

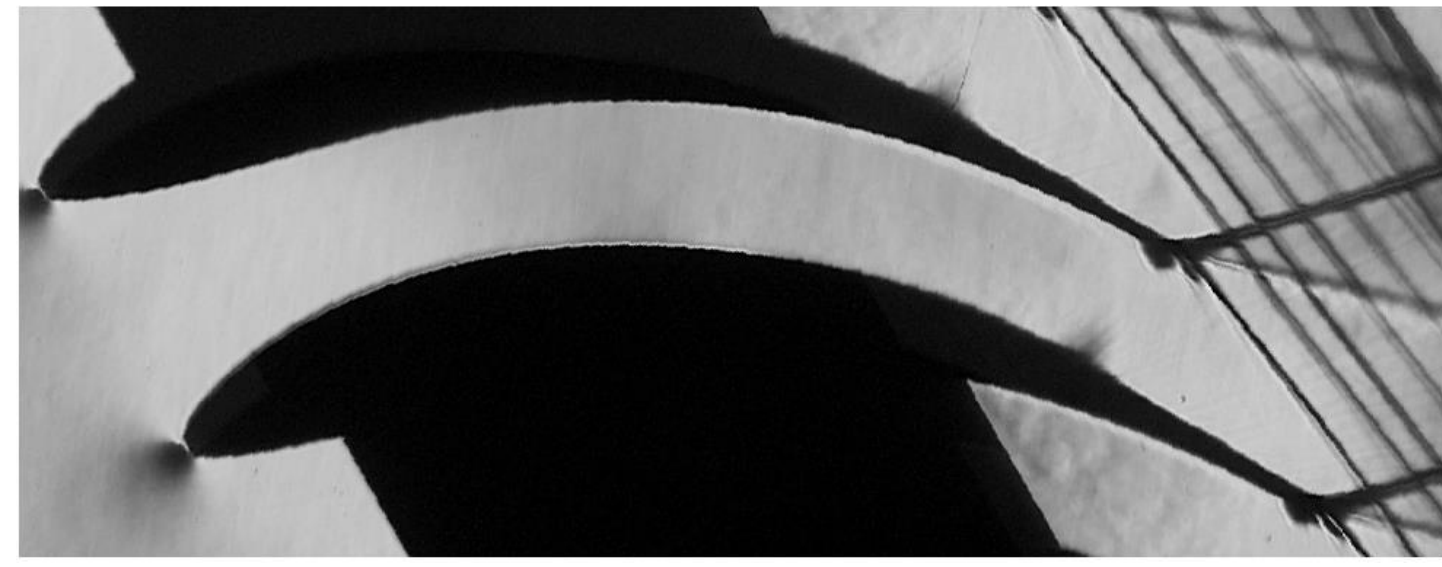
TVAROVÁ MODIFIKACE ROZVÁDĚCÍ LOPATKY KONCOVÝCH STUPŇŮ PARNÍCH TURBÍN

CÍL PRÁCE

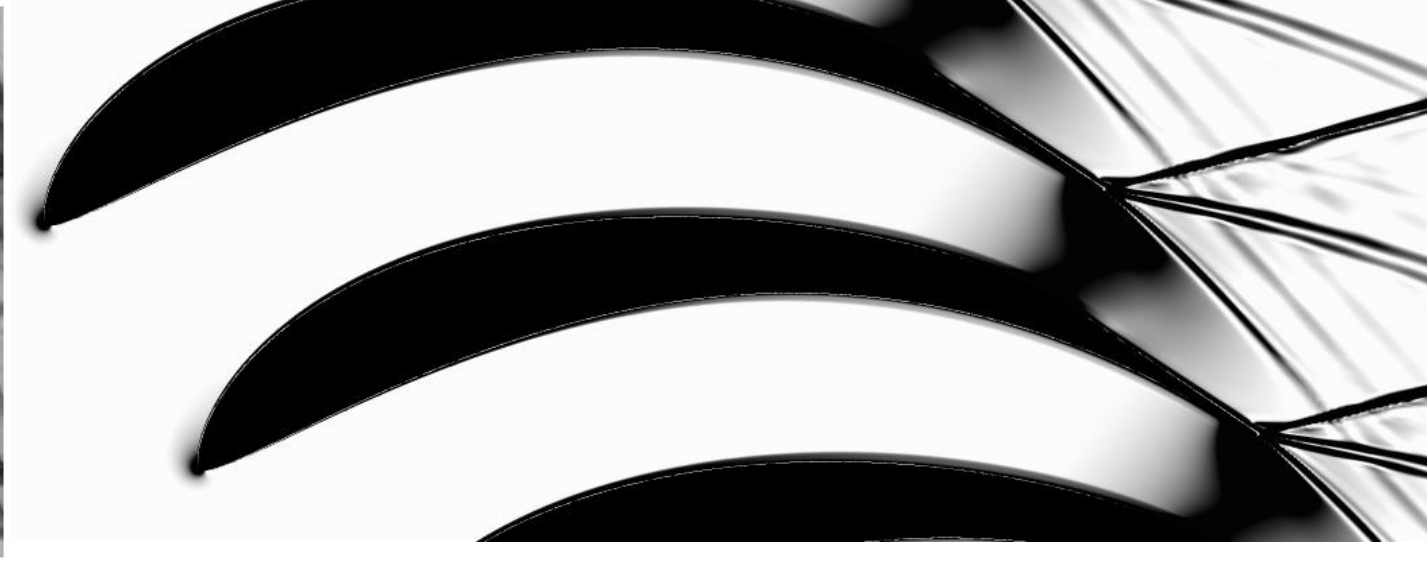
Zvýšení účinnosti posledního nízkotlakého stupně parní turbíny tvarovou modifikací rozváděcí lopatky a patní omezující plochy včetně zhodnocení pro různé provozní režimy.

VALIDACE NUMERICKÉHO MODELU S EXPERIMENTEM

Ve vysokorychlostním aerodynamickém tunelu v Novém Kníně ÚT AVČR byla provedena řada měření lopatkových profilů včetně patního profilu oběžné lopatky (Šimurda et al., 2014), která byla použita pro validaci našeho numerického modelu. Optická měření poskytla informace o struktuře proudového pole a rozložení rychlosti podél profilů. Pomocí dat získaných z pneumatických měření byly vyhodnoceny integrální parametry výstupního proudu, ztrátový součinitel kinetické energie ζ a výstupní úhel β_2 .



EXPERIMENT



NUMERICKÝ MODEL

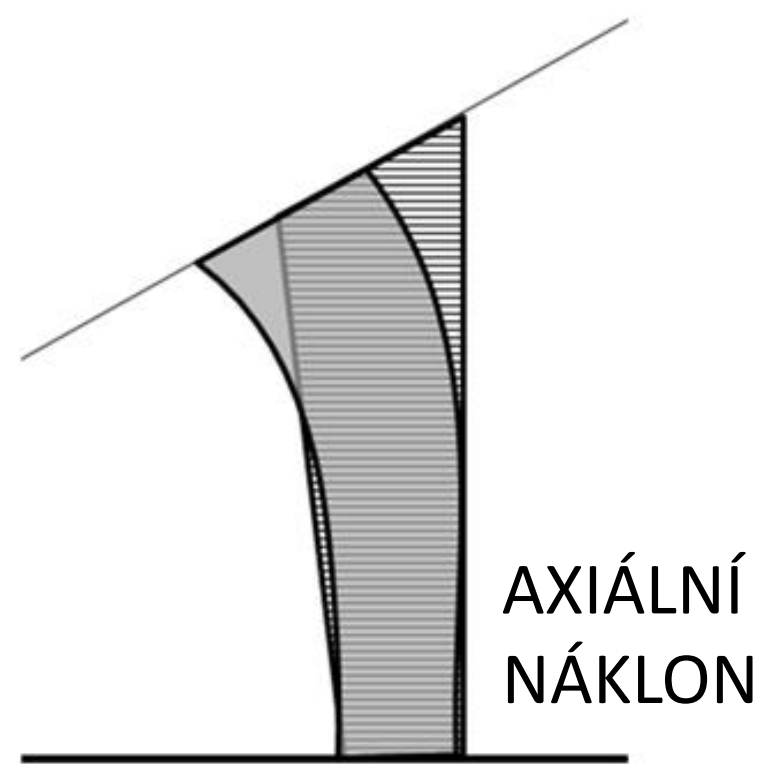
TVAROVÉ MODIFIKACE ROZVÁDĚCÍ LOPATKY POSLEDNÍHO STUPNĚ

Pro optimalizaci rozváděcí lopatky posledního stupně byla použita metoda Design of experiment (DOE) „Optimal Space Filling“ (OSF). Tato metoda nám umožňuje volbu vlastního počtu tvarových modifikací. V našem případě bylo spočteno 500 CFD výpočtů, každý s jiným tvarem RL posledního stupně.

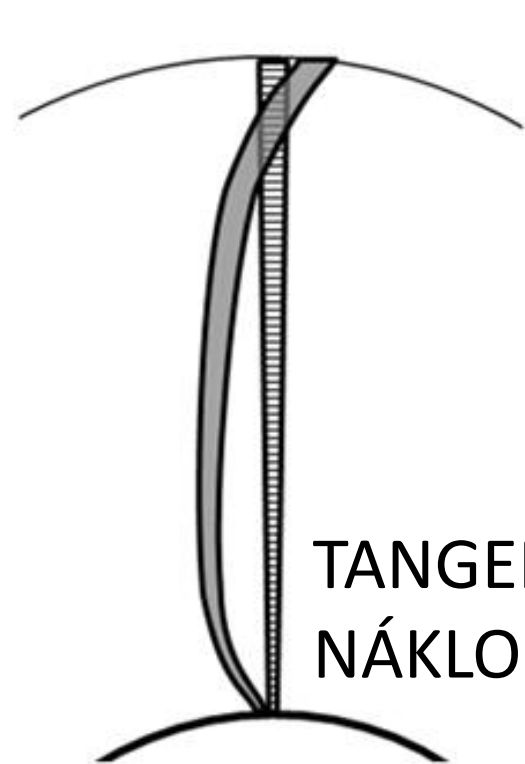


Rozváděcí lopatka byla modifikována pomocí kombinace tří metod, vhodných pro poslední turbínové stupně, kdy je zafixovaný tvar oběžné lopatky.

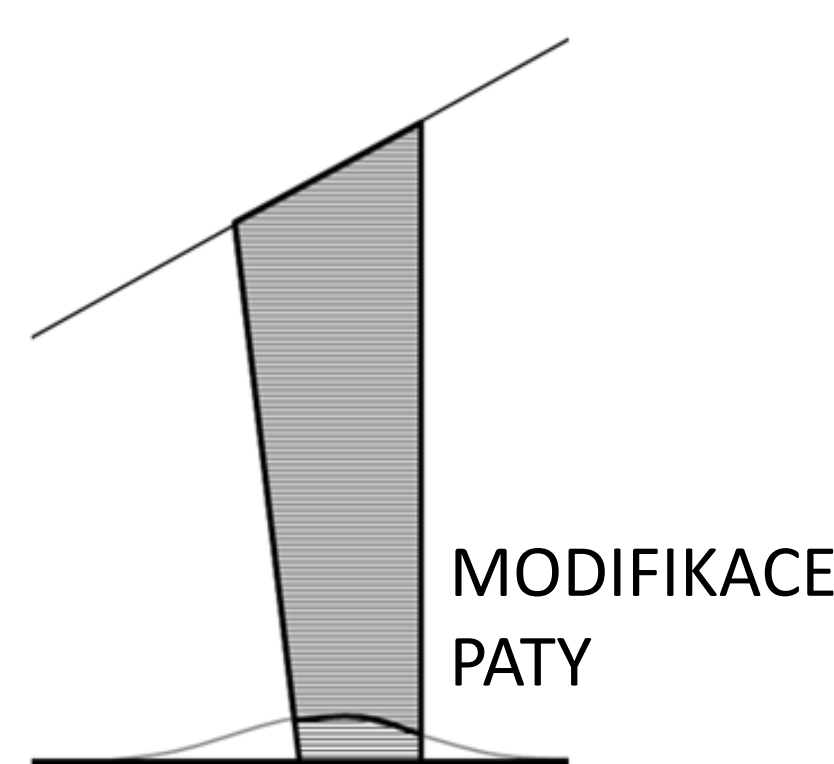
- Axiální náklon, který umožňuje pohyb lopatky v osovém směru.
- Tangenciální náklon který umožňuje náklon v obvodovém směru.
- Modifikace patní okrajové plochy.



AXIÁLNÍ NÁKLON

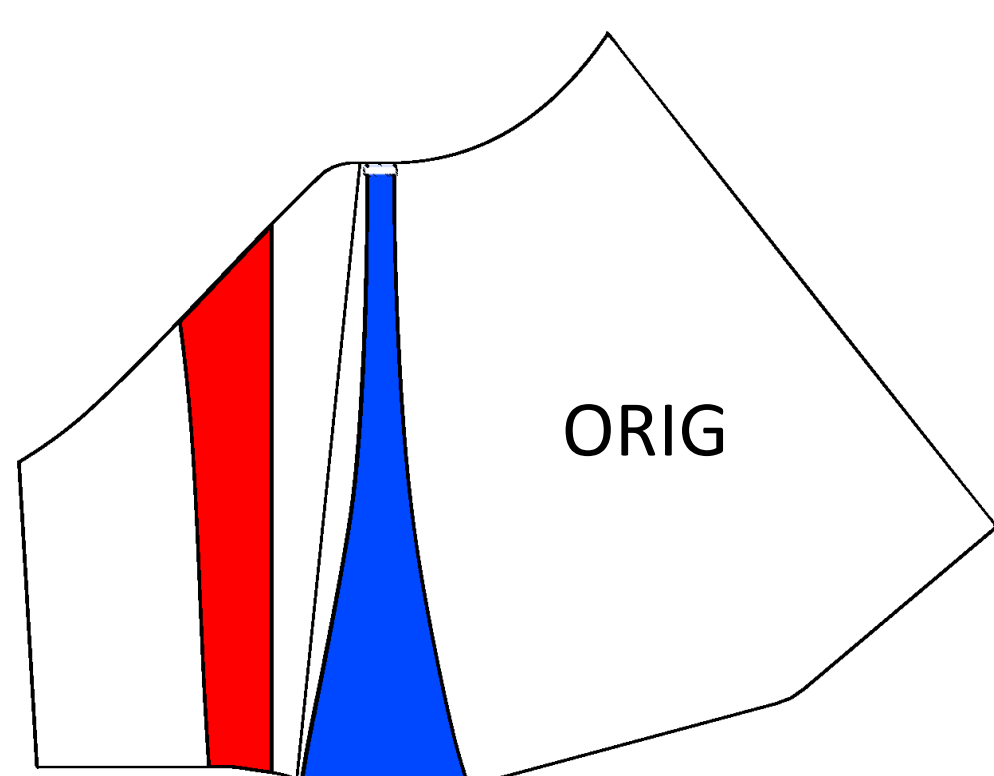


TANGENCIÁLNÍ NÁKLON

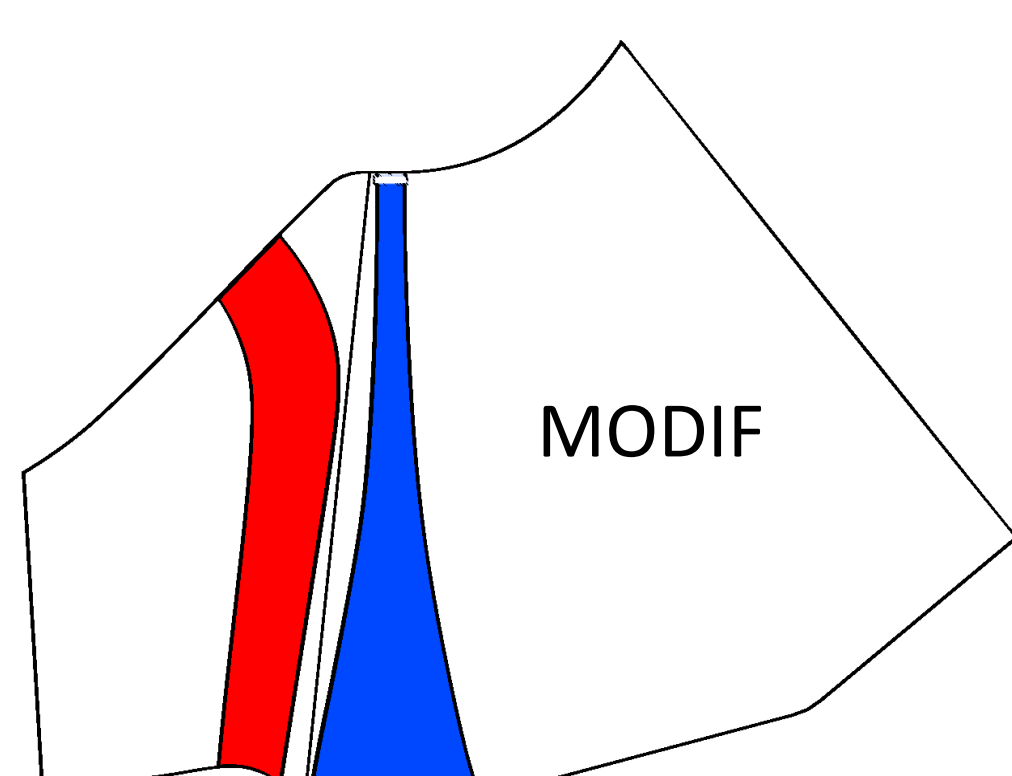


MODIFIKACE PATY

Celkem bylo použito 17 vstupních parametrů modifikujících tvar rozváděcí lopatky. Porovnání původní „ORIG“ a modifikované „MODIF“ rozváděcí lopatky posledního stupně je patrné z následujících obrázků



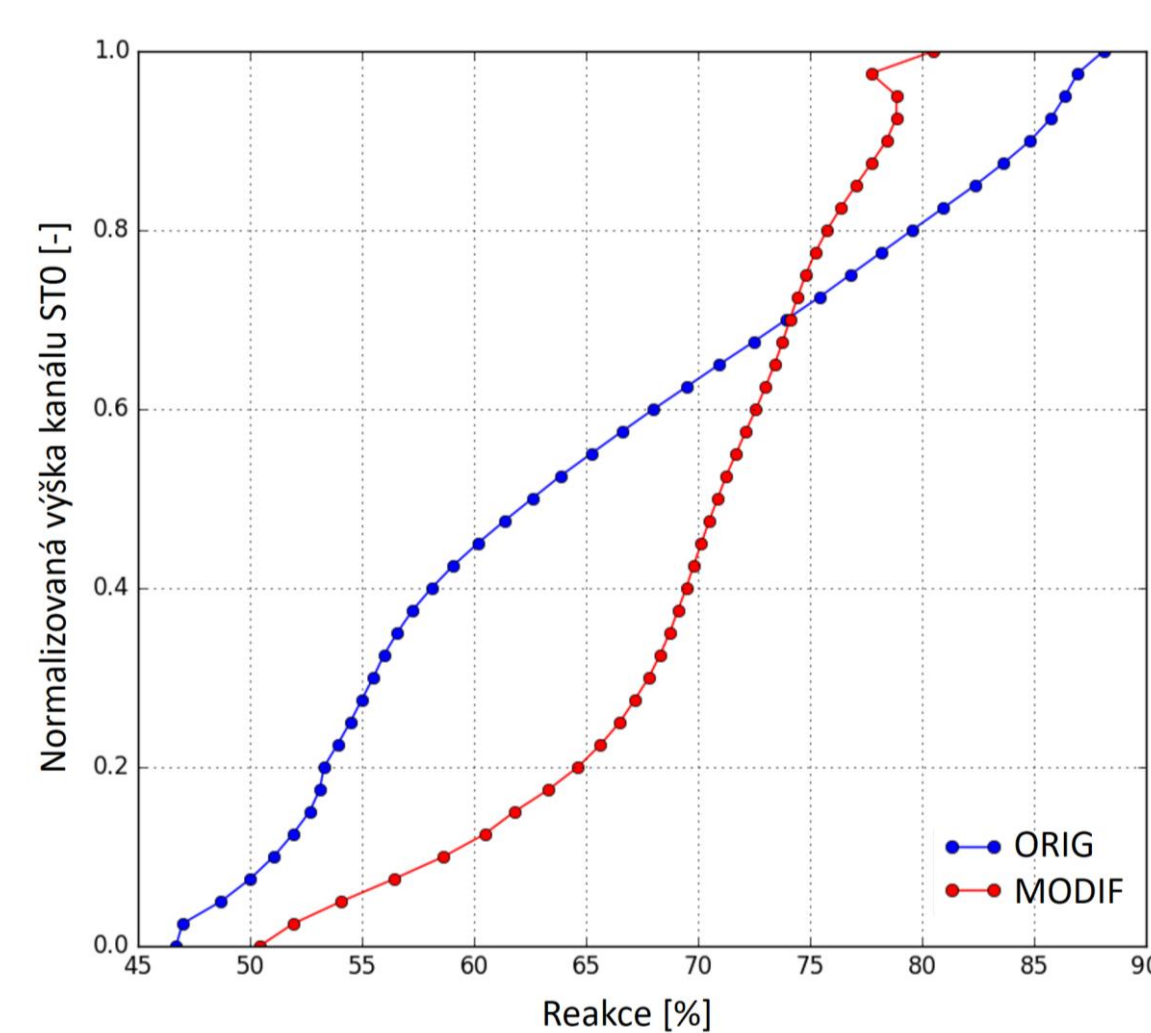
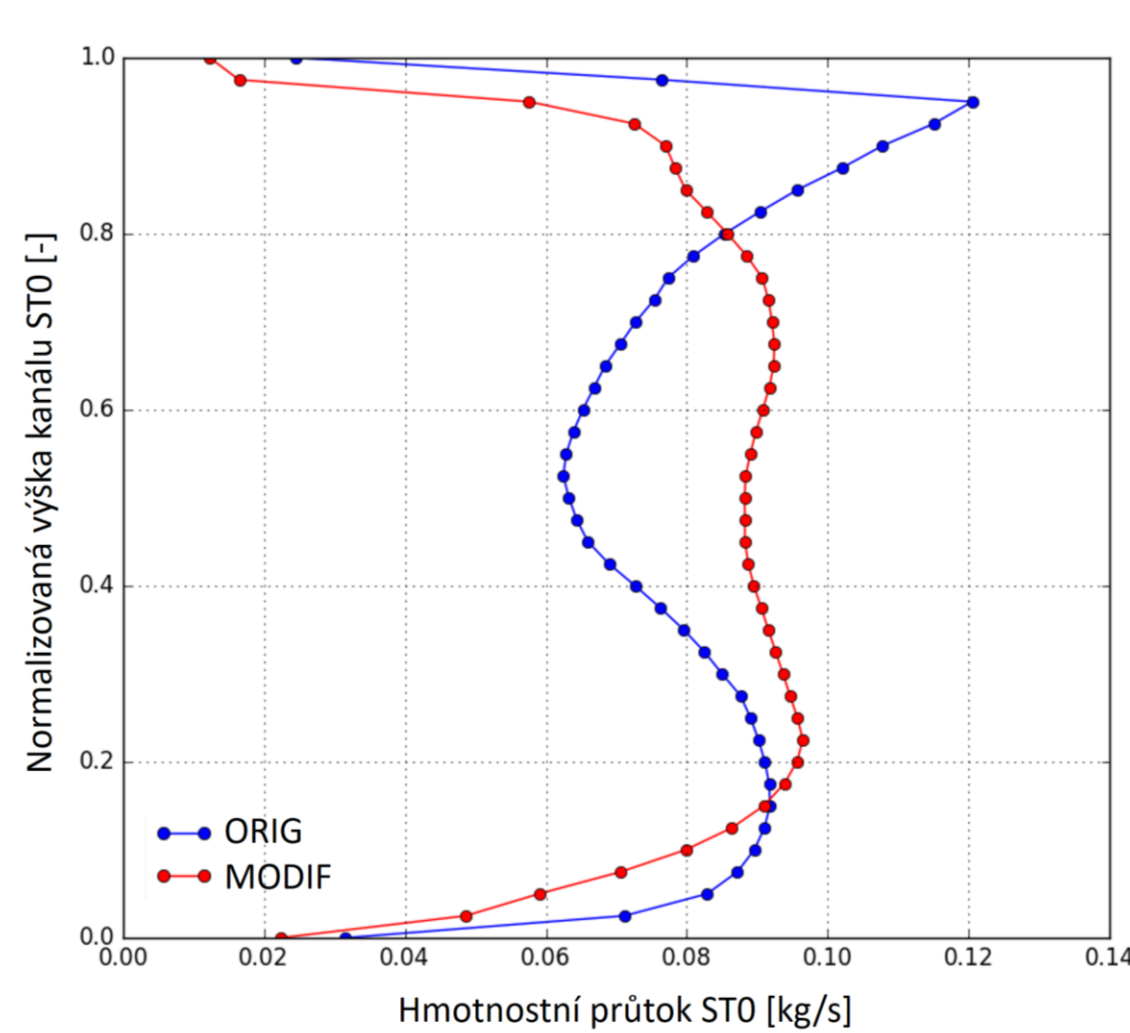
ORIG



MODIF

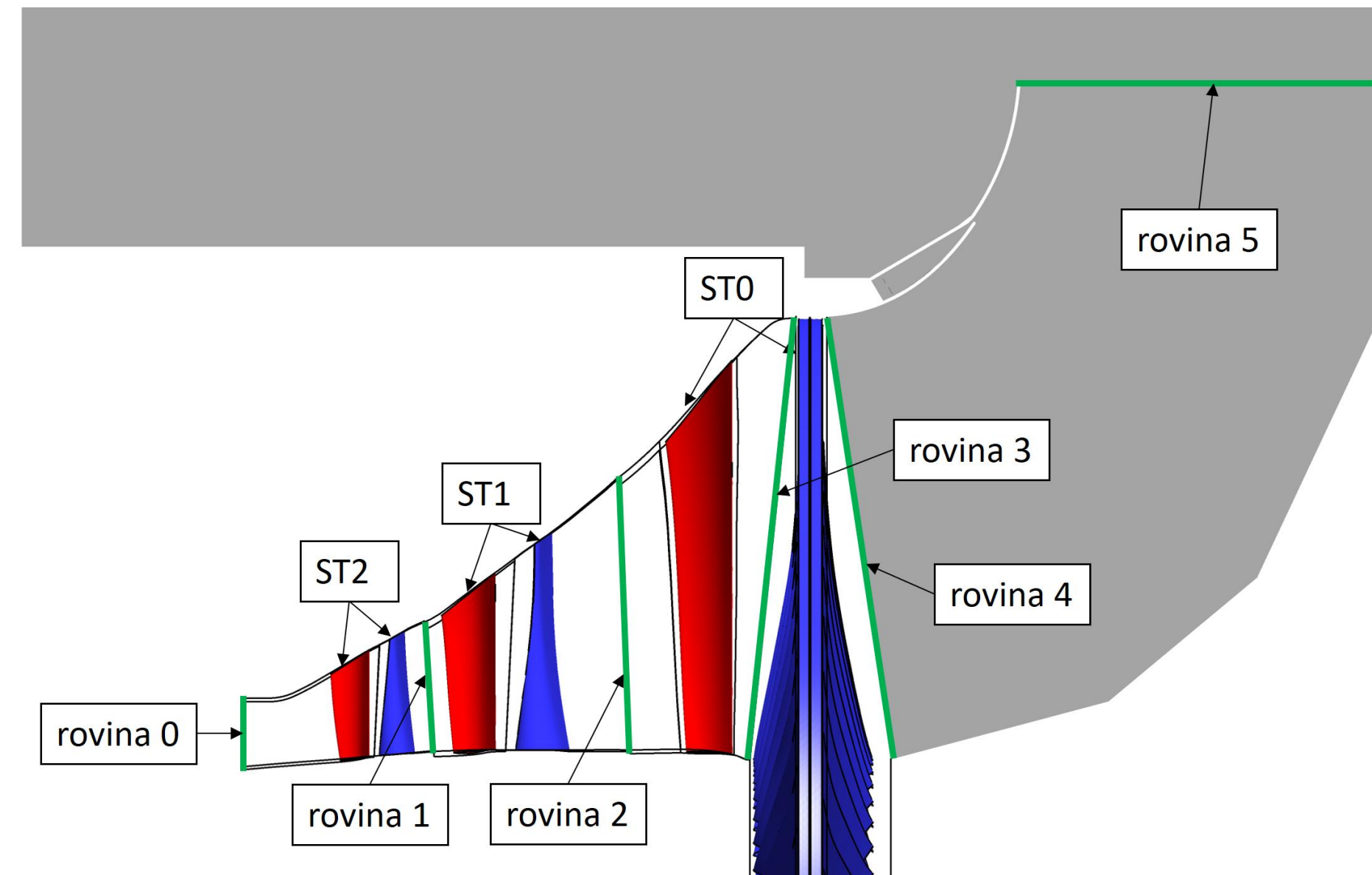
Výsledkem optimalizace je přerozdělení průtoku směrem ke středu u varianty MODIF, kde je nárůst směřován z okrajových částí do oblasti mezi 20 % - 80 % výšky lopatky, kde jsou nižší ztráty.

Rozložení reakce stupně je u varianty MODIF také zrovnoměrně, tzn. na špičce je reakce snížena o 8 % a na patě zvýšena o 3 %.



AERODYNAMICKÁ ANALÝZA NÍZKOTLAKÉHO DÍLU PARNÍ TURBÍNY PŘI NENÁVRHOVÝCH REŽIMECH

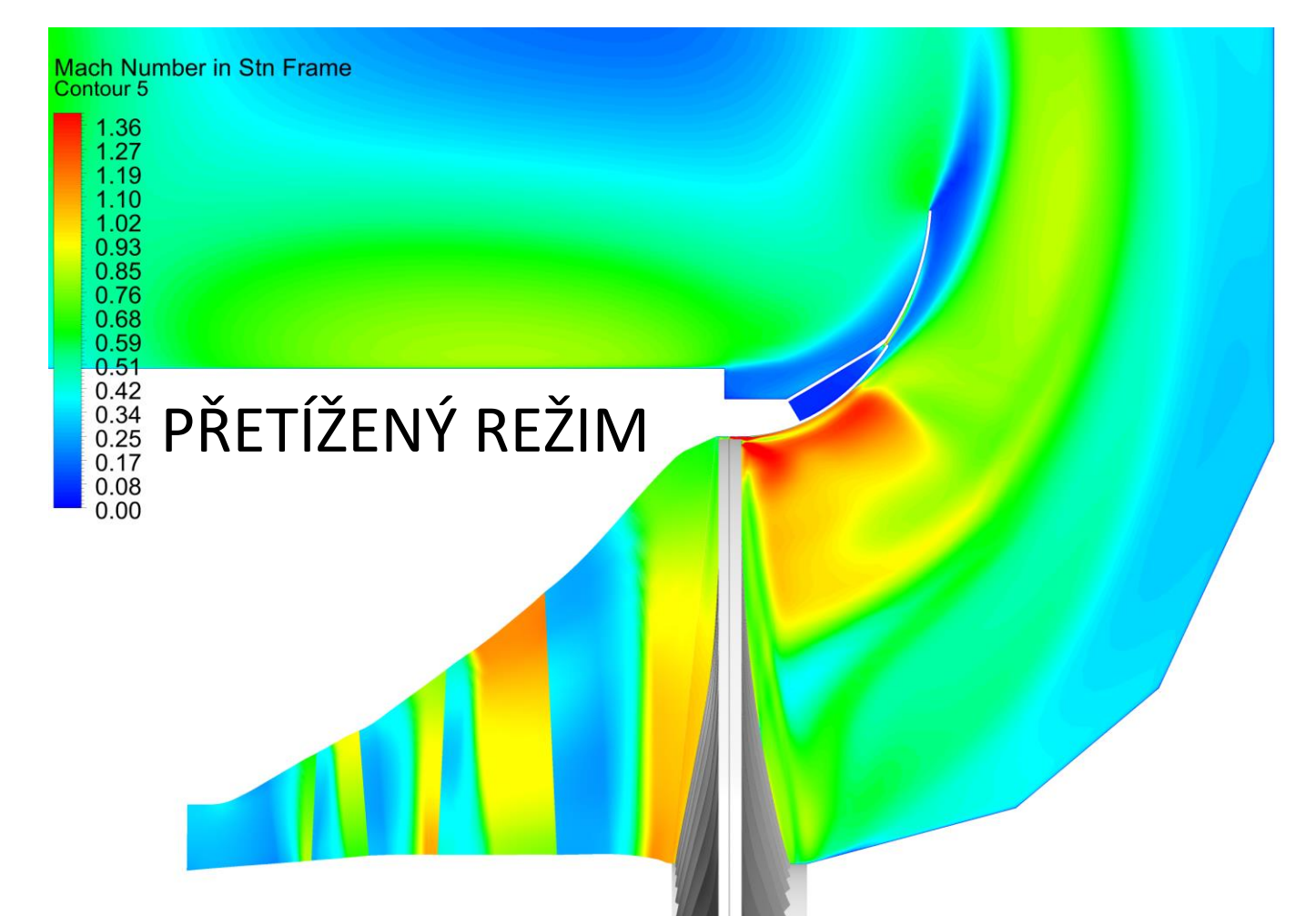
Aerodynamická analýza výsledků tvarové modifikace je provedena na komplexním numerickém modelu celého nízkotlakého dílu s výstupním tělesem.



Porovnání proudového pole v meridiálním řezu pro odlehčený a přetížený režim:



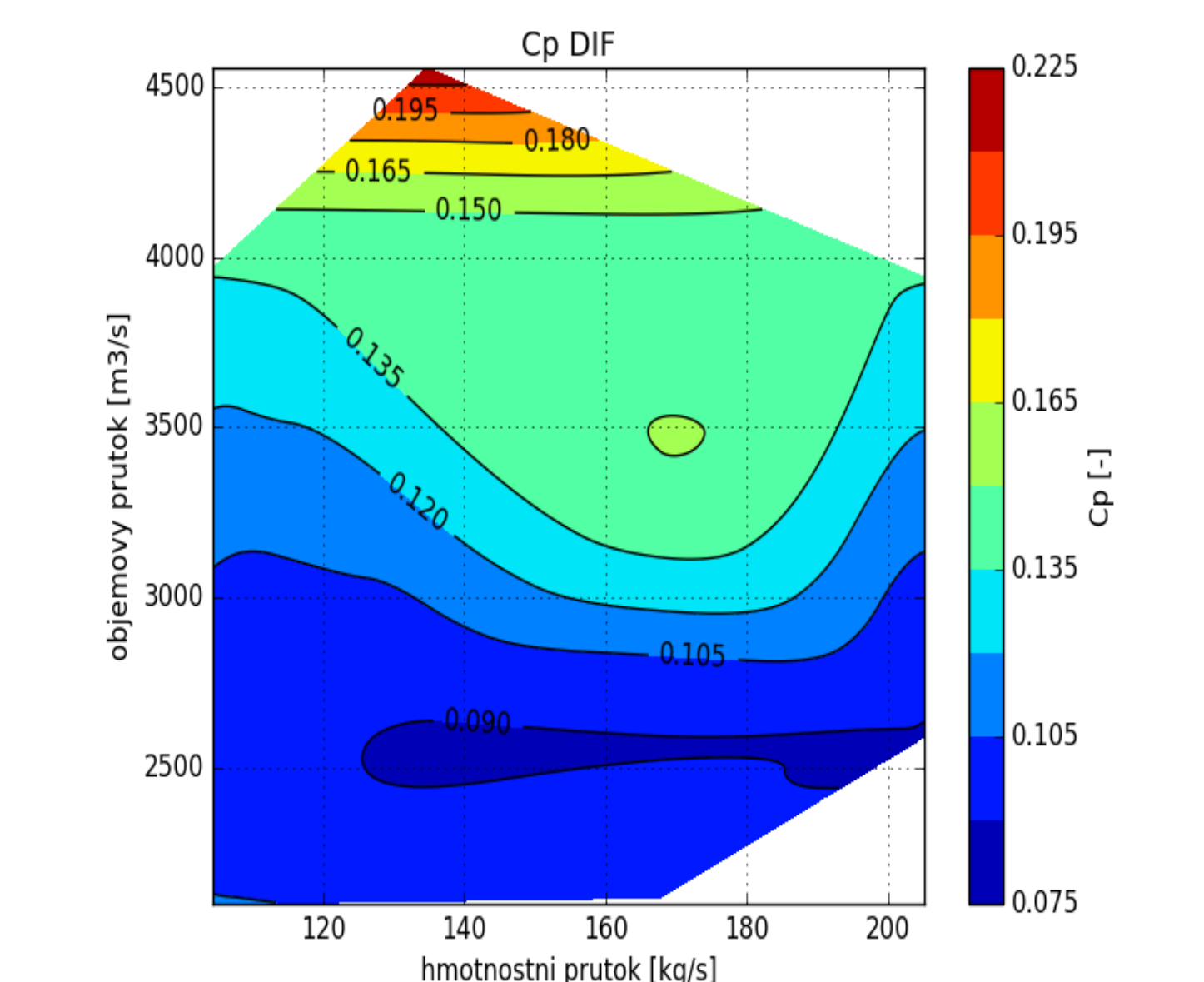
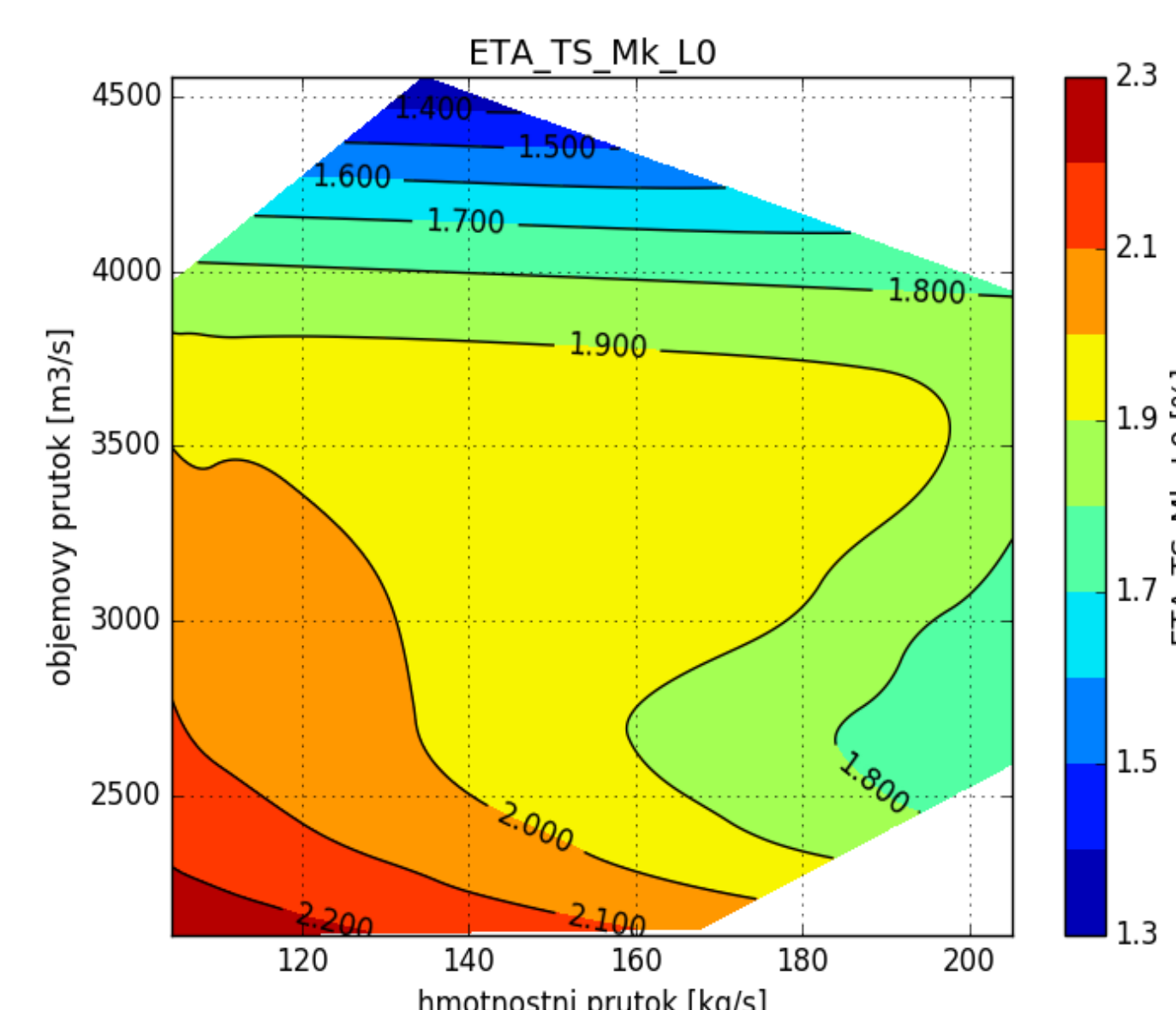
ODLEHČENÝ REŽIM



PŘETÍŽENÝ REŽIM

- U odlehčeného režimu dochází k přesunutí proudu ke špičce oběžné lopatky posledního stupně
- Přetížený režim je provázen supersonickým prouděním s výskytem rázových vln v difuzoru

Pracovní diagramy s rozdíly integrálních hodnot variant MODIF a ORIG ukazují, že nejvyšších příspěvků na účinnosti je dosaženo u odlehčených stavů. Nejvyšší nárůst součinitele zvýšení tlaku v difuzoru c_p je u stavů s velkým objemovým průtokem. Z toho je patrné, že je zde velká provázanost mezi jednotlivými částmi nízkotlakého dílu parní turbíny a je dobré je podrobně analyzovat a kontrolovat.



ZÁVĚR

- Na numerickém výpočtu patní mříže byla provedena validace modelu s experimentem a prokázána dobrá shoda s naměřenými daty. Odchylka ztrátového součinitele kinetické energie ζ od měření byla do 1 procentního bodu a u výstupního úhlu β_2 do 0,5°. Dobrá shoda byla dosažena i při porovnání gradientu hustoty získaným numerickou simulací a optického měření šířovou metodou.
- Modifikací rozváděcí lopatky posledního nízkotlakého stupně jsme dosáhli v porovnání s výchozím stavem zvýšení účinnosti na nízkotlakém díle o 0,92 procentního bodu a u posledního stupně téměř o 2 procentní body. Zvýšení účinnosti je dosaženo pro celý pracovní diagram parní turbíny.
- Navržená metodika se ukázala jako efektivní při zlepšování a analýze točivých strojů. Prezentovaná konkrétní tvarová modifikace RL byla realizována na počítači s 20 jádry a 256 GB operační paměti za přibližně 1 měsíc (příprava numerického modelu, výpočetní strojový čas).

PUBLIKACE PŘÍMO SOUVISEJÍCÍ S PRACÍ AUTORA

MACÁLKA, A., SYNÁČ, J., VÁCHOVÁ, J., HAJŠMAN, M.: Aerodynamic Optimization of Nozzle for Last Stage of Steam Turbine. ASME Turbo Expo 2015: Turbine Technical Conference and Exposition: Montreal, June 15-19, 2015. p. 5-9. GT2015-42396.

ŽIVNÝ, A., MACÁLKA, A., HOZNEDL, M., SEDLÁK, K., HAJŠMAN, M., KOLOVRATNÍK, M.: Numerical Investigation and Validation of the 1 090 MW Steam Turbine Exhaust Hood Flow Field. ASME Turbo Expo 2017: Turbine Technical Conference and Exposition: Charlotte, June 26-30, 2017. p. 1-9. GT2017-63576.

HOZNEDL, M., ŽIVNÝ, A., MACÁLKA, A., TAJČ, L., SEDLÁK, K., BEDNÁŘ, L., KALISTA, R.: The Pressure Field at the Output from a Low Pressure Exhaust Hood and Condenser Neck of the Steam Turbine 1090 MW – Experimental and Numerical Research. ASME Turbo Expo 2018: Turbine Technical Conference and Exposition: Oslo, June 11-15, 2018. p. 6-8. GT2018-75248.