

# Razvoj male suhe vakuumske črpalke - kompresorja za območje 100 mbar do 4 bar

## Development of Small Dry Vacuum Pump - Compressor Pumping in the Range of 100 mbar to 4 bar

M. Sivec<sup>1</sup>, M. Drab, M. Cerar, A. Pregelj, IEVT Ljubljana

Prejem rokopisa - received: 1995-10-04; sprejem za objavo - accepted for publication: 1995-12-22

Male črpalke za grobi vakuum pogosto uporabljajo v tehniki, medicini, raznih laboratorijih in tudi v široki porabi. V članku je kratko opisan princip delovanja, z diagrami so prikazani izračuni obremenitev, potrebne moči elektromotorja in predvidene črpalne hitrosti za prototip črpalke, ki jo razvijamo na IEVT.

**Ključne besede:** črpalke vakuumske, kompresorji majhni, ročni mehanizmi

Small dry pumps for rough vacuum are often used in technics, medicine, laboratories and also in wide use. By ability of achieving low pressures they can not be compared to oil sealed rotary vacuum pumps, but they do not contaminate pumping system. This paper touches briefly the principles of operation, calculations of loading and needed power of electromotor for the pump prototype that we are developing at IEVT.

**Key words:** vacuum pumps, small compressors, crank drive mechanisms

### 1 Uvod

Po sposobnosti doseganja nizkih tlakov se suhe črpalke ne morejo primerjati z oljno tesnjenimi rotacijskimi vakuuskimi črpalkami, vendar imajo to prednost, da z njimi ne kontaminiramo črpalnega sistema. Ker postaja čistoča vse pogostejša zahteva številnih tehnologij, je povpraševanje po kvalitetnih "suhih" črpalkah vedno večje.

Proizvajalci v svetu zato svoje napore ponovno usmerjajo v izboljšave in pocenitev preprostih črpal s translatorskim gibanjem. Iz enakega razloga je prišlo tudi do odločitve za optimizacijo domače membranske črpalke in za razvoj nove, zmogljivejše črpalke. V ta namen so bili izvedeni mnogi poskusi in izračuni.

### 2 Princip delovanja translatorskih črpal

Translatorne črpalke poganja elektromotor preko ročičnega mehanizma ali elektromagnet. Delimo jih na batne in membranske. Slednje so tišje, vendar z njimi pri podobnih dimenzijah dosegamo manjše pretoke. To je tudi razlog, da smo se odločili na osnovi obstoječe membranske razviti zmogljivejšo batno črpalco. Pri malih batnih črpalkah je zveza med batom in ojnico praviloma toga, zato se bat v valju nagiba. Majhen kot nagibanja bata  $\psi$ , dosežemo z dolgo ojnico. Princip tesnjenja batnih črpal je največkrat enak kot pri tlačilki za kolo. Pri tem je puščanje minimalno, ker se tesnilna sila spreminja sorazmerno s spreminjanjem tlaka v valju. To pomeni manjšo porabo energije ter manjšo obrabo bata in valja in zato daljšo dobo uporabnosti naprave. Slika 1 prikazuje splošen položaj

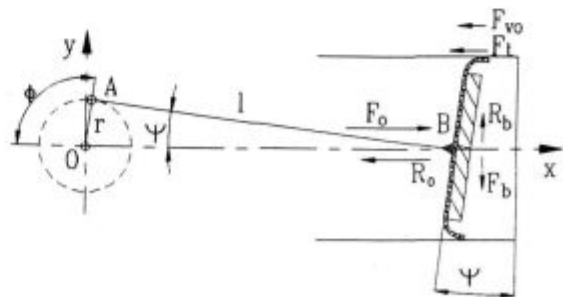
pogonskega mehanizma ter sile, ki delujejo na ojnico in na tesnilne površine.

V naslednjem poglavju so predstavljeni računsko dobljeni diagrami, ki prikazujejo potek obremenitve pri obratovanju, ter črpalne hitrosti črpalke med obratovanjem.

### 3 Predstavitev rezultatov teoretičnih izračunov

Sila na bat je odvisna od reakcijske sile zraka  $R_o$ , trenja med batom in valjem  $F_t$  (sorazmerna s tesnilno silo) in od opoščkov bata.

Reakcijska sila zraka je odvisna od razlike tlakov v valju in okolici. V vsakem ciklu se spreminja od ničle, ko se tlaki na začetku giba izenačijo, pa do maksimuma, ko se odpre izpušni ventil (na sl. 2 pri kotu  $103^\circ$ ). Sledi izpuh komprimiranega zraka, ekspanzija mrtvega volumna in sesanje. Reakcijsko silo zraka razdelimo na osno silo  $R_o$ , ki se preko ojnice prenaša na gred elektromotorja, in bočno silo  $R_b$ , ki se prenaša na steno valja.



Slika 1: Pogonski mehanizem črpalke in princip tesnjenja  
Figure 1: Pump driving mechanism and the sealing principle

<sup>1</sup> Matjaž SIVEC, dipl.inž.str.  
Inštitut za elektroniko in vakuumsko tehniko  
1111 Ljubljana, Teslova 30

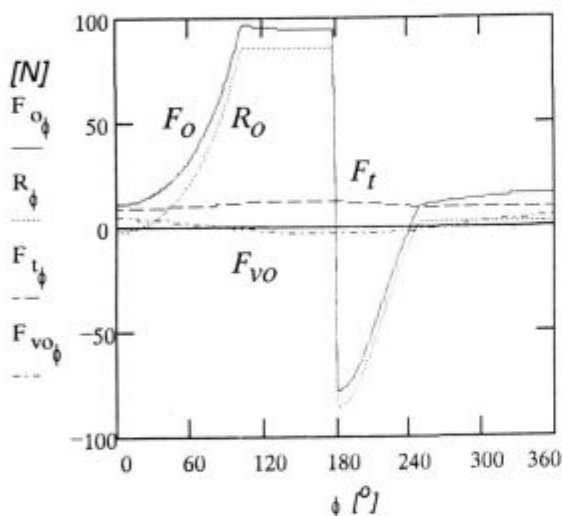
Pospeške izračunamo iz dinamike ročičnega mehanizma<sup>4</sup>. Pospeški povzročajo vztrajnostne sile  $F_{vo}$ , ki so odvisne še od mas ročice, ojnice in bata.

Vsota teh sil v osni smeri  $F_o$  povzroča preko ročice navor na gredi elektromotorja in je za primer kompresije na nadtlak 1 bar prikazana na **sliki 2**.

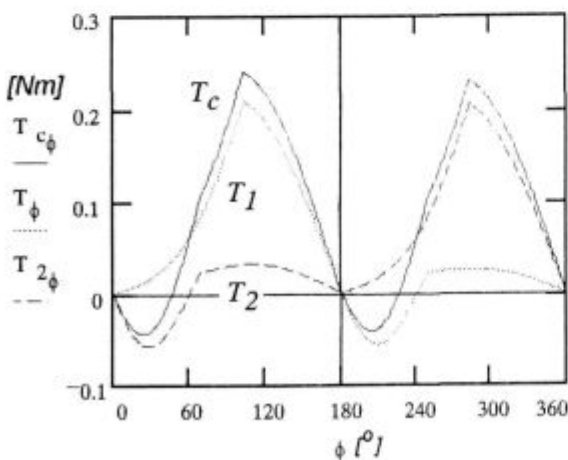
Rezultanta sil v bočni smeri ( $F_b$ ,  $R_b$ ) je zanemarljivo majhna, zato teh sil ne bomo podrobneje obravnavali<sup>6</sup>.

Moment na gredi elektromotorja  $T_c$  je sorazmeren z vsoto osnih sil, ki jih mora premagovati, in z dolžino ročice  $r$ . Odvisen je tudi od trenutnega položaja ročičnega mehanizma (kotov nagiba ojnice in ročice). Ker smo se odločili za izvedbo črpalke z dvema valjema, bomo morali zamakniti njuno delovanje za kot  $180^\circ$ . Na valju 1 imamo moment  $T_1$ , na valju 2 moment  $T_2$ .

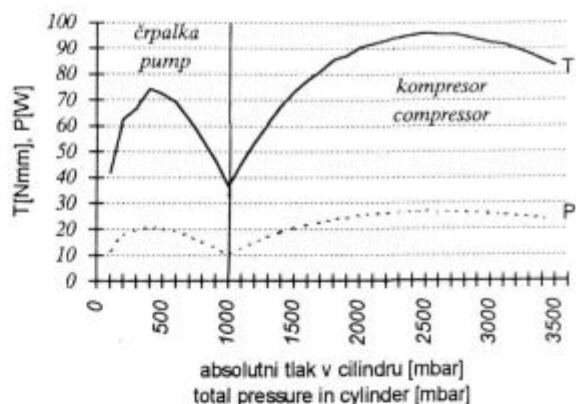
Na **sliki 3** je predstavljen moment v odvisnosti od kota  $\phi$ . Kadar črpalko zaganjamo pod obremenitvijo mora zagonski moment elektromotorja premagati največjo vrednost tega momenta. Potrebno moč motorja med obratovanjem pa določamo iz povprečnega momenta skozi cel cikel. Velikost povprečnega momenta  $T$  in moč  $P$ , ki je potrebna za njegovo premagovanje, sta prikazana na **sliki 4**.



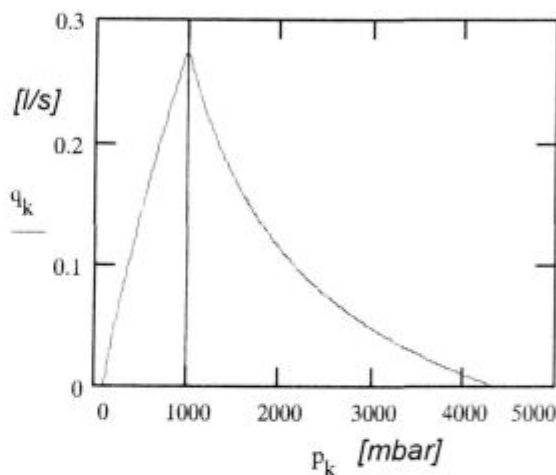
**Slika 2:** Sile na bat v osni smeri med enim ciklom  
**Figure 2:** Axial piston forces during one cycle



**Slika 3:** Momenti na pogonski gredi med enim ciklom  
**Figure 3:** Torque on drive during one cycle



**Slika 4:** Moment motorja  $T$  in moč  $P$  pri različnih tlakih obratovanja  
**Figure 4:** Motor torque  $T$  and power  $P$  at different operating pressures



**Slika 5:** Črpalna (tlačilna) hitrost črpalke (kompresorja)  
**Figure 5:** Airflow characteristics of the pump - compressor

Predvidena črpalna hitrost  $q$  v odvisnosti od tlaka  $p$ , končni tlak črpalke in tlačilna hitrost kompresorja  $q$  v odvisnosti od tlaka  $p$  so prikazani na **sliki 5**. Končni tlak kompresorja je 4,3 bar.

#### 4 Rezultati poskusov in diskusija

Na dotiku med tesnilom bata in valjem med obratovanjem nimamo mazanja, temperatura pa lahko na tem mestu naraste tudi nad  $100^\circ\text{C}$ . Dosedaj opravljene eksperimenti so bili zato usmerjeni v izbiro ustreznih materialov za tesnilo bata in valj. Kot ugodna kombinacija so se pokazali materiali iz različnih umetnih mas (PTFE z različnimi polnili) kot tesnilo na batu in aluminij kot material za valj.

Nadaljnji poskusi bodo pokazali ustreznost predpostavk o puščanju valja, tlačnih izgubah na vstopnem in izstopnem ventilu ter s tem povezanim imenskim pretokom in karakteristikami črpalke.

#### 5 Sklep

Pri razvoju smo najprej preučili delovanje batnih kompresorjev in vakuumskih črpal. Nato smo se odločili za konstrukcijsko rešitev, pri čemer smo se oprli na dosedanje izkušnje, ki

jih je pridobil IEVT pri proizvodnji membranskih črpalke - kompresorjev, in na rešitve, ki jih uporabljajo drugi proizvajalci tovrstnih naprav. Izbiro dimenzij so narekovali tudi polizdelki, ki so na trgu.

Za izbrane dimenzije smo poleg zgoraj predstavljenih izračunov opravili tudi vse potrebne trdnostne in kontrolne izračune nosilnih strojnih delov, preračune dinamike in balansiranja ročičnega mehanizma in preučili vpliv mrtvega volumna.

Končno rešitev pa bodo morali seveda potrditi še preskusi prototipa.

## 6 Literatura

- <sup>1</sup> O'Neill P. A.: *Industrial Compressors; Theory and equipment*, Butterworth-Heinemann Ltd, First published 1993
- <sup>2</sup> Jankov R.: *Klipni kompresori*, Mašinski fakultet, Univerza u Beogradu, Beograd, 27. marta 80
- <sup>3</sup> Wutz, Adam, Walcher: *Theorie und Praxis der Vakuumtechnik*, Fried Vieveg & Sohn, Braunschweig 1982
- <sup>4</sup> Den Hartog J. P.: *Vibracije u mašinstvu*, Građevinska knjiga, Beograd, 1972
- <sup>5</sup> Technical Report 78UK Rev. A: *Bal Seal Users' Guide; An Analysis of the Factors Which Influence Bal Seal Performance*
- <sup>6</sup> Sivec M.: *Razvoj črpalke po IEC 601-1*, diplomska naloga visokošolskega študija