Model chladicí věže

Šubert O., Čížek J., Nováková L.

1. Abstrakt

Příspěvek se zabývá stavbou malého funkčního modelu chladící věže. Věž je čtvercového průřezu o hraně 300 mm a výšce 1500 mm. Stěny jsou průhledné pro viditelnost dějů ve věži a pro umožnění měření v jakémkoli místě. Tento model bude sloužit k ukázání a pochopení funkcí chladící věže ale především k měření vlastností eliminátorů. Měřeny budou rychlostní profily a dráhy kapek různých velikostí při různých rychlostech vzduchu a na různých druzích eliminátorů. Eliminátory se liší materiálem, různým zakřivením a šířkou kanálů. Měření rychlostí bude provedeno metodou PIV, určování dráhy jednotlivých kapek se provede na základě dat získaných vizaulizací. Hrubá kostra věže je již postavena. Momentálně se řeší problém přichycení separátorů, jejich zajištění proti vibracím v proudu vzduchu a přichycení ventilátoru.

2. Motivace

Chladicí věže jsou ve své podstatě směšovacími výměníky, kde ochlazovanou látkou je voda a chladicím médiem vzduch. Tento způsob chlazení vody je jedním z nejrozšířenějších řešení pro většinu oborů průmyslové činnosti. Při chlazení dochází k velkým vodním ztrátám a to ze dvou důvodů. Jedná se především o odpařování a úlet kapalné fáze, kdy proudící vzduch unáší malé kapky vody pryč do atmosféry. Tyto ztráty by měly být minimalizovány pomocí profilovaných lišt, tzv. eliminátorů. V současné době je k dispozici několik základních typů. Jedná se především o eliminátory lištové a komorové. Současný vývoj v této oblasti se zaměřuje především na technologii výroby. Aerodynamickým vlastnostem eliminátorů již taková pozornost věnována není. Pro tento účel vznikl projekt modelu chladicí věže, který je zaměřen především na měření a výzkum eliminátorů.

3. Chladicí věž

Chladicí věže jsou nejčastěji rozdělovány do dvou hlavních kategorií. Jedná se o chladicí věže s přirozeným tahem (tzv. Ittersony) a věže s nuceným tahem (tzv. ventilátorové). Ty se pak dále dělí na protiproudé a příčněproudé, popř. jejich kombinace. Věže s přirozeným tahem využívají pro proudění komínového efektu. Tahový komín je tvořen tenkostěnnou skořepinou proměnlivé tloušťky. Výška těchto staveb se běžně pohybuje od cca 30 m až do 155 m. Skořepina může být monolitická železobetonová stěnová konstrukce, železobetonový monolitický skelet anebo ocelová konstrukce s opláštěním. Ve spodní části tahového komína je bazén, který je vyspádován a opatřen odtokovými objekty pro odvod ochlazené vody.



3.1. Chladicí věž s přirozeným tahem



3.2. Ventilátorová chladicí věž

U věží s nuceným tahem je proudění vzduchu zajištěno pomocí ventilátoru. Tento typ je většinou určen pro menší výkony a nachází uplatnění především v klimatizačních jednotkách obytných komplexů a menších strojírenských provozech.

Vnitřní vestavby jsou pro oba typy chladicích věží podobné. Ve střední časti věže je voda rozvedena soustavou trubek po celé půdorysné ploše a pomocí trysek rozstřikována na chladicí výplň. Výplň má v procesu chlazení největší význam, protože zde dochází k přestupu tepla, voda-vzduch. Podílejí se na něm tři odlišné mechanismy: sdílení tepla vedením, konvekcí a vypařováním. Vzduch nasycený o vodní páru proudí horní částí chladicí věže do



3.3. Chladicí výplň

3.4. Rozstřikovací trysky



3.5. Různé typy eliminátorů

atmosféry. Ochlazená voda z chladicí výplně naopak padá do sběrného bazénu umístěného pod chladicí věží, odkud je vracena zpět do chladicího oběhu. Aby se při provozu chladicí věže zabránilo vynášení drobných kapek rozstříknuté vody mimo prostor věže, jsou nad rozvodem vody umístěny po celé půdorysné ploše eliminátory. Ty mají rozhodující vliv na celkové ztráty vody způsobené úletem. Slouží k odloučení drobných kapek vody z proudícího vzduchu, jejich zachycení a odvedení zpět do chladicí soustavy. Eliminátory se liší použitým materiálem, rozestupem mezi jednotlivými segmenty, jejich tvarem a pod. Návrh eliminátoru se pak odvíjí především od oblasti jeho použití, (vzduchotechnika, čističky vzduchu, chladicí věže), poměru voda/vzduch a dalších aspektů jako je cena celého zařízení atd.

4. Funkce eliminátoru

Ideální typ eliminátoru je takový, který nevytváří tlakovou ztrátu a zachytí všechny prolétávající kapky. Princip jejich fungování je zhruba následující. Proudící vzduch je spolu s unášenou kapalnou fází veden soustavou zakřivených kanálů, ve kterých dochází k výrazným změnám směru rychlosti. Vzhledem k setrvačným účinkům nedokáží kapičky sledovat směr

proudění a jsou odstřeďovány směrem ke stěnám eliminátoru, na kterých vytváří vodní film stékající zpět do prostoru chladicí věže.

5. Model

Model chladicí věže je navržen tak, aby umožňoval vizualizaci popřípadě měření trajektorií kapek různých průměrů vstupujících do prostoru eliminátoru s různou rychlostí. Z požadavků metody plyne i volba použitého materiálu - plexisklo. Do měřícího prostoru je tak zajištěn optický přístup ze všech stran. Kromě primárního určení, měření rychlostních polí a trajektorií kapek v prostoru eliminátoru, je model určen i pro demonstraci dějů probíhajících v reálných chladicích věžích. Různou kombinací jednotlivých segmentů, ze kterých je model sestaven, lze vytvořit jak měřicí okruh pro testování eliminátorů, tak ukázkovou úlohu pro studenty bakalářského i magisterského studijního programu. Prvotní návrh, vytvořen v 3D programu Inventor je spolu s fotografií kostry modelu na obrázcích 5.1. a 5.2.



5.1. 3D model



5.2. Model chladicí věže

Vzhledem k tomu, že se jedná o model chladicí věže s nuceným tahem, musí být v horní části osazen ventilátorem. Z dostupné nabídky byl zvolen axiální ventilátor SMC315-14 o maximálním výkonu 2340m3/h. Přebytek výkonu ventilátoru je volen s ohledem na možnost použití dalších vestaveb vytvářejících přídavné tlakové ztráty. Bude se jednat především o uklidňovací mříže a síta, chladicí výplně apod. Ventilátor je opatřen plynulou regulací otáček pro možnost přesného nastavení různých průtoků. Bude tak v budoucnu možné testovat eliminátory v několika různých režimech. Kromě měření rychlostních polí a vizualizace trajektorií kapek bude možné současně měřit i ostatní veličiny charakteristické pro chladicí věže. Jednat se bude zejména o měření tlakových ztrát eliminátoru, vstupních a výstupních teplot vody i vzduchu, vlhkosti vzduchu atd.

6. Uchycení eliminátoru

K uchycení eliminátorů v reálných chladicích věžích se používají různé přídavné vestavby ve formě lišt tyčí a dalších. K našim účelům však žádný z těchto způsobů řešení nevyhovuje. Uchycení eliminátorů musí být především průhledné pro zajištění dobrého optického přístupu do měřícího prostoru. Eliminátory jsou proto uchyceny v průhledné plexisklové desce s vyfrézovaným profilem. Původně bylo plánováno umístit do měřicího prostoru pouze dva segmenty eliminátorů a vytvořit tím jeden kanál. Toto řešení je výhodné především z hlediska malé náročnosti na prostor a také pro svou jednoduchost. Tento způsob však přináší problémy v podobě ovlivnění vstupního a výstupního proudu vzduchu a tím i deformaci výsledného rychlostního profilu. Bylo proto rozhodnuto umístit do měřicího prostoru čtyři segmenty eliminátorů a tím vytvořit tři kanály s tím, že měření bude probíhat v prostředním kanále.pro zajištění optického přístupu byly do krajních segmentů eliminátorů vyfrézovány drážky o šířce cca 2mm. Těmito drážkami procházel optický list a osvětloval měřenou rovinu. Délka měřené oblasti je omezena maximální možnou délkou vyfrézované drážky, která je zvolena tak, aby nedošlo k porušení celistvosti segmentu. Drážky byly po celé délce přelepeny průhlednou páskou, aby nedocházelo k zbytečnému ovlivnění měřených rychlostních profilů.

7. Měření

Nejprve jsme se zaměřili na zjištění rychlostního pole v eliminátoru. Rychlostní pole bylo zjištěno na základě numerického modelování a ověřeno experimentem v aerodynamickém tunelu s otevřeným měřicím prostorem o rozměrech 0,5 x 0,8 x 1 m, změřena byla pouze střední část eliminátoru. Eliminátory byly v měřicím prostoru připevněny pomocí dvojice průhledných desek, primárně určených k uchycení v modelu chladicí věže. Fotografie experimentu s popisem komponent je uvedena na obrázku 7.1. Měření rychlostního pole bylo provedeno metodou PIV (Particle Image Velocimetry).



7.1. Experiment

Experimentální data získaná z měření v aerodynamickém tunelu budou kromě k nastavení numerického modelu sloužit také pro porovnání s daty získanými z měření v modelu chladicí věže. Výhodou aerodynamického tunelu je skutečnost, že rozložení rychlosti proudění v měřícím prostoru je rovnoměrné. U modelu chladicí věže lze předpokládat, že rozložení rychlosti tak rovnoměrné nebude. Porovnání výsledků z obou experimentů by mělo ukázat, zda bude nutné provést úpravy vnitřního uspořádání chladicí věže pro uklidnění proudu. Střední rychlost v aerodynamickém tunelu byla nastavena na 3m/s, tato hodnota přibližně odpovídá provozní rychlosti proudu v chladicí věži. Pro nasycení proudu značkovacími

částicemi byl použit generátor dýmu SAFEX. Vyhodnocováno bylo pole rychlostí, velikost rychlosti a proudnice. Výsledky jsou uvedeny na obrázku 8.2.

Z naměřených hodnot je patrné, že nedochází k dostatečnému odklonění proudu. Změna směru rychlosti je malá, poloměr křivosti proudnic veliký a hodnota odstředivého zrychlení vychází nízká. Dá se tedy předpokládat, že unášené kapky budou proudění sledovat po celou dobu průchodu eliminátorem a ten tak nebude správně plnit svou funkci. Vzhledem k existenci vírů, které se nacházejí v oblasti 1 a 2 lze usuzovat, že budou mít poměrně velkou tlakovou ztrátu.

8. Numerický model

Výpočet proudového pole byl proveden pomocí metody konečných objemů (programového souboru Fluent, Inc.). Problém byl řešen jako 2D. Počítanou oblast představoval řez jedním kanálem eliminátoru, podmínka periodicity byla nastavena v ose kanálu. Výpočtová síť byla tvořena cca 30 tis. trojúhleníkovými elementy. Na vstupu byla nastavena hodnota rychlosti 3,5 m/s, která odpovídá standardnímu režimu v malých chladicích věžích s nuceným tahem. První numerické experimenty byly zaměřeny především na zvolení správného modelu turbulence. Postupně byl výpočet proveden pro modely turbulence: Spalart-Allmaras, kepsilon a k-omega. Při porovnávání výsledků měření a numerického výpočtu bylo posuzováno především umístění a velikost oblastí odtržení v těch částech eliminátoru, ve kterých bylo zaznamenáno při měření metodou PIV. Tyto dvě oblasti jsou schematicky vyznačeny na obr. 8.1 První výsledky ukazují, že oblasti odtržení se nejpřesněji shodují pro

model turbulence Spalart-Allmaras. Model k-epsilon nevykazuje téměř žádné oblasti odtržení, model komega jejich velikost silně podhodnocuje. Na obr 8.2 je zobrazeno porovnání vektorů rychlosti získaných numerickým výpočtem (červeně) a vektorů rychlosti vyhodnocených metodou PIV (modře). Z obrázku je patrné, že v oblasti 1 je odtržení numerickým modelem zachyceno s poměrně velkou shodou s experimentálními daty, velikost oblasti odtržení 2 je ale podhodnocena. Při dalším postupu bude pozornost zaměřena právě na tento jev.



Obr. 8.1. Oblasti odtržení



Obr 8.2. Porovnání experimentu s numerickým výpočtem



Obr 8.3. Proudnice





9. Závěr

V dnešní době je vývoj v oblasti eliminátorů zaměřen především na výrobní technologii a cenu finálního výrobku. Seriózním aerodynamickým výzkumem se zabývá pouze malá část odborníků z daného oboru. Tento trend pak vede pouze k drobným úpravám v navrhovaných tvarech a ve svém důsledku vývoj v této oblasti spíše brzdí. Názornou ukázkou může být první ověřovací měření na eliminátoru KTE 150. Z uvedených výsledků vyplývá, že daný typ eliminátoru při svém provozu spíše generuje tlakovou ztrátu, než aby účinně odlučoval kapalnou fázi z proudícího vzduchu. Je však také potřeba říci, že celý projekt je teprve ve svých počátcích a uvedené výsledky proto lze brát pouze jako informativní.

10. Poděkování

Tento projekt je hrazen z prostředků centra Progresivní technologie a systémy pro energetiku, 1M06059.

11. Literatura

- [1] NOŽIČKA, J.: Sdílení tepla, Ediční středisko ČVUT, Praha 1998, 238 str.
- [2] Dantec Dynamics: MATLAB-Link, Dantec Dynamics A/S, Skovlunde 2000, 30 str.
- [3] Dantec Dynamics: Planar-LIF Software, Dantec Dynamics A/S, Skovlunde 2000, 48 str.
- [4] Dantec Dynamics: FlowManager software and Introduction to PIV Instrumentation, Dantec Dynamics A/S, Skovlunde 2000, 320 str.
- [5] ZAPLATÍLEK, K., DOŇAR, B.: Matlab pro začátečníky, BEN technická literatura, Praha 2003, 144 str.
- [6] FLUENT Inc. (USA), Dokumentace k softwaru FLUENT 6.2, Techsoft Engineering, s.r.o., Praha, 2005
- [7] http://www.cooltech.cz/Eurofill.htm#zvlhcovacivyplne
- [8] http://www.eurofill.it/INGLESE/ENGLISH.htm