

# Mehanika kružnih pila - I. dio: Izbor položaja lista pile

## Circular saw mechanics - Part I: Determination of the saw blade position

*Prethodno priopćenje • Preliminary note*

*Prispjelo - received: 08. 09. 2002. • Prihvaćeno - accepted: 09. 12. 2002.*

*UDK: 634\*822.33*

**SAŽETAK** • *Nepoznavanje cjelovitog problema bilo koje mehaničke obrade drva rezultira mnogim neželjenim posljedicama. To povećava vjerojatnost pojave nezadovoljavajuće kvalitete obrađene plohe, neprihvatljivih odstupanja od zadanih mjera, neprihvatljivih jediničnih energetske normativna te niza drugih neočekivanih pojava. Problem koji se razmatra u ovome radu jest utjecaj položaja radnoga stola, u odnosu prema osi rotacije pri piljenju kružnom pilom na neke važne parametre obrade. Posebno se naglašava utjecaj položaja radnoga stola na debljinu piljevine, kvalitetu obrađene plohe i na jedinične energetske normative. Taj se problem redovito pojavljuje kada je promjer alata veći od najmanjega, što je stalnost pri piljenju drva kružnom pilom.*

**Ključne riječi:** *kružna pila, kvaliteta obrade, energetske normative.*

**SUMMARY** • *Insufficient knowledge of the issue of mechanical woodworking and wood-cutting with a circular saw may result in a number of unwanted consequences. These include unacceptable quality of cutting surfaces, unacceptable deviations from nominal dimensions, unacceptable specific cutting energy standards and many other unexpected results. The paper is concerned with the influence of the distance between the circular saw working table and the saw spindle axis on some significant cutting parameters, in particular the middle chip thickness, the cutting surface quality and the specific cutting energy. This problem occurs when the saw blade diameter is greater than the minimal diameter, as is normally the case.*

**Key words:** *circular saw, cutting quality, energy standards*

---

Autori su, redom, redoviti profesor, docent, docent i znanstveni novak na Šumarskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, HR - 10000 Zagreb, Svetošimunska 25.

Authors are a professor, assistant professor, assistant professor and assistant, respectively, at the Faculty of Forestry of Zagreb University, HR - 10 000 Zagreb, Svetošimunska 25

## 1. UVOD

### 1. INTRODUCTION

Promjer lista kružne pile bi po pravilu trebalo odrediti uzimajući u obzir visinu piljenja, promjer radnoga vratila na koje se list priteže (promjer unutarnjega provrta) te promjera prirubnica za pritezanje. Nakon uzimanja u obzir svih tih ograničenja, treba izabrati jedan od raspoloživih promjera. Redovito treba pristati na kompromis. Promjer izabaranoga lista pri tome je redovito veći od najmanjega mogućeg. Izborom većeg promjera pristajemo i na veću širinu propiljka, veće energetske normative te smanjeno volumno iskorištenje materijala. Sve to ima utjecaja na cjelokupnu učinkovitost. Osim toga, izbor većeg promjera potiče idući problem: kako postaviti radni stol u odnosu prema rapoloživoj visini za prilagođivanje? Mnoge preporuke u stručnim knjigama upućuju na izbor najboljeg promjera lista kružne pile, ali ne govore o tome kako riješiti problem onda kada to nije moguće. U radu se detaljno raspravlja upravo o tom problemu. Kako će se iz rasprave vidjeti, za ispravan odabir potrebno je voditi brigu o više detalja.

## 2. PROBLEM

### 2. PROBLEM

Mogućnosti odabira položaja radnoga stola shematski su prikazane na slici 1. Oznake na slici znače:

$H_w$  - visina piljenja / *cutting height*

$H_s$  - visina stola u odnosu prema osi rotacije / *working table height*

$H_{tmin}$  -  $H_{tmax}$  - raspon mogućeg izbora položaja radnoga stola / *range of the working table position*

$D_v$  - promjer unutarnjega provrta ili promjer radnog vratila / *saw spindle diameter*

$D_p$  - promjer prirubnice / *collar diameter*

$D$  - promjer lista / *saw blade diameter*

$l$  - duljina luka zahvata / *cutting curve length*

$v_f$  - posmična brzina / *feed speed*.

Površina poprečnog presjeka strugotine koja nastaje uzastopnim prolaskom dvaju reznih bridova shematski se može predložiti onako kako je prikazano na slici 2. Oznake na toj slici znače:

$\varphi_2$  - kut određen točkom početka zahvata oštrice / *start cutting angle*

$\varphi_1$  - kut određen mjestom izlaska oštrice iz zahvata / *finish cutting angle*

$\varphi_{sr}$  - srednji kut zahvata / *middle cutting angle*

$\delta_{sr}$  - srednja debljina strugotine / *middle chip thickness*

Iz prikaza na slici 2. lako se može pokazati da je:

$$\sin \varphi_1 = \frac{2 \cdot H_s}{D} \quad (1)$$

odnosno:

$$\sin \varphi_2 = \frac{2(H_s + H_w)}{D} \quad (2)$$

Za  $\varphi_{sr}$  vrijedi jednažba:

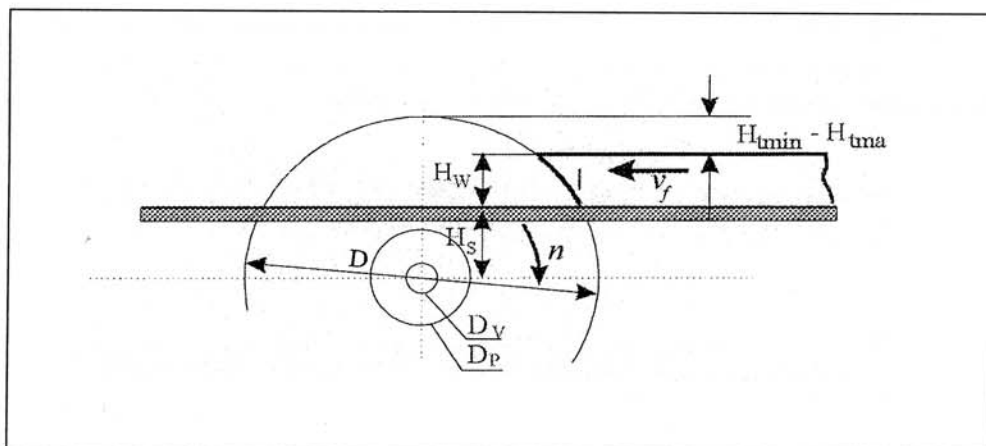
$$\varphi_{sr} = \frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2} \quad (3)$$

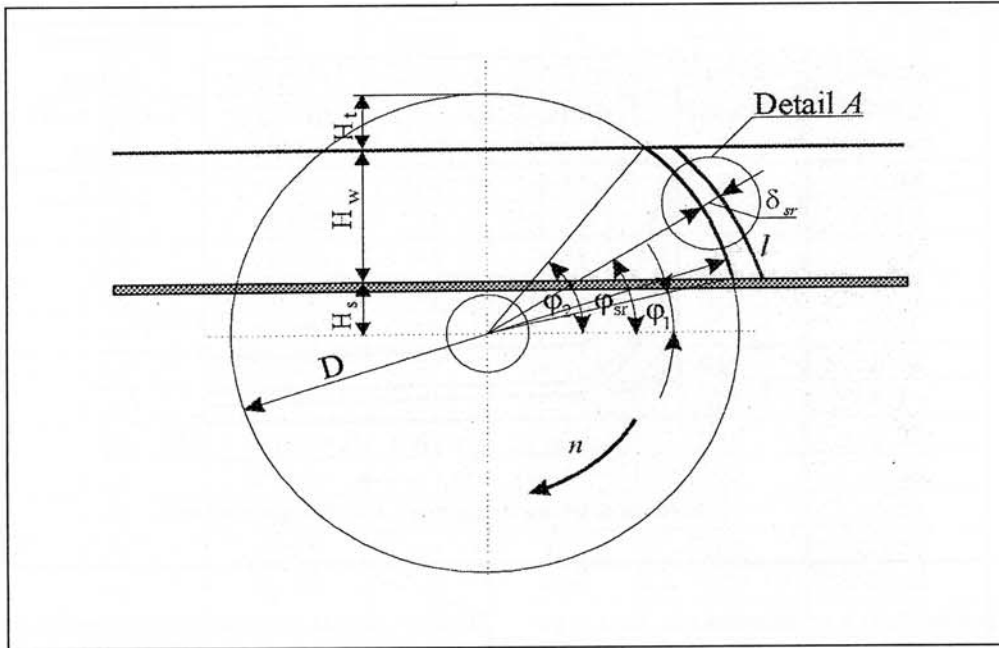
odnosno

$$\varphi_{sr} = \frac{\arcsin \frac{2H_s}{D} + \arcsin \frac{2(H_s + H_w)}{D}}{2} \quad (4)$$

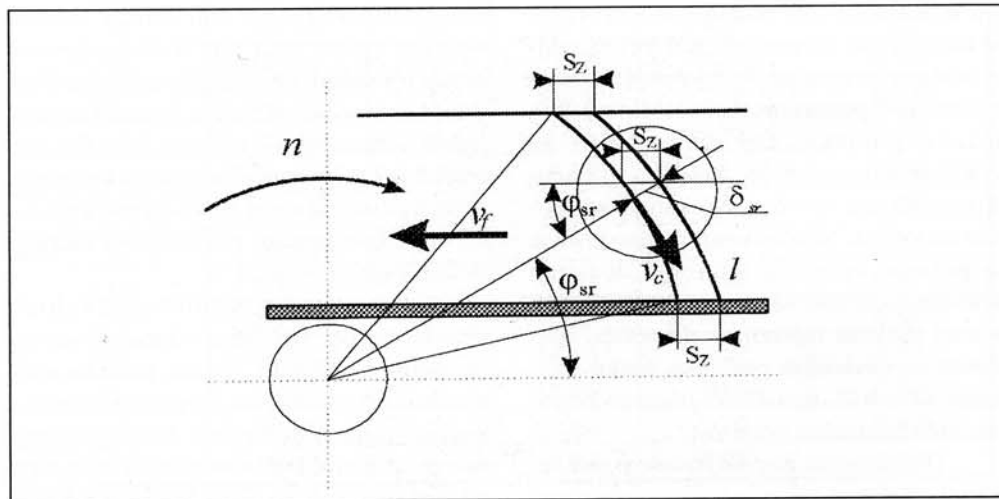
**Slika 1.**  
Mogućnosti prilagođivanja visine radnoga stola

**Figure 1.**  
The range of possible working table positions





**Slika 2.**  
Prikaz poprečnog presjeka strugotine nastale uzastopnim prolaskom dvaju reznih bridova  
**Figure 2.**  
The presentation of the chip crosscut



**Slika 3.**  
Detalj dvaju uzastopnih zahvata reznih bridova  
**Figure 3.**  
The schematic presentation of the two successive cuts of the cutting edge

Promotrimo li pobliže *detalj A* na slici 2, kako je prikazano na slici 3, može se dokazati da je:

$$\delta_{sr} \cong s_z \cdot \cos \varphi_{sr} \quad (5)$$

gdje je:

$s_z$  - pomak po reznome bridu ili odnos brzine pomaka i frekvencije ulazaka zubi u zahvat / *the feed per saw tooth*.

Prema relaciji (4) samo je po sebi razumljivo da će se podizanjem razine radnoga stola u odnosu prema osi rotacije alata, uz zadržavanje jednake visine piljenja povećati srednji kut piljenja. Imajući na umu i približnu relaciju za određivanje srednje debljine strugotine dane u (5), jasno je da će doći i do njezina smanjenja. Smanjenje debljine strugotine istodobno znači povećanje jediničnog otpora piljenja odnos-

no povećanje jedinične energije piljenja, što se vidi na slici 4. Problem postaje izraženiji pri manjim posmičnim brzinama ili pri piljenju kružnom pilom s većim brojem zubi. Jedinična se energija pri tome može toliko povećati da se propali obrađena ploha. Na slici 4. osjenčano je područje kritične srednje debljine strugotine koje bi po pravilu trebalo izbjegavati pri izboru tehnoloških režima rada.

### 3. MJERNA METODA I REZULTATI MJERENJA

#### 3. MEASURING METHOD AND RESULTS OF MEASUREMENTS

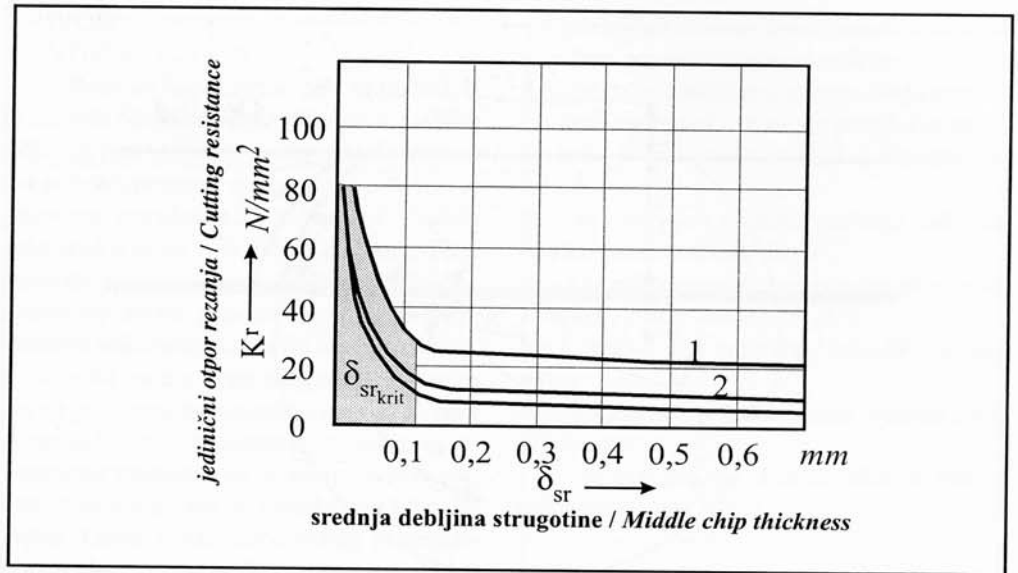
Da bi se pokazao utjecaj izbora veličine ispona lista pile na neke značajne veličine u postupku piljenja kružnom pilom, napravljeno je pokazno mjerenje u laboratorijskim uvjetima. Za mjerenja je upotrijebljen dvoosni dinamometar kojim su mjerene sile u smjeru posmične brzine i okomito na nju.

**Slika 4.**

Ovisnost jediničnog otpora piljenja o srednjoj debljini strugotine: 1- poprečni, 2- uzdužni i 3- tangencijalni smjer piljenja

**Figure 4.**

The relation between cutting resistance and middle chip thickness: 1-end grain cutting, 2- cutting parallel to the grain, 3-cutting across the grain



Izračunavana je rezultantna sila, koja je potom projicirana u koordinatni sustav kojemu je jedna os bila podudarna s pravcem na kojemu leži glavna brzina u točki srednje debljine strugotine. Istodobno sa silama mjerena je i pomak pomoću indukcijskog davača pomaka. On je poslužio za izračunavanje posmične brzine u vremenskom intervalu omeđenom dvama uzastopnim uzorcima. Niz pokusa pokazao je da je za potrebe opisanih mjerenja dostatna frekvencija uzorkovanja od 150 Hz. Svi su podaci tijekom mjerenja registrirani sustavom za akviziciju podataka tvrtke *Hottinger G.m.b.H.*, tipa *DMC-plus*, uz odgovarajuću računalnu potporu.

Dio rezultata mjerenja navodi se u tablici 1. Kako se to odražava na obrađenu plohu, pokazuje slika 5.  $H_t$  na slici 5. označava udaljenost tangente na obod lista kružne pile paralelne s ravninom radnoga stola od gornje plohe obratka. Od ustanov-

ljenih ovisnosti promatranih parametara za razmatranja koja se provode u ovome radu najzanimljivijim se čini odnos između veličine ispona lista pile u odnosu prema obratku i jedinične energije piljenja. Posljedice predočene na slici 5. izravna su posljedica ustanovljenog odnosa. Stoga bi, uzimajući jediničnu energiju piljenja kao glavni kriterij za određivanje položaja radnoga stola, to nužno značilo postavljanje radnoga stola u najniži položaj.

U uvjetima u kojima je kvaliteta obrađene plohe presudna odnosi su sasvim suprotni od opisanih. Naime, poznata je činjenica da se teoretska hrapavost u točki u kojoj se pojavljuje srednja debljina strugotine pri piljenju kružnim pilama sa zubima od tvrdog metala može odrediti iz relacije:

$$H_n = \delta_{sr} \cdot tg\epsilon \quad (6)$$

gdje je:

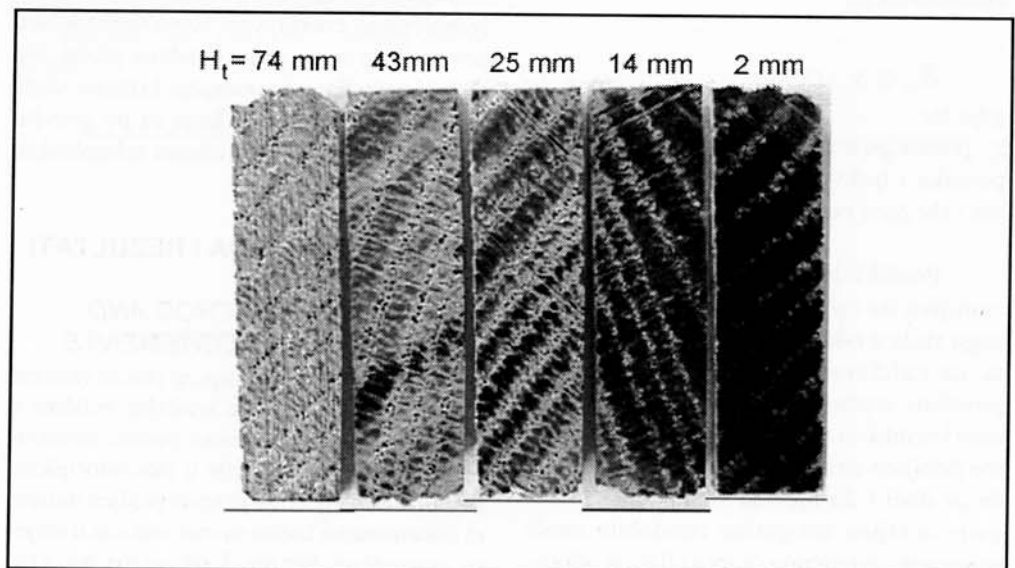
$H_n$  - visina neravnina na obrađenoj plohi /

**Slika 5.**

Prikaz propaljene obrađene plohe kao posljedica položaja radnoga stola

**Figure 5.**

Burned cutting surface as a consequence of the working table position



Posmična brzina	Kut piljenja	Ispion alata	Sila piljenja	Snaga piljenja	Energija piljenja
Feed speed m/min	Cutting angle, °	$H_t$ mm	Cutting force, N	Power, W	Energy, kWh/m <sup>2</sup>
2,25	28,09	74	2,79	131	0,08
1,59	28,09	74	2,33	110	0,10
1,89	28,09	74	3,38	159	0,12
1,25	28,09	74	2,87	135	0,15
1,51	33,82	61	3,81	179	0,17
2,36	33,82	61	4,55	214	0,13
2,30	33,82	61	3,85	181	0,11
1,26	33,82	61	5,01	236	0,26
1,43	42,42	43	4,30	203	0,20
1,76	42,42	43	5,12	241	0,19
1,76	42,42	43	3,58	169	0,13
3,85	42,42	43	7,90	372	0,13
1,72	52,74	25	7,02	331	0,27
1,97	52,74	25	10,44	492	0,35
2,18	52,74	25	9,57	451	0,29
1,59	52,74	25	10,94	515	0,45
2,07	60,19	14	15,07	710	0,48
1,18	60,19	14	9,80	462	0,54
1,95	60,19	14	16,70	787	0,56
1,77	60,19	14	13,88	654	0,51
1,69	65,92	8	14,18	668	0,55
2,18	65,92	8	15,67	738	0,47
1,29	65,92	8	9,86	464	0,50
1,85	65,92	8	18,09	852	0,64
1,50	72,80	2	12,96	610	0,57
2,68	72,80	2	19,54	920	0,48
1,87	72,80	2	18,04	850	0,63

Tablica 1.

Dio rezultata mjerenja tijekom piljenja jelovih uzoraka na kružnoj pili u laboratorijskim uvjetima

Table 1.

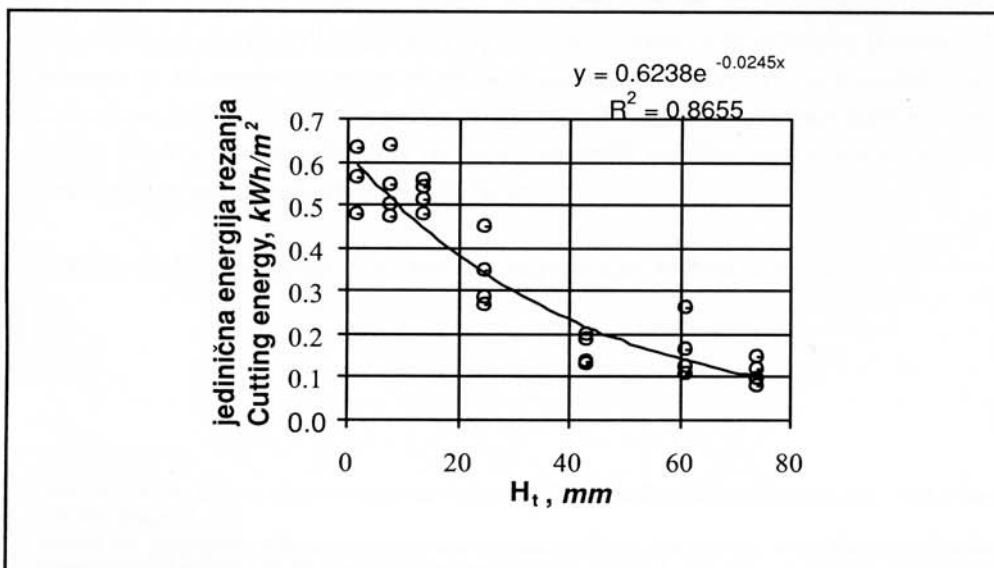
Part of the measurement results at cutting the sample of fir workpieces in laboratory conditions

cutting surface roughness

$\epsilon$ - kut smanjenja prednje plohe / side clearance angle.

Iz relacije (6) očito je da će se bolja

kvaliteta obrade postići pri manjim vrijednostima srednje debljine strugotine, što je u suprotnosti s prethodnim razmatranjima. Kao u većini inženjerskih zadataka, i u traženju optimalnoga položaja radnoga stola



Slika 6.

Ovisnost jedinične energije piljenja o isponu lista kružne pile u odnosu prema obratku

Figure 6. The relation between the specific cutting energy and the saw blade position in relation to the workpiece

trebat će potražiti razuman kompromis.

#### 4. ZAKLJUČAK

##### 4. CONCLUSION

U radu je predložen problem s kojim se tehnolozi svakodnevno susreću u praksi, a da ga većina nije ni svjesna. Kako izabrani položaj razine radnoga stola može znatno utjecati na učinkovitost kružne pile, razumljivo je da mu treba pridati odgovarajuću pozornost. U drugom dijelu ovoga rada predstaviti ćemo rezultate mjerenja pri piljenju hrastovih uzoraka u laboratorijskim uvjetima. Navest ćemo niz zanimljivih ovisnosti važnih parametara obrade o položaju radnoga stola.

#### 5. LITERATURA

##### 5. REFERENCES

1. Goglia, V., 1994: Strojevi i alati za obradu drva, I. dio, Šumarski fakultet

Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, str. 1-236.

2. Williston, E. M., 1985: Saws - Design, Selection, Operation and Maintenance, Miller Freeman publication, San Francisco, California, pp. 1-288.

3. Prokeš, S., 1982: Obrabeni dreva a novych hmot ze dreva, SNTL - Nakladatelství technické literatury, Praha, pp. 1-584.

4. Lisičan, J., 1996: Teoria a technika spracovania dreva, Matcentrun, Zvolen, pp. 1-625.

5. Zubčević, R., 1988: Mašine za obradu drva I dio, teorija piljenja, Mašinski fakultet Univerziteta u Sarajevu, Sarajevo, str. 1-116.

6. Goglia, V., Đukić, I., 2002: Some circular saw cutting consideration, Technologies of wood processing, Technická univerzita vo Zvolene, Zvolen, pp. 73-81.

7. Afanasyev, P., 1968: Woodworking machinery and cutting tools, Higher school publishing house, Moscow, pp. 1-601.