

Prof. dr. sc. Vlado Goglia, mr. sc. Ružica Beljo
Šumarski fakultet Zagreb

Utjecaj zatezne sile lista stolarske tračne pile na snagu praznoga hoda

The influence of band saw strain force on idling power

Izvorni znanstveni rad

*Prispjelo: 25. 01. 1995. • Prihvaćeno: 30. 03. 1995. • UDK: 630*0.822.34*

SAŽETAK • Zatezna sila lista tračne pile, premda vrlo bitna za cjelokupnu učinkovitost tračne pile, veličina je kojoj se pridaje malo pozornosti pri prilagodbi stroja. Da bi se naglasilo značenje zatezne sile, u radu se iznose podaci istraživanja njezina utjecaja na snagu praznoga hoda stroja. Tijekom ispitivanja kao nezavisne varijable izabrane su dvije veličine: zatezna sila i brzina gibanja lista. Dobiveni su rezultati očekivani i vrlo zanimljivi.

Ključne riječi: tračna pila, zatezna sila, brzina rezanja, snaga praznoga hoda stroja.

SUMMARY • Strain force is a very important parameter of the general efficiency of the band saw. In order to point out the importance of strain force the paper presents research results of its influence on the machine's idling power. As independent variables two parameters have been chosen: strain force and cutting speed. References mention a wide range (from 30 to 120 MPa) of optimum strain force values. The choice of the optimum strain force value will thus provide for the higher efficiency of the band saw. For the purpose of the research described in this paper, strain force was measured by an approximative method of measurement. The band saw blade was loaded by a horizontal force of a controlled value. At the same time the lateral inclination of the band saw blade was measured as well. The power of the machine's own resistances was measured at various strain forces. At each level of the strain force cutting speed has been varied by changing the rotation frequency of the electromotor. The change was performed with a frequency transformer. Measurement results are analysed and graphically represented. The influence of electromotor rotation frequency on the machine's idling power is linear and expected, but the influence of strain force cannot be called linear, which is an unexpected result.

Key words: band saw, strain force, cutting speed, idling power.

1. UVOD

1. Introduction

Tijekom rada tračne pile susrećemo se s mnoštvom problema. Najbolje to osjećaju oni čija je zadaća osiguranje učinkovitog rada takvog stroja. Problemi se mogu grupirati oko tri glavna nositelja: stroja, alata i obratka. Nastojeći dovesti stroj u optimalne radne uvjete, redovno se susrećemo s tri ograničenja: utroškom energije, kvalitetom piljenja i učinkom stroja.

Velik broj odrednica koje utječu na ukupnu učinkovitost stroja te njihovo pojedinačno i interakcijsko djelovanje zahtijevaju dugotrajan i strpljiv istraživački rad radi nalaženja optimalnih rješenja. Zatezna sila lista pile utječe na sva tri spomenuta ograničenja, od utroška energije, preko kvalitete piljenja do učinka stroja. Premda je zatezna sila vrlo bitan utjecajni činitelj na ukupnu učinkovitost stroja, ona je tijekom rada pile potpuno izvan kontrole. Rukovatelji tračnim pilama redovito se oslanjaju na nedostatne upute proizvođača strojeva. Tijekom rada strojeva mijenjaju se njihove osnovne funkcije. Dugotrajnom se uporabom mijenjaju i svojstva materijala lista pile u odnosu prema onima za koja su upute pisane. Sve to zahtijeva urednije upute za prilagođavanje stroja od onih s kojima trenutno raspolažemo.

Mjerenje približne vrijednosti zatezne sile vrlo je jednostavan postupak, što se može vidjeti u radovima Gogle (1994) te Golje i Kranjčeca (1988a, 1988b), pa ne postoji nikakav opravdani razlog da se ta sila povremeno ne provjeri.

2. PROBLEMATIKA

2. Problem definition

Preporučljive vrijednosti zateznih sila lista tračnih pila se u literaturi i u uputama proizvođača strojeva navode u širokom rasponu. Mikolašik (1981) preporučuje zatezne sile koje izazivaju naprezanje u listu od 70 do 100 MPa, Prokeš (1982) preporučuje 80 MPa, Willistone (1978) 70 MPa. Grube (1971) daje finije preporuke prema veličini strojeva, i to za stolarske pile 30 do 40 MPa, za rastružne pile 50 do 60 MPa te za trupčare 60 do 100 MPa. Fine preporuke daje i Goglia (1994), koji za stolarske pile navodi vrijednosti 30-40 MPa, za rastružne pile 50-70 MPa, a za trupčare 70-120 MPa. Proizvođači strojeva navode širok raspon vrijednosti. Tvornica strojeva Bratstvo, primjerice, u uputama za uporabu rastružne tračne pile RP-1500 navodi preporučljivo naprezanje lista zbog zatezanja od približno 100 MPa.

Veličina zatezne sile, kako je već spomenuto u uvodu, višestruko utječe na učinkovitost stroja. Povećanjem te sile razmjerno se povećavaju momenti trenja u ležištima, pa tako i snaga vlastitih otpora. Vrijednost spomenutih veličina ovisi i o kutnoj brzini kotača, odnosno o brzini rezanja. Zatezna je sila uvjetovana zahtjevima za nesmetanim prijenosom gibanja i snage glavnog kretanja. Lako se može dokazati da najmanja vrijednost zatezne sile za normalne radne uvjete u kojima ne nastaje klizanje lista pile u odnosu prema pogonskom kotaču mora udovoljiti uvjetima:

$$F_1 > \frac{K_r \cdot \frac{v_p}{D \cdot \pi \cdot n} \cdot s_p \cdot h}{e^{\mu \pi} - 1} \quad (1)$$

pri čemu je:

K_r - jedinični otpor rezanja, N/mm²

v_p - posmična brzina, m/min

s_p - širina propiljka, mm

h - visina rezanja, mm

D - promjer kotača, m

n - frekvencija vrtnje pogonskog kotača, s⁻¹

μ - faktor trenja između lista pile i pogonskog kotača.

Najveća vrijednost zatezne sile uvjetovana je zahtjevima za lateralnom stabilnošću lista i sigurno je problem koji treba zasebno proučiti. Neka istraživanja Golje i Kranjčeca (1988a), naime, upozoravaju i na to da se povećanjem vrijednosti zatezne sile iznad optimalne vrijednosti sa stajališta bočne stabilnosti može postići djelovanje suprotno očekivanome.

Da bi se ustanovile posljedice tako široko preporučljivih i primjenjivanih zateznih sila odnosno naprezanja u listu, provedena su opisana istraživanja. Za potrebe ovoga rada mjerenja su ograničena na praćenje snage vlastitih otpora stolarske tračne pile u ovisnosti o sili zatezanja lista te o veličini kutne brzine kotača pile.

3. PLAN I UVJETI POKUSA

3. Test plan and measuring procedure

Sva su mjerenja provedena na maloj stolarskoj tračnoj pili sljedećih tehničkih karakteristika:

- promjer kotača - 400 mm
- razmak osi kotača - 790 mm
- nazivna snaga pogonskog motora - 1,2 kW
- širina lista - 12 mm
- debljina lista - 0,7 mm
- visina zubi - 3 mm
- pomak obratka - ručni
- zatezanje lista, navojnim vretenom i oprugom - ručno.

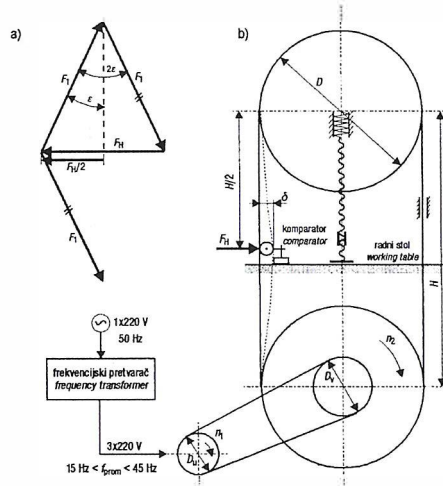
Zatezna sila mjerena je jednakom metodom kakva je opisana u radovima Golje i Kranjčeca (1988a, 1988b) prema približnoj relaciji:

$$F_1 \cong \frac{F_H \cdot H}{4 \cdot \delta} \quad (2)$$

Tu je relaciju jednostavno izvesti na osnovi skica prikazanih na slici 1.a) i b). Iz prikaza na slici 1, kao i prema relaciji (2), proizlazi da je za određivanje zatezne sile potrebno odrediti vrijednosti dviju veličina: a) vrijednost horizontalne sile F_H , b) veličinu bočnog otklona lista δ izazvanoga silom F_H .

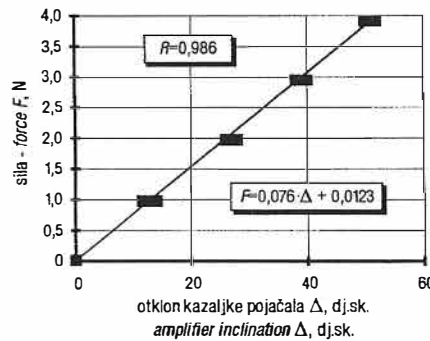
Momenti trenja u ležajima kotača, kao i drugi otpori, zanemaruju se. Horizontalna sila F_H mjerena je tenzometrijskim dinamometrom vlastite proizvodnje i pojačalom proizvođača Hottinger Baldwin Messtechnik, tipa KWS/II-5. Za dobivanje karakteristike dinamometra provedeno je prethodno umjeravanje te matematičko izjednačavanje izmjerenih parova vrijednosti. Ustanovljena je linearna karakteristika dinamometra uz vrijednost koeficijenta korelacije $R=0,986$. Izmjerene parove vrijednosti i pravac dobiven izjednačenjem prikazuje slika 2.

Bočni otklon lista pile pri djelovanju sile F_H mjen je komparatorom s podjelom skale 0,01 mm, proizvođača Mitutoyo. Električna snaga vlastitih otpora mjerena je jednofaznim vatmetrom proizvođača Iskra, klase točnosti 0,5. Radi kontrole, usporedno je mjerena i ukupna električna snaga kojom se motor napaja pomoću voltmetra i ampermetra proizvođača Iskra, oba točnosti u klasi 1,5. Snaga vlastitih otpora za određenu zateznu silu mjerena je pri različitim frekvencijama vrtnje motora odnosno pri različitim brzinama gibanja lista. Frekvencija vrtnje motora određivala se frekvencijskim regulatorom maksimalne izlazne snage 2,2 kW



Slika 1.

Mjerenje približne vrijednosti zatezne sile lista tračne pile • Approximative strain force measurement



Slika 2.

Karakteristika dinamometra dobivena izjednačavanjem umjeranih vrijednosti • Force transducer characteristics obtained by fitting

proizvođača Regatron, tipa FVR 022 G5S-7RS. Stvarna frekvencija vrtnje elektromotora kontrolirana je centrifugalnim tahometrom proizvođača Smiths.

4. REZULTATI MJERENJA 4. Measurement results

Za potrebe mjerenja na stroju najprije je pomoću navojnog vretena odabrana određena zatezna sila lista. Zatezna je sila određivana izračunavanjem srednje vrijednosti sile F_1 za određenu zategnutost lista. Za tu je namjenu list pile za zadanu zategnutost bočno opterećivan silom F_H različitog intenziteta. Za određenu vrijednost F_H odčitavan je bočni otklon, a na osnovi relacije

Mj. broj	Otklon kazaljke Δ , mm Amplifier inclination Δ , mm	F_H , N	Otklon lista δ , mm Lateral blade movement	F_1 , N	σ_1 , MPa
Zatezna sila - Strain force F_{11}					
1	26	3,99	2,5	315,19	35,74
2	30	4,60	3	302,94	34,35
3	34	5,21	3,5	294,19	33,36
4	38	5,83	4	287,63	32,61
5	47	7,20	5	284,49	32,26
6	56	8,58	6	282,40	32,02
7	65	9,96	7	280,90	31,85

Tablica 1.

Mjerenje zatezne sile • Strain force measurement

Mj. broj	Otklon kazaljke Δ , mm Amplifier inclination Δ , mm	F_H , N	Otklon lista δ , mm Lateral blade movement	F_1 , N	σ_1 , MPa
Zatezna sila - Strain force F_{12}					
1	26	8,00	4	395,10	44,80
2	22	6,77	3,5	381,98	43,31
3	31,5	9,70	5	383,03	43,43
4	37	11,39	6	374,98	42,51
Srednja vrijednost - Mean value				383,77	43,51
Zatezna sila - Strain force F_{13}					
1	26	8,00	3	526,80	59,73
2	29,5	9,08	3,5	512,40	58,10
3	39,5	10,93	4,5	479,68	54,39
4	41	12,62	5,5	453,33	51,40
Srednja vrijednost - Mean value				493,05	55,90
Zatezna sila - Strain force F_{14}					
1	52	7,78	2	768,11	87,09
2	64	9,59	2,5	757,33	85,87
3	72	10,79	3	710,47	80,55
4	80	12,00	3,5	677,00	76,76
Srednja vrijednost - Mean value				728,23	82,57
Zatezna sila - Strain force F_{15}					
1	64	9,895	2	972,36	110,24
2	78	12,01	2,5	948,54	107,54
3	90	13,86	3	912,35	103,44
4	56	8,61	1,5	1133,95	128,57
Srednja vrijednost - Mean value				991,80	112,45

Tablica 2.

Mjerenje snage vlastitih otpora pri različitim zateznim silama i različitim frekvencijama vrtnje elektromotora • Idling power measurements at various strain forces and various rotation frequencies

Mj. broj	f Hz	n_d min^{-1}	n_k min^{-1}	P_o	
				dj. ska	W
Zatezna sila - Strain force $F_{11}=292,54$ N $\sigma_{11}=33,2$ MPa					
1	25	662	375	2,5	56,25
2	35	975	520	3,8	85,5
3	45	1191	675	5,5	123,75
Zatezna sila - Strain force $F_{12}=383,77$ N $\sigma_{12}=43,5$ MPa					
1	25	662	375	3,5	78,75
2	32	838	475	4,5	101,25
3	40	1068	605	5,5	123,75
4	45	1191	675	6,5	146,25
Zatezna sila - Strain force $F_{13}=493,05$ N $\sigma_{13}=55,9$ MPa					
1	25	653	370	3,8	85,5
2	32	829	470	5	112,5
3	40	1059	600	6,3	141,75
4	45	1191	675	7	157,5
Zatezna sila - Strain force $F_{14}=728,23$ N $\sigma_{14}=82,6$ MPa					
1	25	684	365	4,8	108
2	30	844	450	5,4	121,5
3	35	975	520	6	135
4	40	1125	600	6,8	153
6	45	1256	670	7,5	168,75
Zatezna sila - Strain force $F_{15}=991,79$ N $\sigma_{15}=112,5$ MPa					
1	25	684	365	4	90
2	30	825	440	5	112,5
3	35	975	520	6	135
4	40	1106	590	7	157,5
5	45	1256	670	8	180

(2) izračunana je sila F_1 . Za zadanu zategnutost određena srednja vrijednost te izračunano naprezanje σ_1 . Podaci mjerenja dani su u tablici 1.

Prema mjernim podacima iz tablice 1. može se ustanoviti da su vrijednosti zateznih sila birane tako da pokrivaju prostor spomenutih preporučenih vrijednosti. Za zadanu zategnutost varirana je frekvencija vrtnje motora, odnosno brzina gibanja lista pile, pri čemu je odčitavana električna snaga vlastitih otpora. Podaci mjerenja uvršteni su u tablicu 2.

Frekvencija vrtnje varirana je u rasponu od 25 do 45 Hz.

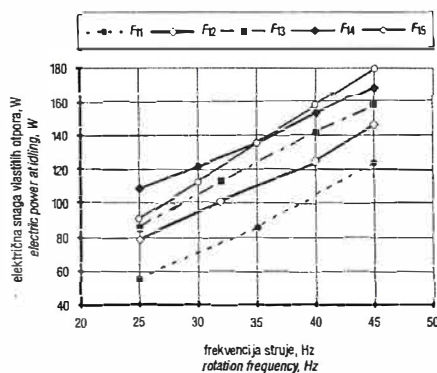
5. ANALIZA REZULTATA MJERENJA

5. Measurement results analysis

Zbog malog broja mjerenih podataka nisu izračunavane matematičko-statističke ovisnosti mjernih veličina. To nije smatrano nužnim jer se rezultati dobiveni takvom obradom podataka mjerenja ne mogu poopćiti zbog više razloga. Smatramo da je za postavljene ciljeve dovoljno utvrditi trendove. Stoga su rezultati mjerenja obrađivani samo grafički. Ovisnost električne snage vlastitih otpora o frekvenciji vrtnje pri različitim zateznim silama lista prikazana je na slici 3. Na osnovi rezultata mjerenja prikazanih na slici 3. može se ustanoviti da električna snaga vlastitih otpora za zadanu zateznu silu raste približno linearno s porastom frekvencije vrtnje elektromotora, što je zapravo ovisnost koja se mogla i pretpostaviti. Pri gotovo svim frekvencijama vrtnje elektromotora najviša i najniža snaga vlastitih otpora odnose se približno 1:2. Uzme li se u obzir da više od polovice raspoloživog vremena tračna pila ima prazni hod, jasno se može odrediti utjecaj zatezne sile na djelotvornost takvog stroja, što se željelo i dokazati.

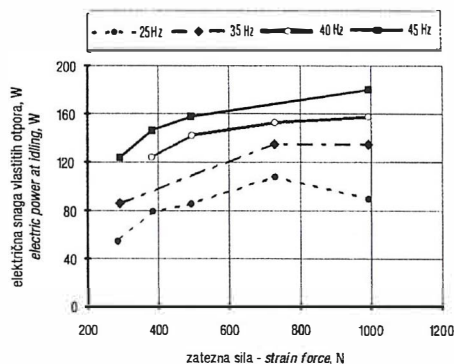
Ovisnost električne snage vlastitih otpora o zateznoj sili lista pile pri različitim frekvencijama vrtnje elektromotora prikazana je na slici 4.

Prema grafičkom prikazu na slici 4. može se prilično pouzdano ustvrditi da se električna snaga vlastitih otpora ne povećava linearno s porastom zatezne sile. Snaga vlastitih otpora ima mnogo veći jedinični prirast u području manjih vrijednosti zatezne sile negoli u području većih vrijednosti. To se može zaključiti za sve frekvencije vrtnje elektromotora. Budući da su mjerenja obavljena na stolarskoj tračnoj pili, na kojoj su preporučljive vrijednosti zatezne sile upravo u području nižih vrijednosti, postaje



Slika 3.

Ovisnost električne snage vlastitih otpora o frekvenciji vrtnje elektromotora pri različitim zateznim silama • Relation between the electric power at idling and the rotation frequency at various strain forces

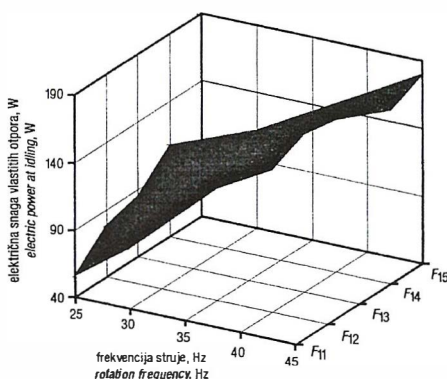


Slika 4.

Ovisnost električne snage vlastitih otpora o zateznoj sili lista pile pri različitim frekvencijama vrtnje elektromotora • Relation between the electric power at idling and the strain force at various rotation frequencies

jasno koliko je važno ispravno odrediti potrebnu zateznu silu. Razumljivo, bilo bi vrlo zanimljivo provesti slična mjerenja i na većim tračnim pilama te i za njih odrediti međusobne odnose mjerenih veličina.

Budući da smo mjerenjima željeli utvrditi utjecaj dviju neovisnih promjenljivih veličina (zatezne sile i frekvencije vrtnje) na potrebnu električnu snagu za vlastite otpore, bilo bi zanimljivo utvrditi njihovo zajedničko djelovanje na ovisnu promjenljivu veličinu. Prikaz interakcijskog djelovanja frekvencije vrtnje elektromotora i zatezne sile na potrebnu električnu snagu vlastitih otpora u grafičkom je obliku dan na slici 5.



Slika 5.

Grafički prikaz interakcijskog djelovanja zatezne sile lista pile i frekvencije vrtnje elektromotora na električnu snagu vlastitih otpora • Graphic representation of the interactional effect of strain force and rotation frequency on the electrical power at idling.

6. ZAKLJUČAK

6. Conclusions

U radu su izneseni rezultati mjerenja utjecaja zatezne sile lista pile i frekvencije vrtnje pogonskoga elektromotora na električnu snagu vlastitih otpora. Utjecaj frekven-

