

Záchyt jemných částic dýmu ejektorem

Václav Linek (vaclav.linek@vscht.cz), Tomáš Moucha (tomas.moucha@vscht.cz), František J. Rejl (frantisek.rejl@vscht.cz), Michal Opletal, Jan Haidl (jan.haidl@vscht.cz)

Ústav chemického inženýrství VŠCHT Praha, Technická 3, 166 28 Praha 6 – Dejvice

Souhrn

Představujeme průmyslovou aplikaci zařízení pro intenzifikaci kontaktu plynu a kapaliny - ejektoru v oblasti méně častého využití takových zařízení. Jedná se o druhou průmyslovou aplikaci navrženou Laboratoří sdílení hmoty VŠCHT Praha, kdy je ejektor použit k čištění kouřového plynu od velmi jemných částic dýmu, které nebylo možno zachytit ani průchodem plynu skrácenou plněnou kolonou. Je představena poloproduční aparatura použitá k získání potřebných experimentálních dat na výzkumném pracovišti a následně navržené provozní ejektorové jednotky instalované v průmyslovém podniku.

Summary

We introduce an industrial application of the ejector in the regime, in which such a device for gas-liquid contact intensification is not frequently used. The industrial application designed by Mass Transfer Laboratory at UCT Prague (the second one in this area) serves for the removal of very fine dust particles from gas, when quencher and packed column failed. The pilot-plant apparatus is introduced, which provided the experimental results for industrial scale ejector design. Further, the ejector units built in an industrial plant are shown.

Klíčová slova: ejector, gas purification, industrial design

1. Úvod

Mezi zařízeními pro styk plynu s kapalinou patří ejektory k zařízením s nejvyšší intenzitou mezifázového transportu hmoty. Například v porovnání s plněnými kolonami dosahují ejektory o řád vyšších hodnot objemového koeficientu přestupu hmoty. Za podmínek provozu, kdy je hnací tekutinou kapalina a hnanou tekutinou plyn, jsou v ejektoru vytvářeny velmi malé bubliny plynu v kapalině (o průměru zlomků milimetru), což při běžných poměrech objemu přisávaného plynu ku objemu hnací kapaliny představuje vysokou hodnotu měrné mezifázové plochy v ejektoru. Rovněž koeficient přestupu hmoty nabývá v ejektoru vysoké hodnoty díky vysoké intenzitě turbulence (vysoká rychlost toku hnací kapaliny). Ejektor je proto hodnocen jako vysoce efektivní zařízení typicky z pohledu mezifázového transportu hmoty (rozpuštění plynů). Je proto s výhodou využíván také při procesech, kde je absorpce plynu do kapaliny doprovázena chemickou reakcí v kapalně fázi. Pro vysokou hodnotu měrné mezifázové plochy spojenou s výskytem velmi malých bublin je ejektor zařízením schopným plnit i další úlohu, kde jiné typy kontaktorů kapalina-plyn selhávají, jak bude uvedeno dále.

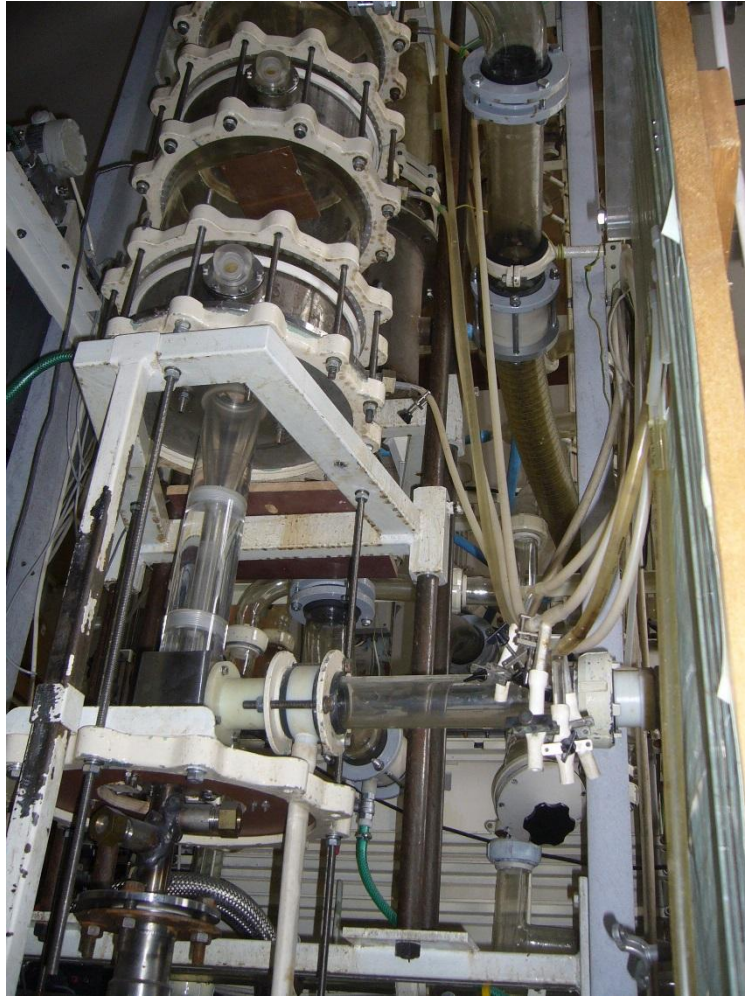
Tento příspěvek představuje méně časté využití ejektoru, a to čištění kouřového plynu od velmi jemných částic dýmu, jejichž vzniku se v některých technologiích nelze vyhnout. Tyto částice díky velkému poměru svého povrchu ku objemu prakticky sledují směr proudění plynu a nelze je snadno odstranit. Například při průchodu znečištěného plynu skrácenou kolonou plyn mění v lokálním měřítku náhle směr, když je rozrážen padajícími kapkami kapaliny. Malé pevné částice, jejichž hybnost je nízká v porovnání s třecími silami mezi jejich povrchem a okolním plynem, změní směr společně s plynem, nedostanou se do kontaktu s povrchem kapek a nemohou tak být kapalinou zachyceny.

Situace se změní, a ke kontaktu pevných částic s kapalinou dojde, když je kouřový plyn dispergován v kapalině ve formě bublin průměru srovnatelného s průměrem pevných částic. Této situace lze docílit právě v ejektoru. Oproti průchodu mechanickými filtry je při použití ejektoru mj. výhodou i jeho nasávací schopnost a tedy nejen že není třeba zvyšovat tlak znečištěného plynu za účelem překonání tlakové ztráty, jak by tomu bylo při průchodu mechanickými filtry, ale dokonce ani není třeba přídatného ventilátoru pro vhánění kouřového plynu do čistícího stupně. Na druhou stranu je třeba upozornit, že obvykle dosahovaným přísávaným množstvím plynu je pouhý dvoj- až troj-násobek objemového průtoku hnací kapaliny. Z toho, společně s faktem, že pro správnou funkci ejektoru je třeba přetlaku hnací kapaliny obvykle okolo 2,5 bar, vyplývá potřeba zohlednit také energetické nároky takového čištění plynu. Tato technologie tedy přichází na řadu až v případech, kdy levnější varianty, jako je skrápěná plněná kolona či quencher, k odstranění dýmu nepostačují.

Cílem příspěvku je představení parametrů sledovaných při výzkumu chování ejektoru, které lze využít při průmyslových návrzích, dále seznámit čtenáře s poloprovozní aparaturou Laboratoře sdílení hmoty na VŠCHT Praha sloužící k získávání potřebných experimentálních dat a závěrem představit provozní jednotky instalované v průmyslovém podniku.

2. Poloprovozní aparatura

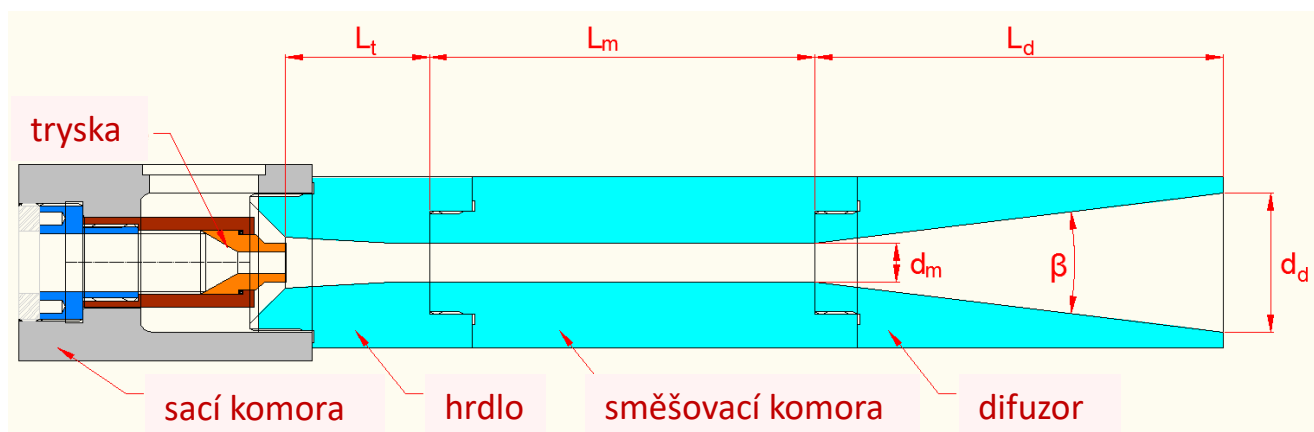
V Laboratoři sdílení hmoty VŠCHT Praha je instalován poloprovozní ejektor v kombinaci s bublanou kolonou, které ejektor slouží jako efektivní distributor plynu. Tato aparatura umožňuje měřit transportní charakteristiky ejektoru (zádrž plynu, přísávací poměr hnaného plynu a hnací kapaliny, profil tlakové ztráty podél ejektoru, objemový koeficient přestupu hmoty) a transportní charakteristiky bublané kolony (zádrž plynu a objemový koeficient přestupu hmoty). Experimentální výsledky získané na této aparatuře slouží jako podklady pro návrhy průmyslových aplikací. Obrázek 1 ukazuje spodní část sestavy ejektoru s bublanou kolonou, obrázek 2 detail ejektoru, obrázek 3 technický náčrt popisující části ejektoru a definující sledované geometrické parametry a obrázek 4 ukazuje náčrt detailu trysky.



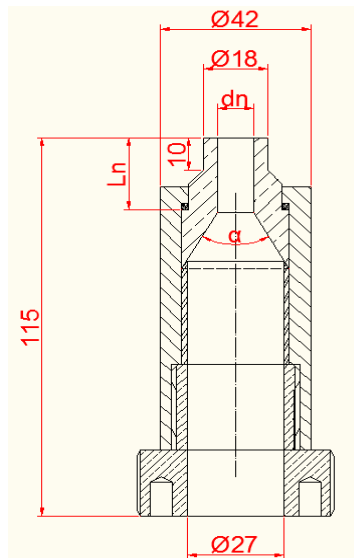
Obrázek 1: Ejektor v patě bublané kolony, jímž je odspodu hnána kapalina a z boku (na obrázku zprava) je hnací kapalinou přisáván plyn. Nad ejektorem je ukázána spodní polovina bublané kolony.



Obrázek 2: Detail poloprovozního ejektoru s vyznačením směru toku hnací a hnané tekutiny



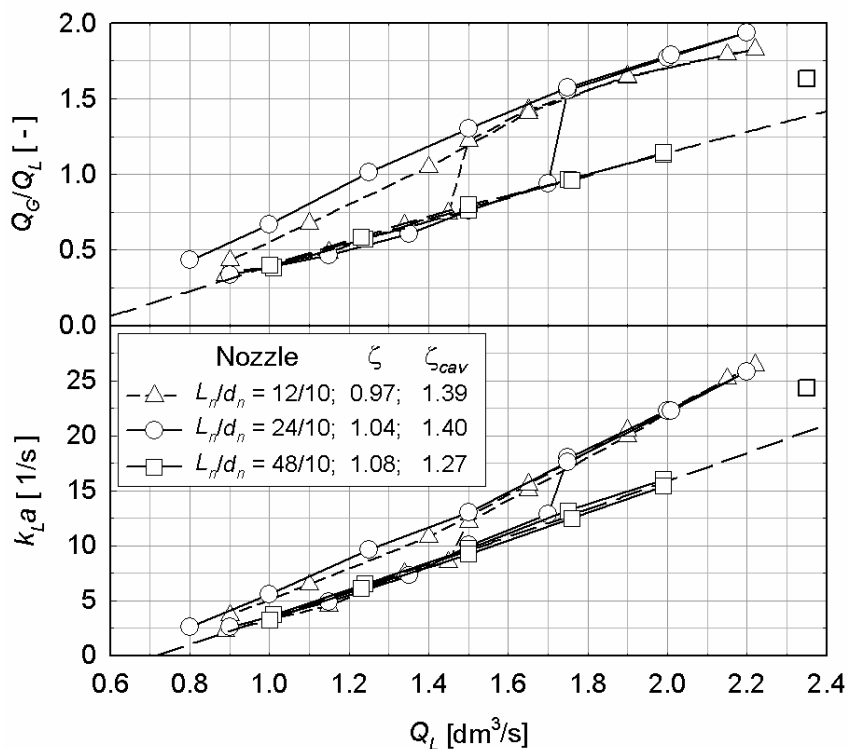
Obrázek 3: Nákres ejektoru s vyznačením geometrických parametrů sledovaných při návrhu provozního zařízení



Obrázek 4: Příklad detailu trysky poloprovozního zařízení s vyznačenými návrhovými parametry d_n , L_n a α

Aparatura umožňuje měření výše popsaných transportních charakteristik pro kapaliny s různými fyzikálními vlastnostmi (koalescentní, nekoalescentní, viskózní vsádka) a pro různé geometrie ejektoru. Jak je patrné z obrázku 3, je ejektor rozebíratelný a jednotlivé díly je možno zaměňovat. Je tedy možno měnit nezávisle jednotlivé parametry L_t , L_m , L_d , d_m , β , d_d definované obrázkem 3 a případně některé díly (například směšovací komoru) ve zkoumané geometrii neinstalovat. Dále je možno studovat vliv geometrie trysky, jejímiž výměnami může být studován například vliv parametrů d_n , L_n a α definovaných v nákresu detailu trysky na obrázku 4.

Na obrázku 5 je ukázán příklad experimentálních výsledků měření na poloprovozním zařízení.



Obrázek 5: Ukázka výsledků měření na poloprovozním ejektoru pro různé průměry a délky trysky ejektoru. Experimentální výsledky popisují objemový poměr průtoku přisávaného plynu a hnací kapaliny Q_G/Q_L a objemový koeficient přestupu hmoty k_{La} v závislosti na průtoku kapaliny ejektorem. Parametry ζ v legendě obrázku představují součinitele tření spočtené z experimentálních dat tlakového profilu podél ejektoru.

3. Průmyslová aplikace ejektoru k čištění kouřového plynu

Následující odstavce stručně popisují využití výsledků poloprovozní aparatury k návrhu provozního zařízení při řešení potřeb průmyslové praxe.

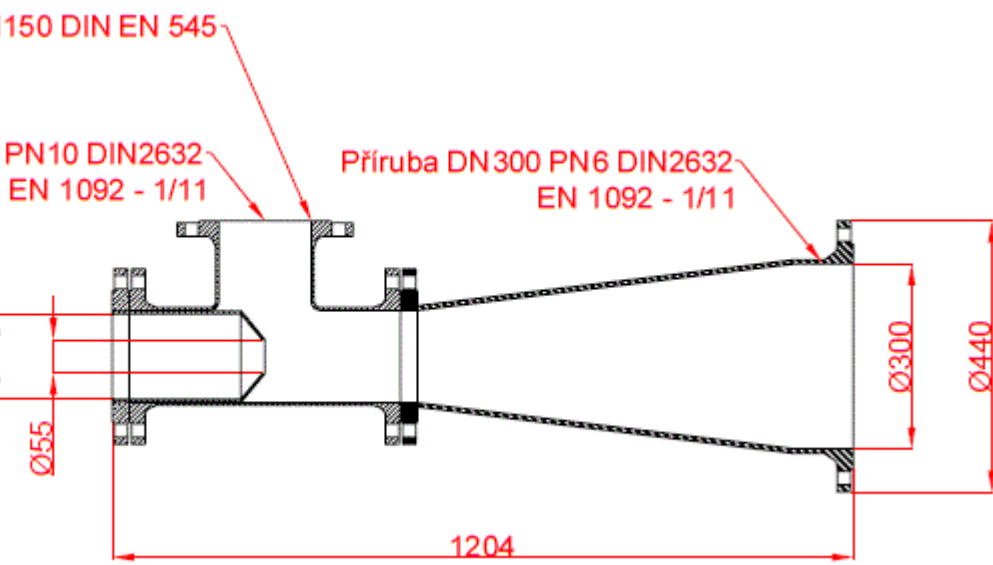
3.1. Situace k řešení a návrh geometrie ejektoru

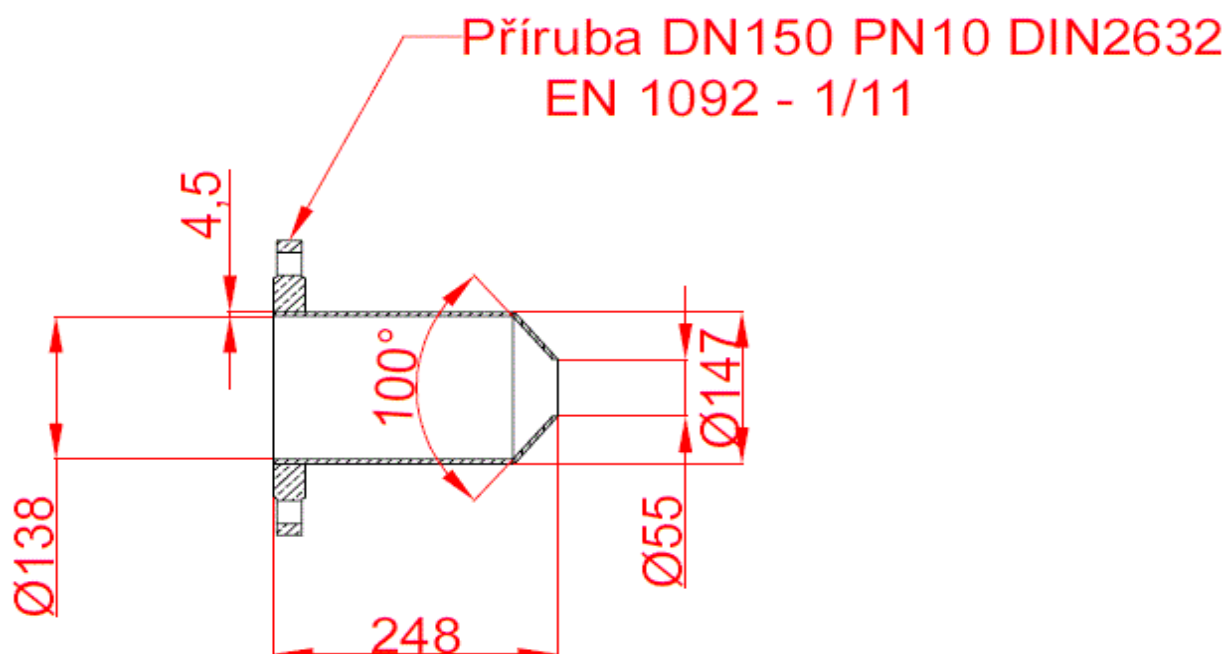
V průmyslovém podniku se vyskytl problém tvorby dýmu způsobeného přítomností jemných pevných částic v odplynu z technologie, jejíž popis zde z důvodu zachování obchodního tajemství neuvádíme. Odplyn z technologie je veden přes absorpční kolonu, kde jsou z něj odstraňovány kyselé plyny, ale ani zde se nedaří skrápěcí kapalinou dým z plynu odstranit. Situace, kdy dým odchází z výrobní technologie po průchodu absorpční kolonou do okolního vzduchu, je ukázána na obrázku 6.



Obrázek 6: vypouštění odplynu z výrobní technologie po průchodu absorpční kolonou. Odplyn obsahuje jemné pevné částice, které plněná skrápěná kolona nedokáže zachytit.

Na základě provozních dat o průtoku odplynu kolem 200 litrů za sekundu (tj. o dva řády vyšší hodnota v porovnání s poloprovozním zařízením poskytujícím data pro průmyslový návrh, viz hodnoty Q_G/Q_L a Q_L na obrázku 5) byl pro provoz navržen ejektor s geometrickými parametry ukázanými na obrázku 7.





Obrázek 7: Parametry provozního ejektoru navrženého pro záchyt dýmu v situaci popsané výše – celkové uspořádání ejektoru a detail geometrie trysky.

3.2. Provizorní a konečné provozní zařízení

Na základě návrhu popsaného výše bylo realizováno provozní zařízení pro zkušební provoz cirkulující technologickou vodu provozním ejektorem, jak je ukázáno na obrázku 8.



Obrázek 8: Provozní zařízení s ejektorem pro záchyt dýmu ve zkušebním provozu.

Při zařazení provizorního provozního ejektoru do výroby bylo dosaženo potřebného vyčištění odplynu, tj. byl zachycen dým tvořený jemnými pevnými částicemi. Pro porovnání je ukázán výstup provozního odplynu z nádrže kapaliny za ejektorem na obrázku 9. Je zde možno opticky porovnat míru znečištění tohoto odplynu dýmem se situací na obrázku 6.



Obrázek 9: Výstup odplynu po průchodu provizorní ejektorovou jednotkou, kde byl zachycen dým tvořený jemnými pevnými částicemi.

Na základě výsledků zkušebního provozu bylo následně instalováno definitivní provozní uspořádání čištění odplynu ejektorem, jehož provozní podmínky se nyní doladují.



Obrázek 10: Konečná podoba ejektorové jednotky pro záchyt jemného dýmu právě uváděné do provozu.

4. Závěr

Na základě experimentů na pokusném zařízení Laboratoře sdílení hmoty VŠCHT Praha byl navržen provozní ejektor pro záchyt dýmu z kouřového plynu s průtokem o dva řády vyšším, než jakého je dosahováno v laboratorním poloprovozu. Poloprovozní zařízení je osazeno dostatečným počtem potřebných měřících prvků, aby monitorování provozních podmínek poskytlo výsledky pro návrhy průmyslových zařízení. Konkrétní aplikace popsaná v tomto příspěvku je v pořadí čtvrtou založenou na poloprovozních datech Laboratoře sdílení hmoty, která řeší potřeby průmyslu. V tomto případě se jedná o aplikaci méně častou, kdy není řešena potřeba intenzifikace absorpce plynu do kapaliny, ale jedná se o využití ejektorem produkované disperze kapalina-plyn s velmi malými bublinami plynu k záchytu jemných částic dýmu. Poloprovozní zařízení s ejektorem a bublanou kolonou instalované v Laboratoři sdílení hmoty VŠCHT Praha je tedy schopno poskytnout data pro realizaci různých typů průmyslových aplikací, v nichž lze výhodně využít ejektoru s kapalinou jako hnacím médiem a plynem jako médiem hnaným.