

Mjerenje sile zatezanja lista tračne pile bočnom silom

STRAIN MEASUREMENT ON BAND SAWS

Mario Štambuk, dipl. ing.
Zagreb

UDK 630*822.34

Prispjelo: 4. siječnja 1985.
Prihvaćeno: 20. veljače 1985.

Prethodno priopćenje

S a ž e t a k

Veličinu sile zatezanja lista tračne pile redovito nadgleda rukovalac tijekom rada stroja, ali posrednim načinom, npr. prema broju utega postavljenih da zatežu pilnu traku. Međutim, u nekim slučajevima javlja se potreba za direktnom, od stroja neovisnom, kontrolom sile zatezanja lista pile. Ova dodatna kontrola treba da je takva da je može obaviti pogonsko osoblje rutinski, brzo i s dostupnim instrumentima. U članku se izlaže mjerenje sile zatezanja pilne trake bočnom silom i provjerava pouzdanost rezultata postupka.

Ključne riječi: tračna pila — list tračne pile — zatezanje lista pile

S u m m a r y

The amount of strain applied to the saw blades of a band saw is regularly controlled by the sawier during operation, but in an indirect manner e. i. by inspecting the number of weights pulling upon the saw blade. However, in some situations, direct control independent of the band saw itself is required to determine the strain on the band saw blade. This additional control should be quick, routine and practicable by plant personnel using available instruments. This article presents such a method of control with an analysis of reliability of its results.

Key words: Band-saws — Band-saw blades — strain measurement

1. UVOD

Za pravilan rad tračnih pila potrebno je da list pile u propiljku bude zategnut propisanom silom F . Ako je zatezna sila manja od propisane, to se negativno odražava na točnost piljenja. S druge strane, previsoka sila zatezanja uzrokuje i dovodi do ubrzane pojave zamora materijala pilne trake. Važnu funkciju podešavanja i održavanja sile zatezanja u propisanim granicama ostvaruju zatezni mehanizmi koji razmiču osovine kotača pile potisnom silom $F_0 = 2 F$. Ovisno o vrsti zateznog mehanizma, potisna sila F_0 indicirana je npr. brojem zateznih utega, ili progibom opruge, ili tlakom fluida u instalaciji zateznog uređaja.

Tijekom eksploatacije nastupaju, međutim, slučajevi kad je potrebno izvršiti mjerenje sile zatezanja direktno na pilnoj traci, neovisno o indikatorima zateznog mehanizma. Radi ilustracije takvih slučajeva, navest će se nekoliko primjera iz prakse.

Kod nekih tračnih pila, koje imaju zatezne mehanizme na principu opruga, dolazilo je do prijevremenog oštećenja valjnih ležaja na osovinama kotača pile i do učestale pojave pukotina u pilnoj traci. Uzrok ovih kvarova bile su prekomjerne sile zatezanja pilne trake. Naime, na tim strojevima

indikator zateznih sila tijekom vremena su se oštetili, pa su rukovaoci strojem zatezali list pile prema »osjećaju«. U tim slučajevima pilne trake bile su najčešće prenapregnute, a opruge sabijene ponekad i do »bloka«, jer su rukovaoci htjeli izbjeći krivudanje reza, do kojeg je dolazilo uslijed zatupljenja ili loše pripreme lista pile.

Slični kvarovi strojnih dijelova i listova pile mogući su i kod oštećenja manometra pneumatskih ili hidrauličnih instalacija zateznih uređaja.

U jednoj pilani radnici su, radi postizanja ravnijeg reza, na tračnoj pili trupčari, prekomjerno zatezali pilnu traku time što se poluga utega naslanjala na graničnik, tako da sila u pilnoj traci nije više bila određena težinom utega nego elastičnom deformacijom lista pile. Kod tog stroja dolazilo je do ponovljenih kvarova valjnih ležajeva na osovinama kotača pile i do deformacije nekih poluga kinematizma utega. Mjerenjem sile zatezanja u pilnoj traci, metodom koja će biti izložena u ovom članku, ustanovljeno je da je ova sila u konkretnom slučaju iznosila 115 kN. S obzirom da je za dane uvjete bila propisana sila od 55 kN, obavljeno mjerenje dokazalo je prekoračenje, s naslova zatezne sile od preko 100%.

Bilo je slučajeva da je tehnička dokumentacija stroja zagubljena ili uništena, te kod kvara, od-

nosno remonta tračnih pila, pogoni nisu raspolagali podacima za baždarenje indikatora sile zatezanja. Na tim strojevima baždarenje je ponekad bilo i izostavljeno, te se sila zatezanja podešavala po »osjećaju«.

Radi povremene provjere sile zatezanja, radi dijagnosticiranja poremećaja u zateznom uređaju, radi baždarenja indikatora zatezne sile u navedenim i sličnim slučajevima, potrebno je da stručno osoblje u pilanskom pogonu raspolaze metodom za mjerenje zatezne sile koju metodu može primijeniti uvijek kad se za to pojavi, ili pretpostavi, potreba. Takav postupak treba ispunjavati sljedeće uvjete:

1. da registrira izravno silu zatezanja kakva djeluje na list pile, bez posredstva drugih dijelova stroja;
2. da se mjerenje može obaviti standardnim i lako dostupnim priborom;
3. da se mjerenje može obaviti u vremenu kraćem od trajanja odmora u smjeni;
4. da ovu provjeru mogu rutinski obaviti rukovalac stroja, mehaničar održavanja stroja ili pogonski inženjer;
5. da pogreška mjerenja ne bude veća od 5% maksimalne propisane zatezne sile.

U daljem tekstu bit će izložen mjerni postupak u smislu navedenih uvjeta.

2. PRIKAZ POSEBNOG POSTUPKA MJERENJA ZATEZANJA PILNE TRAKE IZMEĐU KOTAČA TRAČNA PILE

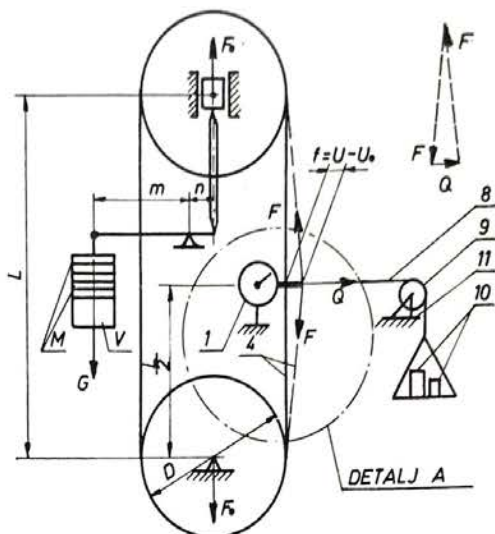
Operacije ovog postupka opisane su uz pomoć sl. 1. i 2. kako slijedi:

1. Odrediti raspon L neposrednim mjerenjem razmaka između osi kotača, kad je list pile montiran i zategnut na stroju. Ako je poznata dužina tračne pile L_0 , onda se raspon L može izračunati iz obrasca $L = (L_0 - D\pi)/2$.

2. Odmaknuti gornju i donju vodilicu lista pile, tako da dijelovi vodilice ne dodiruju pilnu traku tijekom mjerenja — niti u položaju kad je bočna sila $Q = 0$, niti u položaju kad je pilna traka opterećena najvećom bočnom silom Q .

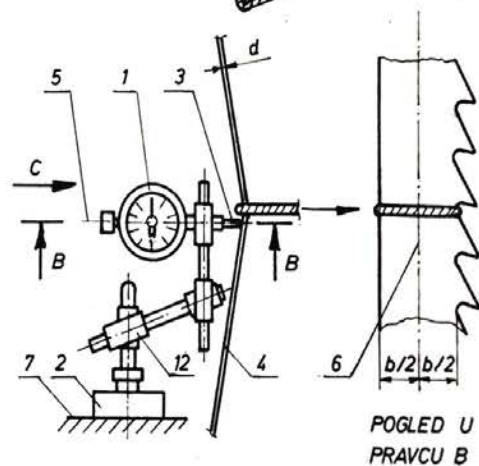
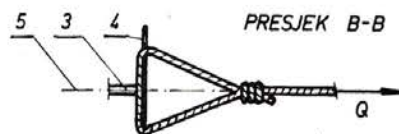
3. Primijeniti standardni mjerni sat (1), s područjem mjerenja 10 mm, učvršćen posredstvom nosača (12) za mehaničku ili magnetsku hvataljku (2). Nasloniti pipkalo (3) mjernog sata na list pile (4), tako da uzdužna os (5) pipkala prolazi kroz središnjicu (6) pilne trake, približno vertikalno na širu plohu lista pile u sredini raspona (L). U tom položaju treba hvataljku (2) fiksirati za gornju vodilicu pile ili za neki drugi dio (7) stroja.

4. Podesiti nosač (12) mjernog sata, tako da kod bočno neopterećenog lista pile, tj. kod $Q = 0$, mala kazaljka mjernog sata pokazuje očitavanje između 1 i 2 mm.



Sl. 1 — Dispozicija mjernih ugiba i pri djelovanju bočne sile Q .

Fig. 1 — Method of Inflection f Measurements under the Influence of Lateral Force Q .



Sl. 2 — Detalj A iz slike 1. prikazan uvećano.

Fig. 2 — Detail A of Figure 1

5. Pilnu traku obuhvatiti uzicom (8) u neposrednoj blizini pipkala mjernog sata. Uzicu (8) prebaciti preko kotačića (9), i na drugom kraju uzice objesiti privremeno neki bočni uteg (10). Kotačić treba da je pričvršćen za stalak ili neki drugi stabilni dio (11), tako da sila Q bočnog utega preko uzice djeluje približno okomito na širu plohu pilne trake kroz središnjicu (6). Umjesto bočnim utezima, potrebna bočna sila (Q) može se mjeriti i dinamometrom.

6. Samo mjerenje obaviti slijedećim redom:

— kod bočno neopterećene pilne trake, tj. kad je $Q = 0$, registrirati očitavanje U_0 mjernog sata,

— opteretiti uzicu tolikom težinom Q bočnog utega (ili tolikom silom preko dinamometra) da očitavanje U mjernog sata bude za oko 1 do 3 mm manje od maksimalnog hoda pipkala (3).

— registrirati veličinu primijenjene bočne sile Q i odgovarajuće očitavanje U mjernog sata.

7. Pomoću snimljenih podataka za L , Q , U_0 , U , izračunati silu zatezanja po formuli (4) $F = LQ/4f$, pri čemu je $f = U - U_0$.

Iz navedenog pojednostavljenog opisa vidljivo je da izloženi postupak mjerenja ispunjava uvjete 1, 2, 3, 4 iz poglavlja 1 ovoga članka, tj. da se ovo mjerenje može rutinski i brzo obaviti od strane samog pogonskog osoblja. Pogodnost izloženog mjerenja provjerili su u pogonskoj praksi stručnjaci Tvornice strojeva »BRATSTVO«, Zagreb.

Kod eventualne primjene rezultata mjerenja zatezne sile za izračunavanje sile lociranih u pojedinih člancima mehanizma treba imati u vidu i dodatne sile koje se pojavljuju u samom mehanizmu. Tako se npr. sila F_0 , koja djeluje na osovinu gornjeg kotača, razlikuje od dvostruke zatezne sile $2F$, i to uslijed trenja u vodilicama nosača osovine i uslijed težine sklopa gornjeg kotača (sl. 1).

3. IZVOĐENJE OBRASCA ZA IZRAČUNAVANJE SILE ZATEZANJA U PILNOJ TRACI

Primjenom rješenja za elastične linije gipkih aksijalno rastegnutih štapova [1], na desnu granu tračne pile između kotača (sl. 1 i 2) izračunava se progib u sredini raspona

$$f = \frac{QL}{4F} \left(1 - \frac{2}{tL} \operatorname{th} \frac{tL}{2} \right) \quad (1)$$

gdje je

$$t = \sqrt{\frac{F}{EJ}} = \frac{L}{d} \sqrt{\frac{12\sigma_0}{E}} \text{ — parametar hiperbolične funkcije}$$

$E = 210\,000 \text{ N/mm}^2$ — modul elastičnosti za materijal lista pile

$J = \frac{bd^3}{12}$ — najmanji moment inercije poprečnog presjeka lista pile

$\sigma_0 = \frac{F}{b \cdot d}$ — srednje naprezanje na istezanje uslijed sile F u najmanjem poprečnom presjeku lista pile

f, Q, L, F, b, d — oznake za veličine prikazane u sl. 1 i 2.

Iz formule (1) slijedi:

$$F = \frac{QL}{4f} (1 - \epsilon) \quad (2)$$

gdje je

$$\epsilon = \frac{2}{tL} \operatorname{th} \frac{tL}{2} \quad (3)$$

Brojčana veličina ϵ je mala u odnosu na jedinicu, te vrijedi:

$$F \approx \frac{QL}{4f} \quad (4)$$

Pojednostavljeni izraz (4) može se s dovoljnom točnošću primjenjivati za izračunavanje sile zatezanja lista pile, prema postupku izloženom u poglavlju 2. Pri tome nastaje pogreška oko 1 do 2%.

4. RAZMATRANJE TOČNOSTI MJERENJA SILE ZATEZANJA LISTA PILE

Prvenstvena namjena ovog posebnog postupka mjerenja je da omogući rutinsku i brzu kontrolu veličine sile zatezanja u listu pile. Za ovu bi se svrhu mogla dopustiti relativna greška i do oko 10% u odnosu na maksimalnu zateznu silu, jer se ovdje radi prvenstveno o otkrivanju ekscenih vrijednosti. Kad se, međutim, izloženi postupak mjerenja primjenjuje za baždarenje indikatora, dopuštena greška trebala bi biti manja, tj. da se kreće do oko 5%.

Ako se relativne pogreške mjerenja veličina L, Q, F obilježe sa $\delta L, \delta Q, \delta F$, onda se prema izrazu (4) nalazi relativna greška δF sile zatezanja po obrascu

$$\delta F = \delta_L + \delta_Q - \delta_f \quad (5)$$

Na osnovi ranije izvršenih mjerenja, za veličine L, Q, f , ovdje se usvajaju najveće apsolutne greške mjerenja kako slijedi:

$\Delta L = 10 \text{ mm}$ kad se osni razmak između kotača pile mjeri čeličnim trakastim mjerilom,

$\Delta Q = 1 \text{ N}$ kad se težina Q zateznih utega mjeri malom decimalnom skladišnom vagom,

$\Delta f = 0,1 \text{ mm}$ kad se progib pile mjeri mjernim satom s podjeljcima skale 1:100 mm

Polazeći od navedenih apsolutnih grešaka mjerenja, za veličine L, Q, f izračunane su relativne greške mjerenja za silu zatezanja i svrstane su u tablicu II. Ovaj nalaz obuhvaća široki raspon tip-

Tablica I

RELATIVNE GREŠKE ZAOKRUŽENJA ϵ , IZRACUNANE ZA 6 TIPSkih VELIČINA TRACNIH PILA TRUPČARA

Promjer kotača pile, mm (oznaka tipske veličine)	1100	1300	1600	1800	2100	2400
Relativna pogreška zbog izostavljanja ϵ b)	0,012	0,012	0,014	0,014	0,016	0,020

a) Parametri navedenih tipskih veličina prikazani su tablicom u članku [2]. Parametri prema lit. 2 izračunati su kao srednje vrijednosti uzorka od 73 stroja 16 renomiranih svjetskih proizvođača tračnih pila ili su procijenjeni na osnovi podataka iz literature.

Table I

RELATIVE ERROR IN ϵ VALUES CALCULATED FOR SIX TYPICAL BANDMILL SIZES.

b) Brojne vrijednosti za ϵ izračunane su prema formuli (3) i prema odgovarajućim parametrima iz lit. 2 za svaki tip.

Tablica II

RELATIVNE GREŠKE MJERENJA ZATEZNE SILE, IZRACUNANE ZA 6 TIPSkih VELIČINA TRACNIH PILA TRUPČARA

Promjer kotača pile, mm (oznaka tipske veličine)	1100	1300	1600	1800	2100	2400
Relativna greška mjerenja δF b)	0,003	0,010	0,010	0,020	0,013	0,014

Table II

RELATIVE ERROR IN BLADE STRAIN MEASUREMENTS CALCULATED FOR SIX TYPICAL BANDMILL SIZES.

a) Ovdje vrijedi bilješka pod tablicom I

b) Relativna greška δF izračunata je kako slijedi:

- za svaki tip pile primijenjeni su parametri iz lit. 2.
- opterećenje Q usvojeno je tako da progib f za svaki tip iznosi 5 mm,

— pretpostavljene su apsolutne greške mjerenja $\Delta L = 10$ mm, $\Delta Q = 1$ N, $\Delta f = 0,1$ mm i na osnovi njih izračunane su relativne greške mjerenja δL , δQ , δf ,
— relativna pogreška mjerenja sile zatezanja izračunana je prema izrazu (5).

Tablica III

REZULTATI MJERENJA BOČNOG UGIBA f_i LISTA PILE U OVISNOSTI O TEŽINI G_i POSTAVJENIH ZATEZNIH UTEGA

Skupina zateznih utega	W_i	V	V+M	V+2M	V+3M	V+4M	V+5M
Težina skupine zateznih utega	G_i N	385	470	555	640	725	810
Ugib lista pile uslijed djelovanja bočne sile $Q = 50$ N	f_i mm	3,20	2,83	2,34	2,13	1,95	1,53
Zatezna sila u listu pile prema izrazu (4) ^a	F_i N	7700	8710	10530	11620	12640	15120
Polovina potisne pile na osovinu kotača pileb	0,5	7411	9074	10684	12320	13920	15592
Relativna razlika $\frac{F_i - 0,5 F_0}{F_i}$		-0,04	0,04	0,01	0,06	0,09	0,03

Table III

LATERAL BLADE INFLECTION f_i MEASUREMENTS VERSUS WEIGHT OF THE PULLING WEIGHTS G_i

$$a) F_i + \frac{QL}{4f_i}$$

$$b) 0,5 F_0 = 0,5 \cdot i \cdot G$$

skih veličina tračnih pila trupčara, ali polazeći od prosječnih parametara, te ne prikazuje ekstremne vrijednosti. Ipak se na osnovi u tablici II dobivenih vrijednosti za δF , koje se kreću između 0,3% i 1,4%, može zaključiti da mjerenje prema izloženom postupku udovoljava zahtjevima točnosti postavljene na početku ovog poglavlja.

5. EKSPERIMENTALNA PROVJERA POSTUPKA ZA MJERENJE SILE ZATEZANJA PILNE TRAKE IZMEĐU KOTAČA PILE

Niz izvršenih mjerenja potvrdio je primjenljivost formule $F = QL / 4f$ i pogodnost predloženog postupka mjerenja. Ovdje će biti prikazani rezulta-

ti jednog od tih mjerenja, izvršenog 1. VIII 1983. na stalku trupčare ST-1100, »BRATSTVO«, prema dispoziciji na sl. 1. Za stroj ST-1100 utvrđeni su sljedeći parametri:

promjer kotača pile	$D = 1100$ mm
razmak osovine kotača pile	$L = 1972$ mm
težina velikog zateznog utega	$G_V = 385$ N
prosječna težina malih zateznih utega	$G_n = 85$ N
prijenosni odnos poluge utega	$i = 38,5 : 1$
težina utega primijenjenog za ostvarenje bočne sile	$Q = 50$ N

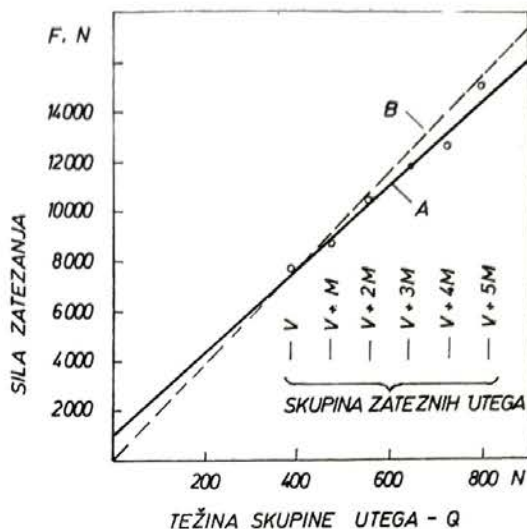
N a p o m e n a: Malo trenje između dijelova zateznog uređaja kod ovog stroja (npr. poluga utega oslonjena na oštricu dviju prizama) omogućuje vrlo točan odnos između težine G postavljenih utega i potisne sile na osovinu kotača. To dozvoljava provjeru izmjerene zatezne sile F , usporedbom s izračunanom silom $F_0 = i \cdot G$.

O p i s i o d v i j a n j e p o k u s a. Pri bočnoj sili $Q = 50$ N, za svaku skupinu W_i utega, čija je ukupna težina G_i , ustanovljen je posredstvom mjernog sata ugib f_i , te je pomoću obrasca (4) izračunana zatezna sila F_i u listu pile (TAB. III).

Na slici 3. prikazana je ovisnost sile zatezanja o težini utega. Regresijskom su analizom pravcem »A« izjednačene vrijednosti izmjerenih parova G_i i F_i , a pravcem »B« isti odnos za drugi prijenosni odnos; $0,5 \cdot F_0 = 0,5 \cdot i \cdot G$.

Na osnovi koeficijenta regresije izmjerenih podataka ($r = 0,987$) koji je vrlo blizak jedinici, te na osnovi primjerenih relativnih razlika ($0,5 F^0 - F$)/ F , koje se kreću oko vrijednosti od 5% (Tablica III), izlazi da izvedeni pokus upućuje na mogućnost primjene izraza (4) za izračunavanje sile zatezanja u listu pile.

Eksperimentalna provjera formule (4) može se provesti i egzaktnije putem elektrootpornih mjernih traka.



Sl. 3 — Grafikon rezultata mjerenja zatezne sile u listu pile trupčare ST-1100. Kružnicama su predstavljene veličine zatezne sile F_i , dobivene na osnovi pokusa (vidi tablicu III) A — pravac regresije; B — usporedni pravac, izračunan iz prijenosnog odnosa i , poluge zateznih utega.

Fig. 3 — Graphic Presentation of Blade Inflection Measurement Results for ST-1100 Band Saw.

6. ZAKLJUČAK

1. Povremena provjera veličine zatezanja lista tračne pile na stroju potrebna je u nekim slučajevima radi sprečavanja kvara strojnih dijelova (npr. valjnih ležaja kotača pile), te radi produljenja vijeka trajanja listova pile (npr. smanjenjem pojava napuklina u traci).

2. Predloženi mjerni postupak omogućuje izravno određivanje sile zatezanja u listu pile, neovisno o vrsti zateznog mehanizma, njegovim konstruktivnim nedostacima ili kvaru te trenju u njegovim elementima.

3. Mjerenje po ovom postupku ne stvara veće poteškoće; može ga obaviti rukovalac stroja ili stručno pogonsko osoblje, uz priručni i lako dostupni pribor u vrijeme smjenske pauze.

4. Predloženi postupak je teoretski zasnovan, eksperimentalno ispitan, te provjeren u praksi.

LITERATURA

- [1] Timoshenko, S.: Strength of Materials, Part II Advanced Theory and Problems. Palo Alto, 1940.
- [2] Stambuk, M.: Ukrštenost osi kotača tračnih pile. Drvna industrija 35 (1984), 7-8 (147-158)