



# CHALMERS

---



## Objektiv mätmetod för riktningsstabilitet

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Mekatronik

PETER EDLUND

SIMON HJALMARSSON

## **Objektiv mätmetod för riktningsstabilitet**

Examensarbete inom Högskoleingenjörsprogrammet i mekatronik

PETER EDLUND

SIMON HJALMARSSON

© PETER EDLUND & SIMON HJALMARSSON, 2014

Institutionen för Signaler och system

Chalmers tekniska högskola

SE-412 96 Göteborg

Sverige

Telefon +46 (0)31-772 1000

Omslagsbild: Volvo FH16 © Volvo Trucks

Används med tillstånd från upphovsrättsinnehavaren.

Göteborg, Sverige 2014

# FÖRORD

Denna rapport är en del av vårt examensarbete vid institutionen för Signaler och system på Chalmers tekniska högskola och omfattar 15hp. Det är ett avslutande arbete för våra studier på Högskoleingenjörsprogrammet i mekatronik. Arbetet har utförts på Volvo Group Trucks Technology i Göteborg på avdelningen Vehicle Dynamics & Brake Testing.

Vi vill tacka de personer, på Volvo och Chalmers som svarat på våra många frågor, för all den hjälp och kunskap vi har fått ta del av under detta arbete. Framförallt vill vi tacka Olof Pawlowski för all den handledning han gett oss under denna tid.

Vi hoppas att detta arbete skall komma till nytta i framtiden.

Peter Edlund & Simon Hjalmarsson

Göteborg, 2014

## SAMMANFATTNING

Känslan att köra ett fordon profilerar en fordonstillverkarens varumärke. Måttet för vad som är ett bra fordon skiljer sig mellan varje individuell förare och därför är det viktigt för en tillverkare att tydligt definiera den känslan man vill förknippa med sina modeller. Förutom att förmedla en känsla beskriver även fordonets köregenskaper hur väl fordonet uppträder i olika situationer. Därför är arbetet med att mäta dessa köregenskaper en viktig del av utvecklings- och konstruktionsarbetet av moderna lastbilar. De tester som redan görs idag ger en bra bild av lastbilens köregenskaper, men ännu saknas en metod för att kvantifiera bedömningen av riktningssabiliteten hos fordonet. Detta arbete utfördes i samarbete med Volvo Group Trucks Technology i Göteborg. En inledande litteraturstudie visade att antalet redan framtagna metoder inom riktningssabilitet var mycket begränsat, men ur detta, tillsammans med ideér från ingenjörer på Volvo togs olika metoder fram och testades. Metoderna som togs fram var att mäta den okorrelerade delen mellan förarens insignal via ratten och utsignaler för att mäta hur stor del av utomstående störningar som påverkar lastbilen. Lastbilens insignal är i detta fall rattvinkeln och utsignalen är i ena fallet girhastigheten och i det andra fallet lateralaccelerationen. Detta gjordes på en lastbil i standardutförande och på en lastbil med en pålagd störning. Störningen var i ena fallet att bakdäcken på lastbilen byttes till ett par vinterdäck för att ”kurvstyvheten” skulle bli sämre. Det gjordes också ett test på en lastbil med taggaxel som det skickades in en störning på som skulle få lastbilen att uppträda okontrollerat. All mätdata från dessa körningar jämfördes sedan mot en subjektiv betygsmodell som används idag på Volvo. Förutom dessa metoder så testades att mäta lastbilens avstånd till markeringarna på vägen genom en kamera som sitter i Volvos lastbilar. Dessa avstånd jämfördes sedan mot lastbilens rattvinkel för att se hur detta kunde relateras till varandra. Denna metod slopades dock tidigt efter mätningarna då analyseringen av mätdata blev svårtydd på grund av att kvaliteten i mätningarna varierade stort så att det uppstod en osäkerhet i hur bra resultaten egentligen stämde. Arbetet med att mäta den okorrelerade delen resulterade i en mätmetod för att utvärdera riktningssabilitet med tillhörande utvärderingsprogram som dock bör verifieras med mer tester för att säkerställa en hög kvalitativ nivå i arbetet. Utöver det så har arbetet med att styra taggaxeln under körning kommit långt men är dock ej helt klart i detta skede. Denna metod skulle kunna användas för att ur den subjektiva modellen ta fram riktvärden för varje nivå i skalan.

Nyckelord: riktningssabilitet, lastbil, korrelation, koherens, köregenskaper, objektiv utvärderingsmetod, lateralacceleration, girhastighet

## ABSTRACT

The feeling of driving a vehicle profiles a vehicle manufacturer's brand. The estimation of what is a good vehicle differs between each individual driver and therefore it is important for manufacturers to clearly define the feeling they want to associate with their models. In addition to providing a sense, the vehicle handling also describes how well the vehicle behaves in different situations. Therefore the effort to measure these driving characteristics is an important part of the development of modern trucks. The tests already being used today gives a good picture of the trucks handling performance, but still lacks a method to quantify the assessment of directional stability of the vehicle. This work was done in collaboration with Volvo Group Trucks Technology in Gothenburg. An initial literature study showed that the number of already developed methods in directional stability was very limited, but some parts were used alongside ideas from engineers at Volvo and different methods were developed and tested. The methods were to measure the uncorrelated part of the driver input through the steering wheel and output signals to measure how much of the outside interference that was affecting the truck. The truck's input in this case is the steering angle and the output is in one case the yaw rate and in the other case the lateral acceleration. This was conducted on a standard truck and a truck with an applied disturbance. The disturbance was in one case to change from summer to winter tires to change the "cornering stiffness". One method was to test a truck with a tag axle with a disturbance signal sent to the axle. This would make the truck behave more uncontrollably. All data from these runs were then compared against a subjective rating model used today at Volvo. In addition to these methods a test to measure the truck's distance to the markings on the road through a camera equipped on Volvo trucks was tested. These distances were then compared against the truck's steering wheel angle to see how this could be compared to each other. However this method was rejected soon after the measurements were done because the measured data was difficult to analyze because of the quality of the measurements which varied greatly. This created an uncertainty of how good the results really were. Efforts to measure the uncorrelated part resulted in a measurement method to evaluate the directional stability with associated evaluation program; however it must be verified through more testing to ensure a high level of quality in the work. On top of that, the work with steering the tag axle while driving was far developed but is still not fully completed yet. This method could be used to develop comparisons for each level of the scale of the subjective model.

Keywords: directional stability, truck, coherence, driving dynamics, objective evaluation method, on-center handling, handling, lateral acceleration, yaw-rate

# INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1	INLEDNING .....	1
1.1	Bakgrund .....	1
1.2	Syfte.....	1
1.3	Avgränsningar .....	1
1.4	Precisering av frågeställning .....	1
2	TEKNISK BAKGRUND .....	2
2.1	Lastbil .....	2
2.1.1	Konfigurationer .....	2
2.1.2	Fordonsdynamik.....	4
2.2	Mätutrustning.....	5
2.2.1	Mätsystem .....	6
2.2.2	CAN-System .....	6
2.2.3	Gyroskop .....	7
2.2.4	Piezoelektrisk Accelerometer.....	7
2.2.5	Rattvinkelgivare .....	7
2.2.6	LPOS-Kamera .....	8
2.2.7	nCode Glyphworks.....	8
2.2.8	Dewesoft X1 .....	8
2.2.9	CANalyzer.....	9
2.3	Testmetoder för körgenskapsutvärdering .....	9
2.3.1	Test 1 – Långsam sinusvåg (ISO 13674-1:2010).....	9
2.3.2	Test 2 – Cirkelprovning vid stationärt förhållande (ISO-14792:2011).....	10
2.3.3	Test 3 – Random input (ISO/TR 8726:1988).....	10
3	SIGNALBEHANDLING OCH ANALYS .....	11
3.1	Överföringsfunktion .....	11
3.2	Fouriertransform och spektralanalys .....	11
3.3	Fönsterfunktion.....	12
3.4	Överlapp vid signalbehandling.....	13
3.5	Koherens och korrelation.....	13
3.6	Okorrelerad inverkan .....	14
3.7	RMS-värde.....	14
4	METOD.....	15
4.1	Litteratursökning och sammanställning.....	15
4.2	Metod 1 – Koherens mellan lateralacceleration och rattvinkel .....	16
4.2.1	Metod med vinter- och sommardäck (Metod 1.1).....	16
4.2.2	Metod med styrning av taggaxel (Metod 1.2) .....	19
4.3	Metod 2 – Använda LPOS-kamerans avståndsfunktioner .....	20
5	RESULTAT .....	21
5.1	Kravspecifikation.....	21
5.2	Metod 1.1 – Okorrelerad girhastighet/lateralacceleration .....	21
5.3	Metod 1.2 – Taggaxelstyrning.....	27
5.4	Metod 2 – Använda LPOS-kamerans avståndsfunktioner .....	28
6	DISKUSSION .....	30
7	SLUTSATS .....	32
8	REFERENSER.....	33

# 1 INLEDNING

## 1.1 Bakgrund

Avdelningen Vehicle Dynamics & Brake Testing på Volvo Lastvagnar ansvarar för testning och verifiering av företagets produkter. I deras arbete ingår att säkerställa att Volvo Lastvagnars produkter kan användas och nyttjas på ett effektivt och säkert sätt. En del i detta är att ta fram mätmetoder för att kunna kvantifiera mätdata oberoende av mänskliga intryck och kunna bibehålla en hög kvalitativ nivå på arbetet.

I dagsläget används subjektiva metoder för att mäta riktningstabiliteten och detta är ett problem då alla testförare inte har samma uppfattning om hur en lastbil ska uppträda.

## 1.2 Syfte

Syftet med detta examensarbete är att utifrån en litteraturstudie skapa en mätmetod som ska underlätta arbetet med att mäta riktningstabiliteten hos en lastbil. Resultatet av examensarbetet ska leda till en objektiv mätmetod för att mäta riktningstabilitet.

Med tydliga kvantitativa mål ska inverkan av mänskliga aspekter reduceras. Resultatet skall bidra till att öka kvalitén i Volvos arbete inom test och verifikation.

## 1.3 Avgränsningar

För att projektet skall vara genomförbart under den avsedda tiden måste vissa avgränsningar göras i det tänkta arbetet, följande avgränsningar har gjorts:

- Detta arbete kommer enbart att fokusera på tunga lastbilar.
- Ekonomiska aspekter kommer inte att behandlas i detta examensarbete.
- Endast befintlig mätutrustning kommer användas.
- Förslag på konstruktionsförbättringar på lastbilarna kommer inte att tas fram.
- Vilken erfarenhet testförarna har kommer inte att tas i beaktning.
- Metoden kommer endast att utföras vid landsväg- och motorvägsförhållande där all utvärdering av riktningstabilitet skall ske.

## 1.4 Precisering av frågeställning

Frågor som är intressanta och kommer behandlas i detta arbete är:

- Hur definieras en riktningstabilt lastbil?
- Vilka storheter är viktiga vid mätning av riktningstabilitet?
- Vilka metoder används idag och kan något av detta appliceras i projektet?
- Vilka störningar kan påverka mätningarna?
- Hur skall dessa störningar hanteras?
- I vilken miljö och under vilka förutsättningar skall mätmetoden användas?



## 2 TEKNISK BAKGRUND

För att förtydliga innehållet och göra det lättare för läsaren att ta del av rapporten följer nedan en förklaring av de olika tekniska termer som ingår i arbetet.

### 2.1 Lastbil

En lastbil är ett transportfordon avsedd för bruk i kommersiella syften. Det finns två typer av lastbilar, lätt lastbil och tung lastbil. En lätt lastbil har en totalvikt under 3,5 ton och får framföras i den hastighet som gäller för vägen och det behövs enbart B-behörighet för att framföra det, denna typ kommer ej att behandlas i detta arbete.

En tung lastbil har en totalvikt som överstiger 3,5 ton ända upp till 60 ton med vissa undantagsfall där även tyngre ekipage kan framföras. En tung lastbil får framföras i max 90 km/h på motorväg samt motortrafikled och max 80 km/h på annan väg. Ifall lastbilen har en tillkopplad släpvagn så är maxhastigheten begränsad till 80 km/h även på motorväg och motortrafikled (Transportstyrelsen, 2003).

#### 2.1.1 Konfigurationer

Lastbilar har många olika användningsområden, därför finns det också många olika lastbilskonfigurationer. Lastbilar kan sorteras i två grundläggande kategorier; lastbärande och icke-lastbärande. Icke-lastbärande är lastbilar som oftast används till fjärrtransporter där lastbilen är utrustad med en vändskiva för att koppla till en semitrailer. Dessa lastbilar kallas för traktor eller semidragare (Volvo Lastvagnar AB, 1995).

Lastbärande lastbilar är de fordon som är gjorda för distribution, anläggningsarbeten, timmertransporter och liknande. De har ett längre chassi än traktorer vilket gör att de kan ha olika påbyggnader iform av bland annat skåp, grusflak, vätsketankar eller timmerreden (Volvo Lastvagnar AB, 1995).

Lastbilar utrustas med olika axelkonfigurationer beroende på ändamålet då olika användningsområden har olika krav på axeltryck och framkomlighet. Lastbilar som kör livsmedelsdistribution i stadstrafik behöver oftast inte så många axlar då vägförhållandena är enkla och vikten på godset inte är så högt medan lastbilar som går i gruvschakt och liknande kan behöva fler axlar då det lastas väldigt tungt och förhållandena kan vara sämre. Vissa lastbilar har stora skillnader i vikt mellan olika arbeten och då förekommer det att man har en extra axel som är lyftbar. Lyftbara axlar finns i olika utförande; tagg- och pusheraxel (*se figur 1 och 2*).

En tagg- och pusheraxel fungerar på så sätt att när en lastbil är tungt lastad sänks axeln ner och assisterar övriga axlar så att lastbilens totalvikt fördelas på en extra axel. Då axeln är nedfälld blir lastbilen svårare att manövrera i lägre farter och blir tyngre att svänga runt på grund av mer grepp mot vägbanan. På grund av det så är tagg- och pusheraxeln styrbara i lägre farter så att axeln styr ut åt motsatt håll mot framaxeln så att lastbilen blir mer följsam och lättmanövrerad. En taggaxel monteras bakom den sista drivande axeln och en pusheraxel monteras framför den drivande axeln.





*Figur 1 – Pusherutförande*



*Figur 2 – Taggaxelutförande*

De vanligaste förekommande axelkonfigurationerna är 4x2, 6x2, 6x4, 6x6, 8x2, 8x4 och 8x8. Dessa beteckningar beskriver antalet hjul och hur många av dem som är drivande. 6x2 betyder att lastbilen har sex hjul varav två stycken är drivande. Denna är då tre-axlig för att om en axel är utrustad med dubbelmonterade hjul så kommer dessa hjulpar att räknas som ett hjul (Volvo Lastvagnar AB, 1995).

De fordon som använts i detta arbete är en lastbärande och en icke-lastbärande lastbil. Den lastbärande lastbilen användes i Metod 1.2 och var en Volvo FMX 460 8x4 utrustad med ett tippbart grusflak. Lastbilen har fyra axlar varav tre bakaxlar där två är drivande och den sista är höj- och sänkbar samt styrbar. FMX står för att det är en frontmonterad hytt med mellanhögt insteg och X:et står för att den är gjord för arbeten off-road. Den icke-lastbärande lastbilen användes i Metod 1 och Metod 2 och var en Volvo FH 460 4x2. FH står för frambygd hytt med högt insteg och 460 är antalet hästkrafter motorn levererar. Lastbilen är utrustad med vändskiva för tillkoppling av semitrailer.



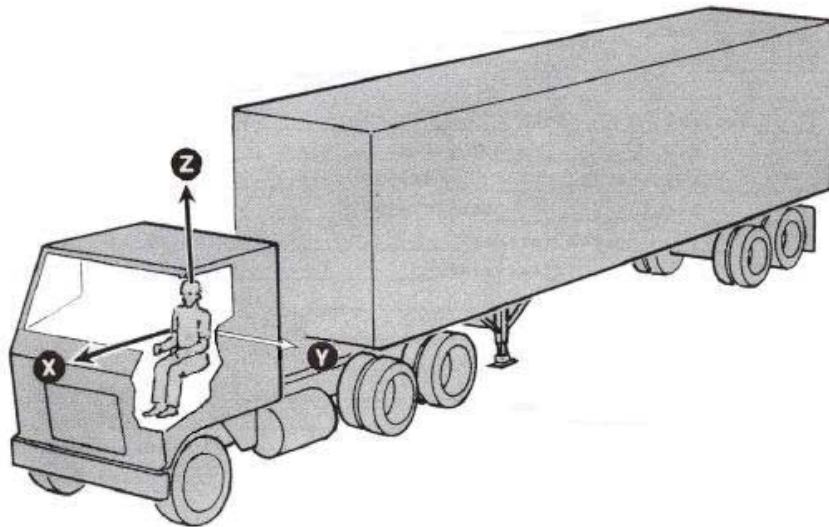
*Figur 3 – Lastbärande Volvo FMX 8x4*



Figur 4 – Icke-lastbärande Volvo FH 4x2

### 2.1.2 Fordonsdynamik

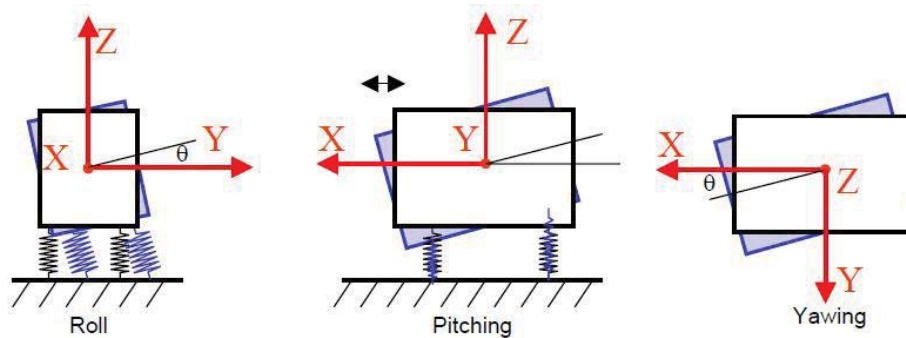
Inom området riktningstabilitet så eftersträvas att fordonet i fråga ska uppträda precis enligt de signaler som föraren skickar in i fordonet via ratten. Nedan visas ett koordinatsystem i en lastbil.



Figur 5 – Koordinatsystemet i en lastbil (Volvo Intern GDI 964-30 page 10)

X-led pekar i fordonets körriktning och när fordonet roterar kring x-axeln så kallas det att lastbilen kränger, detta kan bero på bland annat att det är kraftig kurva eller att lastbilen kör i svacka eller gupp på ena sidan av vägbanan. Y-led pekar i fordonets sidledsriktning och fordonets rotation kring y-axeln kallas för pitch.

Den viktigaste rotationen vid mätning av riktningstabilitet är rotationen kring z-axeln, den axel som pekar i fordonets höjddled. Rotationen kring z-axeln är lastbilens vinkeländring. Om rattvinkel minskar vid ökad lateralacceleration vid körning i en konstant radie är bilen överstyrd, om istället rattvinkeln ökar kallas det för att lastbilen är understyrd.



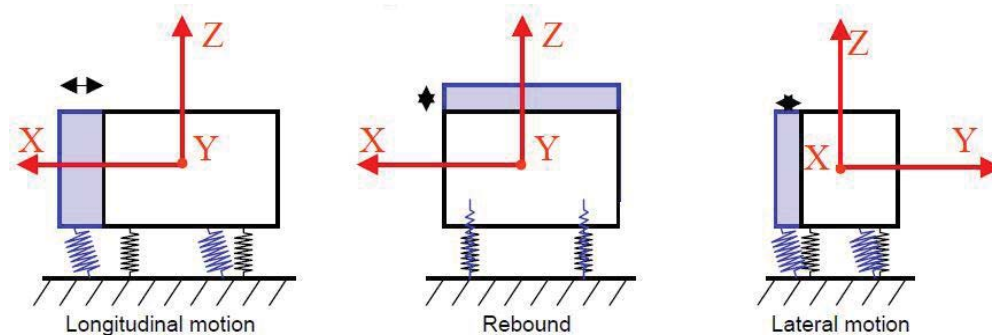
Motions of the cab and its suspension

Figur 6 – Rotationsrörelser kring axlarna (Volvo Intern GDI 964-30 page 10)

Krafter som påverkar lastbilen i Y-led är särskilt intressanta då det är dessa som tvingar föraren att justera lastbilens körriktning. Vid körning rakt fram så är målet att den laterala förändringen ska vara obefintlig. Vid stora laterala rörelser så kan lastbilen upplevas som nervös och vinglig och det är en stor trafikfara både för föraren och andra trafikanter.

Krafter i körriktning beror främst på accelerationer och inbromsningar, dessa krafter är försumbara i hastigheter som detta arbete kommer att beröra. Krafter i höjdlid uppstår då fjädningen ändrar läge och det sker när det är hinder i vägbanan.

Riktningstabiliteten påverkas av krafter i höjdlid beroende på hur lastbilens geometri för styrningen är konstruerad. I detta arbete kommer dessa krafter inte att tas i beaktning.



Figur 7 – Rörelser kring axlarna (Volvo Intern GDI 964-30 page 10)

## 2.2 Mätutrustning

All mätutrustning som används i lastbilen är befintlig utrustning som Volvo har tillgång till och är utrustning som vardagligen används och är beprövad.

Mätutrustningen utgör en viktig del i det praktiska arbetet för att kunna få ut en bra och kvalitativ slutprodukt.

I figur 8 ses mätutrustning installerad i lastbil under pågående test. I denna mätsetup är två stycken lateralaccelerometrar inkopplade analogt tillsammans med två analoga ingångar för rattvinkel och rattmoment. Från gyroskopet kopplas en seriell kabel för övriga mätdata såsom hastighet, girhastighet med mera.



1. Mätinsamlingsbox med 8st analoga ingångar, i detta fall användes 4st.
2. PC med programvaran Dewesoft X1.
3. CAN-box för att komplettera antalet CAN-ingångar.
4. Dataskärm, där Dewesoft X1 visas för att kunna kontrollera mätning under körning.



Figur 8 – Mätutrustning under testkörning

### 2.2.1 Mätssystem

Mätssystemet som använts i detta projekt är ett Sirius-system från Dewesoft Instruments. Siriussystemet är ett modulbaserat mätssystem som har möjlighet att sammanföra mätsignaler från alla olika typer av mätutrustning som används i arbetet.

Mätutrustningen samlar, i denna setup, in signalerna från accelerometrar, CAN-systemet och gyroskopet. I Sirius-system kan all data läsas av i realtid och sedan exporteras i filformat som kan efterbehandlas i många olika dataprogram (Dewesoft).

### 2.2.2 CAN-System

CAN är en förkortning av *Controller Area Network* och är en fältbuskommunikation framtagen av Robert Bosch GmbH och används främst för kommunikation i fordon, där den är vanligt förekommande, men används även i andra sammanhang.

I CAN-bussen sker seriell- och asynkron-kommunikation mellan de mikrodatorer som finns i ett modernt fordon, bland annat säkerhetsfunktioner som krockkudde och automatiska bromssystem som kommunicerar på olika bussar. Meddelanden är i huvudsak korta och maxhastigheten på bussen är uppemot 1Mbit på nätverk kortare än 40 meter (Thomas, 2008).

### 2.2.3 Gyroskop

I arbetet användes ett gyroskop från Oxford Technical Solutions (se figur 9). Ett gyroskop är en utrustning som traditionellt består av ett balanserat hjul upphängt på så sätt att den fritt kan rotera kring sin axel och röra sig åt alla håll. Hjulet ges en väldigt hög hastighet och behåller då sin riktning samtidigt som den motverkar förändringar i sin orientering. (Brain, 2000)



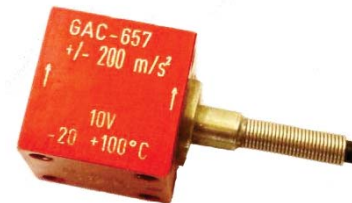
Figur 9 – Gyroskop

Genom att montera dessa svänghjul i balansupphängningar med sensorer kopplade till axlarna kan man mäta skillnader i gyroskopet när fordonet rör sig. På så sätt kan man mäta de olika krafter som påverkar utan att mätningen påverkas av hur plattformen, som gyrot är monterat i, rör sig. I modern elektronik används dock så kallade CVG (Coriolis vibratory gyroscope) (Seiko Epson Corp.) där vibrerande element används istället för ett roterande svänghjul för att minimera storleken på gyrot men fortfarande uppnå samma funktion. Gyroskopet som användes i arbetet innehöll även GPS-funktion för att mäta fordonets hastighet, samt sex stycken accelerometrar för mätning av till exempel lateralacceleration (Oxford Technical Solutions).

### 2.2.4 Piezoelektrisk Accelerometer

En accelerometer är ett instrument för att mäta accelerationen för ett visst föremål. En piezoelektrisk accelerometer (se figur 10) fungerar genom att dess hölje är fast monterat på komponenten där accelerationen skall mätas och den har en massa inuti som vilar på en piezoelektrisk kristall.

När givaren utsätts för en rörelse så kommer massan att trycka på kristallen och den kraften kommer att motsvara accelerationen givaren är utsatt för. Kristallen kommer då att avge elektriska laddningar så att du kan mäta hur stor acceleration det är i enheten Volt (Nationalencyklopedin).



Figur 10 – Piezoelektrisk accelerometer

### 2.2.5 Rattvinkelgivare

Rattvinkelgivaren som används i detta arbete heter FCA 7300 och kommer från Measurement Specialities, Ltd (se figur 11). Rattvinkelgivaren är ett mätdon som monteras på styrstången och mäter rattens vinkel, moment och hastighet. Rattvinkelgivaren är en komplett enhet som har egenskaper såsom inbyggda kalibreringsfunktioner och överbelastningsskydd (Measurement Specialities, 2012).



Figur 11 – Rattvinkelgivare monterad med ratt

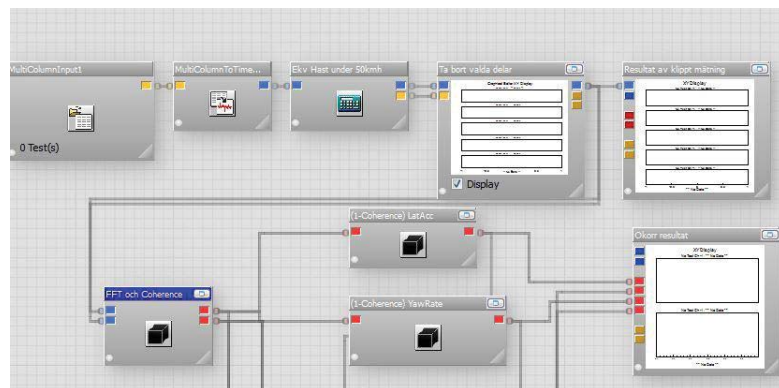
### 2.2.6 LPOS-Kamera

LPOS står för *Lane Positioning Object Sensor* och används i Volvos lastbilar för att läsa in omgivningen och identifiera vägmarkeringar. Kameran kan sedan mäta längden från lastbilen till vägmarkeringarna som den identifierat. Dessa signaler som kommer från LPOS-kameran skickas sedan till andra system för att understödja föraren med olika säkerhetsfunktioner så som att varna föraren vid trötthet ifall denne korsar vägmarkeringar utan blinkers, ifall föraren uppträder vingligt på vägen och även säkerhetsfunktioner som nödbroms (Berg, 2014).

### 2.2.7 nCode Glyphworks

Mjukvaran som användes för att utföra de numeriska beräkningar som krävdes var databehandlingsprogrammet *Glyphworks* från tillverkaren nCode. Programmet är konstruerat för att hantera stora mängder data och vara användarvänligt genom att låta användaren skapa en beräkning i ett grafiskt användargränssnitt med så kallade ”glyphar”.

Varje glyph innehåller ett matematiskt script som användaren kan koppla ingående och utgående data till i ett stort nät av glyphar (se figur 12). I programmet går det även att lägga in egna script från MATLAB eller script skrivna i Pythonkod. De MultiColumn-filer som programmet kan hantera innehåller förutom själva mätdata information om klockslag, typ av givare och dess mätintervall, samplingshastighet och mycket mer. Ur denna kan programmet bland annat skapa två nya filtyper; TimeSeries och Histogram beroende på om mätdata analyseras på tids- eller frekvensplan och innehåller endast mätdata.



Figur 12 – Exempelbild på det grafiska gränssnitt som används i Glyphworks

### 2.2.8 Dewesoft X1

Dewesoft X1 är ett signalanalysprogram som används för mätdatainsamling med möjlighet till viss signalbehandling i efterhand. Programmet innehåller funktioner som automatiskt känner av vilken typ av givare som är inkopplade samt vilket mätområde givaren har.

Programmet kan hantera digitala, analoga samt seriella signaler samtidigt samt filtrera och skala dessa i realtid under insamlingen (se figur 13). Programmets möjligheter att exportera och konvertera mätdatafiler användes för att förenkla hanteringen i beräkningsprogrammen (Dewesoft).



Figur 13 – Insamlad mätdata i programmet Dewesoft X1

## 2.2.9 CANalyzer

Canalyzer är ett datorprogram tillverkat av Vector som används för att styra och analysera kommunikationen på CAN-bussen. Programmet kan logga data och förändra denna i realtid genom olika programscript för att uppnå eller förändra beteende hos fordonet (Vector, 2014).

## 2.3 Testmetoder för körgenskapsutvärdering

År 1984 publicerade Kenneth D. Norman en artikel åt *Society of Automotive Engineers* (SAE) som lade grunden för de utvärderingstester man idag gör på person- och lastbilar för att mäta ”On-center handling”. I sin studie utvecklade Norman ett test, ”the weave test” där man kunde kvantifiera de köregenskaper som är viktiga vid motorvägskörning, ett test som senare skulle bli en ISO-standard. Nedan beskrivs det tre deltester som dagens körgenskapsutvärdering består av och som låg till grund för denna rapport.

### 2.3.1 Test 1 – Långsam sinusvåg (ISO 13674-1:2010)

Det första testet, det så kallade ”långsamma sinusen”, genomförs längs en rak referenslinje där man framför lastbilen i en konstant hastighet på 80 km/h och samtidigt gör långsamma sinusformade filbyten med en rattvinkel mellan +/-25 grader och en frekvens på 0,15 Hz.

Under mätningen loggas rattvinkel, rattmoment, lateralacceleration och girhastighet och utvärdering av mätningarna ger värden på girstabilitet vid given hastighet, samt största värden på lateral- och longitudaccelerationen vid samma punkter.

Huvudsakligen fås ett mått på lastbilens on-center precision, vilket beskriver hur väl lastbilen styr rakt fram, hur stora förlusterna är till friktion i rattstång och knutar, styr- och momentkrafter och gradienter till dessa samt hur bra rattåtergången är på lastbilen när man släpper ratten (ISO 13674-1:2010, 2010).



### **2.3.2 Test 2 – Cirkelprovning vid stationärt förhållande (ISO-14792:2011)**

Test nummer två, det så kallade ”steady state”, är en provningsmetod där man mäter under- och överstyrningen på lastbilen, krängning och hur mycket korrigeringsombehöv för att bibehålla en svängradie. Testet genomförs genom att med en ökande hastighet köra lastbilen i en cirkel med en fix radie och följa denna. Mätdata visar hur mycket korrigeringsombehöv som krävs med ratten för att lastbilen skall klara av att hålla den givna radien vilket sedan kan utvärderas och ge mått på lastbilens överstyrning/understyrning och krängning (ISO 14792:2011, 2011).

### **2.3.3 Test 3 – Random input (ISO/TR 8726:1988)**

Det tredje testet, ”random input”, följer en äldre ISO-standard som numer är omgjord men fortfarande används då den ger ett bra svar på hur lastbilen svarar till snabba ratt rörelser. Vid ett random input test körs lastbilen rakt fram, i 80km/h, föraren svänger på ratten för att skapa en slumpmässig frekvensinput, som ligger mellan 0-3 Hz, med en varierande vinkel. Av detta bildar man en överföringsfunktion mellan rattvinkel och girhastighet samt rattvinkel och lateralacceleration. Utvärdering av resultatet ger förstärkningen på styrningen, svarstid i systemet samt mått på förstärkning/dämpning av krängningen (ISO/TR 8726:1988, 1988).

### 3 SIGNALBEHANDLING OCH ANALYS

I arbetet samlades en mängd data in från olika mätton och givare, för att utvärdera ett resultat utfördes olika signalbehandlingsmetoder. Nedan följer förklaringar till de matematiska operationer som utfördes i programvaran nCode Glyphworks.

#### 3.1 Överföringsfunktion

Sambandet mellan insignal och utsignal kallas överföringsfunktion för ett linjärt tidsinvariant system. Överföringsfunktionen beskriver detta samband i frekvensplanet och definieras enligt följande på Laplaceform:  $G(s) = \frac{Y(s)}{X(s)}$ , där  $X(s)$  och  $Y(s)$  är Laplacetransformerade in- och utsignaler (Thomas, 2008).

#### 3.2 Fouriertransform och spektralanalys

För att kunna behandla och utvärdera *aperiodiska signaler*, en signal vars tidsförlopp inte upprepar sig, görs en *spektralanalys*. Spektralanalys är en datorbaserad variant av frekvensanalys som baseras på Fouriertransform, fördelen är att signalen nästan kan se ut hur som helst, vilket mätsignaler ofta gör. Göran Hult beskriver de matematiska formlerna (ekv 3.1-3.3) bakom spektralanalysen vidare i sitt utbildningsmaterial (Hult, 2013):

Fouriertransformen,  $U(\omega)$ , för en signal med begränsad energi definieras enligt följande:

$$U(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} u(t) * e^{-j\omega t} dt \quad (3.1)$$

Vanligtvis mäter man signaler under ett begränsat intervall,  $0 \leq t \leq T_1$ , om också Fouriertransformerna för insignalen  $U(\omega)$  och utsignalen  $Y(\omega)$  är kända går det att beräkna frekvensfunktionen  $G(j\omega)$  enligt:

$$G(j\omega) = \frac{Y_{T_1}(\omega)}{U_{T_1}(\omega)} = \frac{\int_0^{T_1} y(t) * e^{-j\omega t} dt}{\int_0^{T_1} u(t) * e^{-j\omega t} dt} \quad (3.2)$$

Samplas signalen med antal sampel  $N$  i intervallet  $h$  under mätningen, där  $T_1=N \cdot h$ , fås integralerna istället som summor enligt:

$$G_N(j\omega) = \frac{Y_N(\omega)}{U_N(\omega)} = \frac{h \cdot \sum_{k=0}^{N-1} y(kh) \cdot e^{-j\omega kh}}{h \cdot \sum_{k=0}^{N-1} u(kh) \cdot e^{-j\omega kh}} = \frac{\sum_{k=0}^{N-1} y(kh) \cdot e^{-j\omega kh}}{\sum_{k=0}^{N-1} u(kh) \cdot e^{-j\omega kh}} \quad (3.3)$$

Genom att slutligen införa de tidsdiskreta variablerna  $y[k]=y(k \cdot h)$ ,  $u[k]=u(k \cdot h)$  och den normerade vinkelfrekvensen  $\Omega = 2\pi \frac{f}{f_s} = \omega h$  fås ytterligare två summaformler, som ej illustreras i denna rapport. De två formlernas summor beräknar den *Diskreta Fouriertransformen* av in- och utsignalen och bildar ett diskret linjespektrum.

I spektralanalysen som görs i detta arbete används den snabbare varianten av *Diskret Fouriertransform* (DFT), den så kallade *Fast Fourier Transform* (FFT). Fördelen är att FFT kräver mycket kortare beräkningstider än DFT och är därför vanlig inom signalbehandling.

FFT-funktionen är anpassad så att antal sampel,  $N$ , skall vara en jämn tvåpotens enligt  $N = 2^n$ , vilket ger  $2N \cdot \log_2(N)$  beräkningar i motsvarighet till DFT där antal sampel måste vara  $2N^2$ . En enkel beräkning på 128 sampel skulle kräva 32768 stycken beräkningar med DFT mot 1792 stycken med FFT (Weisstein).

### 3.3 Fönsterfunktion

Att plotta en Fouriertransformering utan att ta hänsyn till de sampelövergångar som sker mellan delperioderna i signalen ger ett svårsläst och svåranalyserat resultat. För att ta hänsyn och dämpa dessa störningar (läckage) och varianser används så kallade *fönsterfunktioner*.

Dessa fönsterfunktioner eliminerar felaktig data i det samplade spektrumets början och slut genom att låta signalen mjukt övergå till och från noll vid dessa punkter. (Hewlett-Packard, 1985) Det finns en rad olika fönsterfunktioner, som alla ger bättre svar än övriga vid olika typer av ingående signal, i detta arbete har dock Hanning-funktionen använts då detta används i tidigare utvärdering på Volvo.

### 3.4 Överlapp vid signalbehandling

Det så kallade ”overlap processing” är en funktion som används vid FFT-beräkningar. När överlapp inkluderas i beräkningen använder det numeriska programmet en del av den gamla datan för att beräkna det nya värdet. Detta är användbart när man använder sig av fönsterfunktioner i realtid där beräkningarna tar lång tid för datorn som då inte hinner beräkna all inkommande mätdata.

Överlappsfunktionen underlättar för att minimera detta ”läckage” genom att ta med en del av den gamla insamlade mätdatan, som kan ha missats, för att beräkna nästkommande punkt. Även beräkningstiden vid RMS-beräkningar minskar drastiskt då data som fönsterfunktionen skulle beräknat inte tas med, främst vid de punkter som fönsterfunktionerna sätter till noll då RMS-funktionen annars hade beräknat dessa. (Hewlett-Packard, 1985)

### 3.5 Koherens och korrelation

Koherens (ges ofta symbolen  $\gamma^2$ ) är ett statistiskt mått som används för att jämföra likheter mellan två signalers faser (Hewlett-Packard, 1985). För att signalerna skall vara koherenta måste faserna vara exakt lika eller skillnaden mellan signalerna vara konstant. Koherensen mellan två signaler definieras enligt följande (Hewlett-Packard, 1985):

$$\gamma^2 = \frac{|G_{xy}|^2}{G_{xx}G_{yy}} \text{ som i frekvensplanet skrivs som: } \gamma^2 = \frac{|G_{xx}|^2}{G_{xx}^2} \quad (3.6)$$

$G_{xx}$  och  $G_{yy}$  är spektraltätheterna av signalerna x respektive y och fås fram genom att Fouriertransformera signalernas autokorrelation. Vid autokorrelation multipliceras signalen med en tidsförskjuten kopia för att bland annat ge en medelkurva där störningar har reducerats. När likheter mellan två signaler skall tas fram används en liknande form, korskorrelation, som utför samma operation på två stycken olika signaler.

$G_{xy}$  är korspektrumtätheten sinsemellan de två och beskriver vilka frekvenskomponenter de har gemensamt. Absolutbeloppet för styrkan hos spektrumtätheten finner man i täljaren. Värdet för koherens ligger alltid inom gränserna  $0 \leq C_{xy} \leq 1$ , där värdet 1 beskriver en ideal koherens mellan in- och utsignal. I detta arbete ger det alltså ett mått på hur mycket av utsignalen, lateralacceleration respektive girhastighet, som påverkas av rattvinkeln och inte av andra ingående störningar.

### 3.6 Okorrelerad inverkan

För att kvantifiera måttet på den okorrelerade inverkan från störningar och annat multipliceras den okoherenta delen  $(1 - \gamma^2)$  med utsignalen, i denna rapport lateralacceleration alternativt girhastighet (yaw-rate). Detta ger ett spektrum över störningens inverkan som senare kan utvärderas till ett medelvärde med en RMS-beräkning.

$$\text{Okorrelerad yaw - rate} = (1 - \gamma^2) * \psi \quad (3.7)$$

### 3.7 RMS-värde

För att slutligen kunna få ett medelvärde på de resulterande spektrum som tagits fram görs en så kallad RMS-operation. RMS står för *root-mean-square*, som på svenska översätts till "kvadratisk medelvärde". RMS-operationen kvadrerar alla värden, adderar dessa, dividerar med antalet punkter för att slutligen ta rotfunktionen på resultatet enligt (Hewlett-Packard, 1985):

$$x_{rms} = \sqrt{\frac{1}{n} (x_1^2 + \dots + x_n^2)} \quad (3.8)$$

## 4 METOD

Arbetet inleddes med en litteratursökning för att se ifall det existerade arbeten från tidigare forskning och examensarbeten som behandlar området riktningstabilitet och on-center handling.

Efter inledande litteraturstudie togs olika testmetoder fram för att hitta ett sätt att mäta de parametrar som ansågs viktiga och som var tillämpbara med avseende på de tillgångar som fanns på Volvo. Testmetoderna som tagits fram testades sedan i verkligheten med kompletta lastbilar och mätsystem för att inhämta mätdata för vidare analys av mätmetoden.

Den insamlade datan från testerna utvärderades och analyser gjordes i nCode Glyphworks för att hitta likheter mellan den subjektiva skalan och vad mätdata visade.

### 4.1 Litteratursökning och sammanställning

Lämpliga sökord och fraser togs fram med hjälp av handledare på Volvo, dessa användes sedan för att göra sökningar på internet och i olika databaser såsom Digitala Vetenskapliga Arkivet, Chalmers Bibliotek och Society of Automotive Engineers (SAE) som är en organisation för ingenjörer inom fordonsbranschen.

Artiklar som berörde test av köregenskaper valdes ut och analyserades, de allra flesta beskrev genomförande och mindre utveckling av de grundläggande tester som tagits fram för att testa köregenskaper (*se kapitel 2.3*).

Efter detta koncentrerades sökningarna mot att hitta en metod för nya typer av test, för att testa så kallad riktningstabilitet. Det visade sig vara begränsat med tillgängligt material inom detta område. Förutom sökningar på internet och i databaser så rådfrågades nyckelpersoner inom Volvo om tidigare försök och tankar om ämnet för att ge en större förståelse och förslag.

Utifrån det insamlade materialet kunde avgränsningar och en målbild över vad som förväntades av slutresultatet skapas och olika mätmetoder började tas fram.

Slutligen söktes det information om fordon, fordonsutförande, fordonsdynamik kring testerna samt signalbehandling för att tillföra den kunskap som krävdes för att förstå och uträtta de praktiska delarna av arbetet.

## 4.2 Kravspecifikation

Inledningsvis skapades en liten kravspecifikation för att tydliggöra målet och möjligheterna med arbetet för att enklare definiera upplägget.

### Kravspecifikation för objektiv mätmetod

K=Krav på funktion                      Ö=Önskad funktion

Mätningen skall ske med existerande utrustning.	K
Metoden skall visa jämförbara resultat med den subjektiva skalan.	K
Ge objektiva resultat vid utvärdering med olika förare.	K
Komplement till övrig handlingutvärdering.	K
Tillämpningsbar i alla lastbilmodeller.	Ö
Kunna utföras på allmän motor- eller landsväg och oberoende av vilken.	Ö
Kort tidsåtgång för montering av utrustning.	Ö

## 4.3 Metod 1 – Kohererens mellan lateralacceleration och rattvinkel

Metod 1 genomförs i två utförande för att mäta upp lastbilarna med olika typer av ingående störningar. Den första innebär att de dubbelmonterade bakdäcken skall skiftas från sommardäck till vinterdäck för att generera en störning då vinterdäckens kurvstyvhet förväntas vara sämre. Den andra metoden utförs på en lastbil med taggaxel där det gjordes försök att styra taggaxeln åt olika håll under en körning för att försöka generera en störning på lastbilens bakände som skulle kunna mätas. Mätningarna som görs är likadana mellan de två olika metoderna, utrustningen i Metod 1.1 riggas och analyseras på samma sätt som i Metod 1.2, endast störningarna skiljer sig åt.

### 4.3.1 Metod med vinter- och sommardäck (Metod 1.1)

Den första metoden som togs fram var en metod som redan på 80-talet testats på Volvo där man jämfört två olika lastbilar på samma definerade sträcka för att sedan mäta den okorrelerade girhastigheten i förhållande till lastbilens rattvinkel. Denna mätmetod ansågs som ett bra försök men på grund av olika anledningar avslutades arbetet utan någon riktig sammanställning av metoden. I denna metod gjordes ett prov där en lastbil kördes på en definerad väg där lastbilens okorrelerade girhastighet samt okorrelerade lateralacceleration mättes och jämfördes med lastbilens i originalskick mot lastbilens med en störning iform av vinterdäck bak som skulle göra lastbilens mer inkonsekvent och orolig.

Lastbilen som användes var en Volvo FH 460 4x2 Traktor med tillhörande tre-axlig semitrailer. Ekipaget hade en totalvikt på 40,0 ton och en totallängd på 15,8 meter. Volvon var utrustad med bladfjädring fram och luftfjädring bak och är internt klassad som en av dem stabilaste dragbilarna som byggts av Volvo (Lindh, 2014).

I standardutförande var lastbilen utrustad med sommardäck i dimension 315/70/22.5 och vid användande av vinterdäck så var dessa i samma dimension. Volvon var även utrustad med en LPOS-kamera som används inom aktiv säkerhet för att mäta distansen



till vägens markeringar. Semitrailern förblev orörd med originaldäck under hela testperioden.

Lastbilen utrustades med ett komplett mätsystem för att kunna mäta lastbilens lateralacceleration, girhastighet och rattvinkel. Nere på framaxeln monterades en accelerometer för att mäta lastbilens lateralacceleration. Även på lastbilens chassi, ovanför vänster framhjul monterades en accelerometer för att mäta lateralaccelerationen, anledningen till detta är att se hur stor skillnad det blir i utslag på framaxeln gentemot chassit.

Inuti hytten monterades ett gyroskop med inbyggd mätning av lastbilens hastighet, girhastighet och lateralacceleration. Lateralaccelerationen mättes för säkerhets skull ifall accelerometrarna inte skulle fungera men eftersom de gjorde det så användes inte den mätdata då det ansågs att accelerometrarna är mer noggranna än gyroskopet. Ratten i lastbilen ersattes också av en mätratt för att mäta lastbilens rattvinkel.

Lastbilen utrustades med ett mätsystem från Dewesoft innehållande en mät dator, mätskärm och mätbox för att samla in all mätdata från gyroskopet, accelerometrarna och mätratten. Från Dewesoft X1 kunde all data sedan exporteras som en MultiColumn-fil i .d7d format där alla signalerna låg i samma fil och redo att behandlas i nCode Glyphworks.

Testerna gick ut på att tre stycken förare med olika erfarenheter från lastbilsbranschen skulle köra en sträcka från Hällered Proving Ground till Hol (*se appendix A*). Denna sträcka skulle köras tur och retur två gånger, en med sommardäck bak och en gång med vinterdäck bak. Denna sträcka valdes i samråd med provningsingenjörer på avdelningen då den innehåller intressanta vägavsnitt av både landsväg samt motorväg och dessutom en bra distans så att tillräckligt med mätdata kunde samlas in.

Inför körningarna så initierades gyroskopet inne på anläggningen och accelerometrarna samt mätratten justerades mot referenspunkter. Under körningen skulle lastbilens riktningss stabilitet bedömas med hänsyn till en subjektiv skala som används under ordinarie fordonstester och detta för att kunna dra paralleller till de mätvärden som samlats in. Förarna var ombedda att inte köra på något speciellt sätt utan köra precis som de skulle gjort ifall de kört själva.

När testerna genomförts så behandlades datan i nCode Glyphworks där MultiColumn-filerna konverterades till TimeSeries. Anledningen till detta är för att signalerna ska filtreras så att enbart data som är insamlat när lastbilen haft en hastighet mellan 50 km/h och 100 km/h. Detta görs genom att mata in alla signaler från mätfilen i en editor som kan sätta en signal som primär och då vid alla tidpunkter då hastigheten inte är innanför intervallet så klipps de punkterna bort och de tidpunkter som klipps bort i hastighetssignalen klipps även bort för alla andra signaler som är i samma fil. Detta görs för att mätningen av riktningss stabilitet skall göras i hastigheter som lastbilen framförs i vid körning på landsväg och motorväg.

Efter detta så Fouriertransformerades signalerna för rattvinkel, lateralacceleration på både chassi och framaxel samt girhastighet. Där filtrerades alla frekvenser bort som låg utanför intervallet 0,1-0,7 Hz då det är dessa frekvenser som är vanligast förekomna i denna typ av körning. Koherens togs fram för rattvinkel som insignal mot

de tre andra signalerna som utsignal var för sig. Sedan subtraherades 1 med koherensen för att få den del av signalen som ej korrelerar. Denna del av signalen multiplicerades sedan med fordonets utsignal för att få den okorrelerade utsignalen som är den del av signalen då fordonet gör en förflyttning eller vinkeländring som ej överensstämmer mot rattvinkel.

Ett RMS-värde togs sedan fram för de okorrelerade delarna av varje mätning för att få ett enkelt måttal att jämföra mot den subjektiva bedömningen. Dessa tester gav åtta olika RMS-värden som kunde jämföras mot fyra individuella subjektiva bedömningar. Detta på grund av att problem med gyroskopet i en av mätningarna. All mätdata loggades med en samplingsfrekvens av 100 Hz.

### 4.3.2 Metod med styrning av taggaxel (Metod 1.2)

Den andra delmetoden som testades var att försöka manipulera styrningen på en taggaxel på en lastbärare. Detta skulle göras för att verifiera att Metod 1.1 fungerar samt för att kunna vikta den subjektiva skalan mot faktiska värden på den okorrelerade delen av lateralaccelerationen och girhastigheten.

Tanken var att kunna skicka in en störning i form av en offset till taggaxeln så att den skulle ligga och styra emot lastbilen så en onaturlig känsla skulle uppenbara sig i lastbilen. Känslan som ville framhävas var att lastbilen skulle bli slingrig på vägen så att föraren skulle behöva ingripa mer för att hålla lastbilen i rak kurs. Till testet användes en Volvo FMX 460 8x4 med en styrbar taggaxel som är höj- och sänkbar.



*Figur 14 – I bilden kan man se hur taggaxeln vrider sig för att underlätta i kurvor*

I lastbilens CAN-system så hämtades rattvinkeln in från styrväxeln in till CANalyzer. I CANalyzer manipulerades signalen genom att till rattvinkel-signalen addera en fast offset motsvarande 150,300 och 500 grader i rattvinkel. Offseten var uppbyggd i form av en vektor som skulle öka linjärt i 20 steg med början vid rakt läge, max höger, max vänster och sedan tillbaka till rakt läge igen. Dessa steg skulle vara i en sekund per steg, tiden sattes så hög för att minimera risken att vrida sönder axeln då denna typ av test inte genomförts tidigare. Vektorn programmerades på detta sätt som ett första steg för att enkelt kunde verifiera att testet var genomförbart. Den slutgiltiga planen för testet var sedan att göra en vektor som med slumpade tider och amplituder skulle kunna få fram ett beteende hos lastbilen som skulle uppfattas som icke-riktningsstabil.

Den modifierade signalen sändes sedan tillbaka ut på CAN-bussen. I EBS-enheten (Electronic Brake System) stängdes ESP-systemet (Electronic Stability Programme) av samt så togs hastighetsspärren för taggaxelstyrningen bort. Detta för att taggaxeln endast är tillåten att styra i hastigheter lägre än 38 km/h och ESP stängdes av. Detta hände på grund av att när signalerna från styrväxeln inte längre överensstämde med girhastigheten som lastbilens interna gyroskop uppmäter försöker den automatiskt att bromsa lastbilen av säkerhetsskäl (Pawlowski, 2014).

Testet gick ut på att köra lastbilen rakt fram och sätta igång störningen på taggaxeln och sedan försöka hålla lastbilen i rak kurs. Vid mätningarna så var lastbilen fullastad med grus till en total vikt av 32 ton. Provet startade i låg fart för att känna hur lastbilen beter sig. För att enkelt se om störningen fungerade så användes till början en vinkel på motsvarande 500 grader. Succesivt ökades hastigheten och vinkeln minskades för att uppnå farter kring 50-80 km/h med små störningar för att nå upp till det mätområde som är relevant för uppgiften. Efter detta så provades lastbilen på landsväg för att se beteendet när även kurvor förkom.

#### 4.4 Metod 2 – Använda LPOS-kamerans avståndsfunktioner

Den andra metoden som togs fram var att använda funktioner hos den LPOS-kamera som används inom active safety-systemen. Tanken med denna var att använda kamerans funktion för att mäta avstånden från lastbilens centrum till insidan av vägmarkeringarna och jämföra lastbilens sidledsförflyttning med rattvinkel.

Denna metod testades i samband med *Metod 1.1* och det var samma lastbil som användes. Det som mättes i detta test för denna metod var rattvinkel, avstånd till vägmarkeringar samt ett konfidensvärde som bedömer kvaliteten på avläsningen av vägmarkeringarna. Den loggades för att kunna avgöra tillförlitligheten i avståndsmätningen då vägmarkeringar på vissa vägsträckor helt kan vara borta och det är något annat som kameran uppfattar som markering.

Denna metod kräver en mättratt för att mäta rattvinkel, ett anslutningskablage för CAN-bus samt Sirius-system för att samla in all data. Efter testerna var körda så analyserades data från rattvinkel och från CAN-signaler. Signalerna konverterades från MultiColumn-filer till TimeSeries. CAN-signalerna filtrerades så att mätdata där kvaliteten på vägmarkeringar varit dålig klipptes bort och likadant för avståndet till vägmarkeringen vid denna tidpunkt.

## 5 RESULTAT

Nedan presenteras de resultat som genererats under arbetets gång från de olika metoderna samt den kravspecifikation som formulerades vid arbetets början.

### 5.1 Kravspecifikation

Inledningsvis skapades en liten kravspecifikation för att tydliggöra målet och möjligheterna med arbetet för att enklare definiera upplägget.

#### Kravspecifikation för objektiv mätmetod

K=Krav på funktion                      Ö=Önskad funktion

Mätningen skall ske med existerande utrustning.	K
Metoden skall visa jämförbara resultat med den subjektiva skalan.	K
Ge objektiva resultat vid utvärdering med olika förare.	K
Komplement till övrig handlingsutvärdering.	K
Tillämpningsbar i alla lastbilsmodeller.	Ö
Kunna utföras på allmän motor- eller landsväg och oberoende av vilken.	Ö
Kort tidsåtgång för montering av utrustning.	Ö

### 5.2 Litteraturstudie

Ett bidragande arbete som upptäcktes i litteratursökningen var en ny doktorsavhandling (Rothhämel, 2013) från Kungliga tekniska högskolan gjord av Malte Rothhämel. I arbetet med sin avhandling gör Rothhämel bland annat en djupgående undersökning inom området för styrkänsla och riktningstabilitet. I arbetet skapar han olika termer för att beskriva styrkänsla och korrelerar dessa mot tester i lastbil med olika förare. Han skriver att:

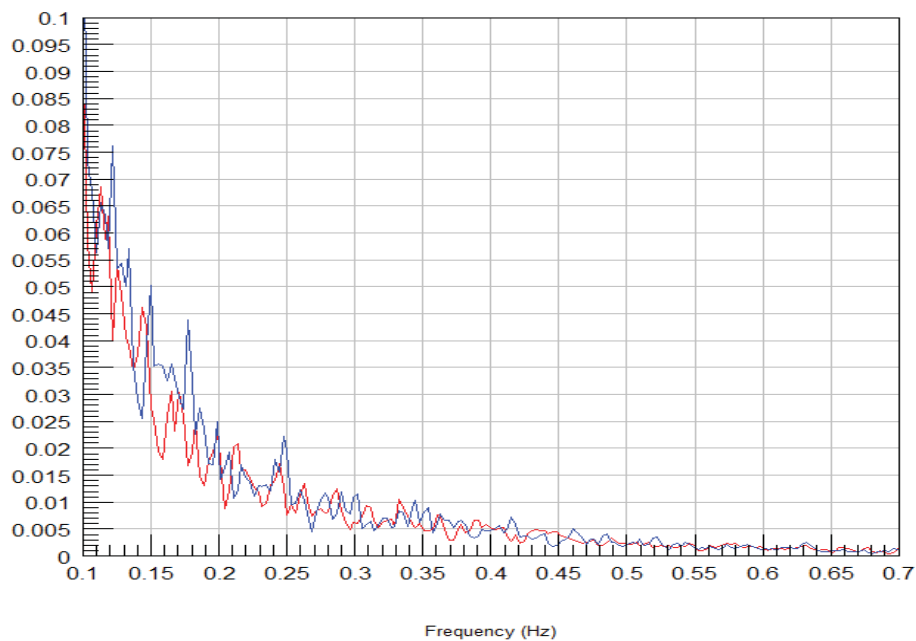
*”Men än så länge finns det inte en enhetlig definition av, eller något standardiserat sätt att, för att detektera, mäta, beskriva och bedöma styrkänsla.”*

I några av sina tester använder sig Rothhämel av rattvinkel och rattmoment som insignal och lateralacceleration alternativt girhastighet som utsignal. Detta gav Metod 1.1 och Metod 1.2 där okorrelerad girhastighet och lateralacceleration tillsammans med rattvinkel skulle jämföras under pålagd störning.

### 5.3 Metod 1.1 – Okorrelerad girhastighet/lateralacceleration

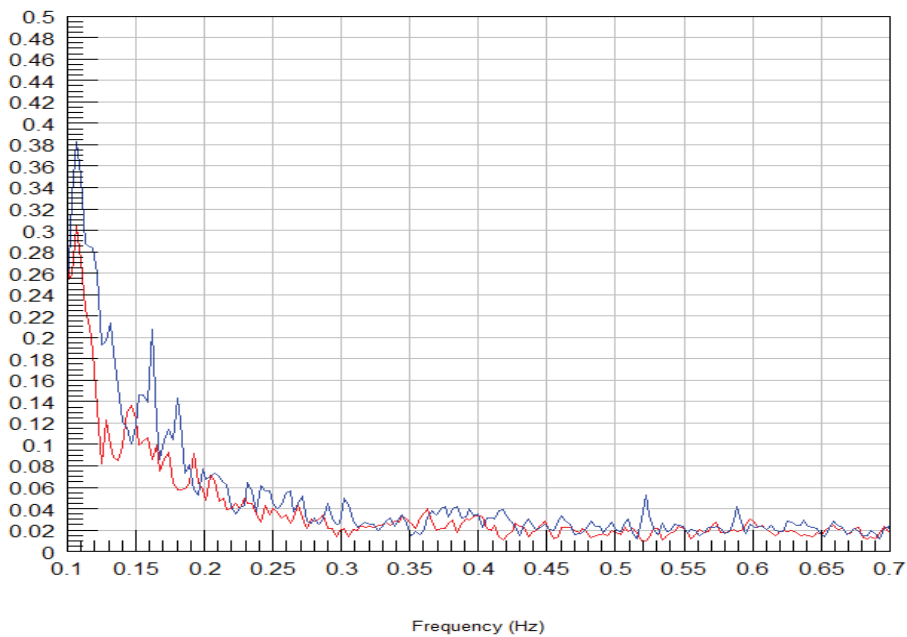
Resultatet från genomförda testkörningar visas i kurvorna nedan där okorrelation mellan rattvinkel och girhastighet samt lateralacceleration har jämförts mellan körning med sommar- och vinterdäck. Resultaten från mätningarna visade att skillnaden i lateralacceleration på framaxeln och chassit var försumbar, därför redovisas inte okorrelationen mellan rattvinkel och lateralaccelerationen på chassit nedan.

Okorrelerad Lat.Acc Test 1



**Figur 15 – FH-1535 Testkörning 1. Okorrelerad lateralacceleration. Röd är standard, blå är med störning.**

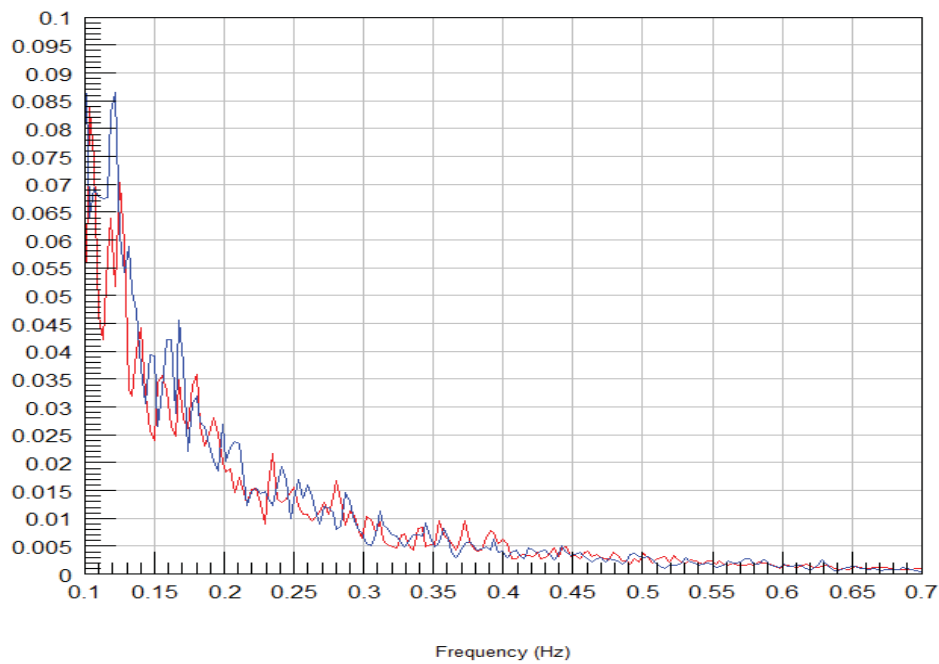
Okorrelerad Yaw-Rate Test 1



**Figur 16 – FH-1535 Testkörning 1. Okorrelerad girhastighet. Röd är standard, blå är med störning.**

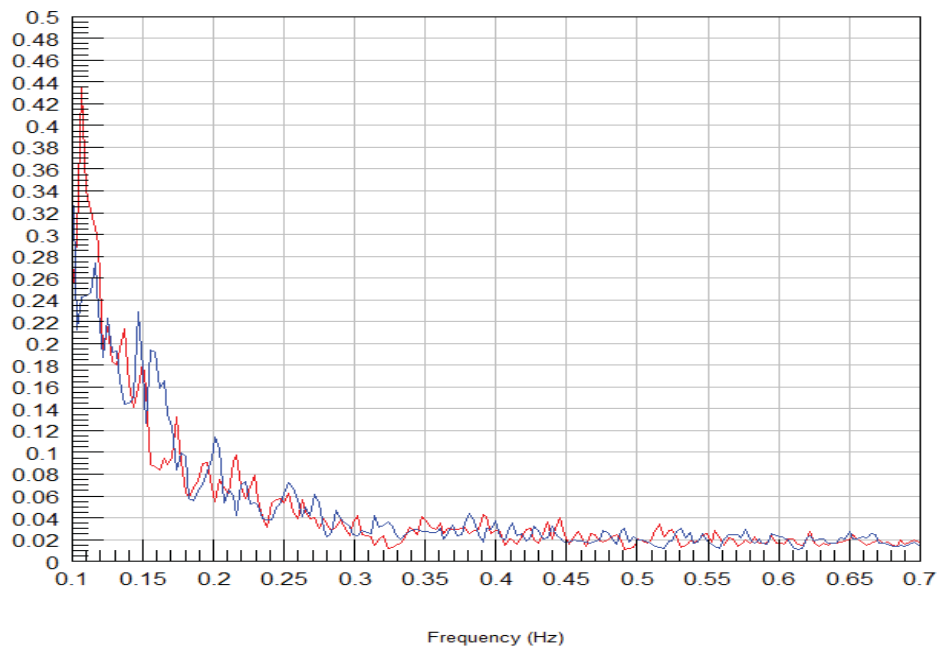
Kurvorna visar att det under testkörning 1 uppstår en högre okorrelation vid körning med vinterdäck vid lägre frekvenser. Skillnaden är större vid jämförelse mellan girhastighet (yaw-rate) och rattvinkel än vid lateralacceleration.

Okorrelerad Lat.Acc Test 2



**Figur 17 – FH-1535 Testkörning 2. Okorrelerad lateralacceleration. Röd är standard, blå är med störning.**

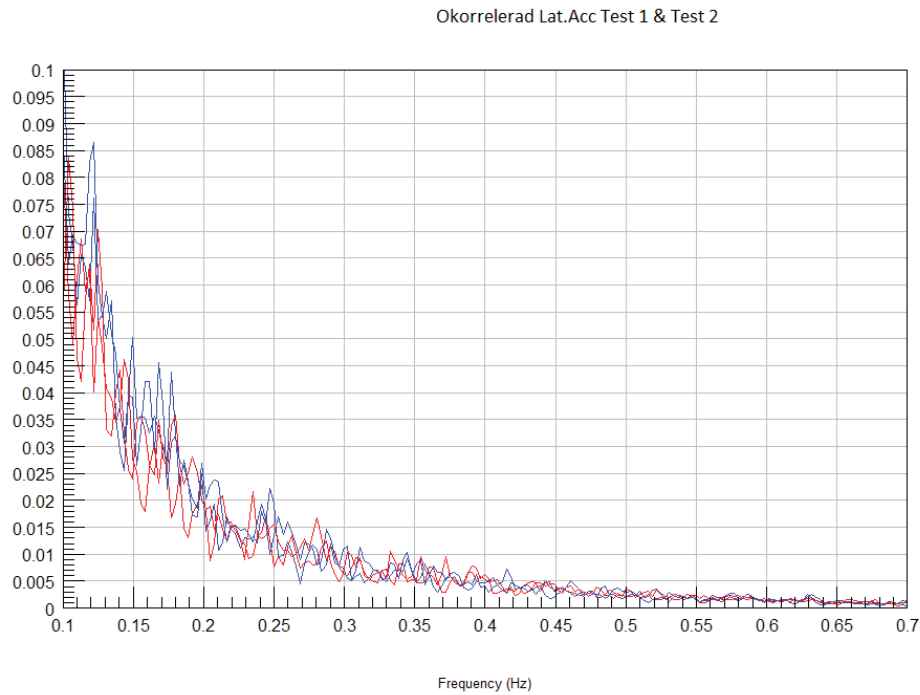
Okorrelerad Yaw-Rate Test 2



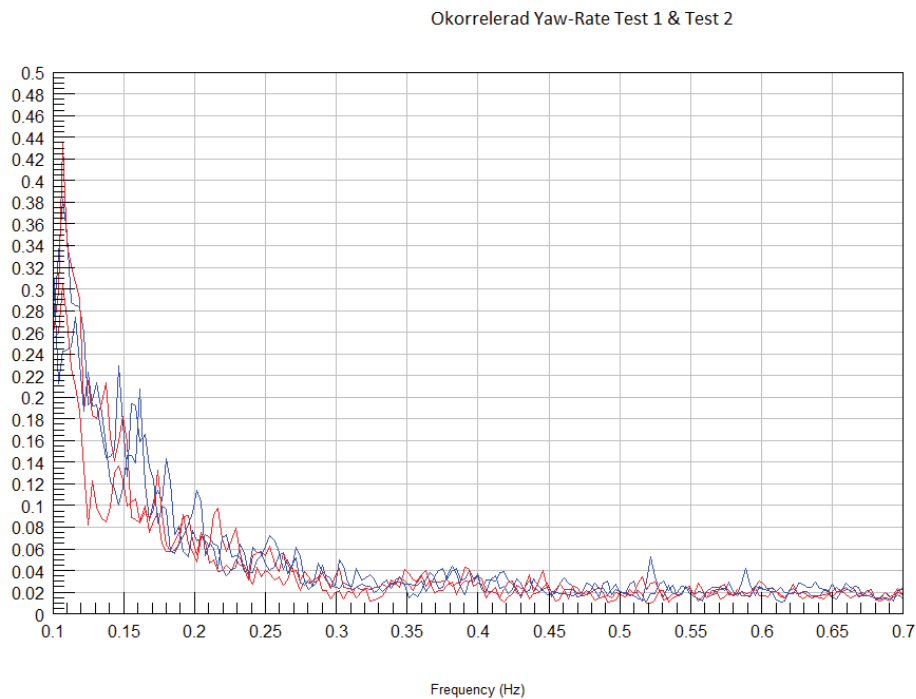
**Figur 18 – FH-1535 Testkörning 2. Okorrelerad girhastighet. Röd är standard, blå är med störning.**

Testkörning 2 visar en marginell skillnad i den okorrelerade delen för lateralacceleration och tittar man på den okorrelerade girhastigheten är den till en början större för sommardäcken för att därefter följa kurvan för vinterdäck. Även här är skillnaden större vid lägre frekvenser.





**Figur 19 – FH-1535 Okorrelerad lateralacceleration från båda körningarna. Röd är standard, blå är med störning.**



**Figur 20 – FH-1535 Okorrelerad girhastighet från båda körningarna. Röd är standard, blå är med störning.**

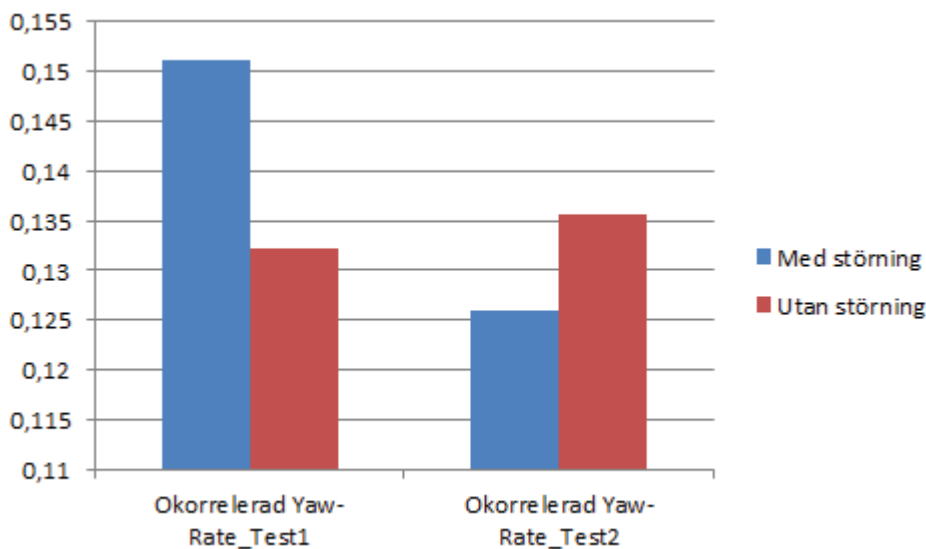
Ritar man upp de samlade resultaten från testerna i samma fönster ser man tydligare hur jämnt kurvorna följer varandra, förutom någon avvikelse vid låga frekvenser.

Ser man på de RMS-beräknade medelvärdena blir det lättare att utvärdera slutresultatet:



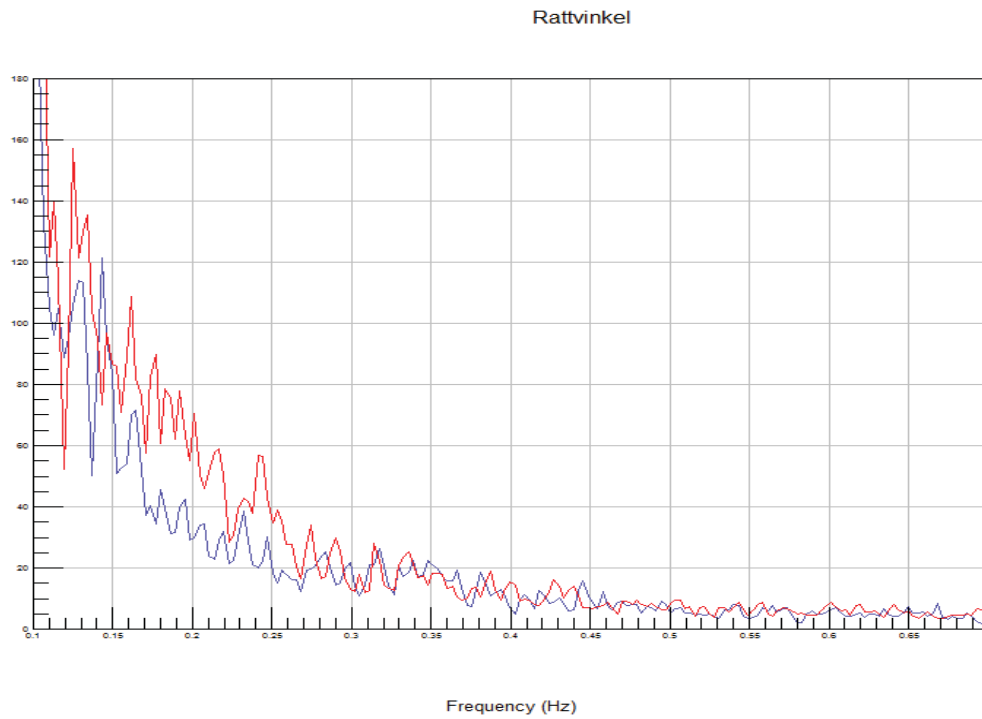
Figur 21 – RMS-värden på okorrelerad lateralacceleration för de två testerna

Figur 21 visar att medelvärdet för den okorrelerade lateralaccelerationen har ett entydigare och mer förväntat resultat än för girhastigheten, där medelvärdet för testet med vinterdäck är lägre än med sommardäck i test 2 (se figur 22).

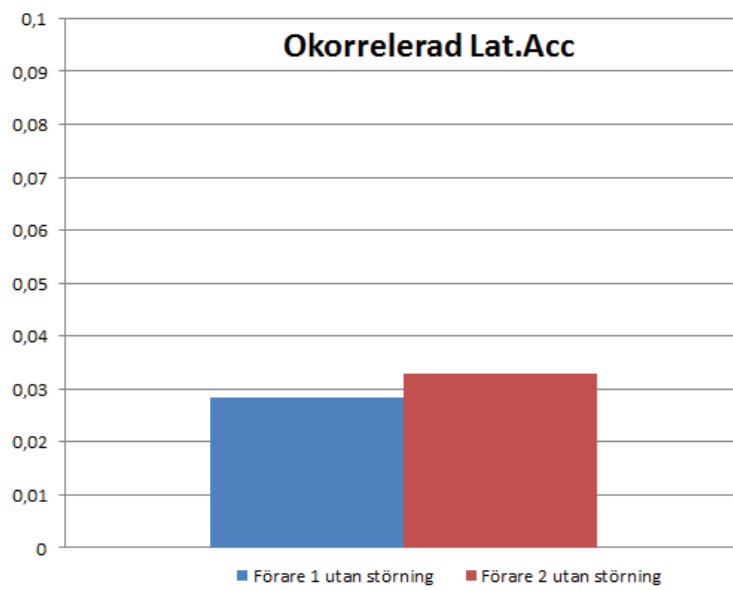


Figur 22 – RMS-värden på okorrelerad girhastighet för de två testerna

För att analysera metodens mått på föraroberoende jämförs rattvinkelkurvorna i figur 23 mot varandra. Där ser man att det skiljer sig hur mycket de olika förarna justerar på ratten under en körning. Skillnaden på RMS-värdet av den resulterande okorrelerade lateralaccelerationen visar på en liten skillnad trots skillnaden i rattvinkelinput. Detta tyder på att lastbilen följer förarnas input på ratten och ger, med en mindre spridning, likvärdigt RMS-värde oberoende av vem som kör.



*Figur 23 – Rattvinkelkurvor från två tester på frekvensplan*



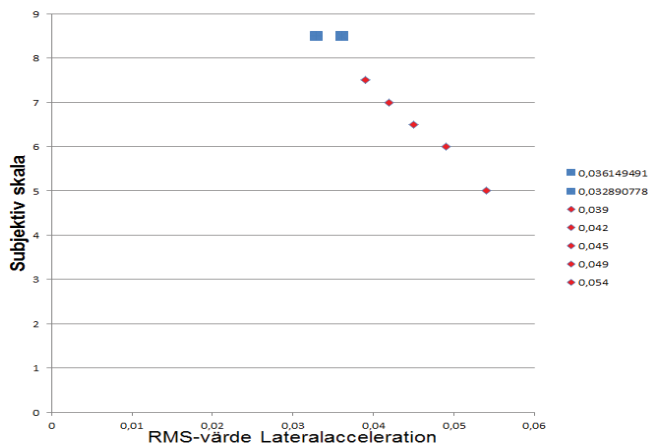
*Figur 24 – Skillnad i RMS-värden mellan förarna*

## 5.4 Metod 1.2 – Taggaxelstyrning

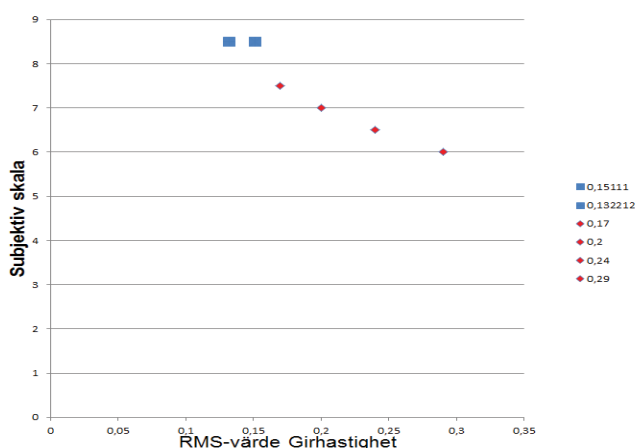
Resultatet av Metod 1.2 gav inga diagram eller mätvärden då mjukvaruproblem satte stopp för detta. Problem uppstod vid körning över 20 km/h på grund av att lastbilens varningssystem varnade för ”Signal Rate above treshold” vilket är en felkod som resulterar i att styrningen av taggaxeln stängs av. På grund av tidsbrist i detta arbete kunde ingen lösning till detta finnas.

Resultatet av denna metod är istället de ökade kunskaperna och den praktiska erfarenheten som arbetet givit, som framöver kan leda till en fungerande metod. Denna metod har en bra grund för vidareutveckling och då majoriteten av problemen har lösts så är chansen god för att få givande resultat.

Nedan plottas RMS-värdena från Metod 1.1 tillsammans med det subjektiva betyg som lastbilen fick under testkörningarna (se figur 25 och figur 26). För att illustrera metoden med en växlande störning från taggaxeln har röda punkter lagts till för att visa hur den subjektiva bedömningen skulle kunna relateras till de uppmätta värdena.



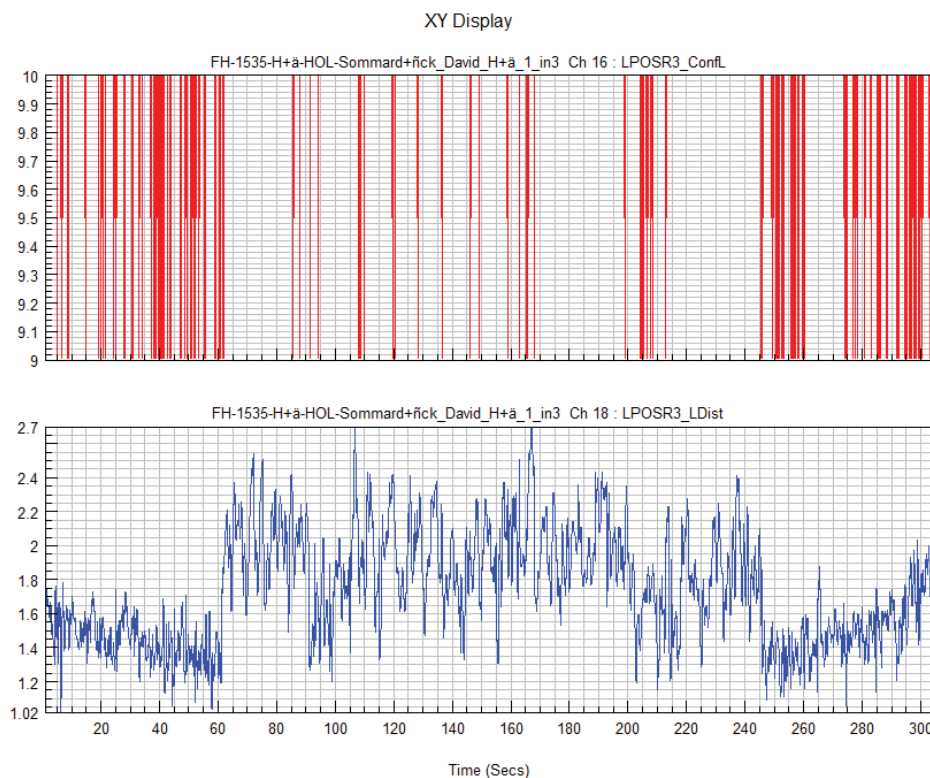
Figur 25 – RMS-värden relaterade till det subjektiva betyget. Blå punkter är resultat från Metod 1.1



Figur 26 – RMS-värden relaterade till det subjektiva betyget. Blå punkter är resultat från Metod 1.1

## 5.5 Metod 2 – Använda LPOS-kamerans avståndsfunktioner

Utvärderingsmetoden för att använda sig av kameran baserades på att dels samla in data från avstånden till linjerna samt de konfidensvärde som kameran ansåg att säkerheten på det uppmätta måttet låg på. Genom att därefter ta bort all mätdata med ett konfidensvärde under 90% så ökade kvaliteten på mätningen.



*Figur 27 – LPOS- kameran: konfidensvärde (röd) samt avstånd till vänster linje (blå)*

Resultatet av mätningen med LPOS-kameran blev svår att analysera. Kamerans maximala samplingsfrekvens är lägre än den samplingsfrekvens som rattvinkeln har så dessa mätningar krävde betydligt mer arbete med efterbehandlingen samt att kvalitén på mätningen då försämrades. Detta tillsammans med att vägens bredd inte är konstant på alla vägar och att kvalitén i kamerans avståndsbedömning inte är verifierad så valdes det att slopa denna metod för att gå vidare med Metod 1.1 och Metod 1.2.

## 5.6 Kravspecifikation

Avslutningsvis kontrollerades mätmetoden med den kravspecifikation som skapats.

### Kravspecifikation för objektiv mätmetod

K=Krav på funktion

Ö=Önskad funktion

Mätningen skall ske med existerande utrustning.	K
Metoden skall visa jämförbara resultat med den subjektiva skalan.	K
Ge objektivt resultat vid utvärdering med olika förare.	K
Komplement till övrig handlingutvärdering.	K
Tillämpningsbar i alla lastbilsmodeller.	Ö
Kunna utföras på allmän motor- eller landsväg och oberoende av vilken.	Ö
Kort tidsåtgång för montering av utrustning.	Ö

- Första kravet uppfylls av samtliga metoder då de endast använder existerande utrustning som finns tillgänglig i dagsläget.
- Metod 1.1 visar resultat som är jämförbara med den subjektiva bedömningsmallen, dock behövs fler mätningar för verifiering (*se figur 25 och figur 26*). Metod 2 ger inga jämförbara resultat.
- Metod 1.1 ger enligt resultatet i *figur 23 och figur 24* ett objektivt resultat vid körning med olika förare.
- I kapitel 2.3 så redovisas de andra mätmetoderna som i dagsläget används. Metod 1 och Metod 2 som tagits fram mäter andra egenskaper och andra mätstorheter och utgör därför ett bra kompletterande till övriga metoder.
- Metod 1.1 där en störning i form av däckbyte tillämpas kan användas på alla dagens lastbilar.
- I Metod 1.1 används en besiktad lastbil för bruk på allmänväg. Då metoden utfördes på både landsväg och motorväg men inga större skillnader i mätningarna kunde urskiljas mellan de olika delarna så anses detta önskemål uppfyllt.
- Då ingen tidsmätning för önskemålet eller installationen gjorts så är detta önskemål svårt att svara på. Detta önskemål baserades dock på tidsåtgång för montering av extrautrustning vilket i Metod 1.1 endast innebär en extra givare (accelerometer) om mätningarna sker i samband med övriga utvärderingstester.

## 6 DISKUSSION

Försöken med LPOS-kameran avslutades tidigt av olika anledningar. Dels så visade det sig vara svårt att analysera mätdatan, dels på grund av att maximala samplingsfrekvensen var betydligt lägre än för övrig mätutrustning men även på grund av att vägarnas bredd inte är konstant samt väglinjernas kvalitet varierar över vägsträckorna. Även det faktum att det under vinterhalvåret skulle bli avsevärt svårare att testa lastbilarna då stora delar av vägmarkeringarna ligger täckta av snö.

Resultatet visar på att metoden med att korrelera lateralacceleration, alternativt girhastighet tillsammans med rattvinkel skulle kunna fungera för att användas till utvärdering, dock lyckades vi aldrig få mätdata från en lastbil med dålig riktningstabilitet då försöken med däckbyte inte gav tillräckligt stora effekter så att detta entydigt kunde styrkas eller avfärdas. Lastbilarna som testades fick båda höga betyg i den subjektiva bedömningen, även med störning skiljde det marginellt mellan betygen.

Skulle metoden bekräftas som fungerande skulle den uppfylla de krav som finns på en objektiv metod, utan att medföra en märkbart längre tid för montering av mätutrustning. Den skulle även kunna appliceras på alla typer av lastbilsmodeller, dock är det inte säkert att de skulle kunna jämföras inbördes.

Resultatet visar dock på att den laterala accelerationen ger ett bättre svar på två tester än girhastighet. Dock kan vi inte bekräfta om det kommer från yttre störningar eller om lateralacceleration ger ett mer exakt svar än girhastigheten. Skulle frekvensspannet minskas så skulle nog RMS-värdena skilja sig åt mer.

Resultatet visar att det främst är de lägsta frekvenserna som är av intresse då man sällan eller aldrig kör ett fordon med högre frekvensinput på ratten, något som ger en mindre skillnad mellan de okorrelerade kurvorna.

Metoden är i fortsatt behov av fler tester för att se om RMS-värdena tydligt kan kopplas till den subjektiva skalan och dess olika betygsnivåer.

Försöken vi gjorde med den modifierade taggaxelstyrningen hade kunnat ge data i olika störningsnivåer för att skala den subjektiva bedömningsmallen (*se Appendix C*) man idag använder. Dock visade det sig vara en uppgift som hade krävt än mer tid än vad som fanns tillgänglig då underleverantören av taggaxelstyrningen inte själv lämnar ut de säkerhetsfunktioner som begränsar utomstående styrning.

Anledningen till att arbetet med taggaxelstyrningen började berodde dels på att tiden för fler mätningar enligt Metod 1.1 inte fanns då det involverar ett stort antal resurser och personal, men även då intresset på Volvo för att kunna styra taggaxeln var stort då detta hade kunnat appliceras på fler projekt.

Tiden har annars varit ett problem i detta projekt, då tid försvunnit när lastbilar, färdiga för tester, gått sönder men även interna tidsbovar som att vänta på licenser till programvaror eller konstruera script till nya program.



Möjligheterna att jobba vidare med projektet i nya examensarbeten är stora och rekommenderas då möjligheterna för att utveckla det vidare är goda, både för att lyckas mäta på fler lastbilar, men även att slutföra delprojektet med taggaxelstyrningen.

## 7 SLUTSATS

I detta arbete har det tagits fram en metod där riktningstabiliteten kan mätas och få ut ett mätetal som är relaterbart till den subjektiva skalan som idag används. Metoden är tyvärr inte verifierad för alla nivåer i skalan så därför anses det behövas läggas mer resurser på arbetet för att göra metoden komplett. Vilken mätenhet som är mest lämpad till riktningstabilitet är ännu ej utredd och detta bör göras med ännu fler tester.

I arbetet har tre olika sätt att verifiera olika metoder för objektiv mätning av riktningstabilitet prövats varav metoden med taggaxelstyrning är den slutgiltiga metod som bör arbetas vidare med. Fördelarna med taggaxelstyrningen är att den har en bra egenskap i att kunna regleras så att man kan justera störningen så att man kan bestämma vilka mätintervall som faller in under varje nivå på den subjektiva skalan. Då taggaxelstyrningen är verifierad och en skala funnen så är Metod 1.1 där man mäter okorrelerad lateralacceleration och girhastighet ett bra komplement där mätvärdena enkelt kan avgöra om lastbilen är riktningstabilt med hjälp av skalan från Metod 1.2. Metoden med LPOS-kameran resulterade i att metoden slopades tidigt på grund av komplexa mätvärden och dålig kvalitet.

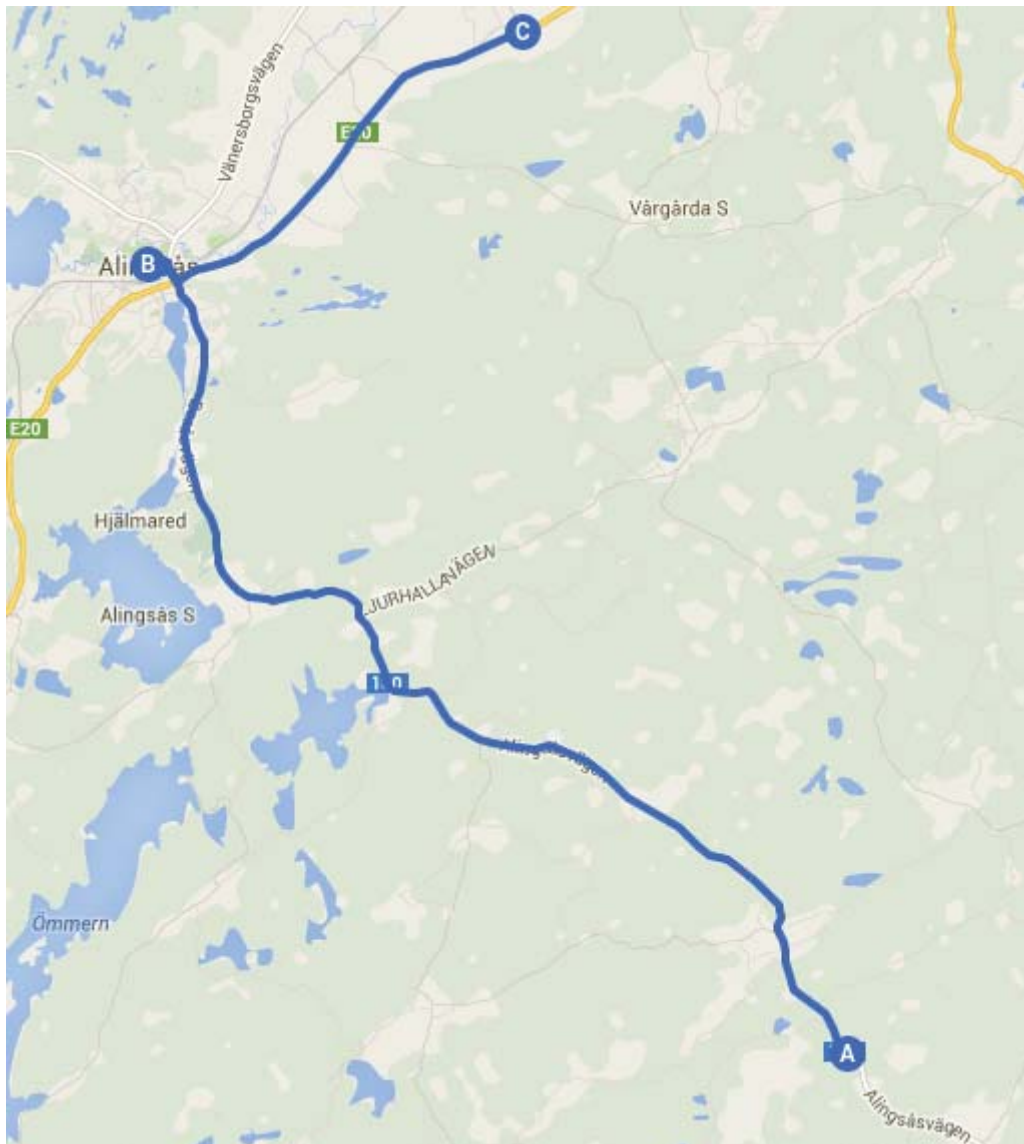
## 8 REFERENSER

- Axelsson, S. (Maj 2014). Feature Leader Handling, Volvo Trucks. (S. Hjalmarsson, Intervjuare)
- Berg, M. (Maj 2014). 3P Consultant. (S. Hjalmarsson, Intervjuare)
- Brain, M. (den 1 April 2000). Hämtat från Howstuffworks.com:  
<http://science.howstuffworks.com/gyroscope.htm> den 1 Juni 2014
- Dewesoft. (u.d.). *Products: Dewesoft X*. Hämtat från  
<http://www.dewesoft.com/products/dewesoft-x> den 3 Juni 2014
- Dewesoft. (u.d.). *Products: Sirius*. Hämtat från <http://www.dewesoft.com/products/sirius> den 3 Juni 2014
- Hewlett-Packard. (1985). *The fundamentals of signal analysis: Application note 243*. Hewlett Packard Intercontinental.
- Hult, G. (den 5 Augusti 2013). Kompendium: Mekatronikprojekt. Göteborg: Institutionen för signaler och system, Chalmers tekniska högskola.
- ISO 13674-1:2010. (2010). *ISO 13674-1: Road vehicles Test method for the quantification of on-centre handling Part 1: Weave test*. International Standard.
- ISO 14792:2011. (2011). *ISO 14792: Heavy commercial vehicles Steady-state circular test*. International Standard.
- ISO/TR 8726:1988. (1988). *ISO/TR 8726: Road vehicles transient open-loop response test method with pseudo-random steering input*. International Standard.
- Lindh, H. (April 2014). Manager Vehicle Dynamics and Brake Testing. (P. Edlund, Intervjuare)
- Measurement Specialities. (2012, Juni 12). *FCA 7300 Measurement Steering Wheel*. Retrieved Juni 2, 2014, from <http://www.meas-spec.com/downloads/FCA7300.pdf>
- Nationalencyklopedin. (u.d.). *accelerometer*. Hämtat från ne.se:  
<http://www.ne.se.proxy.lib.chalmers.se/accelerometer#> den 1 Juni 2014
- Norman, K. (1984). *Objective Evaluation of On-Center Handling Performance*. SAE Technical paper.
- Oxford Technical Solutions. (u.d.). *RT3000 Family*. Hämtat från  
<http://www.oxts.com/products/rt3000-family/> den 3 Juni 2014
- Pawlowski, O. (Maj 2014). 3P Consultant. (P. Edlund, Intervjuare)
- Rothhämel, M. (2013). *Characterisation and Utilisation of Steering Feel in Heavy Trucks*. Stockholm: Royal Institute of Technology KTH Vehicle Dynamics.
- Seiko Epson Corp. (n.d.). *Gyro Sensors*. Retrieved Juni 3, 2014, from  
[http://www5.epsondevice.com/en/sensing\\_device/gyroportal/about.html](http://www5.epsondevice.com/en/sensing_device/gyroportal/about.html)
- Thomas, B. (2008). *Modern Reglerteknik*. Stockholm: Liber AB.
- Transportstyrelsen. (den 5 Juni 2003). *Lastbil*. Hämtat från [transportstyrelsen.se](http://transportstyrelsen.se):  
<https://www.transportstyrelsen.se/sv/Vag/Fordon/fordonsregler/Lastbil/> den 28 Maj 2014
- Vector. (2014). *ECU Analysis with CANalyzer*. Retrieved Juni 2, 2014, from  
[http://vector.com/vi\\_canalyzer\\_en.html](http://vector.com/vi_canalyzer_en.html)
- Weisstein, E. (u.d.). *MathWorld --A Wolfram Web Resource*. Hämtat från "Fast Fourier Transform": <http://mathworld.wolfram.com/FastFourierTransform.html> den 31 Maj 2014
- Volvo Lastvagnar AB. (1995). *Grundläggande fordonsteknik: Lastvagnar Del 1*. Göteborg: Volvo Truck Parts AB.

<i>Figur 1 – Pusherutförande</i> .....	3
<i>Figur 2 – Taggaxelutförande</i> .....	3
<i>Figur 3 – Lastbärande Volvo FMX 8x4</i> .....	3
<i>Figur 4 – Icke-lastbärande Volvo FH 4x2</i> .....	4
<i>Figur 5 – Koordinatsystemet i en lastbil (Volvo Intern GDI 964-30 page 10)</i> .....	4
<i>Figur 6 – Rotationsrörelser kring axlarna (Volvo Intern GDI 964-30 page 10)</i> .....	5
<i>Figur 7 – Rörelser kring axlarna (Volvo Intern GDI 964-30 page 10)</i> .....	5
<i>Figur 8 – Mätutrustning under testkörning</i> .....	6
<i>Figur 9 – Gyroskop</i> .....	7
<i>Figur 10 – Piezoelektrisk accelerometer</i> .....	7
<i>Figur 11 – Rattvinkel givare monterad med ratt</i> .....	7
<i>Figur 12 – Exempelbild på det grafiska gränssnitt som används i Glyphworks</i> .....	8
<i>Figur 13 – Insamlad mätdata i programmet Dewesoft XI</i> .....	9
<i>Figur 14 – I bilden kan man se hur taggaxeln vrider sig för att underlätta i kurvor</i> .....	19
<i>Figur 15 – FH-1535 Testkörning 1. Okorrelerad lateralacceleration. Röd är standard, blå är med störning.</i> .....	22
<i>Figur 16 – FH-1535 Testkörning 1. Okorrelerad girhastighet. Röd är standard, blå är med störning.</i> .....	22
<i>Figur 17 – FH-1535 Testkörning 2. Okorrelerad lateralacceleration. Röd är standard, blå är med störning.</i> .....	23
<i>Figur 18 – FH-1535 Testkörning 2. Okorrelerad girhastighet. Röd är standard, blå är med störning.</i> .....	23
<i>Figur 19 – FH-1535 Okorrelerad lateralacceleration från båda körningarna. Röd är standard, blå är med störning.</i> .....	24
<i>Figur 20 – FH-1535 Okorrelerad girhastighet från båda körningarna. Röd är standard, blå är med störning.</i> .....	24
<i>Figur 21 – RMS-värden på okorrelerad lateralacceleration för de två testerna</i> .....	25
<i>Figur 22 – RMS-värden på okorrelerad girhastighet för de två testerna</i> .....	25
<i>Figur 23 – Rattvinkelkurvor från två tester på frekvensplan</i> .....	26
<i>Figur 24 – Skillnad i RMS-värden mellan förarna</i> .....	26
<i>Figur 25 – RMS-värden relaterade till det subjektiva betyget. Blåa punkter är resultat från Metod 1.1</i> .....	27
<i>Figur 26 – RMS-värden relaterade till det subjektiva betyget. Blåa punkter är resultat från Metod 1.1</i> .....	27
<i>Figur 27 – LPOS- kameran: konfidensvärde (röd) samt avstånd till vänster linje (blå)</i> .....	28
<i>Figur 28 – Karta över sträckan Hällered Proving Ground till Hol</i> .....	i
<i>Figur 29 – Specifikation Volvo FMX 460 8x4</i> .....	ii
<i>Figur 30 – Specifikation Volvo FH 460 4x2</i> .....	iii
<i>Figur 31 – Subjektiv bedömningsmodell (Volvo Intern Stefan Axelsson)(Borttagen i publicerad rapport på grund av sekretess)</i> .....	iv
<i>Figur 32 – Överblick av utvärderingsscript</i> .....	v
<i>Figur 33 – Hastighetsfiltrering</i> .....	vi
<i>Figur 34 – FFT-beräkning</i> .....	vi
<i>Figur 35 – Koherens- och korrelationsberäkning</i> .....	vii
<i>Figur 36 – RMS-beräkning</i> .....	viii

## APPENDIX

## APPENDIX A: Karta över teststräcka



Figur 28 – Karta över sträckan Hällered Proving Ground till Hol

APPENDIX B1: Fordonsspecifikation  
SPEC VDA

Page 1 of 9

## VDA - Vehicle Specification:

Chassis no: A 737461                      Model: FM (4)  
Built week: 1240                      Product type: FM 84 TR  
VIN: YV2XTY0G3EA737461              Engine no:

FG	VF	Family Description	Variant	Variant Description
000	AAK	PRODUCT CLASS	24-HDV	HEAVY DUTY VEHICLE, VOLVO
000	ABX	PRODUCT TYPE	FM 84 TR	F-SERIES MEDIUM 8*4 TAG RIGID
009	D7C	WHOLE VEHICLE TYPE APPROVAL	UWVTAPPR	WITHOUT WHOLE VEHICLE TYPE APPROV
0101	CKX	VEHICLE PROFILE	TYPE-FM	MEDIUM TILT CAB
0103	DAX	AXLE ARRANGEMENT	8*4	8 WHEELS THEREOF 4 DRIVING
0104	DDX	CHASSIS TYPE	RIGID	TRUCK TYPE (PLATFORM, TIPPER ET
0105	S1A	BRAND	BRAND-V	BRAND VOLVO
031	78X	TRANSPORT CYCLE	TC-CONST	LOAD HANDLING HAS A BIG IMPACT C
031	B2C	DIRT CONCENTRATION (OP ENVI)	DIRT-MED	MEDIUM DIRTY ROADS;10-40 OF DRI
031	DHX	ROAD CONDITION	RC-ROUGH	VERY BADLY MAINTAINED ROADS OR C
031	J3A	CENTRE OF GRAVITY HEIGHT	COG-BAS	CENTRE OF GRAVITY HEIGHT BASIC
031	J4A	CURVE DENSITY	CURV-L	THE SPEED IS SELDOM REDUCED DUE
031	QCX	TOPOGRAPHY	T-PFLAT	GRADES 6 DUR >98 OF DRIV DIS
0311	GJX	VEHICLE VERSION	MA-BAS	MARKET ADAPTATION, BASIC
0311	U1C	LOCAL SOURCING ADAPTATION	ULSA	WITHOUT LOCAL SOURCING
0312	DKX	GROSS COMBINATION WEIGHT	GCW44.0	44.0 TONNES, GROSS COMBINATION W
032	CJX	EXHAUST GAS RECIRCULATION	EGR-C	EXHAUST GAS RECIRCULATION, COOL
032	DPX	ENGINE TYPE	ENG-VE13	13 L. ENGINE
0361	FVX	FRONT AXLE LOAD	FAL10.0	10.0 TONNES, FRONT AXLE LOAD
0362	FLX	REAR AXLE LOAD	RAL36	36 TONNES, REAR AXLE LOAD
0364	FAX	STEERING WHEEL POS.	STWPOS-L	LEFT HAND SIDE
0365	9SX	WHEELBASE	WB3200	WHEELBASE 3200 MM
0365	A0X	FRONT FRAME LENGTH	FFL1275	FRONT FRAME LENGTH 1275MM
0365	F3X	REAR AXLE POSITION	RAP6240	XM = 6240 MM, REAR AXLE POS.
0365	FYX	FRONT AXLE POSITION	FAP3040	XM = 3040 MM, FRONT AXLE POS.
037	FHX	VEHICLE WIDTH	VW2600	2600 MM (103") VEHICLE WIDTH
037	GSX	CHASSIS HEIGHT	CHH-KHIG	CHASSIS HEIGHT EXTRA HIGH
038	DQX	VEHICLE HEIGHT	VH4.0	VEHICLE HEIGHT 4.0M
039	GAX	ADR ADAPTION	UADR	WITHOUT ADR ADAPTION
039	KUX	EXTERNAL NOISE REQ.	NR-80EC	80 DBA EC EXTERNAL NOISE
039	N9C	ADR CLASSIFICATION	UADRC	WITHOUT ADR CLASSIFICATION
200	D9B	AMBIENT TEMP LOWER LIMIT (GTA)	ATL25	AMB TEMP DOWN TO -25C, COLDER AI
200	E1B	AMBIENT TEMP UPPER LIMIT (GTA)	ATU40	AMB TEMP HOT, UP TO +40C, WARMER
210	HAX	ENGINE VERSION	D13K460	460 HP
210	HXX	ENGINE TORQUE RANGES	ETOR2400	2251 NM - 2400 NM, ENGINE TORQ
2100	I3A	ENGINE APPLICATION	EAP-LHD2	EA LIGHT HD, STD PISTONS, CORRO
212	31B	FLYWHEEL HOUSING MATERIAL	FLYHM-AL	FLYWHEEL HOUSING, ALUMINUM
217	QHX	OIL SUMP	OILS-ST	OIL SUMP STEEL
222	IXX	OIL FILTER	OILF-BAS	OIL FILTER, BASIC OIL DRAIN INTI
233	A8B	FUEL FILTER, ENGINE MOUNTED	FUEFE2SW	DUAL FUEL FILTER, ENGINE MOUNT
234	7VB	MASTER FUEL TANK	MTNK-R	MASTER FUEL TANK, RIGHT SIDE
234	A2B	FUEL TANK, TEMPORARY	UTFUEL	WITHOUT TEMPORARY FUEL TANK
234	ANX	EXTRA FUEL FILLING	XFUEL200	EXTRA FUEL FILLING 200 LITRE
234	J8X	FUEL TNK, LEFTHAND SIDE, LIQUID	ULFUEL	WITHOUT LEFT SIDE LIQUID FUEL T
234	J9X	LIQUID FUEL TNK, RIGHTHAND SIDE	RFUEL330	330 LITRE, RIGHT HAND SIDE FUEL
234	KBX	FUEL TANK SHAPE, LIQUID	FUELT571	SEMI RECTANGULAR FUEL TANKS FC
234	KDX	FUEL TANK MOUNTING	TNK-SING	SINGLE MOUNTED FUEL TANK (I
234	KEX	FUEL TANK MATERIAL, LIQUID	FTANK-ST	STEEL FUEL TANK
234	N2C	GAS FUEL TYPE	UGAS	WITHOUT GAS
234	Q5C	FUEL TANK, GROUND CLEARANCE	FTCL-HIG	FUEL TANK, HIGH GROUND CLEARANCE
2341	E2C	FUEL FILLING FEATURE	FUFF-ATS	FUEL FILLING FEATURE, ANTI THEFT
2342	KFX	FUEL TANK CAP	FCAP-UL	NON-LOCKABLE FUEL TANK CAP
2345	E8X	FUEL EQUIPMENT WATER HEATER	UFUEQWH	WITHOUT FUEL HEATER EQUIPMENT
2345	J7X	AUX. FUEL SYSTEM EQUIPMENT	UAUXFUEL	WITHOUT AUX. FUEL SYSTEM EQUIPM



## APPENDIX B2: Fordonsspecifikation

SPEC VDA

Page 1 of 9

**VDA - Vehicle Specification:**

Chassis no: A 744094      Model: FH (4)  
 Built week: 1309      Product type: FH 42 T  
 VIN: YV2RG20A9DA744094      Engine no: 987654321

FG	VF	Family Description	Variant	Variant Description
000	AAK	PRODUCT CLASS	24-HDV	HEAVY DUTY VEHICLE, VOLVO
000	ABX	PRODUCT TYPE	FH 42 T	F-SERIES HIGH 4*2 TRACTOR
009	D7C	WHOLE VEHICLE TYPE APPROVAL	UWVTAPPR	WITHOUT WHOLE VEHICLE TYPE APPROV
0101	CKX	VEHICLE PROFILE	TYPE-FH	HIGH TILT CAB
0103	DAX	AXLE ARRANGEMENT	4*2	4 WHEELS THEREOF 2 DRIVING
0104	DDX	CHASSIS TYPE	TRACTOR	TRACTOR TYPE
0105	51A	BRAND	BRAND-V	BRAND VOLVO
031	78X	TRANSPORT CYCLE	TC-LONGD	LESS THAN ONE DELIVERY OR PICK-UP
031	B2C	DIRT CONCENTRATION (OP ENVI)	DIRT-LOW	NON DIRTY ROADS; 10 OF DRIVING
031	DHX	ROAD CONDITION	RC-SMOOT	WELL MAINTAINED SURFACED ROADS
031	J3A	CENTRE OF GRAVITY HEIGHT	COG-BAS	CENTRE OF GRAVITY HEIGHT BASIC
031	J4A	CURVE DENSITY	CURV-L	THE SPEED IS SELDOM REDUCED DUE
031	QCX	TOPOGRAPHY	T-PFLAT	GRADES 6 DUR >98 OF DRIV DIS
0312	DKX	GROSS COMBINATION WEIGHT	GCW44.0	44.0 TONNES, GROSS COMBINATION W
032	CJX	EXHAUST GAS RECIRCULATION	UEGR	WITHOUT EXHAUST GAS RECIRCULATIO
032	DPX	ENGINE TYPE	ENG-VE13	13 L. ENGINE
0361	FVX	FRONT AXLE LOAD	FAL7.5	7.5 TONNES (16500 LBS), FRONT AX
0362	F1X	REAR AXLE LOAD	RAL13	13 TONNES, RE
0364	FAX	STEERING WHEEL POS.	STWPOS-L	LEFT HAND SIDE
0365	9SX	WHEELBASE	WB3700	WHEELBASE 3700 MM
0365	A0X	FRONT FRAME LENGTH	FFL1275	FRONT FRAME LENGTH 1275MM
0365	F3X	REAR AXLE POSITION	RAP6740	XM = 6740 MM, REAR AXLE POS.
0365	FYX	FRONT AXLE POSITION	FAP3040	XM = 3040 MM, FRONT AXLE POS.
037	FHX	VEHICLE WIDTH	VW2600	2600 MM (103") VEHICLE WIDTH
037	GSX	CHASSIS HEIGHT	CHH-MED	CHASSIS HEIGHT MEDIUM
038	DQX	VEHICLE HEIGHT	VH4.0	VEHICLE HEIGHT 4.0M
039	GAX	ADR ADAPTION	UADR	WITHOUT ADR ADAPTION
039	KUX	EXTERNAL NOISE REQ.	NR-80EC	80 DBA EC EXTERNAL NOISE
039	N9C	ADR CLASSIFICATION	UADRC	WITHOUT ADR CLASSIFICATION
200	D9B	AMBIENT TEMP LOWER LIMIT (GTA)	ATL25	AMB TEMP DOWN TO -25C, COLDER AI
200	E1B	AMBIENT TEMP UPPER LIMIT (GTA)	ATU40	AMB TEMP HOT, UP TO +40C, WARMER
210	HAX	ENGINE VERSION	D13C460	460 BHP
210	HXX	ENGINE TORQUE RANGES	ETOR2400	2251 NM - 2400 NM, ENGINE TORQ
2100	I3A	ENGINE APPLICATION	EAP-LHD2	EA LIGHT HD, STD PISTONS, CORROS
217	QHX	OIL SUMP	OILS-PL	OIL SUMP PLASTIC
233	A8B	FUEL FILTER, ENGINE MOUNTED	FUEFE2SW	DUAL FUEL FILTER, ENGINE MOUNT
234	7VB	MASTER FUEL TANK	MTNK-R	MASTER FUEL TANK, RIGHT SIDE
234	A2B	FUEL TANK, TEMPORARY	UTFUEL	WITHOUT TEMPORARY FUEL TANK
234	ANX	EXTRA FUEL FILLING	UXFUEL	WITHOUT EXTRA FUEL FILLING
234	J8X	FUEL TNK, LEFTHAND SIDE, LIQUID	ULFUEL	WITHOUT LEFT SIDE LIQUID FUEL T
234	J9X	LIQUID FUEL TNK, RIGHTHAND SIDE	RFUEL405	405 LITRE, RIGHT SIDE FUEL TANK
234	KBX	FUEL TANK SHAPE, LIQUID	FUELTS71	SEMI RECTANGULAR FUEL TANKS
234	KDX	FUEL TANK MOUNTING	TNK-SING	SINGLE MOUNTED FUEL TANK
234	KEX	FUEL TANK MATERIAL, LIQUID	FTANK-AL	ALUMINUM FUEL TANK
234	N2C	GAS FUEL TYPE	UGAS	WITHOUT GAS
2341	E2C	FUEL FILLING FEATURE	FUFF-AS	FUEL FILLING FEATURE, ANTI SPILL
2342	KFX	FUEL TANK CAP	FCAP-L	LOCKABLE FUEL TANK CAP
2345	E8X	FUEL EQUIPMENT WATER HEATER	UFUEQWH	WITHOUT FUEL HEATER EQUIPMENT
2345	J7X	AUX. FUEL SYSTEM EQUIPMENT	AF-E	FUEL ELECTR. HEATER, GENERIC
250	H1B	TURBO APPLICATION	TURBO-S	TURBO SINGLE STAGE
250	QWX	TURBO	TURB-B	TURBO BASIC DESIGN
252	9IA	EXHAUST AFT. TR. SYS. ORIENTATION	EASO-H	EXHAUST AFTERTREATMENT SYSTEM, F
252	9JA	EXHAUST AFT. TR. SYS. PACKAGING	EASP1	EXHAUST AFTERTREAT. SYS. RH CHAS
252	KLX	EXHAUST DIRECTION	EXD-REAR	EXHAUST DIRECTION, REAR

<http://edb.volvo.net/vbi/cgi/wis2/vehspec.cgi>

2014-05-27

Figur 30 – Specifikation Volvo FH 460 4x2

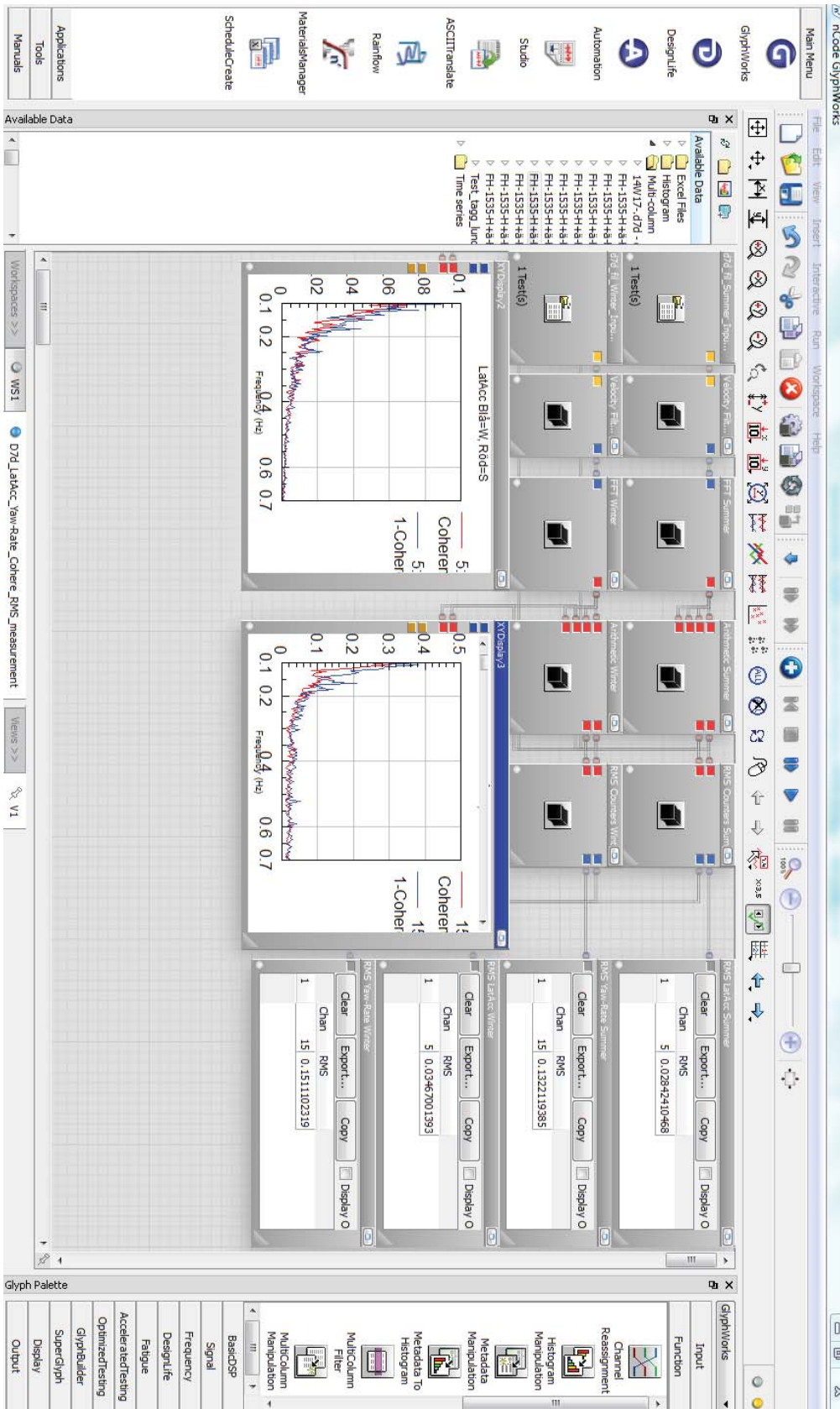


## APPENDIX C: Subjektiv bedömningsmodell



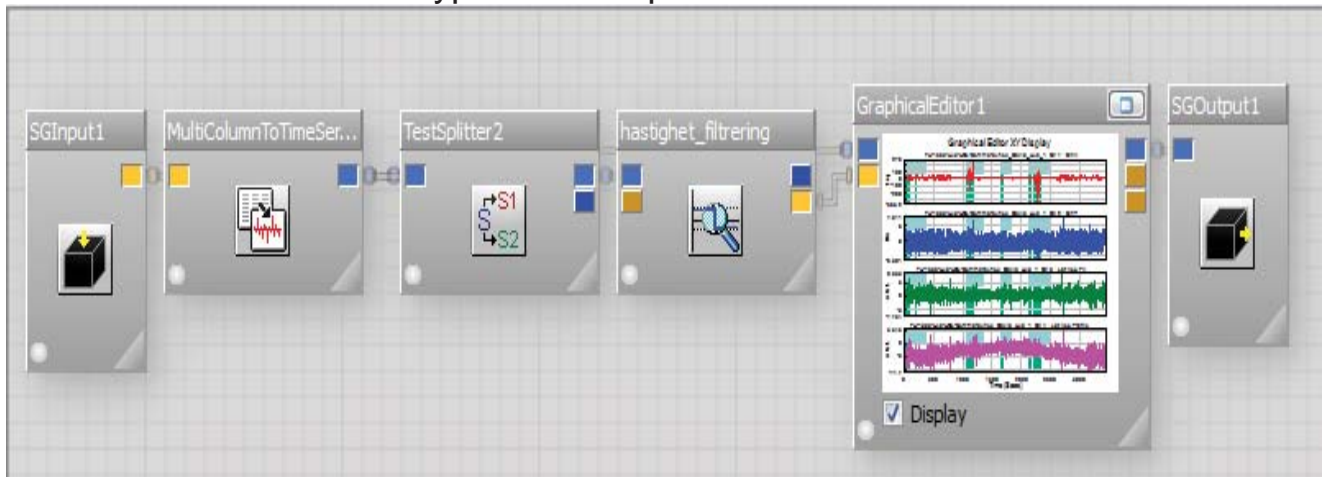
*Figur 31 – Subjektiv bedömningsmodell (Volvo Intern Stefan Axelsson)(Borttagen i publicerad rapport på grund av sekretess)*

APPENDIX D1: nCode Glyphworksscript



Figur 32 – Överblick av utvärderingsscript

## APPENDIX D2: nCode Glyphworksscript

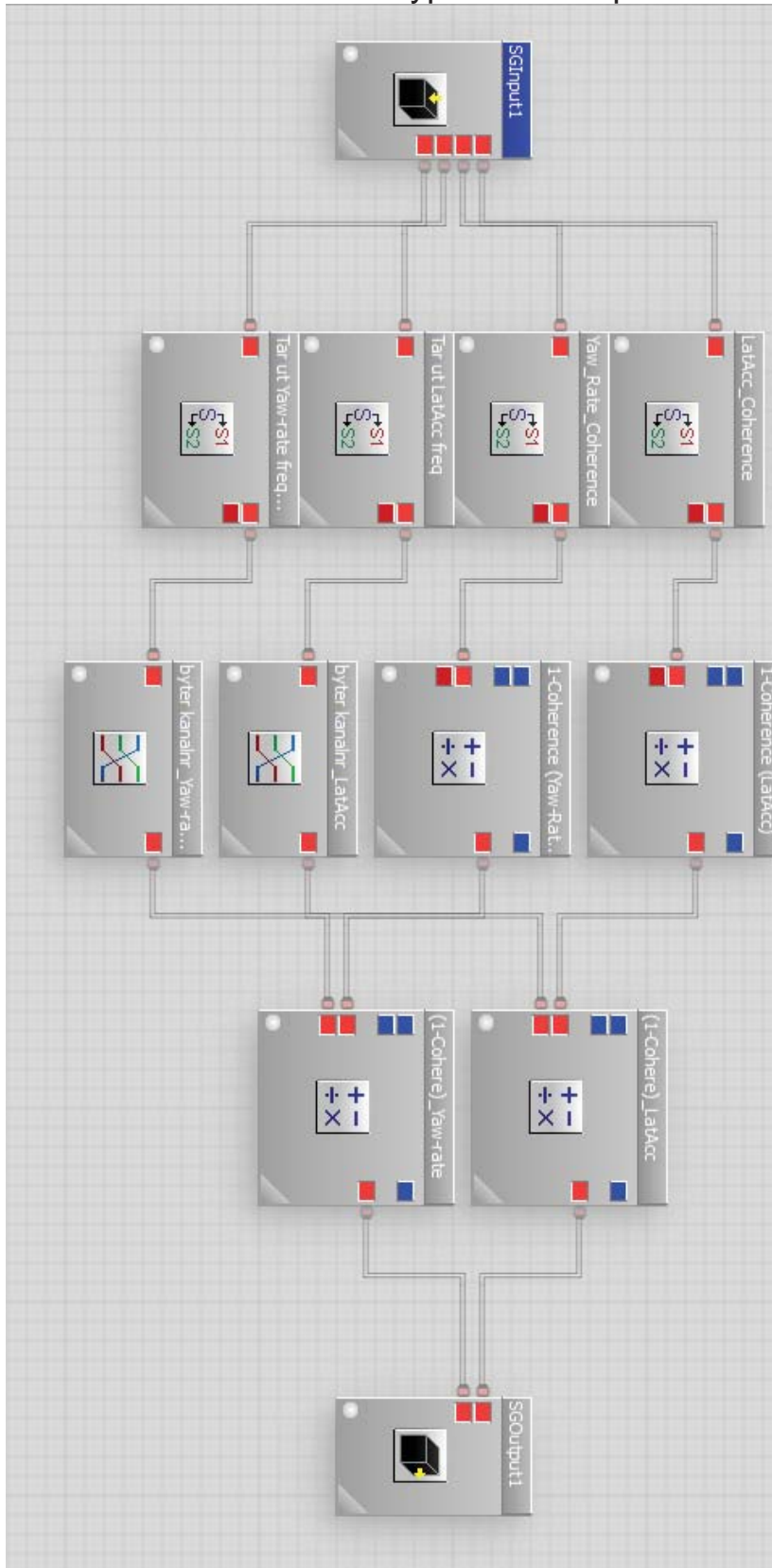


Figur 33 – Hastighetsfiltrering



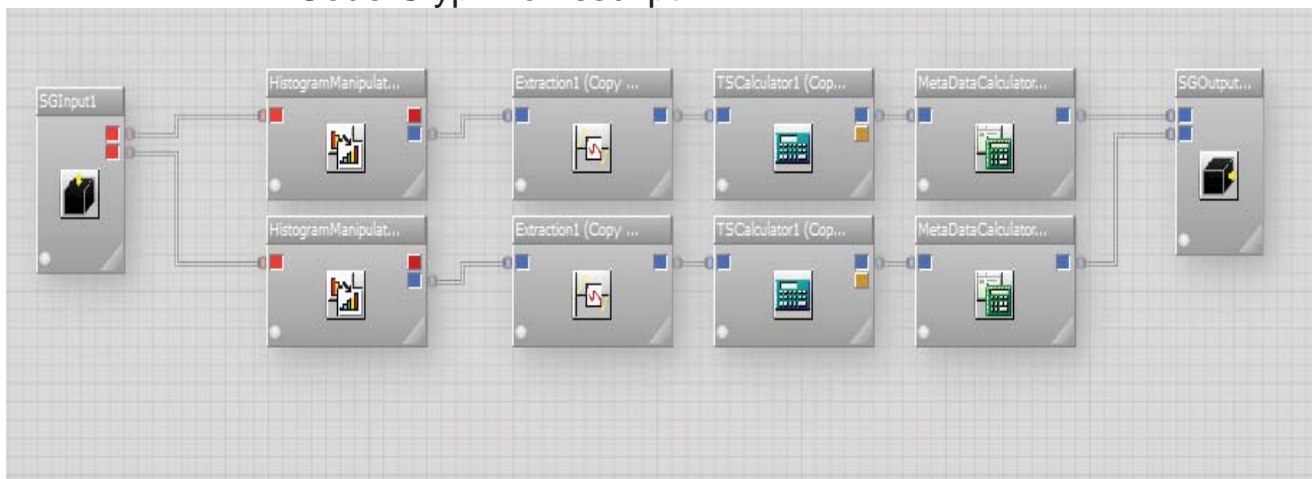
Figur 34 – FFT-beräkning

## APPENDIX D3: nCode Glyphworksscript



Figur 35 – Koherens- och korrelationsberäkning

## APPENDIX D4: nCode Glyphworksscript

*Figur 36 – RMS-beräkning*