

PROJEKTOVANJE HLADNO OBLIKOVANIH ELEMENTA - nastavak

- Da ponovimo! Upotreba hladno oblikovanih presjeka u čeličnim konstrukcijama podrazumijeva rješavanje određenih problema koji nijesu uobičajeni kod konstrukcija sa vruće valjanim presjecima. Ovo uključuje:

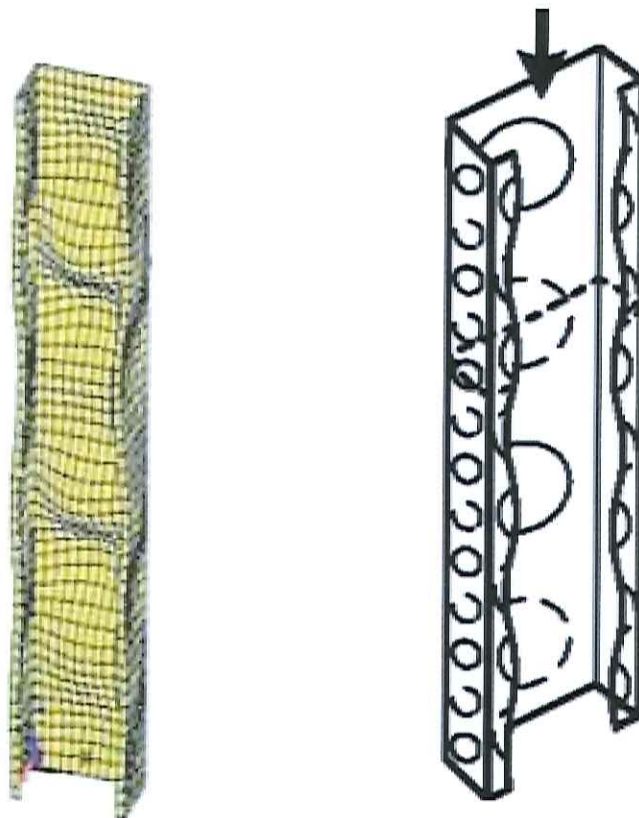


- nejednake osobine materijala usljed presavijanja,
 - zaobljene uglove i računanje geometrijskih karakteristika,
 - izbočavanje,
 - distorziono izbočavanje,
 - shear lag,
 - ugibanje nožice i
 - gnječenje, izbočavanje i izvijanje rebra.
- Sa druge strane, postupci proračuna stabilnosti:
 - fleksiono, torziono i torziono-fleksiono izvijanje,
 - bočno-torziono izvijanje i
 - savijanje i pritisak,

su suštinski isti kao u MEST EN 1993-1-1, sa određenim specifičnostima koji će se ovdje navesti, a koji su definisani u MEST EN 1993-1-3.

LOKALNO IZBOČAVANJE

- Lokalno izbočavanje pritisnutih dijelova elementa se u MEST EN 1993-1-3 primarno oslanja na standard MEST EN 1993-1-5: Puni limeni elementi. Uvodi se koncept efektivne širine (efektivne površine), kao što je to, prethodno, detaljno izloženo. Neefektivni dijelovi poprečnog presjeka se uklanjaju i geometrijske karakteristike se određuju na osnovu aktivnog ostatka presjeka.

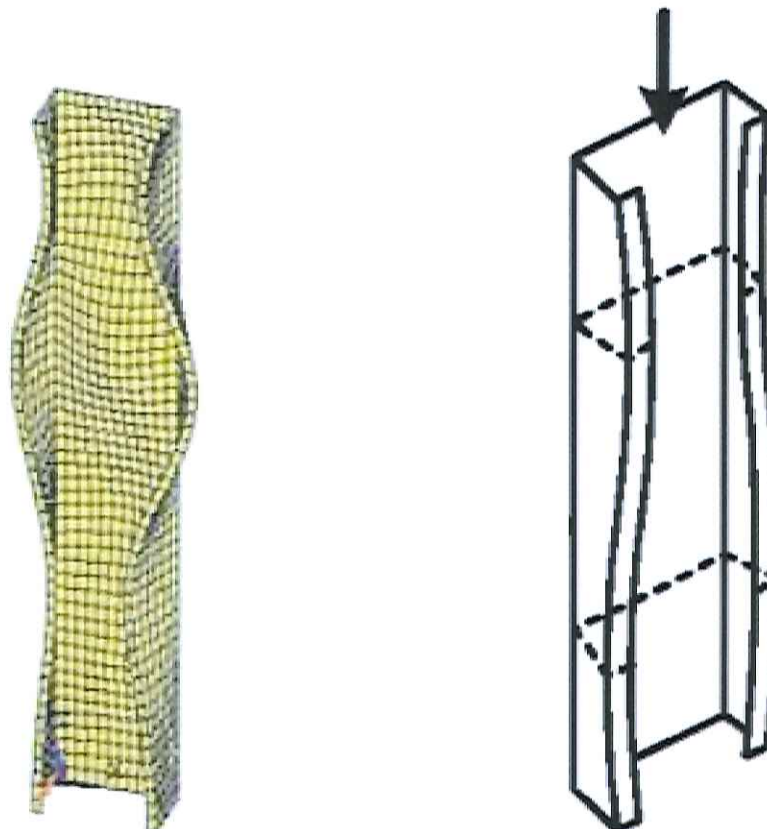
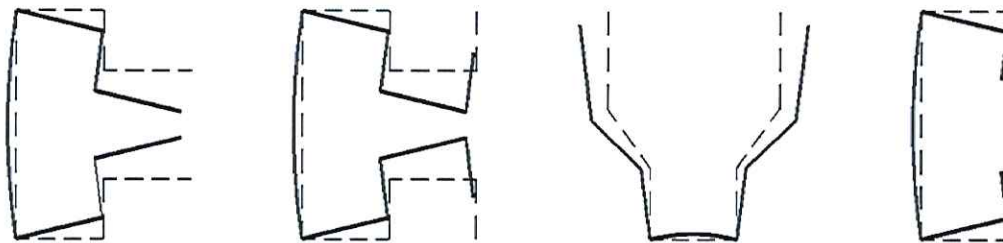


DISTORZIONO IZBOČAVANJE

- Fenomene: distorziono izbočavanje, shear lag, ugibanje nožice i gnječenje, izbočavanje i izvijanje rebra, nećemo detaljno razmatrati i analizirati proračune nosivosti u okviru ovoga predmeta. Detalji provjera i proračuna daju se u MEST EN 1993-1-3 i preporučenoj literaturi. O ovome će se više govoriti na magistarskim studijama, studijskog programa Građevinarstvo - Konstrukcije na modulu Čelične, spregnute i drvene konstrukcije.

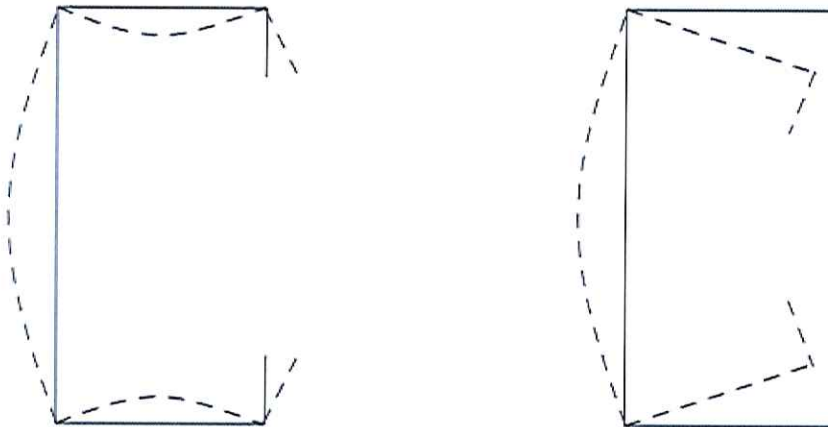
ČELIČNE KONSTRUKCIJE II PREDAVANJE 02

- Distorziona izbočavanje se javlja kada ivična ili srednja ukrućenja ne mogu da zadrže pomjeranja čvora, ili distorziono izbočavanje se dešava kada tankozidni elementi nemaju dovoljnu krutost na savijanje njihovih pojedinih djelova, u ravni poprečnog presjeka, pa usljed napona pritiska dolazi do torzionog gubitka stabilnosti krajeva poprečnog presjeka. Pojednostavljeno - ivična ukrućenja i/ili međuukrućenja se izvijaju slično fleksionom izvijanju.

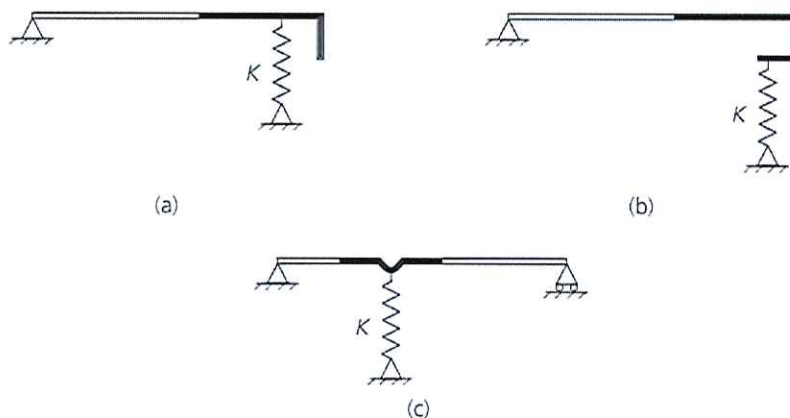


ČELIČNE KONSTRUKCIJE II PREDAVANJE 02

- Na sljedećoj slici vidi se razlika u deformisanoj figuri elementa sa lokalnim izbočavanjem i distorzionim izbočavanjem, u slučaju čistog pritiska.



- Postupak provjere elementa na distorziono izbočavanje zasniva se, takođe na određivanju efektivnog poprečnog presjeka ivičnih i/ili međuukrućenja i izračunavanju odgovarajućih geometrijskih karakteristika na osnovu kojih se dalje određuje nosivost i stabilnost konstruktivnog elementa.
- Proračun se zasniva na pretpostavci da se ivično ili međuukrućenje ponaša kao pritisnuti štap sa kontinuiranim djelimičnim podužnim pridržavanjem, koje se predstavlja preko linearne opruge sa krutošću K . Smatra se da se opruga nalazi u težištu ukrućenja, kao što se prikazuje na sljedećoj slici.



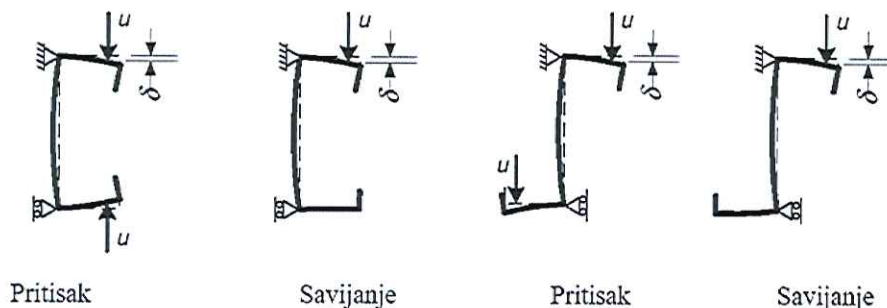
ČELIČNE KONSTRUKCIJE II PREDAVANJE 02

- Krutost opruge ukrućenja treba da se odredi primjenjujući jedinično opterećenje u po jedinici dužine. Krutost opruge K po jedinici dužine može se odrediti iz:

$$K = u / \delta$$

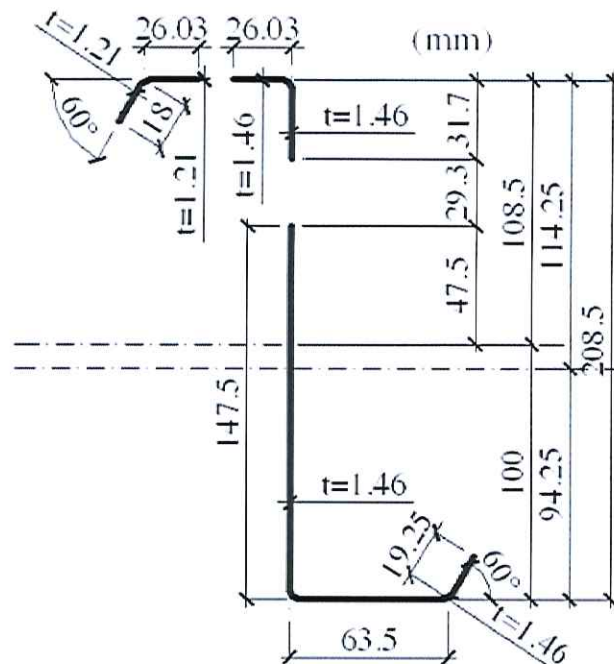
gdje je:

- δ ugib ukrućenja usljed jediničnog opterećenja u koje djeluje u težištu efektivnog dijela poprečnog presjeka.



- Postupak proračuna, da bi se dobio efektivni poprečni presjek ukrućenja, sastoji se iz tri koraka:
 - Sračuna se inicijalni efektivni poprečni presjek ukrućenja za lokalno izbočavanje (bez razmatranja distorzionog izbočavanja, tj. kao da je $K = \infty$).
 - Pomoću početnog efektivnog poprečnog presjeka ukrućenja odredi se redukcionni faktor za distorziono izbočavanje (fleksiono izvijanje ukrućenja), uzimajući u obzir uticaje kontinualnog pridržavanja oprugom. Na ovaj način dobija se novi efektivni presjek kojim je uključen fenomen distorzionog izbočavanja.
 - Po izboru, uradi se nekoliko iteracija da bi se poboljšale vrijednosti redukcionnog faktora za izvijanje ukrućenja.
- Rezultat na kraju postupka je smanjena debljina efektivnog presjeka ukrućenja t_{red} .

ČELIČNE KONSTRUKCIJE II
PREDAVANJE 02



- Za ovako dobijen konačni efektivni presjek, treba sračunati sve potrebne geometrijske karakteristike da bi se sračunala nosivost porečnog presjeka i nosivost na izvijanje elementa.

FLEKSIONO, TORZIONO I TORZIONO-FLEKSIONO IZVIJANJE

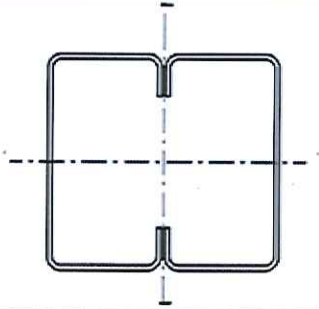
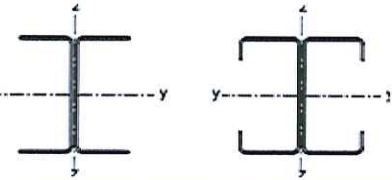

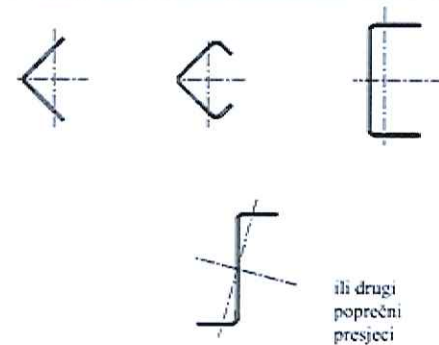
- Fleksiono izvijanje je glavni oblik izvijanja za pritisnute elemente u tipičnim konstrukcijama zgrada u kojima se primjenjuju konvencionalni vruće valjani presjeci. U lakoj konstrukciji, sa hladno oblikovanim presjecima, fleksiono izvijanje je mjerodavno za mnoge proračunske situacije, ali torziono i torziono-fleksiono izvijanje, takođe mogu biti mjerodavan oblik gubitka stabilnosti.



ČELIČNE KONSTRUKCIJE II

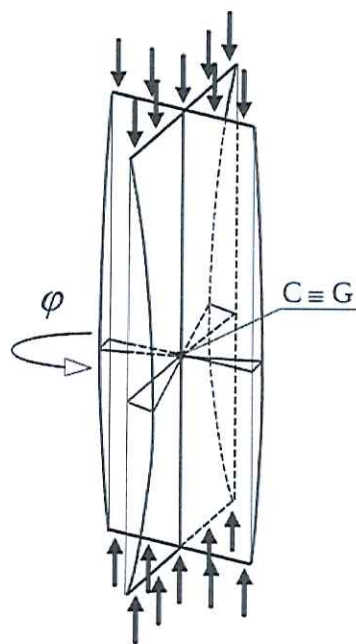
PREDAVANJE 02

- Odredbe standarda za fleksiono izvijanje u MEST EN 1993-1-3 su suštinski iste kao i one u MEST EN 1993-1-1, sa jedinom razlikom što se za odabir krivih izvijanja koristi sljedeća tabela (u kojoj su obuhvaćene razne vrste hladno oblikovanih poprečnih presjeka).

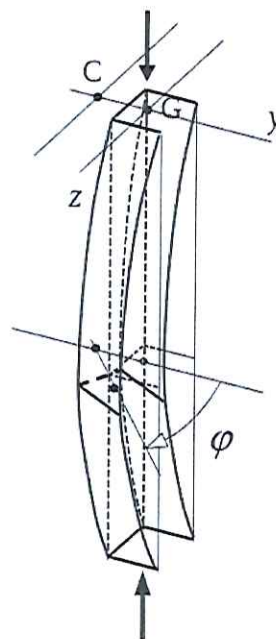
Vrsta poprečnog presjeka	Izvijanje oko ose	Kriva izvijanja	
	Ako se koristi f_{y0}	Bilo koja	b
	Ako se koristi f_{y0}^*	Bilo koja	c
	y-y	a	
	z-z	b	
	Bilo koja	b	
 ili drugi poprečni presjeci	Bilo koja	c	

* Prosječna granica razvlačenja f_{y0} , ne treba da se koristi osim ako je $A_{eff} = A_s$.

- Torziono izvijanje predstavlja čisto uvrtanje poprečnog presjeka, i dešava se samo u centrično opterećenim elementima koji su osno simetrični i imaju nisku torzionu krutost (npr. krstasti presjeci).
- Torziono-fleksiono izvijanje je opštiji odgovor koji se javlja kod centrično opterećenih elemenata sa jednom osom simetrije čije se težište i centar smicanja ne poklapaju (npr. U poprečni presjek).

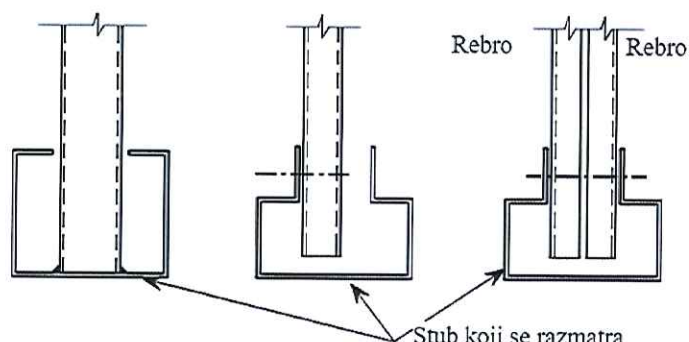


a) Torsional buckling



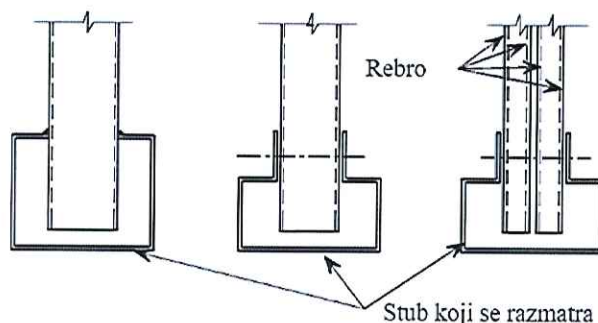
b) Flexural-torsional buckling

- Proračunska otpornost na izvijanje za torziono ili torziono-fleksiono izvijanje treba da se odredi prema MEST EN 1993-1-1, primjenom odgovarajuće krive izvijanja za izvijanje oko z-z ose (prethodna tabela).
- Dužina izvijanja l_T za torziono ili torziono-fleksiono izvijanje treba da se odredi uzimanjem u obzir stepena pridržavanja na torziju i ograničenu torziju na svakom kraju sistemske dužine L_T .
- Za praktične spojeve na svakom kraju, vrijednost l_T/L_T može se uzeti kako slijedi:
 - 1,0 za spojeve koji omogućavaju djelimično uklještenje na torziju i ograničenu torziju, vidjeti sljedeću sliku;
 - 0,7 za spojeve koji omogućavaju značajno uklještenje na torziju i ograničenu torziju, vidjeti sljedeću sliku.



a) spojevi koji omogućavaju djelimično uklještenje na torziju i ograničenu torziju

Šuplji presjeci ili presjeci sa zavrtnjevima koji prolaze kroz dva rebra po elementu



b) spojevi koji omogućavaju značajno uklještenje na torziju i ograničenu torziju

BOČNO-TORZIONO IZVIJANJE

- Proračunski moment nosivosti na bočno-torziono izvijanje elementa treba da se odredi prema odredbama MEST EN 1993-1-1, korišćenjem krive izvijanja b .

SAVIJANJE I AKSIJALNI PRITISAK

- Interakcija između aksijalne sile i momenta savijanja može da se odredi primjenom analize drugog reda elementa (kako je navedeno u MEST EN 1993-1-1), koja se zasniva na karakteristikama efektivnog poprečnog presjeka.
- Kao alternativa se može koristiti interakciona formula

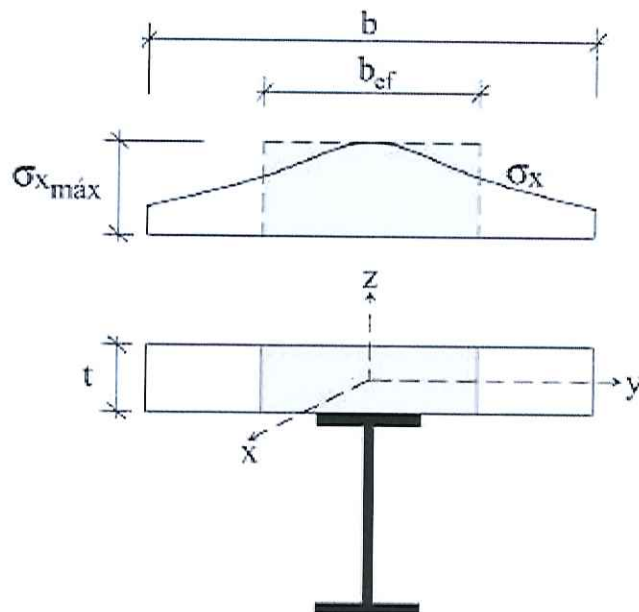
$$\left(\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \right)^{0,8} + \left(\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \right)^{0,8} \leq 1,0$$

- $N_{b,Rd}$ predstavlja proračunsku otpornost na izvijanje pritisnutog elementa s obzirom na fleksiono, torziono ili torziono-fleksiono izvijanje, $M_{b,Rd}$ je proračunska nosivost na savijanje s obzirom na bočno-torziono izvijanje i M_{Ed} uključuje efekte pomjeranja neutralne ose, ako su relevantni.

SHEAR LAG

- Shear lag je pojava karakteristična za širokopojasne elemente i ogleda se u različitom intenzitetu normalnih napona po širini poprečnog presjeka. Ova pojava je znatno izraženija kod punih limenih nosača (naročito kod široko pojasnih nosača mostova), nego kod hladno oblikovanih presjeka.

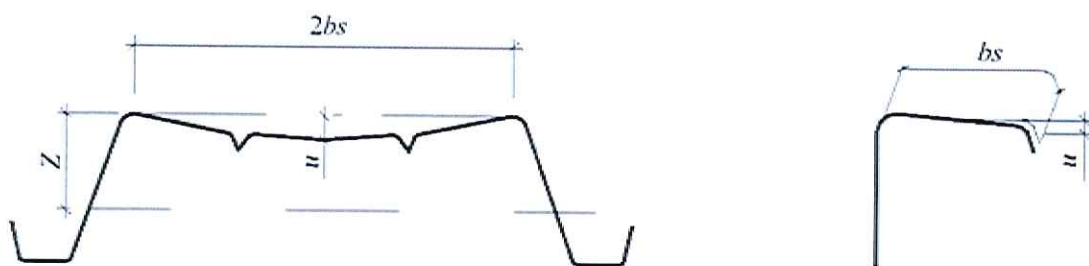
ČELIČNE KONSTRUKCIJE II PREDAVANJE 02



- U slučaju pojave shear lag-a proračun se, takođe svodi na proračun odgovarajućeg efektivnog presjeka.
- U MEST EN 1993-1-3 se ne daju specifična uputstva vezana za shear lag. Kaže se da se ovaj efekat treba uzeti u obzir u skladu sa MEST EN 1993-1-5: Puni limeni elementi.
- U MEST EN 1993-1-5 kaže se da se efekat shear lag-a može zanemariti ako je odnos $b_0 < L_e / 50$, gdje je L_e dužina između tačaka nula momenata. Širina nožice b_0 je definisana kao spoljašnja širina nožice, mjerena od rebra do kraja nožice ili pola širine unutrašnjeg dijela nožice.

UGIBANJE NOŽICE

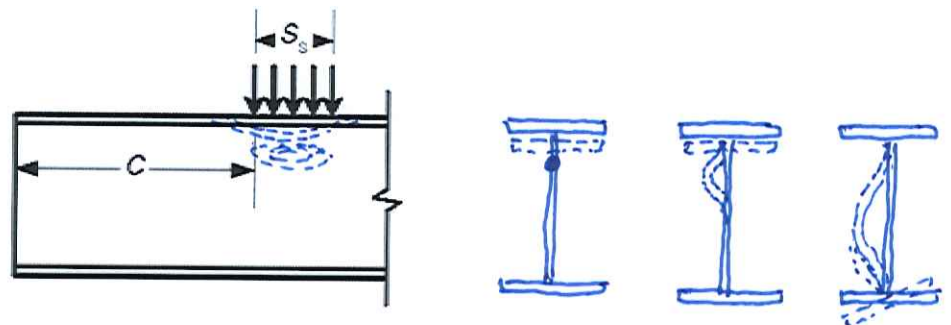
- Kod presjeka sa širokim nožicama može doći do deformacije poprečnog presjeka, bilo od sopstvene težine nožice, bilo od nesavršenosti izrade konstruktivnih elemenata. Ovaj fenomen se naziva ugibanje nožice (flange curling).



- Uticaj ugibanja veoma široke nožice na nosivost presjeka ne treba uzeti u obzir ukoliko je takvo ugibanje manje od 5% od visine poprečnog presjeka profila. Ukoliko je ugibanje veće, onda redukciju nosivosti, na primjer zbog smanjenja kraka sile za djelove širokih nožica, i mogućeg uticaja savijanja rebara, treba uzeti u obzir.
- U MEST EN 1993-1-3, daje se jednostavna procedura za proračun ugibanja nožice u .

GNJEČENJE, IZBOČAVANJE I IZVIJANJE REBRA

- Poprečno opterećena rebra vitkih proporcija, koja su uobičajene za hladno oblikovane presjeke, podložna su oblicima loma kao što su gnječenje rebra, izbočavanje dijela rebra (ulublјivanje) i izvijanje rebra (izbočavanje cijelog rebra).



- Gnječenje rebra podrazumijeva tečenje materijala rebra u neposrednoj blizini nožice, a što za posljedicu ima i savijanje nožice prema dolje. Ulublјivanje rebra predstavlja oblik loma kada se izboči dio rebra ispod opterećenja praćen sa gnječenjem rebra i plastičnom deformacijom nožice. Gubitak nosivosti poprečno opterećenog rebra može, takođe da bude posljedica cjelokupnog izvijanja rebra ili izbočavanja po cijeloj visini rebra, gdje se rebro ponaša kao pritisnuti element.
- Proračun lokalne nosivosti rebra na transverzalnu silu $R_{w,Rd}$ podrazumijeva kategorizaciju poprečnog presjeka i određivanje niza konstanti koje se odnose na svojstva poprečnog presjeka i detalje opterećivanja. Detaljni postupak proračune dat je u MEST EN 1993-1-3.