



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

SNÍŽENÍ ZTRÁT V PROSTORU VYVEDENÍ TEPLIFIKAČNÍHO ODBĚRU Z PRŮTOČNÉ ČÁSTI PARNÍ TURBÍNY ŠKODA

RUDAS Bartolomej, ŠIMKA Zdeněk, HAJŠMAN Miroslav,
MILČÁK Petr, HOZNEDL Michal

The paper presents the determination of pressure loss coefficients of a redesigned large steam extraction from a steam turbine for heating purposes. The contribution to the total energy balance is also evaluated. The loss coefficients were determined on the basis of 2D calculations in the Ansys Fluent commercial software package.

Klíčová slova: parní turbína, teplofikační odběr, CFD

Úvod

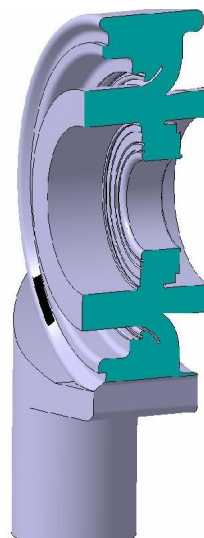
U průmyslových parních turbín středního a malého výkonu odběr velkého množství páry z průtočné části může způsobovat značné ztráty výkonu. Proto je třeba věnovat zvýšenou pozornost při návrhu konstrukčního uzlu odběru. Správně navrženým tvarem odběru můžeme značné množství energie získat zpět.

V příspěvku je uveden odhad tlakových ztrát pro původní a nově navržený tvar prostoru odběru páry nacházející se mezi dvěma stupněmi. Tlakové ztráty byly zjištěny pomocí 2D numerické simulace proudění v prostoru odběru. Přínos nového tvaru byl posouzen zohledněním vlivu tlakových ztrát na celkovou tepelnou bilanci stroje.

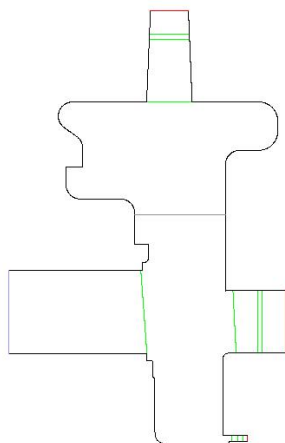
2. Geometrický a matematický model

Na Obr. 1 se nachází model místa odběru páry. Pára vystupuje z předposledního stupně do prostoru odběru. Odebrané množství páry je odkloněno z hlavního proudu po celém obvodu. Odsud pára proudí do sběrného prostoru ve spodní části vnitřního tělesa, odkud je následně odváděna pomocí dvou potrubí ven z tělesa turbíny. Zbytek páry vstupuje do posledního stupně. Původní tvar odběru je patrný na Obr. 2. Proud páry částečně naráží na kolmou stěnu a odklání se nahoru. Na stěně vznikne poměrně velká oblast se zabrzděným proudem, který je zdrojem velkých ztrát. Za špičkou oběžné lopatky horní omezující stěna končí ostrým rohem. Za tímto rohem vznikne velká zavířená oblast, která je dalším zdrojem ztrát. Úprava tvaru odběru by měla vést k minimalizaci ztrát v těchto dvou oblastech.

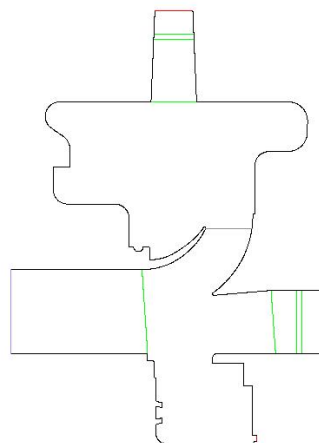
Kolmá stěna je upravena tak, aby se proud páry vhodně rozděloval a zároveň odkláněl pozvolně. Omezující stěna u špičky oběžné lopatky je prodloužena ve směru proudění a je tvarovaná tak, aby napomáhala k pozvolnému odklonění proudu páry bez odtržení. Modifikace proběhla na základě úpravy tvarování středotlakých difuzorů a s kontrolou průřezů podél délky kanálu. Tvar nového odběru je patrný na Obr. 3.



Obr. 1: Geometrický model odběru.



Obr. 2: Numerický model původního tvaru.



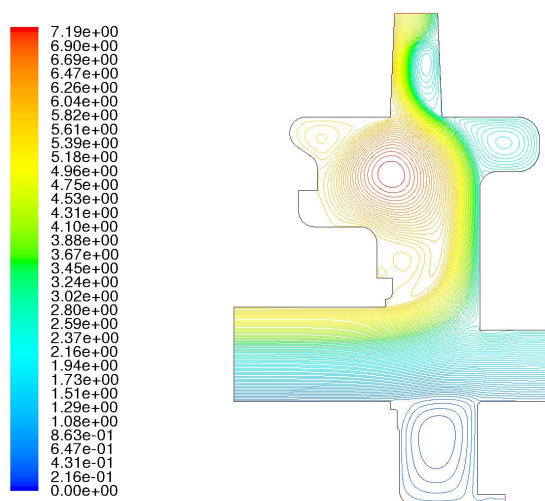
Obr. 3: Numerický model upraveného tvaru.

Doména pro dvourozměrný numerický výpočet, nacházející se na Obr. 2, zahrnuje odtokovou hranu oběžných lopatek předchozího stupně, prostor mezi oběma stupni a náběžnou hranu rozváděcích lopatek následného stupně. Odvod odebrané páry je uskutečněn v horní části modelu přes štěrbinu. Šířka štěrbinu je zvolena tak, aby plocha po celém obvodu odpovídala ploše obou potrubí přes které odebraná pára je odvedena z turbíny. Vstup a oba výstupy numerické domény jsou prodlouženy. V prodloužené části odběru a hlavního proudu je definovaná oblast porézních vrstev. Porézní vrstva u hlavního proudu nahrazuje odpor rozváděcí mříže. Porézní vrstva v oblasti odběru reprezentuje odpor určité délky potrubí.

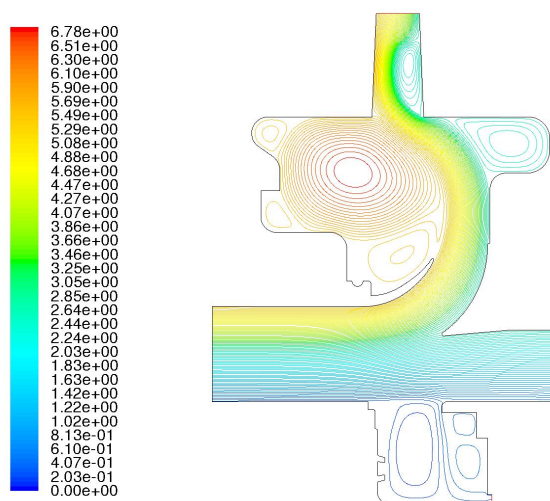
Okrajové podmínky numerického modelu byly nastaveny na základě proudového výpočtu. Na vstupu do domény je zadán celkový hmotnostní průtok páry vystupující z oběžné mříže. Na výstupu do odběru je zadán hmotnostní průtok. Na výstupu z hlavního proudu je zadán statický tlak za rozváděcí mříží následného stupně. Aby byly dosaženy správné proudové poměry v prostoru mezi stupni, je třeba odpor porézní vrstvy na výstupu z hlavního proudu nastavit tak, aby se nastavila tlaková hladina na vstupu do domény určená proudovým výpočtem.

Proudění bylo simulováno pomocí komerčního programu Ansys Fluent. K řešení bylo použito pressure based sdruženého řešiče s druhým řádem diskretizačního schématu. Turbulence byla modelována pomocí Menterova $k-\omega$ SST modelu. Proudícím médiem byla vodní pára chovající se jako ideální plyn.

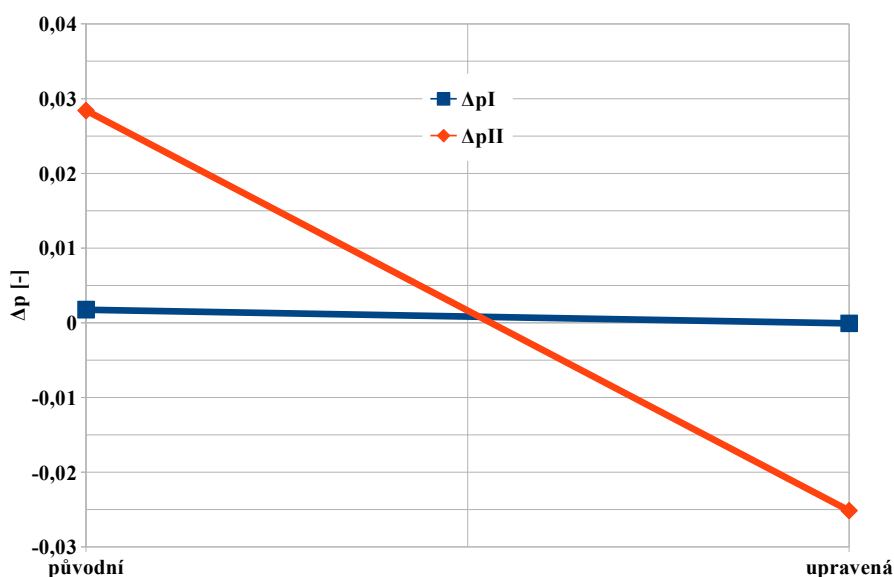
3. Výsledky numerických simulací



Obr. 4: Kontury proudnic u původního tvaru.



Obr. 5: Kontury proudnic u upraveného tvaru.



Obr. 6: Porovnání tlakových ztrát Δp_I a Δp_{II} pro původní a upravenou geometrii.

Výsledky numerických simulací byly vyhodnoceny vizuálně pomocí izočar proudnic a relativních tlakových ztrát. Izočary proudnic pro původní geometrii jsou zobrazeny na Obr. 4. Oblast rozdělení proudu páry na dvě větve se nachází na kolmé stěně nosiče rozváděcích lopatek a je na obrázku patrná. Izočary proudnic pro novou geometrii jsou zobrazeny na Obr. 5. Oblast rozdělení proudu se nachází na zaoblené špičce deflektoru a je téměř nepatrná.

Při proudění v průtočné části je kinetická energie páry využita v následujícím stupni. Pokud je z prostoru mezi stupni vyveden odběr, je s tím spojena tlaková ztráta, která snižuje využití kinetické energie. Relativní tlakovou ztrátu v prostoru mezi stupni definujeme následujícím způsobem

$$\Delta p_I = \frac{p_{cinlet} - p_{coutlet}}{p_{cinlet}}, \text{ kde}$$

p_{cinlet} – celkový tlak na vstupu

$p_{coutlet}$ – celkový tlak na výstupu

Odvedeme-li páru do odběru, ztratíme její kinetickou energii. Relativní tlakovou ztrátu proto pro vyvedení do odběru můžeme zjednodušeně definovat pomocí statických tlaků

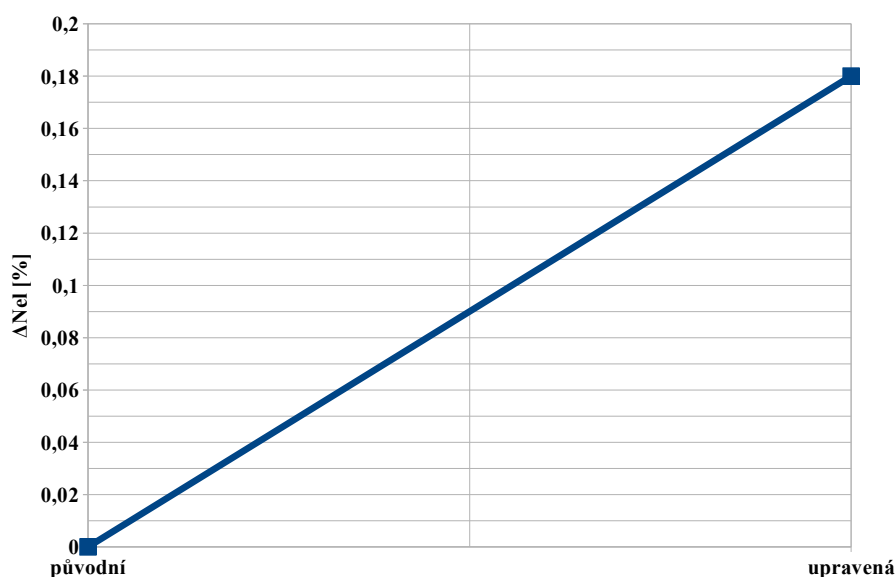
$$\Delta p_{II} = \frac{p_{sinlet} - p_{soutlet}}{p_{sinlet}}, \text{ kde}$$

p_{sinlet} – statický tlak na vstupu

$p_{soutlet}$ – statický tlak na výstupu

Tlakové ztráty jsou vyhodnoceny z rovin, které se nacházejí v oblasti, která není ovlivněna porézními vrstvami na výstupech z numerické domény a je mimo oblasti vlivu umělé umístěné šterbiny odběru. Vyhodnocovací roviny jsou naznačeny na Obr. 2 a Obr. 3. Pro ztrátu v hlavním proudu Δp_I byly zvoleny roviny, které se nacházejí v místě odtokové hrany oběžné mříže a v místě náběžné hrany rozváděcí mříže. Ztráta Δp_{II} byla vyhodnocena, stejně jako Δp_I , od roviny odtokové hrany oběžné mříže k rovině, která je definována radiální souřadnicí v místě, kde končí křivka nástavce připevněného na následující rozváděcí kolo, který rozděluje proud páry.

Porovnání obou tlakových ztrát pro původní a upravenou geometrii se nachází na Obr. 6. U ztráty Δp_I nastane pouze nepatrný pokles. U ztráty Δp_{II} pro odběr je pokles mnohem markantnější. Hodnota tlakové ztráty nabývá záporné hodnoty, což indikuje zisk potenciální



Obr. 7: Relativní nárůst výkonu stroje.

energie při odklonu proudu. Tento zisk je dosažen vhodným tvarem obou nástavců, které pak fungují jako difuzor.

Tlakové ztráty získané pomocí numerické simulace byly zohledněny v tepelné bilanci stroje. Relativní nárůst výkonu stroje je 0,18% jak je patrné z Obr. 7.

Závěr

Nástavce vložené do místa odběru jednoznačně napomáhají k rozdělení proudu s menšími ztrátami. Ztráta v hlavním proudu se zmenší jenom nepatrně, zatímco ztráta v proudu odkloněném do odběru se snížila významně. Z tepelné bilance stroje vyplývá, že úpravou geometrie odběru celkový výkon stroje vzrostl o 0,18%.

Literatura

- [1] HOZNEDL, M. Design off diffuser and exhaust hood of double-flow LP casing, Technical instruction ŠKODA POWER, Tp0012 J, rev. 1.

Poděkování

Autoři příspěvku děkují za finanční podporu grantu MPO TIP FR-TI3/432 „Komplexní vývoj turbínového přetlakového stupně s vysokou účinností“.

Ing. RUDAS Bartolomej, Škoda Power, Tylova 1/57, 30128 Plzeň, 378185521, bartolomej.rudas@doosan.com

Ing. ŠIMKA Zdeněk, Škoda Power, Tylova 1/57, 30128 Plzeň, 378185388, zdenek.simka@doosan.com

Ing. HAJŠMAN Miroslav PhD, Škoda Power, Tylova 1/57, 30128 Plzeň, 378185814, miroslav.hajzman@doosan.com

Ing. MILČÁK Petr PhD, Škoda Power, Tylova 1/57, 30128 Plzeň, 378185381, petr.milcak@doosan.com

Ing. HOZNEDL Michal PhD, Škoda Power, Tylova 1/57, 30128 Plzeň, 378185746, michal.hoznedl@doosan.com