



Středoškolská technika 2013

Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT

Viskozita kerosinu

Jakub Ptáček

První soukromé jazykové gymnázium

Brandlova 875, Hradec Králové

Obsah

1. Úvod.....	1
2. Teoretická část práce	2
2.1 Viskozita kapalin.....	2
2.2 Vysvětlení tvorby ledu v palivovém systému.....	3
2.3 Konstrukce proudových motorů u dopravních letadel	4
2.4 Vývoj proudových motorů	5
2.5 Kritická část palivového systému	6
2.6 Používaná paliva.....	7
2.6.1 Civilní:.....	7
2.6.2 Vojenská:.....	7
3. Experimentální část práce	8
3.1 Metodika	8
3.2 Výsledky	9
3.2.1 Naměřené hodnoty	9
3.2.2 Grafy hodnot	10
4. Závěr.....	11
5. Seznam použité literatury	12
6. Seznam obrázků a tabulek	14
7. Seznam použitých zkratek.....	15
8. Přílohy	16

1. Úvod

Cílem mé práce je zjistit změnu viskozity kerosinu při různých teplotách. Tato práce by také mohla sloužit jako vodítko k nalezení vhodnějších aditiv, jež se přimíchávají do paliva. Tímto problémem se zabývala britská AAIB, americká NTSB, FAA, Boeing a Rolls-Royce ve spojení s leteckou nehodou, jež se stala 17. 1. 2008 na londýnském letišti Heathrow. Jednalo se o dopravní letadlo British Airways typu Boeing 777-236ER reg. G-YMMM na lince Peking - Londýn. Pilotům se nedařilo při přistání zvýšit tah motorů natolik, aby bylo možné provést bezpečný přistávací manévr. Při prvním ohledání místa nehody nebyla zjištěna příčina nehody. Při výslechu posádky stroje a prozkoumání údajů z CVR a DFDR bylo zjištěno, že po celou dobu letu až do okamžiku, kdy posádka potřebovala zvýšit výkon motorů letoun reagoval zcela normálně. Experti z výše zmíněných institucí dospěli k závěru, že nedostatek tahu způsobil led v palivovém potrubí, který se při pokusu posádky zvýšit tah odtrhl ze stěn systému a částečně znemožnil průtok paliva v oblasti FOHE. Motory proto produkovaly tah než je hodnota „idle“, ale nedokázaly udržet letoun ve vzduchu. Následně byl vydán seznam protiopatření, mezi nimiž bylo především přepracování palivového systému Boeingu 777.

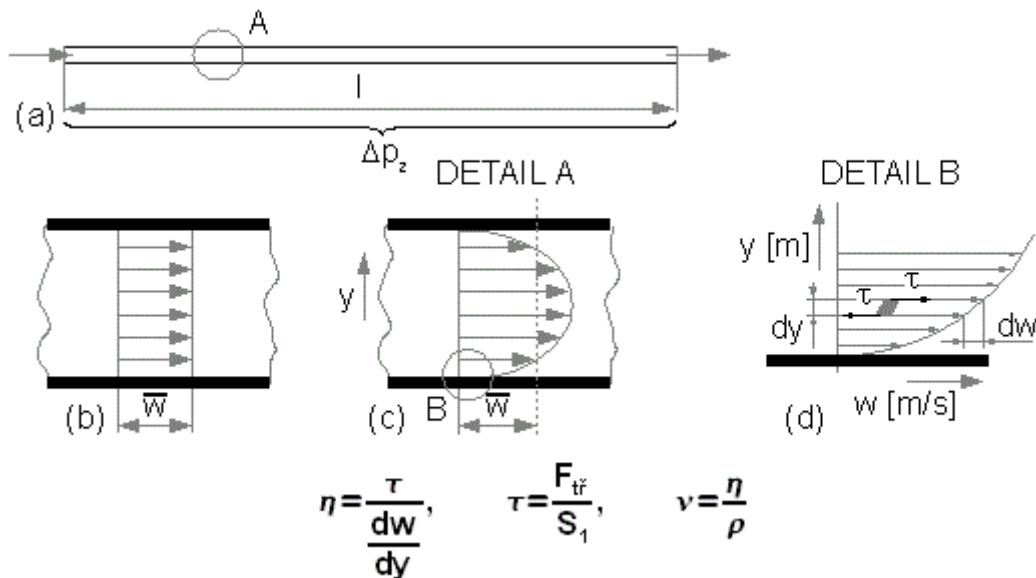
Armáda a někteří provozovatelé obchodních letounů používali aditiva, která omezují výskyt ledu v palivovém systému. Do 12. 4. 2009 FAA nevydala doporučení provozovatelům dopravních letadel, aby používali aditiva. V současné době jsou aditiva standardem. Já jsem se proto zaměřil na rozdíly mezi palivy civilními a vojenskými abych zjistil, zda by nebylo vhodné zveřejnit složení (druh) aditiv používaných ve vojenském provozu za účelem zkvalitnění aditiv civilních.

2. Teoretická část práce

2.1 Viskozita kapalin

Kapaliny jsou látky, které se účinkem malé vnější síly trvale deformují – tečou. Při malých rychlostech proudění (laminární proudění) se tok kapalin uskutečňuje jako smyková deformace, která charakterizuje změnu materiálu při smykovém (tečném) napětí.^[1] Vnitřní tření závisí na spádu rychlosti dle vztahu $\tau = \eta \frac{\Delta v}{\Delta y}$. τ zde představuje tečné napětí, η je koeficient dynamické viskozity a $\frac{\Delta v}{\Delta y}$ představuje přírůstek rychlosti mezi dvěma přiléhajícími vrstvami.

Při laminárním proudění vznikají mezi vrstvami kapaliny (v našem případě kerosinu) tečné napětí z důvodu vzájemného působení molekul látky. V palivovém potrubí se totiž kapalina pohybuje v různých místech různou rychlostí. Při stěnách se kapalina pohybuje pomaleji než-li ve středu toku. Tím je způsobeno urychlování pomaleji se pohybující vrstvy tou rychlejší a zpomalování rychleji pohybující se vrstvy tou pomalejší.



©2010, Jiří Škorpík

2.2 Vysvětlení tvorby ledu v palivovém systému

Ačkoliv je kerosin považován za jedno z nejčistších paliv, je i v něm obsaženo množství vody. Ve velkých výškách může teplota kerosinu klesnout na hodnoty hluboko pod 0°C . Za těchto podmínek voda formuje malé ledové krystaly, jež jsou ale tak studené, že ne nepřichytávají na stěny potrubí. Při tomto letu teplota paliva neklesla pod -34°C . Bod tuhnutí kerosinu je -40°C (JET A) a -47°C (JET A-1). Problém nastává při ohřívání směsi paliva. K tomuto procesu dochází při klesání stroje do nižší letové hladiny. Jak se směs a spolu s ní i potrubí ohřívá, krystaly ledu se shlukují na stěnách a tím omezují tok paliva. Měření provedena za účelem zjištění přesného rozmezí teplot, kdy k tomuto jevu dochází, určila jako kritické rozmezí $+5^{\circ}\text{C}$ až -20°C . V tomto teplotním rozsahu se kerosin stává „lepivým“ (krystaly ledu se zachycují na stěnách palivového systému). Nejvíce ledu se zachycovalo při teplotě -12°C . Dále bylo zjištěno, že za určitých podmínek stačí 25ml vody k omezení průtoku paliva skrz FOHE (dochází k zacpání trubiček ohříváče sněhem).

Při letu ve velkých výškách panují teploty hluboko pod bodem mrazu. Dopravní letadla běžně létají ve výšce 35 000ft až 40 000ft a někdy i výše. V těchto letových hladinách panují teploty až -50°C . Z toho vyplývá problém s udržení teploty paliva v nádržích. To se řeší buď vyhříváním horkým vzduchem z motorů, nebo umístěním nádrže nad jednotky klimatizace (tato metoda je používána konkrétně u letounu Boeing 747, kdy je nad klimatizací umístěna středová palivová nádrž). Palivo je dále ohříváno na cestě k motorům průtokem skrze několik výměníků (např. FOHE) a ohříváčů. Palivo je monitorováno posádkou. Větším problémem je zamrzání vody, která se usazuje na dně nádrže (má vyšší hustotu než kerosin). Z tohoto důvodu se voda po letu odčerpává.

2.3 Konstrukce proudových motorů u dopravních letadel

Proudové motory se obecně skládají ze vstupu vzduchu, kompresoru, spalovací komory, turbíny, dmyhadla a výstupní trysky. Princip funkce těchto motorů je nasátí vzduchu, ve spalovací komoře dojde k vstříknutí směsi paliva. Dochází k rotaci turbíny a tím, jak je vzduch vytlačován obrovskou silou ven z motoru dochází ke vzniku tahu. Skladba motorů nemusí být nutně stejná. Jsou motory s různým tahem (udává se většinou v kilonewtonech – kN).

Velmi důležitou částí leteckého proudového motoru je tzv. obraceč tahu (thrust reverser). Tento díl obrací tah motorů proti směru pohybu letounu a tím dochází ke značnému brzdnému účinku. Existuje několik způsobů jak docílit „obrácení tahu“.

1. Obraceč tahu mušlového typu
2. Obraceč tahu s vnějšími štíty
3. Obraceč tahu, který odsunutím části motoru využívá k brzdění studený vzduch, jež obtéká spalovací komoru

2.4 Vývoj proudových motorů

Výroba prvního proudového motoru se datuje až do roku 1943. První motor byl vyroben firmou Junkers a nesl označení JUMO 004. Tento motor byl využíván na některých typech německých letounů (například Messerschmitt Me-262 Schwalbe, či Arado Ar234) za druhé světové války. Další velký milník představoval vývoj motoru Pratt&Whitney TF30, který byl také používán v armádě a měl tzv. přídavné spalování (forsáž). Model TF30 poprvé „letěl“ v letounu F-111A Aardvark vyrobený pro USAF v roce 1964.

Mezi jedny z nejpozoruhodnějších motorů patří motor GEnx a Rolls-Royce Trent 1000-TEN. GEnx byl uveden na trh spolu s letouny Boeing 747-8 a Boeing 787. Trent 1000-TEN je navržen k pohánění celé řady Boeingu 787.

Je čistě na provozovateli letounu, jaký typ pohonné jednotky si zvolí. Mezi jedny z hlavních faktorů (když pomineme poměr spotřeba/výkon) je značka, kterou aerolinie používají u ostatních letadel. Zde je totiž možnost nahrazení určitých komponentů motorů z motoru jiné řady. Také to šetří náklady na přeškolení mechaniků na jiného výrobce.

2.5 Kritická část palivového systému

FOHE – Fuel/Oil heat exchanger

Tento díl zajišťuje ohřátí paliva před vstupem do motoru a zároveň ochlazení oleje (dochází k ochlazení horkého oleje chladným kerosinem a naopak). FOHE je tvořen tenkými trubicemi, jimiž protéká kerosin. Trubice jsou uzavřeny ve válcovitém pouzdře. Mezi nimi protéká olej z motorů a dochází k teplotní výměně. Před nehodou byl výměník konstruován tak, že trubice vyčnívaly ven z pouzdra. I když vyčnívaly jen o několik málo milimetrů bylo to dostatečné na to, aby se led/sníh nedostal do styku s horkým povrchem výměníku a zacpal trubice. Tato konstrukční vada byla po vyřešení nehody vyřešena srovnáním povrchu výměníku tak, že trubice již nevyčnívaly a tak nedocházelo k jejich ucpaní. Od doby této úpravy již nedošlo k podobnému incidentu.

2.6 Používaná paliva

2.6.1 Civilní:

JET A-1

JET A-1 je běžně používané palivo pro proudová letadla. Bod tuhnutí je stanoven na -47°C . Toto palivo obsahuje aditivum FSII (zamezuje tvorbě ledu v systému) a aditivum proti korozi a podporující lubrikaci. Relativní hustota (vůči vodě při 4°C) je mezi 0,78 a 0,82

JET A

JET A není moc rozšířené a neobsahuje žádná aditiva. Bod tuhnutí je -40°C . Relativní hustota je podobná jako u JET A-1.

JET B

JET B je ze skupiny tzv. „*wide – cut fuel*“. Toto označení znamená, že se nejedná o čistý kerosin, ale o směs kerosinu a benzínu. Paliva z této skupiny se v civilním letectví již moc nevyužívají z důvodu bezpečnosti. Tato paliva se stále využívají v zemích se studeným klimatem (Kanada aj.)

2.6.2 Vojenská:

JP8

JP8 je vojenské palivo s podobnými vlastnostmi jako JET A-1. Relativní hustota je shodná jako u JET A-1. V palivu JP8 je obsaženo aditivum FSII a ostatní aditiva. Vojenská aditiva většinou nejsou veřejně dostupná, jelikož podléhají vojenskému tajemství země.

Kerosin se používá místo benzínu z důvodu vyšší bezpečnosti. Kerosin (resp. jeho páry) není tak explozivní jako benzín.

3. Experimentální část práce

3.1 Metodika

Abych zjistil závislost viskozity kerosinu na teplotě, sehnal jsem vzorek leteckého kerosinu JET A-1 a vzorek vojenského paliva JTS-34 používaného Armádou České republiky (pravděpodobně upravené palivo F-34 používané všemi zeměmi NATO, které má vlastnosti podobné jako JP-8). Aditiva přítomná v JET A-1 jsou známa (viz. kapitola „Používaná paliva“), ale u vzorku JTS-34 informace podléhají vojenskému tajemství České republiky. Měření jsem uskutečnil ve značně improvizovaných podmínkách doma za použití viskozimetru, lihového teploměru a dvou odměrných válců. Jako chladicí médium do viskozimetru byla použita kapalina do chladičů (Fridex).

Kerosin i Fridex jsem dal do mrazáku a ochladil je na teplotu -25°C . Ochlazení kapalin trvalo přibližně 24 hodin. Následně jsem se i se vzorky přesunul ven, kde byla teplota okolo -10°C abych zamezil prudkému ohřátí kapalin. Uskutečnil jsem celkem 10 měření pro každý vzorek. Během měření jsem se bohužel nedokázal vyhnout teplotním výkyvům ani spojení obou vzorků. Ke spojení docházelo při střídání vzorků ve viskozimetru.

Předpokládám, že čím bude teplota nižší, tím nižší bude viskozita. Viskozita by dle pramenů měla růst od -20°C , na -12°C by měla být nejvyšší a poté by se měla postupně zmenšovat.

3.2 Výsledky

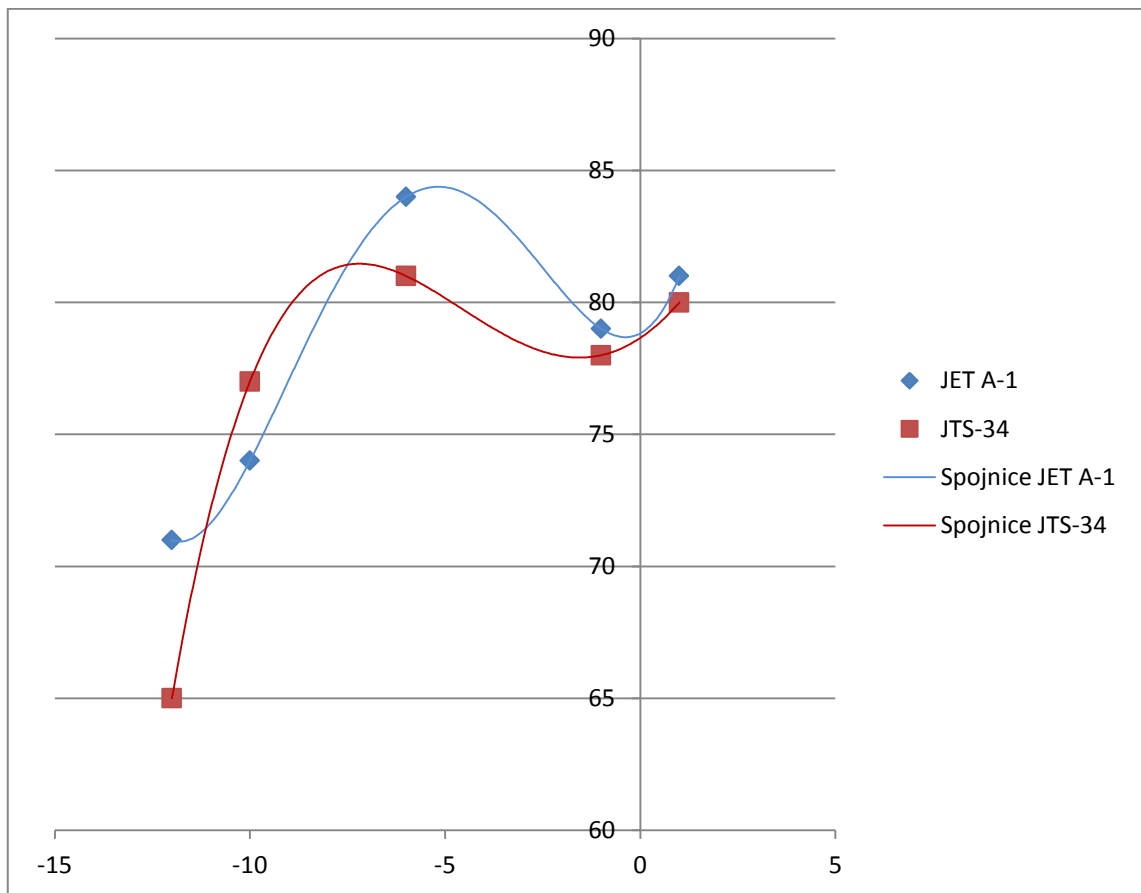
3.2.1 Naměřené hodnoty

°C	JET A-1	JTS-34
-23	1:26:60	1:17:86
-18	1:14:62	1:18:00
-16	1:10:02	1:12:92
-14	1:17:18	1:08:96
-12	1:10:53	1:04:88
-11	1:16:05	1:13:19
-10	1:14:45	1:17:38
-6	1:24:04	1:21:31
-1	1:19:38	1:18:09
+1	1:21:07	1:20:00

Tabulka 1 Naměřené hodnoty při pokusu (čas v minutách, teplota ve °C)

Údaje v tabulce znázorňují teplotu a čas, za jaký viskozimetrem proteklo 250ml kerosinu.

3.2.2 Grafy hodnot



Obrázek 1 Graf mého pokusu po odstranění chybných měření

4. Závěr

Mé měření bohužel nepotvrdilo, že nejvyšší viskozita kerosin je na -12°C . Přisuzuji to velkým odchylkám použitých měřidel a vnějším podmínkám, které panovaly při samotném měření. Měření ale potvrdilo, že vojenská palivo, respektive aditiva do něj přidávaná, jsou na vyšší úrovni, než aditiva v palivu pro civilní použití.

5. Seznam použité literatury

1. Kolektiv autorů. *General aircraft knowledge/Airframes/Systems/Powerplants vol. 2.0 book 1/3*. Four forces aviation, 2000
2. Sleight, P. A. – Carter, R.D.G. *Report on the accident to Boeing 777-236ER, G-YMMM, at London Heathrow Airport on 17 January 2008*. Crown Copyright, 2010
3. NATO. *Chapter 15: Fuels, Oils, Lubricants and Petroleum Handling Equipment [on-line]*. NATO Logistics Handbook, 1997. Přístup z internetu: URL: www.nato.int/docu/logi-en/1997/lo-15a.html
4. The Engineering Toolbox. *Density, Specific Weight and Specific Gravity [on-line]*. Přístup z internetu: URL: www.engineeringtoolbox.com/density-specific-weight-gravity-d_290.html
5. Kolektiv autorů. *Aviation Fuels Technical Review*. Houton: Chevron Corporation, 2006
6. NATO. *Detail specification Turbine fuel, Aviation, Kerosene type, JP-8 (NATO F-34), NATO F-35, and JP8+100 (NATO F-37) [on-line]*. Přístup z internetu: URL: www.webdg.org/ccb/FEDMIL/dtl83133h.pdf
7. Aerospaceweb.org. *Pentagon & Boeing 757 Engine Investigation [on-line]*. Přístup z internetu: URL: www.aerospaceweb.org/question/conspiracy/q0265.shtml
8. Rolls-Royce. *Introducing the Trent 1000-TEN [on-line]*. Přístup z internetu: URL: www.rolls-royce.com/civil/products/largeaircraft/trent_1000/
9. General Electric. *The GENx™ Engine Family [on-line]*. Přístup z internetu: URL: <http://www.geaviation.com/engines/commercial/genx/>
10. Stephen J. Mraz. *100 years of Aircraft engines [on-line]*. 2003. Přístup z internetu: URL: www.machinedesign.com/article/100-years-of-aircraft-engines-0918
11. Engineering.purdue.edu. *Thrust Reversing [on-line]*. Přístup z internetu: URL: <https://engineering.purdue.edu/~propulsi/propulsion/jets/basics/reverse.html>
12. Baaa-acro.com. *G-YMMM [on-line]*. Přístup z internetu: URL: <http://www.baaa-acro.com/Fiches%20d'accidents/2008/G-YMMM.htm>

13. Nottingham Science Blog. *Rolls Royce Plc [on-line]*. Přístup z internetu: URL:
<http://nottinghamscience.blogspot.cz/2011/12/info-rolls-royce-plc.html>
14. Rcgroups.com. *Attachment GENx.jpg [on-line]*. Přístup z internetu: URL:
<http://www.rcgroups.com/forums/attachment.php?attachmentid=4344858>
15. Indexamundi.com. *Europe Kerosene Production and Consumption by Year [on-line]*. Přístup z internetu: URL:
<http://www.indexmundi.com/energy.aspx?region=eu&product=kerosene&graph=production+consumption>

6. Seznam obrázků a tabulek

Obrázek 1 <i>Graf mého pokusu po odstranění chybných měření</i>	10
Obrázek 2 <i>General Electric GENx</i>	16
Obrázek 3 <i>Rolls-Royce Trent 1000-TEN</i>	16
Obrázek 4 <i>Boeing 777 G-YMMM po nehodě</i>	17
Obrázek 5 <i>Typ obraceče tahu využívající studeného vzduchu</i>	17
Obrázek 6 <i>Obraceče tahu využívající mušlového způsobu a štítů</i>	18
Obrázek 7 <i>Graf spotřeby (žlutě) a produkce (modře) kerosinu v Evropě (v tis. barelů/den)</i>	19
Obrázek 8 <i>Tepelný výměník ucpaný ledem</i>	19

7. Seznam použitých zkratek

1. CVR – „*Cockpit voice recorder*“ - Nahrává komunikaci v kokpitu
2. DFDR – „*Digital flight data recorder*“ – Zaznamenává letové údaje
3. FOHE – „*Fuel/Oil heat exchanger*“ – Výměník, který ochlazuje olej z motorů a zároveň ohřívá palivo před vstupem do motorů.
4. IDLE – Označení polohy plynových pák letounu. Motory jsou při tomto nastavení v klidu.

8. Přílohy



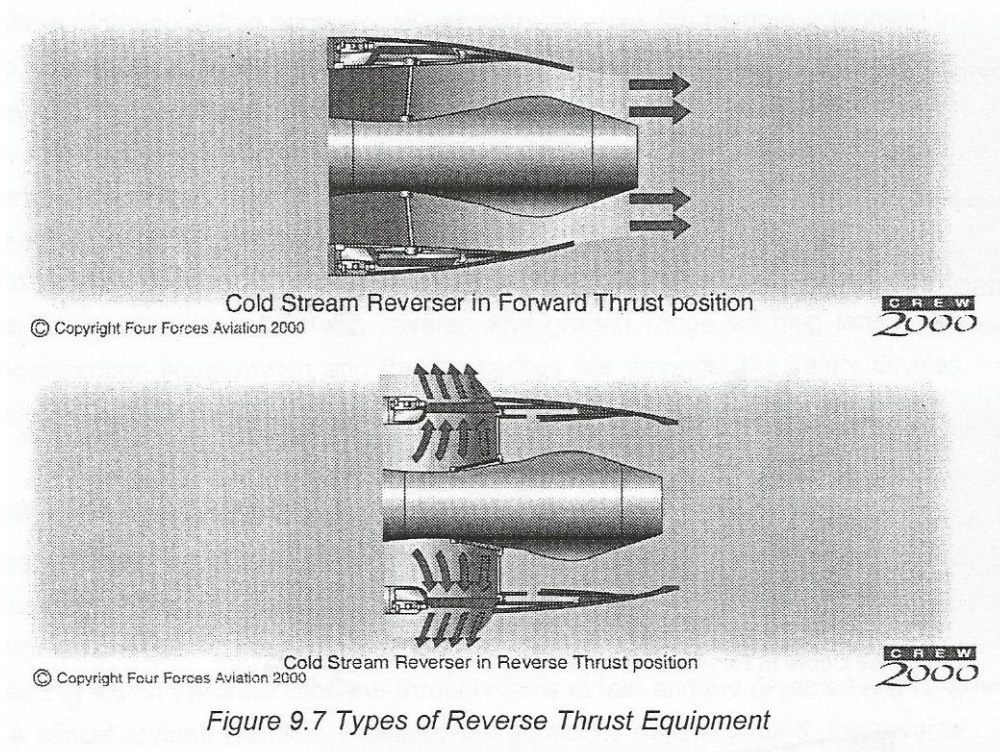
Obrázek 2 *General Electric GENx*



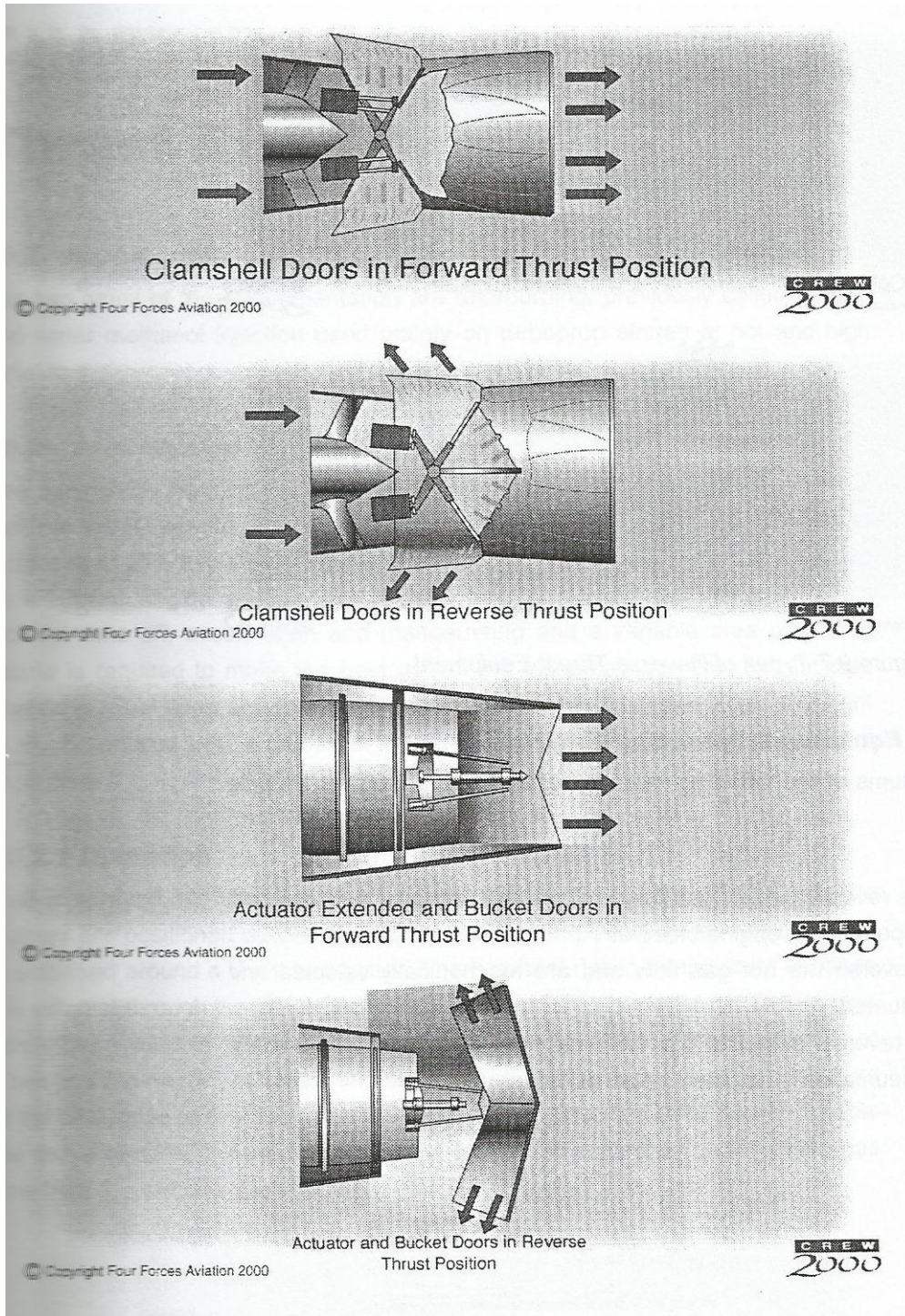
Obrázek 3 *Rolls-Royce Trent 1000-TEN*



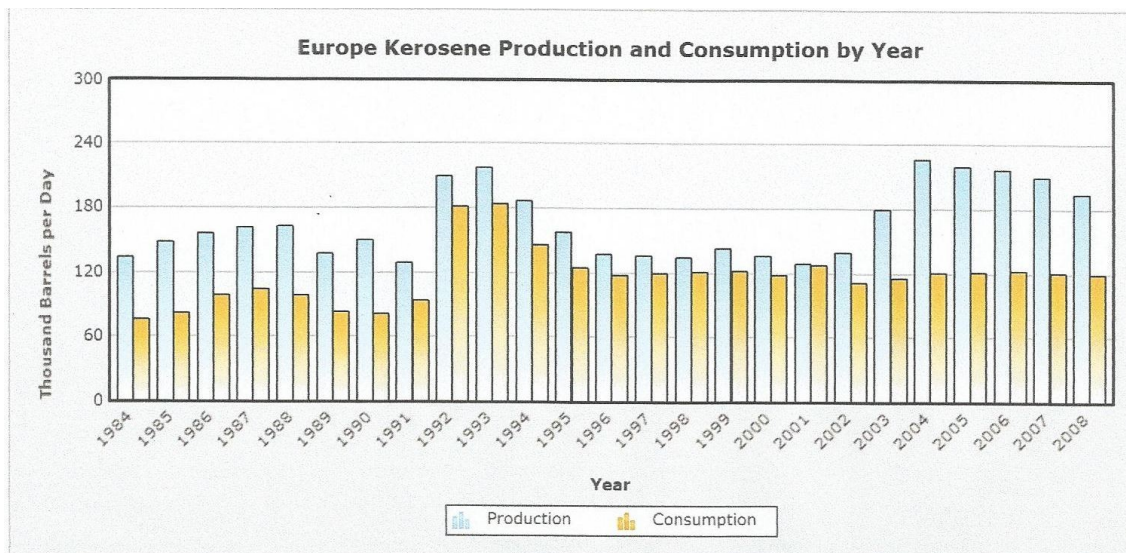
Obrázek 4 Boeing 777 G-YMMM po nehodě



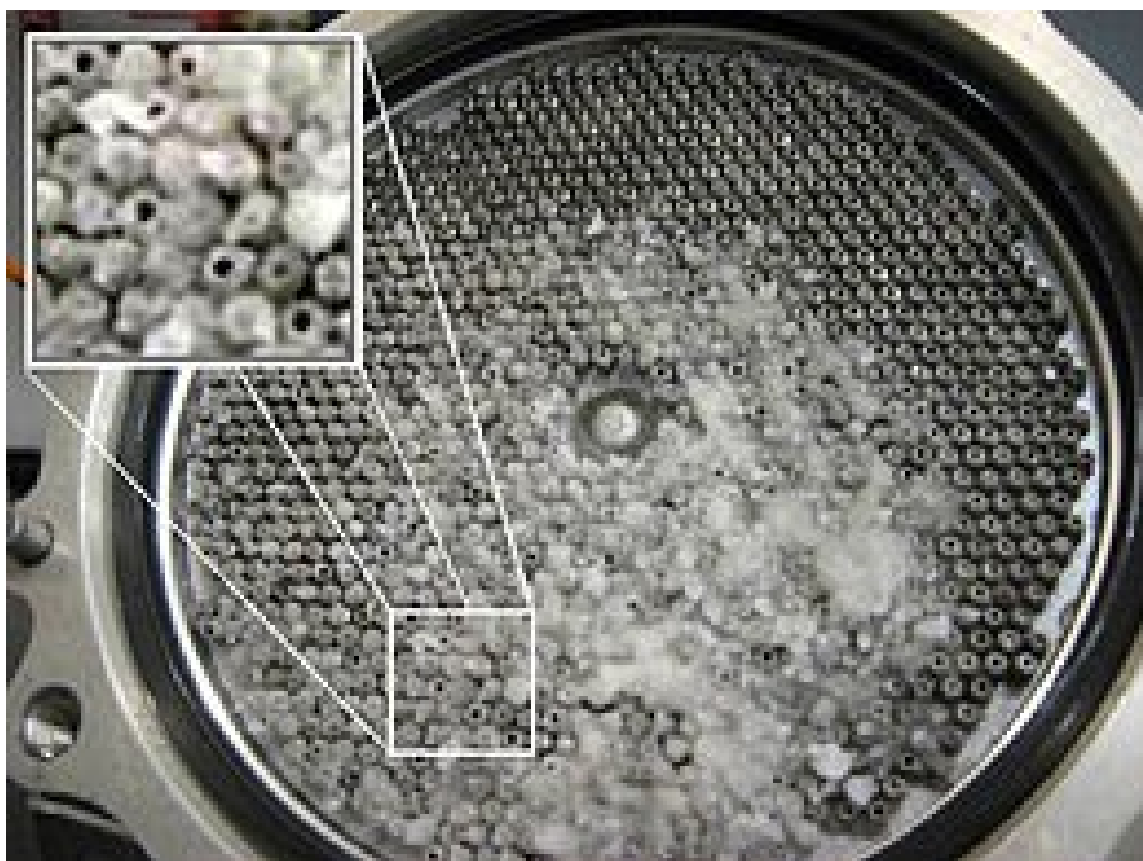
Obrázek 5 Typ obraceče tahu využívající studeného vzduchu



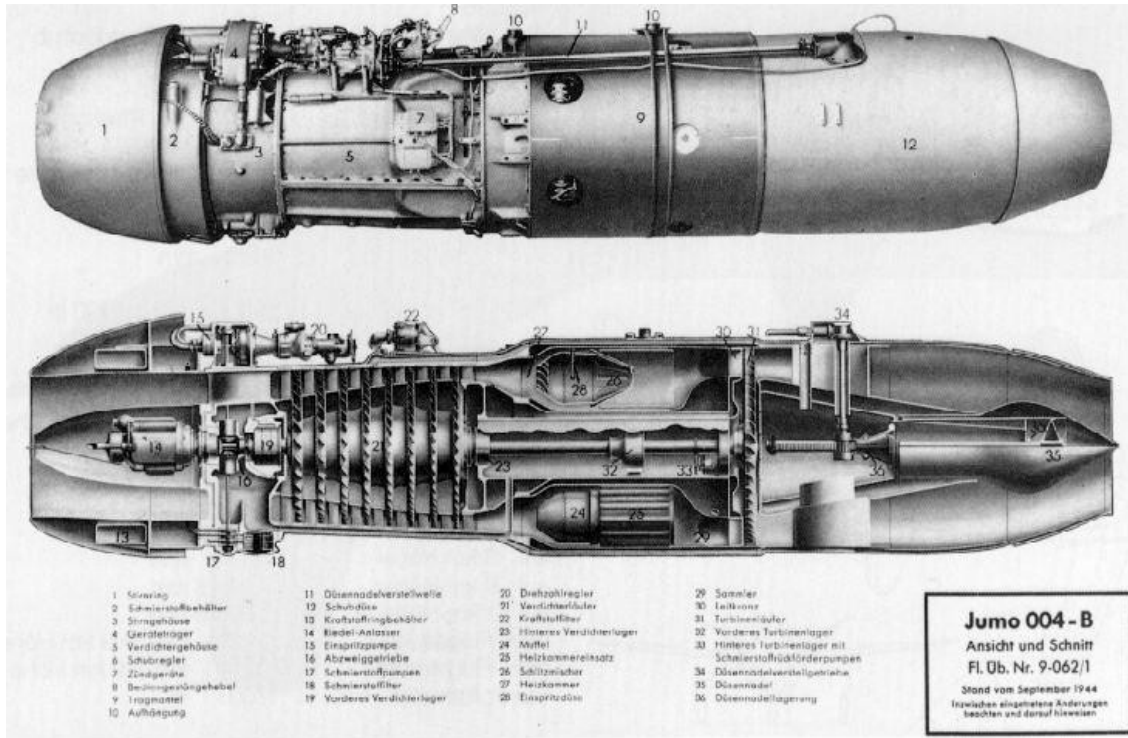
Obrázek 6 Obrabeče tahu využívající mušlového způsobu a štítů



Obrázek 7 Graf spotřeby (žlutě) a produkce (modře) kerosinu v Evropě (v tis. barelů/den)



Obrázek 8 Tepelný výměník ucpaný ledem

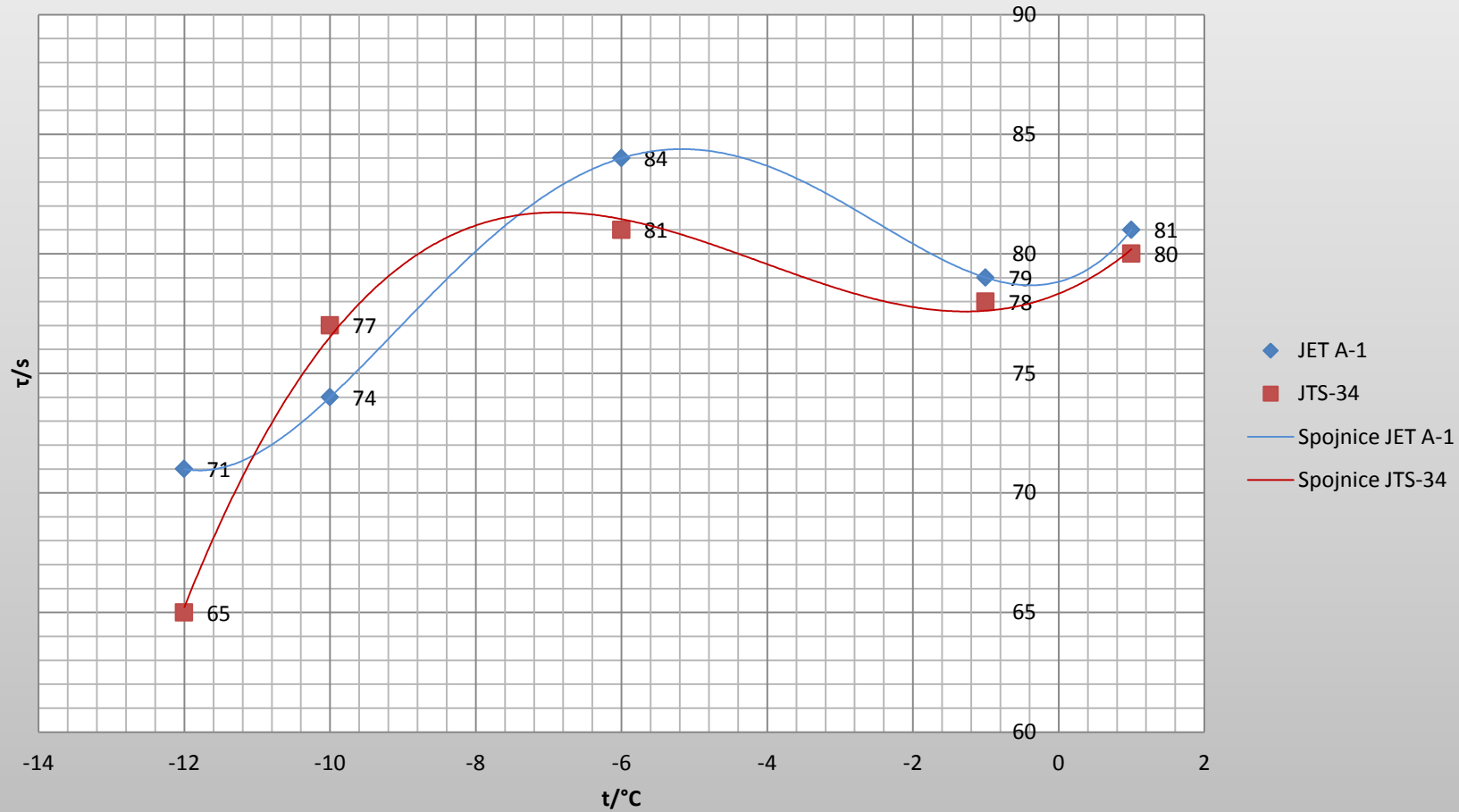


Obrázek 9 Jeden z prvých proudových motorů JUMO 004



Obrázek 10 Me-262a Schwalbe s motory JUMO 004

Závislost doby průtoku na teplotě



Obrázek 11 Graf závislosti doby průtoku na teplotě