

# Optimering av underhållsplaner leder till strategier för utvecklingsprojekt



Ann-Brith Strömberg

Chalmers, Matematiska vetenskaper

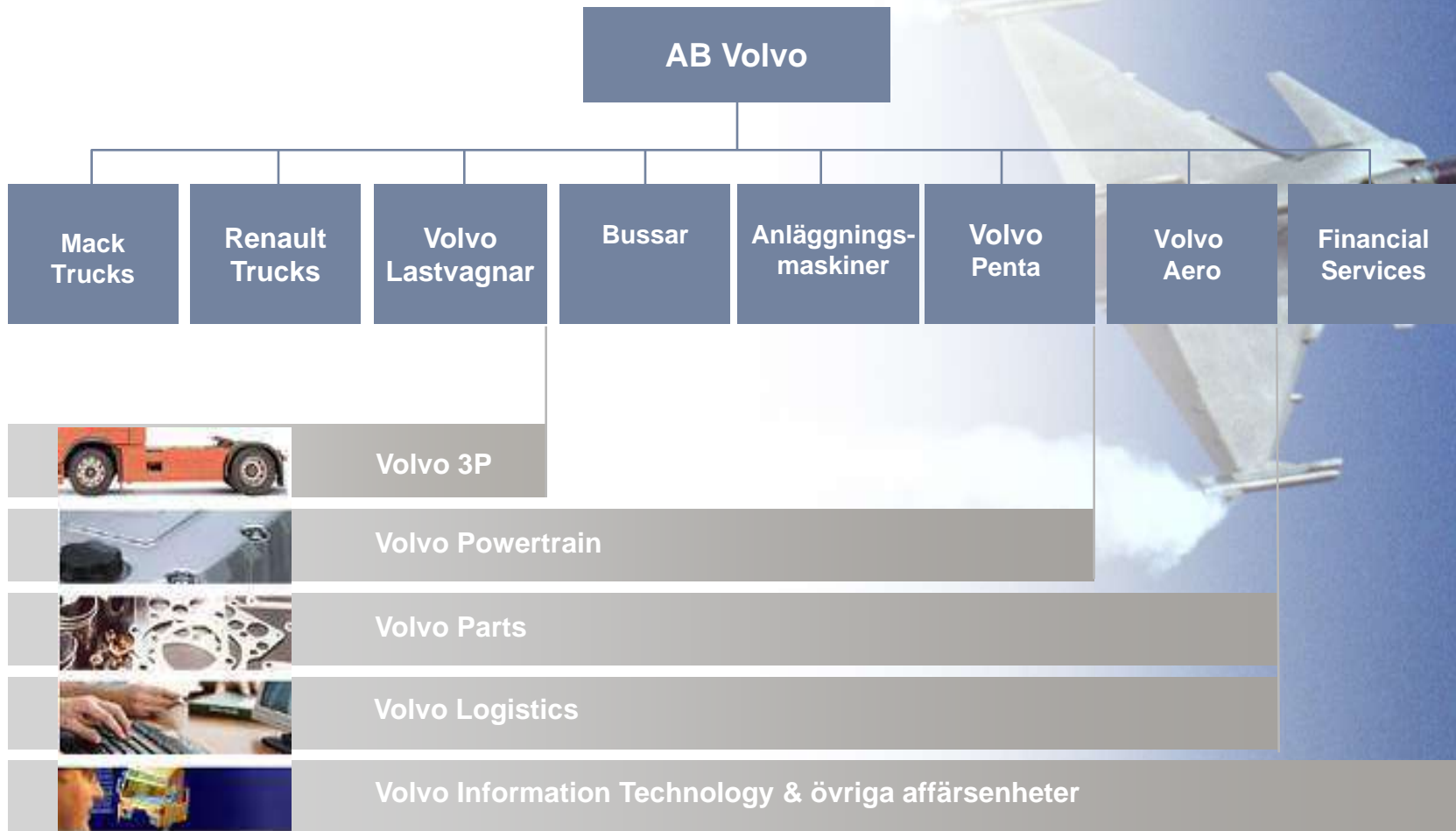
Torgny Almgren

Volvo Aero

# Volvo Aero



# Organisation



# Dyr utrustning, kostsamma produktionsstopp...

Vid varje underhållstillfälle är det möjligt att *utföra mer underhåll än* vad som är absolut *nödvändigt!*

→ totalt lägre kostnad



# Ett forskningsprojekt vid Volvo Aero och Chalmers, Matematiska vetenskaper

- Nationellt Flygtekniskt ForskningsProgram (NFFP) & Vinnova, 2001-2008
- Två doktorandprojekt
  - **Statistisk modellering av livslängder:**  
Johan Svensson (PhD 2007)
  - **Optimering av underhållsscheman:**  
Niclas Andréasson (Lic 2004), Torgny Almgren, Ann-Brith Strömberg, Myrna Palmgren, Michael Patriksson

# Storleksordningar...

- Reservdelar kan kosta ~ 2 Mkr
- Totalkostnad för underhåll av jetmotor ~ 15-30 Mkr
- Ledtid underhåll av motor: 30 -100 dagar

**Hur mycket ska man göra?**



# Materialflödet vid flygmotorunderhåll



**Modul som underhålls**

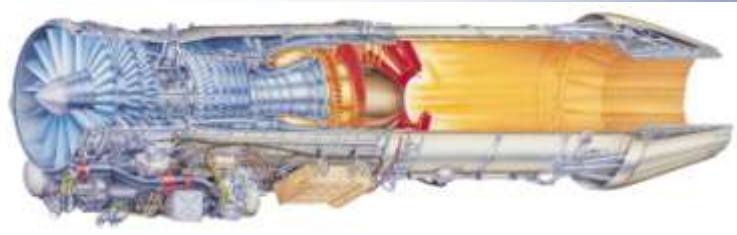
**Kassation av komponenter**

**Reparation av använda komponenter**

**Lager av nya komponenter**

**Lager av begagnade komponenter**

# Optimerad åtgärdsbestämning



## Komponentdata

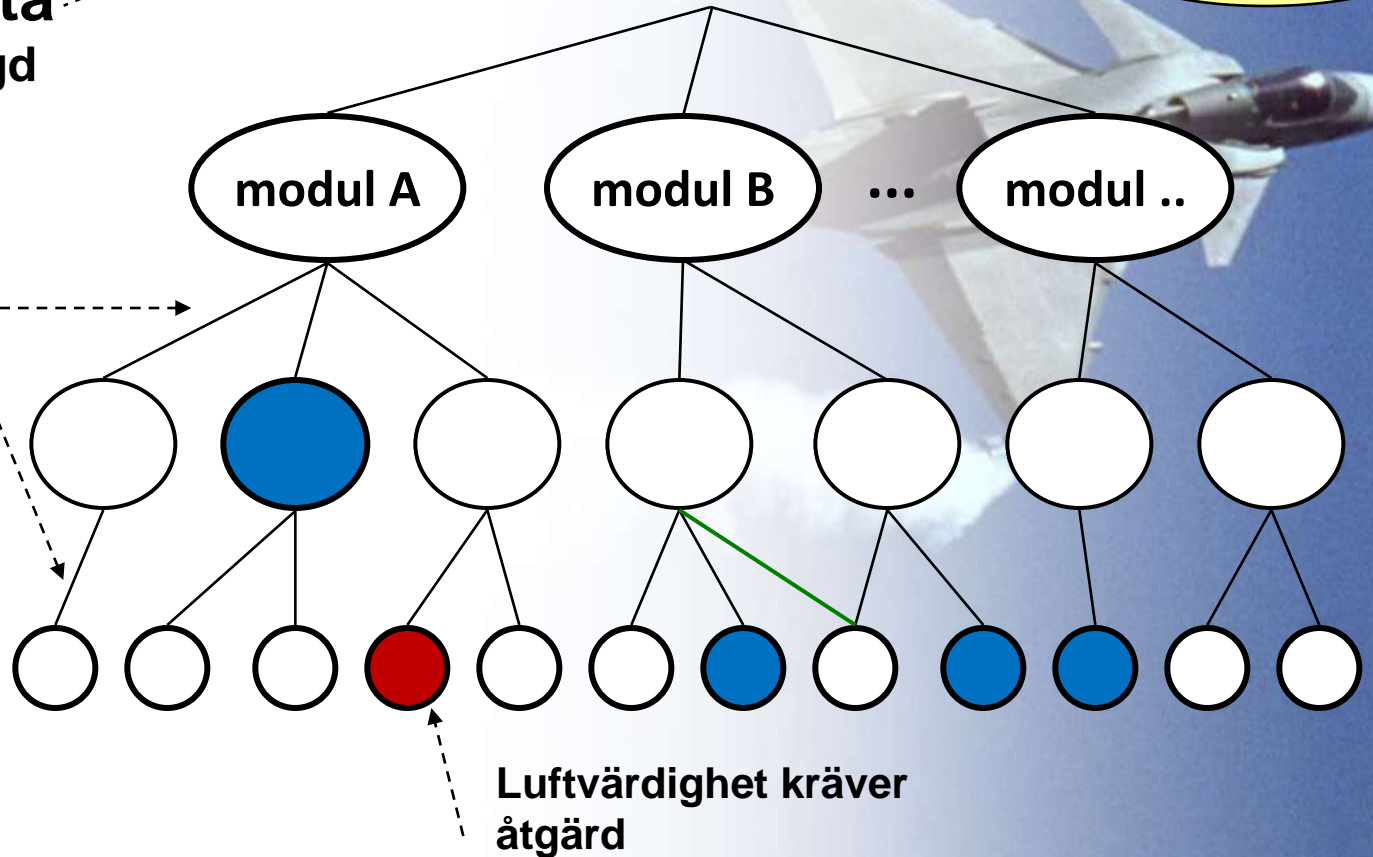
- förväntad livslängd
- kostnad
- tillgänglighet

## Strukturdata

- motsvarar åtgärd
- kostnad
- resurser
- **följoperationer...**

## Randvillkor

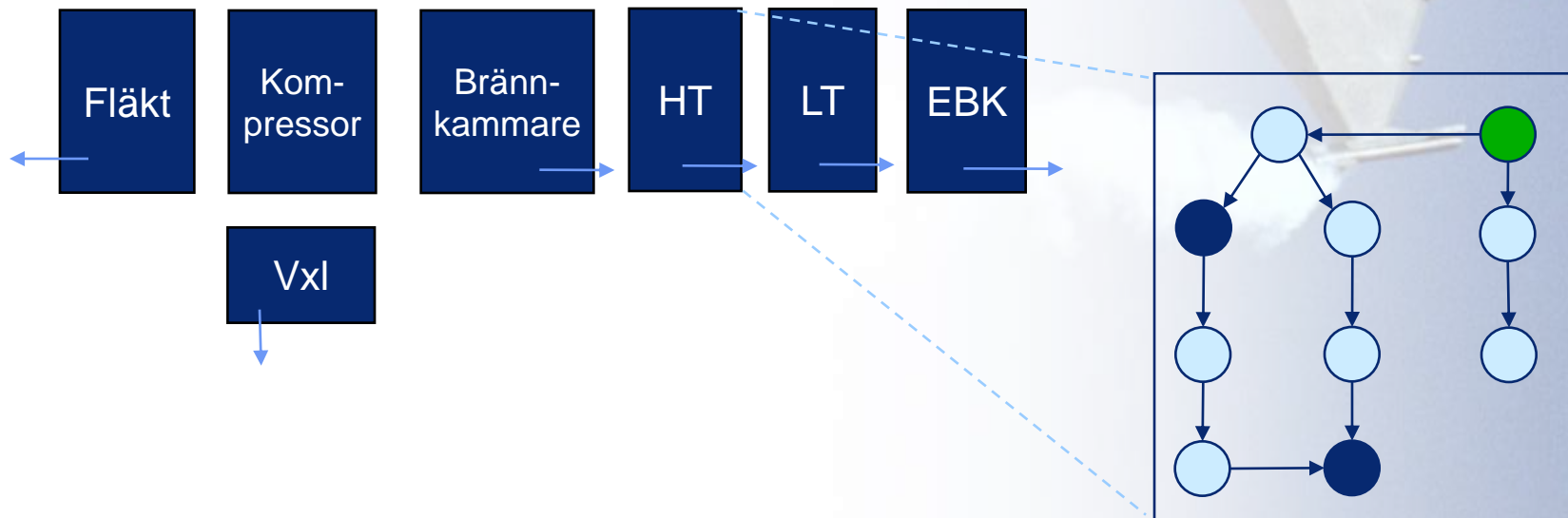
- myndighetskrav
- kundkrav
- logistikkrav



# Modell av strukturen i motorn RM12

Arbetskostnader för att demontera ..

- moduler
- komponenter i moduler

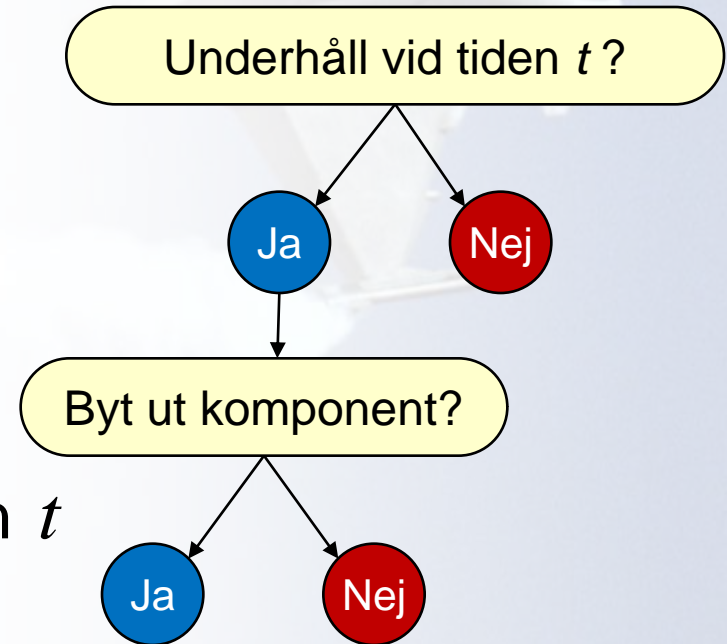


# En matematisk optimeringsmodell för underhållsplanering

## Binära variabler

$$z_t = \begin{cases} 1 & \text{om underhåll utförs vid tiden } t \\ 0 & \text{annars} \end{cases}$$

$$x_{it} = \begin{cases} 1 & \text{om komponent } i \text{ byts vid tiden } t \\ 0 & \text{annars} \end{cases}$$



# Den matematiska optimeringsmodellen

Mål: minimera kostnader

$$\text{minimera } \sum_{t=0}^{T-1} \left( \sum_{m \in M} \left( \sum_{i \in N^m} \left( c_{it}^m x_{it}^m + a_{it}^m y_{it}^m \right) + d_t w_t + \sum_{n \in A} b_{nt} v_{nt} \right) + \sum_{m \in M} \sum_{i \in N^m} \sum_{k \in K_i^m} \tilde{c}_{ik}^m \tilde{x}_{ik}^m \right)$$

Alla beslutsvariabler binära:

$$x_{it}^m, y_{it}^m, \tilde{x}_{ik}^m, z_t^m, v_{nt}, w_t \in \{0,1\} \quad \forall i,m,n,k,t,$$

Byt varje komponent innan dess livslängd är slut:

$$\sum_{t=0}^{\bar{T}_i^m} x_{it}^m \geq 1 \quad \forall i,m$$

$$\sum_{t=l}^{T_i^{m+l-1}} x_{it}^m \geq 1 \quad \forall l,i,m$$

$$\sum_{t=0}^{\bar{T}_i^m} x_{it}^m + \sum_{k \in K_i^m} \tilde{x}_{ik}^m \geq 1 \quad \forall i,m$$

$$\sum_{t=0}^{\tilde{T}_{ik}^m} x_{it}^m \geq \tilde{x}_{ik}^m \quad \forall k,i,m$$

Separera modulerna innan de demonteras :

$$z_t^m \leq \sum_{n \in A^m} v_{nt} \quad \forall m,t$$

$$v_{nt} \leq v_{n't} \quad \forall n,n',t$$

Demontera komponenterna i rätt ordning:

$$x_{it}^m \leq y_{it}^m \leq z_t^m \leq w_t \quad \forall i,m,t$$

$$\sum_{j \in \delta^m(i)} y_{jt}^m \geq y_{it}^m \quad \forall i,m,t$$

$$\tilde{x}_{ik}^m \leq y_{i0}^m \quad \forall i,m,k$$

# Den första modellen – för en modul

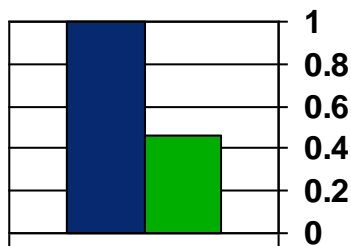
- en fast kostnad för varje underhållstillfälle
- inga strukturella samband mellan komponenter
- komponenternas värde
- komponenternas återstående livslängd



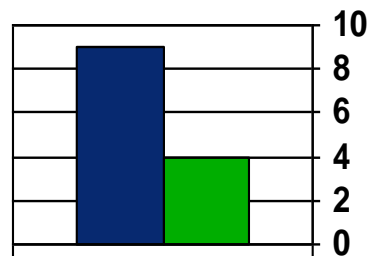
# Jämförelse mellan optimering och befintlig metod på VAC

- En motormodul med 10 delar
- Endast livslängdsbegränsade delar

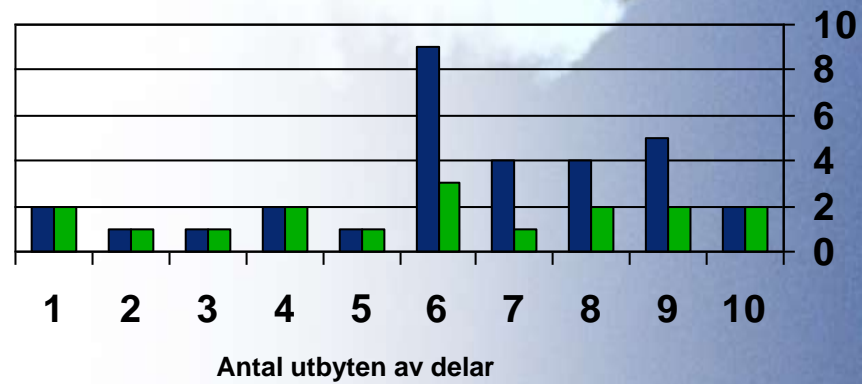
- Värdering med befintlig VAC-metod
- **Optimering**



Total kostnad



Antal uh-tillfällen

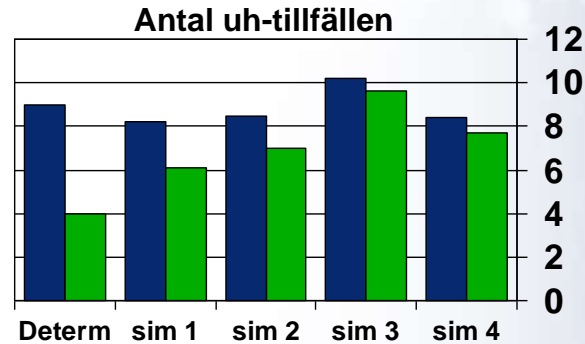
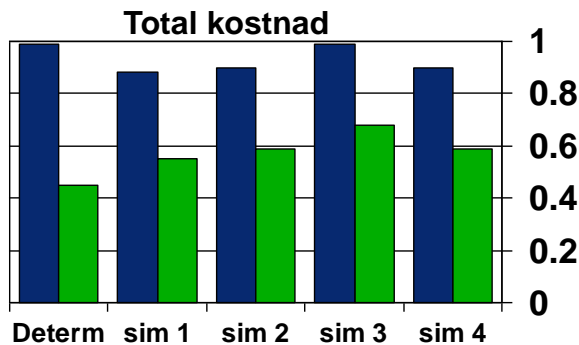


Antal utbyten av delar

# Stokastiska simuleringar

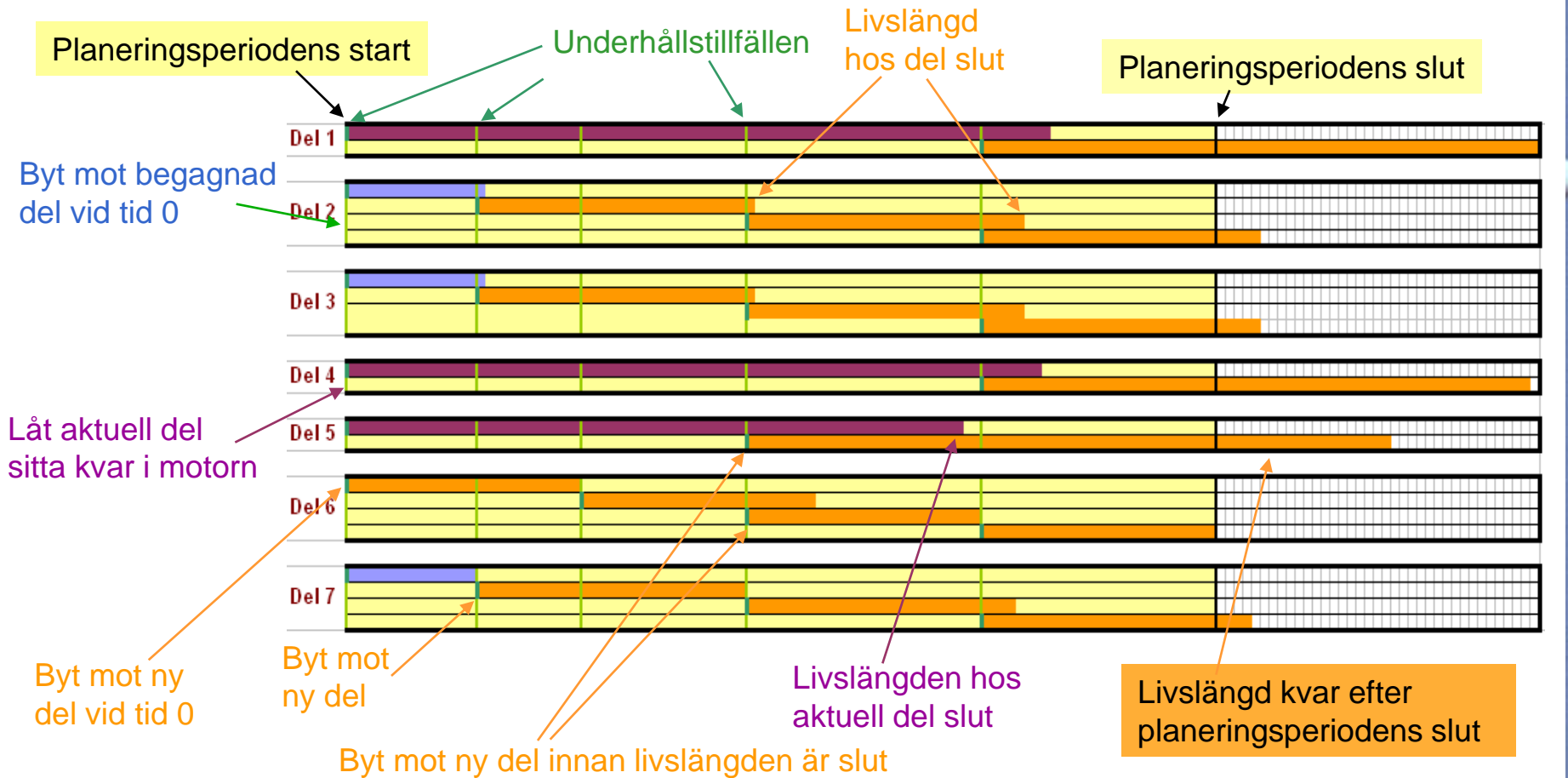
- En motormodul med 10 delar
- Sex delar har stokastiska livslängder
- Medelvärden från 200 scenarier per simulering

Simulering #	Variation hos livslängder
1	liten
2	medel
3	stor
4	blandad



■ Befintlig metod  
■ Optimering

# Ett optimalt underhållsschema för sju komponenter i en modul

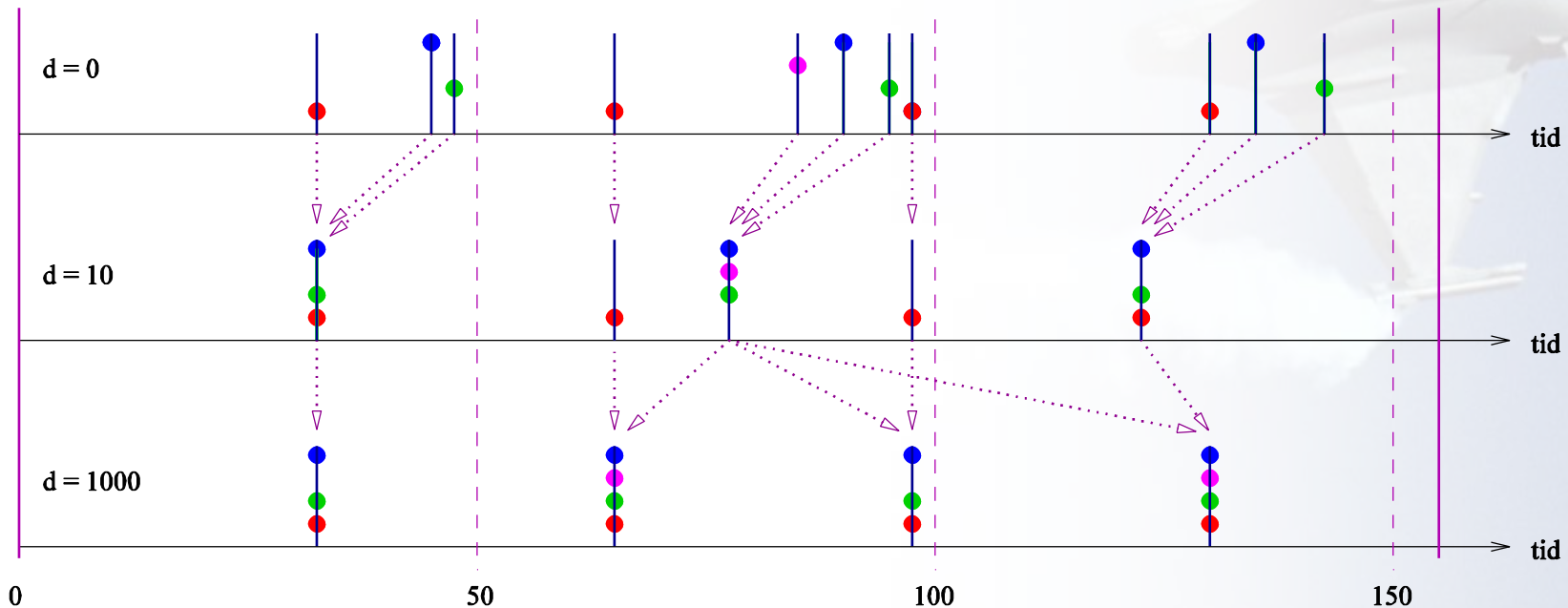


# Numeriska tester för en hel motor

- Planeringsperioden (2500 flygtimmar) indelad i 50–75 diskreta tidssteg
- 7 moduler, 61 komponenter
- 3850–5775 binära variabler
- Kostnader och uppskattade livslängder för komponenter
- Arbetskostnader för (de)montering av moduler och komponenter
- Modellen implementerad i AMPL och löst med CPLEX

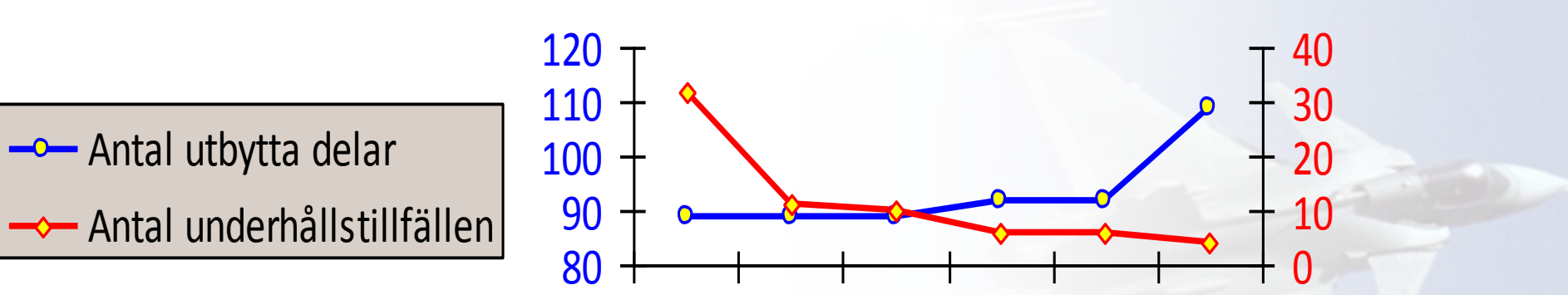


# Underhållsplanering kan resultera i stora samordningsvinster

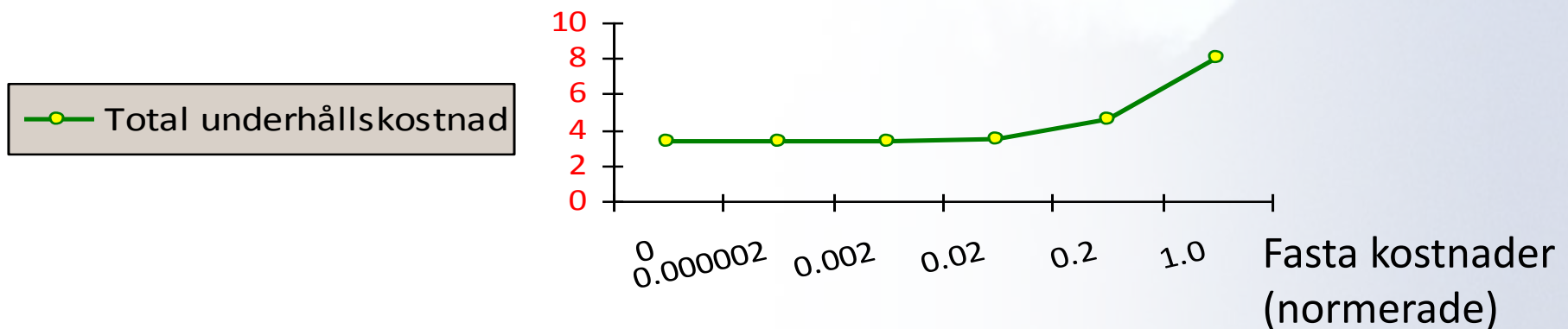


**$d$  = fast kostnad per underhållstillfälle**

# Fasta kostnader påverkar underhållsscheman



## ... och totala kostnaden för underhåll



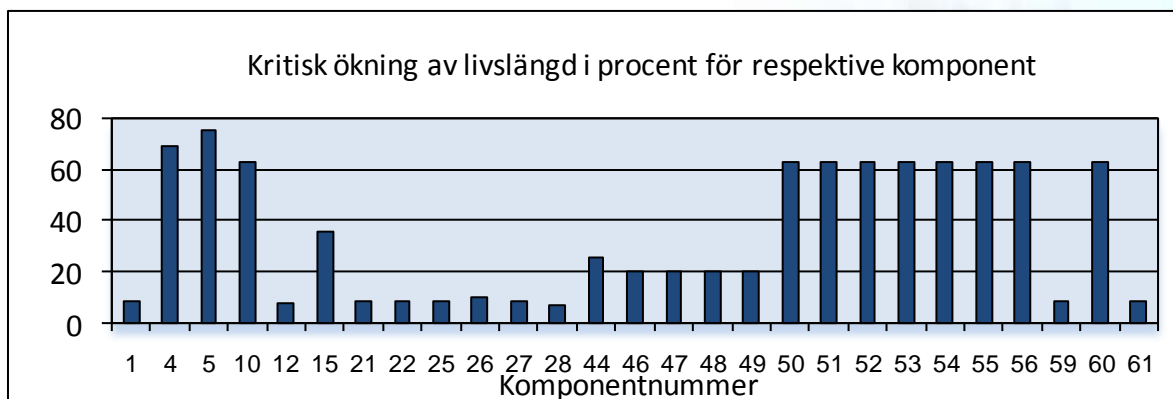
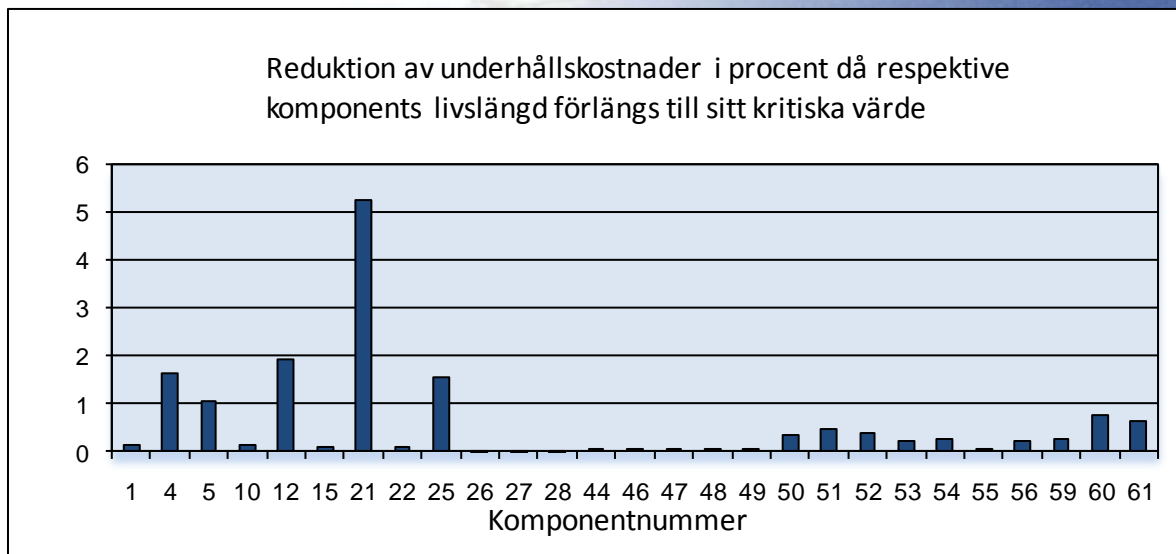


Bortom underhållsplaner:

# Produktutveckling kan medföra minskade kostnader för underhåll

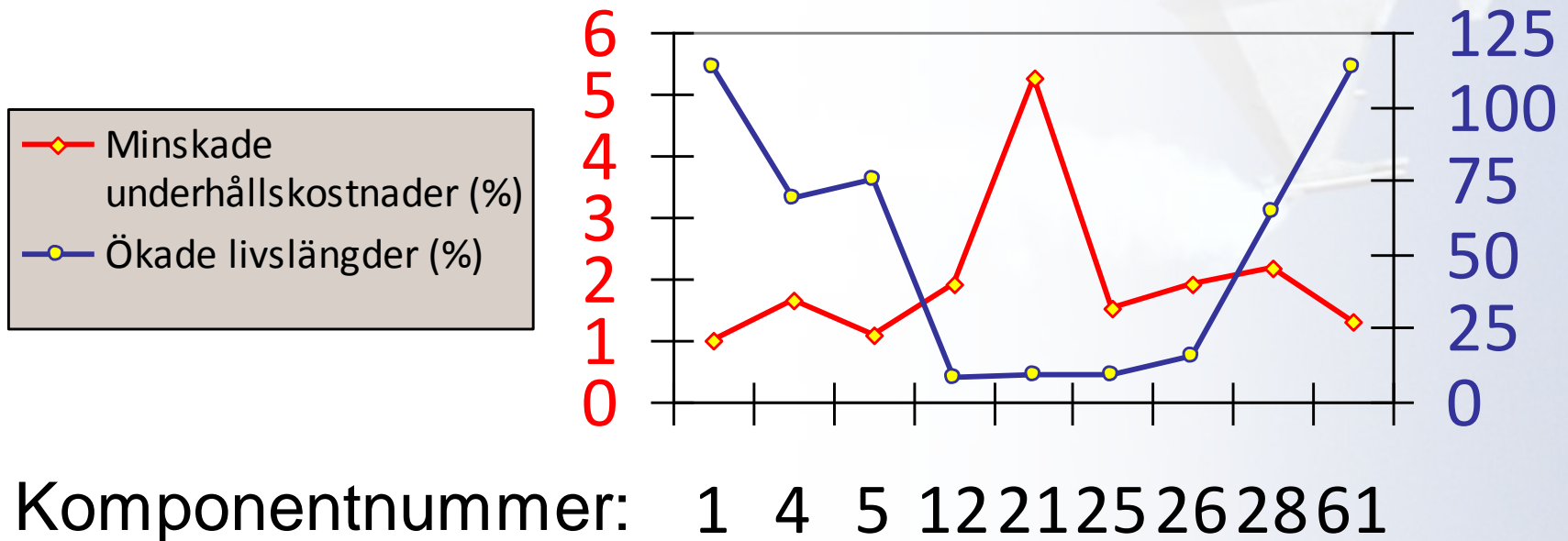
Öka livslängden hos en komponent:

- kostnad för produktutveckling
- minskade kostnader för underhåll



# Produktutveckling kan medföra minskade kostnader för underhåll

Nio av 61 komponenter i motorn RM12 har potential att reducera underhållskostnaderna med  $\geq 1\%$



# Slutsatser

- Optimering är användbart
- Samarbete mellan industri och högskola är viktigt



# Framgångsrik kompetensutveckling

Svenskt utbildnings-system

	Professorer (35)	Adj professorer (5)
	Univ doktor stud (50)	
Forskning	Ind doktor stud (15) Traineer (7) Examensarbete (70)	Teknologi- och Produkt- utveckling
Universitet	COOP-studerande (12)	
	Produktingenjörer (16)	
Gymnasium	Praktik (70+60)	
	Gymnasium (32)	
Grund	Prao (80)	



**Volvo Aero**

40 tekniska doktorer  
10 tekniska licentiater  
250 civilingenjörer