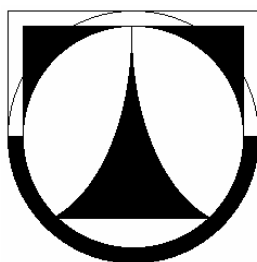
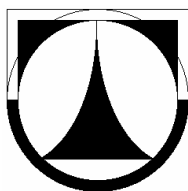


TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA STROJNÍ
KATEDRA STROJŮ PRŮMYSLOVÉ DOPRAVY

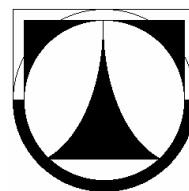


DIPLOMOVÁ PRÁCE

OPTIMALIZACE SACÍHO TRAKTU
MOTORU ML636ENE



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA STROJNÍ
KATEDRA STROJŮ PRŮMYSLové DOPRAVY



Studijní program: M2301 Strojní inženýrství

Obor: 2302T010 Konstrukce strojů a zařízení

Zaměření: Pístové spalovací motory

Optimalizace sacího traktu motoru ML636ENE

Optimizing the suction link of engine ML636ENE

Roman Bezděčný

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Lubomír Moc, CSc

Konzultant diplomové práce:

doc. Ing. Celestýn Scholz, Ph.D.

Ing. Milan Nýdrle

Rozsah práce a příloh:

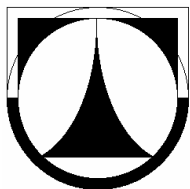
Počet stran: 47

Počet obrázku: 25

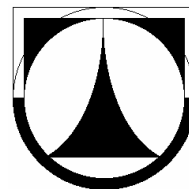
Počet tabulek: 2

Počet příloh: 6

Počet výkresů: 7



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA STROJNÍ
KATEDRA STROJŮ PRŮMYSLOVÉ DOPRAVY



V Liberci dne 5. ledna 2006

Hálkova 6, 461 17 Liberec

Tel:48 535 3108, fax:48 535 3535

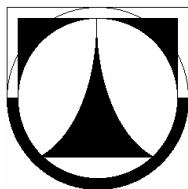
ANOTACE

JMÉNO A PŘÍJMENÍ:	Roman Bezděčný
OBOR:	Konstrukce strojů a zařízení
ZAMĚŘENÍ:	Pístové spalovací motory
NÁZEV PRÁCE:	Optimalizace sacího traktu motoru ML636ENE
ČÍSLO PRÁCE:	PSM - 486
VEDOUCÍ PRÁCE:	doc. Ing. Lubomír Moc, CSc
KONZULTANT:	doc. Ing. Celestýn Scholz, Ph.D. Ing. Milan Nýdrle

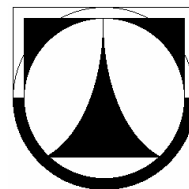
Předložená diplomová práce se zabývá simulací proudění v sacím traktu zážehového motoru a konstrukčním návrhem pro optimalizaci sacího traktu.

V první části je popsáno současné konstrukční řešení sacího traktu, tvorba modelu, popis simulace a simulace současného varianty.

Druhá část se věnuje návrhu optimalizovaného sacího traktu, porovnání výsledků simulace optimalizované a neoptimalizované varianty. Součástí práce je výkresová dokumentace optimalizovaného sacího traktu.



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA STROJNÍ
KATEDRA STROJŮ PRŮMYSLové DOPRAVY



Hálkova 6, 461 17 Liberec

Tel:48 535 3108, fax:48 535 3535

ANNOTATION

NAME:	Roman Bezděčný
SPECIALIZATION:	Mechanical engineering
FOCUSING:	Piston combustion engines
THEME OF THESIS:	Optimizing the suction link of engine ML636ENE
NUMBER OF THESIS:	PSM - 486
LEADER OF THESIS:	doc. Ing. Lubomír Moc, CSc
CONSULTER:	doc. Ing. Celestýn Scholz, Ph.D. Ing. Milan Nýdrle

The diploma thesis deals with the simulation of circulation in the suction link of spark-ignition engine and the design of optimizing of the suction link.

The structural design of the suction link, the model formation, the simulation description and simulation of the present version are described in the first part.

The second part refers to the design concept of optimized suction link, the comparison of simulation results optimized and non-optimized version. The design documentation of the optimized suction link is included.



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Jméno a příjmení	Radek B e z d ě ě n ý
studijní program	M2301 Strojní inženýrství
obor	2302T010 Konstrukce strojů a zařízení
zaměření	Pístové spalovací motory

Ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách se Vám určuje diplomová práce na téma:

OPTIMALIZACE SACÍHO TRAKTU MOTORU ML636ENE

Zásady pro vypracování:

(uveďte hlavní cíle diplomové práce a doporučené metody pro vypracování)

1. Proveďte obecný rozbor problematiky proudění vzduchu v sacím potrubí zážehových motorů.
2. Pomocí programu FLUENT simulujte dynamický proces proudění pro dosavadní konstrukční řešení sacího traktu motoru ML636ENE a provozní podmínky, s ohledem na požadavek průběhu točivého momentu motoru a zástavbové možnosti. Výpočtový model ověřte experimentem na motoru.
3. Konstrukčně vypracujte optimální návrh úpravy sacího traktu přeplňovaného motoru ML636ENE s mezichladičem plnicího vzduchu.
4. Cílem DP je využití řešení ve VZ MSM.

Forma zpracování diplomové práce:

průvodní zpráva: cca 45 stran textu, výsledků výpočtů, experimentů a přiložené výkresové dokumentace. Kompletní výpočty a data budou uloženy na přiloženém CD nosiči.

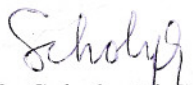
Seznam literatury (uveďte doporučenou odbornou literaturu):

- Heiler, H.: Advanced engine technology, SAE Int., 2002.
- Dokumentace a materiály KSD-TUL, Fluent 6.1, GT Power.
- Blair, P., G.: Design and Simulation of Four-Stroke Engines, SAE Int., 1991.

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Lubomír Moc, CSc

Konzultant diplomové práce: doc. Ing. Celestýn Scholz, Ph.D.
Ing. Milan Nýdrle

L.S.


Doc. Ing. Celestýn Scholz, Ph.D.
vedoucí katedry

Doc. Ing. Petr Louda, CSc.
děkan

V Liberci dne 31.10.2004

Platnost zadání diplomové práce je 15 měsíců od výše uvedeného data. Termíny odevzdání diplomové práce jsou určeny pro každý studijní rok a jsou uvedeny v harmonogramu výuky.

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnutou licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tom případě má TUL právo ode mne požádat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultanty.

Datum:

Podpis:

Obsah

Seznam použitých zkratek	7
<u>1 Úvod</u>	8
<u>2 Rozbor problematiky proudění vzduchu v sacím potrubí zážehových motorů</u>	9
2.1 Dopravní účinnost	9
2.2 Požadavky na sací trakt ZM	10
2.3 Problematika proudění tekutiny v sací traktu	10
2.3.1 Stavová rovnice	11
2.3.2 Rovnice kontinuity	11
2.3.3 Pohybová rovnice	12
2.3.4 Energetická rovnice	14
2.4 Hydraulické ztráty	15
2.4.1 Ztráty třením	16
2.4.2 Ztráty vzniklé rozrušením struktury proudu	18
2.4.3 Deformace pole rychlostí vyvolaná obloukem	18
2.5 Kmity v potrubí	19
2.5.1 Dynamické přepřínování	20
<u>3 Simulace stávajícího konstrukčního řešení traktu</u>	24
3.1 FLUENT	24
3.1.1 Princip funkce FLUENTu	24
3.2 Stručná charakteristika motoru ML636ENE	25
3.3 Sací trakt	25
3.4 Simulace modelu sacího traktu	26
3.4.1 Geometrie modelu	26
3.4.2 Tvorba výpočetní sítě	27
3.4.3 Okrajové a přechodové podmínky	28
3.4.4 Přepočítání naměřených dat	31
3.4.5 Vyhodnocení výsledků simulace současného řešení	32
3.4.6 Zhodnocení vypočtených dat a současného provedení sacího traktu	32
<u>4 Návrh optimální úpravy potrubí sacího traktu</u>	37
4.1 Obecný rozbor pro návrh optimální úpravy	37
4.2 Návrh optimální úpravy	38

4.3 Simulace optimalizované varianty.....	39
4.4 Zhodnocení vypočtených dat pro návrh optimalizace.....	39
<u>5 Porovnání současného řešení s návrhem</u>	42
5.1 Obecné porovnání.....	42
5.2 Porovnání pomocí průtokových součinitelů.....	42
<u>6. Závěr</u>	44
<u>7 Použitá literatura</u>	46

Seznam použitých zkratk

Veličiny:

v [m.s^{-1}]	– rychlost	λ [-]	– součinitel ztrát třením
A [m^2]	– plocha	κ [-]	– kompresní poměr
F [N]	– síla	η_d [-]	– dopravní účinnost
W [J]	– práce	η [Pa.s]	– dynamická viskozita
m [kg]	– množství	τ [Pa]	– tečné napětí
$\dot{m}$ [kg.s^{-1}]	– hmotnostní tok	σ [Pa]	– normálové napětí
Q_h [J]	– teplo přivedené	Δ [mm]	– absolutní drsnost stěny
n [min^{-1}]	– otáčky	ν [m^2/s]	– kinematická viskozita
P [kW]	– výkon	α [$^\circ$]	– středový úhel
p [Pa]	– tlak	δ [m]	– tloušťka vazké podvrstvy
U [J]	– energie	ζ_m [-]	– součinitel místní ztráty
r [$\text{J} \cdot (\text{kg} \cdot \text{K})^{-1}$]	– měrná plynová konstanta vzduchu	ρ [kg.m^{-3}]	– hustota náplně
T [K]	– teplota	D [s]	– gradient rychlosti
V_M [dm^3]	– zdvihový objem motoru	D [mm]	– vrtání
V_Z [dm^3]	– zdvihový objem válce	L [m]	– délka potrubí, délka osy oblouku
V [m^3]	– objem	d [m]	– vnitřní průměr potrubí
V_o [dm^3]	– největší objem válce	R [m]	– poloměr osy oblouku
z_t [m]	– ztrátová výška třením	w_p [m.s^{-1}]	– postupná rychlostní vlna
z_m [m]	– místní, přídavná ztrátová výška	w_z [m.s^{-1}]	– odražená rychlostní vlna
p_p [Pa]	– postupná tlaková vlna	z [m]	– zdvih
f_l [m^2]	– průtokový průřez plicního orgánu	c_p [J/kgK^{-1}]	– měrná tepelná vodivost
f_p [m^2]	– průtokový průřez ústí sání		

Zkratky:

Re	– Reynoldsovo číslo
$^\circ \text{KH}$	– stupně klikového hřídel

Indexy:

c	– celkový
e	– efektivní
i	– indikovaný
p	– tlaková
g	– tíhová
t	– teoretický
vz	– vzduchu
o	– na začátku sání

1 Úvod

Při konstrukci motoru je cílem dosažení vysokého točivého momentu v nízkých otáčkách a vysokého jmenovitého výkonu v maximálních otáčkách, při dodržení podmínek hospodárního a ekologického provozu. Možným způsobem, jak zvýšit točivý moment a jmenovitý výkon motoru je zlepšení podmínek plnění motoru, tedy zlepšení dopravní účinnosti sacího traktu, nebo použít některou formu přeplňování.

Vyrábět varianty sacího traktu k ověření jeho parametrů může být složité a nákladné. Je proto velmi výhodné použít vhodný simulační software, který nám dá komplexní představu o tom jak se vzájemně ovlivňují jednotlivé aspekty vstupující do řešení problematiky proudění náplně nové motoru v sacím traktu. Nespornou výhodou simulace je i jednoduchá analýza vlivu změny geometrie či okrajových podmínek na změnu funkce zařízení.

Simulace tak umožňuje zkrátit jednotlivé návrhové cykly a zrychlit proces vývoje s jeho současným zefektivněním, jelikož řada nedostatků může být odhalena ještě před výrobou prvního fyzického prototypu.

Náplní této práce je porovnání simulace proudění v sacím traktu motoru ML636ENE s experimentem na motoru a navrhnout konstrukční úpravy vedoucí k optimalizaci stávajícího sacího traktu.

2 Obecný rozbor problematiky proudění vzduchu v sacím potrubí zážehových motorů

Sací systém spalovacího motoru zabezpečuje přívod nové náplně do válců motoru. U motorů vznětových a u motorů zážehových s přímým vstřikem paliva do válce motoru se jedná o přívod vzduchu. U motorů s vnější tvorbou směsi (vstřikování benzínu do sacího potrubí nebo do sacích kanálů) je přiváděna čerstvá směs paliva se vzduchem. V druhém případě je nutno navrhovat sací systém i s ohledem na průběh vytváření směsi v průběhu sání.

Obecným požadavkem na konstrukci sacího systému motoru je požadavek na co nejmenší tlakovou ztrátu a tedy co nejlepší naplnění válce motoru ve všech pracovních režimech motoru, hlavně pak v režimu maximálního výkonu. Proto zavádíme pojem dopravní účinnost

2.1 Dopravní účinnost

Vyjadřuje poměr skutečné hmotnosti náplně ve válci vůči hmotnosti náplně, jež by byla ve válci při izonetropickém průtoku za podmínek na vstupu do válce.

$$\mu_d = \frac{\dot{m}_c}{\dot{m}_{t_c}} \quad (2.1)$$

kde:

$$\dot{m}_c \dots\dots \text{hmotnostní tok čerstvé náplně do motoru} \quad \dot{m}_c = \dot{m}_{vz} + \dot{m}_p$$

$$\dot{m}_{t_c} \dots\dots \text{teoretický hmotnostní tok čerstvé náplně do motoru} \quad \dot{m}_{t_c} = \dot{m}_{t_vz} + \dot{m}_{t_p}$$

Dopravní účinnost motoru se zmenšuje hlavně vlivem hydraulických odporů při sacím zdvihu a nedokonalého časování rozvodu. Projevuje se také vliv netěsností, přestupu tepla, teploty, tlaku a vlhkosti vzduchu, tlaku ve výfukovém potrubí, konstrukce sacího a výfukového potrubí, hlavy. Čím větší jsou otáčky motoru, tím kratší je doba k naplnění válců vzduchem, a tím by měli být větší průtokové rychlosti v sacím orgánu. Proto plnění s rostoucími otáčkami klesá, neboť rostou hydraulické odpory. Dopravní účinnost η_d je maximální pouze při určitých otáčkách.

Cílem při konstrukci motoru je dosažení vysokého točivého momentu při nízkých otáčkách a vysokého jmenovitého výkonu při otáčkách maximálních. Průběh točivého momentu je úměrný nasáté hmotnosti vzduchu v závislosti na otáčkách motoru.

Pomocným prostředkem k ovlivnění výkonu a točivého momentu je geometrické provedení sacího potrubí.

2.2 Požadavky na sací trakt ZM

Od sacího traktu požadujeme:

- dodávku rovnoměrné a co největší náplně všem válcům motoru,
- jednoduchost, plynulost přechodů, absenci překážek v potrubí a náhlých změn směru potrubí,
- stejnou délku, průtokový průřez a hydraulické odpory větví potrubí ,
- zajištění dostatečné rychlosti směsi či vzduchu v potrubí, neměla by však překračovat u čtyřdobého motoru 20-40 m/s a u dvoudobého 50-60 m/s,
- nezávislost pohybu směsi na pořadí zapalování,
- sací trakt by neměl být veden kolem intenzivních zdrojů tepla,
- při použití společných větví by se neměla překrývat doba plnění válců plněných z jedné větve,
- snadná a levná výroba,
- rychlá a nenáročná montáž a demontáž.

2.3 Problematika proudění tekutiny v sacím traktu

Sací trakt není nic jiného než potrubí v němž proudí tekutina. Skládá se z rovných úseků, kolen nebo ohybů či jiných součástí ovlivňujících proudění media uvnitř (škrtky, klapka, sondy, vstřikovací trysky).

Pro řešení problematiky je nutné znát základní rovnice, popisující chování tekutiny v proudovém poli. Jsou to:

- *stavová rovnice* – vyjadřuje vzájemnou závislost teploty, tlaku a hustoty plynu v kontrolním objemu.
- *rovnice kontinuity* – tj. rovnice zachování hmoty, rozdíl hmotnostního toku

přiváděného a odváděného povrchem kontrolního objemu se má rovnat změně hmotnosti v tomto objemu za stejný časový interval.

- *pohybová rovnice* – aplikuje druhý Newtonův zákon na tekutiny, podle něhož se podle něhož se časová změna hybnosti v uvažovaném objemu rovná impulsu vnějších sil a má stejný směr a smysl.
- *energetická rovnice* – tj. rovnice zachování energie, vyžadující, aby rozdíl energie přiváděné a odváděné povrchem uvažovaného kontrolního objemu se rovnal změně energie tekutiny uvnitř tohoto objemu v témže časovém intervalu.

2.3.1 Stavová rovnice

Spojením Boyleova-Mariottova a Gay-Lussacova zákona vyplyne pro ideální plyny stavová rovnice

$$\frac{p}{\rho} = rT \quad (2.2)$$

2.3.2 Rovnice kontinuity

Rovnice zachování hmoty, se v mechanice tekutin obvykle nazývá rovnicí kontinuity. Při ustáleném proudění nestlačitelné tekutiny vyjadřuje rovnost vtékající a vytékající hmotnosti mezi počátkem a koncem měřeného úseku.

$$\Delta m = m_1 - m_2 = \rho_1 \cdot A_1 \cdot v_1 - \rho_2 \cdot A_2 \cdot v_2 = 0 \quad (2.3)$$

V obecném proudovém poli se podmínka zachování hmoty při průtoku kontrolním objemem V o povrchu A vyjadřuje rovnicí

$$dm/dt = \delta / \delta t \int_V \rho \cdot dV + \int_A \rho \cdot v \cdot dA = 0 \quad (2.4)$$

kde první člen pravé strany značí časovou změnu hmotnosti tekutiny ve vytyčeném kontrolním objemu V a druhý člen změnu hmotnosti v důsledku přítoku a odtoku tekutiny jeho povrchem A .

2.3.3 Pohybová rovnice

Uplatněním druhého Newtonova zákona

$$\sum F_{\text{částice}} = \left(\frac{d(m \cdot v)}{dt} \right)_{\text{částice}} \quad (2.5)$$

se získá pohybová rovnice. Pro jednorozměrné proudění ideální tekutiny za působení tlakových a tíhových sil dostaneme tvar

$$\begin{aligned} \sum F &= F_p + F_g = -(dp/ds) \cdot A \cdot ds - \rho \cdot g \cdot A \cdot (dz/ds) = \\ &= \rho \cdot A \cdot ds (dv/dt) \end{aligned} \quad (2.6)$$

jeho úpravou získáme pohybovou rovnici, která se pro jednorozměrné proudění nazývá Bernoulliho

$$\rho \cdot v \cdot dv + dp + \rho \cdot g \cdot dz + \delta v / \delta t \cdot ds = 0 \quad (2.7)$$

Stlačitelné proudění v Bernoulliho rovnici respektujeme členem $\int (dp/\rho)$, kdy při integraci dosazujeme $\rho = \text{konst}$ pro nestlačitelnou tekutinu nebo $\rho = f(p)$ pro tekutinu stlačitelnou.

Pro obecné proudové pole se pohybová rovnice odvozuje pro stejný kontrolní objem V a jeho povrch A . Pak platí

$$\sum F_{\text{částice}} = \frac{\delta}{\delta t} \left[\int_V \rho \cdot v \cdot dV + \int_A \rho \cdot v \cdot (v \cdot dA) \right] \quad (2.8)$$

kde první člen pravé strany značí časovou hybnost tekutiny uvnitř kontrolního objemu V a druhý člen změnu hybnosti v důsledku přítoku a výtoku tekutiny jeho povrchem A . Zavede-li se kontrolní objem ve tvaru krychle o hranách dx , dy , dz , pak pohybové rovnice v pravoúhlých souřadnicích budou mít ve směru osy i , kde $i = (x, y, z)$ tvar

$$\frac{\delta(\rho \cdot v_i)}{\delta t} + v_x \frac{\delta(\rho \cdot v_i)}{\delta x} + v_y \frac{\delta(\rho \cdot v_i)}{\delta y} + v_z \frac{\delta(\rho \cdot v_i)}{\delta z} = \rho \cdot f_i \quad (2.9)$$

$$\text{kde } f_i = \sum dF_i / (\rho \cdot dx dy dz)$$

V rovnici (2.9) pro ideální nevazkou tekutinu, můžou být z vnějších sil uvažovány síly objemové, např. tíhová, z vrchových jen síly tlakové. V reálné vazké tekutině působí navíc ještě povrchová síla třecí. Vzniká účinkem viskozity a její velikost je pro newtonské tekutiny, tedy i vzduch definovaná vztahem

$$F_t = A \cdot \tau = A \cdot \eta \cdot dv / dn \quad (2.10)$$

kde η je dynamická viskozita

$$\eta = \frac{\tau}{D} \quad (2.11)$$

Poměrná velikost F_t na elementu tekutiny $dx dy dz$, vytknutém z prostoru proudového pole, je ve směru x

$$f_{xt} = (1 / \rho) \cdot (\delta_x / \delta x + \delta \tau_{yx} / \delta y + \delta \tau_{zx} / \delta z) \quad (2.12)$$

Hodnota pro zbývající souřadné směry vyplývá z matice tenzoru napětí

$$T = \begin{bmatrix} \sigma_x & \tau_{yx} & \tau_{zx} \\ \tau_{xy} & \sigma_y & \tau_{zy} \\ \tau_{xz} & \tau_z & \sigma_z \end{bmatrix}$$

Připojením třetího členu vzniknou rovnice Navierovy-Stokesovy, které mají po úpravách tvar pro nestlačitelnou tekutinu ve směru i kde $i = (x, y, z)$

$$\frac{dv_i}{dt} = -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\delta p}{\delta i} + \nu \left(\frac{\delta^2 v_i}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 v_i}{\delta y^2} + \frac{\delta^2 v_i}{\delta z^2} \right) \quad (2.13)$$

Uvažujeme-li stlačitelnost rozšiřují se rovnice (2.13) na pravé straně o člen, který má ve směru i , kde $i = (x, y, z)$ tvar

$$\frac{1}{3} \cdot \nu \cdot \frac{\delta}{\delta} \left(\frac{\delta v_x}{\delta x} + \frac{\delta v_y}{\delta y} + \frac{\delta v_z}{\delta z} \right)$$

2.3.4 Energetická rovnice

Energetická rovnice je prvním zákonem termodynamiky. Pro jednorozměrné ustálené proudění nepohybujícím se kontrolním objemem má tvar

$$Q_h - W = U_2 - U_1 \quad (2.14)$$

Vyjadřuje vztah mezi teplem Q_h do soustavy přivedené a prací W , soustavou vykonanou a stavem této soustavy. Stav soustavy je charakterizován rozdílem vnitřních energií U .

2.4 Hydraulické ztráty

Hydraulické ztráty proudění, se dají rozdělit do dvou skupin:

- ztráty způsobené třením – projevují se po celé délce potrubí,
- ztráty vzniklé rozrušením struktury proudu – projevují se hlavně v obloucích a kolenech potrubí nebo v místech překážek v proudění.

2.4.1 Ztráty třením

Ztráta třením při tlakovém proudění v potrubí se určuje z Darcyho-Weisbachovy závislosti.

$$z_t = \lambda \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (2.15)$$

Při turbulentním pohybu tekutiny je součinitel ztrát třením λ funkcí Reynoldsova čísla a drsnosti stěny potrubí Δ . Tuto závislost můžeme vyjádřit obecně závislostí

$$\lambda = f(\text{Re}, \Delta/d) \quad (2.16)$$

Reynoldsovo číslo získáme ze vztahu

$$\text{Re} = \frac{v \cdot d}{\nu} \quad (2.17)$$

Potrubí pokládáme za hydraulicky hladké a součinitel ztráty třením nezávisí na drsnosti stěny, je-li tloušťka vazké podvrstvy δ několikrát větší než absolutní drsnost stěny Δ . Požaduje se aby

$$\frac{\delta}{\Delta} > 5 \quad (2.18)$$

Tloušťka vazké podvrstvy se může určit ze vztahu

$$\delta = \frac{33.4 \cdot d}{\text{Re} \sqrt{\lambda}} \quad (2.19)$$

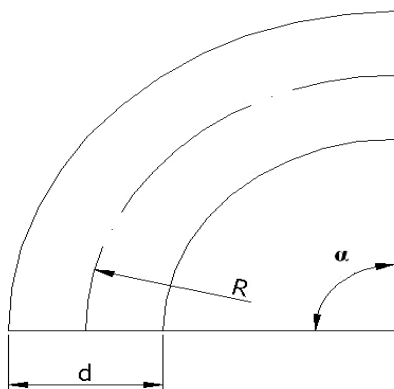
Ztráty třením v potrubí se dlouhodobým provozem zpravidla zvětšují. Příčinou zvětšení je zvýšení absolutní drsnosti stěn (např. v důsledku koroze nebo usazováním pevných částí).

2.4.2 Ztráty vzniklé rozrušením struktury proudu

Jde o ztrátu vyvolanou rozrušením struktury proudu obloukem a jejím opětovným obnovením v přímém potrubí za obloukem. Pokud nebylo před obloukem plně vyvinuté rychlostní pole, zahrnujeme do ztrát i spotřebu energie na vytvoření normálně vyvinutého rychlostního pole z ním. Tyto ztráty označujeme jako místní (singulární). Vzniká v důsledku spotřeby energie na změnu pohybu a na opakované urychlování a zpomalování částic při vzniku a zániku příčné cirkulace tekutiny.

Vzájemné proměny kinetické a tlakové energie proudu tekutiny probíhá ještě na jisté délce přímého potrubí za obloukem. Intenzita turbulence tak často dosahuje maxima až ve vzdálenosti několika průměrů za výstupem z oblouku.

Vliv na vznik ztrát má křivost oblouku a středový úhel oblouku. Ztráta energie na vytvoření a utlumení příčné cirkulace obvykle nepřesahuje 4 až 5 procent celkové ztráty vyvolané obloukem o středovém úhlu $\alpha = 90^\circ$. U oblouků o malém středovém úhlu ($\alpha < 30^\circ$) se podíl ztráty zvyšuje na 10 až 20 procent.



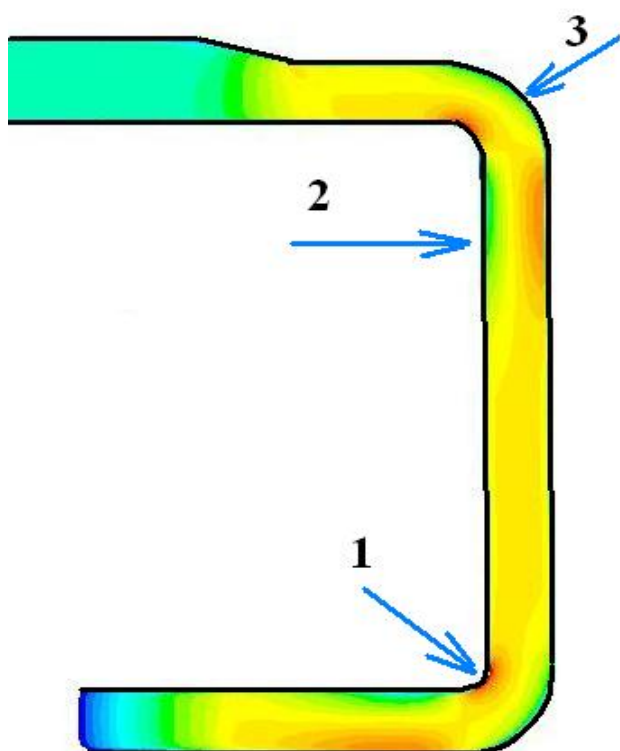
Oblouky s malou křivostí ($R/d > 2$) a s velkým středovým úhlem α bývají tyto ztráty z hlediska velikosti stejně významné jako ztráty tření o stěny. U oblouků s velkou křivostí ($R/d < 1.5$) dochází k odtržení proudu od stěny a vzniku úplavu, převažují ztráty vířením v oblasti dělicí plochy mezi tranzitním proudem a úplavem.

Obr. 2.1 Kruhový oblouk

Místní ztráta v oblouku se určí z Weisbachova výrazu

$$z_m = \zeta_m \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (2.20)$$

Součinitel místní ztráty oblouku ζ_m závisí na geometrii oblouků a parametrech proudění.



Z geometrie (obr. 2.1) je to hlavně křivost R/d , středový úhel α , drsnost povrchu a tvar průřezu. Z parametrů proudění má největší význam Reynoldsovo číslo Re a při proudění stlačitelných tekutin Machovo číslo Ma .

Není-li oblouk oddělen od ostatních singularit dostatečně dlouhými přímými úseky potrubí, nelze pominout vliv rozložení rychlostí a tlaků v profilu před vstupem do dalšího oblouku a délky přímého potrubí před obloukem, v němž se realizuje část ztráty vyvolané obloukem.

*Obr. 2.2 Deformace rychlostního pole
u oblouku velké křivosti*

*1 - urychlení částic u vnitřní stěny, 2 – úplav,
3 – zpomalení částic u vnější stěny*

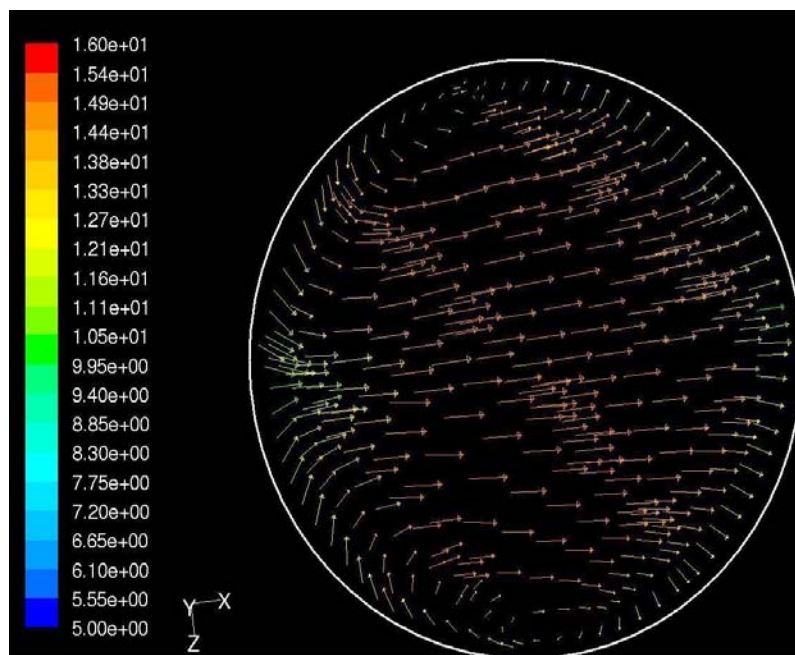
2.4.3 Deformace pole rychlostí vyvolaná obloukem

Každý oblouk vložený do potrubí vyvolává menší nebo větší změny pole rychlostí. Stupeň deformace pole rychlostí (velikost odchylek od normálně vyvinutého pole rychlostí) závisí hlavně na geometrických parametrech oblouku a na drsnosti potrubí.

U oblouků malé křivosti tj. $5 > R/d > 2$ je kvalitativní charakter deformace prakticky nezávislý na R/d a pole se mění v závislosti na R/d jen v malém rozsahu.

U oblouků velké křivosti (obr. 2.2) je charakter deformace pole zcela odlišný. V obloucích vzniká úplav provázený intenzivní příčnou cirkulací (obr. 2.3) a vysokou intenzitou turbulence.

V zakřiveném potrubí se v důsledku změny směru proudění projevují odstředivé síly směřující od středu křivosti oblouku. Ve vstupní části oblouku vyvolávají zvýšení tlaku u části stěny potrubí vzdálenější od středu křivosti a jeho snížení u části stěny bližší ke středu křivosti. Rychlost proudění je proto ve vstupní části oblouku u vnější stěny nižší a u vnitřní stěny vyšší. Je-li oblouk delší než kritická délka oblouku dané křivosti, pak se v části přesahující kritickou délku (Kritická délka L_k :délka po jejíž překročení neroste intenzita příčné cirkulace v oblouku a součinitel místní ztráty ζ_m se nemění) a u kratších oblouků na výstupu nebo v přímé části za obloukem, tvoří opačné rozložení rychlostí než na vstupu do oblouku. Vyšší rychlosti se nacházejí v oblasti vzdálenější od středu křivosti. Rychlejší



částice vytlačují pomaleji pohybující se částice do prostoru s nižším tlakem, tj. k vnitřní stěně oblouku. Vzniká tím v příčném směru dvojité cirkulační pohyb, který ve spojení s hlavním postupným pohybem vytváří šroubový pohyb, při kterém se částice kapaliny mísí a dochází k jejich opakovanému zrychlování a zpomalování.

Obr. 2.3 Cirkulační pohyb za obloukem

2.5 Kmity v potrubí

Obr. 2.4 zobrazuje zjednodušené uspořádání plnicí soustavy spalovacího motoru. Účinek plnicí soustavy je maximální, jsou-li všechny tři oscilující soustavy (potrubí-rozvodový orgán-válec) na sebe naladěny.

V okamžiku, kdy se rozvodový orgán uzavře, vznikne před ním tlakový ráz. Okamžitý tlak je dán součtem tlaku na počátku pohybu p_0 a dvojnásobku postupného tlaku p_p

$$p = p_0 + 2 p_p \quad (2.21)$$

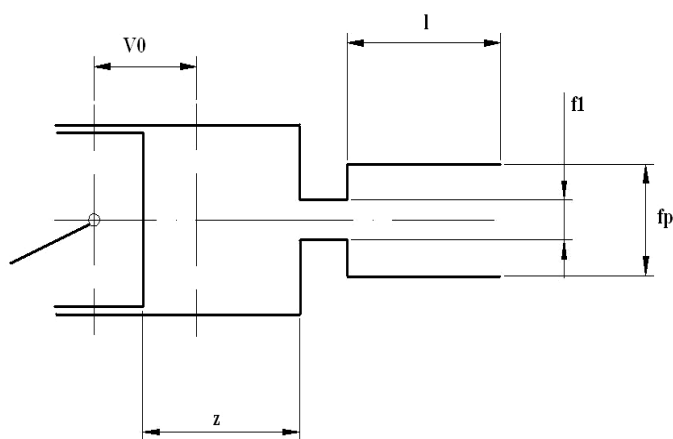
Okamžitá rychlost w nabude nulové hodnoty a proud vzduchu se odráží se stejnou rychlostí, a platí $w_p = -w_z$. Konec potrubí, uzavřený rozvodovým orgánem vyvolá kladnou tlakovou a zápornou rychlostní vlnu. Tato vlna proběhne potrubím a na otevřeném konci se odrazí se stejnou fází. Odraz tlakové vlny je $p_p = -p_z$ a rychlostní vlny je $w_p = w_z$.

Na některých místech se výchylky vln vzájemně ruší. Pokud je výsledný tlak u rozvodového orgánu větší než p_0 pak dochází k přeplňování válce, je-li rozvodový orgán otevřen. Je-li tlak menší zhoršuje se dopravní účinnost motoru.

Je-li plnicí potrubí kratší než libovolný násobek půlvln, které vyvozuje oscilující soustava, přichází záporná tlaková vlna ke vtokovému orgánu dříve než kladná, tím se kladná vlna zeslabí a plnění se zhorší.

Naopak je-li potrubí delší než libovolný násobek půl vln, přijde záporná vlna později a kladná vlna vyvolá přeplňování válce se současným zeslabením působení záporné vlny.

Tento princip se dá využít u dynamického přeplňování.



Obr. 2.4 Model plnicí soustavy

2.5.1 Dynamické přeplňování

Standardní sací potrubí vícebodových vstřikovacích systémů sestávají ze samostatných sacích potrubí a sběrného sacího potrubí (větve odpovídají počtu válců, resp. otvorům sání v hlavě válců) se škrtkicí klapkou. Přitom platí:

- krátké potrubí umožňuje vysoký jmenovitý výkon se současnými ztrátami krouticího momentu v nízkých otáčkách, dlouhé sací potrubí vykazuje opačné vlastnosti,
- velký objem sběrného potrubí vyvolává při určitých otáčkách částečný rezonanční efekt zlepšující plnění. Může ale za následek dynamické chyby (odchylky ve složení směsi při rychlých změnách zatížení).

Dosažení téměř ideálního průběhu točivého momentu umožňují úpravy sacího potrubí v závislosti na zatížení, otáčkách a natočení škrtkicí klapky:

- přestavení délky sacího potrubí,
- přepínání mezi různými délkami nebo různými rozměry sacích potrubí,
- volitelné vypínání jednotlivých trubic u systémů s více násobným sacím potrubím,
- přepínání na různé objemy sběrného potrubí.

Podle konstrukce sacího potrubí se rozlišují dva způsoby dynamického přeplňování:

- pulzační přeplňování kmity v potrubí
- rezonanční přeplňování

Oba systémy se lze vzájemně kombinovat

Přeplňování kmity v potrubí.

Každý válec má samostatné sací potrubí vhodné délky. Rozkmitání sloupce proudícího plynu vyvolá sání pohybem pístu. Vhodnou volbou délky sacího potrubí se kmity ovlivňují tak, aby se tlaková vlna pohybovala otevřeným sacím ventilem dovnitř válce a tím zlepšila jeho plnění. Ve spodní oblasti otáček je výhodné dlouhé a tenké potrubí, v horní oblasti otáček naopak krátké a široké sací potrubí.

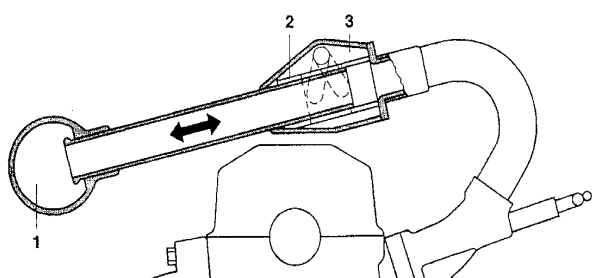
Pulzační přeplňování

Plnění válců motoru využívající dynamiky nasávaného vzduchu; každý válec má samostatné sací potrubí o určité délce „L“, které je většinou připojeno k sběrnému potrubí.

Objem potrubí $V_{\text{potrubí}}$ je větší než zdvihový objem válce V_Z . Sací práce pístu se mění na kinetickou energii sloupce plynu před sacím ventilem a tato se převádí do kompresní práce čerstvého plnění.

Regulovatelná délka sacího potrubí

Pracuje s první rezonanční komorou při nízkých otáčkách. Délka sacího potrubí se mění až do vysokých otáček, kdy se navíc otevře ještě druhá rezonanční komora (obr. 2.5). Používají se přepínatelná potrubí s dvěma až třemi rozdílnými délkami. Krátká délka potrubí je vhodná pro vysoké otáčky, dlouhá délka sacího potrubí pro nízké otáčky. Zkrácené délky se

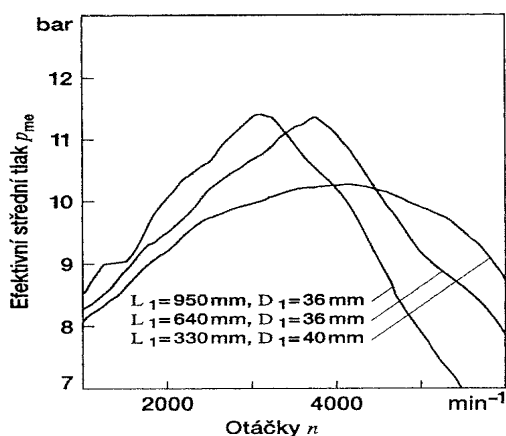
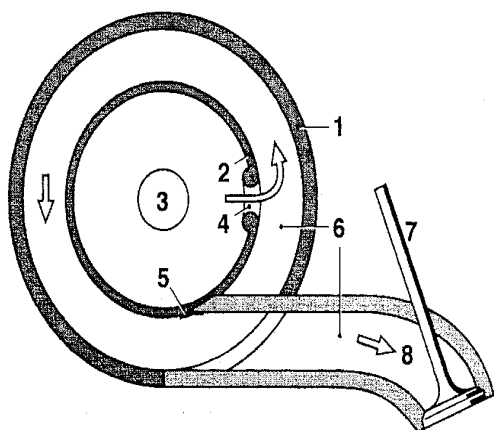


uzavírají klapkami nebo rotačním šoupátkem. V horní oblasti otáček se šoupátko nebo klapky otevřou a všechny válce nasávají krátkým, širokým sacím potrubím. Princip plynulé změny délky sacího a jeho vliv na střední efektivní tlak p_{me} je na obr. 2.6.

Obr. 2.5 Regulovatelná délka potrubí

1 – první rezonanční komora, 2 – posuvné zařízení

3- druhá rezonanční komora

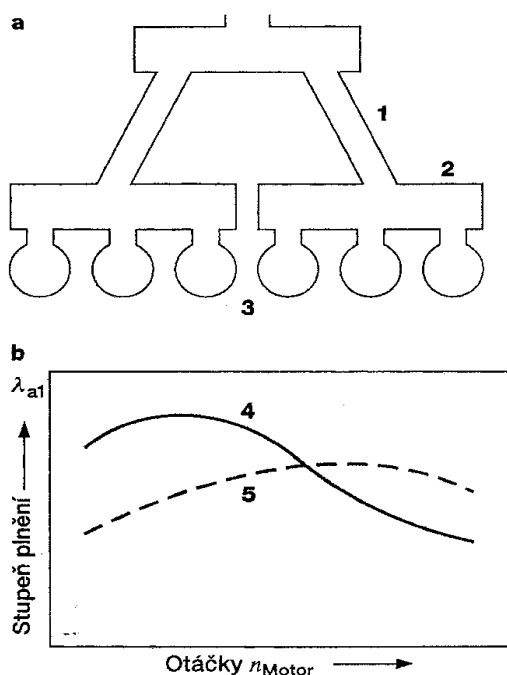


Obr. 2.6 Princip změny délky sacího potrubí

1 - nepohyblivé těleso, 2 – otočný buben, 3 – vstupní otvor vzduchu, 4 – vstupní otvor sacího kanálu, 5 – těsnění, 6 – sací kanál, 7 – sací ventil, 8 – proud vzduchu, Graf zobrazuje průběh p_{me} na otáčkách, L_1 – efektivní délka sacího potrubí, D_1 – průměr sacího potrubí

Rezonanční přeplňování

Pokud se frekvence sání daná otáčkami shoduje s frekvencí kmitů vln ve sloupci plynu, dochází k rezonanci. Rezonance způsobuje další dynamické zvýšení tlaku plnění. Rezonanční přeplňování s rezonanční soustavou pro více válců – skupiny válců jsou propojeny pomocí krátkých potrubí s rezonanční komorou, která je spojena rezonančním potrubím s okolní atmosférou popř. se sběrným zásobníkem (obr. 2.7). K buzení rezonančních kmitů slouží impuls vyvolaný uzavíráním sacího ventilu.



Obr. 2.7 Rezonanční přeplňování

a – uspořádání

b – průběh plnění

1 – rezonanční potrubí

2 – rezonanční komora

3 – válce motoru

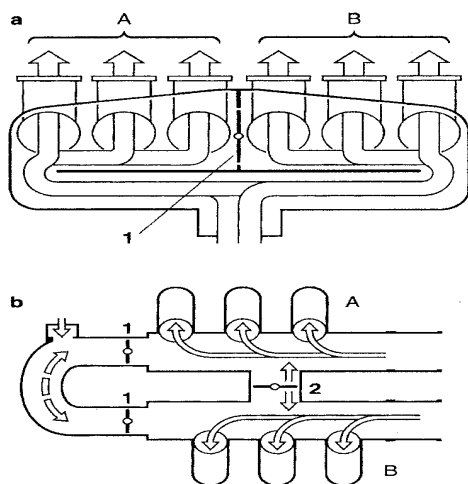
4 – s rezonančním plněním

5 – normální sací trakt

Přepínatelné sací systémy

Oba způsoby dynamického přeplňování zvyšují plnění hlavně v oblasti nízkých otáček. K přepínání sacího systému slouží klapky spojující resp. oddělující části sání přiřazené skupinám válců v závislosti na otáčkách (obr. 2.8).

Zvláštní význam má rezonanční přeplňování například v kombinaci s přeplňování turbodmychadlem k vyrovnaní malého točivého momentu při nízkých otáčkách. Další variantou je kombinace kmitajícího sacího potrubí a rezonančního přeplňování u šestiválcových a dvanáctiválcových motorů. Při nízkých otáčkách se využívá rezonanční kmitání v nádrži, a krátká sací potrubí přispívají při vyšších otáčkách k větší dodávce vzduchu jako systém s kmitajícím potrubím (obr. 2.9).



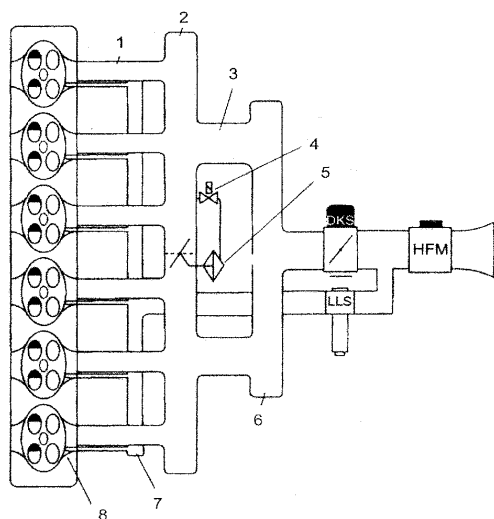
Obr. 2.8 Rezonanční přepínání s přepínáním

a – dvoustupňové přepínání

b – třístupňové přepínání

A, B skupiny válců

1, 2 klapky – otevírané v závislosti na otáčkách



Obr. 2.9 Sací systém řadového šestiválcového motoru

1 – kmitající potrubí

2 – hlavní sběrač

3 – rezonanční potrubí

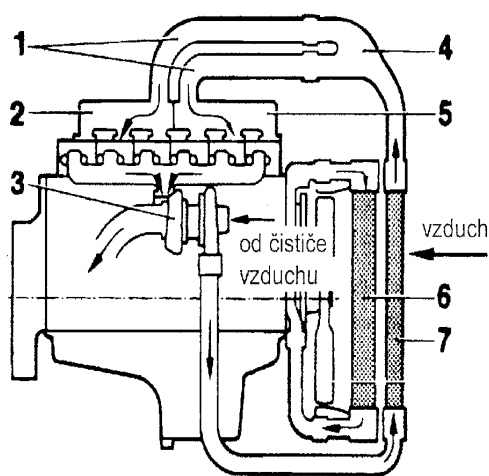
4 – elektromagnetický ventil

5 – podtlaková krabice

6 – rezonanční sběrač

7 – vířivý sběrač

8 – vířivé otvory



Motor s rezonančním přepínáním, turbodmychadlem a chlazením plnicího vzduchu znázorňuje obr. 2.10

Obr. 2.10

1 – rezonanční potrubí

2 – rezonanční komora pro válce 4-5-6

3 – TBD

4 – vyrovnávací komora

5 – vyrovnávací komora pro válce 1-2-3

6 – chladič motoru

7 – chladič plnicího vzduchu

3 Simulace stávajícího konstrukčního řešení traktu

Optimalizaci sacího traktu je možné zaměřit dvě směry:

- optimalizovat sání pro potřeby dynamického přeplňování motoru,
- optimalizovat sání z hlediska snížení vnitřních odporů a ztrát v sacím traktu.

Pokud máme použít program FLUENT, zaměřujeme se do oblastí vnitřní aerodynamiky potrubí. Jde tedy o optimalizaci z hlediska snížení vnitřních odporů a ztrát.

3.1 FLUENT

FLUENT je CFD (Computational Fluid Dynamics) program umožňující komplexní řešení úloh v oblasti proudění , přenosu tepla a spalování. Je v něm možné řešit vnější i vnitřní obtékání, v laminární a turbulentní oblasti, výpočty vícefázového proudění, proudění s volnou hladinou i chemickými reakcemi (například hoření) spolu s přenosem tepla. Program umožňuje jak stacionární, tak i nestacionární analýzu 2D i 3D problému a následnou vizualizaci výsledků.

3.1.1 Princip funkce FLUENTu

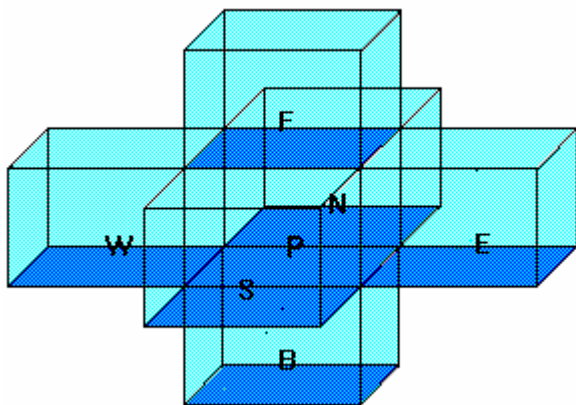
FLUENT pracuje na principu metody konečných objemů. Ta spočívá na třech bodech:

- dělení oblasti na diskrétní objemy užitím obecné křivolaké sítě,
- bilancování neznámých veličin v individuálních konečných objemech a diskretizace,
- numerické řešení diskretizovaných rovnic v obecném tvaru

$$\zeta_p \sum_i (A_i - S_p) = \sum_i A_i \cdot \zeta_i + S_c \quad (3.1)$$

kde součet se provede přes sousední buňky $i = N, S, E, W, F, B$ (což označuje sever –

North, jih - South, východ – East, západ – West, vpřed – Front, vzad – Back). A_i jsou



koeficienty, které obsahují příspěvky od konvektivních, difúzních a zdrojových členů a S_c a S_p jsou složky linearizovaných zdrojových členů. Použité označení je patrné z obr.3.1. FLUENT definuje diskrétní konečné objemy užitím non-staggered schematu, kdy všechny proměnné jsou uchovány ve středech konečných objemů.

Obr.3.1 Použité označení konečných objemů

3.2 Stručná charakteristika motoru ML636ENE

Plnorozměrový spalovací motor ENE (extrémně nízké emise) vychází ze sériového motoru LIAZ ML637PBE.w1.2C. Jedná se o zážehový přeplňovaný ležatý šestiválec na plynná paliva s přímým vefukem plynu do válce. Motor je osazen turbodmychadlem s regulací obtoku spalín mimo turbínu (Waste-Gate) a chladičem stlačeného vzduchu. Základní data jsou obsaženy v tabulce č: 1. Motor je ve spojení s dynamometrem instalován na pracovišti katedry strojů průmyslové dopravy Technické univerzity v Liberci.

3.3 Sací trakt

Pro potřeby této diplomové práce je jako sací trakt uvažováno potrubí se sběracím potrubím.

Potrubí (obr. 3.2) začínající na výstupu z mezichladiče, je vyrobeno z ocelových trubek o vnitřních průměrech $d_1 = 95$ mm a $d_2 = 70$ mm. Na potrubí jsou dva oblouky (A) s křivostí $R/d = 1$ a středovým úhlem $\alpha = 90^\circ$, dva oblouky (B) s křivostí $R/d = 0.74$ a středovým úhlem $\alpha = 110^\circ$. Na potrubí jsou dva přechody (C, D) mezi průměry d_1 a d_2 . V potrubí je také instalovaná škrťací klapka motoru.

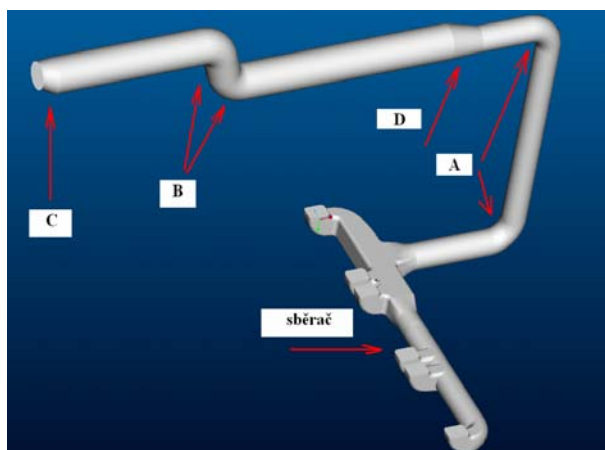
Sběrací potrubí sacího traktu je odlito z hliníkové slitiny. K potrubí je připojeno přírubou.

3.4 Simulace modelu sacího traktu

Simulace modelu sacího traktu může být rozdělena do následujících kroků:

- 1. Vytvoření geometrie.
- 2. Tvorba výpočetní sítě.
- 3. Zadání okrajových a počátečních podmínek.
- 4. Řešení.
- 5. Vyhodnocení výsledků.
- 6. Navržení úprav stávajícího řešení v závislosti na naměřených výsledcích.
- 7. Úprava modelu a jeho analýza.
- 8. Porovnání výsledků modelů.

3.4.1 Geometrie modelu



Obr.3.2 Model dutiny sacího traktu

Geometrie modelu byla vytvořena v programu Pro/Engineer jako dutina současného řešení sacího traktu. Potřebné rozměry byli získány z výkresů sběracího potrubí nebo odměřeny přímo na motoru.

Vymodelovaná dutina sacího traktu (obr. 3.2), byla jako IGES formát importována do programu Gambit, který jako objemový modelář slouží pro tvorbu a úpravy geometrie a nanášení výpočetní sítě pro program FLUENT.

V programu Gambit byl model rozložen na plochy a křivky (obr. 3.3). Plochy byli smazány a z křivek se vytvořil drátový model .

Na drátovém modelu se provedli úpravy geometrie, smazání zdvojených křivek a spojení křivek v uzlových bodech. Model byl doplněn o nové úsečky a křivky, pro pozdější rozdělení modelu na více objemů, to je nezbytné pro tvorbu jednodušší výpočtové sítě.

Následně se mezi úsečkami a křivkami opět vytvořili plochy a objemy

modelu. Je výhodné rozdělit složitou geometrii na více jednoduchých objemů, pro možnost využití kvalitnější sítě. Model byl rozdělen na jednoduché objemy na které lze použít kvalitnější síť a na objemy kde to bohužel nebude možné.

Tím je geometrie modelu hotová, a je možné na ni nanést výpočtovou síť.

Tabulka 1: Základní data motoru

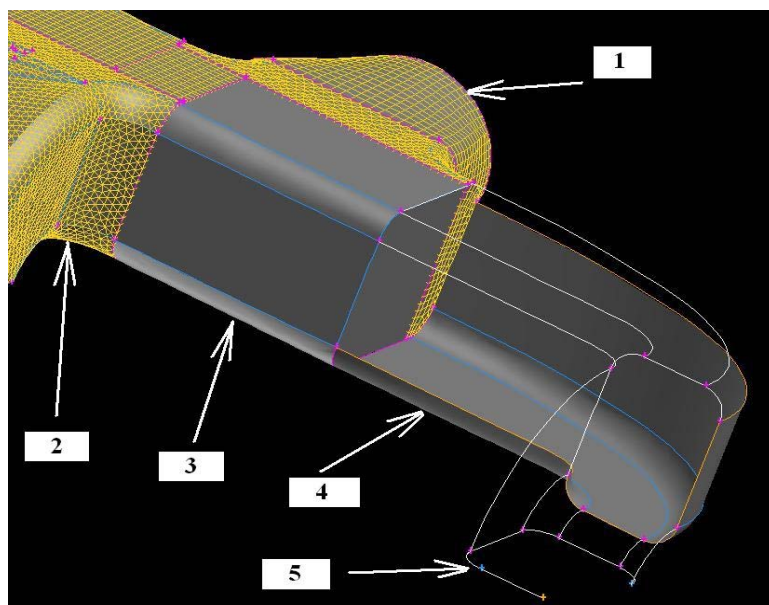
Vrtání		D	130 mm
Zdvih pístů		z	150 mm
Zdvihový objem motoru		V_M	11.946 dm ³
Kompresní poměr		ε	12.0
Jmenovitý výkon		P_e	160 kW – požadovaný
Jmenovité otáčky		n_i	2000 min ⁻¹
Časování	sací ventil otvírá		3° před HÚ
	sací ventil zavírá		44° po DÚ
	výfukový ventil otvírá		53° před DÚ
	výfukový ventil zavírá		7° po HÚ
Pořadí zapalování			1-5-3-6-2-4
Turbodmychadlo			3467 MOA/17.21
Mezichladič			Karosa, ventilátor 450 mm, klínové řemeny
Katalizátor			Není potřebný
Zapalovací a palivový systém			MIPE
Zapalovací svíčky			Brisk DR12YS

3.4.2 Tvorba výpočetní sítě

Po vytvoření geometrie se na model nanáší výpočtová síť. Kvalita sítě přímo ovlivňuje kvalitu výpočtu. Pro výsledky je samozřejmě výhodná jemná strukturovaná síť složená z šestistěnů. S ohledem na velikost modelu a hardwarové výkony dostupné výpočetní techniky není možné použít nejjemnější síť.

Na jednodušší části sacího traktu je použita strukturovaná šestistěnná síť a na geometricky složité části nestrukturovaná čtyřstěnná síť (obr. 3.3). Pro některé objemy, jako rovné části potrubí byla ještě z důvodu ušetření elementů, ze kterých se síť skládá, použita funkce která tvoří větší elementy uvnitř modelu a jemnější na povrchu (obr. 3.4), kde je pravděpodobnější výskyt problému v proudění media. Také je použita funkce která tvoří delší

elementy v převažujícím směru proudění u části kde se směr proudění nemění .



Obr.3.3 Model a síť

*1 - strukturovaná síť, 2 – nestrukturovaná síť, 3 – objem,
4 – plochy, 5 – křivky*

3.4.3 Okrajové a přechodové podmínky

Po vytvoření výpočtové sítě, se na modelu vyberou plochy pro okrajové podmínky a jejich typ. Pro model sacího traktu byli zvoleny okrajové podmínky typu:

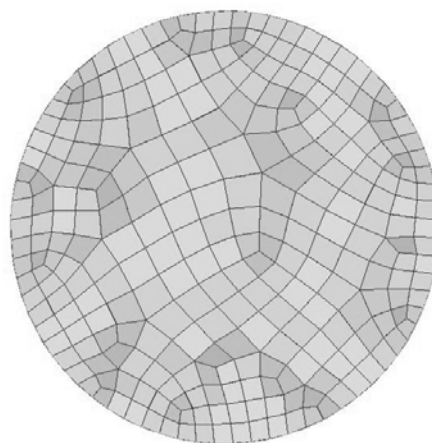
- vstup do modelu....hmotnostní průtok – vstup (Mass flow inlet),
- válec 1-6tlak – výstup (Pressure outlet),
- ostatní plochy..... stěna (wall).

V tomto stavu se model exportuje s Gambitu jako soubor msh do programu FLUENT, kde se modelu zadá:

- výpočetní podmínky
- medium
- operační podmínky
- okrajové podmínky a počáteční

Výpočetní podmínky

Pro simulaci byl nastaven nestacionární segregovaný iterační výpočet s diferenciálními rovnicemi prvního řádu. Model turbulence standardní K-ε.



Obr.3.4 Funkce velikosti elementů

Medium

Tabulka2: Medium

Typ plynu	ideální plyn - vzduch
Měrná tepelná kapacita c_p [J/kgK ⁻¹]	1006.43
Tepelná vodivost [w/m K ⁻¹]	0.0242
Viskozita [kg/ms ⁻¹]	1.7894e-05

Operační podmínky

V operačních podmínkách se nastavuje tlak okolí a působení gravitace. Aby výsledky simulace vyšli v absolutních hodnotách je tlak okolí nastaven na 0 Pa. Působení gravitace zanedbáváme.

Okrajové a počáteční podmínky

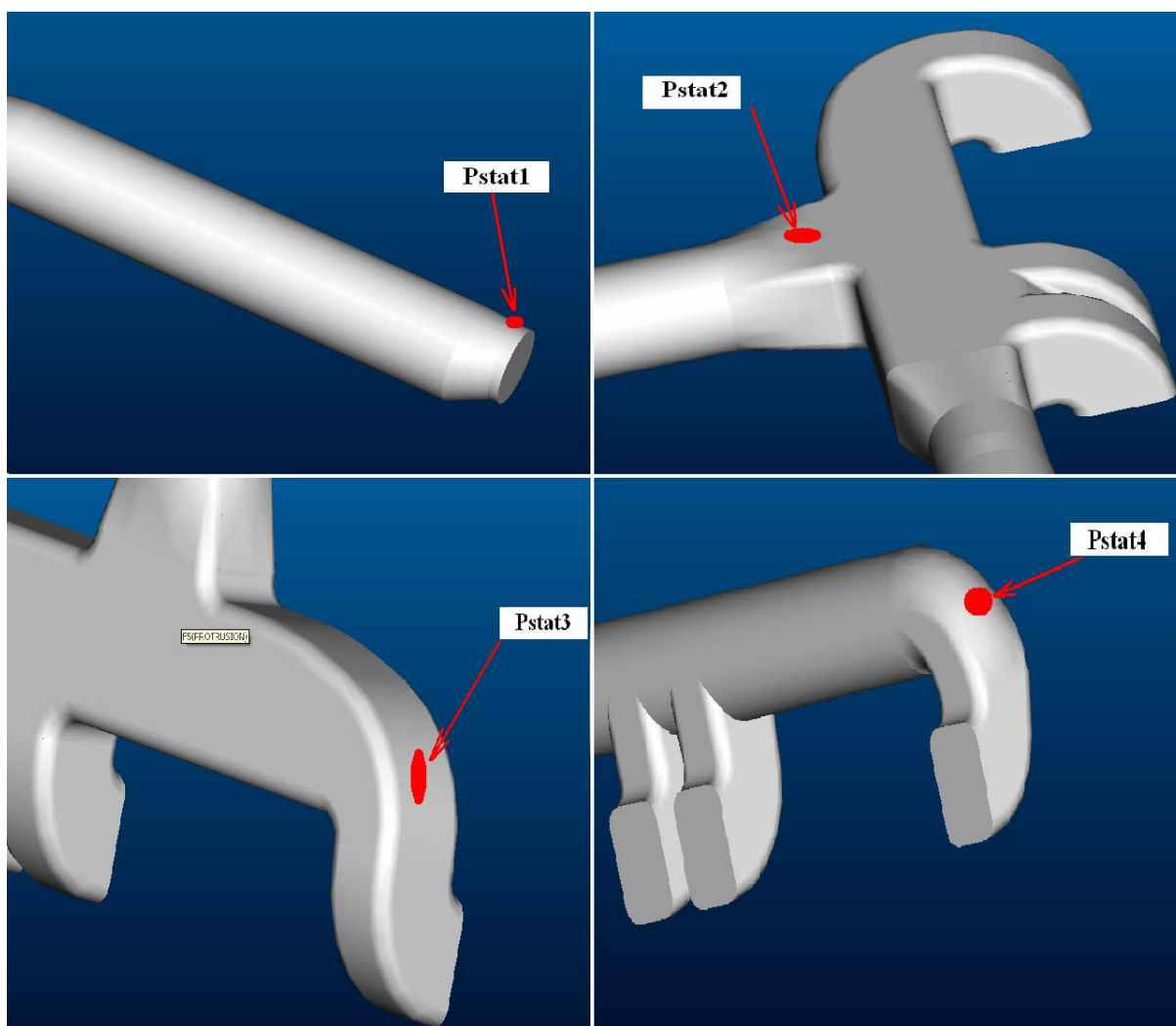
Data použitá na okrajové a přechodové podmínky byli naměřeny na motoru ML636ENE. Pro simulaci byli důležité:

- statické tlaky na sacím traktu,
 - objemový průtok sacím traktem,
- 29 -

- teplota vzduchu za mezichladičem,
- otáčky motoru,
- úhel natočení klikového hřídele.

Statické tlaky byly snímány po 0.5° KH (obr. 3.5):

- na výstupu z mezichladiče – Pstat1,
- na vstupu do sběracího potrubí – Pstat2,
- na sběracím potrubí před vstupem do prvního válce – Pstat3,
- na sběracím potrubí před vstupem do šestého válce – Pstat4.



Obr. 3.5 Místa měření

Ostatní data byla snímána s časovým krokem 2 sekundy. Měření pro jeden režim motoru trvalo 30 sekund. Naměřená data jsou obsažena v příloze č. 1.

3.4.4 Přepočítání naměřených dat

Hodnoty získané při měření na motoru bylo nutné přepočítat na jednotky použitelné pro FLUENT.

Úhel pootočení klikového hřídele, bylo nutné přepočítat na čas a získat časový krok pro 0.5° .

Úhel klikového hřídele byl měřen po 0.5°

Otáčky motoru při měření $n = 1400$ ot/min

Čas pro každý $^\circ\text{KH}$ byl spočítán podle vztahu:

$$\frac{^\circ\text{KH}}{n \cdot 60} = t[\text{s}] \quad (3.2)$$

Dále se musel přepočítat objemový průtok změřený v m^3/hod na hmotnostní průtok v kg/s . Objemové množství vzduchu vstupujícího při režimu měření do motoru je $206 \text{ m}^3/\text{hod}$.

hustota vzduchu byla získána ze stavové rovnice plynů (2.2).

$$\frac{p}{\rho} = rT$$

kde $T = 302 \text{ K}$

$$r = 287.11 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$p = 100000 \text{ Pa}$$

výsledná hustota vzduchu je $\rho = 1.1222 \text{ kg/m}^3$.

Ze vztahu pro výpočet hustoty

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (3.3)$$

získáme hmotnostní průtok 231.12 kg/hod což je 0.06418 kg/s .

Motor běžel v ustáleném režimu, hmotnostní průtok vzduchu do motoru se neměnil, proto byl zadán jako konstantní hodnota.

Na výstupu byli zadány hodnoty statického tlaku. Pro použití pro všech 6 výstupů, byli fázově posunuty hodnoty statického tlaku Pstat3 a Pstat4 podle pořadí zapalování. Hodnoty byli měřeny po 0.5 °KH. Pro potřeby výpočtu museli být však použity časové kroky odpovídající době pootočení o 0.5 °KH. Pro zadání do programu FLUENT byli zpracovány do tabulky, která obsahuje hodnoty pro 720 °KH, během kterých proběhne sací zdvih u všech 6 válců. Tabulka statických tlaků pro výpočet ve FLUENTU je obsažena v příloze č. 2.

3.4.5 Vyhodnocení výsledků simulace současného řešení

Pro porovnání simulace s měřením na reálném sacím traktu poslouží statické tlaky Pstat1 a Pstat2. Hodnoty získané simulací jsou obsaženy v příloze č. 3. Tabulka porovnání statických tlaků získaných experimentem a simulací je v příloze č. 4.

Při porovnání naměřených a vypočtených hodnot statického tlaku Pstat1 na vstupu (obr. 3.6) do sacího traktu rozdíl nepřesahuje 6.5 %. Při přepočtu je tlakový rozdíl 6.3 kPa. Průměrná hodnota odchylky reálného sání a výpočtového modelu v místě měření je 0.7 %.

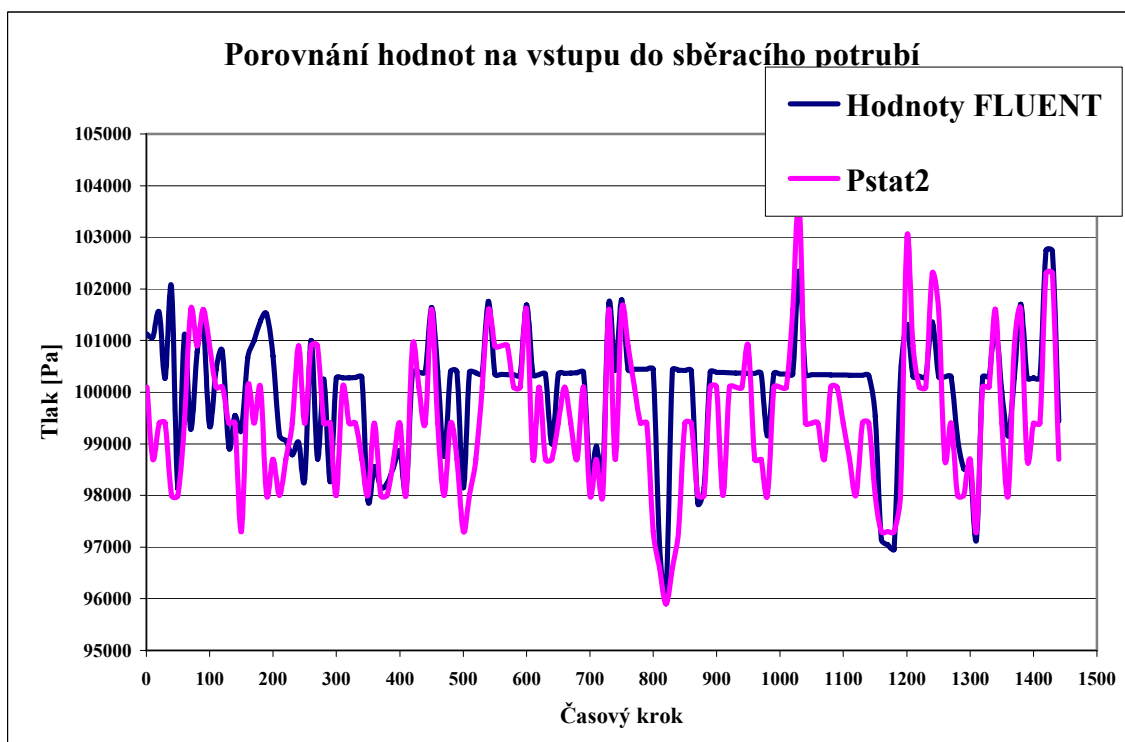
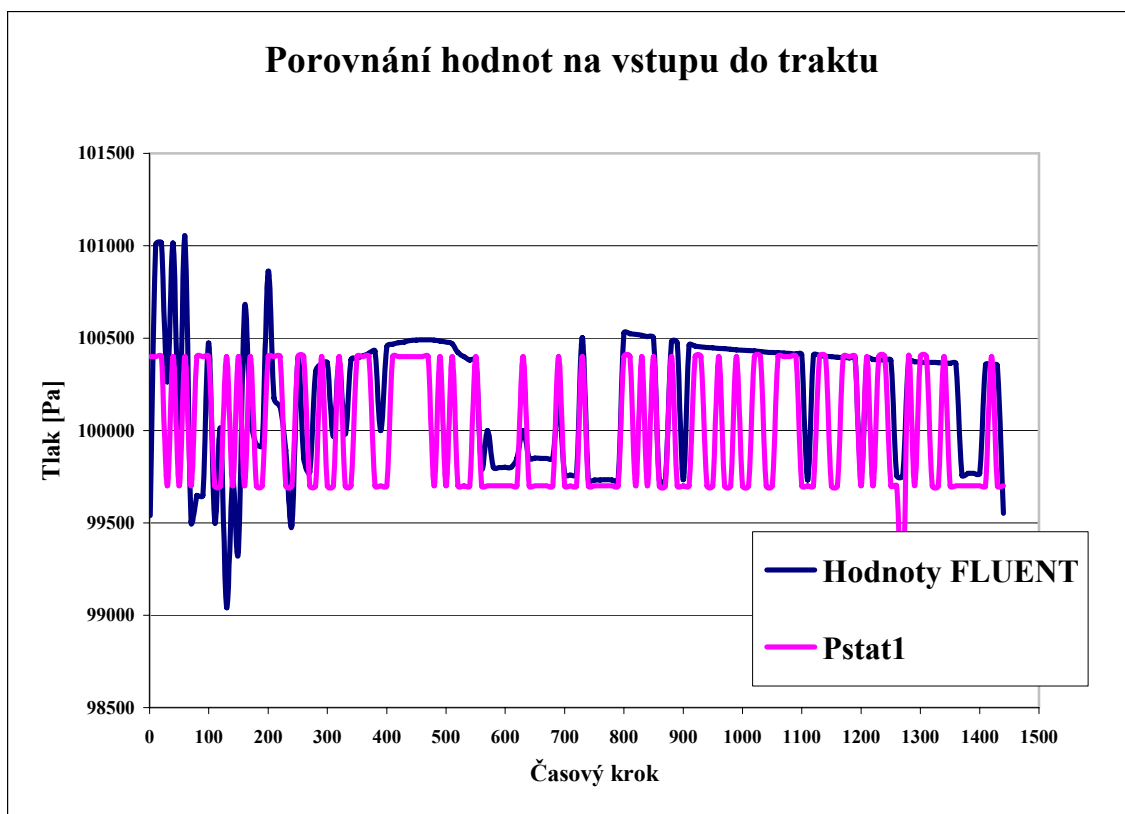
Při porovnání naměřených a vypočtených hodnot statického tlaku Pstat2 na vstupu do sběracího potrubí (obr.3.6) rozdíl nepřesahuje 8.5 %. Při přepočtu je tlakový rozdíl 8.2 kPa. Průměrná hodnota odchylky reálného sání a výpočtového modelu v místě měření je 1.65 %.

Z provedeného ověření můžeme konstatovat, že výpočtový model se shoduje se skutečným provedením sacího traktu a data získaná simulací můžeme použít pro optimalizaci sacího traktu.

3.4.6 Zhodnocení vypočtených dat a současného provedení sacího traktu

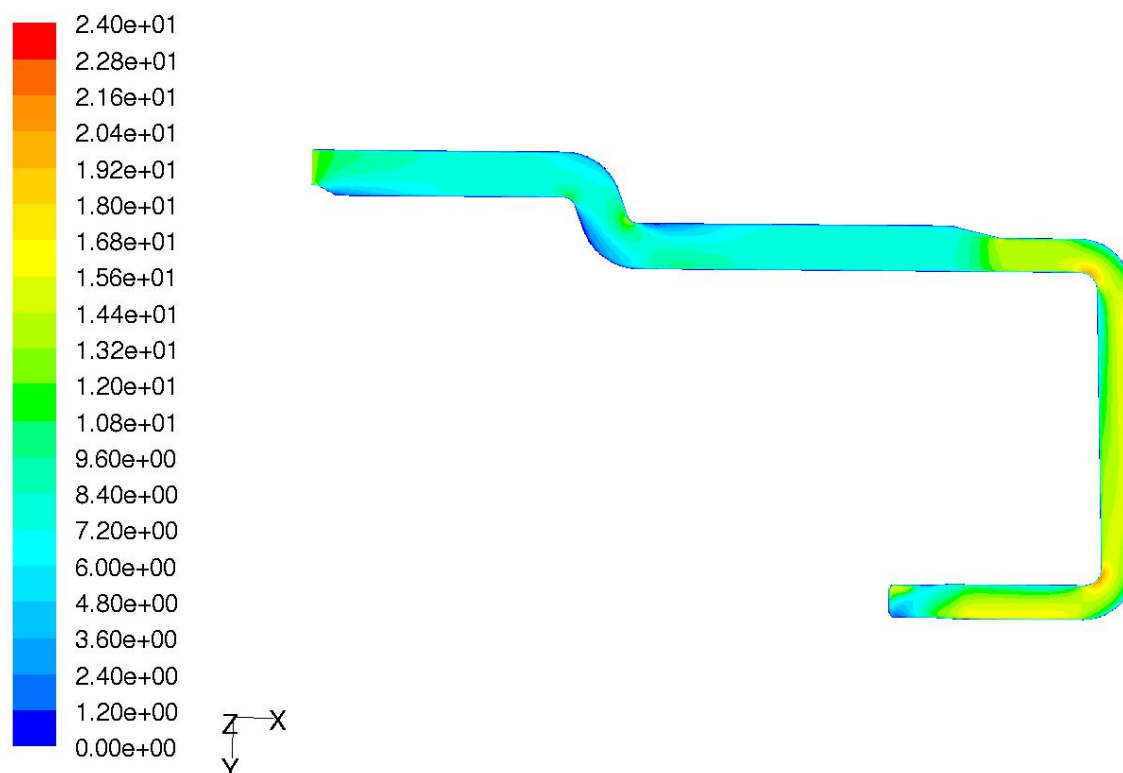
Při hodnocení dat se zaměříme hlavně na část sacího traktu vedoucí od mezichladiče ke sběracímu potrubí.

Při pohledu na současné konstrukční řešení potrubí sacího traktu, je vidět že je tvarově velice rozmanité, obsahuje přechody mezi průměry, oblouky o různých úhlech a křivostech. To vše zvyšuje hydraulické ztráty a intenzitu turbulencí, ta se v potrubí sání pohybuje v rozsahu 30 – 300% (obr. 3.8). Ve sběracím potrubí dosahuje ještě daleko většího nárůstu.



Obr. 3.6 Grafické zobrazení naměřených a vypočtených hodnot

Rychlost proudění



Contours of Velocity Magnitude (m/s) (Time=2.8560e-02)

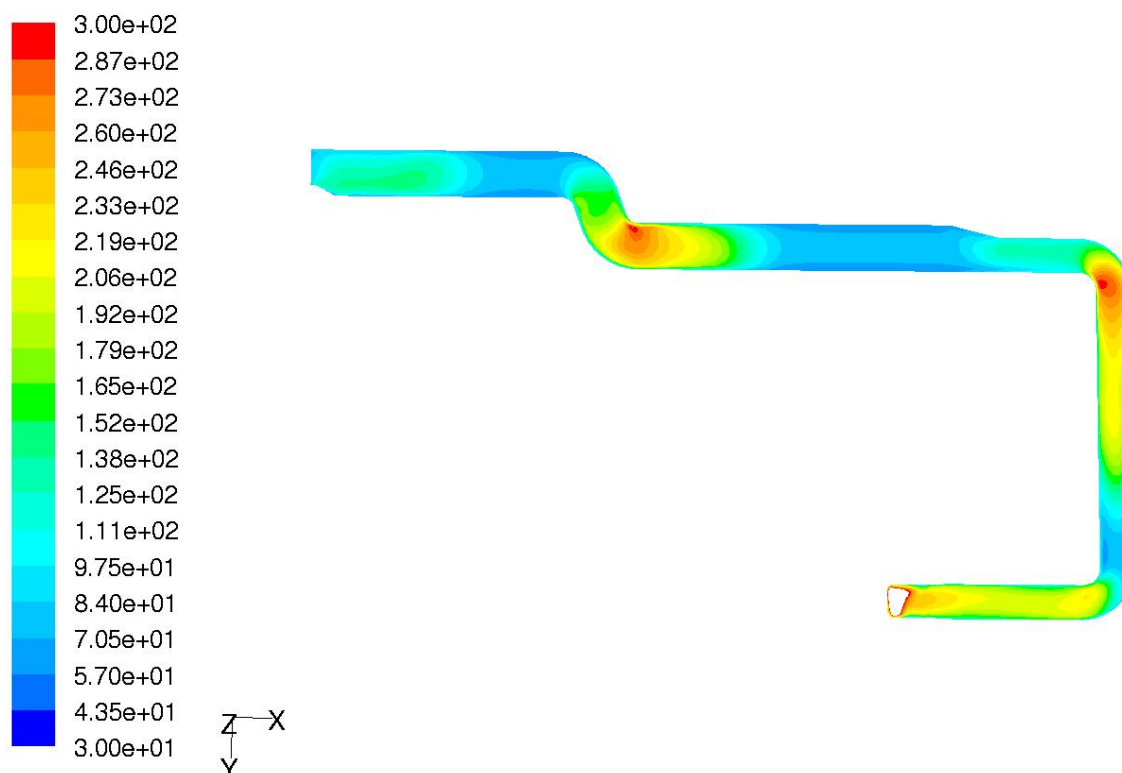
Dec 29, 2005
FLUENT 6.2 (3d, segregated, ske, unsteady)

Obr.3.7 Průběh rychlostí v potrubí sacího traktu

Rychlost proudění (obr. 3.7) se pohybovala v potrubí v rozsahu 0 – 24 m/s. Pro názorné zobrazení rychlostí v potrubí, bylo vybráno rychlostní pole 480 časového kroku simulace.

Na obr 3.7 je vidět, že k největším rychlostním ztrátám dochází při náhlém rozšíření potrubí na vstupu a při průchodu tekutiny dvojitým obloukem na větším průměru potrubí. Rychlost hlavního proudu tekutiny se zde pohybuje v rozsahu 6 – 9 m/s. Při přechodu potrubí na menší průměr dochází k zvýšení rychlosti na 14 -18 m/s. K ještě většímu zvýšení rychlostí, až na 22 m/s, dochází blíže ke středu křivosti oblouků, což je dáno velkou křivostí oblouků. Za oblouky je patrný úplav, který je charakterizován nižší rychlostí.

Intenzita turbulenci



Contours of Turbulence Intensity (%) (Time=2.8560e-02)

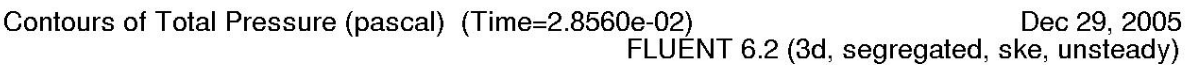
Dec 29, 2005
FLUENT 6.2 (3d, segregated, ske, unsteady)

Obr. 3.8 Průběh intenzity turbulenci v potrubí sacího traktu

Intenzita turbulenci se u stávajícího řešení (obr. 3.8) pohybovala v rozsahu 30 -300 %. Ukazuje nám poměr kinetické energie fluktuací rychlosti a kinetické energie střední rychlosti proudu. Jak je z obr. 3.7 patrné, největší nárůsty intenzity turbulenci je v obloucích a pokračuje na přímých úsecích potrubí za oblouky. Zanedbatelný není ani nárůst intenzity turbulence za rozšířením na vstupu.

Celkový tlak

Celkový tlak (obr. 3.9) se v potrubí pohybuje v rozsahu 99.2 – 100.750 kPa a v celém sacím traktu 98 – 104 kPa, pro daný režim motoru. Celkový tlak koresponduje s průběhem rychlosti v potrubí. Při nárůstu rychlosti dochází k poklesu celkového tlaku. Za oblouky jsou dobře patrné oblasti nižšího tlaku, které dávají vzniknout cirkulačnímu pohybu vzduchu a tím nárůstu turbulenci.



- 36 -

4 Návrh optimální úpravy potrubí sacího traktu

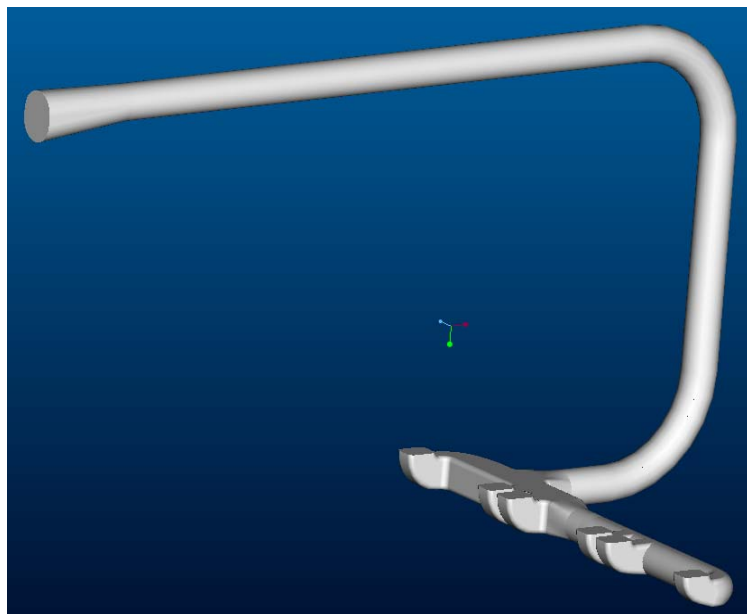
4.1 Obecný rozbor pro návrh optimální úpravy

Aby byla úprava sacího traktu optimální měla by respektovat tyto zásady:

- úprava by si neměla mít za následek úpravy dalších součástí motoru,
- potrubí by nemělo vést kolem intenzivních zdrojů tepla,
- úprava musí snižovat hydraulické odpory,
- nové potrubí by mělo být jednoduché a umožnit snadnou montáž a servis.

Jako nejvíce efektivní a zároveň výrobně nenáročné se ukazuje úprava potrubí za použití současného řešení sběracího potrubí, které je odlito z hliníkové slitiny.

Výhodou pro návrh potrubí je umístění motoru na pracovišti katedry. Odpadají



zástavbové problémy, které by se vyskytly při použití motoru ve vozidle, kde by nás omezovali jiné součásti motoru, karoserie a rám. Potrubí tak může být velice jednoduché, zároveň maximálně splňovat podmínky pro ideální proudění tekutiny uvnitř a může být vedeno optimální trasou, kde se vyhne působení vlivů, které by zhoršili jeho efektivitu.

Obr. 4.1 Model návrhu

Návrh potrubí by měl obsahovat co nejméně prvků zvyšujících hydraulické ztráty. Současné řešení (obr. 3.2) začínající na výstupu z mezichladiče, je vyrobeno z ocelových trubek o vnitřních průměrech $d_1 = 95$ mm a $d_2 = 70$ mm. Na potrubí jsou dva oblouky (A) s křivostí $R/d = 1$ a středovém úhlu $\alpha = 90^\circ$, dva oblouky (B) s křivostí $R/d = 0.74$ a středovém úhlu $\alpha = 110^\circ$. Na potrubí jsou dva přechody (C, D) mezi průměry d_1 a d_2 .

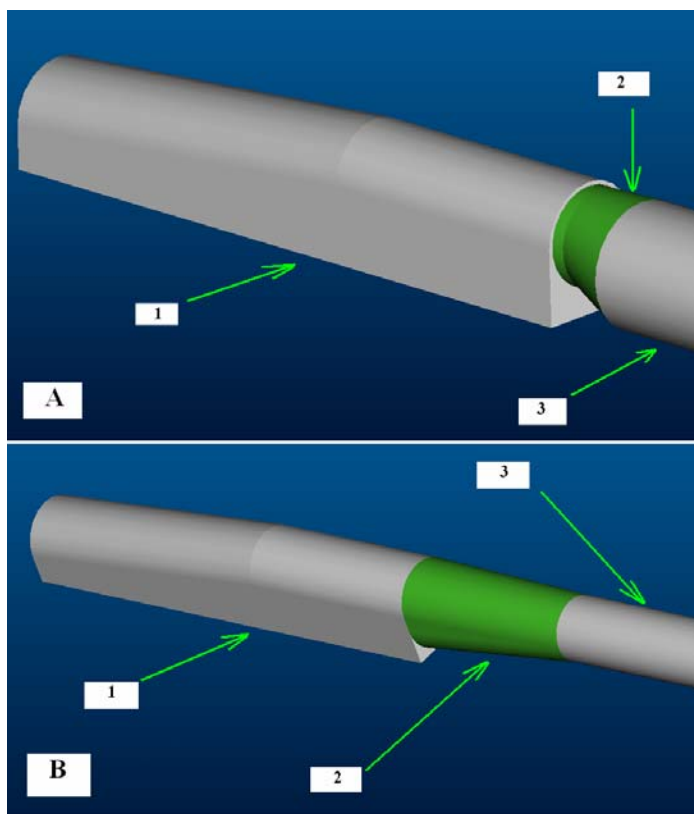
V potrubí je také instalovaná škrťící klapka motor. Mezi potrubím a mezichladičem je instalována pryžová hadice, aby se předešlo přenosu vibrací. Toto řešení je zbytečně složité. Jak ukazuje simulace současné řešení nejvíce komplikuje proudění v obloucích, které mají velkou křivost a v náhlém rozšíření za vstupem.

4.2 Návrh optimální úpravy

Pro optimalizaci, bude změněna geometrie potrubí. Bude ponecháno současné řešení mezichladiče, jeho umístění a řešení sběracího potrubí.

Základem pro návrh (obr. 4.1) je použití pouze jednoho průměru potrubí, při použití současné škrťící klapky, je jeho průměr dán, $d = 70$ mm. Návrh potrubí počítá jen s dvěma oblouky, mezi kterými bude umístěna škrťící klapka. Jde o oblouky malé křivosti $R/d = 2.86$, aby se co nejvíce omezil jejich vliv na proud vzduchu v potrubí, ale zároveň nedošlo k

ovlivňování singularit. Vstup (obr. 4.2) do sacího traktu plynule navazuje na mezichladič, na délce 200 mm přechází z průřezu mezichladiče na kruhový průřez o průměru $d = 70$ mm. Mezi vstup a potrubí, je na instalována pryžová hadice aby, nedocházelo k přenosu vibrací. Pro potrubí je navržena přesná bezešvá trubka 80x5 CSN 426711.31, materiál 11373, na které jsou navařeny příruby pro připevnění k sběracímu potrubí a škrťící klapce, příruby byl navržen polotovar P10 CSN 425310, materiál 11373. Vstup do sacího traktu je přivařen k mezichladiči.



Obr.4.2 Vstupy do sacích traktů

A – Současné řešení, B – navržené řešení, 1 – část mezichladiče, 2 – přechod, 3 – potrubí

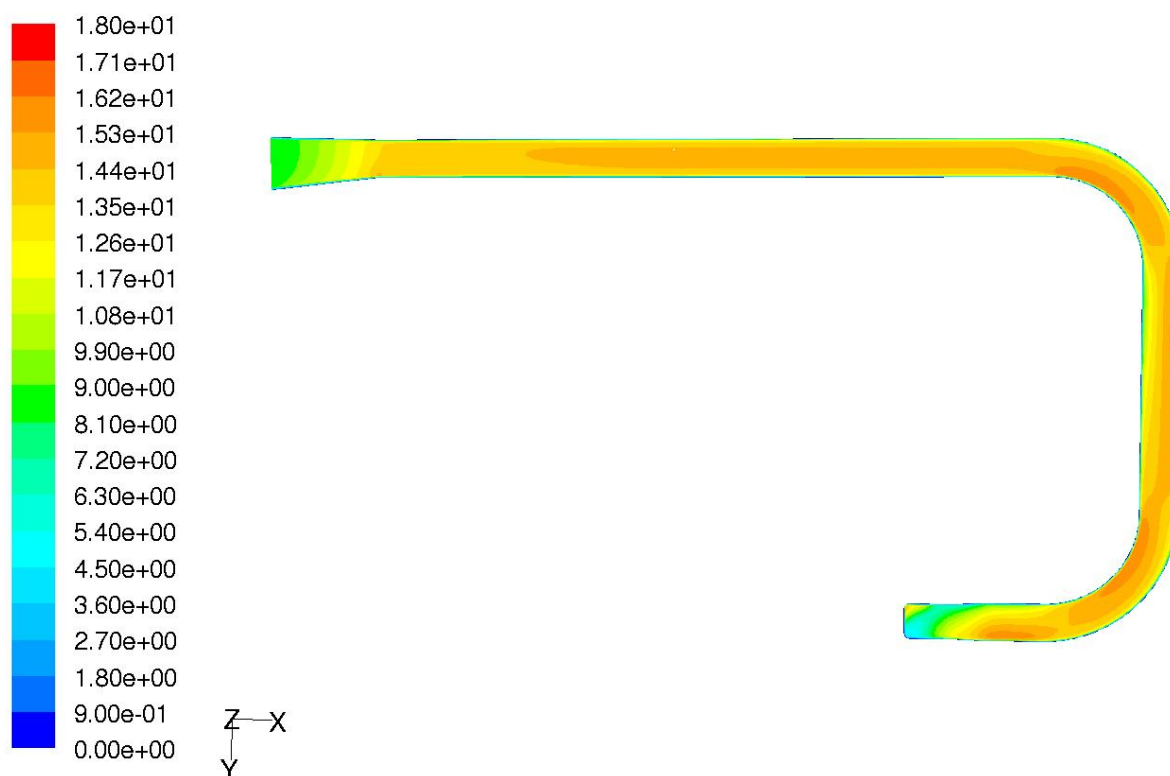
4.3 Simulace optimalizované varianty

Pro objektivní porovnání výpočtového modelu současného řešení a výpočtového modelu optimalizovaného návrhu, jsou pro simulaci optimalizovaného návrhu v programu FLUENT použity stejné výpočetní, operační, okrajové podmínky a medium jako u výpočtového modelu současného řešení. Výsledky simulace jsou obsaženy v příloze č. 5.

4.4 Zhodnocení vypočtených dat pro návrh optimalizace

Simulace ukazuje, že navržené řešení zlepšilo vlastnosti proudění v potrubí. Nedochází k tak výrazným změnám rychlostí v potrubí. Došlo i k výraznému poklesu turbulencí, které se v potrubí pohybuje v rozsahu od 10 -160 %.

Rychlost proudění



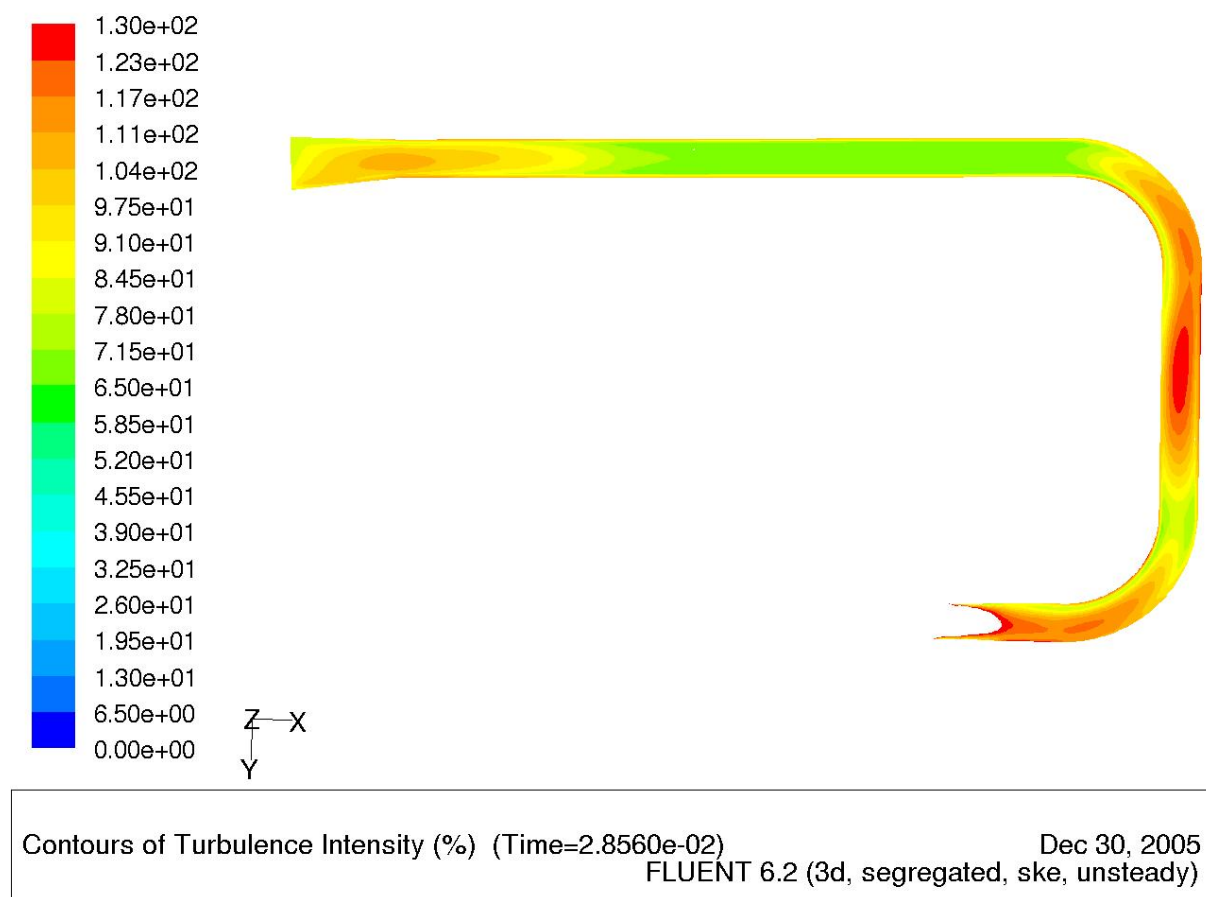
Contours of Velocity Magnitude (m/s) (Time=2.8560e-02)

Dec 30, 2005
FLUENT 6.2 (3d, segregated, ske, unsteady)

Obr.4.3 Průběh rychlostí v návrhu optimalizace sacího traktu

Průběh rychlostí (obr. 4.3) proudění vzduchu v návrhu potrubí pro 480 časový krok simulace. Má tedy stejné okrajové podmínky jako obr. 3.7 . V navrženém potrubí, proudí vzduch ustálenější rychlostí 12- 15 m/s dá se říci po celé délce. Pozitivně se projevuje i vliv oblouků s menšími křivostmi, kdy se rychlost směrem od středu křivosti výrazně nemění. Tato změna je v rozsahu 13-15 m/s. Výrazný úplav není pozorován.

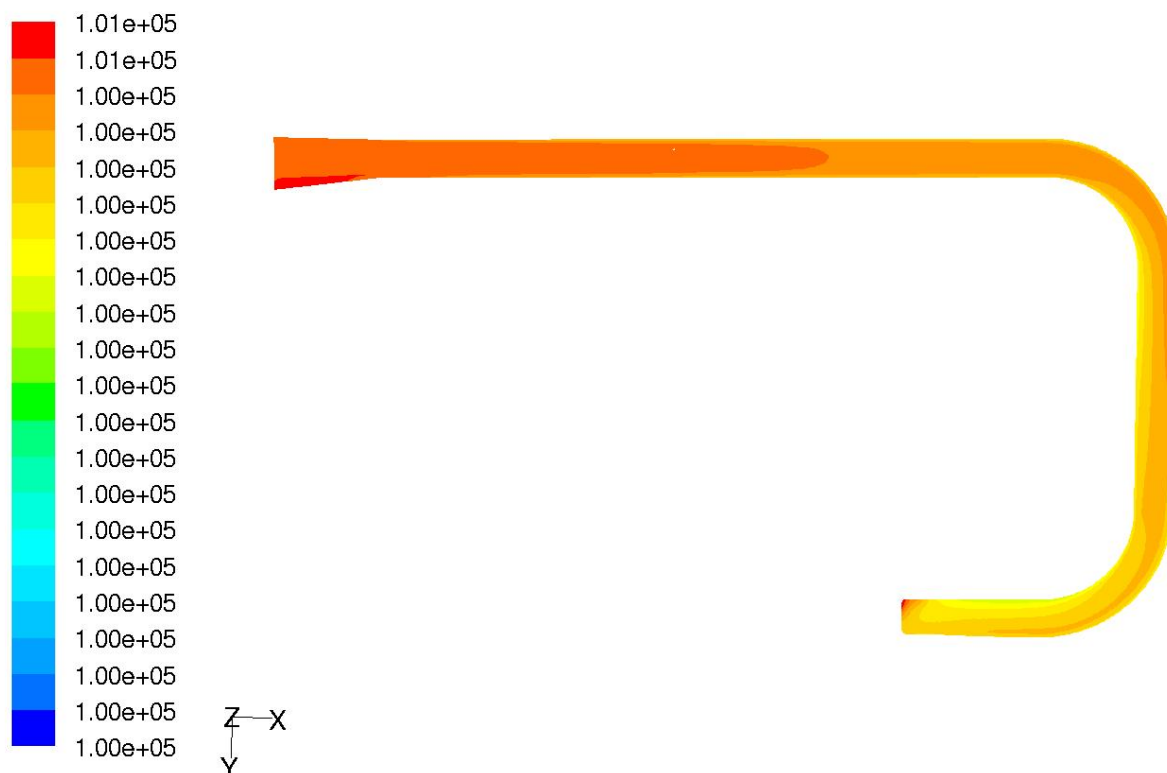
Intenzita turbulencí



Obr.4.4 Průběh intenzity turbulencí v návrhu optimalizace sacího traktu

Intenzita turbulencí (obr. 4.4) je výrazně nižší. Pohybuje se v rozsahu 10 – 130 %. Změna křivosti oblouků turbulenci sice zcela neeliminovala, ale dokázala ji výrazně snížit. Pozitivně se projevila i změna geometrie vstupu do traktu, intenzita turbulencí zde činí maximálně 110 %.

Celkový tlak



Contours of Total Pressure (pascal) (Time=2.8560e-02)

Dec 30, 2005

FLUENT 6.2 (3d, segregated, ske, unsteady)

Obr.4.5 Průběh celkového tlaku v návrhu optimalizace sacího traktu

Celkový tlak (obr. 4.5) se v potrubí pohybuje v rozsahu 100.22 – 100.55 kPa a v celém sacím traktu 99 – 102.8 kPa. Opět jeho změna přímo souvisí s průběhem rychlostí. Ale vzhledem k vyrovnanějšímu poli rychlostí, je vyrovnanější i pole tlaků.

5 Porovnání současného řešení s návrhem

5.1 Obecné porovnání

Porovnání rychlostí

Porovnáme-li hodnoty na obr. 3.7 a obr. 4.3 můžeme vidět, že navrhované řešení nemá tak výrazné změny rychlostí po délce potrubí jako současná konstrukce. Také rozdíl rychlostí v obloucích je velmi výrazný, zatímco u navrhovaného řešení se rychlost v oblouku pohybuje v rozmezí 12 – 15 m/s u současné konstrukce činí 9 -22 m/s. U navrhovaného řešení není pozorován výrazný úplav za oblouky, narozdíl od současného řešení.

Porovnání intenzity turbulence

Při porovnání obr. 3.8 a obr. 4.4 je vidět výrazný pokles intenzity turbulence u navrhovaného řešení oproti současné konstrukci. V problematických místech tento je tento rozdíl 70 – 170 % na ostatních částech potrubí 10 – 30 %

Celkový tlak

Celkový tlak v navrhovaném potrubí tolik nekolísá a jeho jako u současného řešení. Tlaková difference návrhu se pohybuje okolo 0.33 kPa u současného řešení se pohybuje okolo hodnoty 1.55 kPa

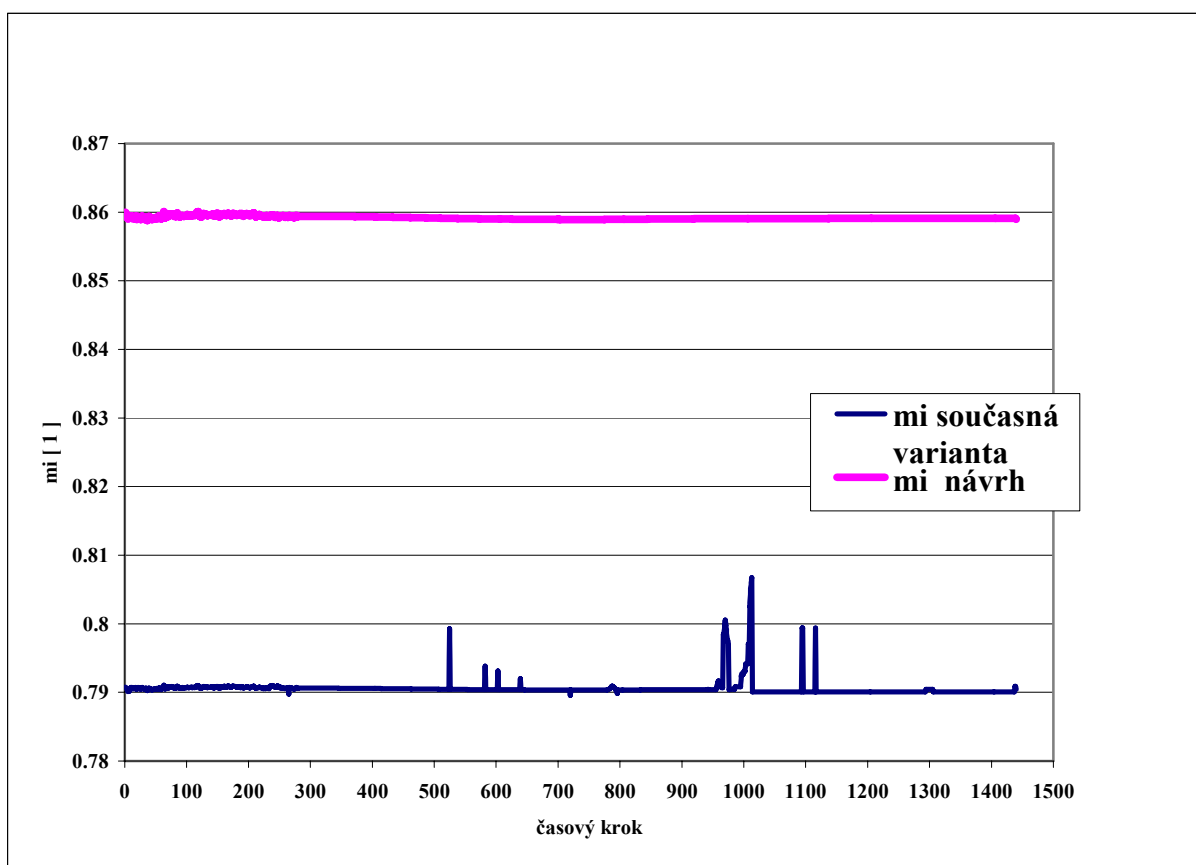
Toto porovnání se vztahuje k obr. 3.7 – 3.9 a 4.3 – 4.5, a slouží pouze pro názornost, jelikož ukazuje situaci jediného časového kroku z celé simulace. Pro směrodatné zhodnocení musíme porovnat obě simulace v každém časovém kroku.

5.2 Porovnání pomocí průtokových součinitelů

Pro vypovídající zhodnocení výpočtových modelů současné a navrhované varianty, použijeme průtokové součinitele.

Průtok na začátku traktu byl u obou variant stejný (0.06418 kg/s). V místě vstupu do sběracího potrubí byl průtok spočítán v programu FLUENT. Pro každý časový krok byl uložen do souboru. Hodnoty jsou obsaženy v příloze č. 6.

Pro současné řešení a návrh potrubí byl pro každý časový krok vypočítán průtokový součinitel příloha č: Při porovnání obr. 5.1 je vidět, že navrhovaná varianta má vyšší průtokový součinitel (asi o 7%) než současné řešení potrubí sacího traktu.



obr. 5.1 Porovnání průtokových součinitelů současného řešení a návrhu

6. Závěr

V rámci diplomové práce byl proveden:

- obecný rozbor problematiky proudění vzduchu v sacím potrubí zážehových motorů,
- vytvoření výpočtového modelu současné podoby sacího traktu, simulace proudění v sacím traktu, porovnání výpočtového modelu s experimentem na motoru,
- zhodnocení proudění v současném konstrukčním řešení sacího traktu,
- návrh nového potrubí, na základě vypočtených dat
- ověření návrhu simulací
- porovnání současné a navržené varianty

Cílem diplomové práce bylo vytvořit výpočtový model současného konstrukčního řešení sacího traktu motoru ML636ENE, provést simulaci dynamického procesu proudění v sacím traktu. Výpočtový model porovnat s experimentem na motoru. Vypracovat optimální návrh úpravy sacího traktu motoru Ml636ENE.

Pro realizaci simulace byl vytvořen model v programech Pro/E Wildfire a Gambit. Okrajové podmínky nutné pro simulaci v programu FLUENT, byly získány měřením a upraveny výpočtem. Při měření okrajových podmínek se ukázal jako velmi omezující faktor nízký počet současně probíhajících měření hodnot na sacím traktu (max. 4), dvě hodnoty byli použity pro zadání výstupních okrajových podmínek a dvě hodnoty pro ověření výpočtového modelu. Ideální by bylo měřit statický tlak u každého vstupu do válce. Takto se museli naměřené statické tlaky na výstupu fázově posunovat podle pořadí zapalování a tím došlo ke zvětšení chyby simulace. I větší počet kontrolních míst by zlepšil kvalitu porovnání výpočtového modelu s realitou. Simulace proběhla pro 2 otáčky klikového hřídele motoru, při kterých dojde k plnění všech válců motoru. Výsledky simulace byli porovnány s naměřenými hodnotami a zjištěna procentuální odchylka výpočtového modelu od reálného sacího traktu. Rozdíl nepřekročil 9 % porovnávacích hodnot.

Výsledky simulace byli zhodnoceny a použity pro návrh nové varianty. Výpočtový model nového řešení byl nasimulován se stejnými okrajovými podmínkami jako dosavadní konstrukční řešení.

Výsledky simulace byli zhodnoceny a porovnány s dosavadním konstrukčním řešením. Názorné porovnání průběhů rychlostí, intenzity turbulence a celkových tlaků pro vybraný časový krok ukázali zlepšení parametrů proudění v novém návrhu. Celkové porovnání dosavadního konstrukčního řešení a návrhu, bylo použito vypočtených průtokových součinitelů. Navrhované řešení dosáhlo o 7 % procent vyššího průtokového součinitele než dosavadní konstrukční řešení. Navrhované řešení má tedy lepší plnicí schopnosti než dosavadní konstrukční řešení. Podle modelu návrhu byla vypracována výkresová dokumentace.

7 Použitá literatura

- [1] Vlk, F.: *Vozidlové spalovací motory*. Brno: Nakladatelství Vlk, 2003
- [2] Kožoušek, J.: *Spalovací motory*. Praha: SNTL 1956
- [3] Skalička, J. – Hoření, P.: *Ustálené tlakové proudění v potrubí s oblouky*. Praha: SZN 1985
- [4] Bartoníček, L.: *Přeplňování pístových spalovacích motorů*. Skriptum, Liberec: TUL, 2004
- [5] Kříž, R. – Vávra, P.: *Strojírenská příručka díl 8*. Praha: Scientia 1994
- [6] Kozubková, M. – Drábková, S.: *Numerické modelování proudění FLUENT I*. Skriptum, Ostrava: VŠB-TUO 2003
- [7] Leinveber, J. - Řasa, J. - Vávra, P.: *Strojnické tabulky*. Praha: Scientia, 1999.
- [8] www.techsoft-eng.cz

8 Seznam příloh

Příloha č. 1: Naměřená data pro simulaci a ověření výpočtového modelu

Příloha č. 2: Tabulka okrajových podmínek pro program FLUENT

Příloha č. 3: Vypočtené hodnoty statických tlaků pro ověření výpočtového modelu

Příloha č. 4: Porovnání naměřených a vypočtených dat

Příloha č. 5: Výsledky simulace nového řešení

Příloha č. 6: Průtokové součinitele

Pro velikost příloh jsou zde uvedeny pouze ukázky pro názornost, kompletní přílohy jsou na přiloženém CD nosiči.

Přílohy uložené na CD ROM:

Příloha I: Datový model stávajícího konstrukčního řešení (*.prt – ProEngineer 2003)

Příloha II: Datový model návrhu sacího traktu (*.prt – ProEngineer 2003)

Příloha III: Výpočtový model stávajícího konstrukčního řešení a vypočtená data

Příloha IV: Výpočtový model návrhu a vypočtená data

Příloha V: Kompletní hodnoty porovnání modelu s experimentem a průtokových součinitelů (*.doc).

Příloha VI: Datové obrázky proudění ve výpočtových modelech, modelů dutin, ukázky sítě (*.JPG)

Příloha VII: Kopletní naměřená a okrajových podmínek (*.txt)

Výkresová dokumentace:

PSM – DP – 486 – 1	Sestava spodního potrubí
PSM – DP – 486 – 2	Sestava horního potrubí
PSM – DP – 486 – 1.1	Oblouk spodní
PSM – DP – 486 – 1.2	Příruba 1
PSM – DP – 486 – 1.3	Příruba 2
PSM – DP – 486 – 2.1	Příruba 3
PSM – DP – 486 – 3	Dýza

Poděkování

Závěrem této práce bych rád poděkoval panu doc. ing. Lubomíru Mocovi za vedení při zpracování diplomové práce. Ing. Petru Martinů za kontrolu výpočtových modelů a cenné rady k použití programu FLUENT. Mé díky patří také Ústavu vozidel a letadlové techniky ČVUT v Praze, za vstřícný přístup a poskytnutí podmínek pro uskutečnění simulací. V neposlední řadě bych rád poděkoval i všem ostatním, kteří mi poskytli podporu a byli mi při tvorbě diplomové práce jakkoliv nápomocni.

TIME	TWPOZAD	TW	TGAS_POZ	TGAS	TOIL	TCL	TD2	TS	TT1	TT2	PGAS	POIL	PD2	PS	PT1	O2	KLAPKA	PBAR
10:17:51	85	81.8	40	40.9	79.7	22.5	34.4	34.8	618	541	9.27	308	9.0	43.75	5.33	2.19	17.4	96660
10:17:53	85	82.0	40	40.9	79.7	22.5	34.4	34.8	619	541	9.29	345	9.0	43.81	4.86	2.21	17.4	96660
10:17:55	85	82.2	40	40.8	79.7	22.6	34.4	34.9	619	542	9.27	408	9.1	43.74	4.63	2.21	17.4	96660
10:17:57	85	82.5	40	40.8	79.8	22.7	34.4	35.0	619	542	9.28	316	9.1	43.63	4.69	2.16	17.4	96660
10:17:59	85	82.7	40	40.7	79.8	22.7	34.4	35.0	619	542	9.29	295	9.1	43.74	5.07	2.16	17.4	96660
10:18:01	85	82.8	40	40.6	79.8	22.8	34.4	35.1	620	542	9.29	305	9.0	43.64	4.81	2.23	17.4	96660
10:18:03	85	83.1	40	40.6	79.9	22.8	34.4	35.1	620	543	9.30	307	9.0	43.85	4.91	2.20	17.4	96660
10:18:05	85	83.4	40	40.5	79.9	22.8	34.4	35.2	620	543	9.29	408	9.1	43.51	4.77	2.17	17.4	96660
10:18:07	85	83.6	40	40.4	80.0	22.9	34.4	35.2	620	543	9.28	296	9.1	43.76	4.65	2.15	17.4	96660
10:18:09	85	83.7	40	40.3	80.0	22.9	34.4	35.3	620	544	9.30	305	9.1	43.62	5.09	2.21	17.4	96660
10:18:11	85	83.9	40	40.3	80.1	23.0	34.4	35.4	620	544	9.30	302	9.2	43.81	5.17	2.18	17.4	96660
10:18:13	85	84.1	40	40.2	80.1	23.0	34.5	35.4	620	544	9.29	378	9.1	43.40	4.45	2.16	17.4	96660
10:18:15	85	84.2	40	40.1	80.2	23.0	34.5	35.5	621	544	9.28	392	9.2	43.75	4.98	2.15	17.4	96660
10:18:17	85	84.5	40	40.0	80.2	23.0	34.5	35.5	621	545	9.29	300	9.1	43.61	4.95	2.15	17.4	96660
10:18:19	85	84.8	40	40.0	80.3	23.1	34.5	35.5	621	545	9.29	297	9.1	43.68	4.90	2.18	17.4	96660

TCL.....teplota vzduchu za mezichladičem [°C], TD2.....teplota vzduchu za dmychadlem [°C], T1..... teplota vzduch před turbinou[°C], TT2..... teplota vzduchu za turbinou [°C], PGAS...tlak plynu [bar], POIL.....tlak oleje [kPa] , PD2.....tlak za dmychadlem [kPa], PS..... tlak v sání, PT1....tlak před turbinou ,O2.....λ-sonda, Klapka.... Otevření [%],

TIME	VLHKOST	MVODIK	MMETAN	MVZD	MOMENT	OTACKY	POC_VEF	DEL_VEF	PREDSTIH	POZN
10:17:51	40	-0.010	-5.000	207	200	1400	30	44	17	23,6 3,30
10:17:53	40	-0.010	-5.000	206	200	1400	30	44	17	23,6 3,30
10:17:55	40	-0.010	-5.000	206	200	1400	30	44	17	23,6 3,30
10:17:57	40	-0.010	-5.000	207	200	1400	30	44	17	23,6 3,30
10:17:59	40	-0.010	-5.000	205	200	1400	30	44	17	23,6 3,30
10:18:01	40	-0.010	-5.000	206	200	1400	30	44	17	23,6 3,30
10:18:03	40	-0.010	-5.000	206	200	1400	30	44	17	23,6 3,30
10:18:05	40	-0.010	-5.000	205	200	1400	30	44	17	23,6 3,30
10:18:07	40	-0.010	-5.000	206	200	1400	30	44	17	23,6 3,30
10:18:09	40	-0.010	-5.000	206	200	1400	30	44	17	23,6 3,30
10:18:11	40	-0.010	-5.000	206	200	1400	30	44	17	23,6 3,30
10:18:13	40	-0.010	-5.000	206	200	1400	30	44	17	23,6 3,30
10:18:15	40	-0.010	-5.000	206	200	1400	30	44	17	23,6 3,30
10:18:17	40	-0.010	-5.000	205	200	1400	30	44	17	23,6 3,30
10:18:19	40	-0.010	-5.000	206	200	1400	30	44	17	23,6 3,30

POZN....1, teplota nasávaného vzduchu [°C], MVZD.... Množství vzduchu [m³/hod],

Příloha č. 1

Naměřená data pro simulaci a ověření výpočtového modelu

06-05-2005 10:10:39 ENE

Cycle 1

X	PCYL1	PLIN1	PLIN2	PLIN3		
deg	bar	bar	bar	bar		
-360.00		1.004		1.001	1.026	1.006
-359.50		1.004		1.001	0.985	1.027
-359.00		0.997		0.987	1.012	0.991
-358.50		0.997		0.973	1.012	0.999
-358.00		1.004		1.009	1.026	0.999
-357.50		0.997		0.959	1.012	0.991
-357.00		0.997		0.987	0.985	0.999
-356.50		1.004		0.973	0.964	0.999
-356.00		0.997		1.016	0.951	1.006
-355.50		1.004		0.987	1.012	1.013
-355.00		1.004		0.994	1.060	0.991
-354.50		0.997		0.966	1.040	1.013
-354.00		0.997		1.001	1.060	1.020
-353.50		0.997		0.994	1.060	1.020
-353.00		0.997		1.001	1.019	0.999
-352.50		0.997		0.994	1.047	0.991
-352.00		0.997		1.001	1.033	0.999
-351.50		0.997		0.994	1.005	1.013
-351.00		1.004		0.980	1.019	1.013
-350.50		1.004		0.994	1.026	1.013
-350.00		1.004		1.001	1.019	0.999
-349.50		1.004		0.987	1.047	1.013
-349.00		0.997		0.987	1.040	1.020
-348.50		0.997		0.980	1.019	1.013
-348.00		1.004		1.001	1.040	0.999
-347.50		0.997		0.987	1.040	1.013
-347.00		0.997		0.994	1.047	1.006
-346.50		1.004		0.994	1.040	1.013
-346.00		0.997		0.987	1.040	1.006
-345.50		0.997		0.994	1.033	1.027
-345.00		0.997		0.973	1.053	1.006
-344.50		0.997		0.980	1.060	1.013
-344.00		0.997		0.973	1.060	1.013
-343.50		1.004		0.973	1.040	1.006
-343.00		1.004		0.980	1.053	1.006
-342.50		0.997		0.994	1.040	1.027
-342.00		0.997		0.973	1.047	1.013
-341.50		1.004		0.980	1.040	1.020
-341.00		1.004		0.994	1.012	1.020
-340.50		1.004		0.980	1.033	1.013
-340.00		1.004		0.987	1.040	1.027
-339.50		0.997		0.987	1.026	1.006
-339.00		1.004		0.987	1.026	1.013
-338.50		1.004		0.994	1.033	1.013
-338.00		1.004		0.987	1.005	1.013
-337.50		1.004		0.987	1.019	1.013
-337.00		0.997		0.987	1.005	1.020
-336.50		1.004		0.980	0.985	1.013
-336.00		0.997		0.994	0.985	1.027
-335.50		0.997		0.980	0.992	1.027
-335.00		0.997		0.994	1.005	1.020
-334.50		1.004		1.016	1.047	1.013
-334.00		0.997		0.987	1.005	1.013
-333.50		0.997		1.001	0.958	1.020
-333.00		0.997		0.973	1.033	1.027
-332.50		1.004		1.009	0.951	1.020
-332.00		0.997		0.994	0.964	1.027
-331.50		1.004		1.001	0.985	1.006
-331.00		1.004		1.009	0.951	0.984
-330.50		1.004		0.994	0.951	1.034
-330.00		0.997		1.001	0.978	1.042
-329.50		0.997		1.030	0.944	1.020
-329.00		1.004		1.001	0.951	1.020

Příloha č. 1

Naměřená data pro simulaci a ověření výpočtového modelu

-328.50	1.004	0.994	0.992	1.042
-328.00	0.997	1.001	0.978	0.984
-327.50	1.004	1.016	0.992	1.020
-327.00	0.997	0.994	0.971	1.020
-326.50	0.997	1.016	0.992	1.020
-326.00	0.997	1.016	0.985	1.042
-325.50	0.997	1.016	0.978	1.034
-325.00	0.997	1.016	0.985	1.027
-324.50	1.004	1.030	0.971	1.049
-324.00	0.997	1.001	0.985	1.027
-323.50	0.997	1.023	0.985	1.049
-323.00	0.997	0.987	0.992	1.034
-322.50	0.997	1.023	0.971	1.034
-322.00	1.004	1.016	0.978	1.049
-321.50	0.997	1.023	0.971	1.049
-321.00	0.997	1.001	0.971	1.042
-320.50	1.004	1.009	0.971	1.049
-320.00	0.997	1.016	0.964	1.042
-319.50	1.004	1.030	0.978	1.020
-319.00	1.004	1.009	0.978	1.049
-318.50	1.004	1.016	0.964	1.042
-318.00	0.997	1.001	0.978	1.042
-317.50	1.004	1.016	0.951	1.042
-317.00	0.997	1.001	0.951	1.049
-316.50	1.004	1.009	0.971	1.027
-316.00	1.004	1.016	0.978	1.042
-315.50	0.997	1.016	0.985	1.042
-315.00	0.997	1.009	0.964	1.034
-314.50	1.004	1.001	0.971	1.042
-314.00	0.997	0.994	0.951	1.034
-313.50	1.004	1.030	0.958	1.034
-313.00	1.004	1.016	0.958	1.034
-312.50	1.004	1.016	0.964	1.042
-312.00	0.997	0.994	0.951	1.020
-311.50	1.004	1.016	0.951	1.027
-311.00	1.004	1.001	0.951	1.027
-310.50	1.004	1.009	0.958	1.013
-310.00	1.004	1.009	0.964	1.013
-309.50	1.004	1.023	0.971	1.027
-309.00	1.004	1.001	0.958	1.006
-308.50	0.997	1.023	0.951	1.020
-308.00	0.997	1.009	0.951	1.006
-307.50	0.997	1.001	0.964	0.999
-307.00	0.997	1.001	0.958	1.013
-306.50	0.997	1.009	0.958	1.006
-306.00	0.997	1.001	0.958	1.006
-305.50	0.997	1.001	0.971	1.006
-305.00	0.997	1.001	0.964	0.999
-304.50	0.997	1.001	0.958	0.999
-304.00	1.004	1.001	0.958	0.991
-303.50	0.997	0.994	0.951	0.999
-303.00	1.004	0.994	0.964	0.984
-302.50	1.004	1.009	0.971	0.991
-302.00	1.004	0.994	0.971	0.984
-301.50	1.004	1.016	0.971	0.991
-301.00	1.004	1.001	0.964	0.984
-300.50	0.997	1.001	0.971	0.999
-300.00	1.004	0.987	0.964	0.991
-299.50	1.004	0.994	0.978	0.991
-299.00	1.004	0.987	0.964	0.991
-298.50	0.997	0.994	0.978	0.991
-298.00	0.997	1.009	0.964	1.006
-297.50	0.997	1.009	0.971	0.999
-297.00	1.004	0.987	0.978	0.991
-296.50	1.004	0.994	0.985	1.013
-296.00	1.004	0.994	0.971	1.006
-295.50	1.004	0.994	0.978	1.006

Příloha č. 2

Tabulka okrajových podmínek pro program FLUENT

hodnoty 8 1440 1

time prtok p1 p2 p3 p4 p5 p6

0	3.95292E-06	101500	102200	99500	100000	99300	101400
5.95E-05	3.95292E-06	98100	97400	98800	101400	98600	102100
0.000119048	3.95292E-06	97400	99500	99500	99300	99300	100700
0.000178571	3.95292E-06	102900	99500	100100	100700	98600	101400
0.000238095	3.95292E-06	104900	100800	100800	100700	100700	100000
0.000297619	3.95292E-06	101500	98100	100800	100700	99300	100000
0.00037142	3.95292E-06	100100	98100	100800	100000	98600	98600
0.000416667	3.95292E-06	101500	98800	99500	99300	101400	101400
0.00047619	3.95292E-06	96000	98100	99500	100700	98600	99300
0.000535714	3.95292E-06	96000	98800	100100	101400	99300	97900
0.000592381	3.95292E-06	98100	100800	100800	100000	99300	97900
0.000654762	3.95292E-06	102900	99500	101500	100000	97900	99300
0.000714286	3.95292E-06	102200	99500	100800	100000	97100	98600
0.00077381	3.95292E-06	102900	98800	100800	100000	100000	97100
0.000833333	3.95292E-06	98800	99500	101500	100000	98600	98600
0.000892857	3.95292E-06	100800	98800	100800	101400	99300	97900
0.000952381	3.95292E-06	104200	99500	101500	103600	99300	100700
0.001011905	3.95292E-06	100100	99500	100100	101400	98600	98600
0.001071429	3.95292E-06	102200	98800	98800	99300	99300	98600
0.001130952	3.95292E-06	102900	100100	100100	100700	100700	100700
0.001190476	3.95292E-06	100100	99500	100800	98600	100000	100000
0.00125	3.95292E-06	103600	100100	100800	100700	100000	97900
0.001309524	3.95292E-06	103600	98800	100800	100700	98600	100000
0.001369048	3.95292E-06	102900	100100	100800	101400	97900	98600
0.001428571	3.95292E-06	101500	100100	100100	101400	99300	99300
0.001488095	3.95292E-06	104900	100800	99500	100000	100700	99300
0.001547619	3.95292E-06	104200	99500	100100	102100	99300	98600
0.001607143	3.95292E-06	102200	100800	100800	100000	100000	98600
0.001666667	3.95292E-06	102200	98800	100800	101400	98600	100000
0.00172619	3.95292E-06	104900	100800	100100	102100	99300	100000
0.001785714	3.95292E-06	102900	100100	99500	100700	99300	100700
0.001845238	3.95292E-06	105600	101500	99500	100700	100700	100000
0.001904762	3.95292E-06	103600	98800	100100	100700	100000	99300
0.001964286	3.95292E-06	103600	100800	101500	100000	100700	99300
0.00202381	3.95292E-06	102900	100800	100800	100000	100000	100000
0.002083333	3.95292E-06	104200	100800	99500	100000	98600	100000
0.002142857	3.95292E-06	101500	101500	100100	100700	99300	100000
0.002202381	3.95292E-06	102900	101500	102200	100700	99300	101400
0.002261905	3.95292E-06	101500	102900	101500	100700	99300	100000
0.002321429	3.95292E-06	102900	102200	101500	100000	100700	100700
0.002380952	3.95292E-06	102200	101500	101500	100700	100000	100700
0.002440476	3.95292E-06	102200	102900	100800	100700	100000	100700
0.0025	3.95292E-06	102200	103600	100100	100700	102100	101400
0.002559524	3.95292E-06	100800	101500	102200	100700	100000	102900
0.002619048	3.95292E-06	100800	103600	101500	100000	100000	100700
0.002678571	3.95292E-06	100100	103600	102200	100700	101400	100700
0.002738095	3.95292E-06	99500	103600	100100	99300	99300	100000
0.002797619	3.95292E-06	98100	103600	101500	100000	101400	102100
0.002857143	3.95292E-06	97400	103600	100100	100000	100700	102100
0.002916667	3.95292E-06	96000	102900	101500	101400	100700	102900
0.00297619	3.95292E-06	99500	104200	101500	100000	102100	101400
0.003035714	3.95292E-06	98100	105600	100800	100700	102100	100700
0.003095238	3.95292E-06	98100	103600	99500	100000	99300	99300
0.003154762	3.95292E-06	97400	104200	100800	99300	101400	101400
0.003214286	3.95292E-06	96000	104900	101500	100000	102100	102100
0.00327381	3.95292E-06	89900	101500	100800	101400	102900	102900
0.003333333	3.95292E-06	96000	105600	101500	102100	102100	102100
0.003392857	3.95292E-06	94000	100100	100800	102100	102100	98600
0.003452381	3.95292E-06	96000	103600	101500	101400	100000	102900
0.003511905	3.95292E-06	97400	102900	100100	101400	98600	103600
0.003571429	3.95292E-06	98100	103600	100800	101400	101400	99300
0.003630952	3.95292E-06	98800	102200	101500	100700	102100	102100
0.003690476	3.95292E-06	95300	104900	99500	102900	100700	103600
0.00375	3.95292E-06	96700	104900	100100	102100	100000	102900
0.003809524	3.95292E-06	94700	97400	99500	101400	97900	101400
0.003869048	3.95292E-06	94700	103600	99500	102900	102100	103600

Příloha č. 2

Tabulka okrajových podmínek pro program FLUENT

0.003928571	3.95292E-06	94700	106300	99500	102900	102900	102900
0.003988095	3.95292E-06	96700	100800	98800	102900	100000	102900
0.004047619	3.95292E-06	96000	98800	98100	102100	102100	105700
0.004107143	3.95292E-06	98800	101500	97400	102900	102900	103600
0.004166667	3.95292E-06	98100	101500	99500	102900	101400	102900
0.00422619	3.95292E-06	96700	100100	98100	102100	102900	104300
0.004285714	3.95292E-06	95300	102200	98100	102100	102100	104300
0.004345238	3.95292E-06	96700	100800	97400	103600	100700	103600
0.004404762	3.95292E-06	98100	100100	97400	102900	102100	103600
0.004464286	3.95292E-06	98100	100100	96700	102900	102100	102900
0.00452381	3.95292E-06	94000	96700	95300	102900	103600	103600
0.004583333	3.95292E-06	98100	94000	96700	102900	102100	104300
0.004642857	3.95292E-06	98100	95300	94700	102100	101400	102900
0.004702381	3.95292E-06	96700	94700	96000	102900	100700	105000
0.004761905	3.95292E-06	96000	96700	95300	102900	100700	105000
0.004821429	3.95292E-06	96700	95300	96000	102100	102100	103600
0.004880952	3.95292E-06	95300	95300	94700	102100	100700	104300
0.004940476	3.95292E-06	96700	96700	94000	102100	98600	104300
0.005	3.95292E-06	95300	94700	94000	100700	100000	105000
0.005059524	3.95292E-06	93300	94000	94700	102100	100700	105700
0.005119048	3.95292E-06	93300	92600	94000	100700	100000	104300
0.005178571	3.95292E-06	95300	92600	93300	100700	99300	102900
0.005238095	3.95292E-06	96000	92600	91200	101400	98600	103600
0.005297619	3.95292E-06	96000	92600	93300	100700	98600	105000
0.005357143	3.95292E-06	94000	93300	93300	101400	100000	102900
0.005416667	3.95292E-06	94700	92600	94000	100700	98600	103600
0.00547619	3.95292E-06	95300	92600	91900	100700	100000	102100
0.005535714	3.95292E-06	94000	91200	93300	100700	100000	103600
0.005595238	3.95292E-06	94000	91200	91900	100700	97100	102100
0.005654762	3.95292E-06	94700	93300	93300	100700	99300	102900
0.005714286	3.95292E-06	93300	93300	91900	100700	98600	102900
0.00577381	3.95292E-06	93300	93300	94000	100700	98600	103600
0.005833333	3.95292E-06	94000	94000	93300	100700	98600	102100
0.005892857	3.95292E-06	94700	92600	94000	100000	99300	101400
0.005952381	3.95292E-06	95300	93300	94000	100000	98600	102100
0.006011905	3.95292E-06	95300	94000	94000	101400	98600	100000
0.006071429	3.95292E-06	94000	93300	92600	100700	100000	101400
0.006130952	3.95292E-06	94000	94000	94700	100700	98600	102100
0.006190476	3.95292E-06	94700	93300	94700	101400	98600	100000
0.00625	3.95292E-06	94000	94000	95300	100700	100000	99300
0.006309524	3.95292E-06	94700	92600	95300	101400	98600	100700
0.006369048	3.95292E-06	95300	94700	94700	101400	99300	98600
0.006428571	3.95292E-06	94000	94000	95300	102100	100000	98600
0.006488095	3.95292E-06	95300	94700	94700	101400	100700	100000
0.006547619	3.95292E-06	94700	95300	96700	101400	100000	98600
0.006607143	3.95292E-06	95300	95300	96000	102900	100700	97900
0.006666667	3.95292E-06	94700	95300	96700	102100	100700	98600
0.00672619	3.95292E-06	94700	96000	96000	103600	100700	98600
0.006785714	3.95292E-06	95300	96000	96700	102900	101400	98600
0.006845238	3.95292E-06	94700	96700	96700	102900	102100	97900
0.006904762	3.95292E-06	96000	95300	96700	103600	102100	97900
0.006942857	3.95292E-06	94000	97400	96700	102100	102100	96400
0.00702381	3.95292E-06	95300	94700	98100	102900	101400	97900
0.007083333	3.95292E-06	94700	98800	97400	103600	102900	98600
0.007142857	3.95292E-06	96000	96700	97400	103600	102100	98600
0.007202381	3.95292E-06	94700	97400	98100	102900	102900	97900
0.007261905	3.95292E-06	96000	97400	97400	102100	102900	97900
0.007321429	3.95292E-06	94700	96700	98100	102900	103600	98600
0.007380952	3.95292E-06	96700	96000	98100	102900	102900	97900
0.007440476	3.95292E-06	96000	97400	98800	102900	102900	98600
0.0075	3.95292E-06	97400	97400	98800	103600	102900	98600
0.007559524	3.95292E-06	97400	98100	98100	102100	103600	98600
0.007619048	3.95292E-06	97400	96700	98100	102100	103600	99300
0.007678571	3.95292E-06	97400	97400	98800	102900	103600	98600
0.007738095	3.95292E-06	97400	97400	98800	102100	103600	98600
0.007797619	3.95292E-06	96700	98100	99500	102100	102100	100000
0.007857143	3.95292E-06	98100	98800	99500	102100	102900	99300
0.007916667	3.95292E-06	98800	98100	99500	102100	104300	100700

Příloha č.3

Vypočtené hodnoty statických tlaků pro ověření výpočtového modelu

"Convergence history of Static Pressure on plane-16 (in SI units)"

"Time Step" "Mass-Weighted Average Static Pressure"

1	305125.13	60	101072.38	118	96831.121	176	101372.2
3	100166.41	61	101115.82	119	97926.408	177	101409.17
4	101823.18	62	100546.21	120	97687.202	178	101617.52
5	100303.84	63	101036.19	121	97785.082	179	101586.08
6	99893.85	64	98192.877	122	97940.875	180	101193.8
7	100168.54	65	99753.389	123	97608.065	181	101379.44
8	98307.993	66	100720.46	124	97789.484	182	101624.81
9	98719.338	67	99375.897	125	98236.776	183	101335.15
10	100129.46	68	98591.275	126	98713.608	184	101959.79
11	101064.04	69	99816.636	127	98771.374	185	101660.74
12	100819.61	70	100224.78	128	98371.986	186	101340.05
13	100885.82	71	99280.085	129	98729.348	187	101681.59
14	100093.04	72	99385.865	130	98740.166	188	101759.32
15	100356.38	73	99237.568	131	98926.537	189	101655.98
16	101842.47	74	99342.046	132	99548.624	190	101351.99
17	100064.38	75	99151.218	133	99664.297	191	101517
18	99981.227	76	96644.524	134	99235.069	192	100959.55
19	101086	77	96858.832	135	99592.269	193	101410.3
20	100277.58	78	96707.193	136	99207.779	194	100942.07
21	101547.51	79	96605.761	137	99778.451	195	101130.87
22	101128.04	80	96867.733	138	99060.098	196	101417.17
23	101229.75	81	96950.671	139	99594.763	197	101290.16
24	100799.83	82	96206.019	140	99215.187	198	100958.05
25	101830.13	83	96693.736	141	99551.29	199	101578.3
26	101400.5	84	95745.943	142	99211.235	200	100868.21
27	101325.48	85	95145.325	143	99442.737	201	100699.43
28	100821.08	86	94465.924	144	98877.144	202	100744.49
29	101853.43	87	94523.653	145	99997.787	203	100740.53
30	100987.04	88	94180.221	146	99113.19	204	100729.65
31	102273.17	89	94630.069	147	99425.887	205	100026.99
32	101051.91	90	94488.978	148	99623.204	206	99621.147
33	101910.4	91	94627.428	149	99831.129	207	99552
34	101560.22	92	94331.895	150	99151.289	208	99529.153
35	101530.67	93	93874.939	151	99261.14	209	99499.823
36	101211.4	94	93367.906	152	99646.765	210	99305.914
37	102172.19	95	94545.605	153	99994.288	211	99165.139
38	102007.61	96	93940.752	154	100587.51	212	99303.771
39	102321.21	97	94391.349	155	100995.37	213	99711.247
40	101931.41	98	94736.997	156	100463.01	214	98946.334
41	102044.97	99	94629.308	157	99953.651	215	99487.968
42	102169.51	100	95044.656	158	99773.098	216	99180.17
43	101755.67	101	95340.178	159	99629.299	217	99533.996
44	101964.73	102	94443.287	160	100087.39	218	99542.231
45	102076.83	103	94985.091	161	100661.33	219	99137.611
46	101256.79	104	95000.774	162	100266.1	220	98863.245
47	101299.51	105	95246.397	163	100746.5	221	99064.527
48	100791.14	106	95027.314	164	100453.17	222	98846.695
49	100543.81	107	95807.914	165	100709.69	223	98971.719
50	101906.36	108	95398.624	166	101146.38	224	99281.909
51	101704.64	109	95850.639	167	101191.22	225	98487.259
52	100748.02	110	96274.919	168	100518.5	226	99444.543
53	101080.51	111	96435.513	169	100941.81	227	99223.229
54	101150.02	112	96443.07	170	101248.4	228	98711.349
55	98250.587	113	96623.435	171	100993.64	229	98932.586
56	101442.04	114	96917.833	172	101606.03	230	98804.59
57	98920.099	115	97024.584	173	102016.43	231	98785.882
58	100624.73	116	96913.775	174	101550.64	232	98475.908
59	100477.03	117	96907.206	175	100768.94	233	98278.192

Příloha č.3

Vypočtené hodnoty statických tlaků pro ověření výpočtového modelu

"Convergence history of Static Pressure on plane-16 (in SI units)"

"Time Step" "Mass-Weighted Average Static Pressure"

234	98677.475	292	100268.24	350	100299.95	408	100372.39
235	98164.169	293	100267.01	351	100300.9	409	100374.16
236	98363.471	294	100267.19	352	100302.51	410	100376
237	97566.557	295	100268.07	353	100303.66	411	100377.32
238	98040.933	296	100269.58	354	100304.04	412	100378.72
239	98007.528	297	100270.75	355	100304.82	413	100379.29
240	98948.56	298	100271.14	356	100306.02	414	100379.82
241	99027.154	299	100272.4	357	100307.9	415	100380.42
242	99121.328	300	100273.2	358	100309.25	416	100381.58
243	98713.955	301	100274.8	359	100309.88	417	100382.57
244	98236.891	302	100274.97	360	100311.14	418	100383.36
245	98265.364	303	100275.11	361	100312.78	419	100383.79
246	98188.223	304	100275.17	362	100314.4	420	100384.48
247	98274.994	305	100276.42	363	100315.73	421	100386.04
248	98528.885	306	100276.24	364	100316.88	422	100386.71
249	98585.358	307	100276.14	365	100317.12	423	100387.04
250	98693.615	308	100276.1	366	100318.71	424	100387.24
251	98308.078	309	100277.44	367	100320.64	425	100387.81
252	98695.618	310	100277.9	368	100321.3	426	100388.34
253	98814.943	311	100277.83	369	100322.7	427	100388.87
254	98727.386	312	100278.97	370	100324.74	428	100389.61
255	98651.352	313	100278.94	371	100326.14	429	100390.44
256	98655.365	314	100279.51	372	100327.55	430	100390.84
257	98108.307	315	100279.17	373	100328.61	431	100390.85
258	99059.973	316	100279.08	374	100329.92	432	100391.51
259	98885.396	317	100279	375	100332.02	433	100392.8
260	98934.158	318	100279.72	376	100332.91	434	100393.84
261	98812.755	319	100280.01	377	100334.06	435	100393.91
262	98938.575	320	100280.06	378	100334.88	436	100394.5
263	99065.47	321	100281.21	379	100336.49	437	100394.71
264	98789.13	322	100281.23	380	100338.09	438	100396.03
265	99176.211	323	100281.28	381	100339.35	439	100396.23
266	99277.167	324	100282.08	382	100340.48	440	100396.73
267	99185.171	325	100282.95	383	100341.56	441	100397.16
268	98563.959	326	100283.01	384	100343.93	442	100397.57
269	99233.106	327	100283.33	385	100344.9	443	100398.26
270	98673.15	328	100284.49	386	100346.08	444	100398.49
271	98707.935	329	100284.8	387	100347.21	445	100398.97
272	99166.009	330	100284.69	388	100348.32	446	100399.06
273	99525.91	331	100285.56	389	100349.08	447	100399.05
274	99017.923	332	100285.67	390	100350.22	448	100399.7
275	99568.524	333	100287.07	391	100352.02	449	100399.86
276	99321.821	334	100287.4	392	100353.51	450	100400.11
277	99867.363	335	100287.19	393	100355.13	451	100400.22
278	99546.979	336	100288.04	394	100355.86	452	100400.38
279	100112.21	337	100289.28	395	100356.75	453	100401
280	100229.9	338	100289.61	396	100358.29	454	100401.41
281	100252.72	339	100289.51	397	100359.32	455	100401.23
282	100261.35	340	100290.61	398	100361.02	456	100401.52
283	100267.02	341	100292.08	399	100362.19	457	100401.67
284	100269.92	342	100292.97	400	100362.67	458	100402.35
285	100272.43	343	100293.65	401	100364.14	459	100402.55
286	100273.71	344	100294.97	402	100365.54	460	100402.64
287	100274.32	345	100295.47	403	100365.88	461	100402.52
288	100273.55	346	100296.22	404	100367.17		
289	100272.17	347	100297.72	405	100367.78		
290	100270.06	348	100297.75	406	100369.18		
291	100269.43	349	100298.81	407	100370.58		

Příloha č.3

Vypočtené hodnoty statických tlaků pro ověření výpočtového modelu

Convergence history of Static Pressure on vstup (in SI units)"
 "Time Step" "Mass-Weighted Average Static Pressure"

1	692257.87	60	101108.22	118	96873.758	176	101499.12
3	98932.593	61	101250.55	119	97912.88	177	101514.46
4	101214.62	62	100642.54	120	97781.58	178	101706.11
5	100630.93	63	101153.64	121	98008.287	179	101662.96
6	100304.78	64	98878.917	122	98157.443	180	101242.37
7	100515.93	65	99686.151	123	97826.93	181	101423.53
8	98688.027	66	100521.96	124	97917.271	182	101664.15
9	98984.309	67	99413.313	125	98295.112	183	101411.19
10	100267.61	68	98911.961	126	98751.438	184	102030.45
11	101106.87	69	99923.912	127	98829.756	185	101779.77
12	101009.43	70	100288.99	128	98511.936	186	101518.79
13	101157.17	71	99508.483	129	98822.72	187	101854.9
14	100425.88	72	99562.947	130	98845.047	188	101949.16
15	100609.82	73	99427.734	131	99041.052	189	101799.61
16	102134.6	74	99462.324	132	99581.879	190	101461.12
17	100265.23	75	99255.664	133	99744.069	191	101519.25
18	100055.41	76	96938.273	134	99392.108	192	101036.98
19	101134.19	77	96865.124	135	99694.583	193	101456.08
20	100571.87	78	96659.001	136	99370.133	194	101065.19
21	101715.82	79	96576.254	137	99860.09	195	101242.67
22	101410.18	80	96846.522	138	99167.659	196	101501.69
23	101358.69	81	97147.984	139	99668.933	197	101382.04
24	101025.18	82	96459.939	140	99376.068	198	101023.47
25	101988.85	83	96896.209	141	99725.902	199	101555.28
26	101607	84	95973.758	142	99365.805	200	100920.52
27	101535.09	85	95348.366	143	99444.454	201	100861.64
28	101099.56	86	94781.116	144	98931.677	202	100899.6
29	101887.83	87	94594.926	145	99936.555	203	100917.93
30	101152.92	88	94102.051	146	99171.133	204	100775.12
31	102363.82	89	94520.757	147	99543.528	205	100138.15
32	101322.79	90	94442.764	148	99788.457	206	99764.103
33	102041.44	91	94727.181	149	100034.41	207	99671.256
34	101732.05	92	94474.777	150	99389.184	208	99611.656
35	101704.28	93	94103.598	151	99346.586	209	99538.657
36	101382.02	94	93531.54	152	99606.192	210	99376.115
37	102234.61	95	94552.692	153	99933.93	211	99176.809
38	102105.93	96	94016.919	154	100607.96	212	99346.552
39	102506.99	97	94464.13	155	101052.1	213	99743.494
40	102188.73	98	94806.646	156	100631.34	214	99148.544
41	102213.49	99	94780.214	157	100199.79	215	99588.036
42	102292.48	100	95192.416	158	99976.407	216	99302.117
43	102025.31	101	95473.377	159	99786.083	217	99623.423
44	102046.46	102	94612.606	160	100174.36	218	99673.412
45	102155.22	103	95049.212	161	100665.67	219	99289.105
46	101378.77	104	95021.597	162	100300.58	220	99005.284
47	101431.52	105	95277.389	163	100777.57	221	99129.311
48	101018.18	106	95147.332	164	100508.05	222	98838.612
49	100757.99	107	95910.889	165	100770.07	223	99003.764
50	102019.05	108	95568.319	166	101212.28	224	99221.734
51	101719.69	109	95987.082	167	101341.13	225	98679.834
52	100888.94	110	96378.593	168	100716.61	226	99573.443
53	101225.35	111	96503.272	169	101044.95	227	99332.671
54	101294.84	112	96562.324	170	101257.17	228	98873.831
55	98532.281	113	96743.057	171	101077.65	229	99037.04
56	101538.3	114	97037.728	172	101663.55	230	98840.198
57	99119.32	115	97132.963	173	102115.67	231	98892.353
58	100696.87	116	96995.237	174	101697.57	232	98594.617
59	100564.72	117	96910.8	175	100962.74	233	98395.267

Příloha č.3

Vypočtené hodnoty statických tlaků pro ověření výpočtového modelu

Convergence history of Static Pressure on vstup (in SI units)"
"Time Step" "Mass-Weighted Average Static Pressure"

234	98767.812	292	100358.18	350	100391.02	408	100461.61
235	98241.698	293	100355.21	351	100391.85	409	100463.24
236	98405.774	294	100354.62	352	100393.68	410	100464.99
237	97689.744	295	100355.72	353	100394.87	411	100466.37
238	98148.477	296	100358.07	354	100395.2	412	100468.03
239	98106.993	297	100360.09	355	100395.32	413	100468.7
240	98928.503	298	100361.65	356	100396.3	414	100469.68
241	99086.31	299	100364.22	357	100398.36	415	100470.71
242	99227.702	300	100365.83	358	100400.19	416	100472.19
243	98831.264	301	100367.56	359	100400.65	417	100473.37
244	98387.706	302	100367.97	360	100401.77	418	100474.09
245	98405.883	303	100368.17	361	100403.83	419	100474.5
246	98262.658	304	100367.29	362	100405.43	420	100475.12
247	98280.966	305	100367.83	363	100406.83	421	100476.52
248	98563.793	306	100367.75	364	100407.79	422	100477.02
249	98627.623	307	100367.45	365	100407.34	423	100477.07
250	98709.606	308	100367.1	366	100408.87	424	100477.08
251	98389.831	309	100368.08	367	100410.9	425	100477.63
252	98826.221	310	100368.72	368	100411.19	426	100478.1
253	98926.609	311	100368.96	369	100412.8	427	100478.54
254	98882.786	312	100369.98	370	100415.03	428	100479.18
255	98833.873	313	100370.08	371	100416.79	429	100479.84
256	98818.01	314	100370.62	372	100418.13	430	100480
257	98278.287	315	100370.73	373	100419.31	431	100479.94
258	99142.048	316	100370.87	374	100420.35	432	100480.63
259	98921.948	317	100370.96	375	100422.82	433	100482.18
260	98932.762	318	100371.56	376	100423.57	434	100483.35
261	98849.315	319	100371.58	377	100424.67	435	100483.51
262	98998.477	320	100371.38	378	100425.18	436	100484.34
263	99165.154	321	100372.69	379	100426.53	437	100484.4
264	98888.602	322	100372.48	380	100428.21	438	100485.98
265	99247.55	323	100372.54	381	100429.59	439	100486.17
266	99413.737	324	100373.37	382	100430.83	440	100486.75
267	99378.584	325	100374.2	383	100431.64	441	100487.18
268	98711.371	326	100374.64	384	100434.08	442	100487.46
269	99264.836	327	100374.86	385	100435.23	443	100488.16
270	98736.335	328	100376.01	386	100436.68	444	100488.28
271	98774.867	329	100376.36	387	100437.83	445	100488.62
272	99213.48	330	100376.41	388	100438.6	446	100488.76
273	99524.252	331	100377.13	389	100438.69	447	100488.7
274	99086.598	332	100376.77	390	100439.62	448	100489.12
275	99629.883	333	100378.02	391	100441.67	449	100489.16
276	99457.169	334	100378.74	392	100443.46	450	100489.14
277	100018.3	335	100378.14	393	100445.33	451	100489.16
278	99725.425	336	100379.28	394	100446.07	452	100489.3
279	100229.75	337	100380.26	395	100447.11	453	100490.07
280	100301.93	338	100380.47	396	100448.53	454	100490.5
281	100318.48	339	100380.53	397	100449.37	455	100490.23
282	100329.69	340	100381.18	398	100451.14	456	100490.55
283	100345.67	341	100383.06	399	100452.64	457	100490.6
284	100355.98	342	100384.19	400	100452.78	458	100491.28
285	100366.14	343	100384.71	401	100454.31	459	100491.45
286	100372.8	344	100386.43	402	100455.62	460	100491.54
287	100375.75	345	100386.89	403	100456.05	461	100491.35
288	100374.38	346	100387.59	404	100457.09	462	100491.3
289	100370.81	347	100388.99	405	100457.62	463	100491.65
290	100365.95	348	100388.75	406	100458.99	464	100491.73
291	100361.84	349	100389.85	407	100460.31	465	100491.75

99540.404	100400	-859.596	1004	-0.86
98932.593	100400	-1467.407	1004	-1.46
101214.62	99700	1514.62	997	1.52
100630.93	99700	930.93	997	0.93
100304.78	100400	-95.22	1004	-0.09
100515.93	99700	815.93	997	0.82
98688.027	99700	-1011.973	997	-1.02
98984.309	100400	-1415.691	1004	-1.41
100267.61	99700	567.61	997	0.57
101106.87	100400	706.87	1004	0.70
101009.43	100400	609.43	1004	0.61
101157.17	99700	1457.17	997	1.46
100425.88	99700	725.88	997	0.73
100609.82	99700	909.82	997	0.91
102134.6	99700	2434.6	997	2.44
100265.23	99700	565.23	997	0.57
100055.41	99700	355.41	997	0.36
101134.19	99700	1434.19	997	1.44
100571.87	100400	171.87	1004	0.17
101715.82	100400	1315.82	1004	1.31
101410.18	100400	1010.18	1004	1.01
101358.69	100400	958.69	1004	0.95
101025.18	99700	1325.18	997	1.33
101988.85	99700	2288.85	997	2.30
101607	100400	1207	1004	1.20
101535.09	99700	1835.09	997	1.84
101099.56	99700	1399.56	997	1.40
101887.83	100400	1487.83	1004	1.48
101152.92	99700	1452.92	997	1.46
102363.82	99700	2663.82	997	2.67
101322.79	99700	1622.79	997	1.63
102041.44	99700	2341.44	997	2.35
101732.05	99700	2032.05	997	2.04
101704.28	100400	1304.28	1004	1.30
101382.02	100400	982.02	1004	0.98
102234.61	99700	2534.61	997	2.54
102105.93	99700	2405.93	997	2.41
102506.99	100400	2106.99	1004	2.10
102188.73	100400	1788.73	1004	1.78
102213.49	100400	1813.49	1004	1.81
102292.48	100400	1892.48	1004	1.88
102025.31	99700	2325.31	997	2.33
102046.46	100400	1646.46	1004	1.64
102155.22	100400	1755.22	1004	1.75
101378.77	100400	978.77	1004	0.97
101431.52	100400	1031.52	1004	1.03
101018.18	99700	1318.18	997	1.32
100757.99	100400	357.99	1004	0.36
102019.05	99700	2319.05	997	2.33
101719.69	99700	2019.69	997	2.03
100888.94	99700	1188.94	997	1.19
101225.35	100400	825.35	1004	0.82
101294.84	99700	1594.84	997	1.60
98532.281	99700	-1167.719	997	-1.17
101538.3	99700	1838.3	997	1.84
99119.32	100400	-1280.68	1004	-1.28
100696.87	99700	996.87	997	1.00
100564.72	100400	164.72	1004	0.16
101108.22	100400	708.22	1004	0.71
101250.55	100400	850.55	1004	0.85
100642.54	99700	942.54	997	0.95

101153.64	99700	1453.64	997	1.46
98878.917	100400	-1521.083	1004	-1.52
99686.151	100400	-713.849	1004	-0.71
100521.96	99700	821.96	997	0.82
99413.313	100400	-986.687	1004	-0.98
98911.961	99700	-788.039	997	-0.79
99923.912	99700	223.912	997	0.22
100288.99	99700	588.99	997	0.59
99508.483	99700	-191.517	997	-0.19
99562.947	99700	-137.053	997	-0.14
99427.734	100400	-972.266	1004	-0.97
99462.324	99700	-237.676	997	-0.24
99255.664	99700	-444.336	997	-0.45
96938.273	99700	-2761.727	997	-2.77
96865.124	99700	-2834.876	997	-2.84
96659.001	100400	-3740.999	1004	-3.73
96576.254	99700	-3123.746	997	-3.13
96846.522	99700	-2853.478	997	-2.86
97147.984	100400	-3252.016	1004	-3.24
96459.939	99700	-3240.061	997	-3.25
96896.209	100400	-3503.791	1004	-3.49
95973.758	100400	-4426.242	1004	-4.41
95348.366	100400	-5051.634	1004	-5.03
94781.116	99700	-4918.884	997	-4.93
94594.926	100400	-5805.074	1004	-5.78
94102.051	99700	-5597.949	997	-5.61
94520.757	100400	-5879.243	1004	-5.86
94442.764	100400	-5957.236	1004	-5.93
94727.181	99700	-4972.819	997	-4.99
94474.777	99700	-5225.223	997	-5.24
94103.598	100400	-6296.402	1004	-6.27
93531.54	99700	-6168.46	997	-6.19
94552.692	100400	-5847.308	1004	-5.82
94016.919	100400	-6383.081	1004	-6.36
94464.13	100400	-5935.87	1004	-5.91
94806.646	99700	-4893.354	997	-4.91
94780.214	100400	-5619.786	1004	-5.60
95192.416	100400	-5207.584	1004	-5.19
95473.377	100400	-4926.623	1004	-4.91
94612.606	100400	-5787.394	1004	-5.76
95049.212	100400	-5350.788	1004	-5.33
95021.597	100400	-5378.403	1004	-5.36
95277.389	99700	-4422.611	997	-4.44
95147.332	99700	-4552.668	997	-4.57
95910.889	99700	-3789.111	997	-3.80
95568.319	99700	-4131.681	997	-4.14
95987.082	99700	-3712.918	997	-3.72
96378.593	99700	-3321.407	997	-3.33
96503.272	99700	-3196.728	997	-3.21
96562.324	99700	-3137.676	997	-3.15
96743.057	99700	-2956.943	997	-2.97
97037.728	100400	-3362.272	1004	-3.35
97132.963	99700	-2567.037	997	-2.57
96995.237	100400	-3404.763	1004	-3.39
96910.8	100400	-3489.2	1004	-3.48
96873.758	100400	-3526.242	1004	-3.51
97912.88	100400	-2487.12	1004	-2.48
97781.58	100400	-1691.713	997	-1.70
98157.443	100400	-2242.557	1004	-2.23

Porovnání naměřených a vypočtených dat - vstup

PFluent [Pa]	Pstat1 [Pa]	Pstat1 - Pfluent	1% Pstat1
odchylka tlaků v %			

Příloha č. 5
Výsledky simulace nového řešení

"Convergence history of Mass Flow Rate on plane-10 (in SI units)"
"Time Step" "Mass Flow Rate" "Mass Flow Rate"

0 0 0 0	58 0.12824552	116 0.12830435	174 0.12831072
2 0.12835678	59 0.12823766	117 0.12831581	175 0.12832939
3 0.12833798	60 0.12820946	118 0.12836139	176 0.12833218
4 0.12829556	61 0.12826727	119 0.12836789	177 0.12832201
5 0.12824589	62 0.12825996	120 0.12836867	178 0.12832715
6 0.12821266	63 0.12826331	121 0.12831273	179 0.12832202
7 0.12823639	64 0.12837481	122 0.12827772	180 0.12830137
8 0.128228	65 0.1282744	123 0.12825762	181 0.12830413
9 0.12823268	66 0.128236	124 0.12826435	182 0.12828786
10 0.12823423	67 0.12831397	125 0.128254	183 0.12829244
11 0.1282667	68 0.12832883	126 0.12828802	184 0.12829756
12 0.12826894	69 0.12829968	127 0.12830752	185 0.12830544
13 0.12827082	70 0.12825068	128 0.12832931	186 0.12830793
14 0.12821097	71 0.12829331	129 0.12832498	187 0.12832928
15 0.12823667	72 0.12827269	130 0.12831937	188 0.1282886
16 0.12826172	73 0.12829895	131 0.12831082	189 0.12830156
17 0.12821858	74 0.12832068	132 0.12830883	190 0.12832859
18 0.12826718	75 0.12831437	133 0.12831673	191 0.12831276
19 0.12826619	76 0.12831212	134 0.12829809	192 0.12830502
20 0.12820063	77 0.12832278	135 0.12828051	193 0.12826694
21 0.1282216	78 0.12829966	136 0.1283001	194 0.12828766
22 0.12826752	79 0.12829758	137 0.128295	195 0.12829104
23 0.12823114	80 0.12826618	138 0.12829741	196 0.1282932
24 0.12823377	81 0.1282876	139 0.12829261	197 0.12831346
25 0.12823905	82 0.12830473	140 0.12830126	198 0.12832812
26 0.12823201	83 0.12825688	141 0.12830333	199 0.12829479
27 0.12819986	84 0.12828892	142 0.12831256	200 0.12830131
28 0.12824151	85 0.12830331	143 0.12829597	201 0.12830604
29 0.12827226	86 0.12834367	144 0.12830015	202 0.12830081
30 0.12825952	87 0.12831465	145 0.12827173	203 0.12827535
31 0.12822908	88 0.12830522	146 0.12829431	204 0.1283005
32 0.12823334	89 0.12827874	147 0.12827649	205 0.12831398
33 0.12819632	90 0.1282523	148 0.12831681	206 0.12832518
34 0.12822482	91 0.12825692	149 0.12833214	207 0.12831934
35 0.12825383	92 0.128274	150 0.12832891	208 0.12831887
36 0.12821727	93 0.12827883	151 0.12833394	209 0.12834473
37 0.12817654	94 0.12829002	152 0.1283279	210 0.12834058
38 0.12818337	95 0.12827098	153 0.1282713	211 0.12830066
39 0.12822951	96 0.12826706	154 0.12825328	212 0.12828838
40 0.12826598	97 0.1282668	155 0.12827175	213 0.12825676
41 0.12824305	98 0.12827684	156 0.12828342	214 0.12828882
42 0.12825074	99 0.12827854	157 0.12831406	215 0.12828608
43 0.12823319	100 0.12827476	158 0.12830023	216 0.12828849
44 0.12820951	101 0.12827866	159 0.12830378	217 0.12828022
45 0.12819643	102 0.12830813	160 0.12830517	218 0.1283086
	103 0.12829483	161 0.12829898	219 0.12830275
46 0.12821603	104 0.12827864	162 0.1283299	220 0.1282813
47 0.12820479	105 0.12828289	163 0.12831191	221 0.12828945
48 0.12822973	106 0.12829719	164 0.12829332	222 0.12827839
49 0.12822825	107 0.12829053	165 0.12828682	223 0.12828378
50 0.12823139	108 0.12829326	166 0.12828547	224 0.12827212
51 0.12821699	109 0.12830428	167 0.12830791	225 0.12825372
52 0.1282523	110 0.12828404	168 0.12833447	226 0.12826597
53 0.12823682	111 0.12829057	169 0.12832848	227 0.1282692
54 0.12821997	112 0.12829881	170 0.12831111	228 0.12825233
55 0.12824928	113 0.12829229	171 0.12830225	229 0.12825572
56 0.12827164	114 0.12828542	172 0.12829385	230 0.12828915
57 0.12828085	115 0.12828908	173 0.12827622	231 0.12828413

Příloha č. 5
Výsledky simulace nového řešení

"Convergence history of Mass Flow Rate on plane-10 (in SI units)"
"Time Step" "Mass Flow Rate" "Mass Flow Rate"

232 0.12827519	290 0.1282698	348 0.12826546	406 0.12825676
233 0.12827307	291 0.12827028	349 0.12826548	407 0.12825633
234 0.12825218	292 0.12827012	350 0.1282656	408 0.12825636
235 0.12825889	293 0.1282701	351 0.12826566	409 0.12825621
236 0.12828012	294 0.12826956	352 0.12826569	410 0.12825605
237 0.12828189	295 0.12826953	353 0.12826562	411 0.12825577
238 0.1282993	296 0.12826889	354 0.12826535	412 0.12825534
239 0.12827818	297 0.12826882	355 0.12826528	413 0.12825497
240 0.12830375	298 0.12826898	356 0.12826515	414 0.12825474
241 0.1283013	299 0.12826895	357 0.12826511	415 0.12825429
242 0.12826047	300 0.12826875	358 0.12826517	416 0.12825382
243 0.12826913	301 0.1282689	359 0.12826552	417 0.12825352
244 0.1282488	302 0.12826899	360 0.12826538	418 0.12825328
245 0.12824492	303 0.12826933	361 0.1282653	419 0.12825288
246 0.12825337	304 0.12826926	362 0.12826504	420 0.12825237
247 0.12828626	305 0.12826875	363 0.12826468	421 0.12825146
248 0.12829117	306 0.12826866	364 0.12826432	422 0.12825107
249 0.12825782	307 0.12826875	365 0.12826416	423 0.12825094
250 0.12823501	308 0.12826872	366 0.12826401	424 0.12825095
251 0.12827768	309 0.12826832	367 0.12826416	425 0.12825104
252 0.12828097	310 0.12826861	368 0.1282642	426 0.12825135
253 0.12826726	311 0.12826878	369 0.1282644	427 0.12825143
254 0.12826655	312 0.128269	370 0.12826434	428 0.12825135
255 0.1282769	313 0.12826922	371 0.12826415	429 0.12825101
256 0.12828444	314 0.12826932	372 0.12826387	430 0.12825086
257 0.12828616	315 0.12826922	373 0.1282636	431 0.12825073
258 0.12827619	316 0.12826853	374 0.12826323	432 0.12825057
259 0.12826525	317 0.1282686	375 0.12826281	433 0.12825027
260 0.12824867	318 0.12826879	376 0.12826249	434 0.12824986
261 0.12825756	319 0.12826868	377 0.1282622	435 0.12824944
262 0.1282656	320 0.12826845	378 0.12826222	436 0.12824906
263 0.12827831	321 0.12826838	379 0.12826221	437 0.12824887
264 0.12824946	322 0.12826812	380 0.12826214	438 0.12824897
265 0.1282432	323 0.12826802	381 0.12826203	439 0.1282489
266 0.128273	324 0.12826801	382 0.12826175	440 0.12824885
267 0.12829137	325 0.12826804	383 0.12826154	441 0.12824825
268 0.12827982	326 0.12826769	384 0.1282616	442 0.12824772
269 0.12827014	327 0.12826769	385 0.1282616	443 0.12824737
270 0.12826863	328 0.128268	386 0.12826132	444 0.12824696
271 0.12825908	329 0.12826797	387 0.12826116	445 0.1282468
272 0.12827401	330 0.12826769	388 0.12826075	446 0.12824683
273 0.12825026	331 0.12826758	389 0.12826051	447 0.12824656
274 0.12823875	332 0.12826797	390 0.12826031	448 0.12824628
275 0.12824047	333 0.12826804	391 0.12826009	449 0.12824582
276 0.12824682	334 0.12826766	392 0.1282599	450 0.12824549
277 0.12825933	335 0.12826782	393 0.12825968	451 0.12824521
278 0.12829472	336 0.12826758	394 0.12825963	452 0.12824504
279 0.12828045	337 0.12826737	395 0.12825936	453 0.12824491
280 0.12826238	338 0.12826712	396 0.1282592	454 0.12824488
281 0.12826569	339 0.1282674	397 0.12825899	455 0.12824474
282 0.12826827	340 0.1282672	398 0.12825861	456 0.12824472
283 0.12826943	341 0.1282669	399 0.12825793	457 0.12824428
284 0.12826857	342 0.1282667	400 0.12825753	458 0.12824395
285 0.12826847	343 0.12826678	401 0.12825719	459 0.12824354
286 0.12826894	344 0.1282666	402 0.12825728	460 0.12824326
287 0.12826909	345 0.1282666	403 0.12825732	461 0.12824308
288 0.12826956	346 0.12826611	404 0.12825715	462 0.12824287
289 0.12826961	347 0.12826571	405 0.12825698	463 0.12824247

Příloha č. 5

Výsledky simulace nového řešení

Convergence history of Total Pressure on vstup (in SI units)"
 "Time Step" "Mass-Weighted Average Total Pressure"

0 0 0 0	59 100593.24	117 97237.6	175 100972.92
2 100189.48	60 101149.16	118 97176.079	176 101526.15
3 101247.08	61 101430.2	119 98266.447	177 101539.86
4 102192.25	62 100805.33	120 97836.228	178 101768.35
5 100226.23	63 101257.36	121 97648.952	179 101743.45
6 99854.38	64 98330.096	122 97840.312	180 101339.98
7 100319.5	65 99672.131	123 97581.423	181 101540.77
8 98402.488	66 100894.75	124 97930.582	182 101769.36
9 98802.757	67 99826.711	125 98433.919	183 101516.56
10 100283.41	68 98634.788	126 99007.086	184 102156.63
11 101420.7	69 100017.31	127 99057.151	185 101808.44
12 100923.64	70 100243.06	128 98593.469	186 101538.51
13 100973.76	71 99336.899	129 98890.725	187 101789.3
14 100025.99	72 99419.634	130 98886.439	188 101724.05
15 100440.15	73 99430.112	131 99058.439	189 101782.44
16 102018.59	74 99549.639	132 99701.177	190 101551.7
17 100123.66	75 99304.398	133 99811.387	191 101708.75
18 100370.44	76 96653.704	134 99303.98	192 101104
19 101290.76	77 97179.413	135 99732.384	193 101537.83
20 100162.4	78 96968.518	136 99381.366	194 101066.61
21 101662.83	79 96751.668	137 99972.463	195 101209.21
22 101368.68	80 96966.733	138 99237.809	196 101631.08
23 101388.68	81 97026.611	139 99734.458	197 101575.9
24 100929.44	82 96313.808	140 99354.398	198 101231.13
25 101918.28	83 96705.897	141 99616.727	199 101715.67
26 101462.22	84 95848.157	142 99428.786	200 101011.73
27 101379.49	85 95229.444	143 99641.845	201 100738.17
28 101038.17	86 94605.933	144 99052.586	202 100844.02
29 102254.55	87 94643.419	145 100128.56	203 100779.09
30 101156.61	88 94436.707	146 99309.028	204 100973.36
31 102310.9	89 94845.172	147 99652.517	205 100245.54
32 101043.26	90 94605.361	148 99850.905	206 99826.107
33 101971.15	91 94765.004	149 99925.989	207 99729.723
34 101828.13	92 94495.841	150 99304.652	208 99703.684
35 101832.83	93 93963.013	151 99454.071	209 99740.194
36 101260.87	94 93544.635	152 99822.613	210 99378.277
37 102194.42	95 94731.895	153 100121.11	211 99296.434
38 102188.23	96 94063.625	154 100722.16	212 99434.701
39 102568.16	97 94533.596	155 101184.68	213 99850.835
40 102108.76	98 94915.219	156 100608.33	214 99072.566
41 102184.31	99 94767.734	157 100075.45	215 99629.774
42 102402.16	100 95139.74	158 99928.478	216 99328.963
43 101712.02	101 95476.421	159 99772.87	217 99656.587
44 102098.35	102 94660.485	160 100252.21	218 99658.97
45 102168.66	103 95181.437	161 100861.11	219 99224.001
46 101491.25	104 95164.276	162 100504.51	220 98996.601
47 101431.71	105 95420.095	163 100897.66	221 99217.674
48 100970.53	106 95196.445	164 100656.8	222 99075.758
49 100668.94	107 95895.087	165 100862.95	223 99197.377
50 102034.47	108 95539.773	166 101271.89	224 99414.821
51 101915.64	109 96020.087	167 101367	225 98515.478
52 101002.58	110 96432.417	168 100734.99	226 99545.992
53 101182.98	111 96639.967	169 101169.53	227 99338.807
54 101253.45	112 96599.494	170 101465.17	228 98863.26
55 98470.352	113 96724.526	171 101125.22	229 99095.671
56 101522.12	114 97031.878	172 101774.95	230 99045.74
57 99179.205	115 97195.815	173 102083.47	231 98932.617
58 100747.62	116 97166.173	174 101705.94	232 98576.271

Příloha č. 5
Výsledky simulace nového řešení

Convergence history of Total Pressure on vstup (in SI units)"
"Time Step" "Mass-Weighted Average Total Pressure"

233	98407.973	291	100416.12	349	100416.11	407	100485.93
234	98780.833	292	100414.62	350	100417.37	408	100486.83
235	98296.626	293	100414.03	351	100418.48	409	100487.27
236	98558.361	294	100412.24	352	100419.14	410	100488.17
237	97668.084	295	100412.86	353	100420.42	411	100488.84
238	98215.952	296	100411.87	354	100421.23	412	100489.37
239	98157.943	297	100411.56	355	100421.91	413	100489.92
240	99256.901	298	100412.17	356	100422.63	414	100491.7
241	99205.495	299	100413.16	357	100423.96	415	100492.86
242	99149.383	300	100412.51	358	100425.03	416	100493.75
243	98831.186	301	100412.97	359	100427.13	417	100495.05
244	98330.339	302	100413.1	360	100426.76	418	100495.54
245	98362.227	303	100412.81	361	100428.84	419	100497.47
246	98346.381	304	100411.81	362	100430.42	420	100500.35
247	98569.152	305	100409.57	363	100430.03	421	100503.72
248	98723	306	100409.32	364	100431.73	422	100505.58
249	98702.57	307	100408.91	365	100434.26	423	100506.38
250	98866.993	308	100408.99	366	100436.86	424	100506.95
251	98515.79	309	100410.67	367	100437.92	425	100507.64
252	98824.388	310	100409.83	368	100438.15	426	100508.36
253	98930.039	311	100409.64	369	100440.27	427	100508.82
254	98838.869	312	100409.75	370	100440.22	428	100509.85
255	98768.686	313	100410.75	371	100440.89	429	100510.15
256	98766.439	314	100409.36	372	100442.28	430	100510.89
257	98210.761	315	100408.48	373	100443.09	431	100511.42
258	99195.981	316	100406.22	374	100443.62	432	100511.26
259	99097.481	317	100406.4	375	100445.06	433	100512.69
260	99097.031	318	100405.73	376	100447.18	434	100513.02
261	99003.172	319	100406.31	377	100448.17	435	100513.49
262	99104.985	320	100406.47	378	100450.12	436	100514.65
263	99214.613	321	100406.16	379	100451.86	437	100514.96
264	98903.438	322	100406.26	380	100453.13	438	100515.53
265	99315.383	323	100406.05	381	100454.3	439	100515.69
266	99426.505	324	100405.7	382	100455.37	440	100516.17
267	99320.832	325	100406.15	383	100456.92	441	100516.09
268	98721.03	326	100405.43	384	100458.53	442	100516.49
269	99430.167	327	100409.21	385	100459.81	443	100517.31
270	98861.248	328	100408.05	386	100460.41	444	100518
271	98844.647	329	100405.79	387	100461.8	445	100518.56
272	99260.337	330	100407.29	388	100463.04	446	100518.95
273	99669.733	331	100409.91	389	100464.09	447	100519.31
274	99172.036	332	100410.1	390	100465.45	448	100519.99
275	99757.672	333	100407.29	391	100466.02	449	100520.19
276	99515.588	334	100408.93	392	100466.63	450	100520.86
277	99985.765	335	100408.81	393	100468.39	451	100520.49
278	99713.504	336	100408.61	394	100468.62	452	100520.96
279	100256.3	337	100408.45	395	100469.59	453	100521.64
280	100387.24	338	100409.58	396	100471.06	454	100522.36
281	100416.64	339	100410.21	397	100472.5	455	100522.56
282	100417.36	340	100409.85	398	100472.41	456	100522.56
283	100413.37	341	100410.51	399	100473.93	457	100522.58
284	100413.32	342	100411.7	400	100476.46	458	100522.76
285	100416.3	343	100411.08	401	100477.97	459	100522.68
286	100417.64	344	100410.78	402	100479.6	460	100522.47
287	100417.62	345	100411.31	403	100481.16	461	100522.5
288	100417.29	346	100411.91	404	100481.95	462	100522.66
289	100416.88	347	100413.55	405	100483.07	463	100522.44
290	100416.92	348	100414.73	406	100484.12	464	100522.05

Příloha č. 5

Výsledky simulace nového řešení

"Convergence history of Total Pressure on plane-10 (in SI units)"

"Time Step" "Mass-Weighted Average Total Pressure"

0	0	0	0	57	98965.672	113	96640.769	169	101046.45
2	99630.946	58	100655.62	114	96954.83	170	101379.2		
3	101094.23	59	100552.56	115	97096.214	171	101046.63		
4	102198.56	60	101134.67	116	97042.777	172	101711.06		
5	100189.11	61	101271.47	117	97093.99	173	102039.32		
6	99793.726	62	100626.33	118	97016.326	174	101616.4		
7	100210.55	63	101136.56	119	98114.683	175	100829.32		
8	98252.585	64	97989.745	120	97751.242	176	101423.06		
9	98702.407	65	99771.097	121	97658.919	177	101449.36		
10	100188.06	66	100956.15	122	97865.478	178	101685.21		
11	101290.93	67	99639.03	123	97539.254	179	101664.12		
12	100785.95	68	98450.353	124	97863.813	180	101265.57		
13	100859.71	69	99922.974	125	98352.379	181	101469.25		
14	99970.173	70	100254.89	126	98877.572	182	101704.16		
15	100365.84	71	99224.197	127	98901.626	183	101439.46		
16	101859.48	72	99340.538	128	98428.909	184	102068.42		
17	100069.26	73	99300.049	129	98781.986	185	101702.2		
18	100177.74	74	99426.641	130	98798.646	186	101404		
19	101174.83	75	99199.703	131	98984.868	187	101677.01		
20	100140.42	76	96561.387	132	99661.059	188	101664.87		
21	101604.01	77	97048.381	133	99731.256	189	101709.15		
22	101199.1	78	96854.351	134	99217.74	190	101460.63		
23	101264.91	79	96698.592	135	99655.679	191	101632.39		
24	100809.63	80	96921.49	136	99272.396	192	101024.16		
25	101890.48	81	96933.162	137	99881.318	193	101510.34		
26	101378.71	82	96173.447	138	99140.069	194	101013.52		
27	101309.66	83	96645.854	139	99646.693	195	101137.36		
28	100859.44	84	95748.307	140	99248.331	196	101495.16		
29	102108.56	85	95118.691	141	99529.371	197	101409.12		
30	101011.51	86	94444.788	142	99312.415	198	101089.32		
31	102297.34	87	94572.598	143	99561.661	199	101673.27		
32	100948.09	88	94356.226	144	98962.226	200	100955.38		
33	101922.84	89	94789.399	145	100116.63	201	100651.21		
34	101686.75	90	94562.532	146	99204.054	202	100770.33		
35	101677.59	91	94677.204	147	99527.604	203	100733.9		
36	101164.83	92	94385.994	148	99699.553	204	100875.46		
37	102215.35	93	93840.56	149	99797.043	205	100104.8		
38	102097.79	94	93400.391	150	99165.558	206	99673.979		
39	102406.49	95	94682.828	151	99367.441	207	99619.038		
40	101925.85	96	93993.759	152	99782.827	208	99602.054		
41	102087.34	97	94460.013	153	100122.26	209	99635.583		
42	102294.65	98	94808.909	154	100683.93	210	99324.074		
43	101619.62	99	94650.362	155	101099.24	211	99260.654		
44	102075.93	100	95044.813	156	100503.29	212	99386.251		
45	102126.96	101	95374.917	157	99919.596	213	99801.727		
46	101363.25	102	94507.6	158	99816.349	214	98921.019		
47	101338.59	103	95072.413	159	99656.133	215	99541.328		
48	100825.65	104	95117.733	160	100171.79	216	99247.012		
49	100549.26	105	95348.239	161	100791.33	217	99590.159		
50	101976.13	106	95083.707	162	100407.93	218	99569.184		
51	101847.11	107	95820.338	163	100811.34	219	99126.598		
52	100855.51	108	95431.785	164	100588.11	220	98915.059		
53	101074.07	109	95914.986	165	100788.66	221	99128.293		
54	101192.05	110	96345.383	166	101208.91	222	98999.363		
55	98296.352	111	96547.42	167	101270.13	223	99102.034		
56	101513.99	112	96504.552	168	100562.15	224	99370.008		

Příloha č. 5
Výsledky simulace nového řešení

"Convergence history of Total Pressure on plane-10 (in SI units)"

"Time Step" "Mass-Weighted Average Total Pressure"

225	98449.531	281	100344.13	337	100326.74	393	100388.5
226	99475.937	282	100341.14	338	100327.64	394	100389.17
227	99259.511	283	100332.64	339	100327.84	395	100390.45
228	98771.716	284	100330.71	340	100327.67	396	100391.99
229	98998.544	285	100332.38	341	100328.56	397	100393.43
230	98928.508	286	100332.83	342	100329.27	398	100394.07
231	98832.641	287	100332.88	343	100330.29	399	100394.49
232	98487.08	288	100332.32	344	100330.3	400	100396.01
233	98326.057	289	100332.07	345	100330.77	401	100397.84
234	98736.695	290	100332.5	346	100330.92	402	100399.31
235	98227.665	291	100332.14	347	100332.1	403	100400.58
236	98478.954	292	100331.12	348	100333.12	404	100401.2
237	97574.711	293	100330.45	349	100334.22	405	100402.28
238	98090.793	294	100329.27	350	100335.17	406	100403.15
239	98068.411	295	100329.92	351	100336.06	407	100404.48
240	99161.911	296	100329.23	352	100336.66	408	100406.31
241	99110.496	297	100328.97	353	100338.01	409	100407.58
242	99092.002	298	100329.23	354	100338.97	410	100408.86
243	98756.455	299	100329.95	355	100339.95	411	100409.81
244	98254.08	300	100328.85	356	100340.98	412	100410.47
245	98292.917	301	100328.65	357	100342.52	413	100410.86
246	98271.819	302	100329.35	358	100343.67	414	100412.37
247	98441.629	303	100329.08	359	100344.79	415	100413.4
248	98625.373	304	100328.31	360	100345.94	416	100414.28
249	98631.497	305	100326.99	361	100347.15	417	100415.99
250	98810.653	306	100327.06	362	100348.08	418	100417.05
251	98413.143	307	100327.79	363	100349.49	419	100418.28
252	98723.517	308	100326.82	364	100350.42	420	100420.33
253	98865.56	309	100326.64	365	100352.01	421	100422.37
254	98756.586	310	100326.73	366	100353.43	422	100424.36
255	98662.672	311	100326.66	367	100355.08	423	100425.48
256	98665.216	312	100327	368	100356.39	424	100426.22
257	98120.548	313	100326.6	369	100357.51	425	100427
258	99129.397	314	100326.38	370	100358.33	426	100427.76
259	99032.135	315	100325.56	371	100359.7	427	100428.29
260	99031.489	316	100324.65	372	100361.83	428	100429.26
261	98920.502	317	100324.83	373	100362.88	429	100429.71
262	99020.532	318	100323.73	374	100363.38	430	100430.57
263	99122.317	319	100323.83	375	100364.73	431	100431.37
264	98834.481	320	100323.88	376	100366.75	432	100431.73
265	99243	321	100323.26	377	100367.48	433	100432.49
266	99325.453	322	100323.55	378	100369.12	434	100432.77
267	99188.419	323	100323.4	379	100370.64	435	100433.01
268	98627.14	324	100323.25	380	100371.97	436	100433.74
269	99367.839	325	100323.62	381	100373.09	437	100434.77
270	98768.518	326	100324.22	382	100374.2	438	100435.47
271	98766.428	327	100324.73	383	100375.82	439	100435.81
272	99209.088	328	100324.24	384	100377.33	440	100436.36
273	99619.322	329	100324.08	385	100378.6	441	100436.45
274	99093.52	330	100324.55	386	100379.37	442	100436.79
275	99670.027	331	100324.64	387	100380.8	443	100437.48
276	99409.491	332	100325.53	388	100382.07	444	100438.27
277	99885.047	333	100325.21	389	100383.3	445	100438.84
278	99600.924	334	100325.28	390	100384.43	446	100439.1
279	100160.21	335	100325.97	391	100385.74	447	100439.49
280	100310.62	336	100326.54	392	100387.07	448	100440.01

Příloha č.6
Průtokové součinitele – navrhované řešení

průtok vstup [kg/s]	průtok výstup [kg/s]	mi [1]
0.06418	0.055193415	0.859978426
0.06418	0.055185331	0.859852468
0.06418	0.055167091	0.859568258
0.06418	0.055145733	0.859235474
0.06418	0.055131444	0.859012836
0.06418	0.055141648	0.859171825
0.06418	0.05513804	0.859115612
0.06418	0.055140052	0.859146968
0.06418	0.055140719	0.859157353
0.06418	0.055154681	0.859374899
0.06418	0.055155644	0.859389907
0.06418	0.055156453	0.859402502
0.06418	0.055130717	0.859001513
0.06418	0.055141768	0.859173701
0.06418	0.05515254	0.859341533
0.06418	0.055133989	0.859052499
0.06418	0.055154887	0.859378115
0.06418	0.055154462	0.859371482
0.06418	0.055126271	0.858932236
0.06418	0.055135288	0.859072733
0.06418	0.055155034	0.859380393
0.06418	0.05513939	0.85913665
0.06418	0.055140521	0.859154271
0.06418	0.055142792	0.859189646
0.06418	0.055139764	0.859142479
0.06418	0.05512594	0.858927077
0.06418	0.055143849	0.859206128
0.06418	0.055157072	0.85941215
0.06418	0.055151594	0.859326793
0.06418	0.055138504	0.859122848
0.06418	0.055140336	0.85915139
0.06418	0.055124418	0.858903359
0.06418	0.055136673	0.859094307
0.06418	0.055149147	0.859288671
0.06418	0.055133426	0.859043722
0.06418	0.055115912	0.858770835
0.06418	0.055118849	0.858816596
0.06418	0.055138689	0.859125729
0.06418	0.055154371	0.859370075
0.06418	0.055144512	0.859216446
0.06418	0.055147818	0.859267968
0.06418	0.055140272	0.859150385
0.06418	0.055130089	0.858991731
0.06418	0.055124465	0.858904096
0.06418	0.055132893	0.859035414
0.06418	0.05512806	0.858960108
0.06418	0.055138784	0.859127203
0.06418	0.055138148	0.859117287
0.06418	0.055139498	0.859138325

Příloha č.6

Průtokové součinitele – současné řešení

průtok vstup [kg/s]	průtok výstup [kg/s]	mi [1]
0.06418	0.050751445	0.790767295
0.06418	0.050743995	0.790651215
0.06418	0.05073539	0.790517139
0.06418	0.050719973	0.790276916
0.06418	0.050709665	0.790116313
0.06418	0.050719598	0.790271074
0.06418	0.050711	0.790137114
0.06418	0.05073817	0.790560455
0.06418	0.050738558	0.790566493
0.06418	0.050746675	0.790692973
0.06418	0.050747235	0.790701698
0.06418	0.050747705	0.790709022
0.06418	0.050732743	0.790475888
0.06418	0.050739168	0.790575997
0.06418	0.05074543	0.790673574
0.06418	0.050734645	0.790505531
0.06418	0.050746795	0.790694843
0.06418	0.050746548	0.790690986
0.06418	0.050730158	0.790435611
0.06418	0.0507354	0.790517295
0.06418	0.05074688	0.790696167
0.06418	0.050737785	0.790554456
0.06418	0.050738443	0.790564701
0.06418	0.050739763	0.790585268
0.06418	0.050738003	0.790557845
0.06418	0.050729965	0.790432611
0.06418	0.050740378	0.79059485
0.06418	0.050748065	0.790714631
0.06418	0.05074488	0.790665005
0.06418	0.05073727	0.790546432
0.06418	0.050738335	0.790563026
0.06418	0.05072908	0.790418822
0.06418	0.050736205	0.790529838
0.06418	0.050743458	0.79064284
0.06418	0.050729318	0.790422523
0.06418	0.050719135	0.790263867
0.06418	0.050720843	0.790290472
0.06418	0.050732378	0.790470201
0.06418	0.050741495	0.790612262
0.06418	0.050735763	0.790522943
0.06418	0.050737685	0.790552898
0.06418	0.050733298	0.790484536
0.06418	0.050727378	0.790392295
0.06418	0.050724108	0.790341345
0.06418	0.050729008	0.790417692
0.06418	0.050726198	0.790373909
0.06418	0.050732433	0.790471058
0.06418	0.050732063	0.790465293
0.06418	0.050732848	0.790477524