Vliv geometrie cévní náhrady a cílové tepny na proudění v distální end-to-side anastomóze bypassu

Robert Pecha

1 Úvod

Ve své práci se zabývám problémem, který se řeší již několik let na Odboru mechaniky tekutin a termodynamiky. Problém se týká selhání distlání anastomózy bypassu. Problém selhávaní distální anastomózy bypassu je zapříčiněn mnoha různými faktory, které mají přímý vliv na dobu správné funkce bypassu. Jedním z faktorů je lokální hemodynamika, úhel našití bypassu na cílovou tepnu a také poměr průměrů náhrady a cílové tepny. Ve své práci se soustředím na vliv poměrů průměrů cévní náhrady a cílové tepny a vyhodnocuji rychlostní pole a stav proudění při různých poměrech průměru cévní náhrady a cílové tepny.

2 Materiály a postupy

2.1 Modelové situace

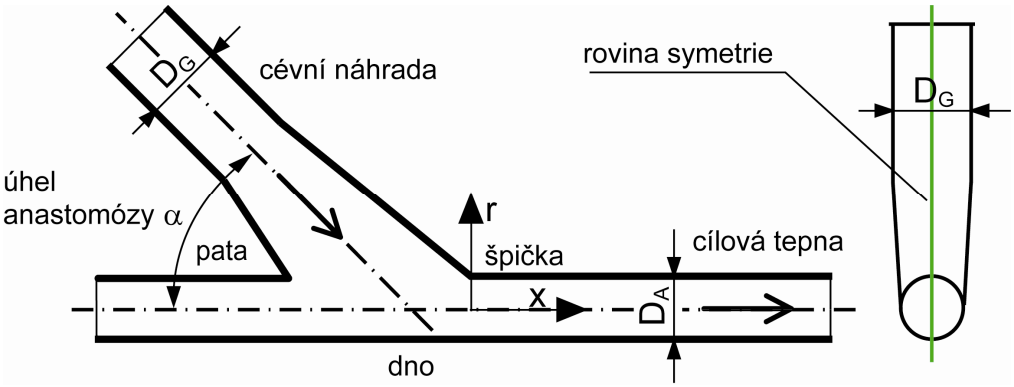
Modeluji tři případy end-to-side distální anastomózy femoro-popliteálního bypassu s různým poměrem průřezů cévní protézy (průměr 5, 6 a 7 mm) a cílové tepny (průměr 6 mm).

2.2 Model cévní anastomózy

Jelikož měření probíhá na experimentální trati bylo nutné zvolit poměr průměrů s ohledem na výrobní možnosti a sortiment trubek. Při této volbě jsem volil poměry průměrů tak, aby byl dodržen poměr průměrů používaný u skutečných náhrad a cílových tepen co nejlépe. Byly tedy zvoleny průměry pro model 26mm, 20 mm a 16mm oproti průměrům 5, 6 a 7mm. A to konkrétně u zvoleného modelu 20-16 mm a 20-26mm.

	(poměr průměrů)	**Model**	**(poměr průměrů)**
5mm-6mm	0,8333	20mm-26mm	0,77
7mm-6mm	1,1667	20mm-16mm	1,25

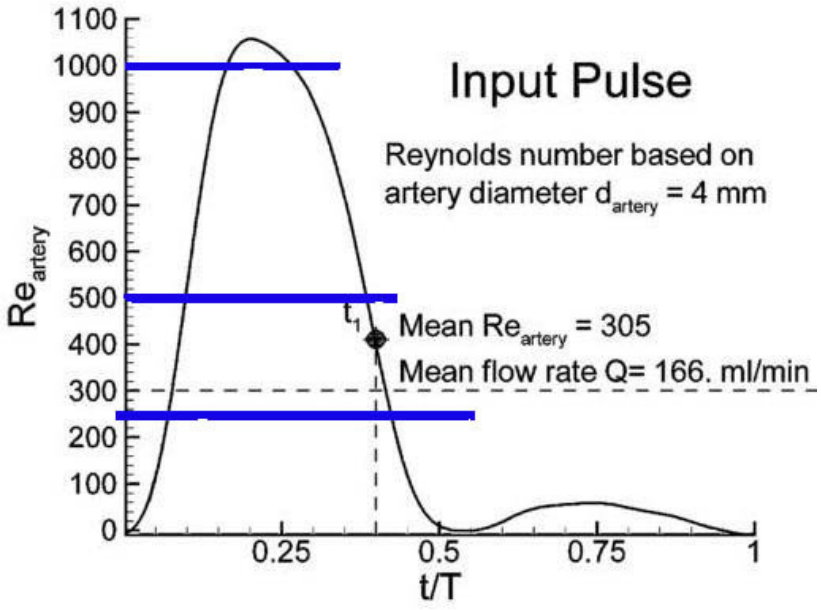
Tab. 2.2.1 – Tabulka poměrů průměrů používaných náhrad a modelu



Obr. 2.2.1 – Geometrie

2.3 Volba *Re* pro měření

Úkolem bylo modelovat proudění v anastomóze při stacionárním režimu. Průběh rychlosti v závislosti na čase v cévní náhradě je převzat z článku Particle-hemodynamics modeling of the distal end-to-side femoral bypass: effects of graft caliber and graft-end cut[1]. (Obr. 2.3.1). Aby bylo prouděni popsáno v celém rozsahu, byly zvoleny tři hodnoty Re=250, Re=500 a Re=1000.



Obr. 2.3.1 – Závislost Re na čase v cévní náhradě femoropopliteálního bypassu

2.4 Výpočet rychlostí pro měření

Aby bylo dodrženo Reynoldsovo číslo, bylo třeba přepočítat na základě změny průměrů a také rozdílné kinematické viskozity vody ($1x10^{-6}$ [m^2s^{-1}]) oproti viskozitě krve ($3.5x10^{-6}$[m^2s^{-1}]) správnou rychlost potřebnou pro měření.

$$v = \frac{Re_D \cdot v_D}{d} \qquad (1)$$

Průměr díla	Re	Rychlost v ($m.s^{-1}$)
16 mm	1000	0,062
	500	0,031
	250	0,015
26 mm	1000	0,038
	500	0,019
	250	0,009

Tab. 2.4.1 – vypočtené hodnoty rychlostí pro nastavení na experimentální trati

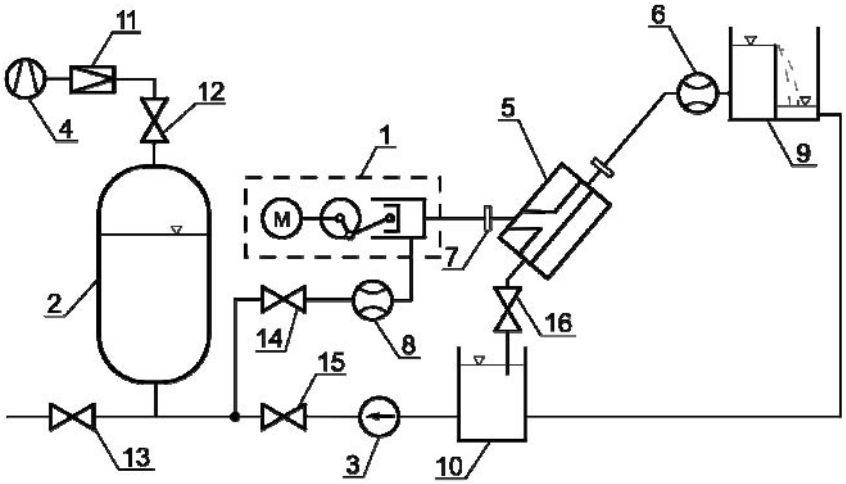
2.5 Materiál modelu

Pro jednotlivá měření používám modely, které jsou vyrobeny z transparentní pryskyřice Translux systémem vytavitelného modelu. Výroba těchto modelů se provádí tak, že dle návrhu geometrie se metodou Rapid Prototyping nechá vyrobit pozitivní jádro, toto jádro se očistí, zbrousí a provede se povrchová úprava, aby vznikl naprosto čistý a hladký pozitiv jádra. Ten se zalije do hmoty LUKOPREN N Super, tak aby vznikla dvoudílná forma. Do této formy se potom odlije ze směsi parafinu a palmového vosku vytavitelné jádro, které lehce očistíme a zalijeme do Transluxu. Očištěný a vyleštěný model potom lze využít k měření. Výroba modelů sice není zcela dopracovaná a model občas obsahuje nepříjemné bublinky, ale i přesto současný stav výroby modelů umožňuje celkem kvalitní měření.

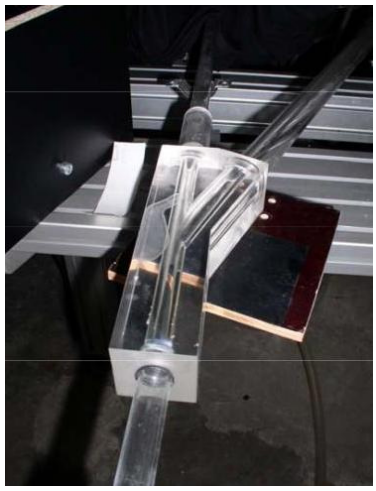
3 Experimentální trať

Měření jsem prováděl na experimentální trati se stacionárním prouděním pomocí metody PIV. Trať se sestavena ze vstupní nádrže, regulačních ventilů, rotametru, trubek, díla, výstupní nádrže, přečerpávacích nádrží a čerpadla.

Složení a zapojení:



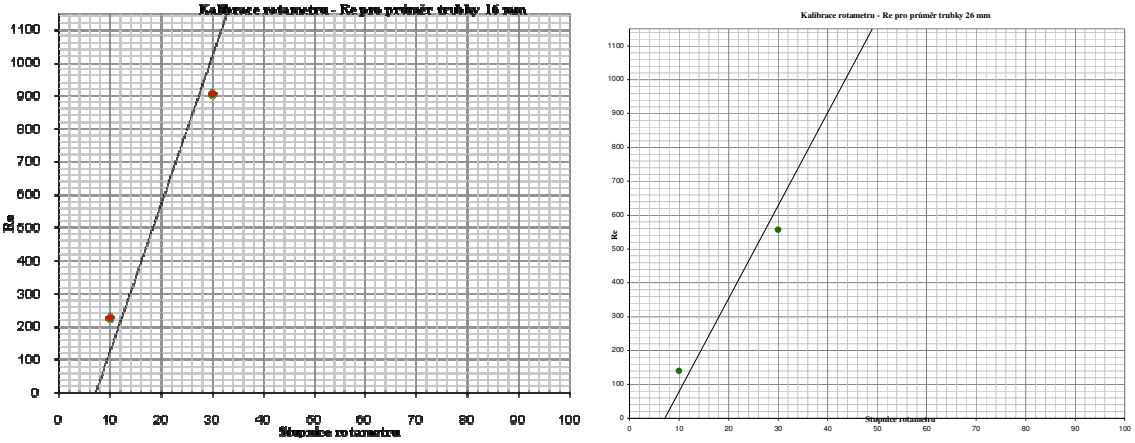
1- generátor pulzů
2- tlaková nádoba
3- čerpadlo
4- kompresor
5- model bypasu
6- turbínový průtokoměr
7- tlakový snímače
8- průtokoměr
9- koncová nádoba s přepadem
10-zásobník pracovní tekutiny
11-redukční ventil
12-16 uzavíratelné kohouty (ventily, hradla)



Obr. 3.1- Zapojení experimentální tratě

Obr. 3.2 – Detail připojení modelu do experimentální tratě

Pro správné nastavení rychlostí v experimentální trati jsem provedl kalibraci rotametru tak aby bylo možné nastavit rychlost proudění v experimentální trati odpovídajícím hodnotám, které jsem vypočítal (viz. kapitola 2.4) v závislosti na požadovaném Re a viskozitě vody, ve které měření probíhalo. Na základě kalibračních měření jsem stanovil tabulky převodu stupnice rotametru a rychlosti v experimentální trati. Tabulky 3.1. a 3.2 ukazují závislost rychlosti a Re na stupních rotametru při měření.

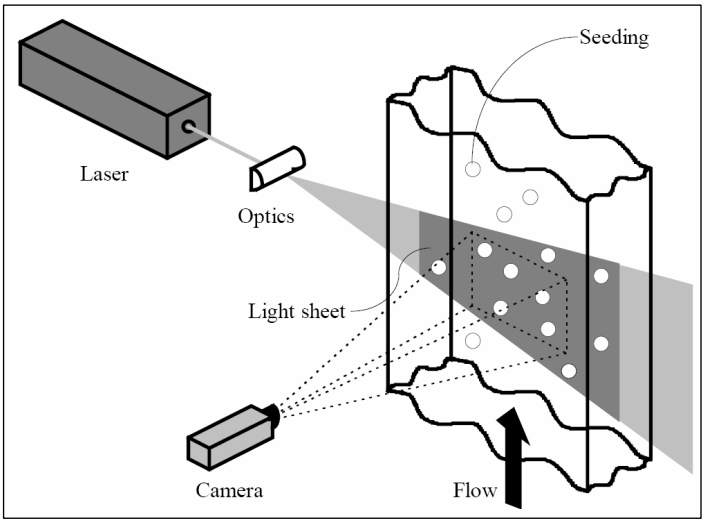


Tab. 3.1 / 3.2 – Grafy pro kalibraci rotametru

4 Způsob měření a zaznamenání

4.1 Metoda PIV

Použitá metoda PIV (Praticle Image Velocity) využívá částic o známe velikosti, které jsou rozmíchány v proudící tekutině. Tyto částice dobře odrážejí světlo, které je na ně vrháno přes čočku z laserového zdroje. Tímto způsobem dojde v díle k vytvoření jakési stěny, kterou poté snímáme digitální kamerou v okamžicích bezprostředně jdoucích za sebou. Princip tohoto snímání je patrný z obrázku 4.1.1. Při použití jedné kamery se jedná o tzv. 2D PIV.



Obr. 4.1.1 – Princip snímání pohybu částic metodou PIV

Z velikosti posunu částic mezi jednotlivými snímky a při znalosti času mezi snímky můžeme vypočítat rychlost pohybu těchto částic.

4.2 Další zpracování

Pořízené snímky se ukládají na pevný disk počítače a následně je analyzuji v programu Flow Manager, kde provádím základní vyhodnocení, použitím metod výpočtu středních hodnot snímků, jejich odečtením od sebe a pomocí statistiky. Získaná data potom exportuji do programu Matlab, ve kterém provádím konečné vyhodnocení a zobrazení.

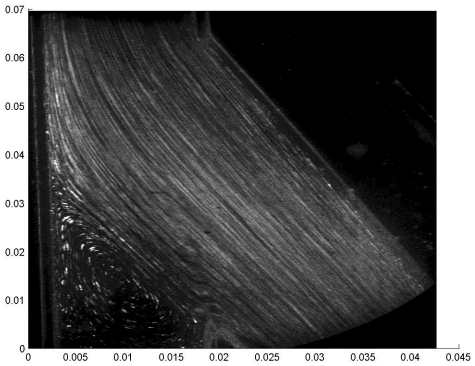
5 Parametry vyhodnocení

Zaznamenaná data z jednotlivých měření jsem vyhodnotil nejdříve pomocí programu Flow manager a to tak, že jsem ze 100 zaznamenaných snímků nechal spočítat střední hodnotu, kterou jsem od těchto snímků odečetl. Takto provedená úprava posloužila pro vytvoření vizualizace (viz. obrázky vizualizace kap. 6.1).

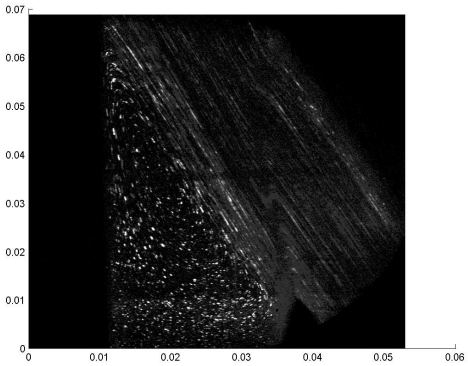
Z každých dvou po sobě jdoucích snímků (s odečtenou střední hodnotou) jsem dále nechal provést adaptivní korelaci s těmito parametry:
vyhodnocovaná oblast 64x64 Px, překrývání 50x50 Px, počáteční oblast 128x128 Px,
Použito: Peak validation a Moving Average, celkově vyhodnocovaná oblast 760 x 988 Px
Z výsledků jsem poté spočítal střední hodnoty rychlosti u a v a standardní deviační odchylky v programu Matlab.

6 Výsledky zpracování naměřených hodnot

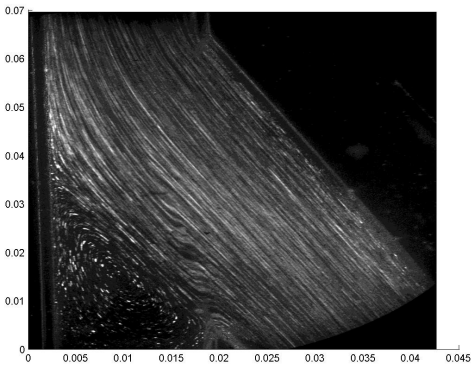
6.1 Vizualizace:



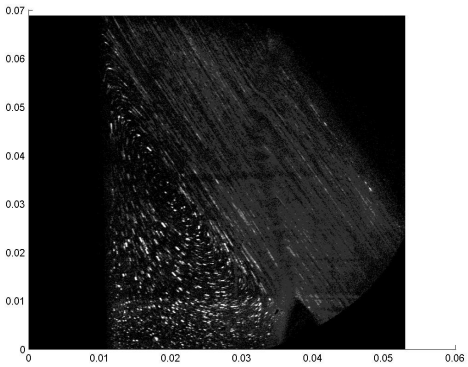
Obr. 6.1.1 - Re=1000, poměr 1,25



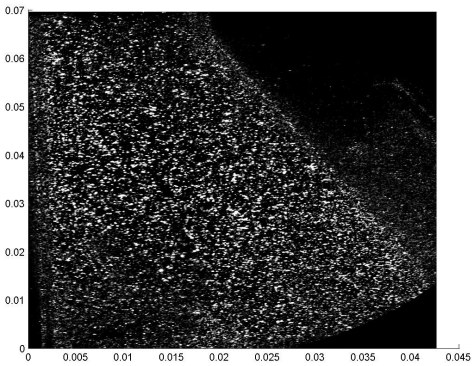
Obr. 6.1.2 - Re=1000, poměr 0,77



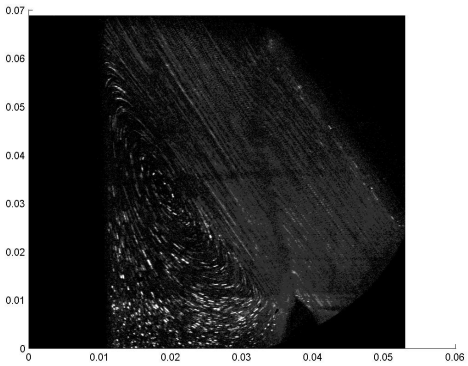
Obr.6.1.3-Re=500,poměr 1,25



Obr.6.1.4-Re=500,poměr 0,77

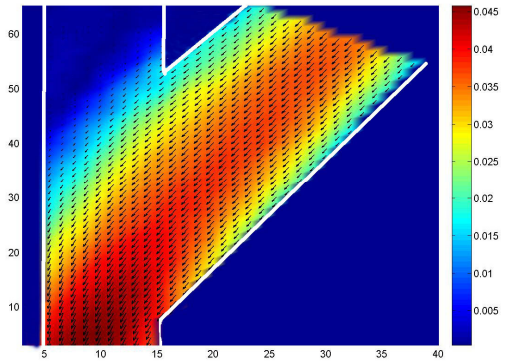


Obr.6.1.5-Re=250,poměr 1,25

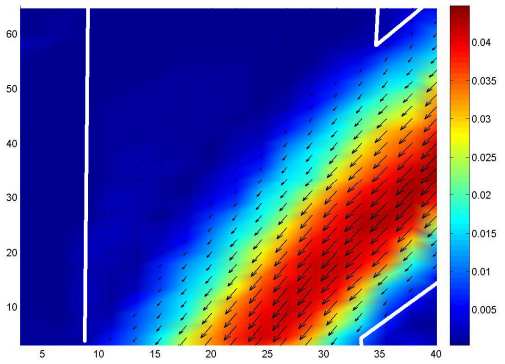


Obr.6.1.6-Re=250,poměr 0,77

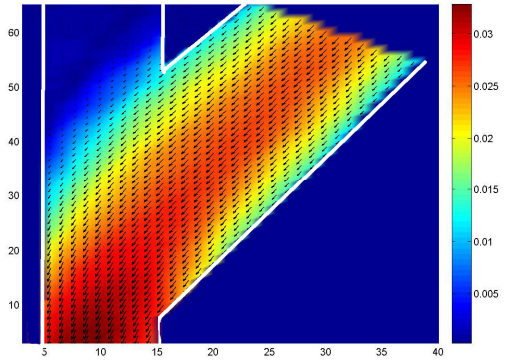
6.2 Rychlostní pole:



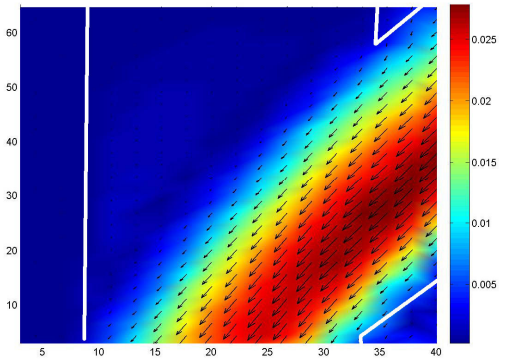
Obr.6.2.1-Re=1000,poměr 1,25



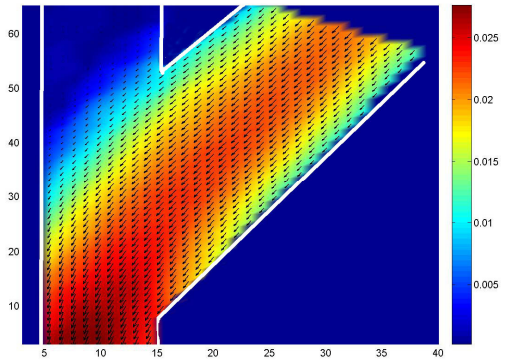
Obr.6.2.2-Re=1000,poměr 0,77



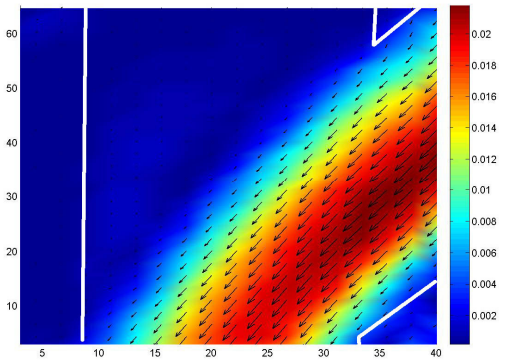
Obr.6.2.3-Re=500,poměr 1,25



Obr.6.2.4-Re=500,poměr 0,77

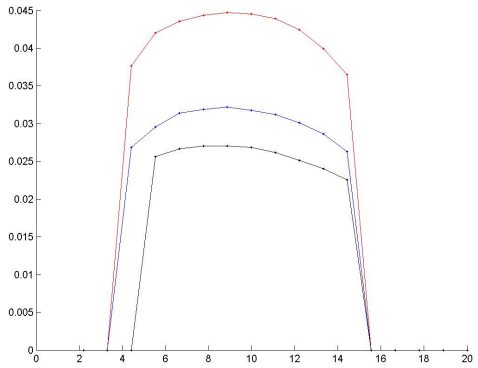


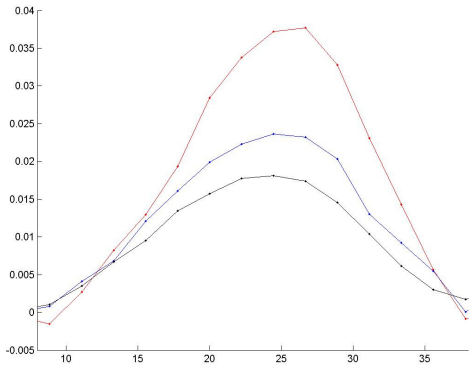
Obr.6.2.5-Re=250,poměr 1,25



Obr.6.2.6-Re=250,poměr 0,77

6.3 Střední rychlostní profil

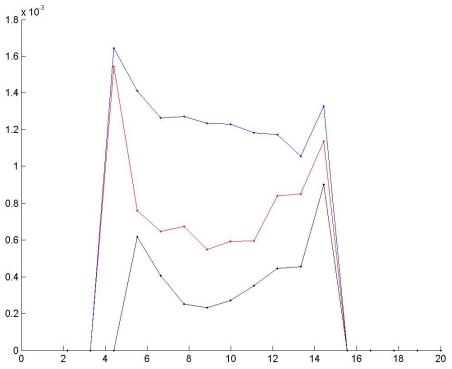


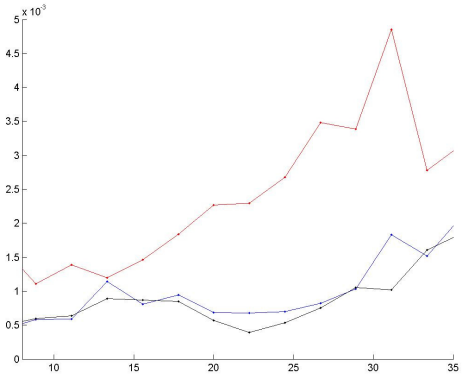


Obr.6.3.1-Rychlostní profil, poměr 1,25

Obr.6.3.2-Rychlostní profil, poměr 0,77

6.4 Standardní deviační odchylka

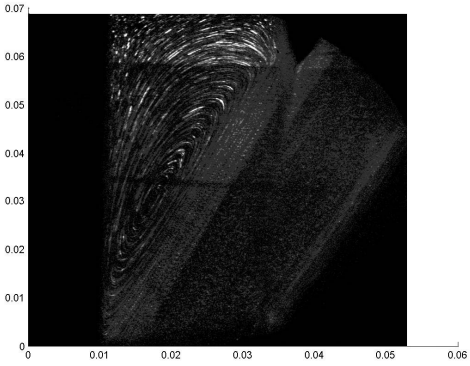


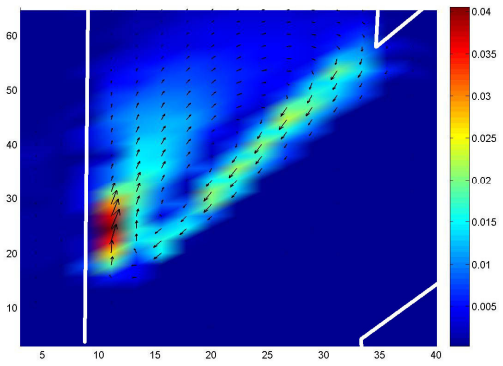


Obr.6.4.1-St. dev. odchylka, poměr 1,25

Obr.6.4.2-St. dev. odchylka, poměr 0,77

6.5 Detail víru v uzavřené části cílové tepny





Obr.6.5.1-Vír, vizualizace , poměr 0,77

Obr.6.5.2-Vír, rychlosti, poměr 0,77

7 Zhodnocení

7.1 Zhodnocení vizualizace

Z provedených vizualizací je patrné, že při poměru průměrů 1,25 se tvoří menší vír v uzavřené části cílové tepny. Je také možné zjistit, že změna Re má jen nepatrný vliv na to, jak tento vír zasahuje do oblasti proudění z cévní náhrady. Oproti tomu u poměru 0,77 je vír v uzavřené části cílové tepny v poměru k šířce rozsáhlý a také dochází k výrazným změnám zásahu do proudění se změnou Re.

7.2 Zhodnocení rychlostních polí

Na rychlostní polích lze vysledovat, že u poměru průměrů 1,25 je rychlost proudění v oblasti náhrady výrazně nižší než v oblasti cílové tepny. Při tomto poměrů průměrů je také vyšší rychlost soustředěna do středu náhrady a směrem ke stěně se tato rychlost snižuje, oproti tomu v cílové tepně je v celém jejím průměru vysoká rychlost proudění a v místě za spojením nabývá svého maxima. U poměru průměrů 0,77 je výrazně souvislejší rychlostí pole než u poměru 1,25. S vstupem do cílové tepny jen nepatrně klesá rychlost ve středu proudění a u stěn se rychlost téměř nemění.

7.3 Zhodnocení středních rychlostních profilů

Jednotlivé střední rychlostní profily dokreslují situaci popsanou v bodě 7.2. U poměru průměrů 1,25 dochází v místě za připojením bypassu již u stěny k rychlému, až skokovému, nárůstu střední rychlostí, kdežto u poměru průměrů dochází k tomuto nárůstu pozvolna s nejvyšší hodnotou v středu profilu.

8 Použitá literatura

1) P. Worth Longest, Clement Kleinstreuer - Particle-hemodynamics modeling of the distal end-to-side femoral bypass: effects of graft caliber and graft-end cut, Medical Engineering & Physics 25, New York 2003

9 Obsah

1 Úvod 1
2 Materiály a postupy 1
2.1 Modelové situace 1
2.2 Model cévní anastomózy 1
2.3 Volba *Re* pro měření 2
2.4 Výpočet rychlostí pro měření 3
2.5 Materiál modelu 3
3 Experimentální trať 3
4 Způsob měření a zaznamenání 5
4.1 Metoda PIV 5
4.2 Další zpracování 5
5 Parametry vyhodnocení 5
6 Výsledky zpracování naměřených hodnot 6
6.1 Vizualizace: 6
6.2 Rychlostní pole: 7
6.3 Střední rychlostní profil 8
6.4 Standardní deviační odchylka 8
6.5 Detail víru v uzavřené části cílové tepny 8
7 Zhodnocení 9
7.1 Zhodnocení vizualizace 9
7.2 Zhodnocení rychlostních polí 9
7.3 Zhodnocení středních rychlostních profilů 9
8 Použitá literatura 9
9 Obsah 10

[1] P. Worth Longest, Clement Kleinstreuer - Particle-hemodynamics modeling of the distal end-to-side femoral bypass: effects of graft caliber and graft-end cut, Medical Engineering & Physics 25 (2003) 843–858 2003 New York