

PRESEK

List za mlade matematike, fizike, astronome in računalnikarje

ISSN 0351-6652

Letnik **28** (2000/2001)

Številka 3

Strani 156-159

Andrej Likar:

TOPLOTNI IZMENJEVALCI

Ključne besede: fizika.

Elektronska verzija: <http://www.presek.si/28/1441-Likar.pdf>

© 2000 Društvo matematikov, fizikov in astronomov Slovenije

© 2010 DMFA - založništvo

Vse pravice pridržane. Razmnoževanje ali reproduciranje celote ali posameznih delov brez poprejšnjega dovoljenja založnika ni dovoljeno.

TOPLOTNI IZMENJEVALCI

Pri prezračevalnih napravah velikih stavb se srečamo z zanimivo nalogo. Topel, a izrabljen zrak v stavbi moramo nadomestiti s svežim, ki je pozimi lahko zelo hladen. Nesmotno bi bilo topli zrak spuščati naravnost na prosto in ga nadomeščati s hladnim iz okolice. Poleg neprijetnega ledenega piša v prostorih bi tako porabili zelo veliko toplote za dodatno ogrevanje. V prezračevalnih napravah sta svež in izrabljen zrak speljana po ceveh, ki tečejo tesno skupaj. Topli zrak tako ogreva hladnega in izhaja s temperaturo, ki je le malo večja od zunanje.

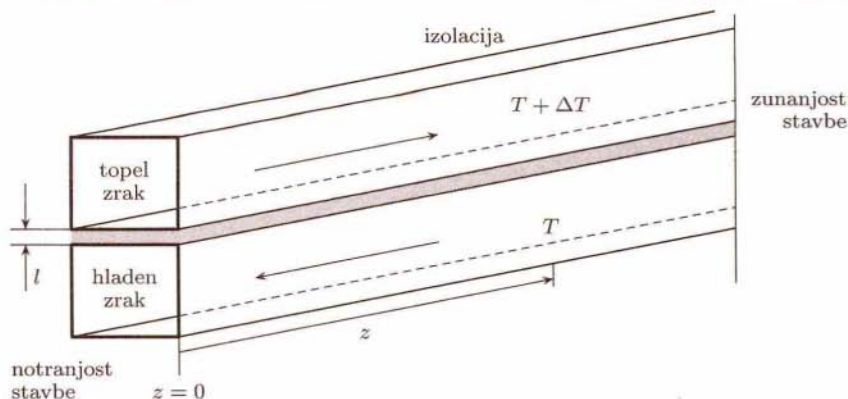
Na sliki 1 sta prikazani taki cevi s kvadratnim prerezom, ki sta v toplotnem stiku, sicer pa izolirani. Stranica kvadrata naj bo dolga a , torej je ploščina prereza cevi enaka a^2 . Temperatura toplega zraka iz stavbe v zgornji cevi pada vzdolž toka, temperatura hladnega zraka v spodnji pa v smeri toka narašča. Segrevanje plina v spodnji cevi torej poteka na račun ohlajanja plina v zgornji. Masna pretoka zraka v ceveh naj bosta enaka. Privzeli bomo, da je temperaturna razlika zraka v ceveh ΔT neodvisna od mesta, kjer jo merimo. Kasneje bomo videli, da je ta privzetek pravilen. Razliko ΔT lahko povežemo z masnim tokom plina v ceveh, debelino stene med cevema l in toplotno prevodnostjo λ . Opazujemo del plina v cevi z dolžino Δz in s presekom $S = a^2$, ki potuje po cevi s hitrostjo v (slika 2). Ker je temperaturna razlika med toplejšim zrakom v zgornji cevi in opazovanim delom plina ves čas enaka ΔT , se opazovani del plina v spodnji cevi v času t segreje za δT na račun toplotnega toka skozi steno. Toplotni tok vzdolž cevi bomo zanemarili. Velja torej

$$\lambda \frac{\Delta T}{l} a \delta z = \Delta m c_p \delta T.$$

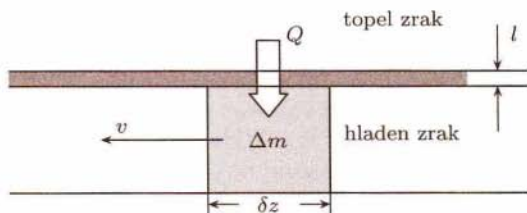
Na levi strani enačbe smo zapisali toploto, ki zaradi prevajanja preide skozi steno v času t . Na njen račun se segreje del plina z maso Δm in specifično toploto c_p za δT . S c_p smo označili specifično toploto zraka, vrednost zanjo je $1000 \frac{\text{J}}{\text{kgK}}$. Ker je $\Delta m = \rho S \Delta l$, lahko enačbo poenostavimo, če upoštevamo še zvezo med masnim pretokom skozi cev $\Phi_m = \rho S v$, kjer je $v = \frac{z}{t}$ hitrost plina v cevi,

$$\frac{\Delta T}{l} = \frac{\Phi_m c_p}{\lambda a} \frac{\delta T}{z}.$$

Tu smo vpeljali vzdolžni prirast temperature plina v cevi δT na razdalji z . Temu kvocientu pravimo tudi vzdolžni temperaturni gradient. Enačba



Slika 1. Cévi s kvadratnim prerezom, po katerih teče zrak v nasprotnih smereh. V zgornji cevi se zrak vzdolž toka ohlaja, v spodnji pa segreva.



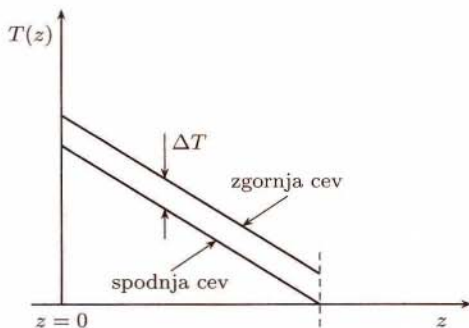
Slika 2. Označeni del plina v spodnji cevi se enakomerno segreva, ko potuje vzdolž cevi s hitrostjo v .

torej povezuje temperaturni gradient v vmesni steni s temperaturnim gradientom vzdolž cevi. Sedaj je čas, da primerjamo velikost obeh gradientov. Pri masnem toku $\Phi_m = 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{s}}$ po cevi s stranico $a = 1 \text{ cm}$ in bakreno vmesno steno s toplotno prevodnostjo $\lambda = 390 \frac{\text{W}}{\text{mK}}$ dobimo

$$\frac{\Delta T}{l} = \frac{1}{4} \frac{\delta T}{z}.$$

Vidimo, da sta gradienta primerljiva. Pri 1 m dolgi cevi in temperaturni razliki med zrakom v stavbi in na prostem $\delta T = 40 \text{ K}$ je gradient $\frac{\Delta T}{l} = 10 \frac{\text{K}}{\text{m}}$. Pri 1 mm debeli vmesni steni je torej $\Delta T = 0,01 \text{ K}$, razlika med temperaturama zraka v ceveh je torej zanemarljiva. Zračenje prostora opravimo skoraj povsem brez toplotnih izgub. Naprave, ki na tak način varčujejo s toplotno energijo, imenujemo toplotni izmenjevalci.

Slika 3 kaže potek temperature v ceveh v odvisnosti od oddaljenosti z . Izhodišče $z = 0$ smo za obe cevi postavili na topli strani. Premisleki in enačba, ki smo jo izpeljali za spodnjo cev, veljajo tudi za zgornjo, le da se plin vzdolž toka ohlaja. Temperaturni gradient v zgornji cevi je torej prav tak kot v spodnji, vzdolž toka ima le spremenjen predznak. Abscisa z v diagramu narašča v zgornji cevi proti toku, zato je temperaturni gradient v zgornji cevi glede na z prav tak kot v spodnji, temperaturna razlika pa je enaka ne glede na z . Tako je privzetek o stalni razliki ΔT upravičen.



Slika 3. Temperaturni potek $T(z)$ v zgornji in spodnji cevi. Izhodišče $z = 0$ smo postavili na začetek cevi na toplem koncu.

Prijem toplotne izmenjave je narava uporabila že davno pred človekom. Telesna temperatura večine rib je enaka temperaturi vode, v kateri živijo. Ribe namreč dihaajo s škrgami, ki jih obliva voda. Kri mora biti v škrgah čim tesneje v stiku z vodo, da dobi riba dovolj kisika za življenje. Tako tesen stik pa pomeni, da je toplotni tok iz krvi v vodo že pri neznatni temperaturni razliki tako velik, da ga riba s presnovo ne more nadomestiti. Kri v škrgah mora torej imeti skoraj enako temperaturo kot voda. Pri večini rib kri ohlaja telo na temperaturo vode v okolici. Pri tem pomaga še toplotni tok s površja telesa v vodo.

Tune in nekatere vrste morskih psov so pri tem izjema. Merjenja so pokazale, da je njihova telesna temperatura globoko v notranjosti mišice kar za 20 K višja od temperature vode. Surova tunina je tudi po izrazito rdeči barvi podobna mesu sesalcev, ki imajo stalno telesno temperaturo. Temperatura mišic pomembno vpliva na njihovo aktivnost – višja temperatura omogoča ribi večjo aktivnost in zmogljivost. Znano je, da tune plavajo neprekinjeno vse življenje. Kako tuna ohrani mišice tople, čeprav diha s škrgami?

Dovodne in odvodne žile (arterije in vene) mišice so pri tuni tesno skupaj, tudi ko se žile cepijo v žilice. Tako tečeta dovodna in odvodna kri tesno skupaj. Ker je dovodna kri hladnejša, se greje na račun oddane toplote toplejše krvi, ki teče iz mišice. Temperaturna razlika med dovodno in odvodno krvjo je lahko manjša od enega kelvina. Odvodna kri odnese iz mišice zelo malo toplote, če je le dolžina odvodnih oziroma dovodnih žil dovolj velika. V enačbi, ki povezuje oba temperaturna gradienta, sedaj

vstavimo te podatke: toplotno prevodnost žilne stene postavimo na vrednost $\lambda = 0,24 \text{ W/m K}$, kar se ujema s toplotno prevodnostjo tolšče, za specifično toploto krvi vzamemo podatek za vodo $c_p = 4200 \text{ J/kg K}$, za vrednost a privzamemo premer žile, denimo $a = 2r = 2 \text{ mm}$, masni tok krvi $\Phi_m = \varrho Sv$ pa ocenimo na $\Phi_m = 10^{-5} \text{ kg/s}$. S temi podatki dobimo

$$\frac{\Delta T}{l} = 170 \frac{\delta T}{z}.$$

Stena med žilama je debela $l = 0,1 \text{ mm}$, temperaturni gradient v žili pa ocenimo iz povišanja temperature v notranjosti mišice $\delta T = 20 \text{ K}$ in prečno velikostjo mišice $z = 0,5 \text{ m}$. Za ΔT dobimo tako vrednost okrog 1 K , kar se dobro ujema z meritvami.

Andrej Likar
