

# **Vliv úhlu distální anastomózy femoropoplitálního bypassu na proudové charakteristiky v napojení**

Manoch Lukáš

## ***Abstrakt:***

*Práce je zaměřena na stanovení vlivu úhlu napojení distální anastomózy femoropoplitálního bypassu na rychlostní pole a velikost smykového napětí v místě napojení pomocí numerické metody. Jsou uvažovány dva úhly napojení, 45° a 60°. Dané proudění je laminární, nestacionární s generovaným rychlostním profilem.*

## ***Klíčová slova:***

*Femoropoplitální bypass, distální anastomóza, numerická simulace, rychlostní profil, smykové napětí na stěně (Wall Shear Stress).*

## 1. Úvod

Cílem této práce je vyhodnotit vliv úhlu napojení na tvar a velikost rychlostního profilu a smykového napětí na stěně (WSS) v místě napojení femoropoplitálního bypassu jako možný důvod ke vzniku hyperplazie ve špičce, patě a na dně anastomózy.

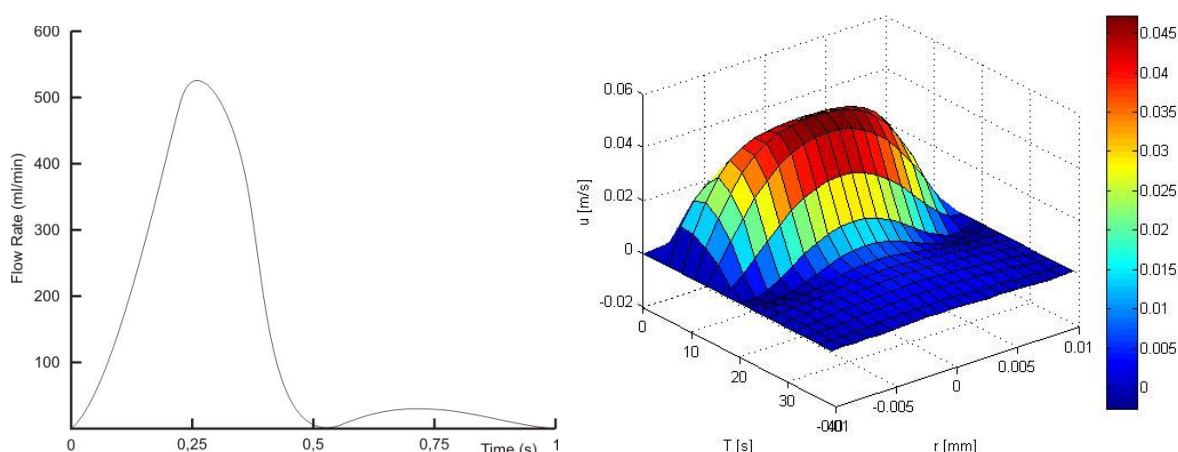
## 2. Fyzikální model

V této kapitole je popis fyzikálního modelu modelovaného případu.

### 2.1 Závislost průtoku na čase

Na vstupu je pro všechny modely předpokládána stejná závislost průtoku na čase. Je modelován případ, kdy tekutina přitéká cévní náhradou a odtéká pouze distální částí cílové tepny. Závislost průtoku na čase je popsána Fourierovou řadou

$$Q_{DA}(t) = \sum_0^8 a_n \cos(\omega t) + \sum_0^8 b_n \sin(\omega t) \quad (1)$$



Obrázek 1: Závislost průtoku na čase, která byla zvolena jako vstupní podmínka pro simulování v distální anastomóze femoropoplitálního bypassu v této práci. Převzato z [Longest et al., 2005]

## 3. Geometrie

Pro daný případ je použito modelů s absolutně pevnou stěnou o dvou různých úhlech napojení. Jedná se o 45° a 60°. Celá geometrie je pojata jako osově symetrický model, kdy rovina symetrie je situována ve směru kolmém k rovině napojení.

Za účelem vyhodnocení pouze vlivu úhlu napojení jsou použity geometrie s kruhovým průřezem o stejném průměru

$$D_1 = D_2 = 20 \text{ mm} \quad (2)$$

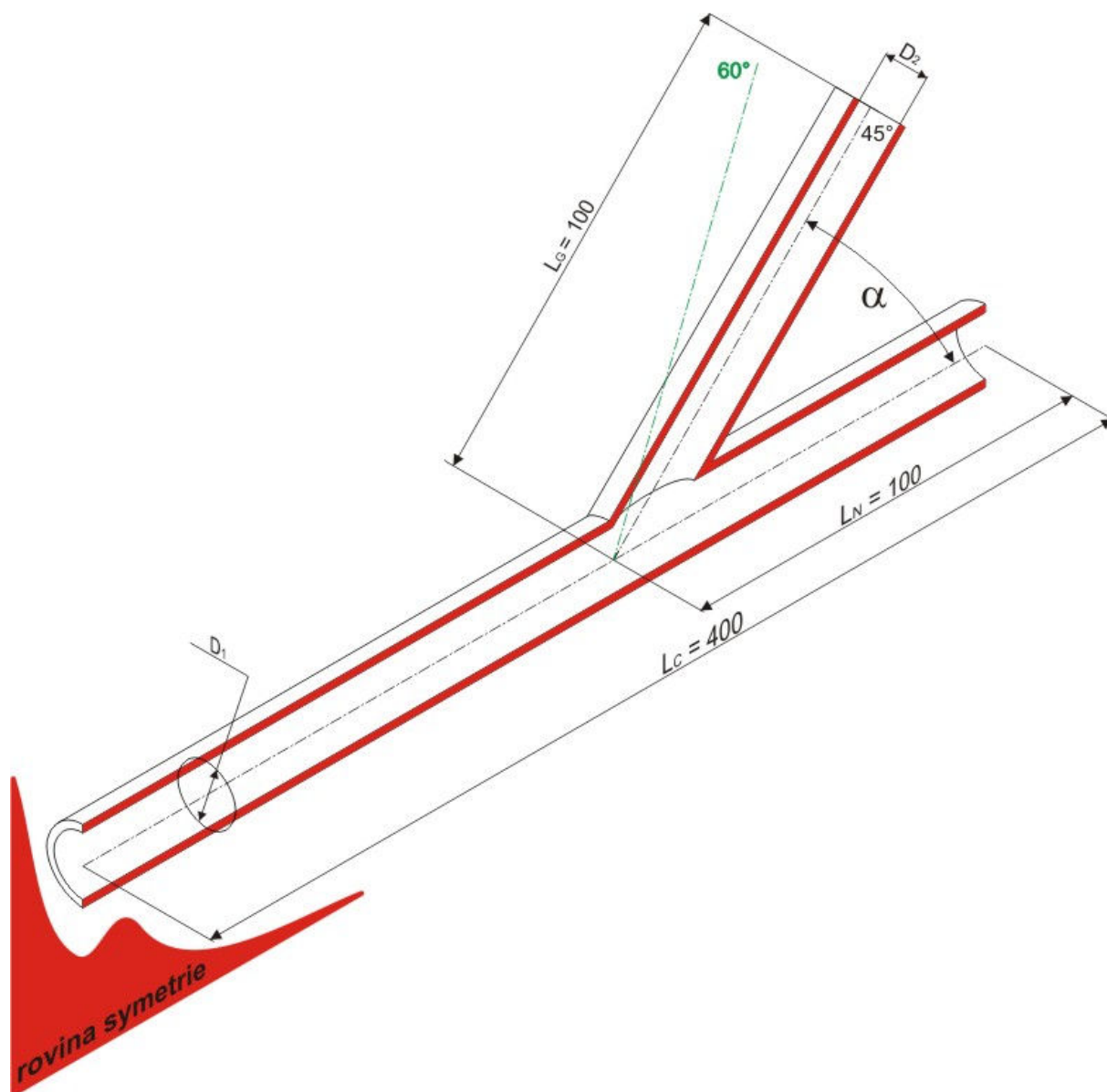
bez dalších geometrických prvků mající vliv na proudové charakteristiky v místě napojení.

Celková délka geometrie  $L_C$  je 400mm, kdy místo napojení  $L_N$  je umístěno 100mm od zadní, uzavřené části bypassu. Délka geometrie napojení  $L_G$  je 100mm.

Celá geometrie je vytvořena jako 3-D CAD model v programu Solid Edge V20 s použitím ploch a dále vyexportována jako parasolid entita, která je načtena do preprocesoru Gambit v2.4.

V preprocesoru je vytvořena síť, která má v celém objemu elementy Tet/Hybrid, typu TGrid s dělením 1 (geometrie o délce 400mm bude rozdělena na 400 částí). Na vstupu je vytvořena podmínka `velocity_inlet` (rychlost na vstupu) a na výstupu podmínka `pressure_outlet` (tlak na

výstupu). Pro rovinu symetrie je zvolena podmínka symmetry. Na zbývající části geometrie je aplikována podmínka wall (stěna). Jako kontinuum je zvolen typ fluid. Takto připravená geometrie je vyexportována do souboru \*.msh pro následný import do procesoru Fluent v6.3.



Obrázek 2: Popis a rozměry použité geometrie.

#### 4. Numerické řešení

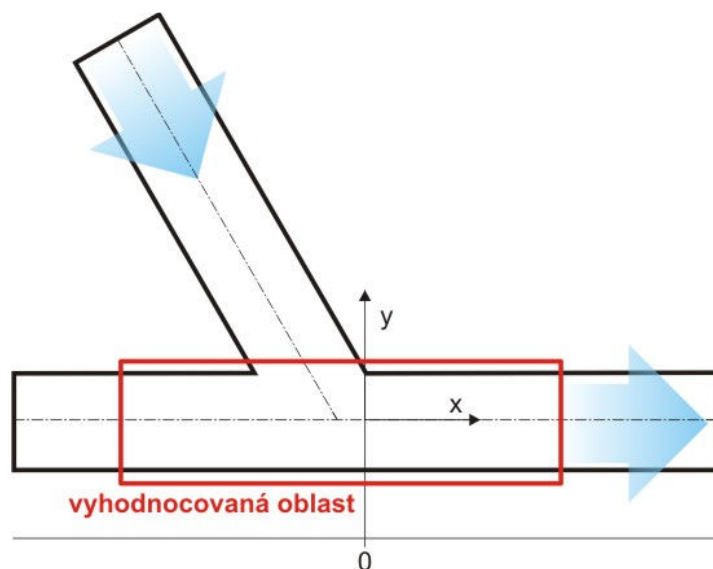
Pro numerické řešení je zvolen procesor Fluent v6.3. Po naimportování geometrie a sítě, je celá síť převedena na síť typu Polyhedra. Jako tekutina pro výpočet je zvolena H<sub>2</sub>O s hustotou  $\rho = 998,2 \text{ kg/m}^3$ . Výstup z celého modelu je volen jako výstup do atmosféry o tlaku 101325Pa. Na vstup je zaveden generovaný rychlostní profil viz. obr. XX. Řešič je nastaven jako nestacionární a laminární. Inicializace celého modelu je provedena dle vstupní rychlosti. Celý časový průběh pro dané  $\omega = 0,1616 \text{ rad/s}$  je roven

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 38,8811 \text{ [s]} \quad (3)$$

a je rozdělen na 3600 částí, kdy je uložen každý stý krok výpočtu, ze kterého jsou exportována data pro další zpracování.

## 5. Vyhodnocení

Pro konečné vyhodnocení vypočtených dat jsou vyexportovány velikosti rychlostí v rovině symetrie pro všechny tři složky směru. Dále pak velikosti smykového napětí na stěně anastomózy, také pro všechny tři složky směru. Vyhodnocení je provedeno v programu Matlab R14 SP3. Při vyhodnocování je celý model oříznut pouze na geometrii anastomózy. Oblast vyhodnocení se pohybuje v rozmezí od  $-3 \cdot D$  do  $3 \cdot D$  v ose x, která má kladný směr ve směru toku a kde  $D = 0,02$  mm. Dále pak od  $-0,01$  mm do  $0,01$  mm v ose y, která má kladný směr definovaný v pomyslném směru proti směru toku. Nulová hodnota je stanovena v ose anastomózy viz. obr.3.



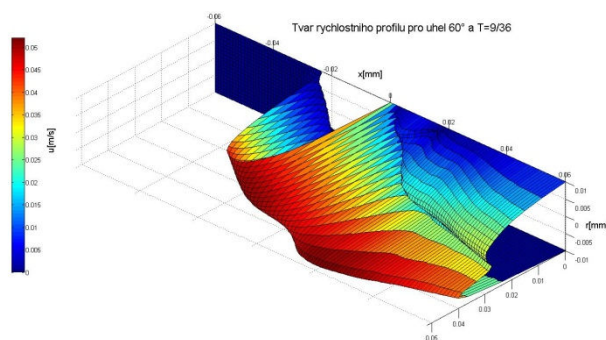
Obrázek 3: Souřadný systém a vyhodnocovaná oblast.

## 6. Výsledky

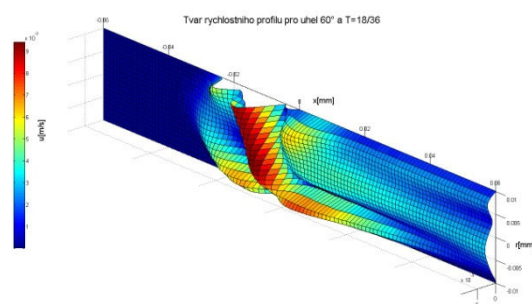
### 6.1 Rychlostní profily

Ve čtyřech různých periodách (9/36T, 18/36T, 27/36T, 36/36T)

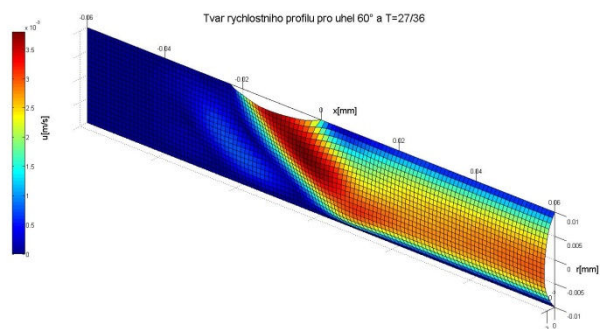
Pro úhel  $60^\circ$



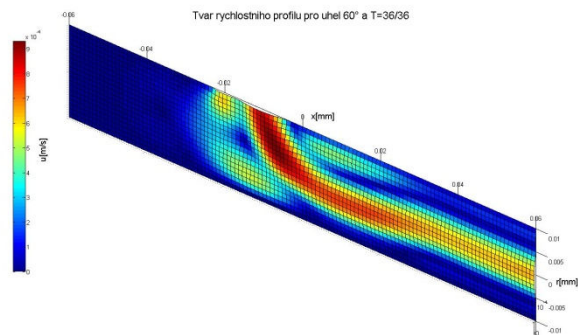
Obrázek 4: Úhel  $60^\circ$ , Perioda 9/36T



Obrázek 5: Úhel  $60^\circ$ , Perioda 18/36T

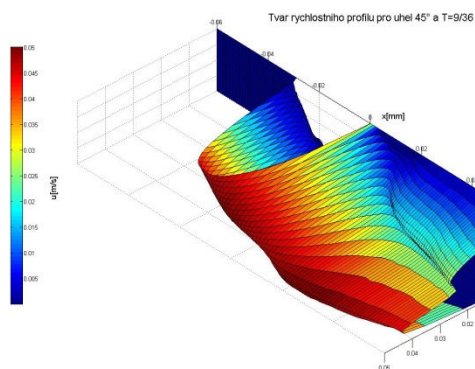


Obrázek 6: Úhel 60°, Perioda 27/36T

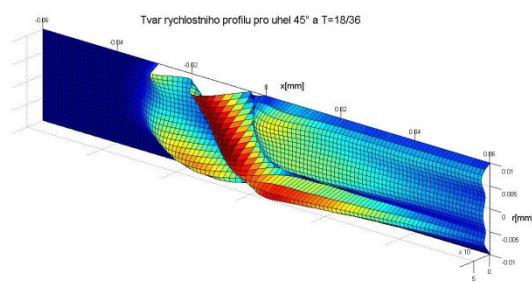


Obrázek 7: Úhel 60°, Perioda 36/36T

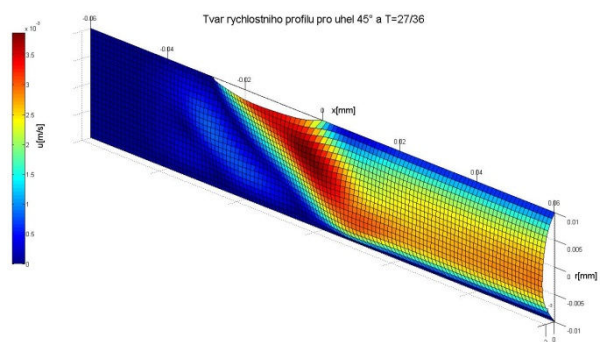
Pro úhel 45°



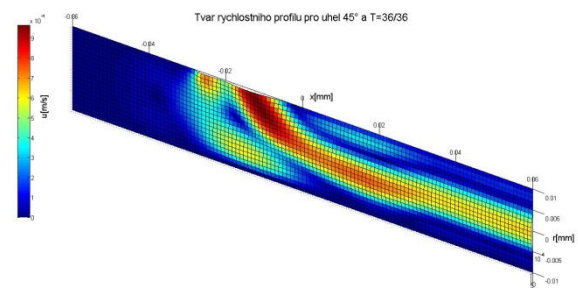
Obrázek 8: Úhel 45°, Perioda 9/36T



Obrázek 9: Úhel 45°, Perioda 18/36T



Obrázek 10: Úhel 45°, Perioda 27/36T



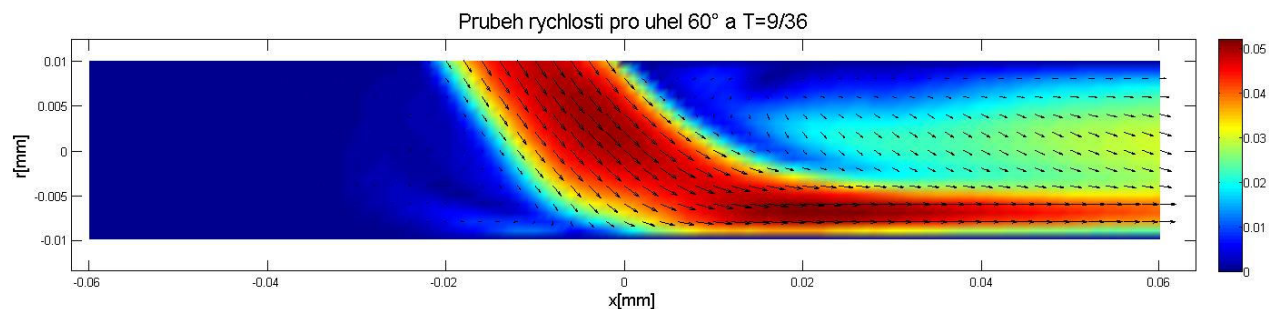
Obrázek 11: Úhel 45°, Perioda 36/36T



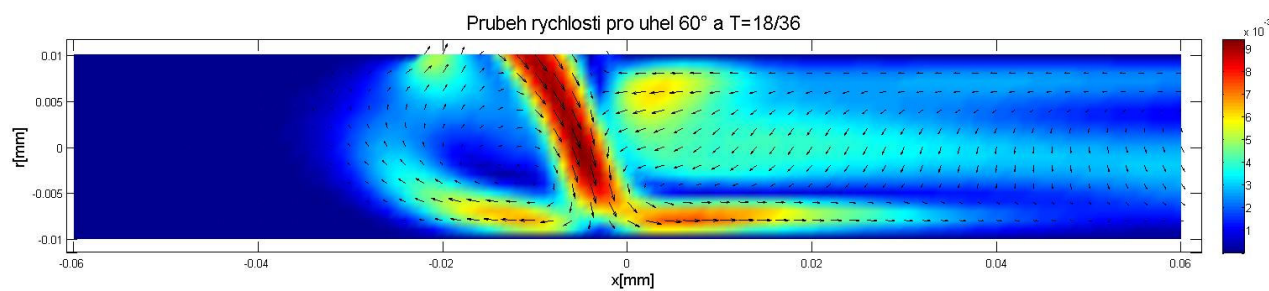
## 6.2 Tvary rychlostních polí

V totožných periodách jako 6.1

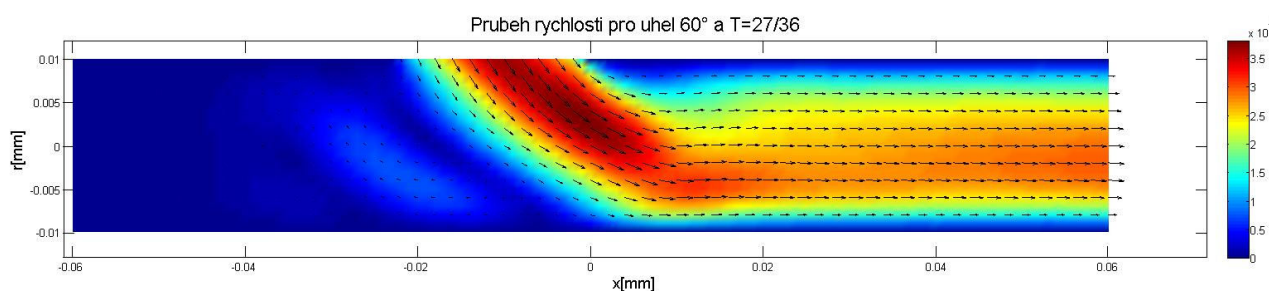
Pro úhel  $60^\circ$



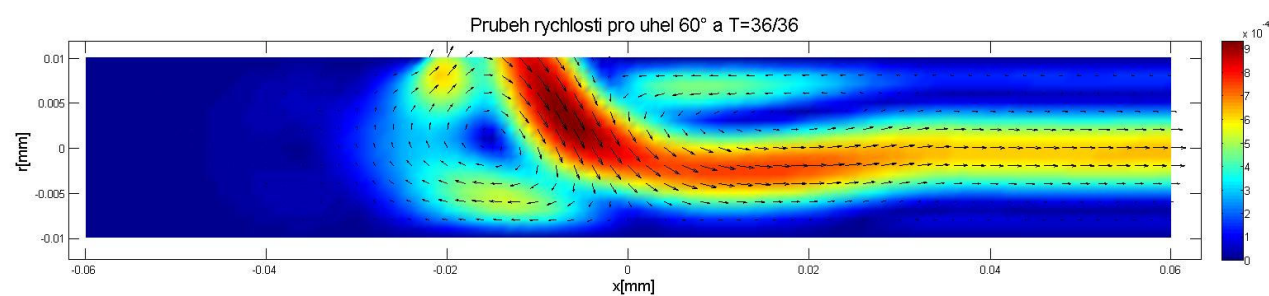
Obrázek 12: Úhel  $60^\circ$ , Perioda  $9/36T$



Obrázek 13: Úhel  $60^\circ$ , Perioda  $18/36T$

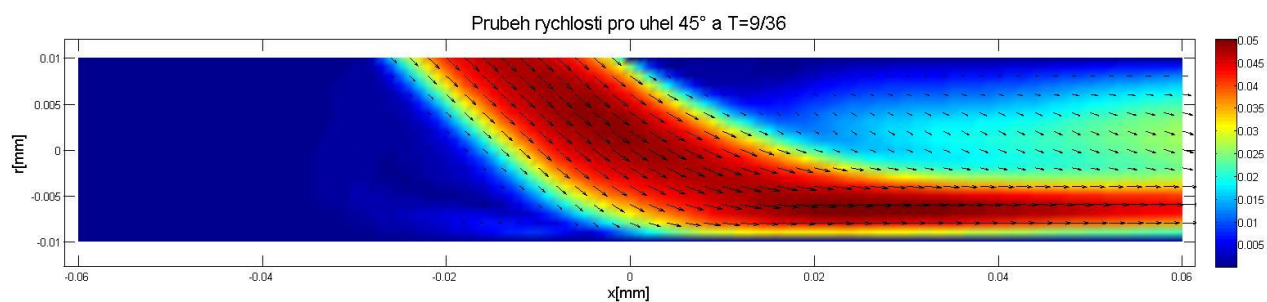


Obrázek 14: Úhel  $60^\circ$ , Perioda  $27/36T$

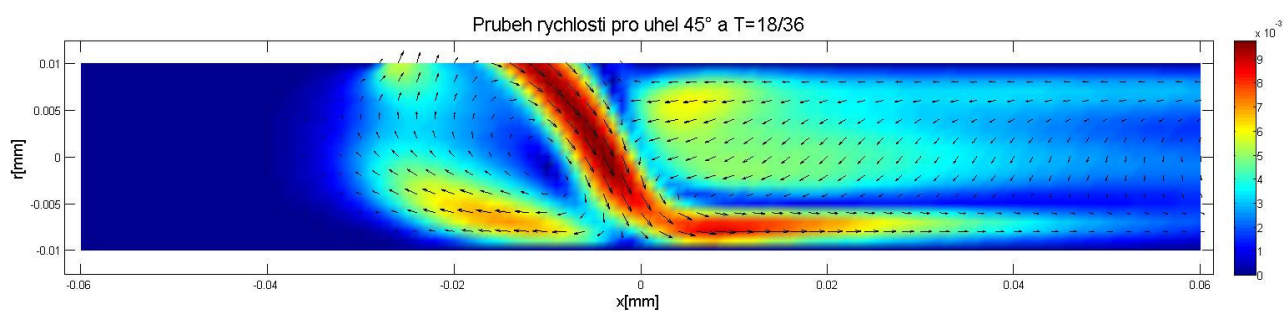


Obrázek 15: Úhel  $60^\circ$ , Perioda  $36/36T$

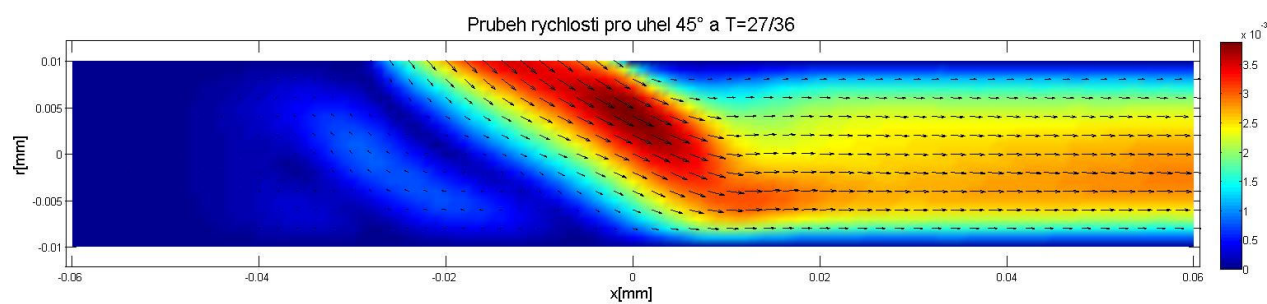
Pro úhel  $45^\circ$



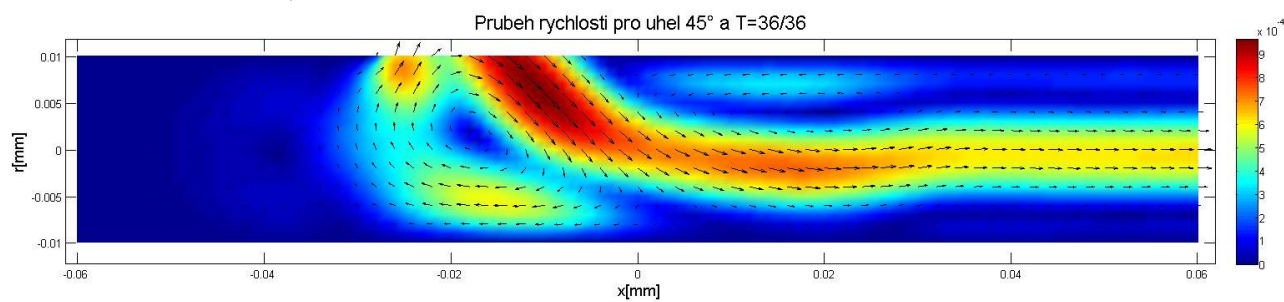
Obrázek 16: Úhel  $45^\circ$ , Perioda  $9/36T$



Obrázek 17: Úhel  $45^\circ$ , Perioda  $18/36T$



Obrázek 18: Úhel  $45^\circ$ , Perioda  $27/36T$

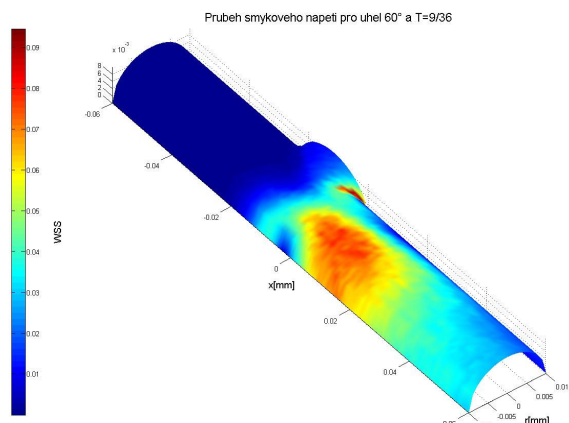


Obrázek 19: Úhel  $45^\circ$ , Perioda  $36/36T$

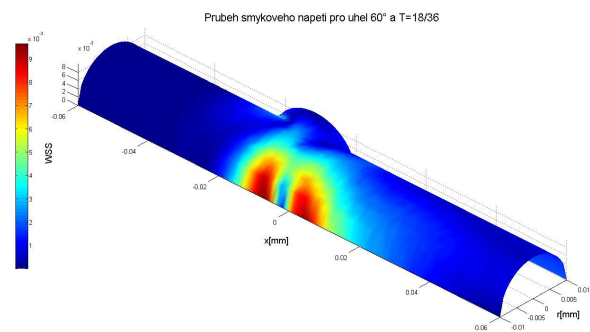
## 6.4 Průběh smykového napětí (WSS) na stěně

V totožných periodách jako 6.1.

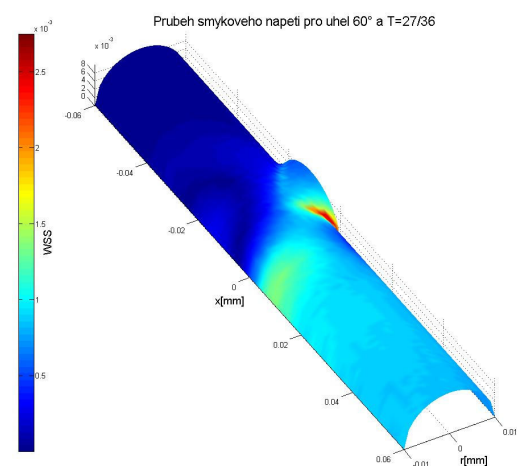
Pro úhel  $60^\circ$



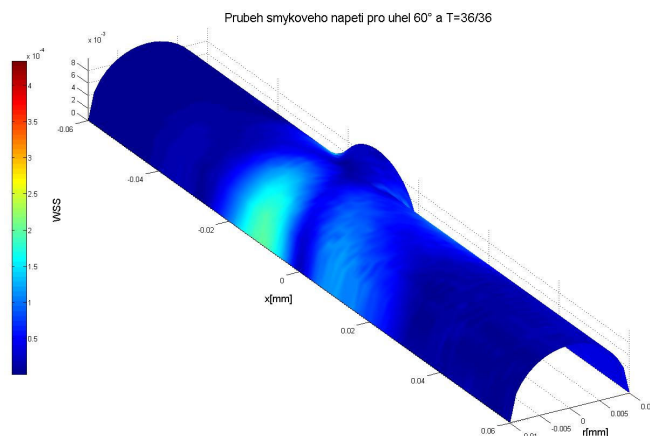
Obrázek 20: Úhel  $60^\circ$ , Perioda 9/36T



Obrázek 21: Úhel  $60^\circ$ , Perioda 18/36T

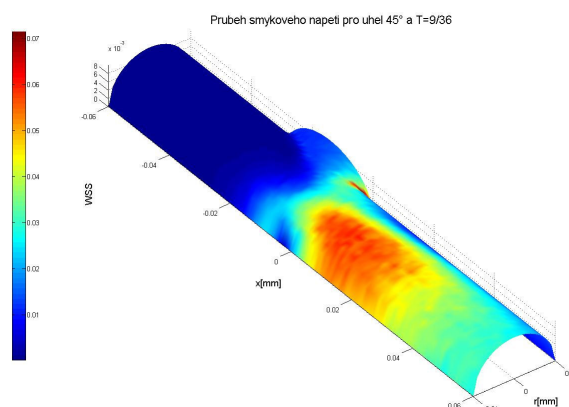


Obrázek 22: Úhel  $60^\circ$ , Perioda 27/36T

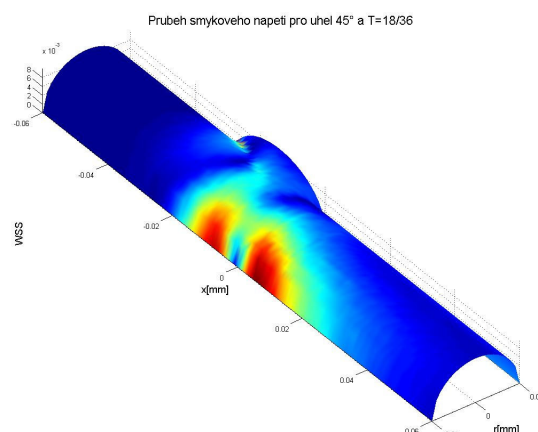


Obrázek 23: Úhel  $60^\circ$ , Perioda 36/36T

Pro úhel  $45^\circ$

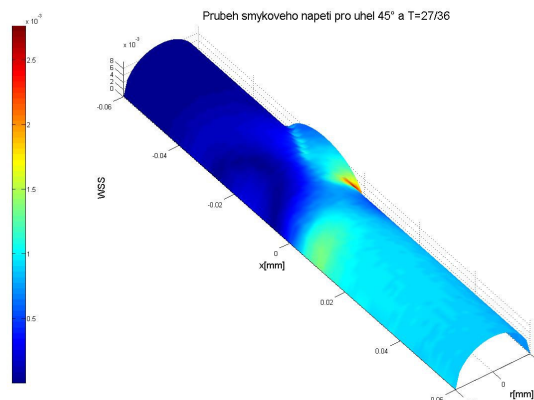


Obrázek 24: Úhel  $45^\circ$ , Perioda 9/36T

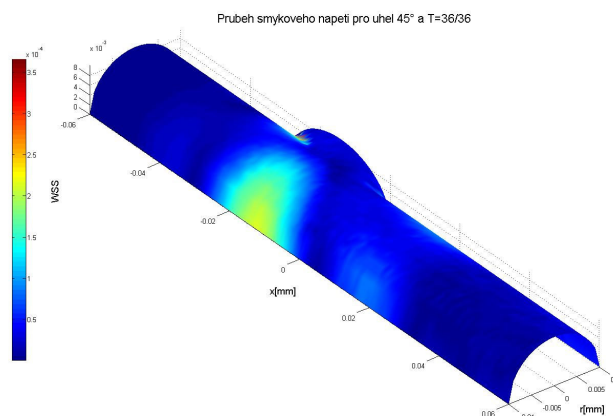


Obrázek 25: Úhel  $45^\circ$ , Perioda 18/36T





Obrázek 26: Úhel 45°, Perioda 27/36T



Obrázek 27: Úhel 45°, Perioda 36/36T

## 7. Závěr

Ze získaných dat můžeme předpovědět, že úhel 45° bude mít menší negativní dopad na proud v napojení. Proud se v napojení přirozeněji ohýbá a hodnoty smykového napětí jsou menší, ale nejedná se o markantní rozdíl. Z toho pohledu se naskytá myšlenka pro další zmenšení úhlu napojení a to na 30° a dále pak 25°. Tyto dva úhly budou porovnány v dalším výpočtu. Dále musíme zahrnout do výsledků podíl chyby, která vzniká na ostrých hranách napojení a zvyšuje hodnotu maximálního smykového napětí, následně pak i vliv hrubosti sítě, která má na přesnost výpočtu velký vliv.

### Použité symboly

|          |                             |      |
|----------|-----------------------------|------|
| $D_1$    | průměr cévní náhrady        | [mm] |
| $D_2$    | průměr cílové tepny         | [mm] |
| $L_C$    | celková délka cílové tepny  | [mm] |
| $L_G$    | délka cévní náhrady         | [mm] |
| $L_N$    | vzdálenost průřezu napojení | [mm] |
| $\alpha$ | úhel anastomózy             | [1°] |

### Literatura

- [Longest et al., 2005] Longest, P., Kleinstreuer, C., and Deanda, A. (2005). Numerical simulation of wall shear stress and particle-based hemodynamic parameters in pre-curved and streamlined end-to-side anastomoses. *Annals of Biomedical Engineering*, 33:17521766.
- [Matěcha et al., 2009a] Matěcha, J. Lokální hemodynamika end-to-side distální anastomózy femoropopliteálního bypassu