

## STROJNIŠKI VESTNIK

LETNIK 37

LJUBLJANA, APRIL-JUNIJ

ŠTEVILKA 4-6

UDK 536.423

## Uparjanje solnih raztopin v uparjalnikih s prostim padom

JANEZ CETIN - MATJAŽ PERPAR

## 0. UVOD

Uparjanje v obliki filma uporabljamo za temperaturno občutljive kapljevine. Snov se zadržuje kratek čas v napravi, dosegamo visoke toplotne prestopnosti kljub majhnim temperaturnim razlikam. Tak način ločevanja uporabljajo v farmacevtski in živilski industriji.

Ukvarjali smo se s preverjanjem nekaterih modelov uparjanja za primer prostopadajočega filma različnih snovi, predvsem pa vode [1]. Omeniti je treba, da so modeli, ki so se izkazali kot boljši glede primerjave izračunanih in izmerjenih vrednosti, analitično-empirični. To je seveda razumljivo, saj imamo opraviti z dvofaznim turbulentnim tokom, pri popisu katerega analitične metode odpovedo. Zato je bila naša želja, da ugotovimo, v kolikšni meri lahko te modele uporabljamo pri uparjanju binarnih zmesi solnih raztopin. Opravili smo meritve z raztopinama  $H_2O - CaCl_2$  in  $H_2O - NaCl$ .

## 1. MATEMATIČNI MODELI UPARJANJA

Ugotovili smo, da za preračun uparjanja vode lahko uporabimo štiri modele, ki zadovoljivo popišejo proces (izmerjene uparjalne toplotne prestopnosti ne odstopajo od izračunanih za več ko  $\pm 20\%$ ). To so modeli avtorjev Huhna [2], Papendiecka [3], Mostofizadeh-Stephana [4] in Blangetti-Krebsa [5]. Od teh sta modela Huhn in Papendieck empirična, drugi pa analitično empirični. Analitika je odpovedala pri določevanju vrtnične viskoznosti. Njeno računanje je kljub empiričnim nastavkom (Mills-Chung [6], Ming-Liang [7]) precej zapleteno, zato sta Blangetti in Krebs dobila odvisnost, ki enačbo za prestop toplote ( $Nu = Nu(Re, Pr)$ ) dopolnjuje z brezdimenzijsko strižno napetostjo in konstantami, ki so njene funkcije. Te konstante pa so dobljene na podlagi eksperimentalnega dela in izsledkov Millsa in Chunga ter Minga in Lianga, zato smo se odločili, da modela pravkar omenjenih avtorjev izločimo iz nadaljnje obravnave. Menimo, da preostali modeli vključujejo vse do sedaj objavljene poglede na mehanizem prenosa toplote pri uparjanju s prostim padom, dopolnili smo jih samo z izračunom termodinamičnih in transportnih lastnosti zmesi.

Mogoče je tako gledanje na fizikalno dogajanje preveč poenostavljeno, vendar ta problematika v literaturi ni podrobno obdelana. Znani pa so podobni poizkusi: Kirschbaum [8] je npr. predlagal enačbo za toplotno prestopnost pri uparjanju solnih raztopin  $\alpha = \alpha_u k$ , pri čemer je  $\alpha_u$  prestopnost pri uparjanju vode,  $k$  pa korekcijski faktor, ki vključuje razmerja med lastnostmi solne raztopine in vode.

## 2. TERMODINAMIČNE IN TRANSPORTNE LASTNOSTI SOLNIH ZMESI

Določanje termodinamičnih in transportnih lastnosti solnih vodnih raztopin je olajšano tako, da se uparja samo ena komponenta, vodna para. Tako moramo določiti le lastnosti vrele kapljevine. V literaturi dobimo veliko podatkov za lastnosti vodne raztopine  $CaCl_2$  in  $NaCl$ . Ker so navedeni modeli izpeljani za uparjanje vode v filmski plasti, njihova aplikacija na raztopine ni povsem zanesljiva. Zato smo določali uparjalne toplotne prestopnosti solnih raztopin po dveh metodah:

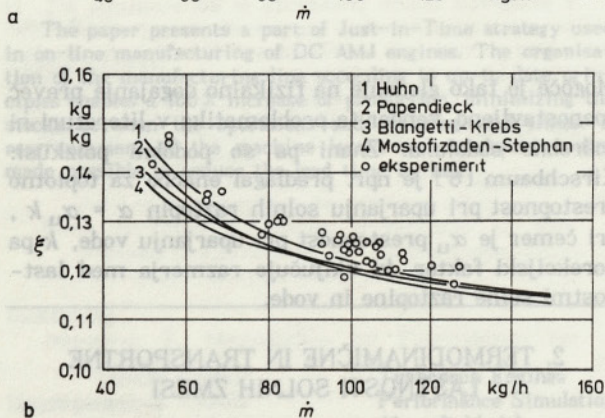
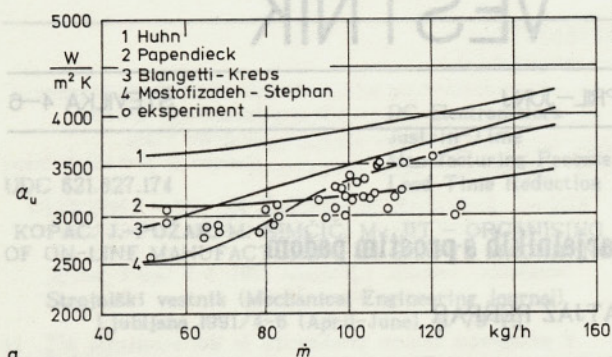
- z enačbami za uparjanje vode, v katere smo vstavili ustrezne snovne lastnosti solnih raztopin,
- v istih enačbah jemljemo pri pogojih uparjanja solnih raztopin snovne lastnosti vode, izračunane toplotne prestopnosti pa popravljamo po Kirschbaumu.

## 3. VREDNOTENJE MERITEV

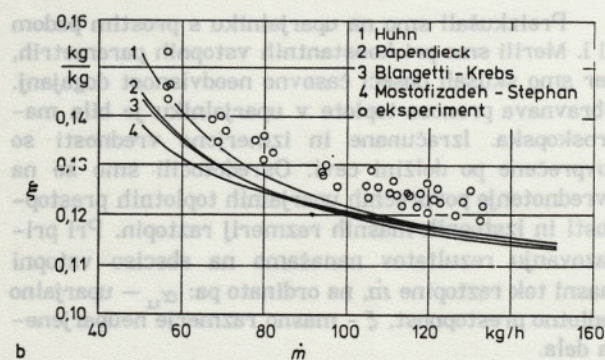
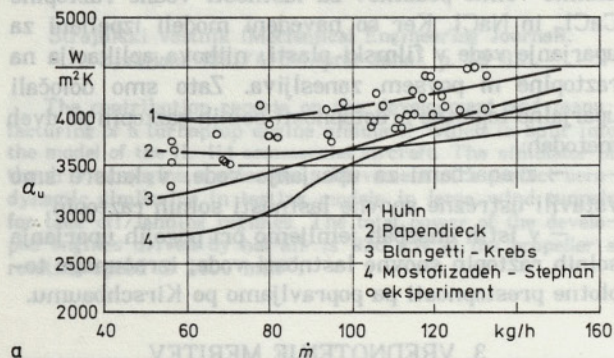
Preizkušali smo na uparjalniku s prostim padom [1]. Merili smo pri konstantnih vstopnih parametrih, ker smo skušali doseči časovno neodvisnost dogajanj. Obravnava prenosa toplote v uparjalniku je bila makroskopska. Izračunane in izmerjene vrednosti so povprečene po dolžini cevi. Osredotočili smo se na ovrednotenje povprečnih uparjalnih toplotnih prestopnosti in izstopnih masnih razmerij raztopin. Pri prikazovanju rezultatov nanašamo na absciso vstopni masni tok raztopine  $\dot{m}$ , na ordinato pa:  $\alpha_u$  - uparjalno toplotno prestopnost,  $\xi$  - masno razmerje neuparjene-ga dela.

Na sl. 1 so vidni rezultati meritev ter izračunane vrednosti po različnih modelih pri uparjanju vodne raztopine  $CaCl_2$  in na sl. 2 še za vodno raztopino  $NaCl$ .



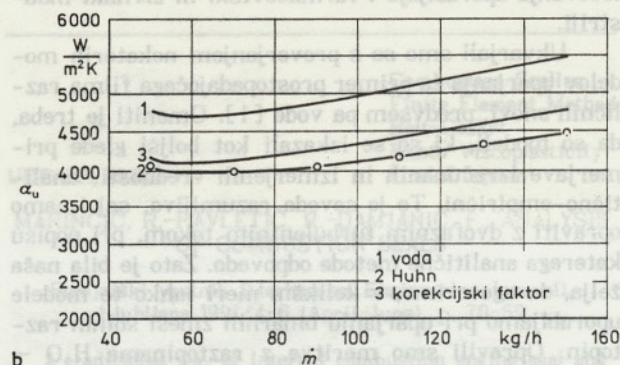
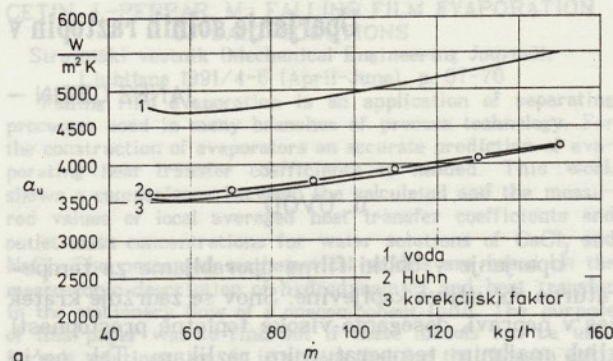


Sl. 1. Uparjanje vodne raztopine  $\text{CaCl}_2$  pri tlaku uparjanja 0,4 bar in vstopnem masnem razmerju 0,1.



Sl. 2. Uparjanje vodne raztopine  $\text{NaCl}$  pri tlaku uparjanja 0,4 bar in vstopnem masnem razmerju 0,1.

Slika 3 prikazuje primerjavo izračunanih uparjalnih toplotnih prestopnosti na strani uparjanja: za vodo po modelu Huhn, za solni raztopini po modelu Huhn in toplotne prestopnosti, ki smo jih dobili s primerjavo snovnih lastnosti vode in raztopine z uporabo korekcijskega faktorja po Kirschbaumu.



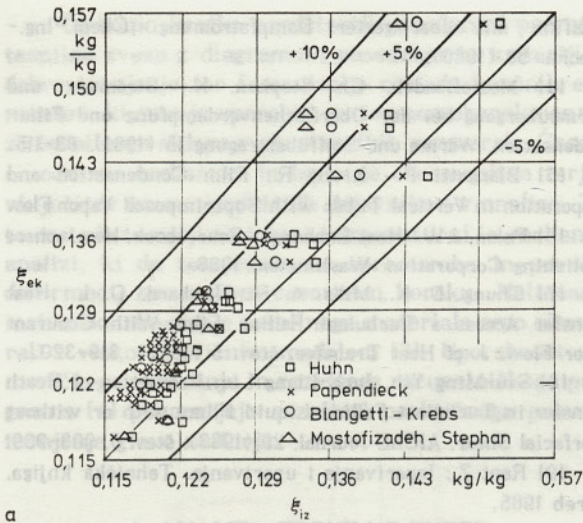
Sl. 3. Uparjanje vodne raztopine: a)  $\text{CaCl}_2$ , b)  $\text{NaCl}$  pri vstopnem masnem razmerju 0,1 in tlaku uparjanja 0,4 bar.

Odstopanje izstopnih masnih razmerij in uparjalnih toplotnih prestopnosti, ki smo jih dobili z eksperimentom z uporabo modelov uparjanja pri tlaku uparjanja 0,4 bar in vstopnem masnem razmerju 0,1 za vodno raztopino  $\text{CaCl}_2$  je prikazana na sliki 4, za vodno raztopino  $\text{NaCl}$  pa na sliki 5.

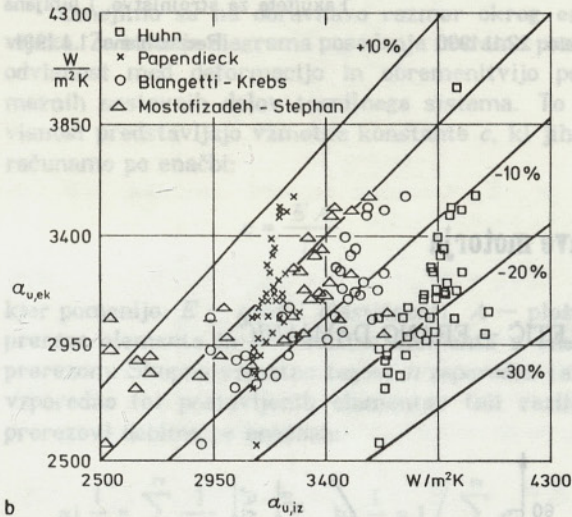
#### 4. UGOTOVITVE

Pri solnih vodnih raztopinah (sl. 1 in 2) se izmerjene vrednosti z izračunanimi bolj ali manj ujemajo. Ne glede na obratovalne razmere je razvidno, da so odstopki največji pri toplotnih prestopnostih. Med izmerjenimi in izračunanimi vrednostmi pride do odstopkov, ker je težko točno izmeriti temperaturo stene, kjer se uparja film kapljevine. Prevelike eksperimentalne vrednosti se pojavljajo zaradi premajhne temperaturne razlike med steno in kapljevino. Termoelementi, nalepljeni na steno, so bili ločeni od filma s tanko polietilensko folijo. Tako so kazali neko





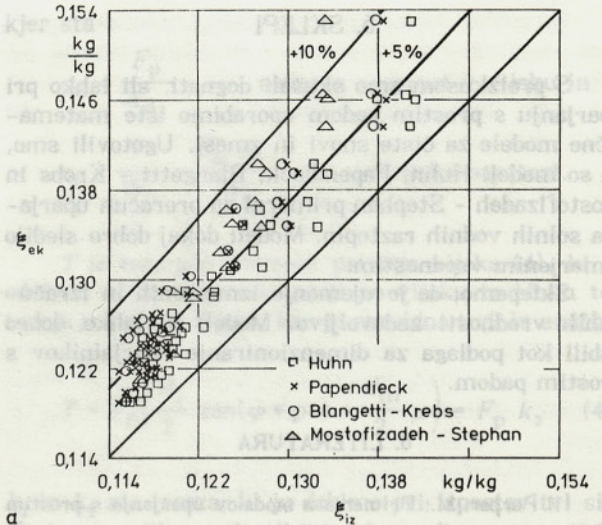
a



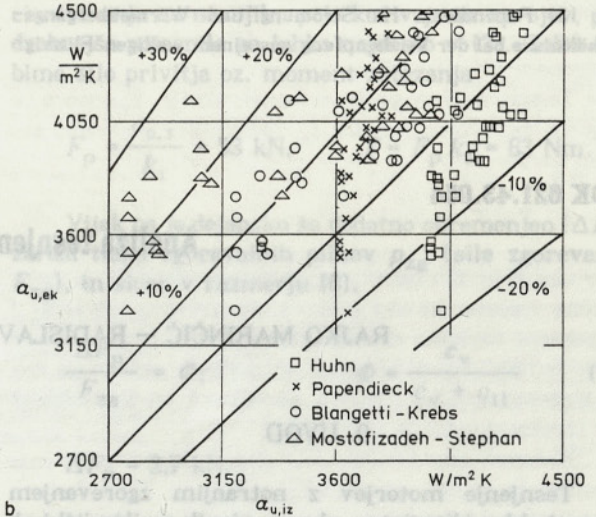
b

Sl. 4. Odstopanje: a) izstopnih masnih razmerij, b) uparjalnih toplotnih prestopnosti, dobljenih z eksperimentom in z uporabo modelov uparjanja pri tlaku uparjanja 0,4 bar in vstopnem masnem razmerju 0,1 za vodno raztopino  $\text{CaCl}_2$ .

vmesno temperaturo med temperaturo stene in temperaturo filma. Najboljše ujemanje izmerjenih in izračunanih vrednosti smo dobili pri izstopnih masnih razmerjih, kar je razvidno s slik 4 in 5 (okoli 10 odstotkov). Do odstopkov je prišlo, ker smo vzorce jemali pri temperaturi nasičenja in nismo mogli preprečiti, da ne bi izparelo še nekaj vode. Kljub spreminjanju obratovalnih razmer vidimo, da se velikostni red toplotnih prestopnosti ne spreminja veliko. Ugotovili smo, da je bil raztros merjenih vrednosti toplotnih prestopnosti majhen in da dobro sledijo modelom (sl. 4 in 5).



a



b

Sl. 5. Odstopanje: a) izstopnih masnih razmerij, b) uparjalnih toplotnih prestopnosti, dobljenih z eksperimenti in z modeli uparjanja pri tlaku uparjanja 0,4 bar in vstopnem masnem razmerju 0,1 za vodno raztopino  $\text{NaCl}$ .

Poleg meritev smo opravili tudi primerjavo med različnimi načini izračuna uparjanja fluida v filmski plasti. Tako smo morali preveriti možnosti uporabe teh modelov za naš primer. Rezultati so prikazani na sliki 3. Krivulja 1 prikazuje vrednosti toplotnih prestopnosti na strani uparjanja za vodo po modelu Huhn, krivulja 2 vrednosti toplotnih prestopnosti za solni raztopini po istem modelu in krivulja 3 toplotne prestopnosti, ki smo jih dobili s primerjavo snovnih lastnosti vode in raztopine po Kirschbaumovi enačbi. Ugotovili smo, da so modeli zanesljivi tudi pri izračunu uparjanja solnih vodnih raztopin.



## 5. SKLEPI

S preizkusom smo skušali dognati, ali lahko pri uparjanju s prostim padom uporabimo iste matematične modele za čiste snovi in zmesi. Ugotovili smo, da so modeli Huhn, Papendieck, Blangetti - Krebs in Mostofizadeh - Stephan primerni za preračun uparjanja solnih vodnih raztopin. Modeli dokaj dobro sledijo izmerjenim vrednostim.

Sklepamo, da je ujemanje izmerjenih in izračunanih vrednosti zadovoljivo. Modeli bi lahko dobro rabili kot podlaga za dimenzioniranje uparjalnikov s prostim padom.

## 6. LITERATURA

- [1] Perpar, M.: Primerjava modelov uparjanja s prostim padom. *Strojniški vestnik*, 1987/10-12.
- [2] Huhn, J.: Zur Auslegung von Fallfilmapparaten. *Chem. Techn.*, 39. (1987), šte. 1, 11-13.
- [3] Papendieck, H.: Strömung und Wärmeübergangsverhältnisse bei der Verdampfung aus einem welligen Flüssig-

keitsfilm mit überlagerter Dampfströmung. *Chem.-Ing.-Techn.* 58 (1986).

[4] Mostofizadeh, Ch.-Stephan, K.: Strömung und Wärmeübergang bei der Oberflächenverdampfung und Filmkondensation, *Wärme und Stoffübertragung* 15 (1981), 83-115.

[5] Blangetti F.- Krebs R.: Film Condensation and Evaporation in Vertical Tubes with Superimposed Vapor Flow 161 Palen, J.W.: *Heat Exchanger Sourcebook*, Hemisphere Publishing Corporation, Washington, 1986.

[7] Chung, D. K., Mills, A. F., Hubbard, G. L.: Heat Transfer Across a Turbulent Falling Film With Cocurrent Vapor Flow, *J. of Heat Transfer*, šte. 5 (1976), 319-320.

[8] Siu-Ming Yih, Jung-Liang Liu: Prediction of Heat Transfer in Turbulent Falling Liquid Films with or without Interfacial Shear, *AIChE Journal*, 29 (1983), šte. 6, 903-909.

[9] Rant Z.: *Isparivanje i uparivanje*. Tehnička knjiga, Zagreb 1965.

Naslov avtorjev: mag. Janez Cetin, dipl. inž.

mag. Matjaž Perpar, dipl. inž..

Fakulteta za strojništvo, Ljubljana

Prejeto: 22.11.1990

Recenzirano: 1.4.1991

UDK 621.43.054

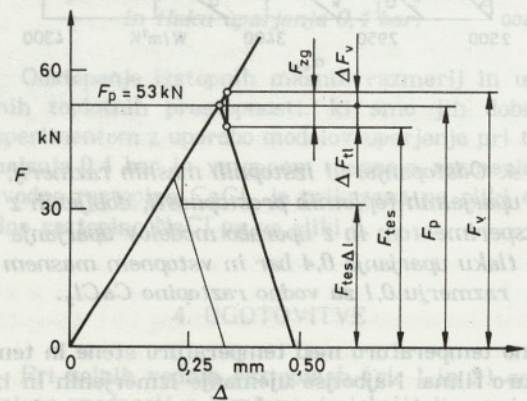
## Analiza tesnjenja glave motorja

RAJKO MARINČIČ — RADISLAV PAVLETIČ — FRANO DAMJANIČ

## 0. UVOD

Tesnjenje motorjev z notranjim zgorevanjem pomeni sklop elementov, obremenjenih s silami, ki ob razbremenitvi zaradi zgorevalnih sil še vedno zagotavljajo zadosten tlak za tesnjenje zgorevalnih plinov, hladilnega in mazalnega sredstva. Ta sklop vključuje glavo in blok valjev s pušami, podložke in tesnilo kot tlačno obremenjene elemente ter vijake kot vezni, natezno obremenjeni del tesnilne zveze. Tesnilo je torej le del celotnega sistema tesnjenja, ki pa s svojimi začetnimi deformacijami in spreminjanjem lastnosti (elastičnosti) med prehodom v stabilizirane dinamične razmere bistveno vpliva na tesnjenje [1], [2].

Najpogosteje se tesnilna zveza analizira z diagramom raztezkov in sil. Ta diagram (sl. 1) je bistveno pomemben za razumevanje dinamike sistema, v celoti pa z njim vendar ne zaobjamemo vzajemnega delovanja vseh sodelujočih elementov, kar dejansko pomeni tesnjenje. Ta metoda ne more upoštevati prepletanja različnih dejavnikov, ki se pojavljajo pri zagonu in delovanju motorja, kakor npr. nelinearno obnašanje tesnilnega materiala, razvoj temperaturnega polja in s tem prerezporejanje tesnilnega tlaka po tesnilu.



Sl. 1. Diagram posedanja.

Možnost reševanja tako kompleksnih pojavov dajejo računalniške metode, posebno metoda končnih elementov, ki omogoča veliko prilagodljivost pri izbiri geometrične oblike, robnih pogojev ipd. in pri tem dopušča vpogled v sistem tesnjenja med simuliranim obratovanjem motorja. Poleg tega pa so numerične rešitve veliko cenejše od eksperimentalnih.