UDK 536.24

Prehod toplote skozi rebraste površine pri motenem zračnem toku

ISTVAN BECK — JURIJ KROPE

0. UVOD

Pri prenosu toplote ali mase se kot koeficient tokovnega medija uporablja navadno le povprečna hitrost toka oziroma mase glede na poljubni tokovni prerez za opis empiričnih funkcij o jakosti toka. To kaže, kakor da o prenosu toplote ali mase odloča samo povprečna hitrost toka ali mase, kar pa je le delno res.

V praksi pričakujemo, da bodo rezultati merjenja odvisni ne le od povprečne hitrosti toka ali mase, temveč tudi od porazdelitve hitrosti obtekajočega fluida, ki prevaja toploto, ter od intenzivnosti turbulence.

Meritve potrjujejo, da se kljub enakim povprečnim hitrostim toplotni tok bistveno razlikuje v primerih, ko sta različna profila hitrosti in intenzivnost turbulence.

Zato smemo sklepati, da ta dva podatka bistveno vplivata na prenos toplote in mase.

Razmere bomo raziskali na primeru konvekcijskega prenosnika toplote, tj. grelnika (kaloriferja), in sicer, kako te spremenijo toplotne razmere, če zrak normalno doteka, nato pa dotok zraka motimo. Toplotna prehodnost pri normalnem zračnem toku bo označena s k_0, pri motenem dotoku pa s k_z. Med merjenjem so razmere v notranjosti grelnika stacionarne, na toplotni tok vplivajo le spremembe zračnega toka.

1. TEORETIČNA ANALIZA

Na splošno je toplotna prehodnost pri prenosnikih toplote (sem sodijo tudi grelniki) v stacionarnem stanju odvisna od:

— geometrijske oblike,
— snovnih koeficientov,
— tokovnih razmer.

Sem sodijo tudi temperature medijev, vendar le tedaj, če se toliko spremenijo, da bi to vplivalo v tolikšni meri na snovne koeficiente, da njihovih sprememb ne bi mogli zanemariti. V obravnavanem primeru tega ne bomo upoštevali, snovne koeficiente štejemo kot konstantne.

Odtod izhaja, da se pri prenosnikih z dano geometrijsko obliko, danih medijih (v našem zgledu voda in zrak), pri dani masni hitrosti le s spreminjanjem zračnega toka lahko vpliva na toplotni tok prenosnika.

In nasprotno: če je poleg drugih koeficientov tudi povprečna hitrost zračnega toka konstantna, toplotne prehodnosti ne moremo z ničimer spremeniti.

Naše raziskave so pokazale, da je mogoče vplivati na toplotno prehodnost v precejšnji meri tudi tako, da motimo zračni tok in mu (s koleni) spremenimo smer.

S tem dosežemo dvoje:

— zračni tok se ločuje od mejne plasti in postane vrtinčast,

— na čelnem prerezu grelnika se pojavi neenakomerna porazdelitev zraka.

Zračna turbulenca preprečuje oblikovanje mejne plasti, poveča se toplotna prestopnost zraka in to tudi poveča toplotno prehodnost grelnika.

Formalno zajamemo to spremembo s toplotno prehodnostjo tako, da dodamo koeficient turbulentne prevodnosti zraka h koeficientu prevodnosti zračne mejne plasti:

$$\alpha_1 = - \frac{(\lambda + \lambda_t)\ \mathrm{grad}\ t}{t_f - t_\infty} \qquad (1).$$

Pri tem so α_1 — toplotna prestopnost na zračni strani, λ — toplotna prevodnost zraka, λ_t — turbulentna prevodnost zraka, grad t — temperaturna sprememba v plasti, t_f — temperatura plasti in t_∞ — temperatura nemotenega zračnega toka dovolj daleč od temperaturne plasti.

Pri motečem zračnem toku je $\lambda_t \gg \lambda$, zato se toplotna prehodnost občutno poveča.

Pri grelnikih, v katerih so cevi razporejene v več vrstah, je vpliv turbulence največji v prvi in v drugi vrsti cevi, medtem ko se v naslednjih vrstah zračni tok izravna. Zato je povečanje toplotne prehodnosti s turbulenco zračnega toka občutljivejše pri eno- ali dvovrstnih grelnikih, medtem ko pri grelnikih s številnejšimi vrstami cevi učinek ni tako opazen.

Zaradi neenakomerne porazdelitve zraka toplotna prehodnost vzdolž mejnic ploskve nima konstantne vrednosti. Pokaže se, da je povprečna vrednost spremenljivega števila toplotne prehodnosti manjša od prehodnosti, ki pripada pri enaki povprečni hitrosti.

Podrobneje:

$$k_z = C\ v_z^{\,n} \qquad (2).$$

Pri tem so: k_z — toplotna prehodnost, C in $n < 1$ — eksperimentalno določeni konstanti, v_z — pa hitrost zračnega toka.

Toplotna prehodnost pri povprečni hitrosti je:

$$k_z' = C\left(\frac{1}{A}\int_{(A)} v_z\, \mathrm{d}A\right)^n \qquad (3).$$

Pri povprečju hitrosti in domnevi, da se C ne spreminja z geometrijsko obliko:

$$k_z'' = \frac{1}{A}\int_{(A)} k_z \, dA = C\,\frac{1}{A}\int_{(A)} v_z^{\,n}\, dA \qquad (4).$$

Dokazati je mogoče, da je:

$$\frac{k_z''}{k_z'} = \frac{\frac{1}{A}\int_{(A)} v_z^{\,n}\, dA}{\left(\frac{1}{A}\int_{(A)} v_z\, dA\right)^{n}} < 1, \text{ če je } n < 1 \qquad (5).$$

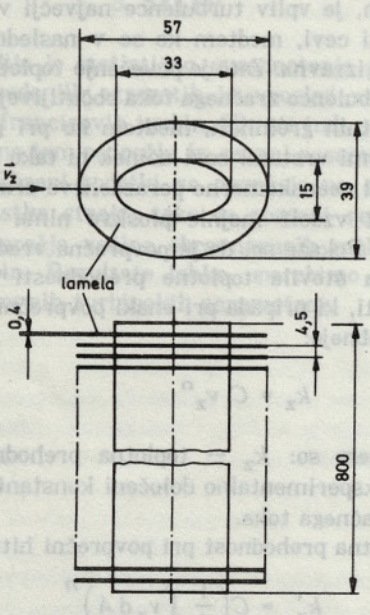
Iz enačbe (5) je razvidno, da neenakomerno porazdeljen zračni tok zmanjšuje toplotno prehodnost. Oba nasprotna učinka se pojavljata hkrati, njuna rezultanta je predvsem odvisna od razporeditve in števila vrst cevi.

Toplotna prehodnost pri motenem zračnem toku (k_z) v primerjavi z nemotenim tokom (k_0) utegne biti potemtakem v razmerju:

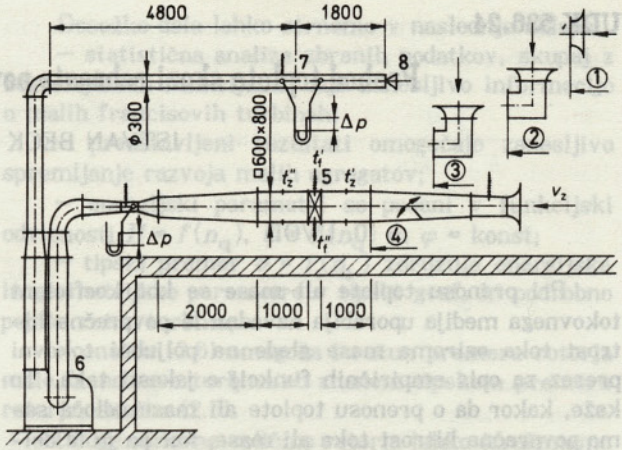
$$k_z \gtreqless k_0$$

2. POTEK MERITEV

Da bi potrdili podane ugotovitve, smo na grelniku opravili vrsto meritev (sl. 1). Spreminjali smo prerez merilnega kanala, ki definira kakovost zračnega toka (sl. 2). Ena sprememba je dala nemoteni zračni tok, tri spremembe pa so povzročale moten dotok zraka (sl. 3). Nadalje smo spreminjali število vrst cevi in za vsak primer ugotavljali povprečno število toplotne prehodnosti v odvisnosti od masne hitrosti zraka (sl. 4 in 5).

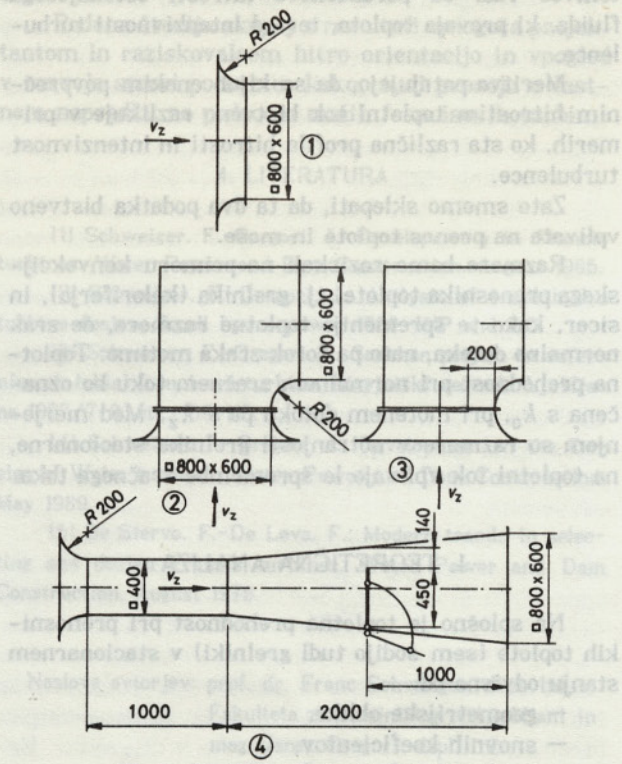


Sl. 1. *Geometrijska oblika rebraste cevi.*



Sl. 2. *Merilno preizkuševališče.*

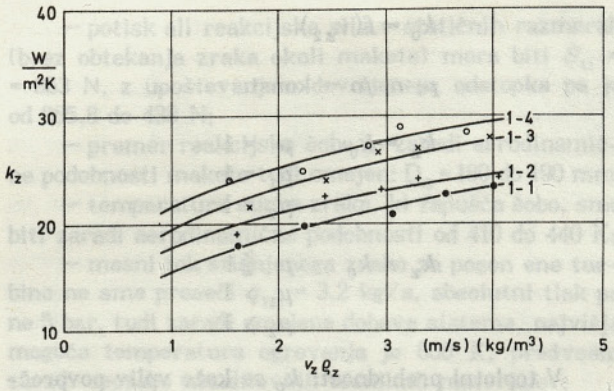
1. 2. 3. 4 – motilni elementi. 5 – prenosnik toplote. 6 – ventilator. 7 – merilna ostroroba zaslonka. 8 – dušilni element.



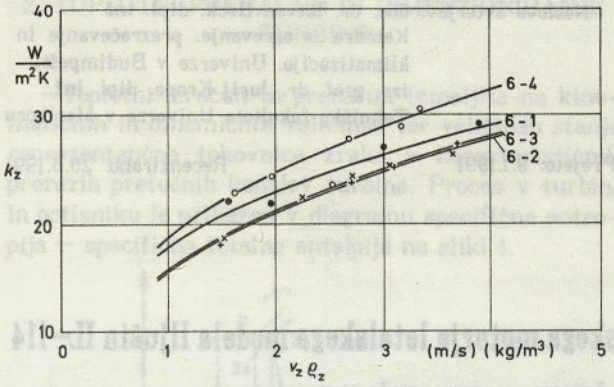
Sl. 3. *Motilni elementi (s slike 2) in njihove dimenzije.*

Masna hitrost se nanaša na čelni prerez grelnika z velikostjo 600 mm × 800 mm. Na strani zraka smo merili prostorninski tok in temperaturo, odtod izhajajoče moči.

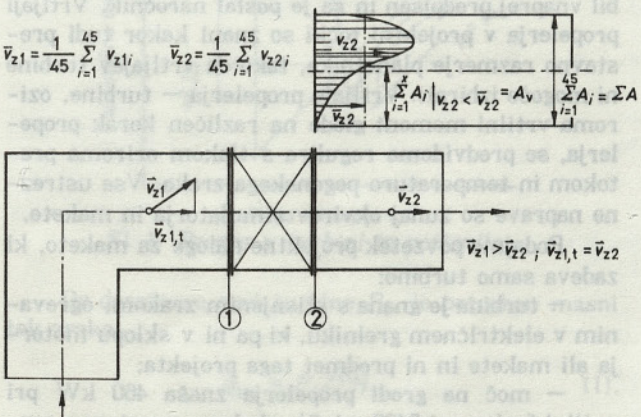
V aritmetično sredino dveh različnih meritev s približno enako močjo smo računali toplotno prehodnost na zračni strani prenosnika. Hkrati smo pred grelnikom in za njim v skupno 45 točkah dobili izmerke za ugotavljanje temperaturnega in hitrostnega polja v zraku. S posebno raziskavo smo se odločili za naslednji merjeni količini (μ_1 in μ_2) (sl. 6):



Sl. 4. *Vpliv motilnih elementov na spremembo toplotne prehodnosti k_z v odvisnosti od zmnožka hitrosti v_z in gostote ρ_z.*
(Podatki veljajo za prvo vrsto cevi.)



Sl. 5. *Vpliv motilnih elementov na spremembo toplotne prehodnosti k_z v odvisnosti od zmnožka hitrosti v_z in gostote ρ_z.*
(Podatki veljajo za šesto vrsto cevi.)



Sl. 6. *Prikaz definicije razmerij μ_2 in μ_1.*

$$\mu_1 = \frac{v_{z1}}{v_{z2}} \qquad (6).$$

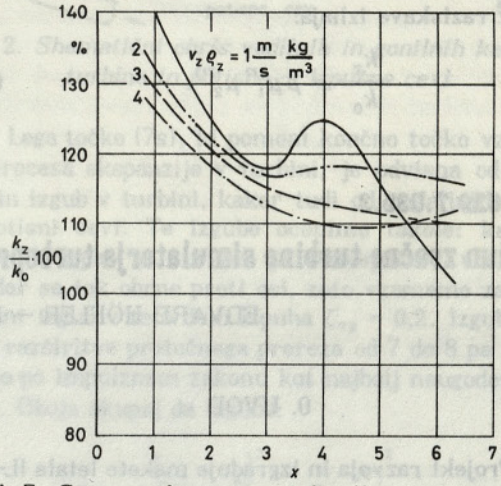
Pri tem pomenita: v_{z1} — srednjo vrednost hitrosti zraka, merjeno pred grelnikom v 45 točkah in v_{z2} — srednjo vrednost hitrosti zraka, merjeno za kaloriferjem v 45 točkah. Očitno je, da pri motenem toku vektor $\boldsymbol{v}_{z1}$ ne kaže v smer glavnega toka, tj. $\boldsymbol{v}_{z1} > \boldsymbol{v}_{z2}$ (sl. 6);

$$\mu_2 = \frac{\sum_{i=0}^{x} A_i \mid v_{z2} < \bar{v}_{z2}}{\sum_{i=1}^{45} A_i} = \frac{A_v}{\Sigma A} \qquad (7).$$

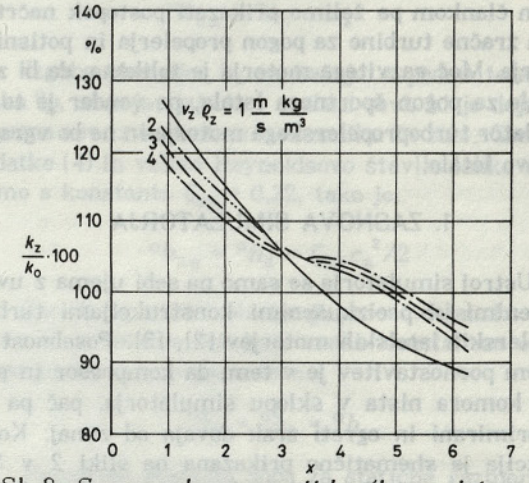
V števcu je tisti del čelnega prereza, kjer je hitrost v_{z2} za grelnikom manjša od povprečja te hitrosti, medtem ko je v imenovalcu ves čelni prerez.

3. REZULTATI RAZISKAVE

Med meritvami smo zapisovali predpisane toplotne prehodnosti kot funkcijo masne hitrosti. Sproti smo določili razmerja k_z/k_0 v odvisnosti od števila vrst cevi x (sl. 7 in 8).



Sl. 7. *Sprememba razmerij k_z/k_0 v odvisnosti od števila vrst cevi x.*
(Podatki veljajo za motilni element 4.)



Sl. 8. *Spremembe razmerij k_z/k_0 v odvisnosti od števila vrst cevi x.*
(Podatki veljajo za motilni element 3.)

Najpomembnejši rezultati so naslednji:

$$(k_z/k_0)_{maks} = 1{,}37 \text{ pri eni vrsti cevi} \quad (8)$$

in

$$(k_z/k_0)_{min} = 0{,}87 \text{ pri šestih vrstah cevi} \quad (9).$$

Vmes poteka to razmerje približno linearno.

4. RAZPRAVA

Meritve so potrdile, da v primeru motenega zračnega toka ni mogoče oceniti toplotne prehodnosti na podlagi enega samega parametra, namreč povprečne hitrosti zračnega toka. Priporočljivo je opazovati tri parametre:

— povprečno hitrost zračnega toka,

— koeficient μ_1 (enačba (6)), ki ponazarja povečanje toplotne prehodnosti,

— koeficient μ_2 (enačba (7)), ki opisuje zmanjšanje toplotne prehodnosti.

Iz raziskave izhaja:

$$\frac{k_z}{k_0} = p\,\mu_1^{\,n}\,\mu_2^{\,m} \quad (10),$$

$$k_0 = f(v_{z2})$$

$$p;\ n;\ m \rightarrow \text{konst}$$

$$k_z = k_0 \qquad p = 1,\ \mu_1 = 1,\ \mu_2 = 1$$

$$k_z \neq k_0 \qquad p \gtreqless 1,\ \mu_1 > 1,\ \mu_2 > 1$$

V toplotni prehodnosti k_0 se kaže vpliv povprečne hitrosti zračnega toka; p, n in m so eksperimentalno izmerjene konstante.

Naslova avtorjev: doc. dr. Istvan Beck, dipl. inž
Katedra za ogrevanje, prezračevanje in klimatizacijo, Univerze v Budimpešti
izr. prof. dr. Jurij Krope, dipl. inž.,
Tehniška fakulteta Univerze v Mariboru

Prejeto: 9.1.1991 Recenzirano: 25.6.1991

UDK 629.7.035.3

Izračun zračne turbine simulatorja turbopropelerskega motorja letalskega modela Iljušin IL–114

EDVARD HÖFLER – BRANE ŠIROK – MIHA PIŠLJAR

0. UVOD

Projekt razvoja in izgradnje makete letala IL–114, pri katerem je Turboinštitut udeležen z razvojem in izdelavo dveh turbopropelerskih motorjev makete, je v obrisih predstavljen z že objavljenim prispevkom [1]. S tem člankom pa želimo prikazati postopek načrtovanja zračne turbine za pogon propelerja in potisnika motorja. Moč razvitega motorja je tolikšna, da bi zadoščala za pogon športnega letala, pa vendar je to le simulator turbopropelerskega motorja in ne bo vgrajen v pravo letalo.

1. ZASNOVA SIMULATORJA

Ustroj simulatorja se samo na sebi ujema z uveljavljenimi in preizkušenimi konstrukcijami turbopropelerskih letalskih motorjev [2], [3]. Posebnost in obenem poenostavitev je v tem, da kompresor in gorilna komora nista v sklopu simulatorja, pač pa se komprimirani in ogreti zrak dovaja od zunaj. Konstrukcija je shematično prikazana na sliki 2 v SV 1991/4–6, str. 81. Gonilnik turbine je konzolno vležajen. Turbinska gred je dvojna; zunanja vodi gonilnik in prenaša upogibne obremenitve, po notranji pa se prenaša vrtilni moment na planetni reduktor. Ta je bil vnaprej predpisan in ga je poslal naročnik. Vrtljaji propelerja v projektni točki so znani kakor tudi prestavno razmerje planetnika, tako da vrtljajev turbine ni mogoče izbirati. Vrtljaje propelerja — turbine, oziroma vrtilni moment glede na različen korak propelerja, se predvidoma regulira s tlakom oziroma pretokom in temperaturo pogonskega zraka. Vse ustrezne naprave so zunaj okvirov simulatorja in makete.

Podajmo povzetek projektne naloge za maketo, ki zadeva samo turbino:

— turbina je gnana s stisnjenim zrakom, ogrevanim v električnem grelniku, ki pa ni v sklopu motorja ali makete in ni predmet tega projekta;

— moč na gredi propelerja znaša 460 kW pri vrtilni frekvenci 2400 min^{-1}, glede na prestavno razmerje planetnega reduktorja AN-20A i = 3,8709 je vrtilna frekvenca turbinske gredi določena n = 9290,3 min^{-1};

— upoštevaje izkoristek reduktorja (kupec zagotavlja 98 odstotkov) ter izgub v krogličnih ležajih, te so zanemarljive, je računska moč turbine v projektni točki P_t = 470 kW;