

## Proračun čvrstoće namještaja\*\*

### S a ž e t a k

U skraćenom obliku razmatraju se neke mogućnosti proračuna čvrstoće u konstrukciji namještaja. Pri obradi materije autori su se koristili velikim dijelom stranim iskustvima. Ova problematika kod nas, a i u svijetu, do danas još nije dovoljno proučena. Aktualnost teme i praktična primjena proračuna dolazi do sve većeg izražaja usvajanjem standarda o čvrstoći i trajnosti namještaja u svijetu i kod nas. Na kraju je izrađen jednostavan primjer proračuna iz prakse.

Ovaj rad treba potaknuti dalja istraživanja na tom polju, posebno na određivanju mehaničkih svojstava drva, drvnih ploča i drvnih konstrukcija.

Ključne riječi: analiza konstrukcije namještaja — proračun čvrstoće spojeva — opterećenje i čvrstoća pločastih elemenata namještaja.

### CALCULATION OF FURNITURE STRENGTH

#### Summary

This article deals in brief with some possibilities of calculating strength in construction of furniture. In considering this subject, the authors mostly used experiences from the other countries, though so far such problems have not been sufficiently studied either in this country or abroad.

However, topicality of the theme and practical application of calculation become more apparent by adopting standards for strength and durability of furniture in the world and here. In the end a simple example of calculation from practice has been made.

This work has to induce further research in this field, particularly in determining mechanical properties of wood, wooden boards and wooden constructions.

Key words: analysis of construction of furniture — calculation of joint strength — load and strength of panel elements of furniture.

### 1. UVOD

Proračuni čvrstoće stolarskih proizvoda danas postaju sve aktualniji, iako su u našoj praksi još neuobičajeni. Obično se svi dimenzioniranja radi zadovoljavanja čvrstoće i sigurnosti u upotrebi osnivaju na iskustvu i tradiciji u izradi namještaja.

Sve veću potrebu za proračunima čvrstoće konstrukcija koje se primjenjuju u proizvodnji namještaja moglo bi se protumačiti s historijskog aspekta razvoja i uvjeta proizvodnje namještaja nekad i danas. Nekad se namještaj proizvodio na zanatski način, a gotovo je svaki komad namještaja bio unikat. Izrada kompliciranih proračuna za jedan uzorak takvog namještaja

ja ne bi imala smisla, budući da bi to bilo skuplje od same izrade. S druge strane, drvnog materijala je bilo u izobilju ili se barem u tom smislu s njime postupalo. Također, tržišni odnosi nisu bili tako izoštrjeni kao danas.

Tzv. eksplozija čovječanstva, a s time u vezi golem porast industrijske proizvodnje u svijetu i opće pomanjkanje sirovina, promijenili su klasične odnose u proizvodnji i potrošnji. Potreba za racionalizacijom i smanjenjem troškova proizvodnje angažira danas golem broj stručnjaka u svim granama industrije. Između ostalog, oni se bave proračunom i provjerom čvrstoće i svojstava pojedinih proizvoda u upotrebi.

Razloge za takav pristup proizvodnji namještaja danas nalazimo u slijedećem:

— Iskustvo i tradicija su od sve manjeg značenja, jer se neprekidno mijenjaju konstruktivni oblici namještaja, a uz to se sve češće primjenjuju novi materijali,

— Broj proizvedenih jedinica za koji se radi proračun čvrstoće često je veoma velik, tako da je trošak proračuna i konstruiranja po jedinici proizvoda neznatan.

\* Natalija Storga, dipl. ing., Tvornica metalnog namještaja »Jadran«, Zagreb.

Miljenko Jurjević, dipl. ing., »Exportdrvo«, Zagreb.

Radoslav Jeršić, dipl. ing., Institut za drvo, Zagreb.

\*\* Rad je izrađen kao seminarski rad na postdiplomskom studiju iz područja Tehnologije finalnih proizvoda, na Šumarskom fakultetu u Zagrebu i u okviru prethodnog projekta ISTRAŽIVANJE TEHNOLOGIJE NAMJEŠTAJA koji financira SIZ IV i Zajednica šumarstva i prerade drva — Zagreb.

- Drva, a i drvnih materijala, osobito onih visoke kvalitete, sve je manje, a time su oni i sve skuplji.
- Masovna proizvodnja i potrošnja stvaraju žestoku konkurenciju, gdje se zahtijeva da odnos parametra cijene/kvaliteta teži minimumu.

Prvi koraci u pravcu proračunavanja čvrstoće stolarskih proizvoda, posebno u proizvodnji namještaja, novijeg su datuma. U ovom radu bit će prikazane neke mogućnosti takvih proračuna i metode ispitivanja nekih karakterističnih konstrukcija.

## 2. PRIKAZ ANALIZE KONSTRUKCIJE STOLICE

Stolica predstavlja u konstruktivnom pogledu prostornu štapastu konstrukciju.

Dimenzije pojedinih štapova takve prostorne konstrukcije određuju se proračunom prema metodama teorije konstrukcija i nauke o čvrstoći materijala.

Pitanje da li se na konstrukciju stolice mogu primijeniti metode teorije konstrukcija istraživali su Dziuba i Kwiatkowski (4).

Važan element proračuna čvrstoće jest određivanje sila koje, pri prethodno danom vanjskom opterećenju, treba da preuzmu konstruktivni elementi.

Za statički određene konstrukcije takvi proračuni ne predstavljaju poteškoće. Za statički neodređene konstrukcije proračuni uspijevaju uz pretpostavku da su ispunjeni određeni uvjeti.

Na polju klasičnih proračuna čvrstoće slijedeće su pretpostavke:

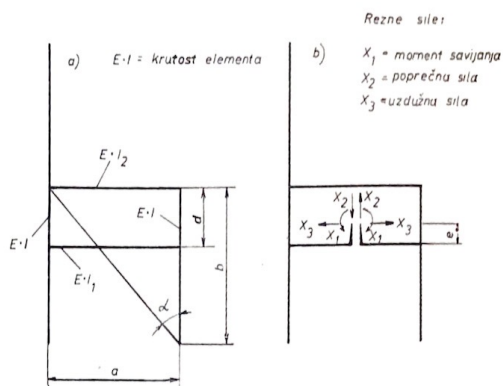
- elementi se deformiraju elastično
- spojevi se smatraju krutim
- deformacije su male

Ovdje se postavlja pitanje da li promatrane konstrukcije namještaja, koje su u pravilu statički neodređene, ispunjavaju te pretpostavke i da li se metode teorije konstrukcija mogu primijeniti za proračun čvrstoće namještaja. Upotrebljivost tih metoda može se provjeriti ako se teoretski, tj. prema postupcima nauke o čvrstoći, određeni momenti savijanja usporede s eksperimentalno određenim momentima. Podudaranje tih vrijednosti je potvrda za dopustivost primjene postupaka teorije konstrukcije u projektiranju stolica.

Dziuba i Kwiatkowski odabrali su jednu tipiziranu stolicu (slika 1). Stolica predstavlja simetričnu i prostornu štapastu konstrukciju, čiji bočni dijelovi (bočni okviri) pod simetričnim opterećenjem prenose po polovicu tereta i jednako se deformiraju.

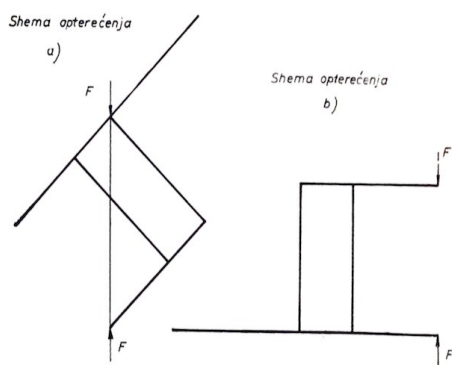
Stolice su u upotrebi podvrgnute mnogim opterećenjima, koja se pri ispitivanju i prora-

čunu moraju uzeti u obzir. U ovim istraživanjima uzete su dvije vrste opterećenja (slika 2). Eksperimentalno određivanje dijagrama mome-



Slika 1. — Shema promatranog modela stolice s dimenzijama, karakteristikama materijala i reznim silama.

nata savijanja provedeno je mjerenjem deformacija na modelu opterećenom prema shemama a i b.



Slika 2. — Shema opterećenja a i b

Proračun je proveden prema metodi sila korištenjem tzv. elastičnog težišta. Prekobrojne veličine sistema su moment  $X_1$ , i sile  $X_2$  i  $X_3$ .

Diskretna mjerenja deformacija na raznim točkama okvira daju jasnu sliku raspodjele stvarnih momenata savijanja u okviru stolice. Deformacija produženja, odnosno skraćivanja vanjskih vlakana, mjerena je pomoću mjernih traka i jednog tenzometrijskog mosta predviđenog za statička mjerenja.

Za ispitivanja autori su upotrijebili dva jednaka okvira stolice (br. I i II — vidi sliku 3) te jedan potpuni (prostorni) okvir stolice (br. III) koji se sastoji od dva bočna okvira. Okvir br. III služio je kao kontrola uvodno formulirane pretpostavke da se oba bočna okvira stolice sime-

trično deformiraju. Okviri stolica bili su od paretne bukovine. Dijelovi su bili spojeni lijepljenim čepovima. Bočni okviri br. I i br. II bili su u toku ispitivanja opterećeni s  $F = 300 \text{ N}$ , a okvir III s  $F = 600 \text{ N}$ . Rezultati eksperimentalnog istraživanja i proračuna prikazani su na sl. 3. Kvalitativno i kvantitativno podudaranje mjernih i proračunatih momenata savijanja upućuje na to da se metode teorije konstrukcija mogu primijeniti i potvrđuje uvodno formulirane pretpostavke. Zaključno se može reći da primjena prikladnih proračunskih postupaka omogućuje prethodno određivanje statičkog opterećenja spojeva i konstruktivnih elemenata, tako da se mogu predvidjeti dovoljno čvrste spojne konstrukcije. Osim toga, teoretska analiza dozvoljava usporedbu više varijanata konstrukcije.

## 2.1 Diskusija

U prikazanom radu Dziube i Kwiatkovskog iscrpno je analizirana stolica kao prostorna štapasta konstrukcija.

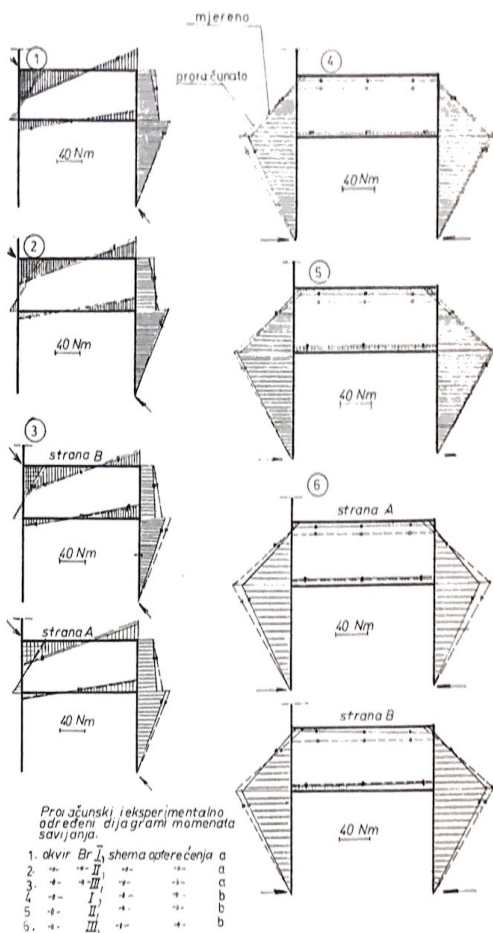
Eksperimentom dokazana mogućnost primjene metoda teorije konstrukcija i nauke o čvrstoći materijala važna je zbog mogućnosti teoretske analize više varijanata konstrukcije. Međutim, ispitivani slučajevi opterećenja tipske stolice diskutabilni su s praktične strane gledanja, jer ne predstavljaju uobičajena opterećenja stolica u upotrebi.

Proračun konstrukcije stolica počinje određivanjem sila koje na nju (odnosno njezine pojedine elemente) djeluju. Analiza karaktera stvarnog opterećenja stolice u upotrebi omogućila bi određivanje tipiziranog opterećenja za ispitivanje kvalitete konstrukcije stolica, a to bi u mnogome pridonijelo kvaliteti ispitivanja u smislu njegove objektivnosti.

## 3. PRIKAZ ANALIZE ČVRSTOĆE SPOJA ČEPOM I MOZDANICIMA

Pri proračunu čvrstoće stolarskih proizvoda treba prije svega odrediti veličine i karakter sila koje stalno djeluju na proizvod, a javljaju se u normalnim uvjetima upotrebe proizvoda. S tehnološkog stajališta, trebalo bi svakako voditi računa o silama koje djeluju na proizvod ili neki njegov dio i u toku same proizvodnje, jer one mogu uzrokovati naprezanja kakva se ne mogu očekivati u upotrebi.

Odredivši najveće djelujuće sile i pravce njihova djelovanja, prilazi se proračunu čvrstoće najvažnijih detalja. Proračun se provodi po formulama teorije o otpornosti materijala, a maksimalna naprezanja određena proračunom ne smiju prijeći dopuštena naprezanja, čime se postiže potrebna sigurnost detalja i proizvoda u eksploataciji.



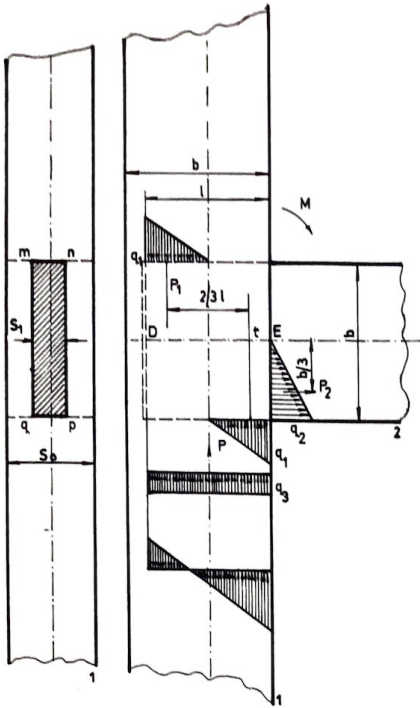
Slika 3.

### 3.1. Ravan čep

Na slici 4. prikazan je ravan čep sa skicom rasporeda naprezanja u spoju. Zbog jednostavnosti, promatrani slučaj se odnosi na statičko opterećenje spoja koje rezultira momentom  $M$  i silom  $P$ .

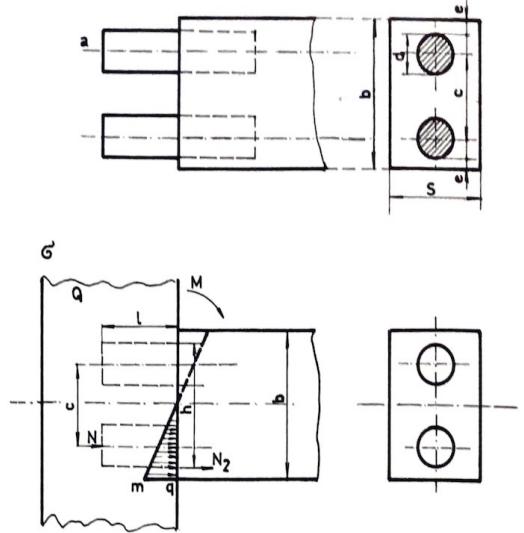
U uvjetima ravnoteže — dovoljne čvrstoće spoja čepom — ležajni moment  $M$ , koji teži izvrnuti čep iz ležišta, uravnotežen je momentom koji čini otpornost na pritisak po rubovima čepa,  $mn$  i  $pq$ , a također na zaleđu poprečnog štapa  $rt$  i otpornost posmika na površini bočnih stranica (obrazu) čepa  $mq$  i  $np$  (lijepljeni spoj). Situacija se ne mijenja bez obzira prolazi li čep skroz ili ne.

Čvrstoća spoja čepom ovisi o kvaliteti lijepljenja i upravno je proporcionalna površini sljubnica i dimenzijama obraza čepa. Čep treba izraditi po mogućnosti što veći. Ljepilo će dobro držati samo pri dosta tijesnom dodirivanju li-



Slika 4. — Spoj s pomoću ravnog čepa sa skicom rasporeda napreznja

tom slučaju promjer okruglog čepa nije moguće napraviti jednakim dvostrukoj debljini plosnatog čepa, pa je nužno da promjer bude manji. U tom slučaju spoj okruglim čepovima nešto je slabiji od spoja plosnatim čepovima.



Slika 5. — Spoj pomoću okruglih čepova sa skicom rasporeda napreznja

jepljenih površina. Prema tome, spoj pomoću čepa treba biti brižljivo izveden, tijesno, bez zazora i oslabljenja.

### 3.2. Umetnuti okrugli čep (moždanik)

U stolarskoj se praksi vrlo često upotrebljava, umjesto ravnog čepa, spoj pomoću okruglih čepova, tj. moždanika. To ima svojih tehnoloških prednosti, a utrošak sirovine je manji. Na slici 5. prikazan je spoj pomoću moždanika, gdje su dimenzije moždanika takve da im je čvrstoća jednaka prethodno prikazanom plosnatom ravnom čepu.

Spoj se projektira s dva okrugla čepa, budući da se uz dva čepa stvara par sila, koji se suprostavlja momentu savijanja (moment upetosti). Nadalje, s jednim čepom poprečni štap u momentu postavljanja može se okretati i zauzimati proizvoljni položaj u odnosu na vertikalni štap, a, osim toga, treba veliki dijametar pri ograničenoj debljini štapa.

Moment otpora, a time i čvrstoća spoja, bit će tim veći što je veće  $c$  (sl. 5). Prema tome, povoljno je staviti čepove što je moguće dalje jedan od drugoga.

Usporedbom plosnatog i okruglih čepova proizlazi da promjer okruglih čepova treba da je dva puta veći od debljine plosnatog čepa. Debljina plosnatog čepa čini 0,4 debljine štapa. U

Dužina ugrađenog kraja čepića određuje se iz uvjeta otpornosti na posmik lijepljenog spoja i iz uvjeta otpornosti na pritisak. Znajući dopušteno napreznje na posmik slijepljenih površina, možemo naći dužinu čepa, i obratno, znajući dimenzije čepa, možemo naći tangencijalno napreznje.

Gornje postavke, na temelju kojih se čepovi mogu proračunati, vrijede u uvjetima potpunog ispunjavanja predviđenih teoretskih parametara spoja za koji se proračun vrši. To znači da navedeni spojevi moraju biti izvedeni besprijekorno, tijesno, bez zazora, geometrijski pravilno i pod određenim tehnološkim uvjetima. U praksi se pojavljuje niz činilaca koji mogu umanjiti čvrstoću spojeva dobivenu proračunom. Također su i opterećenja pri upotrebi često mnogo složenija od gore prikazanih.

### 3.3. Čvrstoća i krutost spojeva s moždanicama na plošno zakretanje u ovisnosti o karakteristikama spojeva

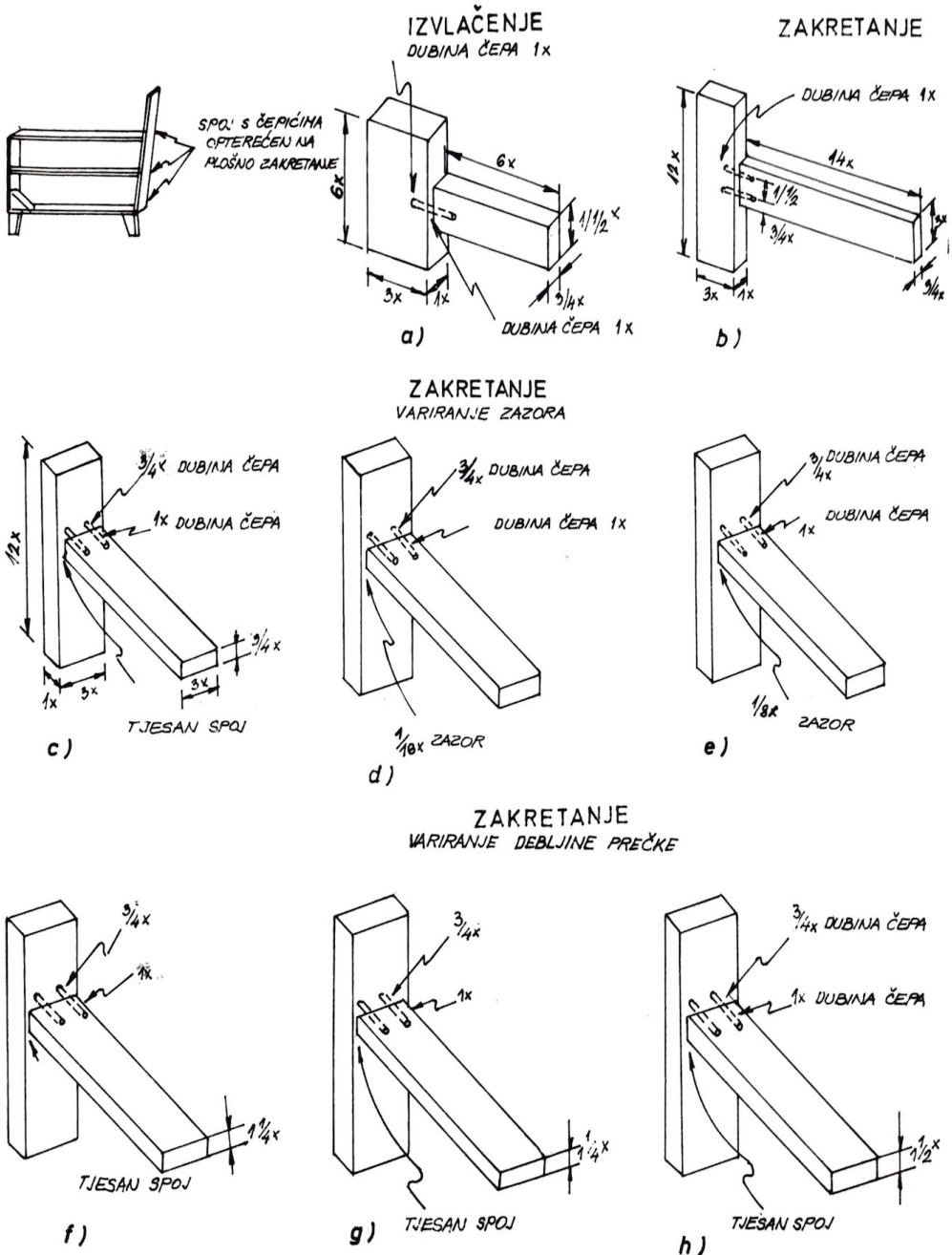
Istraživanja A. C. Eckelmana, čiji je prikaz niže naveden, pokušaj je kvantifikacije ovisnosti čvrstoće spojeva s moždanicama o njihovim osobinama, što predstavlja ozbiljan problem pri konstruiranju s obzirom da čvrstoću takvih konstrukcija ne možemo predvidjeti. Konstrukcija kakva je prikazana na slici 6. a predstavlja okvir rukonaslona naslonjača ili kauča i dana je kao

primjer gdje se pojavljuju opterećenja koja uzrokuju plošno zakretanje. Takva opterećenja prisutna su i kod ostalih tipova namještaja. Savitljivost takvih spojeva može prouzročiti preopterećenje konstrukcije u nekom drugom spoju, što se može nepovoljno odraziti u upotrebi.

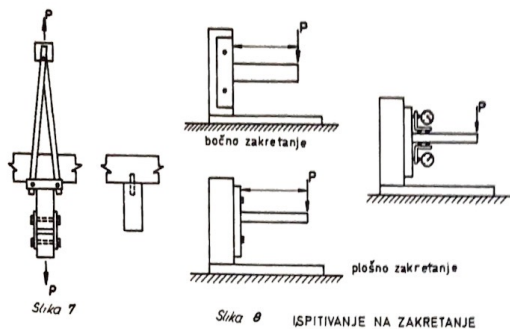
Od primarne važnosti su dva pitanja. Prvo, koja je najveća čvrstoća zakretanja pri plošnom zakretanju kod normalnih dimenzija elemenata konstrukcije kakvi se upotrebljavaju u namje-

štaju, i drugo, kako utječu zazor i između elemenata na te njihove karakteristike.

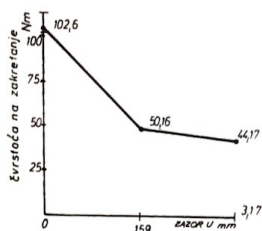
Ispitano je 80 uzoraka koji su bili podijeljeni u 8 grupa s po 10 uzoraka. Elementi (stup = vertikalni element, prečka = horizontalni element) su bili izrađeni od drva crnog oraha, a vlaga drva bila je 6%. Moždanici su bili promjera 9.52 mm i izrađeni od drva sladorovca (šećerni javor). Ljepilo je bilo ureaformaldehidno. Promjeri rupa i čepića neznatno su varirali, a



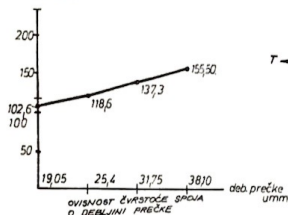
Slika 6. — Skice konstrukcija spojeva. Kotirani su samo odnosi dimenzija spoja



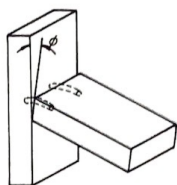
Slika 8 ISPITIVANJE NA ZAKRETANJE

OVISNOST ČVRSTOĆE SPOJA  
O ZAZORU IZMEĐU PREČKE I STUPA

slika 9.



Slika 10

Slika 11  
SKICA NAPREZANJA  
PRI PLOŠNOM ZAKRETANJU

njihova razlika nije prelazila 0,127 mm. Sastav spojeva vidljiv je na slici 6.

U tekstu na slici 6. opisane su karakteristike svake grupe i cilj njena uključanja u razmatranje. Metode ispitivanja prikazane su na sl. 7. i 8. Rezultati svih ispitivanja dani su u tabeli I. Čvrstoća na izvlačenje moždanika u prvoj grupi uzoraka bila je 7261,36 N. Kako je već bilo prije rečeno, čvrstoća na izvlačenje moždanika ući će u proračun za upotrijebljeni materijal u preostalom dijelu ispitivanja. Čvrstoća na zakretanje od c do h grupe uzoraka također je dana u tablici 1. U slučaju druge grupe uzoraka, bočno zakretani uzorci imali su prosječnu čvrstoću na zakretanje 345,7 Nm. Čvrstoća na plošno zakretanje kod uzoraka grupe c, d i e (tab. 1.) prikazana je grafički na slici 9. Na apscisi su nanesene vrijednosti zazora između čela prečke i stupa, a na ordinati sila zakretanja pri lomu izražena u Nm. Kako je jasno vidljivo, uzorci sa zazorima pokazali su dvostruko manju čvrstoću od uzoraka bez zazora, a razlika između uzoraka s većim i manjim zazorom čak i nije praktički velika (cca 13%). Ovo govori o velikoj ovisnosti čvrstoće spoja na plošno zakretanje o kvaliteti izrade, tj. o čvrstom dosjedanju spojnih elemenata.

Grupa	Broj uzoraka	Srednja čvrstoća	Standardna devijacija
a	10	7261,36 N	663,64
b	10	347,72 Nm	59,52
c	10	102,63 Nm	5,24
d	10	50,16 Nm	8,74
e	10	44,20 Nm	4,34
f	10	118,63 Nm	6,26
g	10	137,34 Nm	15,52
h	10	155,50 Nm	17,51

Čvrstoća na zakretanje kod uzoraka grupe c, f, g i h (tab. 1.) također je prikazana grafički na slici 10. Na apscisi su nanesene vrijednosti za debljinu prečke (debljine rastu za po 6,35 mm), a na ordinati su prikazane zakretne sile loma u Nm.

Vidljivo je da čvrstoća raste gotovo linearno s porastom debljine prečke. To navodi na zaključak da bi se ovaj tip spoja mogao možda predstaviti na jednostavan način kako je predstavljena čvrstoća na bočno zakretanje spoja s dvostrukim moždanicima.

Pojedinačno, u slučaju debljih prečaka, može se opravdano predočiti da je moždanik učvršćen u čelo prečke, slika 11, napregnut na čisti vlak. Neutralna os zakretanja leži uzduž donje ivice moždanika, kako pokazuje slika 11. U skladu s teorijom jednostavnog savijanja, rezultirajuća sila otpora »P« može se očekivati da djeluje na 1/3 udaljenosti između donje ivice prečke i donje ivice moždanika. Čvrstoća na zakretanje može se proračunati i rezultati su podjednaki s onima koji su dobiveni eksperimentalno.

Savitljivost spojeva na plošno zakretanje bila je mnogo veća nego na bočno zakretanje. — Prečka debljine 19,05 mm bila je 4,7 puta savitljivija. Spojevi sa zazorom bili su 35 do 40 puta savitljiviji. Zbog svoje savitljivosti, djelovanje takvih spojeva na čvrstoću plošnog zakretanja struktura čiji su oni dijelovi mogu prouzročiti praktičnu neupotrebljivost tih konstrukcija.

### 3.4 Diskusija

U prvom dijelu prikaza čvrstoće spoja čepom i moždanicima, prikazane su situacije koje teoretski korektno interpretiraju pojave u spoju pri jednostavnom statičkom opterećenju prečke, odnosno horizontalnog štapa. Takvo opterećenje prisutno je uglavnom kod jednostavnih konstrukcija namještaja za odlaganje. Kod namještaja za sjedenje, npr. stolica, naslonjača, te kod stolova, kreveta i sl., gdje su prikazani tipovi spojeva

najčešći, redovito su prisutna mnogo složenija opterećenja, što proračun čini znatno kompliciranijim, a samim tim manje podesnim za praktičnu upotrebu. Istraživanja A. C. Eckelmana su nedvojbeno pokazala da neki činioci karakteristika prikazanih spojeva, kao npr. zazori, znatno utječu na čvrstoću spoja, te da ih je nužno kvantificirati i uključiti u proračune. Uz rezultate

istraživanja bilo bi korisno poznavati i sliku lomova nastalih pri navedenim opterećenjima za pojedine skupine uzoraka,

(Nastavak u idućem broju)

Recenzenti:

doc. dr. Boris Ljuljka, dipl. ing.



# Kordun

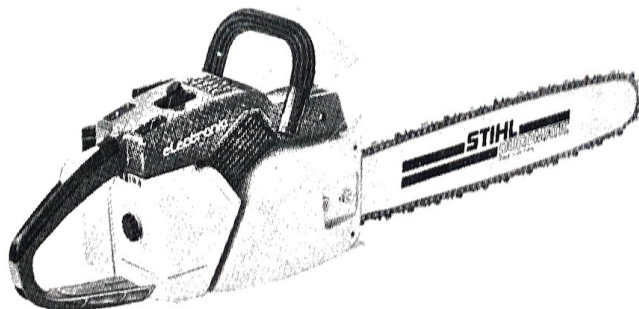
KARLOVAC,  
Matka Laginje 10

TVORNICA METALNIH PROIZVODA

TELEFONI: centrala 23-107, 23-314, 23-439, 23-066 direktor 23-440

● Telex: 23-727 »Kordun« - Karlovac ● Brzojavi: »KORDUN« - Karlovac

Poštanski pretinac 75



Otpočeli u 1978. godini proizvodnju motornih lančanih pila u kooperaciji s tvrtkom STIHL — SR Njemačka i njezinim generalnim zastupnikom »Unikomerc« — Zagreb, OOUR »Tehnika«

Dugoročna kooperacija omogućuje kvalitetniju snabdjevenost tržišta i oslobađa uvoza.

**Molimo naše poslovne prijatelje da nas posjete na našem štandu na Zagrebačkom proljetnom velesajmu.**