

TSFS05 – Fordonssystem – Fö 2

Medelvärdesmodellering forts.

Lars Eriksson - Kursansvarig
Per Öberg - Vikarierande föreläsare

Fordonssystem, Institutionen för Systemteknik
Linköpings universitet
laxer@isy.liu.se

August 23, 2011

Repetition

Trottefflöde

Medelvärdesmodellering

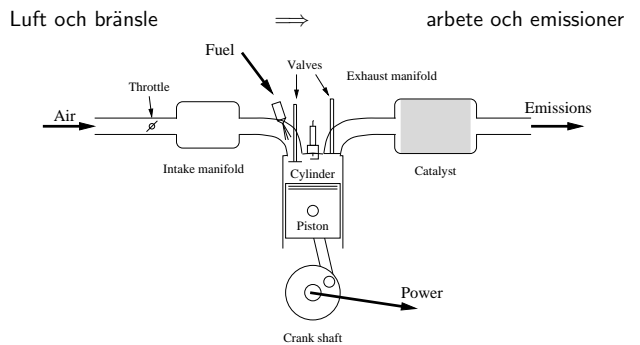
Medelvärdesmodellering bränslets väg

Modellering och parameterbestämning

Vilka är de viktigaste egenskaperna för ett fordon?

- ▶ effektivt arbete = låg bränsleförbrukning
- ▶ låga emissioner = god miljö
- ▶ körbarhet
- ▶ säkerhet

En viktig bild



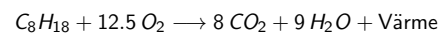
Vad är luft?

Constituent	Symbol	Molar mass	Volume [%]	Mass [%]
Oxygen	O ₂	31.999	20.95	23.14
Nitrogen	N ₂	28.013	78.09	75.53
Argon	Ar	39.948	0.93	1.28
Carbon dioxide	CO ₂	44.010	0.03	0.05
Neon	Ne			
Helium	He			
⋮				

Bränsle

Fuel	Carbon	Hydrogen	Sulphur
100-octane petrol	85.1	14.9	0.01
Motor petrol	85.5	14.4	0.1
Diesel oil	86.3	13.6	0.9

Kemisk energi till termisk energi (värme)



Energivärde för ett bränsle:

q_{HHV} – Higher heating value (vattnet i vätskeform *kondensering*)

q_{LHV} – Lower heating value (vattnet i gasform)

Isooktan C₈H₁₈ – ett vanligt referensbränsle

$q_{HHV} = 47.8$ [MJ/kg]

$q_{LHV} = 44.3$ [MJ/kg]

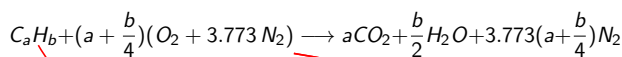
En enkel modell

- ▶ Syre är syre.
- ▶ Allt annat är atmosfärsiskt kväve.

$$\text{Air} = O_2 + 3.773 N_2$$

Förbränning och stökiometri

- ▶ Perfekt förbränning av ett kolväte



- ▶ Stökiometriskt luft/bränsle-förhållande

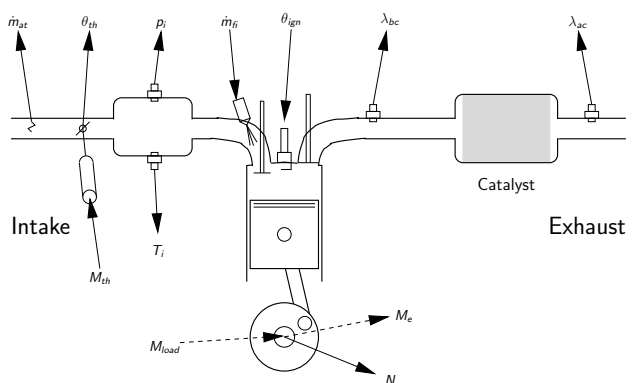
$$(A/F) = \frac{m_a}{m_f} \text{ och } (A/F)_s = \frac{(a + \frac{b}{4})(2 \cdot 16.00 + 3.773 \cdot 2 \cdot 14.007)}{12.01 a + 1.008 b}$$

- ▶ Normaliserat luft/bränsle-förhållande

$$\lambda = \frac{(A/F)}{(A/F)_s} \text{ och } \phi = \frac{1}{\lambda}$$

Medelvärdesmodellering - Ett sensor/aktuator perspektiv

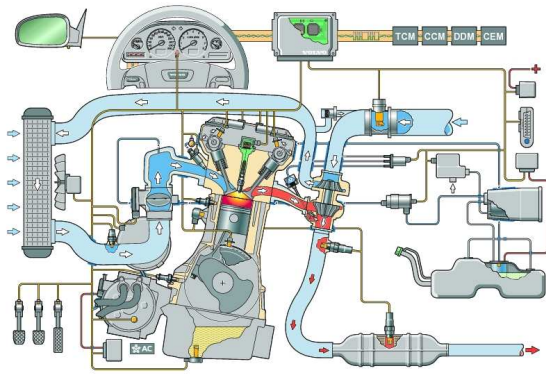
Samband mellan aktuator och sensorer samt sensorer inbördes.



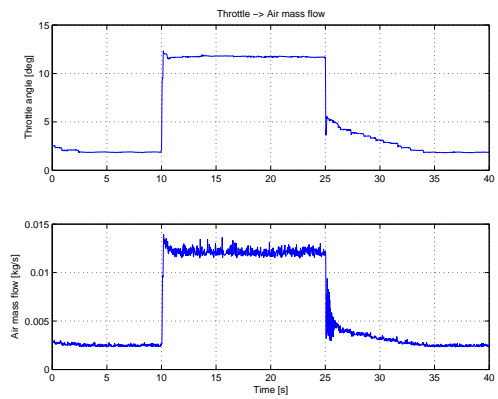
Frigjord värme och en enkel modell

$$Q = \min(\lambda, 1) \cdot m_f \cdot q_{LHV}$$

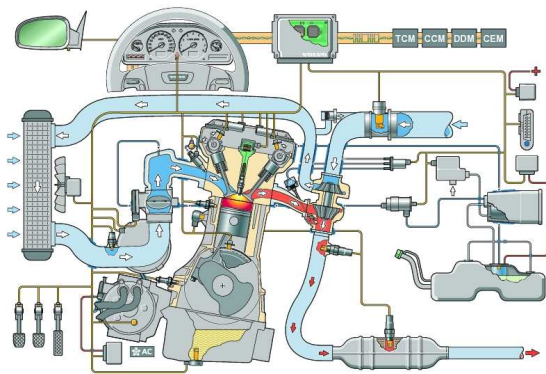
Stegsvar: Trottelt → Luftmassflöde



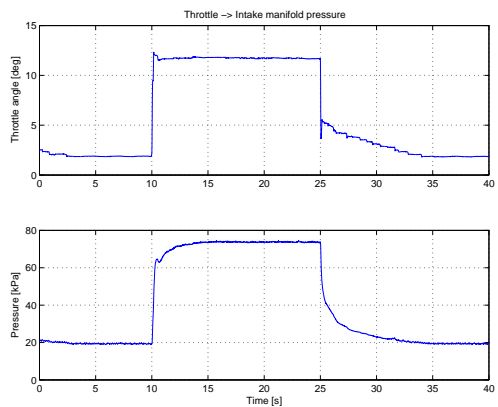
Stegsvar: Throttle → Luftmassflöde



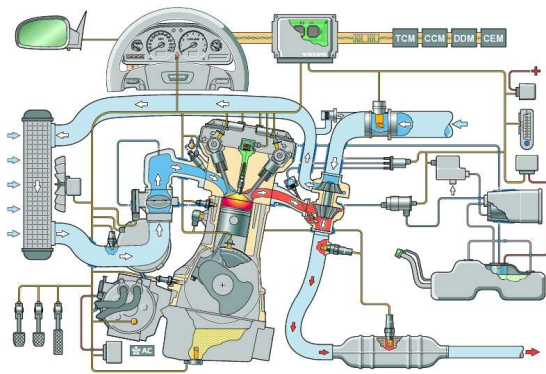
Stegsvar: Trottelt → Insugstryck



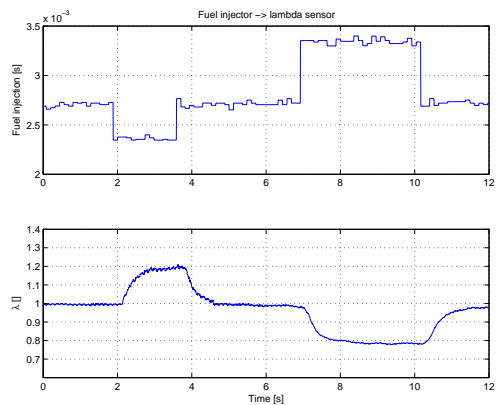
Stegsvar: Trottelt → Insugstryck



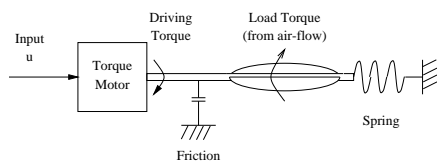
Stegsvar: Bränsleinjektor → Lambda sensor



Stegsvar: Bränsleinjektor → Lambda sensor



Modell 1: Trottelt rörelse



Modell 2: Trottelt med trotteltregulator

Drivande moment, $M_{th} \Rightarrow$ Trotteltvinkel, α
 Rörelsedynamik, DC-motor med återföringsfjäder (Newtons 2a lag)

$$\frac{d^2\alpha}{dt^2} + a \frac{d\alpha}{dt} = b \cdot (M_{th} - M_{air}) - c \cdot (\alpha - \alpha_0)$$

Modellering av M_{air} är inte lätt (montering och aerodynamic)

Användning: Reglerdesign av trottelt servo.

$$\alpha = G_{th}(s)\alpha_{ref}$$

Behövs en dynamisk modell?

$$G_{th} = \frac{1}{sT_{th} + 1}$$

Behövs en andra ordningens modell?

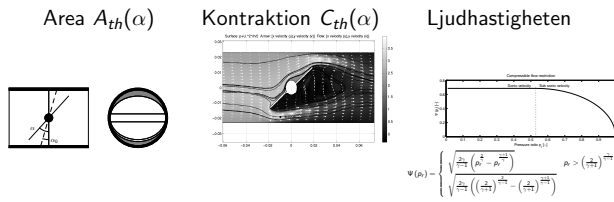
Kärnfrågor vid modellering:

–Vad skall modellen användas till?

–Vilken noggrannhet behövs?

Kompressibel isentropisk strömning genom en strypning.

$$\dot{m}_{at} = \frac{p_a}{\sqrt{RT_a}} \cdot A_{th}(\alpha) \cdot C_{th}(\alpha) \cdot \Psi(p_r)$$



Regulator för luftflödet och trottelt.

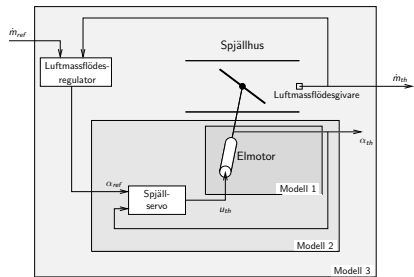
$$\dot{m}_{at} = G_{at}(s)\dot{m}_{at,ref}$$

Statiskt eller dynamiskt system?

$$G_{at}(s) = \frac{1}{s\tau_{at} + 1}$$

Andra ordningens system?

Sammanfattning av modellen, förslag till Projekt 1



Innehållsförteckning

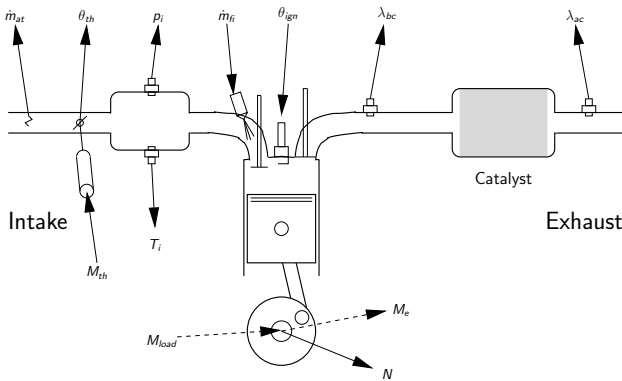
- Repetition
- Medelvärdesmodellering
 - Massflöde till cylinder
 - Tryckkuppbyggnads dynamik
 - Simulering
 - Insugsrörsmodell – Validering
- Medelvärdesmodellering bränslets väg
- Modellering och parameterbestämning

Fyra modeller (tre numererade):

- Modell 1: Trotteltörelse $u_{th} \rightarrow \alpha$
- Modell 2: Trottelservo $\alpha_{ref} \rightarrow \alpha$
- Luftmassflöde: $A(\alpha) \rightarrow \dot{m}_{at}$
- Modell 3: Luftmassflödesregulator: $\dot{m}_{at,ref} \rightarrow \dot{m}_{at}$

Medelvärdesmodellering - Massflöde till motor

Motorgeometri – Kort ordlista



Beteckning	Engelska	Svenska
V_d	Displacement volume	Sveptvolym (motorvolym)
V_c	Clearance volume	Kompressionsvolym
B	Bore	Borring
S	Stroke	Slag
l	Connecting rod length	Vevstakslängd
a	Crank radius	Vevaxelradie
θ	Crank angle	Vevaxelvinkel

Insugsrör – Fyllnadsgrad

Insugsrör – Luftflöde

Fyllnadsgrad = volumetric efficiency

$$\eta_{vol} = \frac{\text{volymflöde in i motor}}{\text{svept volym per tidsenhet}} = \frac{\frac{\dot{m}_{ac}}{\rho_a}}{\frac{V_d n_{cyl} N}{n_r}} = \frac{\dot{m}_{ac} n_r}{\rho_a V_d n_{cyl} N}$$

Modellen för luftflödet till cylindrarna

$$\dot{m}_{ac}(N, p_i, \rho_a) = \eta_{vol}(N, p_i) \frac{\rho_a V_d n_{cyl} N}{n_r}$$

densiteten från ideala gaslagen $\rho = \frac{m}{V} = \frac{p}{RT}$

$$\dot{m}_{ac}(N, p_i, T_i) = \eta_{vol}(N, p_i) \frac{p_i V_d n_{cyl} N}{R T_i n_r}$$

$\eta_{vol}(N, p_i)$ "mappas" upp i bromsbänk

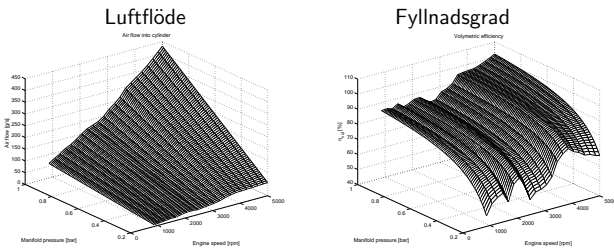
Beskriver motorns förmåga att suga in ny luft

- ▶ "Mappas" upp i bromsbänk $\eta_{vol}(N, p_i)$
 - ▶ Inkluderas som en delmodell i en större modell
- Ett exempel:

$$\eta_{vol}(N, p_i) = c_0 + c_1 N + c_2 p_i + c_3 N p_i + \dots$$

parametrarna c_i bestäms från mätdata med minstakvadratmetoden

Insugsrör – Luftflöde – Mappar



$$\dot{m}_{ac}(N, p_i) \propto \eta_{vol}(N, p_i) \frac{N p_i}{T_i}$$

Vi kan ju mäta \dot{m}_{ac} , så varför gå omvägen via $\eta_{vol}(N, p_i)$?

- Flödet beror på var vi "kör" men det gör inte effektiviteten.
- Modellen skall klara av andra omgivningstryck/temperaturer!

Simulering – Ordinära differentialekvationer

Linjära system	Olinjära system
$\frac{dx(t)}{dt} = Ax(t) + Bu(t)$	$\frac{dx(t)}{dt} = f(x(t), u(t))$
$y(t) = Cx(t) + Du(t)$	$y(t) = g(x(t), u(t))$

Känner $f(x, u)$, $g(x, u)$, $u(t)$, samt $x(t_0)$. Vad blir $x(t)$?
Söker lösningen $x(t)$ for $t \in [t_0, t_{end}]$

$$\int_{t_0}^t \frac{dx(\tau)}{d\tau} d\tau = x(t) - x(t_0)$$

$$x(t) = x(t_0) + \int_{t_0}^t f(x(\tau), u(\tau)) d\tau$$

Implementering i Simulink: $\int u(t) dt = \frac{1}{s} u(t)$
Numeriska lösningsmetoder (Euler, Runge-Kutta, Adams, ...)

Insugsrör – Tryckupbyggnad

Insugsrör – Kontrollvolym med massbevarande

- Massförändring

$$\frac{dm}{dt} = \dot{m}_{at} - \dot{m}_{ac}$$

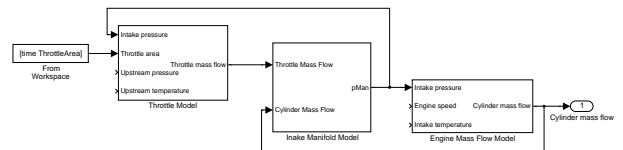
- Tillståndsekvation – ideala gaslagen

$$p_i = \frac{m R T_i}{V_i}$$

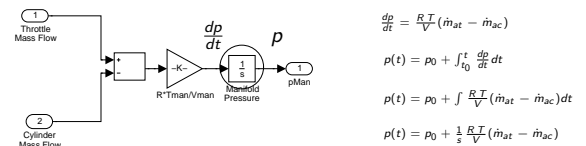
- Antar att R , T_i och V_i är konstanta

$$\frac{dp_i}{dt} = \frac{R T_i}{V_i} \frac{dm}{dt} = \frac{R T_i}{V_i} (\dot{m}_{at} - \dot{m}_{ac})$$

Implementering av tryckupbyggnad



ODE för tryckdynamiken i insugsröret



$$\frac{dp}{dt} = \frac{R T}{V} (\dot{m}_{at} - \dot{m}_{ac})$$

$$p(t) = p_0 + \int_{t_0}^t \frac{dp}{dt} dt$$

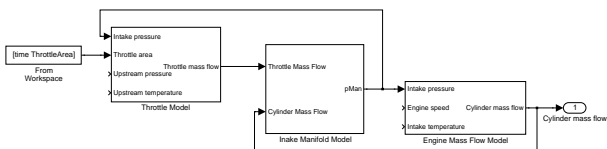
$$p(t) = p_0 + \int \frac{R T}{V} (\dot{m}_{at} - \dot{m}_{ac}) dt$$

$$p(t) = p_0 + \frac{1}{s} \frac{R T}{V} (\dot{m}_{at} - \dot{m}_{ac})$$

Specifera initialtillståndet $p_0 = p(t_0)$ i $\frac{1}{s}$

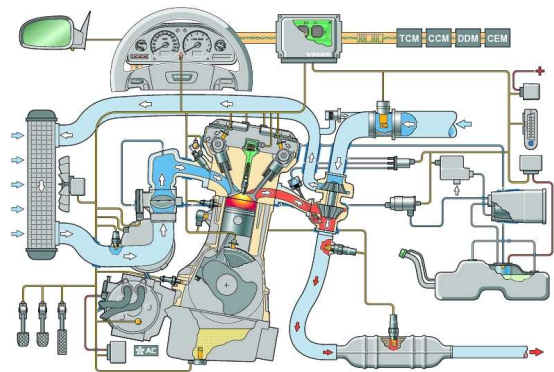
Insugsrör – Modellvalidering

- Validering – Jämföra modell och verklighet (mätning)



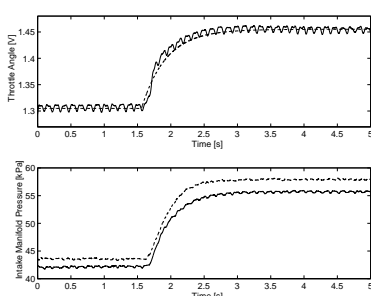
- Koppla in uppmätta signaler till modellen
- Simulera \Rightarrow Utsignal
- Jämför simuleringresultatet med mätningen

Insugsrörmodell – Validering

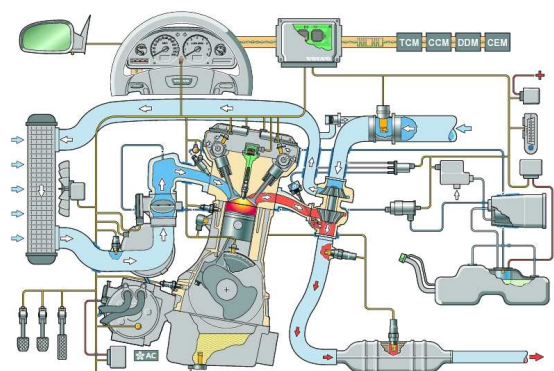


Insugsrör – Modellvalidering

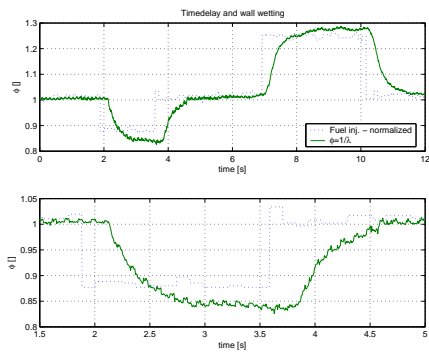
Trottel, insugsrör, fyllnadsgradmodell



Bränslets väg

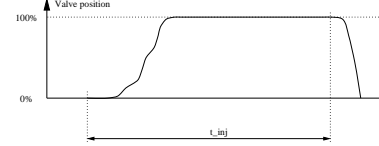


Modelleringsuppgift



Bränsleinjektor

► Injektorn öppnas av en puls



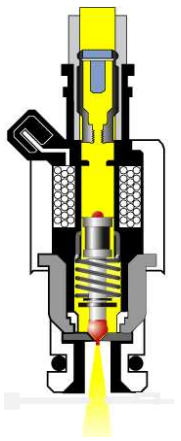
► Sammanslagen öppnings- och stängningstid t_0 .

► Injicerad massa

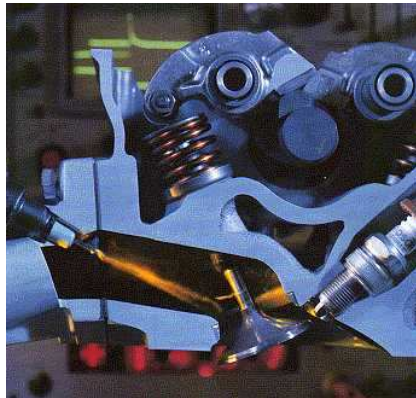
$$m_{fi} = c \sqrt{\Delta p} (t_{inj} - t_0(u_{batt}))$$

► Bränsleflöde

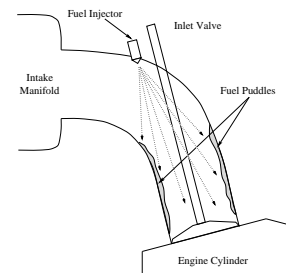
$$\dot{m}_{fi} = \frac{N n_{cyl}}{n_r} m_{fi} = N c_1 (t_{inj} - t_0(u_{batt}))$$



Bränsleflöde – Bränslefilm



Bränsleflöde – Bränslefilm



En del $(1 - X)$ går direkt in i cylindern.

En del X träffar väggarna och fastnar i en bränslefilm. Bränslet avdunstar från filmen med en tidskonstant τ_{fp} och går slutligen in i cylindern.

(A/F) – Transportfördröjning och sensordynamik

In till cylinder

$$\lambda(t) = \frac{\dot{m}_{ac}(t)}{\dot{m}_{ic}(t)} \frac{1}{(A/F)_s}$$

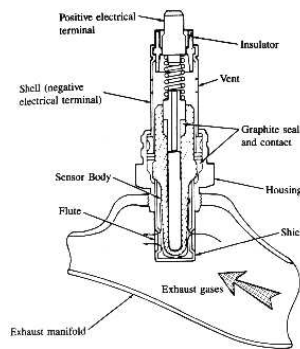
Tidsfördröjning, $\tau_d(N)$

$$\lambda_{exh}(t) = \lambda(t - \tau_d(N))$$

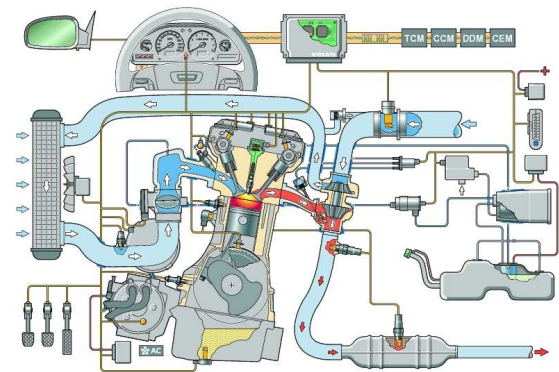
Sensordynamik

$$\frac{d}{dt} \lambda_s(t) = \frac{1}{\tau_\lambda} (\lambda_{exh}(t) - \lambda_s(t))$$

$$\frac{d}{dt} \lambda_s(t) = \frac{1}{\tau_\lambda} (\lambda(t - \tau_d(N)) - \lambda_s(t))$$

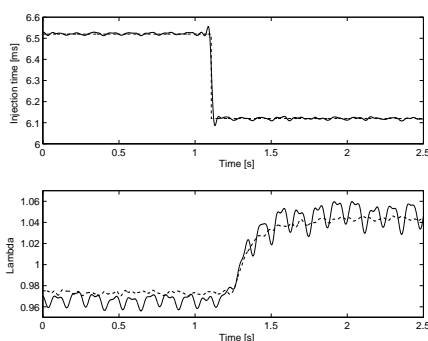


Bränslets väg – Validering

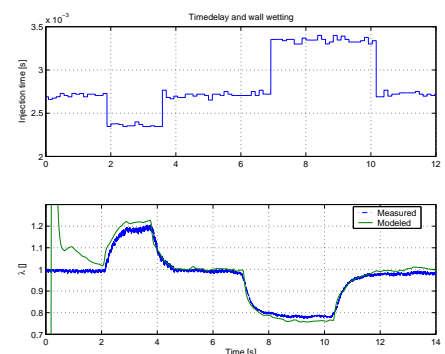


(A/F) – Modellvalidering

Injektor, väggvätning, tidsfördröjning och sensordynamik.



(A/F) – Modellvalidering (en annan motor)



–Glöm inte bort att sätta initialvärden!

Repetition

Medelvärdesmodellering

Medelvärdesmodellering bränslets väg

Modellering och parameterbestämning

Hur kan man bestämma modellparametrar?

- ▶ Fysik och grundläggande principer.
- ▶ Givet i datablad från tillverkaren.
- ▶ Stegsvarexperiment (se laborationskompendiet).
 - ▶ Uppmätta insignaler in till modellen, jämför modellutsignal och uppmätt utsignal.
 - Manuell tuning
 - Systematisk optimering, minstakvadrat

Repetition

Trotteflöde

Medelvärdesmodellering

Massflöde till cylinder

Tryckuppbyggnads dynamik

Simulering

Insugsrörsmodell – Validering

Medelvärdesmodellering bränslets väg

Bränsleinjektor

Bränsledynamik – Bränslefilm

Bränslets väg – Validering

Modellering och parameterbestämning