

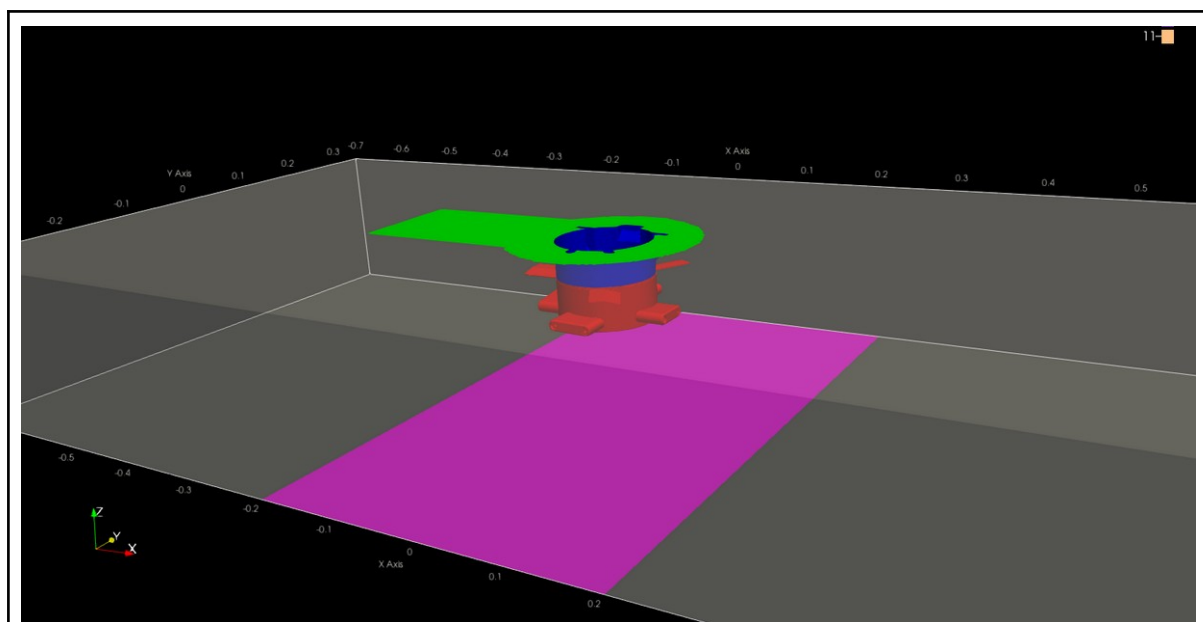
Zadání

- Realizovat 3D simulaci proudění vzduchu v odsávané tlakové komoře s předepsanou úhlovou rychlostí rotující zvlákňovací hlavy
- Porovnat proudění pro tři různé geometrie zvlákňovací hlavy

Úvod

Zvlákňovací komora (Obr. 1), ve které je umístěno zvlákňovací zařízení, byla rozdělena na pevné stěny s nulovým vektorem rychlosti na povrchu (šedá), poté na vtokovou oblast (zelená), výtokovou oblast (fialová), rotující zvlákňovací hlavu (červená) a nehybnou upínací hlavu (modrá). Rychlost otáčení zvlákňovací hlavy je předepsána na 785.39 rad/s, tj. 7500 RPM. Směr otáčení hlavy je po směru hodinových ručiček.

Směr proudění je následující: ze vtokové oblasti, která je zčásti zastavěna statickým upínacím zařízením, proudí vzduch kolem rotujících zahnutých lopatek a rotujících kazet a konečně výtokovou oblastí odchází ven z komory. Průtok vzduchu byl nastaven na základě odhadu z měření na 110 L/s.



Obr. 1: Znáznornění výpočetní oblasti

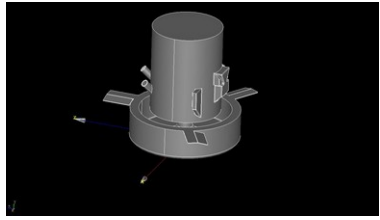
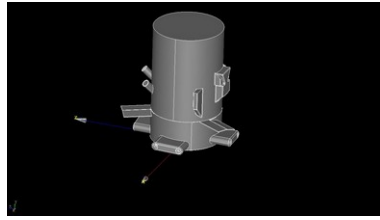
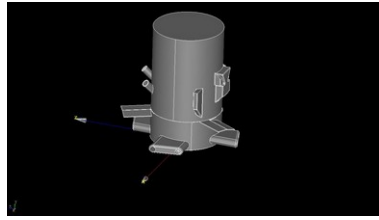
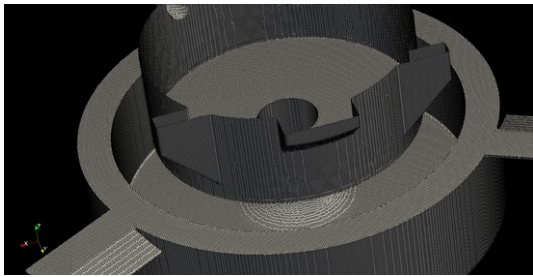
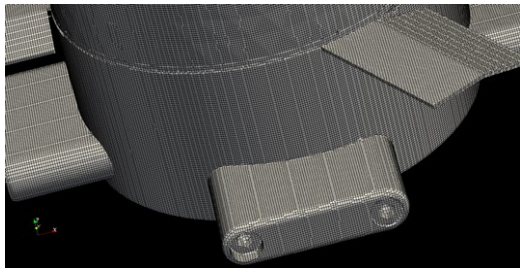
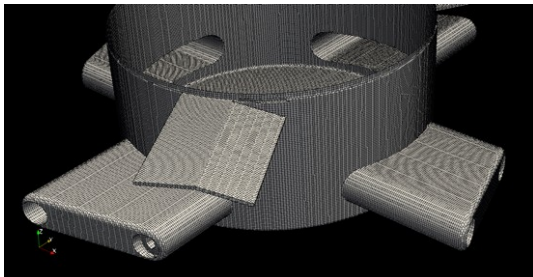
Geometrie a síť

Pro komparativní studii byly vybrány tři geometrie (viz Tab.1). SPIN-B má oproti SPIN-C více vysunuté lopatky a spodek zvlákňovací hlavy má zcela jiný tvar (větší průměr, neobsahuje kazety na upínání trysek a proud vzduchu zatéká dovnitř do zvlákňovací hlavy). Lopatky jsou

zahnuté o 17.5°. Kazety jsou mírně natočeny o 3.5°. SPIN-D má oproti SPIN-C delší náběžnou hranu kazet o 10.382 mm.

Základní element výpočetní sítě je šestistěn.

Tab. 1. Uvažované geometrie zvlákňovací hlavy a výpočetní sítě

 <p>SPIN-B ("spinereta hladká")</p>	 <p>SPIN-C ("standardni spinereta")</p>	 <p>SPIN-D ("standardni spinereta - trysky 2x")</p>
 <p>SPIN-B (2.395.981 hex)</p>	 <p>SPIN-C (1.762.065 hex)</p>	
 <p>SPIN-D (1.549.425 hex)</p>		

Nastavení výpočtu

Proudění ve zvlákňovací komoře bylo simulováno ve 3D výpočetní oblasti jako stacionární simulace nestlačitelného vazkého turbulentního proudění metodou frozen-rotor. V tomto přístupu je rotor zafixován v pevné poloze, ale na jeho povrchu jsou předepsány rychlosti a v objemu přiléhajícím k rotoru objemové odstředivé a Coriolisovy síly odpovídající otáčkám spinerety.

Byly realizovány i transienční 3D simulace se skutečným pohybem rotoru, ty jsou ovšem extrémně výpočetně náročné. Při simulacích na výpočetním clusteru v tomto případě trvá simulace jedné otáčky rotoru téměř 10 dní výpočetního času (cca 4000 jádrohodin). Výsledky transienčních simulací přitom pro účely optimalizace tvaru spinerety neposkytují žádný další podstatný přínos a v této zprávě nejsou uvedeny.

Výsledky

Proudová pole byla vyhodnocena v následujících veličinách:

1) Rovinná rychlost - veličina vhodná pro porovnání s výsledky měření metodou PIV, která není citlivá na složku vektoru rychlosti kolmou k laserové rovině

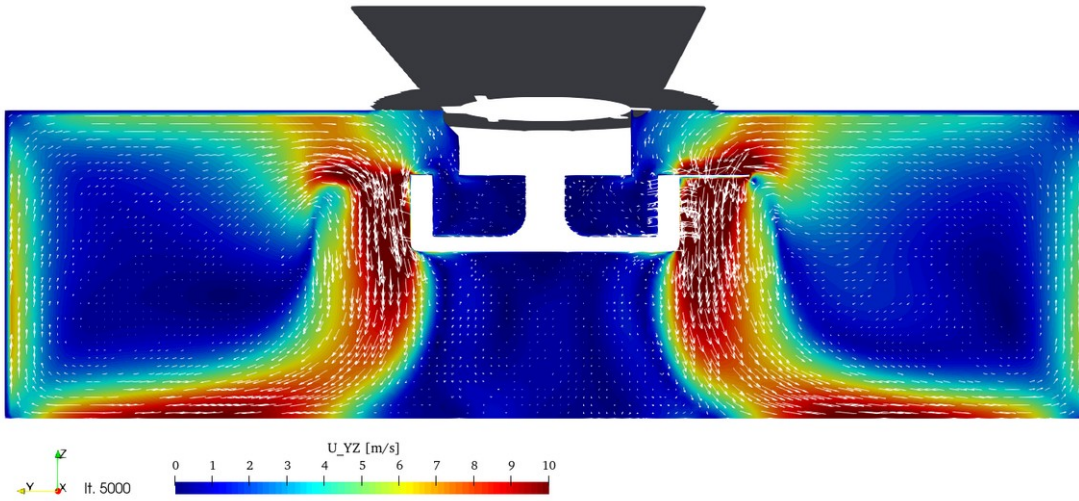
$$U_{YZ} = \sqrt{U_Y^2 + U_Z^2}$$

$$U_{XZ} = \sqrt{U_X^2 + U_Z^2}$$

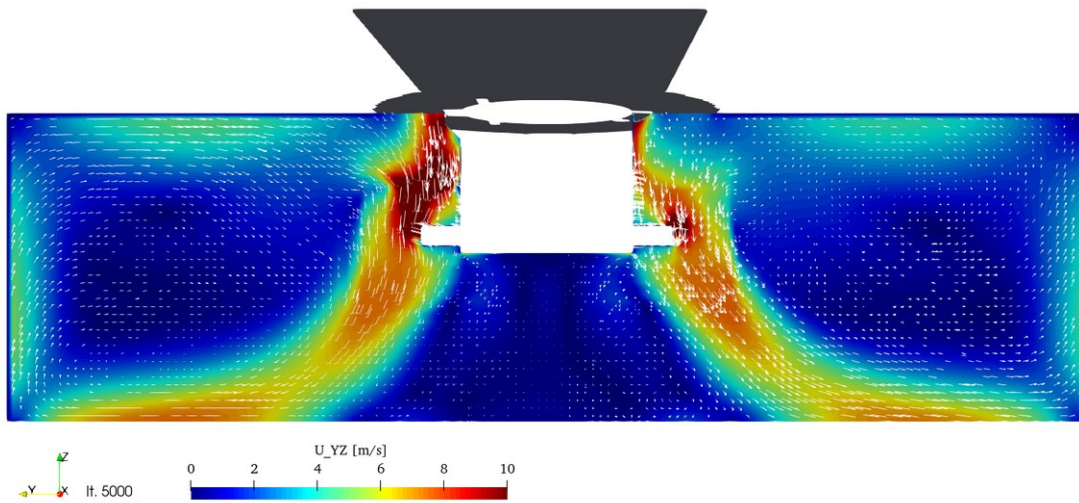
2) Celková rychlost - skutečná velikost 3D vektoru rychlosti proudění

$$U = \sqrt{U_x^2 + U_y^2 + U_z^2}$$

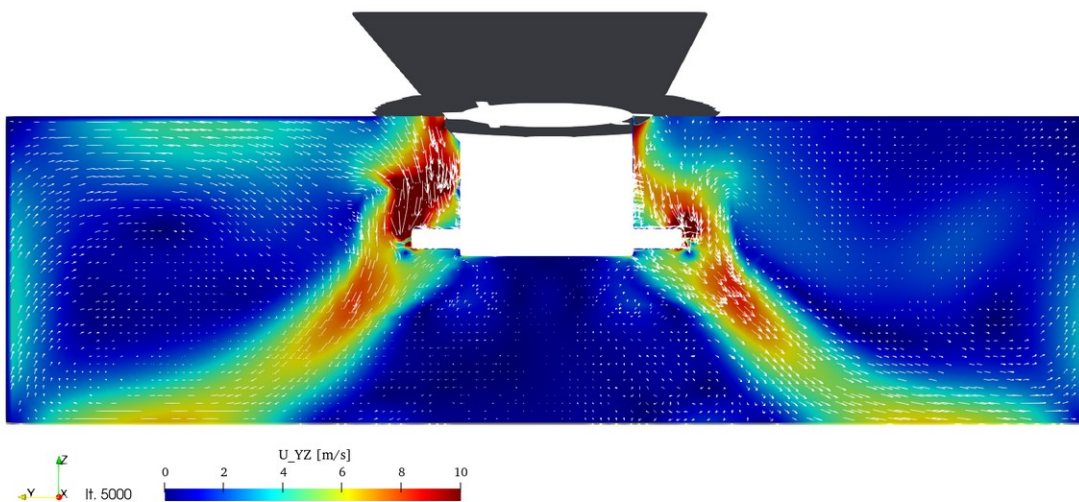
Na Obr. 2-4 jsou zobrazeny rovinné rychlosti pro geometrie SPIN-B až SPIN-D. Barevná škála je oříznuta od 0 do 10 m/s, kvůli vysokému rozsahu rychlostí mezi rotující hlavou spinnerety a zbytkem komory. V příloze lze rovněž najít vizualizace proudového pole s celou škálou. První rozdíl mezi SPIN-B a SPIN-C, respektive SPIN-D je vidět hned u vtokové oblasti, kde i při stejné geometrii upínací hlavy se rychlost u stěny výrazně změní z 1-3 m/s na 8-10 m/s. Dutina ve SPIN-B má zřejmě tendenci si vzduch nepřisávat, ale míchat vzduch tangenciálně a vytvořit tak blok proti rychlé výměně vzduchu, což vede k hlavnímu rozdílu mezi proudovými poli SPIN-B a SPIN-C (SPIN-D). V případě SPIN-B je tendence hlavního proudu vzduchu se více přitlačit ke středu osy rotace oproti SPIN-C, u které je "kužel" více rozevřený. SPIN-D otevírá kužel o 1.3 cm oproti SPIN-C.



Obr. 2: Rovinná rychlost pro případ SPIN-B.

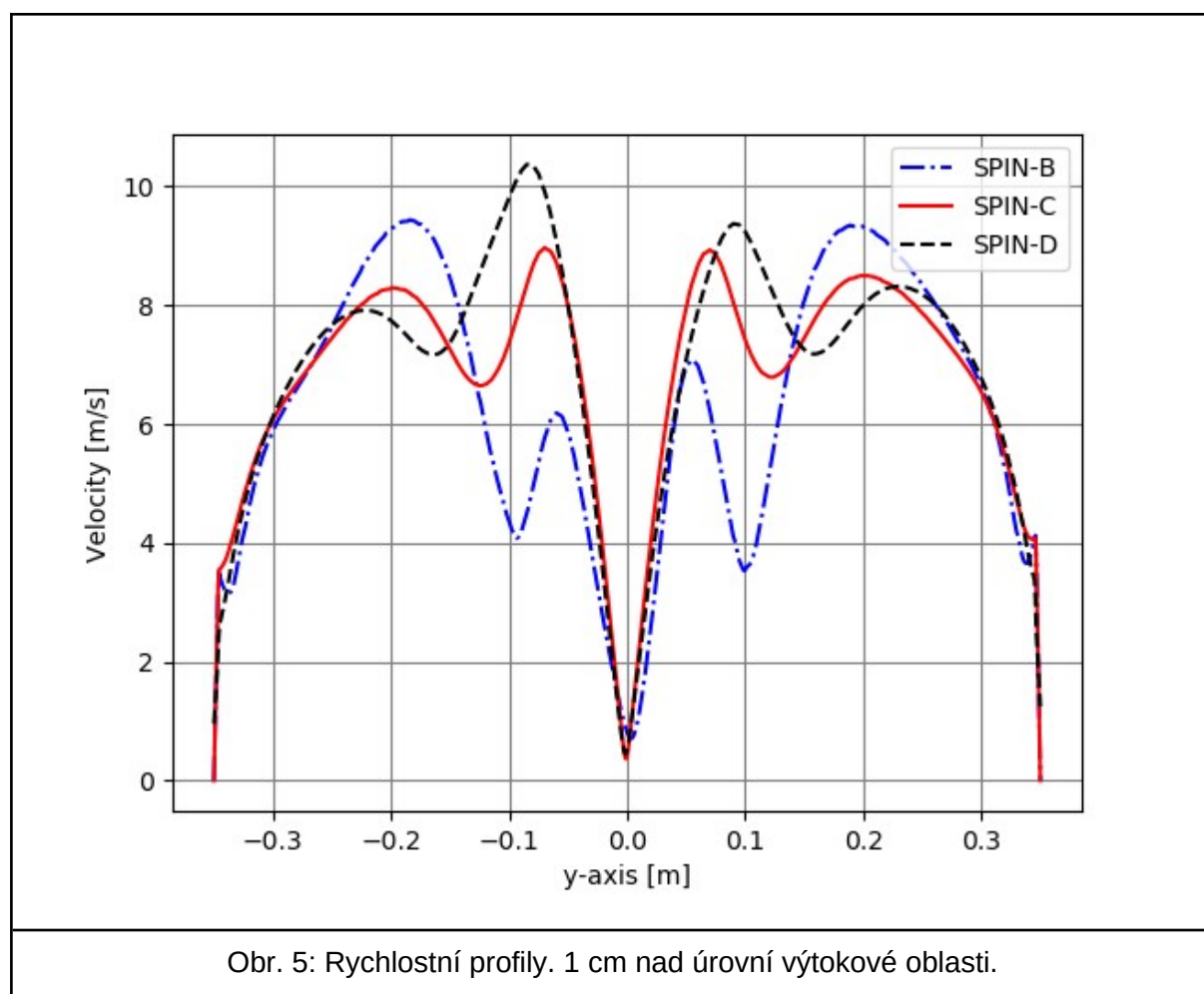


Obr. 3: Rovinná rychlost pro případ SPIN-C.

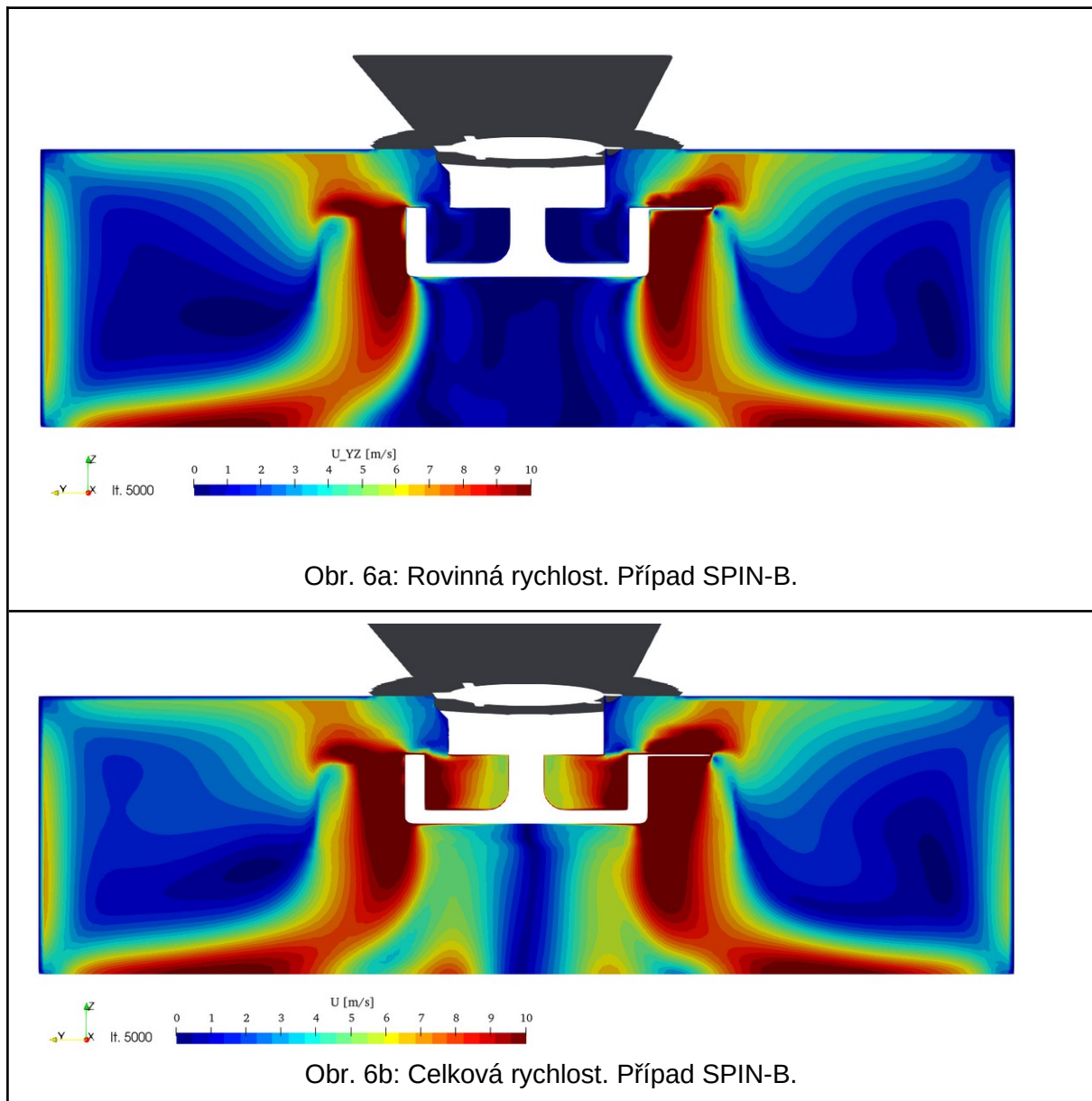


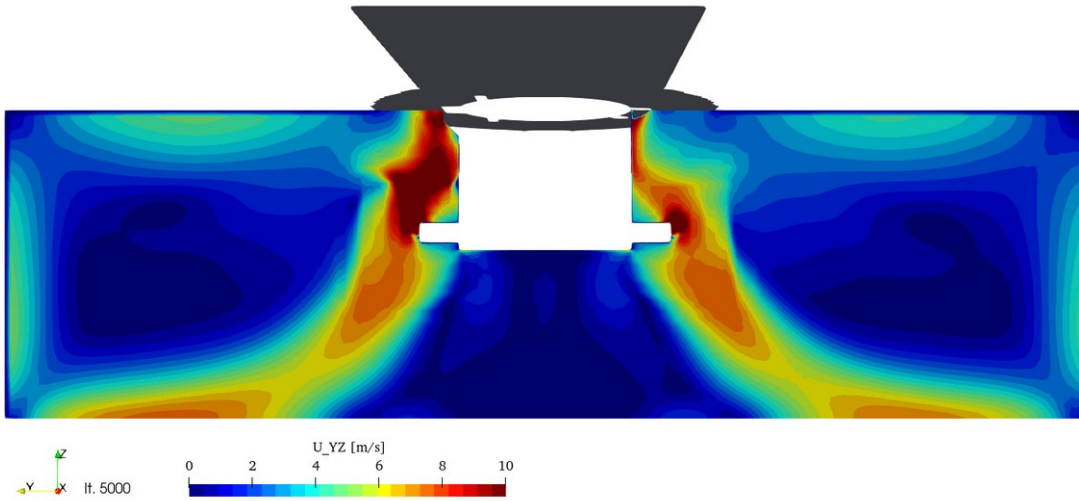
Obr. 4: Rovinná rychlost pro případ SPIN-D.

Na Obr. 5 je srovnání rychlostních profilů vyhodnocených 1 cm nade dnem komory (vyhodnoceno z řezů zobrazených na Obr. 2-4). V pozici $y=0$, tj. v ose rotace, se potvrdila nejnižší rychlost. V tomto místě je rychlost proudění 0.3 m/s a 0.45 m/s pro SPIN-B a SPIN-C, zatímco pro hladkou spinneretu SPIN-B je to až 0.7 m/s. Samotná SPIN-B, která má podstatně odlišný tvar geometrie zvlákňovací hlavy, pak v tomto grafu má překvapivě podobný průběh rychlostního profilu jako SPIN-C a SPIN-D. Prvního maxima (odečítáno zleva doprava) dosáhne SPIN-B v místě -0.18 m, kde má o 13 % vyšší rychlost než SPIN-C a o 19 % vyšší rychlosti oproti SPIN-D. První maximum SPIN-D je vzdálenější o 4 cm od osy rotace oproti hladké spinneretě SPIN-B. Druhé maximum dosáhne SPIN-B v místě -0.06 m, které je stejně jako v prvním maximumu lehce posunutě směrem ke středu osy rotace (cca 1-2 cm). Ve druhém maximumu má naopak případ se SPIN-B o 45 % nižší rychlost než v případě SPIN-C a o 51 % oproti více vysunutým kazetám v případě SPIN-D. Třetí maximum u SPIN-B v místě 0.055 m dosahuje rychlosti 7.1 m/s, tzn. o 16 % více oproti svému druhému maximumu. Tato asymetrie je pravděpodobně způsobena sekundárními víry z oblasti dutiny uvnitř zvlákňovací hlavy SPIN-B, neboť v případech SPIN-C tato odchylka není v grafu patrná. Naopak při srovnání SPIN-C a SPIN-D je situace opačná, druhé maximum je nižší a třetí maximum vyšší (rozdíl 13 %) a po protažení náběžné hrany kazet (černá čárkovaná) naopak vyšší druhé maximum a nižší třetí maximum (rozdíl 10 %). Povytažení náběžné hrany tedy způsobuje o 15 % vyšší rychlosti na levé straně (odečítáno z grafu na Obr. 5) a o 5 % vyšší rychlosti na straně pravé, oproti standardní spinneretě SPIN-C.

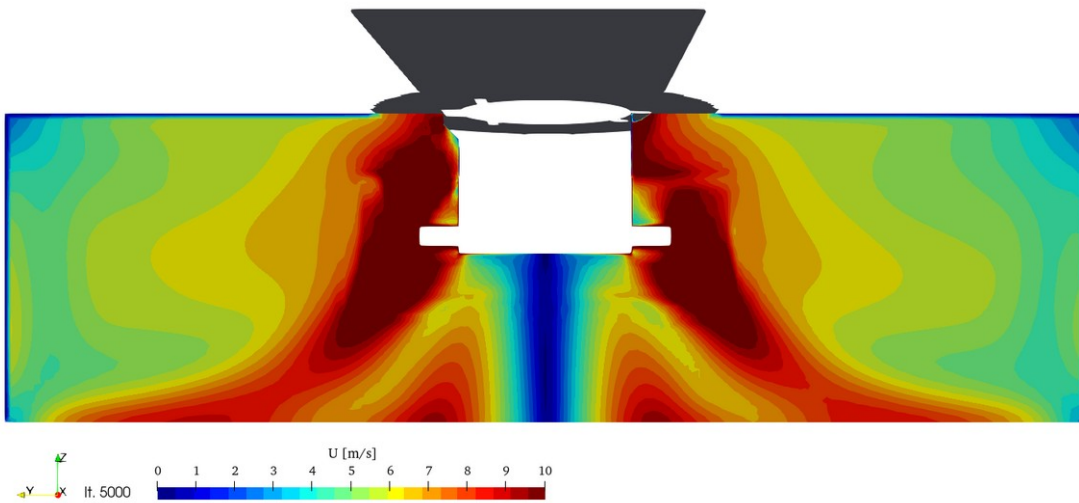


Z Obr. 6a sice není vidět, že by se uvnitř dutiny SPIN-B něco významného dělo, ale pokud je zobrazena celková rychlost, pak na Obr. 6b je jasně vidět, že u SPIN-B se v dutině vyskytují rychlosti srovnatelně velké jako v hlavním proudu.

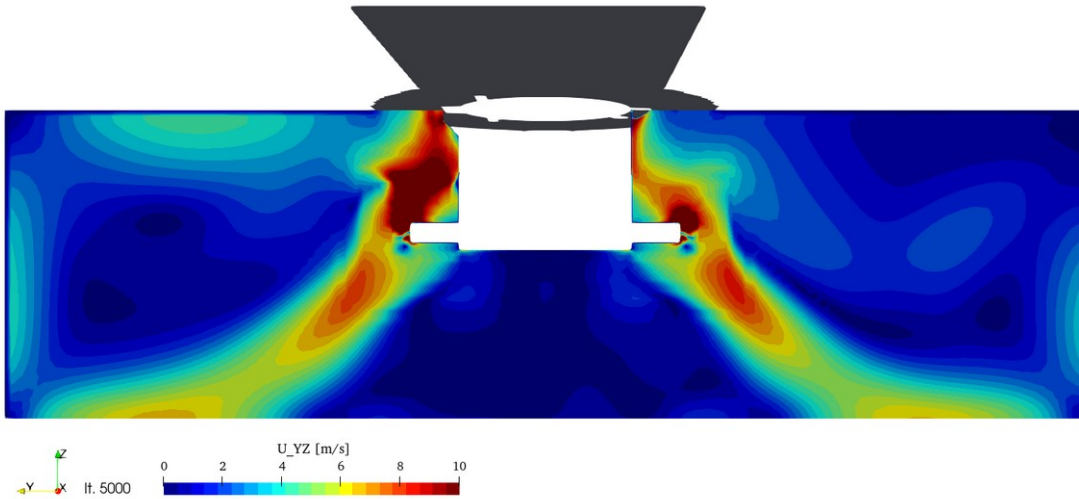




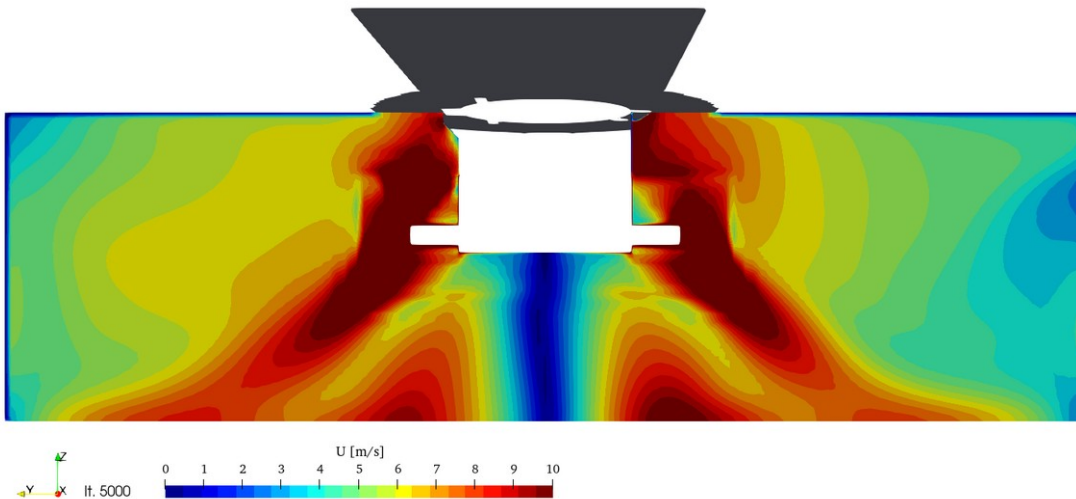
Obr. 7a: Rovinná rychlost. Příklad SPIN-C.



Obr. 7b: Celková rychlost. Příklad SPIN-C.

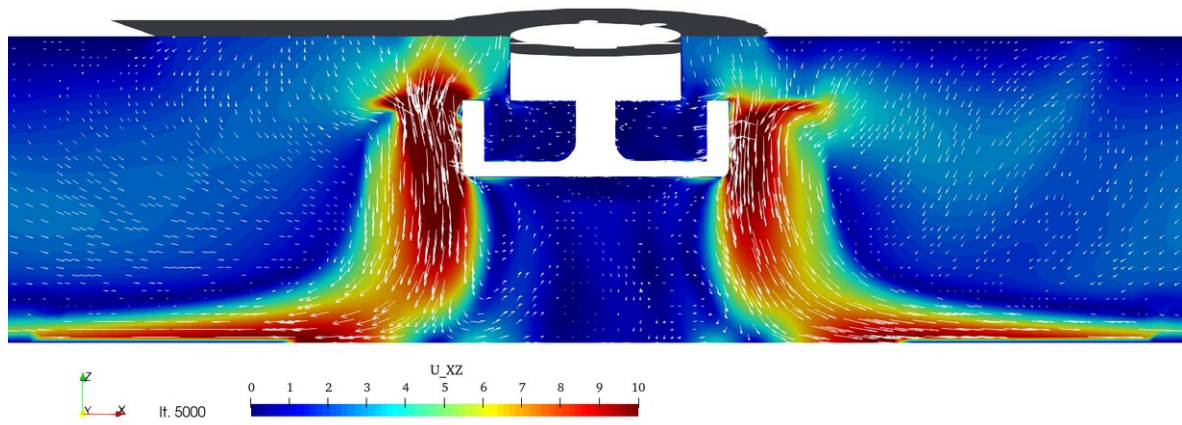


Obr. 8a: Celková rychlost. Příklad SPIN-D.

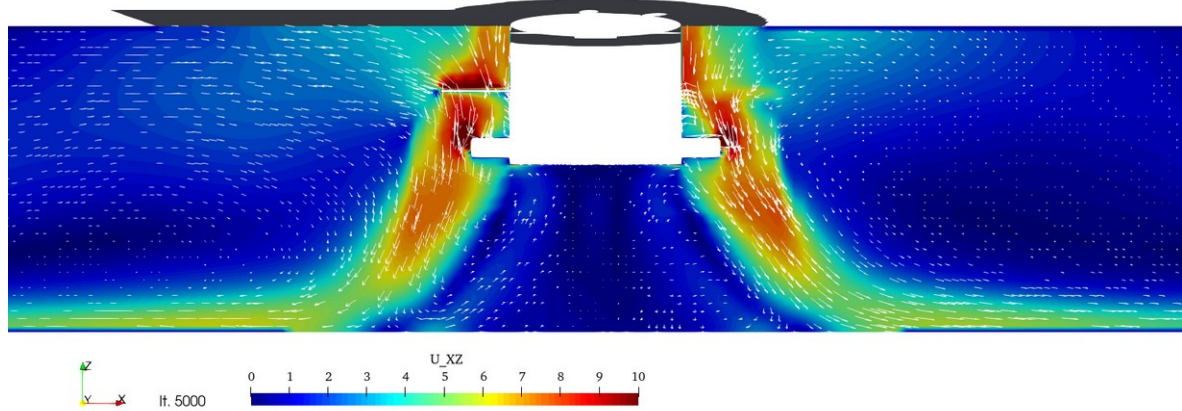


Obr. 8b: Celková rychlost. Příklad SPIN-D.

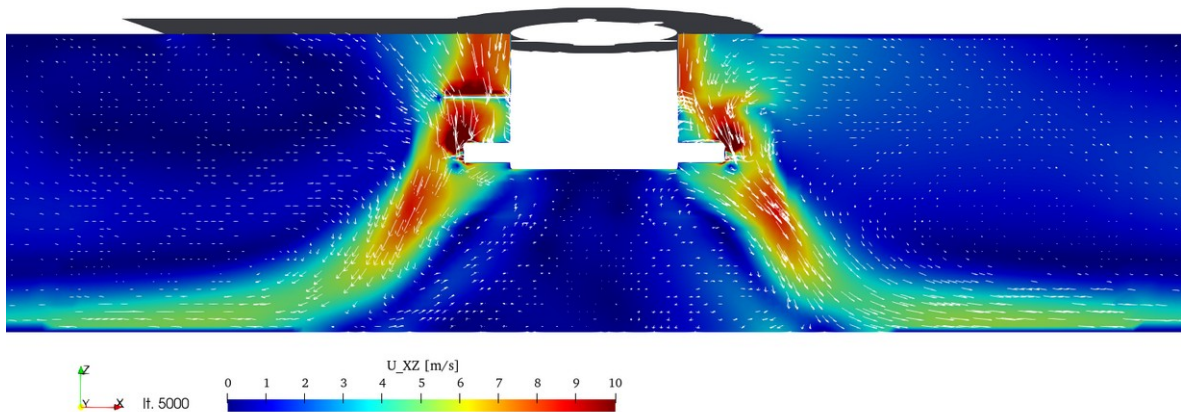
Zobrazení rovinné rychlosti v řezu x-z rovnoběžném s delší stranou komory je na Obr. 9-11. Lze pozorovat, jak se z vtokové oblasti přisává vzduch.



Obr. 9: Rovinná rychlost. Příklad SPIN-B.

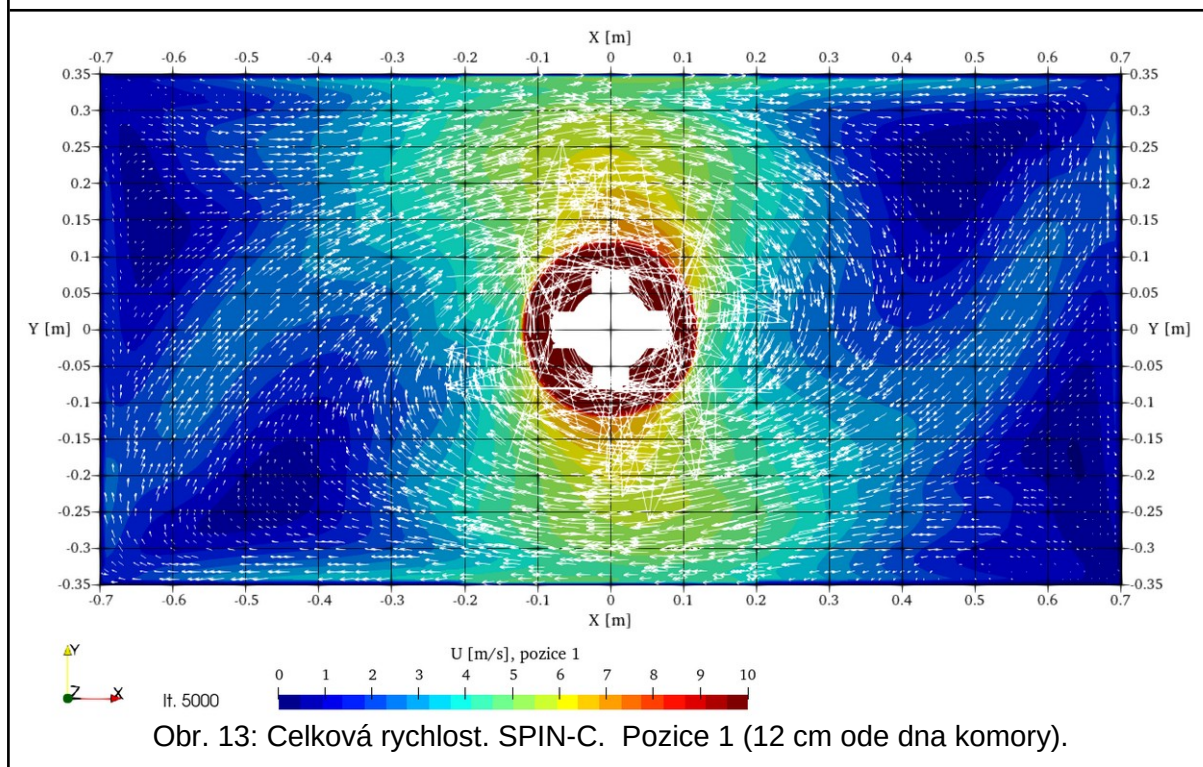
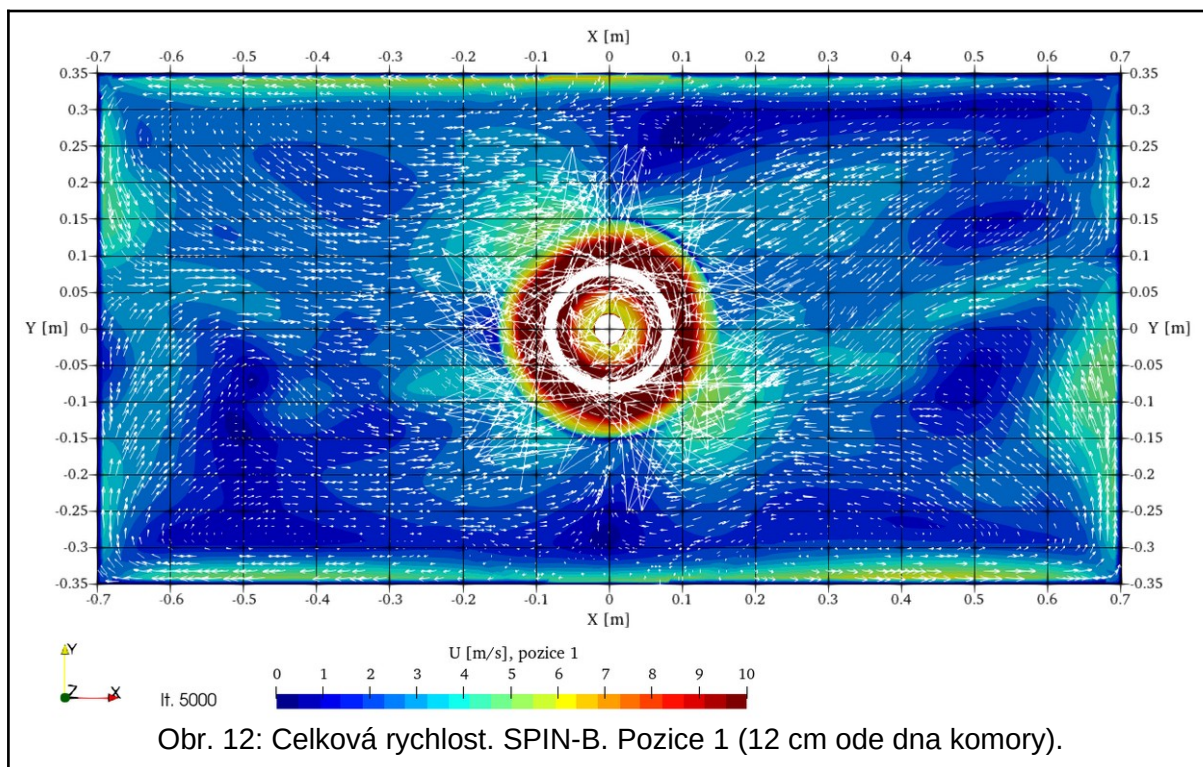


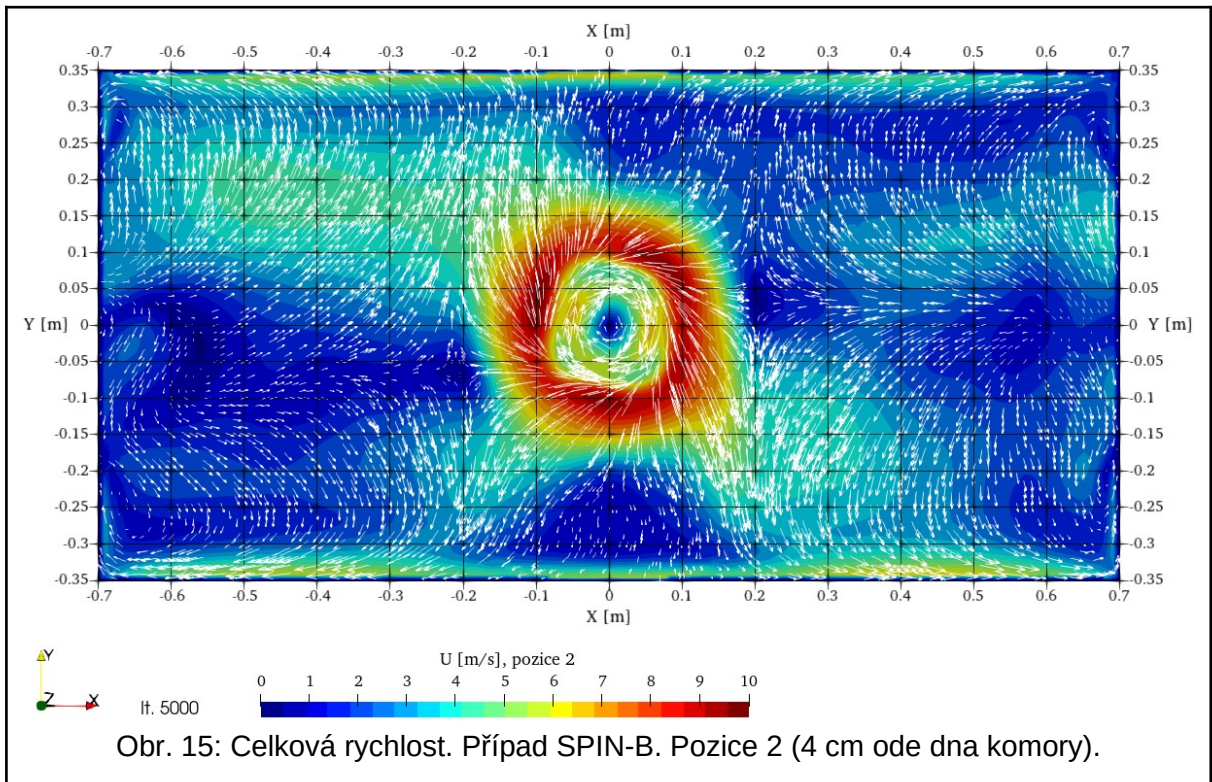
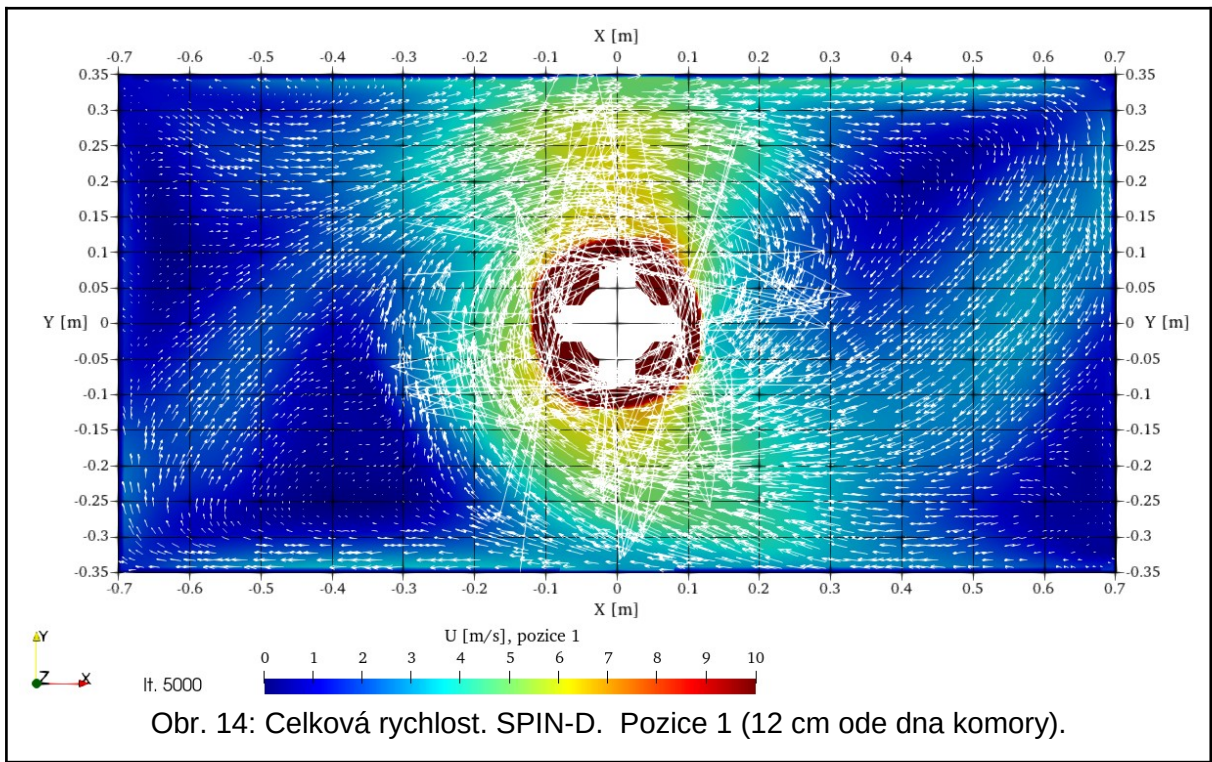
Obr. 10: Rovinná rychlost. Příklad SPIN-C.

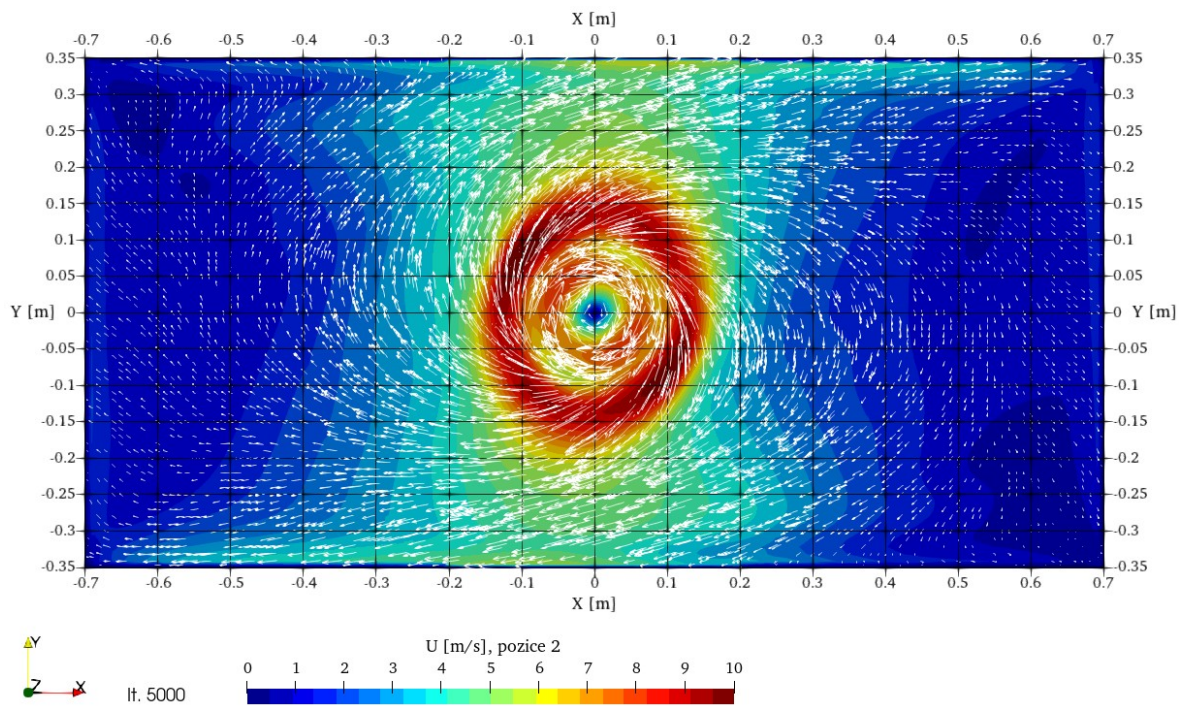


Obr. 11: Rovinná rychlost. Příklad SPIN-D.

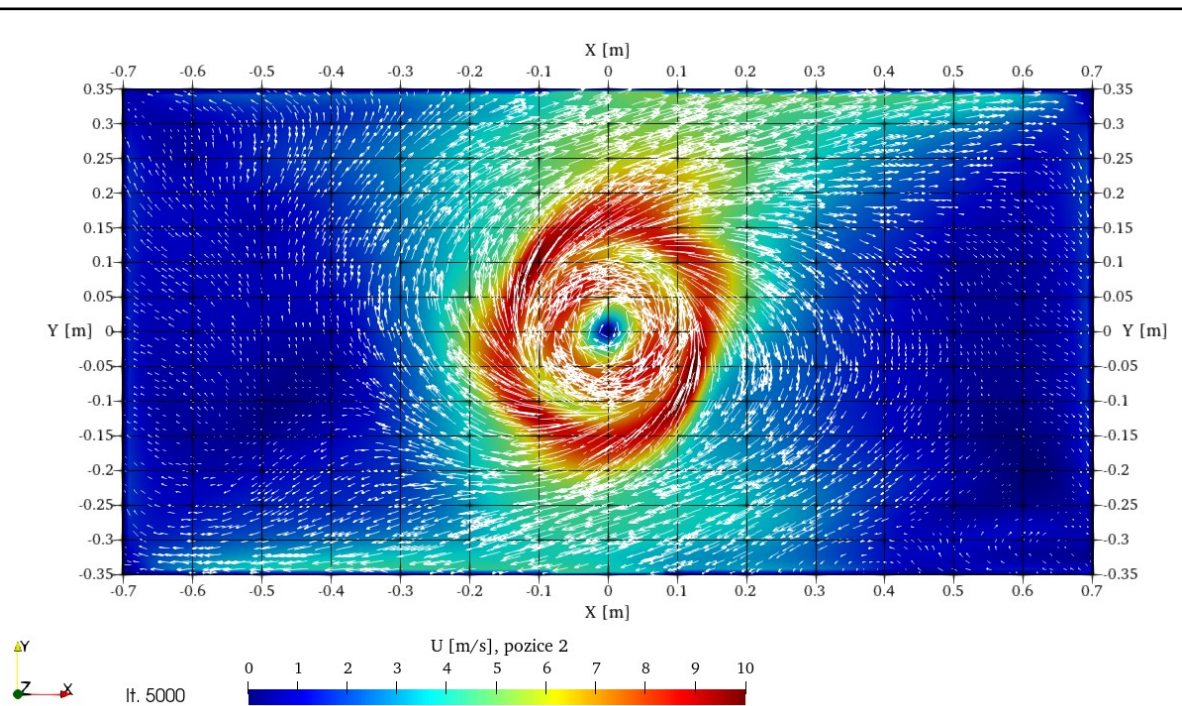
Na Obr. 12-17 lze pozorovat proudová pole celkové rychlosti v horizontálním řezu rovinou, která je v pozici 1 (12 cm ode dna komory) a pozici 2 (4 cm ode dna komory). Spinnerety SPIN-C a SPIN-D zajišťují svým tvarem silnější míchání v tangenciálním směru, než hladká spinnereta SPIN-B.





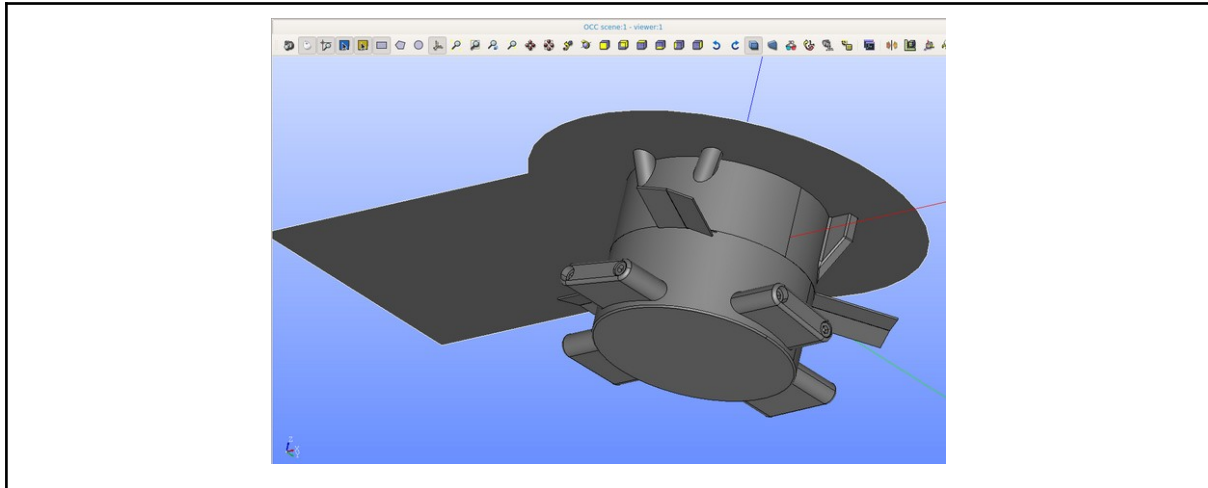


Obr. 16: Celková rychlost. Příklad SPIN-C. Pozice 2 (4 cm ode dna komory).

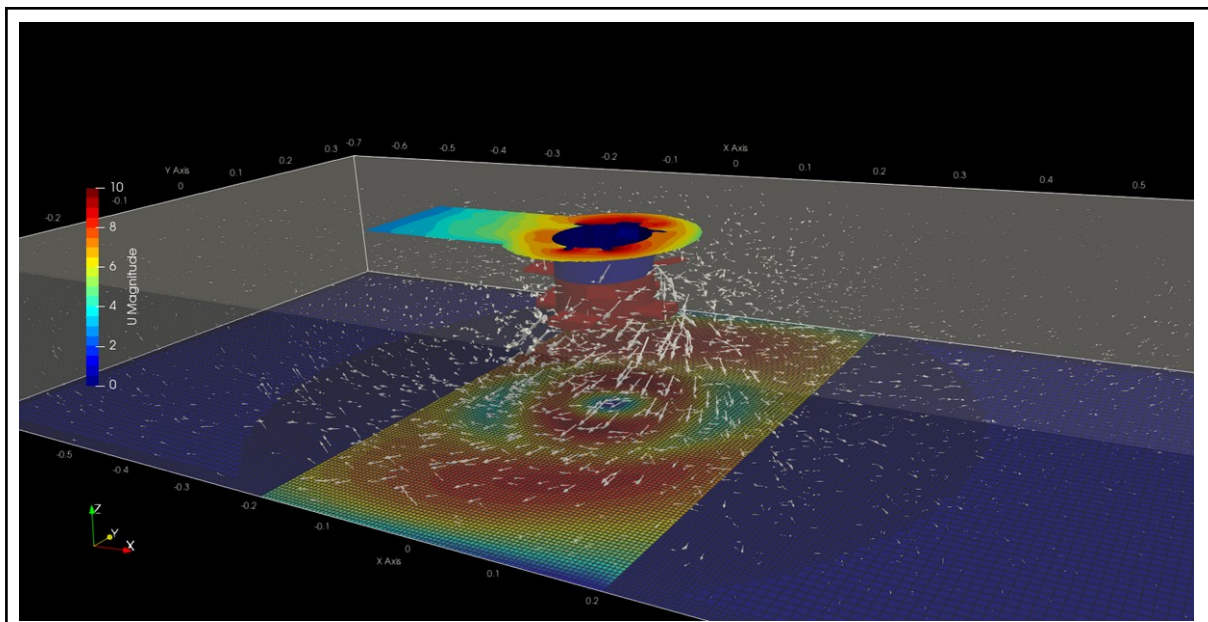


Obr. 17: Celková rychlost. Příklad SPIN-D. Pozice 2 (4 cm ode dna komory).

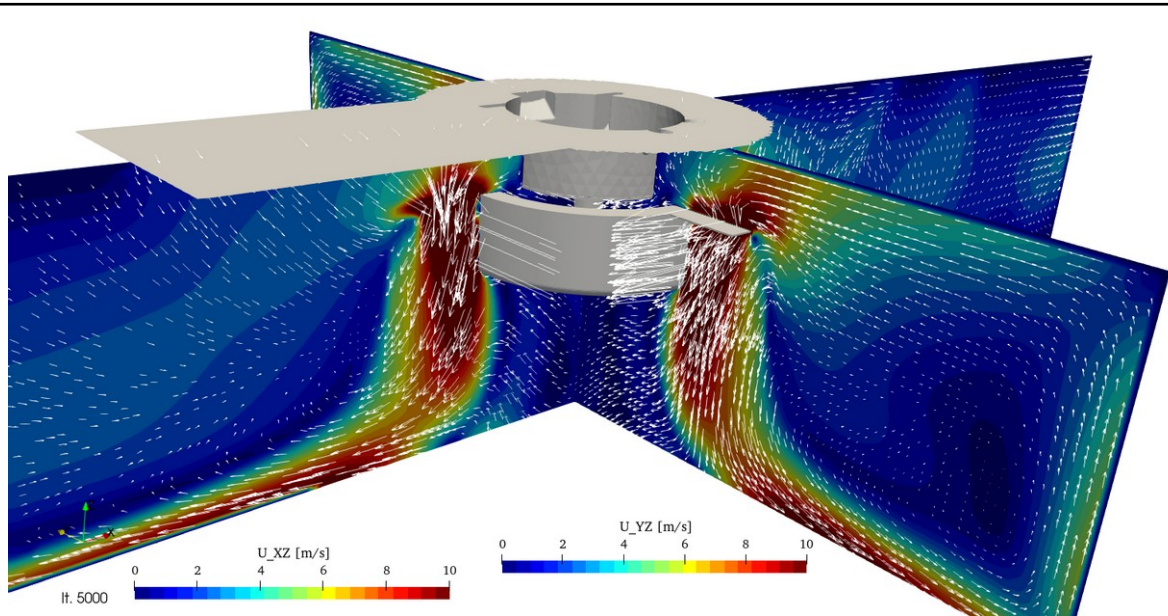
Přílohy



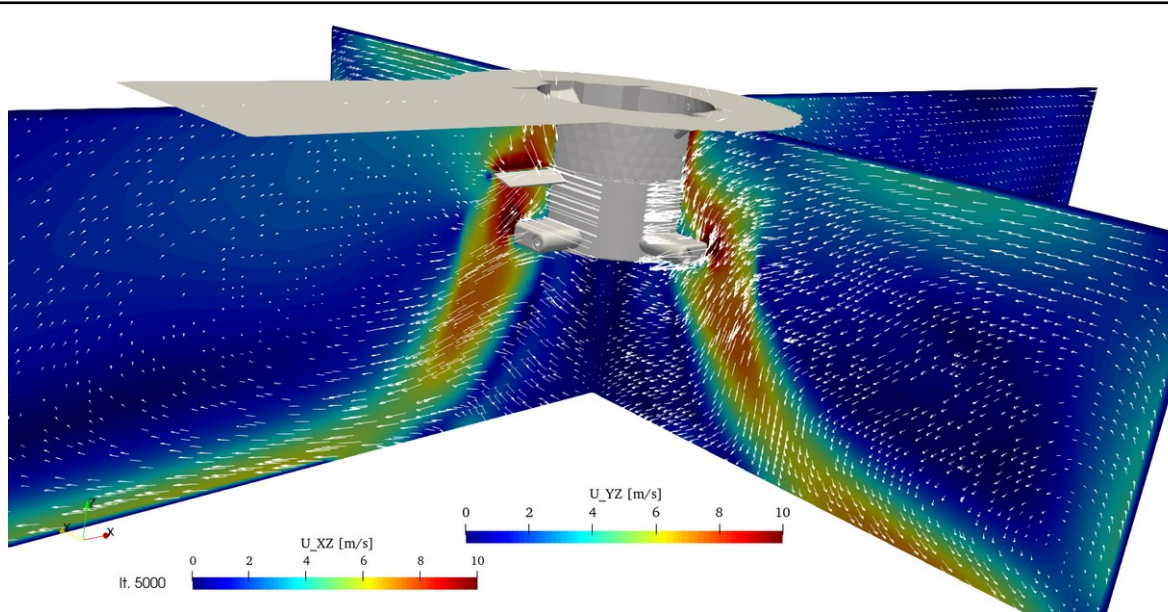
Obr. 18: Detail umístění zvlákňovacího zařízení vůči vtokové oblasti. SPIN-C.



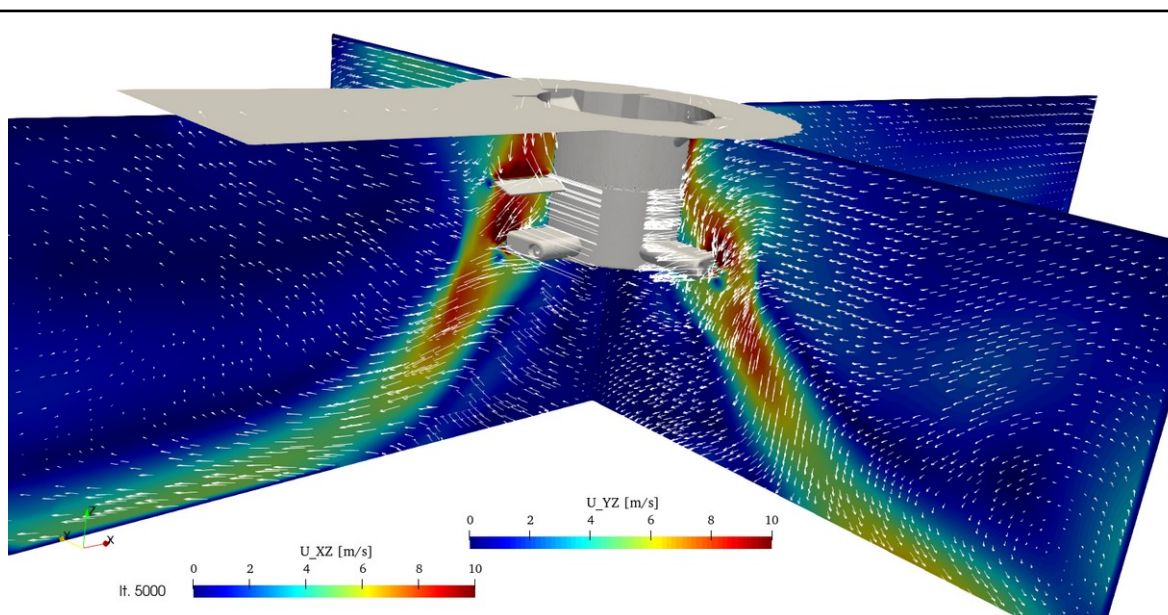
Obr. 19: Znáznornění celé výpočetní oblasti. SPIN-C.



Obr. 20: 3D pohled na proudové pole. SPIN-B.

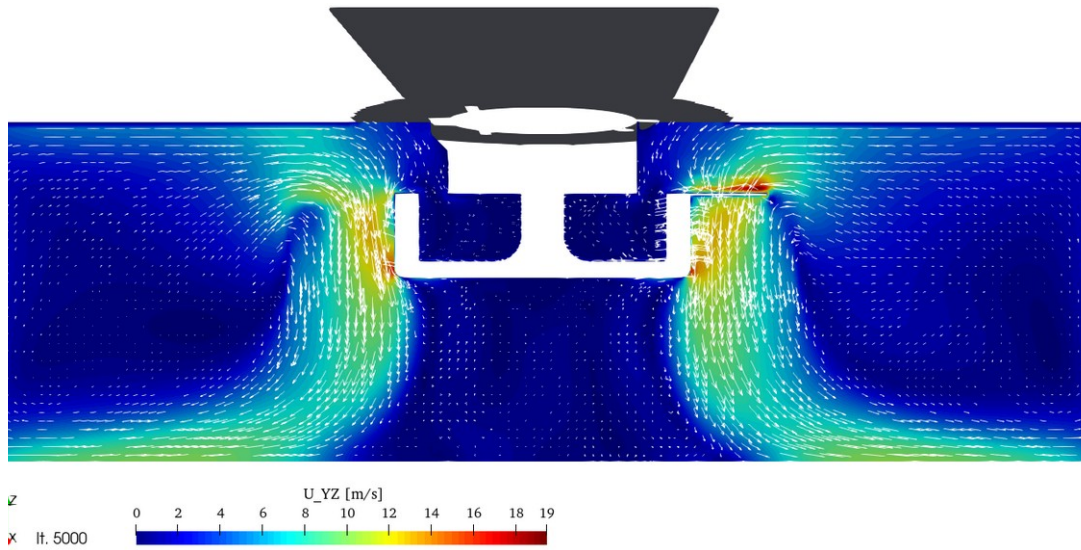


Obr. 21: 3D pohled na proudové pole. SPIN-C.

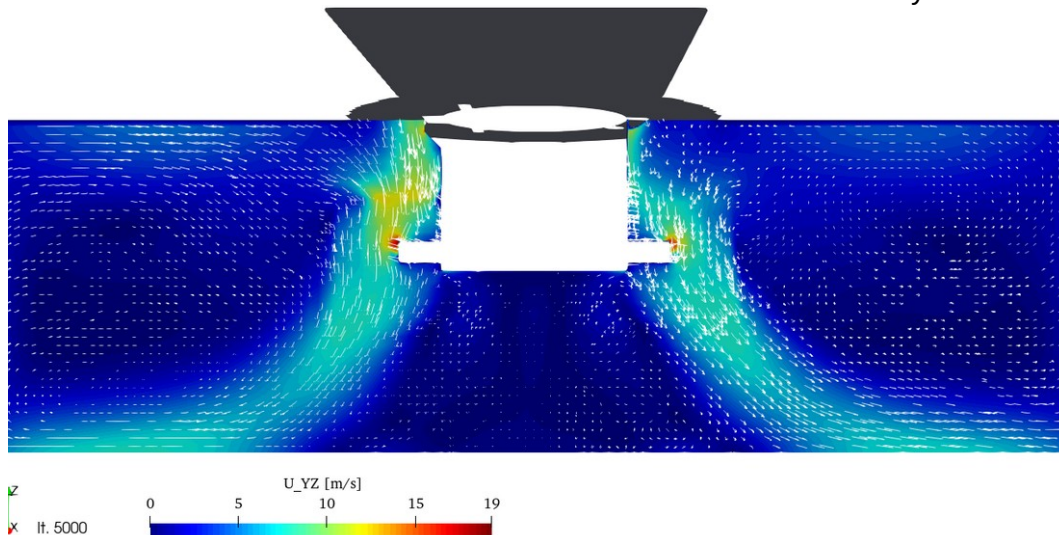


Obr. 22: 3D pohled na proudové pole. SPIN-D.

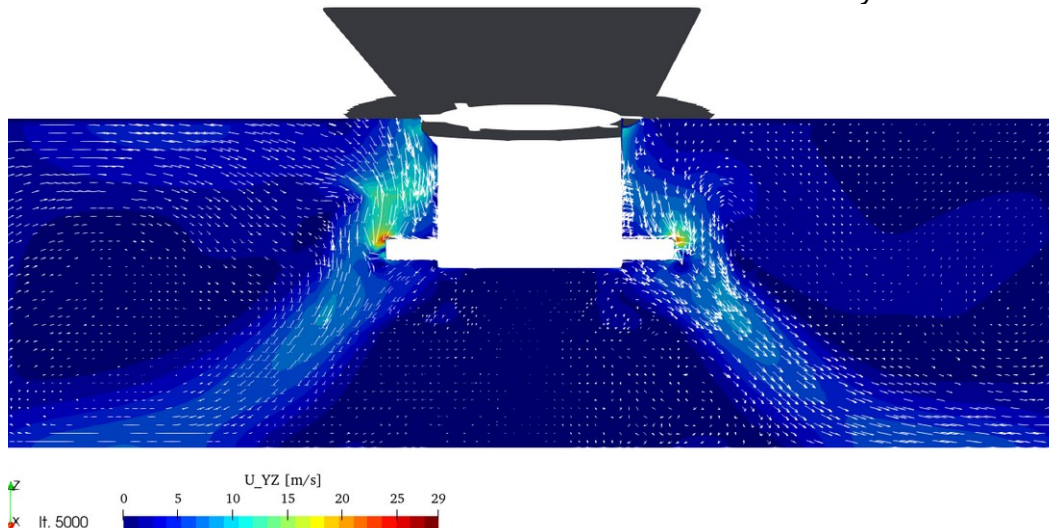
Zobrazení proudového pole v rovině YZ s celou barevnou škálou je na Obr. 23-28. Rovina YZ protíná horní řadu zahnutých plechů pouze v případě SPIN-B (později bude ukázána i rovina XZ, která protíná plechy u SPIN-C a SPIN-D). Maximální rychlosti u povrchu kazet je okolo 19 m/s v případě SPIN-B a SPIN-C, zatímco v případě vysunuté nátokové hrany u SPIN-D dosahuje 29 m/s. Při zobrazení celkových rychlostí (Obr. 26-28) jsou maximální rychlosti 104 m/s pro hladkou spinneretu SPIN-B a zlehka vyšší rychlosti (5 m/s) v případě SPIN-D oproti SPIN-C.



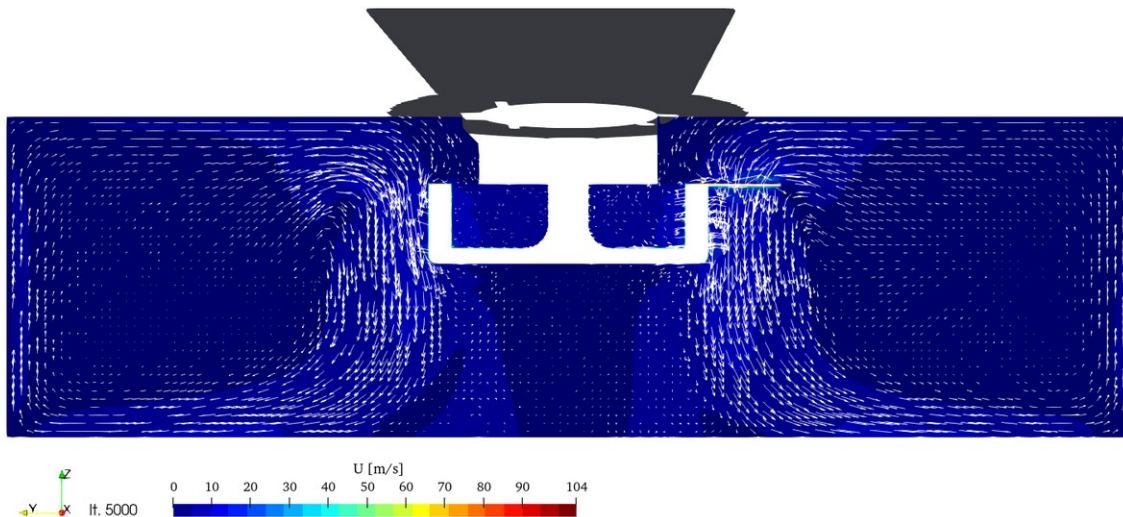
Obr. 23: SPIN-B hladká a řez rovinou YZ se zobrazením rovinné rychlosti.



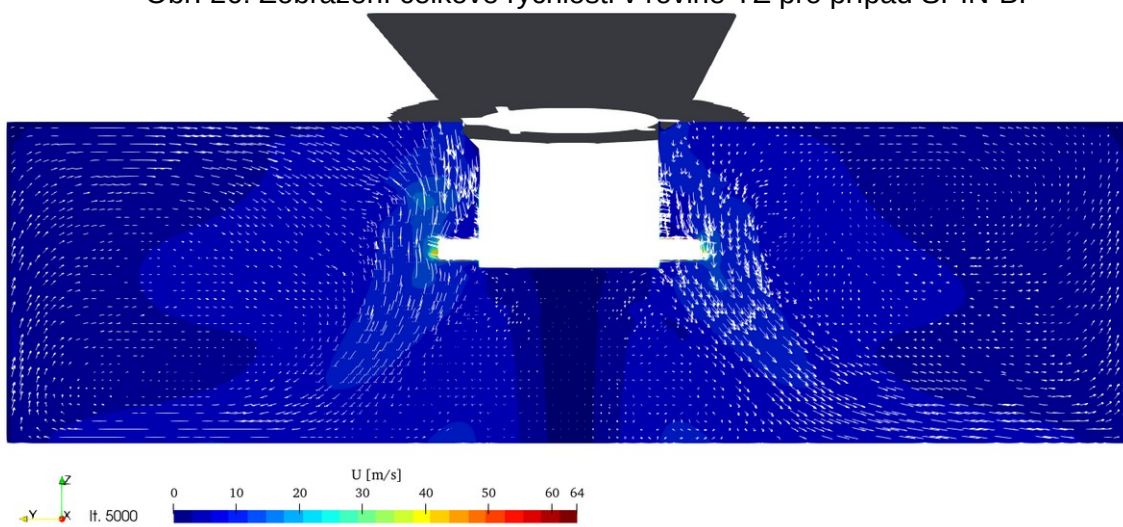
Obr. 24: SPIN-C a řez rovinou YZ se zobrazením rovinné rychlosti.



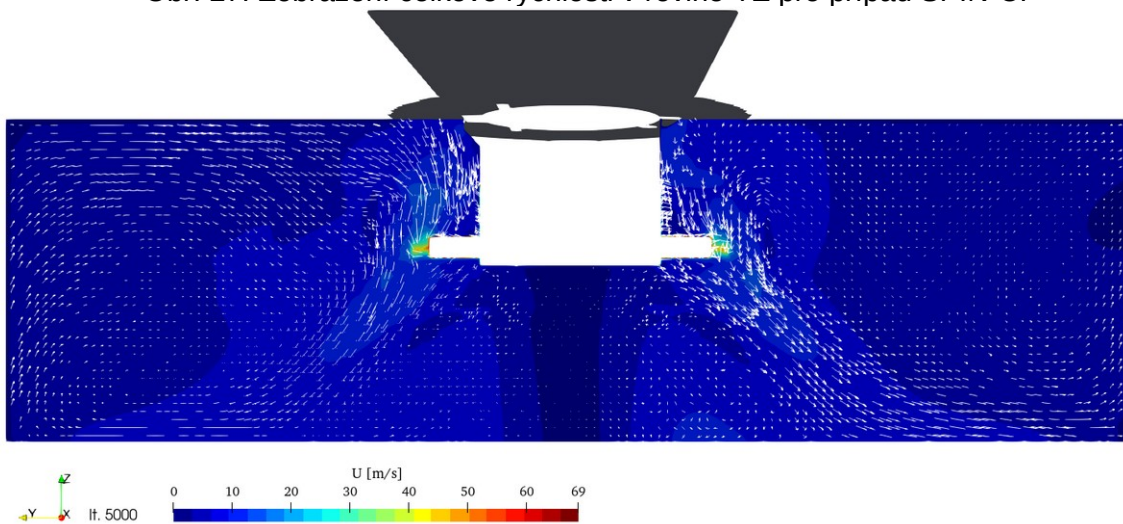
Obr. 25: SPIN-D a řez rovinou YZ se zobrazením rovinné rychlosti.



Obr. 26: Zobrazení celkové rychlosti v rovině YZ pro případ SPIN-B.

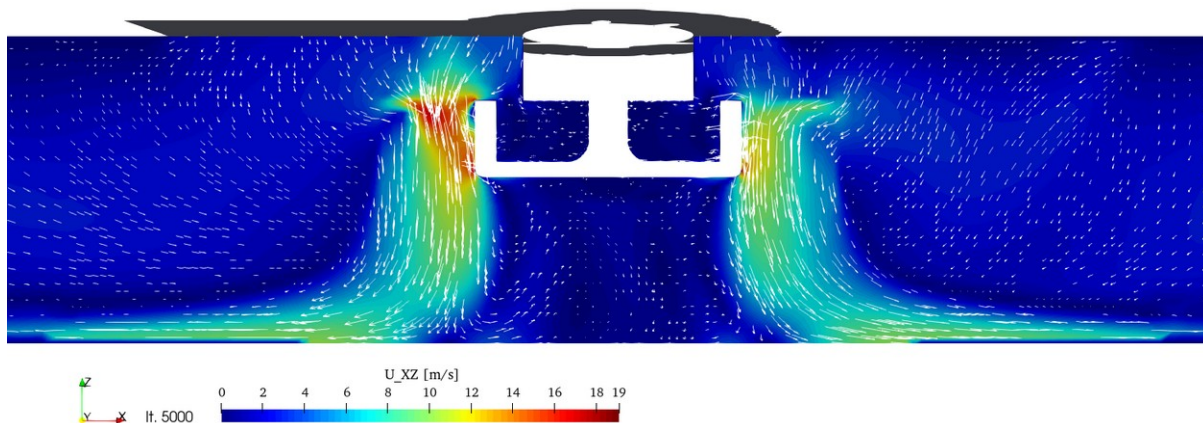


Obr. 27: Zobrazení celkové rychlosti v rovině YZ pro případ SPIN-C.

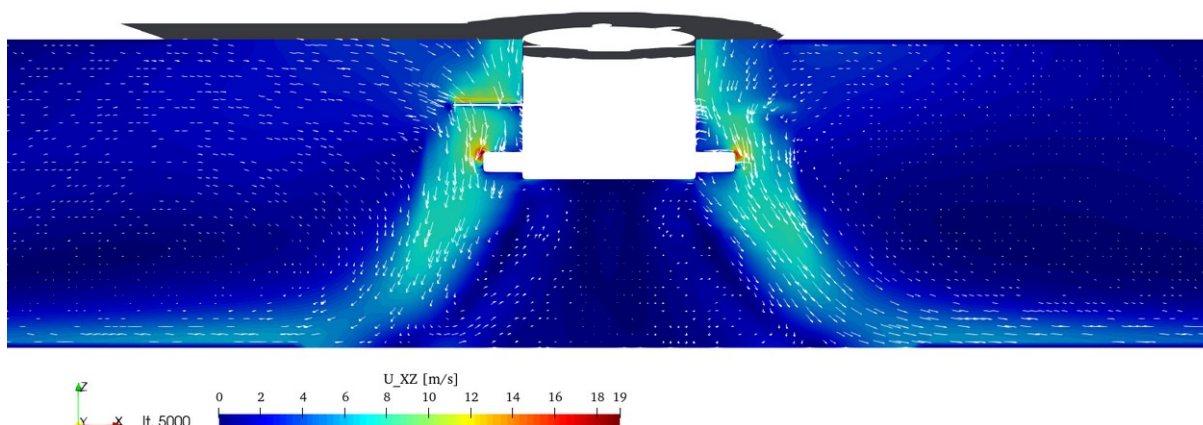


Obr. 28: Zobrazení celkové rychlosti v rovině YZ pro případ SPIN-D.

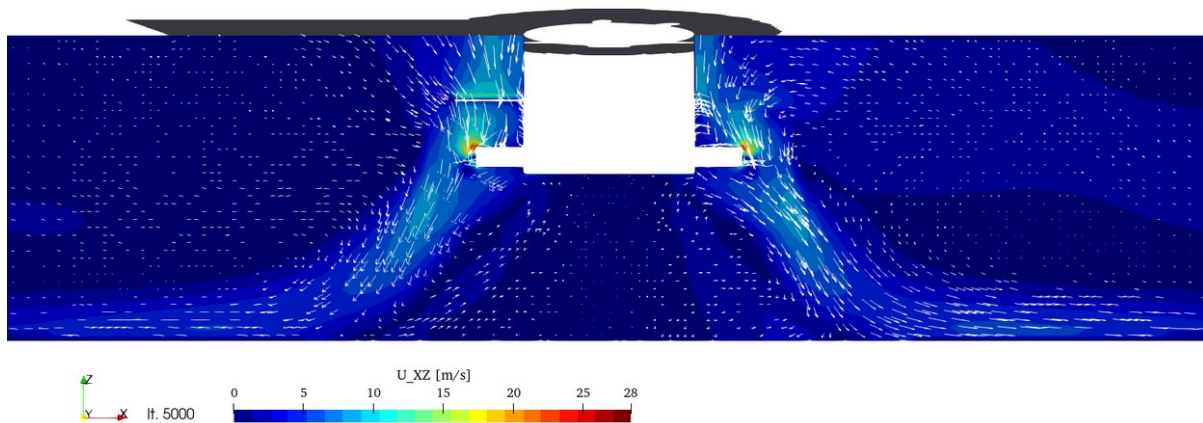
Na Obr. 29-34 jsou nyní zobrazeny řezy rovinou XZ. První tři vizualizace odpovídají rovinné rychlosti a další tři celkové rychlosti.



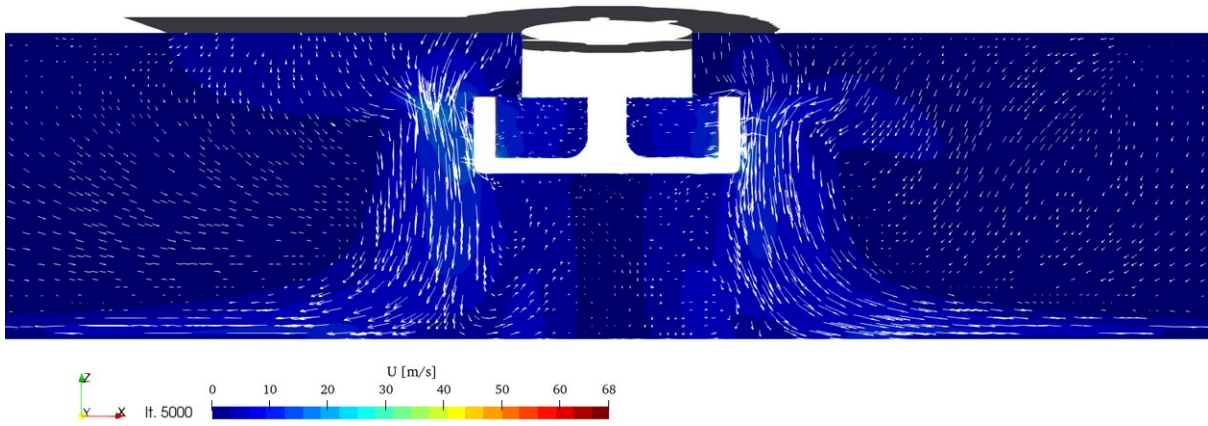
Obr. 29: SPIN-B a řez rovinou XZ se zobrazením rovinné rychlosti.



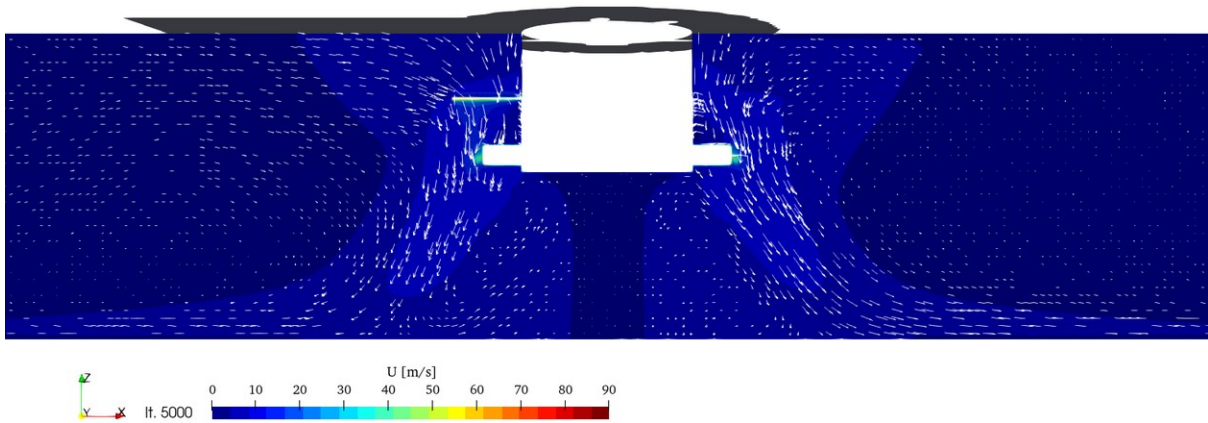
Obr. 30: SPIN-C a řez rovinou XZ se zobrazením rovinné rychlosti.



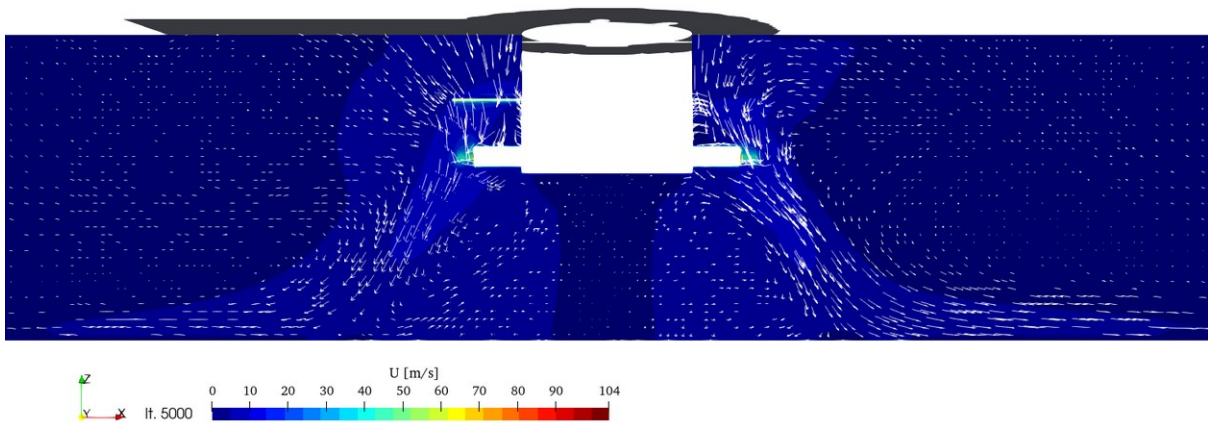
Obr. 31: SPIN-D a řez rovinou XZ se zobrazením rovinné rychlosti.



Obr. 32: Zobrazení celkové rychlosti v rovině XZ pro případ SPIN-B.



Obr. 33: Zobrazení celkové rychlosti v rovině XZ pro případ SPIN-C.



Obr. 34: Zobrazení celkové rychlosti v rovině XZ pro případ SPIN-D.