladfjädrade fordon så att nivån kan regleras automatiskt. En möjlig variant är den som beskrivs i Figur 6.



Figur 6: Möjlig lösning för att reglera halvljusets nivå på ett bladfjädrat fordon.

Lösningen kan exempelvis innebära att man installerar nivåsensorer av samma typ som idag sitter på luftfjädrade fordon. Dessa kopplas till CUV:en där ett regelsystem implementeras som räknar ut fordonets nivåavvikelse med hjälp av informationen från sensorerna. Reglersystemet beräknar utifrån denna information hur strålkastarna ska regleras och skickar ut en styrsignal för att reglera nivån hos halvljuset.

### 1.3 Forskningsläge

Det finns flera tidigare studier och även patent som tangerar problemet kring att bestämma ett fordonets chassivinkel gentemot vägplanet. Ett exempel är Hrovats patent som utnyttjar flera sensorer som redan finns tillgängliga i moderna fordon. Dock tar denna lösning inte hand om själva nivåavvikelsen utan förutsätter istället att denna lutning är den samma som referensaxelns lutning (vägplanets lutning). (Hrovat, et al., 2004)

Ett annat patent är det som Steenson & Amsbury har. Deras lösning går ut på att man använder flera olika sensorer i fordonet; signaler från flera gyroskop; "tilt"-sensorer för att kunna kompensera för att gyroskopen tappat kalibrering; minst en referensaccelerometer som talar om åt vilket håll fordonet rör sig. Denna lösning förutsätter att bilen är i rörelse. (Steenson & Amsbury, 2001)

Det finns även flera lösningar som använder GPS-teknik för att avgöra vägens lutning. Dessa använder GPS-koordinatdifferenser vertikalt och horisontellt. Även dessa förutsätter att fordonet är i rörelse och blir därför inte tillämpbara för statisk nivåreglering av strålkastarna. (Bae, et al., 2001), (Gerdes & Ryu, 2004)

Hamdi Bawaqneh har gjort ett intressant examensarbete på området. Han använder kända parametrar i personbilar för att beräkna bilens nivåavvikelse. De viktigaste komponenterna är den longitudinella accelerationen och hjulens acceleration. Bawaqnehs modell tar dock inte hänsyn till

vägens lutning. För att lösa det problemet detekteras endast om fordonet är i en backe eller ej. Bilens nivåavvikelse bestäms endast när fordonet ej är i en backe. (Bawaqneh, 2011)

Flera av lösningarna förutsätter att fordonet är i rörelse för att kunna mäta fordonets lutning och nivåavvikelse. Därför faller dessa lösningar bort eftersom de inte skulle fungera för det statiska fallet när strålkastarnas nivå ska regleras automatiskt. Inte heller kan Bawaqnehs metod eller Hrovats patent lösa problemet, eftersom de är beroende av andra antaganden vilka inte går att bortse ifrån i detta arbets uppgift. Hrovats patent antar att nivåavvikelse hos fordonet är den samma som vägens lutning. Bawaqnehs metod är endast tillämpbar när referensaxeln är vågrät, alltså att vägen inte lutar åt något håll.

## **1.4 Läget för nivåreglering av halvljus på lastbilsmarknaden**

För att hålla koll på konkurrenter och hur Scania själva ligger till utvecklingsmässigt finns det en avdelning på Scania vars uppgift är "benchmarking". Benchmarking innebär i Scantias fall att hålla företaget uppdaterat om hur man ligger till tekniskt och prestandamässigt gentemot sina konkurrenter och hur konkurrenter löser olika problem som alla aktörer inom branschen ställs inför.

Vad gäller automatisk nivåreglering av halvljuset på bladfjädrade fordon är ingen intern Scaniastudie gjord på hur konkurrenter löser problemet. Det är dock troligt att de andra stora aktörerna är i ungefär samma läge som Scania, det vill säga att de utreder möjligheter och att olika lösningar är i utvecklingsstadiet.

Nedan följer en sammanställning av läget för automatisk nivåreglering av halvljuset på lastbilsmarknaden. Informationen kommer från Scantias huvudkonkurrenters hemsidor, påbyggarsidor och från intervjuer med representanter för de olika företagen.

Urvalet är gjort genom att välja de största konkurrenterna till Scania (Volvo, Mercedes, MAN), tillsammans med några mindre konkurrenter (övrige). (Dirhoussi, 2012)

### **1.4.1 Mercedes-Benz**

Respondenten som jobbar på Mercedes huvudkontor i Malmö berättar att Mercedes-Benz inte har någon nivåreglering av halvljuset på sina bladfjädrade fordon. Dock var han osäker på ifall det gick att få till lanseringen av nästa nya serie. Han trodde inte att det var möjligt, men kunde inte svara med säkerhet. (Glantz, 2012)

### **1.4.2 Volvo**

Volvo erbjuder i dagsläget inte någon automatisk nivåreglering av halvljuset. (Ohlsson, 2012)

### **1.4.3 MAN**

Beroende på vilket fordon med bladfjädring man väljer kan man välja till olika hytter till chassit. Till dessa hytter finns det möjlighet att välja Xenonljus som extra tillbehör. Detta innebär att man kan välja en helt bladfjädrad bil med en hytt som har extraval Xenonljus. I en intervju med kundtjänst på MAN bekräftar de att de har automatisk nivåreglering av halvljus på sina bladfjädrade lastbilar. (MAN Truck & Bus UK Ltd, 2012)

### **1.4.4 DAF**

DAF har i dagsläget ingen nivåreglering av halvljus. Respondent vid intervjun kunde inte svara på om det var under utveckling eller ej. (Pedersen, 2012)

#### 1.4.5 Renault

På den helt bladfjädrade modellen Kerax 380.19 4x2 går det att välja en manuell nivåkontroll av halvljuset. Det går dock inte att välja till Xenonljus. På luftfjädrade fordon går det att välja till Xenonljus. Detta tyder på att ingen automatisk nivåreglering av halvljuset är marknadsförd i dagsläget. Kundtjänst har också intervjuats, utan att de kunde ge något svar på frågan om automatisk strålkastarnivåreglering. (Renault Trucks, 2011)

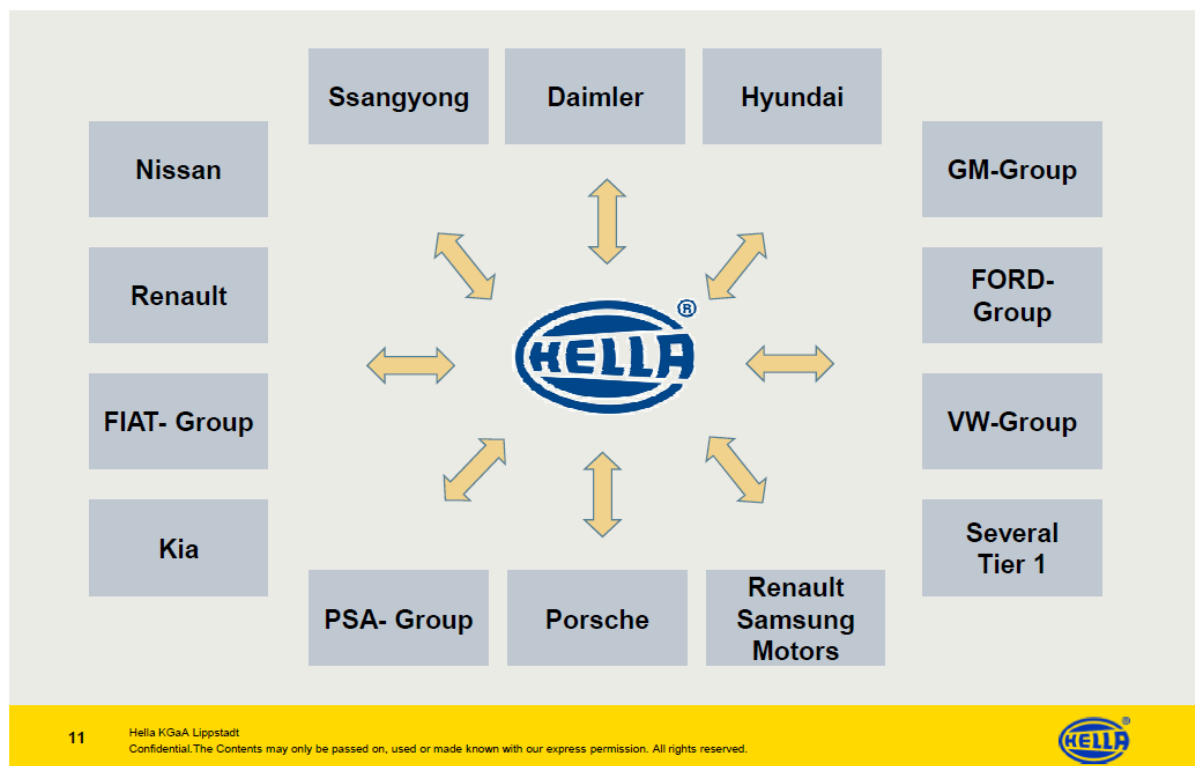
#### 1.4.6 IVECO

Även IVECO marknadsför fullt bladfjädrade fordon, till exempel modellen Trakker. Deras kundtjänst låter meddela att de i dagsläget inte marknadsför bladfjädrade lastbilar med xenonljus med anledning av att de inte har något system automatisk nivåreglering. (IVECO, 2012)

### 1.5 Läget för automatisk nivåreglering av strålkastare på personbilsmarknaden (Krauss, 2012)

På personbilsmarknaden är läget annorlunda. De flesta personbilar har idag nivåreglering av halvljuset. Hella KGaA Hueck & Co (Hella) är en stor tillverkare av belysningssystem som levererar system för automatisk nivåreglering till flertalet stora personbilsföretag. Se Figur 7. I dagsläget bedriver Hella ingen vidareutveckling av systemet eftersom man anser att det man marknadsför fungerar tillfredsställande.

#### *Hella KGaA Hueck & Co. – Lighting Components Customer Base Sensors*



Figur 7: Personbilstillverkare som köper system för automatisk nivåreglering av strålkastare från Hella. Användning av figuren tillåten. (Krauss, 2012)

## 2. Avsnitt 2 – Nivåregleringen idag och möjliga lösningar till automatisk nivåreglering

### 2.1 Värsta tänkbara lastbilskonfiguration – Scania LA4x2MSZ (Loftén, 2012)

Scania tillverkar bladfjädrade fordon med väldigt många olika konfigurationer. För att en framtagna lösning av automatisk nivåreglering av halvljuset ska vara så generaliserbar som möjligt, och därmed användbar på så många fordon som möjligt, har ett värsta fall av konfiguration tagits fram. Om en lösning fungerar till detta värsta fall, kan samma lösning sannolikt användas på *alla* andra konfigurationer av bladfjädrade fordon.

Det som definierar det värsta fallet av konfiguration är att fordonet ska ha *störst möjliga skillnad i nivåavvikelse från att den produceras och är helt olastad, EOL (End Of Line), till det att den lastas fullt*. Detta uppnås med klena fjädrar fram, starka fjädrar bak och ett så kort axelavstånd som möjligt. Då kommer nivån att ändras som mest fram vid lastning och som minst bak, alltså kommer nivåavvikelseskillingen att bli som störst med sådan fjädring. Ju kortare axelavståndet är, desto större kommer också nivåavvikelseskillingen att bli.

Att detta verkligen är ett värsta fall motiveras av att det ställer störst krav på sensorers omfång och även på hur stor fysisk reglering som måste ske av nivån på halvljuset. Om fordonet lutar framåt (vilket är vanligt för bladfjädrade bilar vid EOL) eller bakåt är föremål för kalibrering av sensorer och montering av strålkastare och spelar därför ingen principiell roll för det värsta fallet.

Den framtagna lastbilen heter Scania LA4X2MSZ och har specifikationer enligt Tabell 2.

Tabell 2: Specifikationer Scania LA4x2MSZ. (Loftén, 2012)

|                         |                   |
|-------------------------|-------------------|
| Axelavstånd             | 3300mm            |
| Framfjädring 2x30       | Tål 6700 kg last  |
| Bakfjädring 6x15        | Tål 15000 kg last |
| Chassihöjd fram olastat | 1001mm ±25mm      |
| Chassihöjd fram lastat  | 948mm ±25mm       |
| Chassihöjd bak olastat  | 1169mm ±25mm      |
| Chassihöjd bak lastat   | 1047mm ±25mm      |

Som man kan utläsa ur tabellen är lastbilen kraftigt ”framåtlutad” när den lämnar fabriken, och fortfarande ”framåtlutad”, men inte alls lika mycket när den lastas fullt. Ekvation 3 beskriver nivåavvikelsen:

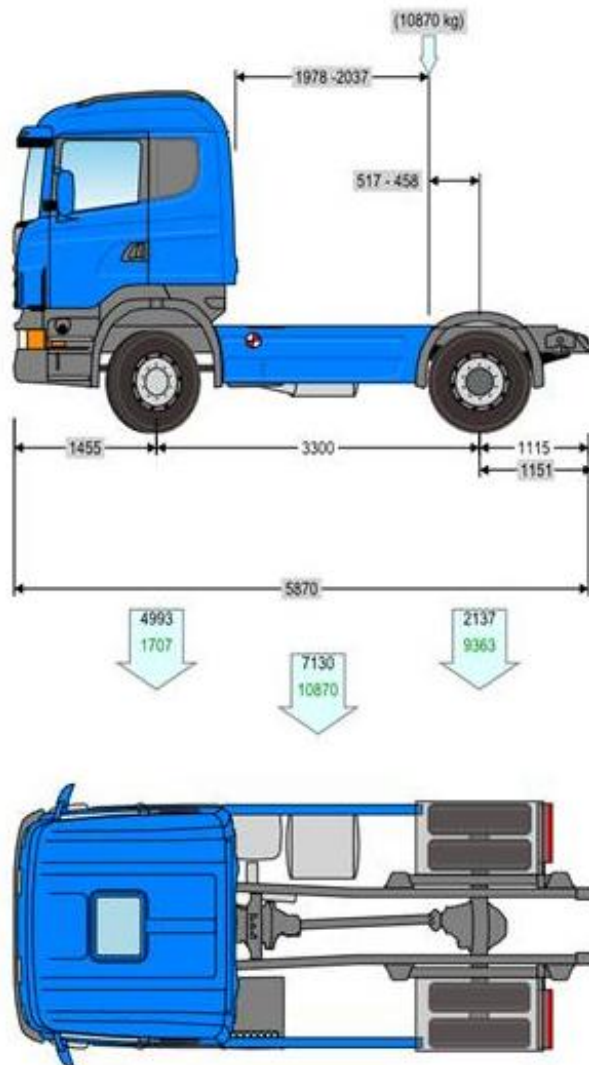
$$\frac{\text{Chassihöjd fram} - \text{Chassihöjd bak}}{\text{Axelavstånd}} = \tan \delta \quad (\text{Ekvation 3})$$

Anledningen till att fordon konstrueras att vara framåtlutade är att när fordonet lastas av kund kommer den lasten huvudsakligen att pressa ner bakfjädringen. Detta gör att bilen när den är lastad,



vilket den ska vara så ofta som möjligt<sup>7</sup>, har en relativt liten nivåavvikelse till skillnad från när den är olastad.

Som tidigare förklarats definieras det värsta fallet av en så stor skillnad på  $\delta$  som möjligt från olastat till lastat tillstånd. För LA4x2MSZ är  $\delta_{olastat} = -2,914^\circ$  och  $\delta_{lastat} = -1,718^\circ$ . Lastbilen ses i Figur 8.



Figur 8: Scania LA4x2MSZ. (Loftén, 2012)

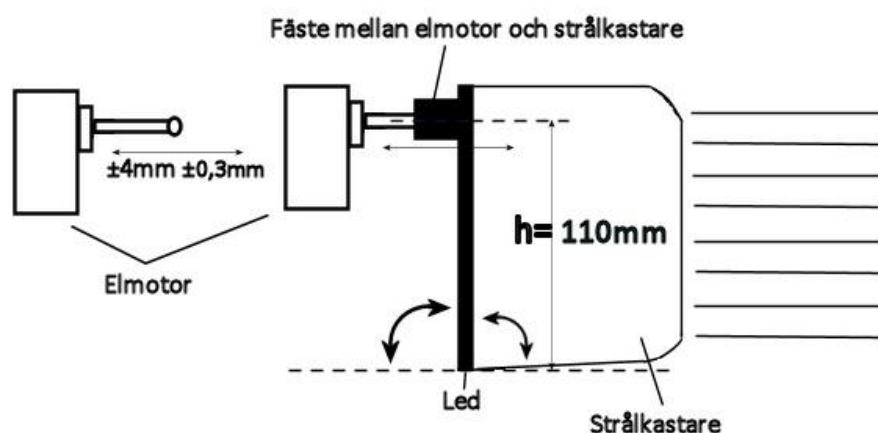
Höjden till strålkastarnas nederkant, som avgör vilket intervall nedvinklingen av strålkastarna ska hållas inom, är 791mm olastat.

## 2.2 Styrsystemet för nivåreglering (Scania CV AB, 2010)

I avsnitt 1.2 beskrivs generellt hur styrningen för belysning i Scantias fordon idag sköts av den elektriska styrenheten CUV, och hur CUV:en i sin tur kommunicerar med elsystemet i sitt fordon. Mer specifikt regleras nivån hos strålkastarna med en elmotor som skjuter strålkastarkåpan framåt och bakåt.

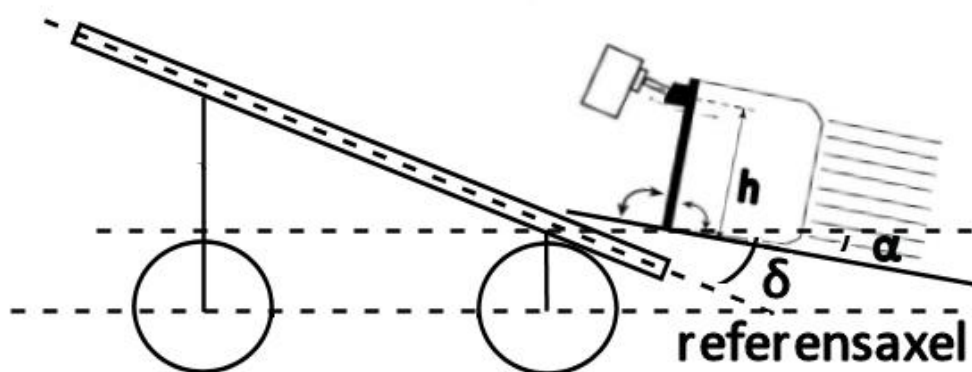
<sup>7</sup> Därför att den då kan förväntas tjäna pengar åt användaren.

Elmotorn sitter monterad i övre delen av strålkastarkåpan. Kåpan är ledad i två leder i underkant vilket gör att den kan "vicka" fram och tillbaka för att elmotorn ska kunna skjuta den till rätt läge. En skiss på hur principen ser ut ses i Figur 9. Slaglängden totalt, alltså längden elmotorn kan skjuta från sitt utgångsläge är 8mm. Felmarginalen är  $\pm 0,3\text{mm}$ .



Figur 9: Principskiss av nivåregleringen av halvljuset i profil.  $h$  är avståndet mellan leden och fästet för elmotorn.

Tillsammans utgör kåpans höjd från leden till elmotorns träffpunkt och elmotorns slaglängd en fysisk begränsning av hur mycket av fordonets nivåavvikelse som nivåregleringen kan kompensera för. Fordonets nivåavvikelse  $\delta$  påverkar strålkastarens vinkel direkt eftersom strålkastaren är monterad i fordonets chassi. I Figur 10 ses hur en framåtlutad bil, alltså med negativ nivåavvikelse, måste kompensera för denna för att strålkastarnivån ska hamna inom tillåtet intervall. I beräkningarna som följer i avsnittet används  $h=110\text{mm}$ , eftersom det är höjden mellan leden och motorns träffpunkt i den vanliga H4-strålkastaren.<sup>8</sup>



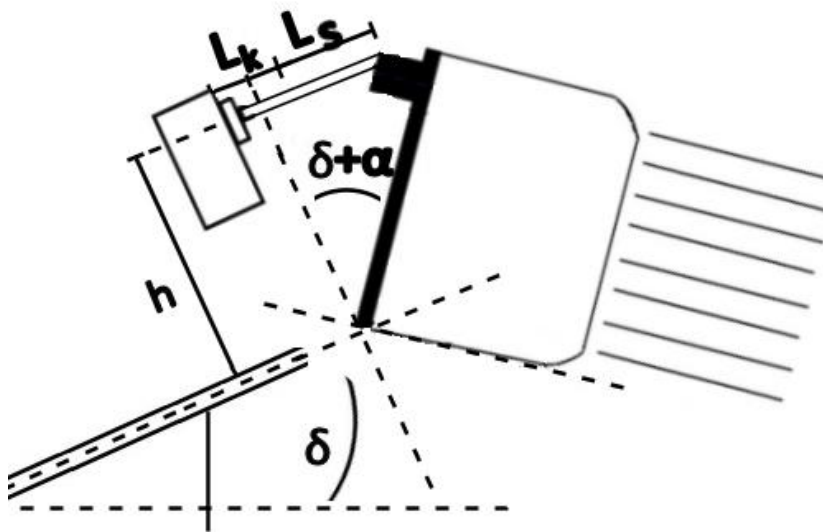
Figur 10: Strålkastarvinkel och nivåavvikelsens korrelation.  $\delta$  är i detta fall negativ.  $\alpha$  är den initiala nedvinklingen från fabrik.

Även när  $\delta$  är 0, det vill säga att fordonet är helt utan nivåavvikelse, måste nivån för strålkastaren vara riktad med en vinkel lätt nedåt enligt lagkraven i Tabell 1. Denna vinkel kallas  $\alpha$  och ses också i

<sup>8</sup> Detta är inte fallet för alla strålkastarkåpor, men H4-kåpan är den som elmotorn idag sitter monterad i.

figuren. Detta innebär att om nivåavvikelsen ändras till en vinkel  $\delta \neq 0$ , så är det vinkeln  $\delta + \alpha$  som elmotorn måste kompensera för. Om  $\delta = 0$  måste elmotorn följaktligen ge strålkastaren vinkeln  $\alpha$ .

I Figur 11 ses hur slaglängden,  $L_s$ , måste öka från ett läge där strålkastarna lyser helt parallellt med chassiaxeln, för att kompensera för  $\delta + \alpha$ . Förutom slaglängden  $L_s$ , har elmotorn en längd  $L_k$  som går att kalibrera utöver slaglängden.  $L_k$  är längden på skjutmekanismen plus avståndet till motorn som ger en vinkel på strålkastaren som inte är parallell med chassiaxeln när  $L_s = 0$ , alltså när armen är fullt inskjuten.  $L_k$  kallas för kalibrerade armlängden och kalibreras genom att man flyttar elmotorn närmare eller längre bort från träffpunkten och/eller skruvar in eller ut skruven som elmotorn sedan slår fram eller tillbaka.  $L_k$  används för att hjälpa till att anpassa nivåregleringens fysikaliska omfång så att den kan uppfylla lagkraven i alla specifika lastfall, men regleras helst endast vid montering.



Figur 11: Nivåavvikelse plus initial nedvinkling som måste kompenseras för med reglering.

Ekvation 4 beskriver sambandet mellan slaglängden,  $L_s$ , kalibrerade armlängden,  $L_k$ , kåpans höjd från leden till elmotorns träffpunkt,  $h$ , och vinkeln  $\delta - \alpha$ .  $\alpha$  är dock alltid negativ, vilket ger upphov till  $\delta - (-\alpha) = \delta + \alpha$  vilket också ses i Figur 11.

$$\frac{L_k + L_s}{h} = \tan(\delta - \alpha) \quad (\text{Ekvation 4})$$

Vinkeln  $\alpha$ , alltså värdet av den initiala nedvinklingen beror på strålkastarnas höjd över marken enligt Tabell 1. Om värdet -1,5% används som initial nedvinkling är det tillåtet för alla chassihöjder på strålkastare. -1,5% motsvarar:

$$\alpha = \arctan(-0,015) = -0,859^\circ \quad (\text{Ekvation 5})$$

$\alpha = -0,859^\circ$  motsvarar i sin tur  $L_s = 1,65\text{mm}$  i slaglängd enligt ekvation 5 om  $L_k$  är kalibrerad för att ge  $\delta + \alpha = 0$ . Det finns dock inte något som garanterar att -1,5% är optimal inställning på alla fordon från fabrik, utan denna nedvinkling används här endast för att illustrera principen för hur nivåregleringen fungerar.

### 2.2.1 Nivåregleringen i det specifika fallet LA4x2MSZ, det teoretiskt värsta tänkbara fallet

På värsta fallet av lastbil är det viktigt att det fysikaliska omfånget hos nivåregleringen klarar av att uppfylla lagkraven i tabell 1. På LA4x2MSZ sitter strålkastarna under 0,8m (0,791m) från marken vilket innebär att vid EOL ska  $\alpha$  ligga inom  $-1,0\% > \alpha > -1,5\%$ . Vid applikation, alltså för slutanvändaren, är intervallet  $-0,5\% > \alpha > -2,5\%$ .

På LA4x2MSZ är  $\delta = -2,914^\circ$  vid EOL, enligt beräkningarna<sup>9</sup> som ligger till grund för Tabell 2. För att beräkningarna om chassihöjd som ligger till grund för  $\delta$  vid EOL ska gälla för certifiering<sup>10</sup> och därmed även för godkännande av nivåregleringen måste toleranser för den beräknade chassinivån på LA4x2MSZ också tas hänsyn till. Toleransen för beräkningen av chassihöjden är  $\pm 25\text{mm}$ . Om man räknar med värsta möjliga fel blir  $\delta = -3,78^\circ$  olastat ( $-25\text{mm}$  framaxel och  $+25\text{mm}$  vid framaxel). För att hamna mitt i det tillåtna intervallet för  $\alpha$ , alltså för  $\alpha = -1,25\%$ , måste  $L_k + L_s$  då vara  $-5,88\text{mm}$  enligt ekvation 6.

$$-1,25\% \Rightarrow \arctan \frac{-1,25\%}{100} = -0,716^\circ \quad (\text{Ekvation 6})$$

$$L_s + L_k = 110 \cdot \tan(-3,780^\circ + 0,716^\circ) = -5,88\text{mm} \quad (\text{Ekvation 7})$$

$\delta = -3,78^\circ$  korrelerar mot att lastbilen är "framåtlutad" och att strålkastarna måste vinklas "upp" för att inte lysa rakt ner i marken vid maximal felberäkning av chassihöjden som underlag för fordonets nivåavvikelse.

När lastbilen är fullastad är  $\delta = -1,718^\circ$ . Med toleransen på 25mm inräknad blir denna vinkel endast  $\delta = -0,851^\circ$  ( $+25\text{mm}$  vid framaxel och  $-25\text{mm}$  vid bakaxel).

Enklast för att beskriva resonemanget är att anta att målet för regleringen bör vara det samma vid applikation som vid EOL, även om det tillåtna intervallet vid applikation är större. Om målet är att nå  $\alpha = -1,25\%$  så har man 0,75% marginal uppåt och 1,25% marginal nedåt gentemot det tillåtna intervallet. För att behålla samma  $\alpha$  som i det olastade fallet, krävs i det lastade fallet att  $L_k + L_s = -0,259\text{mm}$  enligt ekvation 9.

$$-1,25\% \Rightarrow \arctan \frac{1,25\%}{100} = -0,716^\circ \quad (\text{Ekvation 8})$$

$$L_s + L_k = 110 \cdot \tan(-0,851^\circ + 0,716^\circ) - 0,259\text{mm} \quad (\text{Ekvation 9})$$

Detta innebär att omfånget som  $L_s$  ska kunna hantera är 5,62mm, vilket är väl inom spannet för slaglängden på 8mm. Det lämnar också stort utrymme för att kunna nivåreglera belysningen även om en kund skulle missbruka sitt fordon och lasta väldigt tungt, eller om något skulle gå sönder som påverkar nivåavvikelsen.

Dessutom är beräkningen med felmarginalen högst hypotetisk. Att det skiljer med  $+25\text{mm}$  olastat och samtidigt  $-25\text{mm}$  fullastat på chassihöjden vid bakaxeln *samtidigt* som det skiljer  $-25\text{mm}$  fram olastat och  $+25\text{mm}$  fullastat från beräkningen är förmodligen fullständigt omöjligt. Det sannolika är att om det skiljer  $+X\text{mm}$  vid någon axel olastat, att det också skiljer  $\approx +X\text{mm}$ <sup>11</sup> (och inte  $-X\text{mm}$  som i

<sup>9</sup> Dessa beräkningar görs för varje fordon av programvara på Scania.

<sup>10</sup> Certifiering innebär att myndigheter ger sitt godkännande att lastbilen får framföras för sitt ändamål.

<sup>11</sup> till exempel maximala 25mm.

ovanstående resonemang) vid samma axel fullastat. Att det dessutom skiljer med motsatta tecken vid fram- och bakaxel är mycket osannolikt. Det är rimligt att anta att om lastbilen lastas så kommer tecknet på förändringen i chassihöjd fram och bak att ha samma tecken.

Anmärkningsvärt, trots den stora vinkelskillnaden i det teoretiskt värsta fallet, är att det faktiskt ska räcka med **endast två** regleringar (med dubbla tillåtna intervallet per reglering) för att klara hålla sig inom det tillåtna intervallet. Resonemanget ser ut som följer:

Det tillåtna intervallet för belysningsnivån är som tidigare beräknats  $1,146^\circ$  stort, medan differensen i  $\delta$  är  $3,780^\circ - 0,851^\circ = 2,929^\circ$ . Redan här kan man ana att tre regleringar räcker.

Antag nu att nivåavvikelsen befinner sig i det mest framåtlutade (olastade) värsta fallet ( $\delta = -3,780^\circ$ ) och att strålkastarens nivå är på randen av det tillåtna intervallet på så sätt att vinkeln har  $1,146^\circ$  "till godo" när  $|\delta|$  minskar (genom att bilen lastas).

Först när  $|\delta|$  har minskat med  $1,146^\circ$  krävs det då en nivåreglering av halvljuset. Då för att kompensera för att  $\delta = -3,780^\circ + 1,146^\circ = -2,634^\circ$ . Om man då reglerar med två gånger det tillåtna intervallet så har återigen nivåregleringen  $1,146^\circ$  till godo gentemot det tillåtna intervallet.

När  $|\delta|$  minskar ytterligare  $1,146^\circ$  krävs ännu en reglering eftersom vi då åter hamnar utanför tillåtet intervall. Då är vinkeln på  $\delta = -2,634^\circ + 1,146^\circ = -1,488^\circ$ . Alltså måste strålkastarna regleras för att klara denna nivåavvikelse. Tidigare har vi sett att  $|\delta|$  maximalt kan minska till  $-0,851^\circ$  (maxlastad). Dessutom har regleringen precis skett för att klara  $-1,488^\circ$  vilket också innebär att regleringen  $1,146^\circ$  till godo till nästa gång man hamnar utanför tillåtet intervall.

"Nästa" reglering behöver alltså aldrig ske, utan intervallet uppfylls hur tungt lastad bilen än blir. (enligt vad lastbilen får lov att lasta) Vinkelskillnaden mellan  $-1,488^\circ$  och  $-0,851^\circ$  endast är  $0,637^\circ$ , alltså ungefär halva det tillåtna intervallet för nivåregleringen. **Totalt kräver det värsta fallet teoretiskt alltså endast två regleringar för att klara sig inom tillåtet intervall.**

Det bör förstås nämnas att även om det teoretiskt går att klara sig med två regleringar, att detta förmodligen ej skulle ge "optimal" belysning för föraren, eftersom man reglerar så sällan som möjligt. Vad som är optimal nivå inom intervallet för förarens sikt ligger inte inom omfånget för detta arbete.

### 2.2.2 Felmarginal hos elmotorn

Felmarginalen på slaglängden hos elmotorn är  $\pm 0,3\text{mm}$ . Detta ger en felvinkel på  $\pm 0,273\%$  = enligt ekvation 10 vilket motsvarar  $\pm 0,156^\circ$  om  $h=110\text{mm}$ .

$$\pm \tan\left(\frac{0,3}{h}\right) \cdot 100 = \pm 0,273\% = \pm 0,156^\circ \quad (\text{Ekvation 10})$$

Om man skulle använda en strålkastarkåpa där elmotorn sitter närmare lederna i kåpan blir osäkerheten ännu större<sup>12</sup>. Skulle exempelvis avståndet minska från 110mm till 60mm skulle felmarginalen bli  $\pm 0,5\%$ . Skulle man göra motsatsen, alltså förlänga avståndet mellan motorn och lederna i kåpan så skulle man istället förbättra felmarginalen för den reglerade vinkeln.

---

<sup>12</sup> Vilket också kommer vara fallet eftersom måttet  $h=110\text{mm}$  gäller för "H4"-strålkastaren och inte för Xenon- eller LED-kåpan vilka är mindre.

## 2.3 Möjliga lösningar för att bestämma fordonets nivåavvikelse

Eftersom det är vinkeln av chassit gentemot vägplanet, det vill säga fordonets nivåavvikelse  $\delta$ , som avgör hur mycket nivån hos halvljuset måste regleras är det grundläggande för hela arbetet hur denna mätning av nivåavvikelse ska ske. Meningen är att detta avsnitt ska ge en översikt över olika möjliga och övervägda lösningar och deras för- och nackdelar.

De möjliga lösningarnas ursprung är diskussioner med kollegor på Scania, de har tillkommit med inspiration från övriga fordonsindustrins lösningar på problemet samt genom ren analys av problemet och dess kontext.

För att förenkla beslutet av vilka lösningar som ska prioriteras för vidare utveckling och test har en beslutsmatris ställts upp. För att kunna göra en rangordning bland alternativen viktas olika kriterier efter vilka alternativen sedan rankas. Hur hög ranking alternativen får beror på vilket alternativ som bäst uppfyller kriteriet. Rankingpoäng mellan 2 och -2 ges för detta. Viktningen av kriterierna har bestämts efter grundlig diskussion med arbetets handledare och analys av problemets betydelse för företaget. Vikterna av kriterierna har bestämts i förhållande till varandra och är således godtyckliga. Syftet att vikta dem på detta vis är endast att på ett strukturerat sätt visa på hur den mest lovande lösningen valts ut för vidare utveckling.

### 2.3.1 Kriterier för lösning och kriteriernas viktning

#### ***A: Noggrannhet (1)***

Noggrannheten är givetvis kritisk. Är noggrannheten för dålig är lösningen per definition inte ens en lösning om den inte klarar att uppfylla lagkraven. Detta faller dock under kriteriet F: Genomförbarhet.

Om noggrannheten är stor är det större sannolikhet att andra "framtida" applikationer kan dra nytta av informationen om fordonets nivåavvikelse. För automatisk nivåreglering räcker det dock med att man klarar att uppfylla lagkraven. Vikt 1.

#### ***B: Kostnad (7)***

Kostnaden för sensorer och tidsåtgång för montering är högprioriterat. Eftersom funktionen i sig inte säljer lastbilar, utan främst är till för att uppfylla lagkrav, ska kostnaden vara så låg som möjligt. Man får så att säga inte "betalt för funktionen" automatisk nivåreglering. Kunden köper kraftigare belysning, inte regleringen. Vikt 7.

#### ***C: Robusthet (förmodad fysisk tålighet) (4)***

Lastbilar har långa livslängder, ibland upp emot och över 200 000 mil. Dessutom körs de i tuffa miljöer såsom kring gruvor, tung industri med höga temperaturer, stora elektriska och/eller magnetiska fält o.s.v. Detta ställer höga krav på att sensorer är tåliga och långlivade. Vikt 4.

#### ***D: Enkelhet vid installation (3)***

Enkel installation betyder lägre kostnad i produktionsledet. Det medför även högre kvalitet om risken att installationen görs fel är liten. Om kalibrering sker enkelt är också detta en stor fördel. Dock kan det vara svårt att ha kännedom om hur kalibrering ska skötas innan lösningen är färdigutvecklad. Vikt 3.

### ***E: Tidigare kunskap om lösningen (2)***

Tidigare kunskap om lösningens ingående delar förenklar implementation och införande i lagersystem (särskilt om artikeln redan finns i produktion, leverantör upphandlad o.s.v.). Det medför också trygghet om hur väl lösningen kommer fungera. Vikt 2.

### ***F: Genomförbarhet (5)***

Om noggrannheten är för dålig är inte lösningen genomförbar. Andra faktorer kan också påverka genomförbarheten såsom tillgång till komponenter, komplexitet av implementation och/eller specialfall som påverkar lösningen. Vikt 5.

## **2.3.2 Lösningsförslag**

### ***2.3.2.1 Vikt på hjulaxlar i kombination med gyro och fjäderkonstanter (Karlsson, 2012)***

Om man vet vikten på vardera hjulaxel och hur mycket fjädringen reagerar på denna vikt så är det möjligt att räkna ut fordonets nivåavvikelse. Gyro krävs för att ta hänsyn till referensaxelns lutning och kompensera för att trycket inte blir lika hårt på fjädrarna om fordonet står i lutning.

**Talar för:** Det finns en gyro i en s.k. ESP (Electronic Stability Program)-sensor som finns på flera fordonsvarianter. Om man kan få reda på vikten på de olika axlarna har man löst flera problem på en gång. Detta är i dagsläget en frågeställning som det arbetas mycket med på Scania.

**Talar emot:** På bladfjädrade fordon har man på Scania i dagsläget inte information om vikten på respektive axel. Även om man vet totalvikten vet man inte var tyngdpunkten ligger.

### ***2.3.2.2 Mätning av tryck i hjul för att veta kompression hos bladfjädringen (Kasumovic, 2012) (Karlsson, 2012)***

Man kan tänka sig att det vore möjligt att mäta trycket i däcken för att få reda på vikten på de olika hjulaxlarna i likhet med föregående lösningförslag.

**Talar för:** Om man kan få reda på vikten på de olika axlarna har man löst flera problem på en gång. Detta är i dagsläget en frågeställning som det arbetas mycket med på Scania.

**Talar emot:** Däck utvidgas vid olika temperaturer. De åldras också och får olika karaktär beroende på hur fordonet körs. Det blir inte praktiskt möjligt att dra tillräckligt precisa slutsatser av hjultrycket. Dessutom, att mäta hur fjädringen reagerar på vikt fungerar eventuellt dugligt när bilen är ny, men med rost, slitage m.m. blir det inte möjligt att med vikten beräkna fordonets nivåavvikelse.

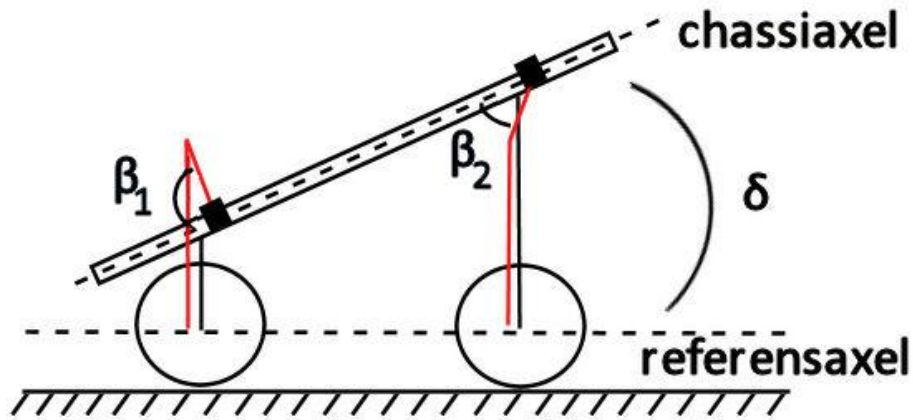
### ***2.3.2.3 Vinkelsensorer som mäter avståndet mellan chassi och hjulaxlar (Dirhoussi, 2012)***

På luftfjädrade fordon sitter ett system som med pneumatik reglerar fordonets nivåavvikelse. För att bestämma detta använder styrsystemet vinkelsensorer som är kopplade med en arm mellan chassi och hjulaxel. När avståndet ändras roterar vinkelsensorn, och informationen den ger blir alltså ett direkt mått på avståndet mellan hjulaxlar och chassi.

Lösningen kan användas med en eller flera sensorer, där noggrannheten ökar med antalet sensorer. Om bara en sensor används, görs detta med fördel på den axel där nivåskillnaden mellan olastat och lastat är som störst för att vinkelsensorns felmarginal ska få så liten inverkan som möjligt.

Vinkelsensorn som i första hand kan komma i fråga är den som de luftfjädrade fordonen använder. Dessa kostar runt 10 €/st och är en väl beprövad sensor med artikelnummer och upphandlad leverantör (Dirhoussi, 2012). (Kasumovic, 2012)

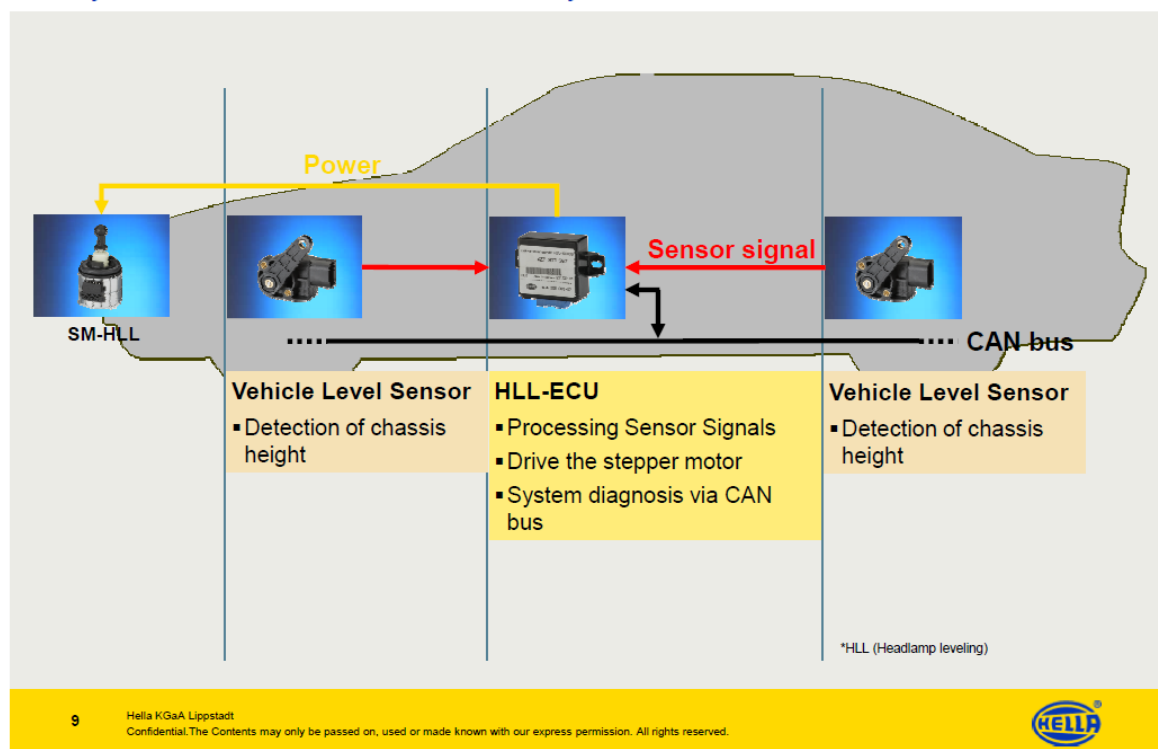
I Figur 12 ses hur vinkeln  $\beta_1$  korrelerar mot avståndet mellan referensaxel och den vänstra hjulaxeln. Vinkel  $\beta_2$  korrelerar följaktligen mot avståndet mellan chassit och den högra hjulaxeln.



Figur 12: Vinkelsensorer som mäter avstånd mellan chassi och hjulaxlar.

Denna lösning är principiellt den samma som Hella KGaA Hueck & Co marknadsför och används av flertalet personbilstillverkare. En schematisk bild på deras lösning syns i Figur 13. (Krauss, 2012)





Figur 13: Princip för automatisk nivåreglering med vinkelsensorer. Hellas variant. Figuren använd med tillåtelse från Hella. (Krauss, 2012)

**Talar för:** Lösningen finns redan på luftfjädrade fordon. Vinkelsensorn existerar som artikel och är väl beprövad. Sensorerna har bedömts fungera tillfredsställande på luftfjädrade fordon. Lösningen används av väldigt många personbilstillverkare.

**Talar emot:** Armen som styr vinkelsensorn sitter i ett utsatt läge för slitage. Tidigare försök med avståndsmätning, då med fokus på att bestämma vikten på olika axlar, har inte förkastats men ligger på is, då försöken bedömdes för kostsamma att utveckla. Man tyckte också då att armen som kopplade samman givare med axlar inte var tillräckligt robust. (Scania CV AB, 2010)

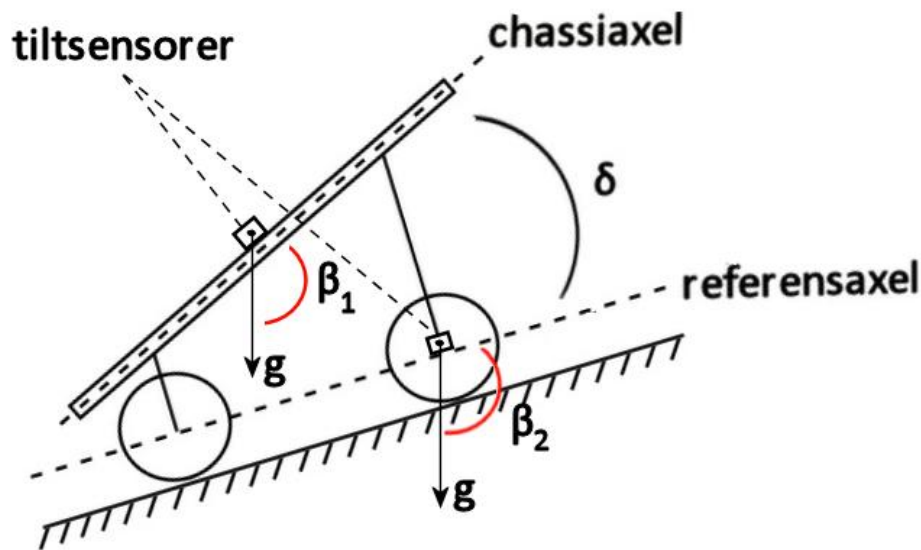
#### 2.3.2.4 Två (eller flera) lutningssensorer. Skillnad i vinkel till gravitationsfältet mellan chassi axeln och referens axeln (Egen idé)

Om man kan mäta skillnaden i vinkel mellan chassi axeln och referens axeln gentemot jordens gravitationsfält,  $g$ , kan man beräkna vinkeln på fordonets nivåavvikelse. En möjlighet är därför att sätta en (eller flera) lutningssensorer<sup>13</sup> som mäter chassits vinkel gentemot  $g$ , och en (eller flera) tilsensorer på hjulaxlarna eller på hjulupphängningen med avseende att  $g$  referens axelns vinkel gentemot  $g$ .

Differensen mellan chassits vinkel gentemot  $g$  och referens axelns vinkel mot  $g$  är  $\delta$ . I Figur 14 ses ett fordon på en lutande väg.  $\beta_1$  är vinkeln mellan  $g$  och chassi axeln och  $\beta_2$  är vinkeln på referens axeln gentemot  $g$ , alltså hur mycket vägen lutar. Ekvation 11 beskriver sambandet mellan  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  och  $\delta$ .

<sup>13</sup> Ibland också benämnt tilsensor.

Vinkelsensorer med felmarginal på  $0,06^\circ$  som kostar ungefär 1000kr/st skulle kunna användas. (Karlsson, 2012)



Figur 14: Mätning av fordonets nivåavvikelse på lutande väg med hjälp av två tilsensorer.

$$\beta_1 - \beta_2 = \delta \quad (\text{Ekvation 11})$$

**Talar för:** Enkel lösning om robusta sensorer med hög känslighet går att hitta. Försök med vinkelsensorer har tidigare gjorts på Scania, då i syfte att bestämma vikten på hjulaxlarna. Försöket var relativt lyckat. Det finns ett gyro i vissa fordons bromssystem som kanske kan användas för att ge  $\beta_1$ .

**Talar emot:** Måste hitta sensorer som klarar mätningarna med tillräckligt hög precision och i tuff miljö.

### 2.3.2.5 Ultraljud (Dirhoussi, 2012)

En möjlighet är att med ultraljud mäta avståndet mellan chassi och hjulaxlar. Man mäter tiden det tar för en högfrekvent ljudvåg, som skickas ut av en ultraljudsändare i chassit och som studsar mot en hjulaxel, att ta sig till en mottagare. Genom att man vet hur snabbt ljudvågen rör sig och hur lång tid det tar för den att ta sig tillbaka till mottagaren kan avståndet beräknas.

Ultraljudmembran säljs t.ex. av ELFA för 489kr/st. Förutom dessa behövs ett styrkort om implementering inte kan ske i någon befintlig styrenhet. Styrenheten kostar 619kr/st och precisionen är på 1% inom räckvidden på 10m. (ELFA distrelec, 2012)

**Talar för:** Hög noggrannhet. Störningar kan filtreras bort. Man behöver bara installera komponenter på chassi.

**Talar emot:** Ultraljud använder känsliga sensorer och högtalare som kräver fina membran för att fungera. Tungta fordon verkar ofta i mycket tuffa miljöer, som till exempel höga temperaturer, stora magnet- och elektriska fält, och det är mycket sannolikt att det inte går att hitta ultraljudkomponenter som klarar sådana förhållanden. (Karlsson, 2012) (Kasumovic, 2012)

### **2.3.2.6 Harmonisk radar (*Egen idé*)**

Harmonisk radar är en teknik som används för att kartlägga invertebraters rörelsemönster och för att lokalisera lavinoffer (systemet kallas RECCO och har utvecklats av företaget med samma namn). Metoden fungerar så att en transceiver skickar ut en frekvens som tas emot av en resonansdiod. Resonansdioden i sin tur skickar tillbaka signalen med dubbla frekvensen mot signalen som den tagit emot. På så vis kan en resonansdiod detekteras på ett visst avstånd som beror på tiden det tar för diodsvaret att nå transceivern. (Tahir & Brooker, 2011)

**Talar för:** Resonansdioden är mycket billig. Den är dessutom en passiv komponent som inte behöver någon spänningskälla. Avståndet som ska mätas på ett fordon är relativt litet i jämförelse med traditionella applikationer för metoden och kan därför förväntas ge bättre noggrannhet i avståndsmätningen än traditionella applikationer. Avståndsintervallet som mäts är väldefinierat från transceiver till resonansdiod vilket innebär att man borde kunna sortera bort signaler som studsar i vägbanan och andra föremål.

**Talar emot:** Metoden har historiskt haft problem med att filtrera ut diodsvaret effektivt. Transceivern kan vara tung och dyr. Enligt RECCO själva kommer noggrannheten inte bli god vid fuktiga förhållanden. (Brugge, 2012)

### **2.3.2.7 Avståndsmätning med laser (*Kasumovic, 2012*)**

Med laser kan man mäta avstånd med samma princip som med radar. Den korrekta beteckningen för avståndsmätning med laser är LIDAR (Light Detection and Ranging). Metoden används inom en mängd olika områden, till exempel för att skanna av ytor och deras topologi, för att mäta avstånd i alla typer av konstruktioner o.s.v.

**Talar för:** Mycket stor noggrannhet och relativt billiga komponenter. Behöver bara installeras på chassi.

**Talar emot:** Optiken kan bli smutsig och sluta fungera i tuffa miljöer.

## **2.3.3 Beslutsmatris**

Även om en beslutsmatris ofta kan verka ad hoc, och att viktningen av de olika kriterierna kan verka godtycklig så ger ändå metoden en god fingervisning om vilka alternativ som har bäst förutsättningar att lösa problemet givet de olika kriterierna. Beslutsmatrisen som utarbetats ses i Tabell 3.

Tabell 3: Beslutsmatris för möjliga lösningar till att mäta nivåavvikelsen. Summa beräknas genom att ta summan av produkterna av rankingpoäng och respektive kriteriums vikt.  $\sum Rank \cdot Vikt$ .

|                         | A:Noggrannhet (1) | B:Kostnad (7) | C:Robusthet (4) | D:Enkelhet inst. (3) | E:Erfarenhet av lösn. (2) | F:Genomförbarhet (5) | Summa |
|-------------------------|-------------------|---------------|-----------------|----------------------|---------------------------|----------------------|-------|
| Vikt hjulaxlar          | -2                | -1            | 2               | 1                    | -2                        | -2                   | -12   |
| Tryck i hjul            | -2                | -1            | 1               | 1                    | 2                         | -2                   | -8    |
| 1 st vinkelsensor       | 0                 | 2             | 1               | 2                    | 2                         | 2                    | 37    |
| 2 st vinkelsensorer     | 1                 | 1             | 2               | 1                    | 2                         | 2                    | 32    |
| Lutningssensorer        | 2                 | -1            | 1               | 0                    | 0                         | 2                    | 7     |
| 1 st ultraljudssensor   | 1                 | 0             | -1              | 0                    | -1                        | 0                    | -5    |
| 2 st ultraljudssensorer | 2                 | -1            | 0               | 0                    | -1                        | 0                    | -7    |
| Harmonisk radar         | -1                | -2            | -2              | 0                    | -2                        | -1                   | -32   |
| 1 st laser              | 2                 | 0             | -2              | 0                    | -1                        | -2                   | -18   |
| 2 st laser              | 2                 | -1            | -1              | 0                    | -1                        | -2                   | -21   |

Enligt beslutsmatrisen bör alltså en lösning med 1 st. vinkelsensor prioriteras. Motivering av detta även utan beslutsmatrisen är inte svårt.

Vinkelsensorn används redan på luftfjädrade bilar. Sensorn är välkänd och montering och kalibrering är färdiga rutiner vid produktion av fordonen. Dessutom är den mycket billigare än de andra alternativen. Om det är möjligt att uppnå tillräcklig noggrannhet för nivåregleringen för att uppfylla lagkraven med endast en vinkelsensor så verkar denna lösning vara det klart bästa alternativet.

### 3. Avsnitt 3 – Vidare utveckling av utvald lösning

#### 3.1 Vidare utveckling av lösningen med en vinkelsensor

Enligt beslutsmatrisen i 2.3.3 och efter diskussioner med kollegor på Scania beslutades att denna lösning var den mest lovande och den som skulle prioriteras högst för vidare utveckling. Stötefrågan blir om det är möjligt att uppfylla lagkraven med endast en sensor.

Avsnittet innehåller en redogörelse för förutsättningar för lösningen. Förutsättningarna är det teoretiska ramverket som är utgångspunkt för att bedöma om lösningen är genomförbar. Därefter följer en redogörelse över vilka komponenter som används och en motivering till varför dessa behövs och hur de valts ut eller tillverkats. Sist kommer en beskrivning av modellen som utvecklats och som är programmerad för styrenheten.

##### 3.1.1 Förutsättningar för automatisk nivåreglering av strålkastarna med endast en vinkelsensor

För det värsta möjliga fallet av lastbil konstaterades det att det räcker med så få som två regleringar för att alltid klara att hålla sig inom tillåtet intervall (avsnitt 1.1). Teoretiskt ska det alltså räcka med två säkra mätpunkter av nivåavvikelsen för att klara detta.

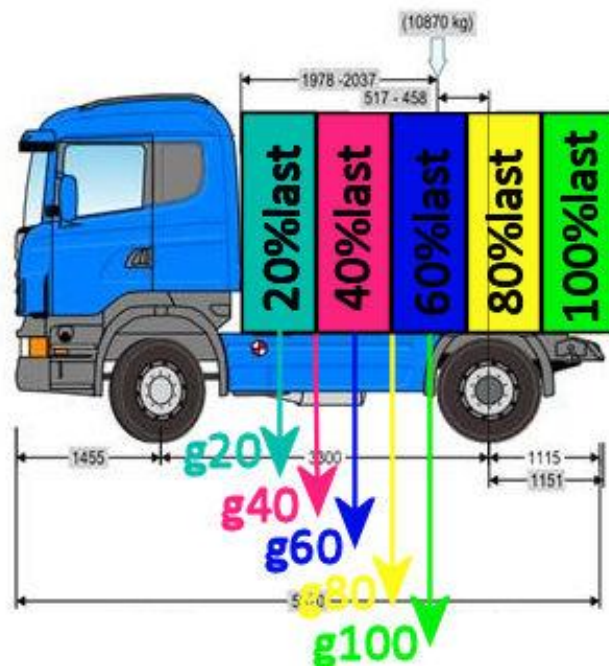
Om det ska vara möjligt att sköta nivåregleringen automatiskt med information från endast en sensor så gäller det att ett kriterium måste vara uppfyllt: *Det uppmätta avståndet mellan chassi och hjulaxel måste korrelera mot nivåavvikelsen*. Om detta inte är uppfyllt så kan regleringen inte ske så att man säkert vet att lagkraven är uppfyllda för alla lastfall. Känner man korrelationen mellan sensorns läge och nivåavvikelsen tillräckligt väl, för alla lastfall, så kan man interpolera mellan  $\delta_{olastat}$  och  $\delta_{fullastat}$  och därmed veta hur mycket man måste reglera strålkastarnivån.

Att lasten läggs på lastbilen så att sensorn ger ett linjärt utslag mellan  $\delta_{olastat}$  och  $\delta_{fullastat}$  går tyvärr inte att förutsätta. Detta kommer undersökas empiriskt genom montering av sensor på en lastbil och beskrivs i avsnitt 4. Det man kan säga är att det finns två varianter av lastscenarion som ställer till problem.

De två extremerna är om man har väldigt tung last innerst och lätt last ytterst, respektive det motsatta. Att man har väldigt lätt last innerst och tung last ytterst. Ändpunkterna är dock de samma -  $\delta_{olastat}$  och  $\delta_{fullastat}$ . Det går endast att uppskatta hur mycket som är rimligt att lasta som "tung" last innerst respektive ytterst för de två fallen.

Om man antar att fordonet successivt lastas från framaxel mot bakaxel, d.v.s. att man fyller på så långt in som möjligt så länge det går, så hittar man inte extremerna. Däremot man kan anta att lastning ofta sker på detta vis.

Det värsta lastfallet för normal lastning är då det fall där chassit **sjunkit mot framaxeln mest** i förhållande till hur mycket **chassit sjunkit mot bakaxeln**. Detta beror på att om man bara har lastat nära framaxeln så kommer lastens tyngdpunkt också vara förskjuten åt detta håll. Därför kommer lasten att ge ett större utslag på chassinivån över framaxeln i "början" av lastningen, medan fallet blir tvärt om i "slutet". Se principen i Figur 15.



Figur 15: Lastbil successivt lastad innerst först och tyngdpunktens förflyttning vid ökande last.

Var tyngdpunkten hamnar i förhållande till axlarna beror förstås på hur tung lasten är på olika ställen. Det antas för enkelhets skull att lasten och dess massa är likformigt fördelad enligt figuren. Det är viktigt att notera att det inte är möjligt att lasta framför framaxeln. Lite last kommer hamna bakom bakaxeln för att tyngdpunkten ska hamna där den anges i figuren (pilen med 10870kg).

Alla mekaniska samband som följer är härledda ur "Krafter" (Gustavsson & Austrell, 2003) från Lunds tekniska högskola.

Följande samband kan ställas upp:

$x_1$ : avstånd till lastens tyngdpunkt från framaxel

$x_2$ : avstånd till lastens tyngdpunkt från bakaxel

$g$ : lastad vikt,  $0 \leq g \leq 1$

Ur Figur 15:

$$805 \text{ mm} \leq x_1 \leq 2842 \text{ mm}$$

$$458 \text{ mm} \leq x_2 \leq 2495 \text{ mm}$$

Lastens tyngdpunkt förflyttas maximalt 2037mm.

I det likformiga fallet gäller att om vi exempelvis lastar 25% av maxlast, så kommer tyngdpunkten flyttas 25% av 2037mm till höger.

$$g = 0,25 \rightarrow \begin{cases} x_1 = 805 + 0,25 \cdot 2037 = 1314 \text{ mm} \\ x_2 = 2495 - 0,25 \cdot 2037 = 1986 \text{ mm} \end{cases}$$

Kraften på respektive axel beskrivs av ekvation 17.

$$F_{\text{framaxel}} = \frac{3300 - x_1}{3300} \cdot mg = mg - \frac{x_1 mg}{3300} \quad (\text{Ekvation 17})$$

$$F_{bakaxel} = \frac{3300-x_2}{3300} \cdot mg = mg - \frac{x_2 mg}{3300} \quad (\text{Ekvation 18})$$

Detta göra att som mest kan framaxeln ta (mg förkortas bort, inte det likformiga fallet):

$$\frac{F_{framaxel}}{F_{framaxel}+F_{bakaxel}} = \frac{1-\frac{805}{3300}}{\left(1-\frac{805}{3300}\right)+\left(1-\frac{2495}{3300}\right)} = 0,756 \quad (\text{Ekvation 19})$$

Alltså 75,6% av hela lastvikten förutsatt att tyngdpunkten för denna vikt är längst möjligt till vänster.

För bakaxeln gäller motsvarande (inte det likformiga fallet):

$$\frac{F_{bakaxel}}{F_{framaxel}+F_{bakaxel}} = \frac{1-\frac{458}{3300}}{\left(1-\frac{2842}{3300}\right)+\left(1-\frac{458}{3300}\right)} = 0,861 \quad (\text{Ekvation 20})$$

Dessa värden betyder att om tyngdpunkten är lokaliserad maximalt åt vänster så tar framaxeln 75,6% av vikten, medan om är tyngdpunkten så långt bak som möjligt så bär bakaxeln 86,1% av vikten. Om vi antar den likformiga lasten kommer framaxeln att ta 75,6% av 0% last, medan med 100% last så kommer bakaxeln att bära 86,1% utav denna.

Vid 25% last, likformigt fördelad enligt Figur 15, blir förhållandena enligt ekvation 21:

$$\frac{F_{framaxel}}{F_{framaxel}+F_{bakaxel}} = \frac{1-\frac{805+0,25 \cdot 2037}{3300}}{\left(1-\frac{805+0,25 \cdot 2037}{3300}\right)+\left(1-\frac{2495-0,25 \cdot 2037}{3300}\right)} = 0,602 \quad (\text{Ekvation 21})$$

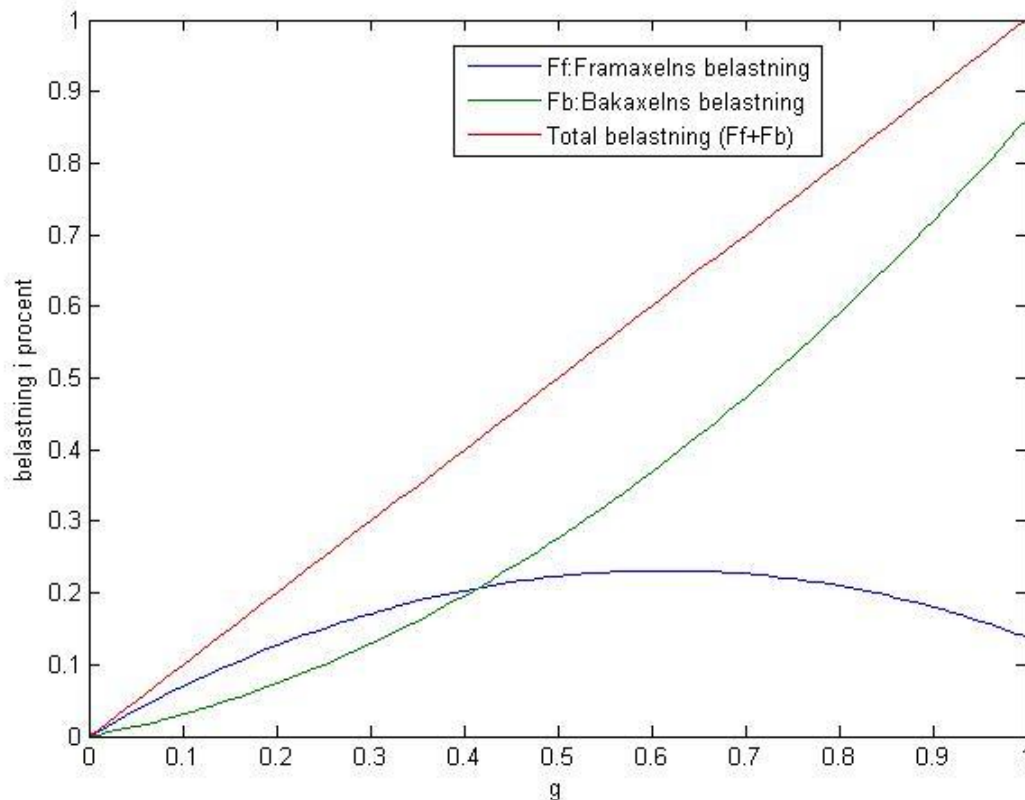
I det fallet kommer framaxeln att bära ca 60% av 25% last, medan bakaxeln bär ca 40% av 25% last.

Om vi varierar tyngdpunktens placering mellan noll och 1, d.v.s. att vi låter den röra sig från maximalt vänster till maximalt höger, och dessutom multiplicerar med mängden last kommer vi få en kurva för hur kraften på axlarna fördelar sig i det likformiga fallet. Detta beskrivs av ekvation 22-23.

$$F_{framaxel}(g) = \frac{1-\frac{805+g \cdot 2037}{3300}}{\left(1-\frac{805+g \cdot 2037}{3300}\right)+\left(1-\frac{2495-g \cdot 2037}{3300}\right)} \cdot g \quad (\text{Ekvation 22})$$

$$F_{bakaxel}(g) = \frac{1-\frac{2495-g \cdot 2037}{3300}}{\left(1-\frac{805+g \cdot 2037}{3300}\right)+\left(1-\frac{2495-g \cdot 2037}{3300}\right)} \cdot g \quad (\text{Ekvation 23})$$

Resultatet ses i Figur 16.



Figur 16: Axlarnas belastning i förhållande till varandra och till total last i det likformiga fallet i Figur 15.

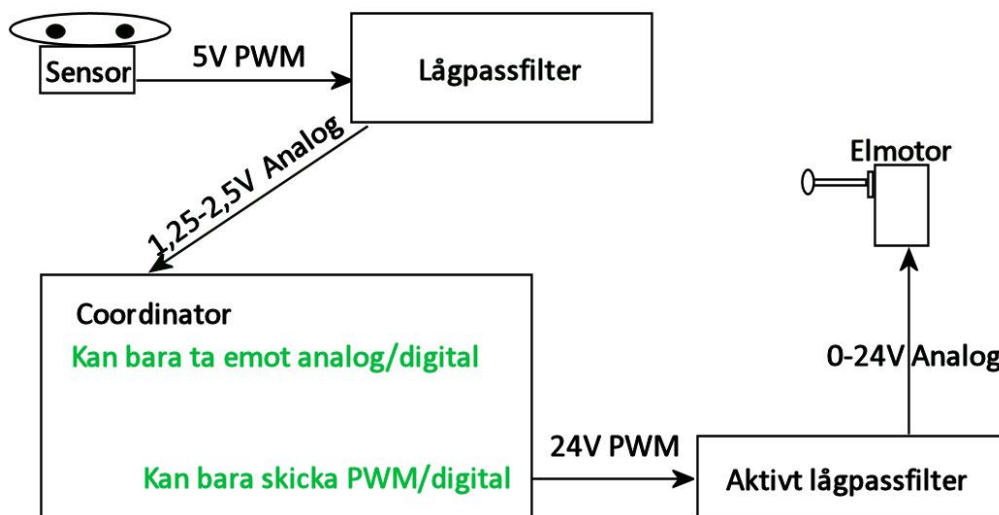
Anmärkningsvärt är att belastningen på framaxeln knappt ökar alls efter ungefär 60% last. Detta beror på att tyngdpunktsförflyttningen av ytterligare last gör att den nästan uteslutande kommer att ge ett bidrag till trycket på bakaxeln. Det är inte särskilt svårt att förstå, eftersom lasten läggs på längre och längre bak på bilen.

Detta gör att efter en viss mängd last, i detta visserligen speciella lastfall, bör en sensor vid framaxeln sluta ge ett användbart utslag för ökande last. Därför är det betydligt sannolikare att en sensor vid bakaxeln klarar av att ge ett användbart utslag genom hela detta lastscenario.

### 3.2 Komponenter i prototyplösningen

Flera olika komponenter används i prototypen av den automatiska nivåregleringen. Hela signalkedjan ses i Figur 17.





Figur 17: Signalomvandlingsschema.

### 3.2.1 Vinkelsensorn som mäter avstånd mellan hjulaxlar och chassi

Vinkelsensorn som används till lösningen är densamma som styrsystemet ELC använder för att mäta chassihöjden över hjulaxlarna på luftfjädrade fordon. Fördelen med detta är att det är en välkänd, beprövad artikel och att det är enkelt att köpa fler från tillverkaren, vilket också kan förmodas ge ett lägre pris vid upphandling<sup>14</sup>.

Vinkelsensorn tar  $24 \pm 8V$  DC matningsspänning och lämnar en 5V PWM-signal (Pulse Width Modulation, se avsnitt 3.2.4) på 200Hz. Dess omfång är  $120^\circ$  rotation varemellan den lämnar 10-90% duty cycle. Eftersom koordinatoren inte kan behandla PWM-signaler måste signalen omvandlas till en analog signal med ett lågpasfilter. (Wabco, 2012)

Beroende på hur sensorn monteras inducerar felmarginalen från nivåsensorerna en felmarginal i nivåregleringen av halvljuset. Signalen från vinkelsensorn har typiskt en tolerans på  $\pm 1\%$ . (Scania CV AB, 2010)

Beroende på hur man fäster nivåsensorn och mekanismen som är kopplad mellan chassi och hjulaxlar kommer detta fel att ge olika stor påverkan på den automatiska nivåregleringen. Därför är det viktigt att man försöker få så stor utväxling i kopplingen mellan chassit och hjulaxeln som möjligt för att marginalisera felet i största möjliga mån. Med stor utväxling menas att sensorn ger ett så stort utslag som möjligt för en förändring i avståndet mellan chassit och hjulaxeln. Detta åstadkoms genom väl valda dimensioner på armarna i kopplingen mellan sensor och fästpunkt på chassi/hjulaxel.

Eftersom utväxlingen avgör hur stor felmarginalen blir för olika chassinivåer är det inte riktigt någon mening att beräkna hur stor inverkan detta har förrän proportionerna på armarna som bestämmer utväxlingen har bestämts. I test av lösningen med en vinkelsensor bör det också gå att dra slutsatser om hur mycket felmarginalen påverkar resultatet.'

<sup>14</sup> Om man förutsätter att en högre kvantitet medför ett lägre pris.

Hur sensorn kan monteras ses till exempel i Figur 27 och Figur 31. Där ses också olika proportioner på armarna som förbinder sensorn och chassi/hjulaxel.

### 3.2.2 Elmotorn som styr den fysiska nivåregleringen

Elmotorn som styr nivåregleringen tar en analog styrsignal på mellan 0-24V DC och matning på 24V. Vid 24V styrsignal slår motorn 8mm och vid 0V styrsignal slår den 0mm. Slaglängden betecknas som tidigare med  $L_s$ . Felmarginalen är som tidigare  $\pm 0,3\text{mm}$ . (Scania CV AB, 2010)

### 3.2.3 Lågpasfilter

Komponenterna som används i vidareutvecklingen av lösning med endast en vinkelsensor kräver att vissa signaler omvandlas från PWM-signaler till analoga signaler. Detta gäller signalen från vinkelsensorn som skickar ut en 200Hz PWM-signal, medan COO endast kan ta emot antingen digitala eller analoga signaler.

Det samma gäller elmotorn som styr nivåregleringen. Den kan endast utnyttja en styrsignal som är analog, samtidigt som COO bara kan skicka ut digitala signaler eller PWM-signaler. Därför behövs två lågpasfilter för att konvertera de respektive PWM-signalerna till analoga signaler. Figur 17 beskriver signalernas typ och väg från sensor till elmotor.

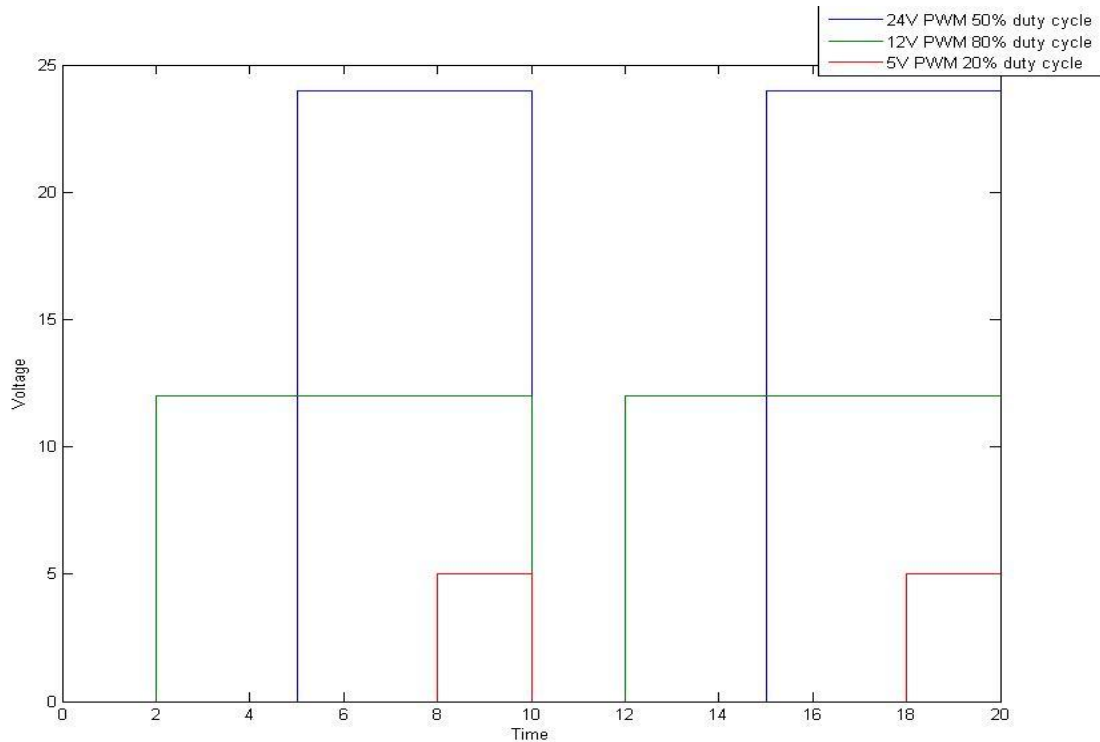
### 3.2.4 PWM – pulse width modulation

PWM signalen är en mycket vanlig typ av signal som varierar mellan två lägen. Ofta 0V och 5V (som i fallet för utsignalen från sensorn), men det kan också vara 0V och andra spänningar. Utsignalen från COO varierar mellan 0V och 24V.

Det som man reglerar i en PWM-signal är dess duty cycle och dess frekvens. Signalens duty cycle är andelen som signalen är på sitt höga värde i förhållande till sitt låga och kan således varieras mellan 0% och 100%. På detta vis motsvarar signalens duty cycle mot vilket analogt värde signalen ska efterlikna. Exempelvis motsvarar en 24V PWM-signal med 50% duty cycle 12V hos en analog signal. Hos en 10V PWM (som då varierar mellan 0V och 10V) med 10% duty cycle är motsvarigheten en analog signal på 1V.

Just att man reglerar duty cycle konnoterar namnet "pulse width modulation". Det är ju just bredden på vågtopparna som styr hur många procent utav maxvärdet på signalen som efterliknas i den

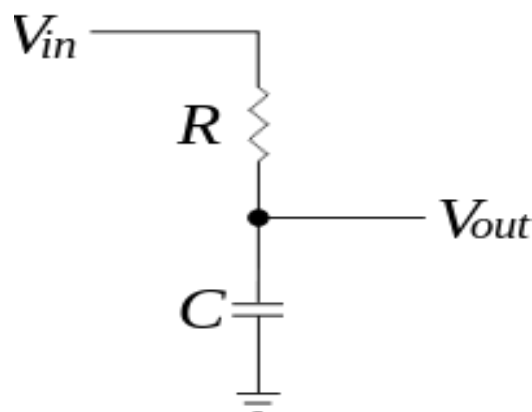
analoga motsvarigheten. Se Figur 18 för att se hur tre olika PWM signaler kan se ut.



Figur 18: Tre olika PWM-signaler med olika duty cycle. 24V-signalen motsvarar en 12V analog signal. 12V-signalen motsvarar 9,6V analog signal och 5V-signalen motsvarar 1V analog signal. Frekvensen här är 1/10.

### 3.2.5 Lågpasfilter + PWM-signal = analog DC-signal (Molin, 2009)

För att göra om en PWM-signal till sin analoga motsvarighet använder man lågpasfilter. Lågpasfilter gör precis vad det låter som, de låter låga frekvenser passera, medan höga frekvenser klipps bort (förstärks negativt). Den enklaste varianten av lågpasfilter ses i Figur 19.

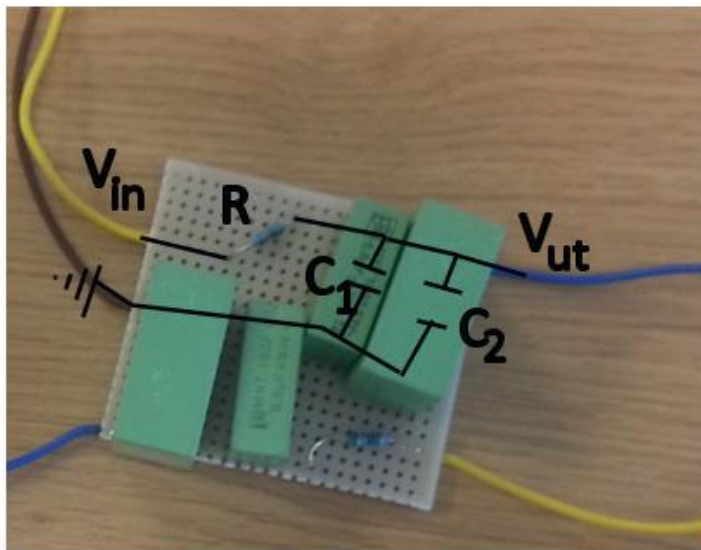


Figur 19: 1:a ordningens passiva lågpasfilter. (Wikimedia Commons, 2009)

Beroende på vilken frekvens PWM-signalen har så måste filtret anpassas för att ge utsignalen från filtret önskade egenskaper. Ekvation 24 beskriver sambandet mellan vid vilken frekvens signalen har försvagats med 3dB, den s.k. cut off-frekvensen,  $f_c$ , och lågpasfiltrets komponenter.

$$\frac{1}{2\pi \cdot RC} = f_c \quad (\text{Ekvation 24})$$

Ett filter av typen i figur 23 används för att filtrerar signalen från vinkelsensorn. Värde på komponenterna är  $R=10k\Omega$ ,  $C=16,8\mu F$ . Detta ger  $f_c=0,95Hz$ . Det tillverkade filtret ses i Figur 20.

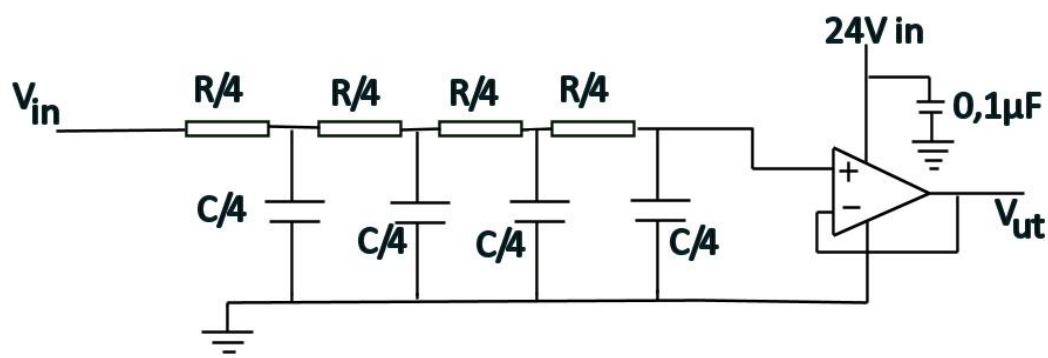


Figur 20: Två tillverkade passiva lågpasfilter av grad 1.

Nackdelen med passiva lågpasfilter av första graden är att man får ett spänningsfall från  $V_{in}$  till  $V_{ut}$ . Detta kan avhjälpas genom att man installerar en OP-förstärkare i kretsen. Dessutom kan man enkelt höja graden på lågpasfiltret genom att seriekoppla flera stycken RC-kretsar. Det resulterar i en högre "slope" vilket innebär att försvagningen av frekvenser större än  $f_c$  ökar snabbare med högre frekvenser än med ett filter av lägre grad. Man pratar om ett "brantare" filter.

Till en början tillverkades endast passiva filter av första graden enligt Figur 20, men dessa filter gav inte önskad prestanda för signalen till elmotorn. Dels blev spänningsfallet för stort (spänningsfall medför ett mindre omfång för elmotorn), och samtidigt blev filterverkan inte tillfredsställande. Detta gjorde att elmotorn som styr nivåregleringen inte betedde sig som den skulle.

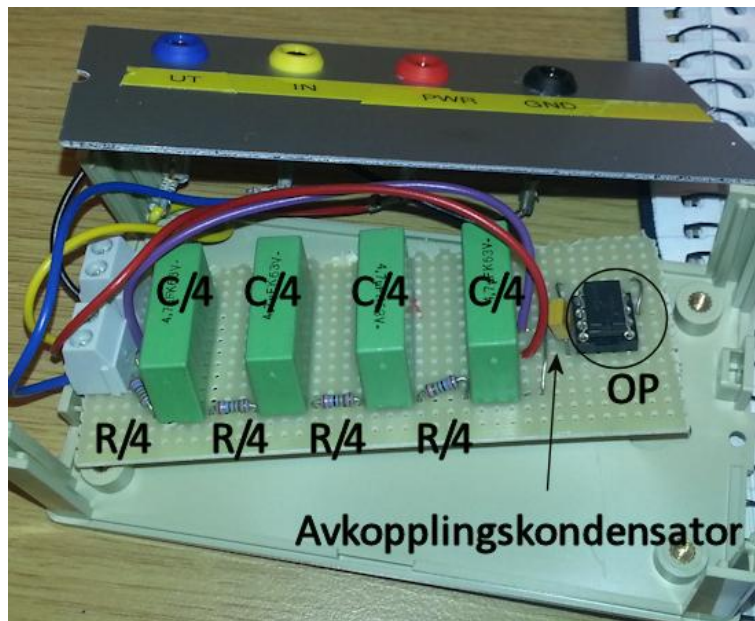
Istället tillverkades ett aktivt lågpasfilter av fjärde graden enligt Aktivt lågpasfilter av grad 4. OP-förstärkaren matas med 24V och har en avkopplingskondensator på  $0,1\mu F$ . Totalt användes samma värden på komponenterna, bara att de delades upp i fyra delar för att ge ett mycket brantare filter.  $f_c$  var således samma frekvens.



Figur 21: Aktivt lågpasfilter av grad 4. OP-förstärkaren matas med 24V och har en avkopplingskondensator på  $0,1\mu F$ .

Avkopplingskondensatorn är till för att filtrera bort högfrekvent brus i matningen och för att förhindra självsvängningar i återkopplingen hos OP-förstärkaren.

I Figur 22 kan man se hur ett av de tillverkade aktiva lågpasfilterna ser ut.



Figur 22: Fotografi på ett färdigt aktivt lågpasfilter.

### 3.3 Teststation

En del av examensarbetet har gått ut på att konstruera en flexibel teststation för att testa programvara tillsammans med olika komponenter. I detta examensarbete är det elmotorer som sköter nivåregleringen av strålkastarna som ska styras med hjälp av en styrenhet med en programvara i. Programvaran i sin tur läser in data från sensorer och ger styrsignal till elmotorerna.

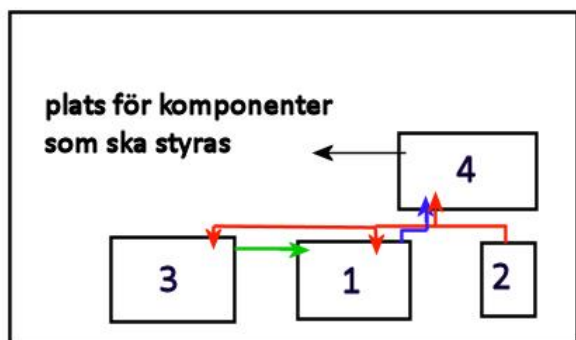
Även om teststationen är en viktig del i detta examensarbete ska den kunna användas för test av framtida applikationer på Scania's fordon också. Principen som används på Scania är MBD – modellbaserad design, där man bygger modeller i en dator (i Scania's fall Simulink) som sedan kompileras och laddas in i en hårdvara och utför de uppgifter som ålagts modellen.

Sammantaget fanns flera viktiga kriterier att ta hänsyn till vid byggandet av teststationen:

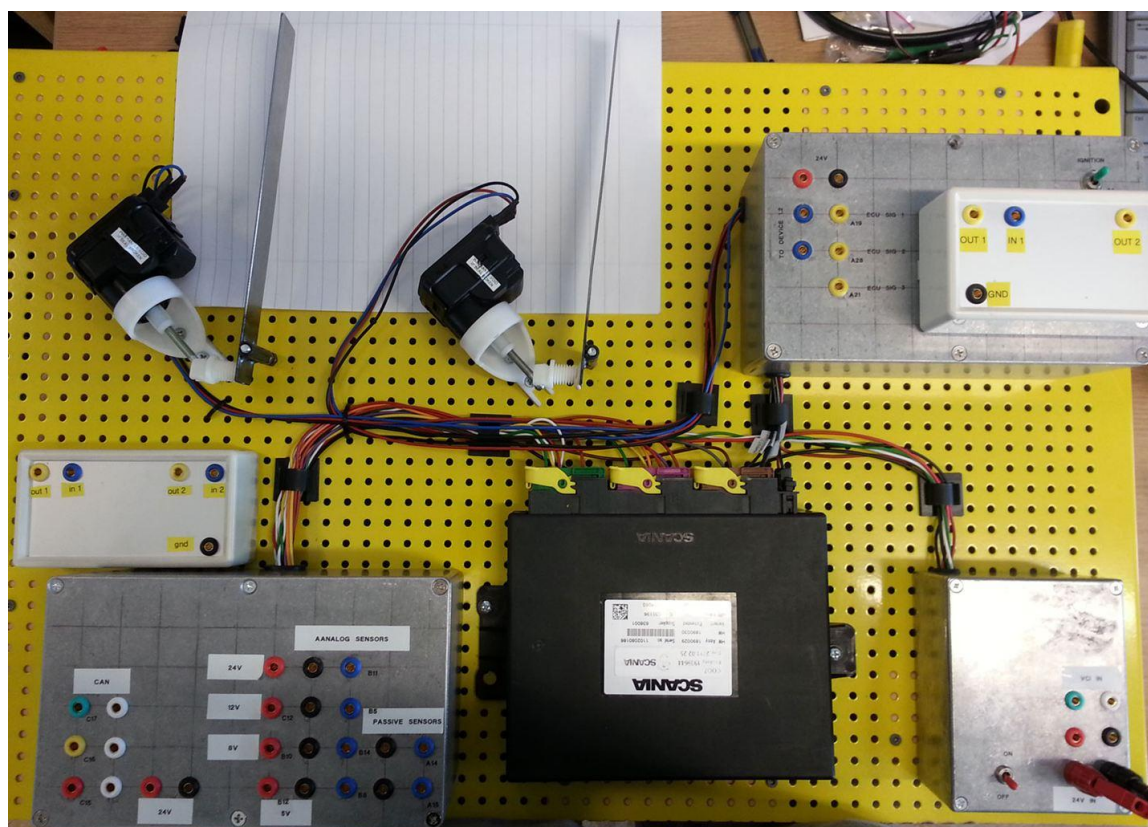
- Flexibilitet - den ska gå att använda för flera olika ändamål. (Inte bara för att styra elmotorer och läsa sensorer som i detta examensarbete)
- Den ska vara lätt att modifiera och bygga om.
- Den ska vara lätt att felsöka.
- Enkelhet - den ska vara intuitiv och lättarbetad.
- Den skall vara säker.

Grovt sett har teststationen fyra ingående delar. Se Figur 23. Dessa är; en styrenhet (i detta fall en coordinator)(1); avdelning för ingång för spänning och jord och ingångar för flashning (inladdning av ny programvara och funktionalitet) av styrenheten(2); avdelning för inkoppling av enheter som ger signaler till styrenheten(3); avdelning med signaler ut från styrenheten(4).





Figur 23: Schematisk bild av teststationen.



Figur 24: Fotografi på den färdiga riggen. Burkarna på avdelning 4 och ovanför till vänster om avdelning tre är passiva lågpassfilter.

Den färdigbyggda riggen ses i Figur 24.

### 3.3.1 Avdelning 1 – styrenhet

Styrenheten som används i teststationen är en coordinator. Coordinatoren är den enhet som i lastbilarna fördelar all information till olika CAN-bussar och därigenom sköter kommunikationen mellan olika styrenheter i lastbilens elsystem. Anledningen att en coordinator används, och inte en CUV (control unit visibility), är att det finns ett ramverk som Scania utvecklat för att programmera coordinatoren som kallas RPS, rapid prototyping system. Detta ramverk är till för att man snabbt ska kunna testa ny funktionalitet och mjukvara i styrenheten. RPS finns inte för att programmera CUV:en som annars är den styrenhet som är tänkt att sköta den automatiska nivåregleringen av strålkastarna.

Principiellt är det ingen skillnad på vilken styrenhet som används. CUV:en kan utföra samma uppgifter som koordinatören i detta fall, men det skulle kräva enormt mycket mer programmering för att testa nya varianter av mjukvara. Hela teststationen blir också väldigt statiskt om man använder CUV:en – många olika applikationer som inte har med belysning att göra går att testa med koordinatören, medan det skulle krävas utveckling av ett ramverk för CUV-RPS om det skulle vara möjligt med CUV:en. Hur ramverket för att programmera koordinatören fungerar beskrivs närmare i 3.4.1.

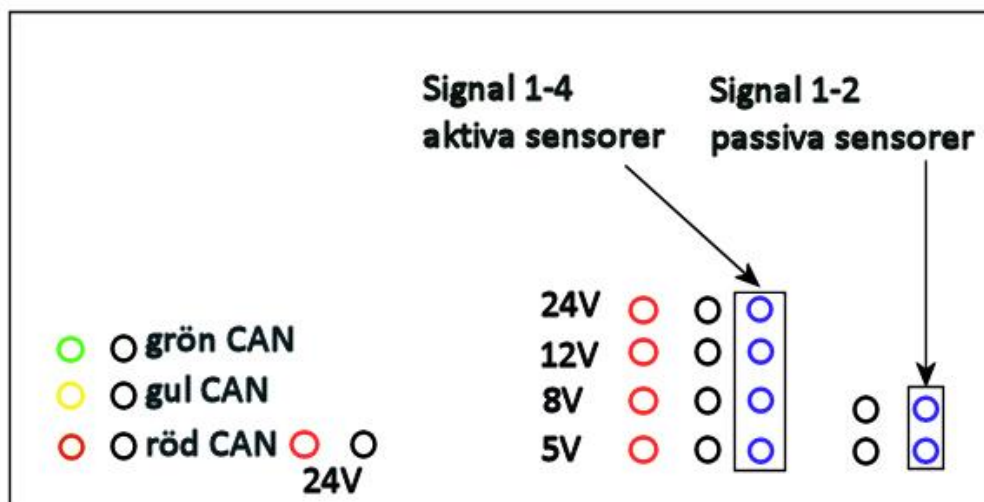
Coordinatören har fyra stycken huvudingångar. En för matningsspänning, och tre stycken med vardera 36 pinnar för olika in- och ut signaler.

### 3.3.2 Avdelning 2 – ingång för huvudspänning och jord samt ingång för flashning av styrenhet

Avdelning två har som uppgift att ge huvudspänning till de andra avdelningarna. Stationen matas med 24-25V DC. Förutom ingång för spänning finns en huvudströmbrytare och ingångar för att flasha styrenheten, vilket görs via grön CAN-buss. Anledningen till att en extra ingång till grön CAN-buss är monterad i avdelning två är för att särskilja ingångar som används vid flashning (avdelning 2) och ingångar som används vid testkörning (avdelning 3). Se . Det går givetvis att flasha styrenheten via den gröna CAN-bussen i avdelning tre också om det skulle passa bättre med kablage och ergonomi.

### 3.3.3 Avdelning 3 – ingångar för sensorer och CAN-bussar samt utgångar för olika spänning

För att stationen ska ha stor flexibilitet har avdelning 3 utrustats med flera olika typer av ingångar och uttag för spänning för att driva olika typer av enheter som skulle kunna ge signaler till styrenheten (1). I Figur 25 ses en detaljerad bild över avdelning 3.



Figur 25: Avdelning tre i detalj.

Tanken är att flera olika typer av sensorer med olika krav på matningsspänning ska gå att koppla in. Alla olika signalingångar för sensorerna är i sin tur kopplade till olika ingångar på styrenheten för att flera sensorer ska gå att använda simultant. Det finns även ingångar för grön, gul och röd CAN-buss. Kablage har byggts och kopplats på så vis att det ska gå att fysiskt frikoppla avdelning tre om man vill lägga till fler in- eller utgångar.

### 3.3.4 Avdelning 4 – utgångar för styrsignaler

På avdelning fyra finns tre utgångar för styrsignaler från styrenheten. Bredvid dessa sitter två ingångar för att styra komponenter som ska styras och vilka är inkopplade till dessa. För detta arbete är två elmotorer som används för att styra nivån för strålkastarna kopplade på dessa.

Förutom detta finns plats för att göra fler utgångar vid behov för t.ex. digitala utgångar.

## 3.4 MBD, modellbaserad design – modellen som sköter nivåregleringen

En mycket stor del av examensarbetet har gått ut på att utveckla en modell som utifrån information från sensorer beräknar hur mycket strålkastarnas nivå ska regleras. Detta har gjorts i Scantias RPS, Rapid Prototyping System.

### 3.4.1 Ramverk för programmering av styrenheten, RPS

För att få styrenheten, som i grunden är den enhet som sköter automatiken i nivåregleringen, att fungera på rätt sätt har huvudsakligen två olika moment genomförts. Det första var att implementera funktionalitet som gav förutsättningar för att ge en användbar signal ut ur enheten. Det andra var att utveckla modellen som sköter automatiken genom att beräkna vilken signal som ska ges till elmotorn.

#### 3.4.1.1 Implementation av PWM-funktionalitet i COO

Från början kunde koordinatören endast ge digitala utsignaler eller PWM-utsignaler *utan* varierbar duty cycle eller frekvens. Elmotorn som sköter nivåregleringen kräver dock en analog signal. För att uppnå detta implementerades funktionalitet för att koordinatören skulle kunna ge en 24V PWM-utsignal med *varierbar duty cycle*. På så vis kan man lågpasfiltrera PWM-signalen och erhålla en analog motsvarighet (enligt avsnitt 3.2.5).

Utvecklingen av funktionalitet bygger på s.k. MBD, modellbaserad design. MBD innebär precis som det låter att man utgår ifrån en modell för att designa en funktion. Modellen används sedan för att generera målspråkskod som i sin tur exekveras i en hårdvara. I detta fall är hårdvaran styrenheten, alltså koordinatören. Målspråkskoden är C-kod. Modellen designas i Simulink och Stateflow.

Scania har själva utvecklat ett gränssnitt som kallas RPS, Rapid Prototyping System, för koordinatören. RPS fungerar så att man utvecklar en modell i Simulink. När modellen är klar och fungerar som man önskar, i detta fall att den sköter nivåreglering på önskvärt vis, kodar Matlab om, med hjälp av mallfiler, hela modellen till C-kod. I Simulink finns därför ett flertal givna block som måste användas för att RPS-systemet ska fungera. C-koden kompileras sedan och det är den kompilerade modellen i C-kod som till sist flashas i coordinatorhårdvaran.

För att implementera den nya PWM-signalen behövdes främst nya mallfiler skapas. I dessa definieras hur PWM-signalerna i Simulinkmodellen ska tas om hand, skrivas om, och bli till kompillerbar C-kod. Även i ramverket behövdes smärre modifieringar göras. Dessa handlade främst om att lägga till den nya sortens signal som en "igenkänd" signal av Matlabs omkodning.

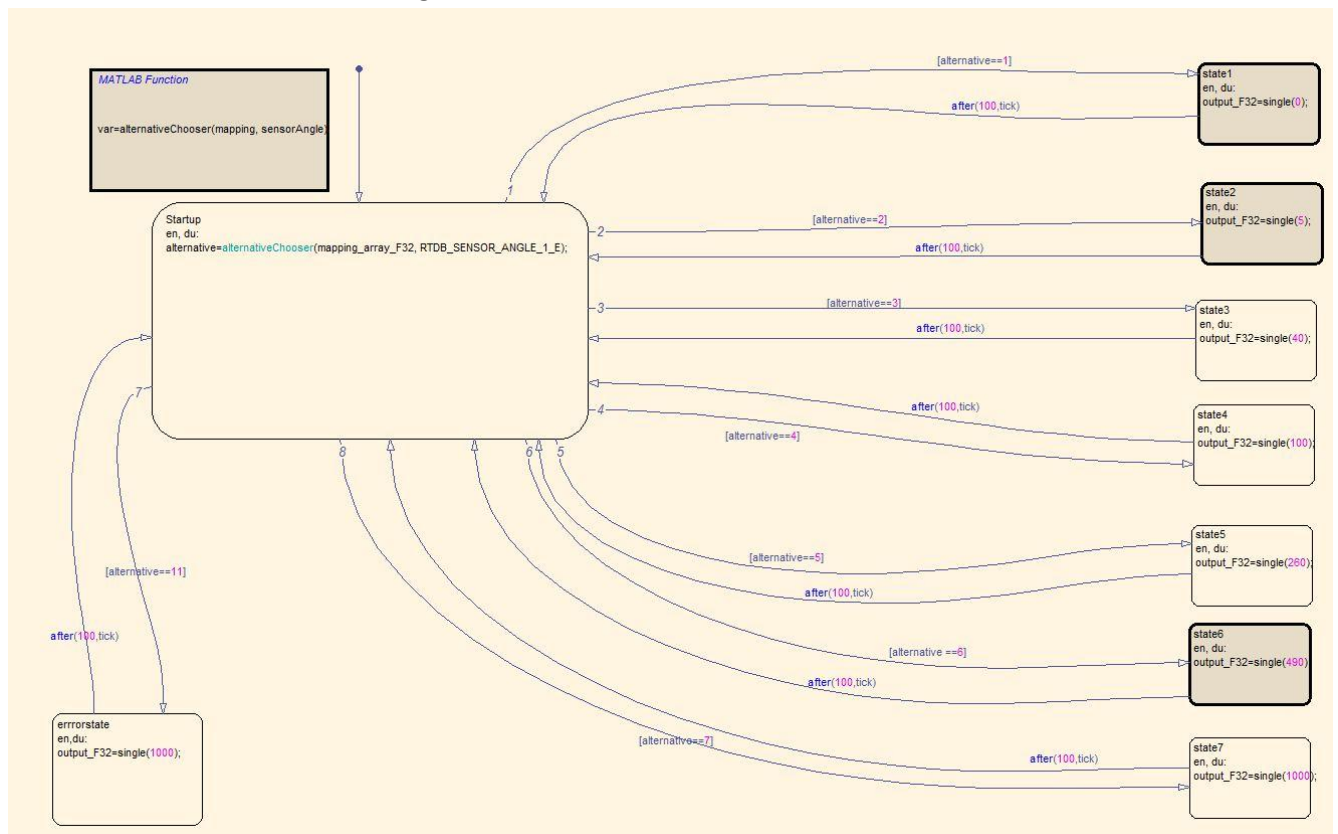
### 3.4.2 Modellen som beräknar utsignalen till elmotorn

Under arbetets gång har flera olika modeller utvecklats. Det är viktigt att poängtera att det finns flera olika sätt att reglera strålkastarnivån utifrån sensorsignalerna.



Modellen som använts vid testning är i grunden väldigt enkel och är designad för att kunna kalibreras om så fort som möjligt. Den består av åtta tillstånd som vart och ett ger olika duty cycle på utsignalen. Om modellexekveringen befinner sig i till exempel tillstånd sex ges en signal som motsvarar ca. 12V analog signal, vilket skulle innebära att elmotorn ska skjuta 4mm, från innerläget. Vilket tillstånd exekveringen ska hamna i beror av en "mapping", det vill säga en tilldelning som är fördefinierad. Denna tilldelning är snabb att ändra vid kalibrering.

Tilldelningen fungerar så att sensoromfånget är indelat i tio intervall.  $0\% \leq \text{intervall } 1 < 10\% \leq \text{intervall } 2 < 20\% \leq \dots \leq \text{intervall } 10 \leq 100\%$ . Varje intervall kan tilldelas ett heltal mellan 1 och 7. Det är dessa heltal som bestämmer vilket tillstånd modellen ska befinna sig i för det korresponderande sensorintervallet. Modellen ses i Figur 26.



Figur 26: Modellen som sköter nivåregleringen.

Funktionen som heter *alternativeChooser* och som utifrån tillståndstilldelningen av sensorintervall ger modellen nödvändig information för att välja rätt tillstånd finns i Appendix 1.

Den stora fördelen med att använda denna modell är som tidigare nämnts: att den är mycket snabb att kalibrera och ändra under testning. Inte bara tillståndstilldelningen är snabb att ändra, utan även sensorintervallen går snabbt att ändra för att de korresponderande tillstånden ska få rätt omfång. Det är till exempel möjligt att sensorn endast rör sig mellan 24% och 47% av sitt omfång från chassits högsta till lägsta punkt. Då går det snabbt att smälta av de fördefinierade intervallen för att täcka in 24%-47% med önskat antal tillstånd och därmed duty cycles som behövs.

Eftersom modellen bara tar hänsyn till andelar av sensors intervall, samt att tilldelningen av tillstånd är därefter så undviker man vissa problem. Man slipper övervaka att sensorn lämnar exakt det värde som korresponderar mot en given höjd på chassiet. Kalibreringen av sensors roll blir på så vis

marginaliserad. Man slipper också beräkna höjden utifrån sensorvärdet och man slipper också beräkningar av nivåavvikelsen utifrån sensorinformationen helt och hållet. Istället är det tilldelningen av sensorintervall till olika tillstånd som står för hela den automatiska nivåregleringen. När testning av sensorer och nivåreglering utförs är detta ett mycket flexibelt och lättjobbat interface mot hårdvaran som sköter nivåregleringen.

Bakgrunden till att antalet tillstånd inte är fler än sju (åtta med feltillstånd) är dels att vi tidigare sett att det teoretiskt räcker med två regleringar, alltså tre tillstånd. Dels är det att det manuella reglaget som idag sitter och styr strålkastarnivån bara har sex lägen. Därför gjordes bedömningen att sju stycken skulle räcka. Vill man så är det dock vara enkelt att modifiera modellen för att antingen lägga till fler tillstånd eller reducera antalet.

Om man vill implementera att fordonet ska stå still när regleringen sker är det enkelt att införa fordonshastigheten i modellen. Ett sätt är att man lägger till ett tillstånd som endast behåller senaste duty cycle som utsignal. I *alternativeChooser* lägger man sedan till så att fordonet går till detta tillstånd så fort fordonshastigheten är skild från 0. Alternativt kan man implementera en kontroll på att fordonshastigheten är 0. Om den inte är det låter man inte tillståndsväljaren ändra i tillståndsvariabeln, och på så vis behåller man samma tillstånd som senast reglerades till tills fordonshastigheten åter är 0.

## 4. Avsnitt 4 – Tester, resultat, slutsatser och förslag till vidare arbete

### 4.1 Utförda tester av den utvecklade lösningen på lastbilar, Grimm och Marco

Totalt har två lastbilar använts för test av den automatiska nivåregleringen och modellen som utvecklats. Den första lastbilen hette Grimm och är en bil med 4 axlar. En framaxel och tre axlar bak. På Grimm monterades endast en sensor mellan chassi och framaxel<sup>15</sup>, för att undersöka ifall denna sensorplacering skulle kunna ge tillräcklig information för att nivåregleringen skulle kunna fungera lagenligt.

Den andra bilen som modellen för den automatiska nivåregleringen har testats på heter Marco. Marco är betydligt mer lik värsta fallet av lastbil (avsnitt 2.1), och har den stora fördelen att den kan lyfta sin stödaxel. När man lyfter stödaxeln förändras nivåavvikelsen kraftigt. Därför är Marco ett ypperligt exempel på en bil som verkligen behöver automatisk nivåreglering, samtidigt som det är ett av de testfordon som Scania har som liknar värsta fallet allra mest.

#### 4.1.1 Framaxelmonterad vinkelsensor på Grimm

##### 4.1.1.1 Förutsättningar

Den första testen som utfördes gjordes på provbilen "Grimm". Grimm är en bladfjädrad lastbil med specifikation enligt Tabell 4.

Tabell 4: Lastbilsspecifikationer för Grimm. (Scania CV AB, 2012)

|                             |             |
|-----------------------------|-------------|
| Axelavstånd                 | 4300mm      |
| Hjulkonfiguration           | 8x4         |
| Chassianpassning            | baschassi   |
| Axeltryck fram, tekniskt    | 2 x 7500 kg |
| Teknisk vikt första bakaxel | 10500 kg    |
| Teknisk vikt andra bakaxel  | 10500 kg    |
| Teknisk totalvikt           | 36000 kg    |

Grimm har fyra axlar, och ett stort flak.

##### 4.1.1.2 Utförande av test

På Grimm monterades en vinkelsensor mellan chassi och ett fästöra för "kränghämmaren"<sup>16</sup> precis framför framaxeln enligt Figur 27. Fästörat, som nedre armen vinkelsensorn är kopplad till, är monterad på framaxeln.

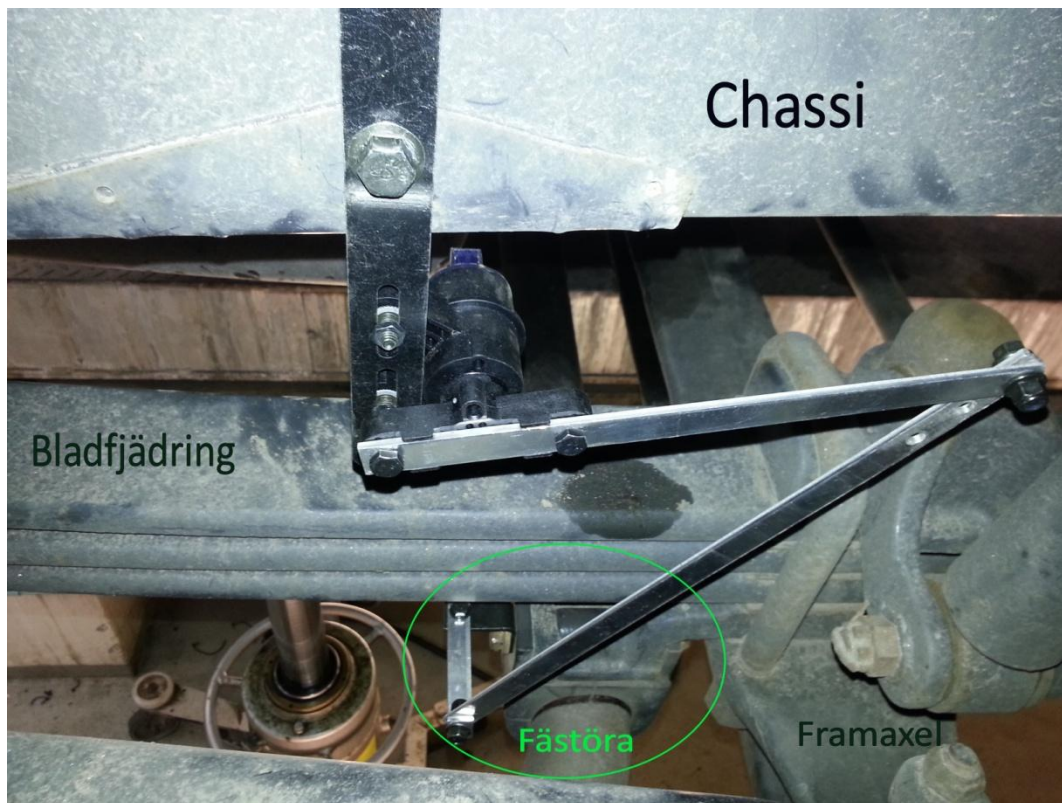
Testet gick till på så vis att en domkraft användes för att lyfta bilen och på så vis testa utslaget från sensorn för olika nivåavvikelser. Vid test var Grimm fullastad med grus. Dels lyftes bilen framför framaxeln tills att framfjädringen i princip blev helt obelastad. Dels lyftes bakersta axeln tills att inga hjul på axeln hade någon kontakt med marken och domkraften inte orkade bära mer. Dessa två extremer var tänkta att visa på största möjliga nivåavvikelseskillnad som bilen skulle kunna ha. Under

<sup>15</sup> Trots teorin kring att lasta likformigt i avsnitt 3.1.1, som pekar på att det kan finnas problem för nivåregleringen med endast en framaxelmonterad sensor.

<sup>16</sup> Ett stag som sitter framför framaxeln och ska precis som det låter hämma krängningar.

lyften mättes nivåavvikelsen och spänningen från sensorn och spänningen till coordinatorn, alltså den lågpasfilterade sensorsignalen.

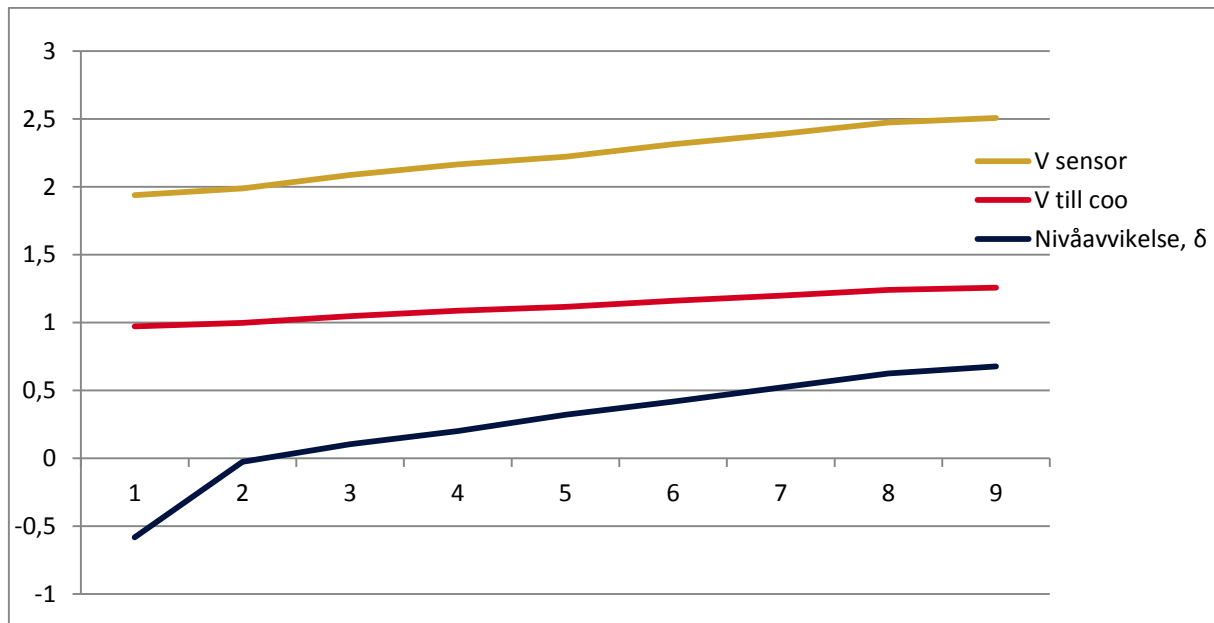
Höjdmätningen som ska jämföras med den beräknade nivåavvikelsen vid testet utfördes med måttband på samma ställen på chassit för hela serien. Spänningarna mättes med multimeter.



Figur 27: Vinkelsensor monterad på Grimm. När avståndet mellan chassi och fästöra (som sitter på framaxeln) förändras, ändras även sensorns signal.

#### 4.1.2 Resultat av test på Grimm

I Figur 28 ses relationen mellan nivåavvikelsen och sensorns signal. I mätpunkt 1 är bakaxeln fullt upplyft. I mätpunkt två är bilen i sitt grundläge, alltså opåverkad av domkraften. Mätpunkt tre till nio är successiva lyft av chassit framför framaxeln. Vid mätpunkt nio är framfjädringen fram helt obelastad tack vare att chassit då lyfts maximalt med en domkraft.



Figur 28: Resultat av mätningarna på Grimm. X-axeln betecknar mätpunkterna. Y-axeln spänning för V sensor och V till COO. För nivåavvikelsen betecknar Y-axeln grader.

Mätdata för testet finns i Appendix 2A.

Det går att dra vissa slutsatser från testet på Grimm. Det första slående resultatet är att nivåregleringen knappt är nödvändig om man förutsätter att de extremaste nivåavvikelsepunkterna som bilen kan anta är inom det uppmätta intervallet. Nivåavvikelseskillnaden i testet från bak helt lyft till fram helt lyft är  $0,677^\circ - (-0,582^\circ) = 1,259^\circ$ . Det tillåtna intervallet är precis som tidigare  $1,15^\circ$  (2%). Det skulle alltså bara krävas en ytterst liten reglering för att klara lagkraven i så fall.

Resultatet ska jämföras med att värsta fallet, LA4x2MSZ, har en nivåavvikelseskillnad<sup>17</sup> i samma storleksordning, om man inte räknar med felmarginalerna i chassits höjdberäkningar för värsta fallet. Det är ett starkt argument för att Grimm inte kommer ha en större nivåavvikelseskillnad mellan ytterligheterna än den uppmätta.

En annan slutsats som ligger nära till hands är den att framaxeln förmodligen inte är en optimal placering av sensorn. Från att bakaxeln är fullt upplyft och bilen har maximal negativ nivåavvikelse till det att bilen står på marken, opåverkad av domkraften, så förändras sensorutslaget väldigt lite. Man kan jämföra k-värdet<sup>18</sup> för kurvan mellan mätpunkterna så ses detta tydligt. K-värdet mellan punkt 1 och 2 är  $0,045\text{V}/^\circ$ . Mellan de andra punkterna är spänningsökningens medelvärde per grad  $0,35\text{V}/^\circ$ , alltså nästan en faktor 10 gentemot den mellan punkt 1 och 2. Detta syns tydligt om man jämför spänningen från sensorn och nivåavvikelsen i Figur 28.

#### 4.1.3 Framaxel- och bakaxelmonterade sensorer på Marco

##### 4.1.3.1 Förutsättningar

Även Marco är en bladfjädrad lastbil. Marco är en s.k. dragbil, vilket innebär att den är designad för att dra en trailer. Den är också en mycket kortare modell än Grimm, och som tidigare nämnts kan

<sup>17</sup>  $\delta_{\text{olastat}} = -2,914^\circ$  och  $\delta_{\text{lastat}} = -1,718^\circ$  På LA4x2MSZ, och nivåavvikelseskillnaden är  $1,196^\circ$ .

<sup>18</sup> Lutningskoefficienten för en rät linje.

den lyfta en stödaxel. Anledningen till att man designar lastbilar med lyftbar stödaxel är att när lasten är väldigt liten eller bilen är helt utan last, så kan man fälla upp stödaxeln och på så vis undvika slitage på däck och stödaxeln. Det kan också vara en fördel att kunna lyfta stödaxeln när bilen är lastad vid vissa väglag. Då för att få större tryck på drivaxeln och på så vis förbättra väghållningen.

När stödaxeln fälls upp förändras chassihöjden över bakaxeln kraftigt, vilket i sin tur ger en stor nivåavvikelseförändring. Av denna anledning är Marco ett bra testfordon för den automatiska nivåregleringen. Specifikationerna för Marco ses i Tabell 5.

**Tabell 5: Lastbilsspecifikationer Marco. (Scania CV AB, 2012)**

|                             |          |
|-----------------------------|----------|
| Axelavstånd                 | 3100mm   |
| Hjulkonfiguration           | 6x2      |
| Chassianpassning            | Dragbil  |
| Axeltryck fram, tekniskt    | 6700 kg  |
| Teknisk vikt första bakaxel | 9200 kg  |
| Teknisk vikt andra bakaxel  | 7800 kg  |
| Teknisk totalvikt           | 23700 kg |

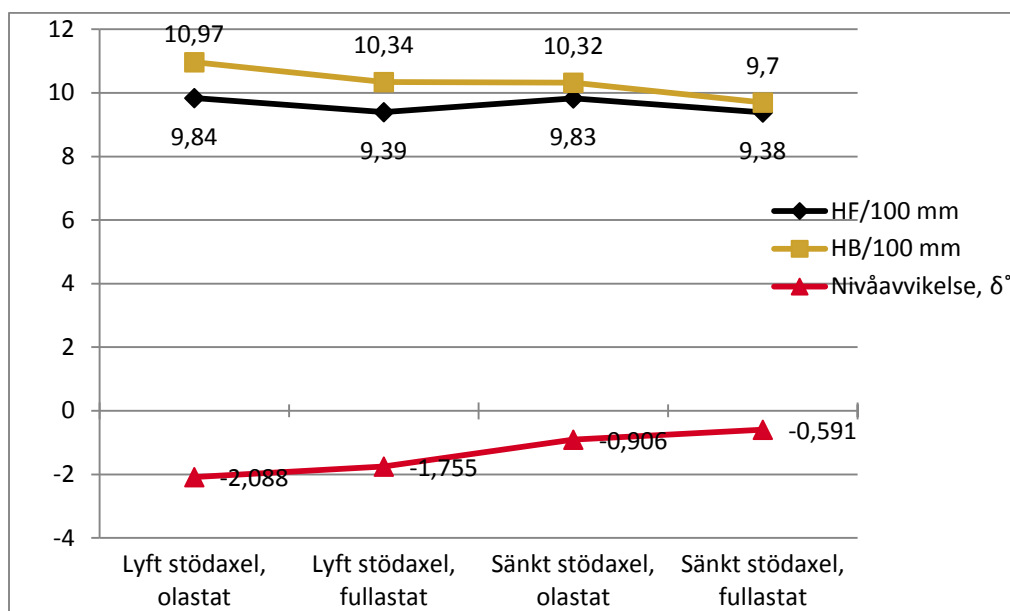
I Tabell 6 ses höjdberäkningen av chassit vid EOL, motsvarande samma beräkningar för värsta fallet.

**Tabell 6: Beräknade nivåer för Marco vid EOL. (Loftén, 2012)**

|                                      |                          |      |                      |      |
|--------------------------------------|--------------------------|------|----------------------|------|
| Axelavstånd                          | 3100mm                   |      |                      |      |
| Chassihöjd                           | <b>Stödaxel nedsänkt</b> |      | <b>Stödaxel lyft</b> |      |
|                                      | Fram                     | Bak  | Fram                 | Bak  |
| <b>Olastad [mm]</b>                  | 983                      | 1032 | 984                  | 1097 |
| <b>Fullastad [mm]</b>                | 938                      | 970  | 939                  | 1034 |
| Nivåavvikelse<br>olastad, $\delta$   | -0,901°                  |      | -2,09°               |      |
| Nivåavvikelse<br>fullastad, $\delta$ | -0,591°                  |      | -1,76°               |      |

Höjderna i tabellen ger en nivåavvikelse enligt Figur 29. Största skillnaden i  $\delta$  är mellan när stödaxeln är lyft och lastbilen olastad och när stödaxeln är sänkt och bilen är fullastad. Nivåavvikelseskillnaden mellan dessa tillstånd är  $|-2,087 - (-0,591)| = 1,50^\circ$ . Notera att denna nivåavvikelseskillnad mellan extremfallen är större än för värsta fallet LA4x2MSZ<sup>19</sup>.

<sup>19</sup> Vilket alltså kanske inte kan betecknas som värsta fallet.



Figur 29: Beräknad chassihöjd och nivåavvikelse. HF – chassinivå fram. HB – chassinivå bak. Y-axeln betecknar 100mm för HF och HB. För  $\delta$  betecknar Y-axeln grader. X-axeln betecknar de olika tillstånden.

Felmarginalen för beräkningarna är  $\pm 25\text{mm}$ , men är inte medräknade i underlaget till figuren. Eftersom det är mycket osannolikt att det skulle skilja  $+25\text{mm}$  i olastat läge och  $-25\text{mm}$  i lastat läge, eller tvärt om, så bortses från dessa fall. Det troliga är att om beräkningen skiljer  $+25\text{mm}$  från verkligheten i det lastade fallet, så skiljer sig beräkningen från verkligheten även med ungefär  $+25\text{mm}$  även i det olastade fallet. Detta gör att nivåavvikelseskilnaden mellan de olika lastfallen är ungefär den samma, förutsatt att felmarginallerna är de samma från tillstånd till tillstånd.

På en bil med möjlighet att lyfta stödaxeln ser man att om man endast ska använda en sensor, lämpligtvis bakaxelsensorn<sup>20</sup>, att problem kan uppstå främst mellan tillstånden "lyft stödaxel fullastad" och "sänkt stödaxel olastad". Höjden över bakaxeln mellan dessa tillstånd skiljer sig endast 2mm. Samtidigt skiljer sig nivåavvikelsen  $|-1,76^\circ - (-0,901^\circ)| = 0,859^\circ$ .

Denna vinkel är stor, men den klarar sig inom det tillåtna intervallet på  $1,15^\circ$ . Möjlighet att testa tillståndet "fullastad med lyft stödaxel" har tyvärr inte funnits med Marco<sup>21</sup>. Följden av detta blir att det är viktigt att man är noggrann i kalibreringen av modellen. När sensorutslaget motsvarar höjder kring 1030mm vill man ha stor marginal till godo gentemot tillåtet intervall för att nivåavvikelsen kan ändras mycket och öka med ungefär  $0,85^\circ$ . Scenariot kan till exempel vara: En lastbil går in och lossar fullastad med stödaxeln uppe. Sedan åker den från lossningen olastad med stödaxeln av någon anledning nedsänkt<sup>22</sup>.

För att vara på den säkra sidan kan man kompensera genom att lägga många täta tillståndintervall i modellen som sköter nivåregleringen runt sensorutslag kring 1030mm. Vart och ett av dessa intervall behöver då bara innebära en liten reglering. Detta ger implikationer för kalibrering av nivåregleringen eftersom felmarginallerna i beräkningen är  $\pm 25\text{mm}$  och därför kommer sensorutslaget att variera i

<sup>20</sup> Enligt tidigare resonemang kring sensor på framaxeln.

<sup>21</sup> Beroende på att ingen lastram kunnat monteras på Marco, vilket i sin tur beror på att Marco är bladfjädrad.

<sup>22</sup> Visserligen osannolikt, eftersom det oftast är olastad man vill åka med stödaxeln uppe.

spänning från fordon till fordon beroende på den verkliga chassihöjden och nivåavvikelsen kring detta intervall.

Teoretiskt, om man känner de exakta nivåerna hos chassit för olika laster, och att de olika tillståndens nivåer inte överlappar, så kan man från en tillräckligt noggrann bakaxelmonterad sensors signal dra slutsatser om vilket tillstånd lastbilen befinner sig i. Exempelvis skulle vi kunna dra slutsatsen att om sensorsignalen motsvarade 1034mm så är lastbilen fullastad med stödaxeln lyft. Minskade utslaget till 1032mm, ja då skulle det betyda att bilen hade lossat och nu var olastad och hade sin stödaxel nedsänkt.<sup>23</sup>

#### **4.1.3.2 EOL-beräkningarna av chassinivåerna är inte verklighetstroga**

Det finns en förmildrande omständighet<sup>24</sup> i beräkningen av chassinivån för "höjd stödaxel och full last". Beräkningen tar inte hänsyn till att det inte är tillåtet att lyfta stödaxeln vid full boggilast. Det är bara tillåtet upp till en viss last. Lasten man kan lyfta begränsas av vikten som drivaxeln tål enligt Tabell 5, alltså 9200kg. Totalt tål boggin 17000kg, alltså med stödaxeln nedfälld. Det är denna vikt som är använd vid beräkning av chassihöjderna och inte den maximalt tillåtna på 9200kg. (Loftén, 2012)

Om man interpolerar mellan chassinivåerna fram och bak för den egentliga begränsningen på 9200kg, så ges andel last som maximalt kan användas lagligt i förhållande till lasten som använts vid beräkning av chassihöjden med lyft stödaxel av ekvation 25. ekvation 26 beskriver interpoleringen av de beräknade chassihöjderna. Resultaten av interpoleringen ges i ekvation 27-29.

$$\frac{m_{tillåtet}}{m_{beräknat}} = \frac{9200kg}{17000kg} = 0,541 \quad (\text{ekvation 25})$$

$$h_{beräknat} - \frac{m_{tillåtet}}{m_{beräknat}} \cdot (h_{beräknat} - h_{olastat}) \quad (\text{ekvation 26})$$

$$\text{Bakaxel: } 1097 - 0,541 \cdot (1097 - 1034) = 1063 \text{ mm} \quad (\text{ekvation 27})$$

$$\text{Framaxel: } 984 - (0,541 \cdot (984 - 939)) = 960 \text{ mm} \quad (\text{ekvation 28})$$

$$\delta = \arctan \frac{960-1063}{3100} = -1,90^\circ \quad (\text{Ekvation 29})$$

Resultat motsvarande Figur 29 fast med en verklighetstrognare beräkning av chassinivåerna med max tillåten last på drivaxeln med uppfälld stödaxel ses i Figur 30. De uträknade nivåerna ses i Tabell 7. Värdena i fetstil är de som skiljer sig från Tabell 6.

Nu ser man att nivåavvikelseskillnaden mellan "lyft stödaxeln fullastat" och "sänkt stödaxel olastat" är hela  $|-1,90^\circ - (-0,901^\circ)| = 0,999^\circ$ . Skillnaden har alltså ökat från  $0,85^\circ$ . Samtidigt har även skillnaden i chassinivån över bakaxeln ökat mellan tillstånden från 2mm till 31mm. Detta medför att nivåavvikelsen blir lätt att känna igen med sensorn som sitter monterad vid bakaxeln över alla tillstånd. Det borgar för att det ska vara möjligt att klara lagkraven med vald princip. Alltså med endast en sensor monterad mellan bakaxel och chassi.

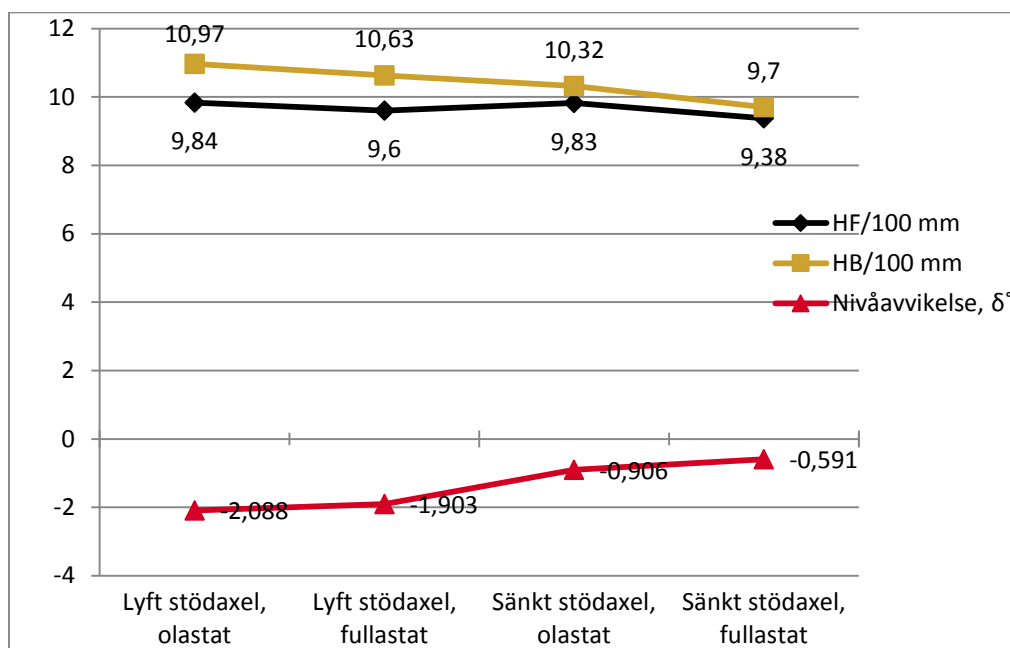
<sup>23</sup> Detta är sannolikt inte möjligt. Hysteres i fjädrar, åldrande sensorer, böjning av chassi, svårigheter med kalibrering o.s.v. är starka argument för det.

<sup>24</sup> För automatisk nivåreglering med bara en sensor som mäter avstånd mellan chassi och bakaxel



Tabell 7: Beräknade nivåer för Marco, med hänsyn tagen till maximalt tillåten last på drivaxeln när stödaxeln är lyft. Värden som skiljer sig mot Tabell 6 (beräkningar för Marco vid EOL) i fetstil.

|                                   |                   |      |               |             |
|-----------------------------------|-------------------|------|---------------|-------------|
| Axelavstånd                       | 3100mm            |      |               |             |
| Chassihöjd                        | Stödaxel nedsänkt |      | Stödaxel lyft |             |
|                                   | Fram              | Bak  | Fram          | Bak         |
| Olastad [mm]                      | 983               | 1032 | 984           | 1097        |
| Fullastad [mm]                    | 938               | 970  | <b>960</b>    | <b>1063</b> |
| Nivåavvikelse olastad, $\delta$   | -0,901°           |      | -2,09°        |             |
| Nivåavvikelse fullastad, $\delta$ | -0,591°           |      | <b>-1,90°</b> |             |



Figur 30: Nivåavvikelse i förhållande till chassinivåerna med kompensation för tillåten maxlast med lyft stödaxel. HF – chassinivå fram. HB – chassinivå bak.

#### 4.1.3.3 Utförande av test

På Marco monterades en vinkelsensor vid framaxeln och en vid bakaxeln. Vinkelsensorn fram monterades analogt med hur den monterades i testet på Grimm, alltså enligt Figur 27. Sensorn som sattes vid bakaxeln monterades enligt fotografiet i Figur 31.



Figur 31: Vinkelsensorn monterad för att känna av nivån mellan bakaxel och chassi.

För att förändra nivåavvikelsen på Marco lyftes och sänktes stödaxeln. Enligt föregående avsnitt ska det ge en nivåavvikelseskillnad på  $1,18^\circ$ . Nivåavvikelsen uppmättes även med måttband för att verifiera de beräknade värdena.

För att göra mätningar av sensorspänning och spänning på styrsignal till nivåregleringen användes utrustning från DEWETRON<sup>25</sup>. DEWETRON är ett mätsystem där det är lätt att "spela in" mätdata. Dessutom är det möjligt att filma försöken för att visualisera video och mätdata. I försöken med Marco filmades hur stödaxeln sänks och lyfts samtidigt som man kan se hur strålkastarnivån förändras med och utan automatisk reglering.

Till försöken användes en 16-kanalers DEWETRON-enhet, varav upp till fyra kanaler användes för spänningsmätning. Även två videokameror användes för att filma experimenten.

### Test 1

Det första försöket som gjordes var utan att modellen var noggrant kalibrerad. Det gjordes inomhus och syftade till att se att sensorsignalen förändrades på önskvärt vis, och att den elektriska styrenheten reagerade på sensorutslaget och skickade, den i modellen definierade, styrsignalen till nivåregleringen.

Vid försöket lades även sex ton last på för att se hur detta påverkade nivåavvikelsen och sensorernas utslag. Lasten lades på Marco på enda möjliga vis, nämligen en bit framför bakaxeln. Detta var tyvärr inte ett verklighetstroget scenario, eftersom lasten påverkar framfjädringen mer än vad "korrekt placerad" last skulle göra. "Korrekt last" skulle ha tyngdpunkten betydligt närmre boggins mittpunkt. Lastens placering ses i Figur 32. Med lasten på var det inte heller lämpligt att lyfta stödaxeln eftersom viktblockarna inte var fastskruvade i en lastram.

<sup>25</sup> [www.dewetron.com](http://www.dewetron.com)



Figur 32: Sex ton last, framför boggin.

Mätningarna av chassinivåerna gjordes av praktiska skäl mellan två utvalda mätpunkter på chassit, inte exakt vid axlarna. För mätningarna användes även en plank som "offset", vilket avståndet från chassit mättes till.<sup>26</sup> De EOL-beräknade nivåerna är dessutom från mark till övre delen av chassit, medan de manuella mätningarna är från undersidan av chassit till en plank med sin tjocklek över marken. Därför korrelerar inte chassinivåmätningarna direkt mot de EOL-beräknade nivåerna på chassit över axlarna. Det måste dock påpekas att en förändring på Xmm i chassinivån i den manuella mätningen är direkt överförbar till en förändring på Xmm i EOL-beräkningarna. Det är nämligen fortfarande bara en "offset" som skiljer värdena åt.

## Test 2

För att kunna se tydligt hur nivåavvikelsen påverkar strålkastarna utfördes ett test i tvätthallen på Scantias område när modellen var bättre kalibrerad. Där är det möjligt att släcka belysningen för att noggrant se hur strålkastarna reagerar på styrsignal och nivåavvikelseförändringar när man höjer och sänker stödaxeln. Här testades den färdigkalibrerade prototypen.

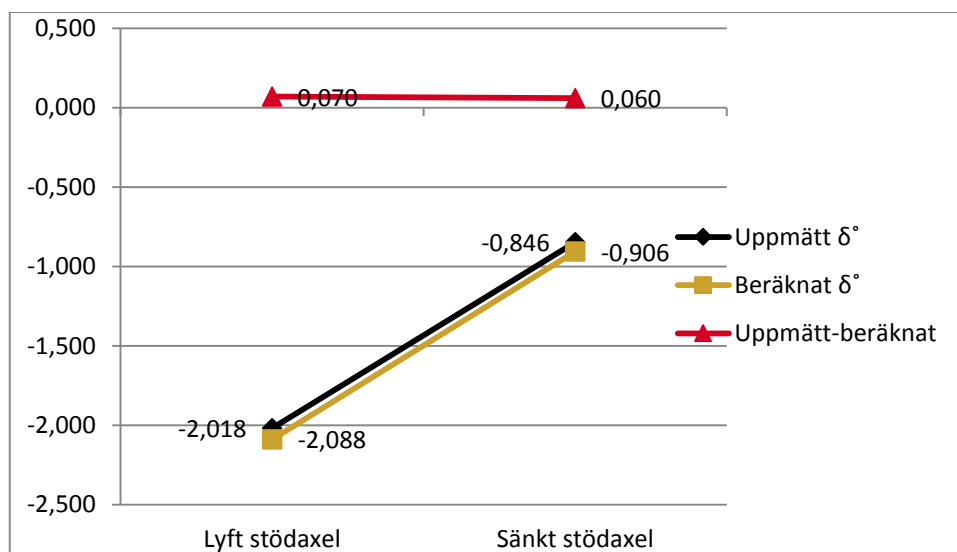
Anledningen till att en sensor monterades även vid framaxeln på Marco var att testerna kanske inte skulle falla väl ut. Då skulle det vara möjligt att använda båda sensorernas signaler för att beräkna fordonets nivåavvikelse och med denna information reglera strålkastarnivån på ett tillfredsställande sätt.

### 4.1.4 Resultat av test med vinkelsensorer på Marco

Det första som konstaterades var att beräkningarna vid EOL av chassinivån över axlarna ger en mycket precis bild över den verkliga nivåavvikelsen. Det förstärker förtroendet för dessa

<sup>26</sup> Plankan behövdes för att mätningarna skedde i ett dike under lastbilen, vilket medförde att från mätpunkterna på chassit hade mycket långt ner till golvet om inte plankan hade använts.

beräkningars noggrannhet. I Figur 33 ses den med måttband uppmätta nivåavvikelsen, den beräknade nivåavvikelsen vid EOL samt differensen mellan de två.<sup>27</sup>



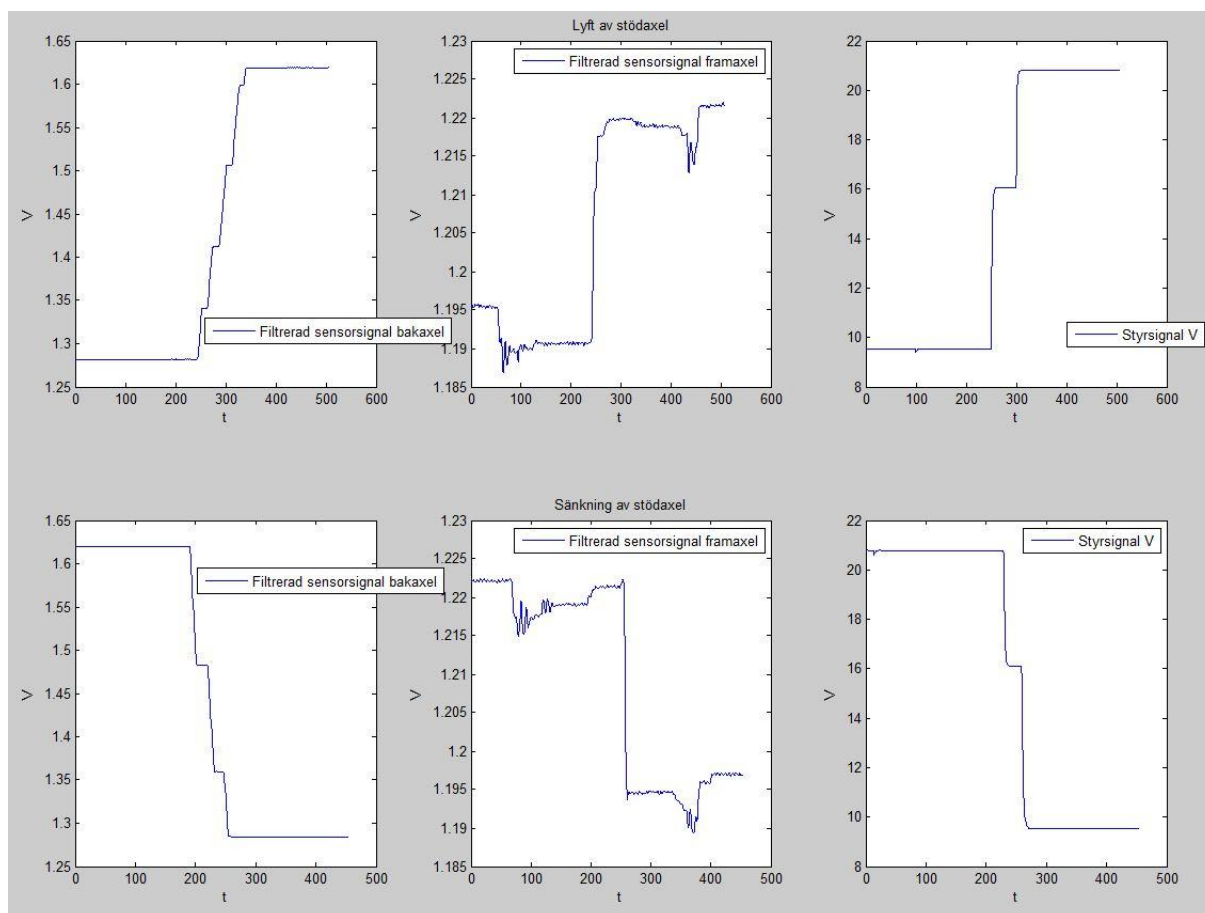
Figur 33: Uppmätt nivåavvikelse i förhållande till beräknad nivåavvikelse vid EOL.

#### Test 1

I Figur 34 ses de filtrerade signalerna från sensorerna och styrsignalen som genereras utifrån signalen från sensorn vid bakaxeln när stödaxeln lyfts och sänks (rad 1 resp. rad 2). Det som kan sägas om graferna är att det är en stor skillnad i signal från sensorn vid fram och vid bakaxeln. Från lyft till sänkt skiljer sig bakaxelsignalen med nästan 0,4V, medan det på framaxeln endast skiljer 0,025V.

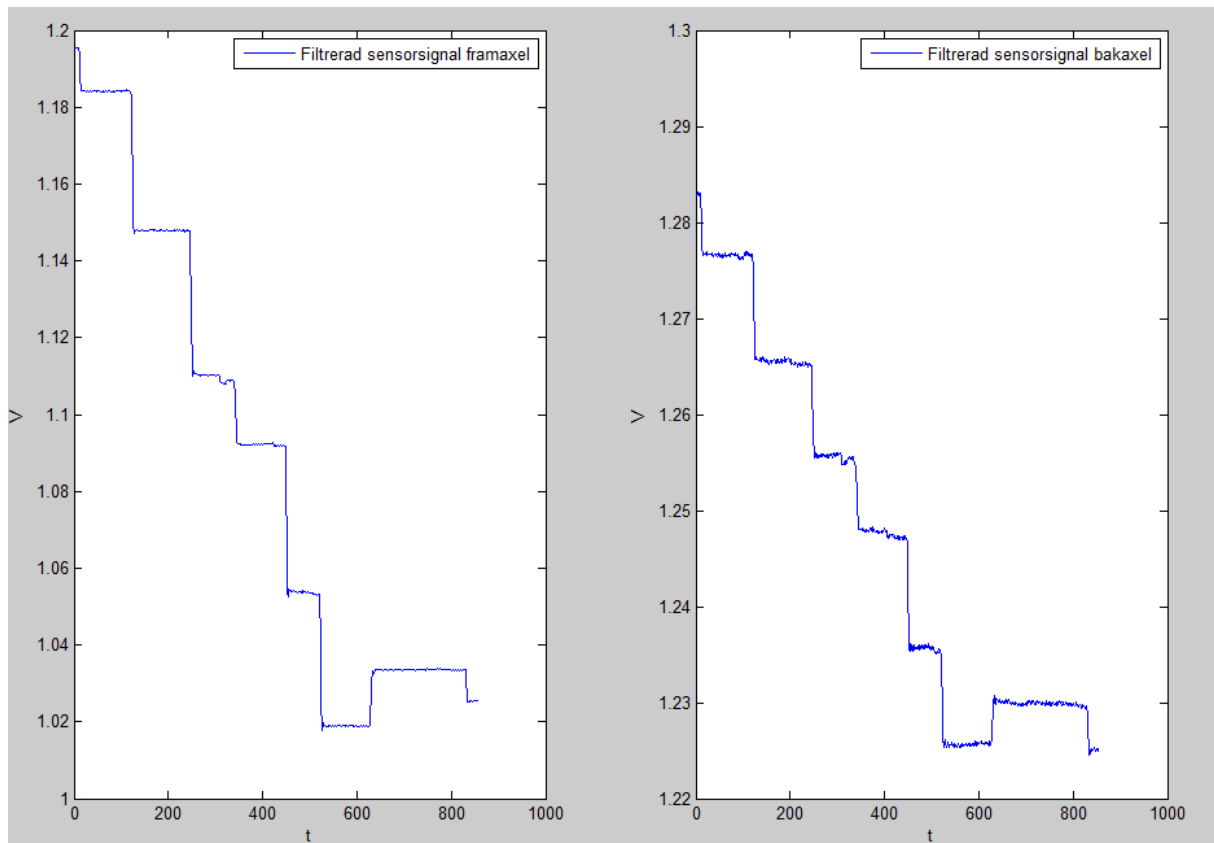
Detta förstärker tesen om att en sensor endast vid framaxeln inte är lämpligt som lösning. Det som ser ut som fladder på sensorn fram förklaras av att när bilen lyfter och sänker stödaxeln "skumpar" den till ganska kraftigt i början och slutet av sänkningen och lyftet. I detta försök var styrsignalen inte kalibrerad, men man ser ändå tydligt hur styrenheten reagerar på sensorn vid bakaxelns utslag.

<sup>27</sup> Data för figuren finns i Tabell 8.



Figur 34: Övre raden är data från när stödxäxeln lyfts och nedre raden för när stödxäxeln sänks. Graferna längst till vänster är den filtrerade signalen från sensorn som är monterade vid bakaxeln. Mittengraferna är den filtrerade signalen från sensorn vid framaxeln. Till höger ses de filtrerade styrsignalen från den elektroniska styrenheten (okalibrerad).

När vikterna (sex ton totalt) lades på lastbilen förändrades de lågpasfiltrerade sensorsignalerna enligt Figur 35. När den sjätte entonsbalken lastades på lastbilen lades den först närmare framaxeln för att sedan lyftas och lastas närmare bakaxeln. På så vis flyttades tyngdpunkten på lasten en bit mot bakaxeln. Man kan se förändring i utslaget från framaxelsensorn detta gav. Från 1,019V till 1,024V. Utslaget på bakaxeln syns också, men inte alls lika tydligt. Skillnaden ligger ungefär mellan 1,226V och 1,225V.



Figur 35: Sex ton last lastat successivt på Marco. Hoppet mellan  $t \approx 600$  och  $t \approx 800$  beror på att en entonsbalk flyttades närmre bakaxeln.

Som förklarat i avsnitt 4.1.3.3 var vikterna inte lastade på Marco ur ett troligt lastscenarios perspektiv. Tyngdpunkten låg alldeles för långt fram. När mätningar på nivå vid axlarna för fullastat med stödaxeln nere kontra olastat med stödaxeln lyft var skillnaden i nivå för framaxeln med den testade lasten betydligt högre än den EOL-beräknade enligt ekvation 30 och 31.

$$\Delta \text{framaxel}_{\text{uppmätt}} = 707 \text{ mm} - 640 \text{ mm} = 67 \text{ mm} \quad (\text{ekvation 30})$$

$$\Delta \text{framaxel}_{\text{beräknat}} = 984 \text{ mm} - 938 \text{ mm} = 46 \text{ mm} \quad (\text{ekvation 31})$$

Detta tyder på att försöket med lasten måste ses som ett mycket speciellt fall. Om lastbilen skulle lastas på detta vis av en slutanvändare, då skulle denne överskrida lastbilens tekniska begränsning, vilket innebär att Scania inte skulle vara ansvariga för att belysningen hamnar på rätt nivå. Mätvärdena på chassinivå för lastförsöket ses i Tabell 8. Det är viktigt att komma ihåg att nivåerna inte korrelerar direkt mot de beräknade chassinivåerna, utan är mätta med en "offset".

Tabell 8: Uppmätt chassinivå vid mätpunkterna, med offset, och resulterande nivåavvikelse.

| Fall                           | HF [mm] | HB [mm] | Nivåavvikelse, $\delta^\circ$ |
|--------------------------------|---------|---------|-------------------------------|
| Olastad, stödaxel uppe         | 707     | 812     | -2,018                        |
| Olastad, stödaxel nere         | 676     | 720     | -0,846                        |
| Sex ton last                   | 640     | 706     | -1,269                        |
| Avstånd mellan mätpunkter [mm] | 2980    |         |                               |



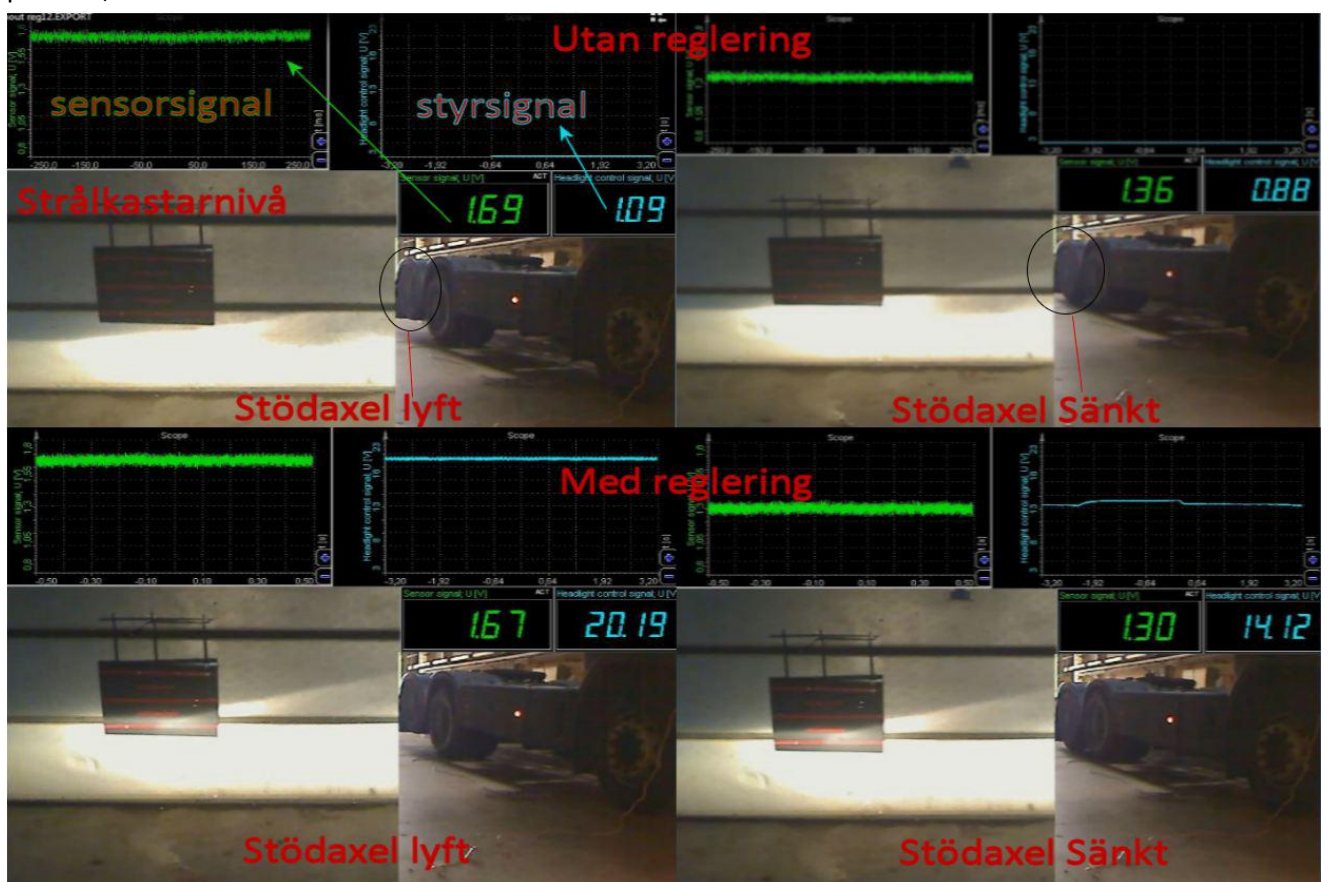
Nivåavvikelsen på  $-1,269^\circ$  för fallet med sex ton last är oroande med tanke på chassinivån bak i förhållande till nivåavvikelsen. Detta beror på att helt plötsligt ökar<sup>28</sup> nivåavvikelsen, trots att bakaxeln sjunkit, vilket i ett "vanligt lastfall" korrelerar mot en minskning av nivåavvikelsen.

Eftersom lastfallet överskrider den tillåtna lasten på framaxeln enligt tidigare resonemang kring chassinivån över framaxeln (ekvation 25-28 avsnitt 4.1.3.2), så bortses detta ifrån. Det måste dock medvetandegöras att det är möjligt att "fella" sin bil på så vis att nivåavvikelse, som kan vara svåra att hantera för strålkastarregleringen med enbart en sensor vid bakaxeln, kan uppstå.

## Test 2

Test två var till största delen analogt med test 1, med skillnaden att styrenheten var kalibrerad att ge en styrsignal som höll nivån på strålkastarna konstant från att stödaxeln lyftes till att den sänktes och tvärt om.

Test två syftade också till att visuellt visa en fungerande automatisk nivåreglering mellan tillstånden när stödaxeln lyfts och sänks. De två övre bilderna i Figur 36 är skärmmklipp från en mätvideo på hur nivån förändras mellan tillstånden utan någon reglering alls. De två nedre bilderna i Figur 36 är från en mätvideo när den automatiska regleringen är inkopplad. Varje bild är indelad i fyra fönster. De olika fönstren visar; den lågpasfilterade sensorsignalen från bakaxeln, överst t.v.; den lågpasfilterade styrsignalen till nivåregleringen, överst t.h.; strålkastarnivån, nederst t.v.; stödaxels position, nederst t.h.



<sup>28</sup> En avvikelse betraktas som ett belopp, därav som en ökning, trots att värdet går från negativt till mer negativt.

Figur 36: Strålkastarnivån när stödaxeln är lyft och sänkt, med och utan automatisk nivåreglering av strålkastarna.

## 4.2 Slutsatser från testerna

Huvudsakligen kan man dra fyra slutsatser från testerna som gjorts. Den första slutsatsen är att det inte skulle fungera bra, precis som förutsågs i avsnitt 3.1.1, med endast en vinkelsensor monterad vid framaxeln. Vid viss last, och framförallt när lasten ökar efter en viss mängd förändras helt enkelt inte nivån vid framaxeln på ett sådant vis att man kan förutsäga fordonets nivåavvikelse utifrån sensorsignalen.

Den andra slutsatsen är att en vinkelsensor monterad vid bakaxeln med stor sannolikhet kommer att räcka för att klara lagkraven på automatisk nivåreglering. Bakaxelns nivå reagerar mer "linjärt" på en lastökning än vad framaxelns nivå gör. Lastar man bilen på ett sätt som kan anses sannolikt och optimalt kan man med säkerhet säga att en sensor vid bakaxeln kommer att vara tillräcklig. Detta är förstås omöjligt att förutsäga om slutanvändaren kommer att göra. Dock finns det relativt goda marginaler att spela med, och det räcker att Scania klarar lagkraven på nivåregleringen så länge kunderna bara lastar sina fordon inom tillåtna gränser.

Om man vill vara helt på den säkra sidan gällande även fall då slutanvändare lastar sina bilar på felaktiga vis så kan man använda en vinkelsensor både fram och bak för att på så vis få en bättre angivelse av fordonets nivåavvikelse. Även om detta inte har testats explicit, så visar försöket med Marco att den framaxelmonterade vinkelsensorn ger en användbar signal för detta ändamål om man så skulle önska.

Den tredje slutsatsen är att för att optimera den automatiska nivåregleringen så skulle fler lastfall, med en lastbil av den typ som Marco är, behöva testas och utvärderas m.a.p. chassinivåer och fordonets nivåavvikelse. Detta är också en förutsättning för att förstå de exakta mekanismerna när lastbilen lastas med tyngdpunkten på olika ställen, vilket i förlängningen är en förutsättning för att kunna kalibrera modellen på ett optimalt sätt.

Den fjärde slutsatsen är att eftersom Marco i flera fall liknar det på förhand förmodade värsta fallet LA4x2MSZ, och t.o.m. tycks vara ett "ännu värre fall", så ska lösningen med en bakaxelmonterad vinkelsensor vara generaliserbar till **alla Scanias bladfjädrade lastbilar**. Både de med möjlighet att lyfta stödaxeln, och de utan.

Försöket på Grimm visade tydligt på att en bakaxelmonterad sensor skulle räcka. Förmodligen skulle Grimm klara sig helt utan automatisk nivåreglering, och ändå hålla sig inom gränserna för lagkraven. Nivåavvikelseskillnaden från de simulerade tillstånden, lastat och olastat, var knappt större än det tillåtna intervallet, och simuleringen av "olastat" var ett betydligt extremare tillstånd än ett verkligt olastat tillstånd.

Tittar man på data i Appendix 2<sup>3</sup>, ser man också att chassinivån vid mätpunkten vid bakaxeln på Grimm minskar stadigt i samband med att nivåavvikelsen förändras från negativ till ökande positiv. Detta är ett starkt argument, även om det inte är en överraskning, för att en bakaxelmonterad vinkelsensor kommer klara den automatiska nivåregleringen även här.

Angående felmarginalen som nämns gällande vinkelsensorn i avsnitt 3.2.1 verkar utslaget från sensorn fungera väl nog för att klara en nivåreglering med god precision. Alla data visar på tydliga förändringar i sensorsignalerna när nivåerna på chassit förändrats.



### 4.3 Fortsatt arbete och förslag på vidare utveckling av automatisk nivåreglering av halvljuset

Det verkar vara möjligt att klara den automatiska nivåregleringen av halvljuset med en vinkelsensor monterad vid bakaxeln. För att implementera detta finns det vissa områden som behöver fortsatt undersökning. Detta examensarbete visar på att lösningen är möjlig, samt en metod på hur en modell kan se ut.

Utöver detta skisserar examensarbetet andra möjliga lösningar till att automatiskt reglera nivån hos strålkastarna. Om man inte gör samma värderingar av kriterierna i beslutsmatrisen, så kommer kanske inte det valda lösningsalternativet att vara det bäst lämpade för Scania.

#### 4.3.1 Förslag på vidare arbete

För att effektivt kunna implementera lösningen med en bakaxelmonterad vinkelsensor behöver fler lastfall testas för att avgöra hur fjädringen reagerar på olika laster och därmed för problemet den kritiska parametern, nivåavvikelsen. När man har en exaktare bild över hur nivåavvikelsen ser ut för olika chassinivåer vid bakaxeln kan man kalibrera modellen utefter detta.

##### 4.3.1.1 Kalibrering i produktion

Kalibrering i produktion är ett mycket viktigt moment som till stor del utelämnats tidigare i examensarbetet. Detta beror på att innan lösningsmetoden är utvecklad, testad och klar, så är det ingen mening att kalibrera den. Dock har tankar på hur kalibrering kan ske i produktion funnits i tankarna under hela arbetet.

En möjlighet för kalibreringen av den automatiska nivåregleringen är att man utgår från de vid EOL beräknade chassinivåerna. Från dessa vet man nivåavvikelsen i "ändpunkterna", d.v.s. olastad bil kontra fullastad bil. Om man dessutom undersökt lastfall vet man hur man ska interpolera mellan dessa och vilken nivå på bakaxeln som korrelerar gentemot vilken nivåavvikelse.

Eftersom dessa beräkningar sker innan lastbilen ens är klar, kan man programmera färdigt styrenheten efter dessa värden tillsammans med information om axelavstånd och strålkastarhöjd innan den monteras i produktionen av lastbilen. Detta innebär att: **om man monterar strålkastare, sensorer och elmotor<sup>29</sup> på ett förutbestämt vis på alla bilar, och styrenheten har alla parametrar om chassinivåberäkningen och information om vilken fjädringstyp och axelavståndet på fordonet, så behövs ingen kalibrering vid EOL!**

Med att montera komponenterna på ett förutbestämt vis menas att den kalibrerade slaglängden på elmotorn,  $L_s$ , och den kalibrerade armlängden,  $L_k$ , och armlängderna för kopplingen av sensorn mellan chassi och bakaxel är inställda på ett sådant sätt att mjukvaran kan matchas mot dessa redan på förhand. Exempelvis genom att komponenterna alltid är exakt likadant redan från leverantören.

Vill man kan man också, när lastbilen rullar av produktionslinjen, säga till styrenheten att "nu ger sensorn olastad nivå". Då har man på ett på ett kvickt sätt kalibrerat den olastade nivån för lastbilen och talat om för modellen vilket värde från sensorn som motsvarar vad. Om man kan förutsätta att sensorsignalen alltid förändras lika mycket för olika exemplar av sensorer, (felmarginal 1% enligt

---

<sup>29</sup> Som styr nivåregleringen

avsnitt 3.2.1) för en nivåförändring hos fordonet, så behövs inte någon mer information för att styrenheten ska klara nivåregleringen.

#### ***4.3.1.2 En noggrannare lösning***

Om man efter att fler lastfall har utvärderats känner att man vill kunna ställa nivån på strålkastarna noggrannare än vad lösningen med endast en sensor medger, så finns det ett botemedel som ligger nära till hands. Botemedlet för att få en större precision är att man monterar en vinkelsensor även vid framaxeln. Detta kommer i princip att fördubbla materialkostnaden, men den reella ökningen är ändå inte särskilt stor då sensorn inte är dyr.

#### ***4.3.1.3 Reglering när lastbilen är i rörelse***

Om man vill reglera strålkastarnivån även medan fordonet är i rörelse bör elmotorn som skjuter strålkastaren fram och tillbaka bytas ut. Elmotorn som idag används är mycket långsam och tycks vara av "tveksam" kvalitet<sup>30</sup>.

---

<sup>30</sup> En högst subjektiv bedömning. Att den är för långsam för att kunna kompensera för snabba nivåavvikelseförändringar är dock tveklöst.

## Källförteckning

- Bae, H. S., Ryu, J. & Gerdes, J. C., 2001. *Design*. [Online]  
Available at: [http://gummo.stanford.edu/dynamic/PATH/Papers/bae\\_ieee\\_its2001.pdf](http://gummo.stanford.edu/dynamic/PATH/Papers/bae_ieee_its2001.pdf)  
[Använd 19 06 2012].
- Bawaqneh, H., 2011. *Virtual Vehicle Pitch Sensor*, Linköping: Linköpings universitet.
- Brugge, L., 2012. *Teknisk utvecklare RECCO AB* [Intervju] (27 07 2012).
- Dirhoussi, A., 2012. *Systemägare CUV* [Intervju] (15 06 2012).
- ELFA distrelec, 2012. *ELFA*. [Online]  
Available at: [https://www.elfa.se/elfa3~se\\_sv/elfa/init.do?item=73-026-41&toc=19118&q=polaroid](https://www.elfa.se/elfa3~se_sv/elfa/init.do?item=73-026-41&toc=19118&q=polaroid)  
[Använd 25 09 2012].
- Gerdes, J. C. & Ryu, J., 2004. Integrating Inertial Sensors with GPS for Vehicle Dynamics Control. *Journal of Dynamic Systems Measurement and Control*, Volym 126, pp. 1-26.
- Glantz, H., 2012. *Homologation and Engineering, Mercedes-Benz Sverige AB* [Intervju] (19 06 2012).
- Gustavsson, P. & Austrell, P.-E., 2003. *Kurskompendium "Krafter" Lunds tekniska högskola*. [Online]  
Available at:  
[http://www.bkl.lth.se/fileadmin/byggnadskonstruktion/education/FME602/Krafter\\_kompendium.pdf](http://www.bkl.lth.se/fileadmin/byggnadskonstruktion/education/FME602/Krafter_kompendium.pdf)  
[Använd 07 11 2012].
- Hrovat, D. D., Tseng, H. E. & Brown, T. A., 2004. *Method for road grade/vehicle pitch estimation*. USA, Patentnr 6,714,851.
- IVECO, 2012. *IVECO:s kundtjänst* [Intervju] (20 06 2012).
- Karlsson, J., 2012. *Developement engineer, Scania CV AB* [Intervju] (27 06 2012).
- Kasumovic, I., 2012. *Funktionsägare ELC, Scania CV AB* [Intervju] (20 06 2012).
- Krauss, A., 2012. *Requirements engineer & Systemanalyst, HELLA KGaA Hueck & Co* [Intervju] (16 07 2012).
- Loftén, M., 2012. *Engineer at Fuel Consumption & Performance Calculation, Technical Product Planning & Vehicle Validation, Scania CV AB* [Intervju] (15 08 2012).
- MAN Truck & Bus UK Ltd, 2012. *MAN:s lastbilsspecifikationer*. [Online]  
Available at: <http://www.man-bodybuilder.co.uk/specs>  
[Använd 12 06 2012].
- Molin, B., 2009. *Analog elektronik*. Lund: Studentlitteratur.
- Ohlsson, F., 2012. *Product and logistics manager på Volvo* [Intervju] (06 08 2012).
- Pedersen, M., 2012. *Säljare av DAF på Cosmo truck center* [Intervju] (19 06 2012).

- Renault Trucks, 2011. *Renaults lastbilskonfigurator*. [Online]  
Available at:  
[http://g57partnerweb.srv.volvo.com/\(S\(tifwm3555zswgz55h5erpqrr\)\)/Wizard.aspx?LanguageId=2057&CountryId=GB](http://g57partnerweb.srv.volvo.com/(S(tifwm3555zswgz55h5erpqrr))/Wizard.aspx?LanguageId=2057&CountryId=GB)  
[Använd 15 06 2012].
- Scania CV AB, 2010. *Internt dokument: Technical report 7000688*. Södertälje: Scania CV AB.
- Scania CV AB, 2010. *Ritning av elmotorn som sköter nivåregleringen*. Södertälje: Scania CV AB.
- Scania CV AB, 2012. *Scanias databas med specifikationer på testfordon*. Södertälje: Scania CV AB.
- Steenson, J. J. H. & Amsbury, B., 2001. *Apparatus and method for a pitch state estimator for a personal vehicle*. USA, Patentnr 6,332,103.
- Tahir, N. & Brooker, D. G., 2011. Recent Developments and Recommendations for Improving Harmonic Radar Tracking Systems. *Proceedings of the 5th European Conference on Antennas and Propagation (EUCAP)*, pp. 1619-1623.
- United Nations, Regulation 48, rev.6, 2010. *Installation of lighting and light-signalling devices on motor vehicles*. [Online]  
Available at: <http://www.unece.org/trans/main/wp29/wp29regs41-60.html>  
[Använd 14 06 2012].
- Wabco, 2012. *Ritning Wabco vinkelsensor*. u.o.:Wabco.
- Wikimedia Commons, 2009. *Wikimedia Commons*. [Online]  
Available at: [http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=File:RC\\_Divider.svg&page=1](http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=File:RC_Divider.svg&page=1)  
[Använd 09 10 2012].

## Appendix 1, alternativeChooser

```
function var=alternativeChooser(mapping, sensorAngle)
var=single(11);
if sensorAngle >=0 && sensorAngle<10
    var=mapping(1);
end

if sensorAngle >=10 && sensorAngle<20
    var=mapping(2);
end

if sensorAngle >=20 && sensorAngle<30
    var=mapping(3);
end
if sensorAngle >=30 && sensorAngle<40
    var=mapping(4);
end

if sensorAngle >=40 && sensorAngle<50
    var=mapping(5);
end

if sensorAngle >=50 && sensorAngle<60
    var=mapping(6);
end

if sensorAngle >=60 && sensorAngle<70
    var=mapping(7);
end

if sensorAngle >=70 && sensorAngle<80
    var=mapping(8);
end

if sensorAngle >=80 && sensorAngle<90
    var=mapping(9);
end
if sensorAngle >=90 && sensorAngle<=100
    var=mapping(10);
end

% mapping kan se ut exempelvis enligt:
% a010=1;
% a1020=1;
% a2030=1;
% a3040=2;
% a4050=3;
% a5060=4;
% a6070=5;
% a7080=6;
% a8090=6;
% a90100=7;
% mapping=single([a010 a1020 a2030 a3040 a4050 a5060 a6070 a7080 a8090
a90100]);
```

## Appendix 2<sup>a</sup>, mätdata test på Grimm

| V sensor | V till coo | Hf [mm] | Hb [mm] | Nivåavvikelse, $\delta^\circ$ | Mätpunkt           |
|----------|------------|---------|---------|-------------------------------|--------------------|
| 1,94     | 0,973      | 797     | 864     | -0,58162                      | 1 (bak helt lyft)  |
| 1,989    | 0,998      | 808     | 811     | -0,02604                      | 2 (olyft)          |
| 2,089    | 1,048      | 822     | 810     | 0,104174                      | 3                  |
| 2,166    | 1,087      | 830     | 807     | 0,199666                      | 4                  |
| 2,223    | 1,116      | 839     | 802     | 0,3212                        | 5                  |
| 2,315    | 1,161      | 850     | 802     | 0,416689                      | 6                  |
| 2,391    | 1,199      | 858     | 798     | 0,520856                      | 7                  |
| 2,475    | 1,241      | 870     | 798     | 0,62502                       | 8                  |
| 2,507    | 1,257      | 875     | 797     | 0,677101                      | 9 (fram helt lyft) |

Mätavstånd mellan chassihöjd fram, Hf, och chassihöjd bak, Hb, är 6600mm.

## Appendix 2<sup>b</sup>, mätdata test på Marco

| HF [mm] | HB [mm] | Nivåavvikelse, $\delta^\circ$ | Fall                           |
|---------|---------|-------------------------------|--------------------------------|
| 707     | 812     | -2,018                        | Olastad, stödaxel uppe         |
| 676     | 720     | -0,846                        | Olastad, stödaxel nere         |
| 640     | 706     | -1,269                        | Sex ton last                   |
|         |         | 2980                          | Avstånd mellan mätpunkter [mm] |