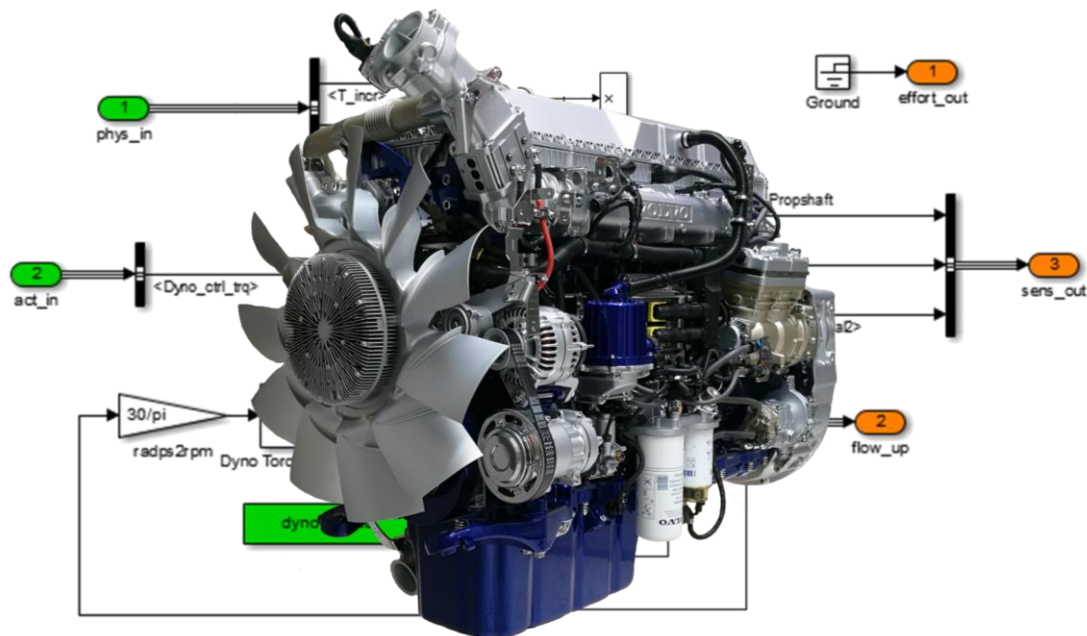




CHALMERS



Utredning av avvikelser och förbättringar i dynamiska modeller för motortestriggar

A study of deviations and improvements in dynamic models for engine testbeds

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Mekatronik

Daniel Håkansson
Henrik Eriksson

Utredning av avvikelser och förbättringar i dynamiska modeller för motortestriggar

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet i mekatronik

DANIEL HÅKANSSON

HENRIK ERIKSSON

© DANIEL HÅKANSSON & HENRIK ERIKSSON, 2017

Institutionen för elektroteknik

Chalmers tekniska högskola

SE-412 96 Göteborg

Sverige

Telefon: +46 (0)31-772 10 00

Omslagsbild: Eget montage

Samtliga bilder och montage används med tillstånd från upphovsrättsinnehavaren.

Göteborg, Sverige 2017

Förord

Denna rapport beskriver ett examensarbete utfört av två studenter på Chalmers tekniska högskola. Båda studenterna studerar på mekatronikingenjörsprogrammet som omfattar 180 HP. Detta examensarbete omfattar 15 HP och har utförts på Volvo Group Trucks Technology, avdelning BF63580 – Method & Technical Development, i Lundby, Göteborg. Examensarbetet har utförts på halvfart under en period på cirka fyra månader.

Vi skulle vilja rikta ett stort tack till Robert Aslan som har arbetat för att låta oss erhålla detta examensarbete samt handlett oss under dess utförande. Vi vill även rikta ett stort tack till Göran Axbrink som med sin värdefulla kompetens har väglett oss genom de centrala tekniska aspekterna involverade i detta projektarbete. Vi vill tacka Peter Templin och Birger Öström som bidragit med värdefull spetskompetens. Slutligen vill vi tacka Tomas McKelvey som varit vår examinator under examensarbetets gång.

Daniel Håkansson

Henrik Eriksson

Sammanfattning

Liksom många fordonstillverkare utför Volvo kontinuerlig testning och utveckling av sina motorer avsedda för deras lastbilar, bussar och lastmaskiner. Motortesterna sker i en mängd olika testmiljöer. Bland annat utförs tester där motorn är monterad i en lastbil, i andra fall i en testtrigg. Vid testerna i en lastbil loggas en mängd data från motorn som i sparade loggfiler kan betraktas som en inspelning. I en testtrigg kan detta inspelade körprov sedermera efterliknas genom loggfilerna. Volvo använder sig även av dynamiska modeller av sina lastbilar, motorer och testtrigg. I och med den allmänna teknikutvecklingen ställs högre krav på testtriggarna vad gäller precision och kvalitet. Samtidigt ställs det högre krav på effektivisering av testtriggarna. För att lösa problem som uppstått vid effektiviseringsförsök anser Volvo att testtriggssystemen bör studeras i modellerad form. Vad som dock tillkommer vid tillämpningen av modeller är att de bör ha god kvalitet. Genom att studera ett verkligt system, inhämta dess särskilda egenskaper och komplettera modellen med dem anser Volvo kunna uppnå god modellkvalité. Att ha en modell med god kvalitet i förhållande till testtriggen eftersträvar Volvo för att kunna bemöta de allt högre kraven på testtriggarna. I detta projektarbete har möjligheterna kring att komplettera en modellerad testtrigg utretts. Detta så att den på ett bättre sätt kan motsvara den verkliga testtriggens egenskaper. Av Volvo har det ansetts som viktigt att modellen kan återskapa ett specifikt problematiskt fenomen som uppkommit i en testtrigg vid effektiviseringsförsök. Modellens kvalitet har avgjorts genom analyser av dess snabbhet, stabilitet och approximationsförmåga. Samtliga modeller är modellerade i Simulink. Förbättringsmöjligheter i styrningen av en central komponent i modellen har utretts liksom implementeringsmöjligheterna för den problematiska testtriggsegenskapen. Orsaken till ursprunget av den problematiska testtriggsegenskapen samt eventuella åtgärder har efterfrågats. Arbetet har resulterat i att förbättringsmöjligheter inom modellens styrning finns, om än genom andra metoder än de som använts. Implementeringsmöjligheterna för den specifika egenskapen har resulterats som goda liksom modellens approximation efter utförda implementeringar. Genom fysiska signalmätningar kombinerat med experimentering i modeller har de orsakande faktorerna till egenskapens framträdande identifierats. Övergripande åtgärder för att minska dessa faktorer har presenterats. Arbetet har även resulterat i andra värdefulla observationer och slutsatser än de som efterfrågats. Projektarbetet har resulterat i att dokumentation över områden som tidigare varit bristfälligt dokumenterade nu finns tillgängliga. Detta främjar vidare arbete i och med att projektarbetet endast är en del av ett större projekt. Projektarbetet har hjälpt Volvo att bättre förstå vad för åtgärder som kan behöva utföras för effektivisering av sina testtrigg. Sammanfattningsvis anses av Volvo projektarbetets resultat som särskilt betydelsefulla inför vidare arbete kring kvalitet med deras modellerade samt verkliga testtrigg.

Abstract

Like several other vehicle manufacturers Volvo performs continuous testing and development of the engines within their truck, bus and construction equipment division. During engine testing, a range of different test environments are used such as vehicle- or testbed environments. When performing vehicle-related engine tests several types of data is registered from the engine. These data logs can be considered as a recording of the test. By utilising the recorded data the engine testbeds can mimic the vehicle-related engine test. Apart from using physical tools for testing, Volvo uses dynamic models of their vehicles, engines and testbeds. As technology progresses, more demands for higher testbed quality are requested as well as higher efficiency through testbed streamlining. However, attempts of testbed streamlining has resulted in the acknowledgement of certain performance-related issues. Volvo deems the solutions to these issues to lie within studying the testbed system in a modelled state. Applying this solution poses more challenges, such as the requirement for high model quality. By examining a physical testbed system, obtaining properties of its certain characteristics causing the performance related-issues and later implementing them into the testbed model, Volvo reckons to answer the requirements for higher model quality. Obtaining higher model quality is by Volvo considered key in the process of answering the demands for higher testbed quality. In this project the possibilities of completing a testbed model for higher model quality has been investigated. This in terms for the testbed model to better estimate the properties of the testbed. The need of the capability for the model to recreate a performance-related issue has by Volvo been considered paramount. The quality of the model has been decided by analysing its speed, stability and estimations. All modelling has been carried out in Simulink. The possibilities in improving the controlling of a key component within the testbed model has been investigated, as well as the possibility of implementing the performance-related issue into the model. Identifying the cause of the issue in addition to its solution has been requested. Improving the controlling of the key component within the testbed model has been deemed possible, yet with other methods than those applied during this project. The estimation of the performance-related issue produced by the model has been considered adequate and thus the possibility to implement the issue into the model has been considered feasible. With the combination of signal measuring and experiments involving the testbed model, the origins of the issue has been identified. General solutions to minimise its origins have been proposed. Other than those requested, other valuable observations and conclusions have been made. Since this project is merely a part of a larger project at Volvo, the documentation made promotes further work. The project has further assisted Volvo in understanding necessary actions for streamlining their testbeds. In conclusion, Volvo deems the results as important in their continued research for higher model and testbed quality.

Innehållsförteckning

Terminologi.....	1
1 Inledning	2
1.1 Bakgrund	2
1.2 Syfte	3
1.3 Avgränsningar	4
1.4 Precisering av frågeställningen	6
2 Teknisk bakgrund	8
2.1 Lastbilsprover	8
2.1.1 Helvagnsprov	8
2.1.2 Drivlineprov	9
2.1.3 Motorprov	10
2.2 Modellering, simulering och signalhantering	11
2.2.1 Vagnsmodell och Hardware-in-the-loop (HIL)	11
2.2.2 CAN-bussignaler	12
2.3 Testcell	12
2.3.1 Systemöverblick	12
2.3.2 Testtrigg	13
2.3.3 Testobjekt	14
2.3.4 Motorprovodynamometern	14
2.4 Svängningsfenomenet	16
2.4.1 Bakgrund till svängningsfenomenet	16
2.4.2 Hypotetisk beskrivning	17
3 Metod	18
3.1 Utredningsarbete i två delar	18
3.1.1 Utredning 1: Styrningsförbättring av den modellerade motorprovodynamometern	19
3.1.1.1 MatLab tune-funktion för bestämning av PI-parametrar	21
3.1.1.2 Ziegler-Nichols metod för bestämning av PI-parametrar	21
3.1.2 Utredning 2, Implementering och kartläggning av svängningsfenomenet	22
4 Analys	24
4.1 Den modellerade testtriggen samt testcellen	24
4.2 Det modellerade testobjektet	26
4.3 Den modellerade motorprovodynamometern	27
4.4 Den modellerade testcellen tillsammans med vagnsmodellen	30
5 Genomförande	33
5.1 Genomförande av utredning 1	33
5.1.1 PI-tuning i MatLab	37
5.1.2 Ziegler-Nichols metod	40
5.2 Genomförande av utredning 2	43
6 Resultat	52
6.1 Resultat av utredning 1	52
6.2 Resultat av utredning 2	52
7 Slutsats och diskussion	54

7.1	Slutsats och diskussion kring utredning 1.....	54
7.2	Slutsats och diskussion kring utredning 2.....	55
7.3	Övrig diskussion kring projektarbetet.....	57
8	Fortsatt arbete	58
8.1	Den modellerade motorprovodynamometern.....	58
8.2	Den modellerade testtriggen, svängningsfenomenet	58
8.3	Kartläggning i testcell	58
8.4	Transmissionstesttrigg	58
8.5	Ändra momentsignal till vagnsmodellen.....	59
8.6	Uppdatera CANBUS-system för användning av nyare basmodell.....	59
8.7	Införa frekvensskillnader hos modellen.....	59
8.8	Omvandla fördröjningarna från kontinuerliga till diskreta.....	59
	Referenser	60
	Bilagor.....	61

Terminologi

FP: Funktionsprov. Används vid benämningen av testceller, exempelvis FP64.

Topp-vy: Den översta och mest överskådliga nivån av en Simulink-modell.

HIL: Hardware in the loop

CAN: Controller area network

1 Inledning

Följande avsnitt beskriver bakgrund, syfte, avgränsningar samt preciseringen av frågeställningen för projektarbetet.

1.1 Bakgrund

På Volvo Group Trucks Technology Powertrain Engineering, vidare benämnt ”Volvo”, arbetar avdelningen för testning och teknisk utveckling med drivlinor inom heavy duty-divisionen. Inom denna division ingår främst dieseldrivna förbränningsmotorer för Volvos lastbilar, bussar och lastmaskiner. Majoriteten av motortesterna görs genom olika körprov i testceller där de är monterade i en testrigg. Körproven är ofta baserade på ett inspelat körprov från ett verkligt fordon, och testriggens huvudsakliga syfte är att återskapa detta inspelade körprov. Parallellt med att tester utförs i verkliga testriggar så utförs de även virtuellt, då testriggar modelleras i ytterligare utvecklings- och avhjälpningssyfte. Förutom att testriggar modelleras så modelleras även kompletta fordon till vad som kallas vagnsmodeller.

Teknikutvecklingen ökar efterfrågan att kunna förbättra testriggens förmåga att återskapa det inspelade körprovet. Genom denna förbättring ska testriggen kunna replikera fler och mer detaljerade händelser från det inspelade körprovet. Volvo önskar även att kunna effektivisera sina motorprov genom exempelvis hardware in the loop. Hardware in the loop (HIL) är en simuleringsteknik som i detta fall åstadkoms genom sammankoppling av en vagnsmodell och den verkliga testriggen. På så vis kan en modell över ett system styra dess fysiska motsvarighet av givare och don.

Att öka testriggens återskapningsförmåga kan enligt Volvo lämpligast göras genom att studera den i modellerat tillstånd. I modellerat tillstånd kan individuella egenskaper lättare ändras, och arbets-, tids- och kostnadsmissiga besparingar görs. Detta kräver dock att den modellerade testriggens kvalitet är tillräckligt bra i förhållande till den verkliga testriggen. Volvo anser kunna uppnå detta genom att studera en verklig testrigg och implementera särskilda egenskaper från den i dess modellerade motsvarighet. I modellen kan sedan åtgärder utföras som strävar mot att förbättra dess förmåga att återskapa det inspelade körprovet. Efteråt kan dessa förbättrande åtgärder utföras i den verkliga testriggen. Således anser Volvo slutligen kunna erhålla testriggar med förbättrad förmåga att återskapa det inspelade körprovet. Om detta uppnås anser Volvo även att de enklare skulle kunna utföra effektiviseringsåtgärder genom att använda sig av hardware-in-the-loop i sina motorprover.

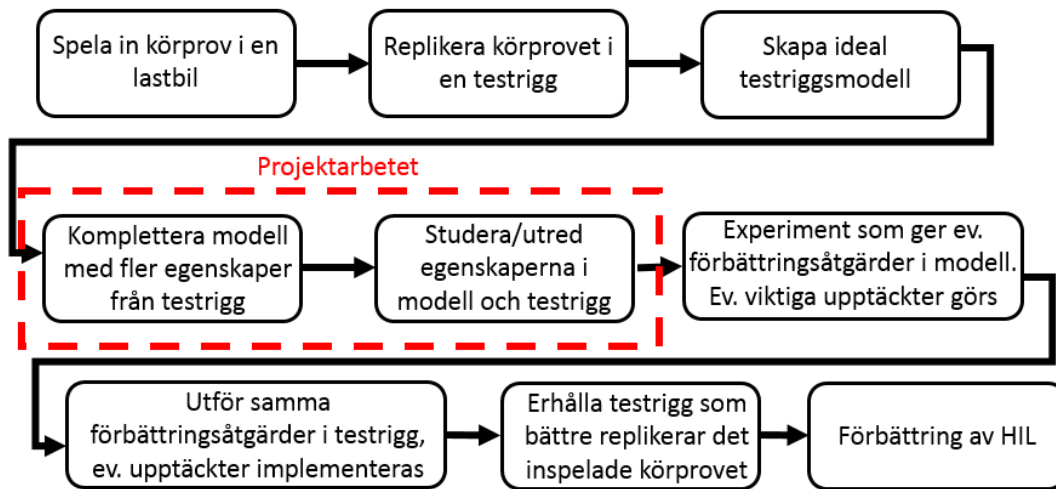
För att modellen ska kunna ha tillräckligt bra kvalitet i förhållande till den verkliga testriggen behöver ett par saker utredas. En central del är olika testcells-komponenters inverkan på testriggens replikeringsförmåga av det inspelade körprovet. En annan viktig del är att utreda eventuella förbättringsmöjligheter i befintliga modeller. Det behövs även utredas vad för eventuella åtgärder och förbättringar som kan behöva utföras på befintliga komponenter i testceller. Volvo innehar sedan tidigare modeller för att sammanställa en modellerad testrigg och i överlag vill Volvo att testriggsmodellen kompletteras. Modellen ska kompletteras så att den i huvudsak och i största mån motsvarar den verkliga testriggen. Modellen ska även kunna användas i ett modellerat tillstånd av hardware-in-the-loop, dvs. vagnsmodellen sammankopplad med testriggsmodellen. I modellen ska testriggens generella egenskaper kunna studeras, men även specifika egenskaper som har observerats hos en testrigg i en testcell vid försök med hardware in the loop.

1.2 Syfte

Syftet med detta projektarbete är att utreda möjligheterna kring att komplettera en modellerad testtrigg så att den på ett bättre sätt kan motsvara den verkliga testtriggens egenskaper. Specifikt är det viktigt att modellen kan återskapa ett svängningsfenomen som har observerats i testtriggarna vid användning av hardware in the loop. Vidare är syftet med detta projektarbete att kartlägga kända bakomliggande orsaker till svängningsfenomenet samt presentera eventuella värdefulla slutsatser och åtgärder. Sammanfattningsvis är syftet i överlag med detta projektarbete att utföra utredningar inom nämnda områden för vidare framtida arbete. Projektarbetet är en del av ett större bakomliggande projekt och många av de behandlade områdena har tidigare inte dokumenterats.

1.3 Avgränsningar

I detta avsnitt listas projektarbetets avgränsningar. Som tidigare nämnt utgör projektarbetet en del av ett större projekt samt lägger grunden för vidare arbete. Avgränsningen mellan detta projektarbete och det större illustreras nedan i figur 1.



Figur 1, illustrativ avgränsning mellan projektarbetet och Volvos större bakgrundsprojekt

Vid kompletterandet av modellen med de egenskaper som observerats är det viktigt att avgränsa när modellen ska anses approximera testriggens verkliga egenskaper tillräckligt. En modell är oftast en approximativ avbildning av ett verkligt system. I detta projektarbete avgör Volvo när approximationen anses tillräckligt bra och därmed modellens slutgiltiga kvalitet. Vid undersökning av modellens kvalitet mot testriggen har följande områden studerats:

- Modellens stegsvarsapproximation vad gäller snabbhet och stabilitet
- Modellens utdataapproximation vad gäller snabbhet och stabilitet
- Modellens approximation av svängningsfenomenet vid ”modellerat” hardware-in-the-loop.

Förutom ovan nämnda avgränsningar gäller även följande avgränsningar:

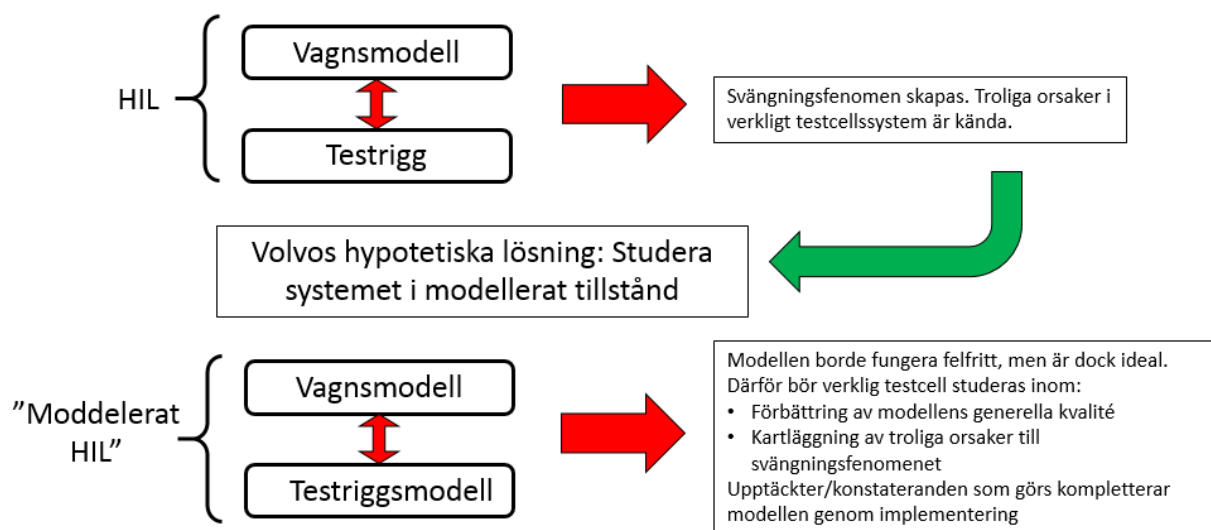
- Den kända troliga bakomliggande orsaken till svängningsfenomenet är signalfördröjningar. Endast denna troliga bakomliggande orsak har studerats.
- Testriggsmodellen betraktas som ideal när den endast approximerar en testrigg som replikerar ett inspelat körprov *exklusive* testriggens observerade egenskaper.
- Testriggsmodellen betraktas som förbättrad när den approximerar samma fall *inklusive* testriggens observerade egenskaper.
- Endast stegsvar och utdata för varvtal samt moment har studerats i testrigg och testriggsmodell
- Endast PI-parametrarna i den modellerade motorprovodynamometerns varvtalsregulator har studerats
- Två testceller har studerats i samband med kartläggningen av svängningsfenomenets troliga ursprung. Dessa är testcellerna FP64 samt FP68.
- Genom mätningar i enbart FP64 har särskilda observationer gjorts som lett till ändringar i den modellerade testriggen.
- Samtligt arbete med modellerna har skett i Simulink
- Det modellerade testobjektet i testriggsmodellen har inte modifierats
- Vagnsmodellen som använts i projektarbetet har inte modifierats
- Endast ett modellerat testobjekt har behandlats
- Endast ett verkligt testobjekt har behandlats i verklig testrigg

- Endast en typ av vagnsmodell har använts

Utrustningsmässigt är detta projektarbete avgränsat till den utrustning som funnits tillgänglig på Volvo. Detta innefattar exempelvis datorutrustning med mjukvara för simulering och beräkning, mätutrustning, existerande Simulink-modeller m.m. Inga ekonomiska aspekter är involverade i detta projektarbete.

1.4 Precisering av frågeställningen

Innan preciseringen av frågeställningen för detta projektarbete presenterats är det värt att presentera Volvos bakliggande resonemang. Inom resonemanget ingår Volvos observationer, hypoteser och önskade mål som ligger till grund för preciseringen av frågeställningen för detta projektarbete. Som tidigare nämnt i avsnitt 1.1 samt illustrerat i figur 1, avsnitt 1.3, så är en central del av bakgrundsprojektet att uppnå hardware in the loop. Figur 2 illustrerar övergripande Volvos observationer samt hypotetiska lösning i den del som utgör detta projektarbete.

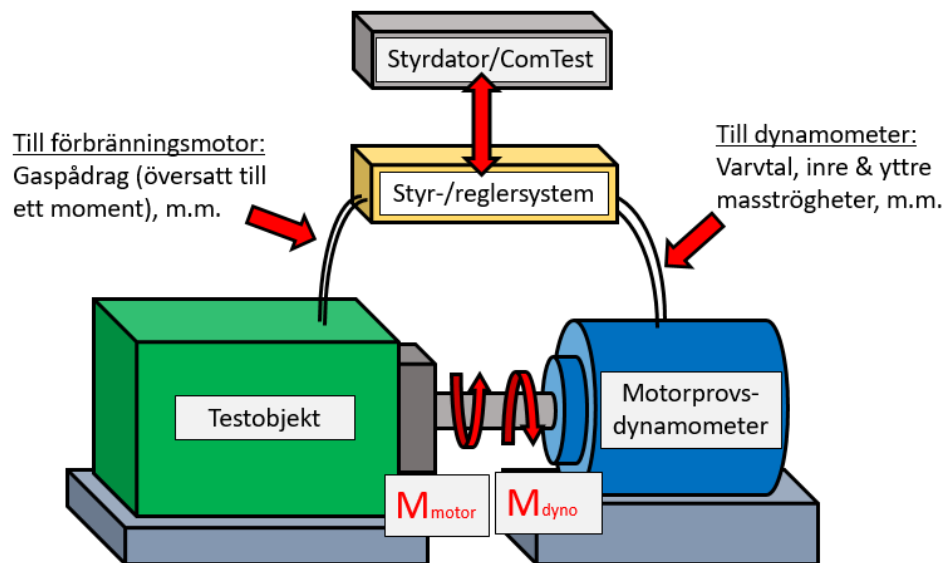


Figur 2, illustration över Volvos observationer samt resonemang kring problematiken med hardware in the loop i testtrigg

En av Volvos önskningar är att modellen slutligen ska kunna approximera testtriggen med fenomenet inkluderat. Experiment på svängningsfenomenet samt modellen ska även kunna utföras. Eventuella upptäckter som görs i modellen ska sedan kunna implementeras i ett verkligt testcellssystem med testtrigg. Ett exempel på en upptäckt skulle kunna vara en "kortaste längd" på tidsfördröjningarna i testcellssystemet så att svängningsfenomenet minskas. Denna "kortaste längd" på fördröjningarna skulle enligt Volvo kunna implementeras i ett verkligt testcellssystem genom att det där utreds vilka komponenter som orsakar mest fördröjningar och därmed bör modifieras/bytas ut.

Inom området att utreda testtriggmodellens kompletteringsmöjligheter är den modellerade motorprovodynamometern en central del. Här bör förbättringsmöjligheter kring dess styrning utredas. Denna utredning är en central del i förbättringen av modellens generella kvalitet.

Figur 3 visar en förenklad illustration över testriggens fysiska konfiguration samt dess signalvägar från styrdatorn. I modellerat tillstånd är utseendet i princip detsamma. Styrsignalerna som krävs för att testriggen ska kunna replikera inspelade körprov skickas från styrdatorn innehållande mjukvaran ComTest. Det är även i ComTest som vagnsmodellen placeras för hardware in the loop.



Figur 3, förenklad illustration av en testrigg innehållande de mest väsentliga komponenterna

Följande fyra punkter sammanfattar den preciserade frågeställningen för projektarbetet.

1. Kan styrningen av den modellerade motorprovsdynamometern förbättras för utökad kvalitet i den modellerade testriggen?
2. Kan svängningsfenomenet implementeras i testcellsmodellen för förbättrad kvalitet i testriggsmodellen?
3. Är det möjligt att lokalisera orsaken till ursprunget av svängningsfenomenet?
4. Vad för eventuella åtgärder kan utföras mot svängningsfenomenets ursprung?

2 Teknisk bakgrund

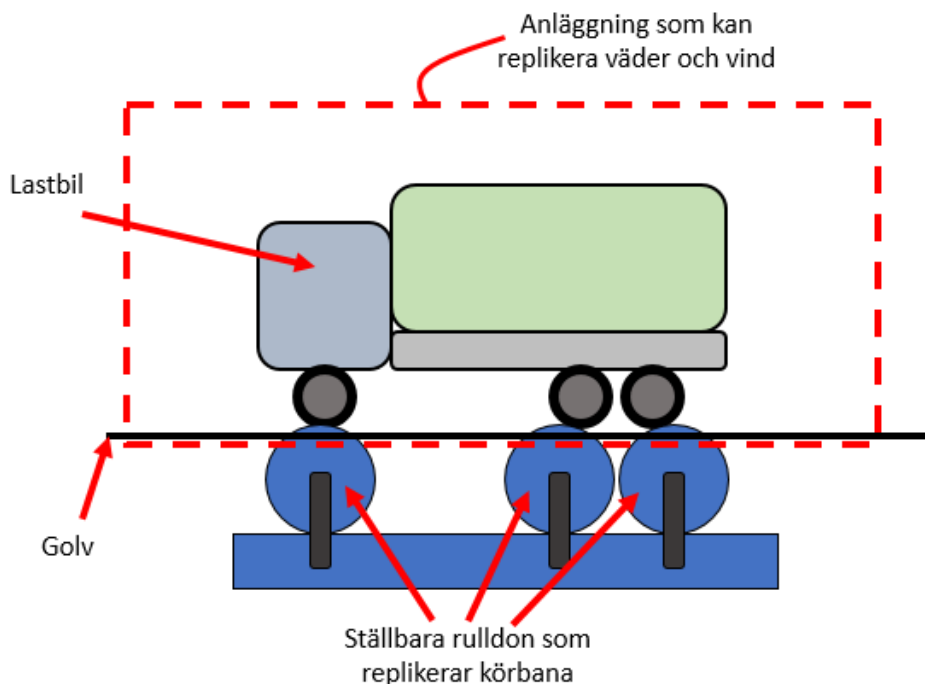
Följande avsnitt kommer att förklara olika tekniska termer och samband som ingår i projektarbetet. Detta i syfte för att läsaren ska erhålla en större förståelse för projektarbetets tekniska aspekter och begrepp.

2.1 Lastbilsprover

Detta avsnitt beskriver överskådligt vilka slags motorrelaterade tester Volvo utför. Avsnitten beskriver även vilka olika slags nivåer vad gäller utsträckning och typ av motorrelaterade tester Volvo utför.

2.1.1 Helvagnsprov

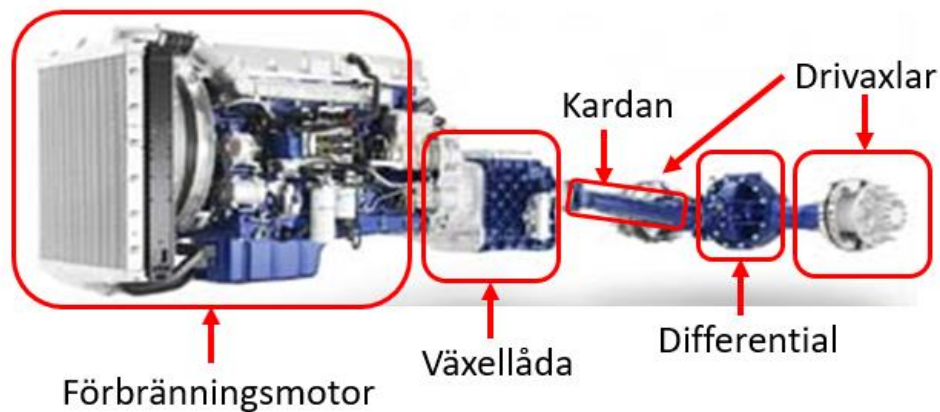
Vid ett helvagnsprov används en komplett lastbil som innan färd har preparerats med sensorer. Dessa sensorer kan vara olika i typ antal beroende på provets syfte alternativt placerade på specifika platser i lastbilen beroende på vad som ska mätas. Nackdelen med denna provningsmetod är att det är svårt att kontrollera vissa omvärldsfaktorer som kan inverka på körprovet, exempelvis väder. Att lastbilen även kanske är under utveckling och inte vill visas upp i offentligheten är en annan nackdel. Detta löser Volvo genom att placera lastbilen i en specialbyggd anläggning. Här är det möjligt att simulera lastbilens vägunderlag för att replikera den verkliga körbanan. Det är även möjligt att replikera väderlekar som värme, vind och regn för att erhålla ett så verklighetsreplikerande resultat som möjligt. Figur 4 visar överskådligt hur denna anläggning ser ut. Förutom att köra med lastbilarna ute på vägarna är detta den högsta och mest omfattande nivån Volvo använder sig av vid testning av deras lastbilar.



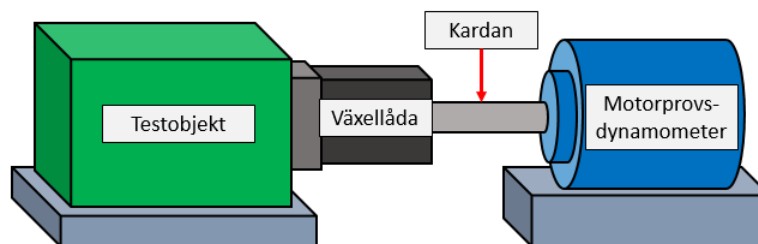
Figur 4, förenklad illustration över testtriggen för helvagnsprov

2.1.2 Drivlineprov

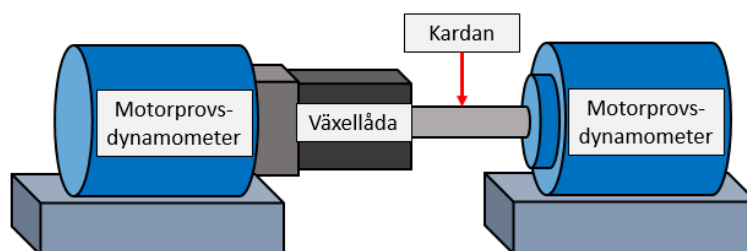
Ett drivlineprov utförs då endast drivlinan anses vara intressant, resten av lastbilen har skalats bort. Figur 5 visar en vanlig typ av drivlina som används i Volvos lastbilar. Figur 6 illustrerar drivlinans uppsättning vid ett vanligt drivlineprov. Som synes så har differential och drivaxlar ersatts av en motorprovsdynamometer. En motorprovsdynamometer är i stort sett en elmaskin som kan generera ett bromsande alternativt drivande moment. Motorprovsdynamometern återskapar här, via parametrar från en styrdator, de trögheter och motstånd som annars hade uppgjorts av drivhjul, underlag och andra moment- och tröghetsrelaterade faktorer hos en verklig lastbil.



Figur 5, en komplett och vanligt förekommande drivlinetyp i Volvos lastbilar.



Figur 6, illustration över testtriggen vid utförandet av drivlinetester

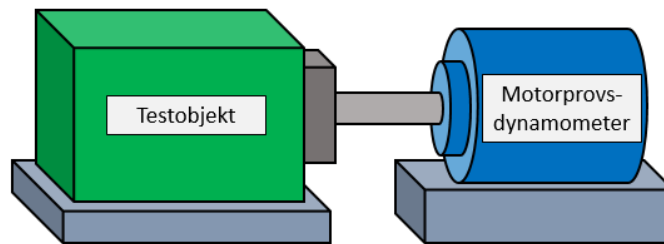


Figur 7, illustration över testtriggen vid växellådstestning, en så kallad transmissionstestrigg

En alternativ uppsättning är att förbränningsmotorn byts ut mot en ytterligare motorprovsdynamometer, som synes i figur 7. Denna konfiguration används exempelvis när endast växellådan och kardan anses vara intressanta. Med förbränningsmotorn utelämnad leder detta även till besparingar i form av bränsleförbrukning samt avgasutsläpp hos Volvo. Det leder även till en mer versatil testrigg då den ersättande motorprovsdynamometern i många fall kan utföra åtgärder på ett enklare sätt än förbränningsmotorn. [1]

2.1.3 Motorprov

Förutom helvagns- och drivlineprov utförs det prov där endast förbränningsmotorn anses vara intressant. Detta gäller exempelvis vid tester där avgasutsläpp alternativt motoreffekt ska uppmätas. Vid dessa typer av tester anses det onödigt att fysiskt inkludera komponenter som växellåda, kardan och differential. Istället realiseras dessa komponenter med hjälp av en motorprovodynamometer. Figur 8 nedan visar illustrativt hur testobjektet är ihopkopplat med motorprovodynamometern. I detta stadie har den i princip lägsta komponentnivån som Volvo arbetar med nåtts, i motsats till den högsta som nämndes under avsnitt 2.1.1. Det är denna nivå som främst behandlas i detta arbete. Att utföra motorprover på detta sätt är även ett billigare och enklare sätt att utföra motorprover än genom de metoder som nämndes under avsnitt 2.1.1.[1]



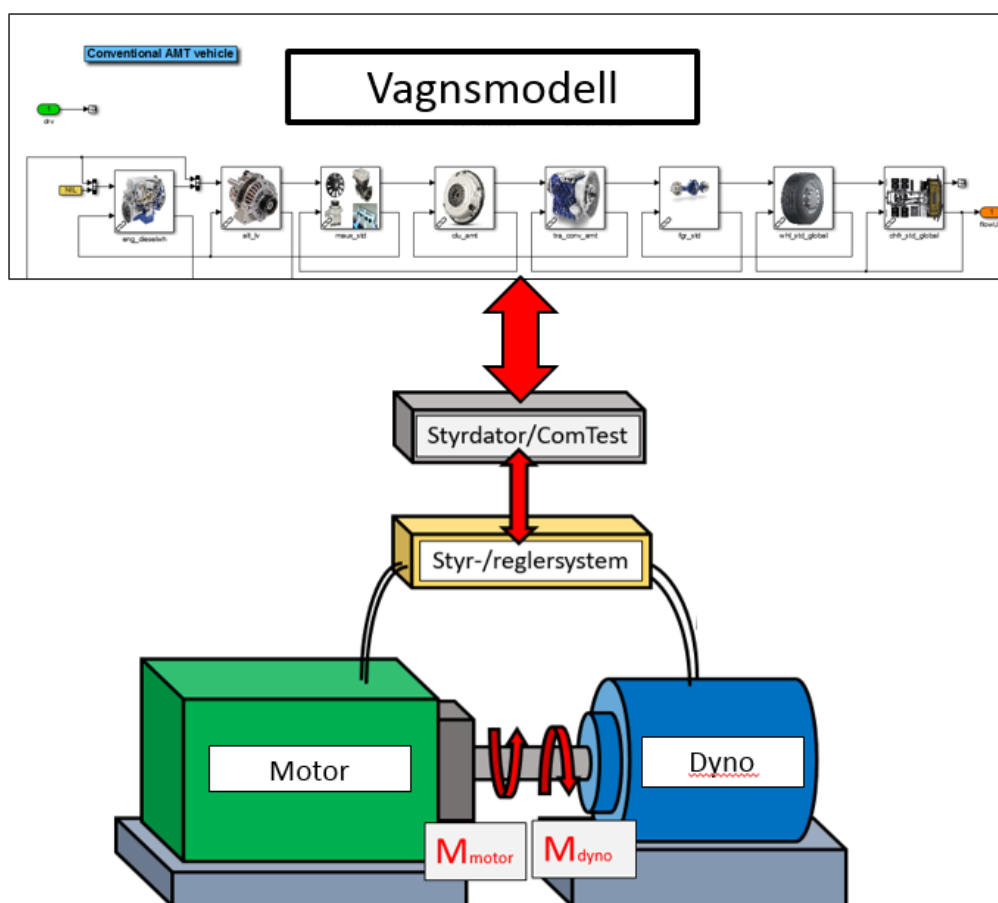
Figur 8, illustration över testriggen vid motorprov

2.2 Modellering, simulering och signalhantering

Detta avsnitt beskriver kortfattat de olika modellerings- simulerings- och signalhanteringsmetoder Volvo använder sig av som har behandlats i detta projektarbete.

2.2.1 Vagnsmodell och Hardware-in-the-loop (HIL)

Som nämnt under avsnitt 1.1 så kan en komplett lastbil modelleras för att sedermera simuleras. Detta utförs i Simulink där samtliga av lastbilens grundläggande egenskaper har delats upp i funktionsblock. Figur 9 visar delvis en överblick på vagnsmodellen som använts i detta projektarbete. Inom blocken som syns ingår exempelvis konfigurationsblock så att den simulerade lastbilen kör en viss sträcka, t.ex. Landvetter-Borås. Denna sträcka, där även hastighetsbegränsningar och terräng ingår, är inspelade körprov hämtade från ett verkligt körprov. I den verkliga testtriggen är det i huvudsak vagnsmodellen som skickar parametrarna till motorprovsdynamometern för dess styrning vid hardware-in-the-loop, se figur 9. Praktiskt sett återskapar motorprovsdynamometern lastbilens inre egenskaper såsom upp-/nerväxlingar, trögheter från hjul och servopumpar. Den återskapar även lastbilens yttre egenskaper såsom terräng utifrån vagnsmodellens skickade parametrar. Hardware in the loop är en typ av real-time simulation som framförallt används vid testning av dimensionerade regulatorer. Med hjälp av detta kan man t.ex. testa scenarion som kanske inte går att göra i något stadie av utvecklingen av ett system.[4].



Figur 9, Simulink-modellen över vagnsmodellen som har behandlats i projektarbetet. Även illustration när den är kopplad med en testtrigg för att åstadkomma hardware in the loop.

2.2.2 CAN-bussignaler

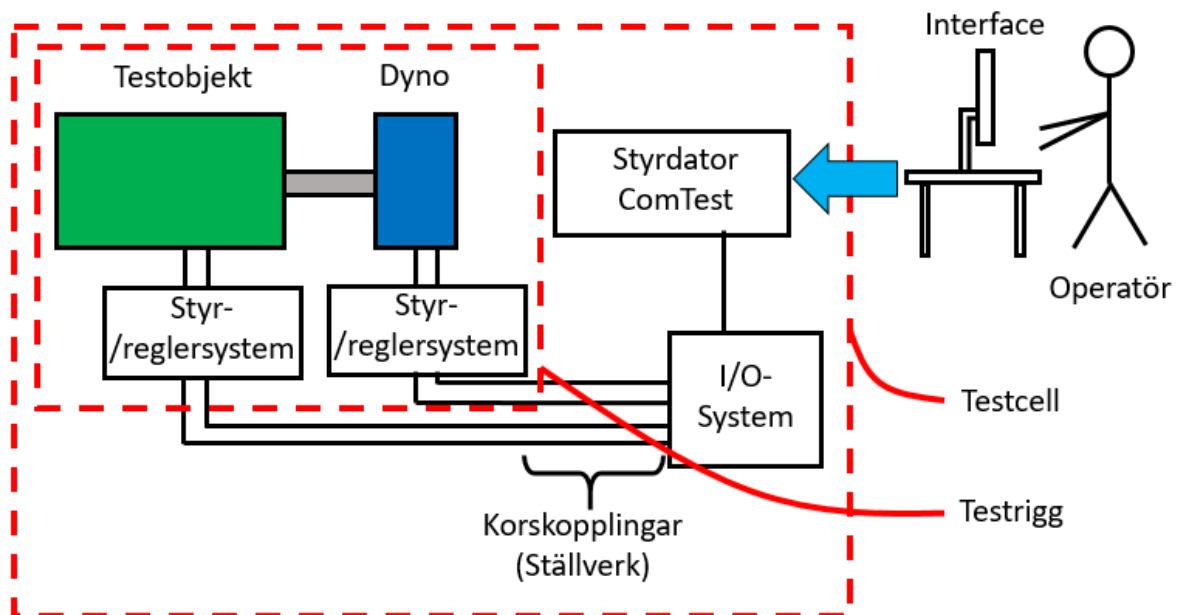
CAN bus är en standard som används för att kunna ha ett flertal datorer/mikrokontrollers som på ett smidigt sätt kan kommunicera med varandra utan en huvuddator som styr kommunikationen. I detta projekt har modeller använts där signalvägarna fungerar på liknande som ett CAN bus nät. I praktiken så skickas flera meddelanden på en ”tråd” där varje komponent själv läser vilken dator meddelandet var menat till. I verkligheten så skickar man data där de första delarna av skickad data berättar vart meddelandet är riktat till [5].

2.3 Testcell

Detta avsnitt beskriver överskådligt vad en testcell är samt vilka system och komponenter som ingår. En övergripande beskrivning av en testcell är att det är den plats där testtriggen är placerad och sammankopplad med kringliggande kommunikationssystem. Förutom motorprov med hjälp av en motorprovodynamometer sker där även andra typer av motortester. Dessa tester är exempelvis relaterade till bränsleförbrukning (injektortester) samt avgasutsläpp (mufflertest)[1].

2.3.1 Systemöverblick

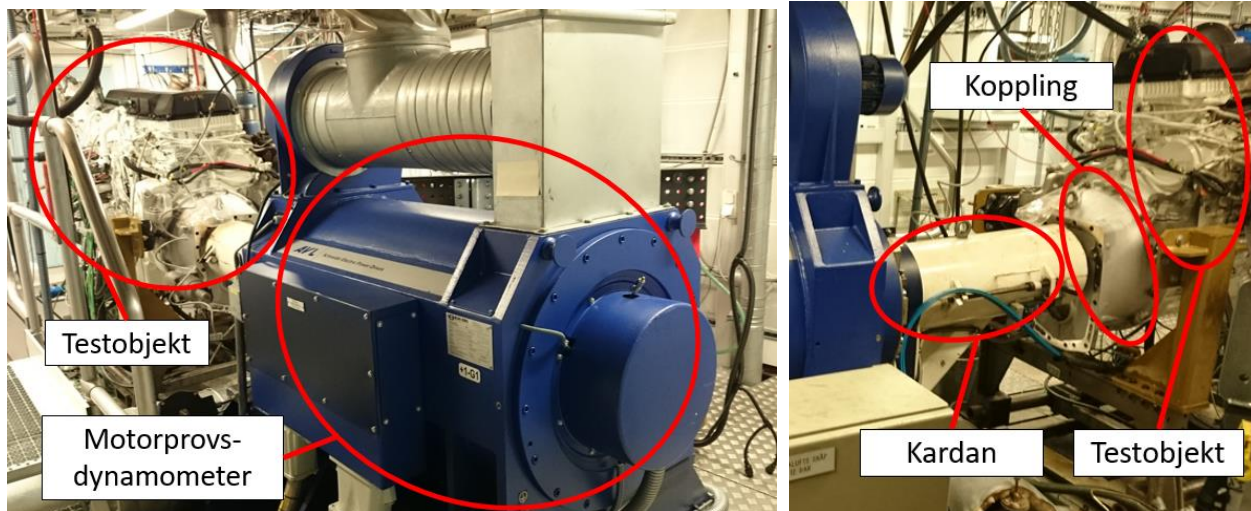
Figur 10 visar en något förenklad schematisk överblick över en testcell innehållande en testtrigg. I figuren har de delar av systemet som är irrelevanta för projektarbetet, såsom komponenter för utsläpps- och bränsletester utelämnats. En operatör kan antingen direkt eller genom att konfigurera styrdatorn ComTest kontrollera och övervaka systemet inom testcellen. Operatören kan alltså styra testobjektet eller motorprovodynamometern (benämnt ”dyno” i figur 10) manuellt eller genom ett programmerat körschema. ComTest är den slutliga del av testcellssystemet som skickar ut börvärden till samt tar emot är-värden från motorprovodynamometern.



Figur 10, förenklad illustration över en testcell innehållande en testtrigg

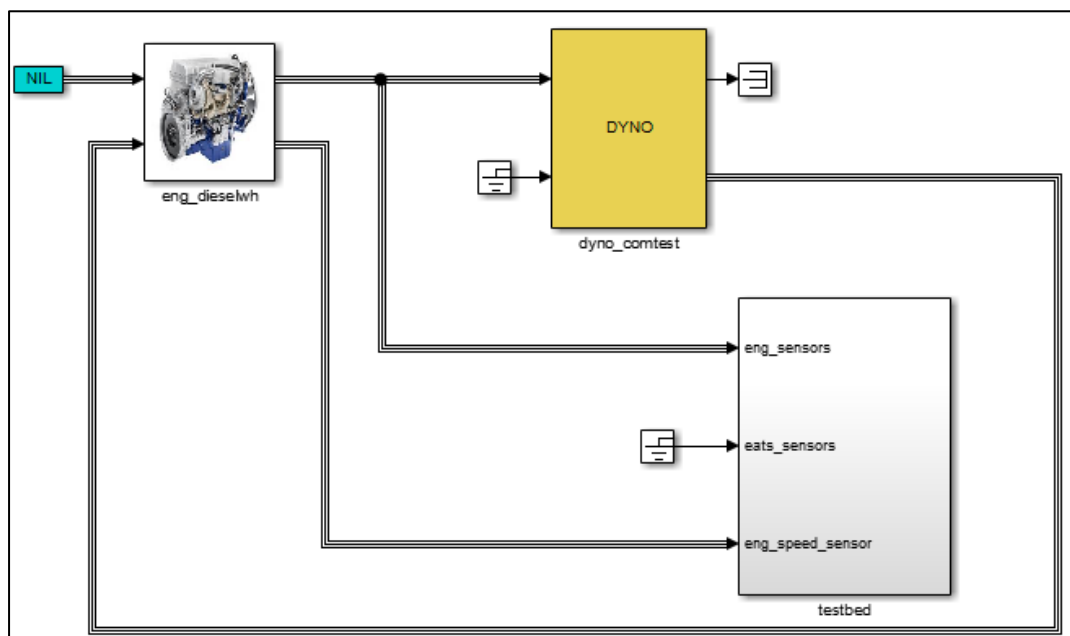
2.3.2 Testrigg

Den typen av testrigg som används vid de motorprover som studerats i detta projektarbete består i huvudsak av fyra komponenter. Dessa komponenter är testobjektet och motorprovsdynamometern sammankopplade med en kopplingsanordning och kardan. Figur 11 visar bilder över en verklig testrigg i en testcell där vardera av de fyra komponenterna har märkts ut.



Figur 11, vyer över en verklig testrigg för motorprov med huvudsakliga ingående komponenter utmärkta.

En testrigg kan även realiseras virtuellt. Volvo gör detta med hjälp av Simulink-modeller i Matlab. Figur 12 visar den modellerade testriggen som behandlats i detta projektarbete. Modellering på detta vis görs även i ett tidigt stadiet i utvecklingsprocessen av testobjekten. Sammanfattningsvis är testriggens syfte att återskapa det inspelade körprovet och testriggsmodellens uppgift är att approximera testriggen när den replikerar det inspelade körprovet.



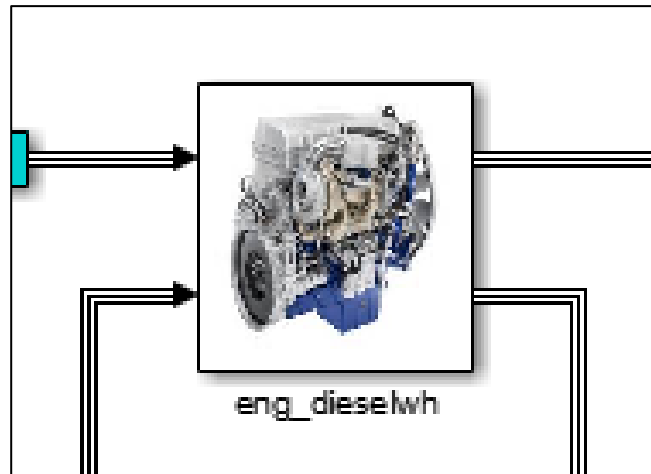
Figur 12, den modellerade testriggen som har behandlats i detta projektarbete.

2.3.3 Testobjekt

Testobjektet är den generella benämningen på förbränningsmotorn som provkörs i testriggen. I de flesta fall är detta en dieseldriven förbränningsmotor, men det finns undantag då det är en elmotor för t.ex. hybriddrivlinor. Dessa testobjekt finns i modellerade varianter som är uppbyggda i Simulink. Figur 13 visar ett utställningsexemplar av ett testobjekt. Figur 14 visar topp-vyn för motsvarande modellerade testobjekt som har använts i detta projektarbete.



Figur 13, utställningsexemplar av ett verkligt testobjekt, en 13-liters dieseldriven förbränningsmotor



Figur 14, topp-vyn över ett modellerat testobjekt

2.3.4 Motorprovodynamometern

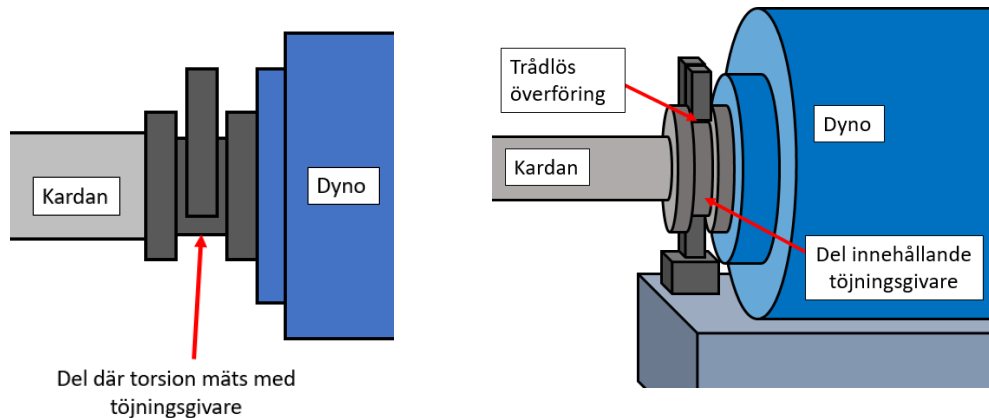
Vid motorutveckling är det önskvärt att kunna utföra körprov som involverar att motorn drivs eller belastas av ett vridande moment. Detta realiseras med hjälp av en motorprovodynamometer. Figur 15 visar en motorprovodynamometer i en testcell. Motorprovodynamometern kan bäst efterliknas en stor elmaskin. Genom att reglera strömmarna i den kan den förse förbränningsmotorn med ett antingen drivande eller bromsande moment. Med denna reglering kan motorprovodynamometern återskapa alla de olika trögheterna som förbränningsmotorn utsattes för under körprovet som spelats in.



Figur 15, vyer över en motorprovodynamometer i en testcell

Varvtalsregleringen sker med hjälp av en PI-regulator. En vanlig inställning på motorprovodynamometern hos Volvo är en varvtalsramphastighet på 2500 rpm/sekund. Med hjälp av detta kan motorprovodynamometern rampformat öka varvtalet oavsett vilket varvtal testobjektet har. Detta betyder att motorprovodynamometern är påtagligt starkare än vad testobjektet är, och är något som bör noteras för vidare förståelse av dess funktion senare i denna rapport.

För att mäta vridmomentet i testtriggen används en vridmomentssensor som med hjälp av töjningsgivare mäter torsionen i kardan. Figur 16 visar dess placering. Torsionen som uppmäts överförs trådlöst från en givare till en omgivande mottagare som i sin förmedlar signalen till styrdatorn och ComTest.



Figur 16, vridmomentssensorns placering mellan kardan och motorprovodynamometern

Motorprovodynamometerens varvtal mäts med en takometer monterad på dess rotor. Denna signal omvandlas sedan till varv per minut innan den skickas vidare till styrdatorn. Liksom testobjektet så modelleras även motorprovodynamometern i Simulink.

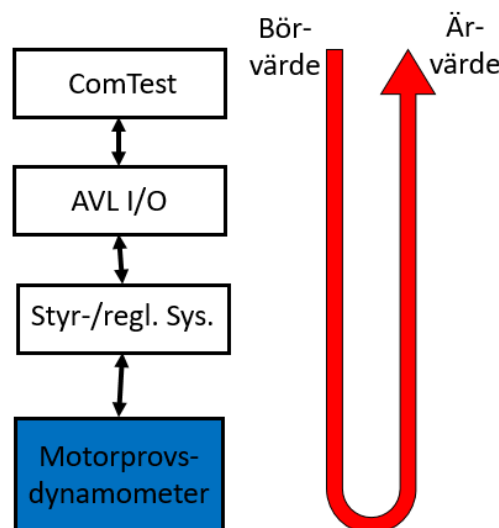
2.4 Svängningsfenomenet

Volvo har identifierat ett specifikt problem i testriggarna vid vissa körtillfällen i sina testceller. Specifikt vid användning av hardware-in-the-loop. Detta avsnitt kommer främst att beskriva problemet i sin hypotetiska form.

2.4.1 Bakgrund till svängningsfenomenet

Innan projektarbetets start var den troliga orsaken till svängningsfenomenet långa tidsfördröjningar i signalvägarna mellan ComTest och motorprovodynamometern i testriggen. Kortfattat kan svängningsfenomenet beskrivas som ett okontrollerat svängande i varvtalet mellan testobjekt och motorprovodynamometern i testriggen. Problematiken tror sig grunda i att det tar för lång tid för är-värdet att nå ComTest efter att ComTest har skickat ut bör-värdet. Se figur 17 som illustrerar detta. Eftersom ComTest har en sådan central del i styrningen av motorprovodynamometern så skapar dessa signalfördröjningar svängningsfenomenet.

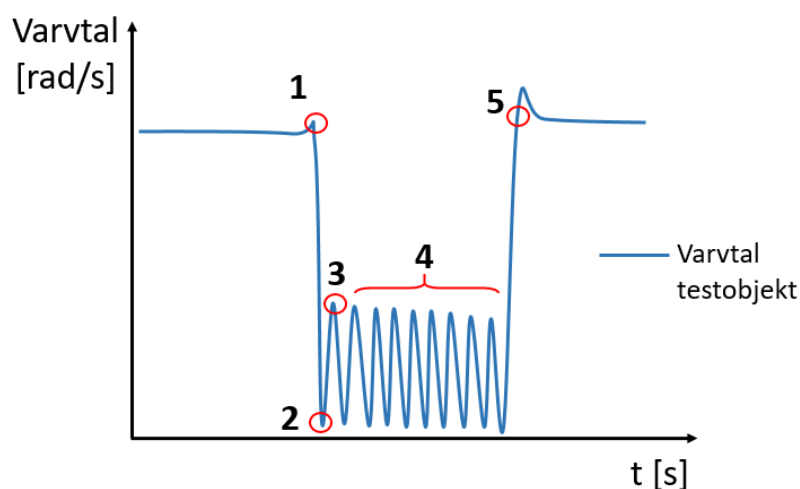
Det är nämnvärt att i de testcellssystem som har studerats är det i princip omöjligt att eliminera fördröjningar mellan är- och bör-värdessignaler. Anledningen är av olika signalbehandlingsprocesser som sker i signalvägarna såsom signalfiltreringar och konverteringar. Å andra sidan är det enligt Volvo stor sannolikhet att dessa fördröjningar kan kortas ner. Detta genom att utreda dess ursprung och eventuellt byta komponenter i testcellssystemet. Tidsfördröjningarna är olika långa beroende på vilken signal som studeras. De signaler som studerats är de för varvtal samt de för moment.



Figur 17, illustration av signalfördröjningarna till och från ComTest via motorprovodynamometern i testriggen.

2.4.2 Hypotetisk beskrivning

Svängningsfenomenet har identifierats som ett "svängande" i varvtalet mellan testobjektet och motorprovsdynamometern. Specifikt inträffar detta då tomgångsregleringen för testobjektet startas när motorprovsdynamometern simulerar en frikoppling vid hardware-in-the-loop. Istället för ett jämnt förlopp skapas en överkompensering från motorprovsdynamometerns sida som i sin tur orsakar svängningarna. Hypotesen är alltså att motorprovsdynamometern skapar en överkompensering på grund av att dess varvtalsreglering, via ComTest med vagnsmodellen, alltid läser av "fördröjda värden". Detta på grund av fördröjningarna i signalvägarna i det verkliga testcellssystemet. Förbränningsmotorn har en varvtalsreglering för tomgång som sitter i dess egen styrenhet. Därmed har tomgångsregleringen hos motorn en mycket kortare fördröjning än den fördröjning som finns mellan ComTest och motorprovsdynamometern. På så vis antar Volvo att svängningsfenomenet grundar sig i signalvägarna mellan ComTest och motorprovsdynamometern. Figur 18 tillsammans med underliggande beskrivning illustrerar förenklat svängningsfenomenet grafiska karakteristik.



Figur 18, illustration över testobjektets "svängande" varvtal på grund av signalfördröjningarna mellan motorprovsdynamometern och ComTest.

Beskrivning av figur 18:

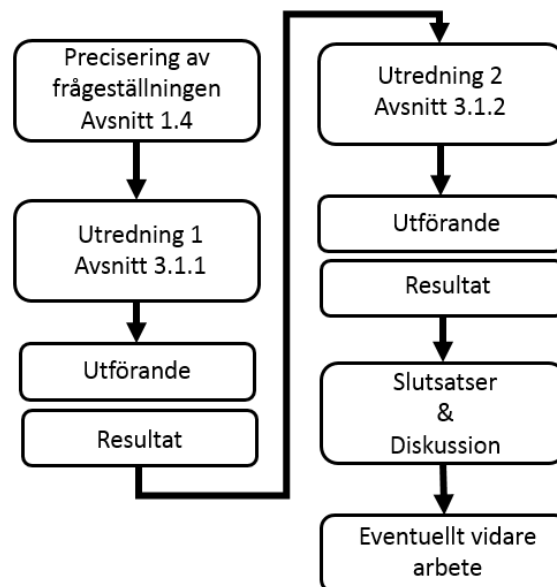
1. Motorn befinner sig på ett arbetsvarvtal. Motorprovsdynamometern får angivet att simulera en frikoppling av motorn från den simulerade växellådan. Den simulerade frikopplingen sker genom att motorprovsdynamometern sänker sitt moment. Denna momentsänkning sker med en hög ramphastighet och motorns varvtal sjunker snabbt.
2. Motorns varvtal undersvänger naturligt, tomgångsregleringen för motorn ökar momentet från motorn för att åtgärda detta.
3. Den blivande översvängen från motorns tomgångsreglering får motorprovsdynamometern att skapa en kompensering.
4. Tidsfördröjningarna i signalvägarna orsakar svängningsfenomenet. I detta skede jobbar alltså motorns tomgångsregulator emot motorprovsdynamometerns varvtalsregulator. Det är tänkt att motorprovsdynamometerns kompensering ska dämpa testobjektets naturliga svängningar i avhjälpande syfte åt varvtalsregleringen. Istället händer det motsatta.
5. Svängningen åtgärdas när motorn sätts i arbetsvarvtal igen då motorns varvtalsreglering samt motorprovsdynamometerns simulering av frikopplingen avslutas.

3 Metod

I detta avsnitt presenteras de metoder som har använts i projektarbetet. Dessa metoder är vad som har bedömts som mest lämpliga utifrån projektets omfång och karaktär. De är nödvändigtvis inte de enda metoderna som kan användas vid en eventuell replikering av detta projektarbete, men är de metoder som ansetts vara tillräckliga för att uppnå önskade resultat.

3.1 Utredningsarbete i två delar

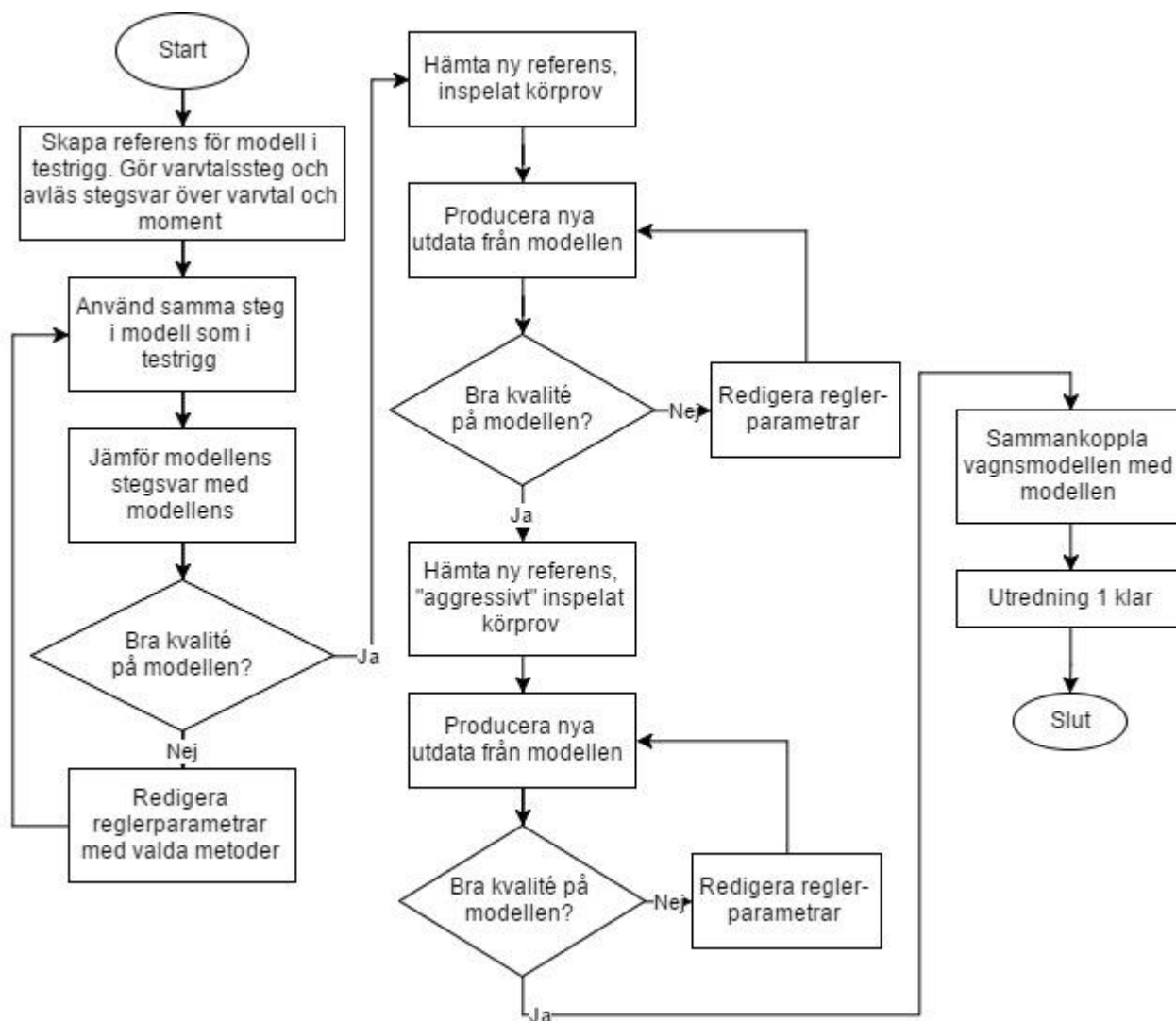
Följande avsnitt beskriver de två huvudsakliga utredningarna som projektarbetet har valts att delas upp i. Dessa två utredningar har formulerats genom den sammanfattande preciserande frågeställningen som presenterades under avsnitt 1.4. Inom detta projektarbete har det konstaterats att ett stort antal aspekter ingår för att kunna angripa frågeställningarna. Därmed har lämpligaste strukturmässiga metod ansetts vara att dela upp projektarbetet i två utredningsarbeten. Den huvudsakliga metoden i de båda utredningarna har varit tillämpningen av flödesscheman. På så vis har ett tydligt och strukturerat arbete med kontinuerlig testnings- och verifieringsarbete kunnat bibehållas. Användning av flödesscheman har även ansetts vara lämpligaste metoden på grund av projektarbetets utredande karaktär. Figur 19 visar den övergripande arbetsmetodiken som använts i detta projektarbete.



Figur 19, schema över projektarbetets övergripande arbetsmetodik

3.1.1 Utredning 1: Styrningsförbättring av den modellerade motorprovodynamometern

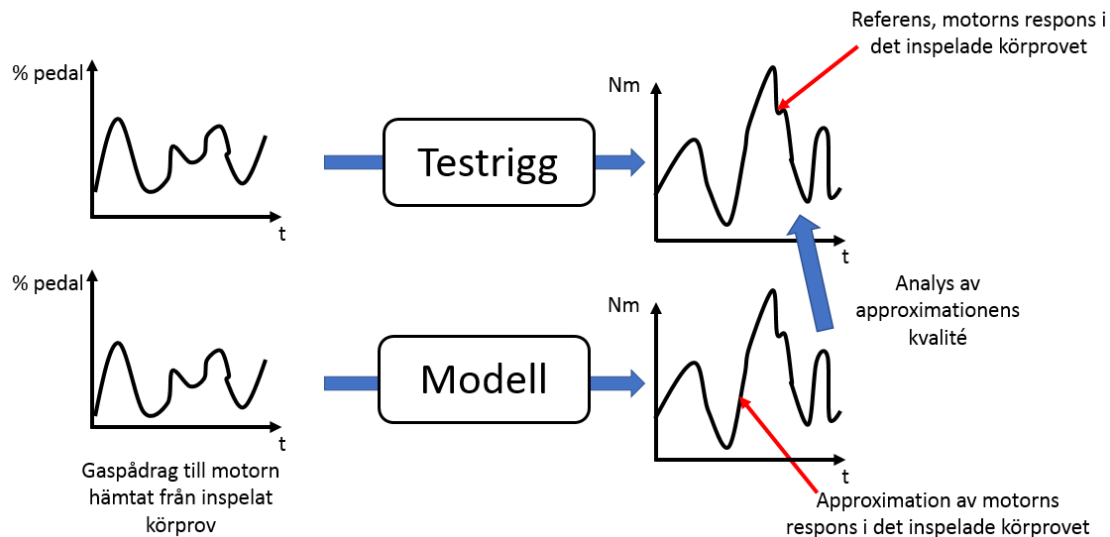
För att kunna utreda möjligheterna kring förbättrad kvalitet i modellen har utredning 1 varit en initial del innan testtriggens övriga egenskaper har behandlats, såsom svängningsfenomenet. Detta för att avgöra eventuella andra förbättringar som kan utföras för att bidra till förbättrad modellkvalité. I utredning 1 har det undersökts om styrningen av den modellerade motorprovodynamometern kan förbättras. I testtriggen är motorprovodynamometern en så pass central komponent i återskapandet av det inspelade körprovet vilket är anledningen till att den specifikt studerats. I testtriggsmodellen har den en lika central del, men avgör istället approximationen av testtriggens återskapning av det inspelade körprovet. Metoden för arbetsgången i utredning 1 ses i flödesschemat i figur 20.



Figur 20, flödesschema över arbetsmetodiken i utredning 1

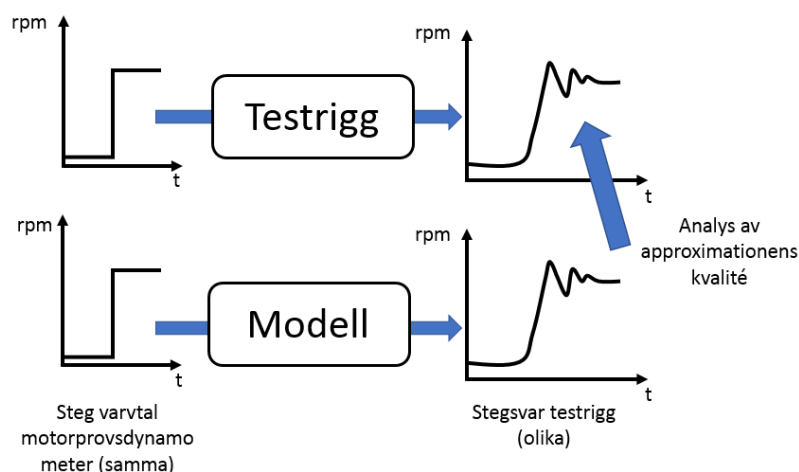
Genom att använda en referens skapad av en testtrigg kan en tillförlitlig ny approximation skapas av den modellerade testtriggen. Den huvudsakliga arbetsprocessen i utredning 1 har inneburit att korrigera modellens utdata så att den på bästa möjliga vis approximerar referensens utdata. Modellens eller testtriggens producerade utdata är exempelvis respektives stegsvar vid en stegformad börvärdesändring av motorprovodynamometers varvtal. Alternativt är det respektives approximation av det inspelade körprovet. Korrigeringen har specifikt utförts genom att ändra de reglerparametrar i den modellerade motorprovodynamometern som har störst inverkan på testtriggsmodellens producerade utdata.

Utdata från testtriggen eller testtriggmodellen produceras alltid genom att samma parametrar använts som indata. Vid producering av stegsvar är detta exempelvis samma stegformade börvärdesändring av motorprovodynamometerens varvtal. När det gäller producering av utdata med inspelat körprov som referens är det exempelvis det inspelade körprovets gaspådrag för motorn som är indata, se figur 21. Det är dock värt att nämna att vid inspelade körprov som mall så existerar fler parametrar som indata. Förutom gaspådrag till motor finns även indata för motorprovodynamometern så att den kan ”återskapa” exempelvis terräng.



Figur 21, illustration över exempel när samma gaspådrag för motorn använts som indata i testtrigg och modell för att analysera modellens kvalitet.

Att avgöra ”bra kvalitet på modellen” genomförs med analys av modellens utdatagraf, som även syntes i figur 21. I detalj är det en grafisk jämförelse mellan exempelvis modellens stegsvar och referensens stegsvar vid en stegformad börvärdesändring, se figur 22.



Figur 22, illustration över exempel när samma stegformade börvärdesändring för motorprovodynamometerens varvtal använts som indata

När Volvo anser modellens approximation av testtriggens utdata som tillräckligt bra anses därmed modellen som bra, i resterande fall anses modellen dålig. Det är viktigt att inte blanda ihop modellens reglering med modellens approximation. I fall där modellens reglering ansetts som bra, men dess approximation som dålig, ska därmed modellen klassas som dålig.

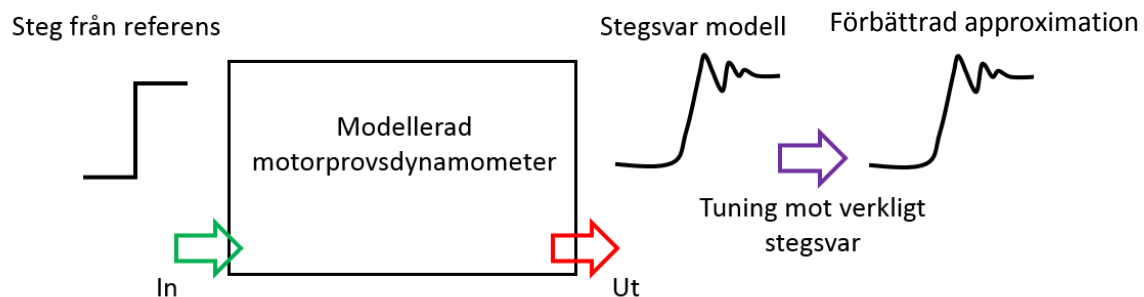
Genom att först utreda modellens förmåga att approximera ett stegsvar från testtriggen skapas en grundläggande utgångspunkt inom hur väl modellen initialt approximerar testtriggen. Det ger även en bild över hur mycket arbete som eventuellt kan krävas för att modellen ska vara en bättre approximation av testtriggen. Att sedan undersöka modellens kvalitet genom att använda ett inspelat körprov uppvisar ytterligare hur väl modellen approximerar testtriggen. Genom att använda två olika inspelade körprov som referenser, där den ena klassats som "aggressivt" kan modellens kvalitet analyseras ytterligare. Här är det specifikt modellens förmåga att approximera testtriggen vid exempelvis hastiga varvtalsändringar eller momentbelastningar som kan analyseras.

Då ingen vagnsmodell eller signalvägsfördröjningar relaterade till svängningsfenomenet är involverade i arbetet i utredning 1 skapas grunderna för en relativt ideal modell över testtriggen. I slutet av utredning 1 sammankopplas vagnsmodellen med testtriggssmodellen. Metoden för detta består av att sammankoppla rätt CAN-bussignaler mellan vagnsmodellen och testtriggssmodellen.

Metoderna som har använts i detta projektarbete för att ta fram nya PI-parametrar till den modellerade motorprovodynamometerens varvtalsregulator presenteras i följande två avsnitt.

3.1.1.1 MatLab tune-funktion för bestämning av PI-parametrar

Med hjälp av MatLab har en metod använts för att ta fram PI-parametrar till den modellerade motorprovodynamometern. Metoden grundar sig i att få den modellerade motorprovodynamometerens stegsvar att approximera den verkliga motorprovodynamometerens stegsvar vid varvtalsändring så bra som möjligt. Både modellen och testtriggen förses med samma steg som bör-värde. Genom en tune-funktion i MatLab så kan P- och I-parametrar experimenteras fram till dess att modellens stegsvar grafiskt liknar stegsvaret från den verkliga motorprovodynamometern. Figur 23 illustrerar överskådligt proceduren för denna metod.



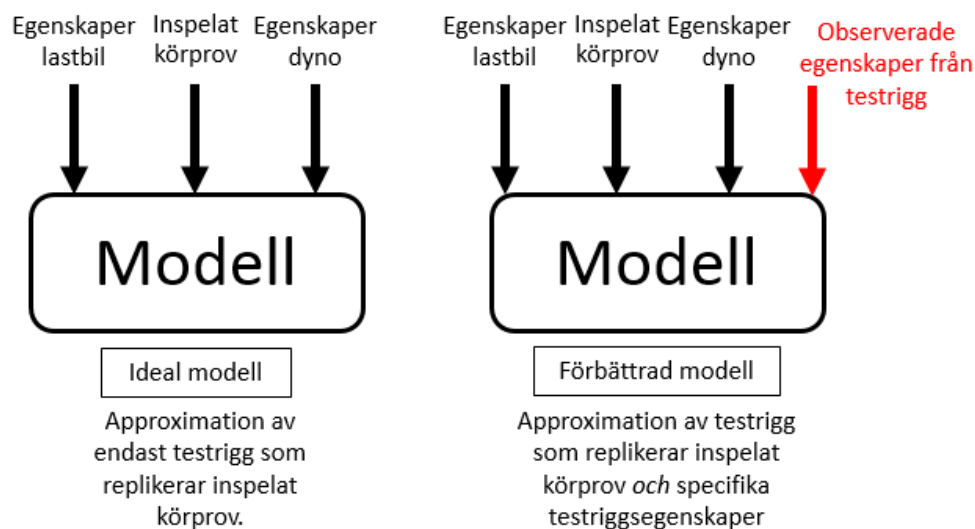
Figur 23, överskådlig arbetsmetodik för framtagning av PI-parametrar med MatLab tune

3.1.1.2 Ziegler-Nichols metod för bestämning av PI-parametrar

Förutom användning av tune-funktionen i MatLab användes även Ziegler-Nichols metod för att ta fram nya PI-parametrar. På grund av testtriggens komplexitet i förhållande till att kunna räkna ut dess överföringsfunktion tillämpades denna tumregelmetod. För arbetsmetodiken till Ziegler-Nicholsmetoden, se referens [3].

3.1.2 Utredning 2, Implementering och kartläggning av svängningsfenomenet

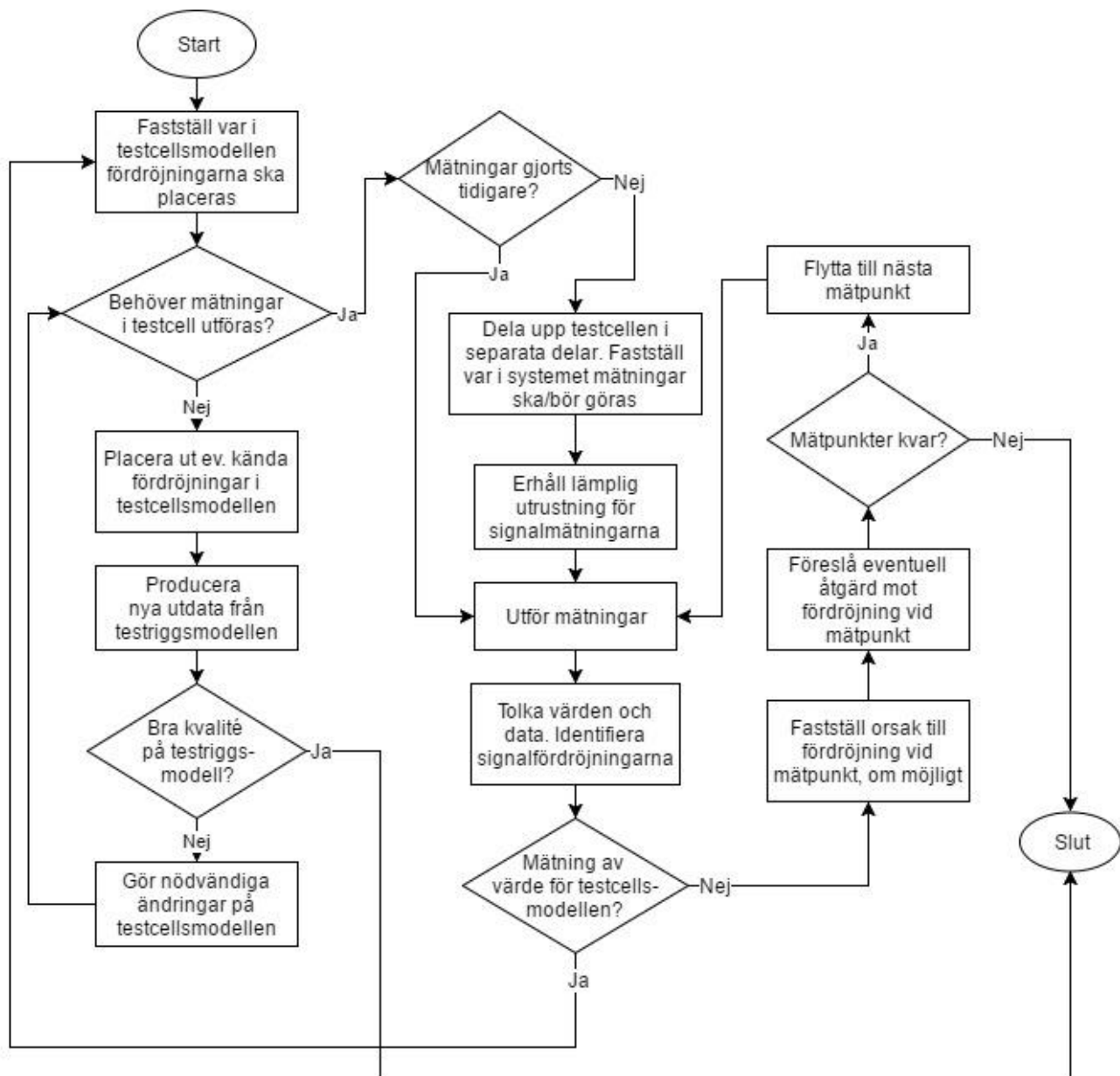
För vidare utredning kring förbättringsmöjligheterna av modellens kvalitet har utredning 2 utförts. I utredning 2 har implementeringsmöjligheterna av en observerad egenskap, svängningsfenomenet, undersökts. Det är i utredning 2 som arbetet för att erhålla den förbättrade modellen inleds. Trots att arbetet i utredning 1 kan ha genererat en kvalitetsmässigt förbättrad modell är den fortfarande på en ideal nivå i och med att testtriggens egenskaper inte behandlats. Därmed anses den inte som förbättrad av både Volvo eller projektarbetets avgränsningar. Den ideala modellen som behandlades i utredning 1 är tänkt att kompletteras i utredning 2 och möjligheterna för modellen att motsvara den verkliga testtriggens egenskaper undersöks. Figur 24 visar modelltillståndet innan starten av detta projektarbete samt modelltillståndet som arbetet i utredning 2 riktar sig mot. Den röda pilen i den ”förbättrade modellen” gestaltar det kompletterande arbete som undersöks i utredning 2. De svarta pilarna motsvarar modellens övergripande innehåll.



Figur 24, illustrativ jämförelse mellan ursprunglig och förbättrad modell genom utredning 2. Pilarna med beskrivning utgör de ingående parametrarna i modellen.

Utredningen är baserad på Volvos ursprungliga kännedom kring svängningsfenomenet som nämndes under avsnitt 2.4.1. Undersökningen är baserad på fysiska mätningar i en testcell för att erhålla ytterligare information relaterat till problemet. Det är värt att nämna att utredning 2 inom vissa områden förflyttar sig upp en modellnivå - från testtriggnivå till testcells nivå. Eftersom det i den verkliga testtriggen är egenskaper som troligtvis är grundade i det verkliga testcellsystemet kräver det att detta system studeras. Implementeringen av svängningsfenomenet har utförts genom att lägga in fördröjningsblock i Simulink-modellen för den modellerade testcellen. De fysiska mätningarna bidrar till att dessa fördröjningsblock dimensioneras rätt samt placeras på rätt plats i modellen.

Ett centralt moment i utredning 2 har varit att avgöra testtriggmodellens kvalitet. Detta moment kan liknas med samma slags centrala moment som utfördes i utredning 1. Därmed kan många av metoderna för att avgöra modellens kvalitet hämtas från metoderna i utredning 1. Skillnaden i utredning 2 är att endast inspelade körprov används som referenser för att avgöra en "bra kvalitet" på testtriggmodellen. En annan väsentlig skillnad är att steget "Gör nödvändiga ändringar" i flödesschemat för utredningens arbetsmetodik, se figur 25, endast involverar att förflytta alternativt dimensionera om fördröjningsblocken i testcellsmodellen. Det är viktigt att understryka att ändringar av PI-parametrar som utfördes i utredning 1 inte utförs i utredning 2. För att avgöra svängningsfenomenets kvalitet så har modellens approximation jämförts med dess hypotetiska förklaring som beskrevs under avsnitt 2.4.2. Dess kvalitet avgörs även i samråd med Volvo. Flödesschemat i figur 25 beskriver arbetsmetodiken som använts i utredning 2



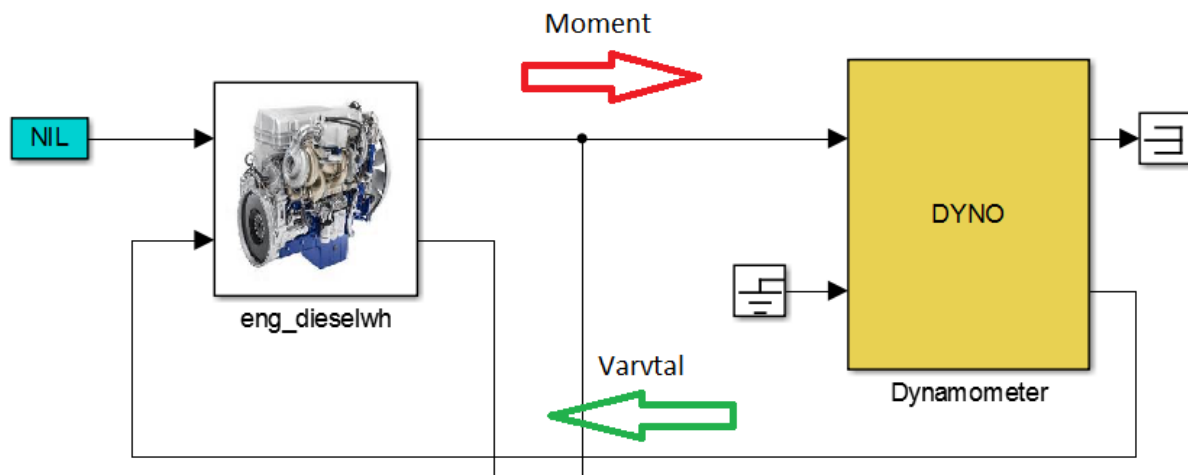
Figur 25, flödesschema över arbetsmetodiken i utredning 2

4 Analys

Följande avsnitt beskriver och förklarar ur ett analytiskt perspektiv de huvudsakliga modellerade komponenterna som har ingått i detta projektarbete. Här ingår den modellerade testtriggen, testobjektet, motorprovsdynamometern och slutligen den modellerade testtriggen tillsammans med vagnsmodellen. Till en början har detta projektarbete endast behandlat modellerna för testobjektet samt motorprovsdynamometern som nämndes under avsnitt 3.1.1. Sedermera har vagnsmodellen lagts till, som nämnt under avsnitt 3.1.2.

4.1 Den modellerade testtriggen samt testcellen

Inledningsvis kommer testtriggssystemet samt dess styrning att förklaras. I figur 26 ses den modellerade testtriggen innehållande det modellerade testobjektet samt den modellerade motorprovsdynamometern. Såsom i vagnsmodellen så hanterar testtriggssystemet ett utgående moment och återkopplar ett varvtal. I systemet som ses figuren innebär detta att förbränningsmotorn ger ut ett moment och motorprovsdynamometern svarar med ett motriktat moment. Motorprovsdynamometern återkopplar sedan det resulterande varvtalet som uppstår av momentdifferensen till förbränningsmotorn.



Figur 26, testtriggssystemet med signalvägarna för moment och varvtal utritade

I figur 26 syns till vänster ett NIL-block. Detta block gör att inga moment eller masströgheter tillförs förbränningsmotorn. I de flesta modellerade testtriggar är det alltid förbränningsmotorn som är den drivande enheten.

[illegible]

Hur signalvägarna för den modellerade testcellen kan tillsammans med figur 27 beskrivas enligt följande:

- Trots att det inte finns några signalvägar mellan alla block så finns det inuti dessa block Simulink-funktioner som löser detta, se figur 28. Signaler som går in i Goto-komponenten kan tas ut i From-komponenten, detta gör att vissa av signalerna "trådlöst" går mellan blocken. Alla storheter fungerar som signaler i modellen, Simulink räknar med enhetslösa siffror vilket innebär att vi kan skicka allt från logiska signaler till momentet i dessa "tags".



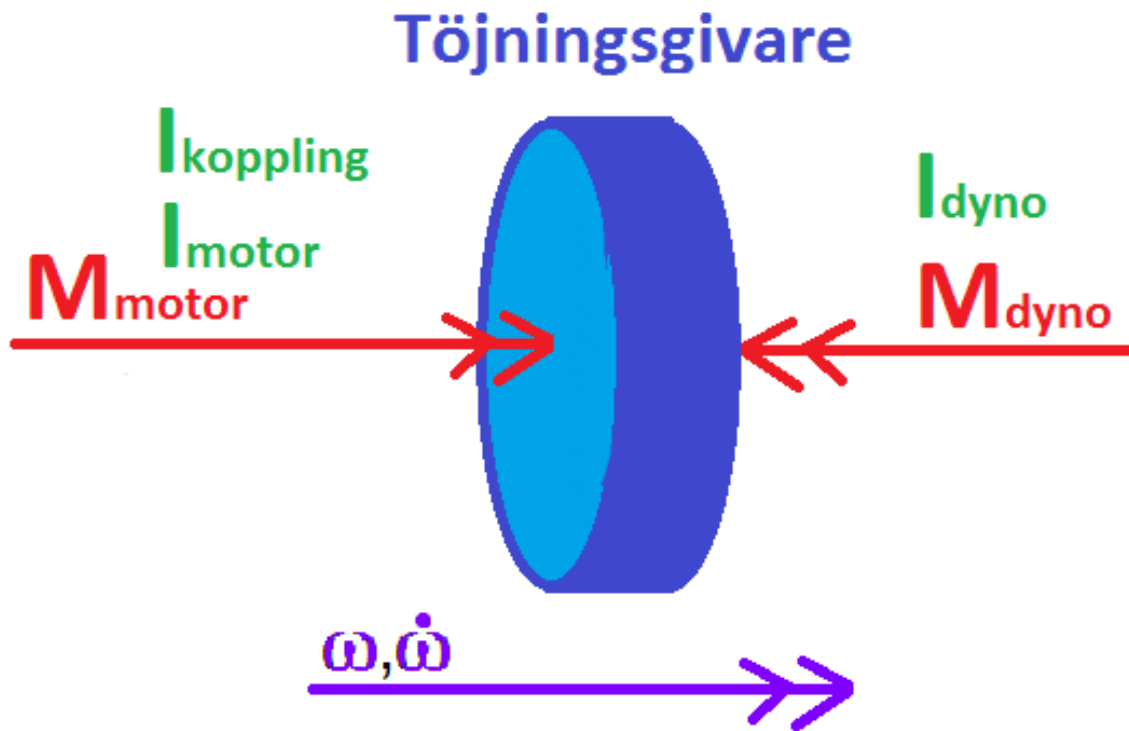
4.2 Det modellerade testobjektet

Det modellerade testobjektet är som tidigare nämnt den oftast drivande enheten i den modellerade testtriggen. Testobjektet, som i detta projekt är en modell över en förbränningsmotor, bör påpekas är en ganska ideal modell. I verkligheten varierar en förbränningsmotors producerade moment mycket över två motorvarv. Detta eftersom varje gång en tändning sker under motorvarvet så kommer den resulterande kraften skapa en momentspik i motorns producerade moment vid samma tidpunkt. Denna momentspik är i förhållandevis stor i jämförelse med motorns medelvarvtal.

När förbränningsmotorn är igång resulterar det i många tändningar sett över tid. Detta gör att motorns producerade moment kan ses som ganska ojämnt och ”brusande”. I bilaga 2 presenteras detta fenomen. Det ”brusande” fenomenet i det producerade momentet hos det modellerade testobjektet är därmed utelämnat. Det ideala tillståndet hos motormodellen hade även skapat problem om dynamometermodellen hade varit mer ideal. Svårigheter hade därmed skapats för att kunna verifiera dynamometermodellen exakt.

4.3 Den modellerade motorprovsdynamometern

I figur 3, sidan 7, kunde en överskådlig illustration av testtriggen ses. Om testtriggen skulle översättas till en mer matematisk illustration resulterar detta i vad som ses i figur 29. Detta i förhållande till testtriggens tøjningsgivare i momentgivaren som presenterades i avsnitt 2.3.4 I figur 29 har även masströgheterna lagts in för att lättare kunna förstå den modellerade motorprovsdynamometern. Notera att masströgheterna lagts in på vardera sidan om tøjningsgivaren som de även är i en verklig testtrigg.



Figur 29, förenklad illustration av testtriggen relaterat till dess momentgivar i form av fysikaliska storheter

Enligt Newtons andra lag så är kraft definierad enligt:

$$\text{Kraft} = \text{Massa} \cdot \text{Acceleration} \quad (1)$$

Detta innebär att

$$\text{Acceleration} = \frac{\text{Kraft}}{\text{Massa}} \quad (2)$$

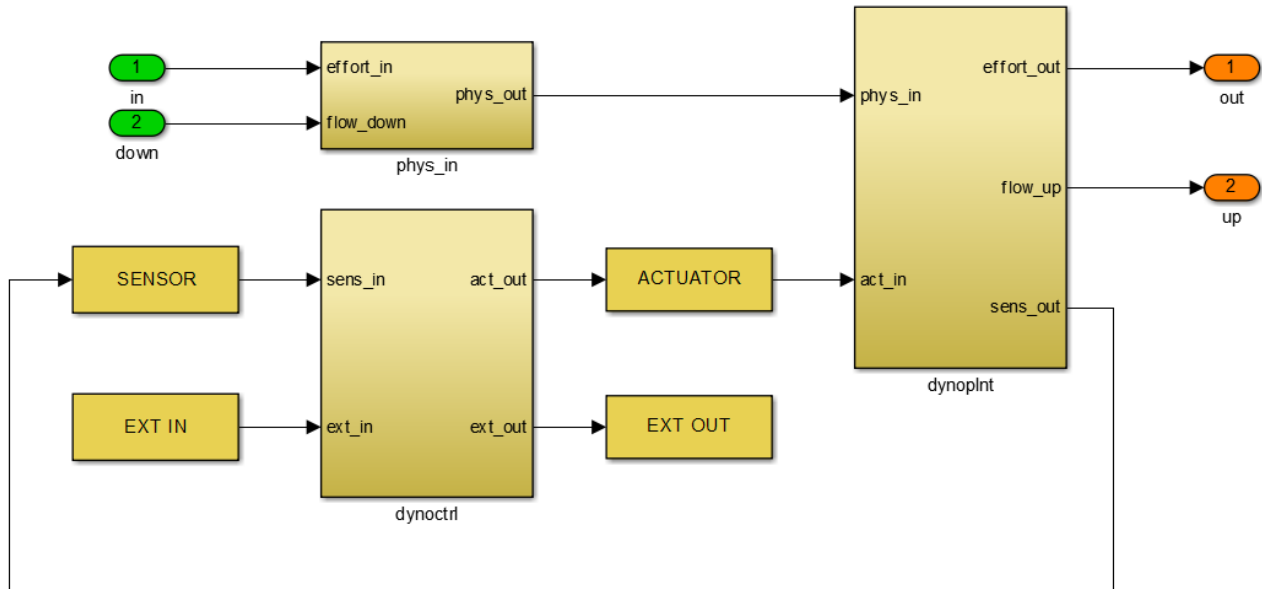
I testtriggen genererar förbränningsmotorn och motorprovsdynamometern var sin kraft i form av ett vridmoment. I varje komponent finns även roterande massor som genererar masströgheter. På samma sätt finns motsvarigheten för rotation enligt:

$$\text{Vinkelacceleration} = \frac{\text{Vridmoment}}{\text{Masströghet}} \quad (3)$$

$$M_{Motor} \neq M_{Dyno} \quad (4)$$

När samband 4 ovan gäller kommer detta ge upphov till en vinkelacceleration enligt samband 3 då masströgheterna är konstanta i testtriggssystemet. Genom detta kan därmed varvtalet i testtriggen genom att öka eller minska vridmomentet från dynamometern.

Efter erhållen förståelse av sambandet mellan moment och vinkelacceleration i testtriggen kan den modellerade motorprovodynamometers uppbyggnad förklaras. Modellen är uppbyggd i olika delsystem i syfte att skapa en tydlig struktur. Figur 30 visar den modellerade motorprovodynamometern ett steg ner från topp-vyn, ”dyno_comtest”-blocket, som syntes i figur 26, sidan 24.



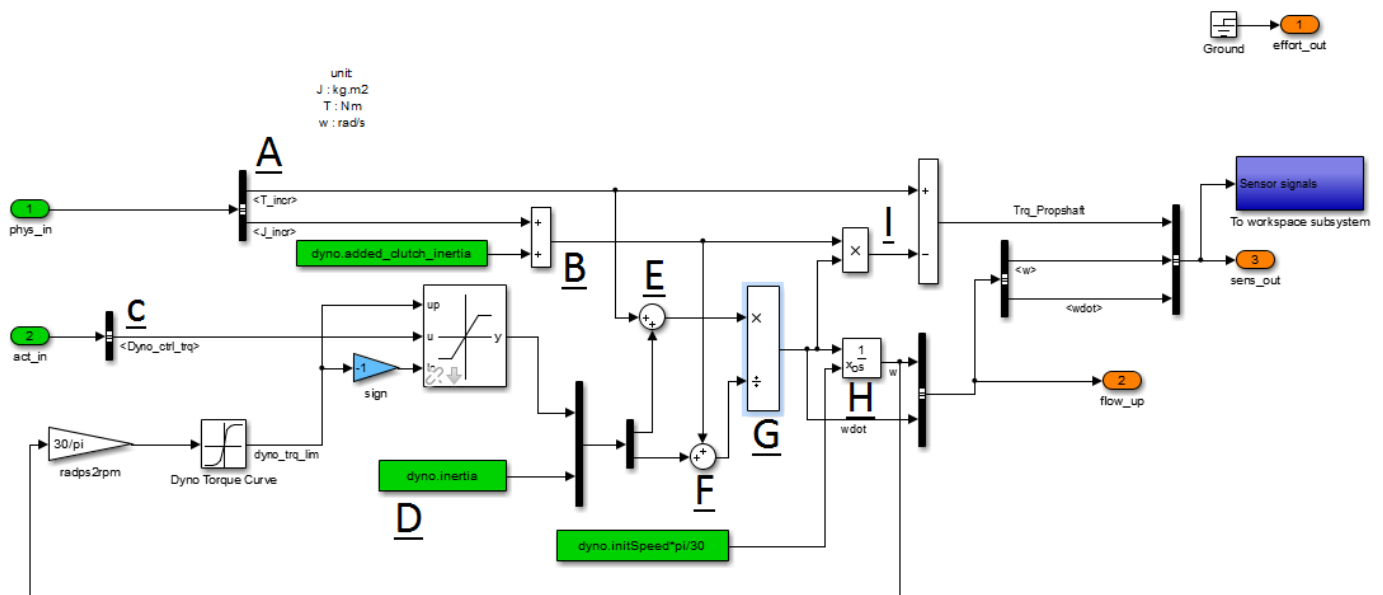
Figur 30, den modellerade motorprovodynamometern ett steg ner från topp-vyn

Momentet och masströgheten från motormodellen kommer in från vänster, ”in” och ”down”, och färdas genom blocket ”phys_in” oförändrade och vidare till blocket ”dynoplnt”. Blocket ”phys_in” kan användas som omvandlingsblock vid behov. Blocket ”dynoplnt” kan betraktas som den mekaniska biten av motorprovodynamometern. I blocket möts motormodellens och motorprovodynamometers vridmoment för att användas till beräkning av vridmoment i ”virtuella” kardan samt dess varvtal.

Från blocket ”dynoplnt” erhålls parametrarna ”effort out”, ”flow_up” och ”sens_out”. Parametern ”effort_out” är momentet och masströgheten ut från motorprovodynamometern. Detta kan användas om motorprovodynamometern vore den drivande delen i systemet, som exempelvis tillämpas i transmissionstesttriggar hos Volvo. I detta projektarbete är parametern ”effort_out”jordad och kan betraktas som noll.

Parametern ”flow_up” är det resulterande varvtalet av att motormodellen och dynamometermodellens moment möts. Det är detta varvtal som återkopplas till motormodellen. ”Sens_out” är varvtal, vinkelacceleration och det uppmätta moment som går till ”SENSOR”. Blocket ”SENSOR” omvandlar varvtalet från rad/s till varv/minut och förmedlar dessa sedan direkt till blocket ”dynoctrl”. Blocket ”dynoctrl” består av bland annat av PI-regulatorn för dynamometermodellens varvtalsreglering. Blocket använder ärvärden från SENSOR och får relevanta börvärden från ”EXT IN” via en ”from”-tag som presenterades i avsnitt 4.1.

Om innehållet i blocket ”dynoplnt” i figur 30 studeras beskådas vad som ses i figur 31. Denna del av den modellerade motorprovodynamometern behöver studeras för att förstå sig på modellens mekaniska aspekter.



Figur 31, de mekaniska beräkningsdelarna i den modellerade motorprovodynamometern

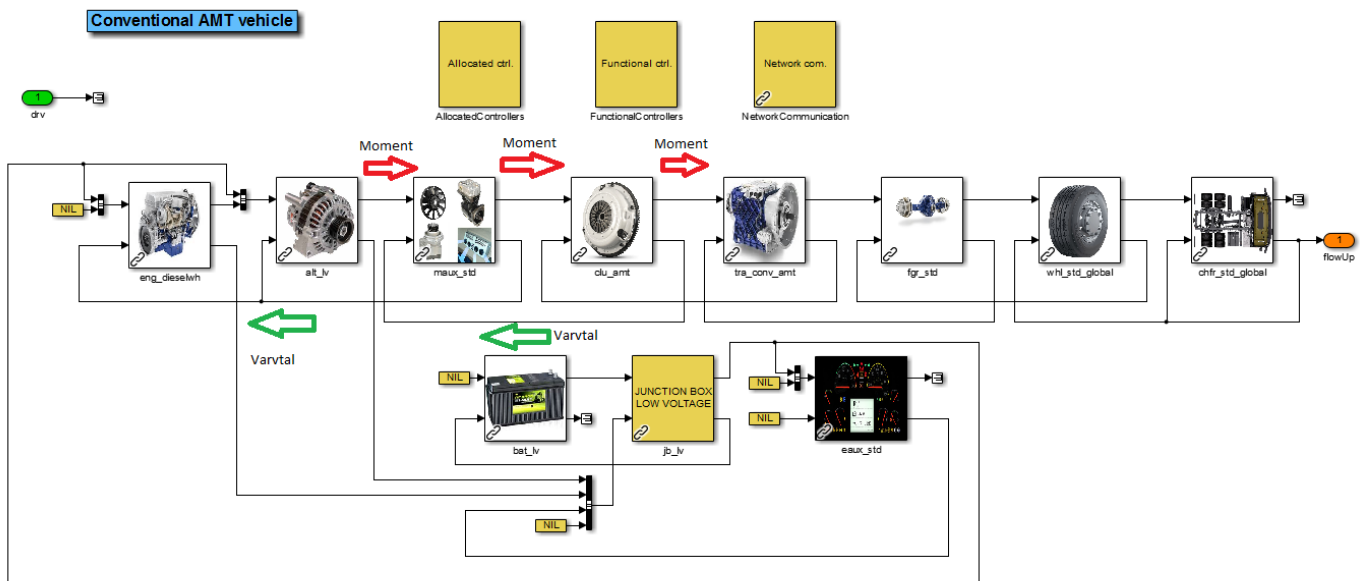
Följande lista beskriver de utplacerade markeringarna i figur 31:

- Motormodellens vridmoment och masströghet kommer in.
- Motormodellens masströghet adderas med en teoretisk kopplings masströghet. Kopplingen är komponenten mellan testobjekt och motorprovodynamometer.
- Dynamometers styrande vridmoment kommer in.
- Dynamometers masströghet införs.
- Motorns och dynamometers vridmoment summeras. Då dessa oftast är motriktade varandra så resulterar detta i en differens.
- Hela systemets masströgheter adderas.
- Denna simulink-komponent är en produkt/divisionsblock. Detta innebär att signalen från E divideras med signalen från F. Enligt ekvation 3, sidan 27, leder detta till att vi får vinkelacceleration i kardan
- Genom integration av vinkelaccelerationen från G en gång så fås vinkelhastigheten hos systemet.
- Multiplikation av vinkelacceleration och masströgheterna ger vridmomentet för de masströgheter som finns i motormodellen. Genom att subtrahera dessa från vridmomentet från motormodellen fås det vridmomentet som uppstår i kardan mellan motormodell och dynamometermodellen. Det är detta vridmoment som momentgivaren uppmäter i den verkliga testriggen.

Signalerna från H och I hämtas via en ”tag” så de kan utläsas i grafer och användas i andra platser i testriggsmodellen.

4.4 Den modellerade testcellen tillsammans med vagnsmodellen

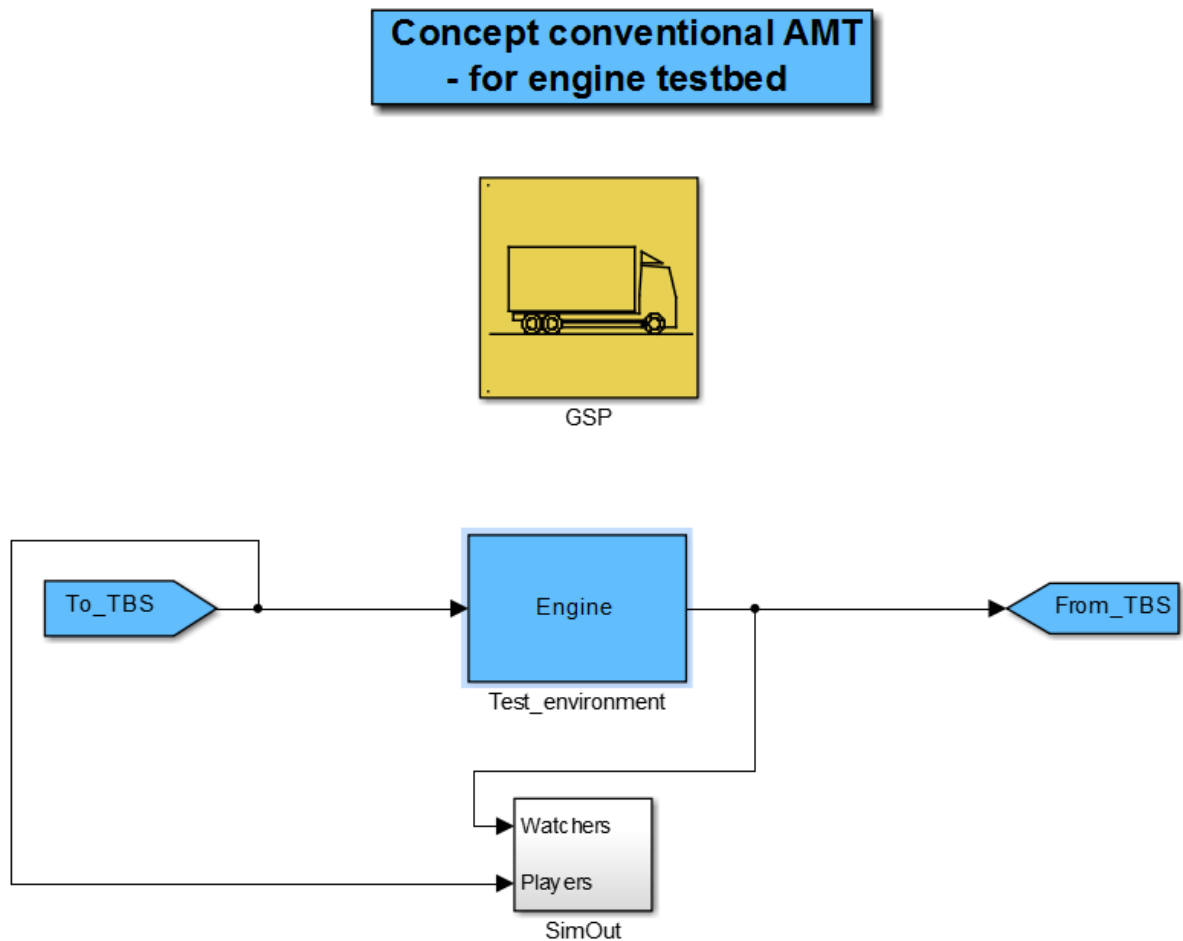
I vagnsmodellen som Volvo arbetar med så skickas moment och masströgheter framåt i systemet mellan de olika komponenterna. Figur 32 visar topp-vyn av vagnsmodellen där de olika signalvägarna syns. I modellen fungerar sådant att varje komponent skickar ett moment samt dess egen masströghet framåt i systemet. Nästkommande komponent svarar efter ett par interna beräkningar med ett återkopplat varvtal. Ett användningsområde för vagnsmodellen är att sammankoppla den med den modellerade motorprovodynamometern. På så vis kan den indirekt ”producera” summan av alla de olika momenten och därmed simulera det kompletta systemet av moment samt trögheter. Genom att sammankoppla vagnsmodellen med den modellerade testcellen kan ett slags modellerat tillstånd av hardware in the loop uppnås.



Figur 32, vagnsmodellen med utritade storheter

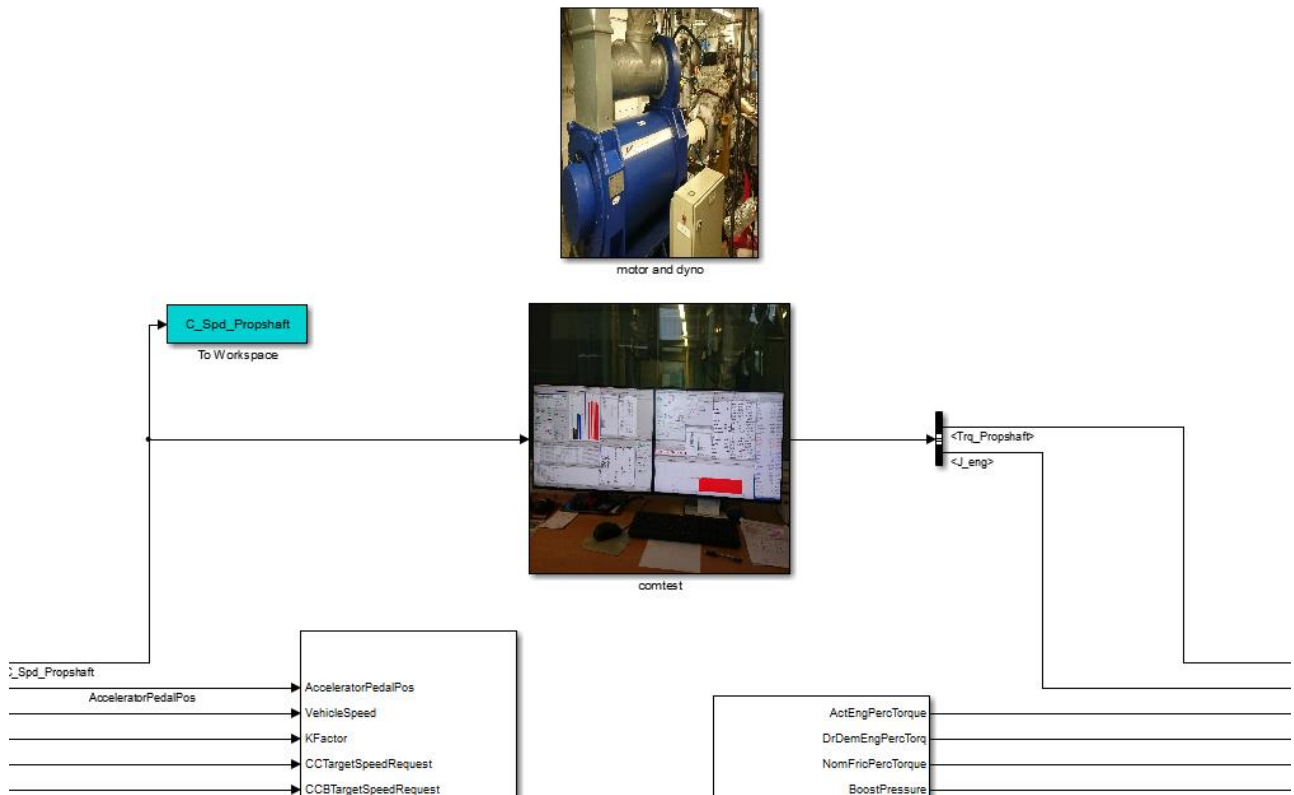
Genom att låta den verkliga förbränningsmotorns moment, som mäts upp i en testrigg, gå igenom de olika efterföljande komponenterna kommer de att svara med ett återkopplande varvtal. Varvtalet som beräknas av modellen används sedan som bör-värde till motorprovodynamometers varvtalsstyrning. Detta resulterar i att det riktiga testobjektet kommer utsättas för påfrestningar på ett sådant sätt som om förbränningsmotorn hade varit monterad i en verklig lastbil.

I figur 33 kan, förutom hela paketet av den modellerade testcellen tillsammans med vagnsmodellen, ett GSP-block studeras. GSP-blocket innehåller vagnsmodellen som sågs i figur 32 och ett "Test_environment"-block som innehåller testcellsmodellen från avsnitt 4.1. "TBS"-taggarna är kommunikationen mellan "Test_environment" och GSP-blocket. Till "Test_environment" kommer beräkningar av börvärde på varvtalet av dynamometermodelle. Ut från "Test_environment" kommer momentet från den "virtuella" momentgivaren.



Figur 33, toppvy av modellen med vagnsmodell och testcellsmodell

Figur 34 visar innehållet i "Test_environment"-blocket som sågs i figur 33. Hit kommer de beräknade signalerna från vagnsmodellen. De flesta av dessa signaler går till styrning av motormodellen. Den viktigaste signalen i detta sammanhang är bör-värdet på varvtalet för dynamometermodellen. Detta bör-värde går via blocket "ComTest" innan det skickas till dynamometermodellen via tags. Vad som sedermera kommer ut från "ComTest"-blocket är det uppmätta momentet i kardan. Till skillnad från uppsättningen som ses i denna modellerade miljö så kommer kommunikation att ske från ComTest till den verkliga testtriggen vid körning av hardware-in-the-loop.



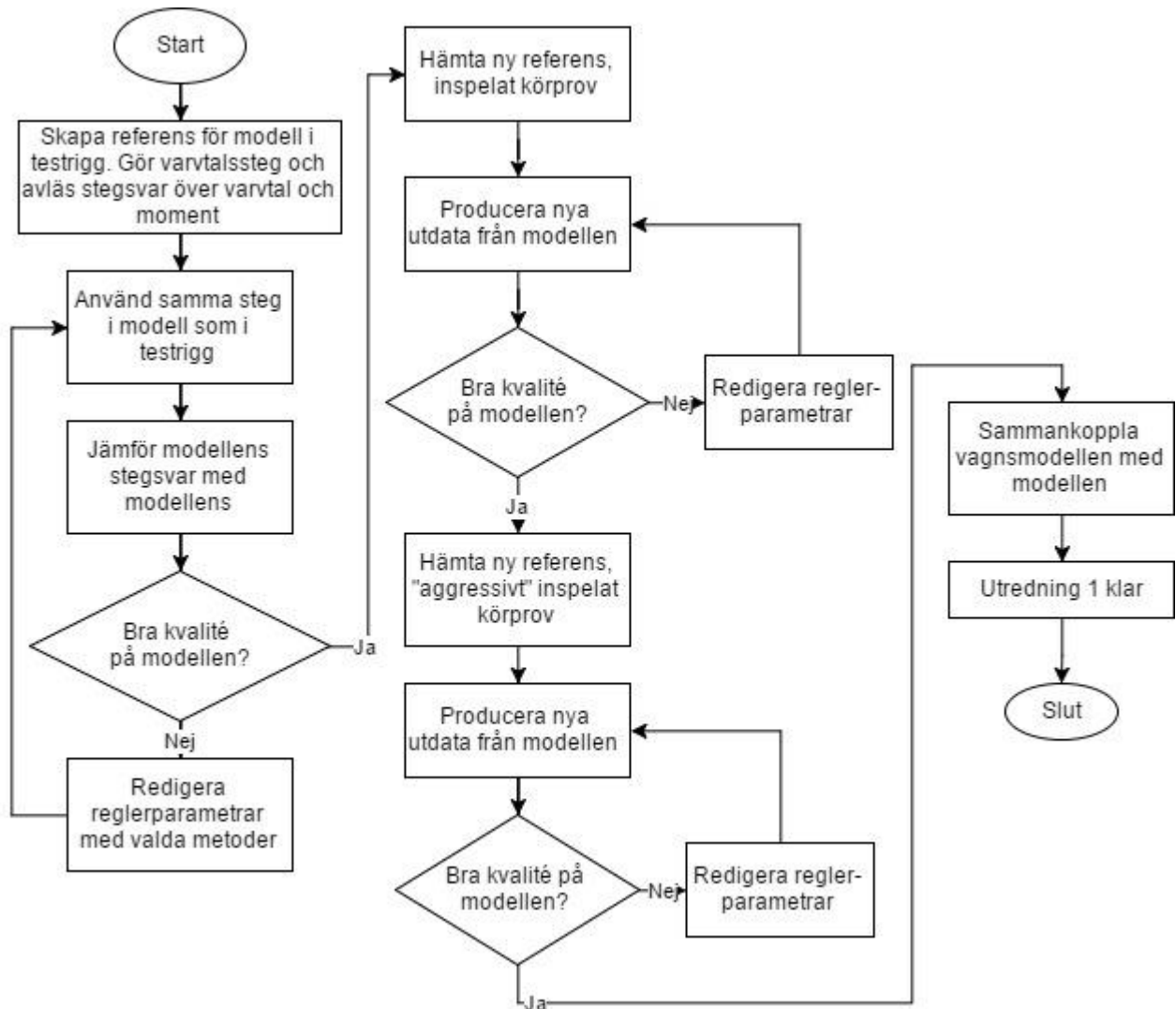
Figur 34, modellen en nivå ner i testcellsmodellen.

5 Genomförande

Detta avsnitt presenterar genomförandet av de två utredningarna i projektarbetet. I båda delavsnitten presenteras återigen utredningarnas respektive flödesscheman. Detta för att skapa en tydlig översikt i genomförandearbetet som kopplas direkt till respektive flödesscheman.

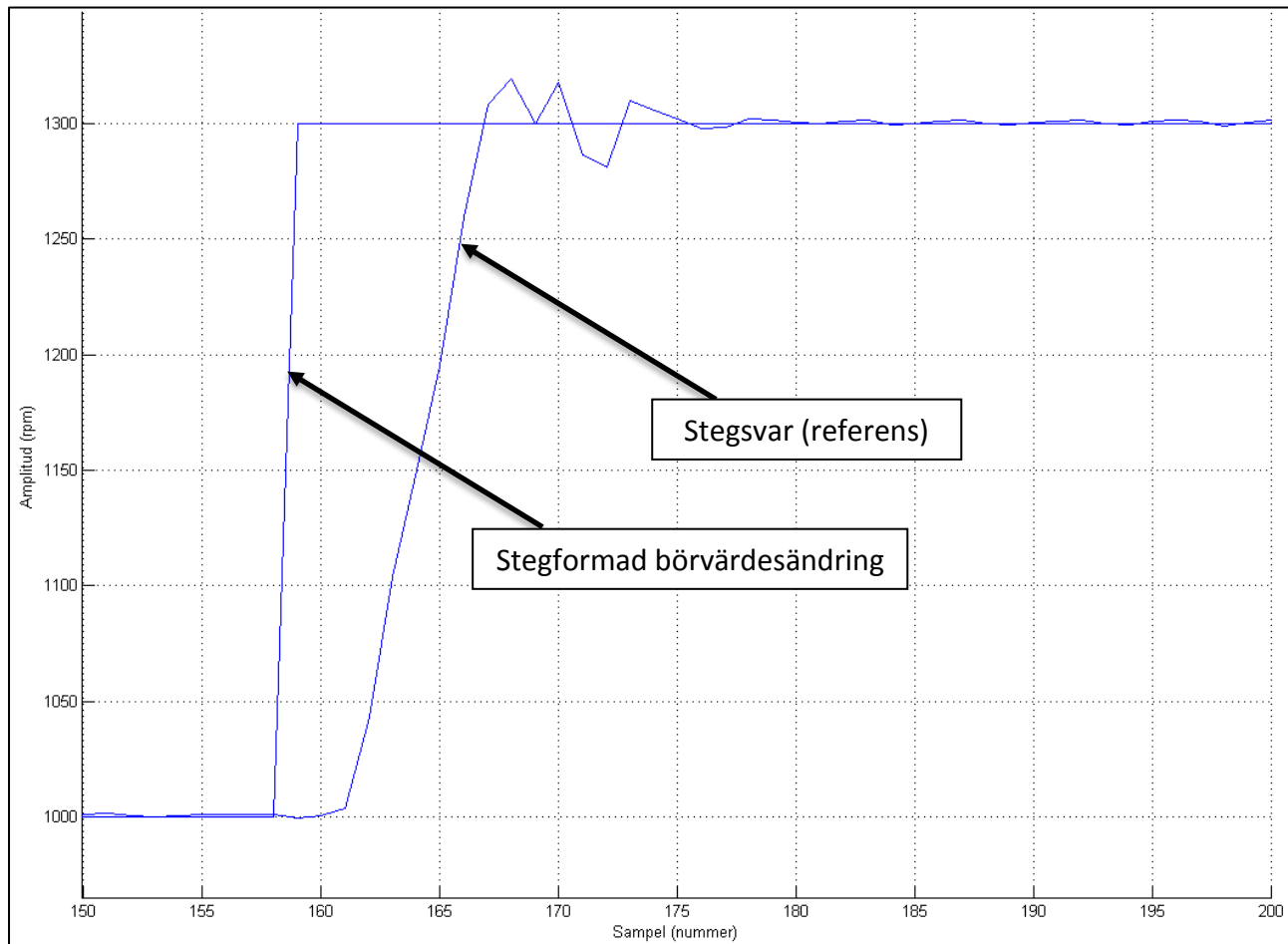
5.1 Genomförande av utredning 1

Figur 35 visar flödesschemat för arbetsmetodiken som använts i utredning 1.



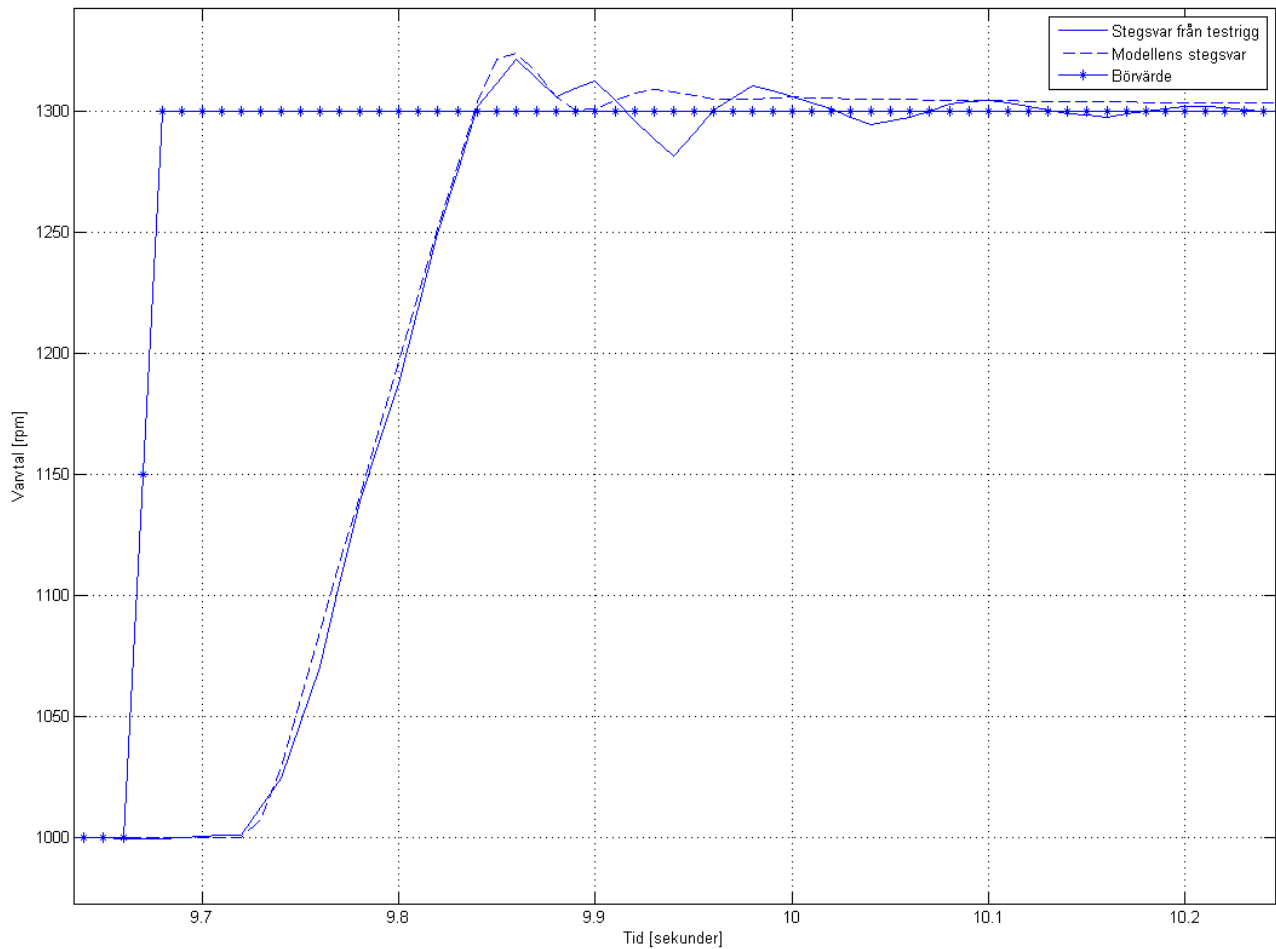
Figur 35, flödesschema för arbetsmetodiken i utredning 1

Den initiala referensen som har skapats i en testrigg ses i figur 36. I figuren ses att en stegformad börvärdesändring på 300 rpm har gjorts på motorprovodynamometerns varvtal och sedermera har testtriggen genererat ett stegsvar. Det är detta stegsvar som vidare kommer benämnas ”referensen”. Testcellen FP64 med tillhörande testrigg användes som plats att skapa referensen. Att stegets storlek är 300 rpm har ingen annan motivering än att Volvo ansåg det som lämpligt. Förbränningsmotorn som användes i testcellen låstes vid ett konstant gaspådrag, cirka 40 %. Detta gjordes för att ”isolera” motorprovodynamometern från så många olika påverkande faktorer som möjligt. I och med denna del av genomförandet gavs en uppfattning av testtriggens snabbhet och stabilitet i testcellen FP64. Det mätdata som ses i figur 36 är hämtat från ComTest, vilket betyder att det är samplat i 50Hz.



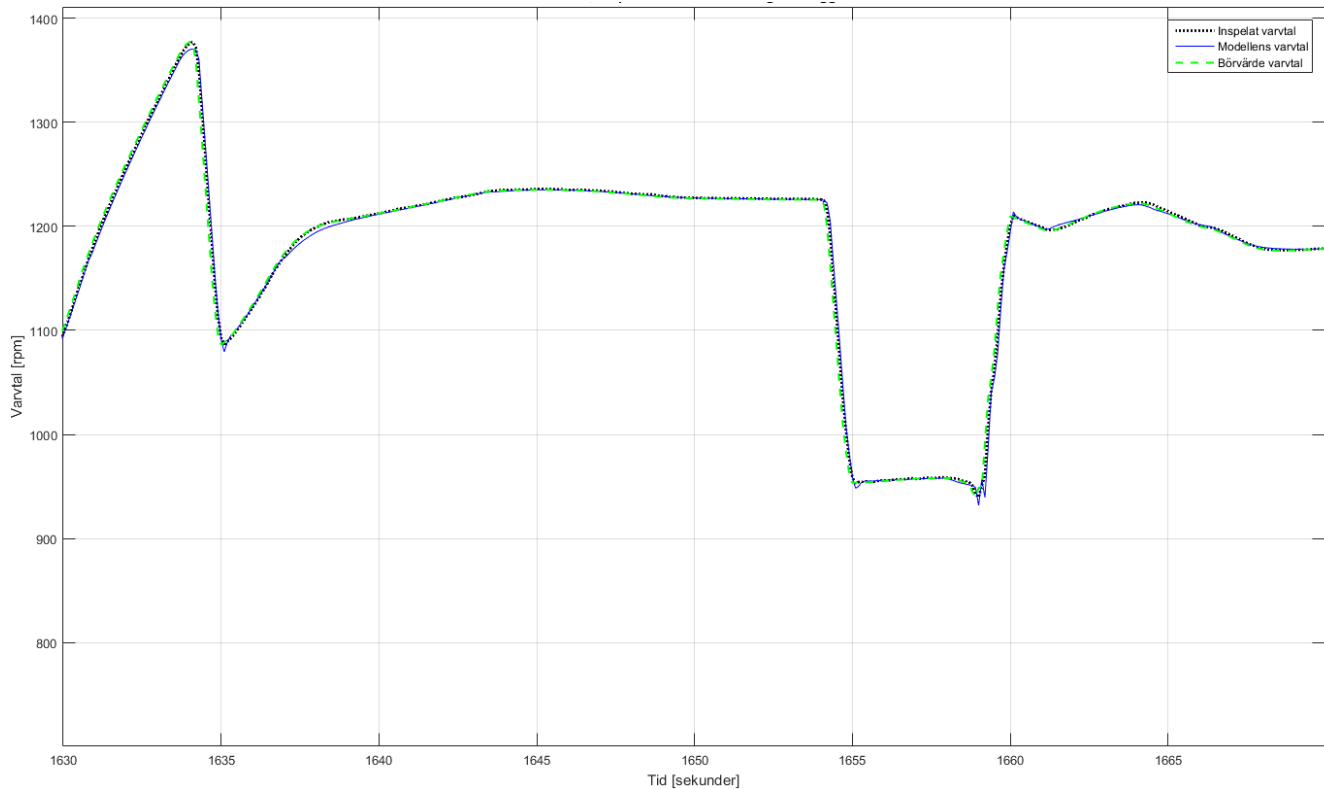
Figur 36, den initiala referensen, stegsvar av testtriggen i FP64 vid stegformad börvärdesändring av motorprovodynamometerns varvtal.

Genom erhållandet av referensen kunde analysen av den modellerade motorprovodynamometern inledas. I figur 37 ses referensen tillsammans med den modellerade motorprovodynamometers ursprungliga approximation. Med hjälp av grafen som presenteras i figur 37 kunde den modellerade motorprovodynamometers ursprungliga kvalitet avgöras. Detta genom att grafiskt analysera hur väl den approximerar testtriggens varvtalsstegsvar.



Figur 37, den initiala referensen tillsammans med den modellerade testtriggens approximation

Figur 38 visar ett urklipp av testtriggens producerade utdata med ett ”aggressivt” inspelat körprov som referens. Enligt metoden för utredning 1 som presenterades under avsnitt 3.1.1 har även ett vanligt inspelat körprov använts som referens. I detta avsnitt presenteras endast modellens approximation vid användning av ett aggressivt körprov som referens. Detta då denna approximation anses som mest intressant eftersom det är möjligt att studera modellens kvalitet vid hastiga bör-värdeändringar. Grafen ger en bild av modellens kvalitet innan utredningsarbetets start.

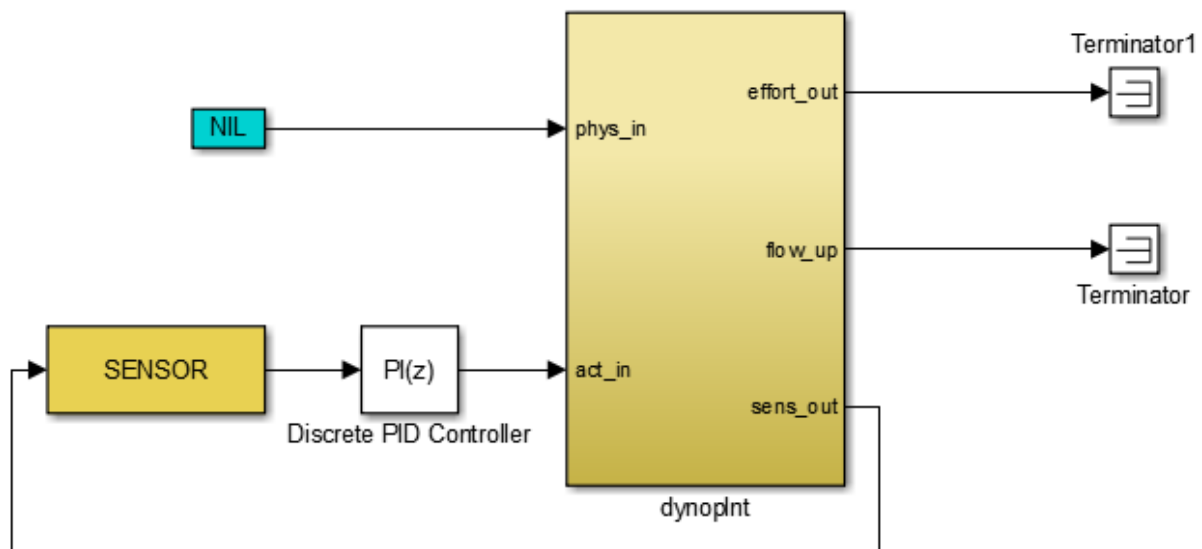


Figur 38, urklipp av modellens approximation av testtriggen med de ursprungliga PI-parametrarna. $P=100$, $I=200$.

Följande två avsnitt beskriver hur alternativa PI-parametrar togs fram. Dessa parametrar är centrala i utredningen om eventuell styrningsförbättring hos den modellerade motorprovodynamometern för utökad modellkvalité hos testtriggensmodellen. PI-parametrarna för varvtalsregulatorn i den modellerade motorprovodynamometern har valts att riktas in på av en anledning. Denna är då dessa har störst inverkan på den modellerade testtriggens varvtalsstegsvar.

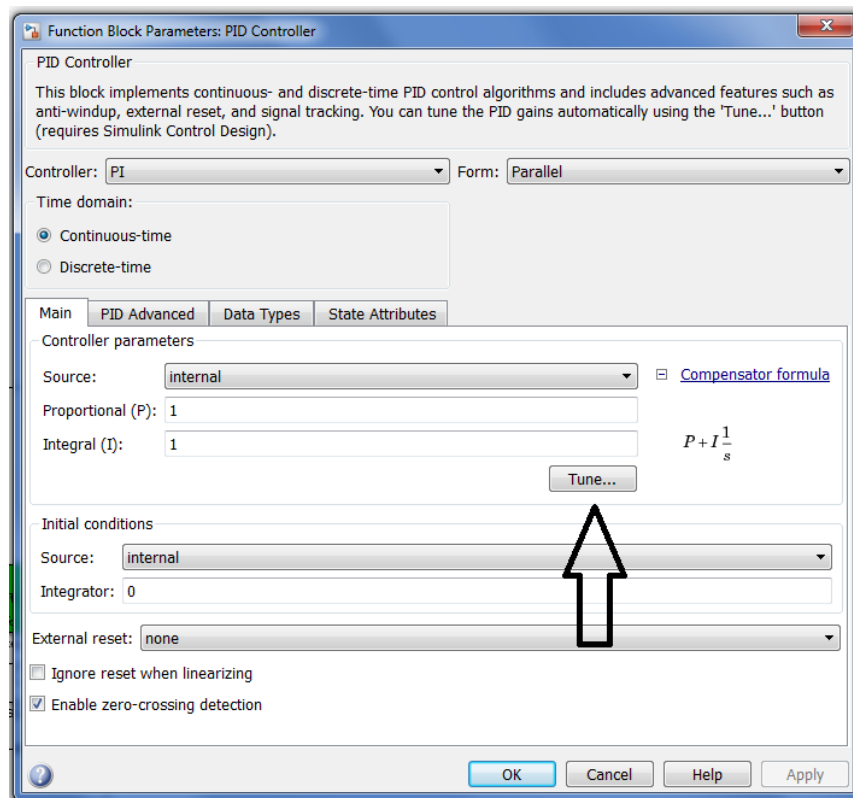
5.1.1 PI-tuning i MatLab

Denna metod utfördes genom att initialt frilägga en kopia av den modellerade motorprovodynamometern, se figur 39.'



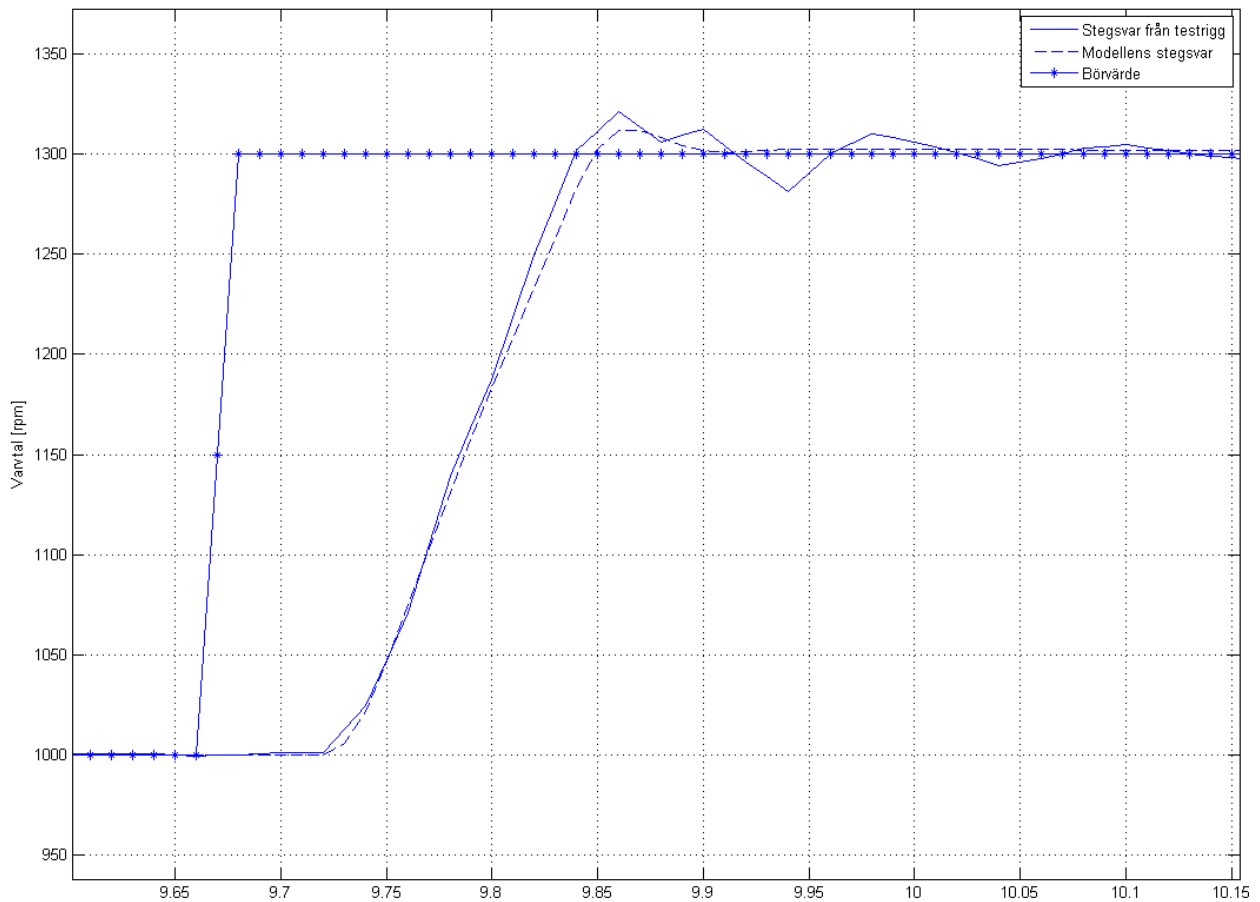
Figur 39, frilagd del av dynamometermodellen

Modellblocket försågs sedan med ett varvtalssteg och varvtalsstegsvaret ställdes in manuellt med hjälp av funktionen "tune". Proceduren för detta visas i figur 40.



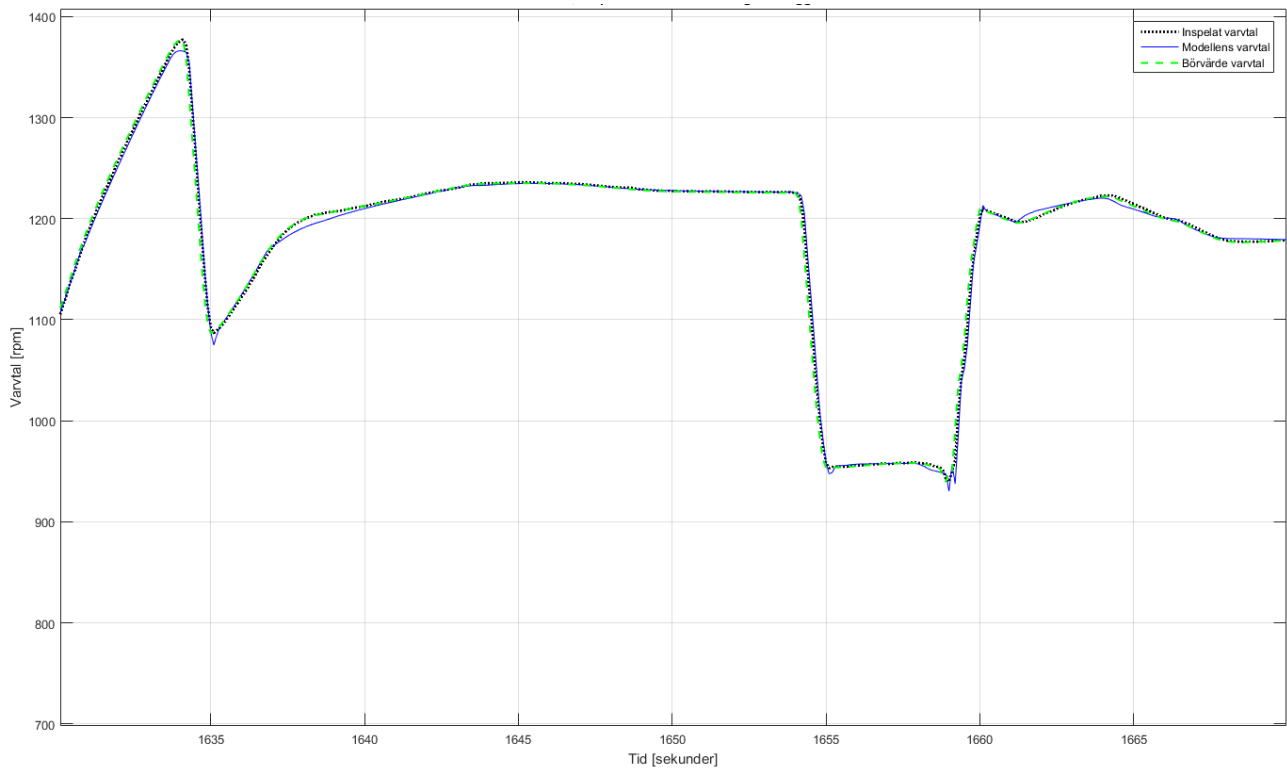
Figur 40, Simulinks egna funktion för dimensionering av PI-regulatorn.

När en tillräckligt bra approximation av stegsvaret framtagits kunde motsvarande PI-parametrar erhållas. De PI-parametrar som erhöles användes i varvtalsregulatorn för den modellerade motorprovsdynamometern. Efter insättning av framtagna PI-parametrar bedömdes modellens kvalité och proceduren upprepades om nya parametrar behövde tas fram. Figur 41 visar de slutgiltiga PI-parametrarna tillsammans med referensen från den verkliga testtriggen.



Figur 41, den initiala referensen tillsammans med den modellerade testtriggens stegsvar med parametrar $P=74$, $I=74$.

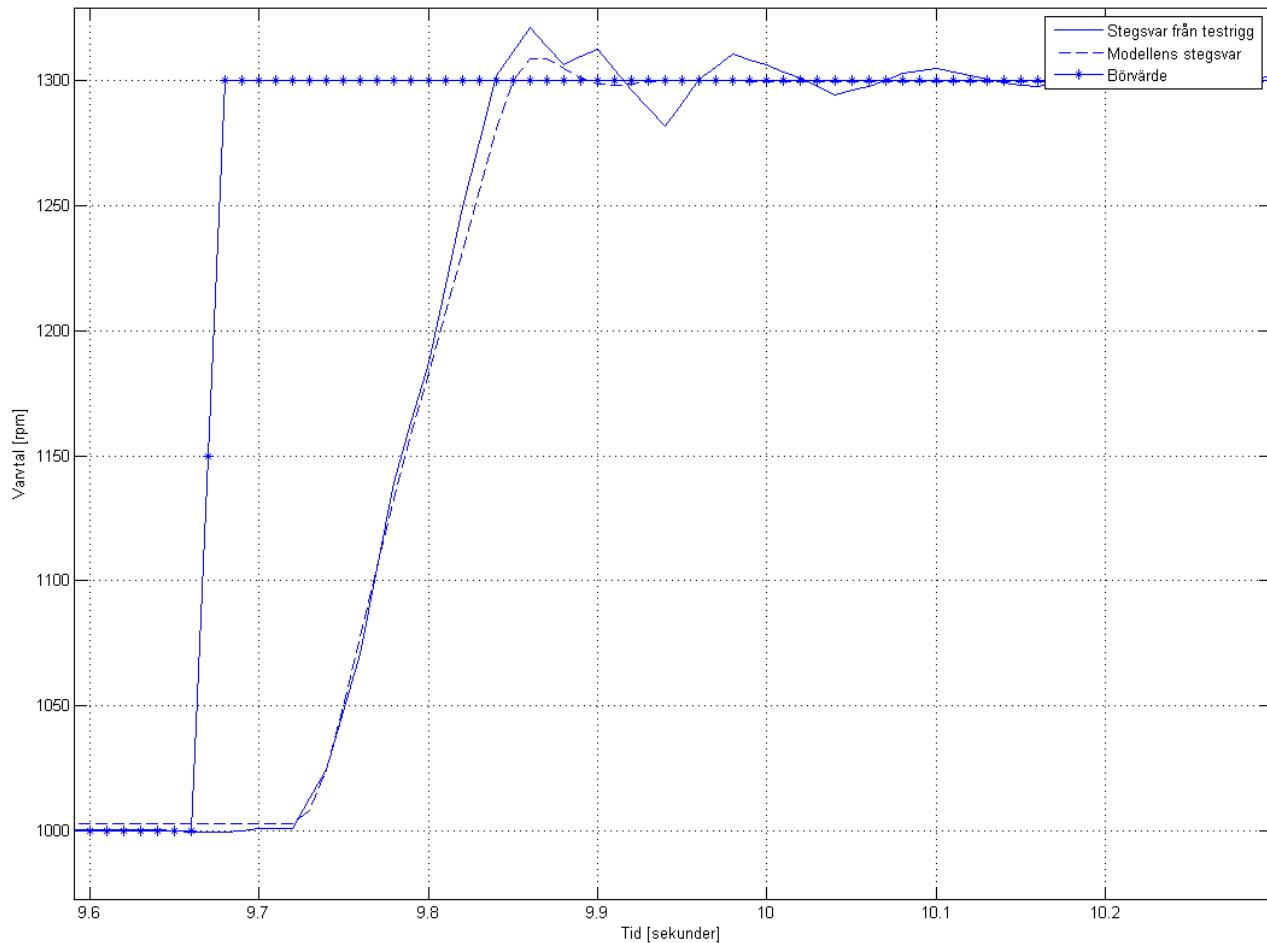
Figur 42 visar den modellerade testtriggens producerade utdata med de framtagna PI-parametrarna. Hela körschemat visas inte, utan det som ses är endast ett urklipp. Det producerade utdata är en approximation av ett *aggressivt* körprov som referens.



Figur 42, testtriggmodellens approximation med ett aggressivt körprov som referens. $P=74$ och $I=74$.

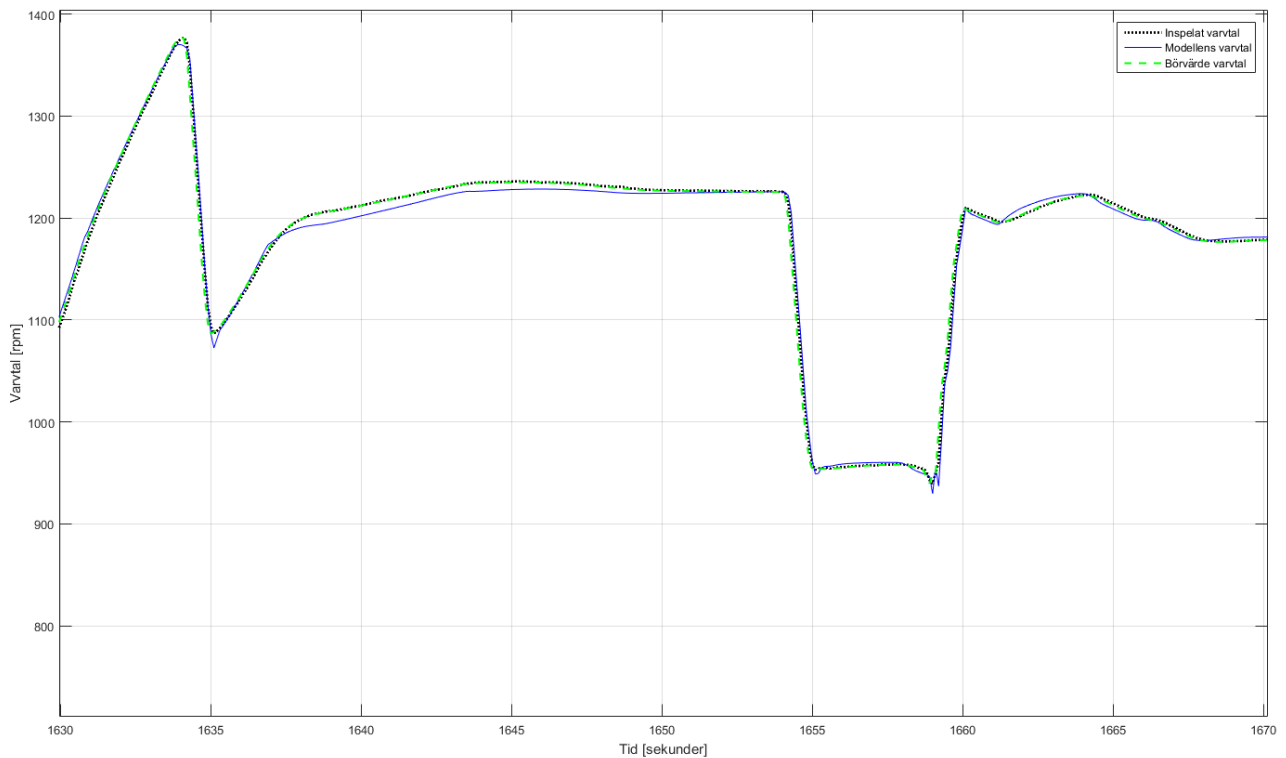
5.1.2 Ziegler-Nichols metod

Arbetsmetodiken som använts vid genomförandet av denna tumregelmetod finns att studera under referens [3]. Figur 43 visar modellens approximation av testtriggens stegsvar vid användning av de framtagna PI-parametrarna.



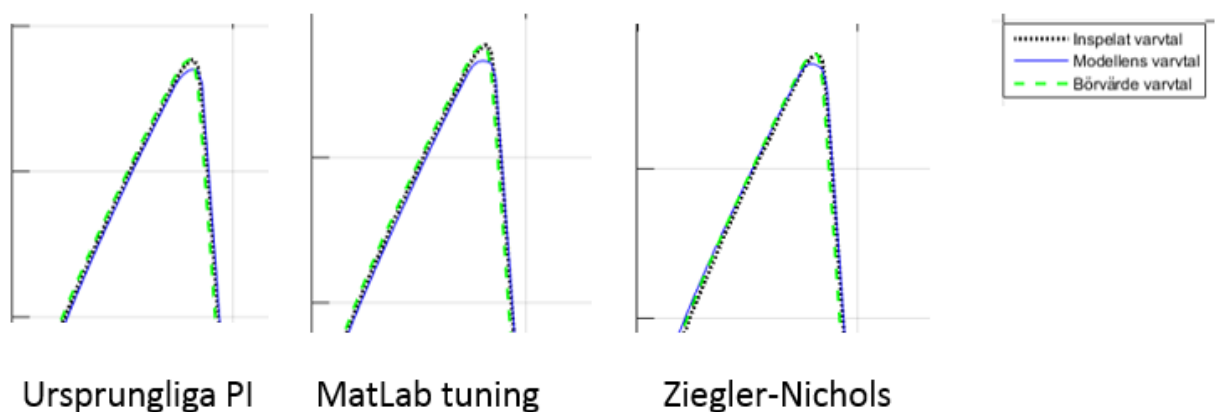
Figur 43, den initiala referensen tillsammans med den modellerade testtriggens stegsvar med parametrar $P=74$, $I=8$

Figur 44 visar ett urklipp av den modellerade testtriggens producerade utdata med de framtagna PI-parametrarna. Den visar producerad utdata med aggressivt körprov som referens. Samtliga grafer över testtriggensmodellens approximationer av testtriggens stegsvar samt utdata finns i en sammanfattande version i bilaga 1. Bilaga 1 kan studeras för en mer överskådlig bild av modellens olika approximationer med de olika PI-parametrarna.

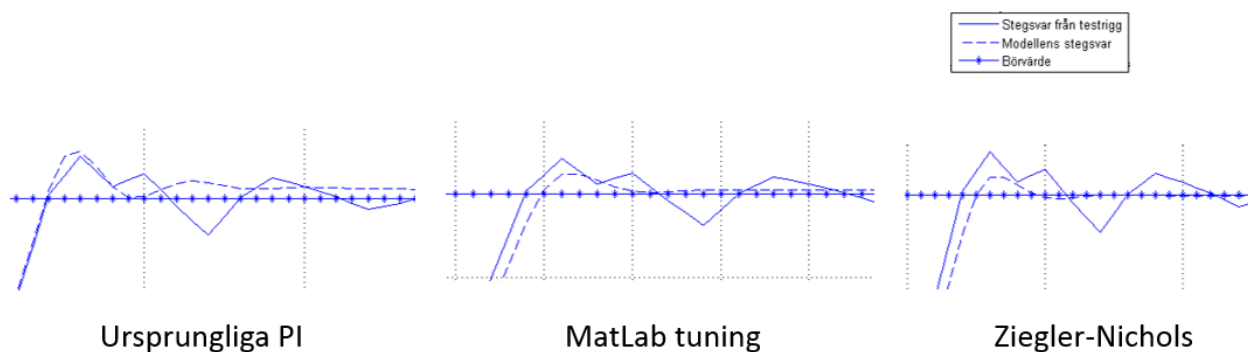


Figur 44, testtriggensmodellens approximation med ett aggressivt körprov som referens. $P=74$ och $I=8$.

För att studera modellens kvalitet vid respektive PI-parametrar studerades exempelvis hur väl modellen kunde hantera skarpa ändringar. Ett urklipp med skarpa ändringar visas i figur 45. I Figur 46 visas hur kvalitén studerades vid jämförelse av modellens olika stegsvar.



Figur 45, urklipp av modellens approximation vid skarpa ändringar

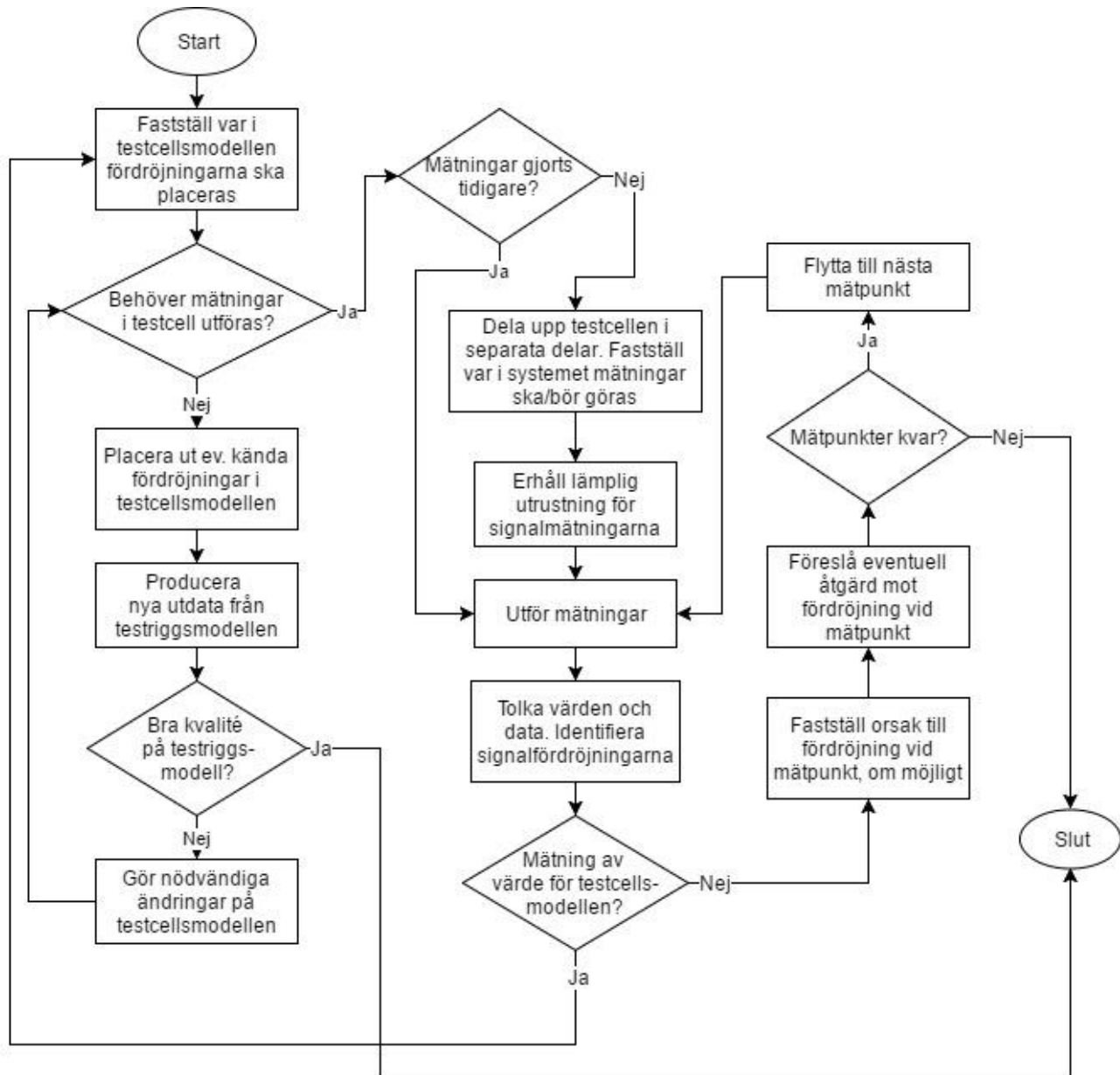


Figur 46, modellens respektive approximationer av testriggens stegsvar

I detta skede av utredningen kunde ett visuellt antagande göras att modellen med de ursprungliga PI-parametrarna skulle klassas som den bättre modellen. I och med att modellen följer testriggens stegsvar vid den första översvängen visuellt bättre än de andra två, se figur 46, beslutades detta i samråd med Volvo. Det är dock nämnvärt att skillnaderna mellan modellernas kvalité var mycket marginell.

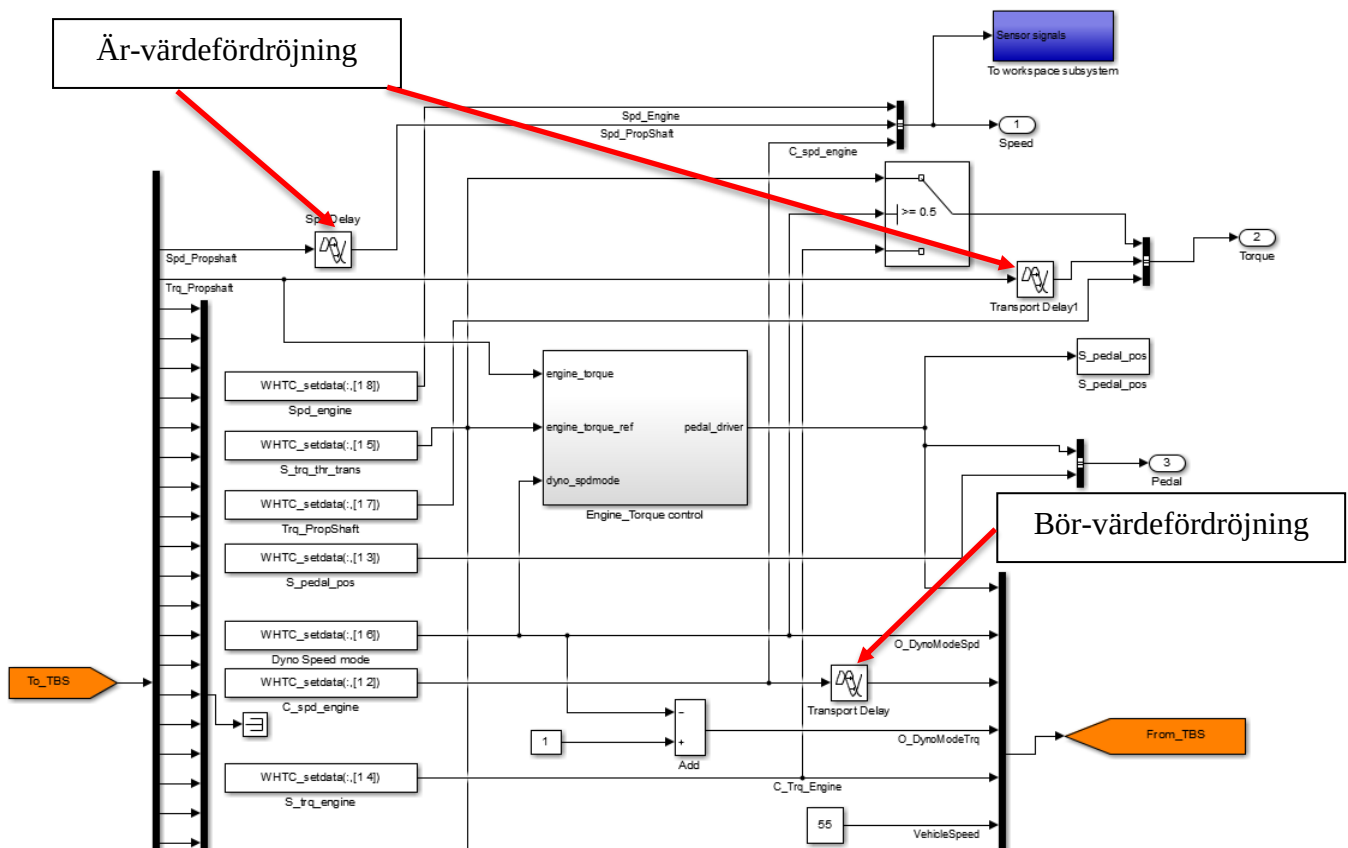
5.2 Genomförande av utredning 2

Figur 47 visar flödesschemat för arbetsmetodiken som använts i utredning 2.



Figur 47, flödesschema över arbetsmetodiken i utredning 2

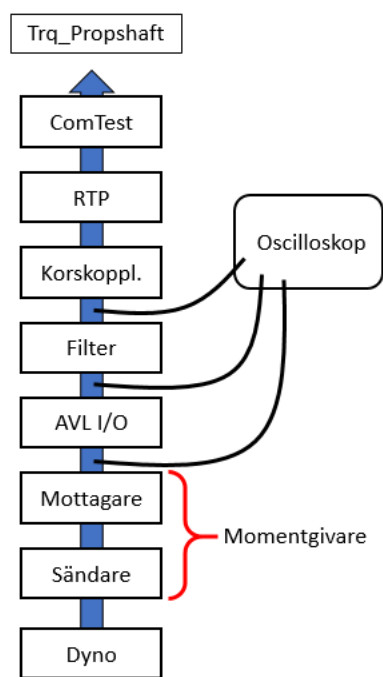
Volvos kännedom kring fördröjningarna i signalvägarna, som tidigare nämnts under avsnitt 2.4.1, ansågs tillräcklig för att kunna placera ut övergripande fördröjningsblock i testcellsmodellen. Vad som kännetecknar blocken som övergripande är att de betraktas som summeringar av fördröjningar för varje enskild signalväg i testcellssystemet. Figur 48 visar dessa block utplacerade i testcellsmodellen. Det ena blocket utgör totala fördröjningar för börvärdesändringar, det andra blocket för är-värdeändringar.



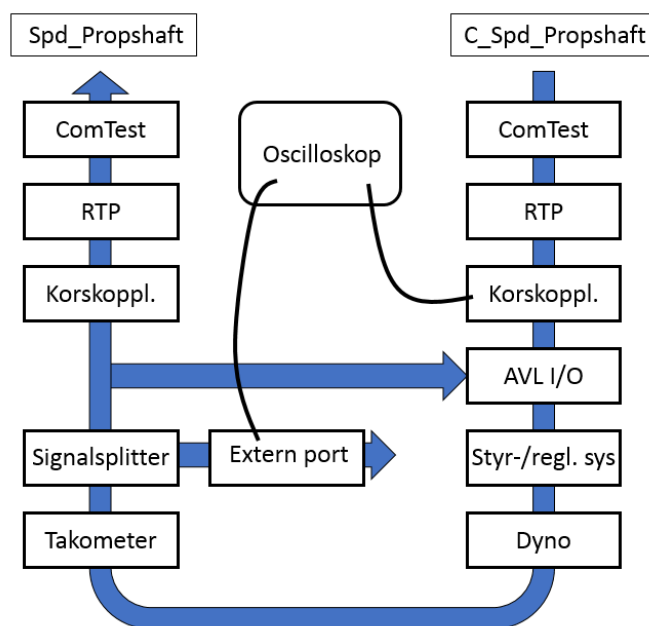
Figur 48, urklipp av testcellsmodell med utplacerade summerande fördröjningsblock

Genom att utföra mätningar i en verklig testcell kunde dessa summerande block sedan delas upp i separata delar. Detta för att motsvara varje separat del av fördröjningarna i varje komponent i det verkliga testcellssystemet. För att kunna utföra mätningar i en testcell behövde även testcellens system delas upp i separata delar. Till en början utfördes mätningar i testcellen FP64. Denna testcell innehåller en motorprovsdynamometer från tillverkaren AVL med tillhörande I/O-system. Mellan detta I/O-system och ComTest överförs signalerna mellan ett flertal komponenter, som ses i figur 49 och 50 nedan.

Anledningen till att denna testcell valdes som primär testcell för signalmätningarna var eftersom svängningsfenomenet hade observerats här. FP64 innehåller även ett äldre testcellssystem och Volvo ville få klarheter i om detta hade en direkt påverkan på signalfördröjningarna. Mätningar utfördes på är- och bör-värde för testtriggens varvtal, samt är-värdet för momentsignalen med hjälp av ett oscilloskop. Specifikt gjordes stegformade börvärdesändringar på motorprovsdynamometerens varvtal likt proceduren för att skapa testtriggsreferensen i utredning 1. Figur 49 illustrerar mellan vilka komponenter är-värdesignalen för testtriggens moment, Trq_Propshaft, mättes i FP64. Figur 50 illustrerar mellan vilka komponenter är- och bör-värdesignaler mättes för testtriggens varvtal, Spd_Propshaft respektive C_Spd_Propshaft.



Figur 49, illustration över mätning av testtriggens är-värdesignal för momentet



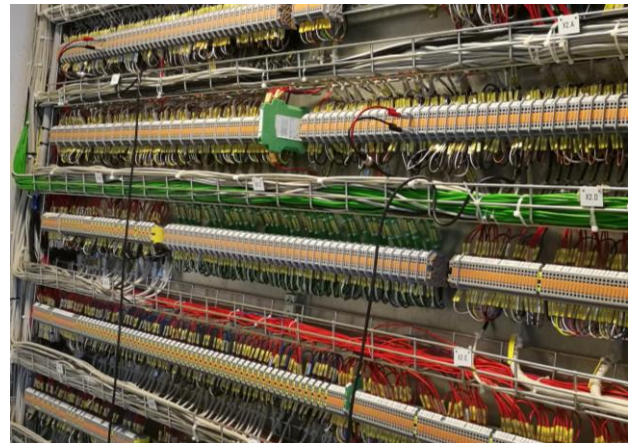
Figur 50, illustration över mätning av testtriggens är- och bör-värdesignal av varvtalet

Förutom att de "råa" signalerna mättes med hjälp av ett oscilloskop loggades även mätningarna i ComTest. På så vis kunde andelen fördröjningstid som skapas av ComTest samt RTP avgöras. Anledningen till att detta eftersträvades var då det med vald mätmetod inte är möjligt att mäta signalen mellan ComTest och enheten RTP. ComTest skickar signaler till RTP via TCP/IP. RTP-enheten gör om signalen från TCP/IP till en analog spänning. Att mäta TCP/IP signalen är inte möjligt med hjälp av ett oscilloskop i FP64. Mätningen som illustreras i figur 49 fastställde fördröjningarna orsakat av komponenterna mellan momentgivaren och RTP, alltså de analoga spänningarna. I figur 50 illustreras mätningen som fastställde fördröjningen mellan AVL I/O och den råa signalen från takometern.

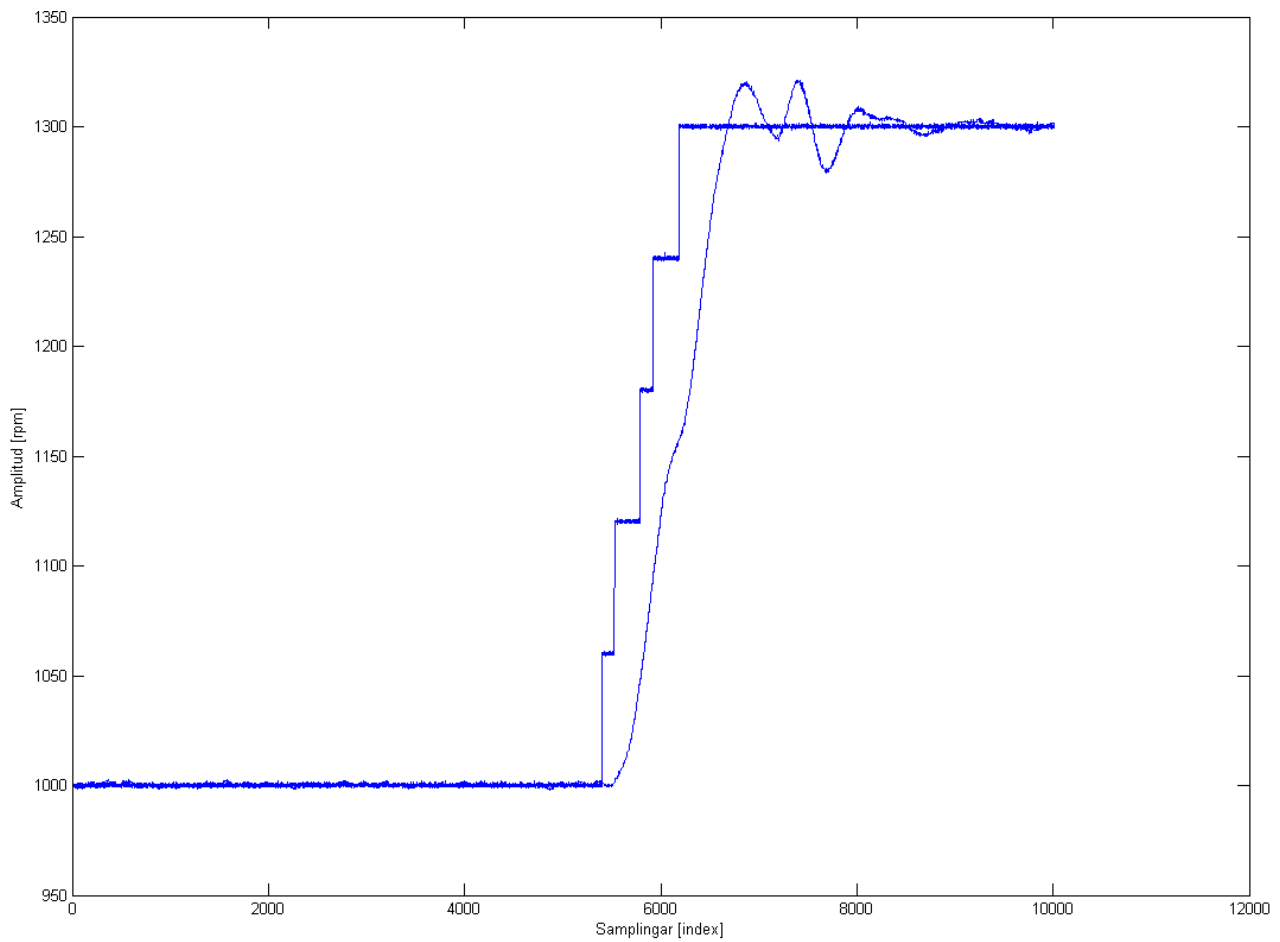
De specifika mätpunkterna i vardera av mätningarna valdes i samråd med Volvo. Detta för att erhålla ny information kring de olika komponenternas signalfördröjande påverkan. Mätningarna gjordes med hjälp av oscilloskopet Yokogawa 850DL med en samplingsfrekvens på 10kHz. Figur 51 visar uppmätta moment- och varvtalssignaler på oscilloskopet vid ett mättillfälle. Figur 52 visar korskopplingarna i testcellen FP64 med mätkablar från oscilloskopet inkopplat under samma mättillfälle.



Figur 51, bild av oscilloskopet under en mätning.



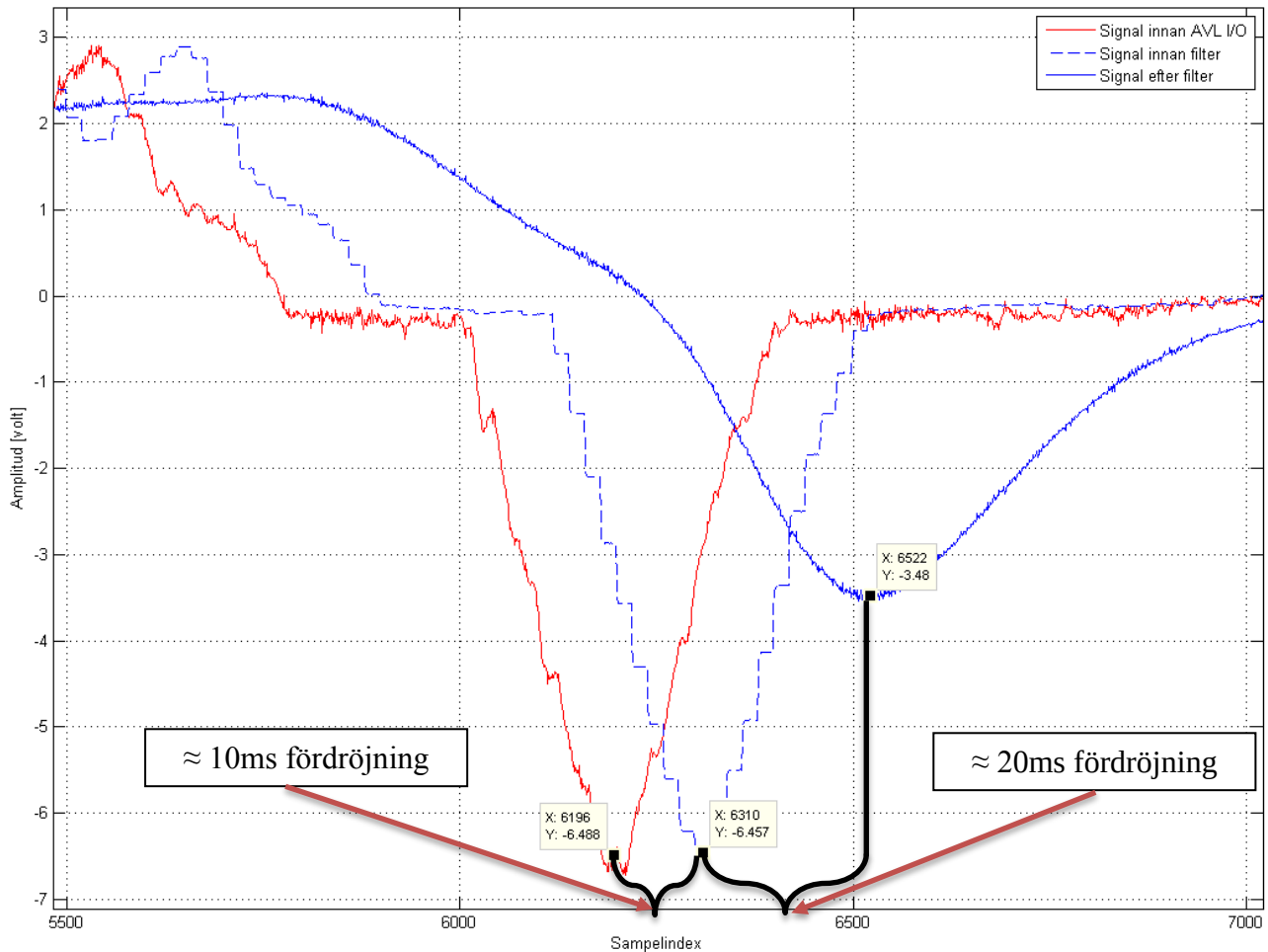
Figur 52, korskopplingarna som möjliggör mätning av signaler.



Figur 53, steg och stegsvar över varvtal hos motorprovodynamometern i FP64 uppmätt med Yokogawa-oscilloskop

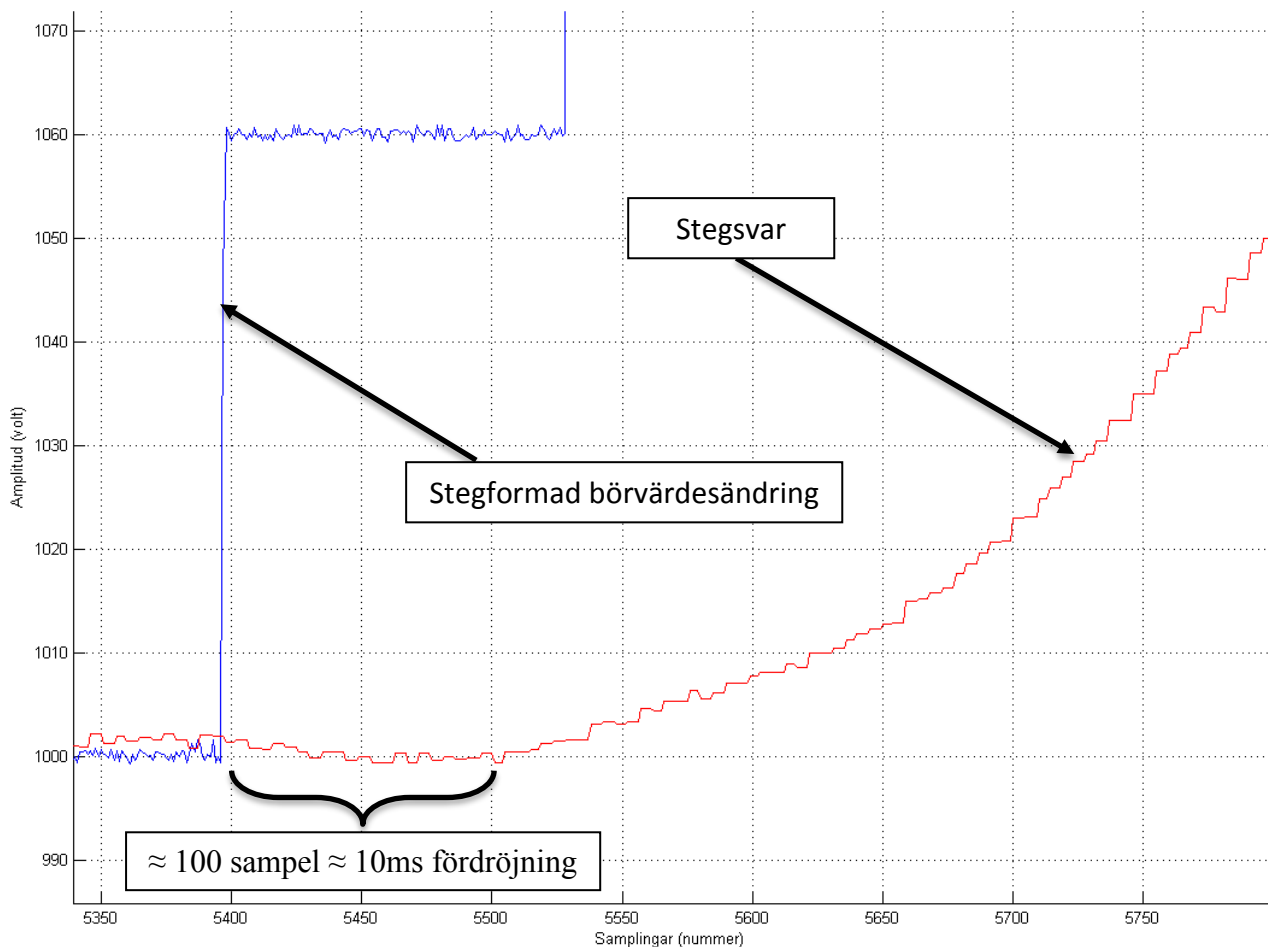
Med en samplingsfrekvens på 10kHz kunde mycket mer detaljerad information kring signalfördröjningarna erhållas än vad som tidigare endast var möjligt via ComTest. Figur 53 visar en stegformad börvärdeändring av motorprovodynamometers varvtal samt dess stegsvar som båda uppmätts med oscilloskopet.

Figur 54 visar momentkurvorna som uppmättes i mätningen som illustrerades i figur 49, sida 45. Färförskjutningen mellan de tre mätkurvorna tolkas som signalfördröjningarna orsakade av varje enskild komponent. Detta ansågs vara av särskilt värde för testcellsmodellen då detta ledde till att de ursprungliga summerande fördröjningsblocken nu kunde börja delas upp för varje komponent. Således kunde arbetet med att precisera signalfördröjningarna i testcellsmodellen inledas.



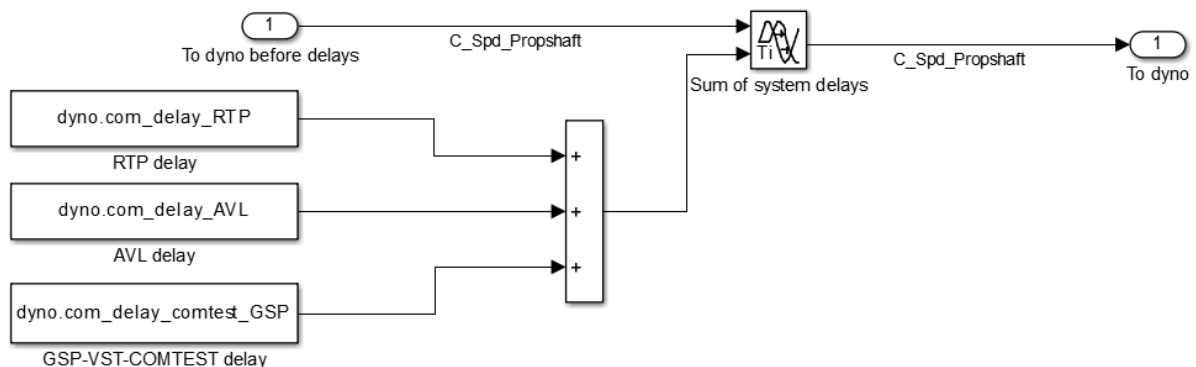
Figur 54, är-värdesignal för momentet i testtriggen i FP64 genom tre olika komponenter i testcellssystemet

Figur 55 visar den fördröjning som uppmättes i varvtalssignalen mellan AVL I/O och takometerns externa port. Mätningen illustreras i figur 50, sida 45. I figur 55 har fördröjningen markerats ut som existerar mellan dessa komponenter.

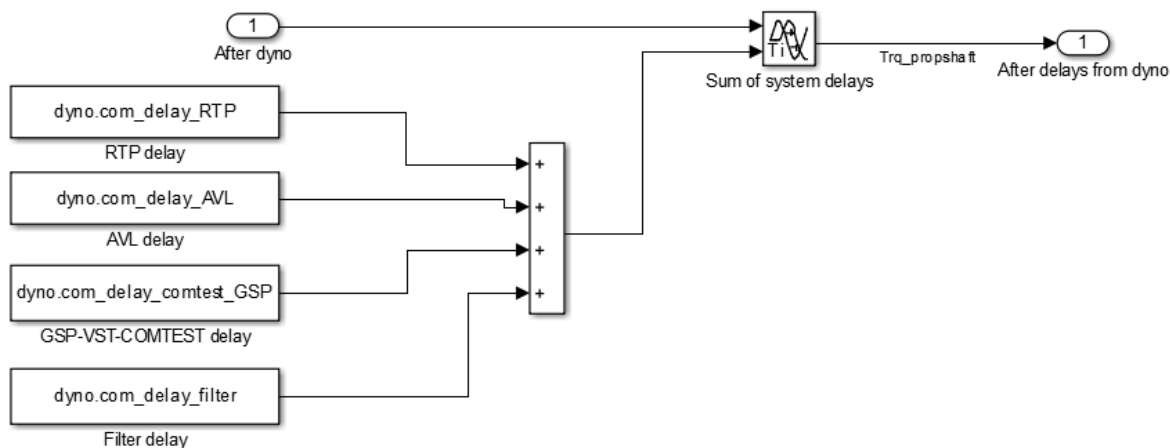


Figur 55, stegformad börvärdesändring samt stegsvar från testtriggen i FP64 uppmätt med oscilloskop

Efter genomförandet av dessa mätningar klargjordes det ytterligare hur de summerande fördröjningsblocken skulle delas upp i den modellerade testcellen. Se figur 56 för hur fördröjningarna implementerats i modellen till dynamometermodellen. Figur 57 visar de implementerade fördröjningarna i signalerna skickade från dynamometermodellen. Det är viktigt att komma ihåg att dessa fördröjningar gäller specifikt för de testceller som är lika FP64.



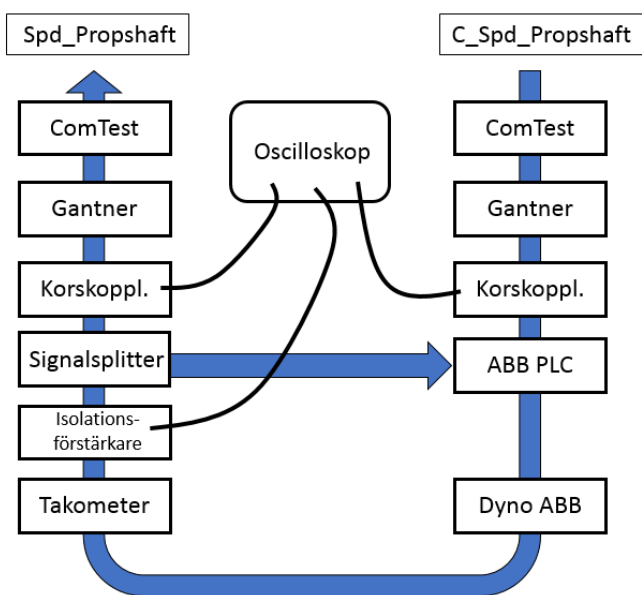
Figur 56, modell över uppdelade fördröjningen för varvtalsbörvärdet från ComTest till dynamometermodellen.



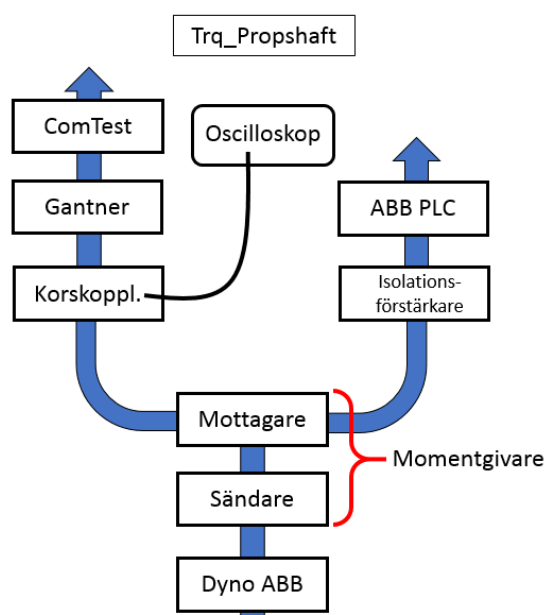
Figur 57, modell av fördröjningen av det uppmätta momentet från dynamometermodellen till ComTest.

När det gäller att fastställa orsak till signalfördröjningarna i de olika komponenterna som mätningar utförts kring så har komponenterna var för sig ytligt undersökts. Anledningen till att de endast ytligt undersökts är då det under mättillfällena framkom att de direkt mätbara komponenterna hade en mindre påverkan på signalfördröjningarna. Därmed ansågs det inte som nödvändigt att göra en djupare undersökning i varför det existerade signalfördröjning i aktuell komponent.

För att utesluta olika komponentkombinationers påverkan av signalfördröjningarna i testcellssystemet utfördes mätningar i testcellen FP68. Liksom i FP64 hade svängningsfenomenet även observerats i FP68. På grund av systemets annorlunda uppbyggnad ansåg Volvo vid det tillfället att momentsignalen inte behövde studeras. FP68 innehåller ett nyare testcellssystem med andra komponentkombinationer än det i FP64. Motorprovsdynamometern är från ABB. Komponenten för att översätta TCP/IP från ComTest till analoga signaler i korskopplingen är levererad av Gantner. Figur 58 illustrerar mätningen av bör- och är-värdet för varvtal i FP68. Figur 59 illustrerar mätningen av är-värdet för testtriggens moment.

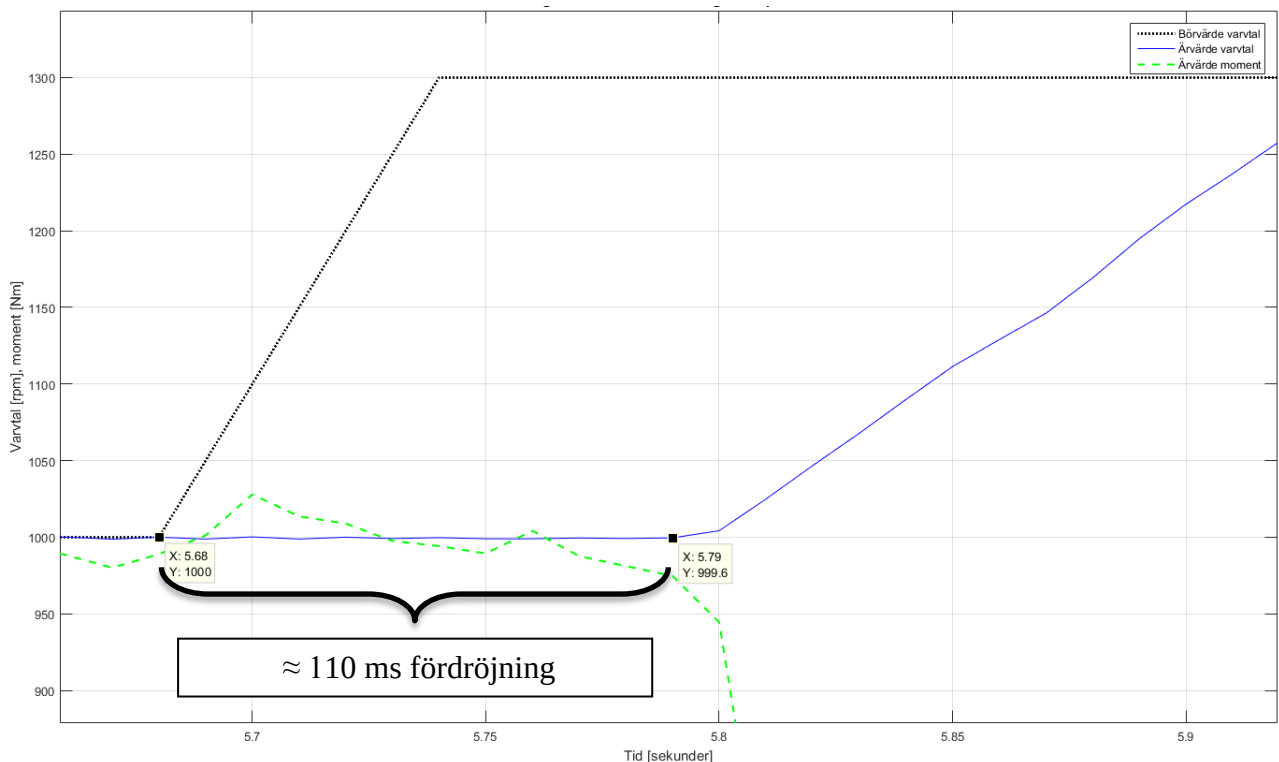


Figur 58, oscilloskopets placering vid mätning av varvtalet i FP68



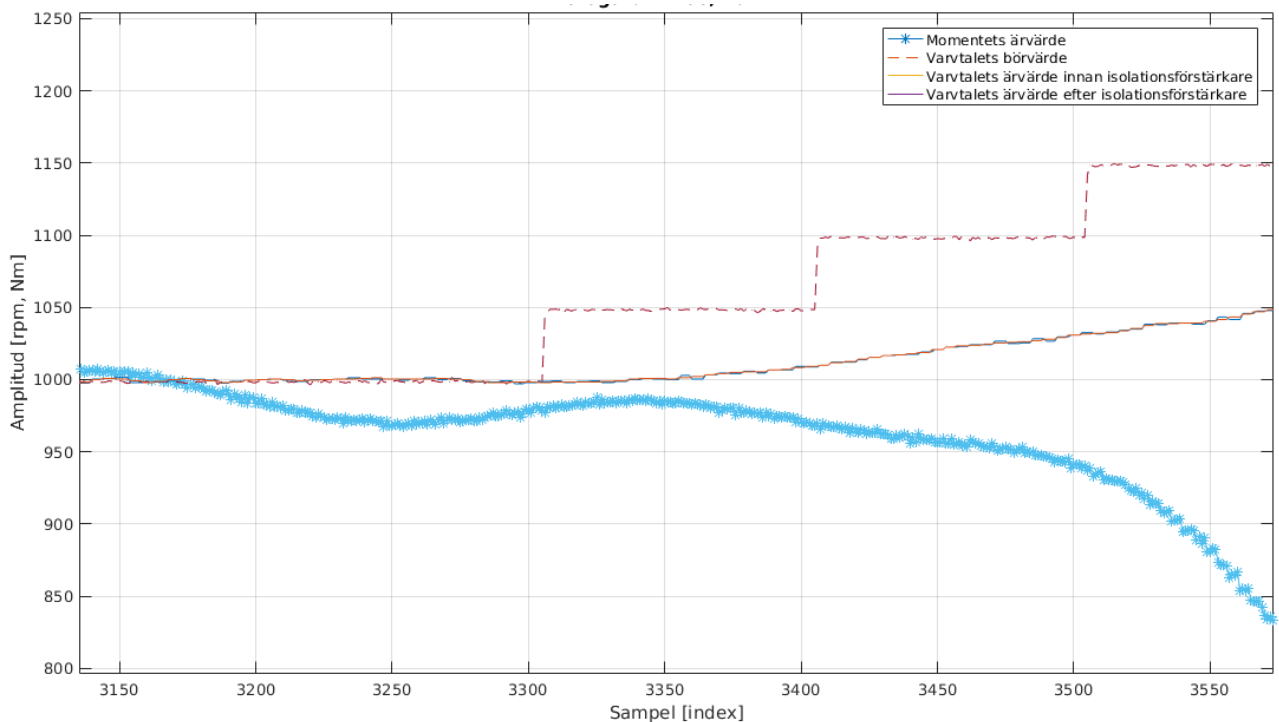
Figur 59, oscilloskopets placering vid mätning av testtriggens moment i FP68

Figur 60 visar signalfördröjningen mellan är- och bör-värde för motorprovodynamometern i FP68. Detta är uppmätt från ComTest och visar därmed den signalfördröjning som råder genom alla komponenter till och från motorprovodynamometern i testriggen via testcellssystemet.



Figur 60, graf över värden loggade i ComTest med synlig fördröjning i testcellssystemet

Figur 61 visar ett urklipp av samtliga signaler uppmätta med oscilloskopet i FP68.



Figur 61, urklipp av grafer över uppmätta signaler med oscilloskopet i FP68

Efter att mätningarna genomförts i FP68 kunde ytterligare värdefulla slutsatser dras kring vad ursprunget av signalfördröjningarna kunde vara. I FP68 kunde detta göras bland annat på grund av den annorlunda komponentkombinationen.

Graferna som ses i figurerna 53, 54, 55, 60, och 61 har ritats upp i MatLab.

6 Resultat

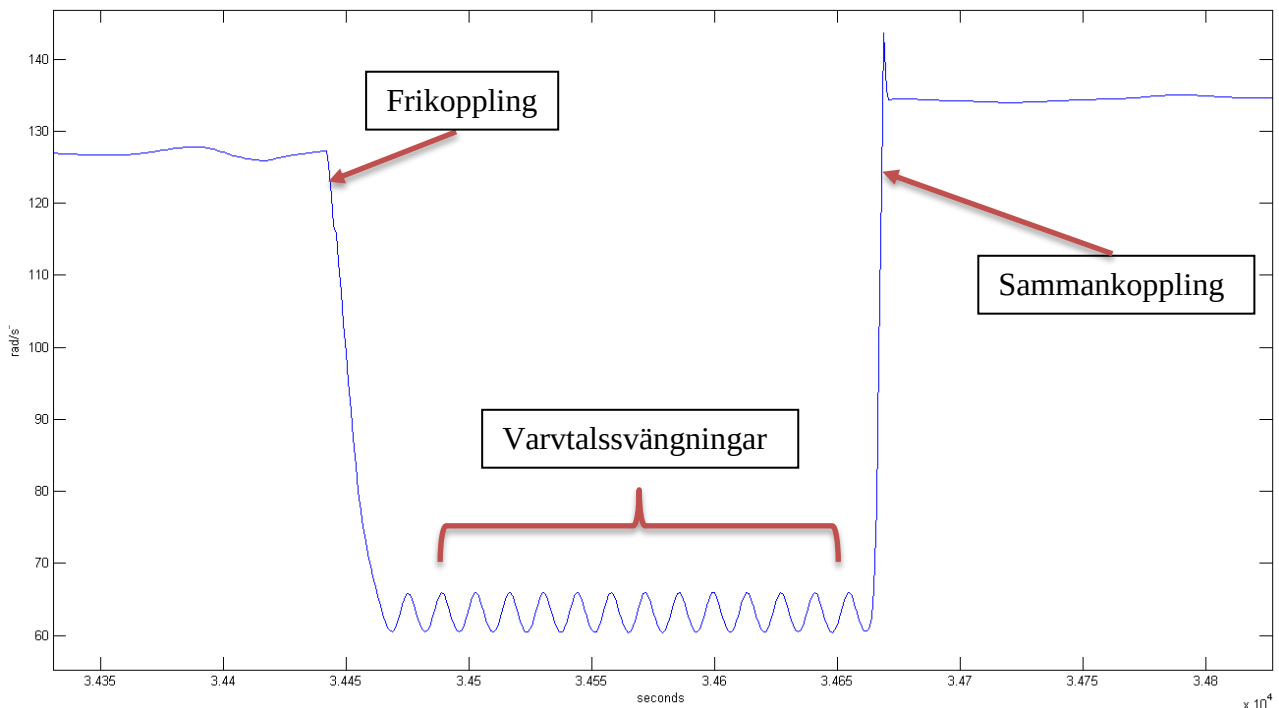
Följande avsnitt presenterar projektarbetets resultat. Ur ett överskådligt perspektiv har detta projektarbete resulterat i att väsentlig dokumentation nu finns tillgänglig över tidigare bristfälligt dokumenterade områden. En mängd olika värdefulla konstateranden inom projektarbetets behandlade områden har gjorts och en grund för vidare arbete har lagt fram.

6.1 Resultat av utredning 1

I utredning 1 efterfrågades det om en styrningsförbättring av den modellerade motorprovsdynamometern skulle ge en förbättrad kvalitet i testriggsmodellen. Metoderna som har använts för att genomföra utredning 1 resulterade i en delvis försämrad styrning, om än med mycket små marginaler. Detta enligt projektarbetets avgränsningar för avgörandet av modellens kvalitet som nämndes under avsnitt 1.4.

6.2 Resultat av utredning 2

I utredning 2 efterfrågades implementering och kartläggning av svängningsfenomenet. Genom mätningar utförda i testcellssystemet i FP64 har svängningsfenomenet kunnat implementeras i den modellerade testcellen. Figur 62 nedan visar producerad utdata från testriggsmodellen i nämnd testcellsmodell. Figuren kan efterliknas illustrationen som presenterades i avsnitt 2.4.2. I figuren ses hur varvtalet mellan motor- och dynamometermodellen oscillerar i enlighet med Volvos beskrivning av fenomenet.

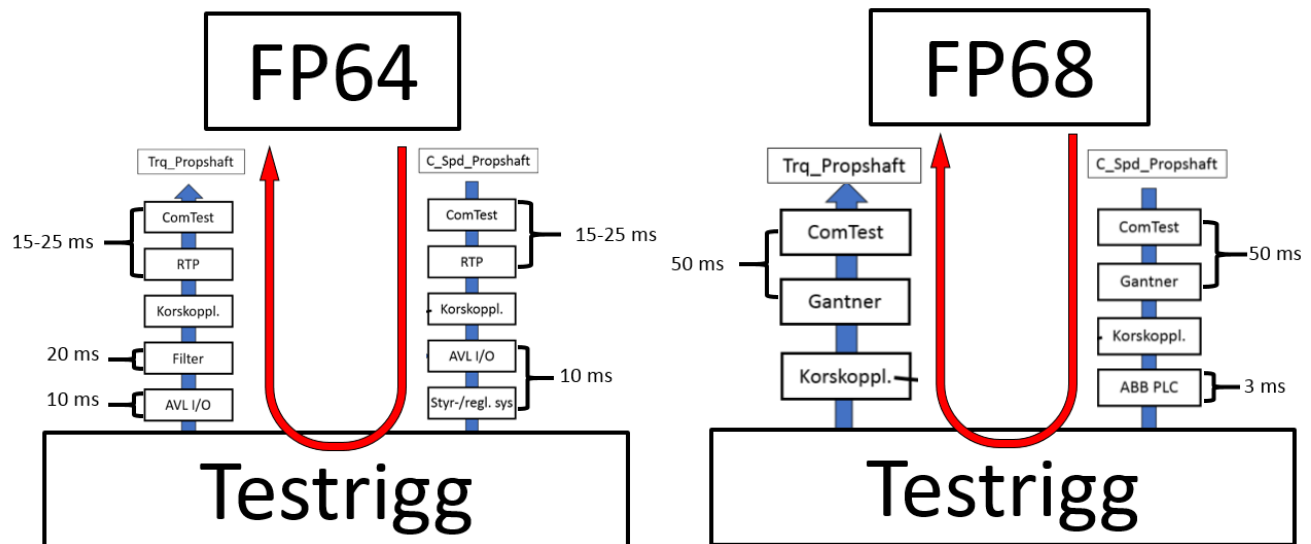


Figur 62, framkallning av svängningsfenomenet i testriggen efter implementering av signalfördröjningar

Resultatet av mätningarna gjorda i FP64 är även att teorin kring orsaken av svängningsfenomenet förstärks. Detta då uppmätta fördröjningar har resulterat i att fenomenet har kunnat återskapas i den modellerade testtriggen. Utredning 2 har således resulterat i en förbättrad kvalitet i testtriggmodellen i förhållande till den verkliga testtriggens egenskaper. Genom mätningar som utförts i FP64 samt FP68 har även de troliga ursprung till signalfördröjningarna kunnat fastställas.

Numeriska värden för tidsfördröjningarna uppmätta i testcellerna FP64 och FP68 ses i figur 63 respektive figur 64 nedan. Det är det värt att nämna följande kring värdena i figurerna:

- Tidsvärdena är den tid som uppmätts i graferna för producerat utdata halverat en gång. Detta då antagandet att det för signalen tar lika lång tid till som från komponenten. Således är antagandet att enkelväg för signalen är hälften av den uppmätta tiden.
- Värdena i figurerna är ungefärliga. Detta dels för att en del endast visuellt har studerats i grafer för producerad utdata och eftersom Volvo har ansett att behovet inte har funnits för exakta värden på fördröjningarna. Det som har varit av största intresse har varit att identifiera var fördröjningarna är störst.



Figur 64, illustration över de uppmätta fördröjningarna i FP64 Figur 63, illustration över de uppmätta fördröjningarna i FP68

En observation som gjorts i samband med mätningarna är att dynamometerns styrsystem har nära noll i fördröjning mellan ett bör- och ärvärde. För momentsignalen existerar ytterligare en fördröjning på vägen till ComTest då den signalen passerar genom ett filter. Resultatet av mätningarna i FP64 är att majoriteten av signalfördröjningarna grundar sig i ComTest/RTP-kommunikationen. För FP68 ligger i princip all fördröjning i ComTest/Gantner-kommunikationen.

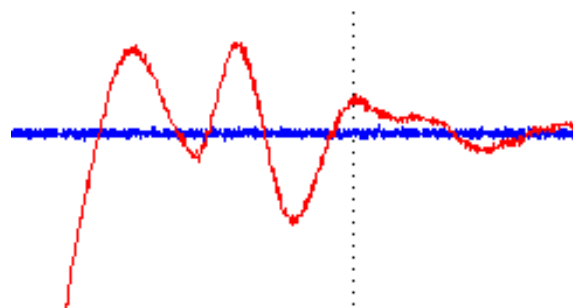
7 Slutsats och diskussion

I detta avsnitt presenteras slutsatser och diskussioner av projektarbetet. Det är värt att nämna att föreskrifter för vidare arbete inte beskrivs i detta avsnitt. Under projektarbetets gång gjordes observationer och konstateranden som inte hade en direkt koppling till projektarbetets frågeställning, men som ändå ansågs relevanta för det större bakgrundsprojektet. Denna information tillsammans med de observationer och konstateranden som ansetts relevanta frågeställningarna har resulterat i en stor mängd total information. Dessa föreskrifter har tilldelats ett eget avsnitt 8.

7.1 Slutsats och diskussion kring utredning 1

En av slutsatserna som kan dras kring utredning 1 är att en styrningsförbättring av den modellerade motorprovodynamometern inte kan ske med de metoder som valts. Genom metoderna konstaterades det enligt avgränsningarna för att avgöra ”bra” modellkvalité att modellen blev sämre. Istället behöver nya metoder tas fram för framtagning av nya PI-parametrar. Huvudslutsatsen är därmed att Volvo kan fortsätta att använda de ursprungliga PI-parametrarna och istället fokusera på andra områden för förbättrad modellkvalité.

Om Volvo ändå skulle sträva efter att uppnå högre modellkvalité behöver andra variabler än de som behandlats i parameterframställningen behöva inkluderas. Under arbetets gång identifierades andra specifika egenskaper i testtriggen. En specifik egenskap som präglade utredningen är utseendet på stegsvaret från motorprovodynamometern i FP64, se figur 65. Det är noterbart att den första undersvingen är mindre än den andra. Att åstadkomma en approximation av detta stegsvar ansågs svårt med valda metoder. Därmed talade det för att fler aspekter kan behöva tas med i modellen för att åstadkomma denna approximation men det är upp till Volvo att avgöra detta vidare arbete. Hade mer tid funnits tillgänglig för projektarbetet hade detta område utforskats.



Figur 65, urklipp ur stegsvaret från FP64 som konstaterats svårapproximerad på grund av dess annorlunda karaktär. Därför bör andra metoder ses över.

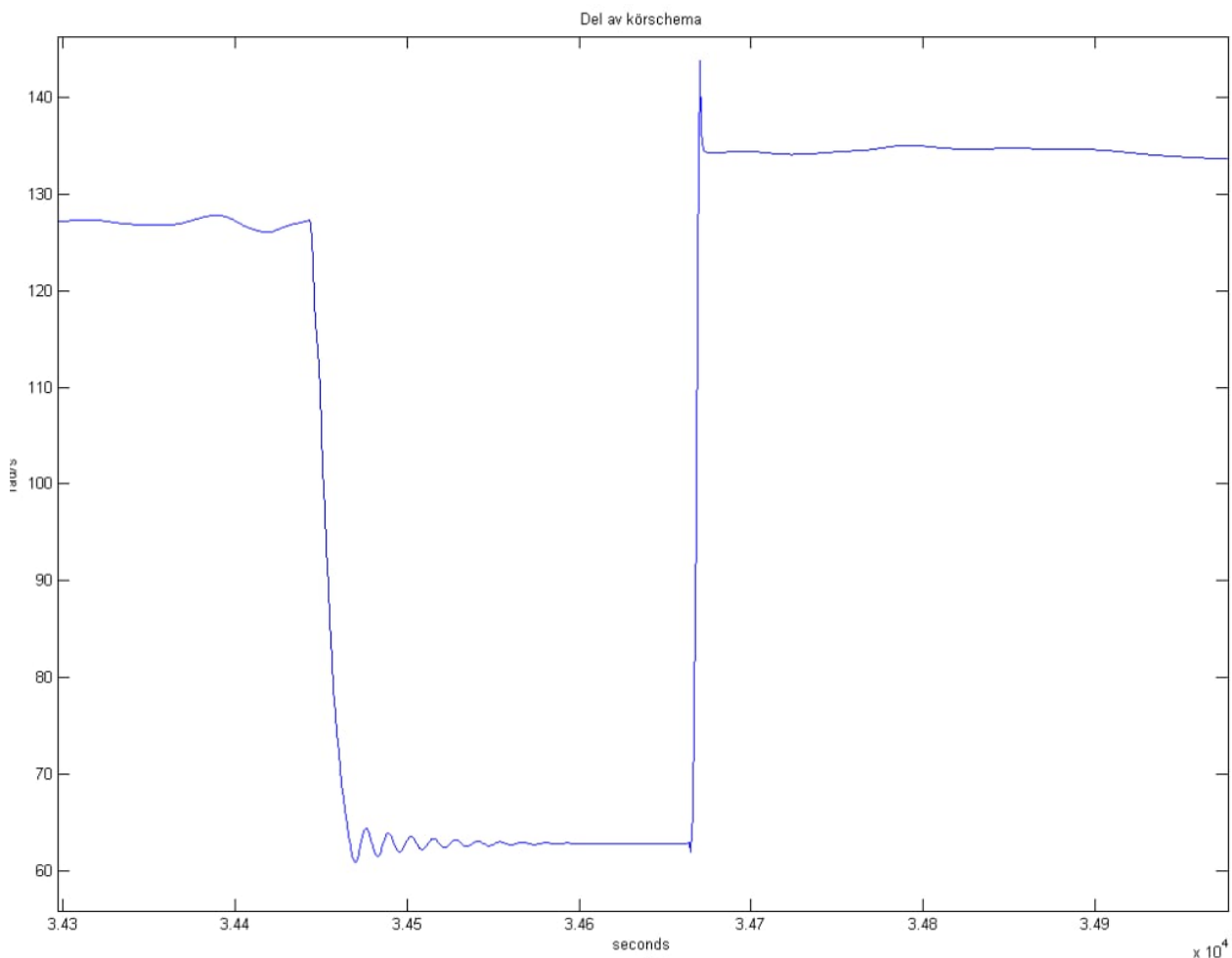
Det är nämnvärt att skillnaderna mellan modellerna med de framtagna parametrarna var mycket marginell, som presenterades i avsnitt 5.1. Volvo kännetecknade detta och drog slutsatsen att de kan användas som sekundära parametrar. Då Volvo utför kontinuerligt utvecklingsarbete med sina modeller ansåg de att parametrarna kanske kan komma till nytta i framtiden. En problematik som däremot kan uppstå vid användning av parametrarna från Ziegler-Nichols-metoden är att testtriggmodellen blir ”för vass”. Slutsatsen är alltså att en objektiv styrningsförbättring av den modellerade motorprovodynamometern är möjligt, men resulterar i en sämre kvalitet.

Alternativa metoder än tumregelmetoder samt datorbaserade beräkningsmetoder hade kunnat användas om testtriggssystemet överföringsfunktion hade kunnat erhållas, exempelvis dimensionering av regulator via Bodediagram. På grund av den modellerade testtriggens mycket komplexa karaktär och struktur ansågs det svårt att ta fram en överföringsfunktion. ”Tune”-metoden som användes i MatLab var bristfällig då det ansågs svårt att avgöra tillräckligt bra värden. I princip hade ett oändligt antal värden kunnat tas fram genom den metoden kombinerad med visuella analys – något som tillämpades i detta projektarbete. Ett alternativ hade varit en matematisk beräkningsmetod där man för varje framtagna P- och I-parametrar hade kunnat räkna ut avståndsdifferensen mellan stegsvaren i och med att grafer producerats. Detta hade kunnat generera en numerisk differens mellan modellen och testtriggen som hade kunnat användas som en slags klassificering på modellens kvalitet.

Syftet med detta projektarbete var att utreda möjligheterna kring att komplettera en modellerad testtrigg. Detta så att den på ett bättre sätt motsvarar den verkliga testtriggens egenskaper. Inom utredning 1 är den sammanfattande slutsatsen att detta inte har varit möjligt med valda metoder, men att det kan visa sig möjligt genom andra metoder.

7.2 Slutsats och diskussion kring utredning 2

Fördröjningar har kunnat placeras ut i modellen vilket lett till att modellen i tillräcklig utsträckning kan återskapa svängningsfenomenet. Figur 66 visar producerat utdata för den modellerade testtriggen i ett ”modellerat” hardware-in-the-loop. I figuren ses utdata efter att signalfördröjningarna förkortats i modellen. Genom att ändra på tidslängderna i modellen bekräftades det att intensiteten i oscillationerna antingen höjdes eller sänktes. Här drogs slutsatsen att signalfördröjningarna tycks ha en direkt koppling till intensiteten i oscillationerna. Utifrån denna slutsats skulle Volvo genom att arbeta simultant med modell och testtrigg kunna experimentera fram en viss tid på tidsfördröjningarna då svängningsfenomenet minskar.



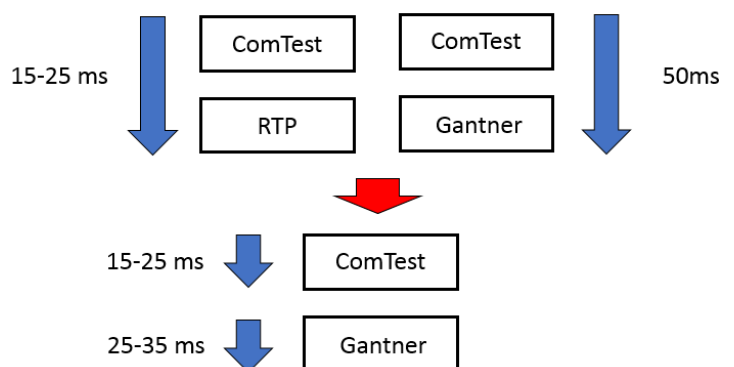
Figur 66, svängningsfenomenet med minskade fördröjningar.

Det hade varit önskvärt se svängningsfenomenet i verkligheten för att bättre förstå fenomenet. Tyvärr fanns det inte utrymme för detta i och med Volvos kompakta scheman för motortester. Därmed kunde ingen verklig referens framställas för att enklare avgöra modellens approximation av fenomenet. För vidare arbete kring svängningsfenomenet skulle ett första steg kunna vara att framställa en referens.

Slutsatsen som kan dras från mätvärdena i tabell 1 och 2, sidan 53, är att de delar av testcellssystemen som orsakar längsta fördröjningar är enheterna ComTest/RTP i FP64 samt ComTest/Gantner i FP68. Om problematiken med signalfördröjningarna i testcellerna ska lösas är slutsatsen att arbete främst bör fokuseras på dessa enheter. En annan slutsats som dragits är att signalfördröjningarna i resterande komponenter praktiskt taget är omöjliga att eliminera. Detta då de uppmätts som avsevärt kortare än i resterande delar av systemet samt att det inte går att helt eliminera signalfördröjningar i dessa typer av komponenter. Exempelvis måste den typen av signalfilter i FP64 innehålla en signalfördröjning för att kunna utföra sin filtrering. Därmed stärks slutsatsen att Volvo främst bör fokusera på enheterna ComTest/RTP respektive ComTest/Gantner för åtgärd av signalfördröjningarna.

Det har konstaterats att ComTest/RTP/Gantner består av mer mjukvara än de andra komponenterna vilket ytterligare stärker slutsatsen att det är där de största fördröjningarna finns. För vidare arbete kring mätningar inom dessa enheter skulle exempelvis en virtuell mätmetod behöva tas fram som skulle kunna mäta mellan olika virtuella delar av systemet inom komponenterna. Därefter skulle Volvo kunna utreda vilka fördröjningar som skulle kunna minskas inom systemen i komponenterna. En annan mätmetod skulle behöva tas fram för att mäta fördröjningarna mellan ComTest/RTP respektive ComTest/Gantner. Detta då det inte är fastställt om det är enheterna eller kommunikationen mellan dem som orsakar fördröjningarna. Slutsatsen här är att fördröjningarna ComTest/RTP samt ComTest/Gantner antingen grundar sig i enheterna eller i kommunikationen mellan dem. Detta kräver ytterligare utredningar.

Av komponenterna RTP och Gantner har det konstaterats att Gantner orsakar längre signalfördröjningar. Denna slutsats kan dras genom att hypotetiskt tänka sig att all signalfördröjning som uppmätts mellan ComTest och RTP i FP64 skulle vara i endast ComTest-enheten i FP68, se figur 67. Då skulle det vara observerbart att Gantner-enheten orsakar en fördröjning på minst 25-35ms vilket betyder att Gantner är den ”långsammare” enheten. Denna slutsats dras däremot med antagandet att ComTest-enheterna i FP64 och FP68 är identiska samt att kommunikationen ComTest/RTP respektive ComTest/Gantner är fördröjningsfri.



Figur 67, illustration kring att Gantner kan klassas som den långsammare enheten i mätningarna

7.3 Övrig diskussion kring projektarbetet

Detta projektarbete har bistått Volvo med resultat och slutsatser som inom ett specifikt område bidragit i Volvos arbete med motortestning samt utveckling. Volvos verksamhet och arbete kretsar i huvudsak kring deras tre kärnvärden, där miljö är ett av dem. Volvo utför kontinuerlig testning samt utveckling av sina motorer i en strävan av att alltid bli bättre. I princip all testning görs för att kontrollera och minimera utsläpp av exempelvis kväveoxider och koldioxid. I strävan av att alltid bli bättre anser Volvo det samtidigt som viktigt att detta görs på ett hållbart vis, genom exempelvis effektivisering med ett hållbarhetstänk. Genom att utföra motortester i testriggar görs miljömässiga besparingar bl. a i form av utsläpp och buller då motortestet inte behövs utföras i en lastbil. Dessutom renas avgaserna i ett avancerat system och motorprovodynamometrarna används stundtals som generatorer. Att modellera testriggarna ger ytterligare miljö- och tidsmässiga besparingar i form av bränsleåtgång samt cykeltid för tester. Att sedan bidra till effektivisering inom dessa områden i och med detta projektarbete resulterar i en stark koppling till hållbara faktorer. Genom exempelvis tillämpning av hardware-in-the-loop förkortas utvecklingstider avsevärt, deras välbeprövade motorer kan snabbare nå marknaden och mer tid kan frigöras för exempelvis att utveckla alternativa drivlinor.

När det gäller våra egna reflektioner är det erkänt att detta projektarbete har inneburit en stor mängd arbete. Det är även erkänt att arbetet som har krävts har varit mycket mer omfattande än vad vi trodde, och betraktades stundtals som utanför kunskapsnivån för två högskoleingenjörer. Efter cirka hälften av den avsatta tiden för projektarbetet hade passerat stod det tillräckligt klart för oss som projektmedlemmar vad som skulle utföras samt med vilka metoder. Som tidigare nämnt har detta projektarbete lagt grunden för ett tidigare knappt dokumenterat område. Detta har lett till ett flertal tillfällen där det inneburit svårigheter att förstå uppgiften. På grund av bristfällig ursprunglig dokumentation kring projektarbetets behandlade områden har mycket tid och energi spenderats på förstudiearbete. Ett tydligt exempel på detta är i och med sammanställandet av avsnitt 4. Den modellerade motorprovodynamometern hade ingen ursprunglig dokumentation och därmed fick dess funktion studeras från grunden. Detta för att kunna angripa projektarbetets frågeställningar. Sammanställningen av avsnitt 4 har därmed "lånat" mycket annan tid från andra delar av projektet. Hade detta moment inte behövt utföras hade det allmänna arbetet underlättats och mer tid hade kanske blivit över. Denna tid hade exempelvis kunnat spenderas på att ta fram mer adekvata metoder för framtagning av PI-parametrar samt utförandet av fler mätningar i testcellerna. Att våra scheman inte alltid sammanföll med anställda hos Volvo har även sinkat arbetet. På grund av projektarbetets omfattande karaktär hade det varit önskvärt om mer kontinuitet hade kunnat bibehållas. På grund av dessa två faktorer hade det varit önskvärt att projektarbetet hade varit fördelat under en läsperiod istället för två.

Trots svårigheterna under arbetets gång har projektarbetet varit mycket givande och meriterande. Vi som projektmedlemmar har väl kommit till insikt om att vår utbildning har lönat sig. Under arbetet anser vi ha erhållit goda erfarenheter i att analysera ett problem och formulera en frågeställning. Att sedan utföra ett komplett projektarbete som vi själv har definierat från start till slut med egna avgränsningar ser vi som en särskilt meriterande erfarenheter. Trots svårigheter under projektarbetets gång har vi aldrig förlorat motivation till att slutföra det. Att arbeta inom ett liknande område i framtiden är något vi kan tänka oss.

8 Fortsatt arbete

Följande avsnitt är specifikt ämnat för dem som planerar att arbeta vidare med projektarbetet. Det är även nämnvärt att vissa delar avsnitt är speciellt avsatta åt Volvo.

8.1 Den modellerade motorprovodynamometern

Volvo önskar att de PI-parametrar som använts i dynamometermodellen ska kunna användas i verkligheten. För att åstadkomma detta kan dynamometermodellen behöva ses över i sin helhet och utförligt. Bilaga 2 visar uppmätta varvtal samt moment i testtriggen FP64, något som kan behöva utredas är anledningen till att kurvorna ser ut som de gör ("platån") samt om det är varvtalet som orsakar momentbilden eller vice versa. Det är konstaterat att det är någon slags fysisk samspelsfaktor är involverad och ger den ganska märkliga insvängningsbilden ("platån" på momentbilden samt större andra undersväng på varvtalsbilden). Det är även troligt att grafernas utseende kan grunda sig i att den verkliga dynamometern stundtals är olinjär på grund av styrsignal- eller fysikaliska faktorer. Detta olinjära beteende kan behöva införas i dynamometermodellen för bättre modellkvalité.

8.2 Den modellerade testtriggen, svängningsfenomenet

För att bättre kunna implementera svängningsfenomenet, alternativt åtgärda det, har det konstaterats att tomgångsregleringen för det modellerade testobjektet i den modellerade testtriggen kan komma att behöva ses över. Detta på grund av samspelet mellan tomgångsregleringen i testobjektet och varvtalsregleringen i motorprovodynamometern. Att endast studera varvtalsregleringen har konstaterats som otillräckligt. Genom att mäta ytterligare i en verklig testtrigg så kan precisionen för placeringarna för signalfördröjningarna i den modellerade testtriggen utökas ytterligare.

8.3 Kartläggning i testcell

När det gäller att kartlägga orsakerna till svängningsfenomenet så kan mätningar av samma typ som gjorts i FP64 även utföras i andra testceller. Testcellen FP71 samt testceller med andra namn är testceller där mätningar i första hand bör utföras. Detta för att fastställa mer ingående vilka komponenter i testcellssystemet som kan vara direkt orsakande av signalfördröjningarna samt om särskilda egenskaper hos komponenterna har en inverkan. Dessa särskilda egenskaper är exempelvis komponentens ålder samt tillverkare.

Det är troligt att dynamometern är "lite för stark för sitt eget bästa" och detta skulle behöva utredas genom att göra en mätning samtidigt som små steg, kanske kring 50rpm istället för 300rpm görs. Det är värt att nämna att detta endast gäller för FP64. Vad som skulle behöva undersökas är om samma slags beteende i varvtalets stegsvarskurva uppkommer. Hypotesen är nämligen att det inte spelar så stor roll för motorprovodynamometers producerade moment om styrsignalerna är mycket små.

8.4 Transmissionstesttrigg

Volvo vill kunna utföra samma slags projektarbete som detta men relaterat till transmissionstesttriggar. En transmissionstesttrigg presenterades under avsnitt 2.1.2. I detta arbete kan även "klonk" försökas kunna återskapas. Hypotesen för "Klonk" är att det är den smäll som uppstår i en växellåda när alla toleranser/glapp från växellådan hela vägen till bakhjulen summeras ihop till ett enda glapp. Detta glapp gör att när man frikopplar och sedan sammankopplar så roterar axlar, kugghjul m.m. under en kort tidsperiod obehindrat p.g.a. glappet för att sedan tvärstanna när det återigen är kontakt mellan alla ytor hela vägen mellan hjul och växellåda.

8.5 Ändra momentsignal till vagnsmodellen

För tillfället används motormodellens CANBUS-moment till vagnsmodellen. Det som borde användas är momentet som uppstår i momentgivaren eftersom det är momentet vagnsmodellen får i verkligheten. "Trq_Propshaft" är alltså signalen som borde användas in till vagnsmodellen. Problem som uppstår p.g.a. detta är att GSP-modellen inte får fördröjningen hos momentet från dynamometermodellen utan får istället CANBUS-momentet som eventuellt kan ha en annorlunda tidsfördröjning gentemot det faktiska momentet.

8.6 Uppdatera CANBUS-system för användning av nyare basmodell

I detta projekt har inte den senaste basmodellen för vagnsmodellen använts, detta då den fanns färdig och krävde endast mindre modifikationer för att komma igång och köra modellen. Det finns nyare vagnsmodeller, det har eventuellt ingen påverkan på körningarna men "new is always better".

8.7 Införa frekvensskillnader hos modellen

I verkligheten i dag så kan ComTest som högst sampla värden från testtriggen på 50 Hz för FP64 och 100 Hz i FP68 men vanligare är att 10 Hz används för att det inte ska bli för mycket data som sparas. Datorn med modellen arbetar i dagsläget på en annan frekvens. Därmed kan det behöva införas en sample-and-hold-funktion (eller snarlik lösning) mellan "Test_environment" och GSP-modellen. Införs detta så kan de olika delarna arbeta med olika frekvenser. Detta skulle medföra att experiment med olika frekvenser mellan enheterna kan utföras.

8.8 Omvandla fördröjningarna från kontinuerliga till diskreta

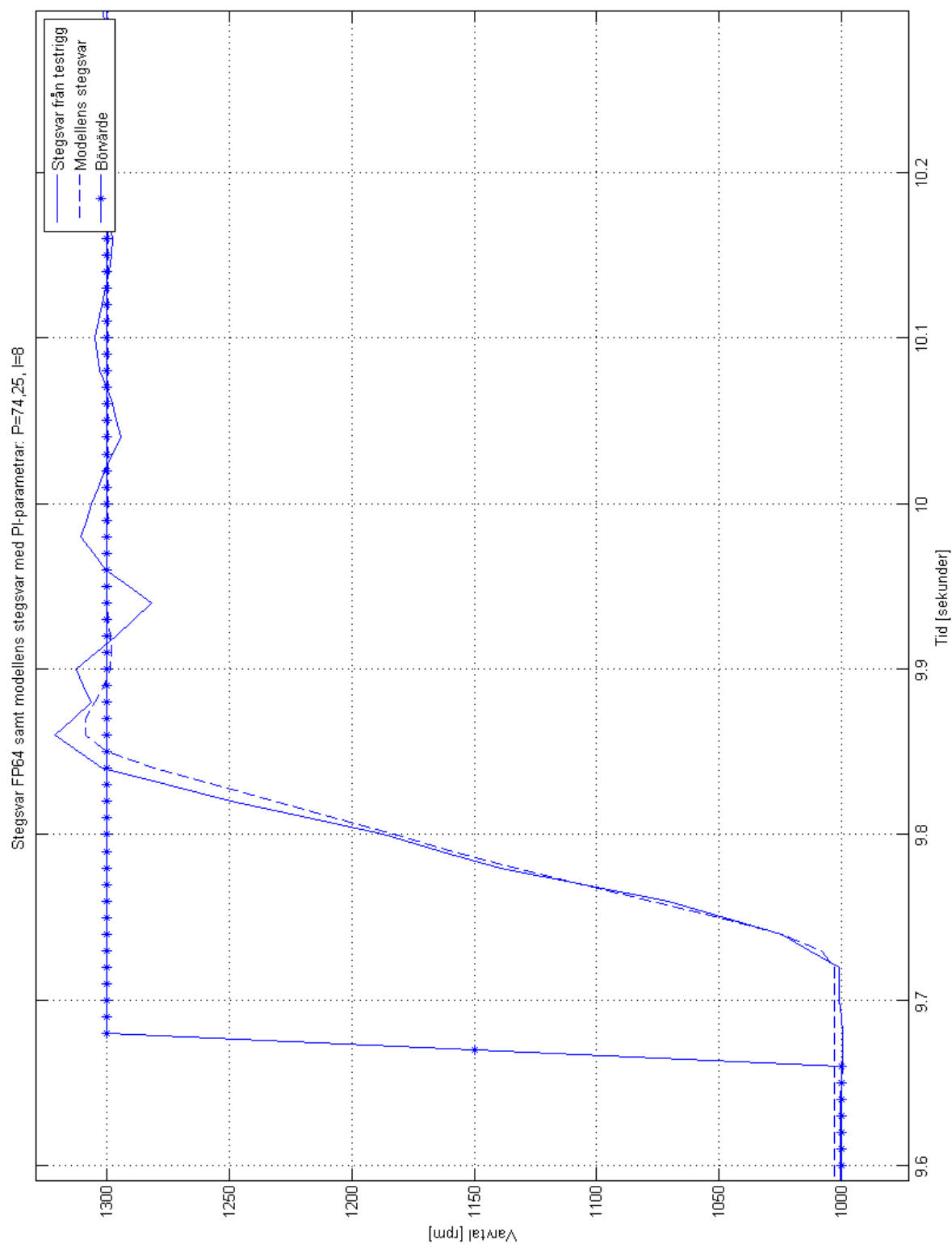
I detta projektarbete har kontinuerliga tidsfördröjningar använts i modellen. Dessa bör eventuellt bytas till tidsdiskreta.

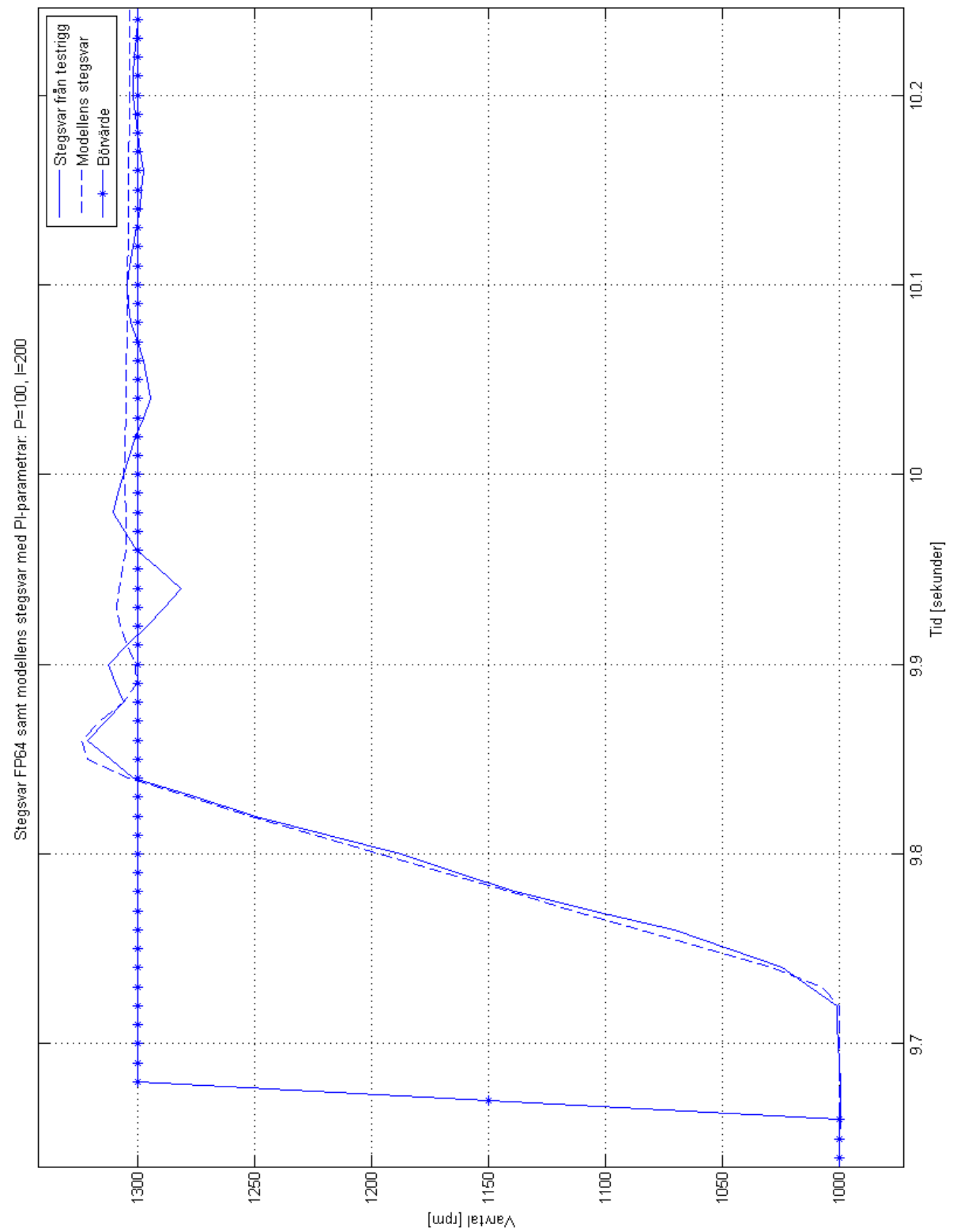
Referenser

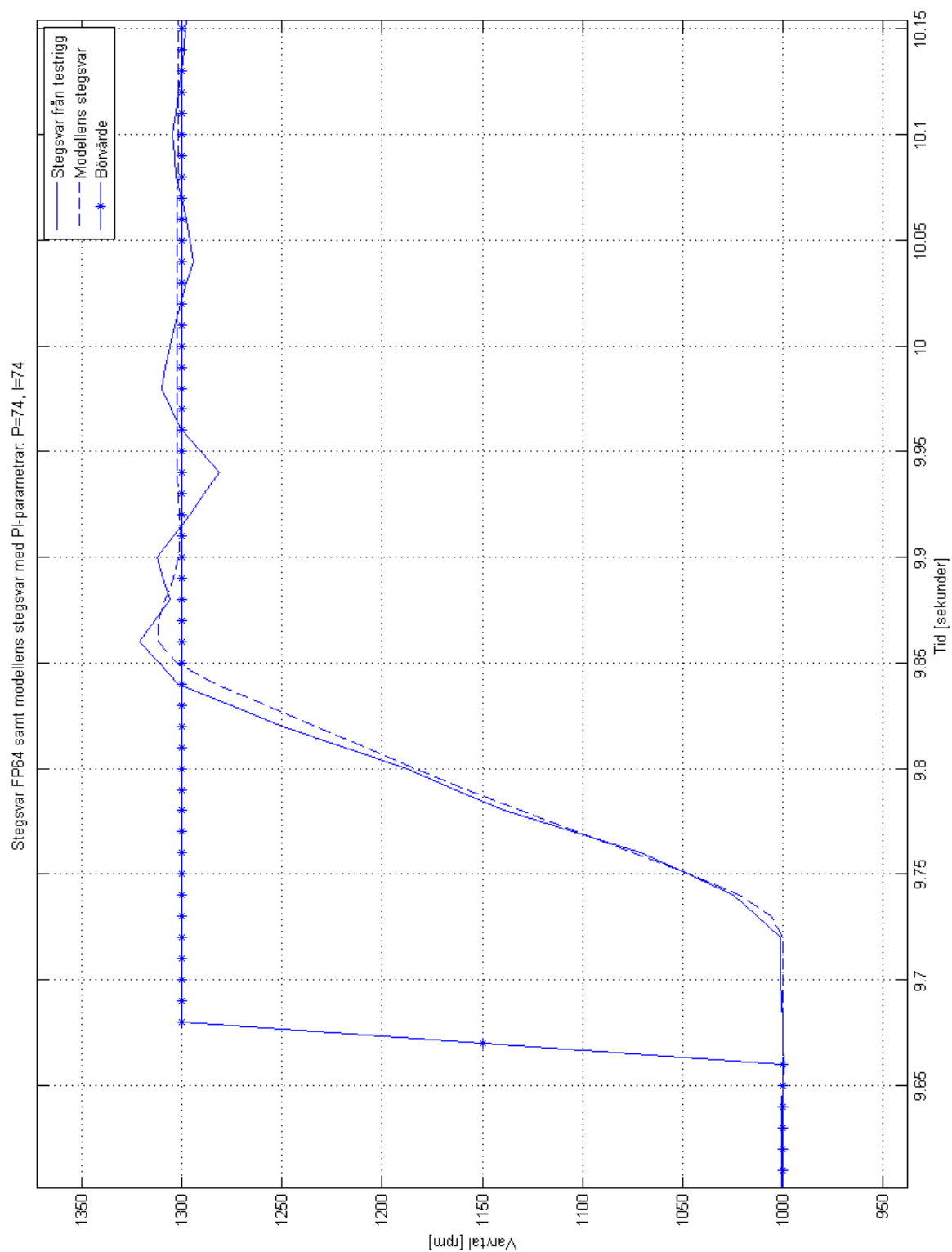
- [1]: Intervju med Robert Aslan, Volvo Group Trucks Technology, Powertrain Engineering.
- [2]: Intervju med Göran Axbrink, Volvo Group Trucks Technology (VGTT) Powertrain Engineering.
- [3]: B. Thomas, *Modern Reglerteknik*, 4 uppl., Stockholm, Sverige, Liber A, 2008.
- [4]: Mathworks, "What is hardware-in-the-loop simulation?," mathworks.com, 2017. [Online]. Tillgänglig: <https://se.mathworks.com/help/physmod/simscape/ug/what-is-hardware-in-the-loop-simulation.html>. Hämtad: Juni 10, 2017
- [5]: K.Mucevski, "Automotive CAN Bus System Explained," LinkedIn, 2017. [Online]. Tillgänglig: <https://www.linkedin.com/pulse/automotive-can-bus-system-explained-kiril-mucevski>. Hämtad: Juni 10, 2017

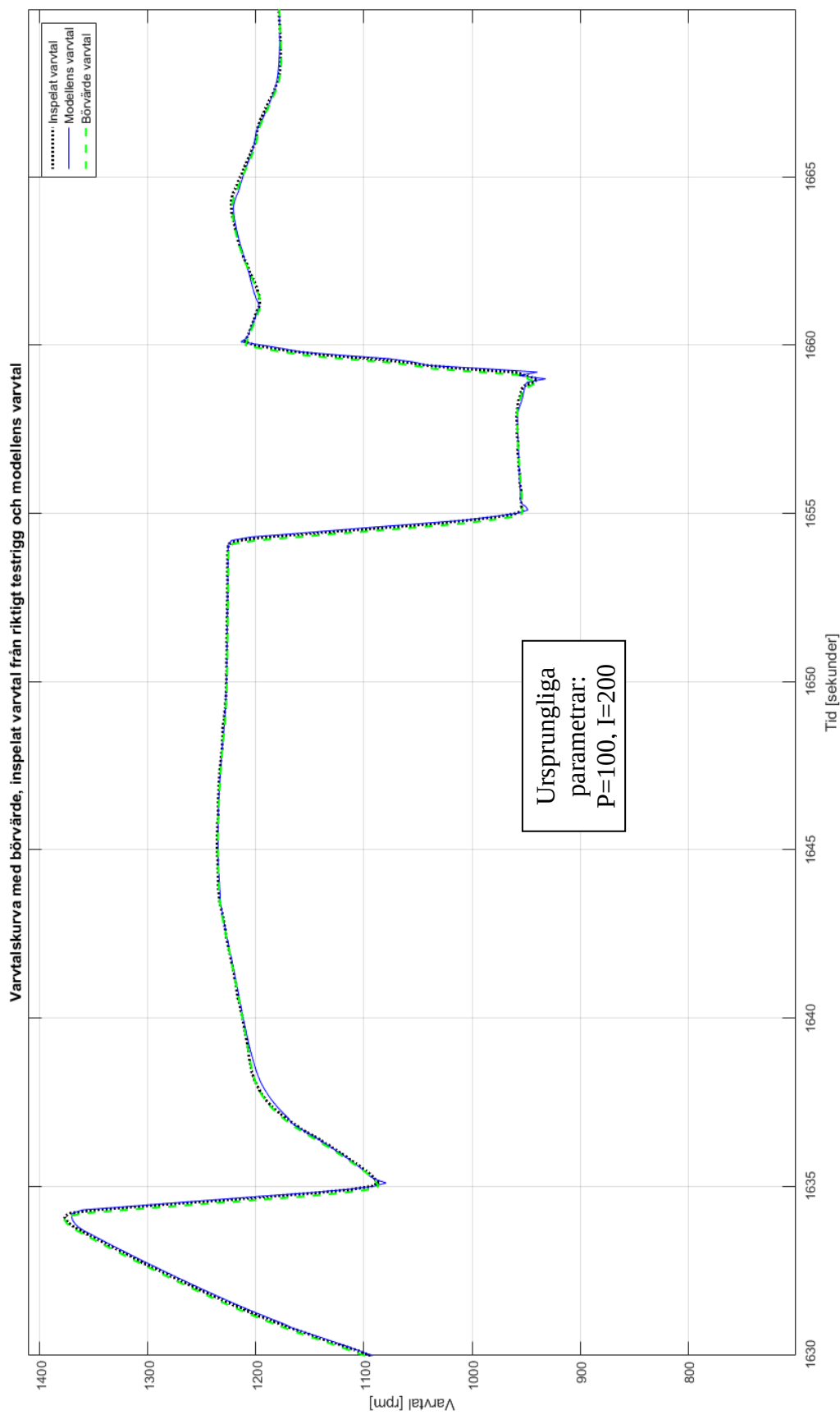
Bilagor

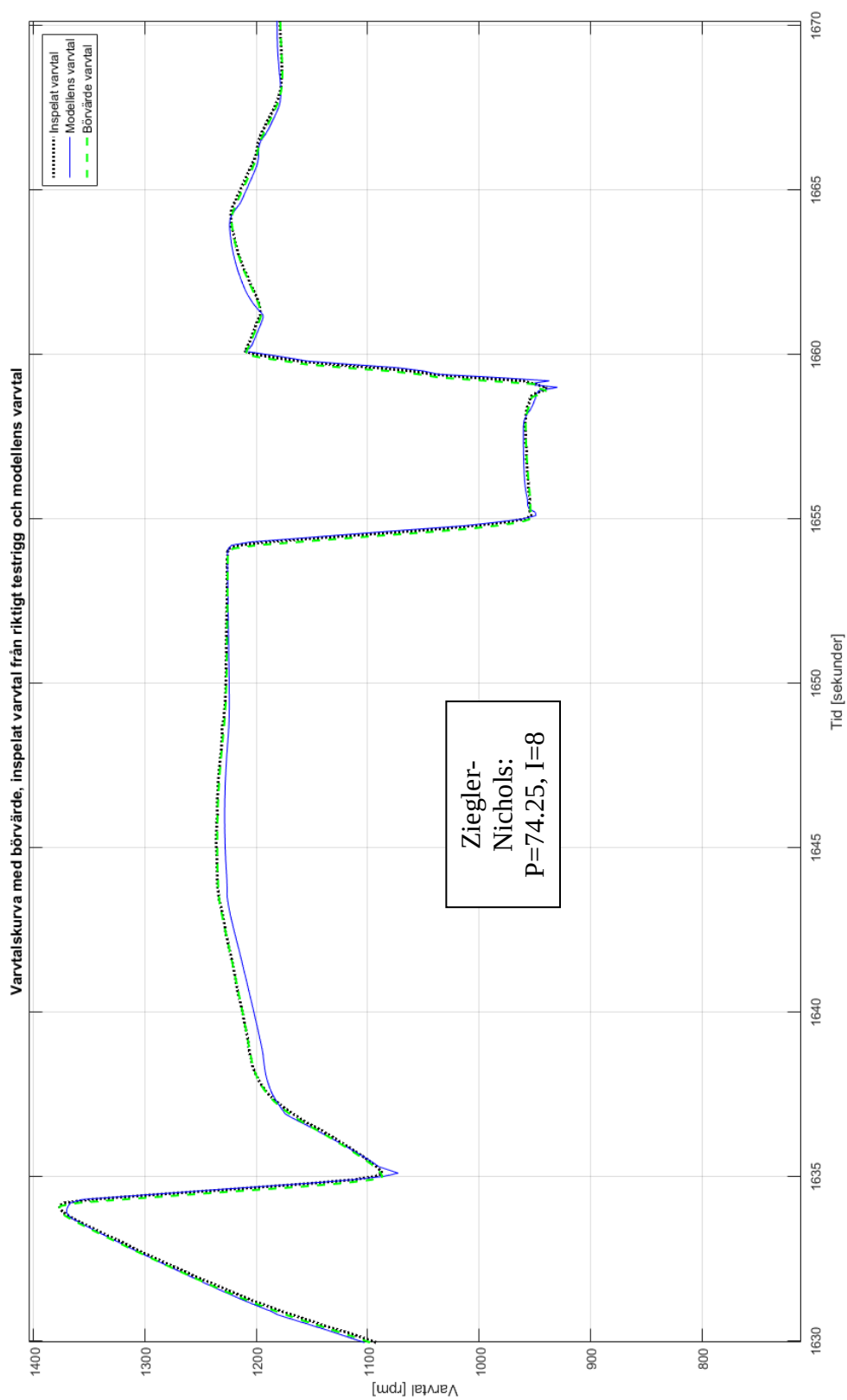
Bilaga 1 – Den modellerade testtriggens approximationer

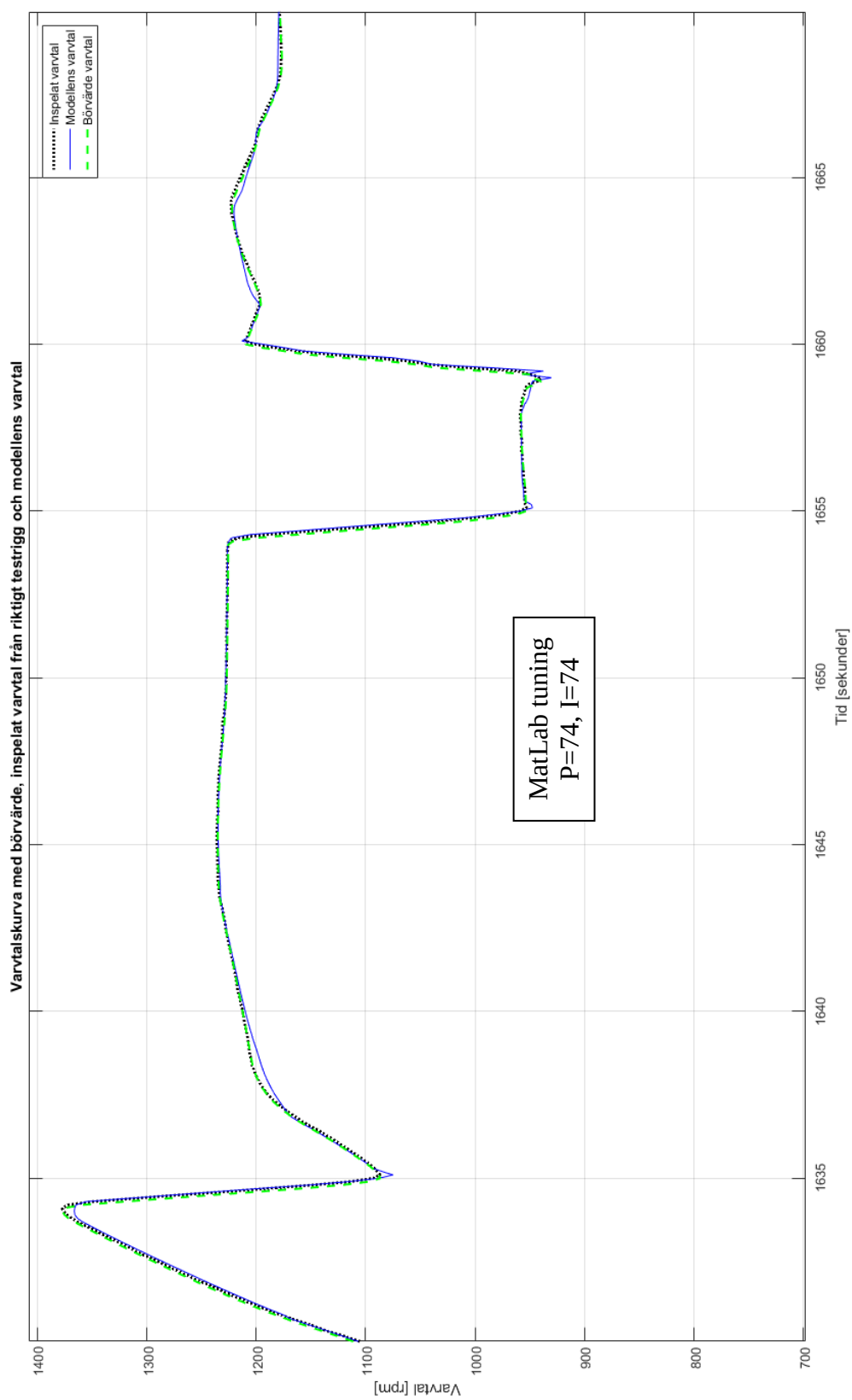


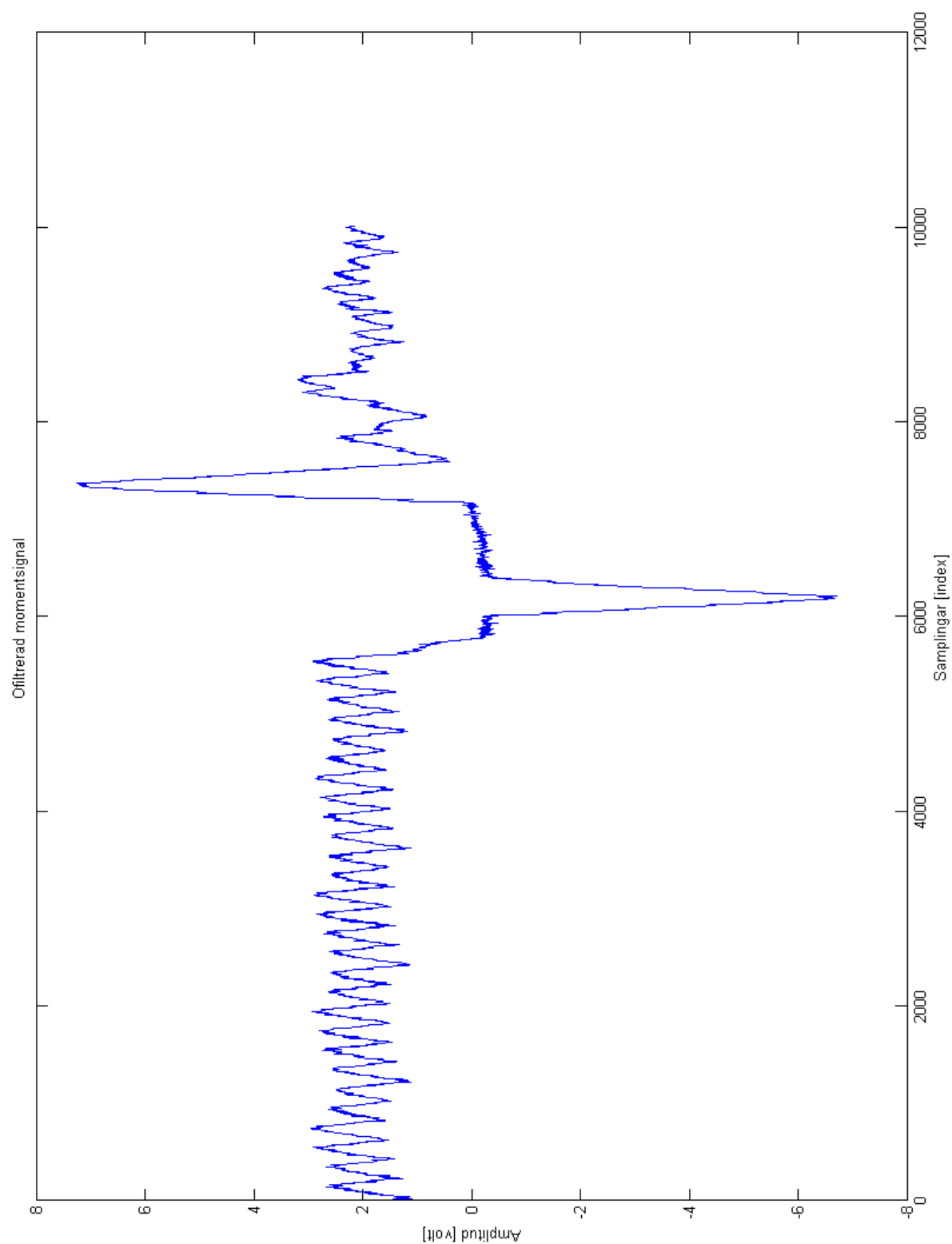


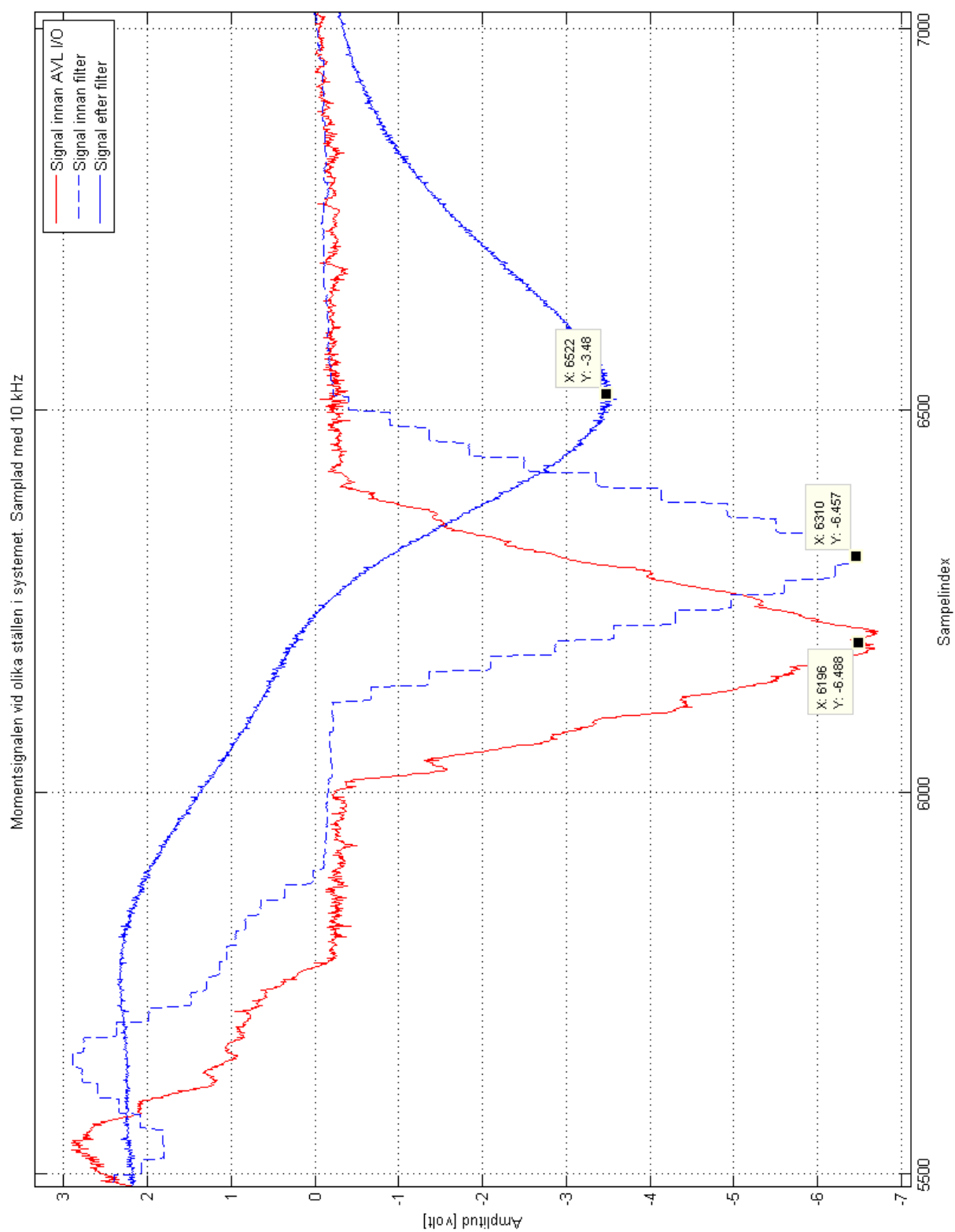


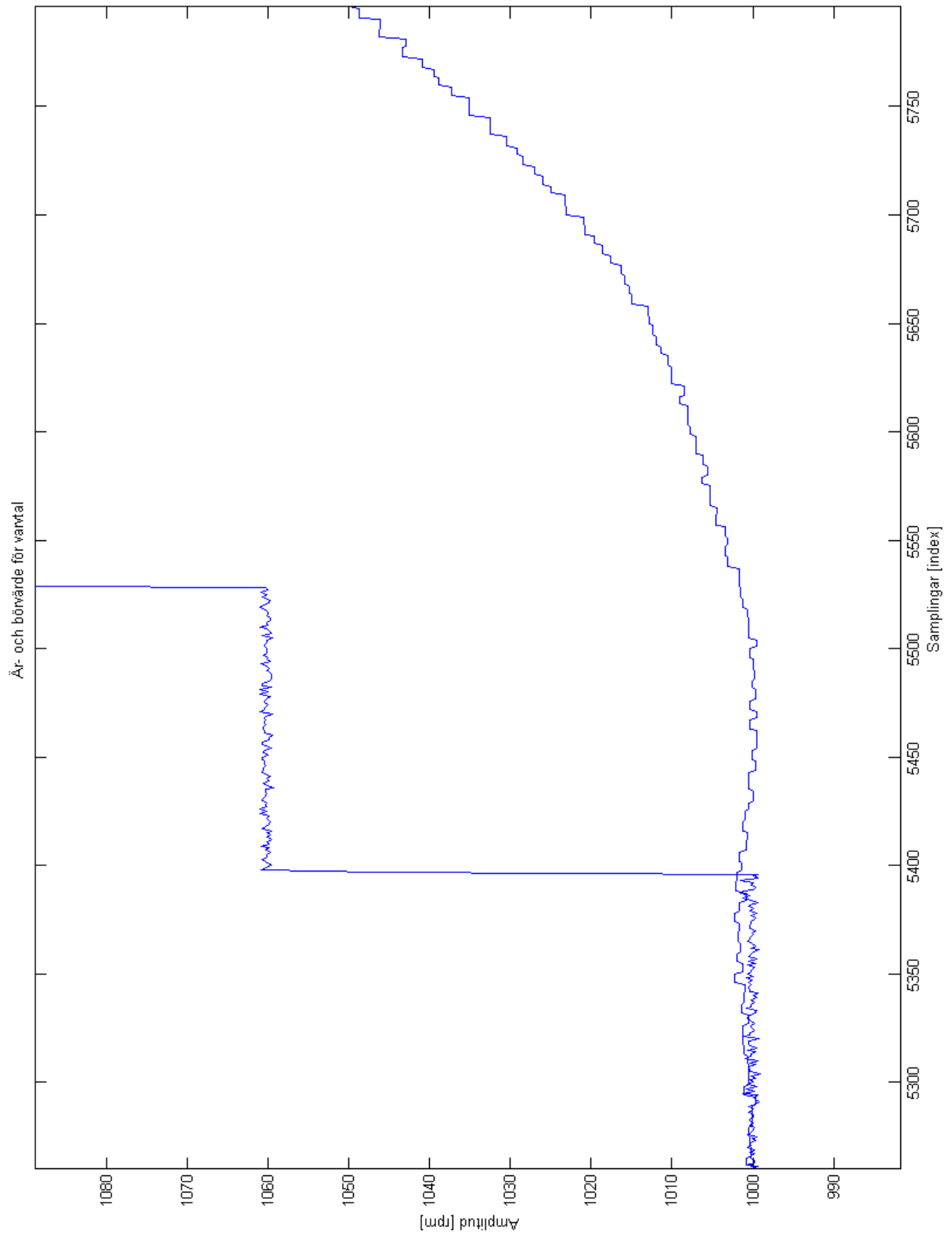


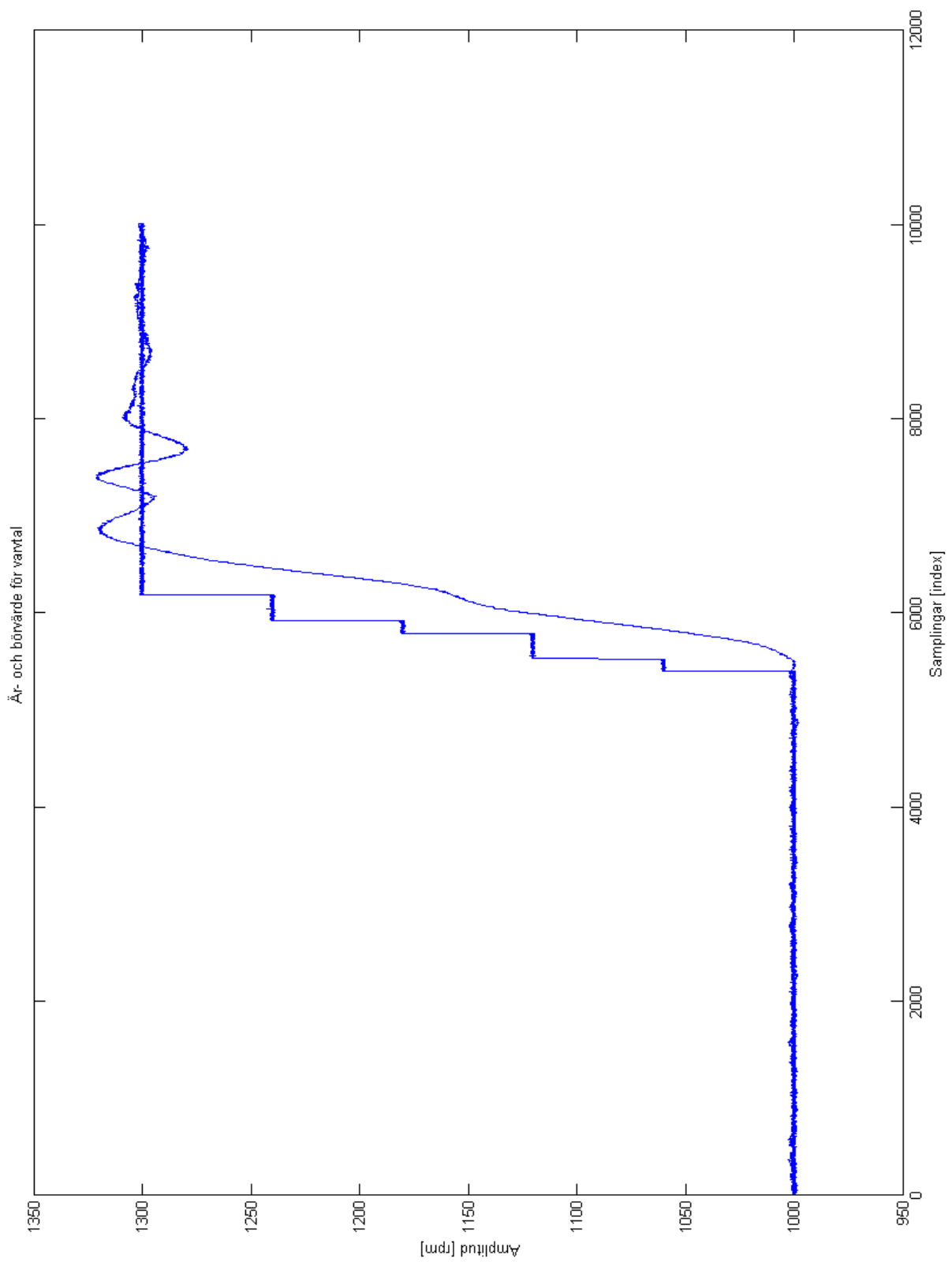




Bilaga 2 – Mätningar från FP64







Bilaga 3 – Mätningar från FP68

