

DK 533:621.17

Padec tlaka pri križnem toku zraka in vodnih curkov

BRANKO GASPERŠIČ

Ob 65. obletnici rojstva prof. dr. ing. Zorana Ranta

Pogostoma izvajamo hlajenje vode z okoliškim zrakom v hladilnih stolpih, v katerih prihaja topla voda v neposredni stik z vlažnim zrakom. Tok vode, ki pada navzdol zaradi lastne teže, ter tok zraka, ki se dviga, sta največkrat protitočna. Tak tip protitočnega hladilnega stolpa je prvi projektiral v Jugoslaviji prof. dr. Z. Rant [1] za TE Šoštanj. Poznamo tudi hladilne naprave, pri katerih je tok zraka pravokoten na tok vode — križni tok.

Ko že skoraj ohlajena voda zapuša pršišče, prosto pada (tudi več metrov globoko) v obliki curkov in kapljic skozi vlažni zrak, ki vstopa v hladilni stolp. Ker se na tej poti ohlaja in nastajajo prve izgube vleka, je prof. Rant predlagal, naj bi na modelu raziskali velikost teh dveh učinkov. V ta namen smo izdelali ustrezno poskusno napravo, s kakršno smo raziskovali učinek toplotno-snovne izmenjave in velikost padca tlaka pri križnem toku zraka in vodnih curkov. Dobljeni hladilni učinki so bili že navedeni [2, 3] in bilo je ugotovljeno, da koeficient toplotno-snovne izmenjave raste s povečanjem hitrosti zraka pri konstantni gostoti dežja. Če gostoto dežja zmanjšamo, se zmanjša tudi koeficient toplotno-snovne izmenjave. Nasprotno pa na koeficient zelo malo vplivata vstopna temperatura vode in zraka.

Pri dimenzioniranju hladilnih stolpov pa je tudi bistveno, da poznamo velikost padca tlaka, ker ni vseeno, kolikšna je višina stolpa ali moč ventilatorja za nastanek potrebnega vleka.

Poskusna naprava in način merjenja

Poskusna naprava je vidna na sliki 1. Toplo vodo smo sesali iz spodnjega rezervoarja z volumnom 150 l skozi prvi vodni grelnik in tlačili v preluknjani zgornji rezervoar z enakim volumnom skozi ostrorobo zaslonko s premerom 22,73 mm in ventil 5/4" ter drugi vodni grelnik. Zaslonko smo umerili tako, da je bila natančnost merjenja pri količini vode $\pm 1,2\%$. Razporeditev večine izmed 183 luknjic v dnu zgornjega rezervoarja je bila v obliki kvadratov 60×60 mm. Poskuse smo delali s tremi različnimi premeri luknjic, in sicer z 2,8 mm, 4,0 mm in 5,2 mm.

Centrifugalni ventilator je sesal zrak okolice skozi kanal s prerezom 600×600 mm in ga po cevovodu z notranjim premerom 185 mm skozi ostrorobo zaslonko tlačil nazaj v okolico. Masni tok zraka smo regulirali z loputo in merili z natančnostjo $\pm 2,0\%$.

Statični tlak smo merili s Prandtlovo cevjo s premerom 3 mm v sedmih točkah, ki so ležale na srednjici kanala. Prva točka je bila v sredini, ostali trije pari točk pa so bili levo in desno od srednje,



Sl. 1. Poskusna naprava

oddaljeni za 100, 200 in 250 mm. Merili smo razliko med statičnim tlakom v prerezu kanala, ki je bil 370 mm pred dežjem, in statičnim tlakom, ki je bil v prerezu kanala 630 mm za dežjem. Območje z dežjem je bilo dolgo 1020 mm. Tlake smo merili s preciznim tekočinskim mikromanometrom sistema Betz.

Masni tok vode in zraka ter začetni temperaturi obeh medijev smo pri posameznih poskusih držali čimbolj nespremenjene. Pri konstantnem premeru vodnih kapljic smo delali poskuse s štirimi različnimi povprečnimi hitrostmi zraka v kanalu, ki so bile od 0,9 m/s do 2,7 m/s. Gostoto dežja smo spreminjali s premerom luknjic in višino vode v zgornjem rezervoarju.

Merjenje statičnega tlaka

Gibanje vode, predvsem pa gibanje zraka je turbulentno. Pri turbulentnem gibanju tekočine nastajajo znatne neurejene spremembe hitrosti v času in v vsaki točki toka. Hitrost ves čas utripa okoli svoje srednje vrednosti. Teorija turbulentnega gibanja je statistične narave. Iz poskusov raznih raziskovalcev izhaja, da imajo merilne naprave, ki jih uporabljamo pri merjenjih v turbulentnih tokovih, lahko nizko lastno frekvenco nasproti frekvenci merjenih veličin, zato kažejo v določenem časovnem razdobju stalne vrednosti. Na ta način je mogoče nepravilno spreminjanje hitrosti izravnati tako, da dobimo v večjih časovnih intervalih enakomerno

menjanje srednje hitrosti. Vektor resnične hitrosti \vec{w} v neki točki toka odstopa od vektorja srednje hitrosti \vec{w} tako po velikosti kakor tudi po smeri. Resnična hitrost je

$$\vec{w} = \vec{w} + \vec{w}, \quad (1)$$

kjer je \vec{w} hitrost, ki utripa okrog srednje hitrosti.

Ce nas zanimajo samo srednje hitrosti v turbulentnem toku, tedaj te lahko merimo s počasnejšim instrumentom, ki ne gre za hitrimi spremembami hitrosti. Element, ki ga damo v tok, je Pitotova cev. Vprašati se je treba, kako utripne hitrosti vplivajo na to cev. Več raziskovalcev [4] je proučevalo vpliv turbulence pri uporabi Pitotove cevi, vendar niso iznašli nobene natančnejše metode za upoštevanje njenega vpliva pri razbirku. Eksperimenti so pokazali, da vpliv turbulence — tudi z večjimi inten-

zivnostmi — ni tolikšen, da ne bi vsaj s približno natančnostjo veljala enačba

$$p_{cel} = p_{st} + \frac{1}{2} \rho \bar{w}^2, \quad (2)$$

kjer je \bar{w} srednja hitrost v točki toka [m/s], p_{cel} — srednji celotni tlak [N/m²] in p_{st} — srednji statični tlak [N/m²].

Podobne težave kakor pri merjenju srednje hitrosti se pojavljajo tudi pri merjenju srednjega statičnega tlaka v turbulentnem toku. V ravnini, navpični na srednjo hitrost, je srednji statični tlak konstanten, če so utripne hitrosti relativno majhne nasproti srednji hitrosti. Srednji statični tlak merimo potem tako, da po obodu kanala naredimo več tlačnih odprtin.

Merilni rezultati

Kakor je bilo že rečeno, smo merili padec tlaka s Prandtlovima cevema v sedmih točkah. Iz tako dobljenih padcev tlaka smo izračunali aritmetično srednjo vrednost tako, da je celotna napaka $\pm 0,03$ mm H₂O. Odvisnost padca tlaka Δp od gostote dežja q_v/A_v in masnega toka zraka q_z/A_z je prikazana na sliki 2. Razvidno je, da je padec tlaka zelo malo odvisen od gostote dežja ozir. od premera curkov, saj je smerni koeficient prvih dveh premic od zgoraj navzdol 0,0166, ostalih dveh pa samo še 0,0042. Zato smo poskušali dobiti odvisnost padca tlaka samo od masne hitrosti zraka v obliki

$$\Delta p = konst. \left(\frac{q_z}{A_z} \right)^n \quad (3)$$

Obe strani enačbe logaritmiramo in vrednosti nanesemo v diagram — Δp , q_z/A_z (slika 3).

Točke so raztresene okrog premice, ki ima smerni koeficient $n = 1,5$ in odsek na ordinatni osi log $konst = -1,2518$. Enačba (3) se potem glasi

$$\Delta p = 0,056 \left(\frac{q_z}{A_z} \right)^{1,5} \quad [\text{mm H}_2\text{O}] \quad (4)$$

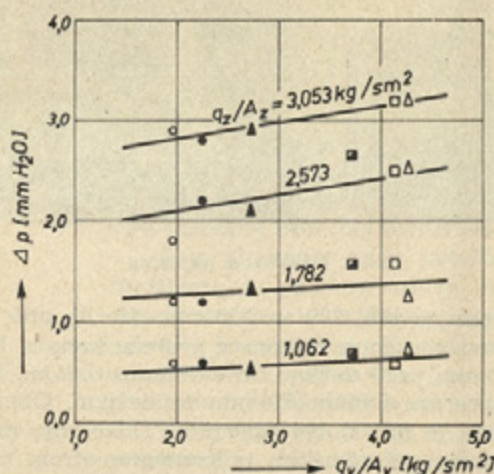
Natančnost tako dobljenega padca tlaka je $\pm 0,05$ mm H₂O.

Ugotovili smo torej, da v našem primeru na padec tlaka predvsem vpliva masna hitrost zraka, zelo malo pa premer curkov, posebno še pri manjših hitrostih zraka v kanalu.

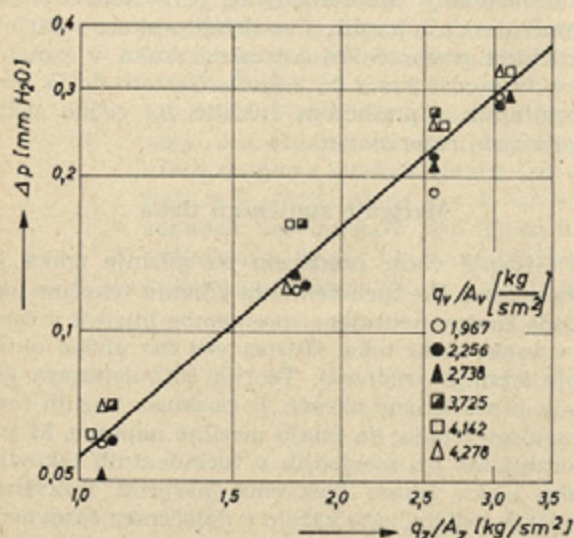
LITERATURA

- [1] Rant, Z.: Hladilni stolp TE Šoštanj. Strojniški vestnik 3 (1957), štev. 4/5, stran 95/97.
- [2] Gašperšič, B.: Toplotno-snovna izmenjava sistema voda—zrak. Diplomsko delo tretje stopnje, Ljubljana 1967.
- [3] Gašperšič, B.: Zur Kühlung von Wasserstrahlen mit feuchter Luft am Versuchsmodell. Brennst.-Wärme-Kraft 20 (1968), Nr. 3, stran 126/129.
- [4] Hinze, J. O.: Turbulence, New York, Toronto, London (1959).

Avtorjev naslov:
mag. Branko Gašperšič dipl. ing.,
Fakulteta za strojništvo,
Ljubljana



Sl. 2. Padec tlaka Δp v odvisnosti od gostote dežja q_v/A_v in masne hitrosti zraka q_z/A_z



Sl. 3. Padec tlaka Δp v odvisnosti od masne hitrosti zraka q_z/A_z