

Václav Dolejšek

O rozdílu mezi vývěvami kondenzačními a difusními

Časopis pro pěstování matematiky a fysiky, Vol. 63 (1934), No. 8, 267--272

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/122541>

Terms of use:

© Union of Czech Mathematicians and Physicists, 1934

Institute of Mathematics of the Academy of Sciences of the Czech Republic provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



This paper has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://project.dml.cz>

O rozdílu mezi vývěvami kondenzačními a difusními.

V. Dolejšek.

(Došlo 20. března 1934.)

Nejdůležitější skupinu vývěv v technice vysokého vakua tvoří vývěvy, v nichž se používá k docílení vakua par určitých látek. V názvech těchto vývěv jeví se však veliký zmatek. Bývají označovány jako vývěvy difusní, vývěvy kondenzační a vývěvy ejektorové neboli paprskové a protože se v označení vidí zároveň podstatná vlastnost čerpacího zařízení. Zmatek se jeví i v názorech na princip čerpání.¹⁾ Důležité jest uvědomiti si, co je skutečně podstatou čerpání nových velmi výkonných vývěv pro pochopení možnosti dalšího vývoje. Chci na základě výsledků získaných v pracích za jiným účelem se svými spolupracovníky²⁾ podati příspěvek k této otázce.

Základ této skupiny vývěv dali ve dvou různých směrech jednak Gaede r. 1915 a jednak Langmuir r. 1916. Gaede³⁾ nazval prvou vývěvu k docílení vakua jím konstruovanou vývěvou difusní, neboť byl veden k její konstrukci aplikací zákonů získaných jím a některými jinými autory z prací o difusi při nízkých tlacích. Podle výsledků Gaedeho je možno za tohoto nízkého tlaku získati vysoké vakuum tím způsobem, že plyny vnikají difusí do par rtuti. Nejsou-li v parách rtuti žádné cizí plyny, je v nich parciální tlak plynu nulový. Naproti tomu v recipientu, pokud není úplně vyčerpán, je parciální tlak plynu vždy vyšší. Proto difunduje plyn z recipientu do paprsku parního i když je v něm tlak páry vyšší, neboť difuse závisí na rozdílu parciálních tlaků.

U prvé vývěvy konstruované Gaedem se skutečně může jednatí jen o difusi, neboť páry rtuti proudí jen kolem místa styku par a plynu a nemůže nastati strhování plynu přenášením kinetické energie molekul par. Difusní princip prvé vývěvy Gaedeho je

¹⁾ Tak na př. kondenzační vývěvy olejové, vyrobené Metropolitan Wickers Comp., převzaté firmou Leybold, bývají nazývány vývěvami difusními.

²⁾ J. Bačkovský, V. Vand, A. Svoboda.

³⁾ W. Gaede: *Annalen d. Phys.* 46, 357, 1915. *Zeitschr. f. techn. Phys.* 4, 337, 1923. *Zeitschr. f. techn. Phys.* 15, 210, 1932.

patrný jedině z obrazu původní vývěvy Gaedeho, neboť novější schemata, která Gaede udává, neodpovídají výhradně principu difuze a skreslují rozdíl mezi výsledky Gaedeho a jiných autorů.^{3,4)}

Jako optimální se ukázala u vývěv Gaedeho teplota 100° C a při ní byla maximální čerpací rychlost 80 cm³/sec. Tato rychlost čerpací zůstává podle měření Gaedeho a Eberta konstantní v oboru 10⁻²—10⁻⁵ mm Hg. Podle Gaedeho nastane difuze jen tehdy, je-li tlak par takový, že střední volná dráha molekul v okolí šterbiny je dostatečně velká, neboť je-li střední volná dráha molekul malá, je většina molekul plynu parami sražena zpět. Směrodatný je podle výsledků Gaedeho pro rychlost difuze poměr střední volné dráhy molekul k šířce difusní šterbiny. Maximální rychlosti čerpací se podle Gaedeho dosáhne, rovná-li se šířka šterbiny řádově střední volné dráze molekul plynu a liší-li se tlak par jen málo od vakua předčerpacího. Naproti tomu experimentálně nebyla již při této vývěvě potvrzena závislost rychlosti difuze na šířce šterbiny.

Další vývoj se neděl však a nemůže se díti na základě představ o difusi. Platí to i pro novější vývěvy typu Gaedeho, které jsou upraveny podle výsledků získaných na základě prací jiných autorů a neplynou nikterak ze zákonů o difusi. Zvláště to platí pro vývoj vývěv s jinými pohonnými látkami než se rtutí. V prvé vývěvě Gaedem konstruované lze proudění kolem šterbiny difusní považovati za skutečně velmi nepatrné, takže prouděním nemůže nastati strhování molekul. O tom, že proudění nespolepůsobí kladně při čerpání, svědčí také to, že při teplotě o málo vyšší, než je teplota 100° C, čerpací efekt vývěvy naprosto přestává.

V r. 1916 konstruoval Langmuir⁴⁾ vývěvu, kterou nazval kondensační, neboť byl veden k její konstrukci na základě výsledku svých prací o kondensaci, reflekci a reevaporaci molekul. Způsob čerpání vývěvy Langmuirovy je naprosto rozdílný od způsobu čerpání vývěvy Gaedeho a neplyne nijak z výsledků o difusi. Jediné aplikace způsobu čerpání Langmuirem udaného umožňují, že vývěvy parní jsou dnes nejdůležitější skupinou vývěv vysokovakuumových. Podle Langmuira se děje čerpání i při nízkých tlacích při vhodném uspořádání hlavně přenášením kinetické energie molekul par a jejich kondensací. Vliv difuze podle Langmuira při vnikání plynu do par je nepatrný a Langmuir se nijak nesnaží difusi zvýšiti. Vývěva Langmuirova (a všechny novější vývěvy) je konstruována tak, aby plyn byl proudícími parami stržen a dopraven do prostoru kondensačního a to pokud možno za velké rychlosti molekul par. Molekuly plynu papskem par stržené jsou vlivem značné kinetické energie molekul par stlačeny a dopraveny do prostoru kondensačního, kde jsou páry kondensovány. Z úvah Langmuirových vysvítá.

⁴⁾ J. Langmuir: Phys. Rev. 8, 48, 1916; General Electric Rev., str. 1060 1916.

že v prvé řadě dbal na to, aby teplota stěn, na které dopadnou páry po stržení molekul plynu, a to páry značně teplé, byla dostatečně nízká, aby se na nich molekuly par skutečně kondensovaly a neodrážely se všemi směry, čímž by zabraňovaly dalším molekulám plynu vstup do paprsku. Hlavním znakem vývěvy podle Langmuira konstruované tudíž je, že páry mají pokud možno značnou rychlost, takže komprimují stržený plyn do prostoru kondensačního, kde jsou rychle kondensovány. Z toho je pochopitelné, že vývěva Langmuirova, která není nikterak upravena podle názorů o difuzi, docíluje velmi značné rychlosti čerpací (4000 cm³/sec). Ve srovnání s vývěvou Gaedeho, konstruovanou na základě názorů o difuzi, činil by tudíž ve vývěvě Langmuirově příspěvek difuze maximálně 2% celkové hodnoty. U této vývěvy není již též pro všechny obory tlaku čerpací rychlost stálá, jak tomu bylo u vývěvy Gaedeho, nýbrž při vyšších vakuích klesá asi na polovinu původní hodnoty.⁵⁾

Další vývoj vývěv navazuje výhradně na postup Langmuirův, t. j. na vývěvy kondensační, a aplikuje na jeho výsledky poznatky získané z hubic ejektorových. Názory o difuzi nezpůsobily pokrok ani v jediném případě, novější práce Gaedeho nevyjímaje. Z těchto prací (Williams, Knip, Thomson a jiní) je to zvláště obsáhlá práce Crawfordova.⁶⁾ Vývěva jeho je u nás známa v úpravě Stintzingově (vyrábí firma Pfeiffer). Hubice této vývěvy ukazuje tvarem na první pohled, že byla získána, na základě jeho teorie „paralelních paprsků“, aplikací zákonů z parních strojů čili hubic ejektorových na obor vysokého vakua. Výkon vývěvy této není však větší než vývěvy Langmuirovy, ale rozdíl mezi vakuem předčerpacím a vysokým lze tímto způsobem poněkud zvýšiti. Další autoři pokračovali směrem Crawfordovým měnice empiricky rozměry hubic, jejichž tvar zůstával však podoben ejektorům. Tímto empirickým způsobem zvýšila se nejen možnost použití nižšího vakua předčerpacího, nýbrž zvýšila se též značně rychlost čerpací.

Na principu ejektorovém konstruoval dobrou vývěvu s parami rtuti Volmer⁷⁾ a nazval ji vývěvou rtuťového parního paprsku. Vývěva pracuje již za předčerpacího vakua daného vodní vývěvou (12 mm Hg) a bývá nazývána též krátce vývěvou ejektorovou. Takto modifikovaný typ vývěvy Langmuirovy je nejvýkonnější vývěvou vysokovakuovou vůbec a je zajímavé, že právě u novějších vývěv Gaedeho (nazývaných ovšem vývěvy difúzní) byl velmi úspěšně použit. Gaede říká⁸⁾: „Různá pojmenování spočívají

⁵⁾ Vývěvy typu Langmuirova konstruované pro rtuť lze též beze změny použít pro některé jiné kapaliny beztlakové, na př. oleje. Pro vývěvy jiných typů to neplatí.

⁶⁾ W. Crawford: Phys. Rev., 10, 557, 1917.

⁷⁾ E. Volmer: Zs. f. angew. Chemie, 34, 149, 1921.

⁸⁾ W. Gaede: Lehrb. d. Phys. Tech. Mech., VI, 102, 1928.

v podstatě jen na tom, že rozdíl mezi vývěvou s parním paprskem a vývěvou difusní nebyl jasně poznán.“ Dále praví: „... všechny tyto vývěvy mají stejný znak, který již Gaede ve své nejprvní publikaci (D. R. P. 286.404) jako nejdůležitější a pro takové vývěvy nejcharakterističtější jmenoval, totiž: střední volná dráha molekul plynu v proudu par nesmí překročiti šířku otvoru šterbiny.“

K ozřejmění, jak pracuje ve vysokém vakuu vývěva s hubicí analogicky k vývěvě ejektorové konstruovanou, uvedu následující výsledky pokusů: Užijme vývěvy s dobrou hubicí asi tvaru Gaedeho čerpající z tlaku vodní vývěvy, t. j. asi z 12 mm Hg. Velikost a tvar této hubice a vzdálenost obou částí (hnací a ssací) jsou pro výkonnost takové ejektorové vývěvy velmi důležité. Konstrukce pro tento obor vakua je jediné možná na základě poznatků z vývěv ejektorových.⁹⁾ Užijeme-li v takové vývěvě ejektorové s dobrou hubicí tvaru Gaedeho předčerpacího vakua na př. 12 mm Hg, tu vývěva začne nám čerpati teprve při určité minimální teplotě, určující za daného uspořádání současně tlak par před a za dyksnou i jejich rychlost. Teplotu a hustotu par nelze dobře určit, poněvadž by se tím změnily skutečné pracovní podmínky, ale pro výsledek stačí usuzovati na změnu velikosti dodaného tepla. Za předvakua 12 mm Hg dá nám v tomto případě vývěva vakuum asi 10^{-1} mm Hg. Zvyšujeme-li při této minimální teplotě vakuum předčerpací, nezlepší se nám vakuum vývěvou docílené, ani když zvýšíme vakuum předčerpací až na 10^{-1} mm Hg. Ponecháme-li však nyní toto zvýšené vakuum předčerpací a snížíme-li topení, tu při určité nižší teplotě (a hustotě par) dá nám vývěva náhle s touto hubicí vakuum řádu 10^{-3} mm Hg (t. j. vakuum tence par rtuti, které nebyly v tomto případě vymrznutím zkonzensovány).

Vakuum předčerpací	Vakuum vysoké
12 mm Hg	0,1 mm Hg
0,1 mm Hg	0,1 mm Hg
0,1 mm Hg	0,001 mm Hg

Tento pokus je stejně reprodukovatelný i při zvyšování topení, tedy při postupu opačném. Z tohoto výsledku je viděti, že vývěva ejektorová může sloužiti v naprosto stejném tvaru a velikosti jako vývěva vysokovakuová. Je to v soulase s tím, co říká Gaede.⁹⁾ To, že nevzniká za všech předpokladů paprsek páry, je viděti

⁹⁾ Gaede praví: „Difusní vývěva může během čerpání nejdříve, pokud tlak vzduchu je ještě veliký, pracovati jako vývěva ejektorová za předpokladu, že hubice je takového tvaru, že paprsek páry se vůbec vytvořiti, což však vždy nenastává.“ Z poznámky Gaedeho o tvaru hubice je zřejmo, že na základě názorů o difusi nemůže vzniknouti dobrá ejektorová vývěva.

z podobného pokusu s hubicí tvaru Crawfordova (resp. Stintzingova), neboť tato vývěva začne čerpati za předčerpacího vakua 0,1 mm Hg při určité teplotě a čerpá na vysoké vakuum v určitém rozmezí teploty (t. j. při dalším zvyšování teploty přestane čerpati). Naproti tomu při větším předvakuu nečerpá tato vývěva vůbec. To znamená, že vývěvy s hubicí konstruovanou pro čerpání ve vysokém vakuu nelze s úspěchem použít jako vývěvy ejektorové, avšak vývěvy s hubicí ejektorovou lze za určitých podmínek (teploty a hustoty par) použít k čerpání ve vysokém vakuu.

Tento výsledek nejlépe pochopíme, uvážíme-li čerpání ve čtyřstupňové vývěvě Gaedeho. Vývěva sestává v prvních třech stupních ze tří stejných hubic umístěných nad sebou, s jakou byl uvedený pokus proveden. Je zřejmo, že v prvním nejnižším stupni vývěvy Gaedeho je tlak par větší než ve stupni druhém, kam proudí páry ještě další trubici, která klade parám určitý odpor, čímž tlak par v této hubici je jistě snížen. To znamená ve srovnání s uvedeným pokusem, že vývěva v prvním stupni ejektorová má v druhém stupni takovou hustotu par, že je vhodná pro obor vysokého vakua. Výklad, jak se děje čerpání v jednotlivých dyksnách při různých stupních docíleného vakua, je podán v publikacích Gaedeho a v prospektech o jeho vývěvách. Čtvrtý stupeň této vývěvy Gaedeho (dovolující čerpati již z předčerpacího vakua 40 mm Hg) není již zcela shodný se třemi stupni ejektorovými dříve uvedenými, ale jeví konstruktivně rovněž zřejmé stopy principu ejektorového a liší se pouze nepodstatně tvarem a rozměry. Rozhodně ani tento čtvrtý stupeň není upraven, jak by snad plynulo na základě našich názorů o difuzi. Že lze pouze na základě tohoto názoru docílit značných rychlostí čerpacích, je zřejmé též z novějších prací amerických autorů Langmuira, Clevelanda a Payneho,¹⁰⁾ v jejich vývěvách jsou rozměry a tvar hubic upraveny pro obor vysokého vakua na základě analogie k principu ejektorovému empiricky s největším zřetelem na kondensaci. Jak velkou roli hraje kondensace v dalším vývoji vývěv, je zřejmé z vývěvy Gaede-Keessomovy.¹¹⁾ Gaede a Keessom zvýšili rychlost čerpací tím, že do vývěvy zavedli ještě přímé chlazení uvnitř difusní hubice, tedy zdokonalenou kondensaci. Gaede ovšem podotýká, že zvláštní chlazení uvnitř vysokého vakua je proto nutné, aby střední volná dráha molekul plynů obsažených v parách paprsku rtuti byla přizpůsobena tak, aby byla dosti veliká vzhledem k velikým dimensím vývěvy. Poněvadž již při první vývěvě Gaedem konstruované závislost rychlosti čerpací na otvoru difusní štěrbině se nepotvrdila, je zřejmé, že zvýšení rychlosti čerpací je způsobeno pouze dokonalou kondensací proudících par a přenášením kinetické energie.

¹⁰⁾ Journal of Franklin Institute, 213, No 119, 1932.

¹¹⁾ Gaede-Keessom: Zs. f. Instrumentalkunde, 49, 298, 1929.

Podle některých našich předběžných výsledků ve vývěvách při použití jiných beztlakových vysokovroucích kapalin (nyní zvaných Američany flegmatických) jako látek pohonných místo rtuti se zdá, že v takových vývěvách nastává dvojí čerpání, při určité nižší teplotě (malé rozmezí teplot!), které přestane při zvyšování teploty a pak teprve při určité vyšší teplotě nastane čerpání o značnějším výkonu. Je nasnadě myšlenka, že by prvé čerpání při určité nižší teplotě mohlo býti způsobeno tím, že podmínky jsou právě vhodné pro difusi. Opakování těchto pokusů nebylo však dosud přesně reprodukovatelné, takže není jisto, zda nastává toto nepatrné čerpání při určité nižší teplotě vlivem difuse, či je snad způsobeno tím, že v látkách, při nichž toto čerpání nastalo (olej, dibutylftalát a glycerin), byla přítomna nějaká látka jiná, která tento efekt způsobila.

*

Sur la différence entre les pompes à vide à condensation et à diffusion.

(Extrait de l'article précédent.)

De l'expérience qu'a fait l'auteur à l'aide d'une pompe à vide avec un éjecteur en forme de Mr. Gaede et avec l'éjecteur de Mr. Crawford et en comparant ce résultat avec les conditions existants dans les différents pompes à vide, il s'est montré que les éjecteurs travaillent sur certaines conditions aussi dans la région du haut vide. Mais les conditions ne sont pas seulement données par le changement du vide préparatoires, comme Mr. Gaede le dit, mais aussi par le changement de température et de densité de vapeur. Dans la pompe de plusieurs degrés de Gaede, les conditions sont atteintes par la longueur et les dimensions différentes des tubes qui sont parcourus par les vapeurs de mercure. Au contraire, il n'est pas possible pour l'éjecteur de Crawford travaillant dans le haut vide d'atteindre par le changement de telles conditions pour qu'il travaille aussi dans le vide dans la domaine du vide ordinaire. En comparant ce résultat, l'auteur montre que le principe de ces pompes est comme il est dit par Langmuir et par le transport de l'énergie de molécules de vapeur et par leurs condensations pendant que la contribution de la diffusion est très petite. Cela est aussi prouvé par le résultat préliminaire de l'auteur et ses collaborateurs. Il a observé en employant les différents liquides (huile, dibutylthalate et glycérine) dans les pompes à vide que ces pompes fonctionnent aussi à une température plus basse qu'est la température ordinaire de fonctionnement. La vitesse de cette manière de pomper est très petite et il semble que cet effet peut être causé par la diffusion.