

GLAVNI NOSAČI - REŠETKE

- prvi dio

UVOD

- Glavni nosači industrijskih hala i drugih objekata, projektuju se i kao rešetkasti konstruktivni sistemi.
- Rešetke se sastoje od pojasnih štapova i štapova ispune. Štapovi ispune mogu biti samo dijagonale ili dijagonale i vertikale.
- Kao što je već rečeno u uvodnim predavanjima, rešetkasti sistemi kod industrijskih hala se koriste u slučajevima kada su kranovi veće nosivosti i/ili kada treba savladati veće raspone (veći rasponi se smatraju rasponi preko 20 - 25 m).
- Rasponi krovnih nosača (hala, magacina, hangara...) sa rešetkama mogu biti do 100.0 m, čak i više (veliki hangari). Na sljedećoj slici, prikazane su krovne rešetke, raspona 100.0 m, montirane na podu i spremne za podizanje na glavne stubove.



- Rešetke se često koriste da premoste velike raspone i kod drugih objekata, kao što su krovne konstrukcije stadiona, veliki mostovi itd. Na sljedećim slikama vidi se prikaz krovne rešetkaste konstrukcije stadiona San Siro (Giuseppe Meazza), Milano, Italija, sa rasponom dvije glavne rešetke od oko 250 m.



- U mostogradnji rasponi koji se premošćuju sa rešetkama idu i do nekoliko stotina metara. Na sljedećoj slici (Google Earth) je prikaz poznatog željezničkog mosta Forth, u blizini Edinburga u Škotskoj, sa srednja dva raspona od 521.2 m. Most je pušten u saobraćaj 1890. g i danas je u upotrebi. Svakog dana preko njega pređe oko 200 vozova.

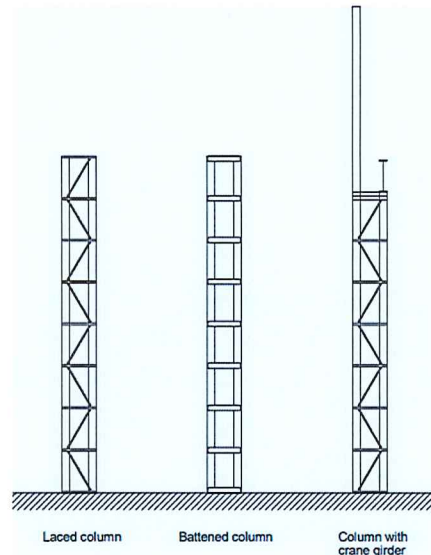


UPOTREBA REŠETKI U INDUSTRIJSKIM HALAMA

- Kod industrijskih hala, na kojima se ovdje zadržavamo, glavni nosači mogu biti u cijelosti rešetke (i stubovi i krovne rigle), dok se mogu projektovati i kombinacije sa krovnom rešetkama i stubovima punim limenim nosačima. Moguće su i kombinacije sa armirano betonskim stubovima. Na sljedećoj slici, prikazan je sistem sa glavnom krovnom rešetkom i stubom zavarenim punim nosačem u kombinaciji sa rešetkastim krovnim rožnjačama.

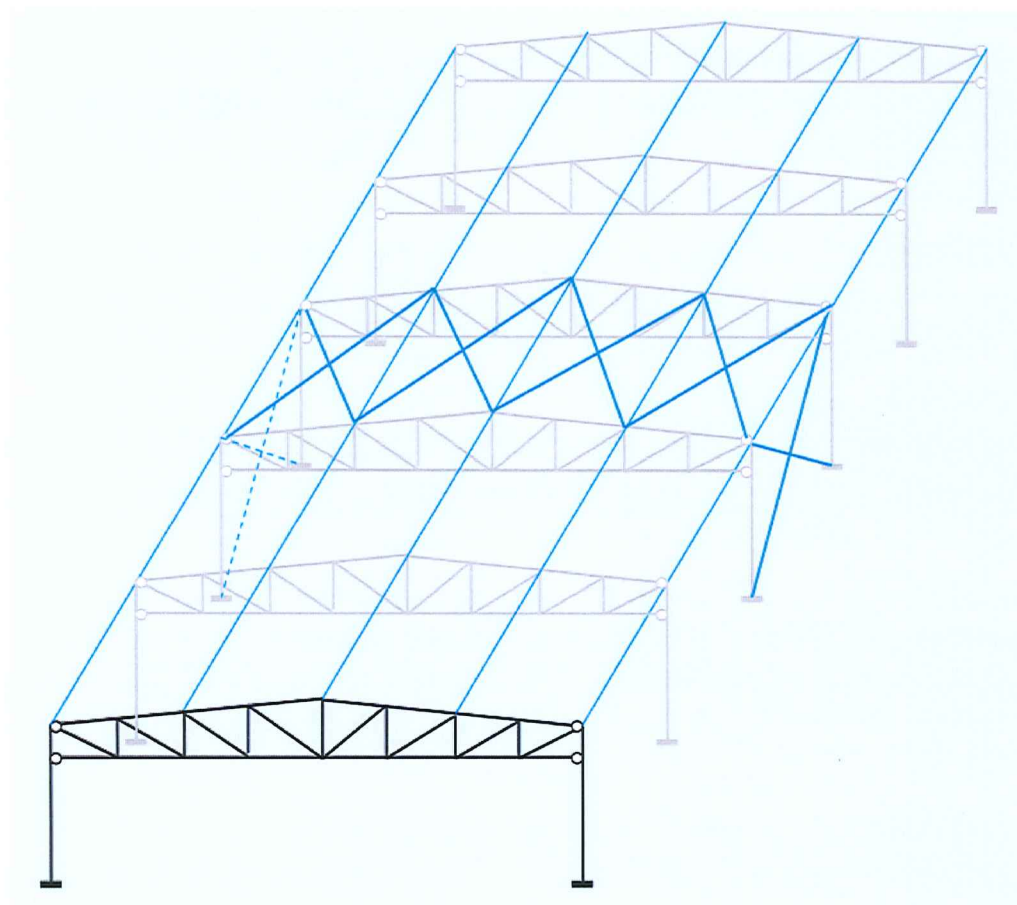


- Najčešće se stubovi projektuju kao dvopojasni elementi sa rešetkastom ispunom ili dvopojasni elementi sa veznim limovima (na sljedećoj skici).

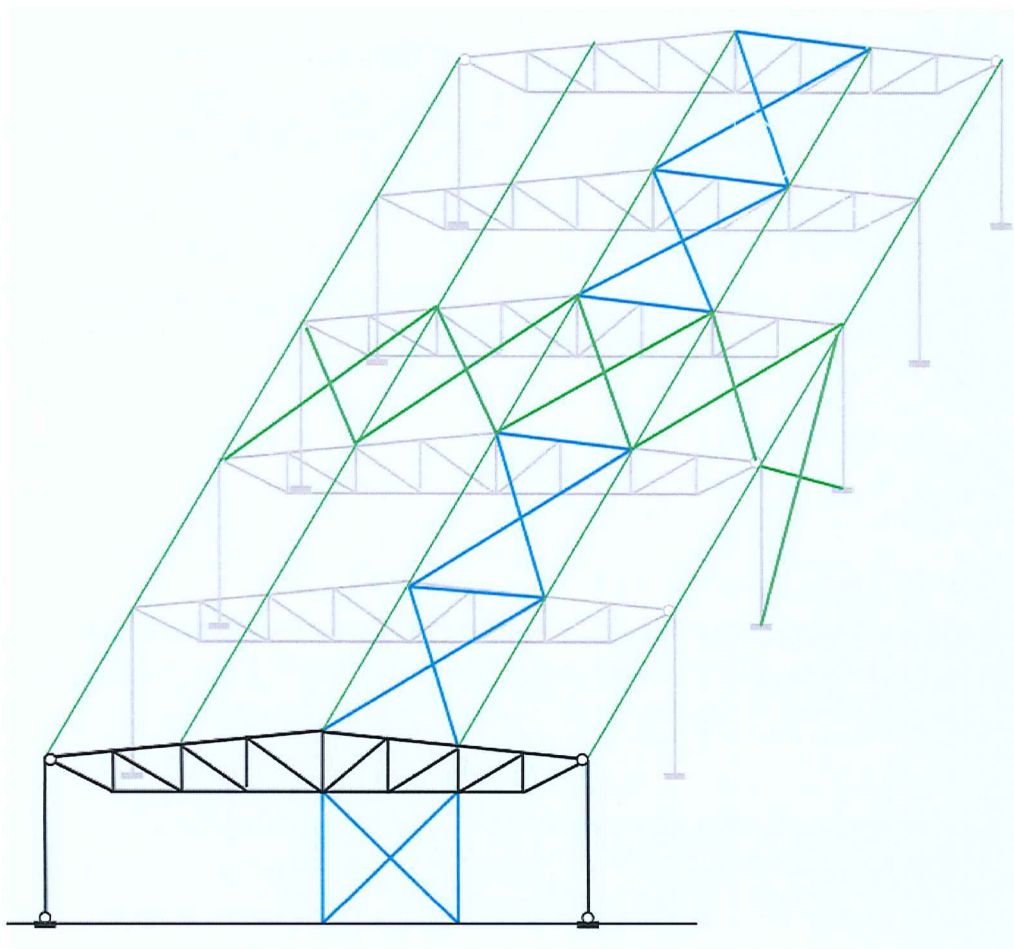


- Kao što je već rečeno u uvodnim predavanjima, kod rešetkastih krovnih rigli, statičkog sistema prosta greda, najracionalnije dimenzije poprečnih presjeka pojasnih štapova i štapova ispune će se dobiti ako je razmak između pojasnih štapova u sljemenu $L/8 - L/12$. Gdje je L raspon krovne rešetkaste rigle.
- Nagib dijagonala u odnosu na pojasne štapove treba da bude $30^\circ - 60^\circ$. Najracionalnije dimenzije će se dobiti kada se projektuje nagib dijagonala od 45° u odnosu na pojasne štapove.
- Treba težiti da opterećenje sa krova djeluje u čvorovima rešetke. Prema tome oslonci rožnjača treba da budu u čvorovima glavne krovne rešetke ili oslonci fasadnih rigli treba da budu u čvorovima glavnih rešetkastih stubova. Ovo naravno, najčešće, nije moguće ostvariti u slučaju hladno oblikovanih rožnjača (statičkog sistema prosta greda, kontinualni nosač...) jer je u ovim slučajevima razmak između rožnjača obično manji od razmaka čvorova glavne rešetke.
- Pravilno projektovanje rešetki podrazumijeva da sve dijagonale od dominantnog opterećenja budu zategnute, ili u slučaju naizmjeničnog rasporeda dijagonala, da najduža ili najopterećenija dijagonala bude zategnuta. Sila u dijagonalama je direktno proporcionalna transverzalnim silama, tako da u slučaju rešetkaste proste grede, najopterećenije dijagonale su dijagonale najbliže osloncima sa jedne i druge strane (gdje je transverzalna sila najveća), a najmanje opterećene dijagonale su u sredini raspona.

- Pored glavnog rešetkastog sistema i spregovi se obično projektuju kao rešetke. Ovo su konstruktivni sistemi koji prvenstveno služe da bi globalna konstrukcija imala prostornu stabilnost, ali i kao glavni noseći elementi za prihvatanje horizontalnih podužnih sila (vjetar upravno na kalkanski zid). Na sljedećem crtežu je prikazan glavni nosač sa krovnom rešetkom, koji prihvata vertikalno opterećenje i horizontalno opterećenje u svojoj ravni (vjetar upravno na podužni zid). Međutim, horizontalno opterećenje upravno na ravan rešetke (vjetar upravno na kalkanski zid), povjerava se poprečnom krovnom spregu i vertikalnim spregovima u podužnim zidovima.

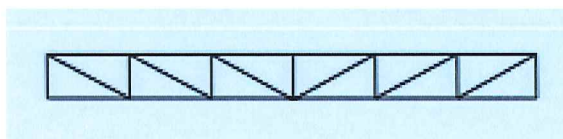


- Glavni nosač se može projektovati i kao statički labilna konstrukcija, kao što se prikazuje na sljedećem crtežu. U ovom slučaju, potrebno je projektovati krovni podužni spreg (jedan ili više spregova) i vertikalne spregove u kalkanskim zidovima. Ovi spregovi daju stabilnost glavnim nosačima i prihvataju horizontalne sile upravno na podužni zid. Krovna rešetka, kao prosta greda prihvata samo vertikalno opterećenje i vertikalne reakcije prenosi glavnim stubovima. Ovo rješenje se primjenjuje samo kod kratkih hala (hale sa malom dužinom podužnih zidova).

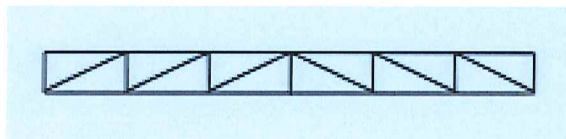


OBlici REŠETKI

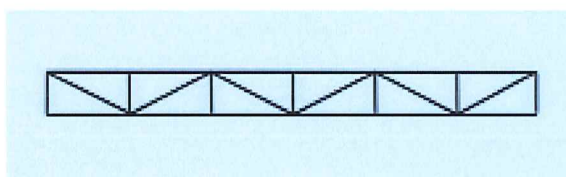
- Koriste se razni oblici krovnih rešetki. Na sljedećim skicama se daju oblici krovnih rešetki, kod industrijskih hala, koji su najčešće u upotrebi.



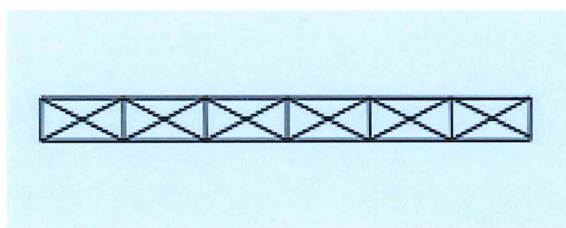
Ovaj oblik rešetke se koristi kod većih raspona (20 - 100 m) sa predominantnim vertikalnim gravitacionim opterećenjem, jer su u tom slučaju sve dijagonale zategnute.



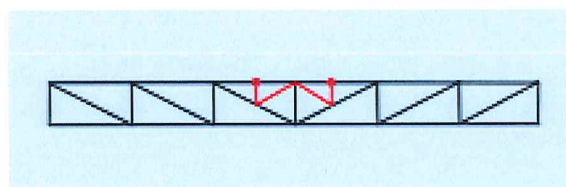
Ovaj oblik rešetke se koristi kod većih raspona (20 - 100 m) sa predominantnim odižućim opterećenjem (na primjer kod otvorenih skladišta), jer su u ovom slučaju sve dijagonale zategnute.



Ovaj oblik rešetke se koristi kod većih raspona (20 - 100 m). U ovom slučaju dijagonale su alternativno zategnute ili pritisnute. Ovaj tip rešetke se koristi i kod spregova za prijem bočnih udara kod hala sa kranovima.

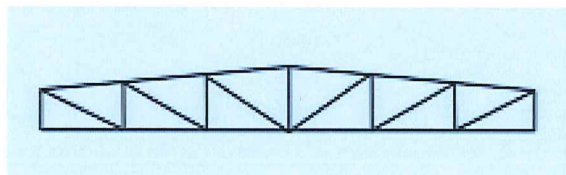


Rešetke sa "X" ispunom. U jednom polju jedna dijagonala je zategnuta, a jedna pritisnuta. Pritisnute dijagonale se mogu projektovati da prime punu silu pritiska, ili se može smatrati da pritisnuta dijagonala ne prihvata opterećenje (ima veliku dužinu, veliku vitkost, pa pri najmanjim silama pritiska dolazi do izvijanja), tako da su u rešetki aktivne samo zategnute dijagonale. Ovaj tip rešetki se najčešće koristi kod spregova koji primaju sile vjetra, jer je smjer tih sila alternativan, pa je u jednom polju, za pravac duvanja vjetra u jednom smjeru jedna dijagonala zategnuta, a za drugi smjer, zategnuta je druga dijagonala.

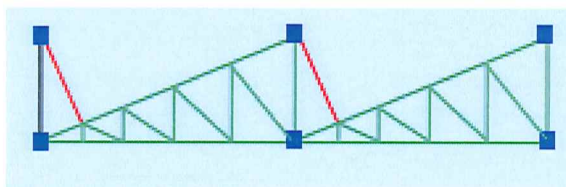


Sile u pojasevima su najveće u sredini raspona. U tom dijelu, mogu se projektovati dodatni sekundarni rešetkasti elementi (pomoćne dijagonale i vertikale), da bi se smanjila dužina izvijanja pritisnutog pojasa u ravni rešetke.

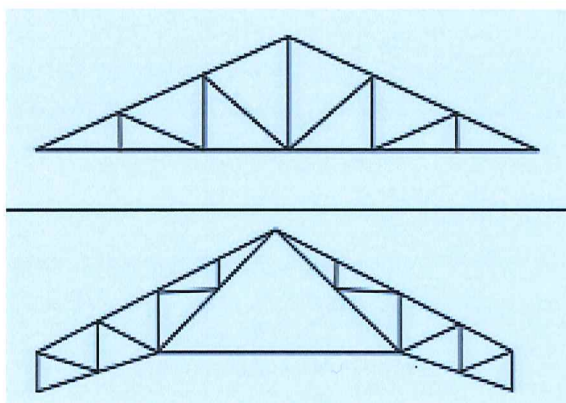
Ovi pomoćni štapovi ispunje mogu da služe i da se obezbijedi dodatno oslanjanje za krovne svjetlarnike.



U svim prethodnim slučajevima gornji pojas se može oblikovati tako da prati nagib krova koji je izabran.



"Šed" ili testerasti krovovi, obezbijavaju veću osvjetljenost hale sa krova. Predstavljaju trougaone sekundarne elemente manjeg raspona (10 - 15 m) i naslanjaju se na velike podužne krovne rešetke sa paralelnim pojasevima u podužnom pravcu.

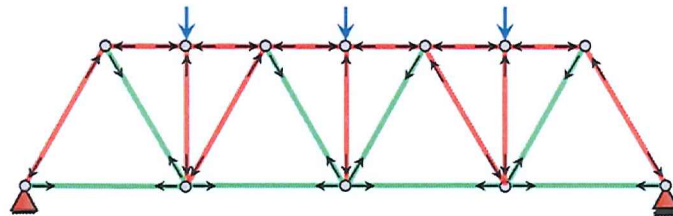


Ovaj tip rešetki se koristi na manjim rasponima (10 - 15 m) i to uglavnom kod krovova kuća.

OSVRT NA PROBLEME PRORAČUNA ČELIČNIH REŠETKI

Rešetka u teoriji

- Rešetka, u statičkom smislu, je konstruktivni sistem sa elementima koji formiraju međusobno trouglove. Elementi rešetke su pravi sa zglobovima na krajevima i opterećenjem koje djeluje u čvorovima rešetke.



- Oblik rešetke, bilo ravanski ili prostorno, definiše se sistemskim linijama. Sistemskim linijama se definišu: raspon rešetke, međusobni položaj pojaseva, polja rešetke, ondosno raspored vertikalna i dijagonala.
- Sistemske linije treba da se poklapaju sa težištima pojasnih štapova i štapova ispune (bez ekscentriciteta težišta profila u odnosu na sistemske linije).
- Sa ovim pretpostavkama, u elementima rešetke se javljaju samo aksijalne sile - sile pritiska ili sile zatezanja.

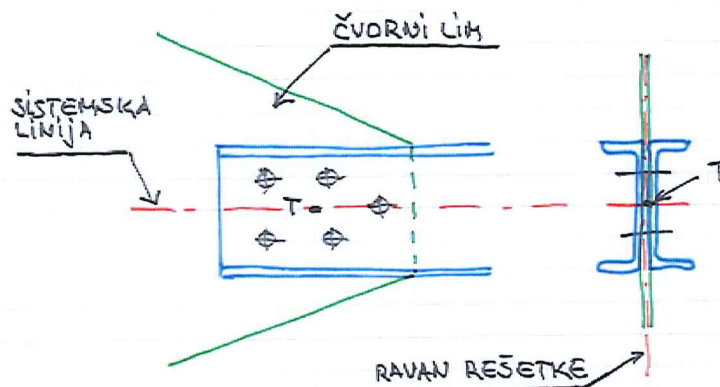
Relna čelična rešetka u praksi

- Međutim, u realnim konstrukcijama, ovo je nemoguće ostvariti:
 - štapovi imaju sopstvenu težinu, pa se javlja lokalno savijanje, od čvora do čvora (osim kod vertikalna, kada se pravac štapa poklapa sa pravcem gravitacionih sila);
 - pojasni štapovi se obično ne prekidaju u čvorovima, pa se i na ovim mjestima javljaju momenti savijanja, kao kod kontinualnog nosača;

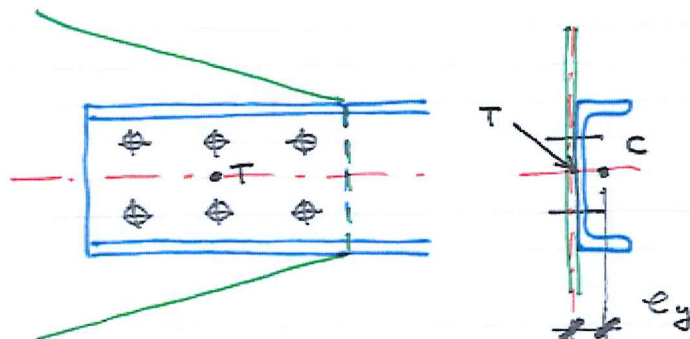
- veza dijagonala i vertikalna za pojasne štapove je ili zavarena ili se ostvaruje preko spojnih sredstava, tako da i u ovim vezama može da se prenese određeni moment savijanja.
 - i na kraju, dešava se da štapovi u određenim slučajevima ne mogu biti centrisani sa sistemskim linijama, što za posledicu ima da aksijalna sila ulazi u štap sa određenim ekscentricitetom i stvara dodatne momente savijanja.
- Prilikom proračuna rešetke, mora se voditi računa o ovim pojavama.

Centrisanje štapova rešetke

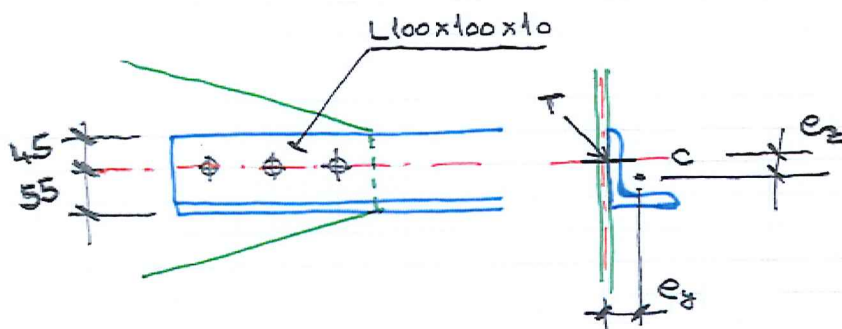
- Konstruktivno najbolje rješenje je kada se štapovi i veze rešetke tako oblikuju da su prostorno centrisani u odnosu na sistemske linije (i u ravni rešetke i van ravni rešetke). Iz određenih razloga, ovo ponekad nije moguće ostvariti.
- Na sljedećim crtežima su prikazani slučajevi centrisanih štapova i veza i slučajevi kada postoji ekscentricitet štapa ili veze u odnosu na sistemsku liniju:



Centrisani i štap i veza na sistemsku liniju i u ravni rešetke i van ravni rešetke.

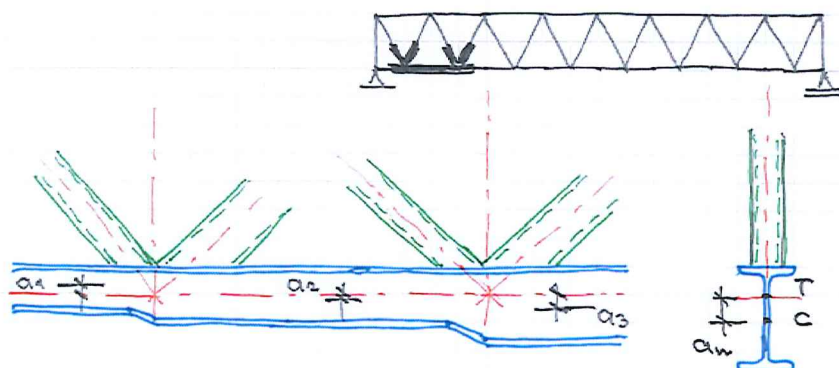


Centrisani i štap i veza na sistemsku liniju u ravni rešetke. Van ravni rešetke veza je centrisana, a štap ima ekscentričnost e_y u odnosu na ravan rešetke.



Veza je centrisana i u ravni rešetke i van ravni rešetke, dok štap ima ekscentricitet u odnosu na sistemsku liniju i u ravni rešetke (e_z) i van ravni rešetke (e_y).

- Da bi štap mogao biti prostorno centrisan mora imati dvije ose simetrije i težište mu se mora poklapati sa sistemskom linijom. U slučaju veza, težište spojnih sredstava, takođe, mora biti na sistemskoj liniji da bi veza bila centrisana.
- U slučaju promjene poprečnog presjeka pojasnog pojasnog štapa duž raspona, nemoguće je sve štapove centrisati. U ovim slučajevima treba sistemsku liniju postaviti u srednjem težištu svih pojasnih štapova, ili u težištu najviše opterećenog štapa.



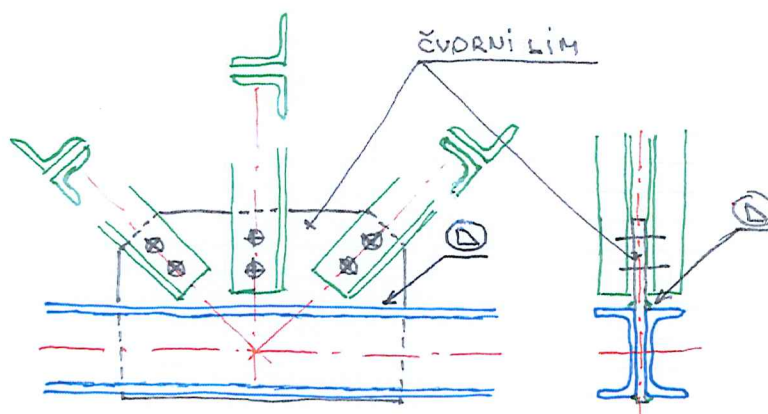
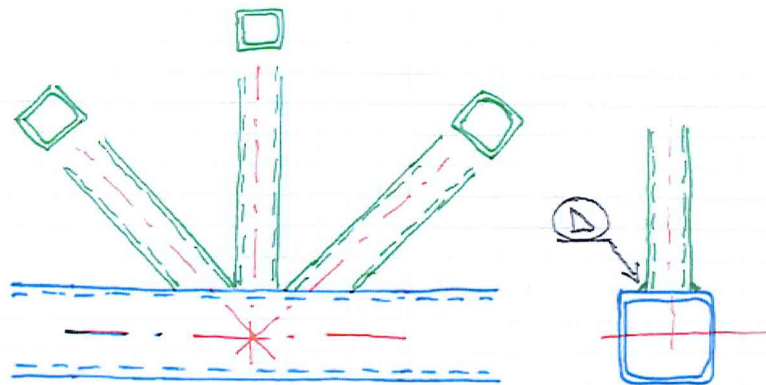
$$a_0 = \frac{a_1 + a_2 + \dots + a_n}{n}$$

- Do promjene poprečnog presjeka pojasnog štapa dolazi kada se želi racionalizovati poprečni presjek. U slučaju rešetkaste proste grede, na primjer, sile u pojasnim štapovima direktno su proporcionalne momentima savijanja adekvatne proste grede. Prema tome, najveće sile u pojasevima su u sredini raspona, a najmanje kod oslonaca. Ako se dimenzionišu pojasni štapovi u svakom polju, dobiće se najmanji presjeci do oslonca, a najveći presjeci u sredini raspona, kao što je to prikazano na prethodnom crtežu.

POPREČNI PRESJECI ŠTAPOVA REŠETKE I VEZE IZMEĐU ŠTAPOVA

- Štapovi rešetke se mogu projektovati sa vruće valjanim profilima ili hladno oblikovanim (otvorenim ili šupljim) profilima, kao jednodjelni ili višedjelni presjeci.
- Veze štapova ispune sa pojasnim štapovima mogu biti u zavarenoj izradi ili preko čvornog lima i zavrtnjeva (zakivaka), kako je to prikazano na sljedećem crtežu.
- Zavarena veza je brža za izvođenje i racionalnija od veze sa čvornim limom i spojnim sredstvima. Međutim, zavarena veza se projektuje samo u slučaju kada se veza može izvesti u radionici, jer zavarivanje treba izbjegavati na gradilištu. Prema tome zavarena veza je primjenljiva kada su dimenzije rešetke u cjelosti (ili montažni sklop rešetke) takve da se može transportovati do gradilišta. Znači dužine rešetke treba da bude do 15 m i visina do 2.5 m, da bi takav zavareni sklop mogao da stane u transportna sredstva (veliki kamion, šleper ili vuči voz).

- Mana ovog rješenja je što zbog gabarita zavarenih rešetki, kapacitet transportnog sredstva ne može u cijelosti da se iskoristi, ili drugim riječima malo težine konstrukcije se može odjednom prenijeti na gradilište u odnosu na nosivost kamiona.

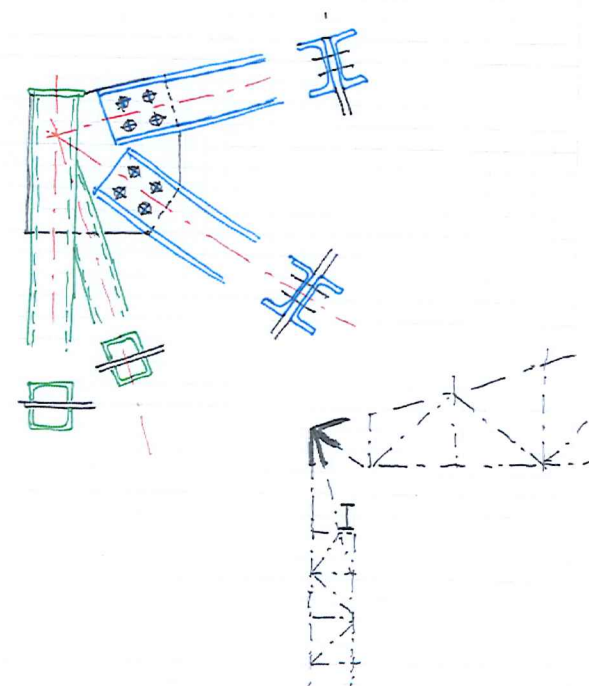
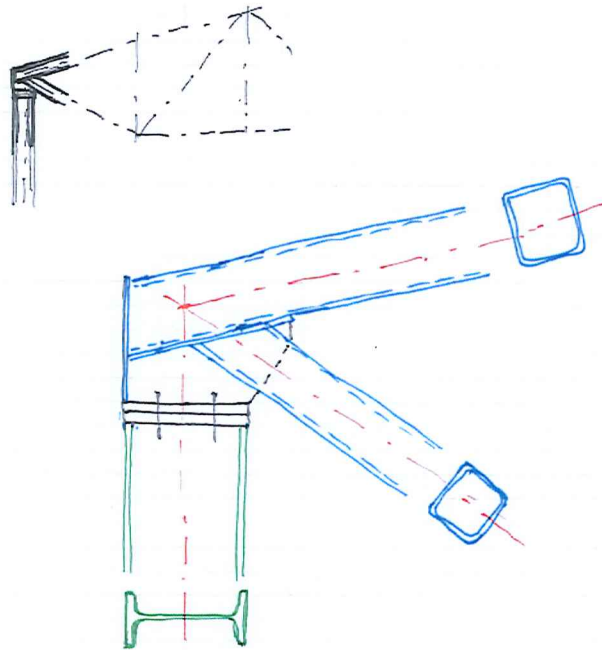


- Kod rešetki velikih dimenzija, moraju se zbog transporta projektovati veze štapova ispunne za pojasne štapove preko čvornih limova i spojnih sredstava.
- U slučaju rešetki velikih dimenzija, takođe zbog transporta, potrebno je projektovati montažne nastavke na pojasnim štapovima. Kod izuzetno velikih rešetki i dijagonale i vertikale moraju biti napravljene iz djelova, znači sa montažnim nastavcima.

- Nekada se, uglavnom zbog arhitektonskih razloga, traži da montažno nastavljajanje i veze budu u zavarenoj izradi, bez obzira na dimenzije rešetke. Ovaj zahtijev podrazumijeva zavarivanje na gradilištu, što predstavlja ozbiljan problem i iziskuje posebna tehnička rješenja i veoma osposobljenu radnu snagu i specijalizovanu opremu. Na sljedećoj slici se vidi rešetka za prijem horizontalnih sila, hotela Burj al Arab u Dubaiju, Ujedinjeni Arapski Emirati, sa pojasnim štapovima dužine preko 300 m i dijagonalama dužine oko 100 m sa nastavcima u zavarenoj izradi. Ovo rješenje nikada ne treba koristiti kod industrijskih hala.



- Veza rešetke sa stubom, u slučaju industrijskih hala, može da se riješi na razne načine, uz pomoć raznih priključnih limova i spojnih sredstava, kao što je prikazano na sljedećim crtežima.



POSTUPAK PRORAČUNA ČELIČNIH REŠETKI

- Postupak proračuna čelične rešetke sastoji se iz tri dijela:
 - globalna analiza;
 - proračun nosivosti štapova i
 - proračun nosivosti veza.

Globalna analiza

- Globalna analiza podrazumijeva rješavanje raspona rešetke, oblika rešetke, rastojanja između pojaseva, broj polja, raspored dijagonala, da li rešetka ima vertikale ili ne. Zatim sa kojim presjecima će se projektovati pojasni štapovi, a sa kojim štapovi ispune. Treba konceptualno riješiti i sve veze jer to može imati uticaja na presječne sile. Takođe, treba odrediti i položaje montažnih nastavaka.
- Globalna analiza rešetke podrazumijeva i analizu opterećenja i za granično stanje nosivosti (ULS) i za granično stanje upotrebljivosti (SLS).
- Na kraju, potrebno je doći do presječnih sila i deformacija za proračun nosivosti štapova i veza za mjerodavna granična stanja.

Proračun nosivosti štapova

- Proračun nosivosti štapova se zasniva na proračunu nosivosti presjeka i proračunu nosivosti elemenata, s obzirom na razne mogućnosti gubitla nosivosti u slučaju pritisnutih elemenata, što je detaljno obrađeno u Čeličnim konstrukcijama I.
- Elementi rešetke su dominantno izloženi aksijalnim silama. Međutim, kao što je rečeno, neizostavne su pojave manjih momenata savijanja i transverzalnih sila (kontinualizacija pojasnih štapova preko čvorova, sopstvena težina štapova, eventualne ekscentričnosti štapova i veza u odnosu na sistemske linije), o čemu treba voditi računa i u analizi i u proračunu nosivosti.
- Adekvatan proračun treba sprovesti u zavisnosti da li je štap jednodijelan ili višedijelan, naročito u slučaju pritisnutih elemenata.

- Kod proračuna pritisnutih elemenata, posebnu pažnju treba voditi o dužinama izvijanja pojasnih štapova i štapova ispune, za izvijanje u ravni rešetke i van ravni rešetke (pogledati: Fleksiono izvijanje elemenata rešetkastih konstrukcija, Predavanje 10, Čelične konstrukcije I).

Proračun nosivosti veza.

- Proračun nosivosti veza zasniva se na unaprijed, konceptijski riješenoj vezi, gdje treba dokazati nosivost svih komponenti veze: proračun nosivosti šavova kod zavarenih veza, nosivost spojnih sredstava, nosivost čvornog lima ili nekog drugog priključnog elementa, cijepanje... .
- O ovim proračunima detaljno je bilo riječi u Čeličnim konstrukcijama II.
- Na sljedećem predavanju će biti izložen postupak proračuna zavarene veze štapova ispune i pojasnog štapa u slučaju hladno oblikovanih šupljih profila, koji zbog obimnosti predmeta nije izložen u okviru predmeta Čelične konstrukcije II.

PREDAVANJE 08

Pitanja:

1. Da li u realnim elementima čelične rešetke može biti momenata savijanja oko neke ose?
2. Čelična rešetka, prosta greda, opterećena gravitacionim opterećenjem - u kojim pojasnim štapovima vlada najveća sila pritiska?
3. Čelična rešetka, prosta greda, opterećena gravitacionim opterećenjem - u kojim dijagonalama vlada najveća aksijalna sila?
4. Koja je posljedica kada su i štap ispune, jednostruki U profil, i veza štapa za čvorni lim centrisani na sistemsku liniju u ravni rešetke?
5. Koje su maksimalne dimenzije rešetke, da bi ona mogla biti u cjelosti izvedena u zavarenoj izradi u radionici?
6. Položaj montažnih nastavaka na čeličnoj rešetci se određuje u globalnoj analizi, proračunu nosivosti štapova ili proračunu nosivosti veza?