

UDK 536.423.1

## Prenos toplote v uparjalnikih s padajočim tokom

MIRAN OPREŠNIK

Prikazana je primerjava vrednosti toplotnih prestopnosti oziroma Nusseltovih števil na notranji strani uparjalnika s padajočim tokom, izračunanih po enačbah različnih avtorjev.

Uparjalnike s padajočim tokom uporabljamo za različne namene, npr. za koncentriranje produktov, ponovno pridobivanje topil, ločevanje lažje hlapljivih snovi iz dvo- ali večkomponentnih zmesi itd. Raztopino, segreto do vrelišča, dovajamo v zgornji del uparjalnika in jo enakomerno porazdelimo po notranjem obodu cevi. Zaradi zunanjega dovoda toplote se ta navzdol polzeča tanka plast kapljevine uparja, pri tem pa nastala para zapolni srednji del cevi in odteka v isti smeri v kolobarjastem toku s kapljevino. Posledica tega so nekatere prednosti takšnih uparjalnikov: razmeroma kratek zadrževalni čas produkta, ne pride do povišanja temperature vretja zaradi statičnega tlaka kapljevine, padec tlaka je majhen. Zaradi teh lastnosti jih lahko uporabljamo tudi za uparjanje pri zelo majhnih tlakih ( $\approx 500$  Pa), zato so tudi vrelna temperatura lahko zelo nizke, kar je še posebej pomembno pri temperaturno občutljivih snoveh predvsem v prehrabeni in farmacevtski industriji. Odlikujejo pa te uparjalnike tudi razmeroma dobre toplotne prestopnosti.

Da bi lahko primerjali vrednosti toplotnih prestopnosti po enačbah različnih avtorjev, so za izhodišče vzete enačbe za izračun modificiranega Nusseltovega števila

$$Nu = \frac{\alpha}{\lambda} \left( \frac{\nu^2}{g} \right)^{1/3}$$

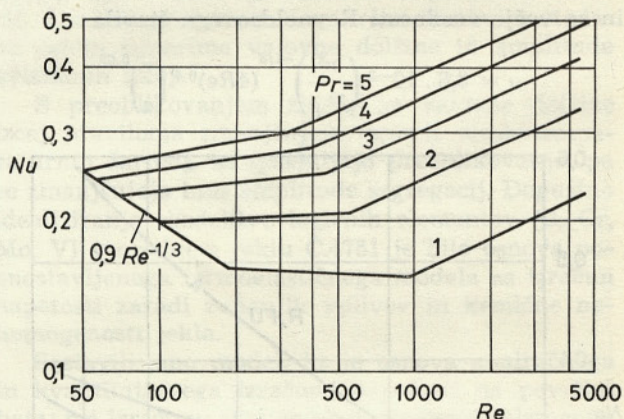
ki jih je po izsledkih A. E. Duklerja priredil H. Struve [1] za prehodno področje

$$Nu = 0,176 Re^{0,196} \frac{0,844}{Pr + 2,95}$$

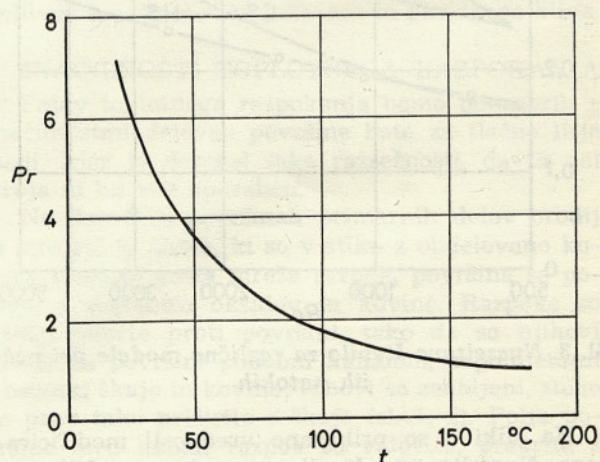
in za turbulentno področje

$$Nu = \left( 0,152 - \frac{0,778}{Pr + 5,47} \right) Re^{0,231}$$

Na sliki 1 je prikazana odvisnost modificiranega Nusseltovega števila od Prandtllovega in Reynoldsovega števila po Duklerju. Enačbi veljata za števila  $Pr$ , ki so večja od 1. Če je uparjani medij voda, pomeni to možnost uparjanja do  $180^\circ\text{C}$ , kar je razvidno s slike 2, kjer so prikazana števila  $Pr$  za vodo v odvisnosti od uparjalne temperature.



Sl. 1. Modificirano Nusseltovo število pri uparjanju



Sl. 2. Prandtllovo število za vodo



S temi vrednostmi so po energijski bilanci [2] z izpopolnjenim programom ANHYD [3] izračunane količine proizvedene pare. Pri tem so v Reynoldsovem številu upoštevane srednje vrednosti natoka kapljevine. Prav tako je upoštevano, da sta temperatura kondenzacije in vretja konstantni, tok kondenzata pa laminaren. S temi vrednostmi so bile potem izračunane vrednosti toplotnih prestopnosti, ki so jih podali H. Roos [4] po enačbah W. Wilkeja in E. N. Ganić [5] po istih enačbah, ki sta jih priredila T. Fujita in T. Ueda, ter enačbah Ch. Mostofizadeha in K. Stephana [6]. Poleg tega je bil celoten izračun neodvisno od zgornjega izveden tudi po enačbah Chuna in Seban [7] za kapljeviti film, ki se uparja na gladkih navpičnih cevah z naslednjimi vrednostmi lokalnih toplotnih prestopnosti:

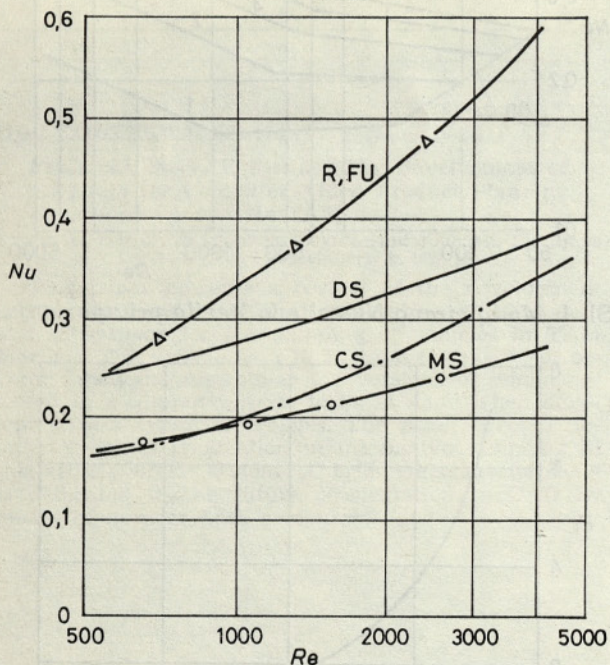
$$\alpha = 0,821 \left( \frac{\nu^2}{\lambda^3 g} \right)^{-1/3} (4Re)^{-0,22}$$

za vrednosti Reynoldsovega števila, ki so manjše od prehodnega števila

$$Re = 1450 \left( \frac{\nu}{a} \right)^{-1,06}$$

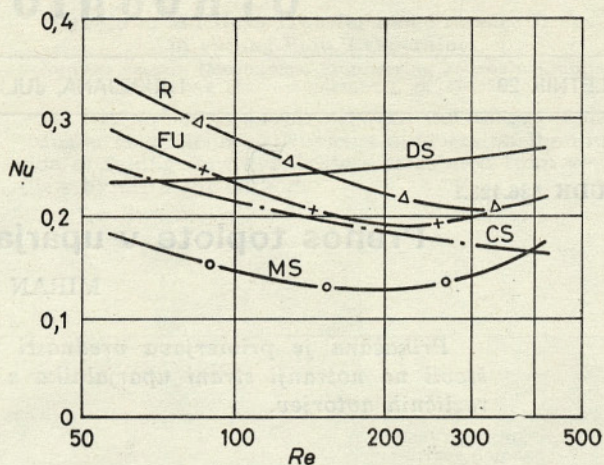
in za večje vrednosti Reynoldsovega števila

$$\alpha = 3,8 \cdot 10^{-3} \left( \frac{\nu^2}{\lambda^3 g} \right)^{-1/3} (4Re)^{0,4} \left( \frac{\nu}{a} \right)^{0,65}$$



Sl. 3. Nusseltovo število za različne modele pri večjih natokih

Na sliki 3 so prikazane vrednosti modificiranega Nusseltovega števila za primer večjih natokov, na sliki 4 pa pri manjših natokih. Označbe



Sl. 4. Nusseltovo število za različne modele pri manjših natokih

pomenijo: CS — Chun/Seban, DS — Dukler/Struve, FU — Fujita/Ueda, MS — Mostofizadeh/Stephan, R — Roos. Vrednosti so izračunane za določeno izvedbo uparjalnika in določene obratovalne pogoje.

Rezultati kažejo kar precejšnje razhajanje vrednosti posameznih modelov. Velja omeniti, da so vrednosti števila  $Nu$ , izračunane po Duklerju, dobre pri velikih številih  $Pr$  v turbulentnem področju oziroma pri večjih natokih [5, 6]. Tolikšna različnost rezultatov pa opozarja, da odločitev o izbiri ustreznega modela ni preprosta. Pri določevanju procesnih karakteristik takšnih uparjalnikov lahko torej navedeni modeli dajo le približno, pa vendar dragoceno oceno.

#### LITERATURA

- [1] H. Struve: Der Wärmeübergang an einem verdampfenden Rieselfilm. VDI-Forsch. — Heft 534. VDI-Verlag 1969, Düsseldorf.
- [2] L. Wassner: Wärmetechnische Auslegung von Fallfilmverdampfern. Forsch. Ing.-Wes. 47 (1981) 4, 125—130.
- [3] M. Oprešnik: Termodinamični preračun uparjalnika Anhydro. Poročilo FS-T-012/82, 1982. Fakulteta za strojništvo, Ljubljana.
- [4] H. Roos: Fallfilmverdampfer-eine Sonderbauart des Röhrenwärmetauschers. Chemiker-Zeitung, 95 (1971) 13, 593—597.
- [5] E. N. Ganić: On the Heat Transfer and Fluid Flow in Falling Film Shell-and-Tube Evaporators. Heat Exchangers: Thermal-Hydraulic Fundamentals and Design. Mc Graw-Hill Book Company, 1981.
- [6] Ch. Mostofizadeh, K. Stephan: Strömung und Wärmeübergang bei der Oberflächenverdampfung und Filmkondensation. Wärme- und Stoffübertragung 15 (1981) 2, 93—115.
- [7] K. R. Chun, R. A. Seban: Heat Transfer to Evaporating Liquid Films. J. Heat Transfer 93 (1971) 4, 391—396.

Avtorjev naslov: prof. dr. ing. Miran Oprešnik  
Fakulteta za strojništvo  
v Ljubljani