



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

DEMONSTRÁTOR DVOUFÁZOVÉHO PROUDĚNÍ

ČULÍK Jan

This paper deals with design and construction of a two-phase flow demonstrator and with measurement and analysis of natural convection and gas-lift parameters on this experimental stand.

Klíčová slova: demonstrátor dvoufázového proudění, gas-lift, dvoufázové proudění, PIV

Úvod

Demonstrátor dvoufázového proudění (dále DDP) je experimentální zařízení, které zjednodušeným způsobem modeluje primární okruh reaktoru s tekutými solemi. Zařízení bylo sestaveno a uvedeno do provozu v laboratoři L 136 na KKE FST v Plzni. Cílem je zmapovat možnosti použití přirozené konvekce a systému gas-lift pro zajištění cirkulace chladiva v primárním okruhu reaktoru s tekutými solemi. Médium použitým v DDP je voda, plynem pro gas-lift je stlačený vzduch. Aby bylo možné detailně sledovat proudění v tahovém komínu DDP, je vhodné použít optickou měřicí metodu PIV.

2. Princip gas-liftu a jeho aplikace v jaderné energetice

Gas-lift neboli plynový výtah je systém používaný dnes především v petrolejářském průmyslu pro čerpání ropy. Vstřikováním plynu do kapaliny dojde jejímu proplynění a tím ke snížení hustoty. Tlak kapaliny nacházející se pod místem vstřiku poté tlačí dvoufázovou směs plynu a kapaliny vzhůru. Jedná se tedy o systém, který tvoří alternativu ke klasickému čerpadlu. Nejzákladnějšími částmi systému jsou plynový ventil, který zajišťuje regulaci množství vstřikovaného plynu a kompresor, který vytváří potřebný tlak plynu.

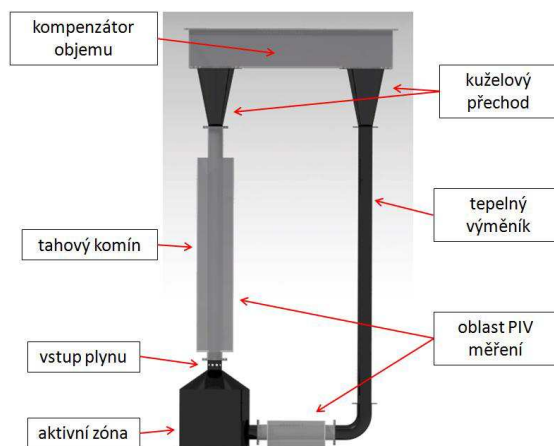
U reaktorů pracujících s přirozenou konvekcí chladiva nebo palivo-chladivové směsi je možné uvažovat o gas-liftu pro zvýšení průtoku a tím intenzifikaci odvodu tepla. Základní myšlenka spočívá v tom, že nad aktivní zónou se nachází tahový komín o délce až 10 metrů, který využívá vztlaku ohřátého chladiva. Na spodní části tahového komína se nachází vstupy pro tlakový plyn, který je vstřikován do chladiva nebo palivo-chladivové směsi, proplyňuje ji, tak snižuje její hustotu a zvyšuje tahový efekt komína. Stoupá tak rychlost směsi a průtočné množství, čímž roste odvod tepla z AZ. Jako vstřikovaný plyn je uvažováno inertní helium, které u MSR kromě podpory přirozené konvekce zajišťuje i kontinuální odvod plyných štěpných produktů ze směsi.

3. Popis demonstrátoru dvoufázového proudění

Byly použity dva druhy konstrukčních materiálů, a to plech z uhlíkaté oceli a plexisklo. Většina částí je svařena z plechu o tloušťce stěny 2 mm. Zbylé části, do kterých je zapotřebí mít optický přístup, aby mohla být prováděna PIV měření, jsou z plexiskla.

Maximální rozměry zařízení jsou 2160 x 1100 x 360 mm (výška x délka x šířka). Aktivní zónu (AZ) zde představuje plechová válcová nádoba o průměru 360 mm a výšce 300 mm. V její horní části je kuželový přechod, na nějž navazuje oblast vstupu vzduchu pro gas-lift. Zdroj tepla v modelové AZ zajišťuje topné těleso o výkonu 2000 W. V nejspodnější části AZ je přišroubován kulový ventil pro plnění a drenáž DDP.

Nad kuželovým přechodem je navařena krátká trubka o vnitřním průměru 70 mm s deseti otvory pro vstup vzduchu. Ve stěně trubky bylo pro tyto účely vyvrtáno deset děr a následně navařeny matice M12. Přes vloženou redukci je ke každé matici připevněna jedna tlaková hadice sloužící pro dopravu stlačeného vzduchu z kompresoru do místa vstupu do tahového komína. Aby bylo možné sledovat vliv velikosti vstupního otvoru vzduchu na parametry gas-liftu, bylo vyrobeno několik sad vyměnitelných mosazných vložek, které se vkládají do redukce mezi tlakovou hadici a vstup do tahového komína. Jsou k dispozici tři sady vyměnitelných vložek s otvory o průměrech 0,5 mm, 1 mm a 2 mm. Pokud nevložíme žádnou vložku, je vstupní otvor 7 mm, celkem tedy jsou testovány 4 různé průměry vstupního otvoru.



Obr. 1: Model DDP

Tahový komín je tvořen plexisklovou trubicí kruhového průřezu s vnitřním průměrem 70 mm a výškou 1200 mm. Pomocí příruby je ve spodní části napojen na plechovou trubku, do které vstupuje vzduch deseti otvory.

Podél výšky tahového komína se nachází bazén čtvercového průřezu z plexiskla, který umožňuje měřit proudění pomocí PIV tím, že omezuje nežádoucí lom světla na rozhraní vzduch - voda. Maximální teplota, při které je použité plexisklo schopné dlouhodobě pracovat, je 60 stupňů, čímž je udána maximální provozní teplota DDP.

Mezi tahovým komínem a kompenzátozem objemu (KO) je přes příruby přišroubován plechový kuželový přechod o výšce 300 mm, který plynule zpomaluje proudění před vstupem do KO, snižuje místní hydraulické ztráty a omezuje tvorbu gejzíru nad hladinou při vysokých průtocích vefukovaného vzduchu. KO je v podstatě shora otevřený plexisklový bazén ve tvaru kvádra s rozměry 1050 x 300 x 200 mm, jenž má v podstavě otvory pro vstup a výstup vody. KO pro potřeby DDP zajišťuje jednak kompenzaci objemových změn vody vlivem změny teploty, což ale pro takto nízké rozdíly teplot není zásadní, ale především umožňuje odvod vzduchu použitého pro gas-lift.

Z KO proudí voda přes kuželový přechod do svislé plechové trubky o vnitřním průměru 70 mm, která spolu s oběma plechovými kužely vlastním povrchem vody v KO zajišťuje funkci tepelného výměníku. Odvod tepla je zajištěn pomocí nucené konvekce vzduchu kolem trubky výměníku pomocí dvou ventilátorů. Zbylé části DDP jsou tepelně izolovány.

Svislá plechová trubka je přes plechové koleno spojena s vodorovnou trubicí z plexiskla, která je taktéž osazená plexisklovým bazénem, jenž umožňuje měření PIV. Na závěr se voda vrací opět do AZ a cyklus se opakuje.

Celé zařízení je drženo opěrnou konstrukcí z hliníkových profilů.

4. Průtok vody okruhem DDP při přirozené konvekci vlivem ohřátí vody v AZ

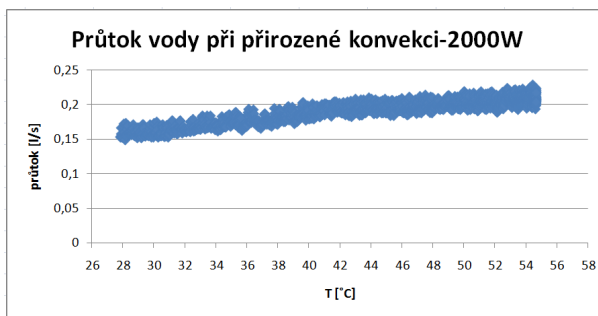
Byl měřen průtok při přirozené konvekci pro dva různé výkony topného tělesa, a to 1000 W a 2000 W. Na grafu 1 je zobrazen průtok vody při přirozené konvekci v závislosti na střední teplotě vody při výkonu topného tělesa 2000 W. Jak narůstá střední teplota vody v DDP, stoupá i teplotní rozdíl ΔT mezi maximální a minimální teplotou ve výměníku z hodnoty zhruba 1,5°C na 2°C. V souladu s očekáváním má nárůst ΔT za následek postupné zvyšování průtoku z hodnoty 0,16±0,015 l/s na 0,22±0,02 l/s.

Průtok byl měřen i pomocí PIV pro dvě různé střední teploty vody v DDP, a to 30°C a 40°C. Pro každou měřenou variantu bylo nafoceno 300 snímků, z nichž byl vyhodnocen jeden průměrný snímek, ze kterého vychází profil rychlosti a následně průtok. Profil rychlosti pro variantu s výkonem topného tělesa 2000 W při střední teplotě vody 40°C je zobrazen na grafu 2.

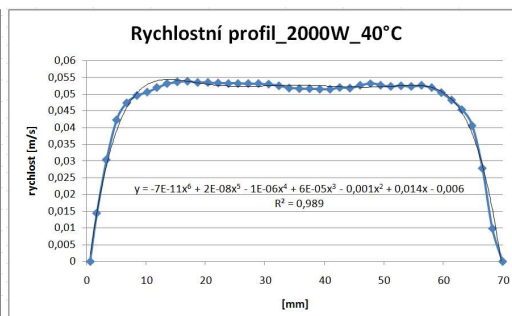
Průtok vlivem přirozené konvekce se pohybuje od 0,122 l/min do 0,186 l/min v závislosti na střední teplotě a výkonu topného tělesa. Při střední teplotě 30°C a výkonu topného tělesa 2000 W je průtok o 25 % větší nežli průtok při výkonu 1000 W. V případě, že je střední teplota 40°C, je rozdíl průtoků 28%.

Zhodnocení vlivu přirozené konvekce na průtok

Z naměřených hodnot je patrné, že princip přirozené konvekce v DDP funguje. Na druhou stranu je její efekt na průtok okruhem značně omezený. Pro zvýšení jejího vlivu pro odvod tepla z AZ je potřeba především navrhnout výkonnější tepelný výměník, který by umožnil dosáhnout a větší ΔT mezi minimální a maximální teplotou v DDP. Pokud budeme schopni odvádět dostatečné množství tepla, abychom udrželi DDP v tepelné rovnováze, můžeme dále zvyšovat i výkon topného tělesa a zkoumat nárůst průtoku.



Graf 1: Průtok vody při přirozené konvekci v závislosti na teplotě pro výkon 2000W

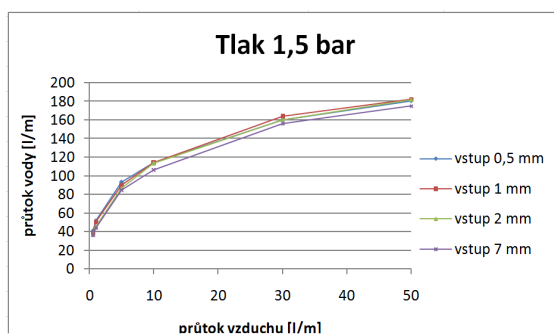


Graf 2: Rychlostní profil při přirozené konvekci pro výkon 2000 W a $T_s = 40^\circ\text{C}$

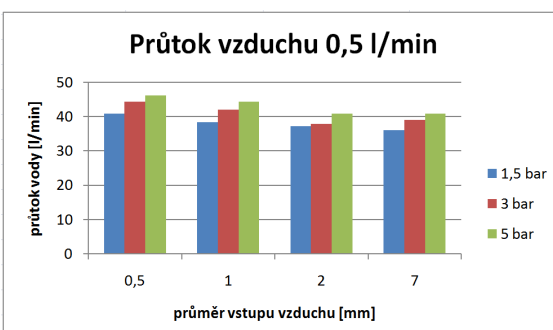
5. Průtok při použití gas-liftu

Průtok vody demonstrátorem dvoufázového proudění při použití gas-liftu byl proměřen indukčním průtokoměrem pro řadu variant.

Byly měněny 3 základní parametry gas-liftu a sledován vliv těchto změn na průtok vody okruhem. Měněnými parametry jsou tlak a průtok vefukovaného vzduchu a rozměry otvorů, jimiž vzduch vstupuje do tahového komína. Byly proměřeny všechny kombinace variant pro 3 tlakové hladiny vefukovaného vzduchu, 4 velikosti vstupních otvorů vzduchu a 6 různých průtoků vzduchu. Celkem tedy bylo proměřeno 72 různých kombinací.



Graf 3: Průtok vody okruhem v závislosti na průtoku vzduchu (tlak vzduchu 1,5 bar)



Graf 4: Průtok vody okruhem v závislosti na průměru vstupního otvoru vzduchu (průtok vzduchu 0,5 l/min)

Zhodnocení vlivu gas-liftu na průtok

- Gas-lift má výrazný vliv na zvýšení průtoku okruhem. Například pouze 0,5 l/min vzduchu o tlaku 1,5 bar je schopno zajistit úctyhodný průtok vody 40 l/min (viz Graf 3).
- S rostoucím průtokem vefukovaného vzduchu roste průtok vody okruhem, při nízkých průtocích vzduchu je rychlost nárůstu veliká, při vysokých průtocích vzduchu rychlost nárůstu klesá (viz Graf 3).
- S nárůstem tlaku při daném objemovém průtoku vzduchu roste hmotnostní průtok, a tedy roste i průtok vody okruhem.
- Při malých průtocích vzduchu nastává vyšší průtok vody v případě, že použijeme otvory vzduchu s nižším průměrem. Pro vysoké průtoky vzduchu závislost průtoku vody na velikosti vstupního otvoru vzduchu prakticky vymizí. Tato závislost je s největší pravděpodobností dána tvarem a velikostí vznikajících bublinek vzduchu, kdy menší a homogenně rozmístěné bublinky jsou vhodnější než velké bublinky různých tvarů (viz Graf 4).
- Mezi vstupy o průměrech 2 mm a 7 mm jsou při konstantních ostatních parametrech rozdíly v průtoku vody velmi malé (viz Graf 4). Lze to vysvětlit charakterem proudového pole, kdy pro tyto případy téměř nezávisí rozmístění, tvar a velikost bublinek na průměru vstupu vzduchu.

Závěr

V laboratoři KKE FST bylo postaveno a uvedeno do provozu experimentální zařízení s názvem Demonstrátor dvoufázového proudění (DDP). Byly proměřeny parametry přirozeného proudění v systému a parametry gas-liftu a ověřen jejich vliv na průtok okruhem DDP. Do budoucna je vhodné provést některé úpravy zařízení, jako je návrh výkonnějšího tepelného výměníku a návrh vstupní komory vzduchu, která by zajistila rovnoměrný přívod tlakového vzduchu ke všem kanálům.

Literatura

[1] Valenta, V.: Problémy plynového výtahu (Gas-lift), Západočeská univerzita v Plzni, 2009