

REGULAČNÍ VENTILY S PROFILOVANÝM PŘECHODEM A ROVNÝM DNEM KUŽELKY

Control Valve with Shaped Cone and Flat Bottom

Lukáš Bednář, Ladislav Tajč
ŠKODA POWER a. s., Plzeň

Abstrakt

Popisuje se aerodynamický tunel na testování ventilů. Uvádějí se výsledky měření silového namáhání tří variant ventilů. Uvažuje se ventil s volně zavěšenou neodlehčenou částečně tvarovanou kuželkou s přechodem do rovného dna, ventil s perforovanou kuželkou a ventil se sítí. Srovnává se namáhání vřetena v tahu a maximální rozkmit ohybového momentu.

Úvod

Při konstruování parních turbin se používá celá řada návrhů kuželek ventilů. Tvarová rozmanitost je dána požadavkem na spolehlivost při všech provozních režimech turbíny a tím daných proudových poměrech ve ventilech. V některých případech je potřebné použít odlehčené ventily, aby se snížila síla nutná k odtržení kuželky od sedla. Na kuželku působí zejména aerodynamické síly. Aerodynamickým silám se přisuzuje největší vliv na nestabilitu proudu a rozkmitání kuželky. Mezi nejčastější poruchy patří vytloukání sedel ventilu a praskání vřeten. V procesu vývoje a hledání optimálního provedení kuželky se upustilo od kulového zakončení dna kuželky a přešlo se k variantám s tvarovanou kuželkou a kuželkou s rovným dnem a podpíchnutím.

Podle tvaru kuželky můžeme uvažovat proudění nerozšířenou dýzou s náhlým rozšířením průřezu (u kuželky s rovným dnem a podpíchnutím) a proudění konvergentně-divergentní (Lavalovou) dýzou. V důsledku odtržení proudu je u podpíchnuté kuželky větší tlak na dno kuželky, než jaký vzniká při stejných proudových poměrech u profilované kuželky. Přítlačná aerodynamická síla je u profilované kuželky větší.

U podpíchnuté kuželky se proud odtrhne na koncové hraně kuželky a přimkne se k stěně difuzoru. V prostoru difuzoru nastává volná expanze s místními maximálními rychlostmi. U tvarované kuželky se naopak proud odtrhne od stěny difuzoru a přimkne se k stěně kuželky. Místo odtržení není v tomto případě pevně stanovené. Z výpočtového rozboru, který byl proveden na ZČU Plzeň [4] je zřejmé, že u podpíchnuté kuželky se vyskytuje místní Machovo číslo $M > 1$ již pro tlakové poměry $p_2/p_0 < 0,65$. Nadzvukové proudění je zdrojem rozruchu a rázových vln. Pokud se tlakové pulsace přenášejí přímo na vřeteno, může dojít k jeho destrukci nebo nekontrolovanému kmitání ventilu. Předností podpíchnuté kuželky je větší provozní spolehlivost při spouštění turbíny. Tvarovaná kuželka však má menší ztráty při jmenovitých provezech. Byla snaha využít předností tvarových řešení kuželky.

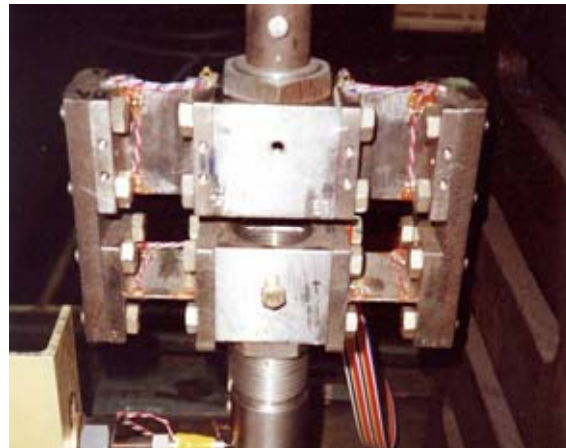
Experimentální zařízení a modely kuželek ventilů

Ve ŠKODA POWER a. s. existuje aerodynamický tunel na testování ventilů, který umožňuje pracovat v rozmezí tlakových poměrů $\varepsilon = 0,3 \div 1$ při zdvihu kuželky $\bar{h} = 0 \div 0,3$. Jeho provedení je zřejmé z foto na obr. 1.

Ventil je uchycen ve svislé poloze. Může tvořit přímo součást tunelu nebo být v zmenšeném provedení vložen do většího vnějšího pláště. Ke sledování silových a dynamických změn slouží jednak siloměrný člen - viz. obr. 2 a dále pak trojcestný akcelerometr, který je umístěn přímo na kuželce ventilu. Kuželka ventilu může být volně zavěšená nebo může být k siloměrnému členu pevně uchycena. Na siloměrném členu se namáhání v tahu a v ohybu sleduje pomocí nalepených tenzometrů. Model ventilu má umožnit poznat základní proudové, pevnostní a dynamické jevy, které se při odlehčení kuželky ventilu mohou vyskytovat. Z modelu na dílo lze přímo přenášet aerodynamické parametry (z bezrozměrných kritérií), nelze však uplatnit přímo informace o dynamickém namáhání částí ventilu.

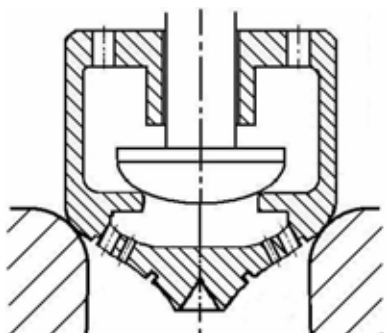


Obr. 1: Aerodynamický tunel na testování ventilů

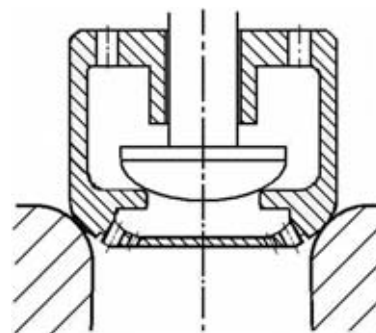


Obr. 2: Siloměrný člen

Pro experimentální účely se vyrobilo několik kuželek ventilů. Základní tvary tvoří neodlehčená částečně profilovaná kuželka s přechodem na rovné dno. Její provedení je znázorněno na obr. 3. Další varianta představuje kuželku s odlehčením. Centrální výtokový otvor je nahrazen perforovanou stěnou. Podle podkladů MEI [3] je centrální otvor zdrojem větších rozruchů než sada malých výtokových dýz. Provedení odlehčené kuželky je znázorněno na obr. 4.



Obr. 3: Tvarovaná kuželka MEI s perforovanou stěnou



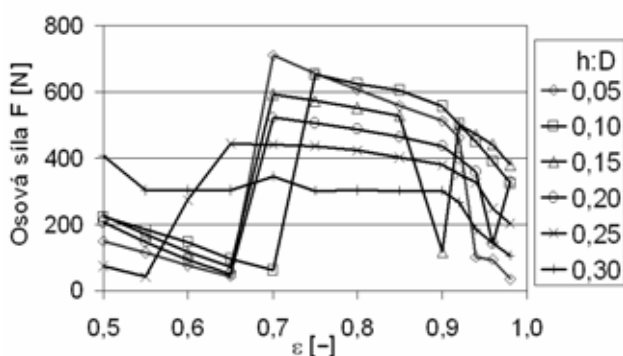
Obr. 4: Kuželka s profilovaným přechodem a rovným dnem

Vstupní otvor se nachází v horní části kuželky. Cílem je odstranit nerovnoměrné rozložení tlaku po obvodu volně zavěšené kuželky. Očekává se i lepší využití přítlačné síly při větším zdvihu vřetena. Poslední ověřovaná varianta je zobrazena na obr. 5. Jedná se o stejné provedení kuželky zobrazené na obr. 4 doplněné o síto.

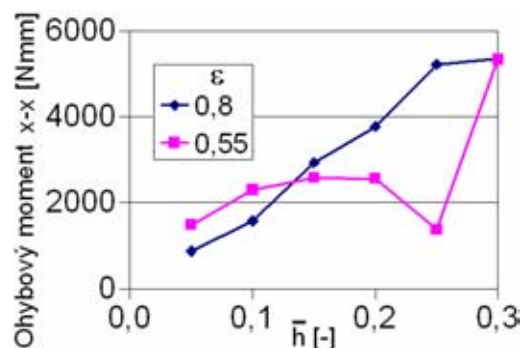
U všech variant ventilů se ověřovaly jejich aerodynamické charakteristiky. Testované kuželky se zkoušely bez vlivu vnějšího síta. Bylo zjištěno, že síto neovlivňuje v měřitelném rozsahu průtokovou charakteristiku. Otvory síta jsou relativně velké a celková průtočná plocha je výrazně větší než průtoční plocha v hrdle při plném otevření ventilu. Ve spodní části síta jsou někdy použity výřezy umožňující jistotu vstupní rotaci proudu. Rotace proudu může ovlivnit odtržení proudu od kuželky a tím i sílové poměry na vřeteně.

Silové působení na vřeteno ventilu

Silové namáhání vřetena bude odvislé od rozložení tlaku na povrchu kuželky. Výsledná síla bude závislá na přilnutí nebo odtržení proudu od stěny kuželky i na výskytu skokových změn tlaku v rázových vlnách. Zkoušelo se provedení kuželky bez perforace, s perforací a s vnějším sítem [2]. Síla v tahu na vřeteno ventilu s kuželkou bez perforace je vynesena na obr. 6. Při růstu tlakového poměru dochází k skokové změně osová síly. Změna charakteru proudového pole nastává při $\varepsilon = 0,65 \div 0,7$. Při malém tlakovém poměru dochází k odtržení proudu od stěny kuželky a tahová síla je malá. Při větším tlakovém poměru převládá odtržení proudu od sedla difuzoru a osová síla se zvětšuje. Obdobné poměry platí i pro ohybový moment. Maximální rozdíly ohybového momentu pro $\varepsilon = 0,55$ a $\varepsilon = 0,8$ jsou uvedeny na obr. 7.

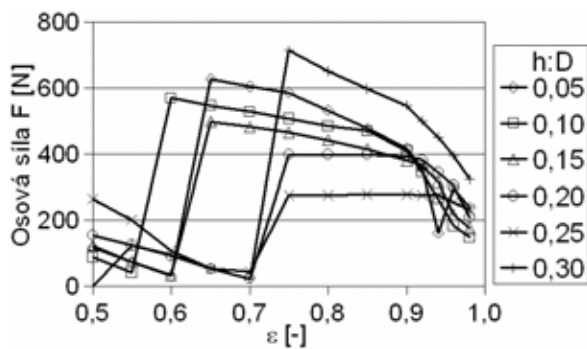


Obr. 6: Osová síla na vřeteno s kuželkou bez odlehčení

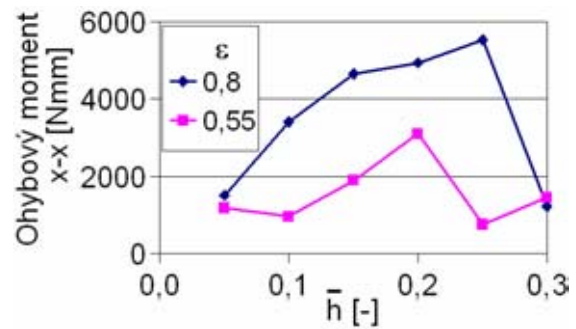


Obr. 7: Maximální rozkmit kuželky bez odlehčení

Vliv odlehčovacích otvorů na osovou sílu kuželky je ukázán na obr. 8. Výtok media přes odlehčovací otvory způsobuje větší rozptyl tlakových poměrů, při kterých dochází ke změně charakteru proudění ventilem a ke skokové změně osová síly. U profilované kuželky dochází paradoxně k tomu, že při nižším tlaku za ventilem je třeba ke zvednutí kuželky menší síla, než jaká je nutná při větším tlaku za ventilem. Na ventilu lze pozorovat dva charakteristické skoky osová síly. Jeden skok nastává při změně tlakového poměru a druhý skok je způsoben změnou zdvihu kuželky při přechodu od $\bar{h} = 0,25$ na $\bar{h} = 0,3$. Tak, jak se při spouštění turbíny postupně zvedá tlakový poměr a zároveň zvětšuje zdvih kuželky, udržuje se tahová síla vlivem změněných proudových poměrů na přijatelné úrovni.

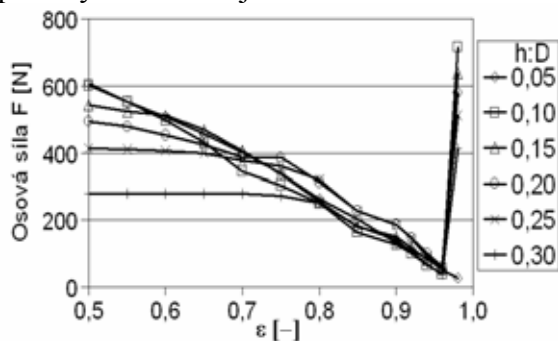


Obr. 8: Osová síla na vřeteno u odlehčené kuželky

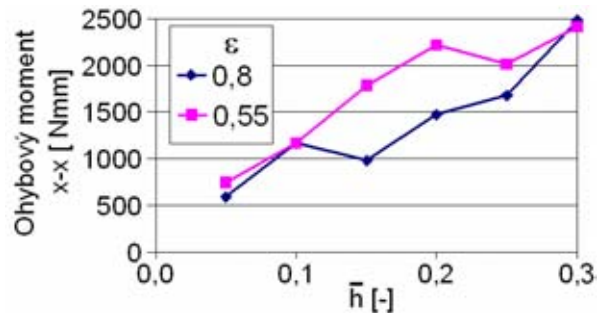


Obr. 9: Maximální rozkmit odlehčené kuželky

Ohybové namáhání má obdobný charakter jako u ventilu s neodlehčenou kuželkou. Ukázka ohybového momentu a maximálních rozdílů v ohybu pro dva tlakové poměry se nacházejí na obr. 9.



Obr. 10: Vliv síta na osovou sílu



Obr. 11: Maximální rozkmit kuželky s otvory a sítím

Poněkud překvapivý výsledek přineslo použití síta. To zaručuje zrovnoměrnění proudových poměrů v obvodovém směru. Zároveň však vytváří i jistou míru vstupní rotace. Od rotace se očekává spíše odtržení proudu od kuželky než přilnutí proudu ke kuželce. Podle průběhu osově síly, viz obr. 10, došlo u testované alternativy ke zvětšení přítláčné síly u malého tlakového poměru. Tím se toto proudění liší od předchozích variant. S růstem tlaku za ventilem klesá přítláčná síla, která se blíží až k nule. Při plném otevření se však skokem dostává na maximální hodnotu. Znamená to, že se skokem mění proudění pod kuželkou, jehož výsledkem je místní pokles tlaku.

Rovněž ohybový moment je maximální při minimálním zdvihu a malém tlakovém poměru. Maximální rozdíly momentů v ohybu se však zmenšily a vyrovnaly. Je to potvrzeno na obr. 11.

Závěry

- Perforace kuželky obecně napomáhá k tlumení tlakových pulsací.
- U částečně profilované kuželky lze vypořadovat skokové změny v silovém působení na vřeteno při změně tlakového poměru i při změně zdvihu kuželky.
- Síto ve vstupní části ventilu má vliv na proudové poměry pod kuželkou ventilu.

Poděkování

Autoři příspěvku děkují MPO České republiky za finanční podporu grantu TANDEM.

Použitá literatura

- [1] R. Pašek: Dynamické chování modelu regulačního ventilu, Výzkumná zpráva, VÝZ 0716/04.
- [2] P. Bohdan: Měření silové charakteristiky tří variant odlehčeného ventilu s rovným dnem, Výzkumná zpráva, VÝZ 0945/2006
- [3] A. E. Зарянкин: Разработка и исследование неразгруженного и разгруженного регулирующего клапанов для турбин сверхкритических параметров пара, МРЕИ-01015/03.
- [4] R. Matas: Úvodní studie 3D výpočtů regulačních ventilů parních turbín, Výzkumná zpráva NTC 02-07/02.
- [5] J. Václavík: Analýza namáhání ventilů traverzové regulace – varianty 8 až 17, Výzkumná zpráva, VÝZ 0289/99.