

Dr. sc. Anton Šestan
Dr. sc. Ivan Vlahinić
Zoran Jurković
Visoka pomorska škola u Rijeci
Studentska 2, Rijeka

Prethodno priopćenje
UDK 621.924:629.5.081.2

PERFORMANSE BRODOGRAĐEVNIH RUČNIH BRUSILICA U RAZLIČITIM RADNIM UVJETIMA

U ovom radu prikazani su rezultati mjerenja odnosa razvijenih snaga i brzina vrtnje glavnog vretena određenih ručnih brusilica. Opterećivanje se obavljalo kočnicom u prikladno opremljenom laboratoriju. Kod pneumatskih brusilica mjerenja su provodena i pod uvjetima dotoka komprimiranog zraka, koji su prisutni na brodu u izgradnji, tj. pod uvjetima koje pružaju fleksibilne napojne cijevi unutarnjeg promjera 16 mm i dužine 15 m odnosno 30 m. Rezultati mjerenja pokazali su da neovisno o uvjetima dotoka pogonskog medija, pneumatske brusilice u odnosu prema električnim brusilicama pogonjenima strujom frekvencije 300 Hz, razvijaju razmjerno veću snagu po kilogramu vlastite mase, ali uz veći gradijent pada brzine vrtnje. Nadalje se pokazalo da električne brusilice mogu kratkotrajno razvijati razmjerno veće snage što uz održavanje više brzine vrtnje, upućuje na mogućnost razvoja dinamičnijih procesa brušenja.

Ključne riječi: ručna brusilica, struja povišene frekvencije, komprimirani zrak, tehničke karakteristike

Nomenklatura

P-brusilica	-	ručna brusilica pogonjena komprimiranim zrakom
E-brusilica	-	ručna brusilica pogonjena el. strujom povišene frekvencije
E- sustav	-	obradni sustav s E-brusilicama
P- sustav	-	obradni sustav s P-brusilicama
P_e	W	izlazna snaga ručne brusilice
P_{emax}	W	maksimalna izlazna snaga ručne brusilice
P_n	VA, W	nominalna snaga na ulazu u sustav E-brusilice
P_{en}	W	deklarirana nominalna izlazna snaga iz brusilice
P_{1b}	VA	snaga na ulazu u sustav E-brusilice
n	r/s	kutna brzina glavnog vretena ručne brusilice
p_1	MPa	tlak k. zraka na ulazu P- brusilice

p_{st}	MPa	- statički tlak
q	m_n^3/s	- intenzitet protoka komprimiranog zraka
q_s	m_n^3/s	- intenzitet trošenja komprimiranog zraka P- brusilice
η		- stupanj pretvorbe energije
U	V	- međufazni napon E-brusilice
I_{1b}	A	- jačina el. struje na ulazu u sustav E-brusilice
m_b	kg	- masa ručne brusilice
M	Nm	- zakretni moment na glavnom vretenu ručne brusilice
M_{max}	Nm	- maksimalni zakretni moment na glavnom vretenu ručne brusilice
M_n	Nm	- nominalni zakretni moment na glavnom vretenu ručne brusilice

1. UVOD

Općenito o obradnim sustavima ručnih strojeva u brodogradnji

Kao i u strojogradnji, tako se i u brodogradnji tehnološki procesi sklapanja izradaka temelje pretežno na korištenju ručnih strojeva. U tehnološkom procesu izgradnje brodova, primjena tih strojeva počinje već u ranijim operacijama kada se od dvodimenzionalnih sekcija, međusobnim zavarivanjem, formiraju trodimenzionalne sekcije, tj. zatvoreni prostori u kojima se ugrađuju i prvi elementi opreme broda. Od tih operacija obrade pa do završnih, u kojima se ugrađuju upravljački sustavi i opremaju stambeni prostori, ručni su strojevi uz jedan ili dva stroja veće mase, jedini s kojima se provodi obrada materijala postupcima rezanja.

Proces izgradnje broda obuhvaća i tehnološku operaciju skidanja hrđe čeličnim četkama na limovima trupa broda, koja prethodi operaciji nanošenja antikoroziivnih premaza. Ta se operacija koristi i u procesu održavanja broda u remontnim brodogradilištima. Karakterizira je česta pojava primjene velikog broja priključenih brusilica na razvodnu mrežu, viša intermitenca rada, dugotrajnije opterećenje brusilica i pojava međusobnih smetnji operatera, osobito kada se operacija izvodi u zatvorenom skučenom prostoru.

U osnovi, obradni sustavi ručnih strojeva razlikuju se prema vrsti korištenog pogonskog medija i prema namjeni. Pritom komprimirani zrak, kao pogonski medij, ima najširu primjenu, dok se struja povišene frekvencije, za razliku od automobilske industrije, rijetko koristi u brodogradnji. U procesu obrade i montaže nemetalnih izradaka na brodu, međutim, koriste se isključivo ručni strojevi pogonjeni strujom konvencionalne frekvencije visine 50 Hz.

Provedena istraživanja strukture troškova energije koju troši tipično hrvatsko brodogradilište kapaciteta obrade 60.000 do 80.000 t mase čelika na godinu [1] i načina njegove potrošnje [2], pokazala su da se za generiranje pogonskog medija obradnog sustava ručnih strojeva troši približno 20% ukupne električne energije što je s obzirom na zastupljenost operacija obrade s tim strojevima, značajan trošak proizvodnog sustava brodogradilišta.

Prema podacima iz literature [3] i [4], proizlazi da pneumatski sustavi ručnih strojeva imaju optimalan stupanj pretvorbe energije veličine $\eta_{opt} = 0,155$, te da pri tlaku 0,8 MPa, koji se najčešće koristi u brodogradilištima radi nadoknađivanja

pada tlaka u cjevovodima razvodne mreže, taj stupanj konačno rezultira visinom $\eta_{opt} = 0,147$.

Ako se i kod E-sustava pretpostave takvi idealni uvjeti djelovanja, pod nominalnim opterećenjem i bez gubitka energije u razvodnim mrežama i jalovim hodovima generatora pogonskog medija, to, prema podacima proizvođača pretvarača frekvencije i E- strojeva [5], proizlazi da je kod E-sustava optimalan stupanj pretvorbe energije $\eta_{opt} = 0,7$, odnosno da je približno 4,5 puta veći nego kod P-sustava. Pod realnim uvjetima djelovanja može se pretpostaviti da bi taj odnos trebao biti još veći jer su kod P-sustava prisutni razmjerno puno veći gubici pogonskog medija na propuštanjima razvodne mreže.

Cilj istraživanja

Identifikacija performansi ručnih brusilica brodogradilišta na kočnici, ali pod realnim uvjetima dotoka pogonskog medija tijekom tehnološkog procesa izgradnje broda.

2. PLAN MJERENJA

Instrumentacija

Instrumentacija za mjerenje protoka i tlaka komprimiranog zraka

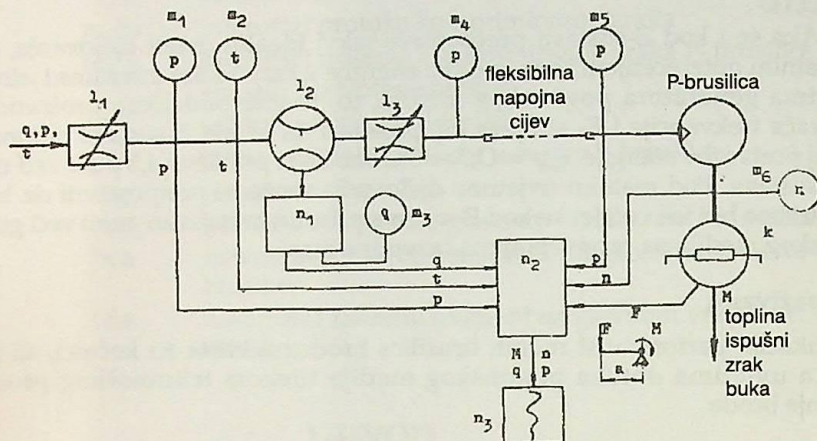
Instrumentacija za mjerenje intenziteta protoka na pojedinim modelima priključnih fleksibilnih cijevi na stacionarnu razvodnu mrežu komprimiranog zraka sastojala se od mjerila protoka proizvodnje Fischer & Porter, Stockholm, model 10A 1197A/P, s maksimalnom mogućnošću mjerenja $0,097 \text{ m}^3/\text{s}$, te manometra klase točnosti 1,6 s certifikatom o provedenom umjerenju.

Kočnice s pripadnom instrumentacijom

Opterećivanjem P-brusilica kočnicom, dobivene su funkcije $q = f(P_e)$ i $n = f(P_e)$ te $P_e = f(p)$, pomoću mjernog lanca prikazanog na slici 1. Mjerenja su obavljena u laboratoriju tvrtke *Bosch*, Leinfelden. Taj je lanac djelovao ovako: brusilica se na kočnicu pričvrstila steznom napravom, konstantni tlaka k zraka na ulazu mjerača protoka održavao se regulatorom l_1 , a za regulaciju tlaka na ulazu fleksibilne priključne cijevi brusilice služio je regulator l_3 .

Tijekom postupka mjerenja, temperatura k zraka na ulazu u mjerni sustav bila je konstantna. Kočnica je imala mogućnost mjerenja najvećega zakretnog momenta veličine 10 Nm, i bila je hladena protočnom vodom. Snaga kočenja regulirala se kontinuirano, promjenom jačine tijeka magnetnih silnica statora, a postignute sile na obodu kućišta kočnice i brzine vrtnje rotora činile su ulazne parametre računala n_2 , uz parametre koje su činile značajke q , p_1 i temperatura k zraka na ulazu (v. sl. 2.). Izlazne parametre iz tog računala činile su značajke M , q , n , p koje su se on-line registrirale na ploteru n_3 .

Opterećivanjem E-brusilica dobivene su pripadne funkcije $Pe = Pe(U, I, \cos\varphi, \eta)$ pomoću mjernog lanca s off-line priključnim ploterom (v. sl. 2.). I pri ovom postupku mjerenja brusilica se pričvršćivala steznom napravom na kočnicu, a vreteno se priključivalo na induktivni torzioni dinamometar a_1 s modifikatorom signala b_1 i digitalnim pokazivačem veličine trenutačno postignutoga zakretnog momenta. Kočenje se obavljalo četveropolnim asinkronim motorom proizvodnje



l_1 - regulator za održavanje $p = \text{const}$.

l_2 - mehanički sklop spiralnog mjeraca protoka s termistorskim senzorom, Fischer & Porter, model D10SG 3231 JCE

l_3 - regulator visine ulaznog tlaka u sistem brusilice

m_1 - analogni manometar

m_2 - digitalni termometar

m_3 - digitalni pokazivač veličine protoka k. zraka

m_4 - analogni manometar

m_5 - analogni manometar

m_6 - digitalni tahometar s fotoelektričnim senzorom, ABM (W. Germany), model DA 3418

n_1 - modifikacijski sklop signala, Fischer & Porter, model D50 SG 3111EB

n_2 - računar

n_3 - pisac, Hewlett-Packard, model 7046 A

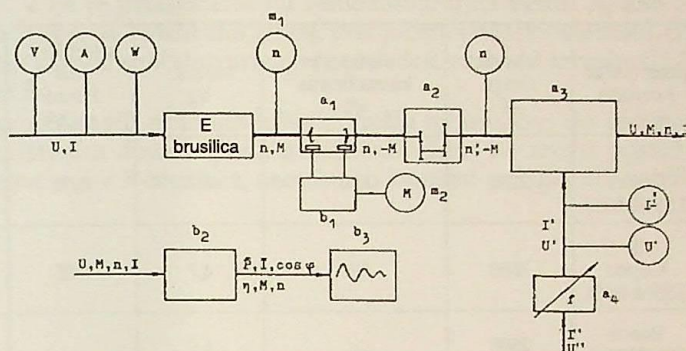
k - kočnica na principu vrtložne struje, Vibrometer, tip 2 WB 10, (Fribourg)

Slika 1. Mjerni lanac za mjerenje funkcija $P_e = f(q, n, p)$ kod P-brusilica

BM-Elektronik Humbert Münzig, Dettingen, izvedenim prema normi DIN42672, s ovim osnovnim karakteristikama:

- trajna snaga 18 kW kod frekv. struje 100 Hz
- područje kutnih brzina 25 – 314 r/s
- zakretni moment konstantan
- proizvođač BM Elektronik Humbert Münzig, Dettingen.

Prilagodavanje kutne brzine vretena tog elektromotora obavljalo se zupčastim reduktorom a_2 , a podešavanje snage kočenja promjenom brzine vrtnje vrtložne struje pomoću statičkog pretvarača frekvencije a_4 .



- a₁ - induktivni torzioni dinamometar, 10 Nm
- a₂ - zupčasti reduktor za prilagođavanje kutne brzine motoru a₃
- a₃ - asinkroni motor, četveropolni, 15 kW kod 50 Hz, BM-Elektronik, Dettingen
- b₁ - modifikator signala
- b₂ - računar, Hewlett-Packard, model 9830 A
- b₃ - pisač, Hewlett-Packard, model 9862 A
- m₁ - digitalni tahometar, Grunding electronic, tip UZ 144
- m₂ - digitalni momentmetar, Dr Steiger, Mohilo & Co, Schorndorf
- m₃ - analogni tahometar, Fribourg, tip AR1-1/B, Schweiz

Slika 2. Mjerni lanac za mjerenje funkcija $P_e=f(U, I, \cos\varphi, \eta)$ kod E-brusilica

Izbor uzoraka brusilica

Korišteni modeli P-brusilica u hrvatskim brodogradilištima, kao i mogućnosti korištenja adekvatne instrumentacije, uvjetovali su izbor uzoraka modela brusilica s karakteristikama prikazanim u tablici 1. Prvi se model koristi u Brodogradilištu 3. maj, a drugi u preostala dva hrvatska velika brodogradilišta. Treći model, sličnih tehničkih karakteristika, proizvod je tvrtke BOSCH, a služio je samo za laboratorijska mjerenja performansi te skupine brusilica.

Modeli A i B za izvođenje planiranih pokusa brušenja izabrani su iz skupine od pedeset brusilica na temelju laboratorijski izmjerenih maksimalnih snaga. Uzorak modela C izabran je slobodnim izborom iz skupine novih brusilica, a izmjerena razvijena snaga pokazala je da je taj uzorak predstavlja najveću populaciju takvog modela brusilica.

Slobodan izbor modela E-brusilica u okviru izvođenja pretpokusa, koje su obavili brusarči tijekom izvođenja redovitih zahvata brušenja na trodimenzionalnim sekcijama broda i u njima, pokazao je da je model 2304 tvrtke BOSCH, $P_n = 1450 \text{ W}$, $n = 670 \text{ r/s}$, $m_b = 5,2 \text{ kg}$ s ergonomskog i učinskog aspekta bio optimalan za primjenu u tehnološkom procesu izgradnje broda.

Tablica 1.: Komercijalno deklarirane karakteristike P-brusilica.

model	proizvođač i oznaka	izlazna snaga W	maksimalna kutna brzina r/s	masa kg	potrošnja kod Pmax m _n 3/s	D priklj. cijevi dužine 5 m mm
A	A. Copco LSS64-S060	2200	670	4,7	0,04	16
B	B. Copco LSS64-S084	2600	879	4,7	0,05	16
C	Bosch 0607355100	2500	891	4,9		19

Tablica 2. Komercijalno deklarirane karakteristike E-brusilica.

model br.	P _n W	nominalna masakg	izmjerena masakg	brzina vrtnje r/s	proizvođač i oznaka
3	1450	4,0	5,2	900	Bosch 2304
5	1700	6,05	6,05	670	Fein Msf842-2c

3. REZULTATI MJERENJA

Karakteristike priključnih fleksibilnih cijevi

Analizirana sekundarna razvodna mreža priključivala se na primarnu razvodnu mrežu preko samozatvarajućeg ventila s unutarnjim promjerom veličine 12 mm, a priključne su fleksibilne cijevi imale $d = 16$ mm i $L = 20$ do 30 m, rjeđe 15 m.

Rezultati mjerenja veličina q u odnosu prema visini tlaka na izlazu iz cijevi dimenzija $d = 16$ mm i $L = 30$ m (v. sl. 3.), cjevovod D, te dimenzija $d = 19$ mm i $L = 30$ m, v. cjevovod E, priključene direktno na primarnu mrežu preko priključka B, podudarali su se s poznatom [4] relacijom:

$$q = \left[\Delta p d^5 (p' - 1) / (1,6 \cdot 10^8 L) \right]^{0,54} \quad (1)$$

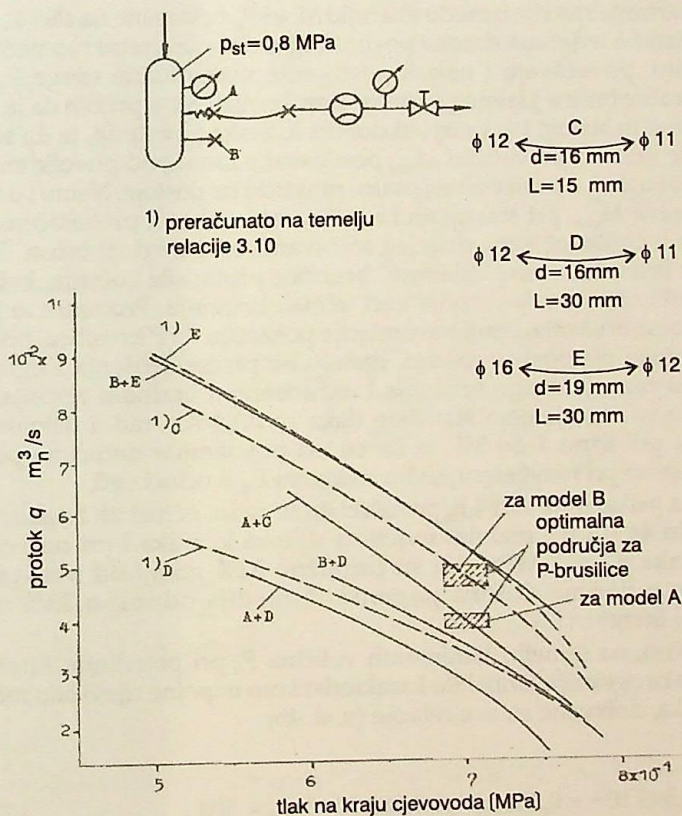
gdje je: p' bar – tlak na ulazu u cjevovod

Δp bar – razlika između ulaznog i izlaznog tlaka iz cjevovoda.

Time se dokazuje da je primijenjena metoda mjerenja karakteristika fleksibilnih cijevi ispravna.

Rezultati mjerenja na kraćoj fleksibilnoj cijevi dimenzije $d=16$ mm i $L=15$ m, cijevovod C, koja je priključena na samozatvarajući ventil A, kao i na cijevi jednakog promjera ali dvostruko dužoj, priključenoj na istom ventilu, pokazali su da pldanj tih ventila značajno prigušuju protok k. zraka (v. krivulje C i A+C te D i A+D na slici 3.).

Na temelju ovih potonjih krivulja došlo se konačno do spoznaje da se s najčešće korištenim dimenzijama priključnih cijevi ne mogu postići uvjeti za razvoj nazivne snage P-brusilica, neovisno o kvaliteti priključnih ventila.



Slika 3. Karakteristike fleksibilnih cijevi s priključcima na razvodnoj mreži

Tehničke karakteristike P-brusilica

Pneumatske brusilice

Mjerenja na modelu C mjernim lancem (prikazan na slici 1.), provedena su pod sljedećim uvjetima dotoka k. zraka i statičkih tlakova u priključnoj cijevi brusilice:

- $p_1 = p_{st} = \text{konst}$, q nije ograničen;
- $p_1 = f(q)$, q nije ograničen;
- $p_1 = f(q)$, q je statički ograničen uobičajenom veličinom otpora u priključnoj cijevi, p_{st} nije konstantan;
- $p_1 = f(q)$, q je statički jako ograničen veličinom otpora u priključnoj cijevi;
- $p_{st} = 0,8\text{MPa}; 0,7\text{MPa}; 0,6\text{MPa}$.

Registrirane relacije između značajki M , n i P_e , prikazane na slici 4., pokazuju da se, neovisno o uvjetima dotoka pogonskog medija, zakretni momenti P-brusilica, općenito, povećavaju i nakon postignute maksimalne snage $P_{e\text{max}}$, ali uz smanjenje kutne brzine glavnog vretena. Karakteristično je pritom da je gradijent pada te brzine to strmiji što su uvjeti dotoka k. zraka povoljniji, te da su nazivne kutne brzine vretena pri veličini M_{max} postizavane samo pod povoljnim uvjetima dotoka k. zraka, koji u proizvodnoj praksi praktički ne postoje. Naime, u toj praksi, takva se pojava M_{max} pri smanjenju brzine rezanja, nakon prekoračenja veličine $P_{e\text{max}}$ očitava u obliku otežana daljnjeg snižavanja brzine vrtnje brusa. Ta potonja pojava daje brusачu osjećaj "žilavosti" brusilice protiv sile kočenja, koji ga često dovodi u zabludu da tako razvija veći učinak brušenja. Promatrano s aspekta razvoja procesa brušenja, izmjerene relacije pokazuju da P-brusilice, pod realnim uvjetima dotoka pogonskog medija, djeluju na proces brušenja s ograničenom mogućnošću razvoja snage brušenja i reduciranom brzinom rezanja. Nadalje pokazuju da se smanjenjem statičkog tlaka za 0,1 MPa, radni učinak brusilice smanjuje za približno 4 do 5%, te da su pri povoljnijim dotocima pogonskog medija, odnosno pri razvijenim većim snagama P_e , ti učinci veći.

Prema prikazu na slici 4 b, proizlazi da su radni učinci tih brusilica veličine $P_e/q_s = 35$ do 44 J/l pri realnim uvjetima dotoka k. zraka i pri nazivnoj visini statičkog tlaka $p_{st} = 7 \text{ MPa}$. Isti su približno 22% manji od postignutih pri optimalnim uvjetima dotoka pogonskog medija odnosno 25% manji od navedenih u literaturi [3].

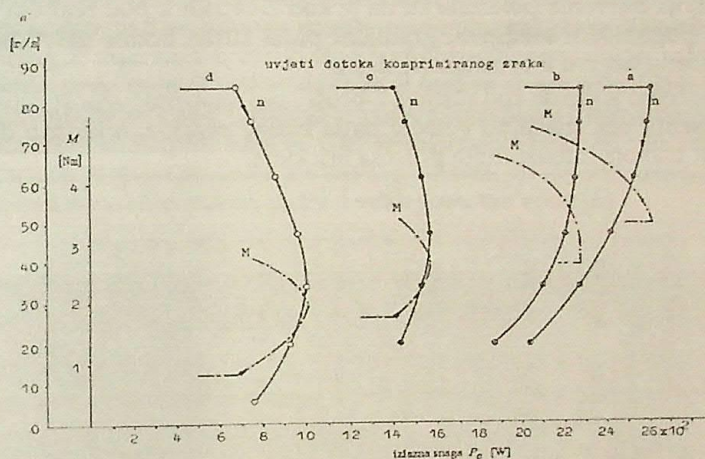
Konačno, na temelju izmjerenih veličina P_e pri pojedinim intenzitetima dotoka k. zraka ograničavanih bilo karakteristikom napojne cijevi bilo redukcijom statičkog tlaka, dobivene su ove relacije (v. sl. 4b):

$$q_s = 0,595 \cdot 10^{-2} + 0,281 \cdot 10^{-4} P_e - 0,119 \cdot 10^{-4} | P_e - 500 | \quad (2)$$

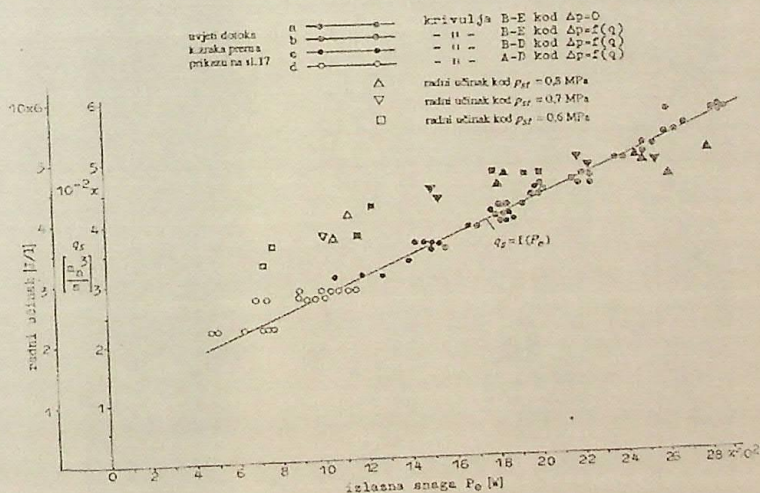
odnosno

$$P_e = -380,137 + 44006,85 q_s + 19006,849 | q_s - 0,02 | \quad (3)$$

Daljnja mjerenja tehničkih karakteristika P-brusilica provedena su na modelima A i B pod uvjetima: $p_{st} = 0,8\text{MPa}$, $p_1 = f(q)$, gdje je veličina q bila ovisna o karakteristici napojne cijevi. Dobiveni rezultati pokazali su da su se veličine q , P_e i P_{emax} u velikoj mjeri podudarale s veličinama izvedenih mjerenja na modelu C i A, što znači da i za te modele brusilica vrijede opisane karakteristike i relacije 2 i 3.



a - relacije između značajki n , M i P_e kod $p_{st} = 0,7\text{MPa}$



b - relacije između značajki q i P_e kod $p_{st} = 0,7\text{MPa}$ i $0,8\text{MPa}$

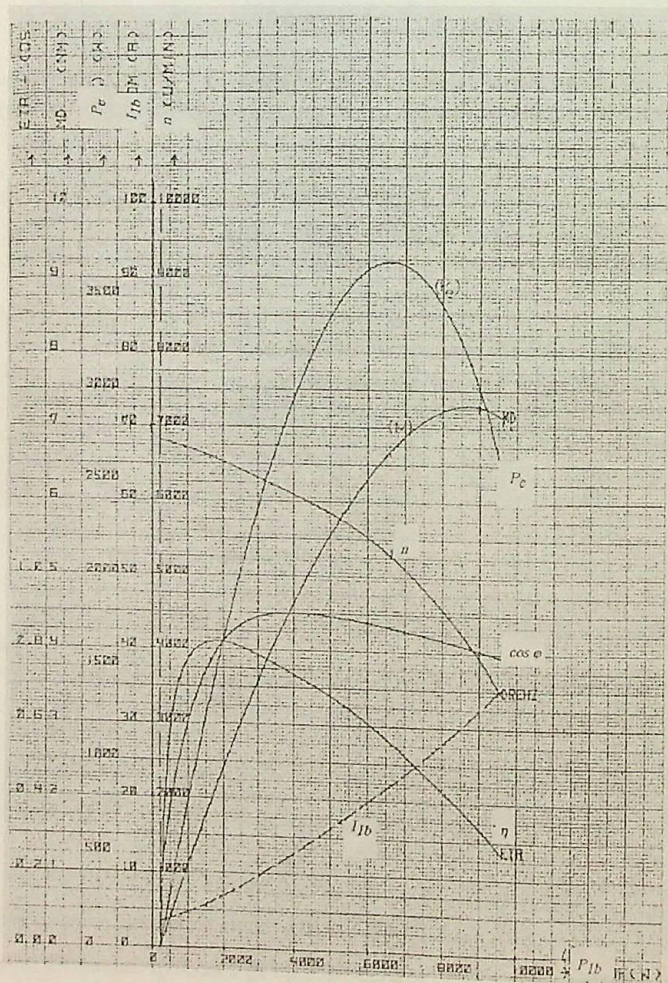
Slika 4. Veličine zakretnog momenta M te značajki n , q i P_e u funkciji intenziteta dotoka k . zraka ψ u P brusilicu

Električne brusilice

Rezultati mjerenja mjernim lancem (prikazan na slici 2.) pokazali su da model 3 može razviti veličinu $P_{emax} = 3,2P_{en}$ pri ulaznoj snazi $P_{lb} = 4,4P_n$, te veličinu $M_{max} = 2,56M_n$ pri veličini $P_{lb} = 6,0P_n$ (v. sl. 5.). Dakle, značajno veću izlaznu snagu i veći zakretni moment od nominalnih veličina.

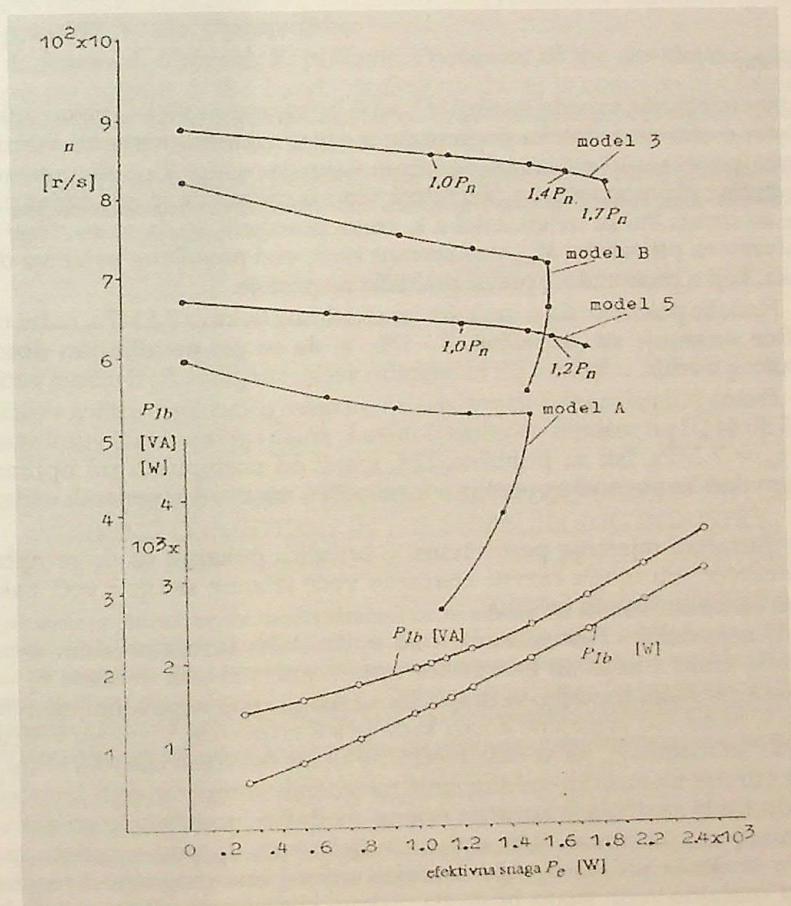
Daljnja mjerenja pokazala su da je kod E-brusilica pod realnim uvjetima napajanja pogonskim medijem, gradijent pada kutne brzine glavnog vretena značajno manji nego u P-brusilica (v. sl. 6.).

To načelno znači da kod sustava E-brusilica postoji mogućnost razvoja većih snaga brušenja bez značajno velikog pada brzine rezanja, odnosno da postoji mogućnost razvoja intenzivnijih procesa brušenja.



Slika 5. Karakteristične funkcije E-brusilice

Karakteristične krivulje značajke n (na slici 6. skupine komparativnih brusilica s višim brzinama vrtnje) pokazuju da se kod modela 3 tek pri opterećenju $P_{Ib} = 1,4 P_n$ postiže veličina maksimalne snage modela B P-brusilica, koja se, inače, kod istih označava i kao nominalna trajna snaga. Kod modela 5 E-brusilica, međutim, ta se snaga postiže već pri opterećenju $P_{Ib} = 1,2 P_n$, ali uz razmjerno nižu vrijednost manipulativnosti zbog veće mase brusilice. Vidljivo je također da oba modela P-brusilica razvijaju približno jednaku snagu, iako model B ima deklariranu veću snagu, te da u odnosu prema razvijenim snagama tijekom obavljenih laboratorijskih mjerenja u tvrtki A. *Copco*, brusilice razvijaju manju snagu. Objašnjenje prve pojave već je navedeni otežan uvjet napajanja P-brusilica pogonskim medijem (v. sl. 3.), a druga se pojava objašnjava činjenicom da su uzorci P-brusilica uzeti iz skupine koja je, iako kratkotrajno, bila već izložena uvjetima eksploatacije u procesu proizvodnje brodogradilišta, pri kojem k. zrak, zbog velike razgranatosti razvodne mreže, sadrži i velik postotak vode [6].



Slika 6. Osnovne karakteristike uzoraka P i E-brusilica kojima su izvedeni pokusi brušenja

Na temelju prikazanih rezultata mjerenja proizlazi da E-brusilica, promatrana kao funkcionalni kompleks, djeluje prema sljedećim zakonitostima:

$$P_{1b} = 1366 + 0,21P_e + 0,33 \cdot 10^{-3}P_e^2 \quad VA \quad (4)$$

$$P_{1b} = 359 + 0,84P_e + 0,17 \cdot 10^{-3}P_e^2 \quad W \quad (5)$$

$$P_e = -1716,3 + 1,6644P_{1b} - 0,1467 \cdot 10^{-3}P_{1b}^2 \quad W \quad (6)$$

gdje je veličina P_{1b} izražena u VA, odnosno,

$$P_e = -294,83 + 1,019P_{1b} - 0,6182 \cdot 10^{-4}P_{1b}^2 \quad W \quad (7)$$

gdje je veličina P_{1b} izražena u W

Komentar

Registirane relacije između značajki M , n i P_e prikazane na slici 4., pokazuju da se, neovisno o uvjetima dotoka pogonskog medija, zakretni momenti P-brusilica, općenito, povećavaju i nakon postignute maksimalne snage P_{emax} , ali uz smanjenje kutne brzine glavnog vretena. Karakteristično je pritom da je gradijent pada te brzine to strmiji što su uvjeti dotoka k. zraka povoljniji, te da su nazivne kutne brzine vretena pri veličini M_{max} postizavane samo pod povoljnim uvjetima dotoka k. zraka, koji u proizvodnoj praksi praktički ne postoje.

Nadalje pokazuju da se smanjenjem statičkog tlaka za 0,1 MPa, radni učinak brusilice smanjuje za, približno, 4 – 5%, te da su pri povoljnijim dotocima pogonskog medija, odnosno pri razvijenim većim snagama P_e , ti učinci veći.

Prema prikazu na slici 4b proizlazi da su radni učinci tih brusilica veličine $P_e/q_s = 35$ do 44 J/l pri realnim uvjetima dotoka k. zraka i pri nazivnoj visini statičkog tlaka $p_{st} = 7$ MPa. Isti su približno 22% manji od postignutih pri optimalnim uvjetima dotoka pogonskog medija odnosno 25% manji od navedenih u literaturi [3].

Rezultati mjerenja performansi E-brusilica pokazali su da se njihovim preopterećenjem mogu razviti značajno veće izlazne snage i veći zakretni momenti od nominalnih veličina.

U usporedbi s P-brusilicama pod optimalnim laboratorijskim uvjetima dotoka k. zraka i kada su E-brusilice opterećene snagom veličine $P_{es} = P_{en}$, P-brusilice razvijaju značajno veću specifičnu snagu i pod nepovoljnijim uvjetima dotoka k. zraka. Do promjene dolazi kada se s E-brusilicom razvijaju veličine P_{es} veće od nominalnih P_{en} jer se tada specifične snage približno izjednačavaju. Ti se podaci odnose na statičko vrednovanje navedenih komparativnih konstrukcija brusilica. Da bi se donijela konačna ocjena, međutim, potrebno je vrednovati te konstrukcije i pod dinamičkim uvjetima djelovanja, tj. pod uvjetima razvoja procesa brušenja pri kojem vrlo značajan utjecaj ima mogućnost trenutačna razvoja značajno većih snaga brušenja tijekom obnavljanja oštrica reljefa brusa. Izvedena mjerenja pokazuju da takvu mogućnost imaju E-brusilice kratkotrajnim preopterećenjem [7; 8; 9].

LITERATURA

- [1] A. Šestan, Prilog identifikaciji troškova proizvodnje komprimiranog zraka. Zbornik radova petog Simpozija "Teorija i praksa brodogradnje", 1982 Split.
- [2] A. Šestan, Veličine potrošnje komprimiranog zraka u ovisnosti o uvjetima gradnje brodova. Brodogradnja 6(1983) Zagreb.
- [3] xxx Air tools and accessories. Katalog firme Atlas Copco, E 13000b (1981), Stockholm.
- [4] xxx Tehničke karakteristike kompresora. Informacije firme A. Copco AML ZR6 / 8-210, Stockholm 1979.
- [5] Ch. Lipson, N. J. Sheth, Statistical Design and Analysis of Engineering Experiments. McGraw-Hill Kogakusha, Ltd. Tokyo 1973.
- [6] A. Šestan, Učinci nekih pneumatskih alata i djelotvornost njihove primjene. Strojstvo 23 (1981) Zagreb.
- [7] A. Šestan, I. Vlahinić, M. Jurković, Dynamics of hand grinding at shipyards. 5th International Scientific conference on Production Engineering CIM'99, p. I - 105, I - 115, Opatija 1999.
- [8] A. Šestan, I. Vlahinić, Z. Jurković, Dynamics of the developed grinding power outputs of the hand grinding machines in common operation. 6th International Scientific conference on Production Engineering CIM2000, p. I - 147, I - 155, Lumbarda, Korčula 2000.
- [9] A. Šestan, T. Mikac, M. Jurković, The influence of Adaptive Change of Cutting Parameters on Activity of Grinding Process. Strojstvo 39(1997), str. 105. - 109., Zagreb.

Summary

PERFORMANCES OF HAND GRINDING MACHINES USED IN DIFFERENT WORKING CONDITIONS IN THE SHIPBUILDING INDUSTRY

The paper aims at presenting the results obtained in measuring the relation between the developed power and the hand grinding machine main spindle rotational velocity. Loading has been effected by brakes in an adequately fitted laboratory. When pneumatic grinding machines are in question, measurements are done even under such conditions that are present during the supply of compressed air when a ship is under construction, that means under the same conditions as that of a flexible feed pipe of a 16mm inner diameter and a length of 15 or 30m. The results obtained have shown that, regardless the supply of a propulsive medium, pneumatic grinding machines in relation to the electric ones driven by a 300 Hz electric current, develop a relatively greater power per kilogram of their own mass, but at a greater rotational velocity drop gradient. Furthermore, the paper aims at pointing out that electric grinding machines can develop a relatively greater power for a brief period, thus raising a possibility of developing a more dynamic grinding process by maintaining higher speed of velocity.

Key words: hand grinding machine, higher frequency electric current, compressed air, technical characteristics.