



Numerické řešení proudění při obtékání kmitajícího leteckého profilu

Ing. Václav Řídký
Ing. Petr Šidlof, Ph.D NTI



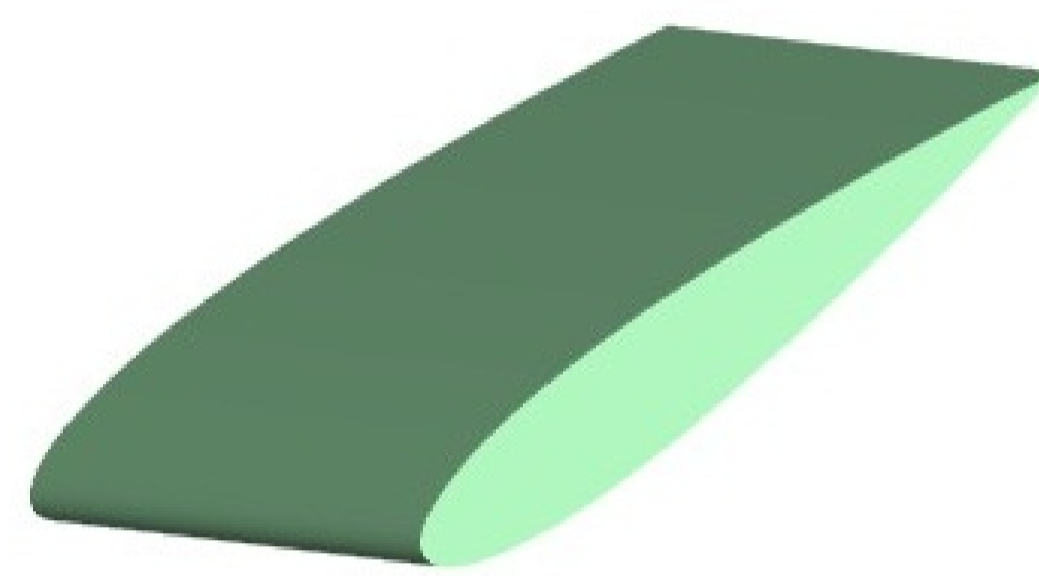
Abstrakt

The main work is a parallel flow field calculations on large 3D mesh with time-variable geometry of the finite volume method. The calculations were run on supercomputers HAL, FOX (CIV CVTU) and the Hydra cluster computing (FM TUL). The numerical solution was used computational package OpenFOAM. The meshing tool was then used SnappyHexMesh, which is part of OpenFOAM computational package. [1] For visualization of the Paraview program.

Úvod do problematiky

Numerické řešení vychází z měření na zkušebním leteckém profilu NACA0015 (Obr. 1.), měření bylo provedeno v měřicím prostoru podtlakového zkušebního tunelu ÚT AV ČR [2]. Měřily se vlastní kmity leteckého profilu (flutter) a rozložení tlakového pole. Výsledky z měření pak poslouží při vyhodnocování interakce mezi proudící tekutinou a leteckým profilem (vlastní kmity leteckého profilu). K numerickému řešení byl zvolen výpočetní balík OpenFOAM. Tento balík používá k výpočtu metodu konečných objemů.

Významná část práce je pak zaměřena na paralelní výpočty. OpenFOAM podporuje paralelní výpočty, jsou zde nástroje umožňující rozklad oblasti a opětovné složení výsledného řešení.



Obr.1. Geometrie křídla

Cíle

Důvodem proč se tato problematika řeší, je využití paralelních výpočtů v leteckém inženýrství při studiu chování obtékaného tělesa. Při řešení obtékání geometricky složitých a rozsáhlých těles, může být řešení výpočtu za pomoci sekvenčního výpočtu časově velice náročné (nároky na paměť) a výpočetní čas bude dlouhý. Proto se zde uplatní paralelní výpočty, které nám při vhodně zvoleném algoritmu a dekompozici oblasti výpočetní čas oproti sekvenčnímu výpočtu výrazně zkrátí.

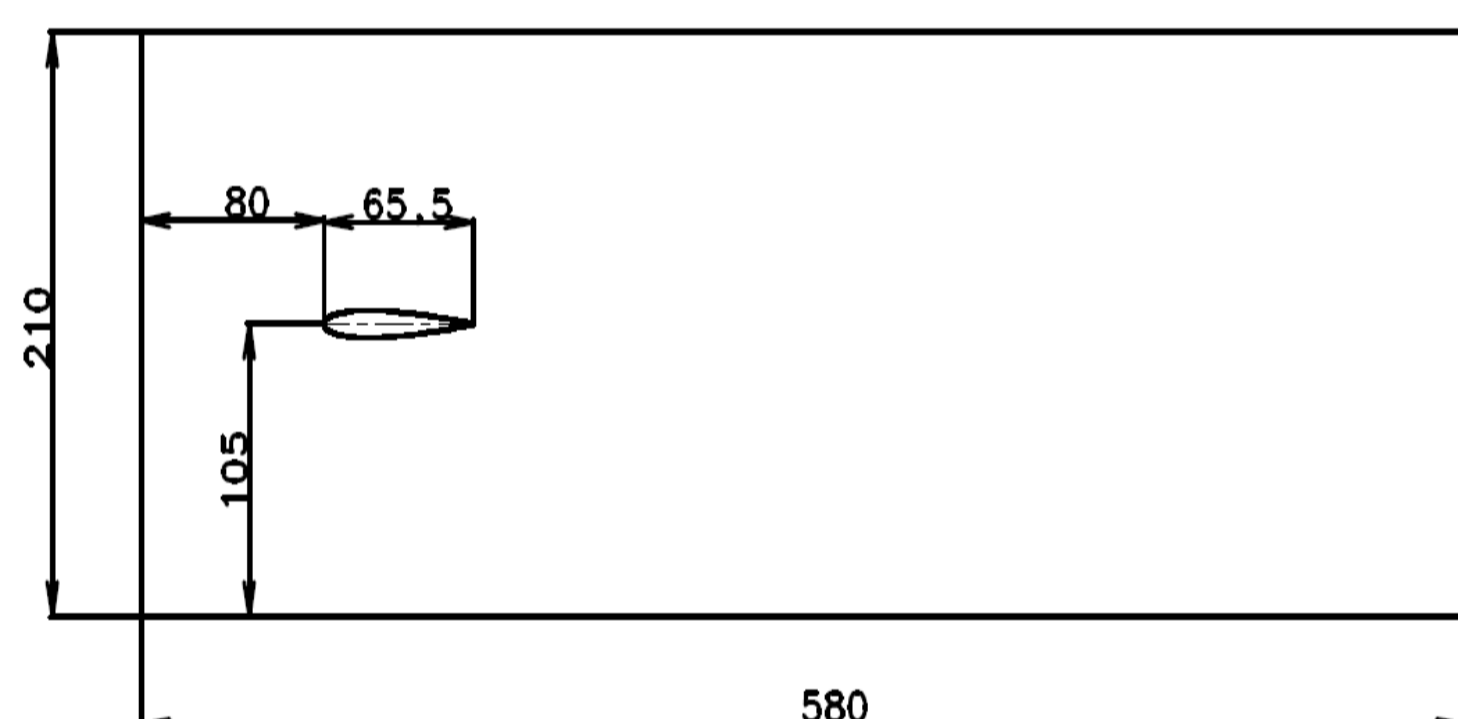
Matematický model

Nestlačitelné proudění bez přenosu tepla je popsáno rovnicí kontinuity (1) a Navier-Stokesovými rovnicemi (2).[2]

$$\nabla \cdot \mathbf{u} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + (\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} - \nu \Delta \mathbf{u} + \frac{1}{\rho} \nabla p = 0 \quad (2)$$

u... rychlost,
p... kinematický tlak,
ν... kinematická viskozita



Obr.2: Geometrie výpočetní oblasti

Geometrie úlohy

Geometrie oblasti odpovídá rozměrům přípravku, na kterém se provádělo měření vlastních kmitů leteckého profilu (Obr. 2.). Geometrie leteckého profilu je pak popsána rovnicí (3), kde t je poměr největší tloušťky profilu k délce tělivity, c je délka tělivity, x je průběžná poloha bodu na profilu podél tělivity od 0 do c, y je poloviční tloušťka profilu pro danou hodnotu x.

$$y = \frac{t}{0,2} c \left[0,2969 \sqrt{\frac{x}{c}} - 0,1260 \left(\frac{x}{c}\right) - 0,3516 \left(\frac{x}{c}\right)^2 + 0,2843 \left(\frac{x}{c}\right)^3 - 0,1015 \left(\frac{x}{c}\right)^4 \right] \quad (3)$$

Okrajové podmínky

vstup - rychlost $u(t,x)=(100 \ 0 \ 0)$, tlak $p(t,x)=\partial p/\partial n=0$

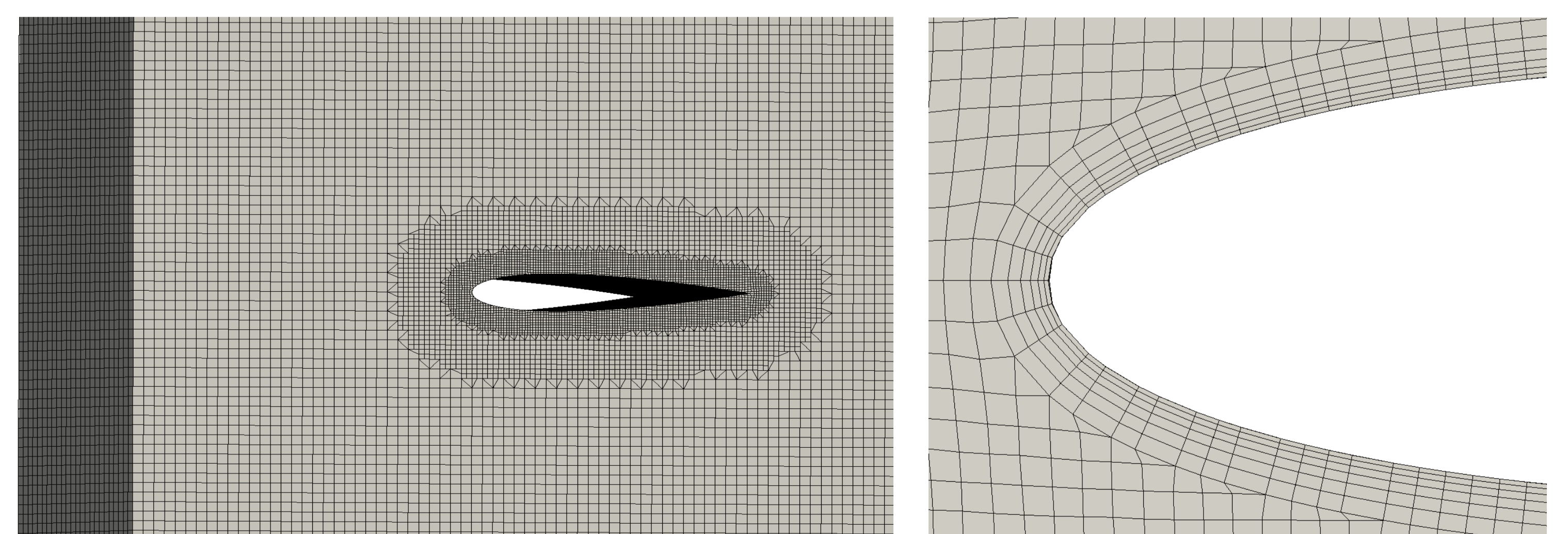
výstup - rychlost $u(t,x)=\partial u/\partial n=0$, tlak $p(t,x)=0$

ostatní stěny - rychlost $u(t,x)=(0 \ 0 \ 0)$, tlak $p(t,x)=\partial p/\partial n=0$

Popis úlohy a síť

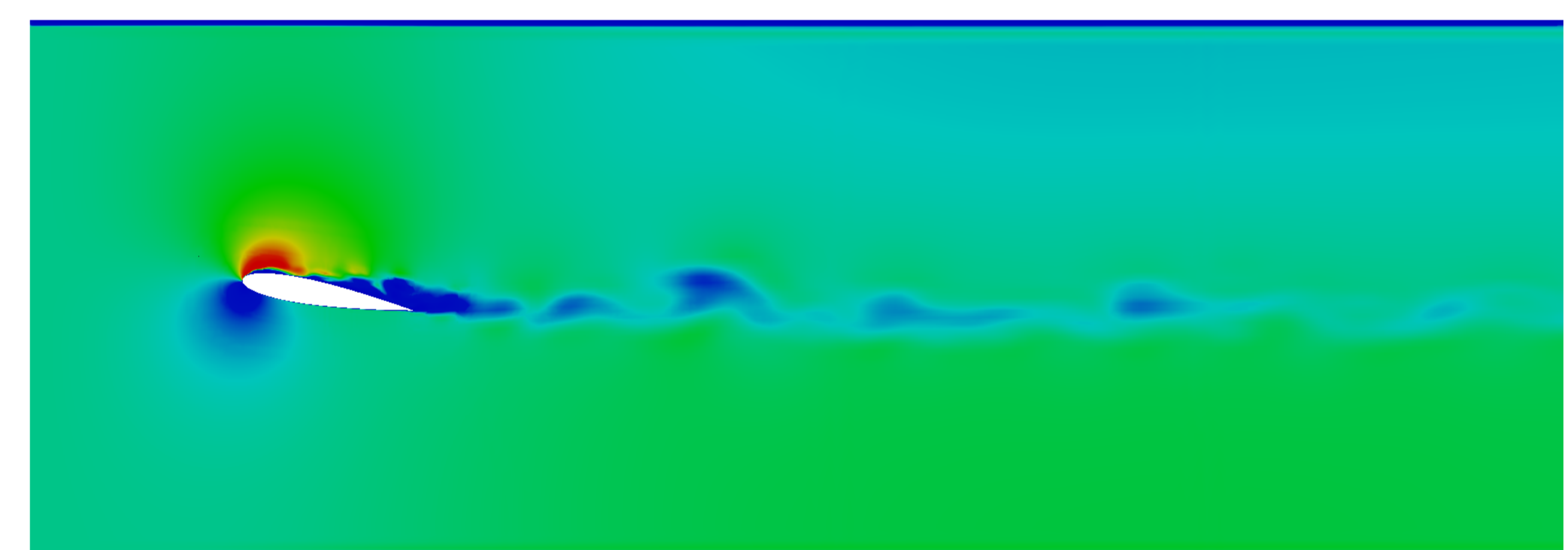
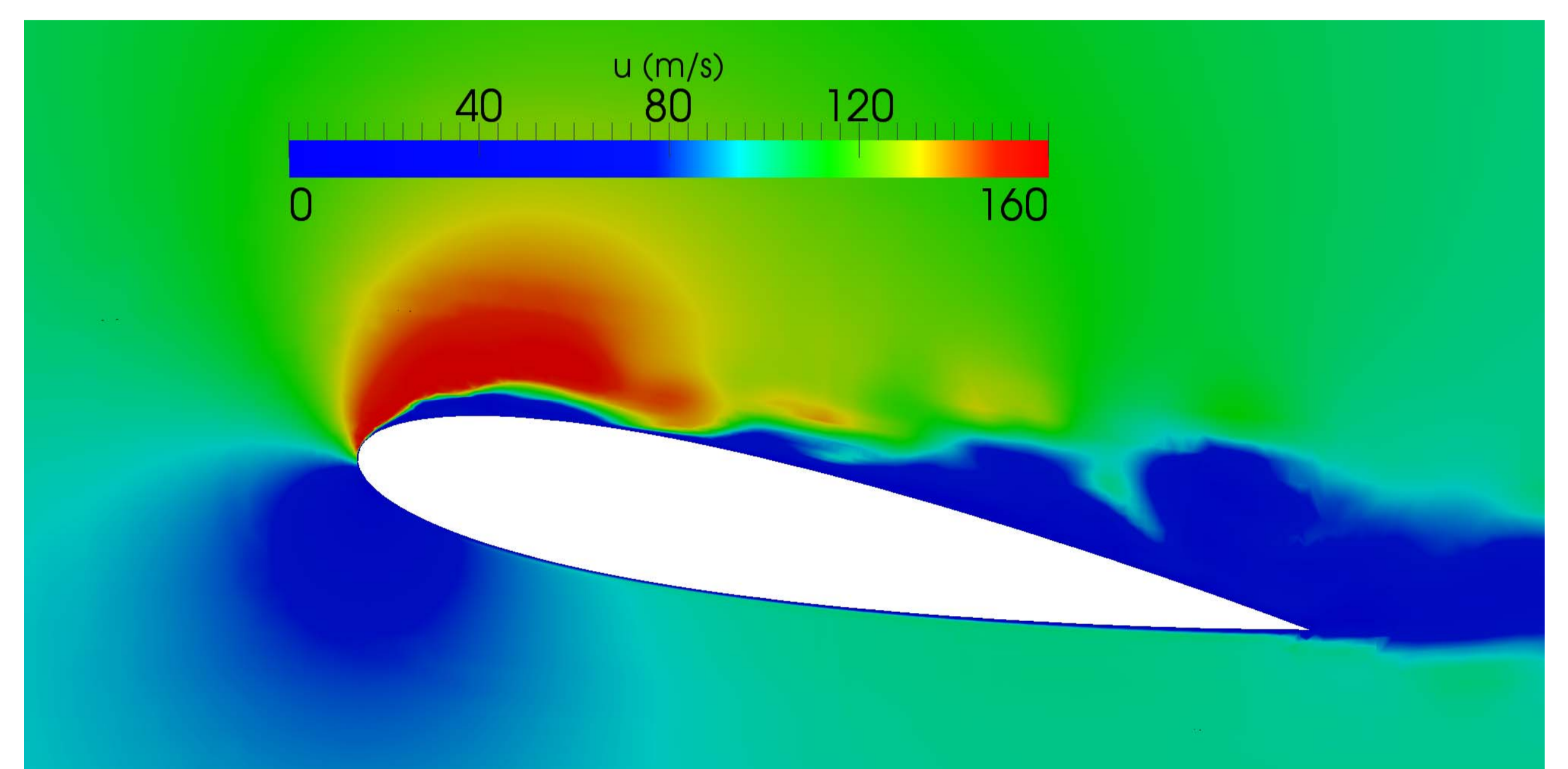
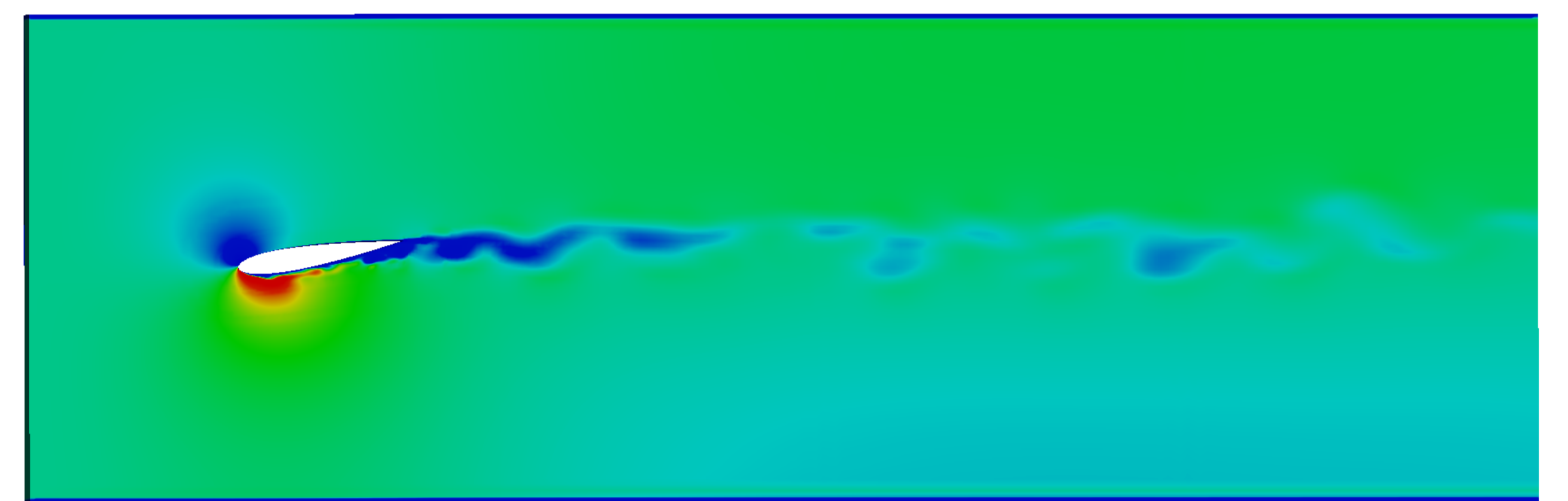
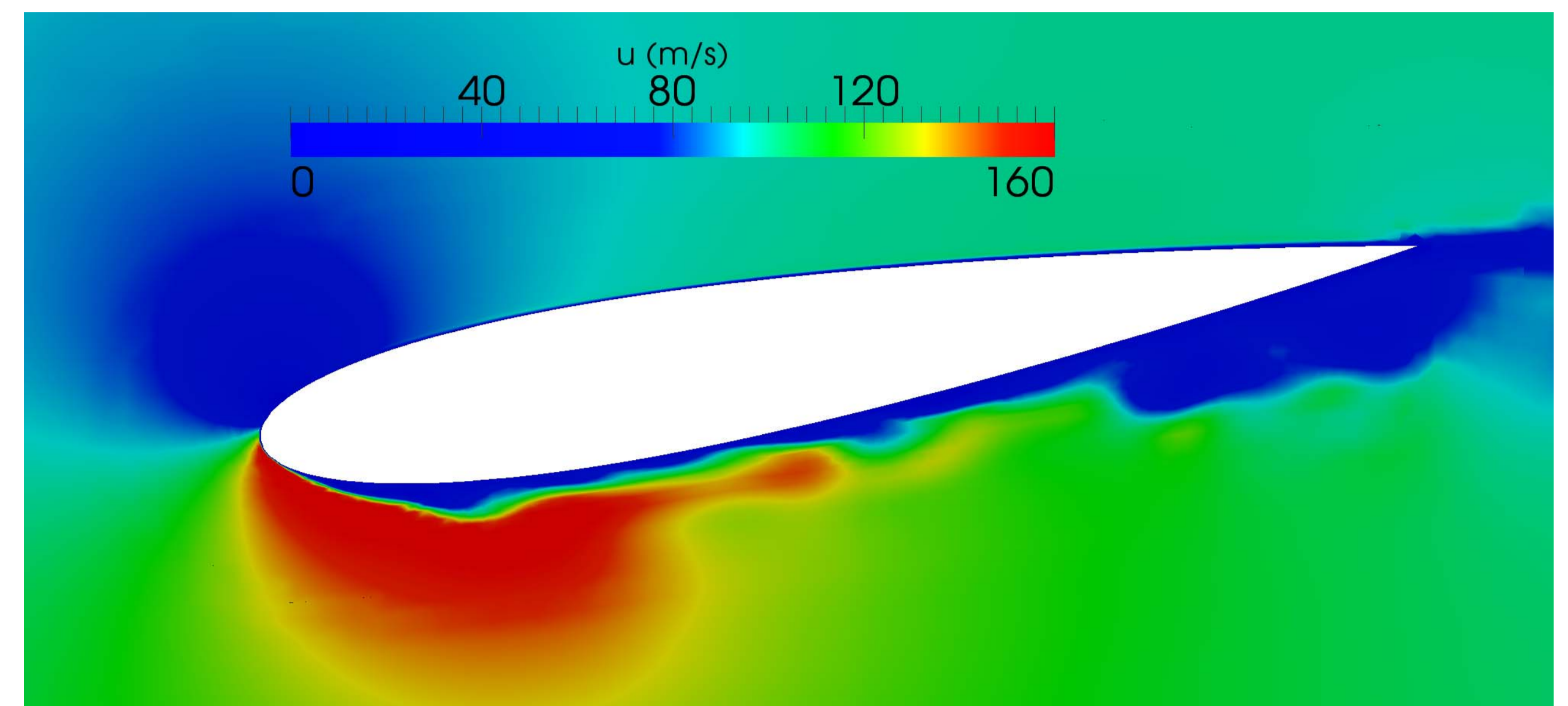
Řešení rychlostního a tlakového pole, řešič pimpleDyMFoam
sít - 895k elementů

osmistěné elementy převážná část všech elementů 880k
kolmý kvadry s trojúhelníkovou podstavou
mnohostěny- vznikají na rozhraní sítí s rozdílnou velikostí elementů



Obr. 3: Zasiťování výpočetní oblasti

Výsledky



Obr.4: Ukázka rychlostního pole při maximální výchylce 10° od roviny kmitání

Závěr

Paralelní výpočty proudění při obtékání těles najdou uplatnění hlavně pro 3D simulace, kde velice rychle narůstá počet elementů a výrazně roste výpočetní čas. Velikost elementů je omezena mezní vrstvou, která se hlavně u turbulentního proudění musí dobře zachytit i několika vrstvami elementů. Dnes se také proto většina případů řeší ve 2D, kdy se využije symetrie úlohy a výsledky se tak získají velmi rychle. Výpočty ve 3D najdou uplatnění pokud se řeší model turbulence, hlavně pak pro přímé metody a pro metody velkých vírů. Turbulence je totiž nestacionární a je tak potřeba počítat chování ve všech směrech.

Ve své další práci bych chtěl model rozšířit o stlačitelnost, jelikož při větších výchylkách je rychlost při odtrhávání proudění vyšší než 0.3 Ma, kdy je možné považovat proudění vzduchu za nestlačitelné. A také rozšířit výpočet o model turbulence, který by umožnil lepší výpočty v oblasti úplavu.

References

- [1] Ing. Václav Vlček, CSc., Ing Jan Kozánek, CSc., Institute of Thermomechanics, Academy of Sciences of the Czech Republic, Dolejškova 5, 182 00, Praha 8, Czech Republic
- [2] J. H. Ferziger; M. Perić. Computational Method for Fluid Dynamics 3rd Edition (2002).
- [3] OpenFOAM – the open source CFD toolbox. <http://www.openfoam.org>

Kontakt

Václav Řídký – vaclav.ridky@tul.cz
Technická univerzita Liberec

Poděkování

Práce byla částečně podpořena z projektu GAČR P101/11/0207 "Coupled problems of fluid and solid mechanics - nonlinear aeroelasticity".
Prezentace této práce byla podpořena z projektu SGS 2011.