



# Testplan

Redaktör Björn Kleman

4 december 2020

Version 0.3



## Status

Granskad	Robin Holmbom	
Godkänd	Lars Eriksson	



## Projektidentitet

Grupp E-post: [fabsu408@student.liu.se](mailto:fabsu408@student.liu.se)

Hemsida: TBD

Beställare: Lars Eriksson, Linköpings universitet  
Tfn: 013-28 44 09  
E-post: [lars.eriksson@liu.se](mailto:lars.eriksson@liu.se)

Kund: Fredrik Wemmert, Volvo Cars Corporation  
Tfn:  
E-post:

Handledare: Robin Holmbom, Linköpings universitet  
Tfn: 013-28 13 27  
E-post: [robin.holmbom@liu.se](mailto:robin.holmbom@liu.se)

Kursansvarig: Daniel Axehill, Linköpings universitet  
Tfn: 013-28 40 42  
E-post: [daniel.axehill@liu.se](mailto:daniel.axehill@liu.se)

## Projektdeltagare

Namn	Ansvar	E-post
Fabian Sund	Projektledare	<a href="mailto:fabsu408@student.liu.se">fabsu408@student.liu.se</a>
Josef Aziz	Mjukvaruansvarig	<a href="mailto:joszaz558@student.liu.se">joszaz558@student.liu.se</a>
Fuad Hanic	Komponentansvarig (Kamfasning)	<a href="mailto:fuaha830@student.liu.se">fuaha830@student.liu.se</a>
Johnny Josefsson	Informationsansvarig	<a href="mailto:johjo321@student.liu.se">johjo321@student.liu.se</a>
Sanna Renius	Komponentansvarig (Trottel)	<a href="mailto:sanre362@student.liu.se">sanre362@student.liu.se</a>
Henrik Holmberg	Mjukvaruansvarig	<a href="mailto:henho614@student.liu.se">henho614@student.liu.se</a>
Björn Kleman	Dokumentansvarig	<a href="mailto:bjokl139@student.liu.se">bjokl139@student.liu.se</a>
Jesper Rylander	Designansvarig	<a href="mailto:jesry572@student.liu.se">jesry572@student.liu.se</a>
Gustav Mann	Kvalitetsansvarig	<a href="mailto:gusma709@student.liu.se">gusma709@student.liu.se</a>
Henrik Lindgren	Testansvarig	<a href="mailto:henli430@student.liu.se">henli430@student.liu.se</a>



## INNEHÅLL

1	Sammanfattning	1
2	Inledning	3
2.1	Varför test utförs	3
2.2	När test ska utföras	3
2.3	Hur ett test utförs	3
3	Tester av krav	3
3.1	Trottel - Tester av krav	3
3.2	VVT - Tester av krav	4
3.3	MPC - Tester av krav	5
3.4	Optimeringslösare - Tester av krav	6
3.5	Ekonomi, Säkerhet, Leveranser, Dokumentation - Tester av krav	7
4	Tester för inhämtning av data	8
4.1	Trottel - Inhämtning av data	8
4.2	VVT - Inhämtning av data	8
5	Tester för Validering	9
5.1	Trottel - Validering	9
5.2	VVT - Validering	9
5.3	MPC - Validering	10
5.4	Optimeringslösare - Validering	10
6	Testprotokoll	12
6.1	Testprotokoll - Tester av Krav	12
6.2	Testprotokoll - Inhämtning av data	19
6.3	Testprotokoll - Valideringstester	21



## DOKUMENTHISTORIK

Version	Datum	Utförda ändringar	Utförda av	Granskad
0.1	2020-09-16	Första versionen	Projektgruppen	BK
0.2	2020-10-13	Andra versionen	Projektgruppen	
0.3	2020-11-27	Tredje versionen	Projektgruppen	

## 1 SAMMANFATTNING

I tabell 1 nedan ges en sammanfattning av all krav, dess kravprioritet, vilket testnummer som tester respektive krav och om kravet är uppfyllt eller inte.

Kravnummer	Kravprioritet	Testnummer	Uppfyllt/Icke uppfyllt
1	1	12	Uppfyllt
2	1	12	Uppfyllt
3	1	1,7,12	Uppfyllt
4	1	16	Uppfyllt
5	1	12	Uppfyllt
6	1	3,9	Uppfyllt
7	3	3,9,18	Delvis uppfyllt
8	1	7, 1	Uppfyllt
9	1	1	Uppfyllt
10	2	4	Uppfyllt
11	1	12	Uppfyllt
12	3	3,9,18	Delvis uppfyllt
13	1	12	Uppfyllt
14	1	12	Uppfyllt
15	2	15	Uppfyllt
16	3	14	Uppfyllt
17	1	15	Uppfyllt
18	1	16	Uppfyllt
19	1	13	Uppfyllt
20	1	17,19	Uppfyllt
21	1	15	Uppfyllt
22	3	20	Ej uppfyllt
23	1	7, 1	Uppfyllt
24	1	1,7	Uppfyllt
25	1	1,7	Uppfyllt
26	1	1,7	Uppfyllt
27	1	5,10	Uppfyllt
28	3	6,11	Ej uppfyllt
29	1	1	Uppfyllt
30	1	1	Uppfyllt
31	1	7	Uppfyllt
32	1	7	Uppfyllt
33	2	4	Uppfyllt
34	1	7	Uppfyllt
35	2	2,8	Uppfyllt
36	3	2,8	Uppfyllt
37	1	13	Uppfyllt

Fortsätter på nästa sida

Tabell 1 –Fortsättning från förra sidan

Kravnummer	Kravprioritet	Testnummer	Uppfyllt/Icke uppfyllt
38	2	13	Uppfyllt
39	1	13	Uppfyllt
40	2	13	Uppfyllt
41	1	13	Uppfyllt
42	2	13	Uppfyllt
43	1	13	Uppfyllt
44	1	21	Uppfyllt
45	1	21	Uppfyllt
46	1	21	Ej uppfyllt
47	1	22	Uppfyllt
48	1	22	Uppfyllt
49	1	23	Uppfyllt
50	1	24	Uppfyllt
51	1	25	Uppfyllt
52	1	25	Uppfyllt
53	1	25	Inväntar färdigställt dokument
54	1	25	Inväntar färdigställt dokument
55	1	25	Inväntar färdigställt dokument
56	1	26	Uppfyllt
57	1	26	Uppfyllt
58	1	26	Uppfyllt
59	1	26	Uppfyllt
60	1	26	Uppfyllt
61	1	26	Uppfyllt
62	1	26	Uppfyllt
63	1	26	Inväntar färdigställt dokument
64	1	26	Uppfyllt
65	1	26	Uppfyllt
66	1	26	Inväntar färdigställt dokument

## 2 INLEDNING

Detta dokument beskriver de tester som förväntas utföras i projektet Realtids-MPC för Multivariabel Motorstyrning i kursen TSRT10 vid Linköpings Universitet. En plan för testerna och resultatet av gjorda tester presenteras här.

### 2.1 Varför test utförs

Tester i projektet utförs i syfte att inhämta och validera data och för att kontrollera att projektets kravspecifikation uppfylls.

### 2.2 När test ska utföras

Testerna kommer att utföras löpande under projektets gång, relaterat till projektet olika faser. Data till modeller kommer att inhämtas då den enskilda modellen anses vara mogen. De tester som utförs mot kravspecifikationen kommer att utföras löpande i enlighet med projektets utveckling och dess prioriteringsordning. Valideringstester genomförs när en full modell finns.

### 2.3 Hur ett test utförs

Tester i projektet planeras så att ett referensvärde kan användas för validering av modeller. Innan tester utförs på fysisk utrustning testas relevant modell i projektets simuleringsmiljö, för att undvika skador på utrustningen. Testerna beskrivs mer ingående i senare avsnitt i detta dokument.

## 3 TESTER AV KRAV

I detta avsnitt presenteras de tester som utförs för att kontrollera att projektets kravspecifikation uppfylls.

### 3.1 Trottel - Tester av krav

Inom avsnittet trottel tas tester för att uppfylla kravspecifikationen relaterat till trotteln.

Tester av krav specificerade i kravspecifikationen				
Testnummer	Version	Testtitel	Validering av krav nr.	Prioritet
1	0.1	Test av kompatibilitet med simuleringsmiljön	3, 8, 9, 23, 24, 25, 26, 29, 30	1
2	0.1	Test av prestanda	35, 36	1
3	0.1	Test av kompatibilitet med Motorcell	6, 7, 12	1
4	0.1	Test av förbättring gentemot tidigare års modell	10, 33	2
5	0.1	Test av simuleringsmiljöns UI	27	1
6	0.1	Test av motorcellens UI	28	3

Tabell 2: Tester av krav: Trottel

### 3.1.1 Test 1

En modell av trotteln ska utvecklas separat och därefter föras in i den existerande motormodellen. När modellen yttas, kontrolleras att den är väl kommenterad. Modellen testas genom att indata (steg i trottelvinkeln) skickas in i modellen. Kan modellen sedan producera den utdata som nästa steg kräver är testet godkänt.

### 3.1.2 Test 2

Testet genomförs genom att jämföra det uppmätta luftmass ödet med det modellerade. Om det modellerade ödet överensstämmer tillräckligt väl med det uppmätta är testet godkänt.

### 3.1.3 Test 3

Motormodellen med inkluderad trottellmodell ska kunna genereras till C++-kod och implementeras i motortestcellen.

### 3.1.4 Test 4

Modellens resultat från kravtesterna jämförs med tidigare års testprotokoll. Testet godkänns om en förbättring kan ses i jämförelsen.

### 3.1.5 Test 5

Simuleringssystemets run- I öppnas, önskade inställningar genomförs och körs (övriga ler är stängda). Detta ska initialisera simuleringssmiljön och simuleringen ska genomföras utan hinder för att testet ska godkännas.

### 3.1.6 Test 6

Det introducerade systemet i motorcellen ska kunna aktiveras utan djup kunskap om systemet. Testet godkänns om simuleringen i motormiljön enkelt aktiveras med önskade inställningar via UI.

## 3.2 VVT - Tester av krav

Inom avsnittet VVT beskrivs tester för att uppfylla kravspecifikationen relaterat till VVT:n

Tester av krav specificerade i kravspecifikationen				
Testnummer	Version	Testtitel	Validering av krav nr.	Prioritet
7	0.1	Test av kompatibilitet med simuleringssmiljön	3, 8,23,24,25,26,31,32,34	1
8	0.1	Test av prestanda	35,36	1
9	0.3	Test av kompatibilitet med Motorcell	6,7,12	3
10	0.1	Test av simuleringssmiljöns start-UI	27	1
11	0.3	Test av motorcellens UI	28	3

Tabell 3: Tester av krav: VVT



### 3.2.1 Test 7

En modell som representerar VVT ska utvecklas separat i Matlab/Simulink och därefter föras in i den existerande motormodellen. När modellen yttas kontrolleras att den är väl kommenterad. Modellen testas genom att indata skickas in i modellen. Kan modellen sedan producera den utdata som nästa steg kräver är testet godkänt.

### 3.2.2 Test 8

Testet genomförs genom att jämföra det uppmätta luftmass ödet med det modellerade. Om det modellerade ödet överensstämmer tillräckligt väl med det uppmätta är testet godkänt.

### 3.2.3 Test 9

Motormodellen med inkluderad VVT ska kunna genereras till C++-kod och implementeras i motortestcellen.

### 3.2.4 Test 10

Simuleringsystemet runfil öppnas, önskade inställningar genomförs och körs (övriga ler är stängda). Detta ska initialisera simuleringsmiljön och simuleringen ska genomföras utan hinder för att testet ska godkännas.

### 3.2.5 Test 11

Det introducerade systemet i motorcellen ska kunna aktiveras utan djup kunskap av systemet. Testet godkänns om simuleringen i motormiljön enkelt aktiveras med önskade inställningar via UI.

## 3.3 MPC - Tester av krav

Inom avsnittet MPC tas tester för att uppfylla kravspecifikationen relaterat till MPC:n

Tester av krav specificerade i kravspecifikationen				
Testnummer	Version	Testtitel	Validering av krav nr.	Prioritet
12	0.1	Test av kompatibilitet med simuleringsmiljön	1, 2, 3, 5, 11, 13, 14	1
13	0.1	Test av prestanda	19,37,38,39,40,41,42,43	1
14	0.1	Test av kodstandard	16	3
15	0.1	Test av referensföljning och stabilitet	15, 17, 21	2
16	0.1	Test med fel i aktuator	4, 18	1
17	0.1	Test av regulator med olika regulatorfrekvenser	20	1
18	0.3	Test av regulator i motortestcell	7, 12	3

Tabell 4: Tester av krav: MPC

### 3.3.1 Test 12

MPC-regulatorn körs i simuleringsmiljön tillsammans med de framtagna modellerna för trottell och VVT, och referensföljning kontrolleras. Testet godkänns om referensföljningen bedöms vara tillräckligt bra.

### 3.3.2 Test 13

Undersöker om det är stötfria övergångar i simuleringsmiljön. Utöver det ska det verifieras att det finns två olika reglervarianter, en för bränsleeffektiv körning och en som ger bra prestanda.

### 3.3.3 Test 14

Koden stukturläses och verifieras att den följer den standard som projektet har satt.

### 3.3.4 Test 15

Köra regulator med trottelt och VVT och plotta data för att kunna analysera stationärt fel, stabilitet och hur den hanterar trottelt och VVT.

### 3.3.5 Test 16

Den implementerade regulatorn testas i både simuleringsmiljö och i realtid då en aktuator signaleras som felaktig. Bivillkor för trasiga aktuatorer justeras och kontrolleras.

### 3.3.6 Test 17

Regulatorn testas med olika regulatorfrekvenser för att kontrollera hur snabbt den kan utföra varje iteration och att den kan uppdateras tillräckligt ofta.

### 3.3.7 Test 18

MPC-regulatorn implementeras i motortestcellen. Motorn ska därefter kunna köras med ett önskvärt beteende. Om de önskade referensvärdena överensstämmer tillräckligt väl med de uppmätta värdena är testet godkänt.

## 3.4 Optimeringslösare - Tester av krav

Inom avsnittet trottelt beskrivs tester för att uppfylla kravspecifikationen relaterat till optimeringslösaren

Tester av krav specificerade i kravspecifikationen				
Testnummer	Version	Testtitel	Validering av krav nr.	Prioritet
19	0.1	Test av optimeringslösaren	20	1
20	0.1	Test av alternativ optimeringslösning	22	3

Tabell 5: Tester av krav: Optimeringslösare

### 3.4.1 Test 19

Testet uppfylls om den implementerade optimeringslösaren, med framtagna målfunktioner, fungerar på ett testexempel.

### 3.4.2 Test 20

Testet godkänns om den alternativa optimeringslösaren fungerar som den ska jämfört med standard optimeringslösare.

### 3.5 Ekonomi, Säkerhet, Leveranser, Dokumentation - Tester av krav

Denna sektion hanterar de krav som finns på projektet administrativa avsnit, säkerhet och leveranser kopplat till kravspecifikationen. Dessa krav hanteras genom kontinuerlig eller slutlig kontroll eller genom personligt ansvar.

Tester av krav specificerade i kravspecifikationen				
Testnummer	Version	Testtitel	Validering av krav nr.	Prioritet
21	0.1	Ekonomi	44, 45, 46	1
22	0.1	Personlig säkerhet	47, 48	1
23	0.1	Test av regulator inför implementation i motorlab	49	1
24	0.1	Datasäkerhet	50	1
25	0.1	Leverans	51, 52, 53, 54, 55	1
26	0.1	Dokumentation	56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66	1

Tabell 6: Tester av krav: Optimeringslösare

#### 3.5.1 Test 21

Avsnittet ekonomi är uppfyllt om, efter utfört arbete, projektet genomförts inom tidsramarna.

#### 3.5.2 Test 22

Kravet på personlig säkerhet för deltagarna i projektet uppfylls om föreskrivna åtgärder följs under projektet. Ingen kontroll kommer genomföras.

#### 3.5.3 Test 23

Testet godkänns om test 12, 13 och 16 är uppfyllda.

#### 3.5.4 Test 24

Kravet godkänns om alla data ligger alltid på sina designerade platser med lösenordsskydd.

#### 3.5.5 Test 25

Om alla leveranser genomförs på bestämt tid godkänns denna testpunkt.

#### 3.5.6 Test 26

Om all dokumentation finns tillgänglig vid projektets slut godkänns denna testpunkt.

## 4 TESTER FÖR INHÄMTNING AV DATA

### 4.1 Trottel - Inhämtning av data

Tester för datainhämtning				
Testnummer	Version	Variabler	Modell	Prioritet
27	0.1	$A_{eff}(a_0, a_1, a_2)$	Trottel	1
28	0.1	$Q(k_1, k_2)$	Trottel (utökad)	2

Tabell 7: Tester för datainhämtning: Trottel

#### 4.1.1 Test 27

Modell: Modell presenteras i kapitel 2.2 i Designspecifikation [1].

Insignaler:  $a_{ref}$

Utsignaler:  $m_{at}$

Uppmätta värden:  $a_{ref}, m_{at}, p_{bef,thr}, T_{bef,thr}, p_{bef,thr}, P_{im}$

Kända konstanter:  $R, g$

Parametrar att ta fram:  $A_{eff}(a_0, a_1, a_2)$

Validering: Det framtagna luftmass ödet  $m_{at,model}$  plottas mot det uppmätta luftmass ödet  $m_{at}$ . Testet godkänns om grafen blir en tillräckligt rät linje.

#### 4.1.2 Test 28

Modell: Modell presenteras i kapitel 2.1 i Designspecifikation [1].

Insignaler:  $m_{at}$

Utsignaler:  $Q$

Uppmätta värden:  $m_{at}, T_{bef,thr}, T_{im}, p_{bef,thr}, P_{im}$

Kända konstanter:  $R, cv, V_{ICV}$ ,

Parametrar att ta fram:  $Q(k_1, k_2)$

Validering:  $Q$ -modellen tas fram som en förstgradsfunktion av mass ödet. Därefter plottas det uppmätta  $Q$  och det modellerade  $Q$ -värdet m.a.p mass ödet  $m_{at}$ . Stämmer den rätta linjen väl överens med mätpunkterna godkänns modellen.

### 4.2 VVT - Inhämtning av data

Tester för datainhämtning				
Testnummer	Version	Parametrar	Modell	Prioritet
29	0.2	$p_k, p_m$	VVT	1

Tabell 8: Tester för datainhämtning: VVT

## 4.2.1 Test 29

Insignaler:  $q_{IV}$ ,  $p_{im}$

Utsignaler:  $m_{air,IV}$

Uppmätta värden:  $m_{air,IV}$ ,  $p_{im}$

Konstanta parametrar:  $N_e$ ,  $q_{IV}$

Parametrar att ta fram:  $p_k$ ,  $p_m$

Validering: Det modellbaserade luftmass ödet in i cylindern  $m_{air,IV}$ , plottas mot det uppmätta luftmass ödet.

Testet godkänns om mätdata inte avviker för mycket från modellen.

## 5 TESTER FÖR VALIDERING

## 5.1 Trottel - Validering

Tester för Validering				
Testnummer	Version	Testtitel	Objekt	Prioritet
30	0.1	Trottel som delsystem	trottelmodell	1
31	0.1	Trottel i systemet	trottelmodell, simuleringsmiljö	1

Tabell 9: Tester för Validering: Trottel

## 5.1.1 Test 30

Delsystemet trottel testas genom att olika stationära mätvärden (kända in och ut-signaler) skickas in i modellen. Modellen kan godkännas om modellens utsignaler stämmer överens med dess kända mätvärden.

## 5.1.2 Test 31

Delsystemet trottel implementeras i motormodellen och testas genom att olika stationära mätvärden (kända in- och utsignaler) skickas in i modellen. Modellen kan godkännas om modellens utsignaler stämmer överens med dess kända mätvärden.

## 5.2 VVT - Validering

Tester för Validering				
Testnummer	Version	Testtitel	Objekt	Prioritet
32	0.1	VVT som delsystem	VVT modell	1
33	0.3	VVT i systemet	VVT modell, Simuleringsmiljö	1

Tabell 10: Tester för Validering: VVT

### 5.2.1 Test 32

Delsystemet VVT testas genom att olika stationära mätvärden (kända in- och utsignaler) skickas in i modellen. Modellen kan godkännas om modellens utsignaler stämmer tillfredställande överens med dess kända mätvärden.

### 5.2.2 Test 33

Delsystemet VVT implementeras i motormodellen och testas genom att olika stationära mätvärden (kända in- och utsignaler) skickas in i modellen. Modellen kan godkännas om modellens utsignaler stämmer överens med de uppmätta utsignalerna.

## 5.3 MPC - Validering

Tester för Validering				
Testnummer	Version	Testtitel	Objekt	Prioritet
34	0.1	Test av bivillkor	MPC-del i simulerings- miljö	1
35	0.1	Test av linjärisering av punkt och trajektorier med verklig data		1
36	0.3	Test av observatör		1

Tabell 11: Tester för Validering: MPC

### 5.3.1 Test 34

Delsystemet MPC testas genom att initiera simuleringsmodellen och kontrollera att bivillkoren uppfylls.

### 5.3.2 Test 35

Jämföra de linjäriserade punkterna med verklig data från testcellen.

### 5.3.3 Test 36

Testa och validera att observatören fungerar i simuleringsmiljön samt i motortestcellen.

## 5.4 Optimeringslösare - Validering

Tester för Validering				
Testnummer	Version	Testtitel	Objekt	Prioritet
37	0.1	Validering av optimeringslösare	Simuleringsmiljö	1

Tabell 12: Tester för Validering: Optimeringslösare

#### 5.4.1 Test 37

Optimeringslösarens funktionalitet testas och valideras mot ett simplare exempel.

## 6 TESTPROTOKOLL

Här presenteras resultat och utvärdering av tester. Presentationen görs i form av beskrivande text och figurer från testerna.

### 6.1 Testprotokoll - Tester av Krav

Här presenteras resultatet och utförandet av de tester som relaterar till kravspecifikationen och kapitel 3.

#### 6.1.1 Test 1

Test 1 utfördes genom att testköra den skapade modellen av trotteln självständigt i Simulink. I Figur 1 a visas referensföljningen i trottelvinkel som erhålls när en serie steg skickas in som referensvinkel och i Figur 1 b visas det erhållna trycket. Den kodade len för trottelmодellen har sedan lästs av en gruppmedlem som inte deltagit i trottelmодelleringen och godkänts. Filen har därefter med framgång kunnat kopplas ihop med MPC-modellen. Testet är därför godkänt.

(a) Trottelvinkel [-]

(b) Tryck [Pa]

Figur 1: Referensföljning i trottelmодellen

#### 6.1.2 Test 2

Test 2 utförs genom att i samma figur plotta uppmätt luftmass öde mot trottelvinkel och modellerat luftmass öde mot trottelvinkel. Resultatet visas i figur 2. Modellen stämmer väl överens med uppmätt data förutom vid låga och höga mass öden. Det uppmätta och det modellerade luftmass ödet bedöms stämma tillräckligt väl överens, och testet godkänns.



Figur 2: Modellerat och uppmätt mass öde plottat mot trottelvinkeln

### 6.1.3 Test 3

Motormodellen som del av kontrollsystemet kunde överföras till C++-kod och implementeras i motortestcellen, och systemet kunde sedan köras. Testet är därmed godkänt.

### 6.1.4 Test 4

De genomförda testerna och mätningarna på modellen av trotteln och insugsröret har jämförts med texten presenterad i föregående års testprotokoll. Då olika tester genomförts de olika åren är en analys inte gjord utan svårigheter. Det kan dock konstateras att en mer avancerad modell för insugsröret har kunnat skapas i årets projekt. Det statistiska felet från föregående år är också reducerat; förra året uppkom ett statistiskt fel i trycket som inte uppkommer här, vilket visas i [gur 3](#). Testet är godkänt.

Figur 3: Referenssteg i trycket och tryckets och trottelvinkelns beteende, med den enkla insugsrörsmodellen

### 6.1.5 Test 5

Den framtagna UI- len innehåller de önskade inställningarna och kan utan hinder köra simuleringen från en dator med Matlab installerat. Testet är därför godkänt.

### 6.1.6 Test 6

Regulatorn har inte kunnat och hunnits installeras och körts i motrtestcellen, därav är har detta test inte kunnat godkännas.

### 6.1.7 Test 7

Testet utfördes genom att skapa en modell som beskriver luftmass ödet från insugsröret till cylindrarna i Matlab/Simulink, som påverkas av kamfasvinkeln. Modellen bygger på insamlad data som gjorts i motortestlabbet. Figur 5 och 6 illustrerar ett dynamiskt test av modellen där det uppmätta och modellerade luftmass ödet plottas, samt kamfasvinkel för insuget. All kod har kommenterats så att personer som inte arbetat med detta tidigare kan förstå och sedan har modellen implementerats i be ntlig motormodell.

Figur 5: Dynamiskt test av modellen där kamfasvinkeln för insuget plottas.

Figur 6: Dynamiskt test av modellen där modellerat och uppmätt mass öde plottas.

### 6.1.8 Test 8

Test 8 utfördes genom att med be ntlig test-data från motorcellen användes för att parametersätta modellen för olika varvtal. När sedan modellen kördes med all indata erhöles modellens luftmass öde och jämfördes sedan med det uppmätta.

Figur 7: Validering av luftmass ödet för VVT-modellen mot uppmätt data för 1800 rpm.

#### 6.1.9 Test 9

Motormodellen som del av kontrollsystemet kunde överföras till C++-kod och implementeras i motortestcellen.

#### 6.1.10 Test 10

De framtagna UI- len innehåller de önskade inställningarna och kan utan hinder köra simuleringen. Testet är därför godkänt.

#### 6.1.11 Test 11

Regulatorn har inte kunnat installeras och körts i motortestcellen med UI, därav är har detta test inte kunnat godkännas.

#### 6.1.12 Test 12

Testet genomförs genom att MPC-regulatorn körs med både trottel- och VVT-modell i simuleringsmiljön, och referensföljning kontrolleras. Resultatet visas i gur 8, där övre delen visar trycket. Referenstrycket anses följas väl och testet godkänns.

Figur 8: MPC-situation i Simuleringsmiljön, inställd på att minimera VVT-användning.

MPC-regulatorn i simuleringsmiljön är i [gur 8](#) inställd på att minimera VVT-användning. Tryck visas i övre delen. VVT- och trottelloppning visas i nedre delen. VVT har en spik i slutet då den aktiveras för att uppfylla de satta kraven.

### 6.1.13 Test [13](#)

För att kontrollera att regulatorn har stötfria övergångar görs en körning med ändringar i referenssignalen. Eftersom övergångarna är mjuka utan skarpa överslängar godkänns den här delen av testet. För att kontrollera prestanda kontrolleras plottar från körning i motortestcellen. Det finns en reglervariant som ger bränsleeffektiv körning och en som ger bra prestanda, den delen av testet är godkänt. Körningen har inte kunnat gömföras med en likvärd körning i Motortestcell.

Figur 9: Kostnadsfunktion för att optimera performance i simuleringsmiljö. Testet gjordes med integralverkan, ej observatör, ej störningar och linjärisering efter trajektoria.

Figur 10: Kostnadsfunktion för att optimera bränsleeffektivitet i simuleringsmiljön. Testet gjordes med integralverkan, ingen observatör, inga störningar och med linjärisering efter trajektoria.

#### 6.1.14 Test 14

Koden bedöms hålla den standard som projektet har satt, vilket medför att testet är godkänt.

#### 6.1.15 Test 15

Regulatorn simulerades för olika referensnivåer på med trottelvinkel och VVT-vinkel som styrsignaler, och följande gur erhöles:

Figur 11: MIMO MPC med referenssteg  $p_{in}$

Från guren kan man se att regulatorn är stabil och följer referenssignalen utan stationärt fel. Testet är därför godkänt.

#### 6.1.16 Test 16

Då en aktuator signaleras som felaktig reagerar systemet genom att sätta VVT:ns styrsignal konstant. En jämförelse av styrsignalerna med och utan trasig aktuator visas i gur 12. Man ser hur VVT-styrsignalen i den vänstra guren fungerar som vanligt, och i den högra låser den sig vid 0. Systemet kan på detta sätt hantera att en aktuator är trasig, och testet godkänns.

(a) Ingen trasig aktuator

(b) Trasig aktuator

Figur 12: Grafer över styrsignalerna, där den övre är trottelsstyrningen och den undre är VVT-styrningen.

#### 6.1.17 Test 17

Regulatorn testas med olika regulatorfrekvenser för att kontrollera hur snabbt den kan utföra varje iteration och att den kan uppdateras tillräckligt ofta. I figur 13 visas plottar av insugstrycket då simuleringen körs med en samplingstid på 0.1 sekunder respektive 0.05 sekunder. Ingen större skillnad finns mellan de två graferna. Vid en sänkning av samplingstiden till 0.005 hinner inte simuleringen med, men en så stor förändring anses inte nödvändig för den att klara av och testet anses vara godkänt.

(a)  $T_s = 0.1$  (normalt)(b)  $T_s = 0.05$  (halverad)

Figur 13: Jämförelse av regulatorfrekvenser

#### 6.1.18 Test 18

Testet har genomförts genom att MPC-regulatorn implementeras i motortestcellen. Problemet med motortestcellen har däremot förhindrat att tester genomförts med önskvärdt resultat, därav är testet delvis godkänt.

### 6.1.19 Test 19

Vår optimeringslösaren (qpOASES) har implementerats på både de framtagna systemet och på ett alternativt exemplarsystem med framgång.

### 6.1.20 Test 20

Alternativ optimeringslösare har inte införts, och testet har därav ej utförts.

### 6.1.21 Test 21

Testet kan enbart delvis godkännas. Varje medlem i gruppen har uppnått 240 arbetstimmar under projektet och motortellen har förbrukats i under 80 timmar. Vi har däremot överstigit handledartiden 25 timmar, och är alla väldigt tacksamma för stödet Robin Holmbom givit oss under arbetet.

### 6.1.22 Test 22

Kravet på personlig säkerhet för deltagarna i projektet har uppfyllts och testet är godkänt.

### 6.1.23 Test 23

Regulatorn har testats i Simulink innan den implementerades i motortestcellen, och testet är därför godkänt.

### 6.1.24 Test 24

Projektets data har alltid funnits på sina designerade platser, och testet är därför godkänt.

### 6.1.25 Test 25

Alla leveranser i projektet har genomförts på bestämd tid, och testet är därför godkänt.

### 6.1.26 Test 26

All dokumentation i projektet finns tillgänglig vid projektets slut, och testet är därför godkänt.

## 6.2 Testprotokoll - Inhämtning av data

Här presenteras resultatet och utförandet av de tester som relaterar till parametrering av okända variabler.

### 6.2.1 Test 27

Parametrarna  $a_0$ ,  $a_1$  och  $a_2$  skattas med minsta kvadrat-metoden och valideras genom att plotta beräknat luftmass öde mot uppmätt luftmass öde. Testet godkänns om den plottade linjen är tillräckligt rät.

Figur 14: Modellerat mass öde plottat mot uppmätt massöde

Som bilden visar stämmer modellen väl med uppmätt data förutom vid mycket låga och mycket höga mass öden. Testet bedöms som godkänt.

#### 6.2.2 Test 28

Parametrarna  $k_1$  och  $k_2$  skattas med minsta kvadrat-metoden som en funktion av mass ödet. Valideringen genomförs genom att det modellerade värdet  $\hat{Q}$  och de uppmätta plottades med avseende på mass ödet, Figur 15.

Figur 15: Det modellerade värdet och det uppmätta värdet med avseende på mass ödet

Det finns en viss spridning på mätdatan med avseende på mass ödet, speciellt vid lägre öden. Modellen anses beskriva förhållandet på en acceptabel nivå, och testet godkänns.



### 6.2.3 Test 29

För att parametersätta modellen har betydlig data från motorlabbet används. Den insamlade datan bestod av körningar av motorn med konstant varvtal där kamfasvinkeln för insuget varierade mellan  $0^\circ$  och  $50^\circ$ , medan kamfasvinkeln för avgasventilerna hölls konstant till  $0^\circ$ . Detta upprepades för ett antal olika varvtal. De uppmätta värden som användes vid parametersättningen var följande: varvtal ( $n_{air,IV}$ ), insugstrycket ( $p_{im}$ ), avgastrycket ( $p_{em}$ ), kamfasvinkel ( $\alpha_{IV}$ ), mass ödet ( $m_{air,IV}$ ) och cylindervolymer då insugsventilen är stängd ( $V_{cd}$ ).

## 6.3 Testprotokoll - Valideringstester

Tester gjorda för att validera de framtagna modellerna och metoderna.

### 6.3.1 Test 30

Delsystemet `simple plant` validerades genom att skicka in konstanta mätvärden i systemet och jämföra utsignalerna med respektive mätvärde. Överensstämmelsen anses vara inom godkända marginaler, och testet är godkänt.

### 6.3.2 Test 31

Delsystemet implementerades i MPC-regulatorns interna modell `engine simple plant`. Valideringen utfördes genom att steg i referensvärdet på trottelvinkeln skickades in i systemet. Resultatet av testet visas i Figur 1, under Testprotokoll - Tester av Krav: Test 1. Figure 16 visar trottelmодellen som införts för testerna.

Figur 16: Delsystemet trottelt (simple plant) i Simulink

### 6.3.3 Test 32

Modellen för delsystemet VVT testades genom insättning av olika stationära mätvärden som insignal, för att sedan jämföra utsignalen mot det kända mätvärdet. I figur 17 illustreras hur mycket de modellerade värdena avviker från det uppmätta mass ödet för de olika kamfasvinklarna.

Figur 17: Jämförelse av modellerat och uppmätt värde för mass ödes ( $\dot{v}$ ).

#### 6.3.4 Test 32

Ej utfört.

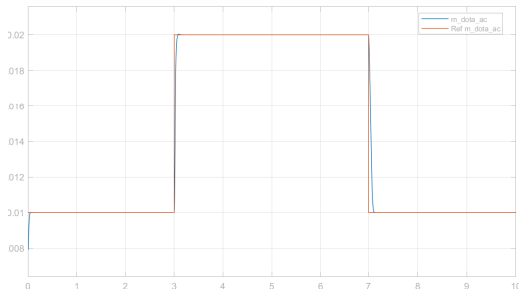
#### 6.3.5 Test 34

Delsystemet MPC testas genom att initiera simuleringsmodellen och försäkra att bivillkoren uppfylls. I gur 18 visas att bivillkoren uppfylls eftersom styrsignalerna håller sig inom sina givna intervall. Testet är därför godkänt.

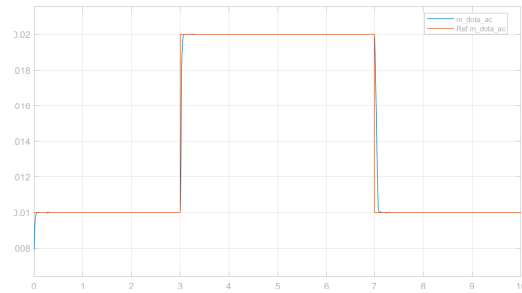
Figur 18: Kontroll av styrsignalerna  $\alpha_{ef}$  och  $\theta_{ef}$

#### 6.3.6 Test 35

De olika linjäriseringsmetoderna studeras i Simuleringsmiljön och presenteras i Figur 19, 20 & 21. Båda linjäriseringsmetoderna ger en likande mass ödes-dynamik, men olika beteenden i tillstånden.

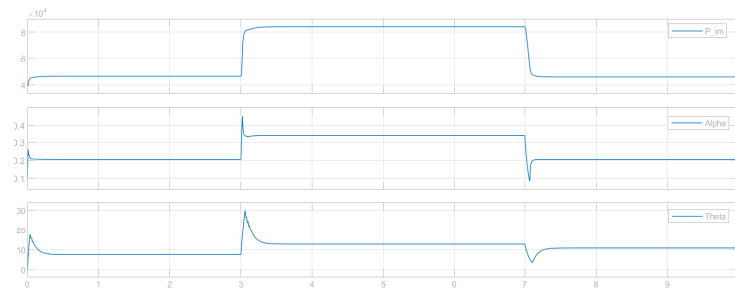


(a) Linjärisering med arbetspunkt

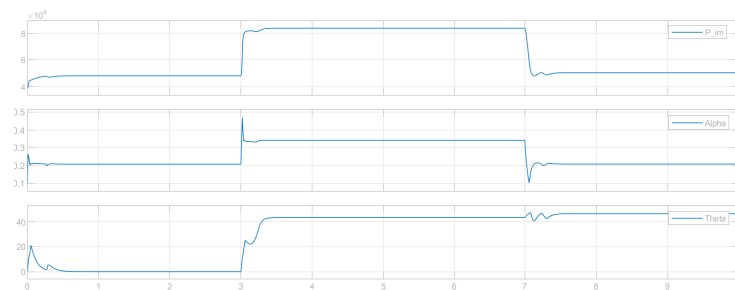


(b) Linjärisering med trajektorier

Figur 19: Simulering av masflödet i Simuleringsmiljön



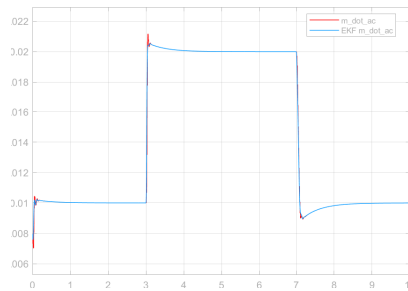
Figur 20: Linjärisering med arbetspunkt



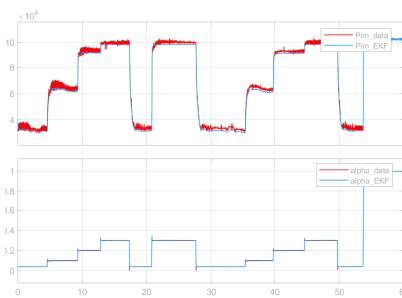
Figur 21: Linjärisering med trajektorier

### 6.3.7 Test 36

Testa och validera att observatören har gjorts i simuleringsmiljön med artificiellt brus, se Figur 22, med godkänt resultat. Observatören testades även med mätdata från testcellen, se figur 23, med godkänt resultat.



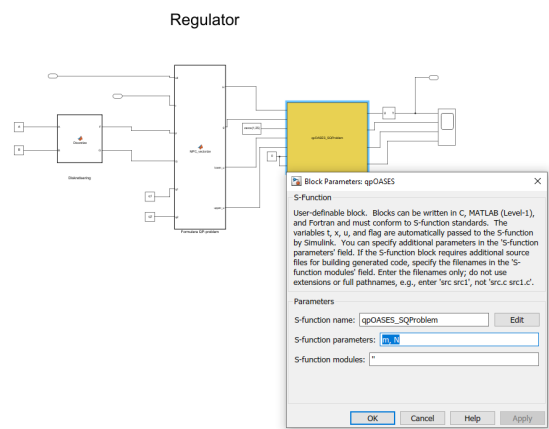
Figur 22: I Simuleringsmiljö: Inställningar: EKF på, Integral på, linjärisering efter trajektoria, performance som kostnadsfunktion.



Figur 23: Observatör i simuleringsmiljö med mätdata från testcell.

### 6.3.8 Test 37

Optimeringslösarens funktionalitet testas och valideras mot ett simplare exempel. Robin Holmbloms exempelmodell av MPC utnyttjades här, optimeringslösaren byttes ut mot den vi skapat. Figurerna illustrerar hur vi lyckas optimera den blå signalen mot dess reference två som önskat. Därmed är detta test godkänt.



Figur 24: Bevis att det är den egenframtagna optimeringslösaren som används i Holmbloms exempel.



**Figur 25:** Kontroll av styrsignalerna  $\alpha_{ref}$  och  $\theta_{ref}$