



LUNDS TEKNISKA
HÖGSKOLA
Lunds universitet

Matematik i motorlabbet

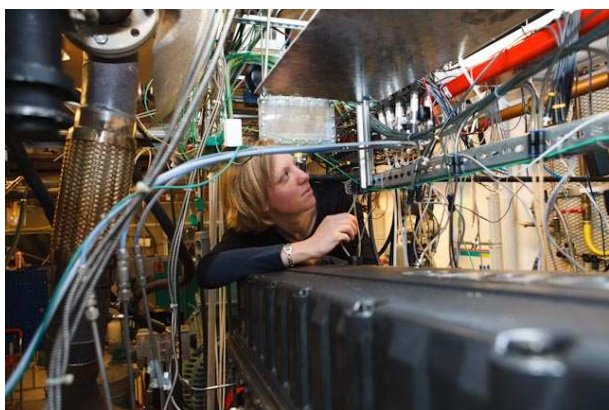
Maria Henningsson

Institutionen för reglerteknik

Populärvetenskaplig sammanfattning av doktorsavhandlingen *Data-Rich Multivariable Control of Heavy-Duty Engines*
Avhandlingen kan laddas ner från www.control.lth.se/publications

Global uppvärmning och sinande oljereserver till trots – miljontals nya förbränningsmotorer produceras fortfarande varje år. Medan vi väntar på realistiska alternativ forskas det aktivt kring hur förbränningsmotorn kan förbättras för att minska de skadliga effekterna. Matematiska metoder spelar en viktig roll för att hantera komplexiteten hos moderna motorer. Datorer som är inbyggda i fordonet fattar hundratals beslut om inställningar av olika motorparametrar varje sekund för att nå en bra avvägning mellan bränsleförbrukning, skadliga utsläpp och motorprestanda.

I slutet av 1800-talet uppfann tyskarna Rudolf Diesel och Nikolaus Otto grundprinciperna för moderna diesel- och bensinmotorer. Deras uppfinningar utnyttjade kemisk bränsleenergi på ett nytt sätt som skulle visa sig mycket fördelaktigt. Genom fortsatt teknisk utveckling under de följande decennierna visades det att diesel- och bensinmotorer använder energin i bränslet effektivt och kan ge mycket kraft med en liten volym, vilket gör dem lämpliga för fordon.



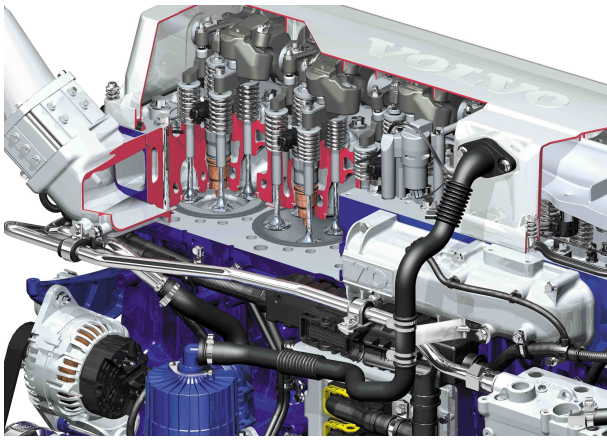
Allteftersom mängden fordon som drevs av förbränningsmotorer ökade, började man se de negativa konsekvenserna. I avgaserna från motorer finns många skadliga ämnen såsom kväveoxider och sotpartiklar som har visat sig orsaka såväl cancer och astma som smog och försurning. Efter hand har myndigheterna därför infört lagstiftning som begränsar mängden skadliga ämnen i avgaserna. Motortillverkarna har anpassat sig och hittat

nya tekniska lösningar för att klara de nya kraven. Lagstiftningen har här varit mycket framgångsrik; på tjuugo år har de tillåtna mängderna kväveoxider och sotpartiklar minskat med 95% eller mer.

För att kunna uppfylla de striktare kraven har motorerna blivit mer tekniskt avancerade. En viktig del har varit att införa fler *styr signaler*, det vill säga möjligheter att ändra motorns beteende under körning. Exempel på styr signaler är tidpunkten när bränsle sprutas in i cylindern, eller positionen för ventiler som styr gasflödet i motorn. De olika krav som ställs på motorn såsom låg bränsleförbrukning, låga halter av utsläpp, snabb acceleration, god tillförlitlighet och låg bullernivå, står ofta i konflikt med varandra. Under snabb acceleration får man t.ex. ofta en kraftig ökning av mängden sotpartiklar. För att vara konkurrenskraftiga måste fordonstillverkarna hitta bra metoder för att justera kombinationen av styr signaler så att man uppnår rätt avvägning mellan de olika krav som ställs på motorn.

Avhandlingen *Data-Rich Multivariable Control of Heavy-Duty Engines* presenterar olika metoder att styra en lastbilsmotor. Forskningen har bedrivits i ett samarbete mellan Volvo Powertrain och Lunds universitet med finansiering från Vinnova och Energimyndigheten. En sexcylindrig lastbilsmotor i motorlabbet vid institutionen för energivetenskaper har använts för att experimentellt utvärdera olika styrmetoder som utvecklats i projektet. Temat i avhandlingen är metoder för att utnyttja kombinationer av flera styr signaler för att förbättra styrningen av motorn.

För att visa hur svårt det kan vara att hitta rätt kombinationer när flera variabler ska justeras samtidigt, kan vi göra en liknelse med att baka sockerkaka. Tänk dig att du aldrig någonsin har bakat förut. Du ska nu baka en sockerkaka och har fått en kasse med mjöl, mjölk, smör, socker, bakpulver och ägg, men inget recept. Du håller ihop lite av de olika ingredienserna på måfå och ställer in i ugnen. Kakan blir misslyckad – hård och torr. Nästa dag försöker du igen, du tänker att det behövs lite mer mjölk för att kakan inte ska bli så hård. Nu blev kakan istället för lös och ville inte stelna i ugnen.



Nästa dag minskar du mjölmängden igen och tar i lite mer bakpulver. Kakan blev lite bättre, men kanske skulle den bli ännu godare med mer socker? Nästa dag testas det, och det blev ytterligare lite bättre. För varje dag tänker du igenom hur dina tidigare kakor har blivit och ändrar lite på receptet för att se om det blir bättre. Efter flera månader börjar du äntligen bli ganska nöjd med ditt recept.

Fordonstillverkarna gör idag på ett liknande sätt när de utvecklar nya motorer. För att ta reda på vilka inställningar som ger bäst avvägning mellan de olika kraven testas man sig fram. Man testas en uppsättning inställningar och utvärderas resultatet, sedan ändras man lite och ser om det blir bättre.

Vad är då problemet? Jo, ju fler variabler som kan ändras, desto svårare är det att prova sig fram tills man hittar den bästa kombinationen, det blir som att leta efter en nål i en höstack. I kakexemplet, tänk dig att du även hade fått salt, citronsaft, kanel, kakao och havregryn i kassen med ingredienser. Med rätt inställningar – rätt recept – skulle kakan kunna bli ännu godare, men det skulle antagligen ta betydligt längre tid att hitta rätt kombination av ingredienser och risken skulle öka att kakan blir helt misslyckad.

Hur kan man lösa det här problemet? Två vägar att gå är *bättre modeller* och *mer återkoppling*. Med bättre modeller menas att vi har mer kunskap om hur motorer eller kakor fungerar. För motorn kan det vara en fysikalisk ekvation som talar om hur mycket temperaturen på avgaserna ökar när man sprutar in mer bränsle. För sockerkakan kan det vara en tumregel för förhållandet mellan mjöl och vätska. Med återkoppling menas att vi tar beslut om inställningarna på våra styrsignaler utifrån observationer av systemet. För kakaibakningen kan det vara att man känner av konsistensen på smeten innan man håller den i formen och anpassar mängden vätska efter det, eller att man provar med provsticka om kakan är färdig i ugnen. I motorn innebär det att man bygger in fler sensorer i konstruktionen. Då behöver man inte ha gjort alla inställningar i förväg under utvecklingsprocessen, utan man kan ändra inställningarna utifrån den information som sensorerna ger.

Avhandlingen handlar både om hur man kan ta fram matematiska modeller av motorn, och om hur man kan använda modellerna för återkoppling. Ett kapitel visar hur man kan använda sensorer som mäter trycket inuti motorns cylindrar för att förutsäga utsläpp av kväveoxider och sotpartiklar. Ett annat kapitel studerar hur man kan hitta enkla matematiska modeller som kan förutspå hur utsläpp, effekt och buller från motorn påverkas när man ändrar inställningar för bränsleinsprutningen och två ventiler som styr gasflödet i motorn. Senare visas hur en sådan modell kan användas för att styra motorn så att man når rätt avvägning mellan låga utsläpp, snabb acceleration och begränsat buller från motorn. Det sista kapitlet ägnas åt styrning av alternativa förbränningskoncept – *HCCI* och *dual-fuel* – som båda har introducerats på senare år som lovande alternativ till de konventionella diesel- och bensinmotorerna för att kombinera låg bränsleförbrukning med och låga utsläpp. Med dessa koncept är det svårare att få en tillförlitlig förbränning i motorn, och avhandlingen presenterar nya metoder att koppla ihop rätt information från sensorer med rätt styrsignaler för att styra förbränningsprocessen.

Förbränningsmotorer kommer med stor sannolikhet att förbli den dominerande teknologin för transporter under flera decennier. Elektriska fordon och bränsleceller har föreslagits som alternativ, men är idag långt ifrån realistiska för storskalig produktion. Fossila bränslen är dock liksom kakor en ändlig resurs. Vi kan inte både äta kakan och ha den kvar, men vi kan försöka äta upp den så långsamt som möjligt. Det finns inget enkelt recept för att minska miljöpåverkan från fordon, utan en kombination av flera åtgärder är nödvändig för att möta problemen. Förändringar i livsstil för att minska mängden transporter är en åtgärd, alternativa bränslen är en annan. Ytterligare en är lättare fordon som förbrukar mindre bränsle. Avhandlingen behandlar en av många pusselbitar för att gå mot en renare transportsektor. Med matematikens hjälp kan vi försöka hitta nålen i höstacken – de inställningar för motorn som gör så mycket nytta och så lite skada som möjligt.

