

## BOČNO IZVIJANJE ČELIČNOG I NOSAČA DEFORMABILNOG POPREČNOG PRESEKA

*Hajdin Nikola i Ćorić Branislav*

### 1. Uvod

Problem stabilnosti punih čeličnih nosača i njihovih delova, kao što su rebra i pojasevi, star je gotovo toliko koliko i projektovanje ove vrste konstrukcija. Ova oblast bila je i ostala predmet velikog naučnog interesa. Do unazad dve decenije ta razmatranja kretala su se kako u oblasti nauke tako i njene primene na osnovama-takozvane linearne, elastične teorije stabilnosti.

Praktična iskustva na gotovim objektima, a zatim eksperimentalna i teorijska istraživanja ukazala su da ovaj prilaz ne daje u čitavom nizu problema zadovoljavajuću odgovor. Stvarna nosivost čeličnih konstrukcija odstupala je od teorijskih rezultata u čitavom nizu slučajeva, nažalost ne uvek na strani sigurnosti.

Novija istraživanja, prevashodno eksperimentalna, izmenila su u mnogo čemu shvatanja u ovoj oblasti. Broj i značaj tih istraživanja narastao je do te mere da su ovi rezultati uneti i u nove propise za čelične konstrukcije većeg broja zemalja (V. Britanije, Švajcarske, ČSSR, SAD itd.).

Međutim, postoji još čitav niz problema stabilnosti čeličnih nosača koji još nisu dovoljno ispitani i na kojima se intenzivno radi. Jedan od takvih problema je i problem bočnog izvijanja čeličnog I nosača deformabilnog poprečnog preseka. Predmet ovoga rada upravo je teorijska i eksperimentalna analiza bočnog izvijanja nosača pri čemu dolazi do deformacije, odnosno promene oblika poprečnog preseka.

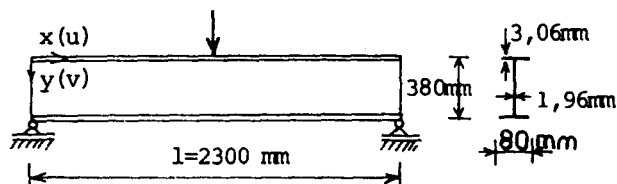
### 2. Eksperimentalna i teorijska analiza

Osnovna karakteristika savremenog prilaza ovoj problematici je eksperimentalno ispitivanje epruveta do konačnog loma, uzimajući u obzir elastične i plastične deformacije u takozvanoj postkritičnoj oblasti.

Ukupno je ispitivano pet nosača sistema viljuškasto oslonjene grede (Sl. 1)

Debljina vertikalnog lima ( $tr$ ) varirala je od 2.—5. mm, debljina pojasa od 3.—10. mm, a širina pojasa ( $b$ ) od 80.—100 mm.

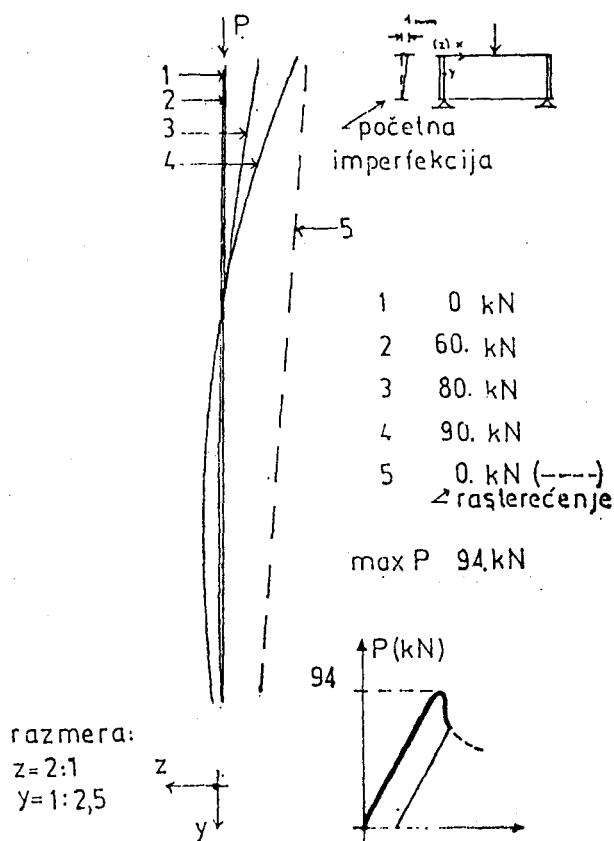
Eksperimentalni rezultati za jedan od nosača sa debljinom vertikalnog lima  $tr=5$ . mm, prikazani su na slici br. 2.



Sl. 1.

Usled neizbežnih početnih nepravilnosti (imperfekcija) u geometriji nosača i načinu nanošenja opterećenja, odmah po nanošenju opterećenja dolazi i do malog

NOSAČ C/3/3  
deformacija poprečnog preseka  
ispod sile P



bočnog pomeranja nosača, koje se sa povećanjem vertikalnog opterećenja sve više uvećava. Kako se sa ove slike vidi, u toku opita praćena je (pomoću plotera) promena oblika vertikalnog lima u sredini nosača sa prirastom sile. Takođe je grafički registrovano povećanje opterećenja sve do dostizanja kritične sile. Kada je kritična sila dostignuta, vidi se da sa povećanjem deformacija na nosaču dolazi do pada sile.

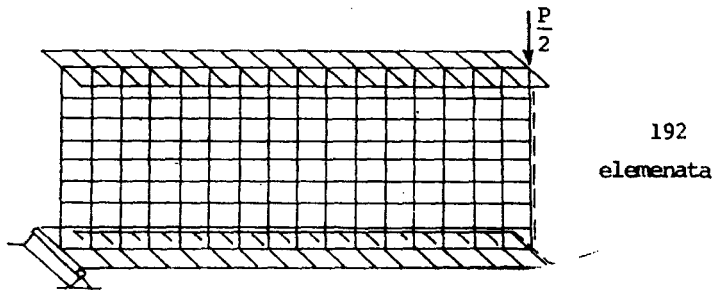
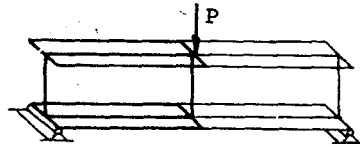
Teorijska istraživanja bočnog izvijanja nosača deformabilnog poprečnog preseka relativno su novijeg datuma i vezana su u velikoj meri za primenu metode konačnih elemenata i metode traka. I u ovom radu pri teorijskoj analizi korišćena je metoda konačnih elemenata, a nelinearna analiza sprovedena je primenom inkrementalnog postupka. U tom cilju nosač, odnosno jedna njegova polovina, zamenjen je prostornim skupom od 192. pravougaona elementa, kako je to prikazano na Sl. 3

Rezultati ovako sprovedene nelinearne analize prikazani su na sledećim slikama. Na Sl. 4 prikazano je određivanje kritičnog opterećenja teorijskim putem i upoređenje sa eksperimentalnim rezultatima.

Dijagram normalnih napona duž nosača pri dostizanju kritičnog opterećenja prikazan je na Sl. 5, a oblik izvijanja nosača prikazan je na Sl. 7.

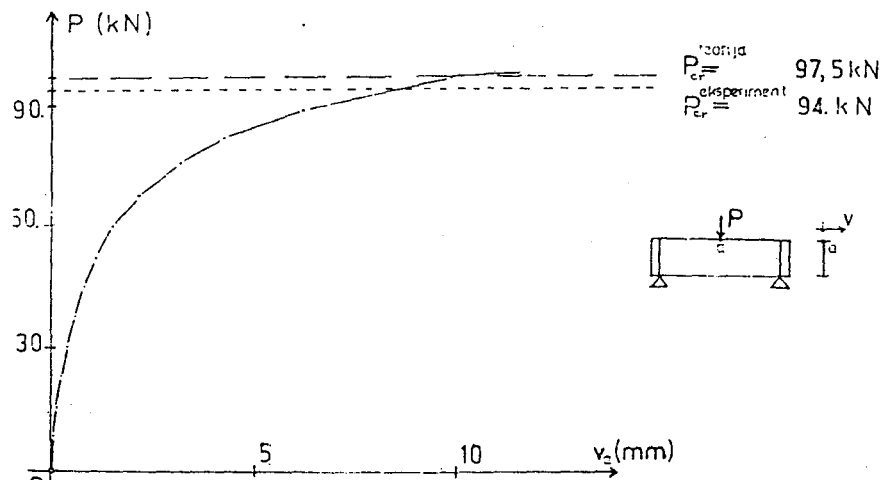
Kako se sa Sl. 6 vidi, za slučaj opterećenja koja su bliska kritičnom, priraštaji ugiba i obrtanja pojasa imaju približno konstantnu vrednost. Međutim, priraštaji bočnog pomeranja za ta opterećenja dobijaju ekcesne vrednosti (Sl. 4), što je i karakteristično za problem bočnog izvijanja nosača.

Osim normalnih napona koji se javljaju usled savijanja nosača u svojoj ravni, javljaju se i normalni naponi usled bočnog savijanja nosača. Ovi naponi čak premašuju po apsolutnoj vrednosti normalne napone usled savijanja u ravni nosača (Sl. 8).



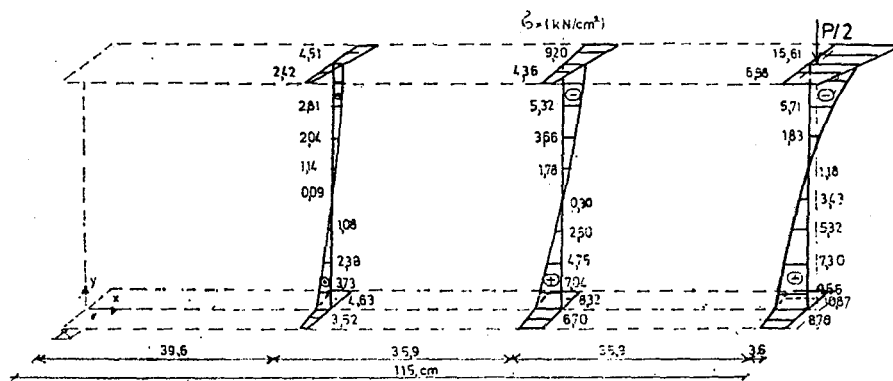
Sl. 3

NOSAČ C/3/3 Bočno pomeranje gornjeg pojasa  
ispod sile  $P$



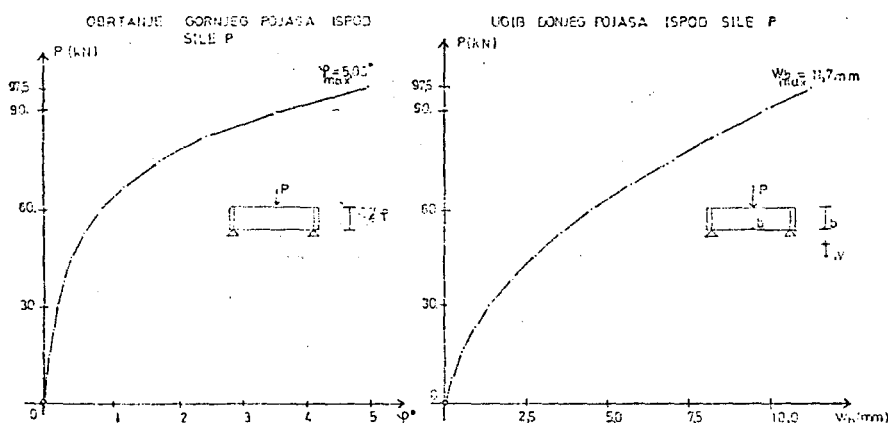
Sl. 4

NOSAČ C/3/3 Dijagram  $\sigma_x$  napona pri  $P=97,5$  kN.



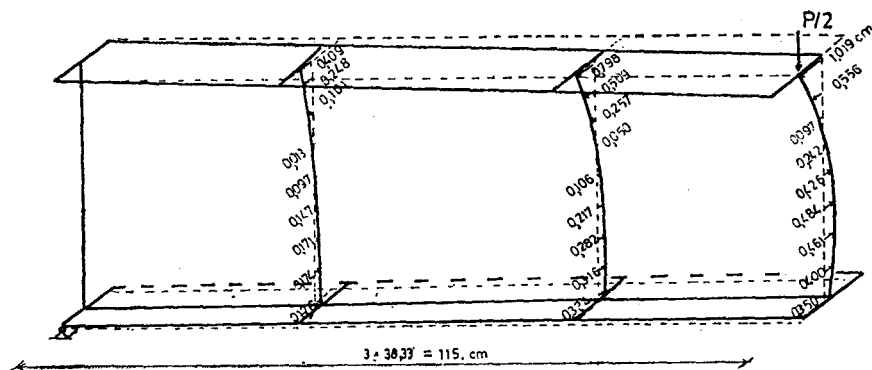
Sl. 5

NOSAČ C/3/3



Sl. 6

Bočno pomeranje nosača C/3/3 pri  $P=97,5$  kN



RAZMERA:  
za dužine 1:5  
za bočna pomeranja 1:1

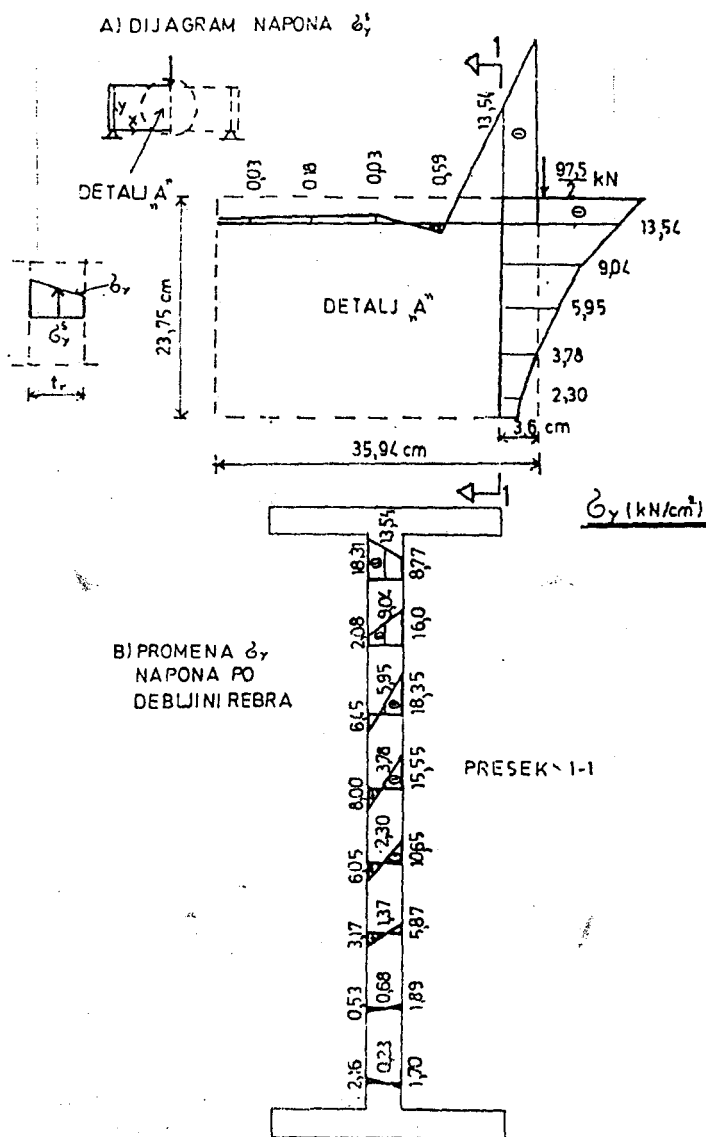
Sl. 7

Na Sl. 9 izvršeno je upoređenje eksperimentalnih rezultata za nosače koji se razmatraju u ovom radu sa rezultatima koji su prikazani u radu (4). U tom radu dati su eksperimentalni rezultati za nosače sa nedeformabilnim poprečnim presekom. Kako se iz ove slike vidi, nosači sa deformabilnim poprečnim presekom imaju znatno manju nosivost u odnosu na nosače sa nedeformabilnim poprečnim presekom.

### 3. Zaključak

— Problem bočnog izvijanja nosača nedeformabilnog poprečnog preseka intenzivno je ispitivan i sa teorijskog i sa eksperimentalnog aspekta, i kao takav

### NOSAČ C/3/3



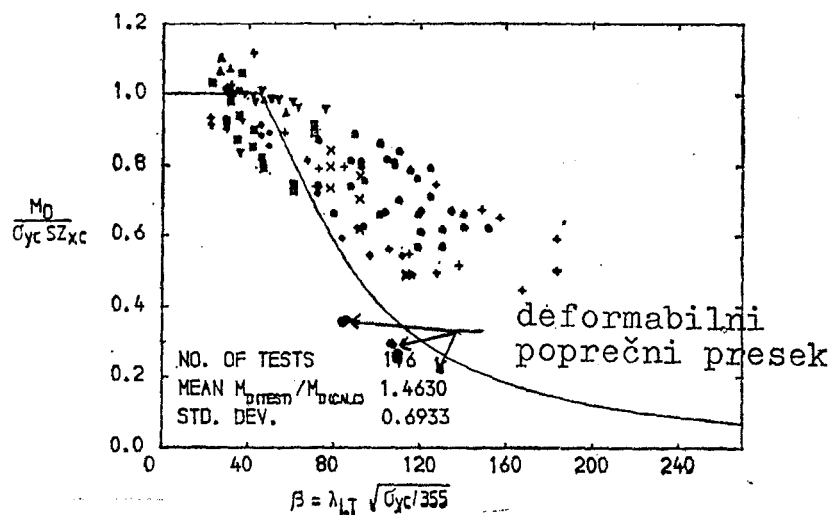
Sl. 8

našao je svoje mesto u propisima o stabilnosti čeličnih konstrukcija. Međutim, kod nosača sa deformabilnim poprečnim presekom situacija je sasvim drugačija. Na njemu se tek poslednjih godina intenzivno radi.

— Kako je pokazano u ovom radu, nosači sa deformabilnim poprečnim presekom imaju znatno manju nosivost pri bočnom izvicanju u odnosu na nosače sa nedeformabilnim poprečnim presekom.

— Najispravniji put za teorijsku analizu ovog problema je primena nelinearne analize koja vodi računa o promeni oblika poprečnog preseka nosača i uzima u obzir početne imperfekcije vezane za geometriju nosača, način nanošenja opterećenja itd.

— Eksperimentalna istraživanja i rezultati u ovoj oblasti od bitne su važnosti za sagledavanje stvarnog ponašanja nosača pri bočnom izvicanju i za kontrolu dobijenih teorijskih rešenja.



Sl. 9

### Literatura

- [1] Akay, H. V., *At all, Local and Lateral Buckling of Frames*, Journal of Structural Division, ASCE, September 1977.
- [2] Johnson, C. P. — Vill, K. M., *Beam Buckling by Finite Element Procedure*, Journal of Structural Division, ASCE, March 1974.
- [3] Hancock, G. J., *Local Distortional and Lateral Buckling of I-Beams*, Journal of Structural Division, ASCE, November 1978.
- [4] Nethercot, D. A., *Design of Beams and Plate Girders — Treatment of Overall and Local Flange Buckling*, BS 5400, Draft for Public Comment, London, 1979.
- [5] Hajdin N., *Novija istraživanja stabilnosti limova i njihov uticaj na izmenu postojećih i budućih propisa*, Uvodni referat na 15. jugoslovenskom kongresu za rac. i prim. mehaniku, Kupari, juni 1981.
- [6] Ćorić B., *Teorijska i eksperimentalna analiza lokalnog i bočnog izvicanja čeličnog I nosača deformabilnog poprečnog preseka*, doktorska disertacije, Beograd 1982.

Akademik prof. Dr Nikola Hajdin, Građevinski fakultet, 11000 Beograd  
Dr Branislav Ćorić, asistent, Građevinski fakultet, 11000 Beograd