

CFD – aerodinamika pregled

JAKA PETERNEL

Kaj je izziv?

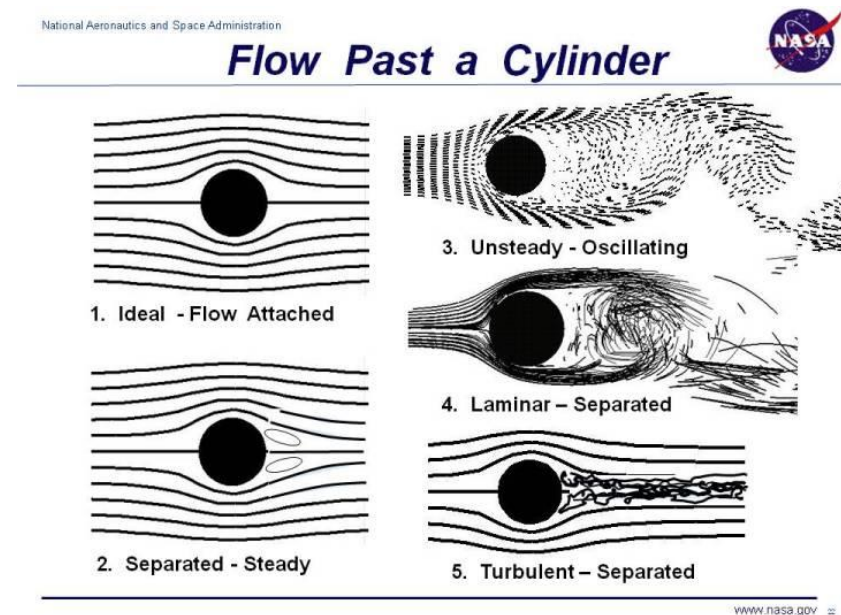
- ▶ Ugotoviti, kako aero naprava vpliva na zrak, ki obteka telo
- ▶ Ugotoviti kakšne so sile "Downforce"-a in zračnega upora
- ▶ Ovrednotiti vpliv oblike telesa na ti dve sili



Ključne lastnosti toka okoli teles

- ▶ Laminaren/**Turbulenten**
 - ▶ Pri nizkih Re laminaren
 - ▶ Pri visokih Re turbulenten
- ▶ **Ustaljen** / Neustaljen
 - ▶ Pri majhnih Re in zelo visokih Re ustaljen
 - ▶ Pri prehodnih Re neustaljen!
- ▶ Stisljiv/**Nestisljiv**
 - ▶ Nestisljiv za pline za hitrosti $Ma < 0.3$

$$Re = \frac{U \cdot D}{\nu}; \quad U \text{ .. hitrosti, } D \text{ .. karakteristična dimenzija,} \\ \nu \text{ .. kinematična viskoznost}$$



$$Re_1 < Re_2 < Re_3 < Re_4 < Re_5$$

Fizikalni opis problema (nestisljiv tok)

Continuity $\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} + \frac{\partial W}{\partial z} = 0$ ← Kar gre noter, to gre ven

X-momentum

$$\rho \left(\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} + W \frac{\partial U}{\partial z} \right) = -\frac{\partial P}{\partial x} + \rho g_x + \mu \left(\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial z^2} \right)$$

Y-momentum

$$\rho \left(\frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} + W \frac{\partial V}{\partial z} \right) = -\frac{\partial P}{\partial y} + \rho g_y + \mu \left(\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} \right)$$

Z-momentum

$$\rho \left(\frac{\partial W}{\partial t} + U \frac{\partial W}{\partial x} + V \frac{\partial W}{\partial y} + W \frac{\partial W}{\partial z} \right) = -\frac{\partial P}{\partial z} + \rho g_z + \mu \left(\frac{\partial^2 W}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 W}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 W}{\partial z^2} \right)$$

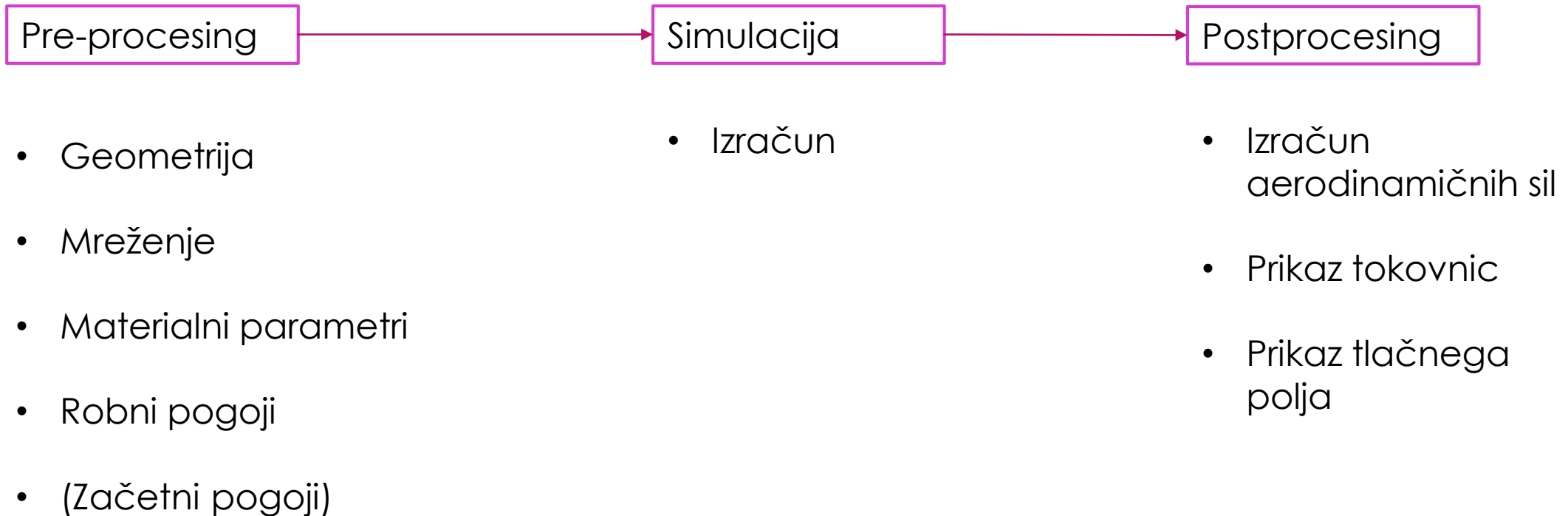
→
Sprememba hitrosti v opazovani točki
(če je tok ustaljen, odvod po času = 0)

↑
Sila tlaka

↑
Sila teže

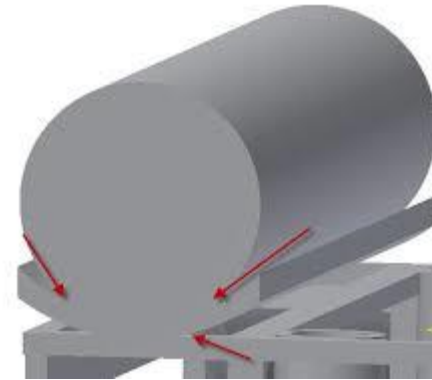
↑
Viskozna sila
(če je tok turbulenten se viskoznost
navidezno poveča)

Postopek reševanja

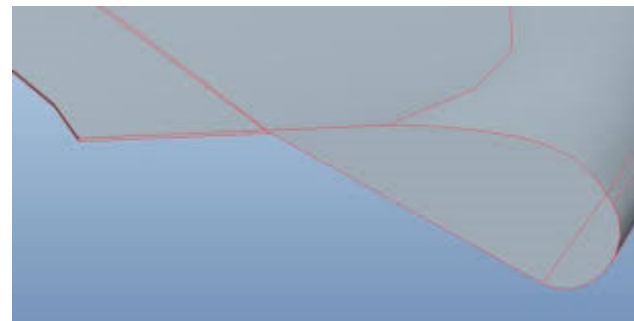


Preprocessing - geometrija

- ▶ Geometrija:
 - ▶ Brez nepotrebnih detajlov
 - ▶ Brez čudnih geometrij
 - ▶ Tanka telesa
 - ▶ Konice, ostri robovi
 - ▶ Tanke reže
- ▶ Za geometrijo bomo uporabili NX



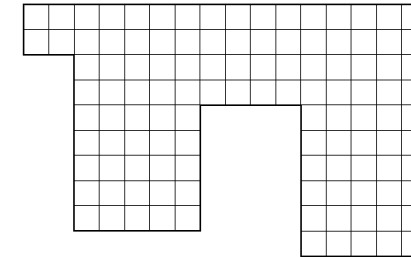
<https://forums.autodesk.com/t5/cfd-forum/can-t-import-inventor-part-to-cfd/td-p/5405125>



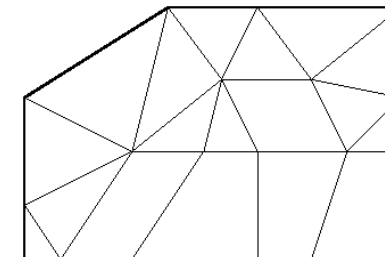
<https://www.cfd-online.com/Forums/cfx/80831-problematic-geometry.html>

Preprocessing - Mreženje

- ▶ Strukturirano – enostavne geometrije, lepši rezultati
- ▶ Nestrukturirano – kompleksne geometrije, slabši rezultati
- ▶ Če je tok **turbulenten** (uporabljamo turbulentni model), strog predpis za **velikost prve celice ob steni!**
- ▶ Več kot je celic, bolj natančna je rešitev
 - ▶ Uporabimo toliko celic, kot je le možno
- ▶ Celice naj bodo čim bolj podobne kockam
- ▶ Če uporabimo na različnih področjih različno velike celice, naj bodo prehodi med temi področji postopni



Strukturirana



Nestrukturirana

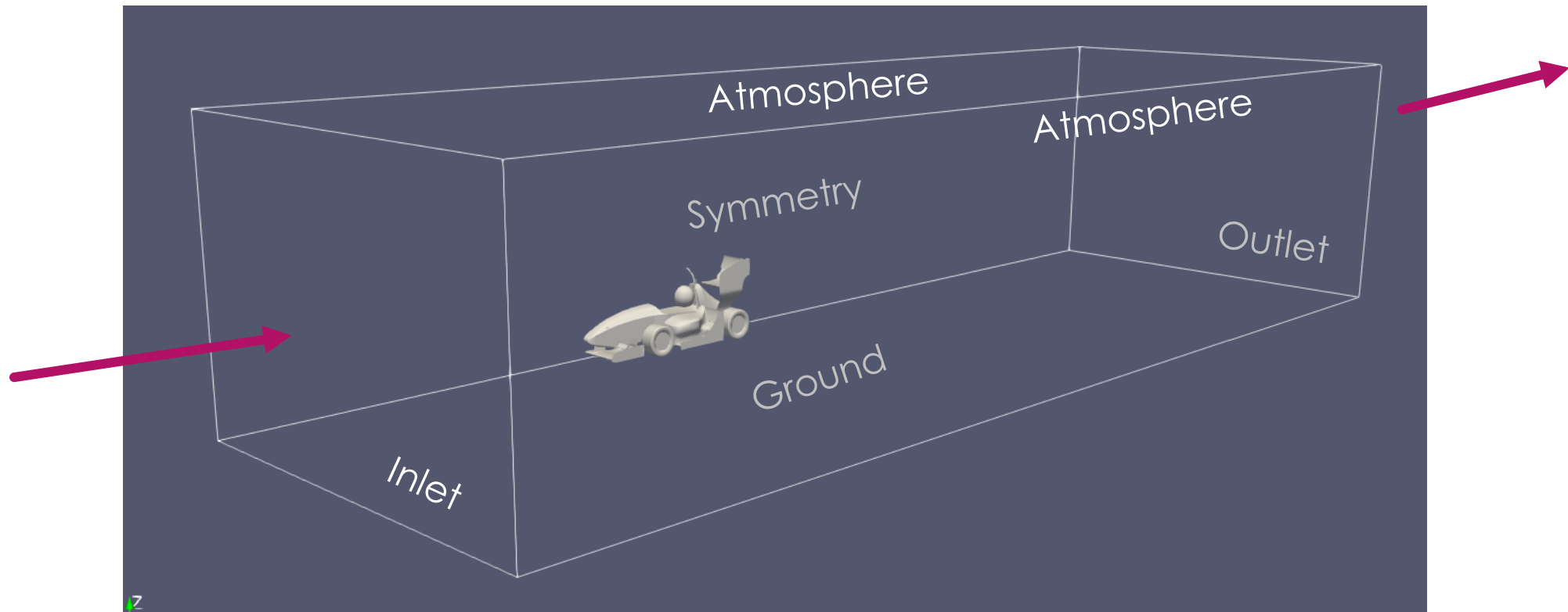
Preprocessing - Materialni parametri

- ▶ Za nestisljiv turbulentni tok potrebujemo dva:
 - ▶ Gostota (density)
 - ▶ Kinematična viskoznost (kinematic viscosity)
- ▶ Ker ne računamo temperature toka okoli telesa, izberemo prametere pri pričakovani povprečni temperature in tlaku

Preprocessing – Robni pogoji

- ▶ Robne pogoje moramo definirati za vsa polja, ki nastopajo v izračunu:
 - ▶ Tlačno
 - ▶ Hitrostno
 - ▶ Turbulenčna energija k
 - ▶ Disipacije turbulentne energije ϵ

Preprocessing – Robni pogoji – vožnja naravnost



Preprocessing – Robni pogoji – vožnja naravnost

- ▶ Inlet: predpišemo velikost in smer hitrosti, in ničelni gradient tlaka. Vrednost turbulentne intenzitete je v vetrovniku nizka, reda močno pod 1% -> izračun vrednosti k -> izračun vrednosti ω oz. ϵ
- ▶ Atmosphere: enako kot inlet (v tem primeru računamo aerodinamiko, kot da bi bil avtomobil v tunelu), bolj pravilno bi bilo predpisati tlak in za hitrost izbrati `pressureInletOutlet` ...
- ▶ Ground: gibajoči se zid ("movingWall"), s hitrostjo enako hitrosti na inletu, ničelnim gradientom za tlak in stenski funkciji za k in ϵ/ω

Preprocessing – Robni pogoji – vožnja naravnost

- ▶ Outlet: vrednost nadtlaka = 0 Pa, ničelni gradient za hitrosti in ostalih polj.
- ▶ Symmetry: simetrijska ravnina, tu predpišemo ničelni gradient za vse spremenljivke
- ▶ Površine opazovanega telesa: nepremični zidovi, hitrost = 0 m/s, za tlak predpišemo ničelni gradient. Za k in epsilon/omega uporabimo stenske funkcije.
- ▶ Pnevmatike: na mesto nepremičnega zidu uporabimo vrteči se zid ("rotatingWall") in predpišemo lokacijo osi in smer ter hitrosti vrtenja. Za k in epsilon/omega uporabimo stenske funkcije.

Simulacija

- ▶ Nastavimo željeno število iteracij
- ▶ Nastavimo željene spremljane veličine (npr. Silo “Downforce”-a)
- ▶ Poženemo simulacijo in počakamo, da se izračun konča

Postprocessing – izračun aerodinamičnih sil

- ▶ Aerodinamična sila:

$$\vec{F} = \int_A p \cdot \vec{n} \cdot dA$$

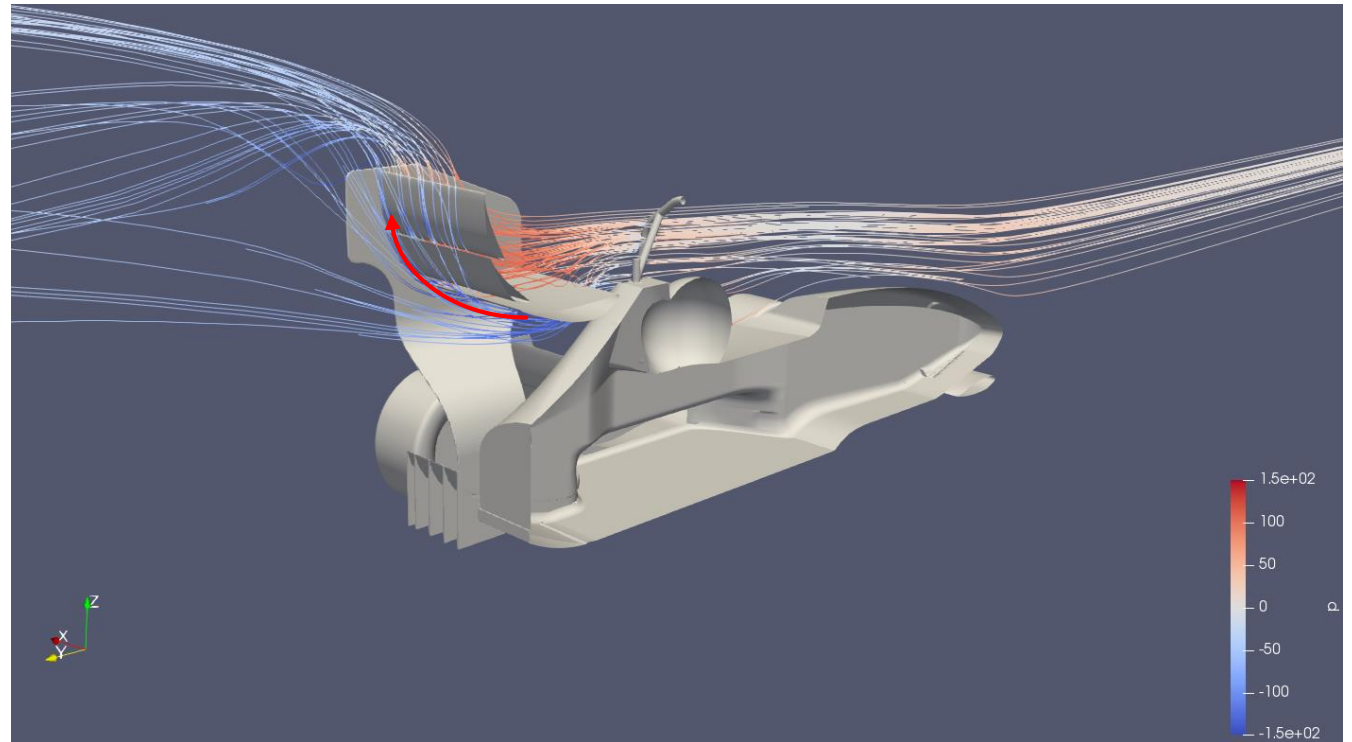
- ▶ Aerodinamični moment okoli težišča:

$$\vec{M} = \int_A (p \cdot \vec{n}) \times \vec{r} \cdot dA \quad \longrightarrow \quad \text{Stabilnost!}$$

Postprocessing - Prikaz tokovnic

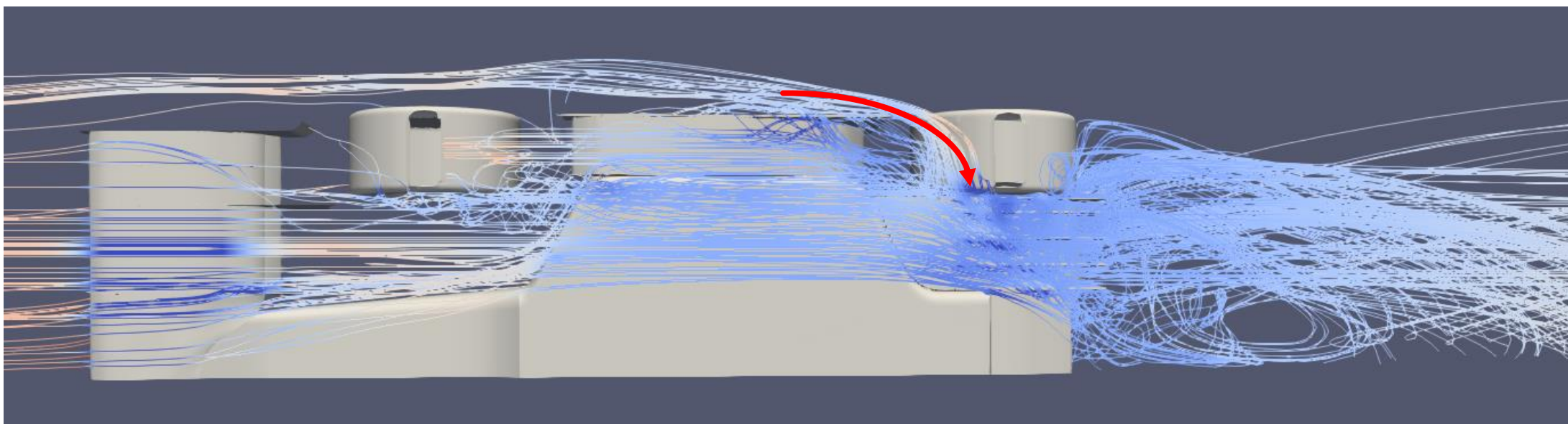
Opazujemo tok, pozorni smo na:

- Ali tokovnice sledijo obliki kril?
(na sliki vidimo, da tok okoli zadnjega krila teče lepo)
- Ali tok v domeni kje zastaja?
- Od kje prihaja zrak na določeno mesto?



Postprocessing - Prikaz tokovnic

- ▶ S pomočjo tokovnic lahko ugotovimo kje v difuzor vdirajo neželni tokovi (označeno z rdečo puščico)



Postprocessing - Prikaz tokovnic

- ▶ Prikaz tlačnega polja:
 - ▶ Spodnje ploskve morajo imeti nizek tlak, zgornje ploskve visok!

