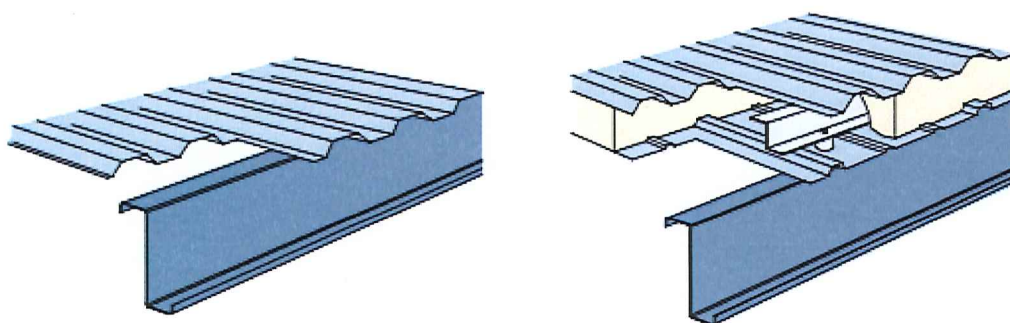


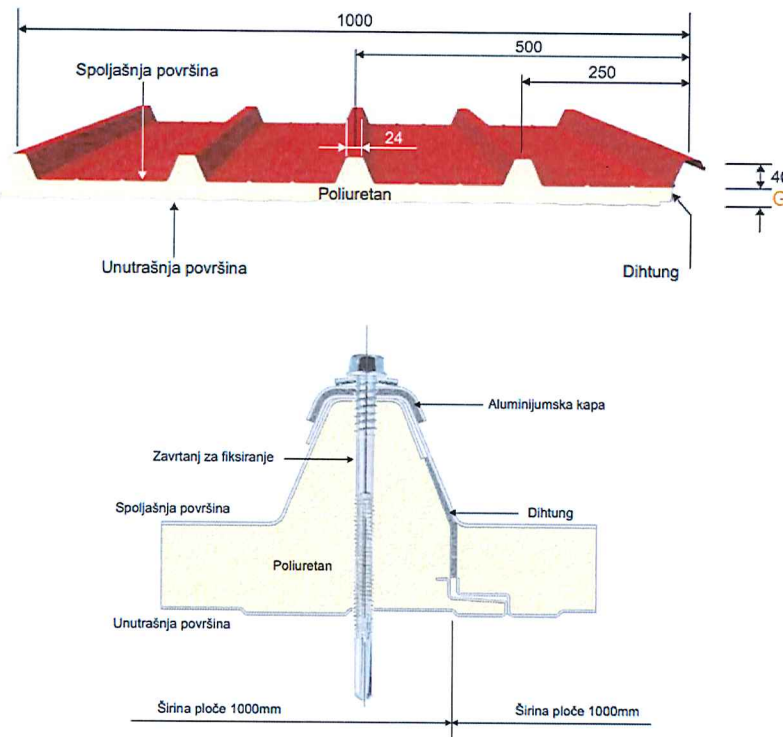
KROVNI POKRIVAČ I FASADNA OBLOGA

- U savremenim industrijskim objektima, gotovo isključivo, se kao krovni pokrivač i fasadna obloga koristi sendvič panel ili neka modifikacija panela koja se sastoji od unutrašnjeg i spoljašnjeg trapezastog lima i termoizolacionog sloja u sredini.
- Kod manje značajnih objekata ili objekata kod kojih se ne traži termičko održavanje unutar objekta, ili se radi o otvorenim objektima, kao što su razne nadstrešnice, krovovi stadiona itd., može se koristiti i jednostruki trapezasti lim.
- Na sljedećoj slici su prikazani jednostruki lim i pravljeni sendvič panel.

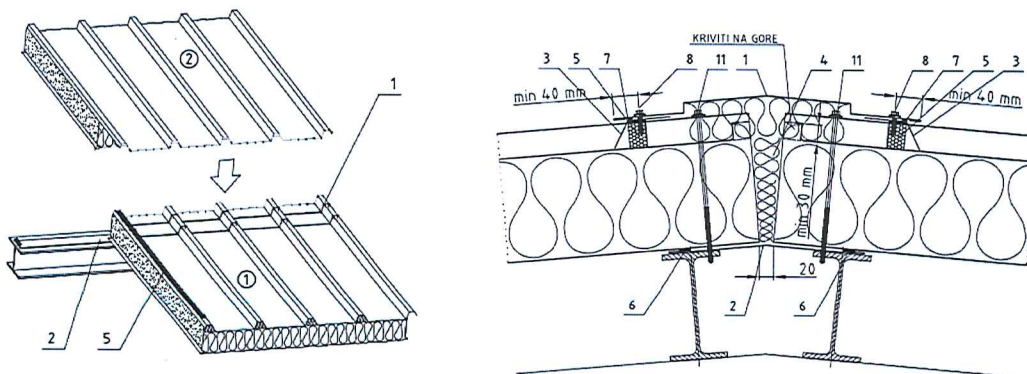


- Trapezasti ili ravni limovi se proizvode od čelika ili aluminijuma.
- Sendvič panel se nabavlja kao gotov proizvod ili se može formirati na gradilištu sloj po sloj. Sendvič panel se sastoji od donjeg i gornjeg trapezastog ili ravnog lima i sloja termoizolacije koja uglavnom određuje debljinu sendvič panela. Termoizolacioni materijal koji se koristi kao ispuna kod sendvič panela, može biti pir pjena, pur pjena, mineralna vuna, kamena vuna, poliuretan itd. Kod pravljenih panela na gradilištu, postoji i dodatni Z element unutar panela, koji obezbjeđuje distancu između donjeg i gornjeg lima.
- Jednostruki ili sendvič paneli se proizvode u standardizovanim dimenzijama. Širina panela je najčešće 1000 mm. Proizvode se paneli širine od 600 mm do 1200 mm. Dužina panela je do 16.0 m. Debljine panela variraju u zavisnosti od termoizolacionih zahtijeva za određeni objekat.

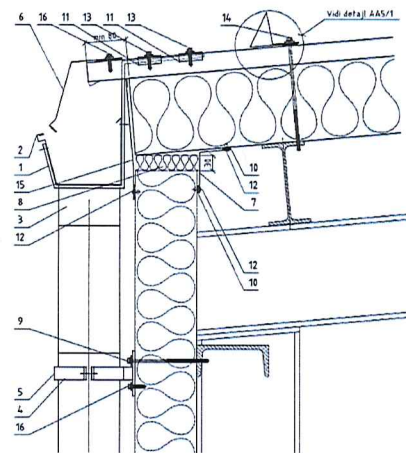
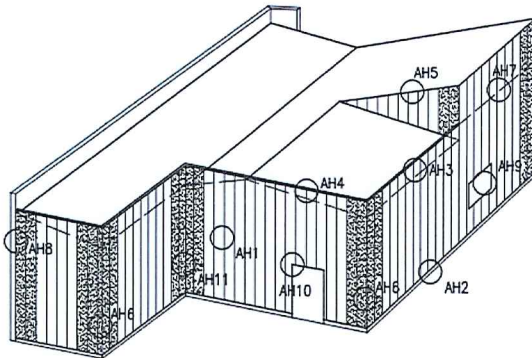
- Paneli su dizajnirani da se bez opasnosti od procurivanja vode mogu preklopiti i podužno i poprečno (po potrebi). Na sljedećim slikama vidi se poprečni presjek tipičnog sendvič panela i detalj veze na mjestu podužnog preklapanja.



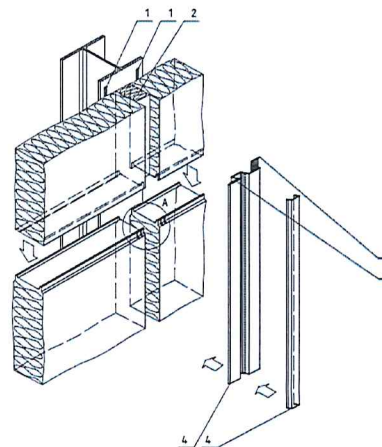
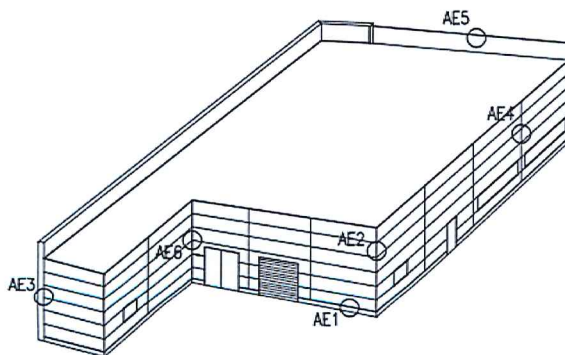
- Krovni paneli se naslanjaju na rožnjače. U zavisnosti od dimenzija krova, za pokrivanje jedne strane krova od prve do posljednje rožnjače (od vjenčanice do sljemenjače), koristi se panel standardizovane širine, željene debljine i potrebne dužine, s tim što je maksimalna dužina ograničena. Različiti proizvođači imaju različite maksimalne dužine panela koje proizvode. Ako je krov duži, potrebno je horizontalno (poprečno) preklopiti panele da bi se dobila željena dužina. Na sljedećim scrteljima se vidi poprečna veza dva panela u slučaju velike dužine krova od vjenčanice do sljemenjače i poprečna veza dva panela u sljemenu.



- Fasadni paneli se proizvode tako da se mogu postavljati vertikalno ili horizontalno. Paneli, u podužnim i kalkanskim zidovima, postavljaju se preko fasadnih rigli ili međustubova.
- U slučaju kada se paneli postavljaju vertikalno, potrebno je obezbijediti određeni broj fasadnih rigli, od poda pa do vrha zida, da bi se vertikalni panel (širine, recimo 1000 mm, debljine 80 mm i dužine koja je uslovljena visinom zida) na njih naslonio. Na sljedećim crtežima se vidi prikaz zidova nekog objekta sa vertikalno složenim panelima i detalj krovnog i vertikalnog fasadnog panela sa horizontalnim i vertikalnim olukom kod vjenčanice.

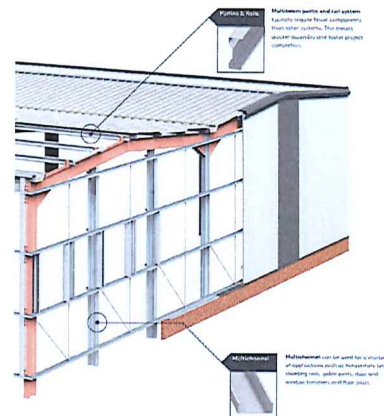


- Ako se paneli slažu horizontalno od poda do vrha zida, onda je potrebno na određenom rastojanju obezbijediti vertikalne elemente za oslanjanje panela. Paneli se u ovim slučajevima oslanjaju na glavne stubove i međustubove. Obično se panel poprečno preklapa na mjestima glavnih stubova, dok se između glavnih stubova oslanja na potrebnom broju međustubova. Ovo podrazumijeva da je dužina panela uslovljena razmakom između glavnih stubova. Na sljedećim crtežima se vidi prikaz zidova nekog objekta sa horizontalno složenim panelima i detalj veze dva horizontalna panela na mjestu glavnog stuba.

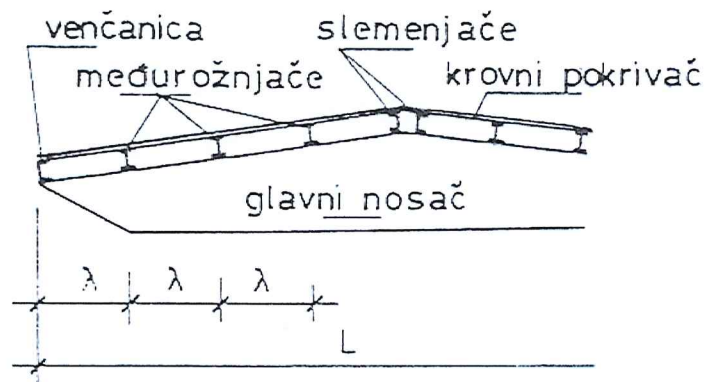


- Osnovna opterećenja krovnim panelima su snijeg i vjetar. Snijeg je gravitaciono opterećenje, dok vjetar, u zavisnosti od nagiba krova, može djelovati gravitaciono, a može imati i odižući efekat. Fasadnim panelima je osnovno opterećenje vjetar, koje može djelovati alternativno, tako da može izazivati pritisak prema zidu, ili imati sišuće dejstvo od zida.
- Jedan panel ili trapezasti lim, bilo da je na krovu ili u fasadi, predstavlja kontinualni nosač na više polja. Oslonci kontinualnom nosaču su rožnjače u krovu, ili u zavisnosti od načina postavljanja, fasadne rigle ili stubovi u fasadi.
- Nosivost ovog konstruktivnog elementa treba dokazati, s obzirom na usvojeni poprečni presjek. Poprečni presjek je trapezastog oblika od čelika ili aluminijuma u slučaju jednostrukih trapezastih limova ili kompozitni presjek panela koji se sastoji od dva noseća lima na odgovarajućem međurastojanju.
- Dokaz nosivosti se svodi na odabir odgovarajućeg presjeka i dokaz da je vrijednost projektnog opterećenja manja od projektne nosivosti elementa. Ovo primarno zavisi od razmaka oslonaca panela, tj od razmaka rožnjača ili fasadnih rigli (stubova).
- Svi proizvođači panela u svojim katalogima daju tablice nosivosti za svoje proizvode, pa je dokaz nosivosti izabranog panela veoma jednostavan.
- Osim jednostrukih trapezastih limova i panela mogu se, kao krovni pokrivač i fasadna obloga, koristiti ploče od prefabrikovanog presovanog ili lakog betona kao što su Siporex, Durisol, Salonit, Itong... (ovo su komercijalni nazivi proizvođača). Ovi elementi su rijeđe u upotrebi.

ROŽNJAČE I FASADNE RIGLE

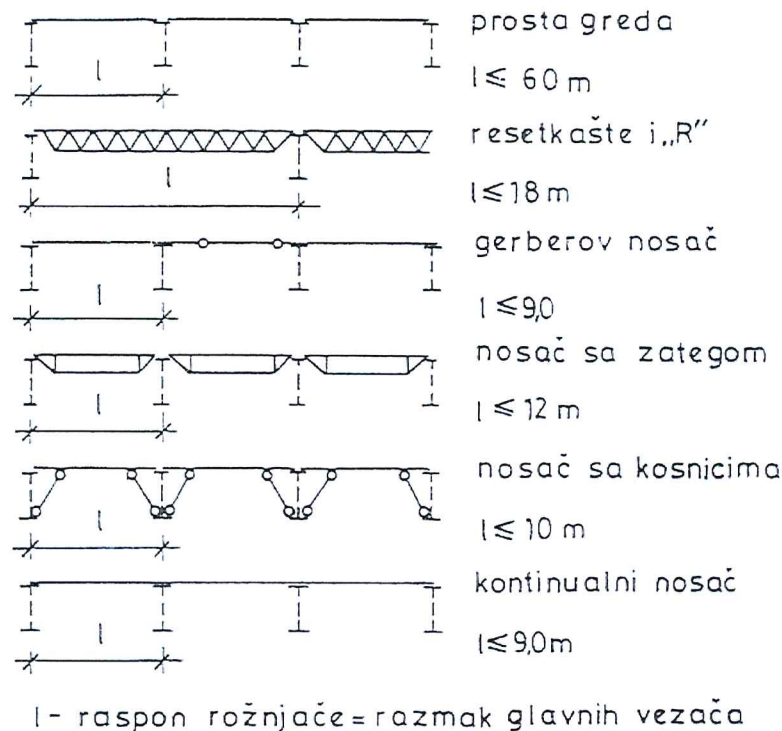


- Rožnjače su krovni elementi i služe za nošenje krovnog pokrivača. Rožnjače se oslanjaju na rigle glavnih nosača. Na sljedećem crtežu su prikazane rožnjače na jednoj strani krova. Rožnjača najbliža podužnom zidu se naziva vjenčanica, a rožnjača u vrhu krova sljemenjača.



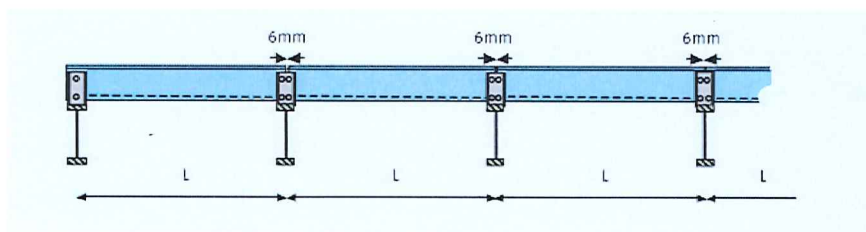
- Statički sistem rožnjača i dimenzije profila elemenata rožnjače, prvenstveno zavise od rastera glavnog nosača, tj. od njenog raspona. Raspon rožnjača prati raster glavnih nosača i kreće se u rasponu od 5.0 - 20.0 m. Međusobni razmak između pojedinih rožnjača se kreće između 1.0 - 4.0 m.

- Statički sistemi u kojima se rožnjača racionalno projektuje zavisi od raspona koji rožnjača treba da premosti između dvije rigle glavnog nosača i mogu biti: prosta greda, kontinualni nosač, gerberov nosač, nosač sa kosnicima, nosač sa zategom, rešetkasta rožnjača itd. Na sljedećoj skici se prikazuju razni statički sistemi rožnjača sa racionalnim rasponima u kojima se koriste.



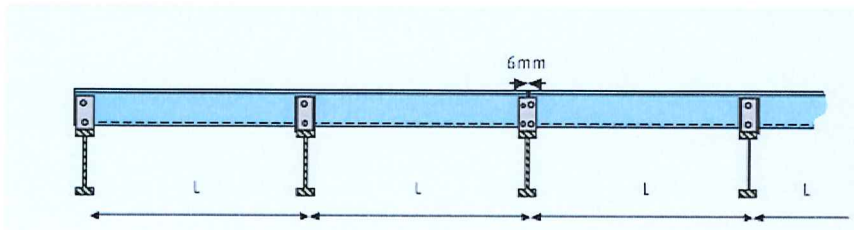
- Kod savremenog projektovanja hala, najčešće se koriste hladno oblikovani presjeci i to u statičkim sistemima prosta greda, kontinualni nosač i nosač sa kosnicima. Kontinualizacija (nastavljanje) kod kontinualnih nosača se može ostvariti na više načina. Na sljedećim skicama su prikazani razne varijante koje su najčešće u primjeni.

prosta greda



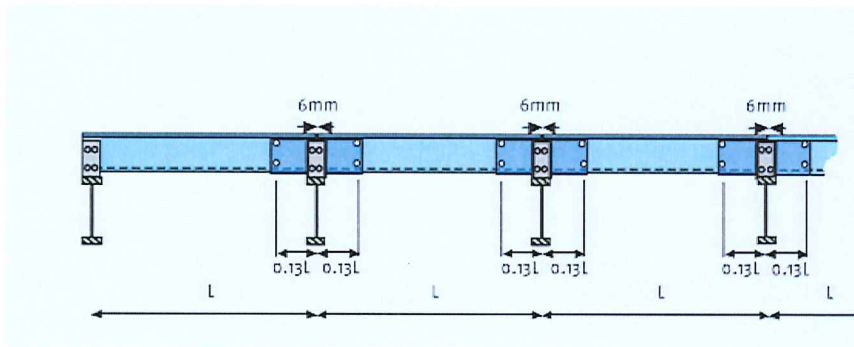
kontinualizacija na dva polja

Double span system



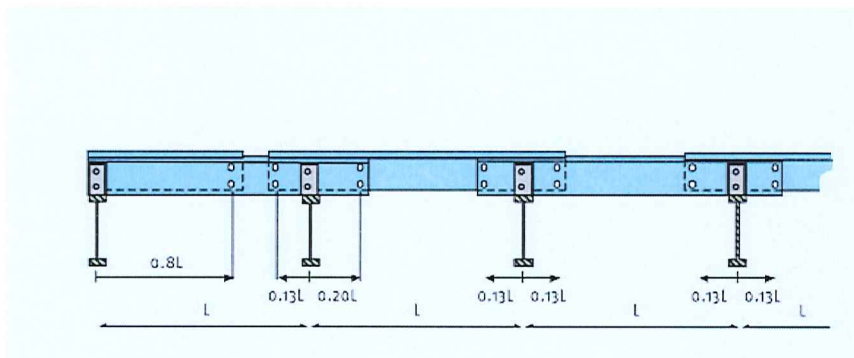
kontinualizacija prostih greda sa dodatnim rožnjačama na osloncima

Sleeved system – alternative design with Ruukki's PurCalc software

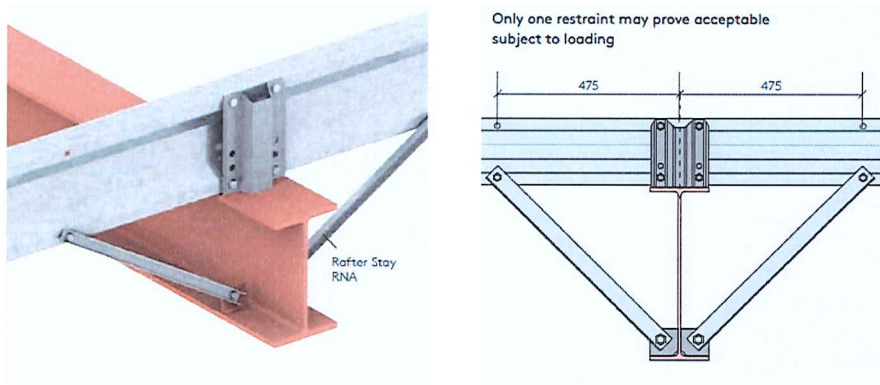


kontinualizacija pomoću prostih greda sa prepustima

Overlapped system - recommended by Ruukki



nosač sa kosnicima (greda sa podupiralom)



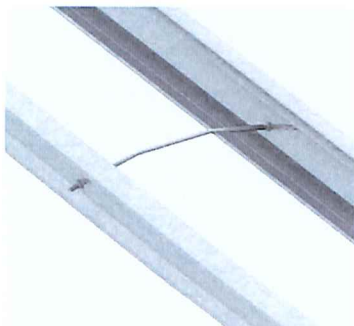
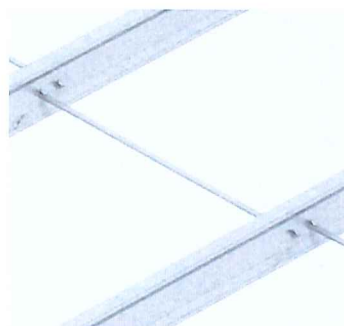
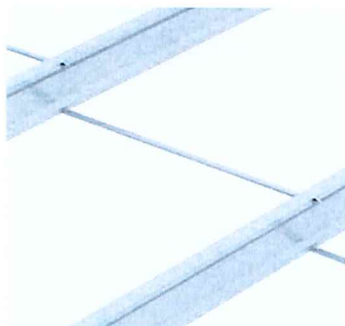
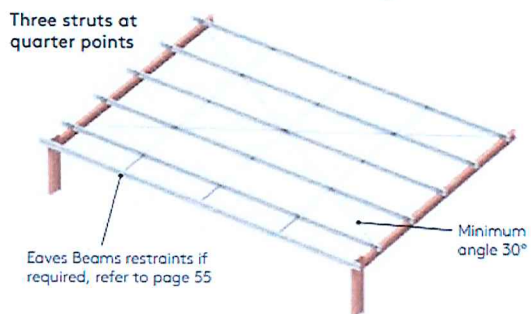
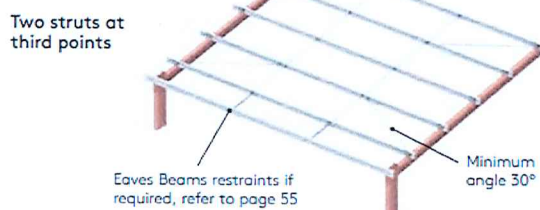
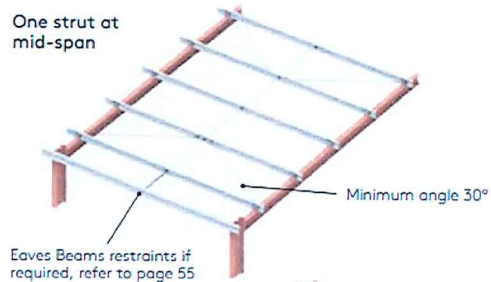
- Rožnjače se, sa izuzetkom rešetkastih rožnjača, obično projektuju od hladno oblikovanih U, Z, Σ, C... profila ili hladno oblikovanih kutijastih profila. U prošlim vremenima, rožnjače su projektovane i sa vruće valjanim profilima. Visina ovih profila se kreće od 150 - 250 mm. Razmak pojaseva kod rešetkastih rožnjača ne treba da pređe 600 mm.



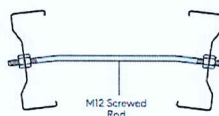
hladno oblikovani profili



- Rožnjače su spojene sa krovnim pokrivačem i krutost krovnog pokrivača obično obezbijuje nožice rožnjače na spoju bočnu nepomjerljivost. Međutim da bi se obezbijedila bočna i torziona stabilnost druge nepridržane nožice, obično se u rasponu rožnjače projektuju jedna, dvije ili više zatega. Zatege su obično kružni puni profil sa navojima na krajevima (radi montaže podloški i navrtki. Kao zatege mogu da se koriste i hladno oblikovani profili manjih dimenzija. Na sljedećim skicama, prikazane su zatege između rožnjača i u sljemenu.

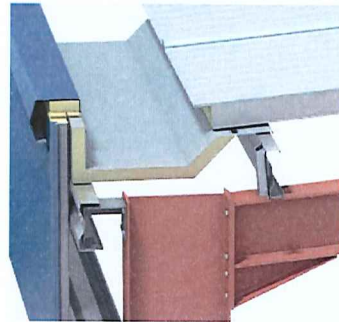


Screwed rod apex ties are used in conjunction with both Multilok and Tubular ties.



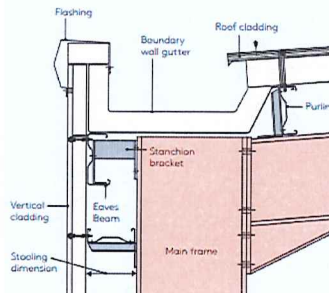
- Na sljedećim skicama se daje nekoliko detalja u kojima su prikazana rješenja veza rožnjača i fasadnih rigli sa glavnim nosačima i sa krovnim i fasadnim panelima i olucima.

Connection to Main frame – Boundary Wall Gutter

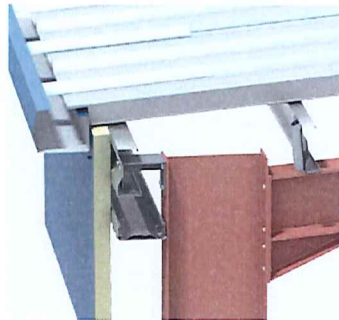


For product dimensions refer to page 57.

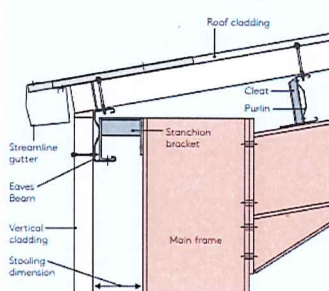
Main Frame Connection



Connection to Main frame – External Gutter



Stanchion Bracket Connection External Gutter

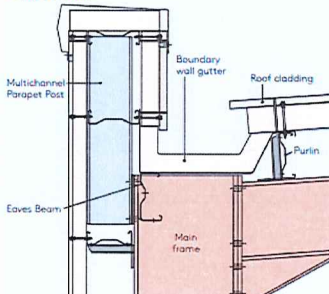


Parapet

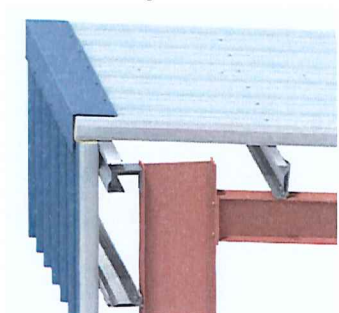


For product dimensions refer to page 56.

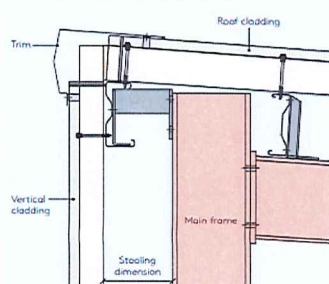
Parapet Detail



Mono Pitch Roof – High Eaves



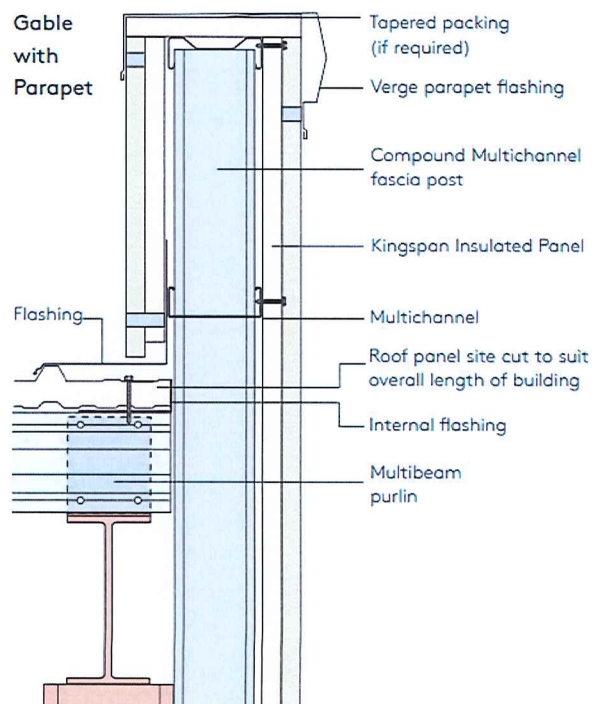
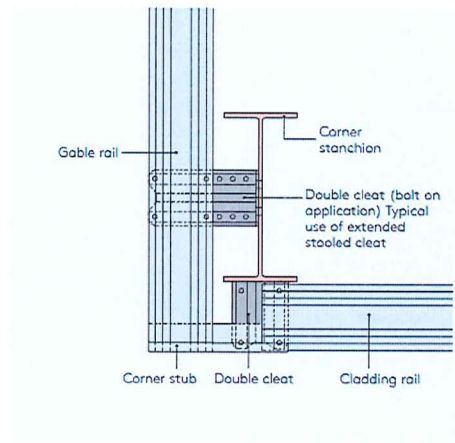
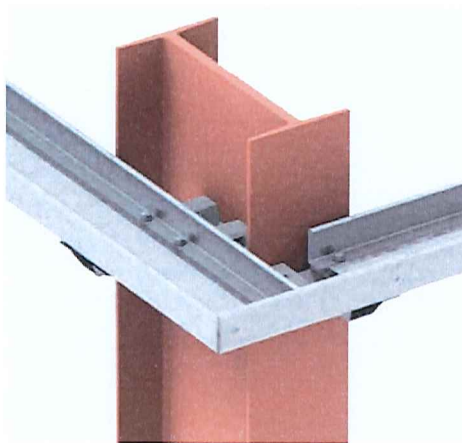
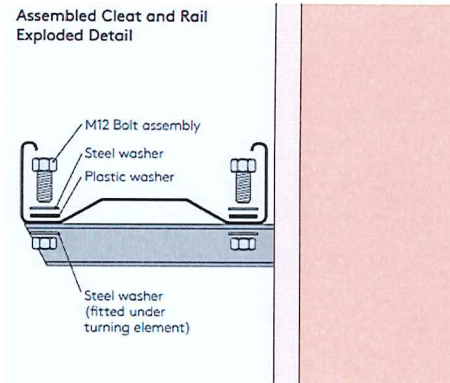
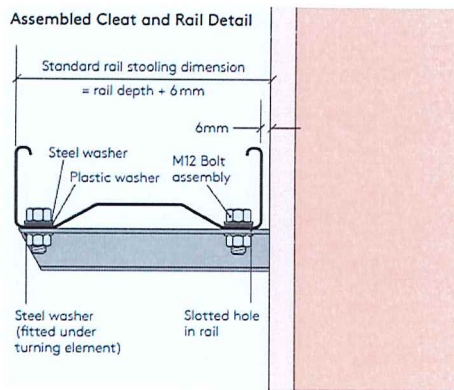
Monopitch Detail Stanchion Connection



- Fasadne rigle su elementi na koje se naslanjaju fasadni zidovi. Primarno opterećenje ovim elementima je vjetar koji duva upravno na fasadni zid (pritisak ili sisanje). Iz tog razloga fasadne rigle se postavljaju oborene, tako da se opiru silama vjetra savijanjem oko jače ose.



- Fasadne rigle se obično projektuju sa rasponom od 3.0 - 6.0 m. Pošto je raster glavnih stubova u podužnom zidu obično veći, potrebno je projektovati određeni broj međustubova. Razmak između međustubova međusobno ili između međustubova i glavnih stubova je u stvari raspon fasadne rigle u podužnom zidu.
- U kalkanskom zidu, od jednog do drugog glavnog stuba potrebno je projektovati određeni broj međustubova tako da se dobije racionalan raspon (3.0 - 6.0 m) za fasadne rigle u kalkanu.
- Međusobni razmak pojedinih fasadnih rigli treba da se kreće od 1.0 - 4.0 m, u slučaju kada se fasadni paneli postavljaju vertikalno. Fasadne rigle obavezno treba predvidjeti ispod i iznad prozora, kao i iznad vrata. Fasadne rigle nisu potrebne (osim ispod i iznad prozora i iznad vrata), ako se fasadni paneli postavljaju horizontalno. U ovim slučajevima fasadni paneli se oslanjaju direktno na međustubove i glavne stubove.
- Fasadne rigle, kao i rožnjače se obično projektuju od hladno oblikovanih U, Z, Σ, C... profila. Visina ovih profila se kreće od 150 - 250 mm.
- Na sljedećim skicama se prikazuje nekoliko detalja veza fasadnih rigli i stubova na mjestima spoja kalkanskog i podužnog zida i kod kalkanskog parapeta (dio zida koji nadvišuje krov, ako se to arhitektonski zahtijeva).



HLADNO OBLIKOVANE ROŽNJAČE I FASADNE RIGLE PRIDRŽANE LIMOM

- U slučaju hladno oblikovanih rožnjača i fasadnih rigli, krovni pokrivač ili fasadna obloga, koji se oslanjaju na rožnjače ili fasadne rigle, svojom krutošću obezbijavaju određenu torzionu uklještenost i bočnu nepomjerljivost ovih elemenata. Ova činjenica ima za posljedicu nešto racionalnije dimenzije presjeka rožnjača i rigli, u skladu sa odgovarajućim proračunom koji se u nastavku izlaže.
- Rožnjače ili fasadne rigle Z, C, Σ, U i *šeširastog* poprečnog presjeka sa $h / t < 233$, $c / t \leq 20$ za jednostruke prevoje i $d / t \leq 20$ za dvostruke ivične prevoje, pridržane limom (krovni lim ili panel ili fasadni lim ili panel), mogu da se proračunaju prema odredbama MEST EN 1993-1-3, Poglavlje 10.
- Ove odredbe mogu da se primijene za rožnjače sa zategama, kontinualne rožnjače i rožnjače sa umecima i preklopima.
- Kada je trapezasti lim spojen sa rožnjačom (fasadnom riglom), rožnjača može da se smatra bočno pridržanom, u ravni lima na mjestu spoja, ako je uslov izražen sljedećom jednačinom ispunjen:

$$S \geq \left(EI_w \frac{\pi^2}{L^2} + GI_t + EI_z \frac{\pi^2}{L^2} 0,25h^2 \right) \frac{70}{h^2}$$

gdje je:

S dio krutosti na smicanje koju obezbjeđuje profilisani lim ispitivanom elementu (rožnjača ili fasadna rigla) koji je spojen sa limom u svakom rebru (ako je lim povezan sa rožnjačom samo u svakom drugom rebru, S treba zamijeniti sa $0,2 S$);

I_w sektorski moment inercije rožnjače;

I_t torzioni moment inercije rožnjače;

I_z moment inercije oko slabije ose poprečnog presjeka rožnjače;

L dužina rožnjače;

h visina rožnjače.

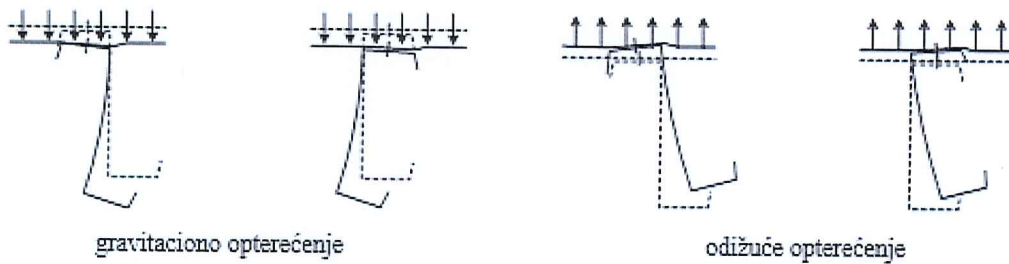
- Krutost na smicanje trapezastog lima koji je spojen sa rožnjačom u svakom rebru i spojen sa svake strane preklopa, može se računati kao:

$$S = 1000\sqrt{t^3 (50 + 10\sqrt{b_{\text{roof}}})} \frac{s}{h_w} \quad (N) \quad t \text{ i } b_{\text{roof}} \text{ u mm}$$

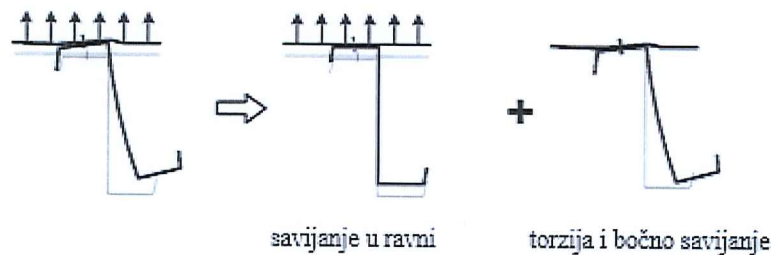
gdje je:

- t proračunska debljina trapezastog lima;
- b_{roof} širina krova;
- s udaljenost između rožnjača;
- h_w visina profila trapezastog lima

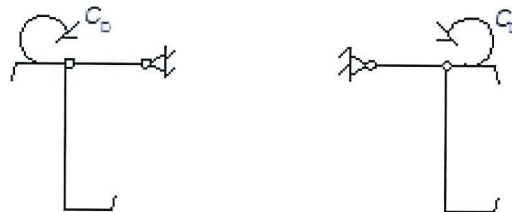
- Ponašanje bočno pridržanih rožnjača treba da se modelira kako je naznačeno na sljedećim skicama. Može se podrazumijevati da spoj rožnjače sa limom djelimično sprečava uvijanje rožnjače. To djelimično torziono pridržavanje može se predstaviti rotacionom oprugom koja ima krutost C_D . Naponi u slobodnoj nožici, koja nije direktno povezana sa limom, treba da se izračunaju superponiranjem uticaja usljed savijanja u ravni i uticaja torzije, uključujući bočno savijanje usljed krivljenja poprečnog presjeka.
- Kada je slobodna nožica rožnjače, sistema proste grede, pritisnuta usljed odižućeg opterećenja, takođe treba da se uzme u obzir povećanje napona usljed torzije i krivljenja presjeka.
- Ukoliko se ne sprovodi proračun po teoriji drugog reda, treba da se koristi metoda koja uzima u obzir tendenciju slobodne nožice ka bočnom pomjeranju (prouzrokujući dodatne napone), tretirajući je kao gredu koja je izložena dejstvu bočnog opterećenja $q_{h,Ed}$ (prikazano na sljedećim skicama).
- Za primjenu u ovoj metodi, rotaciona opruga treba da se zamijeni ekvivalentnom bočnom linearnom oprugom krutosti K . Pri određivanju krutosti K treba uzeti u obzir uticaj krivljenja poprečnog presjeka. U tu svrhu slobodna nožica može da se tretira kao pritisnuti element izložen dejstvu promjenljive aksijalne sile sa kontinualnim elastičnim bočnim osloncem krutosti K (prikazano na sljedećim skicama).



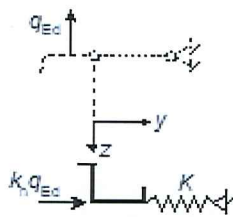
a) Z i C rožnjače sa gornjom nožicom spojenom za lim



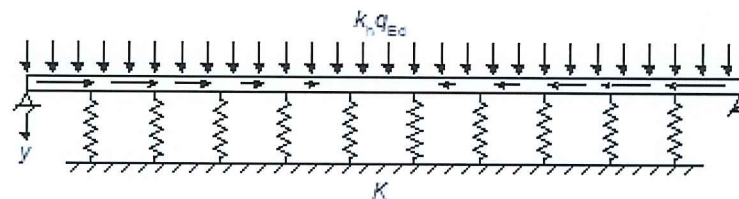
b) Ukupna deformacija razdvojena na dva dijela



c) Model rožnjače bočno pridržane rotacionom oprugom krutosti C_D od lima



d) Pojednostavljeno zamjenom rotacione opruge C_D bočnom oprugom krutosti K



e) Slobodna nožica rožnjače modelirana kao greda na elastičnim osloncima. Model obuhvata uticaj torzije i bočnog savijanja (uključujući krivljenje poprečnog presjeka) za prostu gredu sa odižućim opterećenjem

Slika 10.1: Modeliranje bočno pridržanih rožnjača koje su rotaciono pridržane limom

- Za precizniji proračun treba sprovesti numeričku analizu sa vrijednostima rotacione krutosti opruge C_D (proračun se daje u sljedećem poglavlju u kome se obrađuje uprošćeni proračun rožnjača). Treba uzeti u obzir uticaje početne imperfekcije zakrivljenja (e_0) slobodne nožice. Početna imperfekcija treba da bude kompatibilna sa oblikom relevantnog tona izvijanja, određenog svojstvenim vektorima dobijenim na osnovu elastične analize izvijanja prvog reda.

Nosivost poprečnih presjeka

- Za rožnjače izložene dejstvu aksijalne sile i poprečnog opterećenja, nosivost poprečnog presjeka treba da se provjeri kako je naznačeno na sljedećoj skici, superponirajući napone usljed:
 - momenta savijanja u ravni $M_{y,Ed}$;
 - aksijalne sile N_{Ed} ;
 - ekvivalentnog bočnog opterećenja $q_{h,Ed}$ koje djeluje na slobodnu nožicu usljed torzije i bočnog savijanja.
- Maksimalni naponi u poprečnom presjeku treba da zadovolje sljedeće:

- za pridržanu nožicu:

$$\sigma_{\max,Ed} = \frac{M_{y,Ed}}{W_{\text{eff},y}} + \frac{N_{Ed}}{A_{\text{eff}}} \leq f_y / \gamma_M$$

- za slobodnu nožicu:

$$\sigma_{\max,Ed} = \frac{M_{y,Ed}}{W_{\text{eff},y}} + \frac{N_{Ed}}{A_{\text{eff}}} + \frac{M_{fz,Ed}}{W_{fz}} \leq f_y / \gamma_M$$

gdje je:

A_{eff} efektivna površina poprečnog presjeka samo za ravnomjerni pritisak;

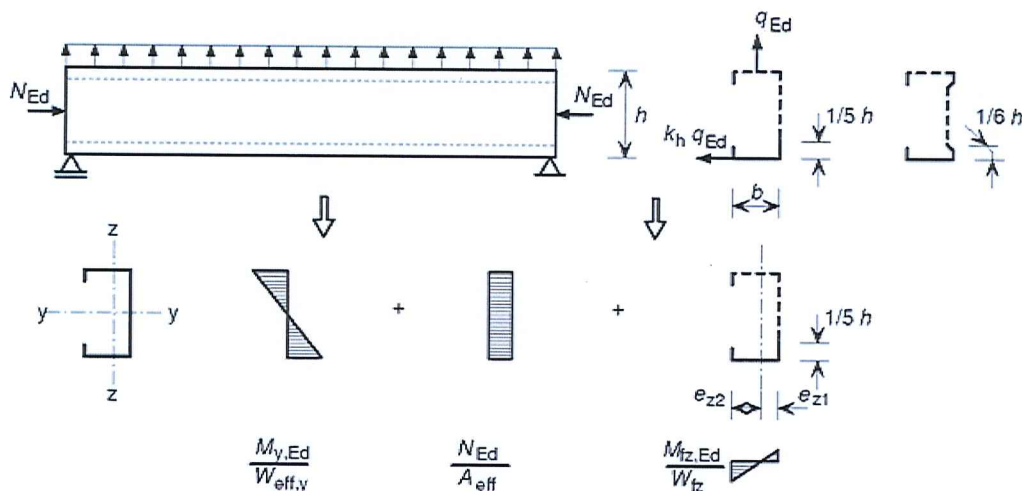
f_y granica razvlačenja;

$M_{fz,Ed}$ moment savijanja u slobodnoj nožici usljed bočnog opterećenja $q_{h,Ed}$;

$W_{\text{eff},y}$ efektivni otporni moment poprečnog presjeka za savijanje oko y-y ose;

W_{fz} bruto elastični otporni moment slobodne nožice i sadejstvujućeg dijela rebra za savijanje oko z-z ose; može se usvojiti da je sadejstvujući dio rebra jednak 1/5 visine rebra od tačke presjeka nožice i rebra za slučaj C i Z presjeka, odnosno 1/6 visine rebra za slučaj Σ presjeka, vidjeti sljedeću skicu;

- Treba voditi računa da je $\gamma_M = \gamma_{M0}$ ako je $A_{eff} = A_g$ ili ako je $W_{eff,y} = W_{el,y}$ i $N_{Ed} = 0$, u suprotnom $\gamma_M = \gamma_{M1}$.



- Ekvivalentno bočno opterećenje $q_{h,Ed}$ koje djeluje na slobodnu nožicu, usljed torzije i bočnog savijanja, treba da se odredi iz:

$$q_{h,Ed} = k_h q_{Ed}$$

- Koeficijent k_h za uobičajene vrste poprečnih presjeka treba da se odredi prema metodologiji koja se daje u MEST EN 1993-1-3, Poglavlje 10.
- Radi se o nešto komplikovanijoj proceduri koja podrazumijeva proračun: krutosti bočne opruge po jedinici dužine K , koeficijenta oslonačke opruge R (koji zavisi, pored ostaloga i od rastojanje između zatega) i rotacione krutosti opruge C_D .
- Umjesto ovog postupka, kao i obavezne provjere na izvijanje slobodne nožice (sljedeće poglavlje), u ovom predavanju će se izložiti nešto manje zametan postupak proračuna koji se izlaže u MEST EN 1993-1-3, Aneks E: Pojednostavljeni proračun rožnjača.
- Takođe, veoma važno je primjetiti da svi postupci proračuna izloženi ovdje, uključujući i pojednostavljeni proračun rožnjača, podrazumijevaju prethodni proračun efektivnih karakteristika poprečnih presjeka (A_{eff} , $W_{eff,y}$...), s obzirom na klasu presjeka 4, kao i specifičnosti hladno oblikovanih presjeka (distorziona izbočavanje). Ova činjenica dodatno komplikuje i onako veoma zametan proračun.**

- Ozbiljne firme (Ruukki, King Span, MetSEC - Voestalpine ...) koje proizvode hladno oblikovane profile (Z, C, Σ, U i šeširaste poprečne presjeke), koji se koriste kao rožnjače i fasadne rigle, u svojim katalogima i tablicama daju efektivne karakteristike poprečnih presjeka i za gravitaciono opterećenje (snijeg) i za odižuće opterećenje (vjetar) ili što je veoma važno daju tablice sa uključenim kompletnim proračunom, tako da je odabir odgovarajuće rožnjače (ili fasadne rigle) veoma pojednostavljen. Najzad postoje i besplatni softveri za proračun rožnjača i fasadnih rigli (Ruukki - PurCalc, MetSPEC ...).

Otpornosti na izvijanje slobodne nožice

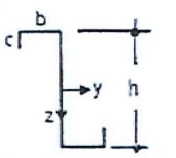
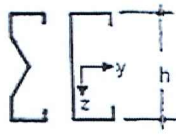
- Ako je slobodna nožica pritisnuta, njenu otpornost na izvijanje treba provjeriti koristeći:

$$\frac{1}{\chi_{LT}} \left(\frac{M_{y,Ed}}{W_{eff,y}} + \frac{N_{Ed}}{A_{eff}} \right) + \frac{M_{fz,Ed}}{W_{fz}} \leq f_{yb} / \gamma_{M1}$$

- Pri čemu je χ_{LT} redukcioni faktor za bočno-torziono izvijanje (fleksiono izvijanje slobodne nožice).
- Prema odredbama MEST EN 1993-1-3 NA, vrijednosti χ_{LT} može da se odredi primjena EN 1993-1-1, korišćenjem krive izvijanja b ($\alpha_{LT} = 0,34$; $\bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4$; $\beta = 0,75$) za relativnu vitkost $\bar{\lambda}_{fz}$ definisanu u standardu.
- U nastavku standarda daje se detaljni postupak proračuna za redukcioni faktor bočno-torzionog izvijanja χ_{LT} .

Pojednostavljeni proračun hladno oblikovanih rožnjača prema MEST EN 1993-1-3, Aneks E

- Rožnjače sa C, Z i Σ poprečnim presjekom, sa ili bez dodatnih ukrućenja na rebru ili nožici, mogu da se proračunaju prema odredbama MEST EN 1993-1-3, Aneks E ako su ispunjeni sljedeći uslovi:
 - dimenzije poprečnog presjeka su u okviru oblasti datih u sljedećoj tabeli;
 - rožnjače su horizontalno pridržane trapezastim limom, a horizontalno pridržavanje ispunjava uslove krutosti na smicanje koju obezbjeđuje profilisani lim S (jednačine data u prethodnom poglavlju);
 - rožnjače su rotaciono pridržane trapezastim limom i uslovi za koeficijent rotacije C_{100} su ispunjeni (tabela za C_{100} se daje u nastavku);
 - rožnjače su istih raspona i opterećene su ravnomjernim opterećenjem.

Rožnjače	t [mm]	b/t	h/t	h/b	c/t	b/c	L/h
	$\geq 1,25$	≤ 55	≤ 160	$\leq 3,43$	≤ 20	$\leq 4,0$	≥ 15
	$\geq 1,25$	≤ 55	≤ 160	$\leq 3,43$	≤ 20	$\leq 4,0$	≥ 15

- Ova metoda ne treba da se koristi:
 - za sisteme sa zategama;
 - za sisteme sa preklopom i umetkom;
 - kada djeluje aksijalna sila N_{Ed} .
- Proračunska vrijednost momenta savijanja M_{Ed} treba da zadovolji:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{LT,Rd}} \leq 1$$

$$M_{LT,Rd} = \left(\frac{f_y}{\gamma_{M1}} \right) W_{eff,y} \frac{\chi_{LT}}{k_d}$$

gdje je:

$W_{\text{eff},y}$ otporni moment efektivnog poprečnog presjeka u odnosu na y-y osu;

χ_{LT} faktor redukcije za bočno-torziono izvijanje;

faktor redukcije χ_{LT} (vidjeti Čelične konstrukcije I, Bočno torziono izvijanje) treba sračunati u zavisnosti od $\bar{\lambda}_{LT}$, pomoću krive izvijanja b , a umjesto faktora imperfekcije α_{LT} , treba koristiti $\alpha_{LT,\text{eff}}$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{\text{eff},y} f_y}{M_{\text{cr}}}}$$

$$\alpha_{LT,\text{eff}} = \alpha_{LT} \sqrt{\frac{W_{\text{el},y}}{W_{\text{eff},y}}}$$

gdje je:

$W_{\text{el},y}$ otporni moment bruto poprečnog presjeka u odnosu na y-y osu;

k_d koeficijent kojim se uzima u obzir nepridržani dio rožnjače:

$$k_d = \left(a_1 - a_2 \frac{L}{h} \right), \text{ ali } \geq 1,0$$

gdje je:

a_1, a_2 koeficijenti iz sljedeće tabele;

L raspon rožnjače;

h ukupna visina rožnjače.

Sistem	Z - rožnjače		C - rožnjače		Σ - rožnjače	
	a_1	a_2	a_1	a_2	a_1	a_2
prosta greda gravitaciono opterećenje	1,0	0	1,1	0,002	1,1	0,002
prosta greda odižuće opterećenje	1,3	0	3,5	0,050	1,9	0,020
kontinualna greda gravitaciono opterećenje	1,0	0	1,6	0,020	1,6	0,020
kontinualna greda odižuće opterećenje	1,4	0,010	2,7	0,040	1,0	0

- Za slučaj proste grede opterećene gravitacionim opterećenjem, kada se može smatrati da je gornja pritisnuta nožica kontinualno bočno pridržana krovnim pokrivačem, usvaja se da je faktor redukcije za bočno-torziono izvijanje:

$$\chi_{LT} = 1.0$$

- U svim ostalim slučajevima faktor redukcije za bočno-torziono izvijanje χ_{LT} se izračunava prema prethodno izloženom postupku. Elastični kritični moment bočnog torzionog izvijanja M_{cr} može se sračunati po uprošćenom izrazu:

$$M_{cr} = \frac{k}{L} \sqrt{G I_t^* E I_v}$$

gdje je:

I_v moment inercije bruto poprečnog presjeka u odnosu na slabiju glavnu osu v-v;

I_t^* fiktivni St.Venant-ov torzioni moment inercije koji uzima u obzir efektivno rotaciono pridržavanje:

$$I_t^* = I_t + C_D \frac{L^2}{\pi^2 G}$$

gdje je:

I_t St.Venant-ov torzioni moment inercije rožnjače;

C_D ukupnu rotacionu krutost opruge:


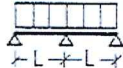
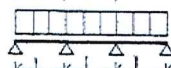
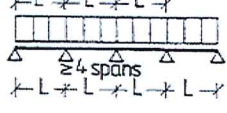
$$1/C_D = \frac{1}{C_{D,A}} + \frac{1}{C_{D,B}} + \frac{1}{C_{D,C}}$$

$C_{D,A}$ rotaciona krutost veze između lima (krovnog pokrivača, fasadne obloge) i rožnjače;

$C_{D,B}$ rotaciona krutost usljed krivljenja poprečnog presjeka rožnjače;

$C_{D,C}$ rotaciona krutost koja odgovara krutosti lima (krovnog pokrivača, fasadne obloge) na savijanje;

k koeficijent bočnog torzionog izvijanja, prema sljedećoj tabeli:

Statički sistem	Gravitaciono opterećenje	Odižuće opterećenje
	∞	10,3
	17,7	27,7
	12,2	18,3
	14,6	20,5

Proračun rotacionih krutosti $C_{D,A}$, $C_{D,B}$ i $C_{D,C}$

- Ukoliko su spojna sredstva kojima se spaja lim sa rožnjačom postavljena u sredini nožice rožnjače, vrijednost $C_{D,A}$ za trapezasti lim koji je spojen sa gornjom nožicom rožnjače može da se odredi kako slijedi:

$$C_{D,A} = C_{100} \cdot k_{ba} \cdot k_t \cdot k_{bR} \cdot k_A \cdot k_{bT}$$

gdje je:

$$k_{ba} = (b_a / 100)^2$$

ako je $b_a < 125 \text{ mm}$;

$$k_{ba} = 1,25(b_a / 100)$$

ako je $125 \text{ mm} \leq b_a < 200 \text{ mm}$;

$$k_t = (t_{\text{nom}} / 0,75)^{1,1}$$

ako je $t_{\text{nom}} \geq 0.75 \text{ mm}$; pozitivan položaj;

$$k_t = (t_{\text{nom}} / 0,75)^{1,5}$$

ako je $t_{\text{nom}} \geq 0.75 \text{ mm}$; negativan položaj;

$$k_t = (t_{\text{nom}} / 0,75)^{1,5}$$

ako je $t_{\text{nom}} < 0.75 \text{ mm}$;

$$k_{bR} = 1,0$$

ako je $b_R \leq 185 \text{ mm}$;

$$k_{bR} = 185 / b_R$$

ako je $b_R > 185 \text{ mm}$;

za gravitaciono opterećenje:

- $k_A = 1,0 + (A - 1,0) \cdot 0,08$ ako je $t_{nom} = 0.75 \text{ mm}$; pozitivan položaj;
 $k_A = 1,0 + (A - 1,0) \cdot 0,16$ ako je $t_{nom} = 0.75 \text{ mm}$; negativan položaj;
 $k_A = 1,0 + (A - 1,0) \cdot 0,095$ ako je $t_{nom} = 1.00 \text{ mm}$; pozitivan položaj;
 $k_A = 1,0 + (A - 1,0) \cdot 0,095$ ako je $t_{nom} = 1.00 \text{ mm}$; negativan položaj;
- A opterećenje u $[kN/m]$ koje se prenosi sa lima na gredu, ali $A \leq 12.00 \text{ kN/m}$;
- dozvoljena je linearna interpolacija između $t = 0.75 \text{ mm}$ i $t = 1.00 \text{ mm}$;
 - za $t < 0.75 \text{ mm}$, formula ne važi;
 - za $t > 1 \text{ mm}$, formula treba da se koristi sa $t = 1 \text{ mm}$;

za odižuće opterećenje

$$k_A = 1,0 ;$$

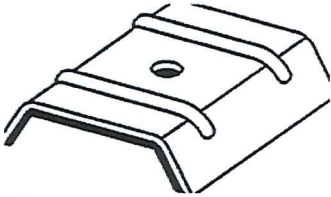
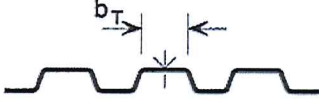
$$k_{bT} = \sqrt{\frac{b_{T,max}}{b_T}}$$

ako je $b_T > b_{T,max}$, u suprotnom $k_{bT} = 1$;

gdje je:

- b_a širina nožice rožnjače $[u \text{ mm}]$;
 b_R širina profilacije lima $[u \text{ mm}]$;
 b_T širina nožice lima preko koje je pričvršćen za rožnjaču;
 $b_{T,max}$ dato u sljedećoj tabeli;

C_{100} koeficijent rotacije, daje se u sljedećoj tabeli (predstavlja vrijednost $C_{D,A}$ ako je $b_a = 100 \text{ mm}$):

Način postavljanja lima		Lim pričvršćen preko		Razmak spojnih sredstava		Prečnik podloške [mm]	C_{100} [kNm/m]	$b_{T,max}$ [mm]
Pozitivan ¹⁾	Negativan ¹⁾	Uvala	Rebro	$e=b_R$	$e=2b_R$			
Za gravitaciono opterećenje:								
X		X		X		22	5,2	40
X		X			X	22	3,1	40
	X		X	X		K_2	10,0	40
	X		X		X	K_2	5,2	40
	X	X		X		22	3,1	120
	X	X			X	22	2,0	120
Za odizujuće opterećenje:								
x		x		x		16	2,6	40
x		x			x	16	1,7	40
Legenda: b_R je širina profilacije b_T je širina uvale lima preko koje je pričvršćen za rožnjaču K_2 označava čeličnu sedlastu podlošku prikazanu ispod sa $r \geq 0,75$ mm						Lim pričvršćen: - preko uvale 		
Vrijednosti u ovoj tabeli važe za: - samonarezujuće zavrtnejeve prečnika $\phi = 6,3$ mm; - čelične podloške debljine $t_w \geq 1,0$ mm						- preko rebra 		

- 1) Način postavljanja lima je pozitivan kada je uža nožica lima na rožnjači, a negativan kada je šira nožica lima na rožnjači.

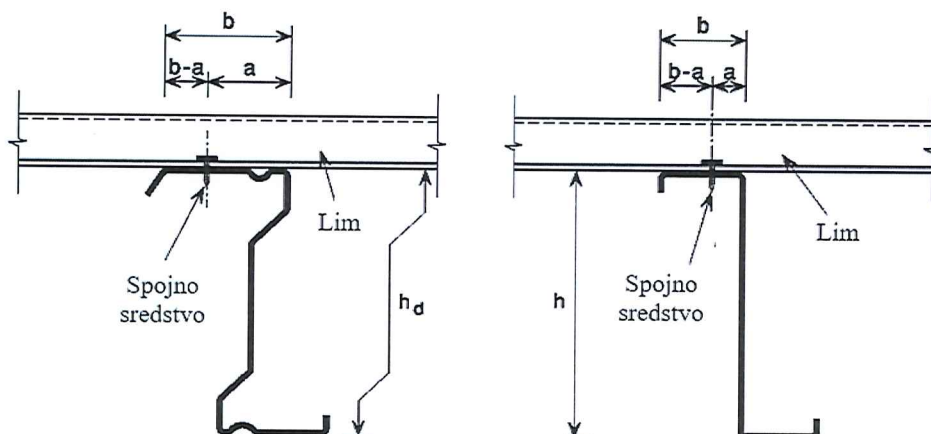
- Rotaciona krutost usljed krivljenja poprečnog presjeka rožnjače $C_{D,B}$, treba sračunati pomoću izraza:

$$C_{D,B} = 1/4 E I^3 / (1 - \nu^2) / (h_d + b_{mod})$$

gdje je:

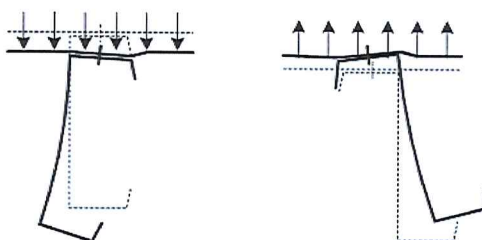
h_d razvijena visina rebra rožnjače, vidjeti sljedeću skicu;

b_{mod} može imati dvije vrijednosti: a i $2a + b$, prema sljedećoj skici:



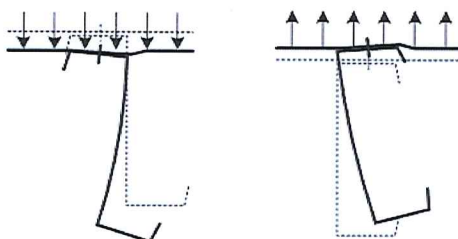
$$b_{\text{mod}} = a$$

za slučajeve kada ekvivalentno bočno opterećenje $q_{h,Ed}$ dovodi rožnjaču u kontakt sa limom preko rebra rožnjače (sljedeća slika):



$$b_{\text{mod}} = 2a + b$$

za slučajeve kada ekvivalentno bočno opterećenje $q_{h,Ed}$ dovodi rožnjaču u kontakt sa limom na vrhu nožice rožnjače (sljedeća slika):



- Da bi se sračunala rotaciona krutost $C_{D,C}$, treba uzeti u obzir rotaciju susjednih rožnjača i stepen kontinuiteta lima. Konzervativno može se koristiti sljedeći postupak:

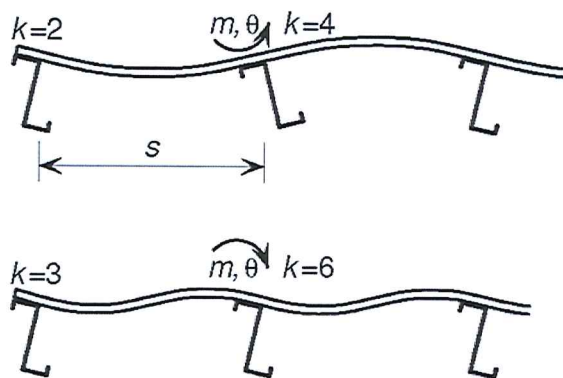
$$C_{D,C} = \frac{kEI_{\text{eff}}}{s}$$

gdje je:

k numerički koeficijent, koji se daje na sljedećoj skici i može imati vrijednosti $k = 2, 3, 4$ ili 6 , u zavisnosti od deformacije lima i položaja rožnjače u odnosu na lim (veza na kraju lima ili veza u nekom srednjem polju);

I_{eff} efektivni moment inercije po jedinici dužine lima;

s razmak rožnjača.



PREDAVANJE 06

Pitanja:

1. Od kojih elemenata se sastoji pravljani sendvič panel?
2. U kojim statičkim sistemima mogu biti horizontalni fasadni paneli?
3. Na koje konstruktivne elemente se oslanjaju vertikalni fasadni paneli?
4. Koji konstruktivni elementi moraju da se projektuju u kalkanskom zidu, bez obzira da li su paneli horizontalni ili vertikalni?
5. U kojim slučajevima je opterećenje od vjetra međustuba u kalkanu, jednako podijeljeno opterećenje?
6. Kojim opterećenjima prima rožnjača?
7. Kojim je jedino opterećenje koje prima fasadna rigla?
8. Ako je raster između glavnih nosača 8.0 m, u kom statičkom sistemu je racionalno projektovati krovnu rožnjaču?
9. Koliki raspon rožnjače treba da bude, pa da je racionalan statički sistem rešetka?
10. Sa kojim elementima se poboljšavaju karakteristike hladno oblikovanih rožnjača na bočno torziono izvijanje?
11. U slučaju odižućeg dejstva vjetra, slobodna nožica rožnjače sistema proste grede je pritisnuta ili zategnuta?