

NUMERICKÉ ŘEŠENÍ STACIONÁRNÍHO A NESTACIONÁRNÍHO TRANSSONICKÉHO PROUDĚNÍ VE VNĚJŠÍ AERODYNAMICE

Numerical solution of steady and unsteady transonic flow in outer aerodynamics

Jiří Dobeš¹, Jaroslav Fořt¹, Petr Furmánek², Jiří Fürst², Milan Kladrubský²,
Karel Kozel¹

¹České vysoké učení technické, Fakulta strojní, Ústav technické matematiky, Praha

²Výzkumný a zkušební letecký ústav, a.s., Aerodynamika vysokých rychlostí, Praha

Úvod

Příspěvek obsahuje výsledky výpočtu stacionárního turbulentního proudění (model $k - \omega$) kolem profilu RAE 2822, nestacionárního nevazkého proudění kolem kmitajícího profilu NACA0012 a srovnání stacionárního nevazkého proudění kolem křídla Onera M6 počítaného čtyřmi různými metodami s experimentem.

Matematické modely

Pro řešení dvourozměrného stlačitelného stacionárního turbulentního proudění bylo použito WLSQR schematu (modifikace WENO schematu). Numerické toky jsou počítány pomocí AUSMPW+ metody. Jako model turbulence je použit Kokův TNT model $k - \omega$.

Pro řešení nevazkého oscilujícího profilu pro stlačitelně proudění bylo použito implicitní WLSQR schéma a nestacionarita řešení, daná změnou polohy profilu, byla řešena užitím ALE (Arbitrary Lagrangian–Eulerian) metody.

V případě simulace transsonického obtékání křídla byly zvoleny čtyři rozdílné metody a zároveň tři různé typy výpočetních sítí a to sice strukturované sítě typu H a C a nestrukturovaná síť tvořená čtyřstěny.

Schéma 1. Pro výpočet bylo užito 3D MacCormackova schematu (cell-centered) ve formě prediktor – korektor s přidanou Jamesonovou umělou vazkostí třetího řádu (C i H síť).

Schéma 2. Bylo použito jednokrokové explicitní schéma typu Laxe–Wendroffa v cell–vertex formulaci s umělou vazkostí Jamesonova typu.

Schéma 3. Úloha byla řešena metodou konečných objemů v cell-centered formulaci. Na každé straně konečného objemu se řeší Riemannův problém. Toto řešení je aproximováno užitím Roeho Riemannova řešiče. Pro zvýšení přesnosti metody v prostoru byla použita lineární rekonstrukce pomocí metody nejmenších čtverců. Pro diskretizaci v čase byla implementována linearizovaná zpětná Eulerova metoda. Výsledný systém lineárních rovnic je pak řešen pomocí GMRES metody s ILU předpokmáním.

Dosažené výsledky

Použití metody pro turbulentní proudění je předvedeno na případě obtékání profilu RAE 2822 při $M_\infty = 0.734$, $\alpha = 2.54^\circ$, $Re = 6.5 \cdot 10^6$. Byla použita síť 164×96 , z toho na profilu bylo 124 buněk, vzdálenost středu první buňky od profilu byla přibližně $5 \cdot 10^{-6}$, což odpovídá přibližně $y^+ \approx 1$.

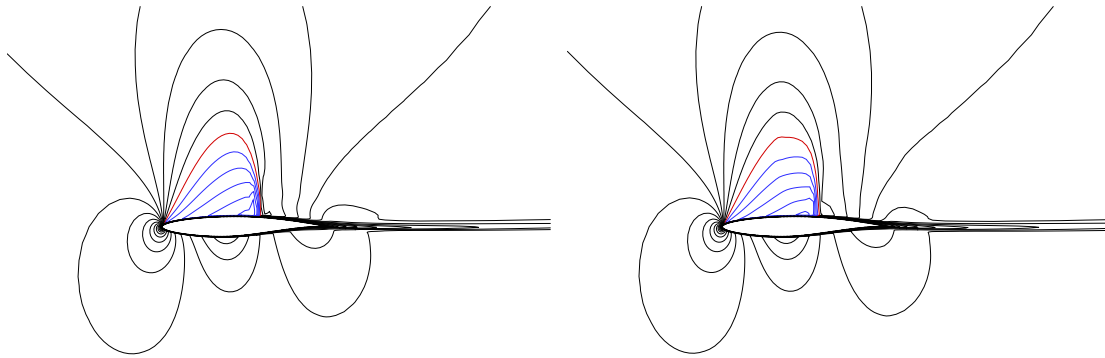
Pro výpočet oscilujícího profilu byl použit profil NACA 0012. Machovo číslo je rovno 0.755, rozkmit úhlu náběhu byl $\pm 2.5^\circ$. Výsledky výpočtů jsou porovnány s experimentem v průběžích $c_m(\alpha)$, $c_n(\alpha)$ a rozložení c_p po těživě při různých úhlech náběhu.

Pro výpočet nevazkého obtékání křídla Onera M6 byl ve všech případech použit režim se vstupním Machovým číslem rovným 0,8395 a úhlem náběhu $3,06^\circ$, který je dobře experimentálně zdokumentován. Ve schématu 1 byla použita H i C–O síť, ve schématu 2 C–O síť a ve schématu 3 byla použita s nestrukturovaná síť, přičemž jednotlivými objemy byly čtyřštěny. Vypočtené rozložení c_p v různých řezech křídla je porovnáno s měřením.

Poděkování: Práce byla realizována za finanční podpory z prostředků státního rozpočtu prostřednictvím projektu Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy MSM 684077001 a MSM 0001066902.

Literatura

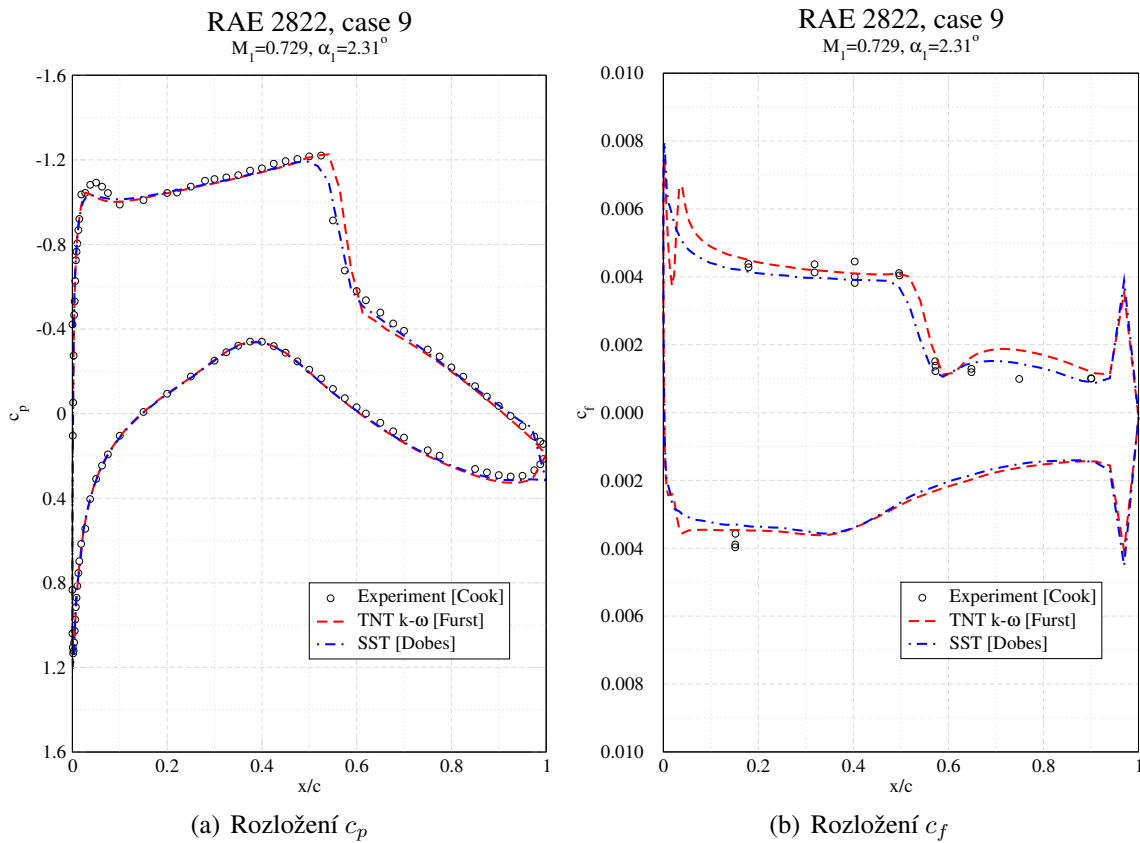
- [1] Dobeš, J., Fořt, J., Fürst J., Furmánek P., Kladrubský, M., Kozel, K., Louda, P. *Numerical Solution of Transonic Flow around a Profile and a Wing II*. Výzkumná zpráva V-1850/05, VZLÚ a.s. 2005
- [2] Dobeš, J., Fořt, J., Fürst J., Furmánek P., Kladrubský, M., Kozel, K. *Numerical Solution of Transonic Flow around a Profile and a Wing III*. Výzkumná zpráva R-4008, VZLÚ a.s. 2006
- [3] J. Fürst. The implicit WLSQR scheme for unsteady flows. In J. Příhoda and K.Kozel, editors, *Proceedings of "Topical Problems of Fluid Mechanics 2006"*, pages 59–62. IT CAS CZ, February 2006. ISBN 80-85918-98-6.
- [4] Pelant J., Kyncl M., Kladrubský M. *Project of CFD methods for the three-dimensional inviscid compressible flow around wings and cascades*. Zpráva VZLÚ, V-1817/04, 2004



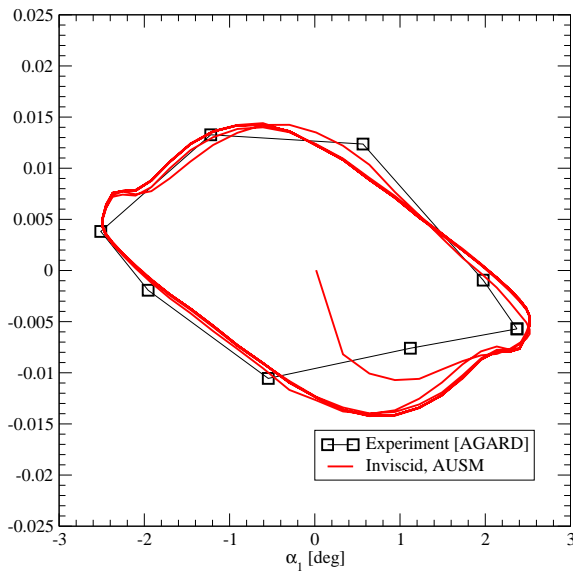
(a) WLSQR schéma, TNT $k - \omega$ model

(b) Roeho schéma, SST model

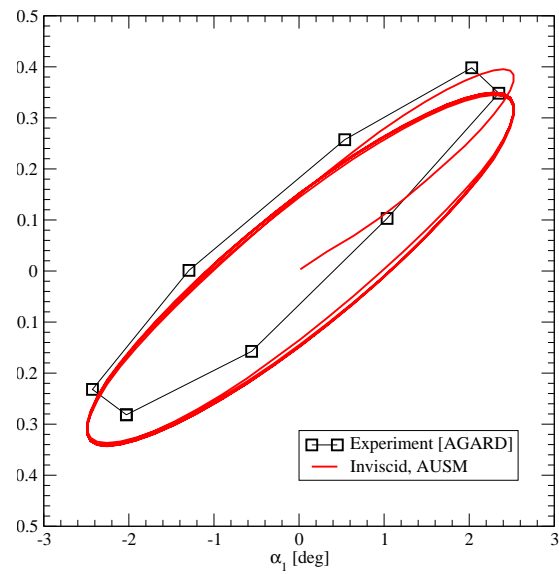
Obrázek 1: Izočáry Machova čísla pro obtékání RAE2822, režim 9, $\Delta M = 0.05$.



Obrázek 2: Turbulentní obtékání RAE 2822, režim 9.

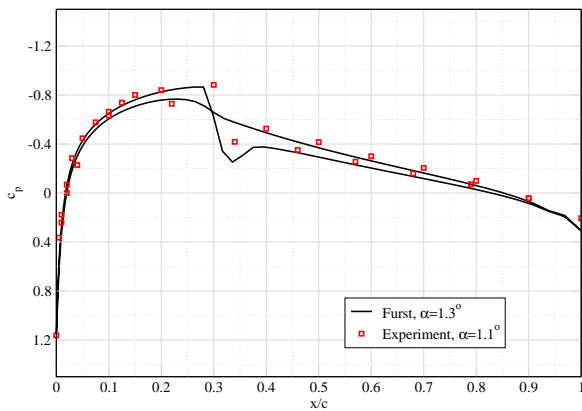


(a) Klopny moment c_m .

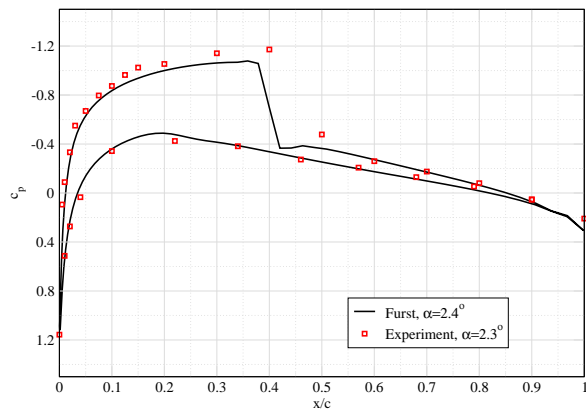


(b) Koeficient vzlaku c_n .

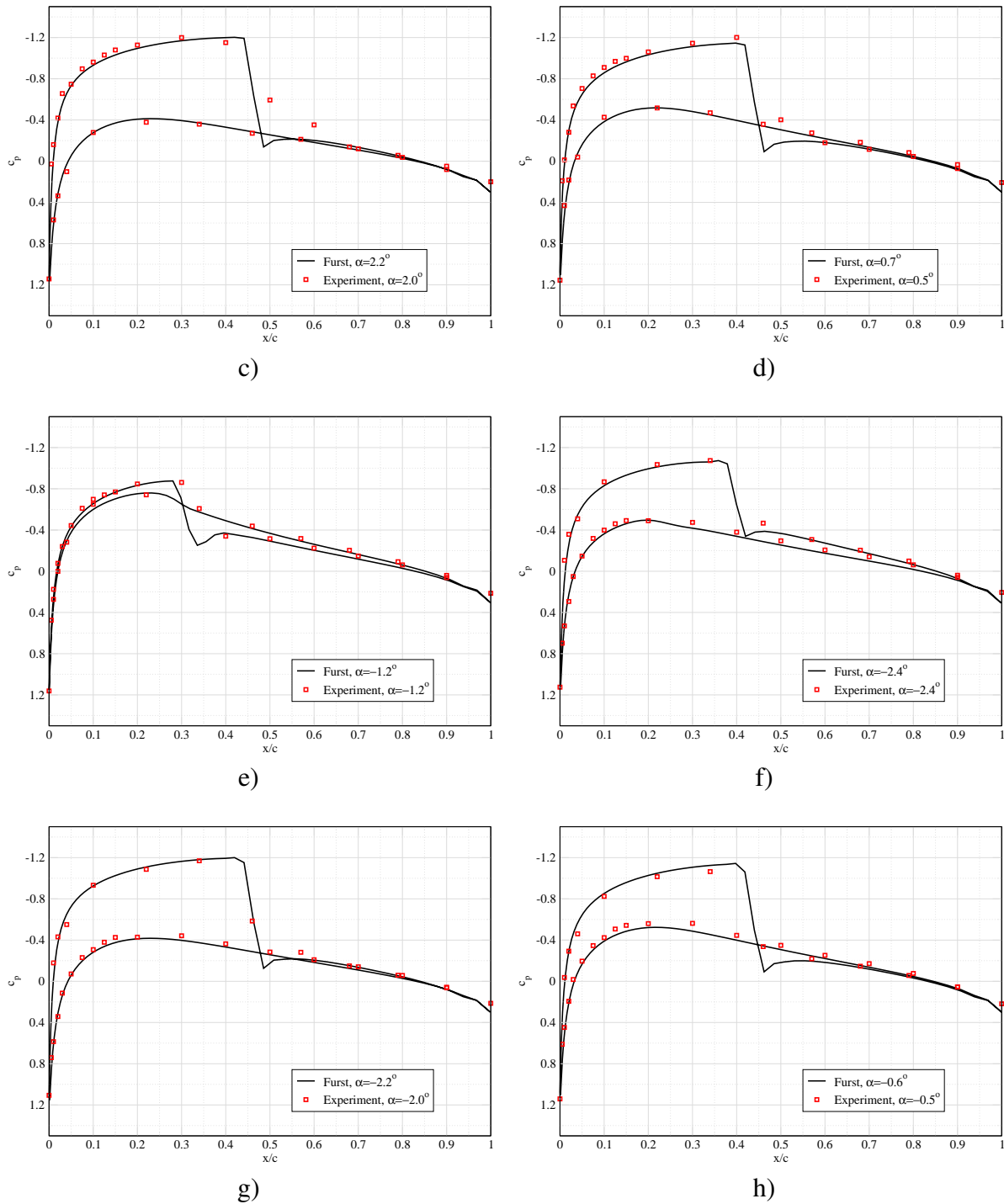
Obrázek 3: Závislost c_m a c_n na úhlu náběhu.



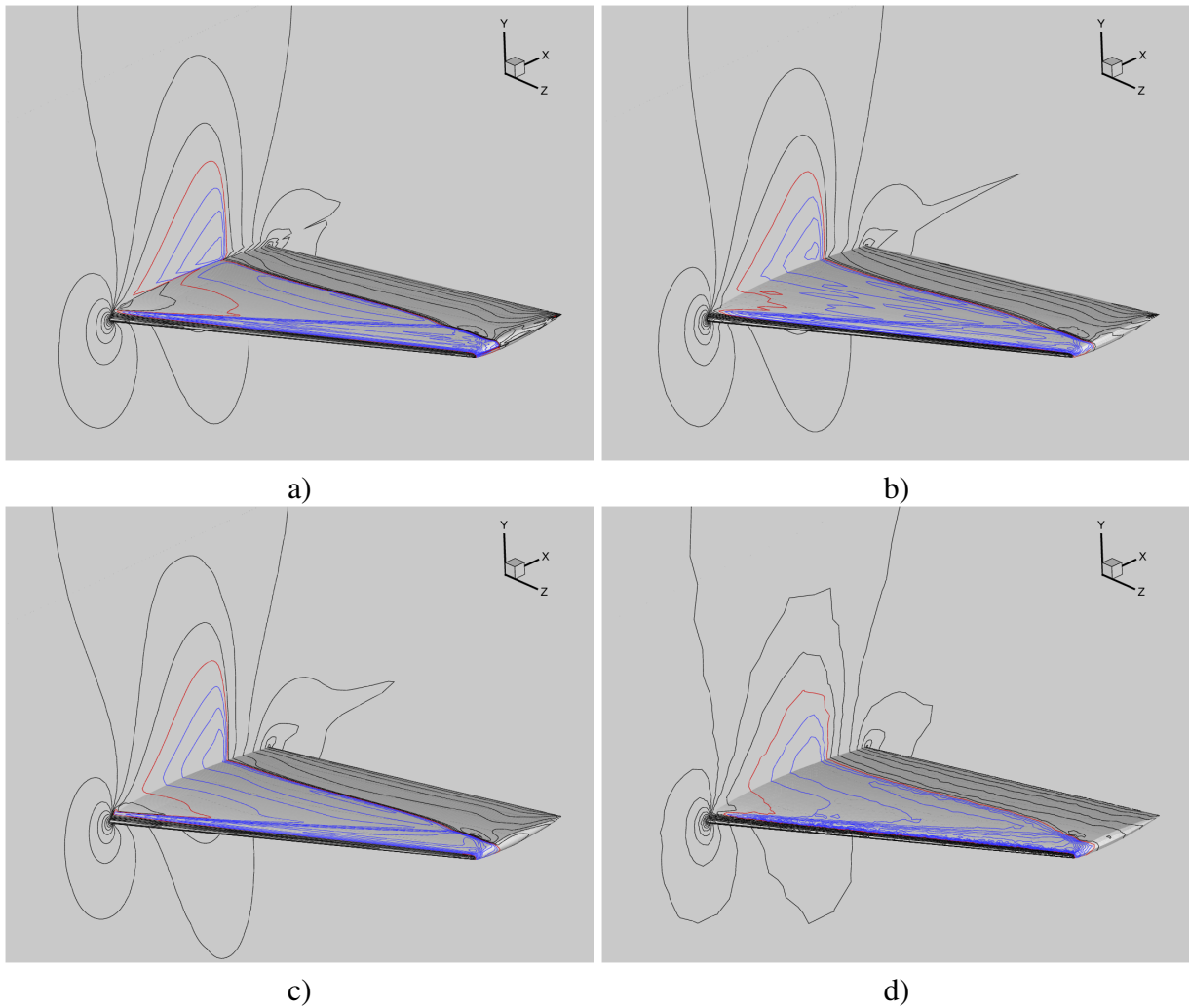
a)



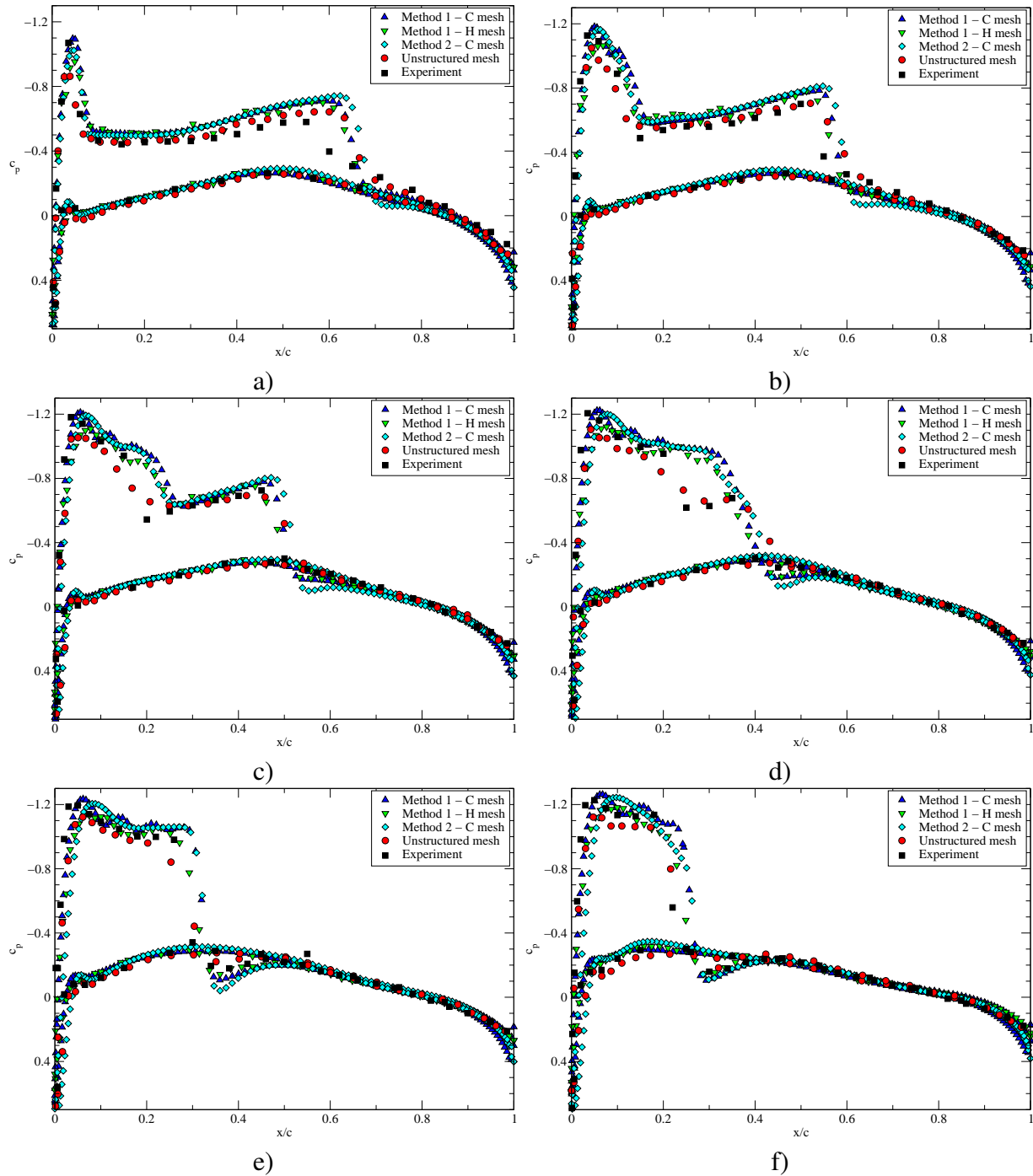
b)



Obrázek 4: NACA 0012, nestacionární proudění, rozložení c_p pro různé úhly náběhu, srovnání experimentu a numerických výsledků, $M_\infty = 0.755$.



Obrázek 5: Křídlo Onera M6. Pohled shora. Izočáry Machova čísla, $\Delta Ma = 0.05$. a) metoda 1, C-síť, b) metoda 1, H-síť, c) metoda 2, C-síť, d) metoda na nestructurované síti.



Obrázek 6: Křídlo Onera M6. Průběh c_p v řezu: a) 20 %, b) 44 %, c) 65 %, d) 80 %, e) 90 %, f) 95 % délky křídla. Porovnání metod.