



ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

FAKULTA STROJNÍ



KATEDRA ENERGETICKÝCH STROJŮ A ZAŘÍZENÍ

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI



JEDNOTLIVÝ PŘÍSPĚVEK ZE SBORNÍKU



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

NUMERICKÁ SIMULACE PROUDĚNÍ V ODLEHČENÉM VENTILU A URČENÍ NAMÁHÁNÍ VŘETENE OD AERODYNAMICKÝCH SIL

STRAKA František, MATAS Richard

This contribution subscribes a numerical simulation of a steam flow through the balanced control valve. Due to this simulation was the graph of aerodynamics force done for a specific turbine characteristic. Those results from numerical simulation were compared with results from experiment. The experiment dealt with an air flow, but the final data were converted with a criterion to the steam flow.

Klíčová slova: odlehčený ventil, ANSYS/Fluent, numerická simulace, silové účinky

Úvod

V této práci je popsána numerická simulace proudění páry v odlehčeném regulačním ventilu a její výsledky. Geometrický návrh tohoto modelu odlehčeného ventilu je dílem firmy ŠKODA Power s.r.o., jde o návrh ventilu, jenž se koncepčně liší od dosud dodávaných typů. Snahou popisované simulace tedy bylo získání detailnější informací o průběhu proudění skrze odlehčený ventil. Dalším cílem bylo vyhotovení silové charakteristiky, která odpovídá provozu ventilu - uvažované provozní charakteristice turbíny. Silová charakteristika dává přehled o průběhu zatěžování vřetene v závislosti na zdvihu ventilu. Pomocí této charakteristiky je možné ověřit, zda je předpokládané dimenzování pohonu vřetene dostatečné a kdy dochází k největšímu působení sil od průchodu páry ventilem. Po získání silové charakteristiky bylo možné porovnat výsledky z numerické simulace s výsledky z experimentálního měření. Měření probíhalo s jiným médiem, vzduchem a taktéž jinými parametry tohoto média. Pomocí přepočtu experimentálních výsledků na páru o stejných okrajových podmínkách bylo možno výsledky vzájemně porovnat.

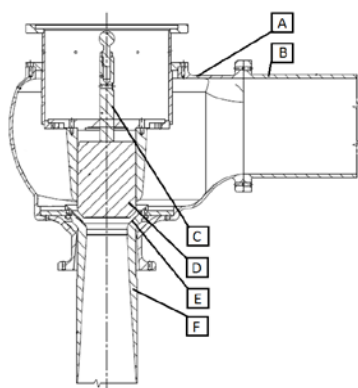
Vstupní soubory do numerických simulací byly vytvořeny v programovém balíku ANSYS 13.0. Tento software obsahuje program pro vytváření a úpravu geometrie - Design Modeler, program pro tvorbu sítě - Meshing a program pro výpočet a analýzu výsledků - Fluent. Pomocí těchto programů je zajištěna kompatibilní práce od navržení geometrie po získání výsledků ze simulace uvažované součásti. Poněkud nepříjemným zjištěním v průběhu simulace bylo, že program Meshing není zatím příliš efektivní pro generování sítí u takto složitých geometrií.

2. Regulační ventil a konstrukce odlehčeného regulačního ventilu

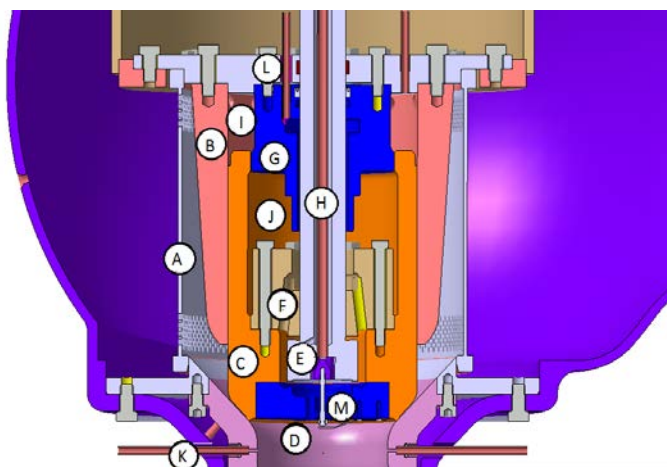
Regulační ventil je jedním z nejdůležitějších zařízení turbosoustrojí a slouží k regulaci jeho výkonu. Z požadavku na co nejvyšší účinnost těchto prvků existuje několik konstrukčních provedení, které odpovídají použití za určených, specifických podmínek. Jedná se například o tyto druhy: difuzorové, jednosedlové, dvojsedlové, odlehčené či neodlehčené apod.

Konstrukce regulačního, difuzorového, jednosedlového, neodlehčeného ventilu je zobrazena na obr. 1, kde je znázorněno schéma obecného regulačního ventilu. Část A charakterizuje komoru, do které ústí vstupní potrubí B s párou, a pomocí které je ventil obklopován parou ze všech

stran. Část C tvoří vřeteno, na které je napojen servopohon, který spojitě ovládá zdvih ventilu. Část D je kuželka ventilu. E pak znázorňuje sedlo ventilu, na které dosedá dosedací plocha ventilu. F znázorňuje výstupní část ventilu tvořenou divergentní dýzou.



Obr. 1: Schéma obecného regulačního ventilu



Obr. 2: Detail odlehčení uvažovaného odlehčeného regulačního ventilu

Konstrukce modelovaného ventilu byla s tímto shodná, ale vnitřní část ventilu je značně rozdílná. Tato odlišnost je zobrazena v detailním pohledu na odlehčující část regulačního ventilu na obr. 2, kde je schéma odlehčení ventilu. V této odlehčené verzi ventilu je součástí zařízení ještě vnitřní obtoková kuželka zvedající se před hlavní kuželkou. Oblasti K, L a M označují oblasti měření pomocí tlakových odběrů a tenzometrů při experimentálním měření. Část A znázorňuje síť, které usměrňuje a zrovnoměrňuje proudění páry a to především při vysokých zdvizech. B je objímka, ve které jsou vývrty, umožňující průchod páry do vnitřní části ventilu. I označuje 1. komoru a J 2. komoru. Mezi těmito komorami se nachází štěrbina, která je úzká 0,15 mm. Pomocí části G je z výroby nastavena poloha zavírání komor J a I. C je hlavní kuželka, která dosedá na dosedací plochu difuzoru. Mezi částmi J a F dochází při zdvihu 13 mm a výše k vytvoření 2. štěrbin, která má stejnou světlost jako 1. štěrbina, tj. 0,15 mm. Část F odděluje 2. komoru od obtokové části kuželky E. Tato obtoková kuželka je přímo spojena s vřetenem H ovládaným servopohonem. Skrz část M, která obsahuje několik vývrtů, dochází k výstupu páry odlehčením pod kuželku a dále do difuzoru.

Pomocí tlaků v jednotlivých částech odlehčení byly zjištěny síly, které působí na části hlavní a obtokové kuželky. Pomocí těchto sil byla následně stanovena silová charakteristika.

3. Software pro tvorbu a analýzu výpočtového modelu

Geometrie ventilu byla na základě CAD modelu vytvořena v softwaru ANSYS 13.0 modulem Design Modeler. Vytvořená geometrie obsahuje parametry, které umožňují regulovat zdvih ventilu. To je výhodné pro numerickou analýzu jakéhokoli požadovaného zdvihu bez další složité úpravy geometrie. Bez tohoto nastavení by bylo nutné veškerou geometrii importovat a tím by byla prakticky vyloučena možnost tuto geometrii dále upravovat.

Síť byla vytvořena v modulu Meshing. Zde je značné množství nastavení sítě. Bylo však zjištěno, že vnitřní algoritmus síťování není zcela vhodný pro složitější geometrie a neodpovídá očekáváním vkládaným do tohoto programu.

Vlastní simulace proudění byly prováděny modulem Fluent. To je multifunkční nástroj, který umožňuje komplexní řešení úloh typu proudění tekutin, přenosu tepla a hmoty, dále pak chemických reakcí a spalování, aerodynamiky a aeroakustiky.

4. Simulace proudění a analýza

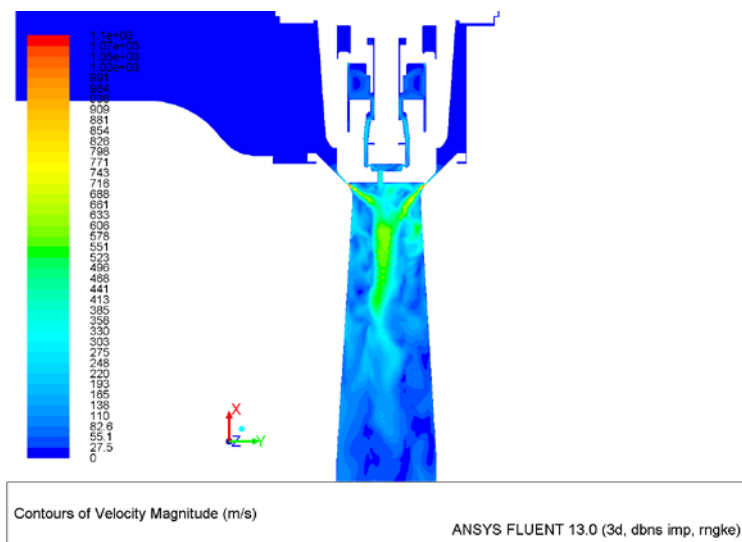
Simulace proudění byly provedeny pro 12 různých zdvihů se stanovenými tlakovými poměry. Jednalo se konkrétně o zdvihy [mm]: 0; 2; 6; 10; 11,5; 13; 15; 16; 18; 20; 27,4 a 30. Tlakové poměry odpovídají předpokládané charakteristice turbíny.

Médium ve výpočtech byla pára s vlastnostmi ideálního plynu. Vlastnosti média se liší pro jednotlivé zdvihy. Např. vlastnosti páry pro zdvih 11,5 mm, který je dále charakterizován obrázky 4 - 9 z následující stránky, jsou: tlak páry na výstupu z difuzoru $p_v = 1,1704$ MPa; tlakový poměr $\varepsilon = 0,819$; molekulová hmotnost $M_m = 18,564$ kg/kmol; plynová konstanta $R = 447,9$ J/kg/K; měrné teplo $c_p = 1937,1$ J/kg/K; dynamická viskozita $\nu = 2,07 \cdot 10^{-5}$ Ns/m²; tepelná vodivost $\lambda = 0,046174$ W/m/K. Tyto údaje jsou předpokládanými stavy páry, které byly stanoveny dle standardních postupů. Univerzálními parametry byly: vstupní tlak páry $p_0 = 1,429$ MPa; teplota páry na vstupu $t = 326$ °C.

Z výsledků, které jsou charakterizovány obrázky na další stránce, je patrné, že proudění přes úzké štěrby pomocí softwaru Fluent je řešitelné, nicméně je ale otázkou pro další studie, jak velká je odchylka od reálného stavu.

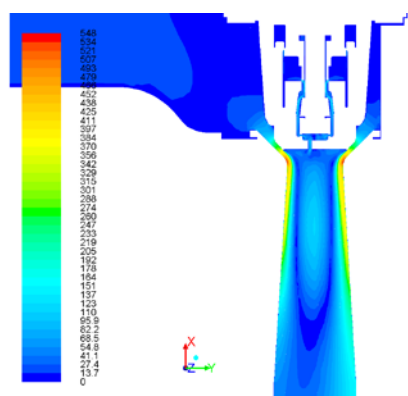
Průtok přes odlehčení je vůči průtoku přes celý ventil zanedbatelný, pohybuje se v řádu 1%.

Průběh proudění v samotném ventilu byl až na výjimky stacionární. Příkladem jsou právě obrázky 4 až 9, které charakterizují proudová pole. Výjimkami byly zdvihy 2 mm, 27,4 mm a 30 mm. Při zdvihu 2 mm (Obr. 3) dochází vlivem velké tlakové změny pod kuželkou k velké turbulenci proudění a k odtrhávání proudu páry od stěny difuzoru. U vysokých zdvihů je problémem již značný průtok a také méně stabilní proudění.



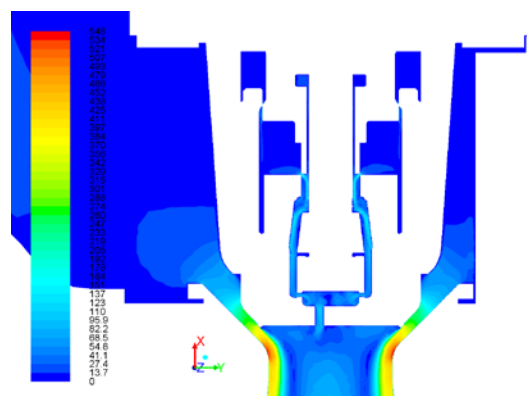
Obr. 3: Ukázka rychlosti proudového pole u zdvihu 2 mm

Výsledky zdvihu 11,5 mm a obrazy získaných tlakových a rychlostních polí v řezu ventilem jsou na následující stránce. Je z nich patrný charakter proudění a rozložení tlaku jak v hlavním proudu, tak v odlehčovacím systému.



Contours of Velocity Magnitude (m/s)

ANSYS FLUENT 13.0 (3d, dbns imp, mgke)

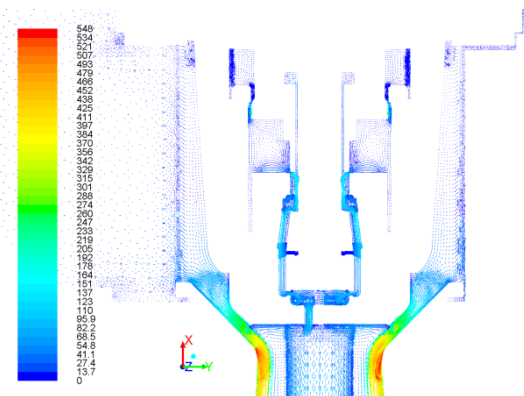


Contours of Velocity Magnitude (m/s)

ANSYS FLUENT 13.0 (3d, dbns imp, mgke)

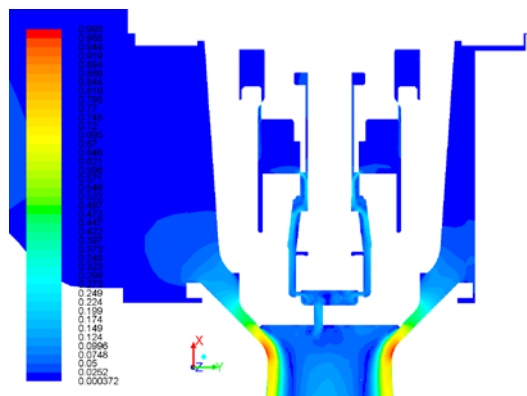
Obr. 4 Rozložení rychlosti

Obr. 5 Detail rozložení rychlosti



Velocity Vectors Colored By Velocity Magnitude (m/s)

ANSYS FLUENT 13.0 (3d, dbns imp, mgke)

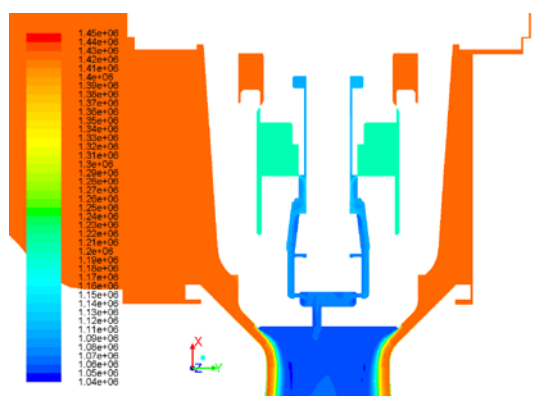


Contours of Mach Number

ANSYS FLUENT 13.0 (3d, dbns imp, mgke)

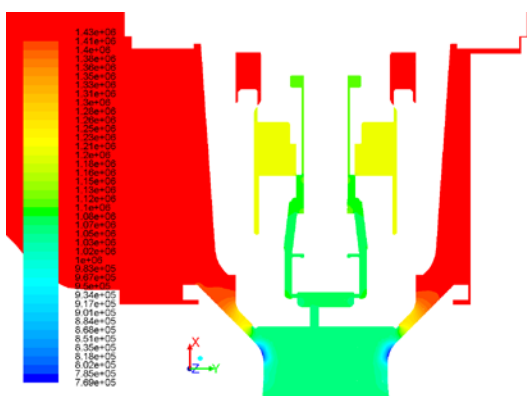
Obr. 6 Vektory rychlosti

Obr. 7 Machovo číslo



Contours of Total Pressure (pascal)

ANSYS FLUENT 13.0 (3d, dbns imp, mgke)



Contours of Static Pressure (pascal)

ANSYS FLUENT 13.0 (3d, dbns imp, mgke)

Obr. 8 Celkový tlak

Obr. 9 Statický tlak

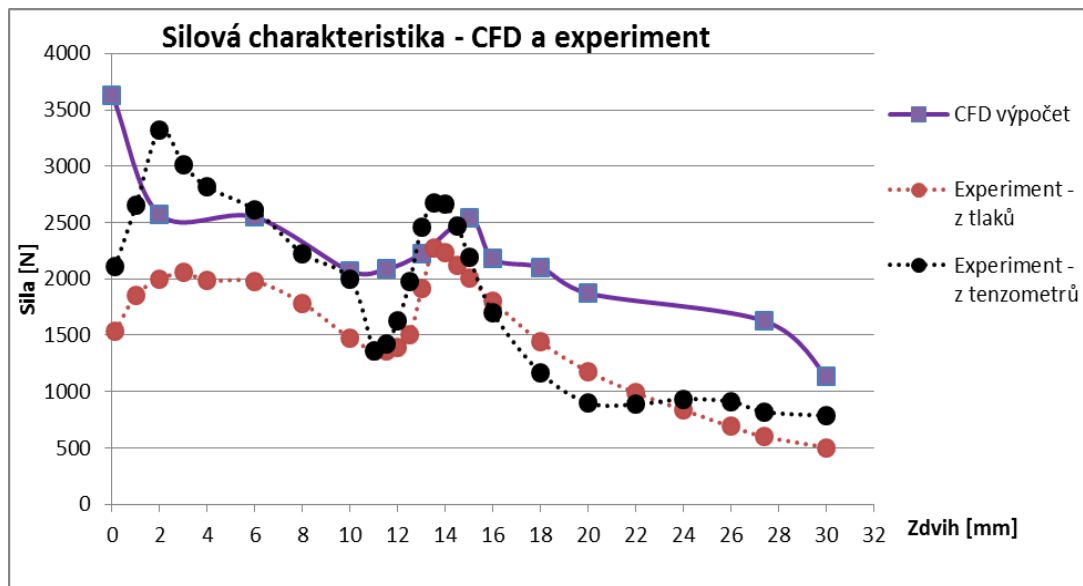
5. Silová charakteristika a porovnání

Silová charakteristika byla vytvořena pomocí odečtu tlaků v těch částech ventilu, které působí na hlavní či obtokovou část ventilu. Výsledkem je křivka označená CFD výpočet v grafu na obr. 10. Další dvě křivky označují výsledky z experimentálního měření. Výsledky měření se liší podle způsobu zjišťování sil. Jednou metodou bylo přímé zjišťování síly pomocí tenzometru upevněného na určité části ventilu. Dalším způsobem měření bylo zjištění tlaků pomocí tlakových odběrů a následným přepočítáním přes plochy, na které odpovídající tlaky působí.

Při přímém pohledu na průběh sil v grafu lze konstatovat, že charakteristika síly zevrubně kopíruje křivky získané experimentálně. Hodnota křivky v bodě 0 ale neodpovídá hodnotě z experimentu. To je dáno způsobem experimentálního měření. Pro tak nízké hodnoty tlaku nebylo měření možné a hodnoty byly získány interpolací. Jak je ale vidět, tato metoda se značně liší od výsledku z numerické simulace.

Dále lze z grafu vyčíst, že největší síla působí na kuželku při nulovém zdvihu. Při tomto zdvihu je obtoková kuželka otevřena. Graf sil má globální sestupnou tendenci, což značí, že s výškou zdvihu se síla na vřeteno od aerodynamických sil zmenšuje. Zajímavá oblast v grafu je mezi zdvihem 12 a 18, kdy se stabilizační síla lokálně zvětšuje. To je dáno funkcí odlehčení, které v této fázi přestává fungovat.

Dále je k povšimnutí bod 2, který leží výrazně pod očekávanou hodnotou. Může to být dáno tím, že (jak ukázaly hodnoty proudových polí) proudění je zde nestacionární a dochází k odtržení proudu od difuzoru. Zůstává otázkou, zda tyto okolnosti mohou takovouto mírou ovlivnit řešení. Na vině by mohla být také vygenerovaná výpočetní síť.



Obr. 10 Silové charakteristiky získané různými způsoby

Závěr

Pomocí numerické simulace provedené v softwaru Fluent v programovém balíku ANSYS byly získány výsledky proudění páry odlehčeným regulačním ventilem. Průběh proudění ukázal na, vcelku očekávané, nestacionární proudění při určitých zdvizích. Tím bylo také prokázáno, že problematika proudění skrze velmi úzké šterbiny řešit lze, byť obtížně. Není však zatím bohužel

provedena citlivostní analýza, která by napověděla více o přesnosti řešení v těchto částech odlehčeného ventilu.

Pomocí získaných výsledků simulací byla sestavena silová charakteristika ventilu. Ta znázorňuje silové namáhání vřetena, které spojitě reguluje zdvih ventilu. Bylo také zjištěno, že velmi výrazný vliv na určení silové charakteristiky má přesné určení protitlaku na výstupu z difuzoru. Například při vysokém zdvihu je rozdíl tlaku v 1 % charakterizován rozdílem 10 % v síle na vřeteno od aerodynamických sil. Výrazný vliv na výsledky simulací má také použitá síť. U takovýchto nejednoduchých modelů je nutné mít vhodný software pro rychlé vygenerování vhodné a kvalitní výpočetní sítě.

Silová charakteristika získaná numerickými simulacemi byla porovnána s charakteristikou, která byla získána pomocí experimentálního měření. Zde bylo zjištěno, že průběh síly zjištěné ze simulace je podobný průběhu síly zjištěného z experimentu. Podobný znamená podobnou tendenci, která je globálně sestupná. Lokálně byly také podobné oblasti, které charakterizují oblast neodlehčení, kde se síla na vřeteno náhle zvětšuje. Oblast sil, kde se pohybují tyto charakteristiky, byly také velmi podobné, dalo by se říci totožné. Absolutní hodnoty sil bude nutno dále porovnat s výsledky pokračujících zpřesněných měření a dále s výsledky na odlišné výpočetní síti.

Námětem pro další pokračování výzkumu s podporou numerického modelování proudění odlehčeným ventilem by bylo provést větší množství simulací pro oblast mezi 10 – 16 mm, kde dochází k uzavírání a otevírání jednotlivých komor. Dále provedení citlivostní analýzy vlivu světlosti štěrbin na průběh proudění a také určení vlivu kvality sítě na průběh proudění tímto typem odlehčeného ventilu.

Literatura

- [1] Tajč, L., Bednář, L., Poskočilová, M., Krejčík, J.: *Regulační ventily parních turbín*, výzkumná zpráva ŠKODA, VZTP 0974, Plzeň 2005
- [2] HAJŠMAN, J. *Výpočet průtokové charakteristiky ventilu s různými vstupními průměry sedla*, diplomová práce ZČU KKE, 2011
- [3] Jirka, L.: *Výpočtová studie proudění páry regulačním ventilem*, diplomová práce, Západočeská univerzita v Plzni, Plzeň 2007
- [4] Matas, R.: *Numerické simulace proudění v regulačních ventilech s interakcemi*, disertační práce, Západočeská univerzita v Plzni, Plzeň 2003

Poděkování

Tato práce byla podpořena specifickým výzkumem (projekt ZČU SGS-2010-040).

The access to the MetaCentrum computing facilities provided under the programme "Projects of Large Infrastructure for Research, Development, and Innovations" LM2010005 funded by the Ministry of Education, Youth, and Sports of the Czech Republic is acknowledged.

Bc. STRAKA František, ZČU/FST – KKE, Univerzitní 8, 306 14 Plzeň,
e-mail: strakafra@gmail.com

Ing. MATAS Richard, Ph.D., ZČU/NTC, Univerzitní 8, 306 14 Plzeň, tel.: 377634705,
e-mail: mata@ntc.zcu.cz