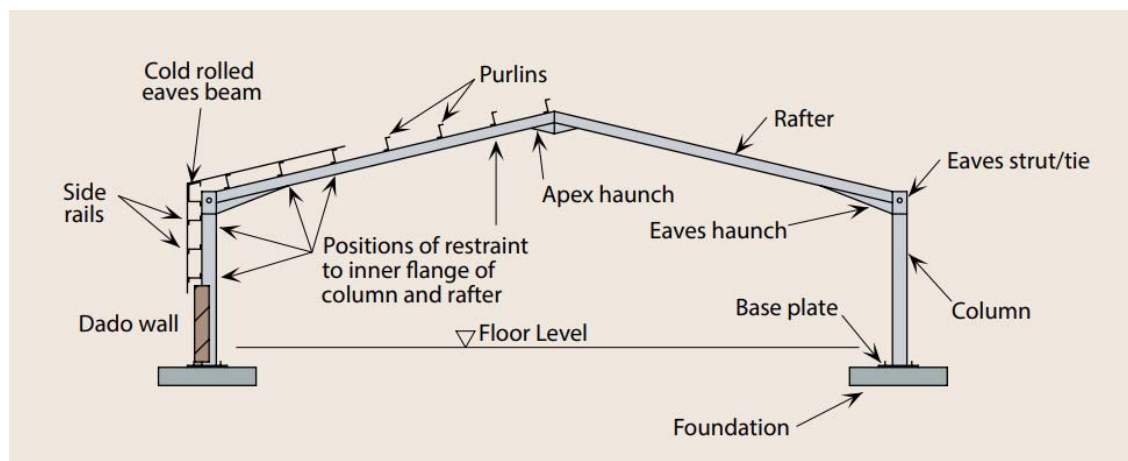
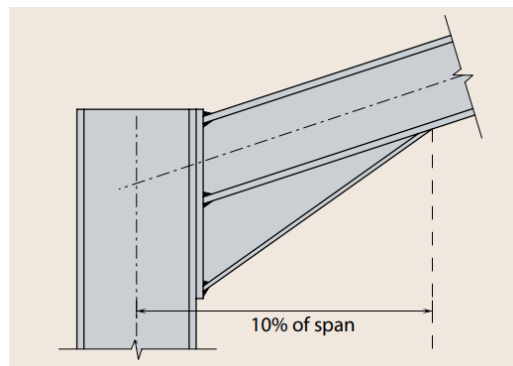


## GLAVNI NOSAČI - PORTALNI RAMOVI

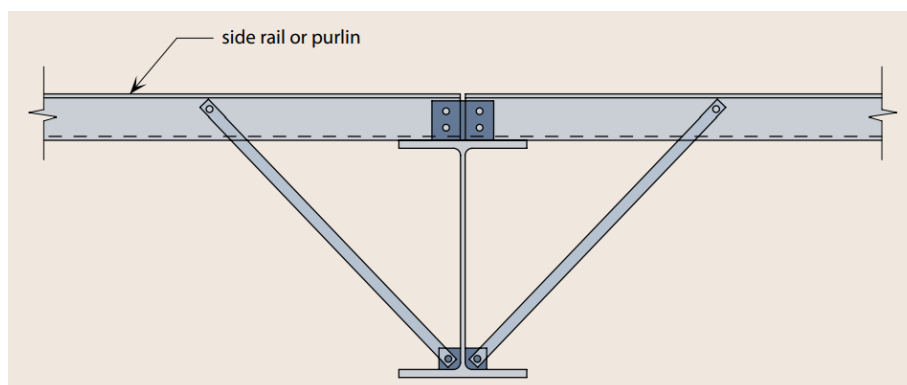
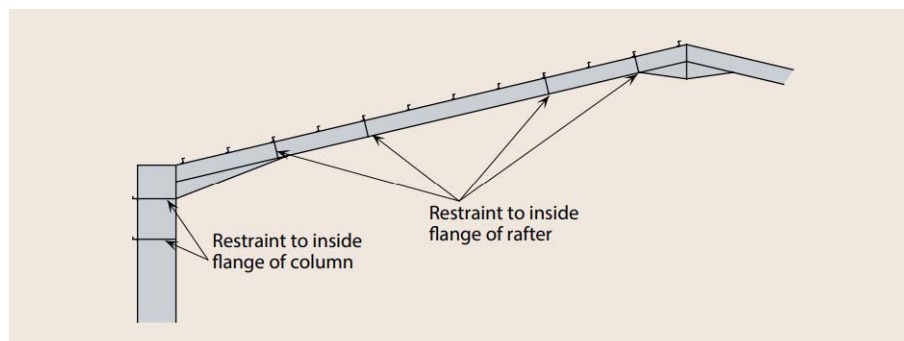
- U prvim predavanjima, kada se govorilo o rješavanju dispozicije konstruktivnih elemenata industrijske hale, navedene su osnovne karakteristike glavnih nosača. Sada, u nastavku, obratiće se pažnja na specifičnosti projektovanja glavnih nosača, a koje nisu obrađene u predmetima Čelične konstrukcije I i II.
- Osnovni konstruktivni sistemi u kojima se projektuju glavni nosači industrijskih hala su:
  - portalni ramovi i
  - rešetke.
- U prvom dijelu biće više riječi o portalnim ramovima.
- Jednobrodi portalni ram se obično sastoji od dva stuba i dvije krovne rigle koje formiraju krov hale, kao što se prikazuje na sljedećem crtežu. Rigle se obično projektuju sa vutama.



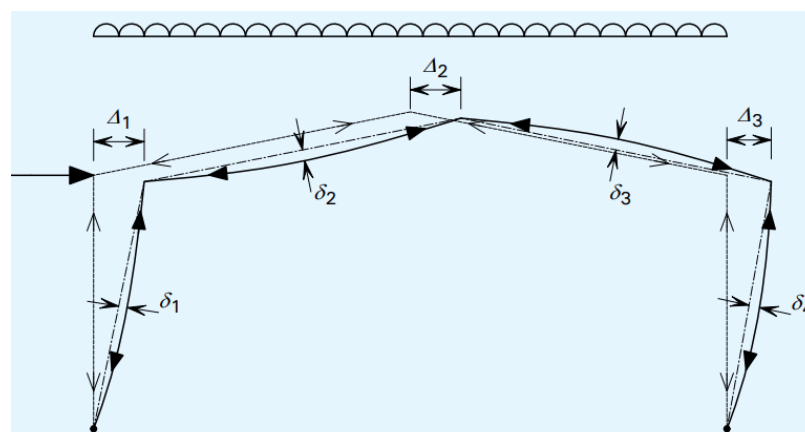
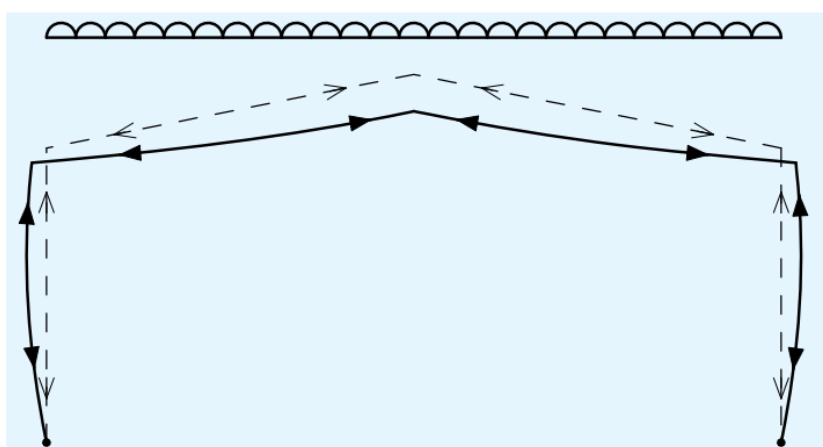
- Na sljedećoj skici, vidi se veza stuba sa riglom i vutom sa preporučenom dužinom vute ( $0.1 \times$  raspon portalnog rama).



- Kada se projektuje portalni ram, treba voditi računa o dijelovima koji su osjetljivi na razne oblike gubitka stabilnosti. Tačke spoja gornje nožice rigle i rožnjača, kao i spoljašnje nožice stuba i fasadnih rigli se smatraju tačkama bočnog pridržavanja. Međutim potrebno je konstruktivno bočno i torziono pridržati i nožice na suprotnim stranama u određenom broju tačaka. Na sljedećim skicama se prikazuju preporučena mjesta na kojima rožnjače i fasadne rigle treba da obezbijede ovo pridržavanje. Prikazuje se i sistem koji se najčešće primjenjuje sa gredom sa podupiralom.



- Raspon portalnog rama može biti više desetina metara. Takođe i visina stubova može biti znatna. Problem o kome se mora voditi računa, kada se analizira ovakav sistem, je izuzetna fleksibilnost i bočna pomjerljivost sistema. Velike deformacije, mogu uticati na povećanje presječnih sila u rama, pa se u određenim situacijama treba sprovesti analiza koja uzima u obzir deformisanu geometriju.
- Na sljedećim skicama, prikazuju se simetrične deformacije portalnog rama usljed vertikalnog opterećenja i asimetrične deformacije ili bočno pomjeranje rama usljed horizontalnog i vertikalnog opterećenja.



## GLOBALNA ANALIZA

### *Uticaji deformisane geometrije konstrukcije*

- Presječne sile i momenti mogu se u opštem slučaju odrediti koristeći:
  - analize prvog reda, koristeći početnu geometriju konstrukcije, ili
  - analize drugog reda, uzimajući u obzir uticaj deformacija konstrukcije.
- Uticaje deformisane geometrije (uticaje drugog reda) treba razmatrati ako oni značajno povećavaju uticaje od dejstava ili značajno mijenjaju ponašanje konstrukcije.
- Kod ekonomski dobro dimenzionisanih ramova vjerovatno će sistem biti osjetljiv na efekte drugog reda. Proračunski momenti, u ovim slučajevima mogu biti i do 15 % veći u odnosu na momente sračunate po teoriji prvog reda. U preliminarnoj analizi poprečnih presjeka stuba i rigle, ovo se može uzeti u obzir.
- Analiza portalnog rama po teoriji prvog reda može da se koristi, ako povećanje relevantnih unutrašnjih sila i momenata ili druge promjene u ponašanju konstrukcije, izazvane deformacijama, mogu da se zanemare. Može se smatrati da je ovaj uslov ispunjen, ako je zadovoljen sljedeći kriterijum:

$$\alpha_{cr} = \frac{F_{cr}}{F_{Ed}} \geq 10 \text{ za elastičnu analizu}$$

$$\alpha_{cr} = \frac{F_{cr}}{F_{Ed}} \geq 15 \text{ za plastičnu analizu}$$

gdje je:

$\alpha_{cr}$  faktor kojim bi trebalo povećati proračunsko opterećenje da bi se izazvala elastična nestabilnost globalnog oblika;

$F_{Ed}$  proračunsko opterećenje koje djeluje na konstrukciju;

$F_{cr}$  elastično kritično opterećenje izvijanja za opšti oblik gubitka stabilnosti, zasnovano na početnoj elastičnoj krutosti.

- Viša granica  $\alpha_{cr}$  za plastičnu analizu je data, u prethodnoj jednačini, jer ponašanje konstrukcije može, u graničnom stanju nosivosti, biti pod značajnim uticajima nelinearnih svojstava materijala (npr. kada se na ramovskom nosaču formiraju plastični zglobovi uz preraspodjelu momenata ili kada se javljaju značajne nelinearne deformacije usljed polukrutih veza).
- Pojednostavljenje se uvodi za portalne ramove sa blagim nagibom krova i ravanske ramove tipa greda-i-stub u zgradama. U ovim slučajevima može da se koristi teorija prvog reda, ukoliko je prethodni kriterijum zadovoljen za svaki sprat. Pod uslovom da aksijalni pritisak u gredama ili krovnim riglama nije značajan, to se dokazuje korišćenjem sljedećeg približnog izraza za  $\alpha_{cr}$ :

$$\alpha_{cr} = \left( \frac{H_{Ed}}{V_{Ed}} \right) \left( \frac{h}{\delta_{H,Ed}} \right)$$

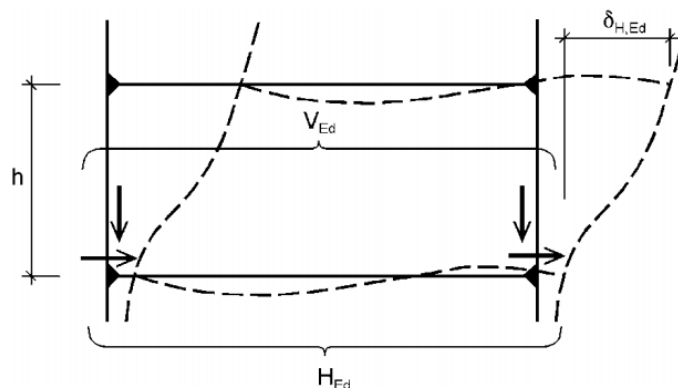
gdje je:

$H_{Ed}$  ukupno horizontalno proračunsko opterećenje uključujući ekvivalentne sile od imperfekcija (vidjeti u nastavku) koje prenosi sprat (spratno smicanje);

$V_{Ed}$  ukupno proračunsko vertikalno opterećenje rama koje prenosi sprat (spratno opterećenje);

$\delta_{H,Ed}$  horizontalno pomjeranje vrha sprata u odnosu na dno sprata, kada je ram opterećen horizontalnim opterećenjima (npr. vjetar) i fiktivnim horizontalnim opterećenjima koja djeluju u nivou svake međuspratne tavanice (vidjeti u nastavku);

$h$  visina sprata.



- Smatra se da je blagi nagib krova kod portalnih ramova, u prethodnom pojednostavljenju, krov koji nije strmiji od 1:2 (26°).
- Takođe, aksijalni pritisak u gredama ili krovnim riglama **je** značajan ako je:

$$\bar{\lambda} \geq 0,3 \sqrt{\frac{A f_y}{N_{Ed}}}$$

gdje je:

$N_{Ed}$  proračunska vrijednost sile pritiska;

$\bar{\lambda}$  bezdimenzionalna vitkost u ravni sračunata za gredu ili rigle smatrajući ih zglobno oslonjenim na krajevima sistemske dužine mjerene duž greda ili rigli (razvijena dužina rigli).

### *Konstruktivska stabilnost ramova*

- Ako prethodni uslov za  $\alpha_{cr}$  nije zadovoljen, provjeru stabilnosti ramova ili njihovih djelova treba sprovesti vodeći računa o imperfekcijama i uticajima drugog reda.
- U skladu sa vrstom rama i globalnom analizom, uticaji drugog reda i imperfekcije mogu se uzeti u obzir na jedan od sljedećih načina:
  - oboje u potpunosti globalnom analizom;
  - djelimično globalnom analizom, a djelimično kroz provjeru pojedinačne stabilnosti elemenata (vidjeti provjeru stabilnosti konstruktivnih elemenata u Čeličnim konstrukcijama I).
- Uticaji drugog reda mogu da se sračunaju korišćenjem analize koja odgovara konstrukciji (uključujući korak-po-korak ili druge iterativne postupke).
- Za jednospratne ramove proračunate na osnovu elastične globalne analize (i po teorija prvog reda) uticaji bočnog pomjeranja drugog reda mogu da se sračunaju uvećanjem horizontalnih opterećenja  $H_{Ed}$  (npr. vjetra) i ekvivalentnih opterećenja  $V_{Ed}$   $\phi$ , usljed imperfekcija (vidjeti u nastavku) i drugih mogućih bočnih uticaja, faktorom:

$$\frac{1}{1 - \frac{1}{\alpha_{cr}}}$$

pod uslovom da je  $\alpha_{cr} \geq 3.0$ .

- I u ovom slučaju važi uslov da nagib krova treba da bude blag i da aksijalni pritisak u krovim riglama nije značajan.
- Kada je  $\alpha_{cr} < 3.0$ , primjenjuje se tačnija analiza drugog reda.

## IMPERFEKCIJE

- Pri analizi konstrukcije treba preduzeti odgovarajuće mjere da bi se obuhvatili uticaji imperfekcija neopterećene konstrukcije (uključujući zaostale napone i geometrijske imperfekcije), kao što su odstupanje od vertikalnosti, odstupanje od pravca, odstupanje od ravnosti, greške pri izradi i ekscentričnosti u vezama.

### *Imperfekcije za globalnu analizu ramova*

- Pretpostavljen oblik globalne imperfekcije može da se odredi na osnovu elastičnog oblika izvijanja konstrukcije u ravni razmatranog izvijanja.
- Za ramove osjetljive na bočno pomjerljiv oblik izvijanja, uticaje imperfekcija treba uračunati pri analizi ramova pomoću ekvivalentne imperfekcije u obliku početne imperfekcije zakošenja. Početne globalne imperfekcije zakošenja (sljedeći crtež) mogu da se odrede na sljedeći način:

$$\phi = \phi_0 \alpha_h \alpha_m$$

gdje je:

$\phi_0$  osnovna vrijednost:  $\phi_0 = 1/200$ ;

$\alpha_h$  faktor redukcije za visinu  $h$  koji se primjenjuje za stubove:

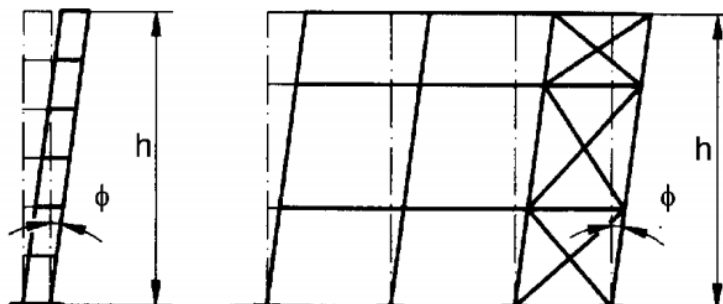
$$\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{h}} \text{ ali } \frac{2}{3} \leq \alpha_h \leq 1,0$$

$h$  visina konstrukcije u metrima;

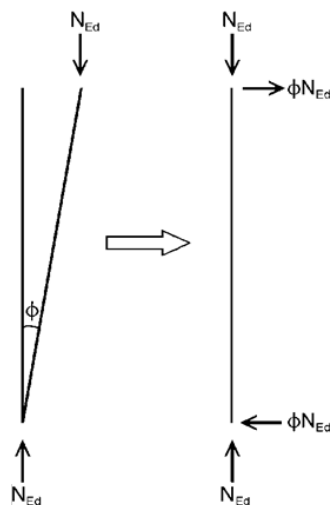
$\alpha_m$  faktor redukcije za broj stubova u redu:

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 \left( 1 + \frac{1}{m} \right)}$$

$m$  broj stubova u redu uključujući samo one stubove koji nose vertikalno opterećenje  $N_{Ed}$  ne manje od 50% prosječne vrijednosti po stubu u vertikalnoj ravni koja se razmatra.

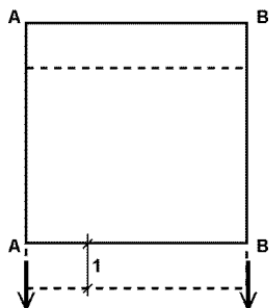


- Fiktivna horizontalna sila, usljed imperfekcije zakošenja, određuje se kao na sljedećoj skici:

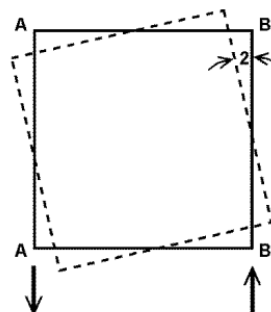




- Ove početne imperfekcije zakošenja treba da se primijene u svim relevantnim horizontalnim pravcima, ali ih istovremeno treba razmatrati samo u jednom pravcu.
- Takođe treba da se razmotre mogući torzioni uticaji na konstrukciju usljed antisimetričnog bočnog pomjeranja na dvije suprotne strane, vidjeti sljedeću sliku:



(a) Strane A-A i B-B bočno se pomjeraju u istom smjeru



(b) Strane A-A i B-B bočno se pomjeraju u suprotnim smjerovima

- 1 translatorno bočno pomjeranje
- 2 rotaciono bočno pomjeranje

## METODE ANALIZE KOJE UZIMAJU U OBZIR MATERIJALNE NELINEARNOSTI

### Opšte

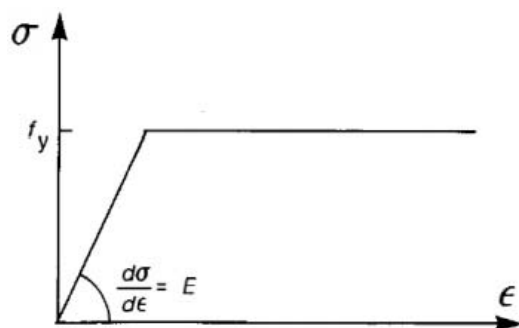
- Unutrašnje sile i momenti mogu da se odrede primjenom:
  - elastične globalne analize (prvog ili drugog reda) i;
  - plastične globalne analize.
- Elastična globalna analiza može da se koristi u svim slučajevima.
- Plastična globalna analiza može da se koristi samo kada konstrukcija ima dovoljan kapacitet rotacije na stvarnim mjestima plastičnih zglobova bilo da su oni u elementima ili vezama.

### *Elastična globalna analiza*

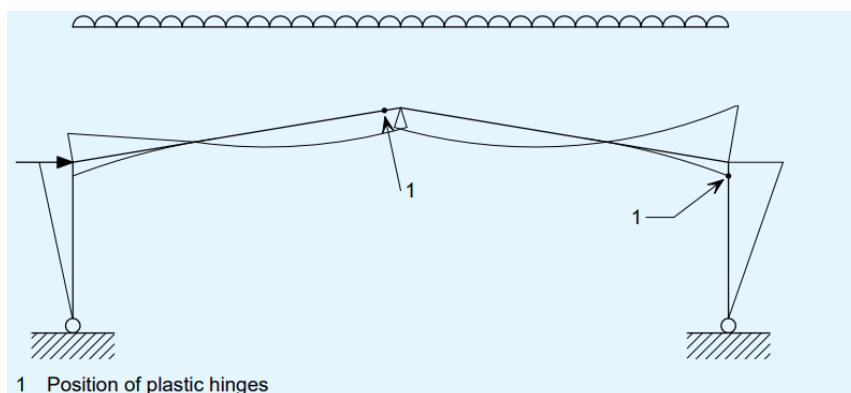
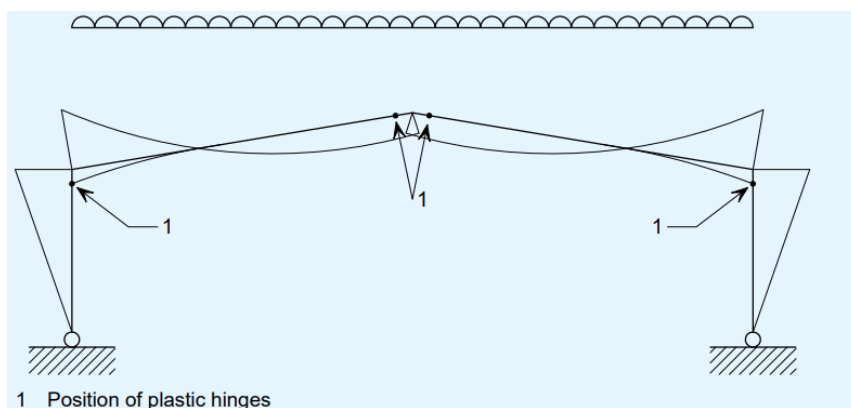
- Elastična globalna analiza treba da se zasniva na pretpostavci da je veza napon-dilatacija linearna bez obzira na nivo naprezanja.
- Unutrašnje sile i momenti mogu biti sračunati primjenom elastične globalne analize čak i kada se nosivost poprečnog presjeka zasniva na plastičnoj nosivosti.
- Elastična globalna analiza, takođe može da se koristi za poprečne presjeke čija je nosivost ograničena lokalnim izbočavanjem.

### *Plastična globalna analiza*

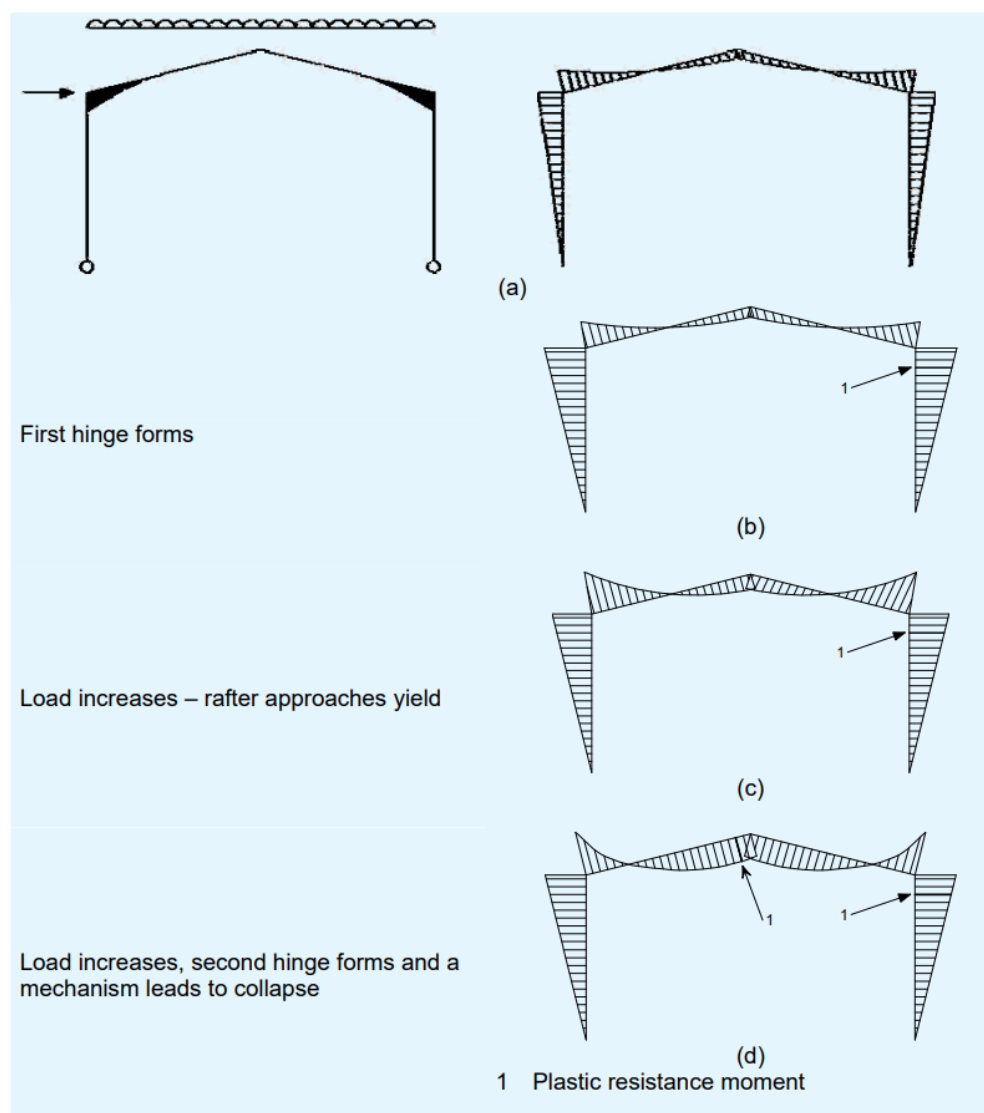
- Plastična globalna analiza uzima u obzir uticaje materijalne nelinearnosti pri proračunu uticaja od dejstava na konstrukciju. Ponašanje treba da se modelira jednom od sljedećih metoda:
  - elasto-plastičnom analizom sa plastifikovanim presjecima i/ili vezama na mjestima plastičnih zglobova;
  - nelinearnom plastičnom analizom uzimajući u obzir djelimičnu plastifikaciju elemenata u plastičnim zonama;
  - kruto-plastičnom analizom zanemarujući elastično ponašanje između zglobova.
- Plastična globalna analiza može da se koristi kada elementi imaju dovoljan kapacitet rotacije da omoguće zahtijevanu preraspodjelu momenata savijanja (klasa poprečnog presjeka 1).
- Plastična globalna analiza treba da se koristi samo kada može da se obezbijedi stabilnost elemenata na mjestima plastičnih zglobova.
- Bilinearna veza napon-dilatacija prikazana na sljedećoj slici može da se koristi za sve standardne vrste konstrukcijskih čelika.



- Kruto-plastična analiza može da se primjenjuje ako uticaji deformisane geometrije (uticaji drugog reda) ne moraju da se razmatraju. U ovom slučaju veze se klasifikuju samo prema nosivosti, vidjeti MEST EN 1993-1-8.
- Uticaji deformisane geometrije konstrukcije i konstrukcijska stabilnost rama treba da se provjere prema prethodno navedenim principima.
- Na sljedećim skicama se prikazuju karakteristična mjesta pojave plastičnih zglobova kod portalnog rama, usljed porasta projektog opterećenja.



- U slučaju plastične analize, uticaji od dejstava u konstrukciji mogu da se odrede inkrementalnim pristupom (mjenjajući statički sistem sa svakom pojavom plastičnog zgloba) za proračunska opterećenja koja se razmatraju u odgovarajućoj proračunskoj situaciji.
- U ovom inkrementalnom pristupku (korak po korak) sva stalna i promjenljiva dejstva treba da se povećavaju proporcionalno.
- Na sljedećem crtežu prikazan je metod korak po korak plastične analize. Proračunski uticaji treba da se sabiraju u svakom koraku sve do trenutka kada formiranje sljedećeg plastičnog zgloba izazove pojavu mehanizma (statički nestabilan sistem).



## **PREDAVANJE 09**

### **Pitanja:**

1. Koja su dva osnovna konstruktivna sistema u kojima se projektuju glavni nosači industrijskih hala?
2. Kolika je preporučena dužina vute u odnosu na raspon portalnog rama?
3. Da bi teorija drugog reda mogla da se zanemari, koliki treba da bude faktor  $\alpha_{cr}$ , u slučaju elastične globalne analize?
4. Da bi mogao da se koristi pojednostavljeni pristup (teorija prvog reda sa odgovarajućim uvećanjem opterećenja), u slučaju jednospratnih ramova, koliki treba da bude faktor  $\alpha_{cr}$ , u slučaju elastične globalne analize?
5. Da li se globalne imperfekcije zakošenja mogu zamjeniti fiktivnim horizontalnim silama?
6. Da li se u slučaju plastične analize, metodom korak po korak, mijenja statički sistem sa svakom pojavom plastičnog zgloba?