



Kravspecifikation

Redaktör Björn Kleman

4 december 2020

Version 0.3



Status

Granskad	Robin Holmbom	
Godkänd	Lars Eriksson	



Projektidentitet

Grupp E-post: fabsu408@student.liu.se

Hemsida: TBD

Beställare: Lars Eriksson, Linköpings universitet
Tfn: 013-28 44 09
E-post: 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

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

Projektdeltagare

Namn	Ansvar	E-post
Fabian Sund	Projektledare	fabsu408@student.liu.se
Josef Aziz	Mjukvaruansvarig	josz558@student.liu.se
Fuad Hanic	Komponentansvarig (Kamfasning)	fuaha830@student.liu.se
Johnny Josefsson	Informationsansvarig	johjo321@student.liu.se
Sanna Renius	Komponentansvarig (Trottel)	sanre362@student.liu.se
Henrik Holmberg	Mjukvaruansvarig	henho614@student.liu.se
Björn Kleman	Dokumentansvarig	bjokl139@student.liu.se
Jesper Rylander	Designansvarig	jesry572@student.liu.se
Gustav Mann	Kvalitetsansvarig	gusma709@student.liu.se
Henrik Lindgren	Testansvarig	henli430@student.liu.se



INNEHÅLL

1	Inledning	1
1.1	Definitioner av krav	1
1.2	Prioritet	1
1.3	Parter	1
1.4	Syfte och mål	1
1.5	Användning	2
1.6	Bakgrundsinformation	2
1.7	Definitioner	2
2	Översikt av systemet	2
2.1	Grov beskrivning av produkten	3
2.2	Produktkomponenter	3
2.3	Beroenden till andra system	3
2.4	Ingående delsystem	4
2.5	Avgränsningar	4
2.6	Generella krav på hela systemet	4
3	Reglersystem	4
3.1	Gränssnitt	5
3.2	Designkrav	5
3.3	Funktionella krav	5
4	Simuleringsmiljön	6
4.1	Inledande beskrivning	6
4.2	Externa gränssnitt	6
4.3	Designkrav	6
4.4	Funktionella krav	7
5	Prestandakrav	7
6	Ekonomi	8
7	Krav på säkerhet	8
8	Leveranskrav och delleranser	9
9	Dokumentation	9



DOKUMENTHISTORIK

Version	Datum	Utförda ändringar	Utförda av	Granskad
0.1	2020-09-16	Första versionen	Projektgruppen	RH
0.2	2020-09-23	Andra versionen: uppdaterad utifrån handledarens kommentarer	Projektgruppen	BK
0.3	2020-09-24	Korrekktioner gjorda efter kommentarer och restlista från BP2	Projektgruppen	FS
0.4	2020-11-17	Uppdatering av krav 27 och 28 efter överenskommelse med Lars Eriksson	Fabian Sund	FS



1 INLEDNING

Kravspecifikationen omfattar kraven för ett projekt där realtids-MPC för multivariabel motorstyrning behandlas. Målet med projektet är att implementera en realtids-MPC som ska styra trotteln och kamfasningen på en motor från Volvo Cars.

1.1 Definitioner av krav

Enligt nedstående mall ska kraven för projektet definieras, som består av *Krav*, *Version*, *Beskrivning* och *Prioritet*.

Krav	Version	Beskrivning	Prioritet
1	0.1	Krav som ska uppfyllas.	1

1.2 Prioritet

Alla krav kommer att prioriteras på en skala från ett till tre.

1. *Grundkrav*, skall uppfyllas.
2. *Extra krav*, skall uppfyllas då grundkraven är uppfyllda och är möjliga att utföra inom tidsramen.
3. *Krav på framtida utvecklingar*, om krav med högre prioritet är uppfyllda.

1.3 Parter

Kund: Fredrik Wemmert, Volvo Cars Corporation

Beställare: Lars Eriksson, Fordonssystem

Kontaktperson hos beställare: Lars Eriksson / Robin Holmbom

Examinator: Daniel Axehill

Projektgrupp

Tekniska resurser: - Teknisk hjälp utifrån.

1.4 Syfte och mål

Syftet med detta projekt är att undersöka och demonstrera hur en multivariabel modellbaserad reglering i realtid kan användas inom motorstyrning med flera aktuatorer. Detta ska göras i simuleringsmiljö och även implementeras på en motortestcell. Detta görs genom att ta fram tillstånden som är nödvändiga för denna regulator och även formulera ett optimeringsproblem. Projektets mål är att ta fram en MPC-regulator som kan styra kamfasningen av insugsventilen och trotteln. Denna regulator ska dessutom kunna hantera fall då en aktuator inte fungerar som den ska. När detta mål har lyckats i simuleringsmiljö ska det testas på motortestcellen.



1.5 Användning

Produkten ska användas för att testa konceptet av multivariabel modellbaserad reglering på en motortestcell på fordonssystem vid Linköpings Universitet. Detta ska utföras i syfte att utveckla kunskapen om dessa regulatorer i förbränningsmotorer, både på Linköpings universitet och på Volvo Cars.

1.6 Bakgrundsinformation

Kravspecifikationen är ett obligatoriskt moment för projektetkursen TSRT10 vid ISY (Institutionen för Systemteknik), Linköpings universitet. Varje student tilldelas ett projekt utifrån ett valformulär och grupper till projekten bildades. Projektet går över höstterminen där ISY bistår med handledare och övrig kompetens, lokaler, laborationsutrustning etc.

Detta projekt bygger på tidigare års projekt, där man förra året undersökte motorstyrning med realtids-MPC. Projektgruppen lyckades implementera realtidsregulatorn i testlabbet men kunde endast styra trotteln som styrde insugstrycket. De hann dessutom påbörja modellering av kamfasningen. Målet med årets projekt är att arbeta vidare på förra årets projekt, samt att modellera och reglera kamfasningen i syfte att få en flervariabel regulator.

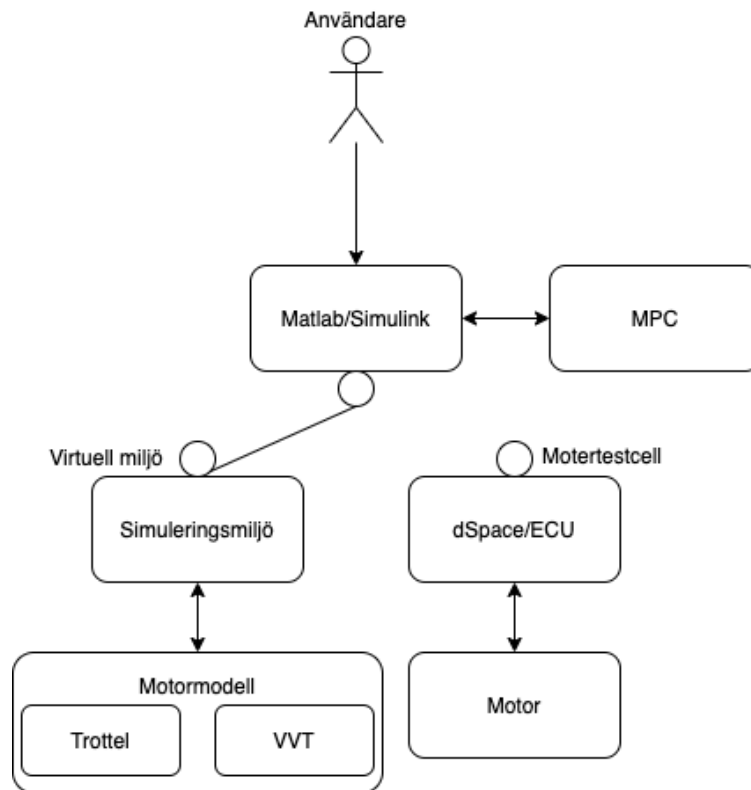
MPC har ett brett tillämpningsområde och är en allt vanligare regulator i industrin. Tanken är att regulatorn ska användas vid utveckling av förbränningsmotorer då det idag ställs ständigt ökande emissionskrav för att effektivisera bränsleförbrukningen.

1.7 Definitioner

MPC	Modellbaserad prediktionsreglering
Motortestcellen	Motor som Linköpings Universitet gör tillgänglig för projektgruppen
dSpace	Länk mellan simulinkmodell och motortestcell
VVT	Variabel insugskamfasning
SISO	System med en insignal och en utsignal
MIMO	System med multipla insignaler och utsignaler
ECU	Realtidsstyrenhet
GUI	Grafiskt användargränssnitt

2 ÖVERSIKT AV SYSTEMET

Systemet som kommer att användas för implementation av realtids-MPC för multivariabel motorstyrning består av en simulering av motormodellen i Matlab/Simulink, ett reglersystem samt ett styrsystem som kan koppla motormodellen till en motortestcell (dSpace). Reglersystemet ska kunna hantera trotteln och kamfasning av insugsventiler. I figur 1 visas en översikt av systemet.



Figur 1: En översikt av systemet

2.1 Grov beskrivning av produkten

Systemet består av en Matlab/Simulink-modell som med hjälp av en MPC-regulator kan reglera vinkeln på trotteln och kamfasning av insugsventiler i realtid. Modellen ska kunna användas i en simulerad miljö genom en motormodell i Simulink och kunna kopplas till en motortestcell.

2.2 Produktkomponenter

Den färdiga produkten bör innehålla ett regelsystem med en regleringsalgoritm som grundar sig på modellbaserad prediktionsreglering (MPC) baserat på tillhörande modeller för motorn med ingående trotteln och insugskamfasning. Produkten ska även hantera det fall att en aktuator är trasig. Utöver detta ska teknisk dokumentation, en projektfilm, en poster som beskriver projektet samt en projekthemsida levereras.

2.3 Beroenden till andra system

För att testa systemet i realtid krävs en styrenhet i motortestlabbet bestående av dSpace och en ECU som kopplar modellen till motortestcellen.



2.4 Ingående delsystem

Det finns tre delsystem i projektet:

1. Olinjär motormodell med MPC-regulator.
2. Motortestcell med ECU.
3. Simuleringsmiljö med motormodell.

Det första delsystemet utgår från en MPC-regulator som linjäriserar den olinjära motormodellen. Det andra delsystemet innefattar implementation av nödvändig funktionalitet i dSpace. Det tredje och sista delsystemet består av en utvecklad simuleringsmiljö i Simulink där regulator och motormodell kan simuleras.

2.5 Avgränsningar

Detta projekt kommer att rikta in sig på att producera en MPC-regulator för trotteln och VVT. Resterande delar av motorn kommer inte att undersökas under projektet.

2.6 Generella krav på hela systemet

Tabellen nedan innehåller de generella kraven som ställs på hela systemet.

Krav	Version	Beskrivning	Prioritet
1	0.1	Produkten ska innehålla en multivariabel (MIMO) regulator för styrning av trotteln och VVT.	1
2	0.2	Produkten skall innehålla en MPC som styr aktuator för trotteln respektive VVT	1
3	0.2	Tillståndsbeskrivning för systemet ska tas fram.	1
4	0.1	Produkten ska hantera fall då en aktuator är trasig	1
5	0.1	Regulatorn ska implementeras i en simuleringsmiljö.	1
6	0.1	Regulatorn ska implementeras i motortestcellens ECU	1
7	0.1	Regulatorn ska utvärderas på fordonsystemets motortestcell	1
8	0.1	Nödvändig data för modellbygget ska samlas in	1
9	0.3	Tidigare års trottelnmodell ska undersökas	1
10	0.3	Förbättra tidigare års trottelnmodell	2

3 REGLERSYSTEM

Reglersystemet innehåller alla regulatorer för reglering av åtminstone trotteln och insugskamfasning. En multivariabel (MIMO) MPC ska vara den huvudsakliga regulatorn för systemet. Reglersystemet ska hantera fall där en aktuator är



trasig. De framtagna regulatorerna ska tas fram och testas med lämpliga simuleringar i simuleringsmiljö och sedan implementeras och testas i motortestcell.

3.1 Gränssnitt

Tabellen nedan innehåller de gränssnittskrav som ställs på reglersystemet.

Krav	Version	Beskrivning	Prioritet
11	0.1	Reglersystemet ska kunna simuleras med modellen för motorn i simuleringsmiljön utvecklad i MATLAB/Simulink	1
12	0.1	Reglersystemet ska implementeras och utvärderas i realtid i motortestcellen.	1

3.2 Designkrav

Tabellen nedan innehåller de designkrav som ställs på reglersystemet.

Krav	Version	Beskrivning	Prioritet
13	0.2	En variant av MPC-regulator ska implementeras på någon del av motormodellen ska tas fram	1
14	0.1	En MIMO-MPC ska tas fram	1
15	0.3	MPC-regulatorn ska ha kunna följa en given referens utan stationärt fel	2
16	0.1	Kod för regulatorn ska vara skriven i enlighet med Googles kodstandard.	3

3.3 Funktionella krav

Tabellen nedan innehåller de funktionella krav som ställs på reglersystemet.

Krav	Version	Beskrivning	Prioritet
17	0.2	MPC-regulatorn ska kunna reglera momentet med hjälp av aktuatorerna (trottel och VVT)	1
18	0.1	Reglersystemet ska hantera fall där en aktuator är trasig	1
19	0.1	Reglersystemet ska ha stötfria övergångar	1
20	0.2	Optimeringsproblemet ska kunna lösas av regulatorn och testas med flera regulatorfrekvenser	1

forts. på nästa sida



forts. från föregående sida			
Krav	Version	Beskrivning	Prioritet
21	0.1	Reglersystemet ska vara stabilt kring linjariseringspunkten	1
22	0.3	Byta ut optimeringslösare qpOASES till Axehills variant	3

4 SIMULERINGSMILJÖN

En simuleringsmiljö ska utvecklas i MATLAB/Simulink. I det här kapitlet beskrivs vilka krav denna simuleringsmiljö ska uppfylla.

4.1 Inledande beskrivning

Utveckling och validering av reglersystemet sker i en virtuellt uppbyggd simuleringsmiljö. Simuleringsmiljön används för att undvika höga driftkostnader och eventuella risker vid felreglering under utvecklingen. Simuleringsmiljön ska utvecklas i MATLAB/Simulink och baseras på uppdaterade modeller för förbränningsmotorn från tidigare års projekt. Bland dessa modeller ingår trottell, och en modell för insugskamfasning ska tas fram av årets projektgrupp.

4.2 Externa gränssnitt

Tabell 6 innehåller de externa gränssnittskrav som ställs på simuleringsmiljön.

Krav	Version	Beskrivning	Prioritet
23	0.1	Alla framtagna modeller ska implementeras på den befintliga motormodellen	1
24	0.1	Reglersystemet ska implementeras i simuleringsmiljön	1

4.3 Designkrav

Tabellen nedan innehåller de designkrav som ställs på simuleringsmiljön.

Krav	Version	Beskrivning	Prioritet
25	0.1	Alla modeller ska skapas och implementeras i MATLAB/Simulink	1
26	0.1	Alla modeller ska vara kommenterade	1
27	0.4	Simuleringsmiljön ska kunna starta med ett användarvänligt UI som säkerhetsställer att alla filer finns tillgängliga på användningsdatorn	1

forts. på nästa sida



forts. från föregående sida			
Krav	Version	Beskrivning	Prioritet
28	0.4	Motortestcellen ska kunna starta med ett användarvänligt UI som säkerhetsställer att alla filer finns tillgängliga på användningsdatorn	1

4.4 Funktionella krav

Tabellen nedan innehåller de funktionella krav som ställs på simuleringsmiljön.

Krav	Version	Beskrivning	Prioritet
29	0.2	Det ska finnas en modell som beskriver trotteln position	1
30	0.2	Det ska finnas en modell som beskriver luftmassflödet genom trotteln	1
31	0.2	Det ska finnas en modell som beskriver VVT positionen	1
32	0.2	Det ska finnas en modell som beskriver luftmassflödet från insugsrör till cylinder	1
33	0.2	Det ska finnas en modell som beskriver temperaturen i insugsröret	2
34	0.1	Modellerna ska baseras på insamlad data från motortestcellen	1

5 PRESTANDAKRAV

Det framtagna reglersystemet ska kunna implementeras på en verklig motor som en användare styr. Därför finns det krav på att beteendet av systemet upplevs bekvämt för användaren utifrån dess input. För att uppnå tillfredsställande reglering av motorn ställs krav på modellen och reglersystemets prestanda.

Tabellen nedan innehåller de prestandakrav som ställs på reglersystemet.

Krav	Version	Beskrivning	Prioritet
35	0.2	Modellens uppskattade luftmassflöde ska inom $\pm 10\%$ stämma överens med uppmätt luftmassflöde i testcellen	2
36	0.2	Modellens uppskattade luftmassflöde ska inom $\pm 5\%$ stämma överens med uppmätt luftmassflöde i testcellen	3
37	0.2	Det statistiska felet på stegsvaret för luftmassflöde ska ej överstrida $\pm 10\%$	1
38	0.2	Det statistiska felet på stegsvaret för luftmassflöde ska ej överstrida $\pm 5\%$	2

forts. på nästa sida



forts. från föregående sida			
Krav	Version	Beskrivning	Prioritet
39	0.3	Stegsvar för trotteln position ska vara insvängd med $\pm 10\%$ statistiskt fel inom 2 sekunder	1
40	0.3	Stegsvar för trotteln position ska vara insvängd med $\pm 5\%$ statistiskt fel inom 2 sekunder	2
41	0.3	Stegsvar för kamfasningens position ska vara insvängd med $\pm 10\%$ statistiskt fel inom 2 sekunder	1
42	0.3	Stegsvar för kamfasningens position ska vara insvängd med $\pm 5\%$ statistiskt fel inom 2 sekunder	2
43	0.1	Två inställningar på regulatorm, varav ett läge som är bränsleeffektivt och ett annat som ger hög prestanda	1

6 EKONOMI

Med de ekonomiska tillgångarna avses den tid som projektets medlemmar har att avsätta till projektet, samt den tid som tillhandahålls i form av stöd från handledare och tillgänglig tid i motorcell. Vidare tillkommer specifik hårdvara, mjukvara och dataresurser.

Tabellen nedan innehåller de ekonomiska begränsningar som finns för projektet.

Krav	Version	Beskrivning	Prioritet
44	0.1	Varje projektmedlem ska ägna 240 timmar åt projektet	1
45	0.2	Motortestcellen får användas max 80 timmar	1
46	0.2	Handledningstiden får inte överskrida 25 timmar	1

7 KRAV PÅ SÄKERHET

Tabellen nedan innehåller krav på säkerhet under arbetets gång.

Krav	Version	Beskrivning	Prioritet
47	0.1	Projektgruppen ska följa Folkhälsomyndighetens rekommendationer angående Covid19-pandemin	1
48	0.1	Vid arbete i motorlabb ska en ansvarig anställd alltid vara närvarande	1

forts. på nästa sida



forts. från föregående sida			
Krav	Version	Beskrivning	Prioritet
49	0.1	Alla regulatorer ska ha testats i simuleringsmiljön innan de implementeras på befintlig motor	1
50	0.1	All hantering av sekretessbelagd data från Volvo ska ske via GitLab och får ej spridas vidare	1

8 LEVERANSKRAV OCH DELLEVERANSER

Projektet kommer att genomföra ett antal leveranser enligt nedan.

Krav	Version	Beskrivning	Prioritet
51	0.1	BP2: Kravspecifikation, projektplan, presentation av utkast till designspecifikation och en verbal beskrivning av systemet ska levereras	1
52	0.1	BP3: Designspecifikation och testplan ska levereras	1
53	0.1	BP5: All funktionalitet, testprotokoll, användarhandledning och presentation där det visas att kraven i kravspecifikationen är uppfyllda ska levereras	1
54	0.1	BP6: Teknisk rapport, posterpresentation, hemsida, projektfilm och efterstudie ska levereras	1
55	0.1	Varje vecka ska tids- och statusrapporter lämnas till beställaren	1

9 DOKUMENTATION

Tabellen nedan listar de dokument som ska produceras under projektets gång.

Krav	Version	Beskrivning	Prioritet
56	0.1	LIPS-mallar ska användas för projektets dokument	1
57	0.1	Projektplan ska finnas	1
58	0.1	Kravspecifikation ska finnas	1
59	0.1	Designspecifikation ska finnas	1
60	0.1	Mötesprotokoll ska finnas	1
61	0.1	Tidsplan ska finnas	1
62	0.1	Testplan ska finnas	1
63	0.1	Teknisk dokumentation ska finnas	1

forts. på nästa sida



<i>forts. från föregående sida</i>			
Krav	Version	Beskrivning	Prioritet
64	0.1	Användarhandledning ska finnas	1
65	0.1	Tidsekonomisk dokumentation ska finnas	1
66	0.1	Efterstudie ska finnas	1



Dokument	Språk	Syfte	Målgrupp	Format
Projektplan	Svenska	Plan av hur projektet ska fortskrida från start till slut.	Projektgruppen Beställare	PDF
Kravspecifikation	Svenska	Beskrivning av de krav projektet ska uppfylla.	Projektgruppen Beställare	PDF
Designspecifikation	Svenska	Beskrivning av hur projektets delmoment ska designas.	Projektgruppen Beställare	PDF
Mötesprotokoll	Svenska	Kontinuerlig dokumentation av arbetet.	Projektgruppen	PDF
Teknisk dokumentation	Svenska	Teknisk beskrivning av projektet.	Projektgruppen Beställare kund	PDF
Efterstudie	Svenska	Utvärdering av arbetsprocessen.	Projektgruppen	PDF