

# PRESEK

List za mlade matematike, fizike, astronome in računalnikarje

ISSN 0351-6652

Letnik 12 (1984/1985)

Številka 3

Strani 98-102

Jože Rakovec:

## MERJENJE HITROSTI VETRA, 1. DEL

Ključne besede: fizika.

Elektronska verzija: <http://www.presek.si/12/730-Rakovec.pdf>

© 1985 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.

## MERJENJE HITROSTI VETRA 1. DEL

Za merjenje hitrosti danes uporabljamo najrazličnejše priprave, ki so nastale z razvojem znanosti in tehnike. Ko pa pomislimo, kako bi merili s preprostimi pripomočki, ugotovimo, da lahko hitrost določamo, če poznamo opravljeno *pot* v nekem, lahko daljšem ali krajšem, *časovnem intervalu*. Seveda nas to vodi do *povprečne hitrosti* v času merjenja in s skrajševanjem tega časa se šele bližamo pravi vrednosti za hitrost, saj je ta limitni primer, odvod poti po času. Za ti dve količini (pot in čas) pa torej potrebujemo merilo za dolžino in uro.

Tako gre torej, če hočemo meriti hitrosti trdnih teles (njihovih težišč ali posameznih delov). Kaj pa *hitrost v plinih ali kapljevinah*? Ali pa hitrost nekega telesa relativno glede na plin ali kapljevino? V tem primeru z metrom in uro ne opravimo dosti, čeprav se prav tukaj začenja pripoved, kako so si ljudje pomagali nekdanj, in o tem, od kod mornarska mera za hitrost - *vozel*.

Z vozli je bilo takole. Na širnem morju je bila ladja brez oporne točke, glede na katero bi merili hitrost. Treba jo je bilo narediti, zato so z ladje med plovo vrgli v morje leseno klado, privezano na vrv, ki je imela na enakih razdaljah narejene vozle. Klada je na gladini obstala približno na mestu, vrv se je odvijala z vretena in kolikor vozlov se je odvilo v času, v katerem se je pretočil pesek v peščeni uri, tolikšna je bila hitrost ladje – v vozlih seveda. Ime se je tako udomačilo, da ga niso opustili niti po uvedbi merilnikov s propelerji. Še vedno so govorili, da plujejo s toliko in toliko vozli. Končno je obveljalo ime vozlov (kratica *kt* od *knot*) in poleg uporabe pri mornarjih sporoča tudi hitrosti vetra v mednarodno mrežo za izmenjavo meteoroloških podatkov še vedno v vozlih.

(S tem v zvezi še ena zanimivost. Po angleško se reče kladi *log* in od tiste klade za merjenje hitrosti ladij pride tudi uporaba besede *log* za vpisovanje hitrosti in nasploh za vodenje ladijskega in letalskega dnevnika, pa tudi za najrazličnejša druga vpisovanja. Kdor je že delal z računalnikom, ki si mora zapomniti, komu bo delo zaračunal, je verjetno kot prvi računalniški ukaz na zaslonu zagledal prav *login* – vpiši se!)

Mornarje je močno pestil tudi veter. Da bi naredil konec pretiravanjem o viharjih, skozi katere naj bi pluli, predvsem pa za čim popolnejše vodenje ladijskega dnevnika, so potrebovali oceno za hitrost vetra. In čeprav so vetrnice

cenili že npr. v Perziji okrog leta 700, pa v začetku 17. stoletja še ni bilo take, s katero bi lahko merili veter. Zato je 1808 britanski pomorski oficir, kasnejši admiral in sir, *Francis Beaufort* glede vetra ukazal med drugim takole:

*"stopnja 0 je brezvetrije",*

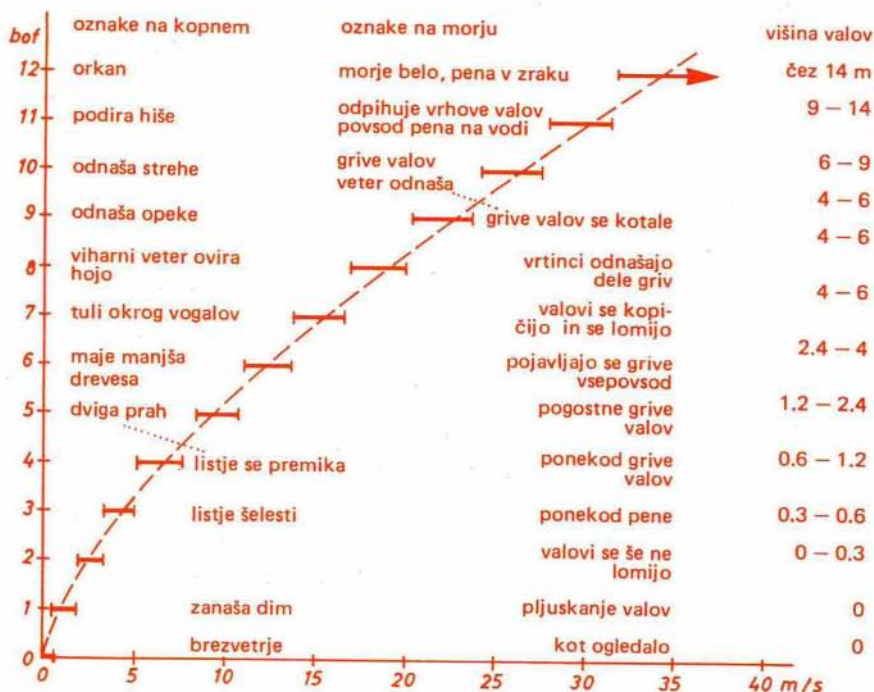
*"stopnja 2 je tak veter, v katerem dobro pripravljena vojna ladja, če razpne vsa jadra, pluje s hitrostjo od 1 do 2 vozlov",*

*"stopnja 6 je veter, v katerem enaka ladja ravno lahko še pluje, če enkrat podveže vrhna jadra",*

in seveda podobno za vse stopnje vmes tja do

*"stopnja 12, ko ni več jadra, ki bi vzdržalo".*

Kasneje so te kriterije preuredili glede na izgled morske površine, pa tudi za ocenjevanje vetra na kopnem (ter dodali stopnje do 17.). Beaufortova skala se še danes uporablja na morju in na kopnem, saj omogoča oceno brez instrumentov. Da poudarimo, da gre za oceno na podlagi učinkov vetra, rečemo *jakost vetra po Beaufortu (boforu)* za razliko od *hitrosti* vetra, ki jo izmerimo. Med obema ni natančne analitične zveze, temveč bolj statistična, saj za nekoliko različne hitrosti vetra ne moremo ločiti vidnih učinkov na morski površini ali na drevju (slika 1).

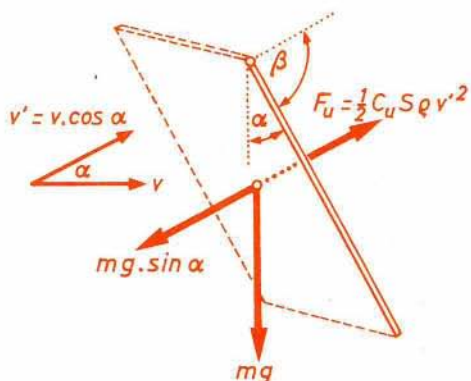


Kmalu po uvedbi Beaufortove skale za veter pa je bil skonstruiran prvi *vetromer (anemometer)* na nihajočo ploščo. Priprava ni zapletena in tisti, ki ste nekoliko spretni, si jo lahko izdelate doma ali pa pri pouku tehnike v šoli.

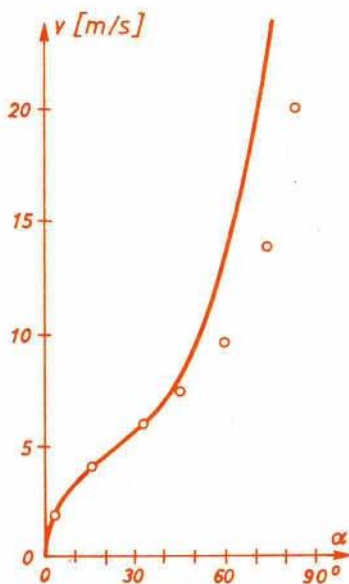
Vetromer na nihajočo ploščo izkorišča *silo upora v sredstvu* (z gostoto  $\rho$ ), ki dviga okrog horizontalne osi vrtečo se ploščo (s ploščino  $S$ ) do odklona, pri katerem sta si navora zaradi *teže* in *sile upora* enaka. Če predpostavimo, da tudi sila upora prijemlje v težišču plošče (kar ni res pri večjih odklonih), lahko ize- načimo kar obe sili (slika 2):

$$mg \sin \alpha = \rho C_u S \frac{1}{2} (v \cos \alpha)^2$$

Pri tem smo uporabili kvadratni zakon upora, saj zrak skoraj nikoli ne teče *laminarno*. Vpliv *turbulentnega toka* pa je skrit tudi v koeficientu upora  $C_u$ . Poleg tega je vrednost  $C_u$  odvisna tudi od oblike plošče, od njenega nagiba glede na veter, pa še od česa, tudi od trenja v ležaju. Za hitrost vetra dobimo izraz:



Slika 2. Ravnotežna lega plošče v vetru s hitrostjo  $v$



Slika 3. Primerjava med izračunano odvisnostjo  $v(\alpha)$  in dejansko umeritvijo (krožci) za pravokotno ploščo z maso 0,2 kg in dimenzijami 15 cm x 30 cm (pri računu je vzeto  $C_u = 1,22$ ,  $\rho = 1,3 \text{ kg m}^{-3}$ )

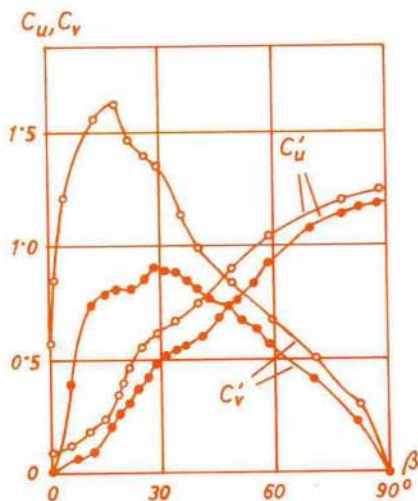
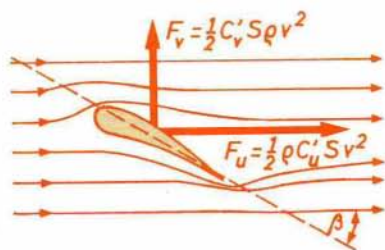
$$v = \sqrt{\frac{2 mg \operatorname{tg} \alpha}{C_u S \rho \cos \alpha}}$$

Pri tem pa moramo upoštevati, da  $C_u$  ni konstanta. Zato je najbolje vetromer *umeriti*. Primer take umeritve je dan na sliki 3. Če pa se boste res lotili svojega vetromera, vam je ta umeritev le v pomoč, kajti vsak, še posebej pa v domači delavnici narejen instrument, ima svoje muhe.

Pri merjenju mora biti vetromer takele vrste vedno obrnjen v smer vetra. Če merite tako, da ga držite v roki, se morate obračati vi, sicer pa ga navadno obrača *vetrokaz*, to je poseben rep, vrtljiv okrog navpičnice. Ta mora biti primerno uravnotežen z utežjo, ki obenem kaže smer, iz katere piha veter. S kompasom lahko usmerimo tudi skalo, ki kaže smeri neba (slika 4). Za rep lahko služi spet ravna plošča in zanjo velja podobno razmišljanje kot pri plošči za merjenje hitrosti. Toda tam je teža silila ploščo v ravnovesje, tu pa je le upor tisti, ki postavlja rep v smer vetra. Zato ravne plošče slabo drže smer. Upor je namreč pri majhnih kotih vpada vetra ( $\beta$  je blizu 0, zato je  $\cos \alpha \equiv \cos(\pi/2 - \beta)$  blizu nič) majhen in rep niha sem in tja (slika 2). Ko se rep prilagaja v novo smer, se zavrti predaleč, saj je navor, ki bi ga zadrževal po pre-



Slika 4. Vetromer



Slika 5. a) Upor in dinamični vzgon in b) odvisnost koeficientov od vpadnega kota  $\beta$  za ravno ploščo (pikice) in upognjeno ploščo (krožci)

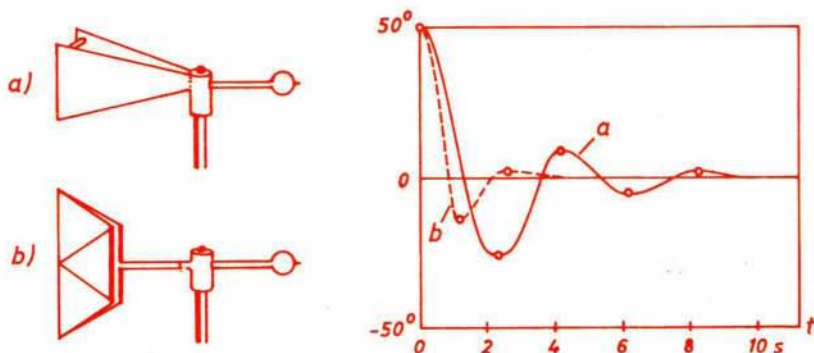
hodu preko ravnovesja, majhen. Povečamo ga lahko, če za rep vetrokaza uporabimo dve plošči, postavljeni v klin (slika 6a), saj je tu vsaj ena od plošč postavljena pod večjim kotom v veter.

Še bolje pa je, če se za dobro merjenje smeri vetra zatečemo k nečemu, kar smo do sedaj zamolčali: na telesa v tekočini deluje tudi *dinamični vzgon*. Pri ravnih ploščah in idealno laminarnem toku ga ni, v turbulentnem toku (in rekli smo že, da zrak praktično zmeraj teče zvrtničeno), pa je delno za neskladje med računom in umeritvijo (slika 3) kriv tudi pri ravni plošči dinamični vzgon.

Na telesa, ki imajo nesimetrične oblike (npr. letalsko krilo), deluje tudi sila pravokotno na smer toka tekočine, saj jih mora tekočina obteči na eni strani po daljši poti, torej hitreje. Ob povečani hitrosti pa se – kot je pokazal *Bernoulli* – zmanjša tlak. Razlika tlakov na eni in drugi strani telesa povzroči silo, ki je spet odvisna od kvadrata hitrosti (slika 5). Zapišemo jo v enaki obliki kot silo upora, le koeficienta sta različna:

$$F_V = \rho C_V S \frac{1}{2} (v \cos a)^2$$

Če opazujemo odvisnost  $C_n' \equiv C_u \cos^2 a$  in  $C_V' \equiv C_V \cos^2 a$  v odvisnosti od kota  $\beta \equiv \pi/2 - a$  med vzporednico s ploskvijo in smerjo vetra, vidimo, da je *upor* pri majhnih odklonih plošče od smeri vetra *majhen, vzgon* pa, posebno pri upognjenih ploščah, *hitro naraste*. Zato so boljši repi vetrokazov ukrivljeni ali pa še kako posebno oblikovani, pa se zato hitro prilagajajo smeri vetra (slika 6).



Slika 6. Dve obliki repov vetrokazov in hitrosti prilagajanja na pravo smer, če ju od nje odklonimo za  $50^\circ$ .

Toliko bi za sedaj zadostovalo za vaš vetromer. Dokler ga še delate, si pomagajte z Beaufortovo skalo, naslednjič pa še kaj o modernejših, točnejših, pa tudi na povsem drugačnih načelih zasnovanih vetromerih.