

PRESEK

List za mlade matematike, fizike, astronome in računalnikarje

ISSN 0351-6652

Letnik 22 (1994/1995)

Številka 2

Strani 70-73

Andrej Likar:

KLEPEC

Ključne besede: fizika, črpanje vode, črpalke, valovno čelo.

Elektronska verzija: <http://www.presek.si/22/1216-Likar.pdf>

© 1994 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.

KLEPEC

V hribovitih krajih je ponekod potrebno dvigniti vodo iz izvira v višji zbiralnik. Če tam ni električne napeljave, uporabijo črpalko - klepec, ki jo poganja voda iz izvira. Tako napravo imajo pri Kocbekovem domu na Korošici v Kamniških Alpah.

Vse vode iz izvira seveda taka črpalka ne more dvigniti v zbiralnik. Voda z maso m , ki privre iz izvira s hitrostjo v , ima kinetično energijo $W_k = \frac{1}{2}mv^2$. Enaka masa vode v zbiralniku ima potencialno energijo glede na izvir $W_p = mgh$, kjer smo s h označili višinsko razliko med zbiralnikom in izvirom. Če črpalka vso razpoložljivo kinetično energijo W_k porabi le za premagovanje teže pri dvigu vse vode v zbiralnik, velja

$$W_k = W_p,$$

saj voda v zbiralniku miruje. Od tod dobimo

$$h_0 = \frac{v^2}{2g}.$$

Hitrost vode iz izvira je, denimo, 1 ms^{-1} . Višina h_0 je v tem primeru le nekaj centimetrov.

Če naj bo višina h nekaj metrov, lahko črpalka dvigne le del vode z maso m_1 . V tem primeru velja

$$W_k = W_{p1} = m_1gh$$

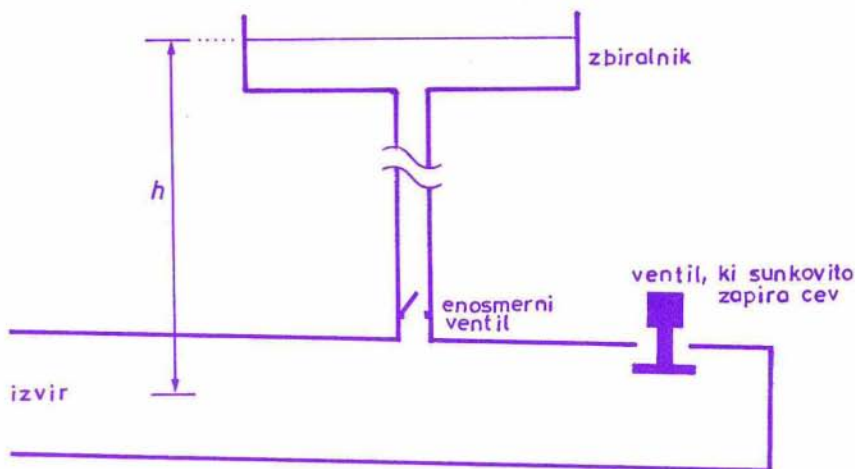
ali

$$h = \frac{m}{m_1} \frac{v^2}{2g} = \frac{m}{m_1} h_0.$$

Pri zbiralniku z višinsko razliko $h = 5 \text{ m}$, lahko črpalka dvigne največ en odstotek vse vode iz izvira.

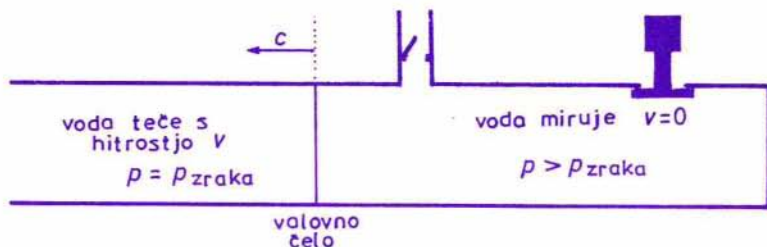
Delovanje klepca je prav zanimivo. Slika 1 kaže močno poenostavljeno in nekoliko prirejeno zgradbo črpalke. Po zelo dolgi, rahlo nagnjeni cevi priteče voda iz izvira s hitrostjo v . Ta pritočna cev je na koncu zaprta z navpično steno, voda odteka skozi odprtino na zgornjem delu cevi. Poseben čep v cevi v rednih presledkih sunkovito zapira odtok vode zaradi široke ploščice, ki jo voda s čepom vred potisne navzgor, ko doseže dovolj veliko hitrost. Čep spet potone, ko postane tlak vode v cevi enak zračnemu. Voda v cevi spet začne teči in igra se ponovi. Čep pri zapiranju cevi odda zvok, ki spominja na

klepanje kose, od tod ima črpalka ime (klepec je kladivo, s katerim klepljemo koso). Blizu čepa je vgrajena navpična cev s premerom, ki je zelo majhen v primeri s premerom pritočne cevi. V to cev je vgrajen enosmerni ventil, ki omogoča le tok vode navzgor, na zgornjem koncu te cevi pa je zbiralnik.



Slika 1. Poenostavljena zgradba klepca. Pritočna cev je zelo dolga in ima precej večji presek kot cev, ki vodi do zbiralnika. Pri računu tlaka za valovnim čelom tako te cevi ni treba upoštevati, prav tako se izognemo vprašanju odbojev na koncu pritočne cevi. Prav tako privzamemo, da čep zapre odtok vode hipoma.

V trenutku, ko čep zapre cev, se tlak vode v cevi močno poveča. Denimo, da čep hipoma zapre cev. Po cevi od čepa navzgor potuje motnja v obliki *valovnega čela*. Pred valovnim čelom voda še vedno potuje s hitrostjo v , njen tlak pa je enak zunanjemu. Za valovnim čelom, to je predelom med valovnim čelom in čepom, voda miruje, njen tlak pa je povišan (slika 2). Valovno čelo je torej meja med mirujočo vodo pri večjem tlaku, kot je zunanji, in gibajočo se vodo pri zunanjem tlaku. Valovno čelo se giblje v cevi zelo hitro. Če privzamemo, da so cevi toge, je njegova hitrost ravno enaka hitrosti zvoka v vodi, $c \approx 1400 \text{ ms}^{-1}$. Tlak za valovnim čelom v zaustavljeni vodi presega hidrostatični tlak vode v navpični cevi. Enosmerni ventil se zato odpre in spusti nekaj vode v zbiralnik. Tudi po navpični cevi se širi valovno čelo, le da se v tem primeru voda za čelom giblje, pred čelom pa miruje.



Slika 2. Valovno čelo loči del vode, ki miruje pri povečanem tlaku, od vode, ki se giblje z nemoteno hitrostjo v pri zunanjem tlaku. Motnja se giblje z desne proti levi s hitrostjo v v vodi. Zadnja stena cevi deluje na vodo s silo $F = pS$.

Tlak vode za valovnim čelom lahko preprosto izračunamo iz izreka o gibalni količini. Denimo, da je od sunkovitega zaprtja cevi pretekel čas t . Valovno čelo se je v tem času oddaljilo za ct , kjer je c hitrost valovnega čela. Masa ustavljene vode je tedaj

$$m = Spct,$$

kjer je S presek cevi, p pa gostota vode. Sila, ki je to vodo v času t ustavila, je sila navpične stene cevi

$$F = pS.$$

Po izreku o gibalni količini je sunek te sile enak spremembi gibalne količine vode mv

$$Ft = mv$$

ali

$$pSt = Spctv.$$

Iz zadnje enačbe sledi

$$p = \rho cv.$$

Pri hitrostih $v = 1 \text{ ms}^{-1}$ in $c = 1400 \text{ ms}^{-1}$ dobimo $p = 1,4 \cdot 10^6 \text{ Nm}^{-2}$. To je v primeri s hidrostatičnim tlakom vode iz zbiralnika pri enosmernem ventilu $p = \rho gh = 5 \cdot 10^4 \text{ Nm}^{-2}$ kar za velikostno stopnjo več. Zares je tlak vode v cevi klepca manjši. Upoštevati moramo, da čep ne zapre cevi hipoma in da je pritočna cev dolga le nekaj metrov ($L \approx 5 \text{ m}$). Zato se motnja na začetku cevi odbije in po času L/c spremeni hitrost in tlak v pritočni cevi. Kljub

temu je tlak dovolj časa večji od hidrostatskega in klepec deluje. Navedimo še nekaj podatkov. Dolžina pritočne cevi je med 5 in 15 m, hitrost vode v dotočni cevi pa med 3 in 10 ms^{-1} . Pritočna in navpična cev sta navadno enakih premerov, zato so razmere ob stiku teh cevi bolj zapletene kot v našem poenostavljenem klepcu. Frekvenca zapiranja cevi je med 1 in 5 Hz, najbolj ugodno razmerje med h in h_0 pa je 6. V tem primeru je izkoristek naprave okoli 40%.

Andrej Likar