

TSFS05 – Fordonssystem – Fö 10

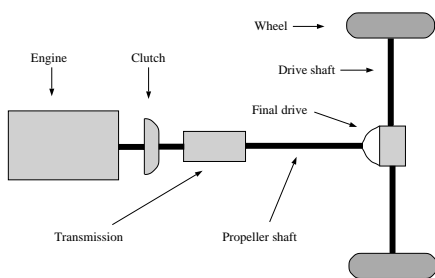
Motor – MVEM och Turbo

Lars Eriksson - Kursansvarig

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

November 9, 2011

Drivlina



Drivlina – Reglering

Överföringsfunktion och analys mha rotort illustrerar principerna

Hastighetsreglering

–Motorvarvtal

–Hjulvarvtal

Momentreglering

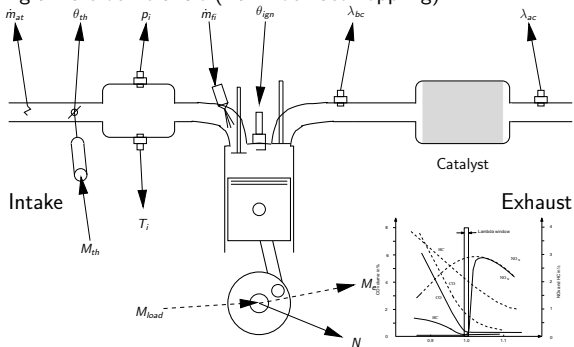
–Växlingsreglering

Motor – Repetition

Medelvärdesmodellering

Inomcykelmodeller: pV-diagram, Momentmodellen

Reglering av luft och bränsle (fram- och återkoppling)



Innehållsförteckning

Repetition drivlina

Drivlina – Repetition

Motor – Repetition

Motor – MVEM forts.

Motor – Överladdning och nedskalning

Drivlina – Modellering

Stelkroppsmodellen

–Tillståndsval: $\dot{\theta}_w$

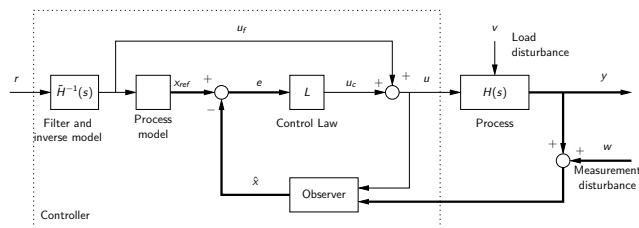
–Användningsområden: Kopplar motor till väglast

Drivlina med en elasticitet och två massor

–Tillståndsval: $\dot{\theta}_w$, θ_m och $\frac{\theta_s}{T} - \theta_w$

–Användningsområden: Hastighets- och momentreglering.

Model-Based Control

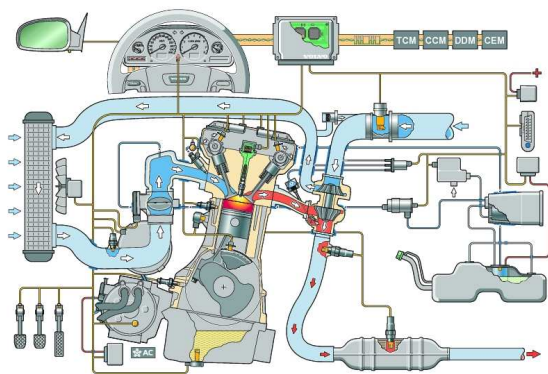


Innehållsförteckning

Repetition drivlina

Motor – MVEM forts.

Motor – Överladdning och nedskalning



Repetition – viktiga storheter

- ▶ Tryck p
- ▶ Massflöde \dot{m}
- ▶ (Temperatur T)

Metodik = Söndra och hänska

Kontrollvolym – Restriktion – Kontrollvolym – Restriktion – ...

- ▶ Volymerna i rör – Kontrollvolymer
Mass- & energi-bevarande
Diffekvationer: $\frac{dm}{dt} = \dot{m}_{in}(\cdot) - \dot{m}_{out}(\cdot) \Rightarrow \frac{dp}{dt} = \dots$
- ▶ Komponenter som styr flödet – Restriktioner eller pumpar
Mass- & energi-transport
Statiska ekvationer: $\dot{m}_{in}(\cdot) = f(\Delta p, \dots)$

Modeller för massflöden

Olika modeller beroende på flödeskaraktäristik.

- ▶ Är flödet turbulent eller laminärt?

$$Re = \frac{\rho U d}{\mu} = / \text{ pipe flow } / = \frac{\rho \dot{m} d}{\rho A \mu} = \frac{4 \dot{m}}{\pi d \mu}$$

$Re > 5000$ flödet är turbulent
 $Re < 2000$ flödet är laminärt

- ▶ Med vilken hastighet strömmar gasen?

$U < 70$ m/s inkompressibelt flöde
 $U > 70$ m/s kompressibelt flöde

- ▶ De flesta flöden i motorer är:

- turbulenta
- inkompressibla

- ▶ Vissa reglerventiler kräver kompressibla flödesmodeller

Inkompressibelt flöde

- ▶ Laminärt flöde

$$\Delta p = C_{lam} \frac{R T_{us}}{\rho_{us}} \dot{m} \iff \dot{m} = \frac{1}{C_{lam}} \frac{\rho_{us}}{R T_{us}} \Delta p$$

där C_{lam} är en komponentkonstant och $\frac{R T_{us}}{\rho_{us}}$ beskriver inloppsdensiteten.

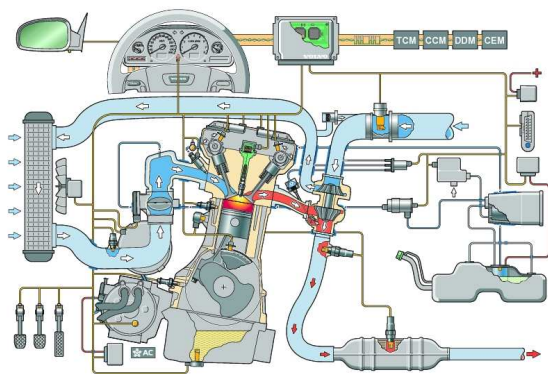
- ▶ Turbulent flöde

$$\Delta p = C_1 \rho_{us} U^2 = C_2 \frac{R T_{us}}{\rho_{us}} \dot{m}^2$$

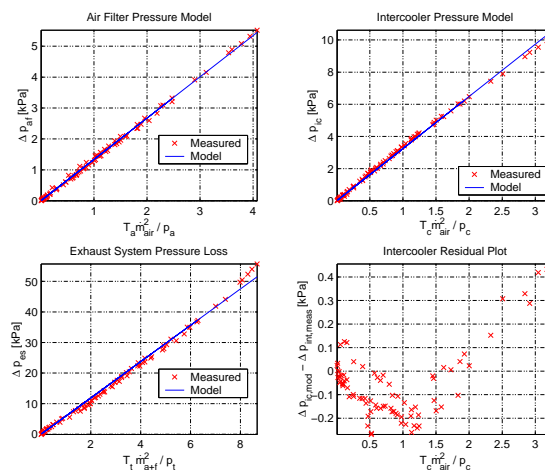
$$\dot{m} = C_3 \sqrt{\frac{\rho_{us} \Delta p}{R T_{us}}}$$

- ▶ Båda innehåller densitets "korrektion" $\rho_{us} = \frac{R T_{us}}{p_{us}}$

Inkopr. – Intercooler, luftfilter och avgassystem



Validering – Intercooler, luftfilter och avgassystem



Kompressibelt flöde

Kompressibel isentropisk strömning genom en strypning

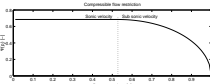
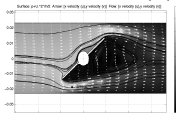
$$\dot{m}_{at} = \frac{p_a}{\sqrt{RT_a}} \cdot A_{th}(\alpha) \cdot C_{th}(\alpha) \cdot \Psi(p_r)$$

Ett exempel: Trotteln

Area $A_{th}(\alpha)$

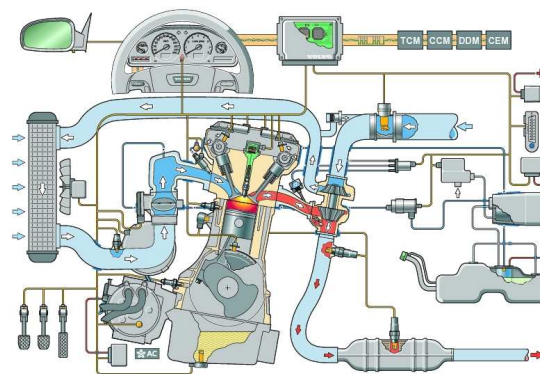
Kontraktion $C_{th}(\alpha)$

Ljudhastigheten



$$\Psi(p_r) = \begin{cases} \sqrt{\frac{2}{\gamma} \left(\frac{p_r}{p_a} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - \left(\frac{p_r}{p_a} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}} & p_r > \left(\frac{2}{\gamma+1} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} \\ \sqrt{\frac{2}{\gamma} \left(\left(\frac{2}{\gamma+1} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} - \left(\frac{p_r}{p_a} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} \right)} & p_r < \left(\frac{2}{\gamma+1} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} \end{cases}$$

Kompressibelt flöde – Trottell och andra styrventiler



Flödesrestriktionsmodell enligt ovan
 Temperaturmodell baserad på effektivitet

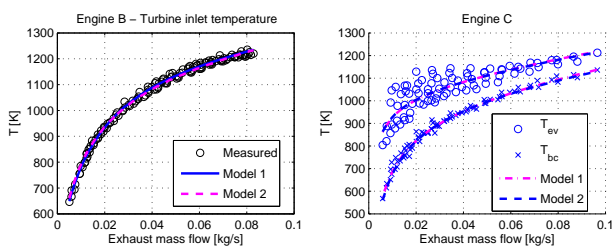
$$\varepsilon_{ic} = \frac{T_c - T_{ic}}{T_c - T_{cool}}$$

–Bestäm $\varepsilon_{ic}(\dot{m}_{ic}, T_{cool}, \dot{m}_{cool}, \dots)$ från motormapp.
 –Använd modellen

$$T_{ic} = T_c - \varepsilon_{ic}(\dots)(T_c - T_{cool})$$

Avgastemperatur – Statisk modell – Validering

Temperaturen – starkt massflödesberoende



Modelleringsprinciper

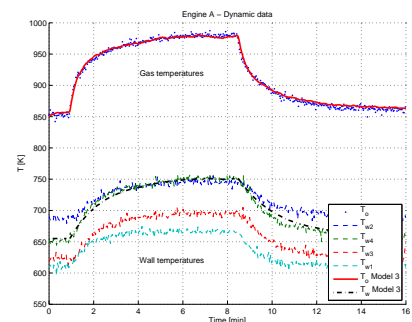
- ▶ Överbliven energi från den termodynamiska cykeln.
- ▶ Värmeöverföring från avgasrör, turbin och katalysator till omgivningen.

Omfattande material i kompendiet

- ▶ Huvudbudskap:
 –Det finns modeller!

Avgastemperatur – Dynamisk modell – Validering

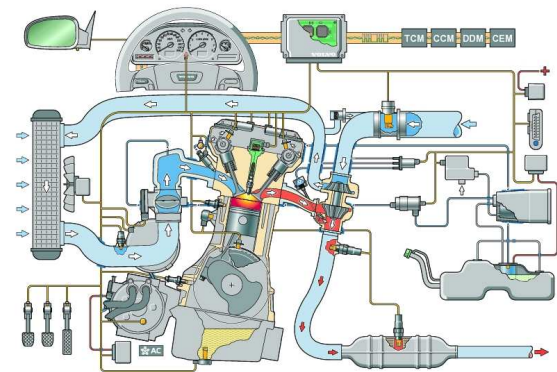
Dynamik: Gas (0.2s) - Sensor (2s) - Väggtemperatur (200s)



Innehållsförteckning

- Repetition drivlina
- Motor – MVEM forts.
- Motor – Överladdning och nedskalning

Grundläggande om turbo



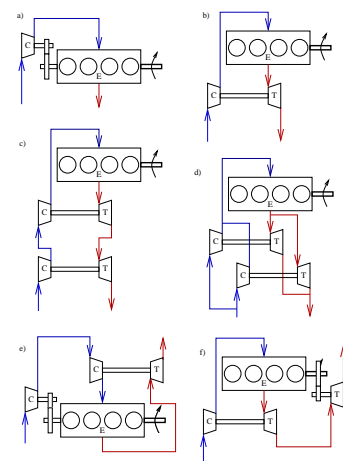
Överladdning – Supercharging

Definition – Från kompendiet

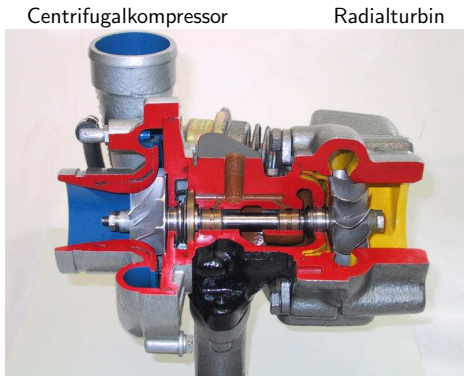
“Supercharging is the collected name for several methods that increase the intake air density, i.e. methods that charges extra air to the cylinder, and one particular method is called turbocharging.”

Metoder för överladdning

- Mekanisk överladdning
- Turboladdning
- Tvåstegs turbo, seriell
- Tvåstegs turbo, parallell
- Motordriven kompressor
- Turboladdning med turbocompound



Ett turboaggregat

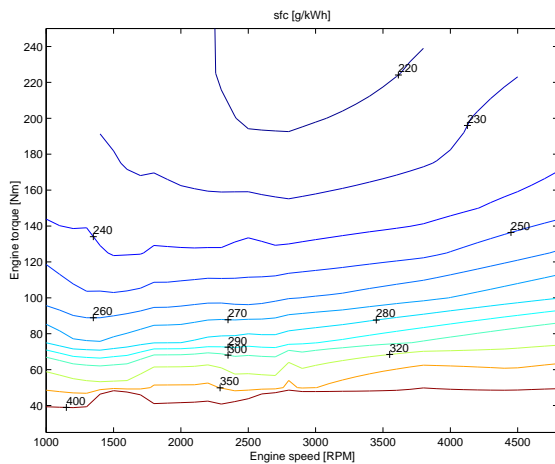


Nedskalning och överladdning

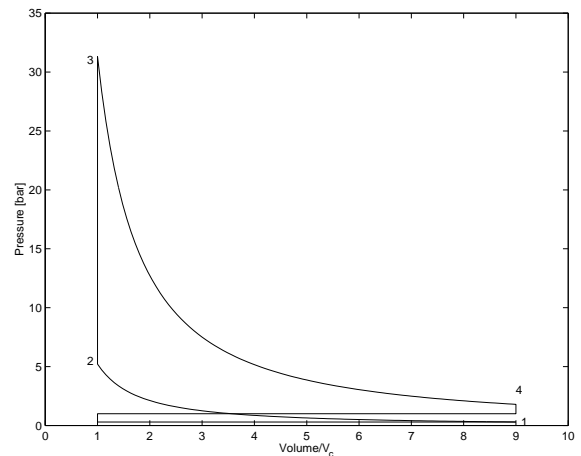
Betrakta ett fordon som kan utrustas med två olika motorer.

- ▶ Varför ger en stor motor högre bränsleförbrukning än en liten?
- ▶ Svaret ligger i att motorn alltid körs på dellast.

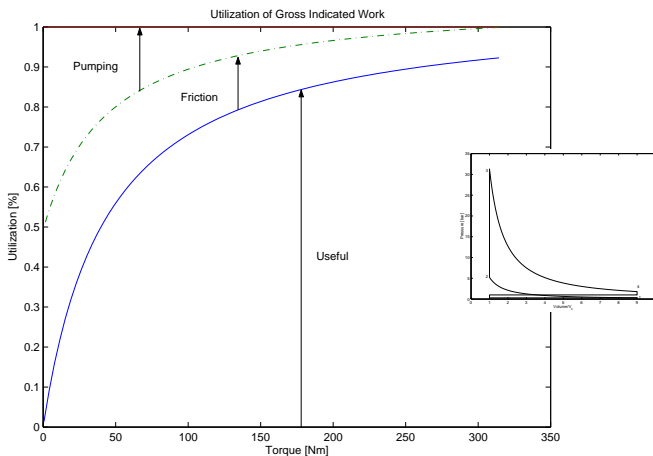
Nedskalning – Dellastförluster



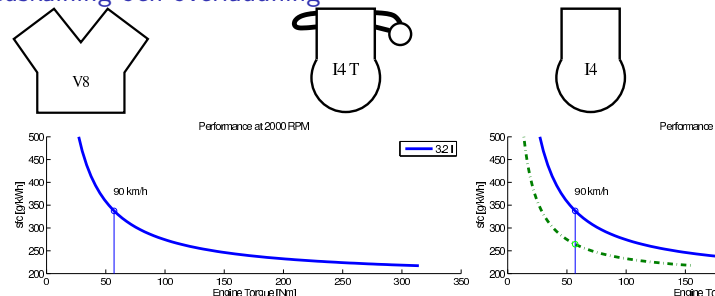
Hur utnyttjas bruttoarbetet?



Hur utnyttjas bruttoarbetet (i en 3.2 liters motor)?

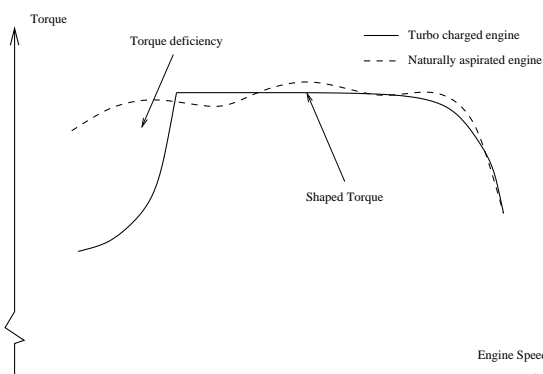


Nedskalning och överladdning

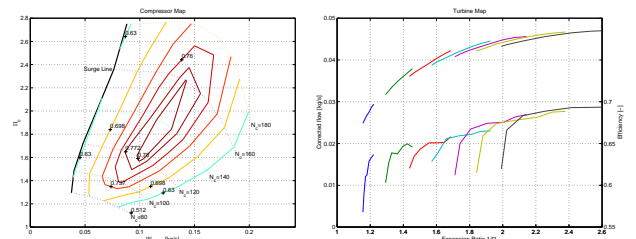


- ▶ Bränsleförbrukning som funktion av last.
- ▶ Mindre motor, 1.6 liter, är mer effektiv ...
 - ▶ ... men mindre roligt att köra.
- ▶ Turboladdning av 1.6 liters motorn.
 - ▶ förbättrad bränsleförbrukning utan förlorad accelerationsprestanda.
 - ▶ turbofördröjning, och liten effektivitetsförlust.

Turboladdning och momentkaraktäristik



Kompressor- och turbinprestanda – Mapper

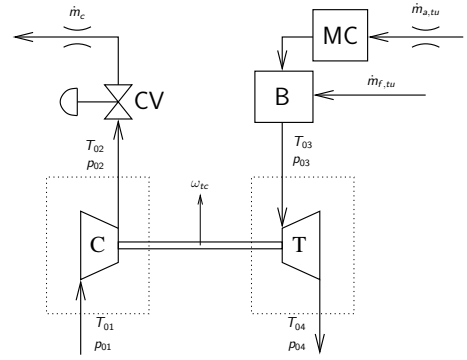


- Pressure ratio $\Pi_c = \frac{p_{02}}{p_{01}}$ Expansion ratio $\frac{1}{\Pi_t} = \frac{p_{03}}{p_{04}}$
- Korrigerat massflöde och korrigerad hastighet
 - Effektivitet
 - Hur bestäms kompressor- och turbinprestanda?

Kompressor- och turbinekvationer

Bestämning av kompressor- och turbinprestanda

På tavlan



C - Kompressor, T - Turbin, CV - reglerventil, B - brännare
MC - Mekanisk kompressor

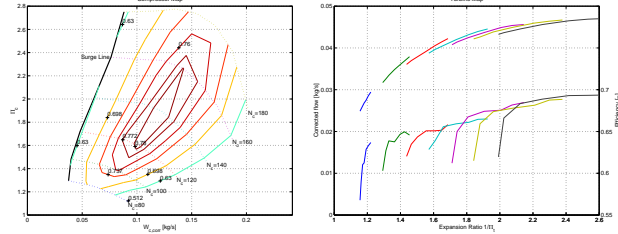
Kompressor och Turbin – Modeller

Grundläggande princip – Generaliserade restriktioner i MVEM

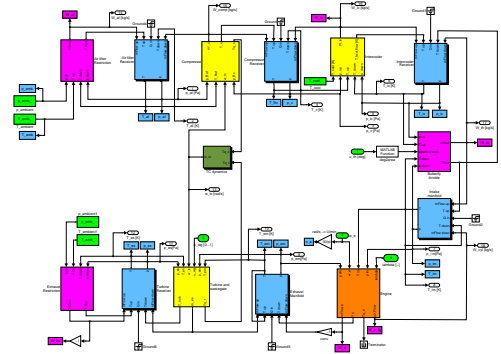
$$\dot{m} = f_1(\Pi, \omega_{tc})$$

$$\eta = f_2(\Pi, \omega_{tc})$$

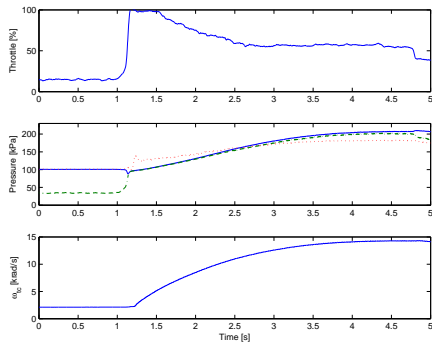
$$\dot{W} = f_3(\Pi, \omega_{tc}, T_{in})$$



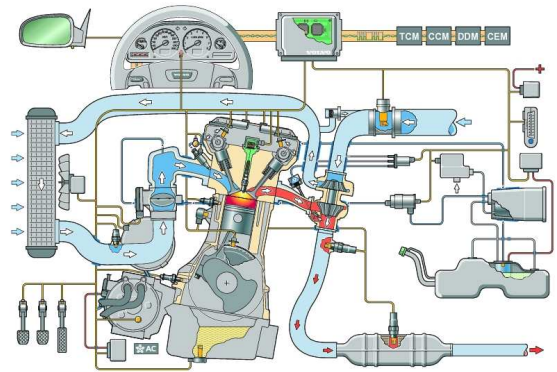
En MVEM för en Turbomotor



Stegsvar för turbomotor - Turbo lag



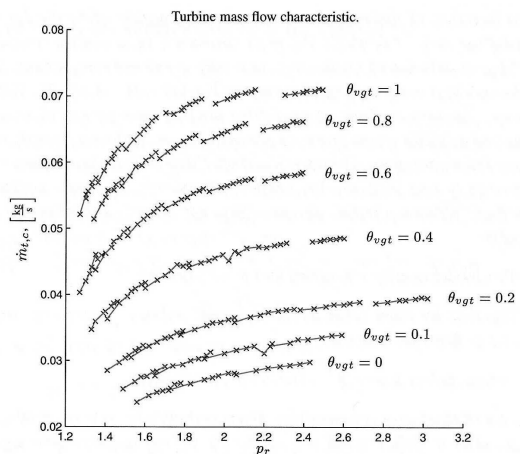
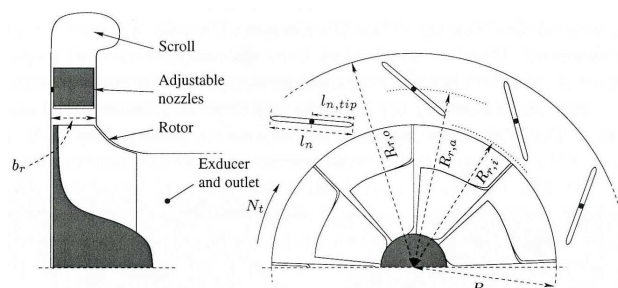
Reglering av laddtrycket – Wastegate

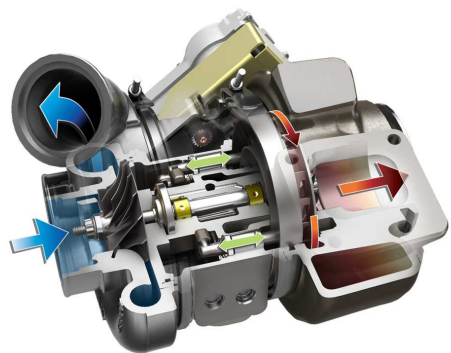


Reglering av laddtrycket – VGT

Arean ändras med styrsignalen

Variable Geometry Turbine – VGT (“bara” dieselmotorer idag)





Repetition drivlina

Drivlina – Repetition

Motor – Repetition

Motor – MVEM forts.

Motor – Överladdning och nedskalning