



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

VLIV ZKRACOVÁNÍ AXIÁLNÍ DÉLKY DIFUZORU V JEDNOPROUDÉM VÝSTUPNÍM HRDLE PARNÍ TURBÍNY

POUBA Zdeněk, SEDLÁK Kamil, HOZNEDL Michal

The main purpose of the experimental work was to determine the effect of the shape of diffuser on losses. There were two alternative diffusers studied in test section. Every alternative was due to small change of axial length measured in two test modes, with and without insertion panel. The study was carried out at the model of steam turbine exhaust hood which had been attached to low speed wind tunnel.

Klíčová slova: výstupní těleso, difuzor, ztrátový součinitel

Úvod

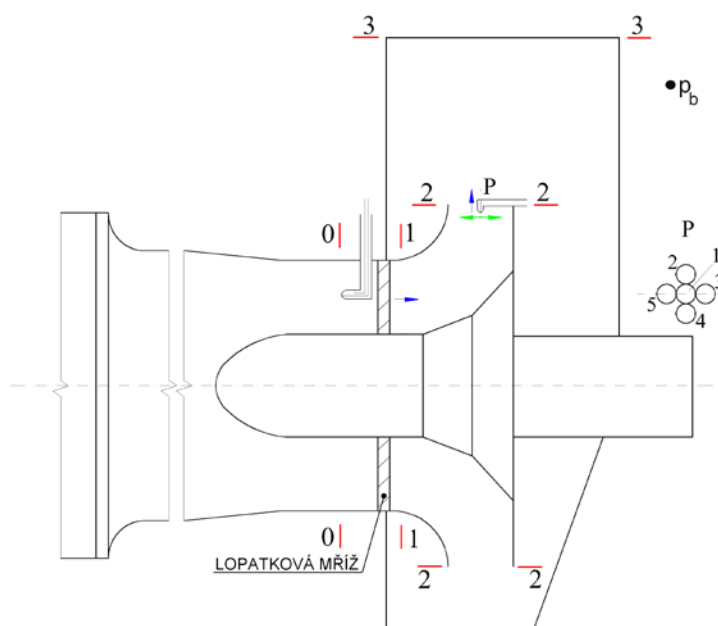
Hlavní funkcí axiálně-radiálního difuzoru a výstupního hrdla parní turbíny je otočení proudu média, vystupujícího z posledního stupně turbíny v axiálním směru, do směru radiálního tak, aby bylo dosaženo vhodného rozložení rychlostí páry na vstupu do kondenzátoru za vzniku co nejmenších ztrát. Výstupní hrdlo je z pohledu aerodynamiky poměrně složité zařízení, protože dochází ke změně směru proudu na relativně krátké dráze. To může být často doprovázeno separací mezní vrstvy od obtékaných stěn. V případě odtržení mezní vrstvy od deflektoru nebo závěrné desky dochází k výraznému omezení funkce hrdla. Přeměna kinetické energie v tlakovou je minimální. S tím souvisí výrazný nárůst ztrát, které vznikají transportem energie z hlavního proudu do zavířených oblastí.

Hlavním cílem předkládané práce bylo získat představu o vlivu geometrických úprav deflektoru osazeného v modelu výstupního tělesa na účinnost, resp. ztráty, vyjádřené prostřednictvím energetického ztrátového součinitele. V této fázi práce se jednalo o úlohu, kdy středem zájmu je zkracování axiální délky axiálně-radiálního výstupního tělesa. Bylo využito původního modelu s tím, že byly měněny pouze tvary deflektoru. Pro zjištění trendu jsou však naměřené informace nedostatečné. Vzhledem ke komplikovanému tvaru vlastního deflektoru a s tím související náročnou výrobou bylo přistoupeno ke kompromisu. Do difuzoru, resp. před závěrnou desku byla vkládána vložka jež měnila v širším rozsahu parametry difuzoru, zejména se jednalo o poměr výstupní a vstupní plochy, ale také bezrozměrnou délku difuzoru.

1. Popis měření

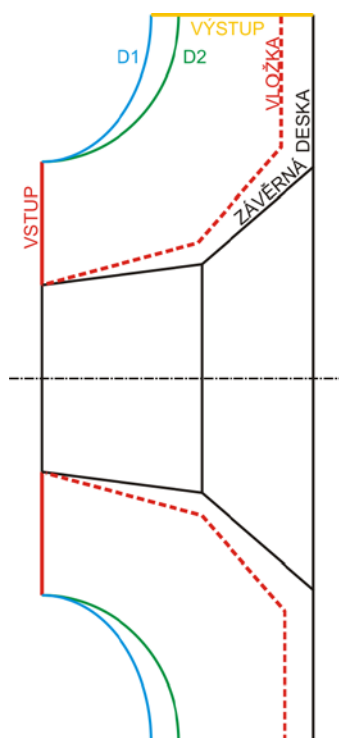
Měření probíhalo na modelu jednoproudého výstupního tělesa parní turbíny, konkrétně se jednalo o model díla Dunamenti v měřítku 1:4. Model je osazen na výtlačném potrubí axiálního ventilátoru v laboratořích firmy ŠKODA POWER, s.r.o. V rámci této studie bylo využito stávající aparatury k měření energetického ztrátového součinitele, detailnější popis aparatury a vztahů je uveden např. v [1], [2], [3], popř. [4]. Kromě této aparatury bylo využito 5-otvorové sondy, kterou bylo traverzováno prostřednictvím lineárního vedení s krokovým motorem v axiálním směru ve výstupní ploše difuzoru, viz obr.1. Pro traverzování byla vybrána čtveřice bodů rovnoměrně rozmístěných po obvodu výstupní plochy difuzoru, tedy nahoře, dole, vlevo a vpravo od osy. Z 5-otvorové sondy byly vyhodnocovány složky rychlostí a úhly náběhu proudu

na sondu. Cílem této fáze studie bylo potvrdit, či vyvrátit domněnku, že nárůst ztrátového součinitele při zkracování difuzoru je dán převážně masivním nárůstem oblasti zpětného proudění, popř. vytvořit odhad velikost této oblasti.

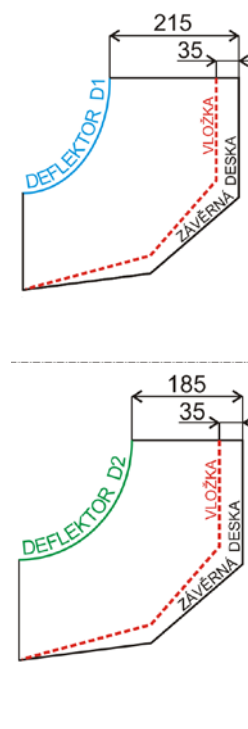


Obr. 1: Schéma měření na výstupním hrdle

Výše popisované varianty jsou schématicky zobrazeny na následujícím obrázku, viz obr. 2, kde je patrná změna průtočných ploch při záměně deflektorů a umístění vložky.



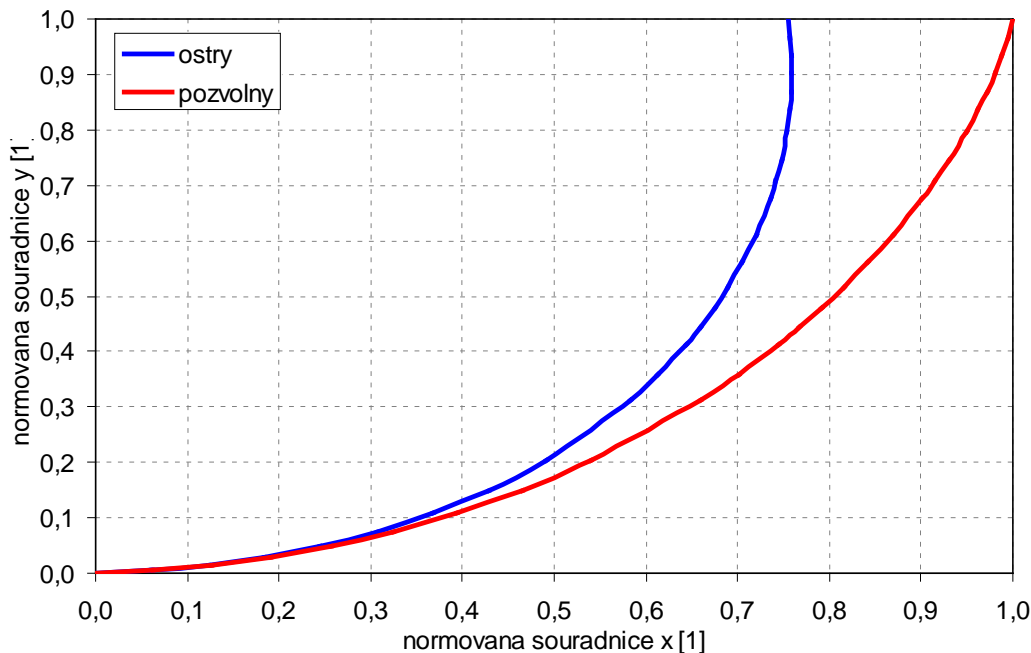
Obr. 2.: Srovnání obou deflektorů a vložky



Obr. 3.: Difuzor s ostrým (nahore), popř. pozvolným (dole) deflektorem a vložkou

Dále je uvedeno schéma difuzoru s „ostrým“ deflektorem, značeným D1, popř. „pozvolným“ deflektorem D2 včetně základních rozměrů výstupní plochy difuzoru, viz obr.3.

Obou deflektorů bylo využíváno již v průběhu prací popisovaných ve zprávě [2]. Jedná se o deflektor značený jako „ostrý“ (D1) jehož rozměr v axiálním směru je 123 mm a deflektor „pozvolný“ (D2) s axiálním rozměrem 150 mm, oba zmiňované deflektory mají špičku na stejném poloměru. Z tohoto je zřejmé, že radiálnost difuzoru byla v obou případech zachována na hodnotě 1,34 a nábojový poměr na hodnotě 0,45. Měnila se však bezrozměrná délka difuzoru, a to v intervalu $\langle 1,22; 1,40 \rangle$. Tvar obou deflektorů v normovaném souřadném systému je ukázán na obr.4.



Obr. 4.: Tvary tvořících křivek zmiňovaných deflektorů popisovaného difuzoru

Na vstupu do modelu výstupního tělesa byla osazena prizmatická lopatková mříž, která potlačovala tangenciální složku rychlosti. Dalším zjednodušením bylo zanedbání kontinuálního vefukování do mezní vrstvy v oblasti deflektoru, také nebyl modelován únik proudícího média radiální štěrbinou nad posledním oběžným kolem turbíny.

Vzhledem k tomu, že při přestavbě difuzoru docházelo k zásadním geometrickým změnám, bylo nutné zajistit v každém měřeném místě pro všechny varianty vhodně definovanou polohu pneumatické sondy. Při přestavbě docházelo ke změně šířky výstupní plochy, vzdálenosti závěrné desky od špičky deflektoru, ale také délky celého výstupního tělesa. Proto bylo nutné zvolit jakýsi plovoucí souřadný systém, kterým by bylo možné jednoduchým způsobem popisovat polohu sondy.

Z tohoto pohledu se ukázalo, že ideálním vztažným bodem je špička deflektoru, což je určitým vysvětlením následujících grafů, kdy všechny křivky rychlostních profilů jsou posunuté do bodu špičky deflektoru,

2. Výsledky měření

Výsledná data jsou v jednom případě zpracována a uvedena ve formě ztrátového součinitele, který je definován jako:

$$\zeta = \frac{\bar{p}_{tin} - \bar{p}_{sout}}{\bar{p}_{din}} \quad (1)$$

kde:

\bar{p}_{cin} - střední hodnota celkového tlaku v rovině 1

\bar{p}_{sout} - střední hodnota statického tlaku v rovině 2 a 3

\bar{p}_{din} - střední hodnota dynamického tlaku v rovině 1

V druhém případě jsou vynesena ve formě rychlostních profilů měření na výstupu z difuzoru. Vstupní Machovo číslo dosahuje hodnoty 0,1, proto je možné vliv stlačitelnosti media zanedbat. Ztrátové součinitele difuzoru a celého hrdla jsou vztaženy k referenční variantě zcela prázdného výstupního tělesa.

Průběhy ztrátových součinitelů jsou vyneseny v závislosti na bezrozměrné délce difuzoru, která je definována následujícím vztahem (2)

$$\bar{L} = \frac{l_A}{l_1} \quad (2)$$

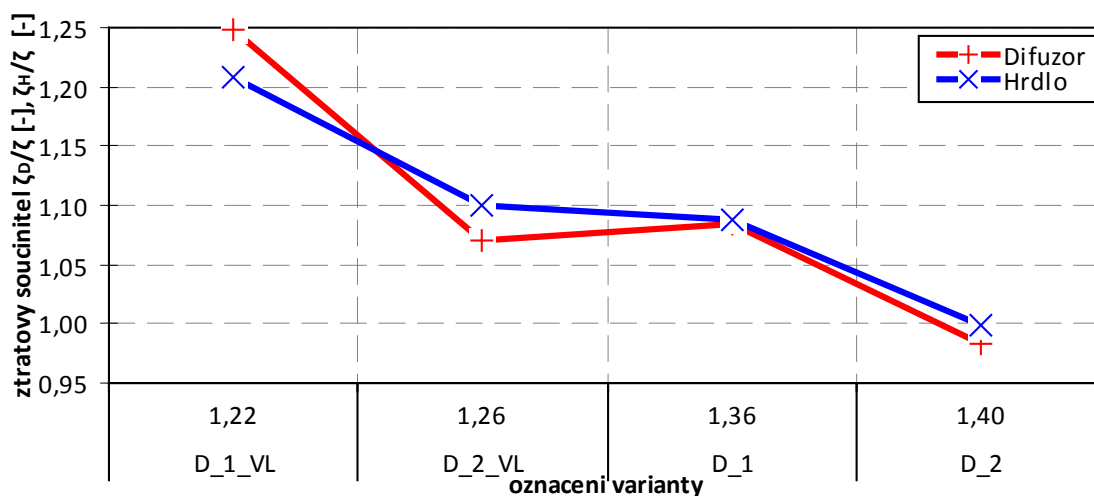
kde:

l_A – axiální délka axiálně-radiálního difuzoru

l_1 – délka poslední oběžné lopatky

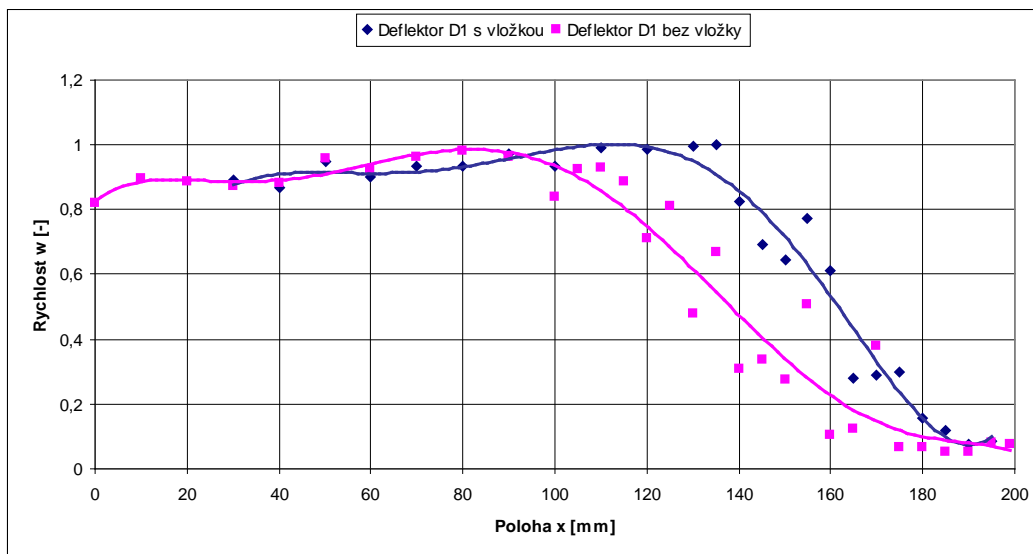
Na obrázku 5. je graf poměrného ztrátového součinitele difuzoru/hrdla v závislosti na bezrozměrné délce difuzoru. Kromě této veličiny je též uveden pracovní popis jednotlivých variant, který odpovídá příslušné bezrozměrné délce.

Je patrné, že nejnižší hodnoty ztrátového součinitele difuzoru, ale také výstupního tělesa dosahuje varianta D2, neboli „pozvolný“ difuzor bez vložky. Naopak nejhorších hodnot bylo získáno u varianty D1 – „ostrý“ difuzor s vložkou. Z grafu dále vyplývá, že umístění vložky do výstupního kanálu zvedne ztráty zhruba o 20 %. Pro zdůvodnění průběhu ztrát je možno provést měření rychlostních profilů podél linie 2 na obr. 1.



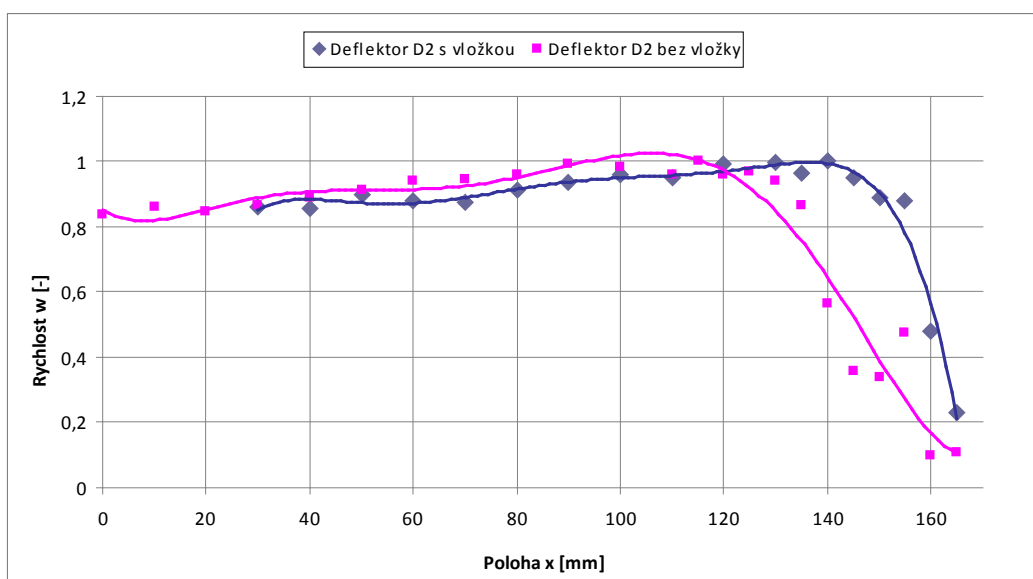
Obr. 5.: Poměrný ztrátový součinitel v závislosti na bezrozměrné délce difuzoru

Výsledky měření rychlostních profilů jsou uvedeny na následující dvojici obrázků, které jsou rozděleny podle tvaru deflektoru. Na obr. 6 je popsáno rozložení rychlosti při osazeném „ostrém“ deflektoru. Modrá křivka je pro variantu s vložkou, zatímco červená křivka je pro případ bez vložky. Z průběhu modulu rychlosti je možné udělat si představu o proudových poměrech napříč výstupní plochou mezidruhového difuzoru. Z obou křivek je zřejmý rozdíl v průtočné výstupní ploše difuzoru. Ani v jednom případě se neprokázalo odtržení proudu od stěny deflektoru, při použití vložky je proud tlačěn více k deflektoru, dochází k rychlejšímu ohybu a zvýšení ztrát. Při použití vložky je vyšší i průměrná rychlost, došlo tedy k horší přeměně kinetické energie na tlakovou.



Obr. 6.: Rychlostní profil mezi závěrnou deskou a deflektorem pro měřený horní otvor

Graf na obr. 7 vykazuje na rozdíl od předcházejícího grafu vyrovnanější rozložení rychlostního profilu. Navíc je tloušťka mezní vrstvy podstatně menší, nedochází ke vzniku odtržení mezní vrstvy. Toto vše hraje ve prospěch nižších hodnot ztrátových součinitelů, tak jak to bylo ukázáno na obr. 5.



Obr. 7: Rychlostní profil mezi závěrnou deskou a deflektorem pro měřený horní otvor

Z poslední dvojice grafů je vidět, že oblast mezní vrstvy je v případě varianty bez vložky podstatně větší než v případě s vložkou. Tedy zkrácením difuzoru vložkou dochází k vyplnění rychlostního profilu v blízkosti stěny, přesto na stěně „ostrého“ deflektoru dochází ke vzniku a vývoji odtržení.

Závěr

- přidáním vložky do výstupního hrdla by zjištěn nárůst ztrát zhruba o 20 %, tudíž zkracování délky se nejeví za podmínek při nichž probíhalo měření jako příliš vhodné řešení,
- z pohledu ztrát se varianta s „pozvolným“ deflektorem (D2) jeví jako vhodnější oproti variantě s „ostrým“ deflektorem (D1) ,
- difuzor osazený „ostrým“ deflektorem vykazuje podstatné zvýšení ztrátového součinitele, pravděpodobně z důvodu nárůstu velikosti oblasti zpomaleného proudění,
- zvýšení energie v proudu a tedy snížení ztrát v blízkosti deflektoru se v praxi účinně provádí vlivem řízeného úniku nadbandážovou ucpávkou posledního rotorového kola a vefukováním do stěny deflektoru.

Další snahy by měly směřovat k eliminaci, popř. omezení, velikosti odtržené oblasti od zkrácené varianty deflektoru (varianta D1). Zde se nabízí běžně používané řešení ve formě aktivního řízení mezní vrstvy prostřednictvím kontinuálního, tangenciálního vefukování do mezní vrstvy.

Literatura

- [1] Sedlák, K.; Hoznedl, M.: Vliv vestaveb na ztráty v jednoproudém výstupním hrdle parní turbíny; 9. konference on Power System Engineering, Thermodynamics & Fluid Flow, Plzeň, 2010.
- [2] Sedlák, K.; Hoznedl, M.; Žitek, P.: Studie vlivu vstupních parametrů na ztráty jednoproudých výstupních hrdel parní turbíny. Transfer 2011, Praha, 2011.
- [3] Sedlák, K.; Hoznedl, M. Vliv vestaveb výstupního hrdla parní turbíny na ztráty. Výzkumná technická zpráva VZTP 1053, ŠKODA POWER, s.r.o., 2011.
- [4] Sedlák, K.; Hoznedl, M. Vliv vestaveb výstupního hrdla parní turbíny na ztráty - souhrn výsledků. Výzkumná technická zpráva VZTP 1153, ŠKODA POWER, s.r.o., 2012
- [5] Dejč M. I: Technická dynamika plynů, SNTL Praha, 1965
- [6] Hoznedl, M.; Krejčík, J.; Tajč L.: Experimentální a numerický výzkum proudění v modelu jednoproudého výstupního hrdla, Výzkumná zpráva, Západočeská univerzita, Plzeň, 2004.

Bc. POUBA Zdeněk, ŠKODA Power a.s., Tylova 1/57,Plzeň 301 28, 378 185 905,
zdenek.pouba@doosan.com

Ing. SEDLÁK Kamil, ŠKODA Power a.s., Tylova 1/57,Plzeň 301 28, 378 185 905,
kamil.sedlak@doosanskoda.com

Ing. HOZNEDL Michal, Ph.D., ŠKODA Power a.s., Tylova 1/57,Plzeň 301 28, 378 185 746,
michal.hoznedl@doosanskoda.com