

VOLVO AERO

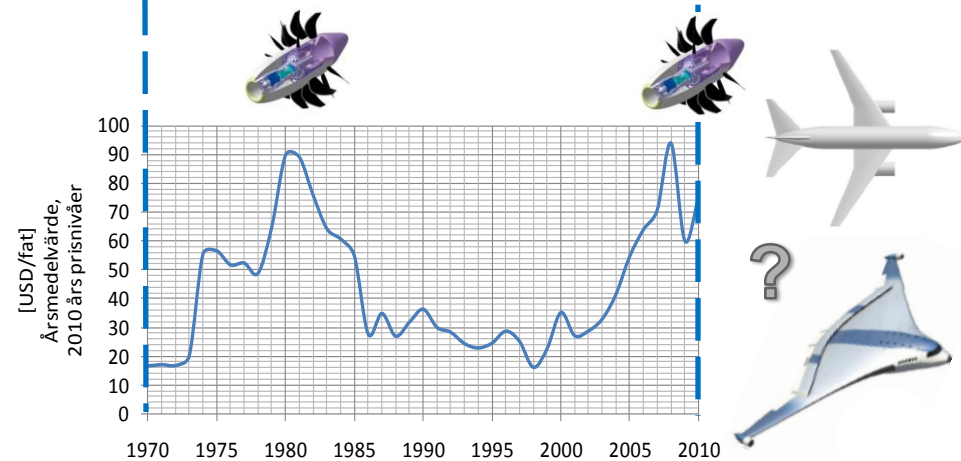
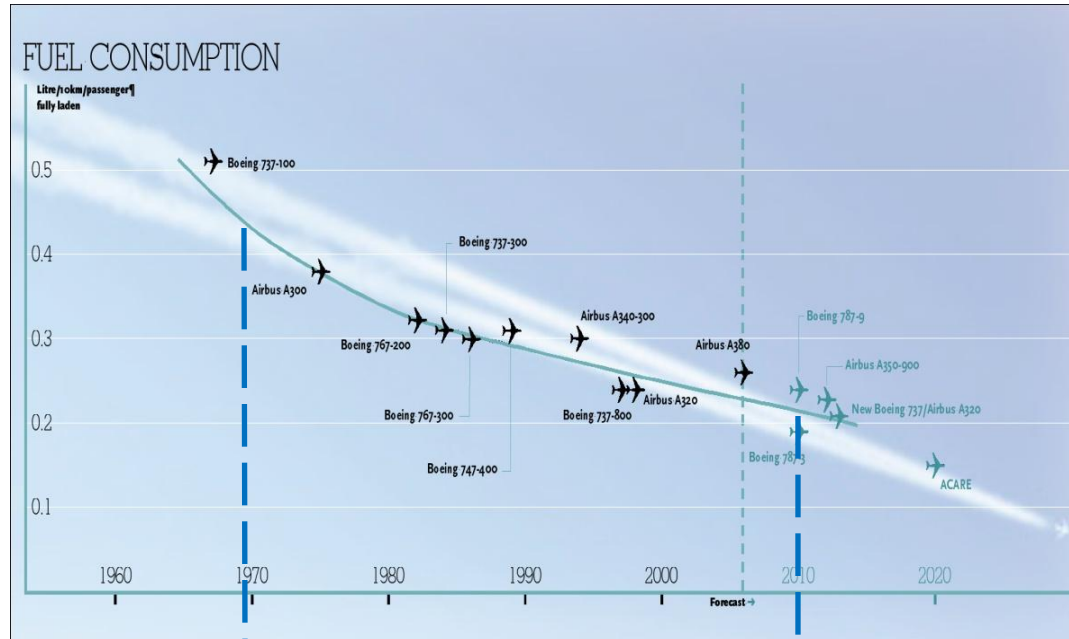
Innovativa flygmotorer - Mellanturbinöverhettade turbofläktmotorer



The information contained in this document is Volvo Aero Corporation Proprietary Information and it shall not – either in its original or in any modified form, in whole or in part – be reproduced, disclosed to a third party, or used for any purpose other than that for which it is supplied, without the written consent of Volvo Aero Corporation. Any infringement of these conditions will be liable to legal action.

Tid för innovation?

- Teknologiförbättringar har skett och sker enligt evolutionens principer...
- Men då och då, inte helt frikopplat från oljepriset, intensifieras sökandet efter teknologirevolutioner...



Källa: U.S. Energy Information Administration

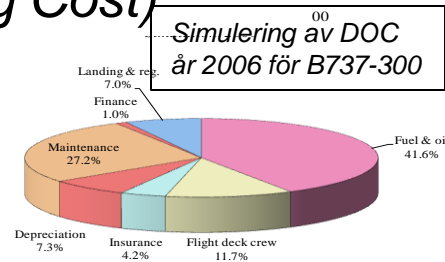
Vad strävar vi efter (1/2)?

- För civila transportflygplan handlar det om att erbjuda operatörerna så mycket produktivitet/SEK som möjligt, t.ex.;

ASK/h/DOC

(Available Seat Kilometers per hour per Direct Operating Cost)

- Idag kan bränslekostnaderna utgöra > 40% av de direkta operativa kostnaderna
- I ljuset av detta och som första ansats är en relevant målfunktion för optimering av civila transportflygplan och motorer



specifik räckvidd (1/fuel mileage);

$$S.R. = \frac{a_{sl} M \frac{L}{D}}{\sqrt{\Theta} \frac{SFC}{W}}$$



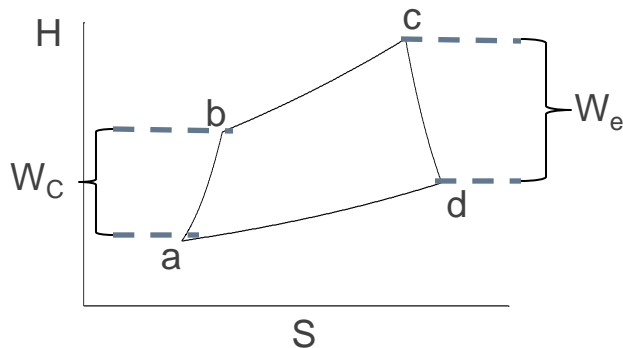
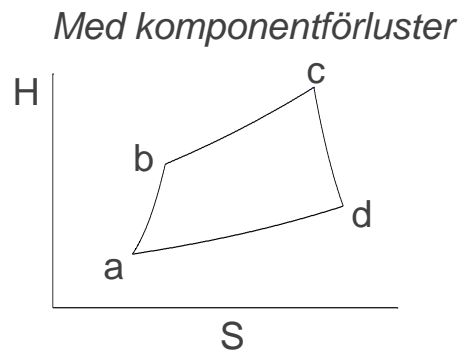
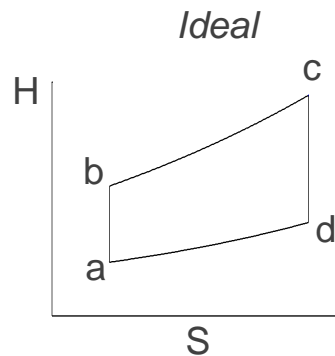
Vad strävar vi efter (2/2)?

- För flygmotorer gäller det alltså att minimera SFC (Specific Fuel Consumption) och massa (vikt)
- Vad gäller SFC betyder det förenklat att maximera verkningsgraden!
- För att nå högre verkningsgrader behöver turbintemperaturen höjas, komponenternas verkningsgrader förbättras och tryckförhållandet över motorerna följaktligen höjas. **Detta pågår ständigt med teknologievolutionen!**
- Ett annat sätt att förbättra flygmotorernas prestanda är att modifiera den grundläggande cykeln av Brayton, t.ex. att införa värmeväxlare, mellankylning, mellanturbinöverhettning. **Starta teknologirevolutionen!**



Teoretiska gränser för jetmotorn (1/3)

- Den cykel som teoretiskt ligger till grund för alla dagens gasturbindrivna flygmotorer kan beskrivas enligt Brayton som;



- Det resulterande nettoarbetet;

$$W = W_e - W_c$$

- Kompressions- och expansionsarbete;

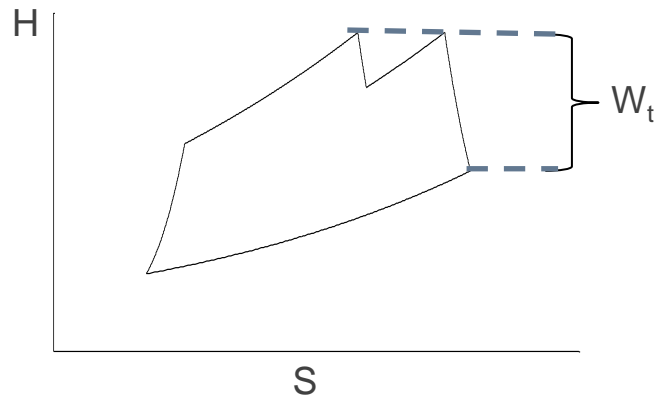
$$W_c, W_e \propto \frac{1}{\rho}$$

- **Minimera W_c genom kylning och maximera W_e genom uppvärmning!**

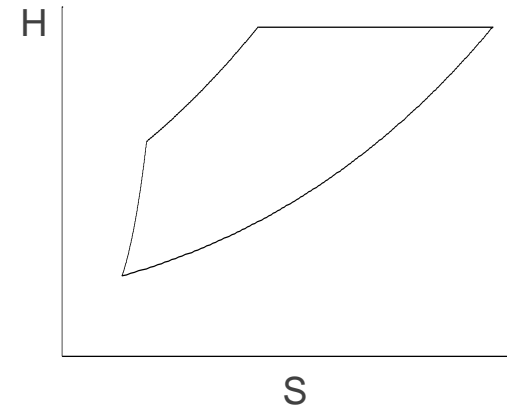


Teoretiska gränser för jetmotorn (2/3)

- Inför ett steg med mellanöverhettning av förbränningsgaserna;



- Inför oändligt många steg;

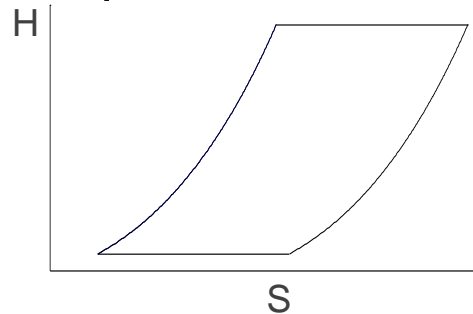


Tillämpa nu samma resonemang för kompressionen, d.v.s. inför oändligt många steg med mellankylning...

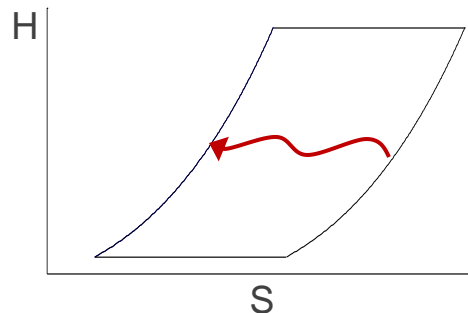


Teoretiska gränser för jetmotorn (3/3)

- Brayton + isoterm kompression och expansion



- Inför slutligen avgasvärmeväxling värmeåterföring till förbränningen



$$\eta_{th, Ericsson} = 1 - \frac{T_{min}}{T_{max}} = \eta_{th, Carnot}$$

- **Ericsson-cykeln utgör det ideala maximumet!!!**

Tidigare arbete på Ericsson-cykeln (exempel)

- I RANDs studie från 1979 beskrevs den s.k. *Ericsson-approximationen*. Den kallades så p.g.a. att det var en ”praktisk” tillämpning av Ericsson-cykeln bestående av bl.a. 5 kompressorer, 8 turbiner, 7 brännkammare, 4 mellankylare...
- Studien visade bl.a. ca 50% termisk verkningsgrad för maximala cykeltemperaturer om ca 1090 K och dåtidens komponentverkningsgrader (Brayton når ca 36% för samma temp.)
- Vid cykeltemperaturer om ca 1260 K nåddes 56% i termisk verkningsgrad (Brayton når ca 41%)

ERICSSON CYCLE GAS TURBINE POWERPLANTS

PREPARED FOR THE U.S. DEPARTMENT OF ENERGY

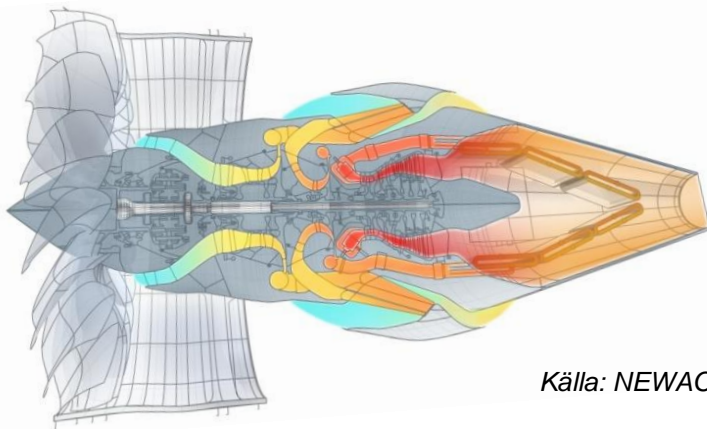
W. H. KRASE

R-2327-DOE
MARCH 1979

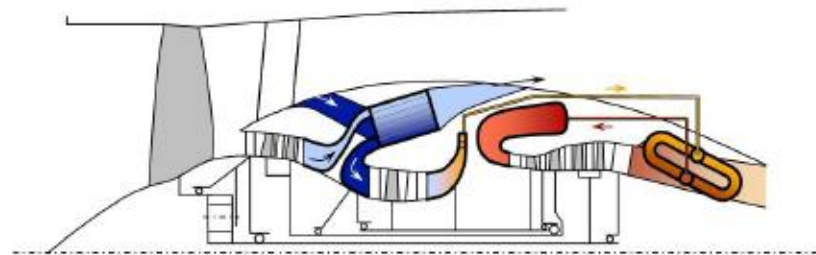


Tillbaka till verkligheten...

- Innan vi närmar oss en Ericsson-cykel någon gång i framtiden måste vi förstå konstruktionens ingående delar och vilken kostnad och eventuella komplikationer de medför.
- Inom EU-projektet NEWAC (New Aero Engine Core Concepts) studeras bl.a. IRA (Intercooled Recuperative Aero Engine)-motorn som tillämpar både mellankylning och värmeväxling+värmeåterföring av avgaserna
- IRA-motorn tillämpar ej mellanturbinöverhettning!



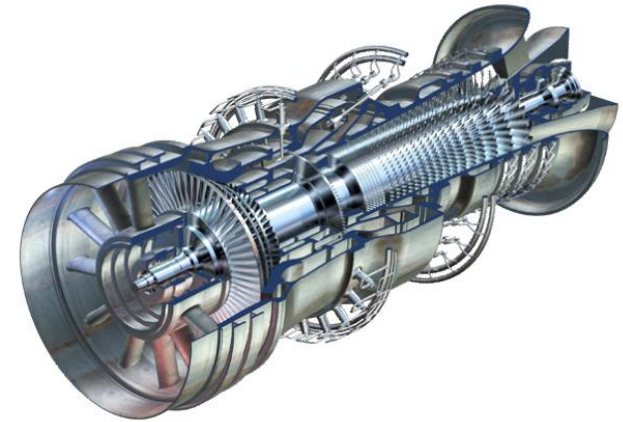
Källa: NEWAC



Källa: NEWAC

Mellanturbinöverhettning i praktiken

- Mellanturbinöverhettning för stationära gasturbiner/kraftgenerering finns ute på den marknaden i form av Alstoms GT24/26
- Några säljargument för GT24/26;
 - Låga emissioner av kväveoxider
 - Hög verkningsgrad
 - Kompakt konstruktion
 - Bra off-designprestanda



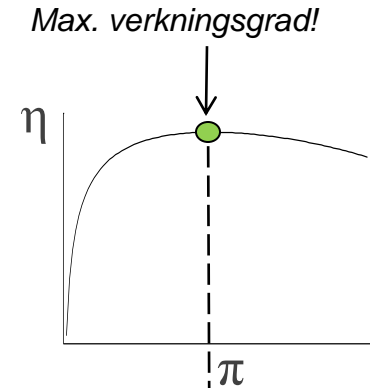
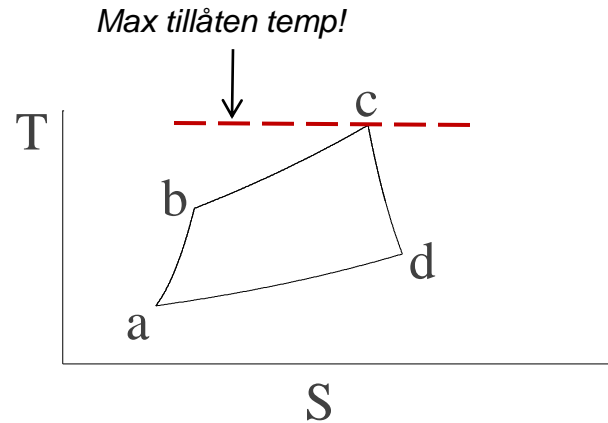
Mellanturbinöverhettning för flygtillämpningar

- Vad gäller mellanturbinöverhettning för flygmotorer är det få studier gjorda och det finns inget i drift eller tagit till demonstration, några studier värda att nämna är;
 - NASA år 1976;
 - I en större systemstudie av okonventionella flygmotorer för låg energiförbrukning studerades bl.a. ITB-1 (Inter-Turbine Burner med ett steg) tillämpat på en tvåaxlig turbofläkt)
 - Teknologin avfärdades tidigt p.g.a. allt för hög SFC, men i studien konstateras det att ITB medför hög specifik dragkraft.
 - Liu & Sirignano år 2001;
 - Analytiska studier både ITB-1/2 och CTB (Continuous Turbine Burner) tillämpat i både turbofläkt- och turbojetmotorer som bl.a. visar på 50% högre specifikdragkraft till samma eller något högre SFC än i en konventionell dito
- Vad gäller ”efterturbinöverhettning” (EBK) har vi dock mycket erfarenhet!

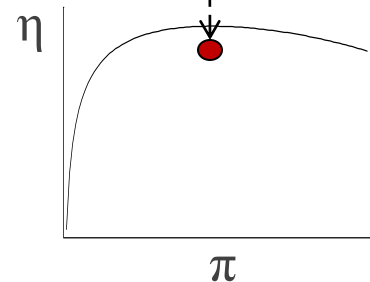
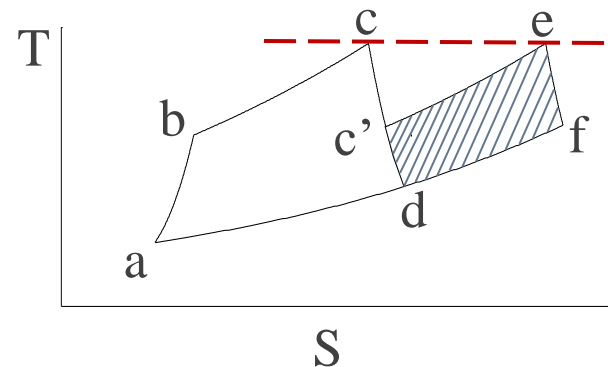


Varför mellanturbinöverhettning?

- En reell cykel $a-b-c-d-a$ under begränsningen $T \leq T_{\max}$ har maximal verkningsgrad η_{\max} i punkten (T_{\max}, π)

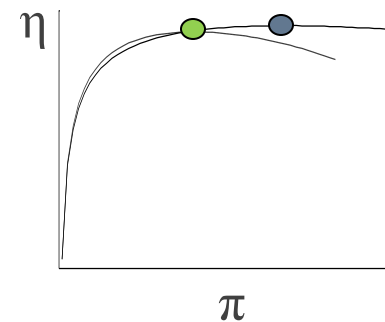
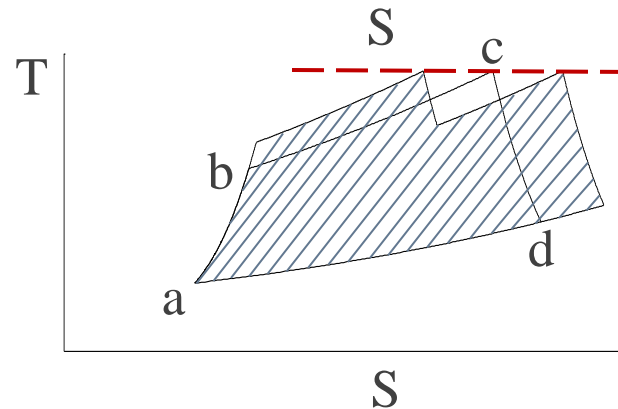
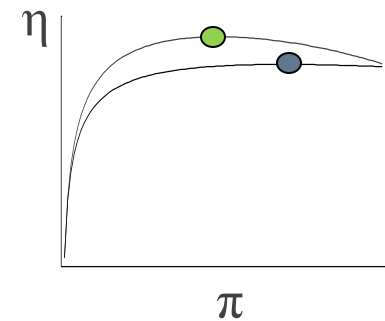
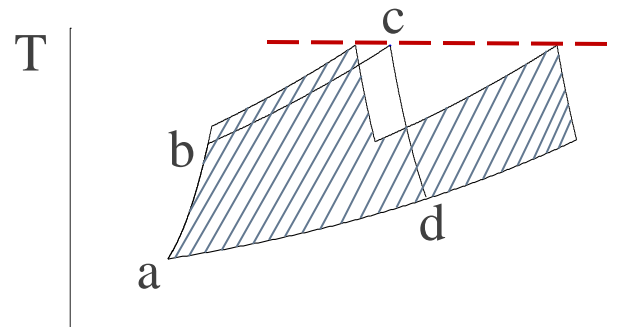


- För att öka effekttätheten i denna cykel tillsätts mer energi i form av tillskottet $d-c'-e-f-d$. Överhettningen sker vid 50% expansion. Den resulterande cykeln kommer att erhålla högre effekt men ha lägre verkningsgrad.



Varför mellanturbinöverhettning? (forts.)

- En omoptimering av föregående cykel ger nu en högre verkningsgrad vid högre tryckförhållande. Men verkningsgraden är fortfarande lägre än grundcykelns!
- Om nu punkten för överhettning också får variera med expansionen - vad händer då?
- Det visar sig att om överhettningen sker tidigt under expansionen ökar det optimala tryckförhållandet ännu mer och verkningsgraden för ITB:n kan t.o.m. överträffa verkningsgraden för grundcykeln!



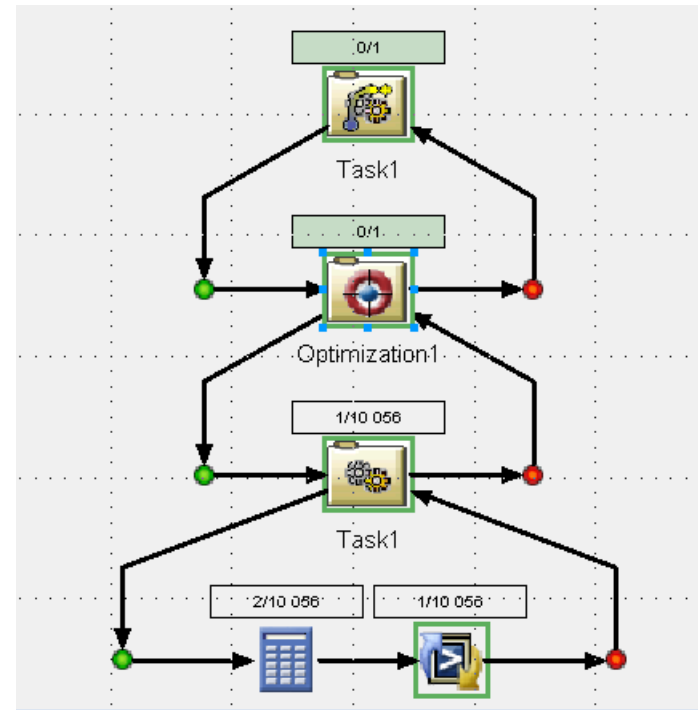
Frågor/hypoteser att besvara

- Går det att uppnå eller t.o.m. överträffa den konventionella turbofläktmotorns prestanda genom att tillämpa mellanturbinöverhettning i ett steg i en konventionell turbofläktmotor?
- För att ITB-motorn skall kunna ha en chans att nå sitt termiska optimum måste vi eventuellt vi byta från två till tre axlar, t.ex. en motortyp som Rolls-Royce Trent, så att en omlastning kan ske mellan högtrycksdelen och lågtrycksdelen av motorn (ITB:n behöver införas tidigt under expansionen).



Metod

- Motorn optimeras i en MDO (MultiDisciplinary Optimization-miljö med målfunktionen "minimera mission fuel" under ett antal gällande bivillkor
- Gestpan, Gismo, Isight
- A330-300 + treaxlig turbofläkt + ITB



Resultat – prestanda (1/3)

- Observation: Inledande studier av tvåaxliga motorer + ITB visar att det tyvärr inte går att överträffa den konventionella turbofläktmotorn i termer av bränsleförbrukning

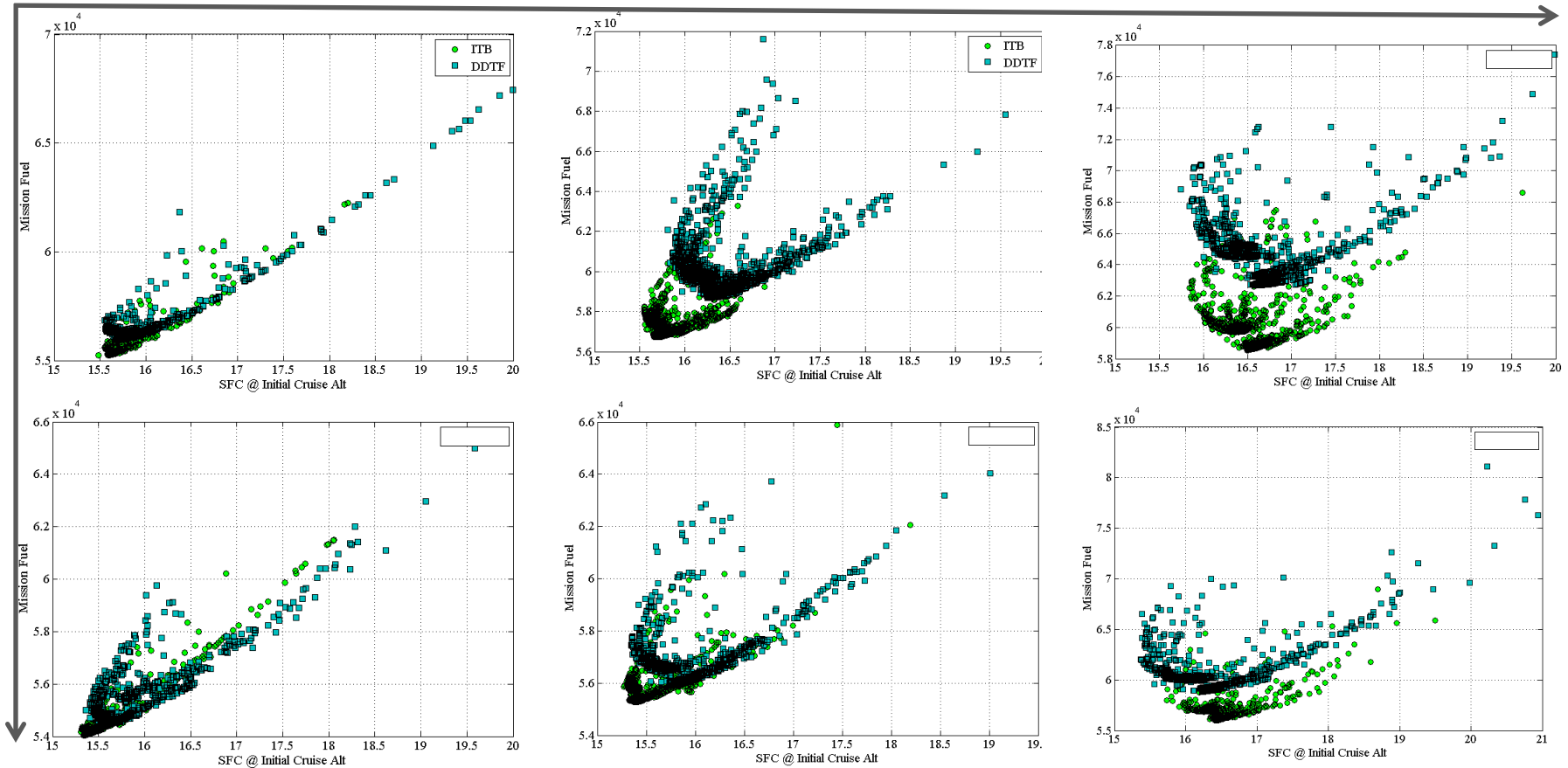


Resultat – Prestanda (2/3)

Vad gäller den tre-axliga konfigurationen observeras bl.a. följande:

Ökande viktillväxtfaktor

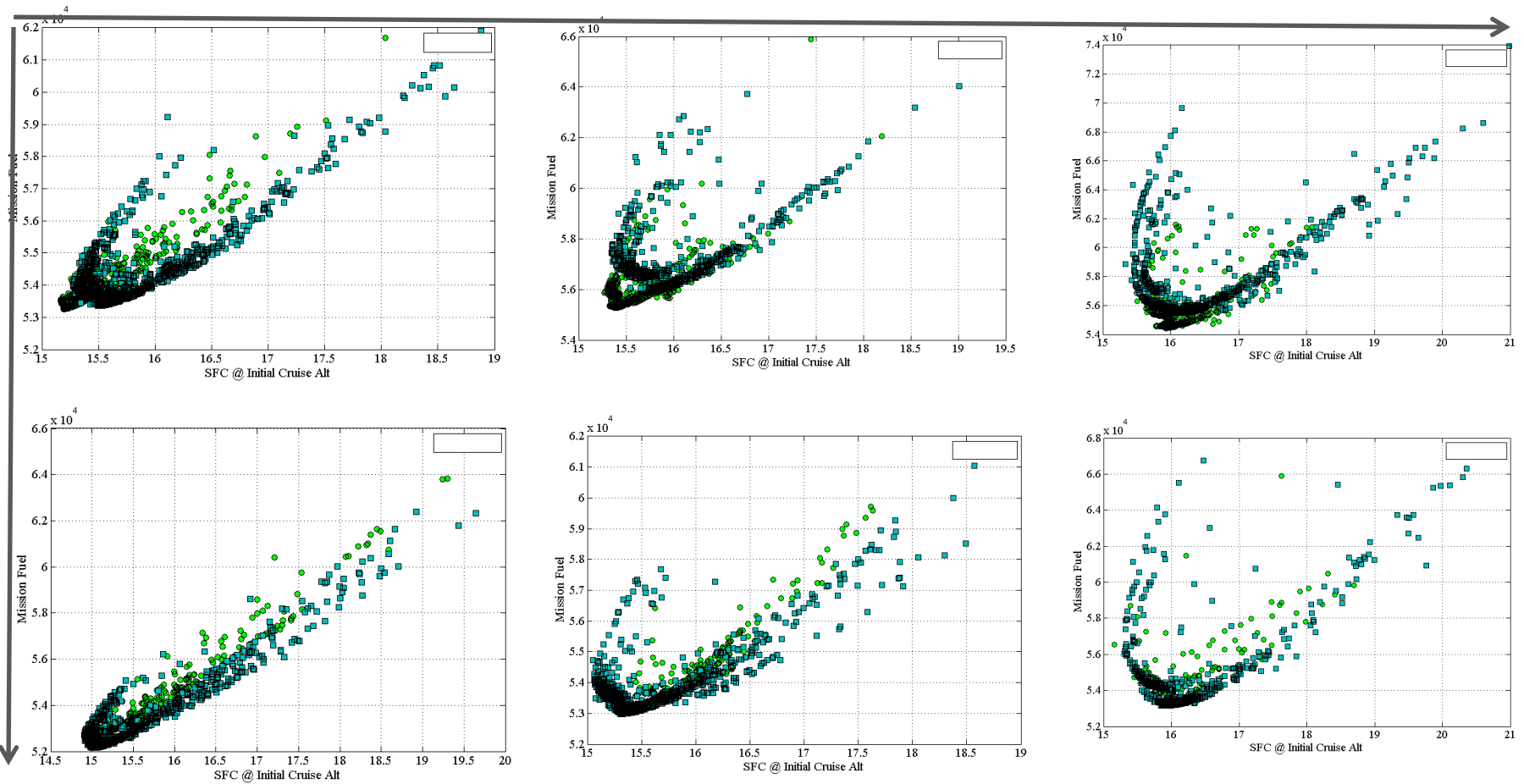
Ökande temperaturer (CET)



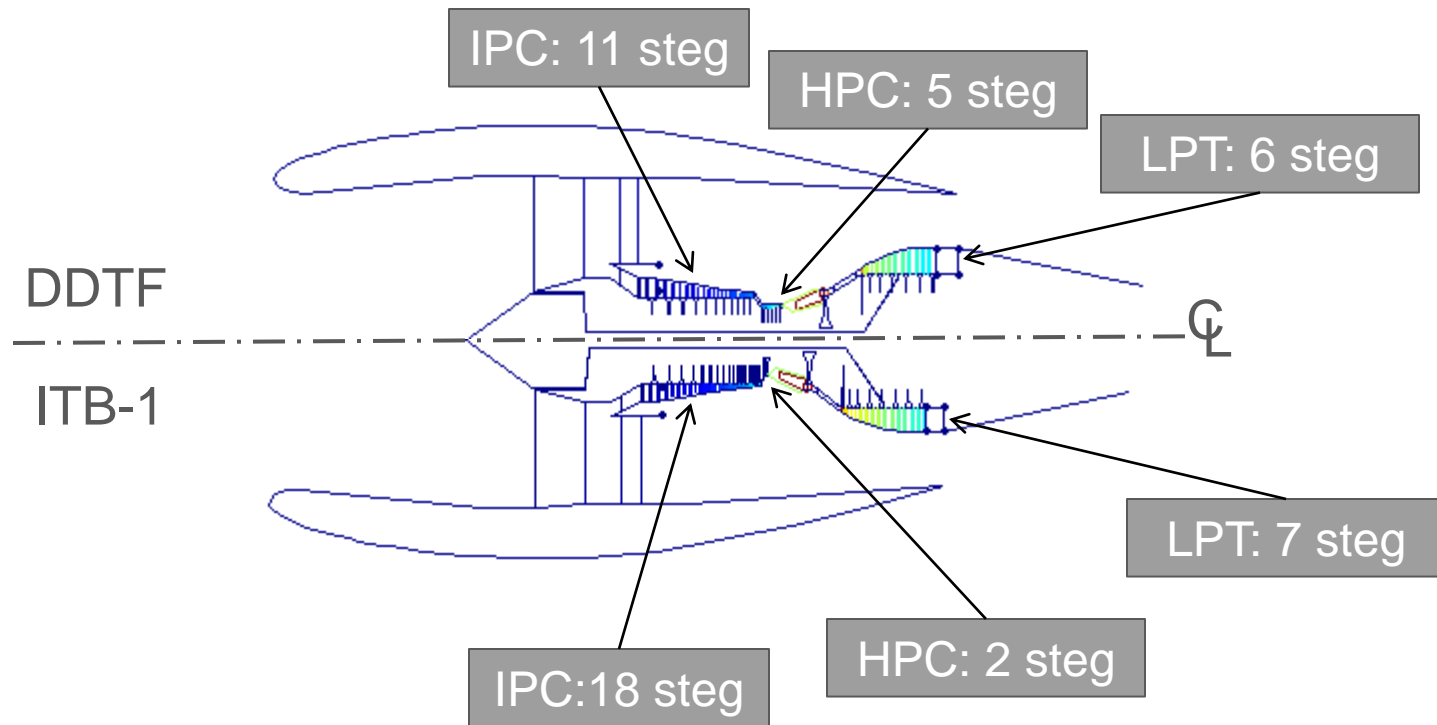
Resultat – Prestanda (3/3)

Ökande viktillväxtfaktor

Ökande temperaturer (CET)



Resultat - konfiguration (ex.)



- ITB:n blir omlastad, antalet IPC-steg ökar från 11 – 18, samtidigt som HPC:n avlastas
- Motorn kommer att kräva många delar!
- ITB:n blir något lättare (3 – 4%)
 - 4% kortare
 - 1.5 % mindre diameter

Några slutsatser (to be continued..)

- Att mellanturbinöverhettning ger effekttätare motorer är ett känt faktum – det är inte lika omtalat att mellanturbinöverhettning dessutom kan ge effektivare flygmotorer!
- För att en mellanturbinöverhettad turbofläkt skall kunna överträffa den konventionella turbofläkten i effektivitet måste man kunna expandera tillräckligt nedströms mellanbrännkammaren, dvs elda tidigt under expansionen!
- En praktiskt möjlig väg framåt i är att realisera mellanturbinöverhettning i den 3-spoliga turbofläkten!
- Ett annat lite omtalat spår är mellanturbinöverhettning tillämpat för militära ändamål med höga krav på dragkraftsöverskott!



Frågor? (Om inte annat har jag en till er...)

