



УНИВЕРЗИТЕТ У БАЊОЈ ЛУЦИ
UNIVERSITY OF BANJA LUKA

АРХИТЕКТОНСКО-ГРАЂЕВИНСКО-ГЕОДЕТСКИ ФАКУЛТЕТ
FACULTY OF ARCHITECTURE, CIVIL ENGINEERING AND GEODESY



СТУДИЈСКИ ПРОГРАМ ГРАЂЕВИНАРСТВО
УСМЈЕРЕЊЕ КОНСТРУКТИВНО

ЗАВРШНИ РАД ПРВОГ ЦИКЛУСА СТУДИЈА

Тема:

ПРОРАЧУН ЧЕЛИЧНОГ НОСАЧА КРАНСКЕ СТАЗЕ

Ментор:

Проф. др. Мирсад Тарић

кандидат:

Милан Крнета 45/15

Бања Лука, Октобар 2020. године

PRORAČUN ČELIČNOG NOSAČA KRANSKE STAZE

BANJA LUKA 2020. GODINA

SADRŽAJ

Sažetak	4
1. UVOD	5
1.1 Tipovi mostnih dizalica	6
1.2 Ostali tipovi dizalica u industrijskim objektima	8
1.3 Konstrukcija mostne dizalice	9
2. ANALIZA OPTEREĆENJA USLJED DJELOVANJA KRANOVA	11
2.1 Vertikalna opterećenja usljed djelovanja mostnih kranova	13
2.2 Horizontalna opterećenja usljed djelovanja kranova	16
2.2.1 Podužne horizontalne sile usljed ubrzanja i kočenja kрана	16
2.2.2 Poprečne horizontalne sile usljed ubrzanja i kočenja kрана	17
2.2.3 Podužne i poprečne horizontalne sile usljed zakošenja kрана	17
2.2.4 Sila usljed udara u odbojnik	18
2.3 Kombinacije opterećenja	18
2.3.1 Kombinacije za granično stanje nosivosti ULS	18
2.3.2 Kombinacije za granično stanje upotrebljivosti SLS	19
3. PRORAČUN KRANSKOG NOSAČA	20
3.1 Kontrola graničnih stanja nosivosti – ULS	20
3.1.1 Nosivost poprečnih presjeka	20
3.1.2 Lokalna naprezanja usljed pritiska točka	22
3.1.3 Kontrola interakcije lokalnih i globalnih naprezanja.....	23
3.1.4 Nosivost nosača na bočno-torziono izvijanje	24
3.1.5 Nosivost na izbočavanje rebra	37
3.1.6 Kontrola nosivosti na zamor	67
3.2 Kontrola graničnih stanja upotrebljivosti – SLS	75
3.2.1 Kontrola vertikalnih pomjeranja	75
3.2.2 Kontrola horizontalnih pomjeranja	75
3.2.3 Kontrola napona	77
3.2.4 Kontrola treperenja rebra	77
3.2.5 Kontrola vibracija donje nožice	77

4. IZBOR STATIČKOG SISTEMA	77
5. IZBOR POPREČNOG PRESJEKA	78
5.1 Dimenzije poprečnog presjeka	81
5.2 Variranje dimenzija poprečnog presjeka	82
6. OSLANJANJE KRANSKOG NOSAČA	82
7. SPREGOVI	84
7.1 Spregovi za prijem bočnih udara	84
7.2 Spregovi za kočenje	85
8. ODBOJNICI	87
9. KRANSKE ŠINE	89
10. PROJEKTNI ZADATAK	93
10.1 Analiza opterećenja usljed dejstva kranske dizalice	94
10.1.1 Dinamički koeficijenti φ_i	95
10.1.2 Vertikalna opterećenja	95
10.1.3 Horizontalna opterećenja	96
10.1.3.1 Podužne horizontalne sile usljed ubrzanja i kočenja kрана	96
10.1.3.2 Poprečne horizontalne sile usljed ubrzanja i kočenja kрана	96
10.1.3.3 Podužne i poprečne horizontalne sile usljed zakošenja kрана	96
10.1.3.4 Horizontalna sila uzrokovana ubrzanjem ili kidanjem užeta	99
10.1.3.5 Sila usljed udara u odbojnik	99
10.2 Proračun nosača kranske staze	99
10.2.1 Statički određen nosač kranske staze	100
10.2.2 Statički neodređen kontinualni nosač kranske staze	100
11. ZAKLJUČAK	101
LITERATURA	103
PRILOZI	104

SAŽETAK:

U ovom radu biće obrađena tema proračuna čeličnog nosača kranske staze mostovske dizalice prema Evrokodu, kao najzastupljenijeg tipa dizalica u industrijskim objektima. Kroz rad će biti obrađena problematika izbora statičkog sistema ovih nosača, izbora profila (valjani ili zavareni), izbor dimenzija poprečnog presjeka nosača, način unošenja koncentrisane sile od točkova dizalice u nosač. Pored prethodno navedenih stavki u radu će se napraviti i poseban osvrt na podužna i poprečna ukrućenja, njihovu ulogu, kao i način optimizacije nosača njihovom primjenom. Poseban fenomen koji se javlja usljed složenog naponskog stanja u ovom tipu konstrukcija je i izbočavanje koje će u ovom radu biti obrađeno u onoj mjeri koja je potrebna za razumijevanje i pravilan način proračuna nosača kranske staze. Postojanje kranske staze u industrijskom objektu povlači za sobom i postojanje još nekih konstruktivnih elemenata kao što su spregovi za bočne udare, kočenje, elemente za oslanjanje na nosivi dio konstrukcije, pa shodno tome rad će sadržavati i poglavlje o ovim dijelovima industrijskog objekta. Rad će nadopuniti konkretan primjer proračuna ovog tipa nosača prema savremenim Evrokod normama. Na kraju rada će se navesti ishodi izrade rada kao i zaključak.

1. UVOD

Kranovi su nezamjenjivi tipovi uređaja u građevinarstvu koji služe za vertikalni i horizontalni transport tereta. Neki od tipova koji se koriste u građevinarstvu su: mostovski kranovi, derik kranovi, portalna dizalica, žičani kranovi itd.

Bitna osobina svakog industrijskog procesa je unutrašnji transport. Posebnu primjenu u industrijskim objektima nalaze mostni kranovi ili dizalice. Pored ovog tipa dvošinskih dizalica u manjem obimu javljaju se i jednošinske tzv. monorej dizalice (engl. *monorail* - jednošinske).

Konstrukcija na koju se postavljaju šine po kojima se kreću mostovske dizalice naziva se nosač kranske staze. Ovi nosači se izrađuju različitih statičkih sistema (prosta greda, kontinualni nosač, gerberov nosač itd.) , a mogu biti i od različitih materijala (armirano-betonske i čelične).

Kranska staza je sadejstvujući sklop koga čine kranski nosač i šina.

U ovom radu akcentat je stavljen na čelične nosače kao i na fenomene koji se vezuju za ovaj tip materijala.

Mostovski kranovi se najčešće izvode na dva načina:

-kranovi koji se kreću po gornjoj pojasnici glavnog nosača (engl. *Top running bridge cranes*),

-kranovi koji se kreću po donjoj pojasnici glavnog nosača (engl. *Underslung bridge cranes*).

Osnovni konstruktivni elementi mostovske dizalice su: kuka, mačka, glavni nosač (most), čeonu poprečni nosači i kranski nosač sa šinom. Pored navedenog tu su još i pogonski uređaj kao i kabina sa sistemom za upravljanje.

Specifičnosti kranskih nosača u odnosu na ostale konstruktivne elemente industrijskog objekta (hale) ogledaju se u uticajima koji se u njima javljaju i koje je potrebno razmatrati: kombinacija poprečnih sila i momenata savijanja, bočno-torziono izvijanje, uticaj bočnih odn. horizontalnih dejstava, torziona napreznja zbog ekscentriciteta šine i horizontalnih sila, a neophodno je kontrolisati i zamor jer su kranski nosači dinamički opterećene konstrukcije sa velikim brojem ciklusa opterećenja i rasterećenja u toku vijeka eksploatacije.

Dominantno opterećenje koje djeluje na kran je vertikalno, a prati ga bočno odn. horizontalno opterećenje. U toku rada kрана nastaju opterećenja koja imaju i statičku i dinamičku komponentu, a mijenjaju se u funkciji vremena i zavise od položaja kрана, težine tereta kojeg prenose, kao i od položaja tereta na kranskom mostu. Dinamičke sile koje nastaju pri pokretanju i zaustavljanju kрана, pri podizanju tereta i zbog neravnosti šina zavise od vrste kрана kao i od same izvedbe kranskog nosača. Dinamički uticaji se prema propisima uzimaju u obzir tako što se već poznata statička opterećenja množe dinamičkim koeficijentima čija se vrijednost kreće od 1 do 2. Zakošenje kрана pri kretanju rezultuje bočnim opterećenjem, a pri pokretanju i zaustavljanju kranske dizalice javljaju se uzdužne sile.

Na krajevima kranske staze postavljaju se odbojnici koji moraju biti proračunati tako da mogu da private odbojnu silu. Od ostalih opterećenja potrebno je uzeti u obzir i opterećenja od revizijskih staza, penjalica i električnih vodova.

Kod nosača kranske staze jako je važno ograničiti i veličine deformacija, da bi se izbjegli neželjeni dinamički efekti, te radi trajnosti same konstrukcije i dizalice.

Podatke o mostovskim dizalicama bitne za projektovanje kranske staze daje sam proizvođač dizalice, a bitni parametri su: raspon dizalice, vlastita težina, nosivost i gabaritne mjere.

Bitno je napomenuti da se za kranski nosač pored I profila (valjanih ili zavarenih), mogu upotrebiti rešetkasti ili sandučasti nosači.

1.1 Tipovi mostovskih dizalica

Mostovske dizalice se koriste pri manipulaciji najrazličitijim vrstama tereta u proizvodnim halama, radionicama, skladišnim prostorima, energetske objektima, valjaonicama, ljevaonicama, kod obavljanja tehnoloških procesa, montaže ili demontaže opreme itd.

U zavisnosti od zahtjevanosti nosivosti, mogućnosti ugradnje i raspona upotrebljavaju se sljedeći tipovi mostovskih dizalica:

- jednogredne mostovske dizalice,
- dvogredne mostovske dizalice i
- viseće mostovske dizalice.

Jednogredne mostovske dizalice se najčešće izrađuju nosivosti od 500 kg do 20 t i raspona do 25m.



Slika 1.1-Jednogredna mostovska dizalica nosivosti 10 t, raspona 15.2 m

Dvogredne mostovske dizalice se izrađuju nosivosti od 1 t pa do 50 t i raspona do 30m.



Slika 1.2-Dvogredna mostovska dizalica nosivosti 5 t, raspona 19.15 m

Viseće mostovske dizalice se najčešće izrađuju nosivosti 500 kg do 20 t i raspona do 25 m.



Slika 1.3-Viseća mostovska dizalica nosivosti 3.2 t, raspona 9.32 m

Sve radne kretne dizalice mogu biti na elektromotorni pogon (jednobrzinske ili višebrzinske), na ručni lančani ili pneumatski pogon. Dizalicom se može upravljati putem ovješene upravljačke konzole koja visi sa same dizalice ili bežičnim putem pomoću radio daljinskog upravljača. Ugradnjom frekventnih pretvarača moguće je ostvariti finu regulaciju brzine svih

pogona čime se uklanjaju udari prilikom pokretanja, smanjuje trošenje kočnica te je pogon znatno tiši.

1.2 Ostali tipovi dizalica u industrijskim objektima

U manjem obimu od mostovskih dizalica u industrijskim objektima (halama) se koriste konzolne dizalice i monorej (*engl. monorail*) dizalice.

Konzolne dizalice svoju primjenu nalaze u proizvodnji za opsluživanje različitih mašina i manjih tehnoloških cjelina. Proizvode se u više različitih varijanti u zavisnosti od tehnološkog procesa u okviru koga se ugrađuju. Mogu da budu:

- stubne konzolne dizalice (SKD) i,
- zidne konzolne dizalice (ZKD).



Slika 1.4-Stubna konzolna dizalica nosivosti 500 kg, raspona 3 m

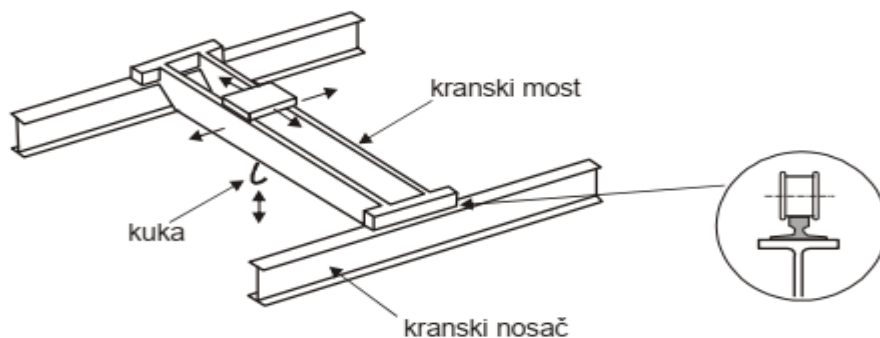


Slika 1.5-Zidna konzolna dizalica

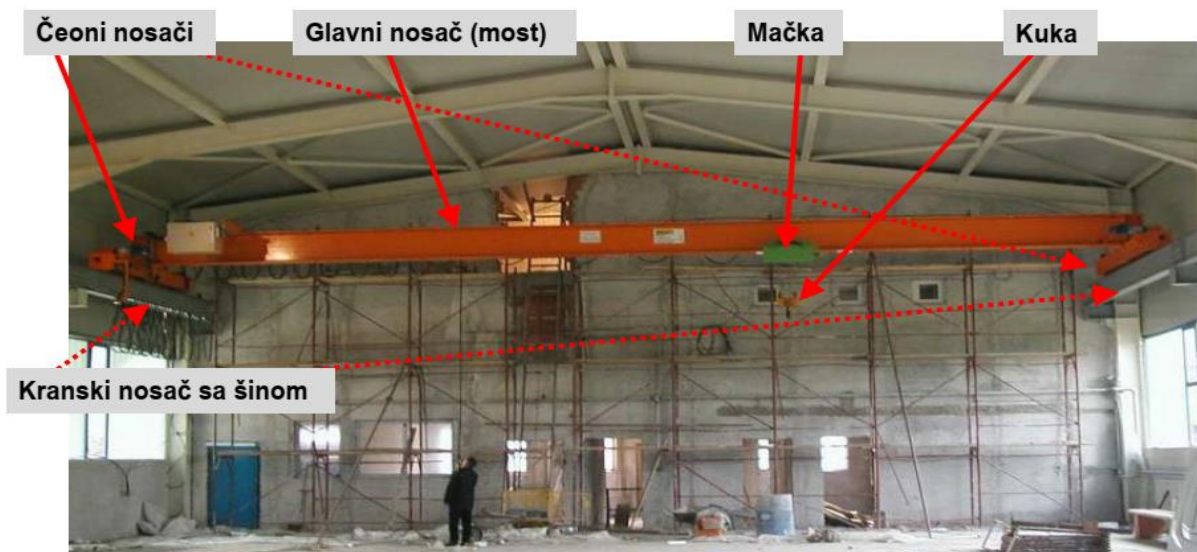
Konzolne dizalice mogu da imaju ograničen ugao rotacije ili neograničenu rotaciju (pun krug) konzolne grane. Sve radne kretne dizalice (dizanje tereta, rotacija konzole i vožnja ovješnih kolica duž konzole) mogu biti na elektromotorni ili ručni pogon.

1.3 Konstrukcija mostovske dizalice

Mostovska dizalica ima oblik mosta po čemu je i dobila ime, a kao što je prethodno navedeno, kreće se po visoko podignutim šinama iznad operativne površine. Most dizalice služi za kretanje kolica koja nose zahvatni uređaj sa mehanizmom za dizanje i spuštanje tereta. Konstrukcija mosta treba da obezbjedi pozicioniranje zahvatnog uređaja dizalice po najkraćoj putanji u svakoj tački operativne površine. Most se sastoji od jednog ili dva glavna nosača i dva čeona nosača. U čeonim nosačima su smješteni pogonski i slobodni točkovi preko kojih se most oslanja na stazu i ostvaruje translatorno kretanje. Upravljanje mostovskom dizalicom može da bude iz radnog hodnika, kabine ili automatsko.



Slika 1.6-Šematski prikaz mostovskog kрана



Slika 1.7-Konstrukтивni elementi mostovske dizalice

Most kod lakih dizalica se na stazu oslanja preko četiri točka, a kod težih dizalica u cilju smanjenja specifičnog pritiska na stazu broj točkova je veći. Kod lakih dizalica pogon se vrši preko dva simetrično raspoređena pogonska točka na čeonim nosačima, a kod težih se izvodi u četiri tačke. Konvencionalne konstrukcije pogonske grupe su izvođene sa centralnim pogonom koji se sastoji od jednog centralno postavljenog motora i reduktora sa prenosom pogonske sile na pogonske točkove preko vratila. Danas se uglavnom koristi princip pojedinačnog pogona sa ugradnjom elektromotora i reduktora direktno na pogonski točak. Da bi se izbjeglo zakošenje mosta pri kretanju elektromotori se sinhronizuju.

Kolica predstavljaju najvažniji radni dio mostovskih dizalica. Koristi se niz različitih konstruktivnih oblika kolica, ali generalno se dijele na ležeća i viseća kolica. Konstrukcija kolica zavisi od namjene dizalice:

- standardne dizalice za rukovanje komadnim i rasutim teretom sa slobodno visećim teretom kod kojih se teret najčešće kači na kuku, ali u određenim slučajevima koriste se specijalni zahvatni uređaji kao što su elektromagneti, klješta, pneumatski uređaji i sl., za rukovanje rasutom robom koriste se posebno prilagođeni oblici kolica sa više užadi za zahvatanje i odlaganje pomoću grabilice;
- namjenske specijalne mostovske dizalice kod kojih su kolica posebno prilagođena i bitno se razlikuju od sistema koji se koriste kod dizalica opšte namjene.

U grupu namjenskih dizalica spadaju: dizalice prilagođene potrebama procesa u metalurgiji, slagači, specijalne dizalice za automatizovana skladišta profila i šipkastog materijala i viseće dizalice. Za prve navedene dizalice ovog tipa je karakteristično da posjeduju ekstremno velike nosivosti, izložene su uticaju visokih temperatura i konstruktivno su maksimalno prilagođene realizaciji specifičnih zahtjeva metalurških procesa koje opslužuju.

2. ANALIZA OPTEREĆENJA USLJED DJELOVANJA KRANOVA

Modeliranje opterećenja usljed dejstva kranova obrađeno je u dijelu Eurokoda 1 koji nosi oznaku EN 1991-3. Opterećenje kranovima se može razmatrati kao promjenjivo i kao izvanredno opterećenje pa su dani načini modeliranja za svaki od ta dva slučaja. Pri normalnim uslovima korištenja opterećenje radom kрана može se smatrati promjenjivim i uključuje: gravitaciona opterećenja, inercijalne sile nastale zbog ubrzavanja odn. usporavanja i zakošenja kranskog mosta, te dinamičke uticaje. Ovi uticaji se uopšteno mogu podijeliti na:

- promjenjiva vertikalna opterećenja uzrokovana vlastitom težinom kрана i korisnim teretom,
- promjenjiva horizontalna opterećenja uzrokovana ubrzavanjem/usporevanjem i zakošenjem pri kretanju uz ostale dinamičke uticaje.

Dinamičke sile zbog vibracija i inercijalnih sila pri djelovanju kрана uzimaju se u obzir množenjem vrijednosti statičkih sila sa odgovarajućim dinamičkim faktorima φ :

$F_{\varphi,k} = \varphi_i \times F_k$, gdje su:

$F_{\varphi,k}$ – karakteristična vrijednost opterećenja kranom

φ_i – dinamički faktor odn. koeficijent

F_k – karakteristična statička komponenta opterećenja kranom

Tabela 2.1 – Dinamički faktori (koeficijenti)

Dinamički faktor	Učinci koji se razmatraju	Primjenjuje se na
φ_1	Vibracijska pobuda kрана zbog podizanja tereta sa tla	Vlastita težina kрана
φ_2	Dinamički učinak podizanja tereta od tla do kрана	Teret koji se diže
φ_3	Dinamički učinak naglog otpuštanja korisnog opterećenja ako se koriste klješta ili magnet	Teret koji se diže
φ_4	Dinamički učinci zbog kretanja kрана po šinama ili kranskoj stazi	Vlastita težina kрана i teret koji se diže
φ_5	Dinamički učinci uzrokovani pogonskim silama i odnose se na horizontalne sile (horizontalne uzdužne i poprečne), a koje se pojavljuju prilikom kretanja ili kočenja kрана po šinama	Vodne sile
φ_6	Dinamički učinak zbog kretanja probnog tereta po kranskom mostu koji se kreće	Probni teret
φ_7	Dinamički elastični učinak udarca u odbojnice	Sile u odbojniku

Mogućnost istovremenog djelovanja više nabrojanih opterećenja kranom uzima se u obzir na način da se formiraju određene grupe opterećenja, pa se svaka od tih grupa može smatrati jednim karakterističnim opterećenjem kranom koje se onda može kombinovati sa ostalim vrstama (nekranskih opterećenja).

Tabela 2.2 – Grupe opterećenja i dinamički koeficijenti koje treba uzeti u obzir za modelovanje djelovanja kрана kao jednog karakterističnog opterećenja

Djelovanje	Oznaka	Grupe opterećenja									
		GSN							PROBNI TERET	Izvanredno	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Vlastita težina kрана	Q_C	φ_1	φ_1	1	φ_4	φ_4	φ_4	1	φ_1	1	1
Teret koji se diže	Q_H	φ_2	φ_3	-	φ_4	φ_4	φ_4	$^*\eta$	-	1	1
Ubrzanje kranskog mosta	H_L i H_T	φ_5	φ_5	φ_5	φ_5	-	-	-	φ_5	-	-
Iskošenje kranskog mosta pri kretanju	H_5	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-
Ubrzanje ili kočenje mačke ili uređaja za podizanje tereta	H_{T3}	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-
Vjetar pri radu	F_W'	1	1	1	1	1	-	-	1	-	-
Probni teret	Q_T	-	-	-	-	-	-	-	φ_6	-	-
Sila na odbojnice	H_B	-	-	-	-	-	-	-	-	φ_7	-
Sila prevrtanja	H_{TA}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
* η je dio tereta koji se diže, a koji ostaje nakon uklanjanja korisnog opterećenja i nije uračunat u vlastitu težinu											

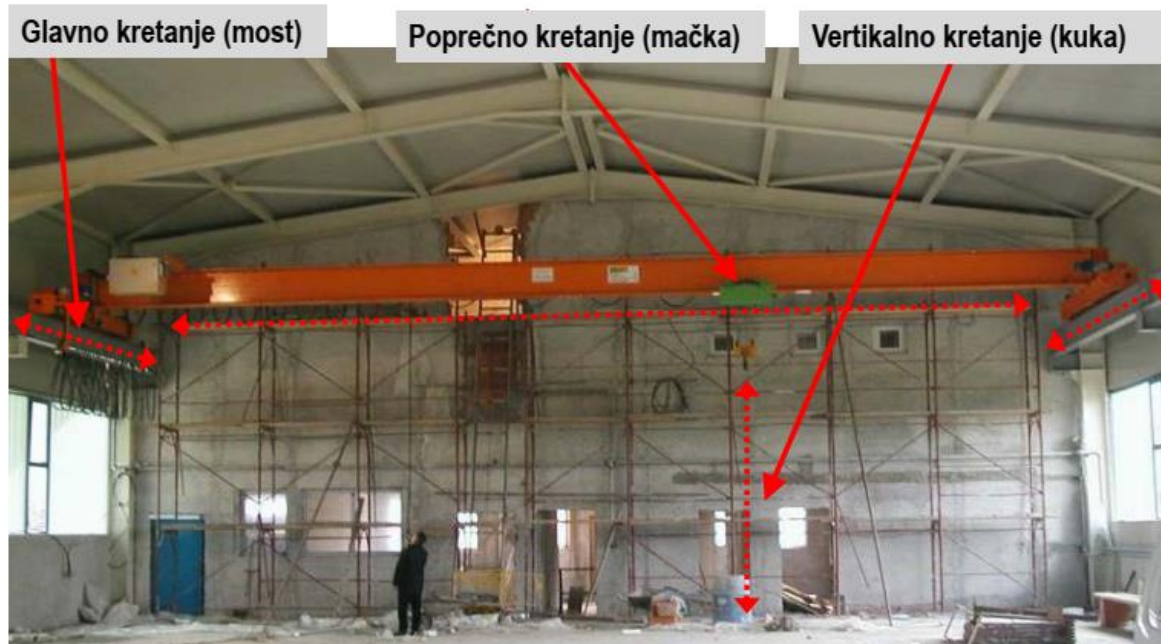
Pri određivanju vertikalnog opterećenja na kranski nosač zbog kretanja mačke po kranskom mostu potrebno je analizirati različite položaje iste (sa i bez tereta) i na taj način pronaći minimalne i maksimalne vrijednosti vertikalnog opterećenja koje se modelira kao koncentrisana sila na mjestima točkova. Vertikalna opterećenja je potrebno povećati množenjem sa odgovarajućim dinamičkim koeficijentima koji su navedeni u tabelama 2.1 i 2.2. Važno je naglasiti da je potrebno voditi računa i o mogućem ekscentricitetu vertikalnog opterećenja. Prema EN 1991-3 preporuka je da se taj ekscentricitet uzme kao 25% širine šine.

Horizontalna opterećenja koje je potrebno uzeti u obzir pri modeliranju su:

- horizontalne sile koje nastaju usljed ubrzavanja i usporavanja kretanja kranskog mosta po šinama
- horizontalne sile koje nastaju usljed ubrzavanja i usporavanja kretanja mačke po kranskom mostu
- horizontalne sile koje nastaju zbog zakošenja kranskog mosta pri kretanju
- udarne sile u branike usljed kretanja kрана
- udarne sile zbog kretanja mačke.

Od svih ovdje nabrojanih slučajeva opterećenja, samo se jedno uzima u obzir u pojedinoj grupi

opterećenja prema tabeli 2.2. Ostala opterećenja koja treba uzeti u obzir su: temperaturni uticaji, opterećenja revizijskih staza, opterećenja platformi i ljestvi, eksperimentalna (testna) opterećenja, izvanredna opterećenja i opterećenja od zamora.



Slika 2.1-Kretanja koja su uzrok pojave horizontalnih inercijalnih dejstava

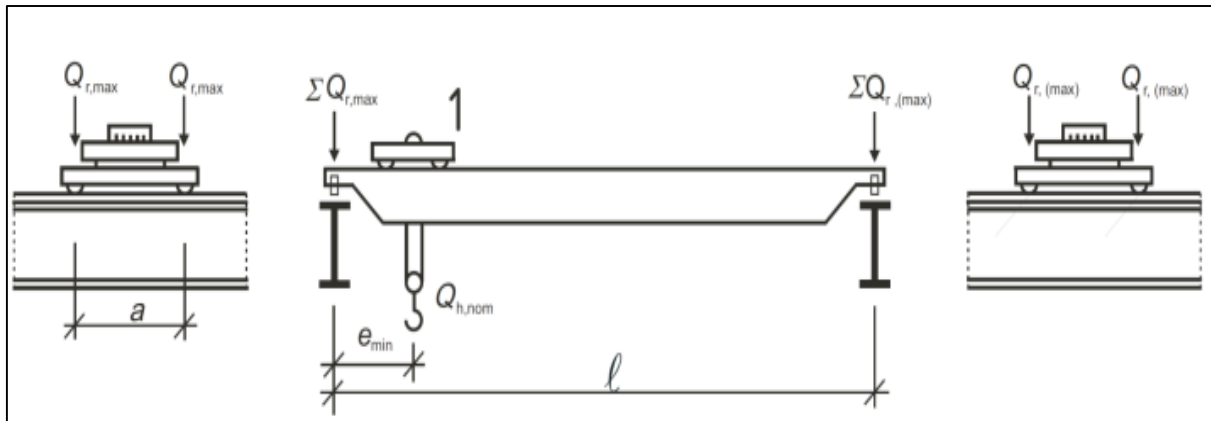
2.1 Vertikalna opterećenja usljed djelovanja mostovskih kranova

Vertikalna opterećenja se definišu u vidu parova koncentrisanih sila koje djeluju na mjestima točkova dizalice. Obavezno se uzima u obzir i dinamički koeficijent. Razmatraju se pojedinačna, karakteristična dejstva usljed sopstvene težine kрана i najnepovoljnijih položaja tereta koji se diže. Vertikalna opterećenja (sile) se označavaju na sljedeći način:

- $Q_{h,nom}$ – težina tereta koji se diže,
- $Q_{r,max}$ – maksimalna sila u točku, opterećenog kрана,
- $Q_{r,(max)}$ – odgovarajuća sila, na drugom kraju,
- $\sum Q_{r,max}$ – suma maksimalnih sila,
- $\sum Q_{r,(max)}$ – suma odgovarajućih sila, na drugom kraju,
- $Q_{r,min}$ – minimalna sila u točku, neopterećenog kрана,
- $Q_{r,(min)}$ – odgovarajuća minimalana sila, na drugom kraju,
- $\sum Q_{r,min}$ – suma minimalnih sila,

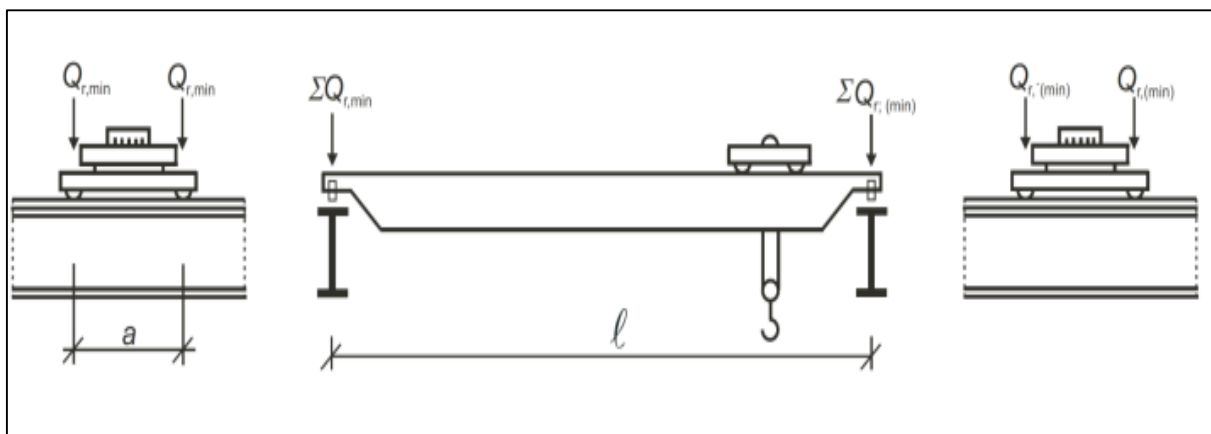
- $\Sigma Q_{r,(min)}$ – suma odgovarajućih sila, na drugom kraju.

Maksimalni pritisak točka $Q_{r,max}$ dobija se kada je maksimalni teret $Q_{h,nom}$ u najbližem mogućem položaju posmatranoj kranskoj stazi e_{min} . Na suprotnoj kranskoj stazi određuje se odgovarajući pritisak točka $Q_{r,(max)}$.



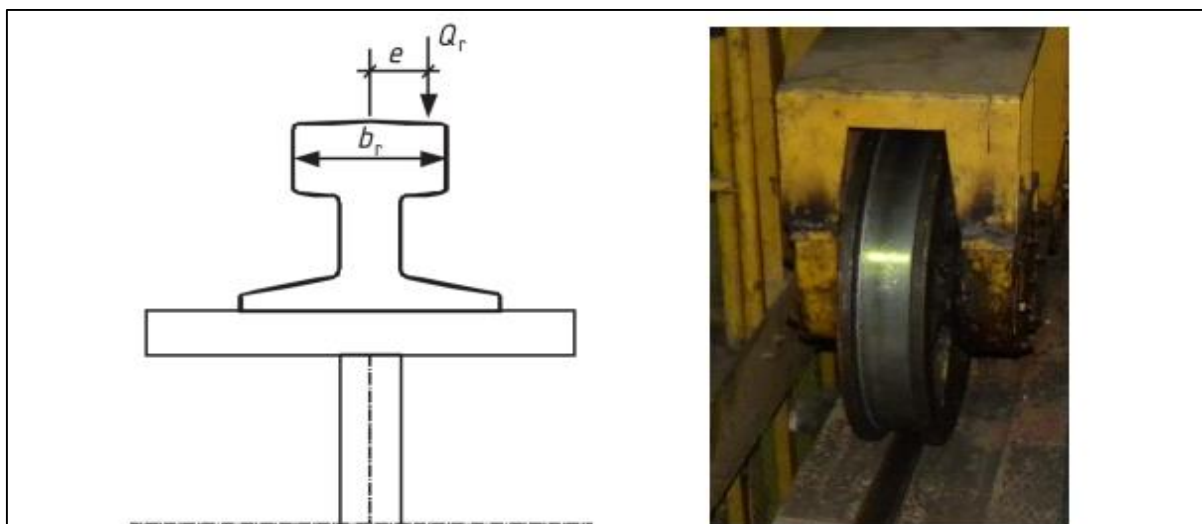
Slika 2.2-Šema opterećenja za dobijanje maksimalnih uticaja [3]

Minimalan pritisak točka $Q_{r,min}$ bez tereta, dobija se kada je „mačka“ u najbližem mogućem položaju suprotnu kranšku stazu. Na suprotnoj kranškoj stazi određuje se odgovarajući pritisak točka $Q_{r,(min)}$.



Slika 2.3-Šema za dobijanje minimalnih uticaja [3]

Ekscentričan položaj točka dizalice koji je predstavljen koncentrisanom silom Q_r treba da bude uzet kao dio širine glave šine b_r . Preporučuje se da ta vrijednost bude $e = 0.25 \cdot b_r$.



Slika 2.4-Ekscentričan položaj točka u odnosu na osu šine

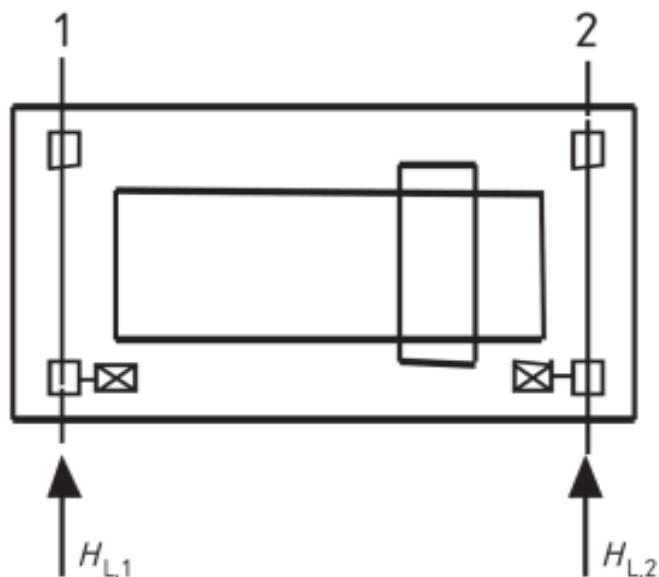
Dinamički koeficijenti iz tabele 2.1 koji se odnose na vertikalna opterećenja (φ_i ; $i=1,2,3,4$) i njihove vrijednosti su date u tabeli ispod.

Tabela 2.3 Dinamički koeficijenti φ_i za vertikalna opterećenja

Dinamički koeficijenti			
φ_1	$0,9 \leq \varphi_1 \leq 1,1$ 0,9 i 1,1 su gornja i donja vrednost	Hoisting class of appliance	β_2
φ_2	$\varphi_2 = \varphi_{2,\min} + \beta_2 v_h$ v_h stabilna brzina podizanja (m/s) $\varphi_{2,\min}$ i β_2 zavise od klase uređaja za podizanje (HC1-HC4)	HC1	0,17
		HC2	0,34
		HC3	0,51
		HC4	0,68
φ_3	$\varphi_3 = 1 - \Delta m(1 + \beta_3)/m$ Δm deo mase tereta koji je ispušten, ili ispao, m ukupna masa koja se podiže (teret + uređaj za podizanje), $\beta_3 = 0,5$ u slučaju postepenog ispuštanja tereta, $\beta_3 = 1,0$ u slučaju naglog ispuštanja tereta (magnetni uređaji).		$\varphi_{2,\min}$
φ_4	$\varphi_4 = 1,0$ Pod uslovom da su tolerancije šina u skladu sa navodima iz EN 1993-6. U suprotnom treba da se odredi prema EN 13001-2.		

2.2 Horizontalana opterećenja usljed djelovanja kranova

2.2.1 Podužne horizontalne sile usljed ubrzanja i kočenja kрана



Slika 2.5-Šema djelovanja datih sila [3]

$H_{L,i} = \varphi_5 \cdot K \cdot \frac{1}{n_r}$ – vrijednost odgovarajuće podužne sile (i – oznaka ose šine; $i=1,2$),

φ_5 – dinamički koeficijent,

n_r – broj kranskih nosača (broj šina).

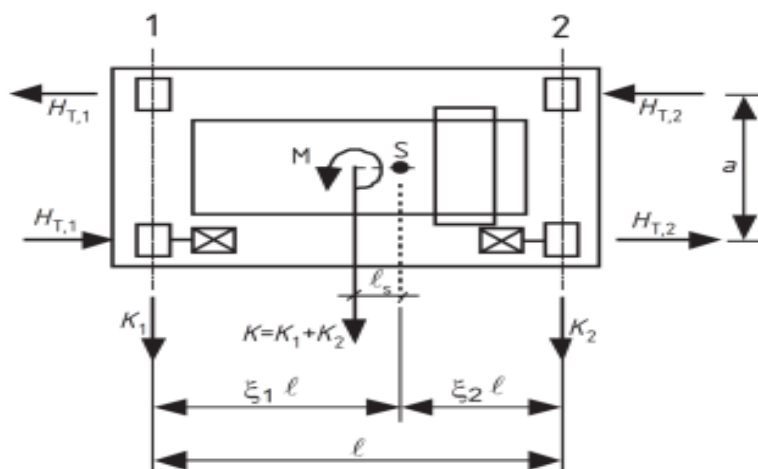
Vrijednost koeficijenta φ_5 uglavnom daje proizvođač dizalice. Ukoliko proizvođač nije dao vrijednost ovog koeficijenta on se može odrediti na osnovu preporuke u tabeli 2.4.

Tabela 2.4 Dinamički koeficijent φ_5

Vrijednost dinamičkog koeficijenta	Primjena
$1.0 \leq \varphi_5 \leq 1.5$	U slučajevima „glatke“ promjene sile
$1.5 \leq \varphi_5 \leq 2.0$	U slučajevima kada se javljaju iznenadne promjene sile
$\varphi_5 = 3.0$	U slučajevima sa značajnim zazorom

2.2.2 Poprečne horizontalne sile usljed ubrzanja i kočenja kрана

Ovim silama se obuhvata efekat asimetričnog položaja opterećenja, a sama dispozicija je data na slici ispod.



Slika 2.5-Šematski prikaz poprečnog opterećenja [3]

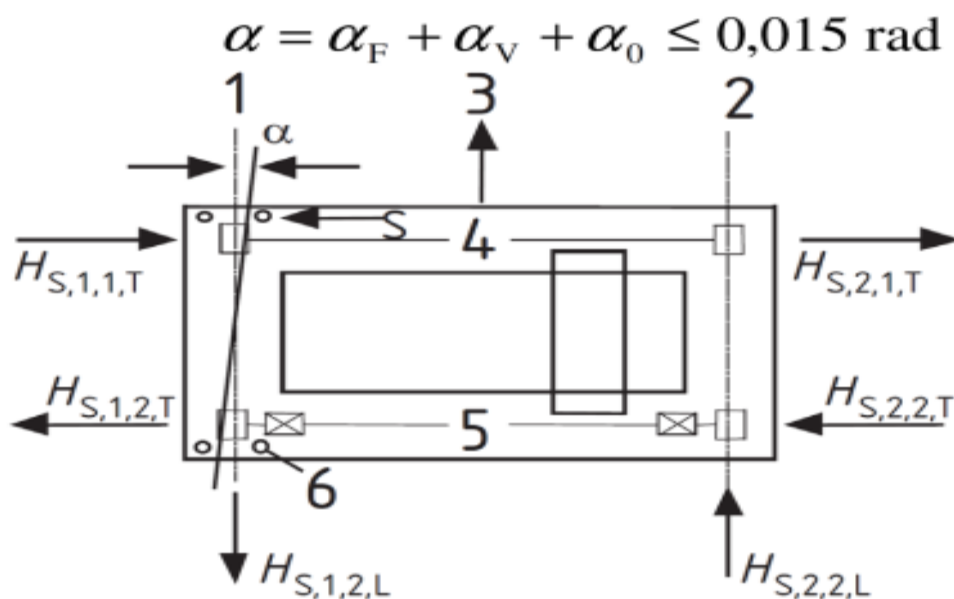
$$H_{T,1} = \varphi_5 \cdot \xi_2 \cdot \frac{M}{a} - \text{poprečna horizontalna sila na šini broj 1,}$$

$$H_{T,2} = \varphi_5 \cdot \xi_1 \cdot \frac{M}{a} - \text{poprečna horizontalna sila na šini broj 2.}$$

$$\Sigma Q_r = \Sigma Q_{r,\max} + \Sigma Q_{r,(\max)}; \quad \xi_1 = \frac{\Sigma Q_{r,\max}}{\Sigma Q_r}; \quad \xi_2 = 1 - \xi_1; \quad M = K \cdot l_s; \quad l_s = (\xi_1 - 0.5) \cdot l$$

Pogonska sila K treba da bude data od strane proizvođača kрана, u suprotnom se određuje prema preporukama iz EN 1991-3.

2.2.3 Podužne i poprečne horizontalne sile usljed zakošenja kрана



Slika 2.6-Šematski prikaz sila [3]

$$H_{S,1,j,L} = f \cdot \lambda_{S,1,j,L} \cdot \sum Q_r ;$$

$$H_{S,2,j,L} = f \cdot \lambda_{S,2,j,L} \cdot \sum Q_r ;$$

$$H_{S,1,j,T} = f \cdot \lambda_{S,1,j,T} \cdot \sum Q_r ;$$

$$H_{S,2,j,T} = f \cdot \lambda_{S,2,j,T} \cdot \sum Q_r ;$$

i – oznaka za redni broj šine; j – oznaka za par točkova; f – faktor koji zavisi od ugla zakošenja

$$f = 0.3 \cdot (1 - e^{-250 \cdot \alpha}) \leq 0.3; \quad \lambda_{S,i,j,K} \text{ – faktor sile.}$$

2.2.4 Sila usljed udara u odbojnik

$$H_{B,1} = \varphi_7 \cdot v_1 \cdot \sqrt{m_c \cdot S_B} \text{ – tražena sila.}$$

v_1 – 70% maksimalne brzine kretanja krana (m/s); m_c – masa krana ili tereta koji se diže (kg);

S_B – elastična krutost odbojnika (N/m); φ_7 – dinamički koeficijent.

Tabela 2.5 Dinamički koeficijent φ_7

Dinamički koeficijent	Karakteristike odbojnika
$\varphi_7 = 1,25$	$0,0 \leq \xi_b \leq 0,5$
$\varphi_7 = 1,25 + 0,7 (\xi_b - 0,5)$	$0,5 \leq \xi_b \leq 1,0$

2.3 Kombinacije opterećenja

2.3.1 Kombinacije opterećenja za granično stanje nosivosti ULS

Kombinacije opterećenja za granična stanja nosivosti vrši se za sljedeće proračunske situacije:

- stalne i prolazne proračunske situacije:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_p \cdot P + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i \geq 2} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

- incidentne proračunske situacije:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + A_d + (\psi_{1,1} \text{ ili } \psi_{2,1}) \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

- seizmičke kombinacije:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + A_{Ed} + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

Tabela 2.6 Vrijednosti parcijalnih koeficijenata prema EN 1991-3

Dejstva	Oznaka	Proračunske situacije	
		Stalne i prolazne	Incidentne
Stalna dejstva usljed kрана: - nepovoljna: - povoljna:	$\gamma_{G \text{ sup}}$ $\gamma_{G \text{ inf}}$	1.35 1.00	1.00 1.00
Promjenljiva dejstva usljed kрана: - nepovoljna: - povoljna: kada je kran prisutan: kada kran nije prisutan:	$\gamma_{Q \text{ sup}}$ $\gamma_{Q \text{ inf}}$	1.35 1.00 0.00	1.00 1.00 0.00
Ostala promjenljiva dejstva: - nepovoljna: - povoljna:	γ_Q	1.50 0.00	1.00 0.00
Incidentna dejstva:	γ_A	-	1.00

Tabela 2.7 Vrijednosti koeficijenata ψ_i prema EN 1991-3

Dejstva	Oznaka	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Jedan kran ili grupa opterećenja usled kranova	Q_r	1,0	0,9	Odnos stalnog i ukupnog opterećenja usled kрана

2.3.2 Kombinacije dejstava za granično stanje upotrebljivosti SLS

Sve kontrole se sprovode za uticaje dobijene na osnovu kombinacija dejstava za SLS. Kod graničnog stanja upotrebljivosti se izostavljaju svi parcijalni koeficijenti. Analiza se sprovodi kroz kombinacije navedene u tabeli 2.8.

Tabela 2.8 Kombinacije dejstava za SLS

Kombinacija	Stalna dejstva		Promenljiva dejstva	
	nepovoljna	povoljna	dominantno	ostala
Karakteristična	$G_{kj,sup}$	$G_{kj,inf}$	$Q_{k,1}$	$\Psi_{0,i} Q_{k,i}$
Česta	$G_{kj,sup}$	$G_{kj,inf}$	$\Psi_{1,1} Q_{k,1}$	$\Psi_{2,i} Q_{k,i}$
Kvazi-stalna	$G_{kj,sup}$	$G_{kj,inf}$	$\Psi_{2,1} Q_{k,1}$	$\Psi_{2,i} Q_{k,i}$

3. PRORAČUN KRANSKOG NOSAČA

Dio Evrokoda koji se bavi proračunom čeličnih kranskih nosača je „EN 1993-6: Proračun čeličnih konstrukcija – Dio 6: Nosači kranskih staza“. Proračun se sprovodi kroz kontrolu graničnih stanja nosivosti i graničnih stanja upotrebljivosti.

3.1 Kontrola graničnih stanja nosivosti - ULS

U svrhu proračuna nosača kranske staze prema EN 1993-6 zahtjevaju se sledeće provjere:

- nosivost poprečnih presjeka,
- lokalna naprezanja usljed pritiska točka,
- interakcija lokalnih i globalnih naprezanja,
- nosivost nosača na bočno-torziono izvijanje,
- nosivost na izbočavanje rebra (normalni naponi, smičući naponi, lokalni pritisak i interakcija),
- zamor.

3.1.1 Nosivost poprečnih presjeka

Kao dominantni uticaji u nosaču kranske staze na nivou poprečnog presjeka javljaju se momenti savijanja M_{Ed} i poprečne odnosno transverzalne sile V_{Ed} . Moment savijanja prihvata cijeli porečni presjek dok poprečnu silu prihvata dominantno rebro nosača uz zanemarljiv doprinos nožica, tako da se potvrda nosivosti poprečnog presjeka provodi zadovoljenjem sljedećih izraza: $M_{Ed} \leq M_{Rd}$ i $V_{Ed} \leq V_{Rd}$, gdje su M_{Rd} – nosivost poprečnog presjeka na savijanje, V_{Rd} – nosivost poprečnog presjeka odnosno rebra na smicanje.

Prema Evrokodu 3 u svim poprečnim presjecima elemenata opterećenih na savijanje potrebno je da bude ispunjen sljedeći uslov:

$$M_{Ed}/M_{c,Rd} \leq 1.0,$$

gdje je $M_{c,Rd}$ proračunska vrijednost nosivosti poprečnog presjeka na savijanje, odnosno moment nosivosti poprečnog presjeka, a određuje se na sljedeći način:

$$M_{c,Rd} = \begin{cases} M_{pl,Rd} = (W_{pl} \cdot f_y) / \gamma_{M0} & \text{za presjeke klase 1 i 2} \\ M_{el,Rd} = (W_{el,min} \cdot f_y) / \gamma_{M0} & \text{za presjeke klase 3} \\ M_{eff,Rd} = (W_{eff,min} \cdot f_y) / \gamma_{M0} & \text{za presjeke klase 4} \end{cases}, \text{ gdje su:}$$

W_{pl} – plastičan otporni moment poprečnog presjeka za razmatranu osu,

$W_{el,min}$ – minimalan elastičan otporni moment poprečnog presjeka za razmatranu osu,

$W_{eff,min}$ – minimalan elastičan otporni moment efektivnog poprečnog presjeka za razmatranu osu.

Kontrola nosivosti poprečnog presjeka na smicanje prema Evrokodu 3 provjerava se u svim karakterističnim poprečnim presjecima u sljedećoj formi:

$$V_{Ed} / V_{c,Rd} \leq 1.0,$$

gdje je $V_{c,Rd}$ proračunska nosivost poprečnog presjeka na smicanje ($V_{y,Rd}$ ili $V_{z,Rd}$), a pri njenom određivanju postoji mogućnost da se odredi kao plastična nosivost ili prema teoriji elastičnosti.

Plastična nosivost poprečnog presjeka na smicanje određuje se prema izrazu:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = (A_v \cdot \tau_y) / \gamma_{M0}, \text{ gdje je:}$$

A_v – površina smicanja koja generalno predstavlja površinu dijela ili dijelova poprečnog presjeka koji su paralelni sa pravcem djelovanja poprečne sile,

$$\tau_y = f_y / \sqrt{3} - \text{granica razvlačenja pri smicanju.}$$

U Evrokodu 3 ne postoji eksplicitno data elastična nosivost poprečnog presjeka na smicanje ($V_{el,Rd}$) već se u slučaju elastične analize preporučuje kontrola na naponskom nivou:

$$\frac{\tau_{Ed}}{(f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0}} \leq 1.0 \text{ ili } \tau_{Ed} \leq \tau_y / \gamma_{M0},$$

gdje je τ_{Ed} maksimalna vrijednost smičućeg napona u razmatranom poprečnom presjeku koja u slučaju smičuće sile $V_{z,Ed}$ može da se odredi prema izrazu:

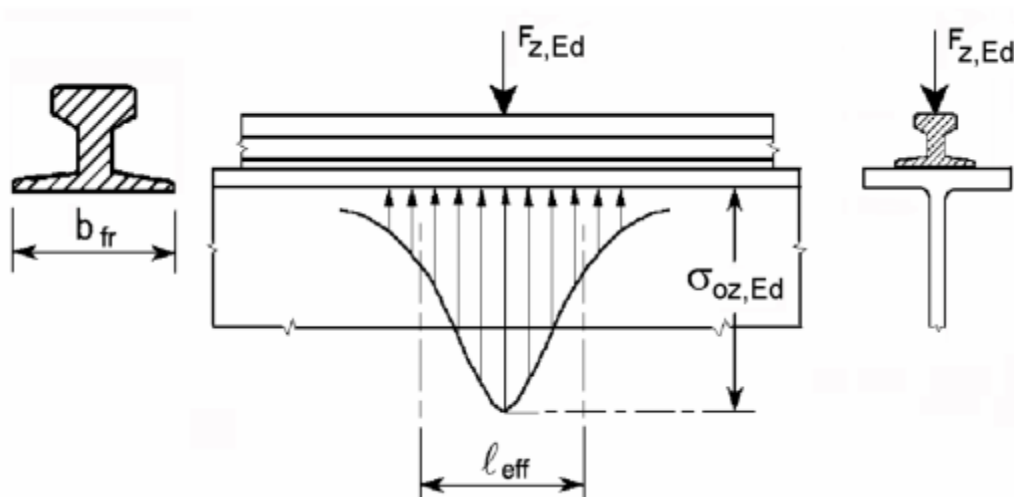
$$\tau_{xz,Ed} = \frac{V_{z,Ed} \cdot S_y}{I_y \cdot t_w}, \text{ gdje je } S_y \text{ statički moment u odnosu na težište poprečnog presjeka za y osu.}$$

Za valjane i zavarene I profile dopušta se pojednostavljenje:

$$\tau_{xz,Ed} = \frac{V_{z,Ed}}{A_w} \text{ uz uslov } A_f / A_w \geq 0.6.$$

3.1.2 Lokalna naprežanja usljed pritiska točka

Pri kontroli napona potrebno je provjeriti i napon usljed lokalnog pritiska točka na gornjoj ivici rebra nosača.

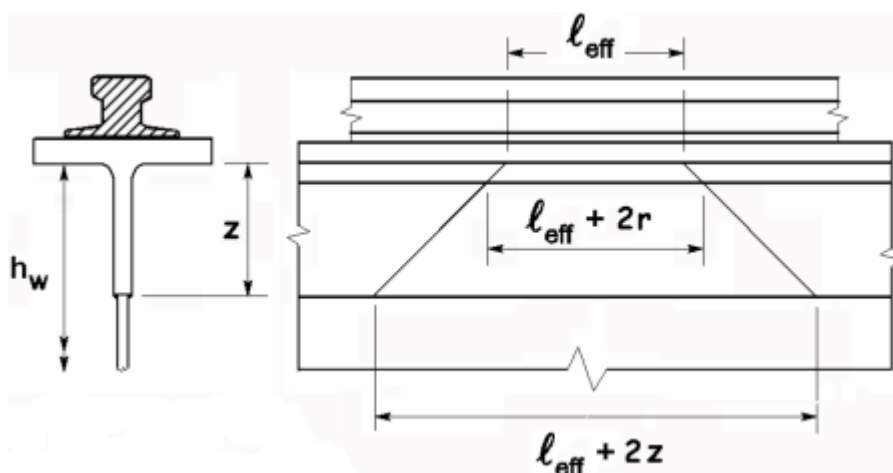


Slika 3.1.1-Raspodjela napona σ_z usljed lokalnog pritiska točka dizalice [4]

Napon σ_z potrebno je provjeriti na spoju rebra i gornje nožice, a pri ovom tipu naprežanja javlja se i odgovarajući smičući napon τ_{xz} . Ekstremne vrijednosti ovih veličina određuju se pomoću izraza:

- $\sigma_{oz,Ed} = \frac{F_{z,Ed}}{l_{eff} \cdot t_w}$ maksimalna vrijednost normalnog napona na spoju nožice i rebra usljed lokalnog pritiska točka,

- $\tau_{xz} = 0.2 \cdot \sigma_{oz,Ed}$ maksimalna vrijednost smičućeg napona na spoju nožice i rebra usljed lokalnog pritiska točka.



Slika 3.1.2-Širenje normalnog napona pod uglom od 45° [4]

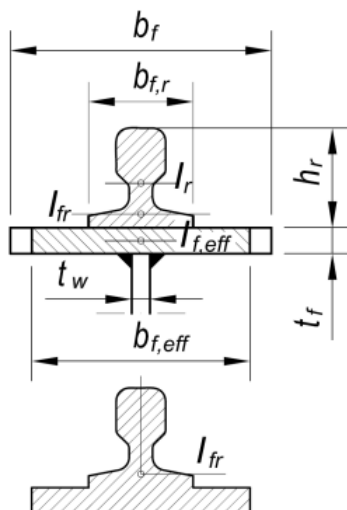
$\sigma_{oz,Ed}(z) = \frac{F_{z,Ed}}{(l_{eff} + 2z) \cdot t_w}$ vrijednost normalnog napona na udaljenosti z od donje ivice gornje pojasne lamele (sl. 3.1.2).

Efektivna dužina l_{eff} koja figuriše u prethodnim izrazima određuje se pomoću sljedećih izraza:

$$l_{eff} = 3.25 \cdot \sqrt[3]{I_{rf}/t_w} - \text{kada je šina kruto vezana (zavarena) sa nožicom,}$$

$$l_{eff} = 3.25 \cdot \sqrt[3]{(I_r + I_{f,eff})/t_w} - \text{kada šina nije kruto vezana sa nožicom,}$$

$$l_{eff} = 4.25 \cdot \sqrt[3]{(I_r + I_{f,eff})/t_w} - \text{kada je šina oslonjena na nožicu preko podmetača od elastomera.}$$



Slika 3.1.3-Geometrijske karakteristike sadejstvijućeg sklopa šine i nožice

I_r – moment inercije šine oko horizontalne težišne ose (sl. 3.1.3).

$I_{f,eff}$ – moment inercije efektivnog dijela nožice ($b_{f,eff} = b_{fr} + h_r + t_f$ ali \leq od b_f) oko horizontalne težišne ose (sl. 3.1.3).

I_{rf} – moment inercije zajedničkog presjeka šine i efektivnog dijela nožice ($b_{f,eff}$) oko horizontalne težišne ose (sl. 3.1.3).

3.1.3 Kontrola interakcije lokalnih i globalnih naprezanja

Ova kontrola se sprovodi pomoću sledećeg izraza:

$$\sqrt{\sigma_{x,Ed}^2 + \sigma_{0z,Ed}^2 - \sigma_{x,Ed} \cdot \sigma_{0z,Ed} + 3 \cdot (\tau_{xz,Ed} + \tau_{oxz,Ed})^2} \leq f_y / \gamma_{M0} .$$

Značenje veličina u prethodnom izrazu je sljedeće:

$\sigma_{x,Ed}$ – proračunska vrijednost normalnog napona usljed globalnih uticaja u nosaču, tj. usljed M_{Ed} i eventualno N_{Ed} ($\sigma_{x,Ed} = \frac{N_{Ed}}{A} + \frac{M_{y,Ed}}{I_y} \cdot z$),

$\tau_{xz,Ed}$ – proračunska vrijednost smičućeg napona usljed globalnih uticaja u nosaču, tj. usljed $V_{z,Ed}$ ($\tau_{xz,Ed} = \frac{V_{Ed} \cdot S_y}{I_y \cdot t_w}$),

$\sigma_{oz,Ed}$ – proračunska vrijednost normalnog napona usljed pritiska točka kрана (određuje se prema 3.1.2),

$\tau_{oz,Ed}$ – proračunska vrijednost smičućeg napona usljed pritiska točka kрана (određuje se prema 3.1.2).

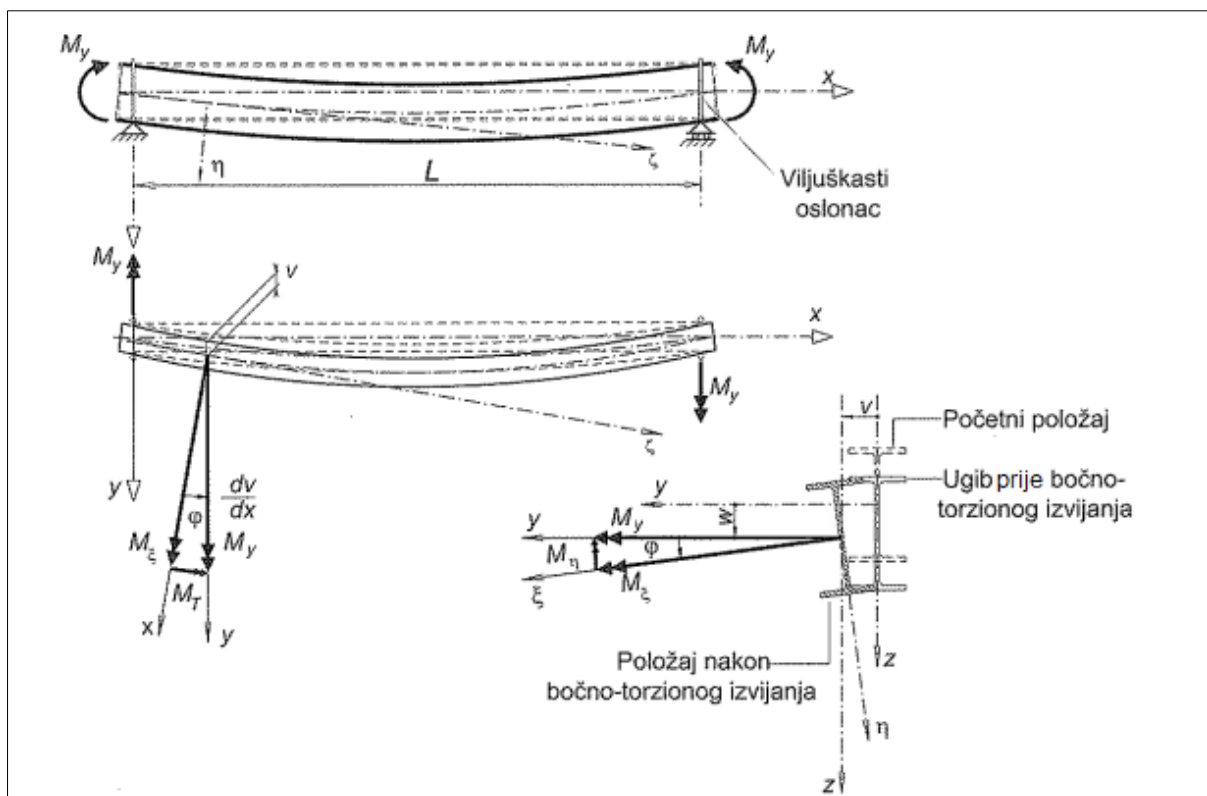
3.1.4 Nosivost nosača na bočno-torziono izvijanje

Bočno-torziono izvijanje je fenomen koji se vezuje za nosače otvorenog poprečnog presjeka, koji su opterećeni na savijanje oko jače y-y ose inercije i koji nisu bočno pridržani. Karakteristično za ovu pojavu je to da kolaps nosača može da nastupi i prije dostizanja granične nosivosti poprečnog presjeka na savijanje M_{Rd} . Pri dostizanju kritične vrijednosti opterećenja dolazi do deformacije izvan ravni djelovanja opterećenja koja je praćena torzionom rotacijom pa stoga ovaj vid gubitka stabilnosti nosača i nosi naziv bočno-torziono izvijanje. Kod aksijalno pritisnutih elemenata do gubitka stabilnosti dolazi usljed napona pritiska, pri čemu usljed efekata II reda dolazi do progresivnog povećanja naprezanja u najopterećenijem poprečnom presjeku. Kod nosača, odnosno elemenata opterećenih na savijanje poprečni presjek je djelimično opterećen naponom pritiska, pri čemu ako je presjek obostrano simetričan tj. težište mu se nalazi na polovini visine, jedna polovina presjeka je pritisnuta, a druga zategnuta. Pritisnuti dio presjeka teži da se izvije oko slabije z-z ose inercije, dok zategnuti dio koji je po pitanju stabilitetnih problema inertan teži da zadrži položaj pritisnutog dijela i ima stabilizirajuću ulogu. Kao posljedica činjenice da su i pritisnuti i zategnuti dio integralni dijelovi cijelog poprečnog presjeka u nosaču se javlja i torziona rotacija. Po analogiji sa aksijalno pritisnutim elementima gdje je potrebno pronaći kritičnu silu pri kojoj element počinje da gubi stabilnost P_{cr} , kod elemenata opterećenih savijanjem traži se kritičan moment M_{cr} koji predstavlja minimalnu teorijsku vrijednost momenta savijanja u najopterećenijem poprečnom presjeku pri kojoj dolazi do gubitka stabilnosti elementa usljed bočno-torzionog izvijanja. Treba napomenuti da je vrijednost kritičnog momenta M_{cr} teorijska vrijednost značajno veća od granične nosivosti elementa na bočno-torziono izvijanje. Parametri koji direktno utiču na vrijednost ovog momenta su njegova dužina L , krutost na bočno savijanje EI_z i torzione krutosti GI_t i EI_w .

Problem bočno-torzionog izvijanja je prvi put razmatran od strane Timošenka, koji je posmatrao nosač statičkog sistema proste grede izložen čistom savijanju, a kao rezultat njegovog rada nastala je teorija linearno elastičnog bočno-torzionog izvijanja. Ova teorija se bazira na osnovnim pretpostavkama:

- materijal je idealno elastičan,
- nosač je idealno prav (nema početnih geometrijskih imperfekcija),
- spriječena je torziona rotacija oslonaca (radi se o viljuškastim osloncima),
- poprečni presjek zadržava oblik nakon deformacije,

- poprečni presjek je obostrano simetričan i konstantan duž cijelog nosača,
- nosač je obostrano simetričnog I presjeka kod koga je moment inercije oko slabije z-z ose, ($I_z \ll I_y$),
- deformacije su male ($\sin \varphi = \varphi$ i $\cos \varphi = 1$),
- nosač je opterećen momentima istog intenziteta na njegovim krajevima (dijagram momenata je konstantan duž nosača).



Slika 3.1.4-Elementarni slučaj bočno-torzionog izvijanja grede [1]

Određivanje kritičnog momenta vrši se posmatrajući uslove ravnoteže na deformisanom obliku nosača, sl. 3.1.4. Ako se sa ξ i η označe glavne ose inercije poprečnog presjeka u deformisanom obliku nosača spoljašnji moment savijanja M_y može da se razloži na dvije komponente pri čemu se javlja koso savijanje:

$$M_{\xi} = M_y \cdot \cos \varphi = M_y, \quad M_{\eta} = M_y \cdot \sin \varphi = M_y \cdot \varphi, \text{ gdje je } \varphi \text{ torziona rotacija.}$$

Problem savijanja oko glavnih osa inercije u deformisanom položaju (ξ i η) može da se posmatra nezavisno:

$M_{\xi} = M_y = -EI_y \cdot \frac{d^2 w(x)}{dx^2}$, (1) i $M_{\eta} = M_y \cdot \varphi = -EI_z \frac{d^2 v(x)}{dx^2}$, (2). Usljed rotacije nosača ravan poprečnog presjeka više nije paralelna ravni djelovanja momenta M_y , pa se ovaj moment razlaže na dvije komponente razlaže na dvije komponente, jednu koja leži u ravni poprečnog presjeka deformisanog nosača i drugu upravnu na nju i koja je u stvari moment torzije $M_T = M_{\zeta} = M_y \cdot \frac{dv}{dx}$. Ako se u prethodni izraz uvrsti diferencijalna jednačina kombinovane torzije dobija se izraz: $M_T(x) = GI_t \cdot \frac{d\varphi}{dx} - EI_w \cdot \frac{d^3 \varphi}{dx^3} = M_y \cdot \frac{dv}{dx}$, (3). Problem bočno-torzionog izvijanja može da se prikaže pomoću jednačina (1), (2) i (3), pri čemu je jednačina (1) nezavisna, a (2) i (3) su spregnute. Ako se jednačina (3) diferencira po x i na osnovu jednačine (2) eliminiše v izrazivši ga preko φ , dobija se diferencijalna jednačina kojom se definiše problem bočno-torzionog izvijanja:

$$EI_w \cdot \frac{d^4 \varphi}{dx^4} - GI_t \cdot \frac{d^2 \varphi}{dx^2} - \frac{M_y^2}{EI_z} \cdot \varphi = 0, \quad (4).$$

Jednačina (4) je homogena diferencijalna jednačina četvrtog reda sa konstantnim koeficijentima čije rješenje se pretpostavlja u obliku:

$$\varphi(x) = A \cdot \sin(m \cdot x) + B \cdot \cos(m \cdot x) + C \cdot \sinh(n \cdot x) + D \cdot \cosh(n \cdot x), \quad \text{uz granične uslove koji odgovaraju viljuškastim osloncima } \varphi(0) = 0, \quad \frac{d^2 \varphi(0)}{dx^2} = \varphi''(0) = 0, \quad \varphi(L) = 0, \quad \frac{d^2 \varphi(L)}{dx^2} = \varphi''(L) = 0.$$

Rješavanjem ovog problema dobija se vrijednost kritičnog momenta M_{cr} u vidu sljedećeg izraza (ovaj kritičan moment zato što važi i za elementarni slučaj obilježava se sa oznakom $M_{cr,E}$):

$$M_{cr} = \pi^2 \cdot \frac{EI_z}{L^2} \cdot \sqrt{\frac{I_w}{I_z} + \frac{L^2}{\pi^2} \cdot \frac{GI_t}{EI_z}} = \sqrt{\pi^2 \cdot \frac{EI_z}{L^2} \cdot \left(GI_t + \pi^2 \cdot \frac{EI_w}{L^2} \right)} = \sqrt{N_{cr,z} \cdot \left(GI_t + \pi^2 \cdot \frac{EI_w}{L^2} \right)}$$

gdje su:

EI_z - krutost na savijanje oko slabije z-z ose,

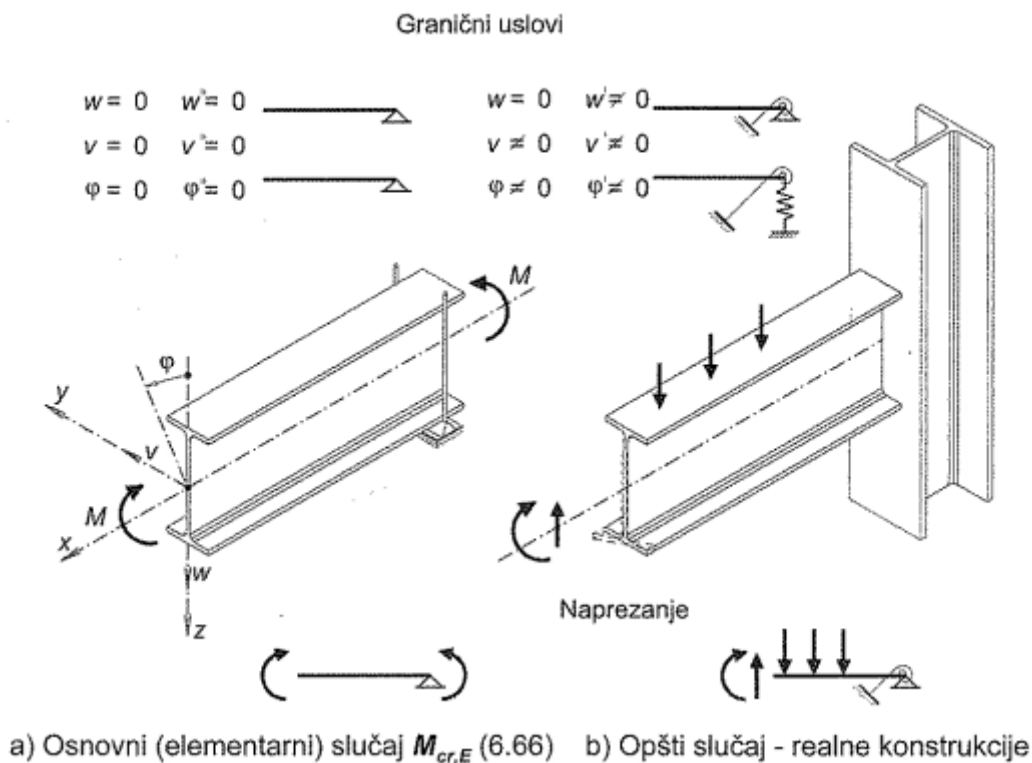
GI_t - torziona krutost,

I_w - sektorski moment inercije,

L – raspon nosača odnosno razmak između tačaka bočnog pridržavanja,

$N_{cr,z}$ – Ojlerova kritična sila za izvijanje oko slabije z-z ose.

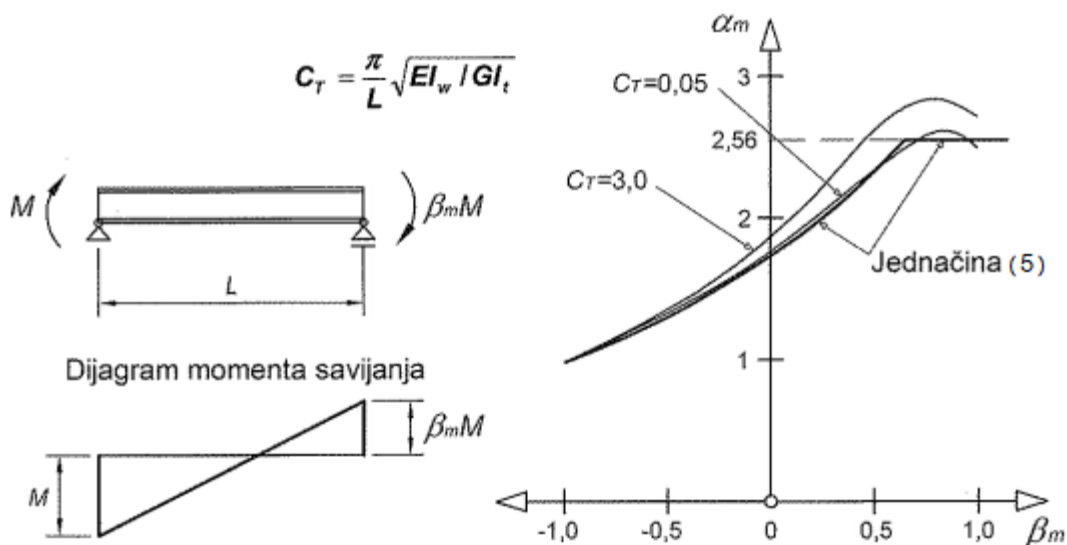
Prethodni izraz važi za idealni odnosno elementarni slučaj prikazan na slici 3.1.4, dok vrijednost kritičnog momenta uopšteno zavisi od: geometrijskih karakteristika poprečnog presjeka nosača (I_t, I_z, I_w), uslova bočnog oslanjanja (sl. 3.1.5), načina naprezanja tj. oblika dijagrama momenta savijanja, položaja poprečnog opterećenja u odnosu na centar smicanja poprečnog presjeka kao i od oblika poprečnog presjeka (obostrano simetričan ili monosimetričan).



Slika 3.1.5-Slučajevi oslanjanja i opterećenja [1]

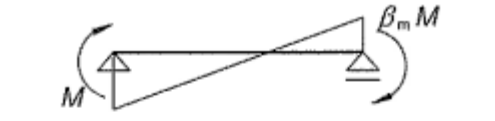
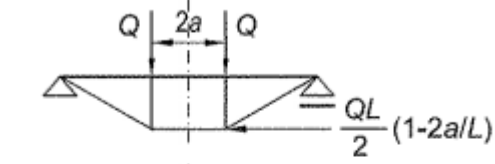
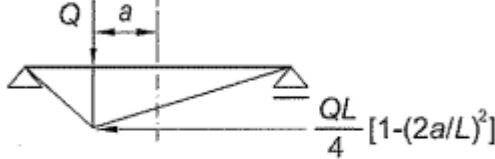
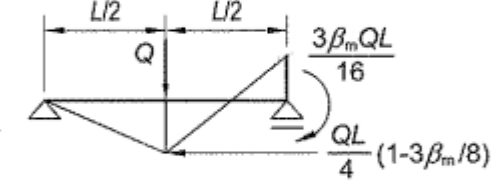
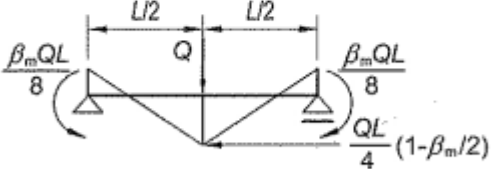
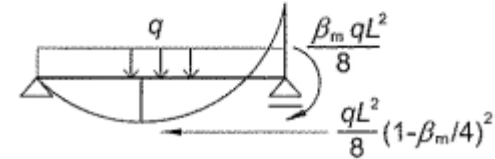
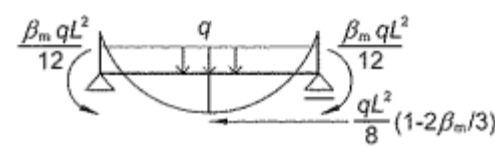
Kada je nosač opterećen momentima različitih intenziteta na svojim krajevima kritičan moment može da se odredi pomoću sljedećeg izraza:

$M_{cr} = \alpha_m \cdot \sqrt{\pi^2 \cdot \frac{EI_z}{L^2} \cdot (GI_t + \pi^2 \cdot \frac{EI_w}{L^2})} = \alpha_m \cdot M_{cr,E}$, gdje je α_m faktor oblika dijagrama momenta savijanja i zavisi od β_m koji predstavlja odnos intenziteta momenata na krajevima nosača (sl. 3.1.6), $\alpha_m = 1.75 + 1.05 \cdot \beta_m + 0.3 \cdot \beta_m^2 \leq 2.56$, (5).



Slika 3.1.6-Faktor dijagrama momenta α_m [1]

Tabela 3.1.4.1 – Vrijednost koeficijenta α_m za neke od slučajeva opterećenja [1]

Opterećenje i dijagram momenata	Faktor α_m	
	$1,75 + 1,05 \beta_m + 0,3 \beta_m^2$ $2,56$	za $-1 \leq \beta_m \leq 0,6$ za $0,6 < \beta_m \leq 1$
	$1,0 + 0,35(1 - 2a/L)^2$	za $0 < 2a/L \leq 1$
	$1,35 + 0,4(2a/L)^2$	za $0 < 2a/L \leq 1$
	$1,35 + 0,15 \beta_m$ $-1,2 + 3,0 \beta_m$	za $0 \leq \beta_m \leq 0,9$ za $0,9 < \beta_m \leq 1$
	$1,35 + 0,36 \beta_m$	za $0 \leq \beta_m \leq 1$
	$1,13 + 0,10 \beta_m$ $-1,25 + 3,5 \beta_m$	za $0 \leq \beta_m \leq 0,7$ za $0,7 < \beta_m \leq 1$
	$1,13 + 0,12 \beta_m$ $-2,38 + 4,8 \beta_m$	za $0 \leq \beta_m \leq 0,75$ za $0,75 < \beta_m \leq 1$

Za slućajeve koji nisu obuhvaćeni prethodnom tabelom α_m moće da se odredi približno pomoću izraza $\alpha_m = \frac{1,75 \cdot M_{max}}{\sqrt{M_2^2 + M_3^2 + M_4^2}}$, gdje su:

M_{max} – maksimalni moment savijanja u nosaću,

M_2, M_4 – momenti savijanja u četvrtinama raspona,

M_3 – moment savijanja u sredini raspona nosaća.

Prethodni izrazi važe za obostranosimetrične presjeke, kod kojih se težište i centar smicanja poklapaju. Kritičan moment za monosimetrične presjeke se može odrediti opštim izrazom (prema *Clark, Hill i Galea*):

$$M_{cr} = C_1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot EI_z}{(k_z \cdot L)^2} \cdot \left[\sqrt{\left(\frac{k_z}{k_w}\right)^2 \cdot \frac{I_w}{I_z} + \frac{(k_z \cdot L)^2 \cdot GI_t}{\pi^2 \cdot EI_z} + (C_2 \cdot z_g - C_3 \cdot z_j)^2} - (C_2 \cdot z_g - C_3 \cdot z_j) \right], \text{ gdje}$$

su:

C_1 – koeficijent koji uvodi u proračun različite oblike dijagrama momenta savijanja, $C_1 = \alpha_m$,

C_2 – koeficijent kojim se uzima u obzir položaj poprečnog opterećenja u odnosu na centar smicanja,


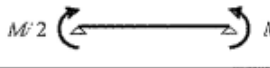
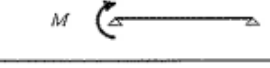
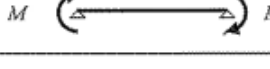


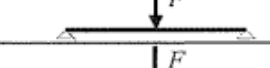
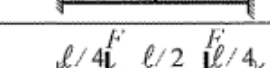
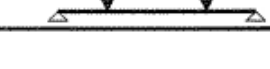

C_3 – koeficijent kojim se uzima u obzir nepoklapanje težišta i centra smicanja,

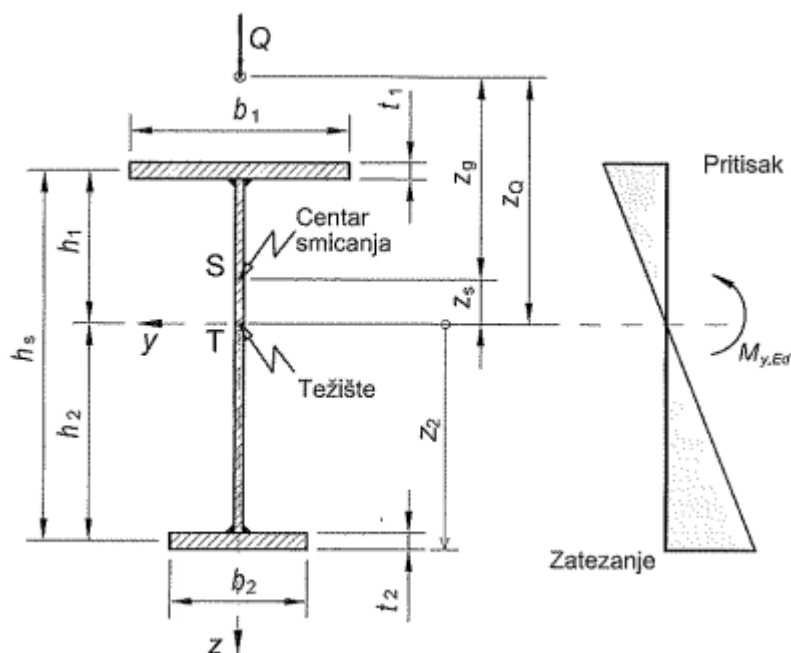
k_w i k_z – koeficijenti kojima se obuhvataju različiti uslovi oslanjanja (k_z se odnosi na rotaciju osloničkih poprečnih presjeka oko slabije z-z ose, a k_w na torziono krivljenje tj. deplanaciju presjeka i kada su ove deformacije spriječene na oba kraja imaju vrijednost $k_w = k_z = 0.5$, u slučaju da su ove deformacije slobodne $k_w = k_z = 1.0$, a kada su ove deformacije na jednom kraju spriječene a na drugom slobodne tada je $k_w = k_z = 0.7$),

z_g – rastojanje između centra smicanja i tačke u kojoj djeluje opterećenje, sl. 3.1.7,

z_j – parametar koji uzima u obzir stepen asimetrije poprečnog presjeka, sl. 3.1.7 i određuje se prema izrazu: $z_j = z_s - \frac{1}{2 \cdot I_y} \cdot \int_A (y^2 + z^2) \cdot z \cdot dA$.

Tabela 3.1.4.2 – Koeficijenti C_1, C_2, C_3 za različite slučajeve opterećenja [1]

	Statički sistem i opterećenje	k_z i k_w	C_1	C_2	C_3
1		1,0	1,000	-	1,000
		0,7	1,000	-	1,113
		0,5	1,000	-	1,144
2		1,0	1,323	-	0,992
		0,7	1,473	-	1,556
		0,5	1,514	-	2,271
3		1,0	1,879	-	0,939
		0,7	2,092	-	1,473
		0,5	2,150	-	2,150
4		1,0	2,704	-	0,676
		0,7	3,009	-	1,059
		0,5	3,093	-	1,546
5		1,0	2,752	-	0,000
		0,7	3,063	-	0,000
		0,5	3,149	-	0,000
6		1,0	1,132	0,459	0,525
		0,5	0,972	0,304	0,980
7		1,0	1,285	1,562	0,753
		0,5	0,712	0,652	1,070
8		1,0	1,365	0,553	1,730
		0,5	1,010	0,432	3,050
9		1,0	1,565	1,267	2,640
		0,5	0,938	0,715	4,800
10		1,0	1,046	0,430	1,120
		0,5	1,010	0,410	1,890



Slika 3.1.7-Monosimetrični poprečni presjek, označavanje pomoćnih parametara [1]

Tabela 3.1.4.3 – Geometrijske karakteristike poprečnog presjeka [1]

Veličina	Obostrano simetrični presecci	Monosimetrični I presecci
Rastojanje između težišta preseka i centra smicanja	$z_s = 0$	$z_s = \frac{b_1^3 t_1 h_1 - b_2^3 t_2 h_2}{b_1^3 t_1 + b_2^3 t_2}$
Sektorski moment inercije	$I_w = I_z h_s^2 / 4$	$I_w = \beta (1 - \beta) I_z h_s^2$ ili $I_w \approx \frac{b_1^3 t_1 b_2^3 t_2}{12(b_1^3 t_1 + b_2^3 t_2)} h_s^2$
Torzioni moment inercije	$I_t = \frac{1}{3} (2 b t^3 + d t_w^3)$	$I_t = \frac{1}{3} (b_1 t_1^3 + b_2 t_2^3 + d t_w^3)$
Parametar β_j	$\beta_j = 0$	$\beta > 0,5 \Rightarrow \beta_j = 0,4 (2\beta - 1) h_s$ $\beta \leq 0,5 \Rightarrow \beta_j = 0,5 (2\beta - 1) h_s$
$\beta = \frac{I_{fc}}{I_{fc} + I_{ft}}$ <p>I_{fc} moment inercije pritisnutog pojasa oko slabije z-z ose inercije, I_{ft} moment inercije zategnutog pojasa oko slabije z-z ose inercije, h_s rastojanje između centara smicanja pritisnutog i zategnutog pojasa,</p> <p>NAPOMENE:</p> <p>(1) Kada su pojasevi izrađeni od ravnih limova h_s je jednako rastojanju između težišta pojasnih lamela ($h_s = h - t_f$).</p> <p>(2) Rastojanje između težišta i centra smicanja (z_s) je pozitivno kada se centar smicanja nalazi između težišta i pritisnute nožice.</p>		

Kod nosača kranske staze se nerjetko vrši variranje dimenzije poprečnog presjeka pokrivanjem dijagrama momenta savijanja da bi se ostvarila ušteda materijala. Prethodno navedeni izrazi za proračun kritičnog momenta vrijede samo za prizmatične elemente (konstantan poprečni presjek), dok kod elemenata sa promjenljivim poprečnim presjekom vrijednost kritičnog

momenta se razlikuje zavisno od načina promjene presjeka. Kod nosača kod kojih se promjena geometrije ostvaruje promjenom visine poprečnog presjeka uticaj variranja dimenzija poprečnog presjeka je neznatan, dok kod variranja dimenzija promjenom širine nožica uticaj je znatno veći. Kritičan moment se u ovom slučaju može odrediti primjenom metoda konačnih elemenata ili pomoću specijalizovanih softvera. Takođe postoje i neke približne metode, pa prema metodi *Trahair*-a kritičan moment nosača može da se odredi tako što se kritičan moment određen na osnovu karakteristika poprečnog presjeka maksimalnih dimenzija pomnoži sa redukcionim faktorom α_{st} :

$$\alpha_{st} = 1 - 1.2 \cdot \frac{L_r}{L} \cdot \left[1 - \left(0.6 + 0.4 \cdot \frac{h_{min}}{h_{max}} \right) \cdot \frac{A_{f,min}}{A_{f,max}} \right], \text{ gdje su:}$$

h_{min} , h_{max} – minimalna i maksimalna visina nosača,

$A_{f,min}$, $A_{f,max}$ – minimalna i maksimalna površina pojasne lamele,

L , L_r – raspon nosača, dužina nosača sa redukovanim poprečnim presjekom (kod nosača sa linearnom promjenom visine rebra duž nosača usvaja se $L_r = 0.5 \cdot L$).

Prema *Galea*-u kritičan moment za nosač sa promjenljivom visinom rebra koji je sistema proste grede i koji je viljuškasto oslonjen sa konstantnim dijagramom momenata može da se odredi pomoću ekvivalentne visine nosača:

$h_{eq} = h_{max} \cdot \sqrt{0.283 + 0.434 \cdot \frac{h_{min}}{h_{max}} + 0.283 \cdot \left(\frac{h_{min}}{h_{max}} \right)^2}$, na osnovu ove visine računa se sektorski moment inercije I_w , moment inercije oko slabije ose z-z je konstantan duž nosača, a torziona konstanta se računa prema izrazu $I_t = \frac{I_{t,min} + I_{t,max}}{2}$, gde su $I_{t,min}$, $I_{t,max}$ torzione konstante za presjeka sa minimalnom i maksimalnom visinom rebra. Za dijagrame momenata koji odstupaju od elementarnog slučaja kritičan moment se može izračunati uvođenjem koeficijenta α_m .

Pri proračunu granične nosivosti nosača na bočno-torziono izvijanje potrebo je uzeti u obzir uticaj geometrijskih imperfekcija, kao što su početne geometrijske imperfekcije i zaostali naponi. Iz ovog razloga granična nosivost nosača M_u je manja od kritične vrijednosti M_{cr} čiji način određivanja je prethodno razmatran. Početne geometrijske imperfekcije imajući u vidu prirodu bočno torzionog izvijanja vezuju se za imperfekciju savijanja oko slabije z-z ose v_0 i rotaciju poprečnog presjeka φ_0 . Ove imperfekcije se usvajaju u vidu sinusnih funkcija:

$v_0(x) = \delta_0 \cdot \sin \pi \cdot \frac{x}{L}$, $\varphi_0(x) = \theta_0 \cdot \sin \pi \cdot \frac{x}{L}$, gdje su δ_0 i θ_0 amplitude početnih geometrijskih imperfekcija, u sredini raspona nosača i stoje u međusobnoj relaciji $\frac{\delta_0}{\theta_0} = \frac{M_{cr}}{N_{cr,z}}$. Imajući u vidu početne geometrijske imperfekcije jednačine koje opisuju bočno-torziono izvijanje dobijaju modifikovan oblik:

$M_y \cdot (\varphi + \varphi_0) = -EI_z \frac{d^2 v(x)}{dx^2}$ i $GI_t \cdot \frac{d\varphi}{dx} - EI_w \cdot \frac{d^3 \varphi}{dx^3} = M_y \cdot \frac{d(v-v_0)}{dx}$. Rješenja modifikovanih jednačina su:

$$v(x) = \delta_0 \cdot \frac{M_y/M_{cr}}{1-M_y/M_{cr}} \cdot \sin \pi \cdot \frac{x}{L} \text{ i } \varphi(x) = \theta_0 \cdot \frac{M_y/M_{cr}}{1-M_y/M_{cr}} \cdot \sin \pi \cdot \frac{x}{L} .$$

Granična nosivost nosača na bočno-torziono izvijanje dobija se izjednačavanjem maksimalnog normalnog napona u najopterećenijem poprečnom presjeku $\sigma_{max,Ed}$ (koji predstavlja zbir napona koji su posljedica savijanja oko jače y-y ose, savijanja oko slabije z-z ose i krivljenja poprečnog presjeka) sa nominalnom granicom razvlačenja čelika od koga je nosač izrađen f_y .

$$\sigma_{max,Ed} = \frac{M_{y,Ed}}{W_{el,y}} - \frac{EI_z}{W_{el,z}} \left\{ \frac{d^2 \left[v(x) + \varphi(x) \cdot \frac{h_s}{2} \right]}{dx^2} \right\}_{x=\frac{L}{2}} = f_y, \text{ gdje su:}$$

$M_{y,Ed}$ – proračunski moment savijanja oko y ose,

$W_{el,y}$ – elastični otporni moment za savijanje oko y ose,

$W_{el,z}$ – elastični otporni moment za savijanje oko z ose,

h_s – rastojanje između centara smicanja nožica (u slučaju monosimetričnih nosača između težišta nožica).

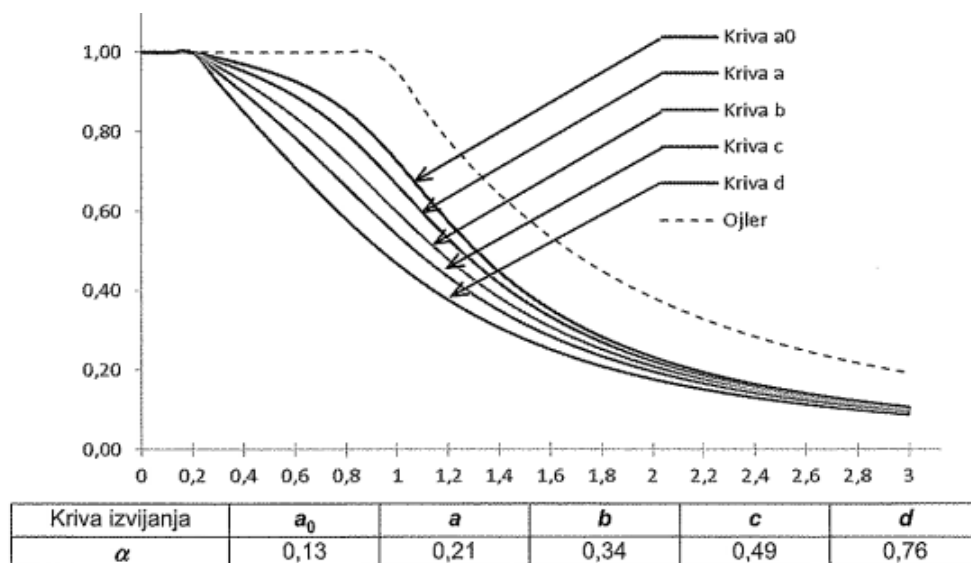
Uvrštavanjem rješenja modifikovanih jednačina u ovaj izraz dobija se sljedeći izraz:

$$M_u = M_{y,Rk} - \delta_0 \cdot \frac{N_{cr,z}}{M_{cr}} \cdot \left(1 + \frac{h_s}{2} \cdot \frac{N_{cr,z}}{M_{cr}} \right) \cdot \frac{W_{el,y}}{W_{el,z}} \cdot \frac{M_{y,Rk}/M_u}{1 - M_{y,Rk}/M_u}, \text{ gdje je } M_{y,Rk} \text{ nosivost nosača na savijanje oko y ose.}$$

Nakon što se u prethodni izraz uvede relacija $\delta_0 \cdot \frac{N_{cr,z}}{M_{cr}} = \frac{W_{el,y}/W_{el,z}}{1 + \frac{h_s}{2} \cdot \frac{N_{cr,z}}{M_{cr}}} \cdot \eta$, gdje je η parametar nesavršenosti nosača, konačno se dobija bezdimenzionalni koeficijent redukcije za bočno-torziono izvijanje:

$$\chi_{LT} = \frac{M_u}{M_{y,Rk}} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}}, \quad \Phi_{LT} = \frac{1}{2} \cdot \left(1 + \eta + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right), \text{ gdje je } \bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{M_{y,Rk}}{M_{cr}}} \text{ – relativna}$$

vitkost nosača na bočno-torziono izvijanje. Parametar η može da se izračuna kao i u slučaju izvijanja pritisnutog elementa $\eta = \alpha \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0.2)$, gdje je α parametar koji se određuje na osnovi Evropskih krivih izvijanja, sl. 3.1.8.



Slika 3.1.8-Evropske krive izvijanja [1]

Potvrda nosivosti nosača na bočno-torziono izvijanje prema Evrokodu 3 se verifikuje kroz ispunjenje uslova:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1.0 ,$$

gdje je M_{Ed} proračunska vrijednost momenta savijanja, a $M_{b,Rd}$ proračunska nosivost nosača na bočno-torziono izvijanje:

$$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot W_y \cdot f_y}{\gamma_{M1}} ,$$

$$W_y = \begin{cases} W_{pl,y} & \text{za klasu presjeka 1 i 2} \\ W_{el,min,y} & \text{za klasu presjeka 3} \\ W_{eff,min,y} & \text{za klasu presjeka 4} \end{cases} \text{ – odgovarajući otporni moment.}$$

Za određivanje bezdimenzionalnog koeficijenta χ_{LT} Evrokod 3 daje dvije alternativne metode:

- opšta metoda za sve oblike poprečnih presjeka,
- metoda za standardne vrućevaljane profile i ekvivalentne (obostrano simetrične) zavarene profile.

Pored ovih metoda postoji i uprošćena metoda za mjestimično bočno pridržane nosače u zgradarstvu.

Prema opštoj metodi:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} \leq 1.0 ,$$

$$\Phi_{LT} = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0.2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right] , \text{ a } \alpha_{LT} \text{ se određuje prema tabeli 3.1.4.4.}$$

Tabela 3.1.4.4 – Koeficijent α_{LT} prema opštoj metodi [1]

Oblik poprečnog preseka		Kriva izvijanja	α_{LT}
Vrućevaljani I presecci	$h/b \leq 2$	<i>a</i>	0,21
	$h/b > 2$	<i>b</i>	0,34
Zavareni I presecci	$h/b \leq 2$	<i>c</i>	0,49
	$h/b > 2$	<i>d</i>	0,76
Ostali poprečni presecci	-	<i>d</i>	0,76

Prema metodi za vrućevaljane profile:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2}} \text{ uz uslov } \begin{cases} \chi_{LT} \leq 1.0 \\ \chi_{LT} \leq \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} \end{cases},$$

$$\Phi_{LT} = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2 \right] \text{ gdje je } \beta = 0.75 \text{ i } \bar{\lambda}_{LT,0} = 0.4.$$

Tabela 3.1.4.5 – Koeficijent α_{LT} prema metodi za vrućevaljane profile [1]

Poprečni preseci		Kriva izvijanja	α_{LT}
Vrućevaljani I preseci	$h/b \leq 2$	<i>b</i>	0,34
	$h/b > 2$	<i>c</i>	0,49
Zavareni I preseci	$h/b \leq 2$	<i>c</i>	0,49
	$h/b > 2$	<i>d</i>	0,76

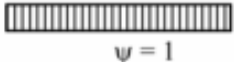







Prethodni izrazi važe za konstantan dijagram momenata savijanja. Drugačiji oblici dijagrama savijanja mogu se obuhvatiti pomoću modifikovanog bezdimenzionalnog koeficijenta redukcije:

$$\chi_{LT,mod} = \frac{\chi_{LT}}{f} \text{ uz uslov } \chi_{LT,mod} \leq 1.0 ,$$

$$f = 1 - 0.5 \cdot (1 - k_c) \cdot \left[1 - 2 \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0.8)^2 \right] \text{ uz uslov } f \leq 1.0 .$$

Koeficijent k_c se može odrediti prema tabeli 3.1.4.5, a za slučajeve koji nisu obuhvaćeni u tabeli može se odrediti prema izrazu $k_c = 1/\sqrt{C_1} = 1/\sqrt{\alpha_m}$.

Tabela 3.1.4.5 – Koeficijent k_c [1]

Dijagram momenata	k_c
 $\psi = 1$	1,0
 $-1 \leq \psi \leq 1$	$\frac{1}{1,33 - 0,33\psi}$
	0,94
	0,90
	0,91
	0,86
	0,77
	0,82

Problem bočno-torzionog izvijanja nije uvijek prisutan. Nosači koji su kontinualno ili dovoljno često bočno pridržani u nivou pritisnute nožice nisu osjetljivi na ovu pojavu, pa provjera nosivosti na bočno-torziono izvijanje nije potrebna. Takođe kvadratni i kružni šuplji profili kao i kvadratni zavareni sandučasti nosači zbog velike torziona krutosti nisu osjetljivi na bočno-torziono izvijanje. Pravougaoni šuplji profili i pravougaoni sandučasti nosači nisu osjetljivi na bočno-torziono izvijanje ukoliko odnos dimenzija poprečnog presjeka $h(\text{visina})/b(\text{širina}) < 10$, a prema Kaim-u ukoliko je $h/b < \frac{10}{\bar{\lambda}_z}$, gdje je $\bar{\lambda}_z$ relativna vitkost na izvijanje oko z ose. Takođe prema preporukama Evrokoda 3 bočno-torziono izvijanje nije mjerodavno ukoliko je nosač male vitkosti tj. kada je $\bar{\lambda}_{LT} \leq \bar{\lambda}_{LT,0} = 0.4$ i u slučaju malih vrijednosti momenata savijanja oko y ose odnosno kada je zadovoljen uslov $M_{y,Ed}/M_{cr} \leq \bar{\lambda}_{LT,0}^2 = 0.16$.

Na osnovu prethodno navedenih slučajeva u kojima problem bočno-torzionog izvijanja nije mjerodavan predlažu se sljedeće mjere za poboljšanje nosača u cilju povećanja nosivosti ili eliminisanja bočno-torzionog izvijanja:

- bočno pridržavanje pritisnute nožice,
- progušćavanje tačaka bočnog pridržavanja nosača u nivou pritisnute nožice,
- usvajanje poprečnih presjeka koji su manje osjetljivi na ovaj problem (HEA, HEB), ili koji nisu osjetljivi na ovaj problem, kao što su zatvoreni sandučasti presjeci.

Bočno-torziono izvijanje kod mjestimično bočno pridržanih nosača nije potrebno provjeravati kada je ispunjen sljedeći uslov:

$$\bar{\lambda}_f = \frac{k_c \cdot L_c}{i_{f,z} \cdot \lambda_1} \leq \bar{\lambda}_{c,0} \cdot \frac{M_{c,Rd}}{M_{y,Ed}} \quad \text{gdje su:}$$

$\bar{\lambda}_f$ – relativna vitkost ekvivalentne pritisnute nožice,

L_c – razmak između susjednih tačaka bočnog pridržavanja,

k_c – koeficijent korekcije kojim se uzima u obzir oblik dijagrama momenta savijanja između tačaka bočnog pridržavanja i dat je u prethodno navedenoj tabeli 3.1.4.5,

λ_1 – vitkost na granici razvlačenja ($\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{235}} \cdot \varepsilon = 93.9 \cdot \varepsilon$, $\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$, f_y u Mpa),

$i_{f,z}$ – poluprečnik inercije ekvivalentne pritisnute nožice koga čine pritisnuta nožica i trećina visine pritisnutog dijela rebra oko slabije z ose, slika 3.1.9,

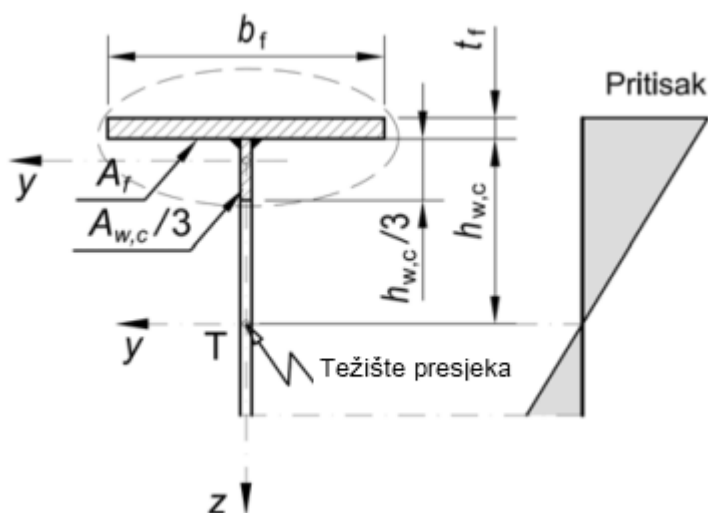
(za presjeka klase 1, 2 i 3 $i_{f,z} = \frac{b_f}{\sqrt{12}} \cdot \sqrt{\frac{A_f}{A_f + A_{w,c}/3}}$, za presjeka klase 4 $i_{f,z} = \sqrt{\frac{I_{eff,f}}{A_{eff,f} + A_{eff,w,c}/3}}$

gdje su $I_{eff,f}$, $A_{eff,f}$, $A_{eff,w,c}$ – moment inercije efektivnog presjeka pritisnute nožice oko z ose, efektivna površina pritisnute nožice, efektivna površina pritisnutog dijela rebra),

$\bar{\lambda}_{c,0}$ – granična vitkost ekvivalentne pritisnute nožice (Evrkod 3 preporučuje vrijednost $\bar{\lambda}_{c,0} = \bar{\lambda}_{LT,0} + 0.1 = 0.5$),

$M_{y,Ed}$ – najveća proračunska vrijednost momenta savijanja između tačaka bočnog pridržavanja,

$M_{c,Rd}$ – proračunska nosivost poprečnog presjeka oko jače y ose.



Slika 3.1.9-Ekvivalentna pritisnuta nožica [1]

Kod bočno pridržanih nosača posebno se analiziraju segmenti između tačaka bočnog pridržavanja, a kao nosivost nosača na bočno-torziono izvijanje se usvaja nosivost najnepovoljnijeg segmeta. Interakcija susjednih segmenata pri bočno-torzionom izvijanju, iako postoji, se zanemaruje što je na strani sigurnosti.

U slučaju mjestimično bočno pridržanih nosača kod kojih nije ispunjen prethodno navedeni uslov Evrokod 3 dopušta uprošćen proračun. Prema ovoj metodi izraz za moment nosivosti na bočno-torziono izvijanje glasi:

$$M_{b,Rd} = k_{fi} \cdot \chi \cdot M_{c,Rd} \text{ uz uslov } M_{b,Rd} \leq M_{c,Rd} \text{ , gdje je:}$$

k_{fi} – koeficijent modifikacije kojim se uzima u obzir strog pristup postupka sa ekvivalentnom pritisnutom nožicom i čija je preporučena vrijednost $k_{fi} = 1.10$,

χ – bezdimenzionalni koeficijent izvijanja ekvivalentne pritisnute nožice koji se određuje na osnovu $\bar{\lambda}_f$ prema odgovarajućoj krivoj izvijanja koja se odabira na sljedeći način:

- kriva d za zavarene presjeke kod kojih je $h/t_f \leq 44 \cdot \varepsilon$, gdje je h ukupna visina poprečnog presjeka, a t_f debljina pritisnute nožice,

- kriva c za sve ostale poprečne presjeke.

Bočno pridržavanje se može ostvariti spregovima ili nekim drugim konstruktivnim elementima, a oni moraju da posjeduju odgovarajuću krutost i da se sračunaju na uticaje koje preuzimaju. Prema Evrokodu 3 spregovi za stabilizaciju trebaju da se projektuju za prijem horizontalnog opterećenja koje djeluje u njihovoj ravni odnosno u ravni pritisnute nožice, a to opterećenje se određuje pomoću izraza:

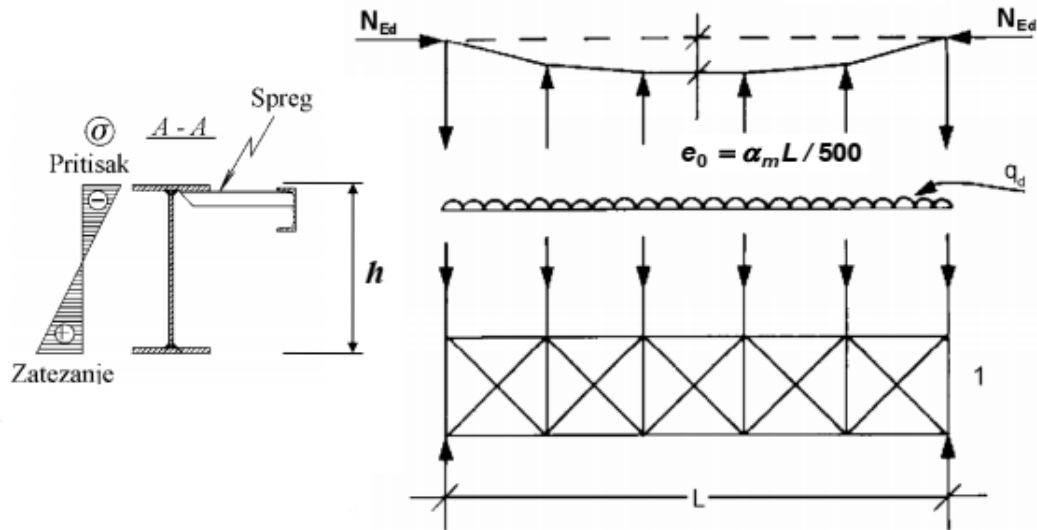
$$q_d = 8 \cdot N_{Ed} \cdot \frac{e_0 + \delta q}{L^2} = 8 \cdot \frac{M_{Ed}}{h} \cdot \frac{e_0 + \delta q}{L^2} \text{ , slika 3.1.10, gdje je:}$$

N_{Ed} – proračunska vrijednost aksijalne sile u pritisnutom pojasu nosača koji se pridržava spregom i za nosače konstantne visine može da se odredi kao $N_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{h}$,

e_0 – početna geometrijska imperfekcija zakrivljenja, $e_0 = \frac{\alpha_m \cdot L}{500}$ gdje je $\alpha_m = \sqrt{0.5 \cdot (1 + 1/m)}$ koeficijent kojim se uzima u obzir broj nosača (m) koji su stabilizovani istim spregom,

δ_q – deformacija sprega u ravni usljed opterećenja q_d po teoriji prvog reda, a ako se proračun vrši po teoriji drugog reda može se usvojiti da je $\delta_q = 0$,

L – raspon nosača koji se pridržava spregom.



Slika 3.1.10-Opterećenje sprega za bočnu stabilizaciju u ravni [1]

3.1.5 Nosivost na izbočavanje rebra

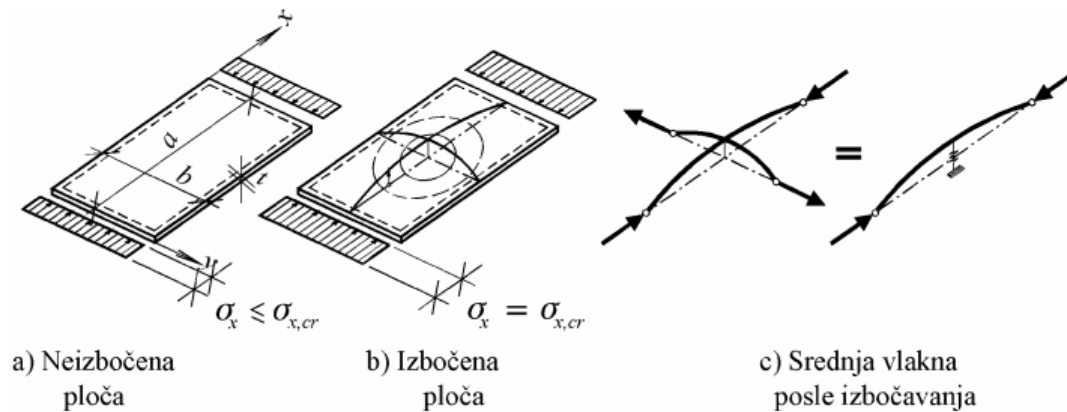
Izbočavanje je lokalni fenomen gubitka stabilnosti tankih i vitkih elemenata poprečnog presjeka koji su izloženi naponima pritiska koji mogu biti posljedica savijanja, aksijalne sile ili njihove kombinacije. Takođe do izbočavanja može doći i usljed čistog smicanja, kao i usljed lokalnog pritiska točka kрана ili usljed oslonačke reakcije nosača.

Kod kranskih nosača izbočavanje je mjerodavno:

- usljed normalnog napona pritiska kod poprečnih presjeka klase 4 kod kojih je vitkost rebra $h_w/t_w > 124 \cdot \varepsilon$ u slučaju čistog savijanja,
- usljed smičućih napona kada je za neukručena rebra $h_w/t_w > 72 \cdot \varepsilon/\eta$, a za ukručena rebra $h_w/t_w > 31 \cdot k_\tau^{0.5} \cdot \varepsilon/\eta$.

Problem izbočavanja može da se objasni pomoću modela pravougaone ploče oslonjene zglibno duž sve četiri strane opterećene naponom pritiska σ_x duž dvije paralelne ivice, slika 3.1.11. Pri malim naprezanjima deformacije ploče su upravne na njenu srednju ravan i elastične su prirode. Sa kontinuiranim povećavanjem napona u jednom trenutku dolazi do trajne plastične

deformacije – izbočine. Napon pri kojem dolazi do izbočine naziva se kritičan napon elastičnog izbočavanja $\sigma_{x,cr}$.



Slika 3.1.11-Izbočavanje pravougaone ploče [1]

Na sl. 3.1.11c je prikazan uprošćeni linijski roštiljni model koga čine podužna i poprečna srednja vlakna, pri čemu srednja podužna vlakna paralelna dejstvu normalnog napona teže da se izviju ali ih srednja poprečna vlakna upravna na njih u tome spriječavaju pa se njihovo dejstvo u modelu može zamjeniti elastičnim osloncem.

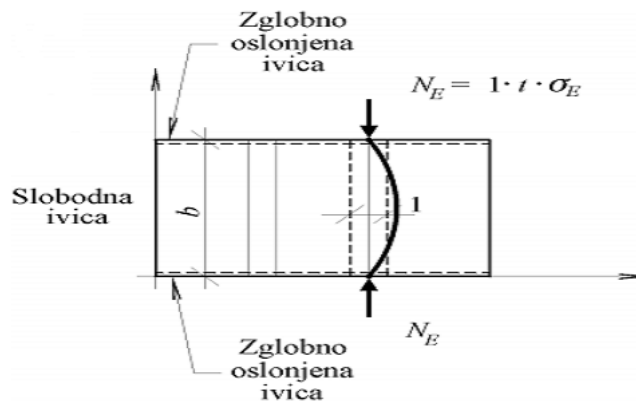
Ukoliko ploča nije oslonjena duž ivica paralelnih pravcu djelovanja opterećenja poprečna vlakna gube stabilizirajuću ulogu čime se izbočavanje svodi na izvijanje površinskog elementa upravno na svoju ravan. Problem se svodi na određivanje Ojlerovog kritičnog napona trake jedinične širine izdvojene iz ploče (sl. 3.1.12) koji glasi:

$$\sigma_{cr} = \pi^2 \cdot \frac{E}{\lambda^2} = \pi^2 \cdot \frac{E}{\left(\frac{b}{\sqrt{12} \cdot t}\right)^2} = \frac{\pi^2 \cdot E}{12} \cdot \left(\frac{t}{b}\right)^2$$
, gdje je E Jungov modul elastičnosti, t debljina ploče, λ vitkost trake jedinične širine i b širina ploče.

Ukoliko je ploča oslonjena duž sve četiri strane stabilizirajući uticaj poprečnih vlakana se obuhvata tako što se u prethodni izraz umjesto E uvrsti $\frac{E}{1-\nu^2}$, gdje je ν Poasonov koeficijent i za čelik iznosi 0.3, pa Ojlerov kritičan napon izbočavanja pravougaone ploče glasi:

$$\sigma_E = \frac{\pi^2 \cdot E}{12 \cdot (1-\nu^2)} \cdot \left(\frac{t}{b}\right)^2 = 189800 \cdot \left(\frac{t}{b}\right)^2.$$

Iz ovog izraza se vidi da se stabilizirajuća uloga poprečnih vlakana smanjuje ukoliko se širina ploče poveća. Treba naglasiti da konstruktivni element nakon pojave izbočine ne mora da izgubi odmah stabilnost kao što je slučaj kod izvijanja već nosač može da prenese i izvjesno post-kritično opterećenje.



Slika 3.1.12-Ojlerov kritičan napon izvijanja jedinične trake izdvojene iz ploče [1]

Osnovne pretpostavke linearno-elastične teorije izbočavanja pravougaone ploče (*Timošenko*) su:

- materijal je idealno elastičan,
- nema početnih geometrijskih i strukturnih imperfekcija,
- opterećenje djeluje u srednjoj ravni ploče,
- deformacije ploče upravne na njenu srednju ravan (w) su male.

Osnovni slučaj izbočavanja predstavlja zglobno oslonjena ploča na sve četiri strane opterećena konstantnim naponima pritiska σ_x duž dvije suprotne ivice. Polazeći od diferencijalne jednačine savijanja pravougaone ploče po teoriji drugog reda i uzimajući u obzir da nema poprečnog opterećenja ($q_z = 0$; $\sigma_x \neq 0$; $\sigma_y = \tau_{xy} = 0$) dolazi se do diferencijalne jednačine izbočavanja za osnovni slučaj:

$$\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \cdot \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = -\sigma_x \cdot \frac{t}{D} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial x^2},$$

gdje je $D = \frac{E \cdot t^3}{12 \cdot (1 - \nu^2)}$ – krutost ploče na savijanje.

Rješenje ove diferencijalne jednačine se pretpostavlja u obliku dvostrukog Furijeovog reda:

$$w(x, y) = \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} A_{mn} \cdot \sin\left(\frac{m \cdot \pi}{a} \cdot x\right) \cdot \sin\left(\frac{n \cdot \pi}{b} \cdot y\right),$$

gdje su a i b dimenzije ploče.

Diferenciranjem ovog pretpostavljenog rješenja i uvođenjem u diferencijalnu jednačinu izbočavanja dobija se:

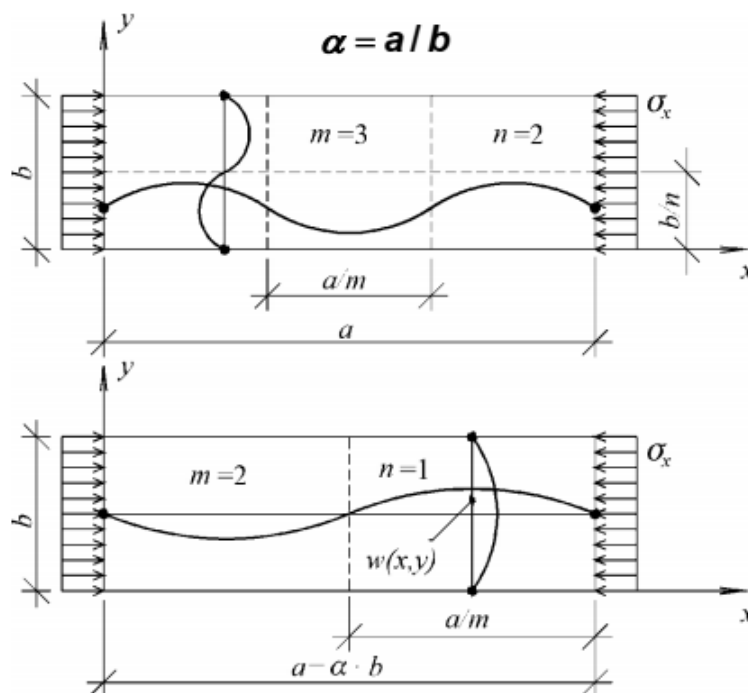
$$A_{mn} \cdot \left\{ \pi^4 \cdot \left[\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2 \right]^2 - \pi^2 \cdot \left(\frac{m}{a}\right)^2 \cdot \sigma_x \cdot \frac{t}{D} \right\} = 0.$$

Iz uslova postojanja netrivialnog rješenja slijedi da je $A_{mn} \neq 0$, pa se dobija sljedeći izraz:

$$\sigma_x = \left[\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2 \right]^2 \cdot \pi^2 \cdot \left(\frac{a}{m}\right)^2 \cdot \frac{D}{t}.$$

Fizičko značenje parametara m i n je sljedeće: m -broj polutalasa izbočavanja odnosno broj izbočina u pravcu x ose; n -broj polutalasa izbočavanja odnosno broj izbočina u pravcu y ose. Ako se odnos stranica pravougaone ploče (dužine i širine) iskaže kao $\alpha = a/b$ dobija se sljedeći izraz za napon izbočavanja:

$$\sigma_x = \left(\frac{m}{\alpha} + n^2 \cdot \frac{\alpha}{m} \right)^2 \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{12 \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \left(\frac{t}{b} \right)^2 = \left(\frac{m}{\alpha} + n^2 \cdot \frac{\alpha}{m} \right)^2 \cdot \sigma_E = k \cdot \sigma_E$$



Slika 3.1.13-Neki od oblika izbočavanja [1]

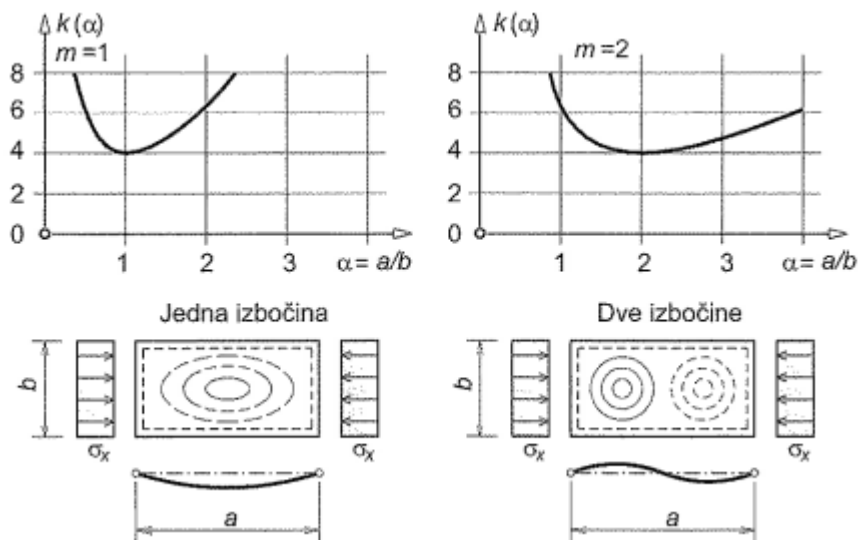
Pomoću parametra $k = \left(\frac{m}{\alpha} + n^2 \cdot \frac{\alpha}{m} \right)^2$ se uzima u obzir uticaj cjelobrojnih vrijednosti m i n na vrijednost normalnog napona izbočavanja σ_x . Kritičan napon izbočavanja se dobija određivanjem minimuma parametra k , a na osnovu izraza se uočava da se minimalna vrijednost ovog parametra dobija kada je $n = 1$, tj. kada se po širini ploče javlja samo jedna izbočina. Imajući ovo u vidu parametar k se dobija pomoću sljedećeg izraza:

$k = \left(\frac{m}{\alpha} + \frac{\alpha}{m} \right)^2$, gdje je m cijeli broj koji može da ima vrijednost $m = 1, \dots, j$, pa se za parametar k koji je jednoparametarska funkcija ($k = k(\alpha)$) dobija familija krivih gdje svaka kriva odgovara jednoj vrijednosti m .

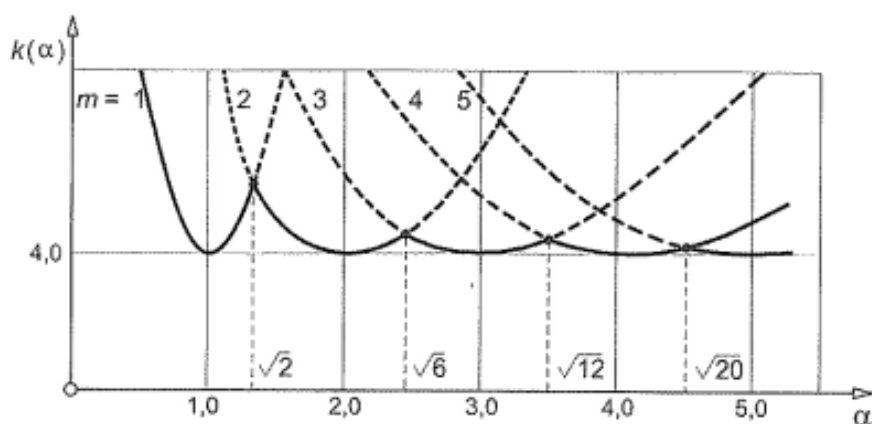
Minimumi ovih funkcija odrađuju se iz uslova $\frac{dk(\alpha)}{d\alpha} = 0$, a uobičajeno je da se minimum ove funkcije označava sa k_σ . Pokazuje se da minimum svake od ovih krivih ne pada ispod vrijednosti 4, a obvojnica familije krivih se sa povećavanjem broja izbočina približava

konstanti tj. četvorci, pa je na strani sigurnosti usvojiti da je $k_\sigma = 4$ kada je ispunjen uslov $\alpha \geq 1.0$. U slučaju da je $\alpha < 1.0$ koeficijent k_σ se može izračunati pomoću sljedeće aproksimacije:

$$k_\sigma = \left(\frac{1}{\alpha} + \alpha\right)^2.$$



Slika 3.1.14-Izbočavanje ploče u jednom i u dva polutalasa [1]



Slika 3.1.15-Familija krivih $k(\alpha)$ i njihova obvojnica [1]

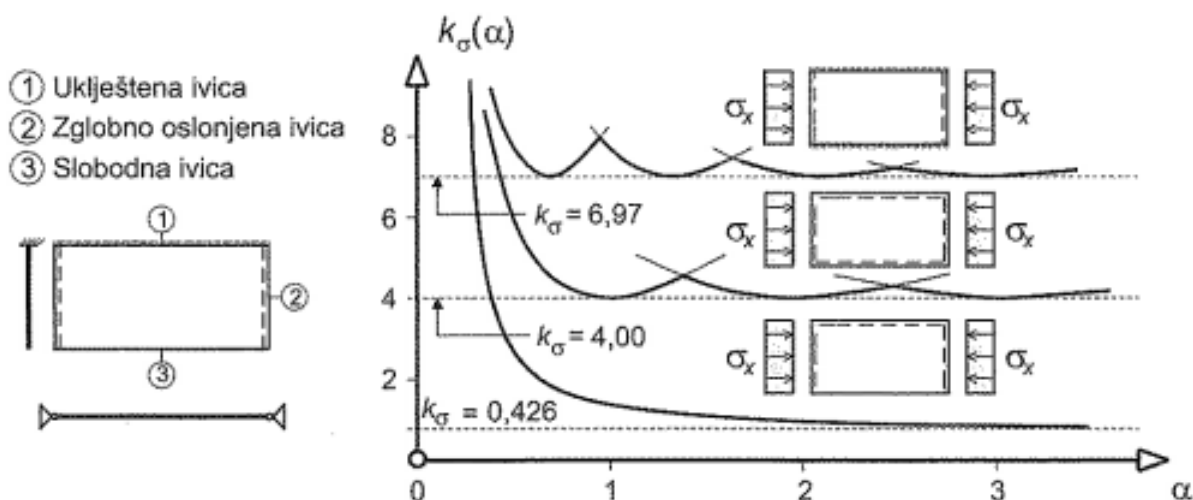
Kritičan napon elastičnog izbočavanja pravougaone ploče zglobno oslonjene duž sve četiri strane, opterećene u svojoj ravni konstantnim naponima pritiska duž dvije suprotne strane, dobija se pomoću sljedećeg izraza:

$$\sigma_{x,cr} = k_\sigma \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{12 \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \left(\frac{t}{b}\right)^2 = k_\sigma \cdot \sigma_E.$$

Parametri koji utiču na vrijednost kritičnog napona izbočavanja, što se može zaključiti na osnovu prethodnih razmatranja, su:

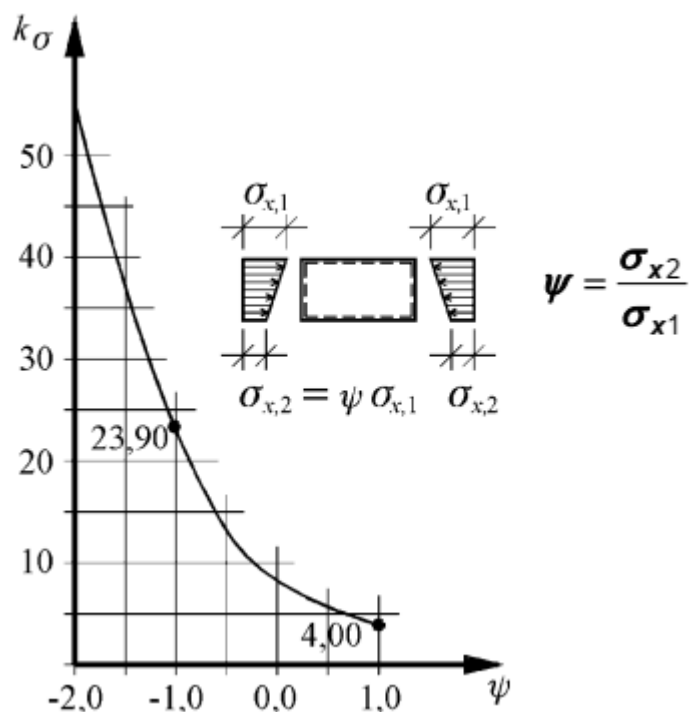
- dimenzije ploče (debljina t , dužina a i širina b), a uvode se u proračun pomoću Ojlerovog napona izbočavanja σ_E ,

- uslovi oslanjanja ploče, uvode se u proračun preko koeficijenta k (k_σ ili k_τ , pri čemu se koeficijent k_τ koristi kod smicanja),
- način naprezanja ploče, uvodi se u proračun takođe pomoću koeficijenta k (k_σ ili k_τ).



Slika 3.1.16-Uticaj načina oslanjanja na vrijednost koeficijenta k_σ [1]

Sa slike 3.1.16 se vidi da koeficijent k_σ kod ploče koja je zglobno oslonjena po širini na obe strane, a uključena po dužini na obe strane raste sa 4 (zglobno oslonjena ploča na sve četiri strane) na 6.97, dok kod ploče sa jednom slobodnom ivicom i tri zglobno oslonjene koeficijent k_σ iznosi 0.426.








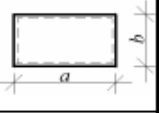


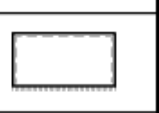


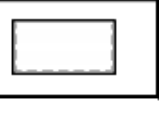
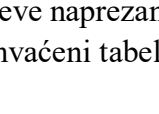


Slika 3.1.17-Uticaj načina naprezanja na vrijednost koeficijenta k_σ [1]

Pomoću koeficijenta ψ se opisuje način promjene naprezanja duž opterećenih ivica ploče, pri čemu je $\sigma_{x,1}$ maksimalni napon pritiska, a koeficijent ψ ima negativnu vrijednost kada je drugi

napon σ_{x2} napon zatezanja. U tabeli 3.1.5.1 dadi su vrijednosti koeficijenta k_σ za različite uslove oslanjanja i inaprezanja.

Tabela 3.1.5.1 - k_σ za različite uslove oslanjanja i naprezanja [1]

Uslovi oslanjanja	Normalni naponi (k_σ)					Smičući naponi (k_τ)
	$\psi = 1$	$\psi = 0,5$	$\psi = 0$	$\psi = -0,5$	$\psi = -1$	
						
	4,00	5,32	7,81	13,40	23,90	$\alpha \geq 1: k_\tau = 5,34 + \frac{4}{\alpha^2}$ $\alpha < 1: k_\tau = 4 + \frac{5,34}{\alpha^2}$
	6,97	9,27	13,54	24,50	39,52	$\alpha \geq 1: k_\tau = 9 + \frac{3,3}{\alpha^2}$ $\alpha < 1: k_\tau = 7 + \frac{5,3}{\alpha^2}$
	5,41	-	11,73	-	23,94	$\alpha \geq 1: k_\tau = 7,5 + \frac{4}{\alpha^2}$ $\alpha < 1: k_\tau = 6,5 + \frac{5}{\alpha^2}$
	5,41	-	9,54	-	-	-
	1,28	-	5,91	-	2,134	-
	1,28	-	1,608	-	-	-
	0,426	-	1,702	-	0,851	-
	0,426	-	0,567	-	-	-

Za slučajevne naprezanja pravougaone ploče koja je zglobno oslonjena duž sve četiri strane koji nisu obuhvaćeni tabelom koeficijent k_σ se može odrediti pomoću izraza:

$$k_\sigma = \begin{cases} 8.2 \cdot (1.05 + \psi) & \text{za } 0 < \psi < 1 \\ 7.81 - 6.29 \cdot \psi + 9.78 \cdot \psi^2 & \text{za } -1 < \psi < 0 \\ 5.98 \cdot (1 - \psi)^2 & \text{za } -3 < \psi < -1 \end{cases}$$

Sve prethodno navedeno važi za ploče bez geometrijskih i strukturnih imperfekcija, koje su izrađene od homogenog idealno elastičnog materijala. Stvarne ploče odnosno ravni limovi koji se koriste za izradu čeličnih konstrukcija, u manjoj ili većoj mjeri odstupaju od ovih pretpostavki. Sa druge strane ove imperfekcije manje utiču na graničnu nosivost elementa u odnosu na linijske elemente. Naime, pokazuje se da je ravni element sposoban da prihvati i veće opterećenje od $\sigma_{x,cr}$ prije nego što dođe do gubitka stabilnosti. Preostali dio ploče od koga je izuzet izbočeni dio sposoban je da primi dodatno opterećenje, tj. preostali dio poprečnog presjeka posjeduje post-kritičnu rezervu nosivosti. Deformisani odnosno izbočeni dio ploče

ima manju krutost u odnosu na ostatak ploče, dužina vlakana u izbočenom dijelu je veća pa je relativno izduženje manje što rezultuje manjim naprezanjima u ovom dijelu ploče. Dijagram normalnih napona u ploči je u ovom slučaju nelinearan, što je nepogodno za praktičnu primjenu, pa je cilj ovaj nelinearan dijagram aproksimirati konstantnim dijagramom. Uslov koji je neophodno ispuniti pri ovoj aproksimaciji je da su rezultante R nelinearnog i konstantnog dijagrama jednake (uslov ravnoteže), što se može postići na dva načina, pa postoje dvije metode za određivanje granične nosivosti ploče na izbočavanje:

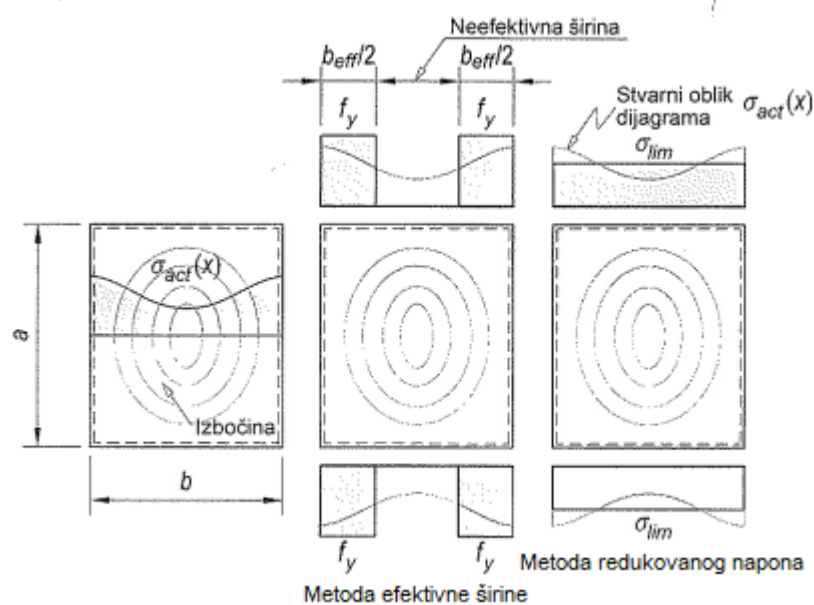
- metoda efektivne širine (b_{eff}),
- metoda redukovanog napona (σ_{lim}).

Rezultanta naprezanja u izbočenoj pravougaonoj ploči određuje se prema izrazu:

$$R = \int_0^b \sigma_{act}(x) t dx = f_y \cdot t \cdot b_{eff} = \sigma_{lim} \cdot t \cdot b, \text{ gdje je:}$$

$\sigma_{act}(x)$ – funkcija kojom se definiše oblik stvarnog dijagrama napona izbočene ploče,

b, t – širina i debljina ploče.



Slika 3.1.18-Proračunski modeli za određivanje granične nosivosti pritisnute ploče [1]

Efektivan poprečni presjek odnosno efektivna širina određuju se iz uslova da na efektivnom dijelu presjeka ne dođe do izbočavanja, tj. da je kritičan napon izbočavanja za pravougaonu ploču širine b_{eff} jednak granici razvlačenja čelika od koga je element izrađen:

$$\sigma_{x,cr}(b_{eff}) = k_{\sigma} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{12 \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \left(\frac{t}{b_{eff}} \right)^2 = f_y,$$

$$\sigma_{x,cr}(b_{eff}) = k_{\sigma} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{12 \cdot (1-\nu^2)} \cdot \left(\frac{t}{b}\right)^2 \cdot \left(\frac{b}{b_{eff}}\right)^2 = \sigma_{x,cr} \cdot \left(\frac{b}{b_{eff}}\right)^2 = f_y \rightarrow$$

$\rightarrow \frac{b_{eff}}{b} = \sqrt{\frac{\sigma_{x,cr}}{f_y}} = \frac{1}{\lambda_p} = \rho$, gdje je λ_p relativna vitkost ploče na izbočavanje ($\lambda_p = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{x,cr}}}$) i ρ je koeficijent redukcije usljed izbočavanja.

Zavisnost između efektivne širine i relativne vitkosti je hiperbola koja je u literaturi poznata kao Karmanova hiperbola (*von Karman*). Karmanova hiperbola je teorijska kriva koja važi za ploče bez strukturnih i geometrijskih imperfekcija koje su izrađene od idealno-elastičnog materijala. Pošto je čelik materijal sa izrazitim elasto-plastičnim ponašanjem, kod koga postoje geometrijske i strukturne imperfekcije granična nosivost čeličnog elementa je manja od teorijskih vrijednosti. Džordž Vinter (*G. Winter*) je uzeo u obzir smanjenu vrijednost nosivosti realnih ploča i modifikovao zavisnost između efektivne širine i relativne vitkosti:

$\rho = \frac{b_{eff}}{b} = \frac{1}{\lambda_p} - \frac{0.22}{\lambda_p^2}$, kriva koja je definisana ovim izrazom u literaturi se označava kao Vinterova kriva i koristi se u Evrokodu 3.

Izraz koji definiše vezu između metode efektivnog presjeka i metode redukovano napona glasi: $\frac{b_{eff}}{b} = \frac{\sigma_{lim}}{f_y} = \rho$, $b_{eff} = \rho \cdot b$, $\sigma_{lim} = \rho \cdot f_y$, i u slučaju pojedinačnih ploča dobijaju se iste granične nosivosti bez obzira koja metoda je korištena. Kod poprečnih presjeka elemenata čeličnih konstrukcija koji su sastavljeni od više različitih pločastih elemenata javlja se razlika između ove dvije metode u pogledu proračuna nosivosti poprečnog presjeka kao cjeline. Pri korištenju metode efektivnog poprečnog presjeka svi pritisnuti dijelovi se razmatraju posebno i za svaki od njih se određuje efektivna širina. Na ovaj način dolazi se do efektivnog poprečnog presjeka, a neefektivni dijelovi se tretiraju u proračunu kao da ne postoje. Nosivost poprečnog presjeka se određuje na osnovu geometrijskih karakteristika efektivnog presjeka ($A_{eff}, W_{eff}, I_{eff}$) uz uzimanje u obzir eventualno pomjeranje težišta poprečnog presjeka. Sa druge strane kod metode redukovano napona zasebno se analiziraju dijelovi poprečnog presjeka i za svaki od njih se određuje redukovani napon ($\sigma_{lim,i}$), a kao mjerodavna usvaja se minimalna vrijednost $\sigma_{lim} = \min(\sigma_{lim,i})$ i predstavlja redukovani napon najslabijeg dijela poprečnog presjeka koji će prvi da se izboči. Nosivost se određuje na osnovu geometrijskih karakteristika bruto poprečnog presjeka (A, W, I), elastičnog modela nosivosti (klasa 3 poprečnog presjeka) i redukovano napona σ_{lim} . Prema tome metoda redukovano napona daje manje nosivosti poprečnog presjeka u odnosu na metodu efektivne širine. Na osnovu svega navedenog vidi se da je metoda efektivne širine odnosno efektivnog presjeka znatno povoljnija za primjenu, pa je u Evrokodu 3 znatno razrađenija u odnosu na metodu redukovano napona. Koristi se kao dominantna metoda za proračun neukrućenih i ukrućenih poprečnih presjeka. Metoda redukovano napona je povoljnija za primjenu u slučaju neuniformnih elemenata, složenih poprečnih presjeka i složenih naprezanja. Takođe je pogodna i za proračun metodom konačnih elemenata, a može da se koristi i za ukrućene i za neukrućene limove. Nedostatak ove metode se ogleda u tome da nakon pojave prve izbočine u najslabijem dijelu poprečnog presjeka nema mogućnosti za preraspodjelu dilatacija, a samim tim i napona.

Metoda efektivne širine prema Evrokodu 3 može se primjenjivati ako su ispunjeni sledeći uslovi:

- polja su pravougaona, a nožice približno paralelne (može se smatrati da su nožice približno paralelne ukoliko nagib nije veći od 10°), u slučaju da je nagib veći od 10° polje se aproksimira pravougaonim sa maksimalnom visinom polja,
- rupe ili zasjeci su mali (prečnik rupe ili zasjeka ne prelazi 5% visine polja),
- ukrućenja, ako ih ima se postavljaju u podužnom, poprečnom ili u oba pravca,
- elementi su konstantnog poprečnog presjeka,
- nema izbočavanja usljed izvijanja pritisnute nožice.

Koeficijent redukcije usljed izbočavanja ρ prema Evrokodu 3 se određuje na sljedeći način:

- za unutrašnje dijelove poprečnog presjeka:

$$\rho = 1.0 \quad \text{za} \quad \bar{\lambda}_p \leq 0.5 + \sqrt{0.085 - 0.055 \cdot \psi}$$

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0.055 \cdot (3 + \psi)}{\bar{\lambda}_p^2} \leq 1.0 \quad \text{za} \quad \bar{\lambda}_p > 0.5 + \sqrt{0.085 - 0.055 \cdot \psi}$$

- za konzolne dijelove poprečnog presjeka:

$$\rho = 1.0 \quad \text{za} \quad \bar{\lambda}_p \leq 0.748$$

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0.188}{\bar{\lambda}_p^2} \leq 1.0 \quad \text{za} \quad \bar{\lambda}_p > 0.748$$

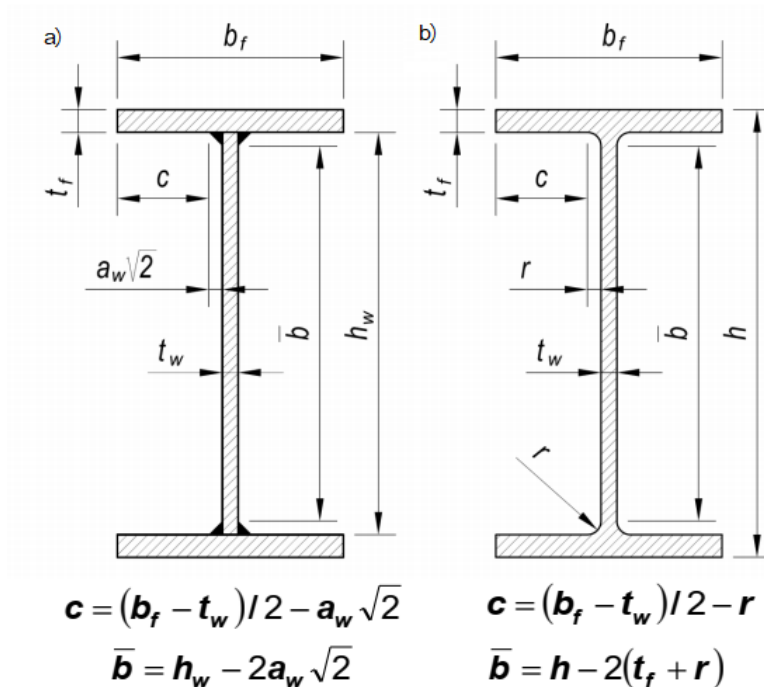
$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{x,cr}}} = \sqrt{\frac{f_y}{k_{\sigma} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{12 \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \left(\frac{t}{b}\right)^2}} = \frac{\bar{b}/t}{28.4 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_{\sigma}}}$$

Tabela 3.1.5.2 – Efektivne površine konzolnih dijelova presjeka [1]

Dijagram napona (pritiskak je pozitivan)			Efektivna širina b_{eff}		
			$1 > \psi \geq 0 :$ $b_{eff} = \rho c$		
			$\psi < 0 :$ $b_{eff} = \rho b_c = \rho c l(1 - \psi)$		
$\psi = \sigma_2 / \sigma_1$	1	0	-1	1 $\geq \psi \geq -3$	
Koeficijent izvijanja k_{σ}	0,43	0,57	0,85	0,57 - 0,21 ψ + 0,07 ψ^2	
			$1 > \psi \geq 0 :$ $b_{eff} = \rho c$		
			$\psi < 0 :$ $b_{eff} = \rho b_c = \rho c l(1 - \psi)$		
$\psi = \sigma_2 / \sigma_1$	1	1 $> \psi > 0$	0	0 $> \psi > -1$	-1
Koeficijent izvijanja k_{σ}	0,43	0,578 / ($\psi + 0,34$)	1,70	1,7 - 5 ψ + 17,1 ψ^2	23,8

Tabela 3.1.5.3 – Efektivne površine unutrašnjih dijelova presjeka [1]

Dijagram napona (pritiskak je pozitivan)			Efektivna širina b_{eff}			
			$\psi = 1 :$ $b_{eff} = \rho \bar{b}$ $b_{e1} = 0,5 b_{eff} \quad b_{e2} = 0,5 b_{eff}$			
			$1 > \psi \geq 0 :$ $b_{eff} = \rho \bar{b}$ $b_{e1} = \frac{2}{5 - \psi} b_{eff} \quad b_{e2} = b_{eff} - b_{e1}$			
			$\psi < 0 :$ $b_{eff} = \rho b_c = \rho \bar{b} l(1 - \psi)$ $b_{e1} = 0,4 b_{eff} \quad b_{e2} = 0,6 b_{eff}$			
$\psi = \sigma_2 / \sigma_1$	1	1 $> \psi > 0$	0	0 $> \psi > -1$	-1	-1 $> \psi \geq -3$
Koeficijent izvijanja k_{σ}	4,0	8,2 / (1,05 + ψ)	7,81	7,81 - 6,29 ψ + 9,78 ψ^2	23,9	5,98(1 - ψ) ²



Slika 3.1.19-Referentne širine pritisnutih dijelova I presjeka: a) zavaren presjek; b) vrućevaljni profil [1]

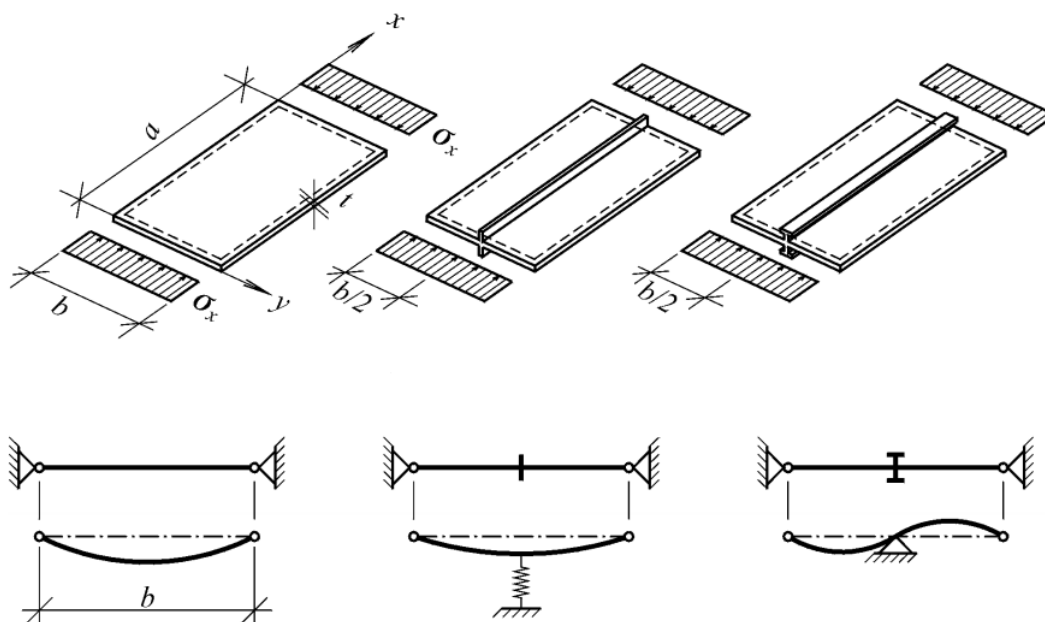
Granične vitkosti pritisnutih dijelova poprečnog presjeka prema Evrokodu 3 su:

- za nožice-konzolne pritisnute elemente: $c/t_f \leq 14 \cdot \varepsilon$, ($k_\sigma = 0.426$ i $\psi = 1$),
- za rebra u slučaju čistog savijanja: $\bar{b}/t_w \leq 124 \cdot \varepsilon$, ($k_\sigma = 23.9$ i $\psi = -1$),
- za rebra u slučaju čistog pritiska: $\bar{b}/t_w \leq 42 \cdot \varepsilon$, ($k_\sigma = 4.0$ i $\psi = 1$).

Na osnovu izraza za kritičan napon elastičnog izbočavanja može se zaključiti da se njegovo povećanje može postići ili povećanjem koeficijenta izbočavanja k_σ ili povećanjem Ojlerovog napona izbočavanja σ_E . Ukoliko uslovi oslanjanja i naprezanja ploče ostaju nepromijenjeni na povećanje kritičnog napona može se uticati samo povećanjem σ_E . Napon σ_E je direktno proporcionalan kvadratu debljine ploče t , a obrnuto proporcionalan kvadratu širine ploče b . Na osnovu svega navedenog povećanje kritičnog napona izbočavanja, bez promjene koeficijenta k_σ , može se postići sljedećim mjerama:

- povećanje debljine ploče t ,
- smanjenje širine ploče b , što se može postići postavljanjem podužnih ukrućenja.

Druga varijanta, sa stanovišta utroška materijala, je znatno povoljnija jer je postavljanje samo jednog ukrućenja na sredini ploče ekvivalentno dvostrukom povećanju debljine ploče, pod uslovom da ukrućenje ima dovoljnu krutost da obezbjedi linijski oslonac na mjestu spoja sa pločom. Na taj način pojedinačna polja širine $b/2$ imaju četverostruko veći Ojlerov napon, a samim tim i kritičan napon izbočavanja.



Slika 3.1.20-Efekti podužnog ukrućivanja pritisnutog lima [1]

U zavisnosti od krutosti podužnog ukrućenja zavisi koji ti oslonca pružaju ploči, pa tako u slučaju „mekih“ ukrućenja predstavljaju elastičan oslonac, a Ojlerov napon se nalazi između vrijednosti za neukrućen lim i lim sa krutim ukrućenjem. Minimalna krutost ukrućenja koja obezbjeđuje krut oslonac može se odrediti na osnovu modifikovane diferencijalne jednačine izbočavanja koja u ovom slučaju ima sljedeći oblik:

$$\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \cdot \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = \sigma_x \cdot \frac{t}{D} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + A_s \cdot \sigma_{x,s} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} - EI_s \cdot \frac{\partial^4 w}{\partial x^4}, \text{ gdje je:}$$

A_s – površina poprečnog presjeka ukrućenja,

$\sigma_{x,s}$ – normalni napon pritiska na mjestu ukrućenja,

I_s – moment inercije ukrućenja u odnosu na srednju ravan ploče.

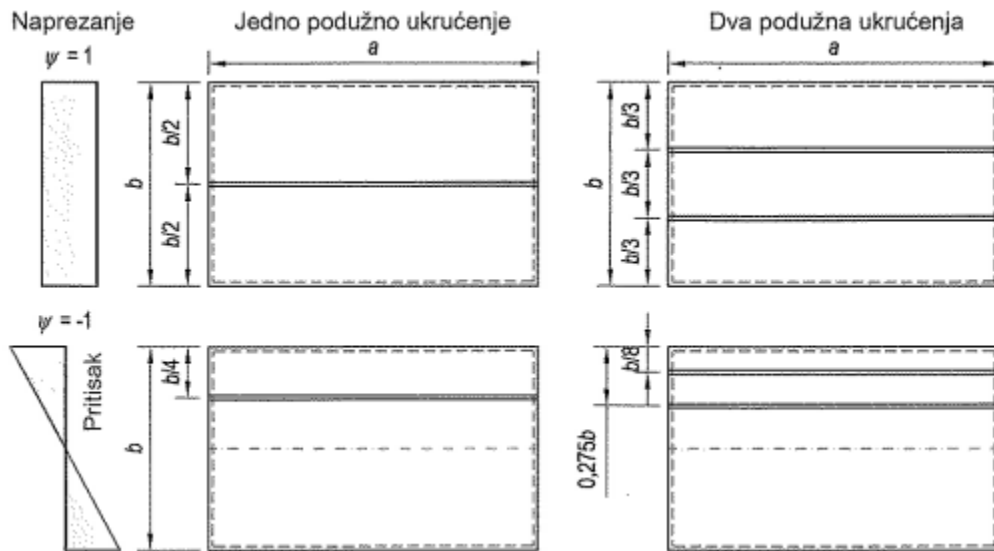
Da bi se pojednostavilo rješenje ove diferencijalne jednačine uvode se sljedeće bezdimenzionalne veličine:

- relativna krutost ukrućenja $\gamma_s = \frac{\text{krutost ukrućenja}}{\text{krutost ploče}} = \frac{EI_s}{D \cdot b} = 10.92 \cdot \frac{I}{b \cdot t^3}$

- relativna površina ukrućenja $\delta_s = \frac{\text{površina ukrućenja}}{\text{površina ploče}} = \frac{A_{st}}{b \cdot t}$

Integracijom prethodne diferencijalne jednačine uz uslov da ugib duž ukrućenja bude jednak nuli, čime se obezbjeđuje nepokretno zglobno oslonjanje ploče, dobija se minimalna relativna krutost ukrućenja γ_s^* . Podužno ukrućenje treba da ima relativnu krutost $\gamma_s \geq \gamma_s^*$. Ukrućenja koja obezbjeđuju nepokretni oslonac na mjestu veze sa pločom se izrađuju L ili T otvorenih poprečnih presjeka koji nemaju značajnu torzionu krutost – torziona „meka“ ukrućenja. Sa druge strane podužna ukrućenja zatvorenog poprečnog presjeka pored spriječavanja ugiba ploče, onemogućavaju i slobodno obrtanje ploče, pa u statičkom smislu predstavljaju elastično ukrućenje. Torziona kruta ukrućenja povećavaju koeficijent k_σ , a time i kritičan napon

izbočavanja ploče. Optimalan položaj ukrućenja najviše zavisi od načina naprezanja, odnosno od oblika dijagrama napona pritiska. Postavljanje ukrućenja je posebno efikasno kod punih limenih nosača sa tankim visokim rebrima, gdje povećanje debljine rebra znatno povećava težinu konstrukcije. Ukrućenja se postavljaju na djelovima rebra koji su izloženi naponu pritiska.



Slika 3.1.21-Optimalni položaji podužnih ukrućenja za čisti pritisak i čisto savijanje [1]

Proračun nosivosti na izbočavanje prema Evrokodu 3 se zasniva na koceptu efektivne širine. U obzir se uzimaju efekti izbočavanja svakog pojedinačnog polja ukrućene ploče, kao i globalni efekti izbočavanja ukrućene ploče. Efektivna površina pritisnutog dijela ukrućene ploče $A_{c,eff}$ treba da se odredi prema izrazu:

$$A_{c,eff} = \rho_c \cdot (A_{sl,eff} + t \cdot \sum_i b_{i,eff}) + \sum b_{edge,eff} \cdot t, \text{ gdje su:}$$

ρ_c - koeficijent kojim se uzima u obzir uticaj globalnog izbočavanja ploče,

$A_{sl,eff}$ – suma efektivnih površina presjeka ukrućenja koja se nalaze u pritisnutoj zoni,

$b_{i,eff}$ – efektivna širina i -tog pritisnutog pojedinačnog polja,

$b_{edge,eff}$ – širine ivičnih pritisnutih polja koja na učestvuju u globalnom izbočavanju ploče.

Kod određivanja koeficijenta redukcije ρ_c pored površinskog ponašanja ploče odnosno čistog izbočavanja (*plate type behaviour*) potrebno je uzeti u obzir i stubni tip izbočavanja (*column-type buckling*), a određuje se na osnovu interpolacije između koeficijenta redukcije za čisto izbočavanje ρ i koeficijenta redukcije za stubno ponašanje χ_c .

Koeficijent redukcije za čisto izbočavanje ukrućene ploče određuje se kao i u slučaju neukrućene ploče ali na osnovu relativne vitkosti ekvivalentne ploče prema izrazu:

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{\beta_{A,c} \cdot f_y}{\sigma_{cr,p}}}, \text{ gdje su:}$$

$\beta_{A,c}$ – koeficijent efikasnosti, određuje se prema izrazu $\beta_{A,c} = \frac{A_{c,eff,loc}}{A_c}$, A_c - bruto površina pritisnute zone izuzimajući ivične dijelove koji su oslonjeni na druge elemente; $A_{c,eff,loc}$ – efektivna površina pritisnute zone usljed izbočavanja pojedinačnih polja i ukrućenja,

$\sigma_{cr,p}$ – kritičan napon izbočavanja ukrućene ploče.

Napon $\sigma_{cr,p}$ za ukrućenu ploču računa se prema izrazu:

$\sigma_{cr,p} = k_{\sigma,p} \cdot \sigma_E$, gdje je $k_{\sigma,p}$ koeficijent izbočavanja za ukrućenu ploču i može se odrediti: na osnovu dijagrama za odgovarajuću dispoziciju podužnih ukrućenja, pomoću specijalizovanih softvera ili metodom konačnih elemenata – MKE.

Prema Evrokodu 3 za ukrućene ploče sa minimum tri ekvidistantna ukrućenja (ortotropna ploča) koeficijent $k_{\sigma,p}$ može se približno odrediti pomoću sljedećih izraza:

$$k_{\sigma,p} = \frac{2 \cdot ((1 + \alpha^2)^2 + \gamma - 1)}{\alpha^2 \cdot (\psi + 1) \cdot (1 + \delta)} \quad \text{uz uslov } \alpha \leq \sqrt[4]{\gamma},$$

$$k_{\sigma,p} = \frac{4 \cdot (1 + \sqrt{\gamma})}{(\psi + 1) \cdot (1 + \delta)} \quad \text{uz uslov } \alpha > \sqrt[4]{\gamma}, \quad \text{gdje je značenje oznaka:}$$

$$\delta = \frac{A_{sl}}{A_p} \quad \text{- relativna površina ukrućenja,}$$

$\gamma = \frac{I_{sl}}{I_p}$ - relativna krutost ukrućenja, (A_{sl} – suma bruto površina svih podužnih ukrućenja, A_p – bruto površina ploče odn. lima, I_{sl} – moment inercije lima sa svim podužnim ukrućenjima, I_p – moment inercije lima bez podužnih ukrućenja, $I_p = \frac{b \cdot t^3}{12 \cdot (1 - \nu^2)}$). Izrazi vrijede kada su ispunjeni uslovi: $\psi = \sigma_{x2} / \sigma_{x1} \geq 0.5$ i $\alpha = a/b \geq 0.5$. Ovaj izraz se uglavnom ograničava na pojasne lamele sistema ortotropne ploče.

Prema Evrokodu 3 za nosače sa jednim ukrućenjem u pritisnutom dijelu ploče, što je čest slučaj kod rebara punih nosača dopušta se uprošćen proračun kritičnog napona izbočavanja pomoću modela preko koga se ukrućenje posmatra kao pritisnut stub na elastičnim osloncima koji reprezentuju uticaj lima uz zenemarenje ukrućenja u zategnutoj zoni, prema izrazu:

$$\sigma_{cr,sl,1} = \frac{1.05 \cdot E}{A_{sl,1}} \cdot \frac{\sqrt{I_{sl,1} \cdot t^3 \cdot b}}{b_1 \cdot b_2} \quad \text{uz uslov } a \geq a_c, \quad a_c = 4.33 \cdot \sqrt[4]{\frac{I_{sl,1} \cdot b_1^2 \cdot b_2^2}{t^3 \cdot b}}$$

$$\sigma_{cr,sl,1} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{sl,1}}{A_{sl,1} \cdot a^2} + \frac{E \cdot t^3 \cdot b \cdot a^2}{4 \cdot \pi^2 \cdot (1 - \nu^2) \cdot A_{sl,1} \cdot b_1^2 \cdot b_2^2} \quad \text{uz uslov } a < a_c,$$

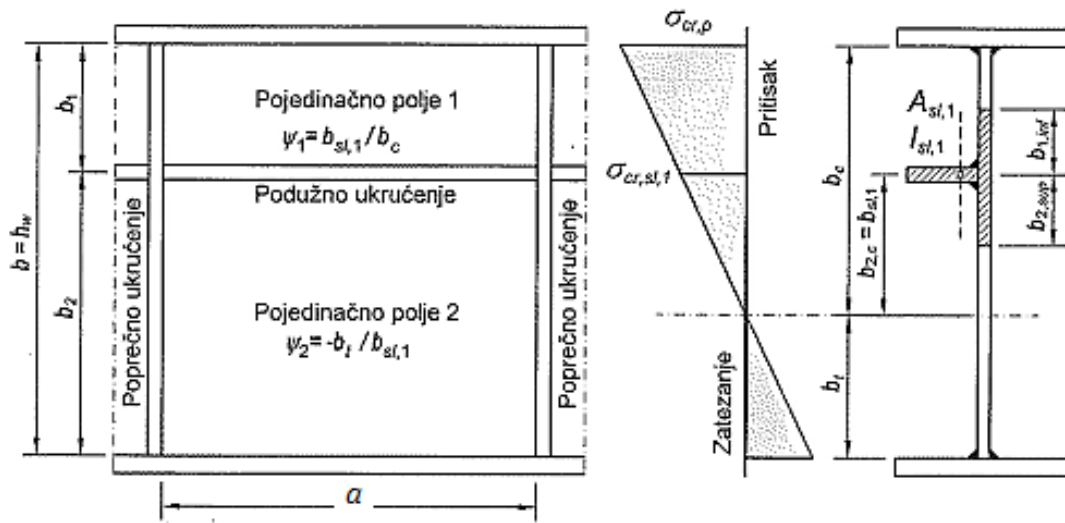
$$\sigma_{cr,p} = \sigma_{cr,sl,1} \cdot \frac{b_c}{b_{sl,1}}, \quad \text{gdje je značenje oznaka sljedeće, slika 3.1.22:}$$

a – dužina izvijanja pritisnutog ukrućenja i jednaka je razmaku između poprečnih ukrućenja,

b_1, b_2 – visine pojedinačni polja 1 i 2 ($b_1 + b_2 = b = h_w$),

$A_{sl,1}$ – bruto površina poprečnog presjeka fiktivnog stuba koga čine ukrućenje i sadejstvjujući dijelovi lima,

$I_{sl,1}$ – moment inercije popreznog presjeka fiktivnog stuba oko vlastite težišne ose koja je paralelna ravni lima.



Slika 3.1.21-Rebro nosača sa jednim podužnim ukrućenjem u zoni pritiska [1]

Širine sadejstvjućih dijelova lima koji čine poprečni presjek fiktivnog stuba određuju se pomoću koeficijenta $\psi_i = \frac{\sigma_{x2,i}}{\sigma_{x1,i}}$ za svako pojedinačno polje:

- pojedinačno polje 1 ($\psi_1 > 0$): $b_{1,inf} = \frac{3-\psi_1}{5-\psi_1} \cdot b_1$

- pojedinačno polje 2:

- potpuno pritisnuto polje ($\psi_2 > 0$): $b_{2,sup} = \frac{2}{5-\psi_2} \cdot b_2$

- djelimično pritisnuto polje ($\psi_2 < 0$): $b_{2,sup} = 0.4 \cdot b_{2c} = 0.4 \cdot b_{sl,1}$.

Kod stubnog ponašanja ukrućenog ili neukrućenog lima elastičan kritičan napon izvijanja određuje se kao napon izvijanja pritisnute ploče kojoj su ukinuti oslonci duž podužnih ivica pritisnutog polja prema izrazima:

$$\sigma_{cr,c} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot t^2}{12 \cdot (1-\nu^2) \cdot a^2} \text{ za neukrućene limove,}$$

$\sigma_{cr,c} = \sigma_{cr,sl,1} \cdot \frac{b_c}{b_{sl,1}}$ za ukrućene limove, gdje je $b_{sl,1}$ rastojanje od neutralne ose do težišta ukrućenja koje je najbliže polju sa maksimalnim naponom pritiska.

Kritičan napon najnapregnutijeg ukrućenja može da se odredi pomoću izraza:

$$\sigma_{cr,sl,1} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{sl,1}}{A_{sl,1} \cdot a^2}.$$

Koeficijent redukcije χ_c kod čistog izvijanja odnosno stubnog ponašanja pločastih elemenata određuje se na osnovu relativne vitkosti $\bar{\lambda}_c$ za ovaj vid ponašanja pritisnutih pločastih elemenata i na osnovu odgovarajuće krive izvijanja:

$$-\bar{\lambda}_c = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{cr,c}}} \quad \text{za neukrućene limove}$$

$$-\bar{\lambda}_c = \sqrt{\frac{\beta_{A,c} \cdot f_y}{\sigma_{cr,c}}} \quad \text{za ukrućene limove, gdje je } \beta_{A,c} = \frac{A_{sl,1,eff}}{A_{sl,1}}$$

Izraz za određivanje koeficijenta redukcije χ_c je isti kao i kod izvijanja pritisnutih elemenata:

$$\chi_c = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}_c^2}}, \quad \text{gde je } \Phi = \frac{1}{2} \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_c - 0.2) + \bar{\lambda}_c^2],$$

- za neukrućene limove $\alpha = 0.21$ – kriva izvijanja a,

- za ukrućene limove $\alpha_e = \alpha + \frac{0.09}{i/e}$, $\Phi = \frac{1}{2} \cdot [1 + \alpha_e \cdot (\bar{\lambda}_c - 0.2) + \bar{\lambda}_c^2]$,

$\alpha = 0.34$, kriva izvijanja b, za ukrućenja zatvorenog poprečnog presjeka (torziona kruta ukrućenja),

$\alpha = 0.49$, kriva izvijanja c, za ukrućenja otvorenog poprečnog presjeka (torziona meka ukrućenja),

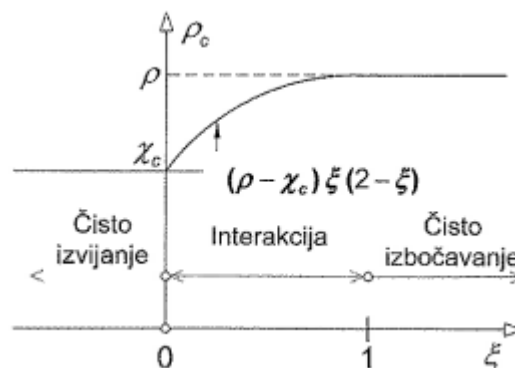
$$i = \sqrt{\frac{I_{sl,1}}{A_{sl,1}}} \quad - \text{ poluprečnik inercije ukrućenja 1,}$$

$e = \max\{e_1, e_2\}$, e_1 je rastojanje između težišta ukrućenja i težišta ekvivalentnog stuba, e_2 je rastojanje između težišta lima i težišta ekvivalentnog stuba.

Interakcija između izvijanja i izbočavanja ukrućene ploče uzima se u obzir preko koeficijenta ρ_c koji se određuje interpolacijom između koeficijenata ρ i χ_c prema formuli:

$$\rho_c = (\rho - \chi_c) \cdot \xi \cdot (2 - \xi) + \chi_c, \quad \text{gdje je}$$

$$\xi = \frac{\sigma_{cr,p}}{\sigma_{cr,c}} - 1 \quad \text{ali } 0 \leq \xi \leq 1.$$



Slika 3.1.22-Interakcija izvijanja i izbočavanja [1]

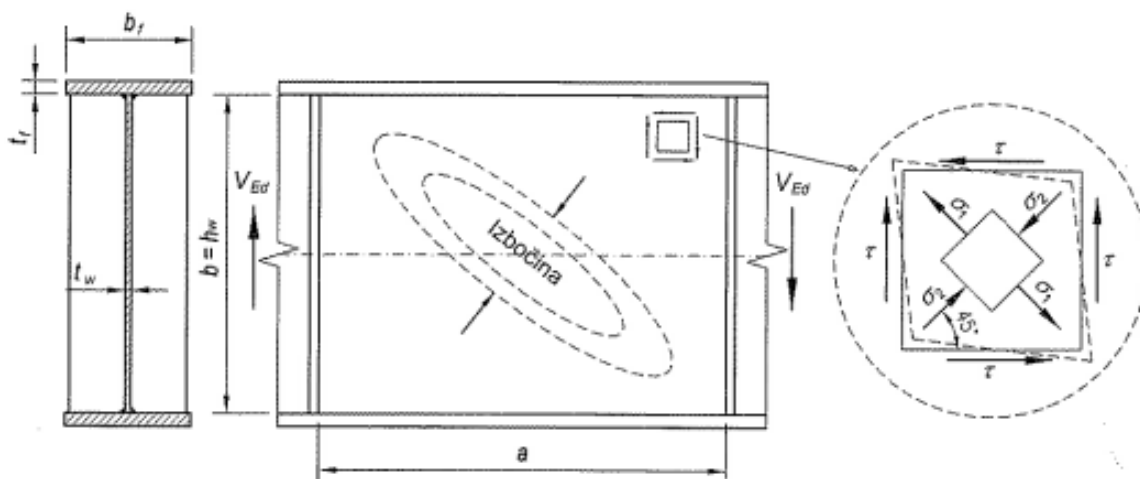
Kontrola nosivosti na izbočavanje ukrućenog ili neukrućenog lima opterećenog aksijalnom silom pritiska N_{Ed} i momentom savijanja oko jedne ose inercije M_{Ed} provodi se pomoću sljedećeg izraza:

$$\eta_1 = \frac{N_{Ed}}{(A_{eff} \cdot f_y) / \gamma_{M0}} + \frac{M_{Ed} + N_{Ed} \cdot e_N}{(W_{eff} \cdot f_y) / \gamma_{M0}} \leq 1.0.$$

Za elemente izložene pritisku i kosom savijanju izraz za potvrdu nosivosti na izbočavanje glasi:

$$\eta_1 = \frac{N_{Ed}}{(A_{eff} \cdot f_y) / \gamma_{M0}} + \frac{M_{y,Ed} + N_{Ed} \cdot e_{y,N}}{(W_{y,eff,min} \cdot f_y) / \gamma_{M0}} + \frac{M_{z,Ed} + N_{Ed} \cdot e_{z,N}}{(W_{z,eff,min} \cdot f_y) / \gamma_{M0}} \leq 1.0 .$$

Prethodna razmatranja su se odnosila na površinske elemente izložene naponima pritiska pri kojima se javlja fenomen izbočavanja. Međutim izbočavanje može da se javi i usljed napona smicanja. Pri čistom smicanju površinskog elementa do izbočavanja dolazi usljed glavnog normalnog napona pritiska σ_2 koji djeluje pod uglom od 45° , tj. u dijagonalnom pravcu. I u ovom slučaju naponi pritiska su uzrok pojave izbočine, ali izbočina je drugačijeg oblika nego što je to slučaj kod ploče izložene normalnim naponima pritiska. Izbočina se javlja u vidu jednog ili više nabora sa izduženjem u pravcu glavnih normalnih napona zatezanja σ_1 . Problem izbočavanja usljed čistog smicanja rješava se određivanjem kritičnog smičućeg napona izbočavanja τ_{cr} . Međutim i nakon dostizanja kritičnog smičućeg napona i pojave izbočine nosač je sposoban da prihvati dodatne uticaje, tj. posjeduje post-kritičnu rezervu nosivosti. Ova rezerva nosivosti ostvaruje se ponašanjem smičućeg polja kao fiktivnog rešetkastog nosača sa dijagonalno zategnutim poljem.



Slika 3.1.23-Izbočavanje smicanjem polja nosača [1]

Kritičan napon izbočavanja usljed smicanja određuje se na osnovi diferencijalne jednačine elastičnog izbočavanja pravougaone ploče smicanjem:

$$\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \cdot \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = -2 \cdot \tau_{xy} \cdot \frac{t}{D} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} ,$$

uz zadovoljenje graničnih uslova oslanjanja ploče kao i iz uslova postojanja netrivialnog po analogiji sa izrazom za kritičan napon izbočavanja pritisnute ploče izraz za određivanje kritičnog smičućeg napona izbočavanja glasi:

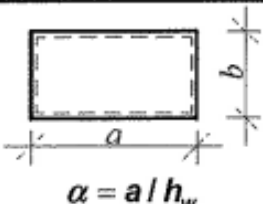


$$\tau_{cr} = k_\tau \cdot \sigma_E , \text{ gdje je:}$$

k_τ – koeficijent izbočavanja smicanjem čija vrijednost zavisi od geometrije ploče i uslova oslanjanja,

σ_E – Ojlerov napon izbočavanja.

Koeficijent k_τ kod neukrućenih ploča za tri osnovna tipa oslanjanja može se odrediti prema izrazima datim u tabeli 3.1.5.4.

Tabele 3.1.5.4 – Izrazi za određivanje koeficijenta k_τ [1]

Uslovi oslanjanja		Koeficijent izbočavanja k_τ
Tip 1 Zglobno oslanjanje duž sve četiri ivice	 $\alpha = a/h_w$	$k_\tau = 4 + \frac{5,34}{\alpha^2}$ za $\alpha < 1$ $k_\tau = 5,34 + \frac{4}{\alpha^2}$ za $\alpha \geq 1$
Tip 2 Jedna podužna ivica ukleštена		$k_\tau = 6,5 + \frac{5}{\alpha^2}$ za $\alpha < 1$ $k_\tau = 7,5 + \frac{4}{\alpha^2}$ za $\alpha \geq 1$
Tip 3 Obe podužne ivice ukleštene		$k_\tau = 7 + \frac{5,3}{\alpha^2}$ za $\alpha < 1$ $k_\tau = 9 + \frac{3,3}{\alpha^2}$ za $\alpha \geq 1$

Koeficijent k_τ za ukrućene zglobno oslonjene ploče sa dva ili više podužnih ukrućenja kao i za ploče sa jednim ili dva podužna ukrućenja kod kojih je $\alpha \geq 3$ (α je odnos dužine i širine ploče, odnosno odnos dužine i visine polja posmatranog nosača) može se odrediti prema izrazima:

$$k_\tau = 5,34 + \frac{4}{\alpha^2} + k_{\tau sl} \quad \text{kada je } \alpha \geq 1,$$

$$k_\tau = 4 + \frac{5,34}{\alpha^2} + k_{\tau sl} \quad \text{kada je } \alpha < 1, \text{ gdje je:}$$

$$k_{\tau sl} = 9 \cdot \left(\frac{h_w}{a}\right)^2 \cdot \sqrt[4]{\left(\frac{I_{sl}}{t_w^3 \cdot h_w}\right)^3} \quad \text{ali} \quad k_{\tau sl} \geq \frac{2,1}{t_w} \cdot \sqrt[3]{\frac{I_{sl}}{h_w}}, \text{ značenje oznaka je sljedeće:}$$

a – širina pomatranog polja, tj. razmak između poprečnih ukrućenja,

h_w, t_w – visina i debljina rebra nosača,

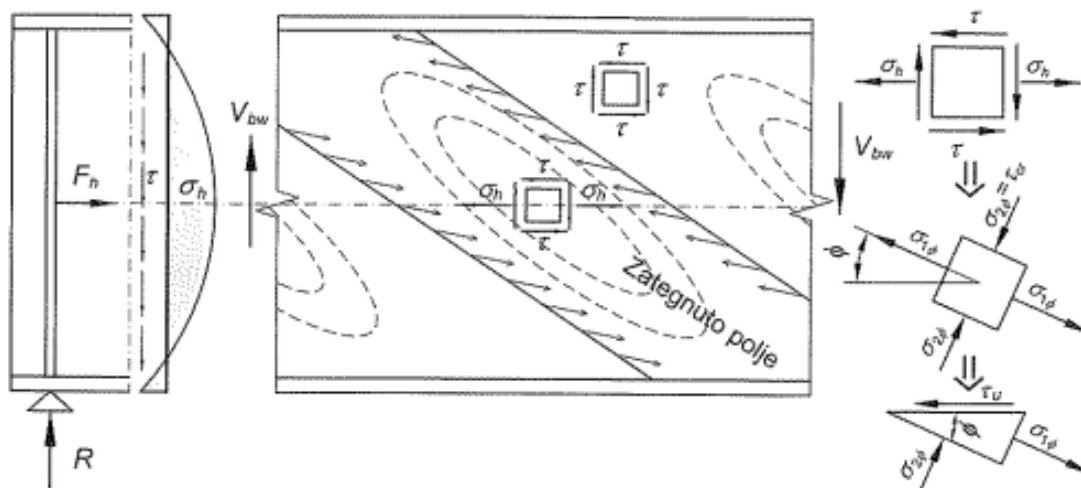
I_{sl} – moment inercije podužnog ukrućenja sa sadejstvjućim dijelovima ukrućenog rebra (po $15 \cdot \varepsilon \cdot t_w$ sa obe strane) oko težišne ose koja je paralelna ravni lima, kod rebara sa dva ili više podužnih ukrućenja koja ne moraju da budu ekvidistantna I_{sl} je zbir momenata inercije svih ukrućenja, bitno je napomenuti da je moment inercije I_{sl} potrebno redukovati na 1/3 njegove vrijednost što je i uzeto u obzir u datim izrazima.

Za ploče kod kojih je $\alpha < 3$ koeficijent k_τ određuje se prema izrazu:

$$k_\tau = 4,1 + \frac{6,3 + 0,18 \cdot \frac{I_{sl}}{t_w^3 \cdot h_w}}{\alpha^2} + 2,2 \cdot \sqrt[3]{\frac{I_{sl}}{t_w^3 \cdot h_w}}.$$

Nakon dostizanja kritičnog smičućeg napona izbočavanja i pojave izbočine nosač je sposoban da prenese i dodatno opterećenje prije gubitka nosivosti. Dodatna nosivost se ostvaruje formiranjem kvazi-rešetkaste strukture koju čine nožice kao pojasevi, poprečna ukrućenja kao

vertikale i dijagonalno izbočeno rebro kao zategnuta dijagonala. Do gubitka nosivosti dolazi tek nakon iscrpljenja nosivosti zategnutog polja. Da bi se ostvario ovakav mehanizam loma neophodna su oslonačka ukrućenja koja preuzimaju horizontalnu silu iz zategnutog polja. Osnova svih metoda za proračun nosivosti polja na izbočavanje smicanjem je superpozicija kritičnog napona izbočavanja τ_{cr} sa post-kritičnom čvrstoćom polja koja se ostvaruje mehanizmom zategnutog polja. Nakon formiranja izbočine odnosno dostizanja kritičnog napona vrijednosti glavnih napona iznose $\sigma_1 = \tau_{cr}$ i $\sigma_2 = -\tau_{cr}$, i djeluju u dijagonalnom pravcu pod uglom od 45° pri čemu glavni napon zatezanja σ_1 djeluje u pravcu izbočine, a glavni napon pritiska σ_2 je upravan na pravac pružanja izbočine. Povećanje opterećenja nakon dostizanja kritičnog napona utiče na priraštaj glavnog napona zatezanja, dok je priraštaj glavnog napona pritiska zbog pojave izbočine zanemarljiv, tako da do iscrpljenja nosivosti dolazi tek nakon plastifikacije zategnutog polja. Posmatrajući ravnotežu elementarnog dijela u okviru zategnutog polja proizlazi da zbog povećanja glavnog napona zatezanja koje nije praćeno prirastom glavnog napona pritiska dolazi do rotacije polja napona za ugao ϕ na čemu se zasniva Heglundova (*Höglund*) metoda zarotiranog polja napona koja je osnov za proračun po Evrokodu 3. Na elementarni dio zategnutog polja pored napona smicanja djeluje i horizontalna komponenta napona σ_h koji je posljedica ankerisanja zategnutog polja u poprečno ukrućenje.



Slika 3.1.24-Post-kritična nosivost prema metodi zarotiranog polja napona [1]

Ugao ϕ sa porastom napona zatezanja σ_1 se smanjuje, a njegova graničan vrijednost pri kojoj dolazi do plastifikacije zategnutog polja se određuje iz fon Mizesovog uslova tečenja:

$\sigma_{1\phi}^2 - \sigma_{1\phi} \cdot \sigma_{2\phi} + \sigma_{2\phi}^2 = f_{yw}^2$, gdje je f_{yw} granica razvlačenja materijala od koga je rebro izrađeno.

Granični napon izbočavanja rebra smicanjem τ_u određuje se unošenjem vrijednosti $\sigma_{1\phi}, \sigma_{2\phi}$ prema slici 3.1.24 u prethodni izraz uz pretpostavku da je vitkost rebra $\bar{\lambda}_w \geq 1$ i da je glavni napon pritiska jednak kritičnom naponu izbočavanja smicanjem $\sigma_{2\phi} = -\tau_{cr}$, tako da izraz za granični napon izbočavanja smicanjem glasi:

$$\tau_u = \frac{\sqrt[4]{3}}{\bar{\lambda}_w} \cdot \sqrt{1 - \frac{1}{\bar{\lambda}_w^4} - \frac{1}{\bar{\lambda}_w^2 \cdot 2 \cdot \sqrt{3}}} \cdot \tau_y, \text{ gdje je:}$$

τ_y – granica razvlačenja rebra smicanjem i jednaka je $f_{yw}/\sqrt{3}$,

$\bar{\lambda}_w$ – relativna vitkost rebra na izbočavanje smicanjem $\bar{\lambda}_w = \sqrt{\frac{\tau_y}{\tau_{cr}}} = \sqrt{\frac{f_{yw}/\sqrt{3}}{\tau_{cr}}}$.

Kod vitkih rebara gdje je $\bar{\lambda}_w \geq 2.5$ u izrazu za τ_u dio po korjenom je približno jednak jednici pa se izraz pojednostavljuje:

$$\tau_u = \frac{\sqrt[4]{3}}{\bar{\lambda}_w} \cdot \tau_y.$$

Prema tome granična nosivost rebra na izbočavanje smicanjem glasi:

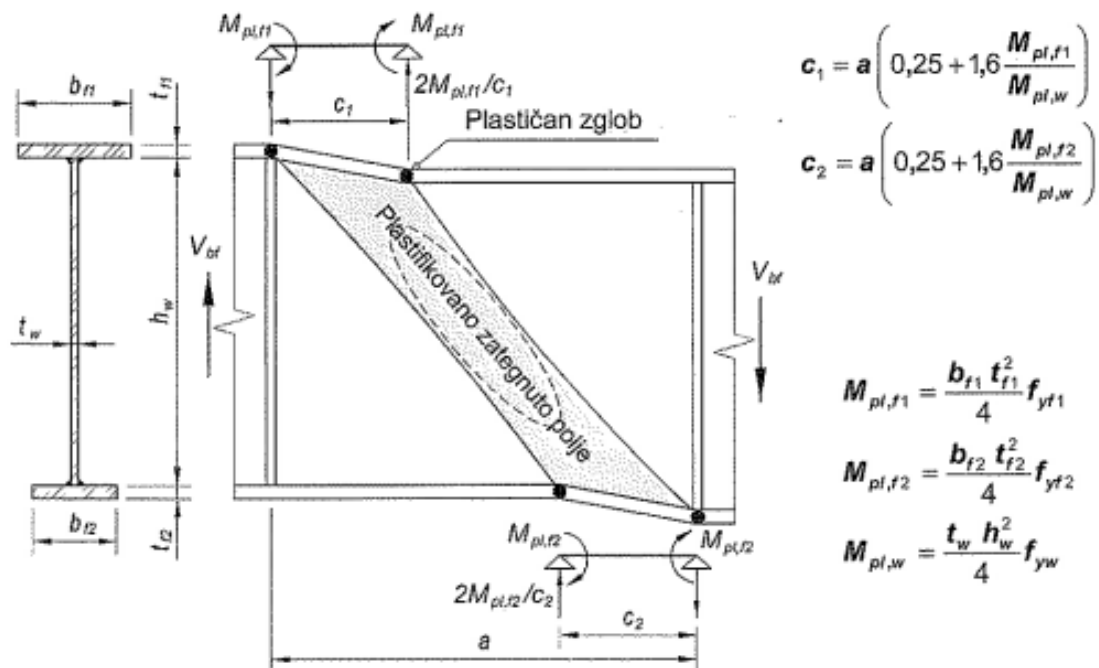
$$V_{bw} = A_w \cdot \tau_u = \frac{1.32}{\bar{\lambda}_w} \cdot h_w \cdot t_w \cdot \tau_y, \quad A_w \text{ je površina poprečnog presjeka rebra.}$$

Nakon dostizanja granične nosivosti rebra na izbočavanje potpunom plastifikacijom zategnutog polja rebra ne dolazi do sloma polja nosača, a razlog za to je učešće i nožica nosača u nosivosti smičućeg polja nosača. Tek nakon plastifikacije nožica odnosno formiranja plastičnih zglobova na nožicama (po 2 na svakoj nožici) dolazi do loma nosača usljed izbočavanja smicanjem. Doprinos nožica nosivosti nosača na izbočavanje smicanjem kod nosača sa monosimetričnim I presjekom može da se odredi kao zbir reakcija prostih greda na čijim krajevima su formirani plastični zglobovi:

$$V_{bf} = \frac{2 \cdot M_{pl,f1}}{c_1} + \frac{2 \cdot M_{pl,f2}}{c_2}, \text{ gdje su:}$$

c_1 i c_2 – rastojanja između plastičnih zglobova na gornjoj i donjoj nožici,

$M_{pl,f1}$ i $M_{pl,f2}$ – plastični momenti nosivosti gornje i donje nožice.



Slika 3.1.25-Doprinos nožica u plastičnom mehanizmu loma [1]

Razmak između plastičnih zglobova formiranih na nožicama prema Heglundu određuje se prema izrazu:

$$c_i = a \cdot \left(0.25 + 1.6 \cdot \frac{M_{pl,fi}}{M_{pl,w}} \right), \text{ gdje je:}$$

a - razmak između poprečnih ukrućenja,

$M_{pl,fi}$ – plastični moment nosivosti nožice i ,

$M_{pl,w}$ – plastični moment nosivosti rebra.

Kod obostrano simetričnih I presjeka doprinos nožica ukupnoj nosivosti na izbočavanje smicanjem gdje je $M_{pl,f1} = M_{pl,f2} = M_{pl,f}$ i $c_1 = c_2 = c$ dobije se prema izrazu:

$$V_{bf} = \frac{4 \cdot M_{pl,f}}{c}.$$

Doprinos nožica ukupnoj nosivosti na izbočavanje je uglavnom mali pošto su nožice iskorištene za prijem globalnog momenta savijanja oko y ose $M_{y,Ed}$. Izuzetak su krajnja polja kod oslonaca gdje su momenti mali, a nožice imaju uglavnom veću debljinu.

Prema Evrokodu 3 proračunska nosivost ukrućenog ili neukrućenog rebra nosača određuje se kao:

$$V_{b,Rd} = V_{bw,Rd} + V_{bf,Rd}, \text{ gdje su:}$$

$V_{bw,Rd}$, $V_{bf,Rd}$ – doprinosi rebra i nožice.

Proračunska nosivost rebra na izbočavanje smicanjem ne može biti veća od plastične proračunske nosivosti poprečnog presjeka na smicanje $V_{pl,Rd}$:

$$V_{b,Rd} \leq V_{pl,Rd} = \eta \cdot \frac{f_{yw} \cdot h_w \cdot t_w}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} = \frac{\eta \cdot A_w \cdot \tau_y}{\gamma_{M1}}.$$

Doprinos rebra nosivosti na izbočavanje smicanjem za neukrućena ili ukrućena rebra prema Evrokodu 3 treba da se odredi pomoću izraza:

$$V_{bw,Rd} = \frac{\chi_w \cdot f_{yw} \cdot h_w \cdot t_w}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}}, \text{ gdje je:}$$

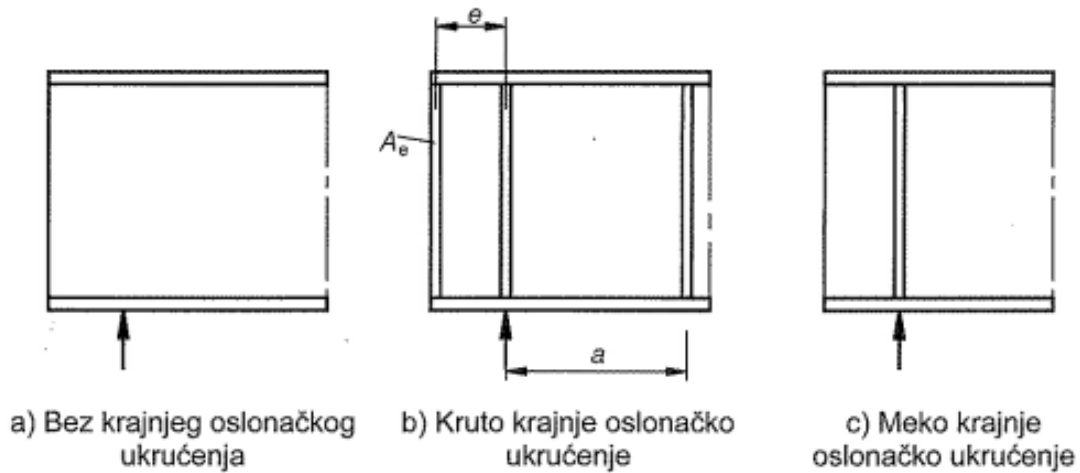
χ_w – koeficijent redukcije za izbočavanje smicanjem, određuje se prema tabeli 3.1.5.5.

Tabela 3.1.5.5 – Koeficijent redukcije χ_w [1]

	Kruto krajnje ukrućenje	Meko krajnje ukrućenje
$\bar{\lambda}_w < 0,83 / \eta$	η	η
$0,83 / \eta \leq \bar{\lambda}_w < 1,08$	$0,83 / \bar{\lambda}_w$	$0,83 / \bar{\lambda}_w$
$\bar{\lambda}_w \geq 1,08$	$1,37 / (0,7 + \bar{\lambda}_w)$	$0,83 / \bar{\lambda}_w$

Vrijednost parametra η prema preporukama Evrokoda 3 iznosi 1.20 za kvalitete čelika do S460 uključujući i S460, a vrijednost 1.00 za čelike višeg kvaliteta. Ipak u velikom broju zemalja u

nacionalnim priložima usvaja se vrijednost $\eta = 1.00$. Koeficijent redukcije χ_w zavisi od vrste krajnjih ukrućenja i od relativne vitkosti rebra na izbočavanje smicanjem $\bar{\lambda}_w$. Izrazi iz tabele 3.1.5.5 mogu da se koriste za nosače koji imaju samo oslonačka ukrućenja, a mogu da se koriste i za nosače koji uz pomenuta imaju i međuukrućenja kao i podužna ukrućenja. Za nosače koji nemaju oslonačka ukrućenja ne važe izrazi dati u tabeli zbog nemogućnosti ankerisanja horizontalne sile iz zategnutog polja, zbog čega se ne može razviti značajna post-kritična rezerva nosivosti.



Slika 3.1.26 - Tipovi krajnjih oslonačkih ukrućenja [1]

Relativna vitkost na izbočavanje $\bar{\lambda}_w$ čiji je izraz za određivanje dat ranije u tekstu, može se odrediti na pojednostavljen način:

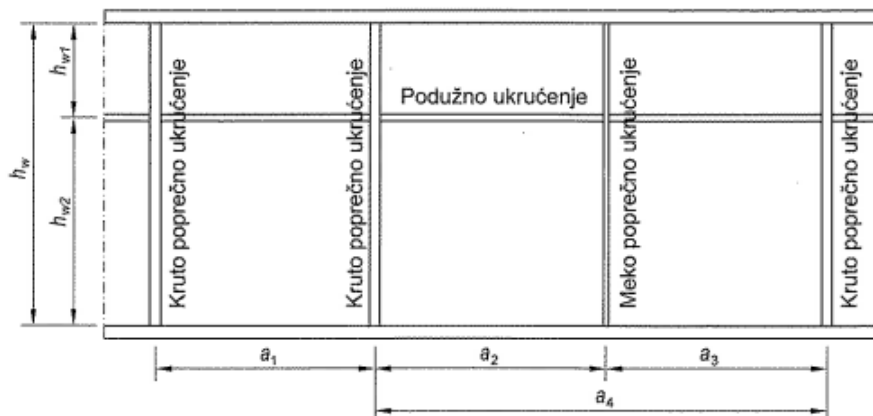
- kod nosača sa poprečnim ukrućenjima samo nad osloncima gdje je $\alpha \gg 1$:

$$\bar{\lambda}_w = \frac{h_w/t_w}{86.4 \cdot \epsilon}$$

- kod nosača koji imaju oslonačka ukrućenja i međuukrućenja, oslonačka i podužna ukrućenja ili sve nabrojano:

$$\bar{\lambda}_w = \frac{h_w/t_w}{37.4 \cdot \epsilon \cdot \sqrt{k_\tau}}$$

gdje je k_τ minimalan koeficijent izbočavanja smicanjem.



Slika 3.1.27 - Prikaz rebra sa podužnim i poprečnim ukrućenjima [1]

Na sl. 3.1.27 dat je prikaz rebra nosača sa podužnim i poprečnim ukrućenjima gdje je jedno od međuukrućenja meko (fleksibilno) poprečno ukrućenje. U takvim slučajevima koeficijent k_τ usvaja se kao minimum koeficijenata izbočavanja za polje rebra između bilo koja dva poprečna ukrućenja npr. $a_2 \times h_w$ i $a_3 \times h_w$ i polja između dva kruta poprečna ukrućenja koja sadrže meko ukrućenje $a_4 \times h_w$. Što se tiče uslova oslanjanja za nepomjerljive uslove oslanjanja mogu da se usvoje polja oivičena nožicama i krutim poprečnim ukrućenjima, pa analiza izbočavanja rebra se tada zasniva na poljima između dva kruta poprečna ukrućenja (sl.3.1.27 $a_1 \times h_w$). Za polja sa mekim poprečnim ukrućenjima minimalna vrijednost koeficijenta k_τ može da se odredi na osnovu analize sljedećih slučajeva:

- kombinacija dva susjedna polja sa jednim mekim ukrućenjem,
- kombinacija tri susjedna polja sa dva meka ukrućenja.

Kod nosača sa podužnim ukrućenjima relativna vitkost rebra na izbočavanje $\bar{\lambda}_w$ usvaja se kao najveća vrijednost za pojedinačna neukrućena polja i vrijednosti za ukupno polje sa podužnim ukrućenjem sa odgovarajućim vrijednostima h_{wi} i $k_{\tau i}$. Pojedinačno polje sa najvećom vitkošću je po pravilu polje sa najvećom visinom h_{wi} . Vitkost polja sa podužnim ukrućenjem određuje se za čitavu visinu rebra h_w i na osnovu koeficijenta izbočavanja za polje sa podužnim ukrućenjem k_τ čiji način određivanja je dat ranije u tekstu (koeficijent izbočavanja za zglobno oslonjene ploče sa podužnim ukrućenjima).

Doprinos nožica nosivosti na izbočavanje smicanjem prema Evrokodu 3 može da se uzme u obzir kada njihova nosivost nije u potpunosti iskorištena za prihvatanje momenta savijanja oko jače y ose inercije poprečnog presjeka nosača, tj. kada je $M_{y,Ed} \leq M_{y,f,Rd}$ i u tom slučaju doprinos nožica određuje se prema izrazu:

$$V_{bf,Rd} = \frac{b_f \cdot t_f^2 \cdot f_{yf}}{c \cdot \gamma_{M1}} \cdot \left(1 - \left(\frac{M_{Ed}}{M_{f,Rd}} \right)^2 \right), \text{ gdje su:}$$

b_f i t_f – širina i debljina nožice sa manjom aksijalnom nosivošću, po pravilu nožica sa manjom površinom, uz uslov da se za b_f ne usvoji veća vrijednost od $15 \cdot \varepsilon \cdot t_f$ sa svake strane rebra,

M_{Ed} – proračunska vrijednost momenta savijanja oko y ose koji djeluje na posmatrano polje nosača,

$M_{f,Rd}$ – moment nosivosti poprečnog presjeka koga čine samo efektivne površine nožica,

c – razmak između plastičnih zglobova na nožicama, određuje se prema izrazu:

$$c = a \cdot \left(0.25 + 1.6 \cdot \frac{b_f \cdot t_f^2 \cdot f_{yf}}{t_w \cdot h_w^2 \cdot f_{yw}} \right),$$

f_{yf} – granica razvlačenja materijala od koga je izrađena nožica sa manjom aksijalnom nosivošću,

f_{yw} – granica razvlačenja materijala od koga je rebro izrađeno.

Kod monosimetričnih I presjeka moment nosivosti presjeka koga čine samo nožice određuje se prema izrazu:

$$M_{f,Rd} = \min\left\{ (A_{f1} \cdot f_{yf1} \cdot h_f) / \gamma_{M0}; (A_{f2} \cdot f_{yf2} \cdot h_f) / \gamma_{M0} \right\}, \text{ gdje su:}$$

A_{f1} i A_{f2} – površine gornje i donje nožice ($A_{f1} = b_{f1} \cdot t_{f1}$, $A_{f2} = b_{f2} \cdot t_{f2}$),

f_{yf1} i f_{yf2} – granice razvlačenja materijala od koga su izrađene gornja i donja nožica u slučaju da se razlikuju,

h_f – rastojanje između težišta gornje i donje nožice ($h_f = h_w + (t_{f1} + t_{f2})/2$).

Kada je pored momenta savijanja M_{Ed} prisutna i aksijalna sila N_{Ed} moment nosivost nožica $M_{f,Rd}$ potrebno je redukovati koeficijentom:

$$k_r = 1 - \frac{N_{Ed}}{(A_{f1} \cdot f_{yf1} + A_{f2} \cdot f_{yf2}) / \gamma_{M0}}.$$

Kontrola stabilnosti rebra na izbočavanje sprovodi se za svako mjerodavno polje smicanja potvrdom uslova:

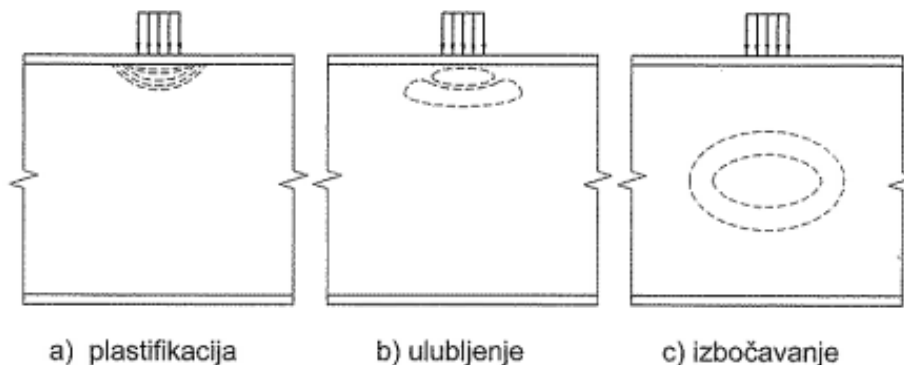
$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{b,Rd}} \leq 1.0,$$

gdje je V_{Ed} proračunska smičuća sila koja uključuje i uticaje torzije ukoliko su prisutni.

Prethodno su obrađeni slučajevi izbočavanja pločastih elemenata izloženih naponima pritiska i čistom smicanju. Pored navedenih slučajeva lokalni gubitak stabilnosti pločastog elemeta koji je u konkretnom slučaju rebro punog limenog nosača može da nastupi i usljed poprečne koncentrisane sile koja djeluje u ravni rebra. U slučaju djelovanja fiksnih koncentrisanih sila ovaj problem se rješava postavljanjem poprečnih ukrućenja na mjestu njihovog djelovanja. U slučaju pokretnih koncentrisanih sila što je naročito prisutno kod kranskih nosača, a dobar primjer su i mostovski nosači prilikom montaže podužnim lansiranjem, zbog promjenljivog položaja opterećenja nije moguće postaviti poprečna ukrućenja. Iz tog razloga neophodno je obezbjediti nosivost rebra na izbočavanje usljed lokalnih sila pritiska.

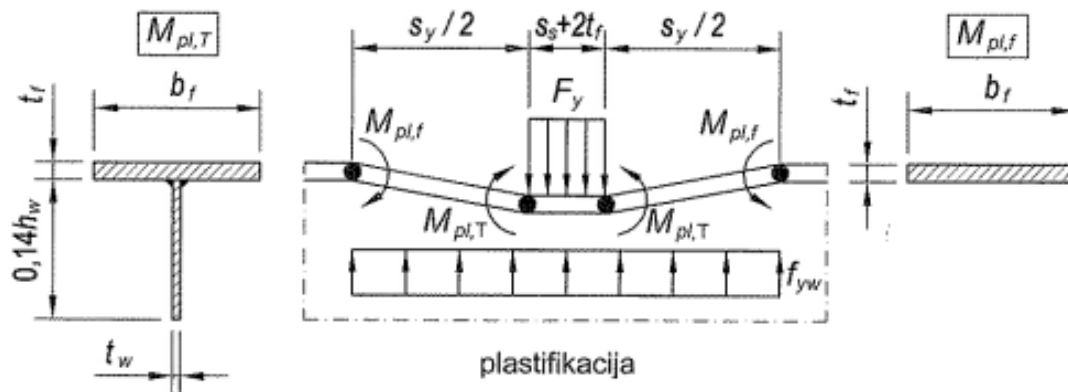
Iscrpljenje nosivosti rebra punog limenog nosača može nastupiti na neki od sljedećih načina:

- plastifikacijom (*yielding*) rebra neposredno ispod rebra uz lokalnu plastifikaciju nožice,
- ulubljenjem (*crippling*) rebra u obliku lokanog izbočavanja i platifikacije rebra neposredno ispod nožice uz plastifikaciju nožice,
- izbočavanjem (*buckling*) rebra čitavom visinom u vidu horizontalne izbočine.



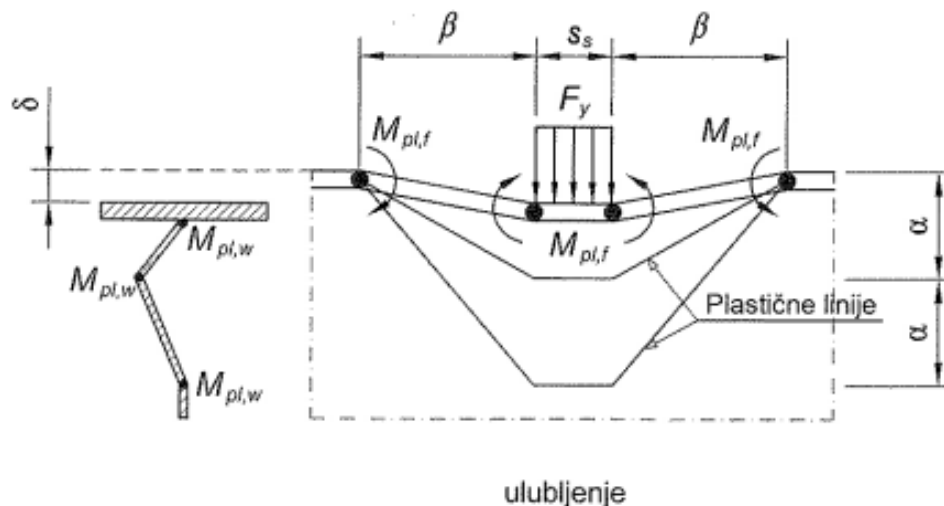
Slika 3.1.28-Tipovi gubitka nosivosti rebra usljed dejstva poprečne koncentrisane sile [1]

Mehanizam loma koji se koristi kao model za određivanje granične nosivosti rebra pri plastifikaciji sastoji se od četiri plastična zgloba na nožici i reaktivnog jednapodjeljenog opterećenja u plastifikovanom rebro koje je jednako granici razvlačenja materijala od koga je rebro izrađeno f_{yw} . Dva unutrašnja plastična zgloba formiraju se na krajevima djelovanja poprečnog opterećenja rastojanja $s_s + 2 \cdot t_f$, gdje je s_s dužina na kojoj djeluje poprečna sila. Moment pune plastičnosti unutrašnjih plastičnih zglobova $M_{pl,T}$ određuje se na osnovu T presjeka koga čini nožica i 14% rebra odnosno $0.15 \cdot h_w$. Plastični moment nosivosti dva spoljašnja plastična zgloba jednak je momentu plastične nosivosti nožice $M_{pl,f}$. Položaj plastičnih zglobova na nožicama određuje se na osnovu uslova ravnoteže plastičnog mehanizma loma. Ovaj vid loma karakterističan je za rebra male vitkosti kod kojih do plastifikacije dolazi prije ulubljavajna ili izbočavanja.



Slika 3.1.29-Mehanizam loma plastifikacijom rebra [1]

Mehanizam loma koji se koristi kao model za određivanje granične nosivosti rebra na ulubljevanje je modifikovani model mehanizma loma plastifikacijom rebra. Uz četiri plastična zgloba na nožici sa momentima plastične nosivosti nožica $M_{pl,f}$, u rebro se javljaju dvije poligonalne linije plastifikacije (plastične linije) sa momentom plastičnosti $M_{pl,w}$.



Slika 3.1.30-Mehanizam loma ulubljenjem rebra [1]

U literaturi za nosivost rebra na plastifikaciju i ulubljenje najčešće se koristi zajednički termin *engl. patch loading resistance*. Rješenje se dobija određivanjem efektivne opterećene dužine

l_y na osnovu koje se dobija plastična nosivost rebra na dejstvo poprečne sile u vidu sljedećeg izraza: $F_y = l_y \cdot t_w \cdot f_{yw}$.

Kod rebara velike vitkosti do gubitka nosivosti usljed dejstva kocentrisane poprečne sile može doći usljed globalnog izbočavanja u zoni djelovanja koncentrisanog opterećenja. Kritičan napon izbočavanja pravougaone ploče koja je opterećena lokalno poprečnim opterećenje može se odrediti po analogiji sa rješenjem za ploču opterećenu podužnim naponima pritiska u vidu izraza:

$$\sigma_{cr,F} = k_F \cdot \sigma_E = k_F \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{12 \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \left(\frac{t_w}{h_w}\right)^2, \text{ gdje je:}$$

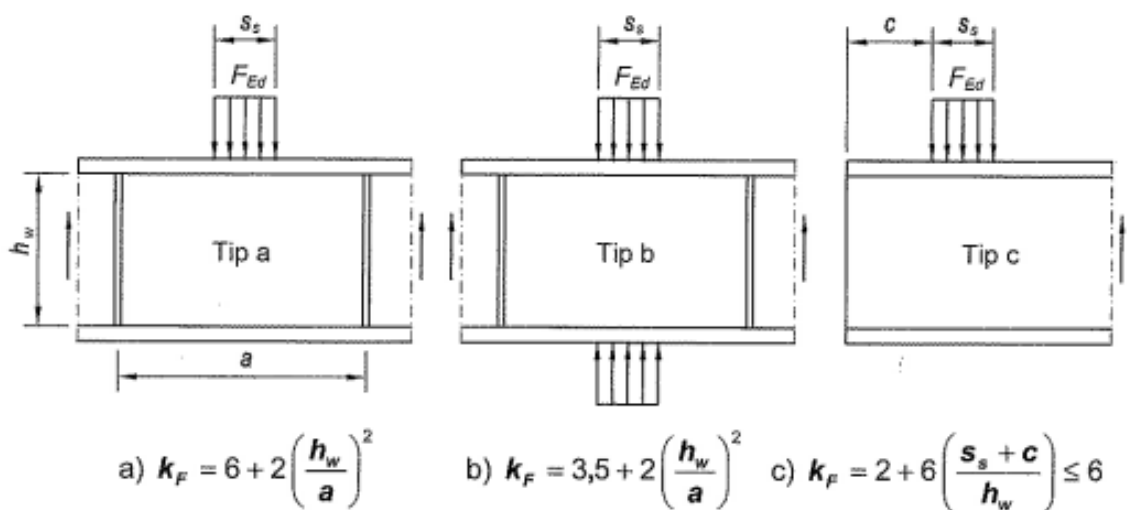
k_F – koeficijent izbočavanja koji zavisi od dispozicije opterećenja, uslova oslanjanja, geometrije ploče i dužine na kojoj djeluje poprečna sila.

Kritična poprečna sila se dobija kada se kritičan napon pomnoži sa površinom poprečnog presjeka rebra:

$$F_{cr} = k_F \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{12 \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \left(\frac{t_w}{h_w}\right)^2 \cdot h_w \cdot t_w \approx 0.9 \cdot k_F \cdot E \cdot \frac{t_w^3}{h_w}.$$

U Evrokodu 3 problem određivanja granične nosivosti na izbočavanje rebra usljed dejstva poprečne sile je analiziran za tri osnovna slučaja, odnosno tri modela nanošenja poprečnog opterećenja:

- Tip a, opterećenje djeluje preko jedne nožice i prihvata se smičućim silama u rebu nosača, slika 3.1.31 a),
- Tip b, opterećenje djeluje preko obe nožice i prenosi se direktno kroz rebro, slika 3.1.31 b),
- Tip c, opterećenje djeluje preko jedne nožice u blizini neukrućenog kraja nosača, slika 3.1.31 c).



Slika 3.1.31-Koeficijent izbočavanja k_F za različite tipove nanošenja opterećenja [1]

Nosivost ukrućenih ili neukrućenih rebara na izbočavanje usljed dejstva poprečne sile određuje se prema izrazu:

$$F_{Rd} = \chi_F \cdot \frac{l_y \cdot t_w \cdot f_{yw}}{\gamma_{M1}} = \chi_F \cdot \frac{F_y}{\gamma_{M1}}, \text{ gdje su:}$$

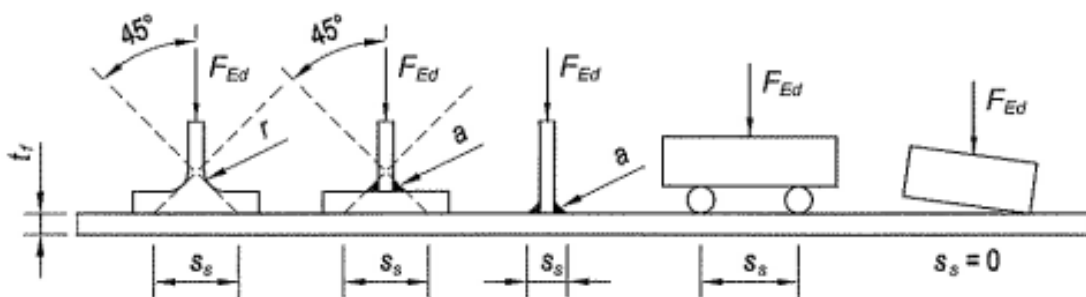
χ_F – koeficijent redukcije za izbočavanje usljed poprečne sile,

l_y – efektivna opterećena dužina i odgovara dužini krutog oslonca s_s slika 3.1.32, kod kranskog nosača odgovara veličini l_{eff} koja se određuje na način prikazan u dijelu 3.1.2,

t_w – debljina rebra,

f_{yw} – granica razvlačenja rebra,

F_y – nosivost rebra pri plastifikaciji.



Slika 3.1.32-Dužina krutog oslonca s_s [1]

Dužina krutog oslonca s_s je jednaka dužini na kojoj se nanese opterećenje rasprostire na rebro nosača po uglom od 45° , odnosno pod nagibom 1:1, uz uslov $s_s \leq h_w$. Ukoliko nekoliko koncentrisanih sila djeluje na bliskom rastojanju nosivost rebra provjerava se za svaku silu pojedinačno, kao i za rezultantu ovih sila sa dužinom krutog odlonca s_s koja je jednaka razmaku između tačaka djelovanja ovih sila.

Koeficijent redukcije χ_F određuje se u funkciji relativne vitkosti rebra na izbočavanje usljed dejstva poprečne sile $\bar{\lambda}_F$ na osnovu izraza:

$$\chi_F = \frac{0.5}{\bar{\lambda}_F} \leq 1.0 .$$

Relativna vitkost rebra na izbočavanje usljed dejstva poprečne sile $\bar{\lambda}_F$ određuje se prema izrazu:

$$\bar{\lambda}_F = \sqrt{\frac{F_y}{F_{cr}}} = \sqrt{\frac{l_y \cdot t_w \cdot f_{yw}}{F_{cr}}}, \text{ način određivanja } F_{cr} \text{ dat je ranije u tekstu.}$$

Kod rebara sa podužnim ukrućenjem, za tip a nanošenja opterećenja, koeficijent izbočavanja k_F može da se odredi pomoću izraza:

$$k_F = 6 + 2 \cdot \left(\frac{h_w}{a}\right)^2 + \left(5.44 \cdot \frac{b_1}{a} - 0.21\right) \cdot \sqrt{\gamma_s}, \text{ uz uslove } 0.05 \leq \frac{b_1}{a} \leq 0.3 \text{ i } \frac{b_1}{h_w} \leq 0.3, \text{ gdje su:}$$

a – razmak između susjednih poprečnih ukrućenja,

b_1 – visina opterećenog pojedinačnog polja, koja odgovara vertikalnom rastojanju između opterećene nožice i podužnog ukrućenja,

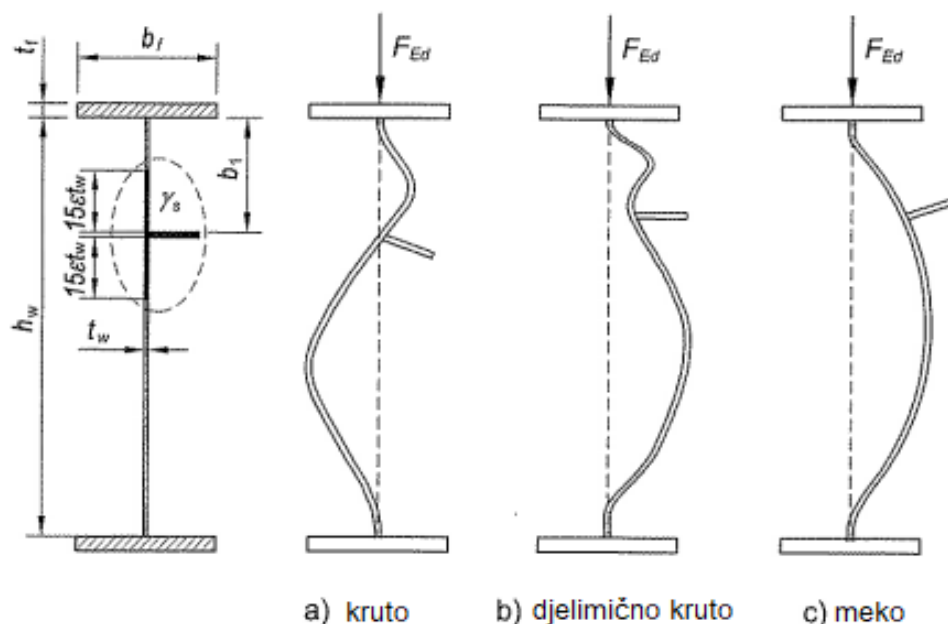
γ_s – relativna krutost podužnog ukrućenja.

Relativna krutost podužnog ukrućenja određuje se prema izrazu:

$$\gamma_s = 10.9 \cdot \frac{I_{sl,1}}{h_w \cdot t_w^3} \leq 13 \cdot \left(\frac{a}{h_w}\right)^3 + 210 \cdot \left(0.3 - \frac{b_1}{a}\right), \text{ gdje je:}$$

$I_{sl,1}$ – moment inercije podužnog ukrućenja koje je najbliže opterećenoj nožici zajedno sa sadejstvjućim dijelovima rebra (po $15 \cdot \epsilon \cdot t_w$ sa svake strane podužnog ukrućenja).

Oblik loma rebra usljed izbočavanja poprečnom silom zavisi od relativne krutosti podužnog ukrućenja γ_s , slika 3.1.33.



Slika 3.1.33-Uticaj krutosti podužnog zkrućenja na oblik loma rebra [1]

Efektivna opterećena dužina za modele opterećenja tip a i tip b određuje se prema izrazu:

$$l_y = s_s + 2 \cdot t_f \cdot (1 + \sqrt{m_1 + m_2}) \leq a .$$

Efektivna opterećena dužina za model opterećenja tip c određuje se prema izrazu:

$$l_y = \min\{l_{y1}, l_{y2}\},$$

$$l_{y1} = l_e + t_f \cdot \sqrt{\frac{m_1}{2} + \left(\frac{l_e}{t_f}\right)^2 + m_2} ,$$

$$l_{y2} = l_e + t_f \cdot \sqrt{m_1 + m_2} ,$$

$l_e = \frac{k_F \cdot E \cdot t_w^2}{2 \cdot f_{yw} \cdot h_w} \leq s_s + c$, gdje je c rastojanje od kraja prepusta do mjesta početka djelovanja poprečnog opterećenja.

Koeficijenti m_1 i m_2 određuju se na sljedeći način:

$$m_1 = \frac{f_{yf} \cdot b_f}{f_{yw} \cdot t_w}, \text{ us slučaju da je } f_{yf} = f_{yw} \rightarrow m_1 = \frac{b_f}{t_w},$$

$$m_2 = 0.02 \cdot \left(\frac{h_w}{t_f}\right)^2 \text{ za } \bar{\lambda}_F > 0.5 ,$$

$$m_2 = 0 \text{ za } \bar{\lambda}_F \leq 0.5.$$

Kontrola nosivosti na izbočavanje usljed dejstva poprečne koncentrisane sile sprovodi se potvrdom uslova:

$$\eta_2 = \frac{F_{Ed}}{F_{Rd}} \leq 1.0 , \text{ gdje je:}$$

F_{Ed} – proračunska vrijednost poprečne koncentrisane sile,

F_{Rd} – proračunska nosivost na izbočavanje usljed dejstva poprečne koncentrisane sile.

Ukoliko je u nosaču prisutno više tipova izbočavanja potrebno je provjeriti i interakciju između njih:

- interakcija izbočavanja usljed normalnih i smičućih napona,
- interakcija izbočavanja usljed normalnih napona i poprečne koncentrisane sile.

Interakciju između savijanja i smicanja nije potrebno provjeravati ukoliko je ispunjen uslov:

$$\bar{\eta}_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,Rd}} \leq 0.5 , \text{ gdje je:}$$

V_{Ed} – proračunska vrijednost smičuće sile,

$V_{bw,Rd}$ – doprinos rebra nosivosti na izbočavanje smicanjem.

Ukoliko je $\bar{\eta}_3 > 0.5$ kontrola interakcije je neophodna (izuzetak su presjeci koji se nalaze na rastojanju manjem od $h_w/2$ od oslonca sa vertikalnim poprečnim ukrucenjem) u vidu sljedećeg uslova:

$$\bar{\eta}_1 + \left(1 - \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}}\right) \cdot (2 \cdot \bar{\eta}_3 - 1)^2 \leq 1.0 \text{ pri čemu je } \bar{\eta}_1 \geq \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}} , \text{ gdje je:}$$

$$\bar{\eta}_1 = \frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} ,$$

M_{Ed} – proračunska vrijednost momenta savijanja,

$M_{f,Rd}$ – proračunski plastični moment nosivosti poprečnog presjeka koga čine samo efektivne površine nožica,

$M_{pl,Rd}$ – proračunski plastični moment nosivosti poprečnog presjeka koga čine efektivne površine nožica i rebro, bez obzira kojoj klasi poprečni presjek pripada.

Ako je nosač izložen istovremenom dejstvu poprečne koncentrisane sile koja djeluje na pritisnutoj nožici (F_{Ed}), momenta savijanja (M_{Ed}) i dejstvu aksijalne sile (N_{Ed}), interakcije izbočavanja potrebno je provjeriti kroz sljedeći uslov:

$$\eta_2 + 0.8 \cdot \eta_1 \leq 1.4 .$$

U slučaju da koncentrisana sila djeluje na zategnutoj nožici, osim pojedinačnih kontrola rebra na izbočavanje usljed normalnih napona pritiska i izbočavanja usljed dejstva poprečne sile, potrebno je izvršiti i kontrolu uporednog odnosno ekvivalentnog napona prema fon Mizesovom (*von Mises*) uslovu plastifikacije:

$$\sigma_{eq,Ed} = \sqrt{\sigma_{x,Ed}^2 + \sigma_{x,Ed} \cdot \sigma_{z,Ed} + \sigma_{z,Ed}^2 + 3 \cdot \tau_{Ed}^2} \leq f_{yd} = f_y / \gamma_{M0} .$$

Pored pomenutih glavnih uzroka izbočavanja rebra punog limenog nosača do izbočavanja može doći i usljed savijanja nožica. Tom prilikom sile pritiska i zatezanja u nožicama izazivaju skretne sile pri čemu se javlja poprečni normalni napon σ_z u rebru nosača koji kod izuzetno vitkih rebara može izazvati izbočavanje. Evrokod 3 u cilju sprječavanja izbočavanja rebra usljed savijanja nožica preporučuje da vitkost rebra zadovolji sljedeći uslov:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \cdot \frac{E}{f_{yf}} \cdot \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc}}}, \text{ gdje je:}$$

A_w – površina poprečnog presjeka rebra ($A_w = h_w \cdot t_w$),

A_{fc} – efektivna površina poprečnog presjeka pritisnute nožice,

k – koeficijent koji se usvaja na sljedeći način:

$k = 0.55$ kada se koristi elastičan moment nosivosti,

$k = 0.40$ kada se koristi plastičan moment nosivosti,

$k = 0.30$ kada se koristi plastična rotacija.

3.1.6 Kontrola nosivosti na zamor

Otpornost čeličnih konstrukcija na zamor je obrađena u Evrokodu 3, dio ENV 1993-1-1: 1992, gdje su date osnovne definicije potrebne za analizu ovog problema:

Zamor je oštećenje dijela konstrukcije usljed postepene propagacije prsline izazvane promjenama naprezanja koje se ponavljaju.

Opterećenja koja prouzrokuju zamor čelične konstrukcije su skup reprezentativnih događaja opterećenja opisanih položajem opterećenja, njihovim intenzitetima i relativnim frekvencijama događanja (broj izmjerenih vrijednosti varijable koje pripadaju datoj kategoriji podijeljen sa ukupnim brojem varijabli koje pripadaju datoj kategoriji).

Događaj opterećenja je definisani skup razvoja opterećenja na konstrukciju, nivoa koji stvara istorijat naprezanja.

Opterećenje koje prouzrokuje zamor ekvivalentne konstantne amplitude je uprošćeno opterećenje konstantne amplitude usljed zamora od realnih događaja opterećenja promjenljive amplitude.

Istorijat naprezanja je zapis ili proračun toka promjene napona određene tačke konstrukcije u toku događaja opterećenja.

Naponska razlika je algebarska razlika između dva naponska ekstrema cikličnog opterećenja iz dijela istorijata naprezanja: $\Delta\sigma = \sigma_{max} - \sigma_{min}$ i $\Delta\tau = \tau_{max} - \tau_{min}$.

Nominalni napon je napon u osnovnom materijalu na mjestu potencijalne prsline, određen prema teoriji elastičnosti, bez obuhvatanja efekata koncentracije napona.

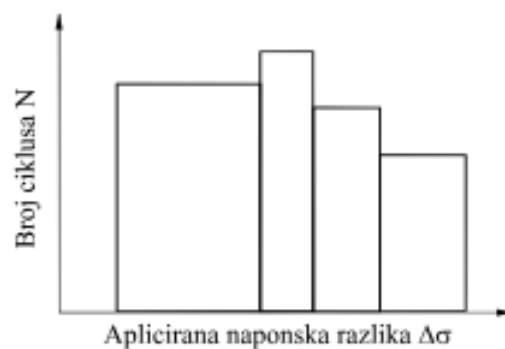
Modifikovani nominalni napon je nominalni napon uvećan odgovarajućim koeficijentom koncentracije napona sa ciljem obuhvatanja geometrijskog diskontinuiteta koji nije obuhvaćen karakterističnom klasifikacijom detalja konstrukcije.

Geometrijski napon je maksimalni glavni napon u osnovnom materijalu neposredno uz ivicu šava koji uzima u obzir efekte koncentracije napona usljed geometrijskih karakteristika detalja konstrukcije, ali isključivo lokalne efekte koncentracije napona usljed geometrije šava i diskontinuiteta u šavu u susjednom osnovnom materijalu. Ovaj pojam je poznat kao „napon tople tačke“ (*engl. hot-spot stress*).

Metoda „Kišnog toka“ (*engl. Rainflow analysis*) i metoda „Rezervoara“ (*engl. Reservoir method*) su specijalne metode za izradu spektra naponskih razlika iz datog istorijata naprezanja.

Spektar naponskih razlika odnosno spektar promjene napona je histogram frekvencije svih naponskih razlika koji je registrovan ili izračunat za dati događaj opterećenja.

Računski spektar je komplet svih spektara naponskih razlika, relevantan za dokaz na zamor.



Slika 3.1.34-Dijagram koji ilustruje računski spektar

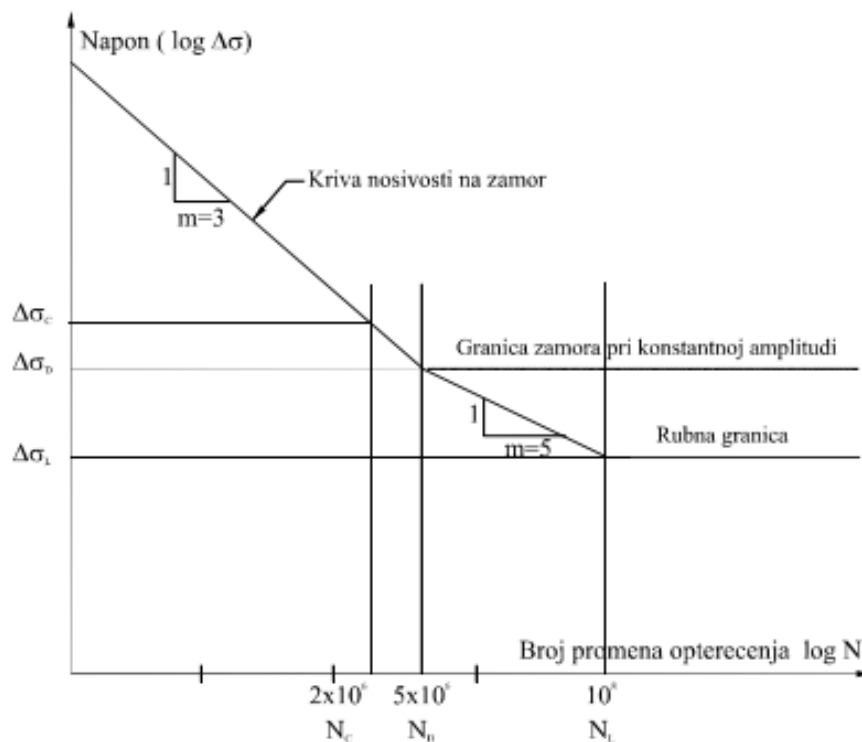
Naponska razlika ekvivalentne konstantne amplitude je naponska promjena koja bi pri konstantnoj amplitudi promjene opterećenja proizvela isti vijek trajanja sklopa na zamor kao za slučaj spektra promjene napona pri promjenljivoj amplitudi. Ovo poređenje je zasnovano na *Palmgren-Miner*-ovoj linearnoj teoriji sumiranja tj. akumulacije oštećenja, a po ovom konceptu može se smatrati da se ekvivalentna konstantna promjena napona odnosi na broj od dva miliona ciklusa promjene napona promjenljive amplitude.

Vijek trajanja na zamor je broj ciklusa promjene napona koji dovodi do loma usljed zamora.

Granica zamora pri konstantnoj amplitudi $\Delta\sigma_D$ je granična vrijednost promjene napona $\Delta\sigma$ iznad koje je potrebno dokazivati otpornost na zamor.

Kategorija detalja je određena konstruktivna kategorija sklopa, zavarenog ili sa zavrtnjevima, koja se odlikuje istom klasom osjetljivosti na zamor. Svakoj kategoriji detalja odgovara određena kriva otpornosti na zamor koja se primjenjuje kod dokazivanja otpornosti na zamor.

Kriva otpornosti na zamor je kvantitativna kriva koja definiše lom usljed zamora u zavisnosti naponske razlike i broja naponskih ciklusa tačno određene kategorije detalja konstrukcije. Na krivoj otpornosti na zamor sa $\Delta\sigma_C$ je označena referentna otpornost na zamor pri $N_C = 2 \times 10^6$ ciklusa promjene normalnog napona. $N_D = 5 \times 10^6$ je broj promjena opterećenja za koji je definisana granica zamora pri konstantnoj amplitudi. $N_L = 100 \times 10^6$ je broj promjena napona pri kome je definisana rubna granica. Nagib krive na zamor je definisan koeficijentima $m = 3$ i $m = 5$.



Slika 3.1.35-Prikaz krive otpornosti na zamor

Računski vijek trajanja je referentan period vremena u kome se traži da konstrukcija sigurno funkcioniše sa prihvatljivim stepenom vjerovatnoće da do loma neće doći usljed prslina izazvanih zamorom.

Rubna granica je granica ispod koje naponske promjene računskog spektra nemaju uticaj na sračunato kumulativno oštećenje.

Analiza opterećenja koje prouzrokuje zamor se vrši na osnovu poznatog dinamičkog ponašanja konstrukcije. Dinamičko ponašanje je određeno režimom rada i tehnologije eksploatacije mašina ili je snimljeno na istoj ili sličnoj konstrukciji, pri čemu se izrađuju istorijati naprezanja. U ovim slučajevima se radi o tačnom proračunu na zamor jer se bazira na kompletnom spektru

dogadaja opterećenja. Prostiji metod proračuna je zasnovan na ekvivalentnom opterećenju koje prouzrokuje zamor. U slučajevima kada ne postoje tačni podaci mogu se koristiti faktori dinamičke amplifikacije koji se primjenjuju na proračune statičkog graničnog stanja. Cilj proračuna na zamor – granično stanje zamora je projektovanje konstrukcija sa zadatim vijekom trajanja. Da bi se to postiglo potrebno je provjeriti sve odgovorne dijelove i detalje strukture sa detaljnošću na nivou tehničkog rješenja. Ovakav proračun podrazumjeva primjenu parcijalnih koeficijenata sigurnosti. Proračun tretira konstrukciju u elastičnom domenu ponašanja, sa maksimalnom temperaturom sredine do 150 °C u blagoj korozionoj sredini.

Provjeri na zamor podliježu sljedeći tipovi konstrukcija:

- konstrukcije opterećene radom dizalica (za ovaj rad bitni nosači kranske staze mostovske dizalice),
- konstrukcije vibro mašina,
- konstrukcije izložene oscilatornom dejstvu vjetra.

Provjera na zamor ne mora se sprovoditi ako su ispunjeni uslovi:

$$\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma \leq 26/\gamma_{Mf} \text{ u } [N/mm^2], N \leq 2 \cdot 10^6 \cdot \frac{36/\gamma_{Mf}}{\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E,2}}, \text{ gdje su:}$$

$\Delta\sigma_{E,2}$ – naponska razlika ekvivalentne konstantne amplitude u N/mm^2 ,

γ_{Ff} – parcijalni koeficijent sigurnosti na zamor, uzima u obzir nepovoljne devijacije dejstava, nepreciznost modeliranja dejstva i neizvjesnost procjene uticaja, a usvaja se najčešće da je jednak 1.0 osim ako nije drugačije definisan u nacionalnim priložima Evrokoda 3,

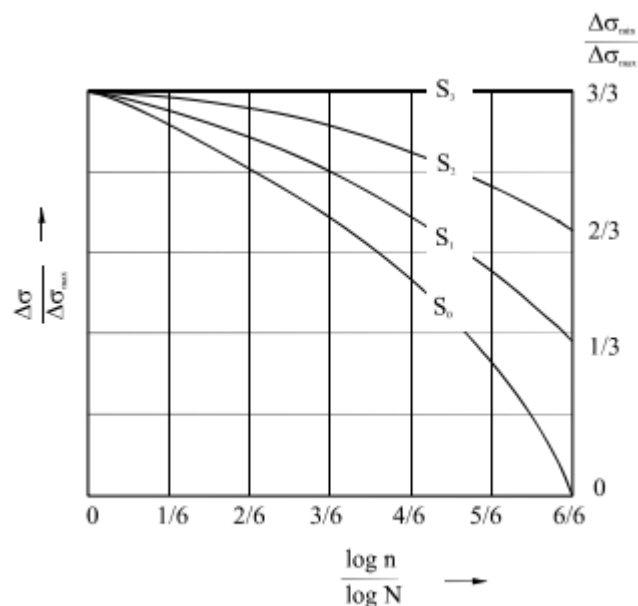
γ_{Mf} – parcijalni koeficijent sigurnosti presjeka ili veze na zamor.

Tabela 3.1.6.1 – Parcijalni koeficijent γ_{Mf}

Pregled i pristup	„Lom-bezbjedni“ elementi	„Lom-nebezbjedni“ elementi
Pristupačan detalj veze	1.00	1.25
Nedovoljna pristupačnost detalja	1.15	1.35
Periodičnim pregledom mogu da se utvrde prsline usljed zamora prije nego što izazovu oštećenje. Periodičan pregled je vizuelan, osim ako to nije drugačije specificirano.		

U dijelu Evrkoda 3 koji se bavi određivanjem čvrstoće nosača dizalica na zamor izvršena je klasifikacija dizalica odnosno svrstavanje dizalice u određenu grupu naprezanja. Klasifikacija se izvodi korišćenjem kolektiva napona ($S_0 \div S_3$) i ukupnog broja naponskih ciklusa ($N_1 \div N_4$).

Kolektivi napona podliježu Gausovoj normalnoj raspodjeli i dati su na slici 3.1.36. Grupe naprezanja su date klasama ($B_1 \div B_6$) i date su u tabeli 3.1.6.2.



Slika 3.1.36- Idealizovani kolektivni napona

Tabela 3.1.6.2 – Grupe naprezanja

Kolektiv napona	N1	N2	N3	N4
Ukupan broj predviđenih ciklusa napona	Više od $2 \cdot 10^4$ do $2 \cdot 10^5$	Više od $2 \cdot 10^5$ do $6 \cdot 10^5$	Više od $6 \cdot 10^5$ do $2 \cdot 10^6$	Više od $2 \cdot 10^6$
	Povremena i neredovna upotreba sa dugim intervalima mirovanja	Redovna upotreba kod rada sa prekidima	Redovna upotreba kod neprekidnog rada	Redovna upotreba kod teškog neprekidnog rada
Kolektiv napona	Grupa naprezanja nosača dizalica			
S_0 vrlo lak	B1	B2	B3	B4
S_1 lak	B2	B3	B4	B5
S_2 srednji	B3	B4	B5	B6
S_3 težak	B4	B5	B6	B6

Dokaz otpornosti se izvodi za normalne i smičuće napone u vidu relacija:

$$\gamma_{Ff} \cdot \varphi \cdot \lambda \cdot \Delta\sigma_{max} \leq \Delta\sigma_c \cdot \gamma_{Mf} ,$$

$$\gamma_{Ff} \cdot \varphi \cdot \lambda \cdot \Delta\tau_{max} \leq \Delta\tau_c \cdot \gamma_{Mf} .$$

$\Delta\sigma_{max}$ i $\Delta\tau_{max}$ su maksimalne vrijednosti promjene normalnih i smičućih napona. λ je koeficijent koji zavisi od grupe naprezanja, tabela 3.1.6.3,

Tabela 3.1.6.3 – Koeficijent redukcije λ

Grupa naprezanja	B1	B2	B3	B4	B5	B6
za normalne napone $\Delta\sigma$	0.147	0.215	0.316	0.464	0.681	1.00
za smičuće napone $\Delta\tau$	0.316	0.398	0.501	0.631	0.794	1.00

φ je dinamički koeficijent dizalice. $\Delta\sigma_c$ i $\Delta\tau_c$ su granične vrijednosti čvrstoće na zamor pri $2 \cdot 10^6$ promjena opterećenja za odgovarajuću kategoriju detalja. Kategorije detalja su sistematizovane tabelarno i svaka je označena određenim brojem: 36, 40, 45, 50, 56, 63, 71, 80, 90, 100, 112, 125, 140 i 160. Ove kategorije detalja obuhvataju spojeve odnosno presjeke izvedene: nezavarenim detaljima, zavarenim složenim presjecima, poprečnim sučeonim šavovima, zavarenim priključnim vezama sa nenosećim šavovima i zavarenim vezama sa nosećim šavovima, pri čemu su ovi spojevi klasifikovani prema osjetljivosti na zamor.

Koeficijent redukcije λ prema EN 1991-3-2006 može da se odredi na osnovu klase zamora konstrukcije, S-klasa.

Tabela 3.1.6.4 – Koeficijent redukcije λ u zavisnosti od klase zamora (S-klasa)

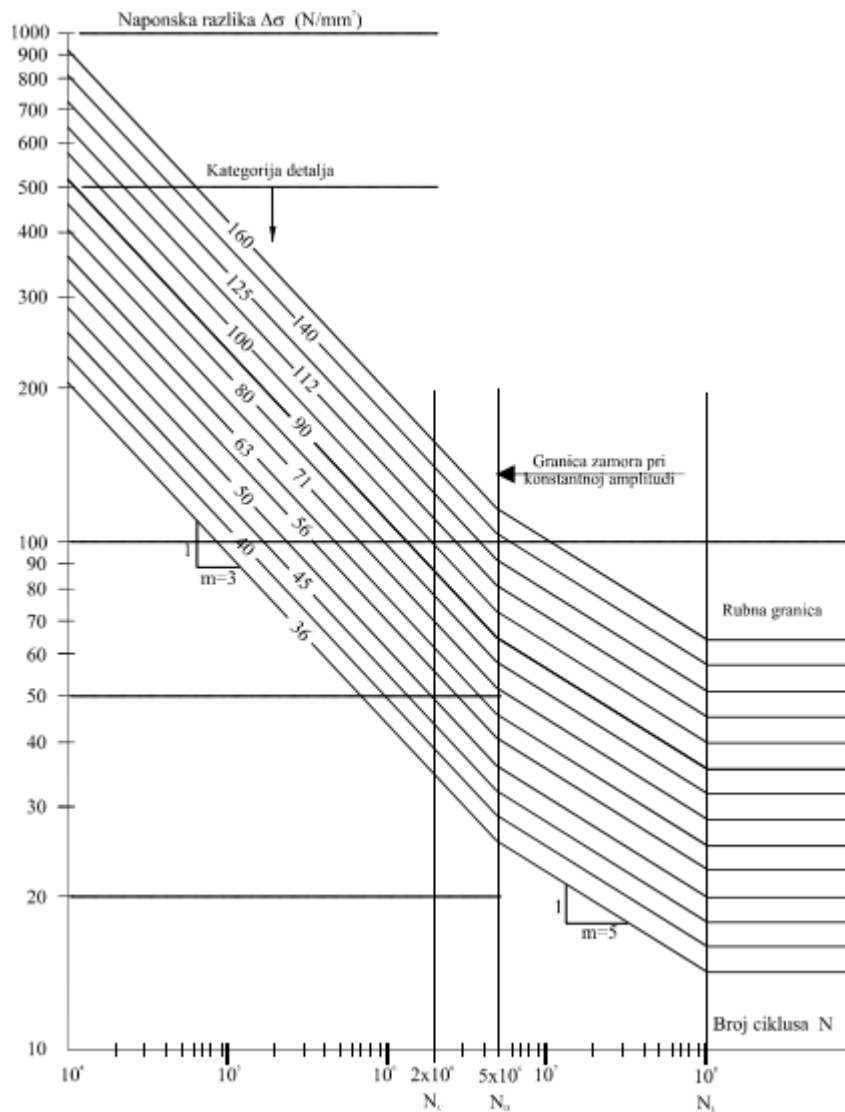
Classes S	S ₀	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅	S ₆	S ₇	S ₈	S ₉
normal stresses	0,198	0,250	0,315	0,397	0,500	0,630	0,794	1,00	1,260	1,587
shear stresses	0,379	0,436	0,500	0,575	0,660	0,758	0,871	1,00	1,149	1,320

Klasifikacija kranova prema osjetljivosti na zamor određuje se na osnovu preporuka iz EN 1991-3-2006, u zavisnosti od broja ciklusa promjene napona kojoj će konstrukcija biti izložena i u zavisnosti od grupe naprezanja.

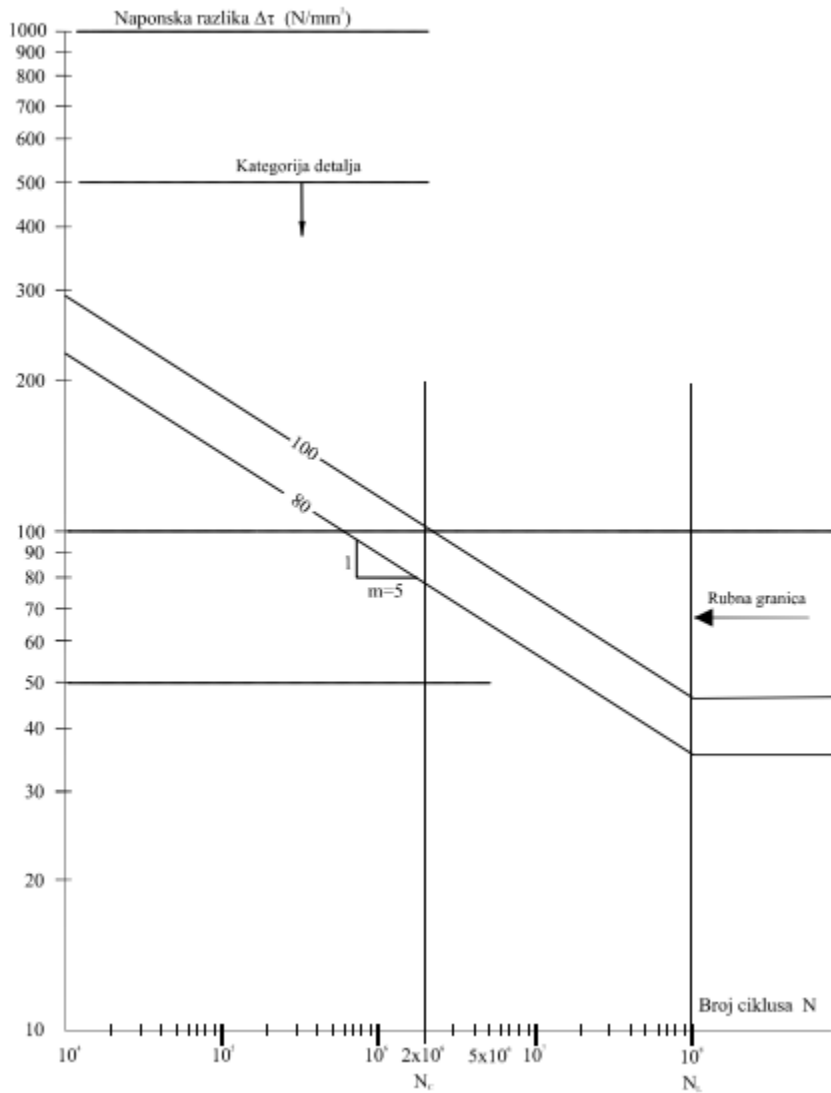
Tabela 3.1.6.5 – Određivanje S-klase ($Q_0 \div Q_5$ odgovara grupama naprezanja $B_1 \div B_6$)

Class of load spectrum		Q ₀	Q ₁	Q ₂	Q ₃	Q ₄	Q ₅
		$\frac{kQ}{13} \leq 0,03$	$0,0313 < kQ \leq 0,0625$	$0,0625 < kQ \leq 0,125$	$0,125 < kQ \leq 0,25$	$0,25 < kQ \leq 0,5$	$0,5 < kQ \leq 1,0$
class of total number of cycles							
U ₀	$C \leq 1,6 \cdot 10^4$	S ₀	S ₀	S ₀	S ₀	S ₀	S ₀
U ₁	$1,6 \cdot 10^4 < C \leq 3,15 \cdot 10^4$	S ₀	S ₀	S ₀	S ₀	S ₀	S ₁
U ₂	$3,15 \cdot 10^4 < C \leq 6,30 \cdot 10^4$	S ₀	S ₀	S ₀	S ₀	S ₁	S ₂
U ₃	$6,30 \cdot 10^4 < C \leq 1,25 \cdot 10^5$	S ₀	S ₀	S ₀	S ₁	S ₂	S ₃
U ₄	$1,25 \cdot 10^5 < C \leq 2,50 \cdot 10^5$	S ₀	S ₀	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄
U ₅	$2,50 \cdot 10^5 < C \leq 5,00 \cdot 10^5$	S ₀	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅
U ₆	$5,00 \cdot 10^5 < C \leq 1,00 \cdot 10^6$	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅	S ₆
U ₇	$1,00 \cdot 10^6 < C \leq 2,00 \cdot 10^6$	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅	S ₆	S ₇
U ₈	$2,00 \cdot 10^6 < C \leq 4,00 \cdot 10^6$	S ₃	S ₄	S ₅	S ₆	S ₇	S ₈
U ₉	$4,00 \cdot 10^6 < C \leq 8,00 \cdot 10^6$	S ₄	S ₅	S ₆	S ₇	S ₈	S ₉

U nedostatku ovih podataka S-klasa može da se odredi na osnovu Aneksa B ovog dijela Evrokoda 1.



Slika 3.1.37-Krive otpornosti na zamor za promjene normalih napona



Slika 3.1.38-Krive otpornosti na zamor za promjene smičućih napona

U slučaju kombinovanog prisustva normalnih i smičućih napona u postupku dokaza nosivosti na zamor potrebno je uzeti u obzir njihovo zajedničko dejstvo. U slučaju kada je ekvivalentna nominalna naponska razlika smičućih napona manja od 15% ekvivalentne nominalne naponske razlike normalnih napona, uticaji naponskih razlika smičućih napona mogu da se zanemare. U suprotnom potrebno je sprovesti dokaz nosivosti na zamor u sljedećem vidu:

$$\left(\frac{\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{max}}{\Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}}\right)^3 + \left(\frac{\gamma_{Ff} \cdot \Delta\tau_{max}}{\Delta\tau_c / \gamma_{Mf}}\right)^5 \leq 1.0 .$$

3.2 Kontrola graničnih stanja upotrebljivosti - SLS

Proračun kranskog nosača sa aspekta njegove upotrebljivosti prema EN 1993-6 zahtjeva sledeće kontrole:

- kontrola vertikalnih pomjeranja (ugib kranskog nosača, denivelacija susjednih kranskih nosača),
- kontrola horizontalnih pomjeranja (horizontalan ugib kranskog nosača, horizontalno pomjeranje stuba rama u nivou gornje ivice šina-GIŠ, horizontalno razmicanje šina, razlika horizontalnih pomjeranja susjednih stubova – ramova),
- kontrola napona (povratno elastično ponašanje pri SLS),
- kontrola treperenja rebra (*engl. web breathing*),
- kontrola vibracija donje nožice.

3.2.1 Kontrola vertikalnih pomjeranja

Izvjerna vertikalna pomjeranja kranskog nosača potrebno je ograničiti na dopuštene vrijednosti radi nesmetanog obavljanja funkcije samog kрана kao i radi smanjenja troškova održavanja dizalice i nosača.

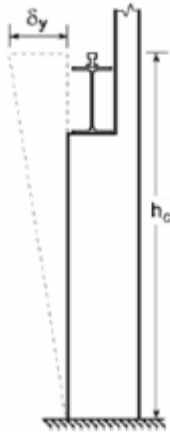
Dopušteni vertikalni ugib kranskog nosača δ_z (ukupna deformacija umanjena za nadvišenje ako postoji) iznosi $\delta_z \leq L/600$ ali $\delta_z \leq 25$ mm, gdje je L raspon nosača.

Dopuštena razlika vertikalnih pomjeranja lijevog i desnog kranskog nosača Δh_c treba da bude manja ili jednaka $s/600$ gdje je s razmak između osa lijevog i desnog kranskog nosača.

Dopušteni vertikalni ugib za monorej kransku stazu usljed pokretnog opterećenja treba biti $\delta_{pay} \leq L/500$.

3.2.2 Kontrola horizontalnih pomjeranja

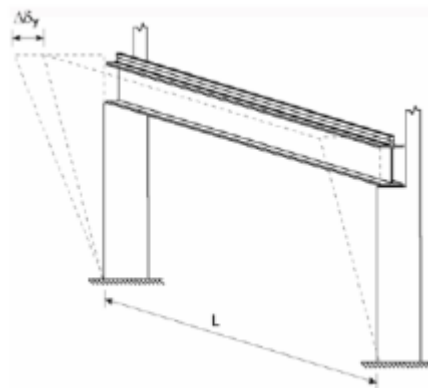
Horizontalni ugib kranskog nosača δ_y trebao bi biti: $\delta_y \leq L/600$ gdje je L raspon nosača. Horizontalno pomjeranje rama odnosno stuba usljed dejstva kрана mjereno u nivou oslanjanja kranske dizalice (gornje ivice šine ili gornje nožice nosača) trebalo bi biti: $\delta_u \leq h_c/400$, gdje je h_c visina na kojoj se kran oslanja na stub (gornja ivica šine ili gornja nožica nosača), sl. 3.2.1.



Slika 3.2.1-Horizontalno pomjeranje rama na nivou oslanjanja dizalice [4]

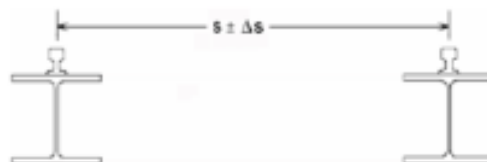
Razlika $\Delta\delta_y$ horizontalnih pomjeranja susjednih ramova odnosno stubova na nivou gornje ivice šine unutrašnjeg kranskog nosača treba biti: $\Delta\delta_y \leq L/600$ gdje je L razmak između stubova odnosno tačaka oslanjanja kranske staze (sl. 3.2.2). U slučaju spoljašnjih kranskih nosača važe sledeće preporuke:

- usljed kombinacije poprečnih sila usljed dejstva dizalice i dejstva vjetra kada je kran u eksploataciji: $\Delta\delta_y \leq L/600$ (sl. 3.2.2),
- usljed spoljašnjeg dejstva vjetra kada kran nije u eksploataciji: $\Delta\delta_y \leq L/400$ (sl.3.2.2).



Slika 3.2.2-Razlika horizontalnih pomjeranja susjednih ramova odnosno stubova [4]

Promjena rastojanja između centara kranskih šina uključujući termičke uticaje treba biti: $\Delta s \leq 10mm$, sl. 3.2.3.



Slika 3.2.3-Promjena rastojanja između centara šina lijevog i desnog kranskog nosača [4]

3.2.3 Kontrola napona

Ova kontrola je neophodna zato što je potrebno obezbjediti povratno elastično ponašanje usljed servisnog opterećenja. Vršiti se kontrola normalnih, smičućih i uporednih napona:

$$\sigma_{x,Ed,ser} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M,ser}} ,$$

$$\tau_{Ed,ser} \leq \frac{f_y/\sqrt{3}}{\gamma_{M,ser}} ,$$

$$\sqrt{\sigma_{x,Ed,ser}^2 + \sigma_{z,Ed,ser}^2 - \sigma_{x,Ed,ser} \cdot \sigma_{z,Ed,ser} + 3 \cdot \tau_{Ed,ser}^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M,ser}} ,$$

gdje je f_y granica popuštanja materijala, a $\gamma_{M,ser}$ koeficijent za materijal pri servisnom opterećenju i iznosi 1.00.

3.2.4 Kontrola treperenja rebra

Treperenje rebra je karakteristično za rebra velike visine i vitkosti. Kada je $h_w/t_w > 120$ potrebno je numerički provjeriti da treperenje nije prekomjerno kroz sledeći uslov:

$$\sqrt{\left(\frac{\sigma_{x,Ed,ser}}{k_\sigma \cdot \sigma_E}\right)^2 + \left(\frac{1.1 \cdot \tau_{Ed,ser}}{k_\tau \cdot \sigma_E}\right)^2} \leq 1.1 ,$$

gdje je σ_E kritičan Ojlerov napon izbočavanja rebra, a k_σ i k_τ su koeficijenti izbočavanja usljed napona pritsika i napona smicanja.

3.2.5 Kontrola vibracija donje nožice

Da bi se izbjegao problem vibracija donje nožice njenu vitkost je potrebno ograničiti na 250: $L/i_z \leq 250$.

4. IZBOR STATIČKOG SISTEMA

Statički odnosno konstruktivni sistemi koji se koriste za kranske nosače su: prosta greda, kontinualni gredni nosač i gerberov nosač.

Najčešće se nosači kranskih staza izvode kao proste grede. Razlozi za to su jednostavnija statička analiza, jeftinija radionička izrada i jednostavnija montaža. Preporuka je da se koristi

za raspone oko 6m. Veći rasponi se mogu koristiti kada ugib nije mjerodavan, a u slučaju da jeste dobijaju se neracionalni porečni presjeci.

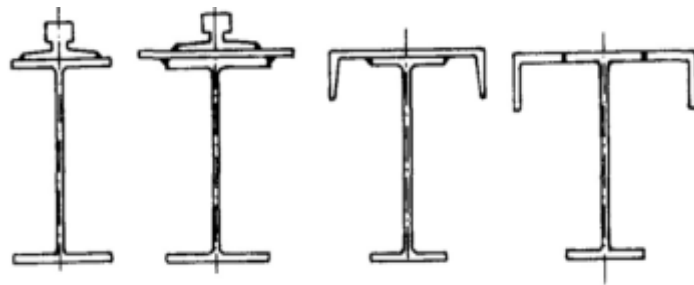
Kontinualni nosači se koriste za veće razmake glavnih stubova u podužnom pravcu (kranski nosači se oslanjaju na glavne stubove). Koriste se u slučajevima kada primjena sistema proste grede nije opravdana. Nedostaci ovih nosača u odnosu na prostu gredu je komplikovanija statička analiza, a montaža se komplikuje zbog izrade montažnih nastavaka.

Gerberov nosač se koristi veoma rijetko, nedostatak mu je komplikovana montaža zbog izrade zglobova.

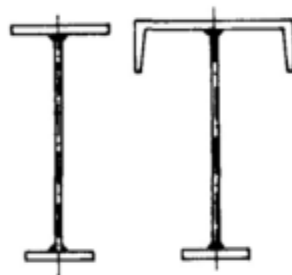
U računskom dijelu ovoga rada biće prikazana uporedna analiza kontinualne i proste grede kao zastupljenijih konstruktivnih sistema kod kranskih nosača u odnosu na gerberov nosač.

5. IZBOR POPREČNOG PRESJEKA

Ako su mostovske dizalice nosivosti do 10t, a rasponi nosača oko 6 m za poprečni presjek se usvaja neki od valjanih I profila, samostalno ili sa ojačanom gornjom nožicom. Takođe u ovom slučaju može se koristiti i zavareni nesimetričan I presjek formiran zavarivanjem limova.

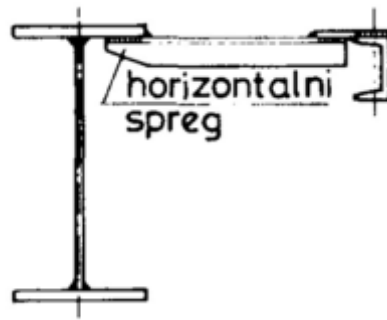


Slika 5.1-I profili, samostalni ili sa ojačanom gornjom nožicom [2]



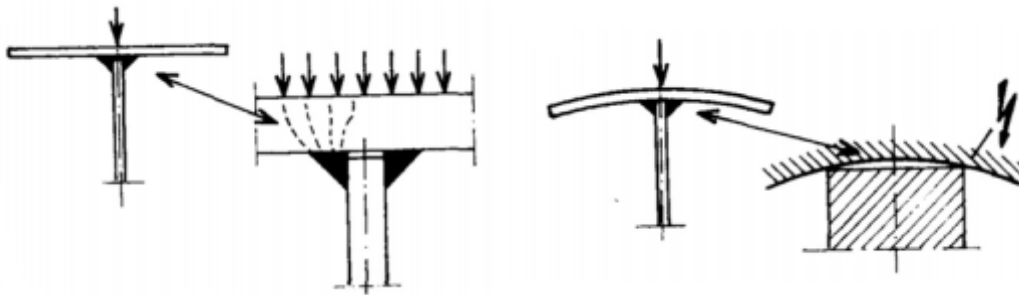
Slika 5.2-Zavareni nesimetrični I profili [2]

U slučaju kranskih staza većeg raspona i dizalica veće nosivosti usvajaju se puni zavareni limeni nosači I presjeka sa horizontalnim nosačem, od rebrastog lima ili rešetkast. Ovaj nosač ima funkciju sprega protiv bočnih udara, a istovremeno služi i kao staza za opsluživanje dizalica.



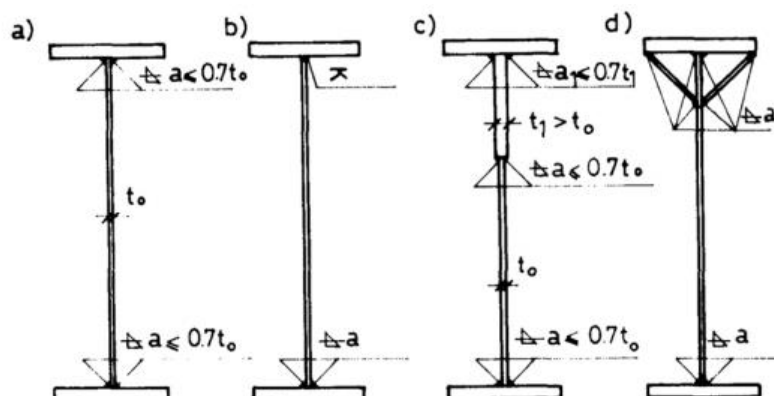
Slika 5.3-Poprečni presjek zavarenog I nosača sa horizontalnim spregom [2]

Visina kranskih nosača H statičkog sistema proste grede iznosi $L/10$ do $L/12$, gdje je L raspon kranskog nosača (razmak glavnih stubova u podužnom pravcu hale). U slučajevima da ugib nije mjerodavan visina može biti $L/15$. Kod zavarenih I nosača potrebno je obratiti pažnju na vezu gornje nožice i rebra. Obično se koristi K šav ili obostrani ugaoni šavovi. Kod obostranog ugaonog šava nastaje veliko dejstvo zaraza što uzrokuje niske dopuštene napone, a postoji opasnost da će se javiti takva deformacija pri kojoj će se gornja nožica osloniti na ivice rebra, tako da je neophodno pojasnoj lameli dati preddeformaciju zagrijavanjem.



Slika 5.4-Uticaj obostranih uzaonih šavova na vezu rebra i nožice [2]

Da bi se bolje prihvatili lokalni pritisci točkova gornji dio rebra se može izvesti veće debljine ili sa dodatnim limovima i četiri ugaona šava.

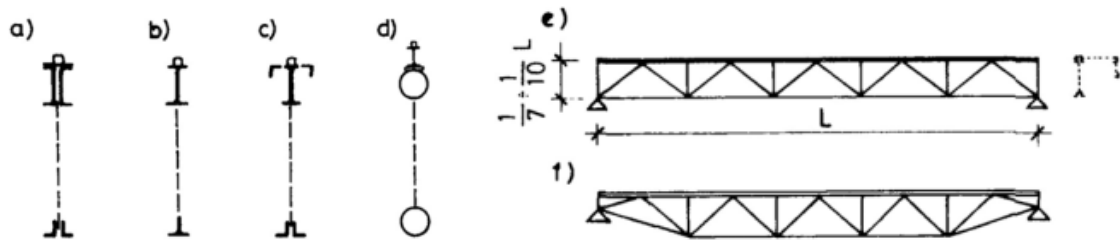


Slika 5.5-Mogućnosti formiranja limenih I nosača [2]

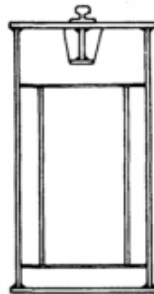
Kranske staze većih raspona koje su opterećene teškim dizalicama racionalno je izvoditi kao rešetkaste ili sandučaste. Visina rešetkastih kranskih nosača kreće se u opsegu od $L/7$ do $L/10$. Gornji pojas rešetke izrađuje se od krutih profila T ili I poprečnog presjeka. Gornji pojas je

pored pritiska opterećen i na lokalno savijanje usljed pritiska točka dizalice P. Momenat savijanja usljed lokalnog savijanja gornjeg pojasa može se izračunati pomoću izraza:

$M_{lok} = \frac{P \cdot d}{3}$ gdje je d dužina pojasnog štapa između čvorova.



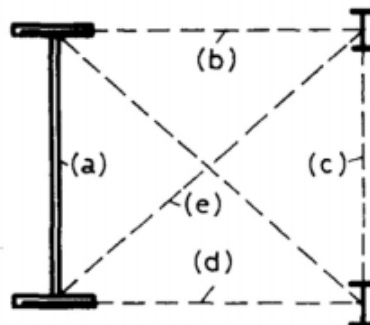
Slika 5.6-Rešetkaste kranске staze [2]



Slika 5.7-Sandučasti kranски nosač [2]

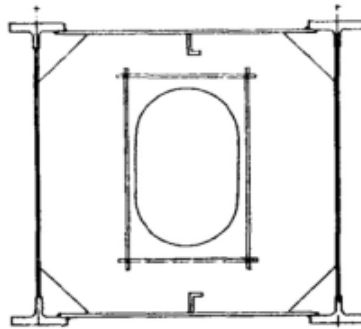
Kranске staze za teške dizalice izvode se kao proste grede, a ugib takvih staza ne smije prekoračiti vrijednost od $L/1000$. U slučaju da se upotrebljava puni limeni nosač konstrukcija se sastoji od sledećih elemenata:

- kranски nosač,
- gornji horizontalni spreg,
- sekundarni nosač za oslanjanje gornjeg horizontalnog sprega,
- donji horizontalni spreg,
- poprečno ukrućenje.



Slika 5.8-Konstrukcija kranске staze za teške dizalice [2]

Kod višebrodnih hala kod kojih uz središnje glavne stubove postoje sa obe strane kranske staze, tada one imaju zajednički spreg za bočne udare. U takvim slučajevima može se oblikovati zajednički sandučasti torziono krut nosač.



Slika 5.9-Zajednički nosač za dvije susjedne kranske staze [2]

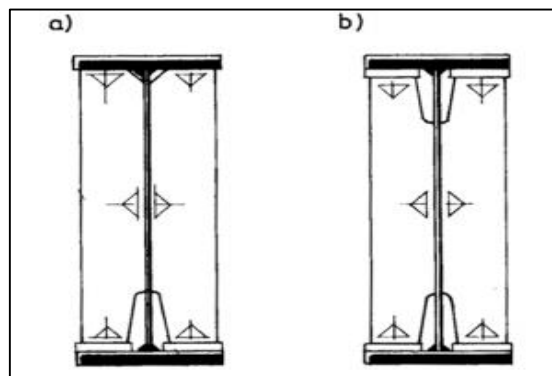
5.1 Dimenzije poprečnog presjeka

Visinu poprečnog presjeka nosača kranske staze treba usvajati u opsegu $h=(L/10\div L/12)$ za sistem proste grede, a kod sistema kontinualnog nosača ova vrijednost može biti manja.

Širina gornje pojasne lamele ne bi trebala biti manja od 300mm, izuzetno kada je to opravdano može iznositi 250mm. Debljine pojasnih lamela se usvajaju do 40mm.

Debljina vertikalnog lima odnosno rebra se usvaja u granicama $h_w/150$ do $h_w/200$, gdje je h_w visina rebra kranskog nosača i unosi se u mm. Pošto sa na gornjoj nožici veliki lokalni pritisci od točka, debljina rebra na visini od približno $h_w/10$ mjereno od spoja sa gornjom nožicom se izvodi veća u opsegu od 20mm do 25mm.

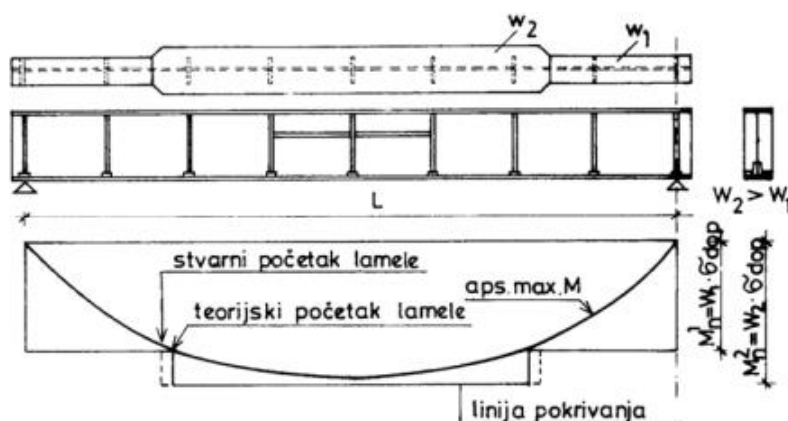
Bitno je napomenuti da su nosači kranskih staza najčešće visoki, što povlači za sobom činjenicu da imaju „vitke“ poprečne presjeke pa su im potrebna poprečna i podužna uručenja. Tematika poprečnih i podužnih ukrućenja je obrađena u dijelu o samom proračunu, a ovdje je bitno napomenuti da se, pošto su kranske staze dinamički opterćene konstrukcije, treba obratiti pažnja na oblikovanje veze poprečnog ukrućenja i nožice nosača. Zbog otpornosti na zamor veza poprečnog ukrućenja i donje zategnute nožice kod sistema proste grede, a kod kontinualnog nosača i gornje nožice ostvaruje se pomoću „pas“ pločica koje nisu zavarene za nožicu nego su postavljene oko 5mm od nje.



Slika 5.10-Ugrađivanje „pas“ pločica za a) prostu gredu i b) kontinualni nosač [2]

5.2 Variranje dimenzija poprečnog presjeka

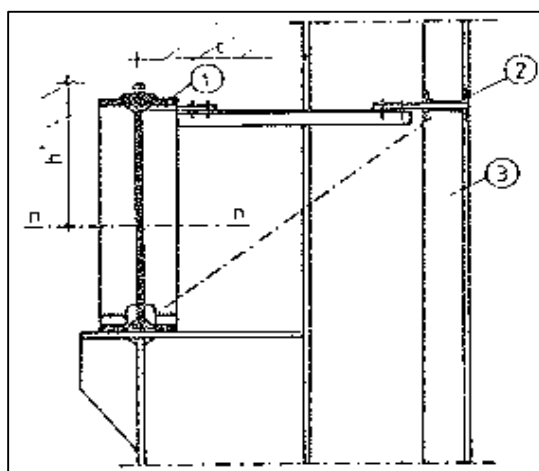
Zbog racionalnijeg utroška materijala neophodno je varirati statičke karakteristike poprečnog presjeka duž nosača. Cilj je prilagoditi nosač stvarnim uticajima koji se javljaju, što se najčešće ostvaruje promjenom širine pojasnih lamela. Bitno je napomenuti da ova metoda nije racionalna kod nosača manjih raspona. Određivanje mjesta promjene poprečnog presjeka određuje se na osnovu postupka pokrivanja anvelope momenta savijanja.



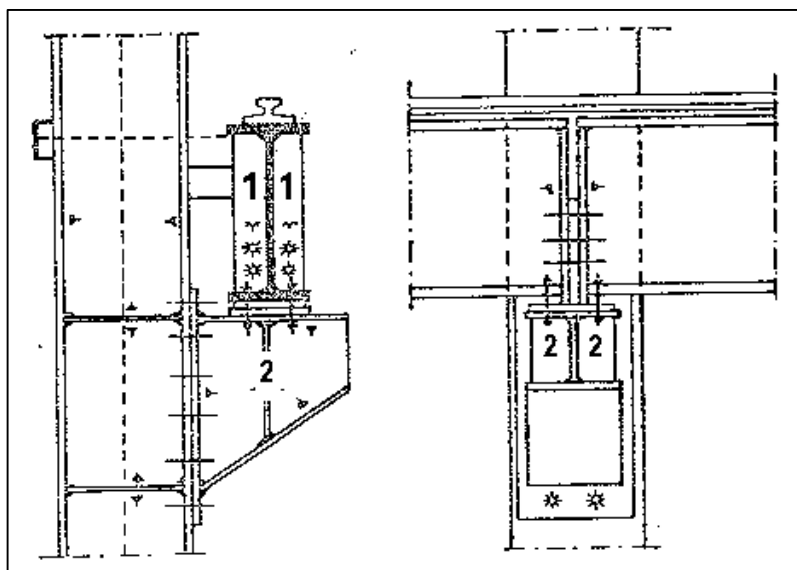
Slika 5.11-Pokrivanje anvelope momenta savijanja projenom širine gornje pojasne lamele [2]

6. OSLANJANJE KRANSKOG NOSAČA

Nosači kranske staze se oslanjaju na glavne stubove hale. Oslanjanje se može izvršiti direktno kod stepenastih stubova na mjestu promjene poprečnog presjeka stuba, ili preko konzole montirane na stub kod stubova uniformnog poprečnog presjeka.

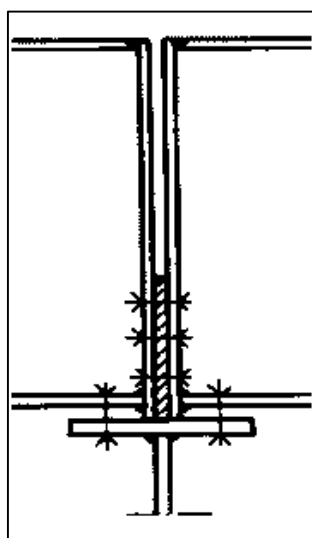


Slika 6.1-Kranski nosač oslonjen na stepenasti stub

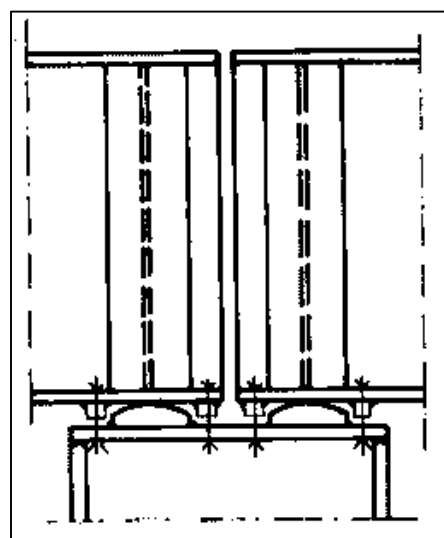


Slika 6.2-Kranski nosač oslonjen na konzolu

Kranski nosači se za oslonce vezuju na dva načina: preko ispuštenih čeonih ploča i preko tangencijalnog ležišta. Veza preko tangencijalnog ležišta omogućuje rotaciju poprečnog presjeka, tako da je ovakva veza najbliža idealnom zglobu.



Slika 6.3-Veza preko ispuštenih čeonih ploča

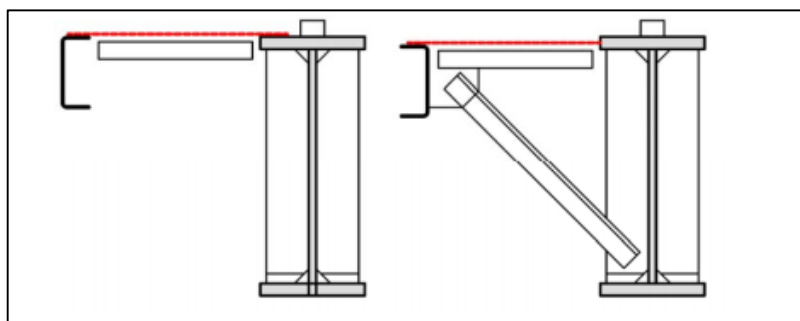


Slika 6.4-Tangencijalno ležište

7. SPREGOVI

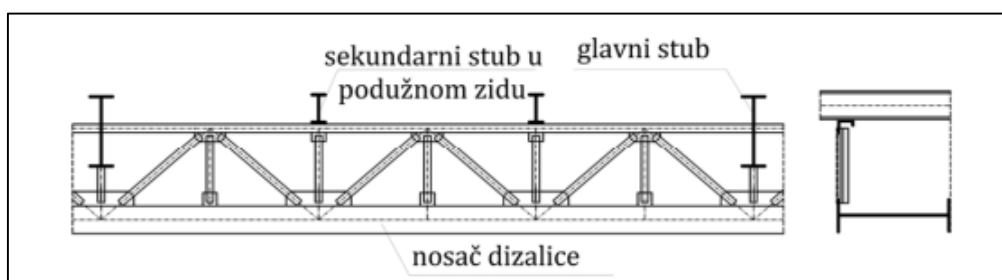
7.1 Spregovi za prijem bočnih udara

Primaju bočne udare dizalice, a najčešće se izvode od rebrastog lima debljine 5mm do 8mm, sa jednim pojasem od UPN (UPE) profila ili ugaonika. Drugi pojas je gornji pojas kranskog nosača. Ovakav spreg je efikasan ako je razmak njegovih pojaseva manji od 1 m.



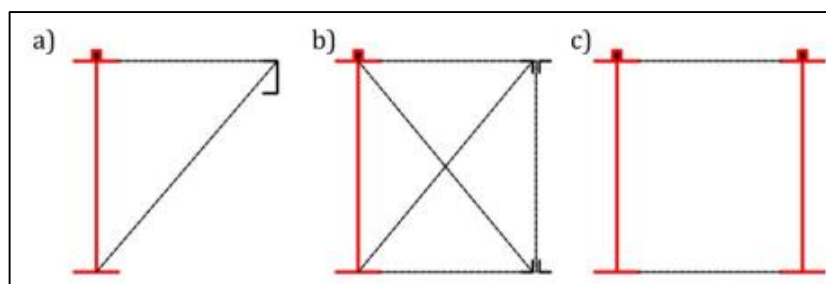
Slika 7.1-Spregovi za prijem bočnih udara od rebrastog lima

Ukoliko je ovaj razmak veći od 1 m, spreg se projektuje u rešetkastoj izradi. Rešetka je sa paralelnim pojasevima, sa ispunom od dijagonala ili dijagonala i vertikala.

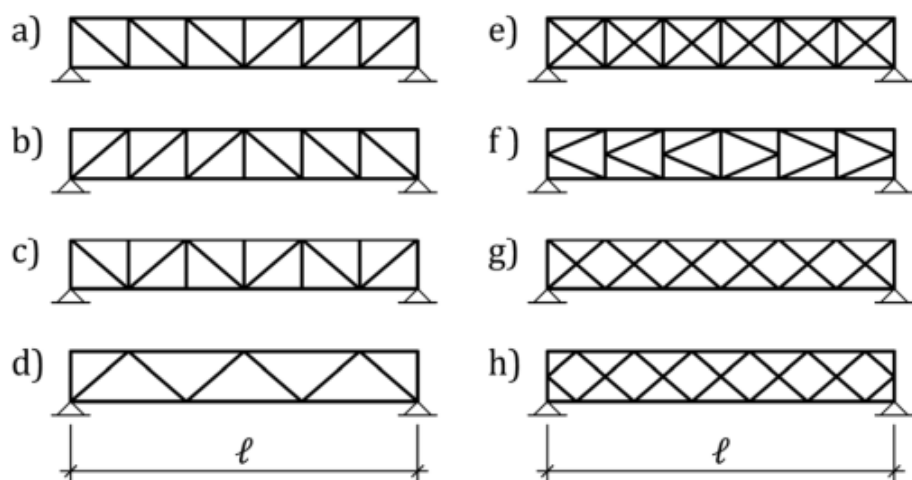


Slika 7.2-Spreg za prijem bočnih udara u rešetkastoj izradi

Za manji razmak glavnih stubova za spoljašnji pojas sprega se usvaja UPN profil ili ugaonik (sl. 7.3a), a u slučaju većih razmaka glavnih stubova potrebno je izvesti poseban pojas u vidu lakog rešetkastog nosača koji je paralelan kranskom nosaču i sa njim je povezan poprečnim ukrućenjima. Kod kranskih nosača čiji su rasponi veći od 12 m između donjih pojaseva se postavlja stabilizirajući horizontalni spreg (sl. 7.3b). Kod visokih limenih nosača, preko 2 m, treba postaviti po jedan horizontalni spreg u ravni gornjeg i donjeg pojasa (sl. 7.3c).



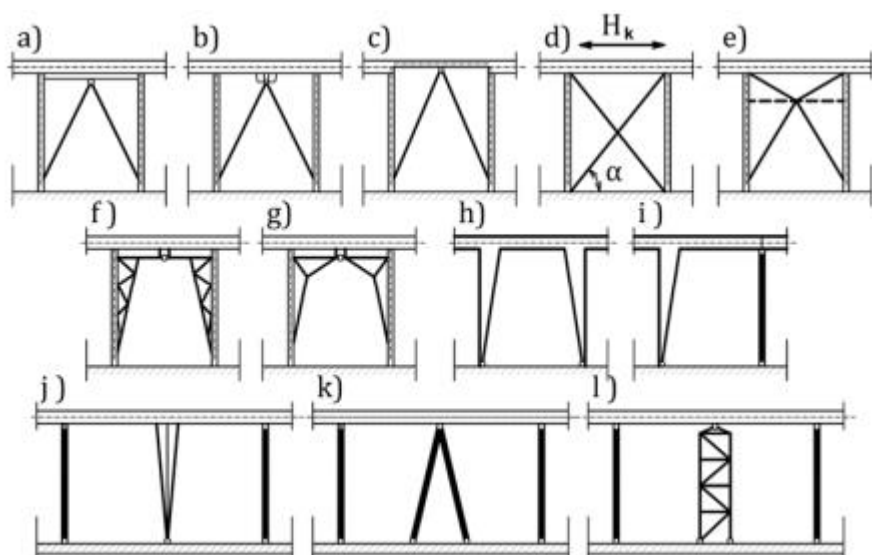
Slika 7.3-Princip konstruisanja spregova za bočne udare



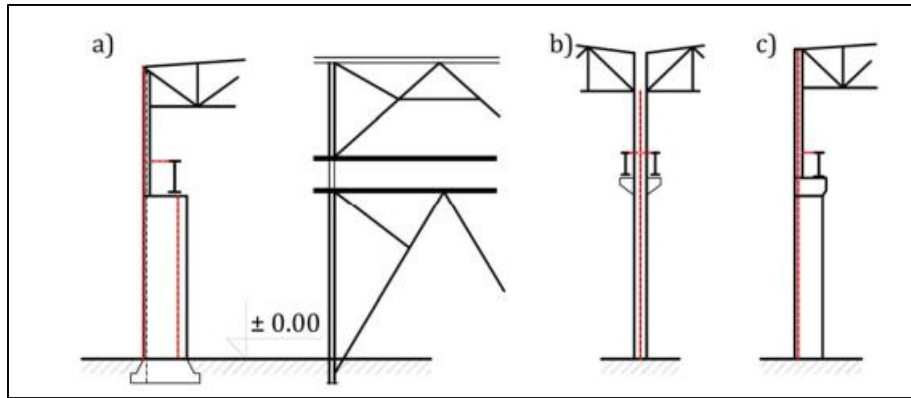
Slika 7.4-Različiti sistemi horizontalnih spregova

7.2 Spregovi za kočenje

Postavljaju se iz razloga što su glavni stubovi uklješteni samo u poprečnom pravcu, dok su u podužnom „pendel“ stubovi, tako da svaka industrijska hala sa mostovskim kranovima mora da ima spreg za kočenje, najbolje u sredini. Ovaj spreg se dimenzioniše na silu kočenja H_k . Izvodi se u vidu rešetkastog nosača ili u vidu punog okvira.



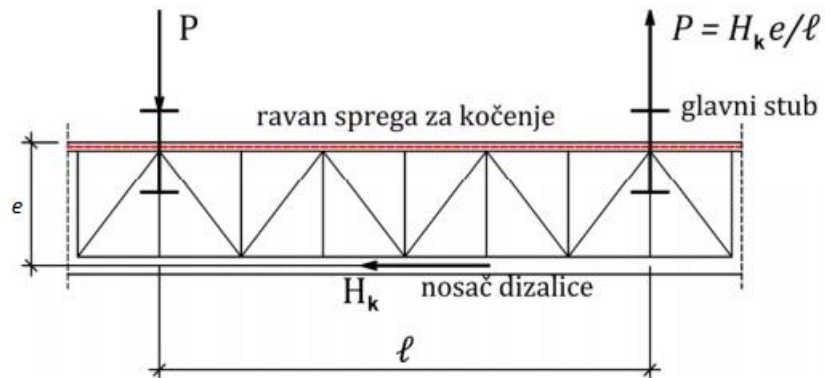
Slika 7.5-Statički sistemi spregova za kočenje



Slika 7.6-Mogući položaji spregova za kočenje (označeno crvenom linijom)

Zbog ekscentričnosti sprega za kočenje u odnosu na kranški nosač, u glavnim stubovima hale između kojih se nalazi ravan sprega za kočenje javlja se uticaj sprega sila:

- $P = H_k \cdot \frac{e}{l}$ gdje su: e -ekscentričnost i l -razmak glavnih stubova.



Slika 7.7-Ekscentričan položaj sprega za kočenje

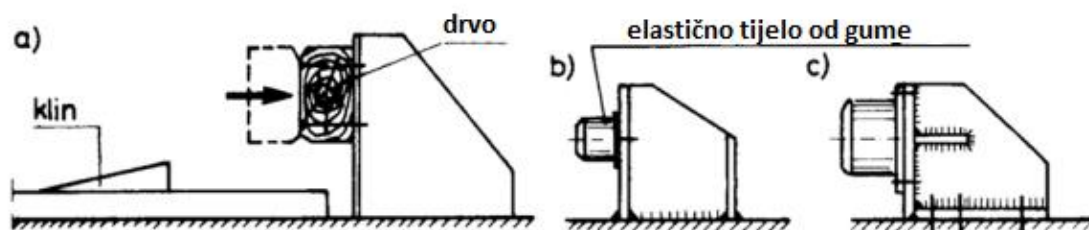


Slika 7.8-Spregovi za kočenje u industrijskoj hali

8. ODBOJNICI

Pri statičkoj analizi kranske staze potrebno je obuhvatiti i slučajni udar dizalice u odbojnice. U pitanju je izuzetni slučaj opterećenja, pa se prilikom dimenzionisanja može primjeniti manji koeficijent sigurnosti. Ranije su u upotrebi uglavnom bili drveni odbojnici, a mana im je bila velik uticaj od udara i na sam odbojnik i na dizalicu. U cilju smanjivanja kinetičke energije ugrađivali su se klinovi za ublaženje udara nagiba od 1:4 do 1:6.

Savremeni princip konstruisanja odbojnika podrazumjeva različite sisteme čiji je zadatak da zaustave dizalicu i ublaže udar sabijanjem odbojnika čime se eliminiše energija kretanja. Težnja je da povratno odbijanje bude što manje.



Slika 8.1-Neki od uobičajenih oblika odbojnika na kraju kranske staze [2]

Prema principu rada, na osnovu dijagrama sila-pomjeranje razlikuju se elastični odbojnici, prigušni odbojnici i elastično-prigušni odbojnici.

U slučaju elastičnog odbojnika sa konstantom opruge C kinetička energija se pretvara u rad opruge, a sila udara se može sračunati pomoću sljedećeg izraza:

$$F_u = C \cdot \Delta = v \cdot \sqrt{\frac{C \cdot m}{2}}$$
, gdje je m masa dizalice, v brzina kretanja dizalice i Δ maksimalno utiskivanje odbojnika.

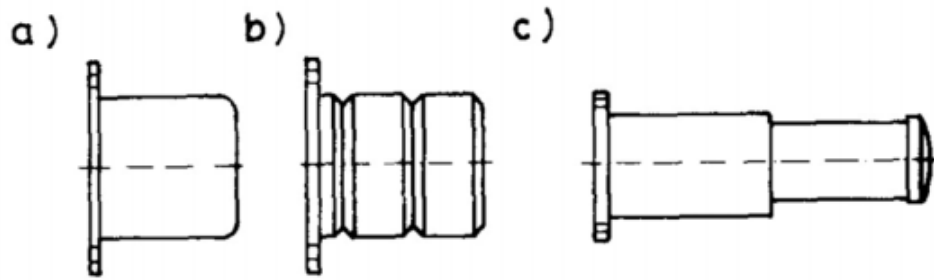
U slučaju prigušnog odbojnika koji radi na principu trenja koriste se sljedeći izrazi za dobijanje sile udara:

$$\Delta = v^2 \cdot \frac{m}{4 \cdot F_t} \quad \text{i} \quad F_t = F_u$$
, gdje je F_t sila trenja.

Gumeni odbojnici se najčešće proizvode od masivnog elastomera, čvrstoće po Shore-u 70° do 90° (sl. 8.2 a).

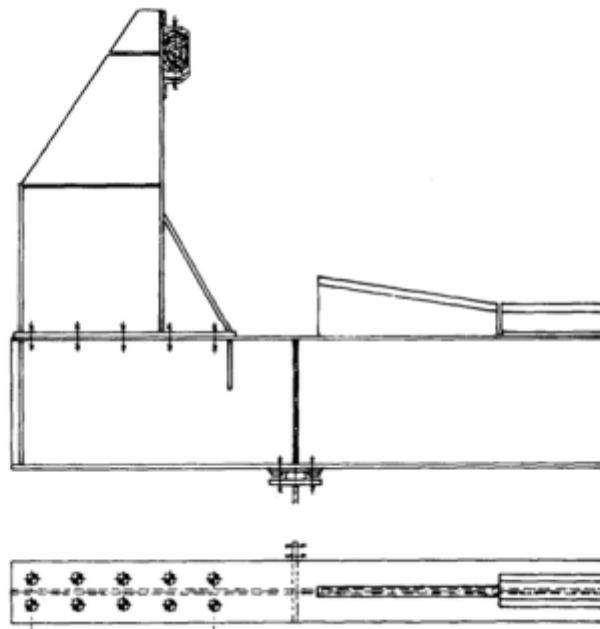
Mogu da se rade i od ćelijastog poliuretan-elastomera i tada se nazivaju ćelijasti odbojnici (sl. 8.3 b). Energija koju odbojnik može da primi raste sa povećanjem utiska, a kod ćelijastog odbojnika zavisi i od brzine udara što je uslovljeno procesom potiskivanja gasa koji se nalazi u šupljinama.

Kod hidrauličkog odbojnika pri utiskivanju klipa potiskuje se ulje, a vraćanje u početni položaj omogućeno je pomoću ugrađene opruge. Pri brzom udaru nastaje zaustavni pritisak koji djeluje suprotno kočionoj masi kao sila prigušenja.



Slika 8.2-*a*) masivni gumeni odbojnik, *b*) čelijasti odbojnik, *c*) hidraulički odbojnik [2]

Karakteristike odbojnika zavise od proizvođača. Energija koju odbojnik može da prihvati zavisi od veličine odbojnika i mogućnosti sabijanja (bez razaranja odbojnika), kao i od maksimalne sile koja se sa odbojnika prenosi na konstrukciju.

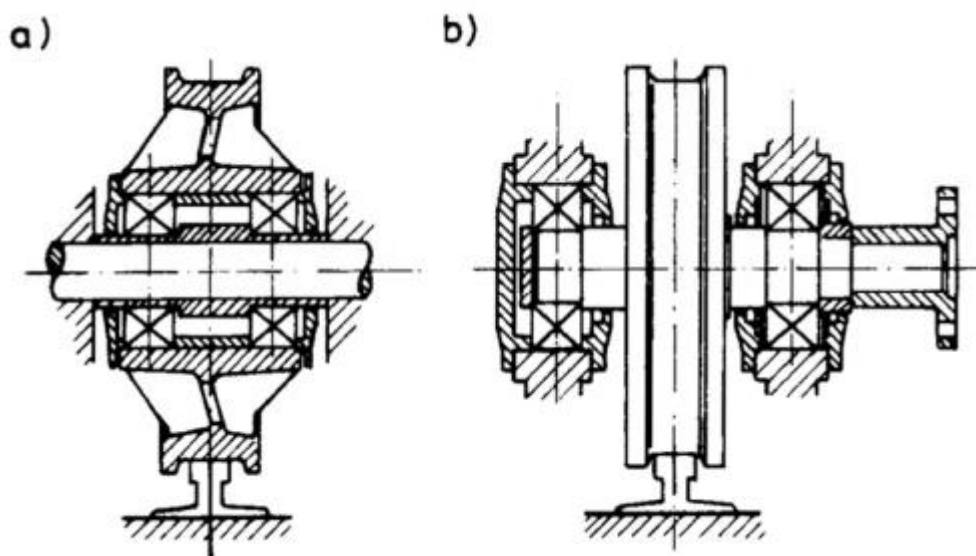


Slika 8.3-Odbojnik zajedno sa nosačem i dijelom kranske staze na prepustu [2]

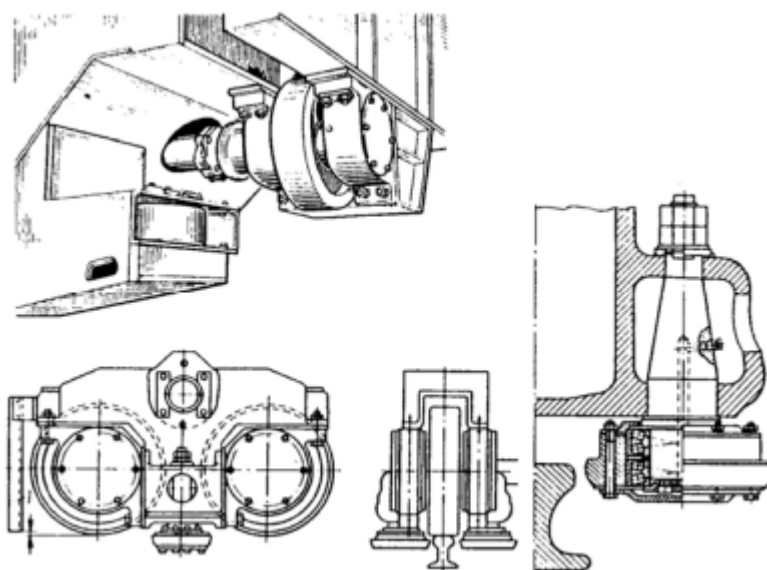
9. KRANSKE ŠINE

Kranske šine su element koji neposredno prima opterećenje od točka dizalice i prenosi ga na kranski nosač.

Točkovi dizalica se uglavnom izrađuju od livenog gvožđa ili od livenog čelika. Postoje dva tipa točkova dizalice: sa vjencima i oni bez kod kojih se bočno držanje točka na šini ostvaruje horizontalnim valjcima-vođicama. Točkovi sa vjencima imaju veće trenja, a time i veće habanje od onih sa horizontalnim valjcima.

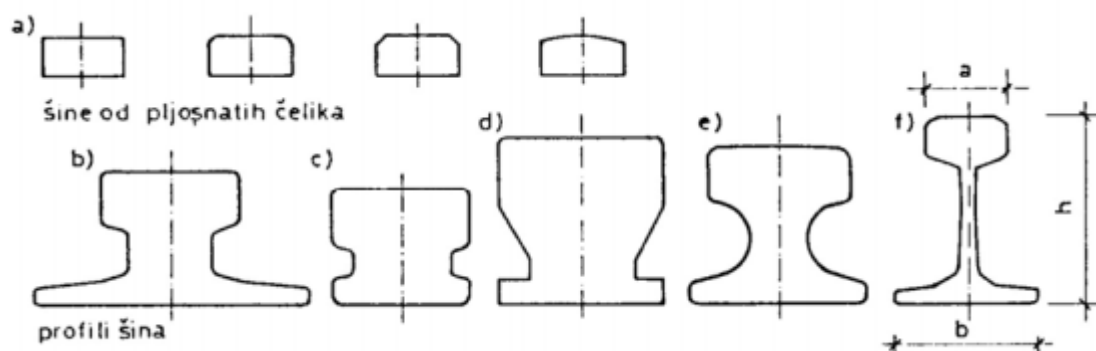


Slika 9.1-Točkovi sa vjencem: *a)* nepokretna osovina točka, *b)* osovina se okreće oko točka [2]



Slika 9.2-Točkovi sa horizontalnim valjcima vođicama [2]

U inženjerskoj praksi upotrebljavaju se različiti oblici šina i prikazani su na slici ispod (sl. 9.3).



Slika 9.3-Poprečni presjeci kranskih šina [2]

Za dizalice manje nosivosti mogu se primjeniti šine pravougaonog poprečnog presjeka, koje su prikazane na slici 9.3 a, sa dimenzijama 50x30, 50x40, 60x30, 60x40, 60x50, 70x50 mm. U zavisnosti od oblika i dimenzije točkova gornja ivica ovakve šine može biti oborena ili zaobljena. Veza ovog tipa šina sa gornjim pojasom kranskog nosača je najčešće ostvarena obostranim kontinualnim ugaonim šavovima. Mana ovog rješenja je teža zamjena pohabanih šina.

Dizalice većih nosivosti zahtjevaju ugrađivanje pravih kranskih šina (sl. 9.3 b-e) ili željezničkih šina (sl. 9.3 f). Koji od ovih tipova šina će biti upotrebljen zavisi od pritiska i oblika točka dizalice. Tipovi kranskih šina sa slike 9.3 pod c) i d) koriste se za teške dizalice sa velikim pritiscima točkova. Željezničke šine koje se i dalje u regiji koriste umjesto kranskih šina imaju niz neadekvatnih karakteristika za korištenje u ove svrhe. Domaći proizvođači dizalica preporučuju korištenje normalinih željezničkih šina tipa 22, 45 i 49. U tabeli 9.1 date su statičke karakteristike navedenih tipova šina.

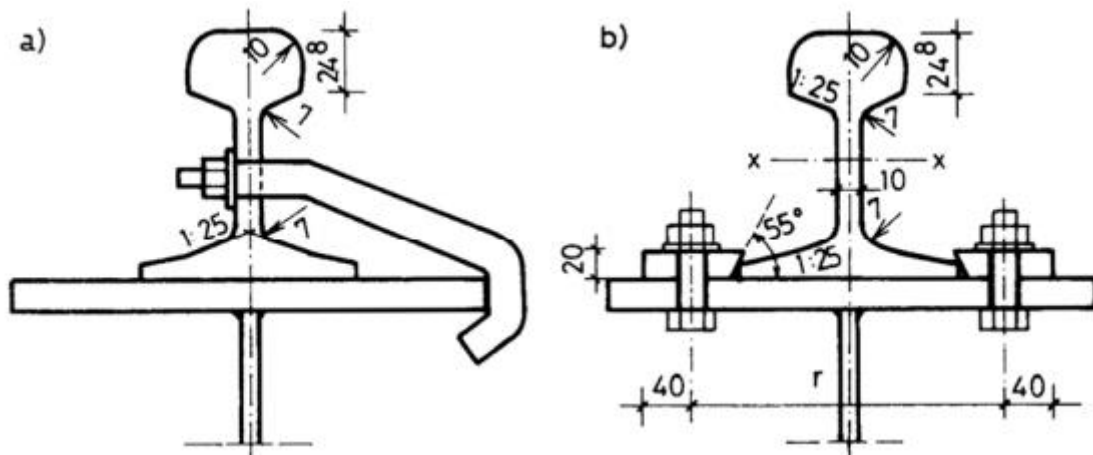
Tabela 9.1 Statičke karakteristike željezničkih šina 22, 45 i 49

Tip šine	a mm	b mm	h mm	Težina kg/m	Površina A[cm ²]	Statičke veličine	
						I _x [cm ⁴]	W _x [cm ³]
22	46±0.5	90±1	100±0.5	22.12	28.18	375.5	73.6
45	67±0.5	125±1	142±0.5	45.44	57.84	1552	215
49	67±0.5	125±1	149±0.5	49.43	62.97	1819	240

Veza kranke šine za gornji pojas kranskog nosača može se ostvariti na više načina. U slučaju kontinualne veze šine za kranski nosač (zavarivanjem, zavrtnjevima ili ranije zakivcima), sa stanovišta statičkog ponašanja, šina se može uzeti u obzir pri određivanju statičkih karakteristika poprečnog presjeka kranke staze. Zbog habanja glave šine potrebno je redukovati statičke karakteristike šine za 25%. Mjestimično prekinute šavove treba izbjegavati zbog dejstva zarezova. Prije nego što se usvoji statičko sadejstvo šine, treba provjeriti da li je čelik od koga je napravljena šina zavarljiv, jer se čelici visoko otporni na habanje ne mogu zavariti.

Bolja rješenja od prethodno navedenih za vezu kranske šine za gornji pojas nosača su ona koja daju mogućnost jednostavnog podešavanja položaja šine, kako u fazi montaže, tako i u fazi eksploatacije. Zbog uslova nesmetanog kretanja krana po šinama moraju biti ispunjene oštre geometrijske tolerancije, jer bi u suprotnom došlo do neravnomjernog habanja šina (bočno), loma vjenca točka dizalice, pa i do pada dizalice sa kranske staze. Pri montaži šina potrebno je ispoštovati sljedeće tolerancije:

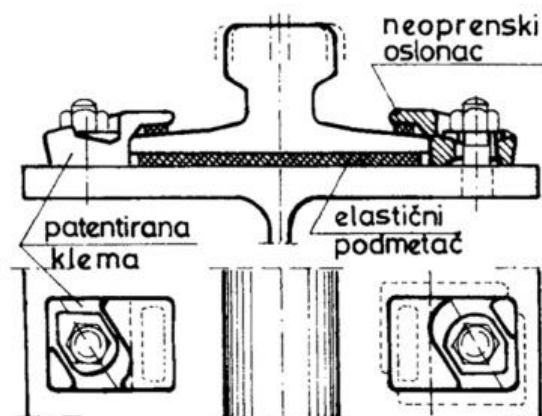
- visinsko odstupanje između šina u poprečnom pravcu $\Delta h \leq L_D/1000$,
- visinska razlika kota gornje ivice šine između dva susjedna oslonca $\Delta h \leq l/1000$,
- razmak osa šina $\Delta L_D \leq \pm 10$ mm,
- rastojanje ose šine od ose rebra kranskog nosača $\Delta e \leq t_w$ ili 15 mm.



Slika 9.4-Veza kranske šine za kranski nosač [2]

Jedno od najčešće primjenjivanih rješenja za vezu kranske šine za nosač je veza ostvarena kukastim zavrtnjevima (sl. 9.4 a) koji se obostrano naizmjenično ugrađuju na razmaku od približno 600 mm. Ovakva veza je pogodna zato što se pritezanjem ili popuštanjem matice šina može lako dovesti u projektovani položaj. Prečnik kukastih zavrtnjeva kreće se u opsegu M20 do M24.

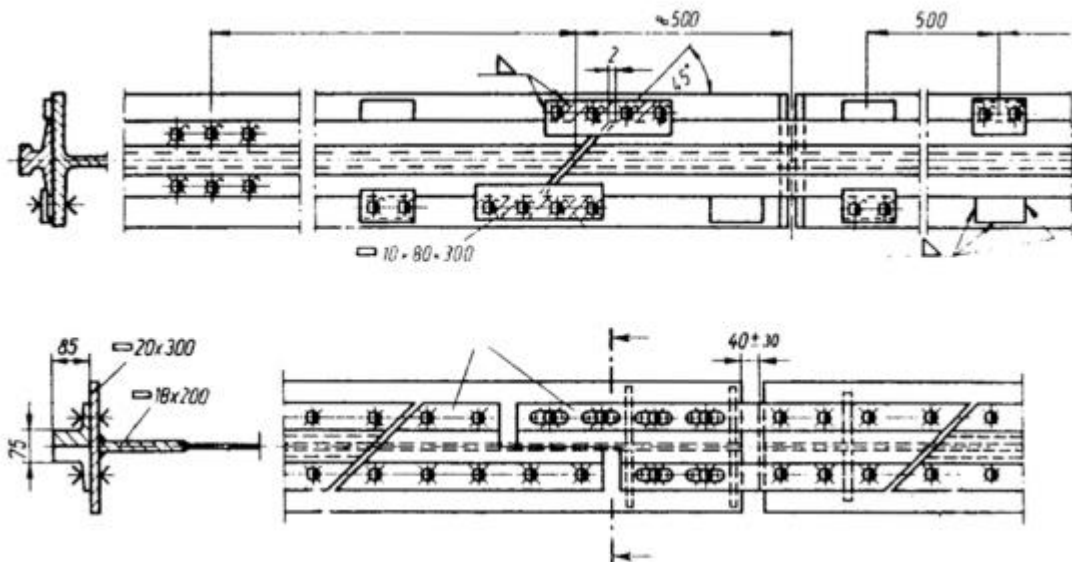
Veza se takođe može ostvariti i obostranim priključnim pločicama sa ovalnim rupama (sl. 9.4 b) na razmaku od 600-700 mm u zavisnosti od dimenzija šine. Podešavanje položaja šine vrši se popuštanjem zavrtnjeva i pomjeranjem pločica u pravcu ovalnih rupa.



Slika 9.5-Veza šine pomoću patentiranih klema [2]

Na slici 9.5 prikazan je savremeni načini vezivanja šine za kranski nosač pomoću patentirane kleme sa kosom rupom. Pomoću klema moguće je izvršiti dotjerivanje položaja šine. Nožica šine je kod ovog tipa veze elastično spregnuta pomoću vulkaniziranih neoprenskih oslonaca. Zajedno sa neoprenskom podložnom pločom kod ovog tipa veze postiže se dobra zvučna izolacija i povoljna raspodjela opterećenja.

Montažni nastavci šina se najčešće zavaruju, u suprotnom ih je potrebno oblikovati sa kosinom, obično pod uglom od 45° što je prikazano na slici 9.6.



Slika 9.6-Oblici izvođenja montažnih nastavaka kranskih šina [2]

Poprečno postavljene rupe pri prelasku dizalice uzrokuju udarce i habanje, pa je ovakve nastavke potrebno pomjeriti za 200 do 500 mm u odnosu na montažni nastavak kranskog nosača. Ako nije moguće ispuniti ovaj uslov potrebno je predvidjeti obostrani bandaž za vođenje, da bi se osigurala nesmetana prolaznost na mjestu montažnog nastavka.

Bitno je napomenuti da je kod dugačkih kranskih staza sistema kontinualnog nosača potrebno predvidjeti dilatacione spojnice na nosaču, pa samim time dilatacione spojnice se predviđaju i na šinama. Na raspolaganju je više sistema za izvođenje dilatacione spojnice šine.

10. PROJEKTNI ZADATAK

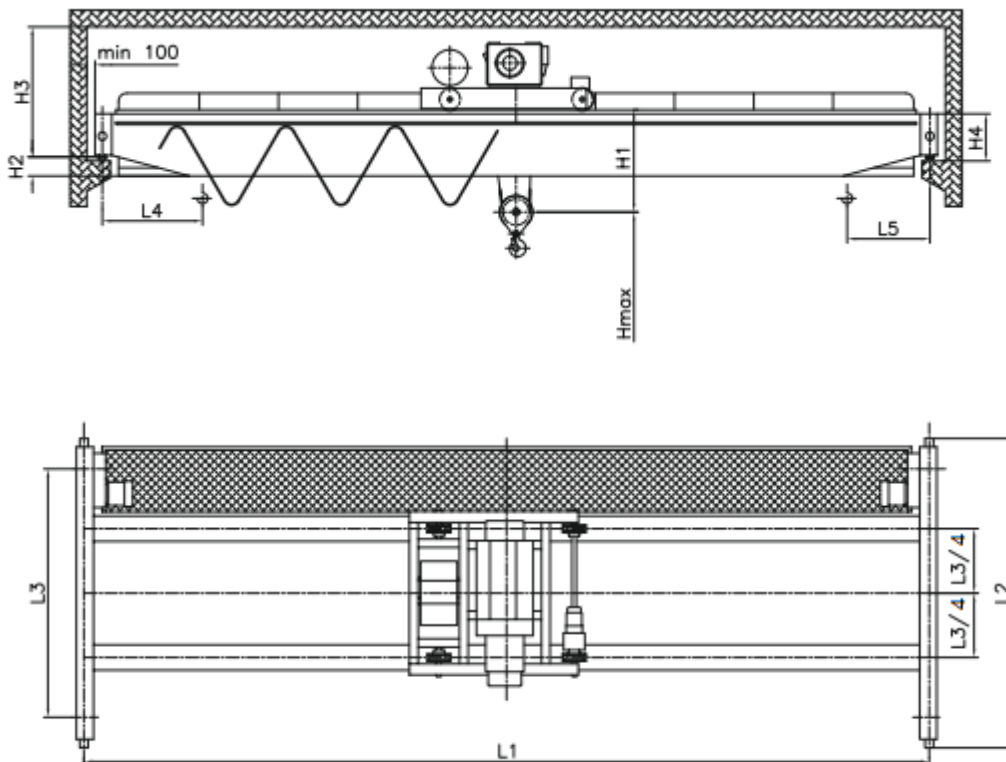
Predmet projektnog zadatka predstavlja proračun čeličnog nosača kranske staze mostovskog kрана koji opslužuje čelični industrijski objekat dimenzija u osnovi 26x40 m. Visina glavnog stuba ovog objekta iznosi 6 m, nagib krovne ravni iznosi 6° , a visina objekta u sljemenu je 7.366 m. Za glavnu noseću konstrukciju odabran je puni limeni nosač i ukupno ih je 6 na međusobnom razmaku od 8 m (polazna verzija statičkog sistema). Glavni stubovi i glavni nosači su kruto vezani i zajedno čine uklješteni ram u statičkom smislu. Objekat čitavom dužinom opslužuje dvogredna mostovska dizalica nosivosti 12.5 t i raspona 24 m.

Nosač kranske staze u statičkom smislu čini po 5 prostih greda u svakom pravcu gdje je razmak između oslonaca 8 m, a ukupna dužina iznosi 40 m. Oslonci kranskog nosača su ispuštene konzole na glavnim stubovima.

Proračun kranskog nosača će biti sproveden pomoću programa „CRANEWAY Dlubal“, a proračun samog objekta nije predmet ovoga rada zbog obimnosti proračuna.

Akcenat u projektnom zadatku je na nosaču kranske staze, a elementi na koje se oslanja nosač kranske staze kao i sam industrijski objekat predmet su statičkog proračuna konstrukcije objekta i u ovom projektnom zadatku nije sproveden.

Dizalica koja opslužuje objekat je dvogredna mostovska dizalica, model DEMOD-K-12.5, proizvođača „Vulkan“ Rijeka.



Slika 10.1-Oznake dimenzija dizalice [5]

U tabeli 10.1 date su dimezije i osnovni podaci o modelu dizalice DEMOD-K-12.5 u zavisnosti od raspona dizalice, tabela je preuzeta iz kataloga proizvođača.

Tabela 10.1 – Osnovni tehnički podaci o dizalici [5]

Tip Type	Nosivost [kN] Lifting capacity [kN]	L1 [m] preko do L1 [m] over up to	[mm]								Brzina diz. m/min Lifting speed m/min		Opterećenje kotača [kN] Wheel load [kN]		
			L2	L3	L4	L5	H1	H2	H3	H4	H max	Nor.	Fina Creep	Max	Min
DEMOD-K-12.5	125	8	3066	2000	1000	1000	700	150	1950	350	4500 do 13 000 4500 up to 13 000	12	1.2	78	19.4
		8 - 12	2716	2000				265	2035	435				86.5	23.7
		12 - 16	3320	2500				380	2135	535				98.2	28.5
		16 - 20	3970	3150				470						108.5	31
		20 - 25	4820	4000				560						128.3	34.6
		25 - 27	5380	4560				600						137.5	36.2

Iz tabele se vidi da su za raspon dizalice od $L1 = 24$ m dimezije sljedeće:

$L2 = 4820$ mm; $L3 = 4000$ mm; $L4 = L5 = 1000$ mm;

$H1 = 700$ mm; $H2 = 560$ mm; $H3 = 2135$ mm; $H4 = 535$ mm; $H_{max} = 4500 - 13000$ mm.

Brzina dizanja tereta iznosi $v_h = 4 \frac{m}{min}$. Minimalna i maksimalna sila po točku kрана iznosi $P_{min} = 34.6$ kN i $P_{max} = 128.3$ kN.

10.1 Analiza opterećenja usljed dejstva kranske dizalice

Prvi korak u analizi opterećenja ja određivanje sopstvene težine kрана Q_{c1} i sopstvene težine kolica zajedno sa kukom Q_{c2} na osnovu: poznate težine maksimalnog tereta $Q_{h,nom} = 125$ kN, na osnovu maksimalne i minimalne sile pritiska po točku i na osnovu ostalih podataka koji su dati u katalogu. Dizalica ima po dva točka na svakom čeonom nosaču i za potrebe proračuna pretpostavka je da se opterećenje dijeli simetrično na svaki točak u ravni čeonog nosača. Najmanje rastojanje težišta kolica u odnosu na točak kрана (mjesto oslanjanja dizalice na šine kranske staze) je jednako dimeziji $L4$, odnosno $e_{min} = 1000$ mm = 1 m.

Maksimalna reakcija oslonca grede kojom se modelira dizalica je $V_{max} = 2 \cdot P_{max} = 256.6$ kN, i jednaka je reakciji oslonca grede kada se kolica zajedno sa maksimalnim teretom nalaze na rastojanju e_{min} od razmatranog oslonca. Minimalna reakcija oslonca grede kojom se modelira dizalica je $V_{min} = 2 \cdot P_{min} = 69.2$ kN, i jednaka je reakciji oslonca grede kada se kolica bez tereta nalaze na rastojanju e_{min} od oslonca na suprotnoj strani.

Postavljajući uslove ravnoteže za ova dva slučaja dobijaju se dvije jednačine sa dvije nepoznate:

$$V_{max} \cdot L - (Q_{c2} + Q_{h,nom}) \cdot (L - e_{min}) - Q_{c1} \cdot (L/2) = 0 \quad (1)$$

$$V_{min} \cdot L - Q_{c2} \cdot e_{min} - Q_{c1} \cdot (L/2) = 0 \quad (2) \rightarrow$$

$$256.6 \cdot 24 - (Q_{c2} + 125) \cdot 23 - Q_{c1} \cdot 12 = 0 \quad (1)$$

$$69.2 \cdot 24 - Q_{c2} \cdot 1 - Q_{c1} \cdot 12 = 0 \quad (2).$$

Rješavanjem ovih jednačina dobijaju se sljedeće vrijednosti:

$Q_{c1} = 132.25 \text{ kN}$ - sopstvena težina kрана bez kolica,

$Q_{c2} = 73.75 \text{ kN}$ - sopstvena težina kolica zajedno sa kukom.

10.1.1 Dinamički koeficijenti φ_i

Koeficijent φ_1 koji uzima u obzir dinamičku pobudu konstrukcije usljed vertikalnog podizanja tereta i primjenjuje se na sopstvenu težinu kрана nalazi se u granicama $0.9 \leq \varphi_1 \leq 1.1$. Za potrebe proračuna u ovom primjeru usvaja se gornja vrijednost $\varphi_1 = 1.1$.

Koeficijent φ_2 koji uzima u obzir dinamičke efekte usljed podizanja tereta do kрана i primjenjuje se na težinu tereta određuje se prema formuli:

$\varphi_2 = \varphi_{2,min} + \beta_2 \cdot v_h$, za klasu podizanja usvaja se klasa HC2 $\rightarrow \varphi_{2,min} = 1.1$ i $\beta_2 = 0.34$, tako da je $\varphi_2 = 1.1 + 0.34 \cdot (4m/60s) = 1.123$. Usvaja se vrijednost $\varphi_2 = 1.12$.

Koeficijent φ_3 koji uzima u obzir dinamičke efekte usljed naglog ispuštanja tereta u ovom primjeru, a prema preporuci Evrokoda 1, usvaja se $\varphi_3 = 1$.

Koeficijent φ_4 koji uzima u obzir dinamičke efekte usljed kretanja kрана po šinama ili po kranskoj stazi u ovom primjeru, a prema preporuci Evrokoda 1, usvaja se $\varphi_4 = 1$.

Koeficijent φ_5 koji uzima u obzir dinamičke efekte usljed pogonske sile u slučaju glatke promjene pogonske sile nalazi se u granicama $1.0 \leq \varphi_5 \leq 1.5$, a u ovom primjeru usvaja se gornja granica $\varphi_5 = 1.5$.

Koeficijent φ_6 koji uzima u obzir dinamičke efekte usljed probnog opterećenja dobija se pomoću izraza $\varphi_6 = 0.5 \cdot (1 + \varphi_2)$ i usvaja se u ovom primjeru $\varphi_6 = 1.06$.

Koeficijent φ_7 koji uzima u obzir dinamičke efekte usljed udara kрана u odbojnik za karakteristike odbojnika $0 \leq \xi_b \leq 0.5$ njegova vrijednost, a ujedno i usvojena u ovom primjeru je $\varphi_7 = 1.25$.

10.1.2 Vertikalna opterećenja

U ovom dijelu neće biti data vertikalna opterećenja množena sa dinamičkim faktorima i svrstana u grupe opterećenja zato što kompjuterski softver Dlubal Craneway nakon unesenih dinamičkih faktora i osnovnih uslovno statičkih veličina sam pravi kombinacije, multiplikaciju dinamičkim faktorima i svrstava opterećenja u grupe.

$Q_{r,max} = 256.6/2 = 128.3 \text{ kN}$ - maksimalna sila u točku opterećenog kрана,

$Q_{r,(max)} = 74.4/2 = 37.2 \text{ kN}$ - odgovarajuća maksimalna sila, na drugom kraju,

$\sum Q_{r,max} = 256.6 \text{ kN}$ - suma maksimalnih sila,

$\sum Q_{r,(max)} = 74.4 \text{ kN}$ - suma odgovarajućih maksimalnih sila, na drugom kraju,

$Q_{r,min} = 69.2/2 = 34.6 \text{ kN}$ - minimalna sila u točku neopterećenog kрана,

$Q_{r,(min)} = 136.8/2 = 68.4 \text{ kN}$ - odgovarajuća minimalna sila u točku kрана na drugom kraju,

$\Sigma Q_{r,min} = 69.2 \text{ kN}$ - suma minimalnih sila,

$\Sigma Q_{r,(min)} = 136.8 \text{ kN}$ - suma odgovarajućih minimalnih sila.

10.1.3 Horizontalna opterećenja

10.1.3.1 Podužne horizontalne sile usljed ubrzanja i kočenja kрана

$$H_{L,i} = \varphi_5 \cdot K \cdot (1/n_r)$$

$$K = \mu \cdot \Sigma Q_{r,min}^* = \mu \cdot m_w \cdot Q_{r,min} = 0.2 \cdot 2 \cdot 34.6 = 13.84 \text{ kN}$$

$\mu = 0.2$ – koeficijent trenja između točka i šine,

$m_w = 2$ - broj točkova na jednom čeonom nosaču dizalice.

$$H_{L,1} = H_{L,2} = 1.5 \cdot 13.84 \cdot (1/2) = 10.38 \text{ kN} = \varphi_5 \cdot 6.92 \text{ kN}.$$

10.1.3.2 Poprečne horizontalne sile usljed ubrzanja i kočenja kрана

$$H_{T,1} = \varphi_5 \cdot \xi_2 \cdot (M/a), H_{T,2} = \varphi_5 \cdot \xi_1 \cdot (M/a)$$

$a = 4000 \text{ mm} = 4 \text{ m}$ – rastojanje između točkova na jednom čeonom nosaču, dimenzija L3

$$\xi_1 = \Sigma Q_{r,max} / \Sigma Q_r = \Sigma Q_{r,max} / (\Sigma Q_{r,max} + \Sigma Q_{r,(max)})$$

$$\xi_1 = 256.6 / (256.6 + 74.4) = 0.775$$

$$\xi_2 = 1 - \xi_1 = 1 - 0.775 = 0.225$$

$$M = K \cdot l_s = K \cdot (\xi_1 - 0.5) \cdot l = 13.84 \cdot (0.775 - 0.5) \cdot 24 = 91.344 \text{ kNm}$$

$$H_{T,1} = 1.5 \cdot 0.225 \cdot (91.344/4) = 7.707 \text{ kN} = \varphi_5 \cdot 5.138 \text{ kN}$$

$$H_{T,2} = 1.5 \cdot 0.775 \cdot (91.344/4) = 26.547 \text{ kN} = \varphi_5 \cdot 17.7 \text{ kN}.$$

10.1.3.3 Podužne i poprečne horizontalne sile usljed zakošenja kрана

$\alpha = \alpha_F + \alpha_V + \alpha_0 \leq 0.015 \text{ rad}$ – ugao zakošenja kрана

$$\alpha_F = (0.75 \cdot x) / a_{ext},$$

$0.75 \cdot x \geq 10 \text{ mm}$, prema tabeli 2.7 iz Evrokoda 1 (En 1991-3-2006), $a_{ext} = a = 4000 \text{ mm}$,

$$\alpha_F = (0.75 \cdot x) / a_{ext} = 10 / 4000 = 0.0025 \text{ rad}$$

$$\alpha_V = y / a_{ext},$$

$y \geq 0.10 \cdot b$ prema tabeli 2.7 iz Evrokoda 1 (En 1991-3-2006) gdje je b širina glave šine,

$$\alpha_V = (0.10 \cdot 45) / 4000 = 0.001125 \text{ rad}$$

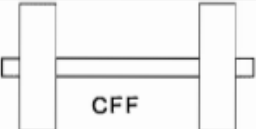

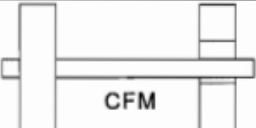

$$\alpha_0 = 0.001 \text{ rad}$$

$$\alpha = 0.0025 + 0.001125 + 0.001 = 0.004624 \text{ rad}$$

$$f = 0.3 \cdot (1 - e^{-250 \cdot \alpha}) = 0.3 \cdot (1 - e^{-1.15625}) = 0.206 - \text{faktor zakošenja}$$

Faktori sile $\lambda_{S,i,j,T}$ i $\lambda_{S,i,j,L}$ se određuju prema sljedećim tabelama koje se nalaze u dijelu Evrokoda 1.

Tabela 10.1 – Određivanje veličine h , [3]

Fixing of wheels according to lateral movements	Combination of wheel pairs		h
	coupled (c)	independent (i)	
Fixed/Fixed FF			$\frac{m \xi_1 \xi_2 l^2 + \sum e_j^2}{\sum e_j}$
Fixed/Movable FM			$\frac{m \xi_1 l^2 + \sum e_j^2}{\sum e_j}$
Where:			
h is the distance between the instantaneous centre of rotation and the relevant guidance means;			
m is the number of pairs of coupled wheels ($m = 0$ for independent wheel pairs);			
$\xi_1 l$ is the distance of the instantaneous centre of rotation from rail 1;			
$\xi_2 l$ is the distance of the instantaneous centre of rotation from rail 2;			
l is the span of the appliance;			
e_j is the distance of the wheel pair j from the relevant guidance means.			

Veličina m je u primjeru jednaka nuli jer nema grupisanih točkova.

Veličine e_i u date u prethodnoj tabeli u ovom primjeru iznose:

$e_1 = 0$ – točkovi dizalice imaju graničnike

$e_2 = a = 4 \text{ m}$.

Tabela 10.2 – Faktori sile $\lambda_{S,i,j,k}$ [3]

System	$\lambda_{S,j}$	$\lambda_{S,1,j,L}$	$\lambda_{S,1,j,T}$	$\lambda_{S,2,j,L}$	$\lambda_{S,2,j,T}$
CFF	$1 - \frac{\sum e_j}{nh}$	$\frac{\xi_1 \xi_2 l}{n h}$	$\frac{\xi_2}{n} \left(1 - \frac{e_j}{h}\right)$	$\frac{\xi_1 \xi_2 l}{n h}$	$\frac{\xi_1}{n} \left(1 - \frac{e_j}{h}\right)$
IFF		0	$\frac{\xi_2}{n} \left(1 - \frac{e_j}{h}\right)$	0	$\frac{\xi_1}{n} \left(1 - \frac{e_j}{h}\right)$
CFM	$\xi_2 \left(1 - \frac{\sum e_j}{nh}\right)$	$\frac{\xi_1 \xi_2 l}{n h}$	$\frac{\xi_2}{n} \left(1 - \frac{e_j}{h}\right)$	$\frac{\xi_1 \xi_2 l}{n h}$	0
IFM		0	$\frac{\xi_2}{n} \left(1 - \frac{e_j}{h}\right)$	0	0

Where:
 n is the number of wheel pairs;
 ξ_1 is the distance of the instantaneous centre of rotation from rail 1;
 ξ_2 is the distance of the instantaneous centre of rotation from rail 2;
 l is the span of the appliance;
 e_j is the distance of the wheel pair j from the relevant guidance means;
 h is the distance between the instantaneous centre of rotation and the relevant guidance means.

$$h = \frac{m \cdot \xi_1 \cdot \xi_2 \cdot l^2 + \sum e_j^2}{\sum e_j} = \frac{0 + 4^2}{4} = 4 \text{ m}, n = 2,$$

$$\lambda_S = 1 - \frac{\sum e_j}{n \cdot h} = 1 - \frac{4}{2 \cdot 4} = 0.5,$$

$$\lambda_{S,1,L} = \lambda_{S,2,L} = 0,$$

- za par točkova 1 (par točkova podrazumjeva naspramne točkove koji se nalaze na lijevom i desnom čeonom nosaču:

$$\lambda_{S,1,1,T} = \frac{\xi_2}{n} \cdot \left(1 - \frac{e_1}{h}\right) = \frac{0.225}{2} \cdot (1 - 0) = 0.1125$$

$$\lambda_{S,2,1,T} = \frac{\xi_1}{n} \cdot \left(1 - \frac{e_1}{h}\right) = \frac{0.775}{2} \cdot (1 - 0) = 0.3875$$

- za par točkova 2:

$$\lambda_{S,1,2,T} = \frac{\xi_2}{n} \cdot \left(1 - \frac{e_2}{h}\right) = \frac{0.225}{2} \cdot (1 - 1) = 0$$

$$\lambda_{S,2,2,T} = \frac{\xi_1}{n} \cdot \left(1 - \frac{e_2}{h}\right) = \frac{0.775}{2} \cdot (1 - 1) = 0$$

- podužne sile:

$$H_{S,1,L} = f \cdot \lambda_{S,1,L} \cdot \sum Q_r = 0.206 \cdot 0 \cdot 331 = 0$$

$$H_{S,2,L} = f \cdot \lambda_{S,1,L} \cdot \sum Q_r = 0.206 \cdot 0 \cdot 331 = 0$$

- poprečne sile:

$$H_{S,1,1,T} = f \cdot \lambda_{S,1,1,T} \cdot \sum Q_r = 0.206 \cdot 0.1125 \cdot 331 = 7.67 \text{ kN}$$

$$H_{S,2,1,T} = f \cdot \lambda_{S,2,1,T} \cdot \sum Q_r = 0.206 \cdot 0.3875 \cdot 331 = 26.42 \text{ kN}$$

Sila S dobija se prema izrazu (sila vođenja, pravac dejstva joj je dat na sl. 2.6):

$$S = f \cdot \lambda_S \cdot \sum Q_r = 0.206 \cdot 0.5 \cdot 331 = 34.1 \text{ kN}$$

$$H_{S,1,T} = S - H_{S,1,1,T} = 34.1 - 7.67 = 26.43 \text{ kN}$$

$$H_{S,2,T} = H_{S,2,1,T} = 26.42 \text{ kN}$$

$$H_{S,1,2,T} = f \cdot \lambda_{S,1,2,T} \cdot \sum Q_r = 0.206 \cdot 0 \cdot 331 = 0$$

$$H_{S,2,2,T} = f \cdot \lambda_{S,2,2,T} \cdot \sum Q_r = 0.206 \cdot 0 \cdot 331 = 0$$

10.1.3.4 Horizontalna sila uzrokovana ubrzanjem ili kidanjem užeta

Ova sila predstavlja 10% zbira sopstvene težine kolica zajedno sa užetom i nominalnog tereta:

$$H_{T,3} = 0.1 \cdot (Q_{c,2} + Q_{h,nom}) = 0.1 \cdot (73.75 + 125) = 19.875 \text{ kN}.$$

10.1.3.5 Sila usljed udara u odbojnik

$$H_{B,1} = \varphi_7 \cdot v_1 \cdot \sqrt{m_c \cdot S_B}$$

Brzina kretanja mostne dizalice v u nedostatku podataka u katalogu proizvođača, a u poređenju sa kranovima sličnih karakteristika drugih proizvođača za potrebe primjera usvaja se 50 m/min .

$$v_1 = 0.7 \cdot 50 \cdot (1/60) = 0.58 \text{ m/s}$$

$$m_c = (Q_{c,1} + Q_{c,2} + Q_{h,nom})/9.81 = 331/9.81 = 33.74 \text{ t} = 33740 \text{ kg}$$

Za odbojнике na krajevima kranske staze odabran je ćelijasti elastićni odbojnik "Demag DPZ 100" dimenzija $7.62 \times 7.62 \times 96.52 \text{ mm}$, konstanta odbojnika je $\xi_b = 0.25$. Elastićna krutost odbojnika S_B za brzinu kretanja kрана 0.58 m/s iznosi približno 337 kN/m .

$$H_{B,1} = 1.25 \cdot 0.58 \cdot \sqrt{33740 \cdot 337000} = 77308 \text{ N} = 77.308 \text{ kN} = \varphi_7 \cdot 61.85 \text{ kN}.$$

10.2 Proraćun nosaća kranske staze

Proraćun je sproveden u programskom paketu "CRANEWAY Dlubal", a pored analize nosaća koji je u statićkom smislu sastavljen od pet prostih greda uraćen je i proraćun kontinualnog nosaća. Poređenjem ova dva rješenja pokazalo se da prvo rješenje ne zadovoljava uslov ogranićenja horizontalnih pomjeranja nosaća ($\delta_y \leq L/600 = 13.3 \text{ mm}$) dok je u slućčaju kontinualnog nosaća ovaj uslov zadovoljen.

10.2.1 Statički određen nosač kranske staze

U slučaju statički određenog nosača (pet prostih greda) odabran je zavareni poprečni presjek:

$h = 600 \text{ mm}$ – visina p.p,

$b_{f,1} \times t_{f,1} = 350 \times 28 \text{ mm}$ – dimenzije gornje nožice,

$b_{f,2} \times t_{f,2} = 300 \times 28 \text{ mm}$ – dimenzije donje nožice,

$h_w \times t_w = 544 \times 8 \text{ mm}$ – dimenzije rebra.

Spoj između rebra i nožica je ostvaren K šavovima. U određivanju geometrijskih karakteristika poprečnog presjeka uzet je u obzir i poprečni presjek šine, ali redukovan za 25% zbog habanja šine.

Na nosaču su postavljena poprečna ukrućenja: nad svim osloncima i na svakoj gredi na sredini raspona.

Nakon proračuna i variranja dimenzija poprečnog presjeka pokazalo se da horizontalni pomak na segmentu 3 uvijek premašuje dozvoljenu vrijednost, pa je iz tog razloga neophodan spreg protiv bočnih udara.

Detaljni rezultati proračuna kao i unos podataka biće dati u prilogu na kraju rada u vidu izvještaja programa za proračun.

10.2.2 Statički neodređen nosač kranske staze

U slučaju statički neodređenog nosača kranske staze zadržana je ista geometrija kao i u prethodnom slučaju. Nakon sprovedenog proračuna pokazalo se da su svi kriterijumi nosivosti i upotrebljivosti ispunjeni tako da je za ovo dispoziciono rješenje hale odabran ovaj konstruktivni sistem nosača uz prethodno navedene karakteristike poprečnog presjeka i položaje poprečnih ukrućenja. Montažni nastavci se predviđaju na kotama 6 m, 18 m, 22 m i 34 m od početka nosača. Nastavci su proračunati u programu „Idea Statica“, a izvještaj proračuna kao i radionički crteži biće dati u prilogu na kraju rada.

11. ZAKLJUČAK

U ovom radu predstavljen je proračun nosača kranske staze usljed dejstva dvogredne mostovske dizalice. Standard prema kome je vršen proračun je Evrokod 3, dio 6, koji se bavi čeličnim konstrukcijama opterećenim dejstvom kranova. Opterećenja nastala radom kranova određivana su prema Evrokodu 1, dio 3, koji se bavi dejstvima na konstrukcije usljed rada kranova i mašina. Sprecificnost nosača koji je predmet ovog rada je činjenica da se radi o dinamički opterećenoj konstrukciji sa velikim brojem ciklusa opterećenja i rasterećenja što je čini podložnom zamoru. Takođe važnost tačnosti pri izradi i montaži ove konstrukcije, kao i šina po kojima se kreće mostovska dizalica je velika, iz razloga trajnosti i funkcionalnosti dizalice. U prvom dijelu ovog rada dati su osnovni podaci o mostovskim dizalicama kao i njihova podjela, a dati su i prikazi stubnih i konzolnih dizalica. U drugom dijelu data je analiza opterećenja mostovskim dizalicama, tj. način modeliranja opterećenja prema pomenutom dijelu Evrokoda 1. Dinamička komponenta dejstva mostovskih dizalica na nosač kranske staze obuhvaćena je dinamičkim koeficijentima kojima se množe statičke veličine, koje su u ovom slučaju i horizontalne i vertikalne. U trećem dijelu rada dat je sam postupak proračuna nosača kranske staze prema graničnim stanjima nosivosti i upotrebljivosti. Što se tiče graničnih stanja nosivosti pored neophodne provjere nosivosti poprečnih presjeka nosača na savijanje i dejstvo poprečne sile, obrađeni su i problemi unošenja poprečne koncentrisane sile od točka dizalice u nosač, bočno-torziono izvijanje, zamor i najobimnije problem izbočavanja rebra. Izbočavanje rebra je problem koji se vezuje za pune limene nosače sa vitkim rebrom i može se javiti usljed napona pritiska, napona smicanja i lokalne poprečne sile, ili usljed njihove kombinacije. Usljed dejstva kranske dizalice mogu nastupiti svi od navedenih slučajeva izbočavanja pa je bitno izvršiti provjeru izbočavanja rebra, uz činjenicu da se nosivost na izbočavanje može povećati postavljanjem podužnih i poprečnih ukrućenja, što je takođe obrađeno u ovom dijelu. Kod graničnih stanja upotrebljivosti date su granične vrijednosti vertikalnih i horizontalnih pomjeranja, kontrola napona (pošto je potrebno obezbijediti povratno elastično ponašanje nosača pri servisnom opterećenju), kao i kontrole neophodne za dinamički opterećene nosače I presjeka: kontrola treperenja rebra i kontrola vibracija donje nožice. U četvrtom dijelu rada navedeni su statički sistemi ovih nosača (prosta greda, kontinualni nosač i gerberov nosač), kao i njihove prednosti i mane. U petom dijelu date su smjernice koje su dostupne u literaturi za izbor poprečnog presjeka nosača. Navedeno je u kom slučaju su bolji vruće valjani profili, a kada zavareni nosači kod kojih je objašnjeno nepovoljno dejstvo zareza na spoju gornje nožice i rebra. Takođe navedeno je i kada nosač kranske staze treba biti izveden kao rešetkasti nosač, a u nastavku je dato kako treba da izgleda nosač za teške dizalice. U slučaju višebrodnih hala navedeno je kao racionalan pristup dva susjedna nosača izvesti kao jedan torziono krut sandučasti nosač. U ovom dijelu date su i smjernice za izbor dimenzija poprečnog presjeka, kao i variranje dimenzija duž nosača postupkom pokrivanja anvelope momenata savijanja u cilju uštede materijala. U šestom dijelu dati su načini oslanjanja nosača kranske staze na nosivi dio konstrukcije, kao i tipovi ležišta tj. oslonaca. U sedmom dijelu su prikazani spregovi: spregovi za prijem bočnih udara i spregovi za kočenje. Što se tiče spregova za prijem bočnih udara dat je princip odabira: ravan lim ili rešetkasti nosač, a kod spregova za kočenje dat je način njihovog dimenzionisanja, statički sistemi i njihov položaj u industrijskom objektu. U osmom dijelu obrađeni su odbojnici na krajevima kranskih staza čija je uloga apsorbovanje kinetičke enegije usljed udara dizalice, tj. usljed incidentnog opterećenja. Dati su tipovi

odbojnika sa njihovim opisom i skicama. U devetom dijelu su obrađene kranske šine. Prikazani su tipovi šina, odnosno njihovi poprečni presjeci, kao i način odabira tipa šine u zavisnosti od tipa dizalice (opterećenja usljed dejstva dizalice) i točkova dizalice. Pored navedenog prikazan je i način vezivanja šine za gornju pojasnicu nosača, kao i način izvođenja montažnih nastavaka šine. U desetom poglavlju dat je primjer proračuna nosača kranske staze. Objekat čiju radnu površinu opslužuje dizalica je dimenzija u osnovi 26x40 m. Visina glavnog stuba objekta je 6 m, a nagib krovne ravni objekta je 6° tako da je visina u sljemenu objekta 7.366 m. Nosač kranske staze se oslanja na kratke konzole pričvršćene na glavne stubove objekta, na koti 3.215m od poda objekta. Dizalica koja opslužuje objekat je raspona 24m, a njene dimenzije i nosivost dati su u ovom dijelu rada. Nakon određivanja opterećenja usljed rada dizalice prema drugom poglavlju, proračun nosača kranske staze je sproveden u specijalizovanom softveru upravo za ovaj tip čeličnih nosača „Craneway Dlubal“. U radu je dat način unosa neophodnih podataka u ovaj program (materijal, tip dizalice, geometrija nosača, poprečni presjek nosača, tip šine, spoj rebra i nožice, statički sistem, imperfekcije nosača i način unošenja opterećenja). Program nudi i izbor standarda po kojima se vrši proračun, a što se tiče Evrokoda koji je u ovom primjeru korišten program nudi korekciju parcijalnih koeficijenata prema nacionalnim aneksima zemalja u kojima je Evrokod zastupljen. Korištenjem ovog programa proveden je proračun nosača kranske staze za dva statička sistema: statički određen nosač tj. pet prostih greda ukupne dužine 40m i kontinualni nosač. Oba ova nosača su iste geometrije poprečnog presjeka. Što se tiče statički određenog nosača svi kriterijumi nosivosti su ispunjeni, a što se tiče kriterijuma upotrebljivosti jedino kriterijum ograničenja horizontalnih pomjeranja nije ispunjen. Kod kontinualnog nosača za istu geometriju i ovaj kriterijum graničnih stanja je ispunjen. Razlog za to je nepromjenjivost statičkog sistema nosača i za horizontalna i za vertikalna dejstva. Za osnovni materijal nosača odabran je konstruktivni čelik S235. Kroz variranje konstruktivnog čelika za statički određen nosač (S275, S355, S450) pokazalo se da izbor vrste čelika neznatno smanjuje horizontalni ugib koji i za tip čelika S450 prekoračuje dopuštenu vrijednost. Prethodno je navedeno da je za kontinualni nosač i za tip čelika S235 ovaj uslov ispunjen, pa se može zaključiti da je ovaj konstruktivni sistem i ekonomski opravdaniji i pored komplikovanije montaže. Svi izvještaji proračuna kao i neophodni crteži dati su u prilogu na kraju rada.

LITERATURA

- [1] Zlatko Marković: Granična stanja čeličnih konstrukcija prema Evrokodu, Akademska misao, Beograd, 2014.
- [2] Dragan Buđevac: Metalne konstrukcije u zgradarstvu, Građevinska knjiga, Beograd, 2009.
- [3] EN 1991-3:2006: Eurocode 1 – Actions on structures – Part 3: Actions induced by cranes and machinery, July 2006.
- [4] EN 1993-6:2007: Eurocode 3 – Design of steel structures – Part 6: Crane supporting structures, April 2007.
- [5] Katalog proizvoda preduzeća „Vulkan nova d.o.o“, dostupno na stranici www.vulkan-nova.hr.

PRILOZI

IZVJEŠTAJ PRORAČUNA ZA STATIČKI ODREĐEN NOSAČ KRANSKE
STAZE

Design of crane runway girders

Project: Projects

Model: Krnska staza, statički odredjen nosac

Date: 12.3.2020.

DETAILS

Standard Used : CEN* - European Union

Total girder length

40.000 m

The total weight of the beam

7748.1 kg

The cross-sectional weight per meter

193.7 kg/m

Total weight of the beam after 25% reduction in rail section due to wear

7748.1 kg

The cross-sectional weight per meter

193.7 kg/m

DATA FOR NATIONAL ANNEX

CEN* - European Union - Eurocode 3: Design of steel structures - Part 6: Crane supporting structures

Partial Safety Factors

- Resistance of cross-section

 γ_{M0} : 1.00

- Member resistance to stability failure

 γ_{M1} : 1.00

- Weld resistance

 γ_{Mw} : 1.25

- Fatigue stiffness

 $\gamma_{M,f}$: 1.15

- Permanent actions

 γ_G : 1.35

- Variable Actions, Crane

 γ_Q : 1.35

- Variable Actions, Other

 γ_{Qo} : 1.50

- Fatigue actions

 $\gamma_{F,f}$: 1.00

- Combination factor

 ψ : 1.00

Coefficient for shear resistance

 η : 1.20

USED STANDARDS

[1] EN 1993-6:2007/AC:2009-07

Eurocode 3: Design of steel structures - Part 6: Crane supporting structures

[2] EN 1993-1-1:2005/AC:2009-04

Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings

[3] EN 1993-1-5:2006/AC:2009-04

Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-5: Plated structural elements

[4] EN 1993-1-8:2005/AC:2009-07

Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-8: Design of joints

[5] EN 1993-1-9:2005/AC:2009-04

Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-9: Fatigue strength of steel structures

[6] EN 1991-3:2006/AC:2012-12

Eurocode 1: Actions on structures - Part 3: Actions induced by cranes and machinery

[7] EN 1990:2002/A1:2005/AC:2010-04

Eurocode 0: Basis of structural design

GEOMETRY - SUPPORT

Support No.	Location x [m]	Type of Support	Displacement			Rotation			Warping	Release	Support [mm]	
			in X	in Y	in Z	ab. X	ab. Y	ab. Z			Stiffener	Length a
1	0.000	Hinged	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Rigid	
2	8.000	Hinged movable	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Rigid	
3	16.000	Hinged movable	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Rigid	
4	24.000	Hinged movable	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Rigid	
5	32.000	Hinged movable	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Rigid	
6	40.000	Hinged	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Rigid	

GEOMETRY - RELEASES

Support No.	Location x [m]	N-/V-Release			T-/M-Release			Warping
		N	V_y	V_z	M_T	M_y	M_z	
2	8.000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3	16.000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
4	24.000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
5	32.000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

GEOMETRY - STIFFENERS

Span No.	Length L [m]	Number of Int. Panels	Type of Location	
1	8.000	2	Regularly	x[m]: {0.000; 4.000; 8.000}
2	8.000	2	Regularly	x[m]: {0.000; 4.000; 8.000}
3	8.000	2	Regularly	x[m]: {0.000; 4.000; 8.000}
4	8.000	2	Regularly	x[m]: {0.000; 4.000; 8.000}
5	8.000	2	Regularly	x[m]: {0.000; 4.000; 8.000}

MATERIAL

Material Description

Steel S 235

EN 10025-2:2004-11

CROSS-SECTIONS

Girder

: Welded Section IU 600/350/28/8/300/28/0/0

Rail profile

: Rail SA 45 (worn-out)

Cross-section description

: KB(IU+SA) IU 600/350/28/8/300/28/0/0 + SA 45 (worn-out)

25% reduction of the rail section due to wear

:

Consider rail section for the cross-section properties

:

Additional Design

:

Perform fatigue design

:

Project: Projects

Model: Kranska staza, staticki odredjen nosac

Date: 12.3.2020.

CROSS-SECTIONS

Perform weld seam design	:	<input checked="" type="checkbox"/>
Thickness of welds rail/flange	a :	6.0 mm
Thickness of welds upper flange/web	a _o :	As a general rule, the resistance of butt welds welded with full penetration should be equal to that of the weaker of the components connected. This is the case when the weld is performed using filler metals having minimum values of yield strength and tensile strength according to weld metal tests, which are not less than that of the base material.
Thickness of welds lower flange/web	a _u :	As a general rule, the resistance of butt welds welded with full penetration should be equal to that of the weaker of the components connected. This is the case when the weld is performed using filler metals having minimum values of yield strength and tensile strength according to weld metal tests, which are not less than that of the base material.
Intermittent weld seam between rail and flange	:	<input type="checkbox"/>

ACTIONS GENERAL DATA

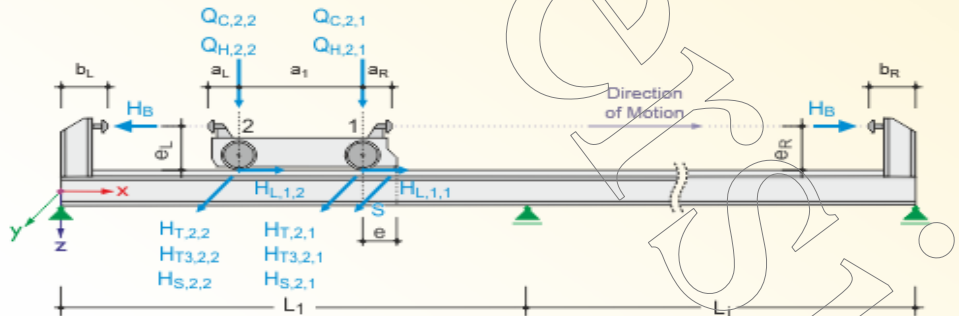
Number of cranes	:	1
Buffer left	:	0.400 m
Buffer right	:	0.400 m
Additional Permanent Loads	g :	0.00 kN/m
Additional Variable Loads	w :	0.00 kN/m
Crane loads at both girders (W _{max} and W _{min})		
Increment		
Increment of load positions	:	0.750 m
Number of generated crane positions	:	104
Number of generated load combinations	:	521

Crane No. 1

CRANE PARAMETERS

Crane description : DEMOD-K-12.5 Vulkan Rijeka	
Dynamic Coefficient for	
- Weight of crane	φ ₁ : 1.100
- Load lifting	φ ₂ : 1.120
- Sudden pull-off weight	φ ₃ : 1.000
- Crane travel	φ ₄ : 1.000
- Driving force	φ ₅ : 1.500
- Buffer force	φ ₇ : 1.250
S-Class	: S3
Crane buffer left	a _L : 0.410 m
Crane buffer right	a _R : 0.410 m
Number of crane axles	: 2
Distances of axles	a ₁ : 0.500 m
Buffer Force (Girder with W _{max})	H _{B,max} : 61.85 kN
Buffer Force (Girder with W _{min})	H _{B,min} : 0.00 kN

GRAPHIC



CRANE LOADS - W-MAX

Axle No.	Vertical Wheel Loads		Horizontal Wheel Loads			Long. Loadings H _L [kN]	Distance e [m]	Skew Force S [kN]
	Q _C [kN]	Q _H [kN]	H _T [kN]	H _S [kN]	H _{T3} [kN]			
1	68.40	59.90	-5.14	26.43	9.94	3.46	0.407	0.00
2	68.40	59.90	5.14	0.00	9.94	3.46		

Project: Projects

Model: Kranska staza, staticki odredjen nosac

Date: 12.3.2020.

■ CRANE LOADS - W-MIN

Axle No.	Vertical Wheel Loads		Horizontal Wheel Loads			Long. Loadings	Distance	Skew Force
	Q_C [kN]	Q_H [kN]	H_T [kN]	H_S [kN]	H_{T3} [kN]	H_L [kN]	e [m]	S [kN]
1	34.60	0.00	-17.70	26.43	9.94	3.46	0.000	0.00
2	34.60	0.00	17.70	0.00	9.94	3.46		

■ DESCRIPTION OF LOAD CASES

No.	LC No.	Description
1	LC1	Self-Weight + Additional Permanent Load
2	LC2	Additional Variable Loads
3	LC3,11...	Q_C
4	LC4,12...	$Q_C \varphi_1$
5	LC5,13...	$Q_C \varphi_4$
6	LC6,14...	$Q_H \max(\varphi_2, \varphi_3)$
7	LC7,15...	$Q_H \varphi_4$
8	LC8,16...	$H_T \varphi_5 + H_L \varphi_5$
9	LC9,17...	$(H_S + S)$
10	LC10,18...	H_{T3}
1	LC835,838	Q_C
2	LC836,839	Q_H
3	LC837,840	$H_S \varphi_7$

■ DESCRIPTION OF LOAD CASES - FATIGUE

No.	LC No.	Description
1	LC1	Self-Weight + Additional Permanent Load
2	LC2,4...	$Q_C (1 + \varphi_1)/2$
3	LC3,5...	$Q_H (1 + \varphi_2)/2$

■ COEFFICIENT OF LOAD CASES

Resistance		
Partial Safety Factors		
Permanent Actions	γ_G	1.350
Variable Actions - Crane	γ_Q	1.350
Variable Actions - Other	γ_{Qo}	1.500
Combination Factor	ψ	1.000
Crane No. 1		
Dynamic Coefficient for Weight of crane	φ_1	1.100
Load lifting	φ_2	1.120
Sudden pull-off weight	φ_3	1.000
Crane travel	φ_4	1.000
Driving force	φ_5	1.500
Fatigue		
Partial Safety Factors		
Permanent Actions	γ_G	1.000
Variable Actions - Crane	γ_Q	1.000
Variable Actions - Other	γ_{Qo}	1.000
Combination Factor	ψ	1.000
Crane No. 1		
Dynamic Coefficient for Weight of crane	φ_1	1.100
Load lifting	φ_2	1.120
Sudden pull-off weight	φ_3	1.000
Crane travel	φ_4	1.000
Driving force	φ_5	1.500
Deformation		
Partial Safety Factors		
Permanent Actions	γ_G	1.000
Variable Actions - Crane	γ_Q	1.000
Variable Actions - Other	γ_{Qo}	1.000
Combination Factor	ψ	1.000
Crane No. 1		
Dynamic Coefficient for Weight of crane	φ_1	1.000
Load lifting	φ_2	1.000
Sudden pull-off weight	φ_3	1.000
Crane travel	φ_4	1.000
Driving force	φ_5	1.000
Support Forces		
Partial Safety Factors		

Project: Projects

Model: Kranska staza, staticki odredjen nosac

Date: 12.3.2020.

COEFFICIENT OF LOAD CASES

Permanent Actions	γ_G	1.000
Variable Actions - Crane	γ_Q	1.000
Variable Actions - Other	γ_{Oo}	1.000
Combination Factor	ψ	1.000
Crane No. 1		
Dynamic Coefficient for Weight of crane	φ_1	1.100
Load lifting	φ_2	1.120
Sudden pull-off weight	φ_3	1.000
Crane travel	φ_4	1.000
Driving force	φ_5	1.500

DESCRIPTION OF LOAD COMBINATIONS

No.	CO No.	Girder	Location of 1st Wheel of Crane [m]			Load Description
			Crane 1	Crane 2	Crane 3	
1	CO1					γ_G LC1
2	CO2	Max	1.310			γ_G (LC1 + LC4) + γ_Q (LC6 + LC8) + γ_{Oo} LC2
3	CO3	Max	1.310			γ_G (LC1 + LC3) + γ_Q LC8 + γ_{Oo} LC2
4	CO4	Max	1.310			γ_G (LC1 + LC5) + γ_Q (LC7 + LC8) + γ_{Oo} LC2
5	CO5	Max	1.310			γ_G (LC1 + LC5) + γ_Q (LC7 + LC9) + γ_{Oo} LC2
6	CO6	Max	1.310			γ_G (LC1 + LC5) + γ_Q (LC7 + LC10)
7	CO7	Max	2.060			γ_G (LC1 + LC12) + γ_Q (LC14 + LC16) + γ_{Oo} LC2
8	CO8	Max	2.060			γ_G (LC1 + LC11) + γ_Q LC16 + γ_{Oo} LC2
9	CO9	Max	2.060			γ_G (LC1 + LC13) + γ_Q (LC15 + LC16) + γ_{Oo} LC2
10	CO10	Max	2.060			γ_G (LC1 + LC13) + γ_Q (LC15 + LC17) + γ_{Oo} LC2
11	CO11	Max	2.060			γ_G (LC1 + LC13) + γ_Q (LC15 + LC18)
12	CO12	Max	2.810			γ_G (LC1 + LC20) + γ_Q (LC22 + LC24) + γ_{Oo} LC2
13	CO13	Max	2.810			γ_G (LC1 + LC19) + γ_Q LC24 + γ_{Oo} LC2
14	CO14	Max	2.810			γ_G (LC1 + LC21) + γ_Q (LC23 + LC24) + γ_{Oo} LC2
15	CO15	Max	2.810			γ_G (LC1 + LC21) + γ_Q (LC23 + LC25) + γ_{Oo} LC2
16	CO16	Max	2.810			γ_G (LC1 + LC21) + γ_Q (LC23 + LC26)
17	CO17	Max	3.560			γ_G (LC1 + LC28) + γ_Q (LC30 + LC32) + γ_{Oo} LC2
18	CO18	Max	3.560			γ_G (LC1 + LC27) + γ_Q LC32 + γ_{Oo} LC2
19	CO19	Max	3.560			γ_G (LC1 + LC29) + γ_Q (LC31 + LC32) + γ_{Oo} LC2
20	CO20	Max	3.560			γ_G (LC1 + LC29) + γ_Q (LC31 + LC33) + γ_{Oo} LC2
21	CO21	Max	3.560			γ_G (LC1 + LC29) + γ_Q (LC31 + LC34)
22	CO22	Max	4.310			γ_G (LC1 + LC36) + γ_Q (LC38 + LC40) + γ_{Oo} LC2
23	CO23	Max	4.310			γ_G (LC1 + LC35) + γ_Q LC40 + γ_{Oo} LC2
24	CO24	Max	4.310			γ_G (LC1 + LC37) + γ_Q (LC39 + LC40) + γ_{Oo} LC2
25	CO25	Max	4.310			γ_G (LC1 + LC37) + γ_Q (LC39 + LC41) + γ_{Oo} LC2
26	CO26	Max	4.310			γ_G (LC1 + LC37) + γ_Q (LC39 + LC42)
27	CO27	Max	5.060			γ_G (LC1 + LC44) + γ_Q (LC46 + LC48) + γ_{Oo} LC2
28	CO28	Max	5.060			γ_G (LC1 + LC43) + γ_Q LC48 + γ_{Oo} LC2
29	CO29	Max	5.060			γ_G (LC1 + LC45) + γ_Q (LC47 + LC48) + γ_{Oo} LC2
30	CO30	Max	5.060			γ_G (LC1 + LC45) + γ_Q (LC47 + LC49) + γ_{Oo} LC2
31	CO31	Max	5.060			γ_G (LC1 + LC45) + γ_Q (LC47 + LC50)
32	CO32	Max	5.810			γ_G (LC1 + LC52) + γ_Q (LC54 + LC56) + γ_{Oo} LC2
33	CO33	Max	5.810			γ_G (LC1 + LC51) + γ_Q LC56 + γ_{Oo} LC2
34	CO34	Max	5.810			γ_G (LC1 + LC53) + γ_Q (LC55 + LC56) + γ_{Oo} LC2
35	CO35	Max	5.810			γ_G (LC1 + LC53) + γ_Q (LC55 + LC57) + γ_{Oo} LC2
36	CO36	Max	5.810			γ_G (LC1 + LC53) + γ_Q (LC55 + LC58)
37	CO37	Max	6.560			γ_G (LC1 + LC60) + γ_Q (LC62 + LC64) + γ_{Oo} LC2
38	CO38	Max	6.560			γ_G (LC1 + LC59) + γ_Q LC64 + γ_{Oo} LC2
39	CO39	Max	6.560			γ_G (LC1 + LC61) + γ_Q (LC63 + LC64) + γ_{Oo} LC2
40	CO40	Max	6.560			γ_G (LC1 + LC61) + γ_Q (LC63 + LC65) + γ_{Oo} LC2
41	CO41	Max	6.560			γ_G (LC1 + LC61) + γ_Q (LC63 + LC66)
42	CO42	Max	7.310			γ_G (LC1 + LC68) + γ_Q (LC70 + LC72) + γ_{Oo} LC2
43	CO43	Max	7.310			γ_G (LC1 + LC67) + γ_Q LC72 + γ_{Oo} LC2
44	CO44	Max	7.310			γ_G (LC1 + LC69) + γ_Q (LC71 + LC72) + γ_{Oo} LC2
45	CO45	Max	7.310			γ_G (LC1 + LC69) + γ_Q (LC71 + LC73) + γ_{Oo} LC2
46	CO46	Max	7.310			γ_G (LC1 + LC69) + γ_Q (LC71 + LC74)
47	CO47	Max	8.060			γ_G (LC1 + LC76) + γ_Q (LC78 + LC80) + γ_{Oo} LC2
48	CO48	Max	8.060			γ_G (LC1 + LC75) + γ_Q LC80 + γ_{Oo} LC2
49	CO49	Max	8.060			γ_G (LC1 + LC77) + γ_Q (LC79 + LC80) + γ_{Oo} LC2
50	CO50	Max	8.060			γ_G (LC1 + LC77) + γ_Q (LC79 + LC81) + γ_{Oo} LC2
51	CO51	Max	8.060			γ_G (LC1 + LC77) + γ_Q (LC79 + LC82)
52	CO52	Max	8.810			γ_G (LC1 + LC84) + γ_Q (LC86 + LC88) + γ_{Oo} LC2
53	CO53	Max	8.810			γ_G (LC1 + LC83) + γ_Q LC88 + γ_{Oo} LC2
54	CO54	Max	8.810			γ_G (LC1 + LC85) + γ_Q (LC87 + LC88) + γ_{Oo} LC2
55	CO55	Max	8.810			γ_G (LC1 + LC85) + γ_Q (LC87 + LC89) + γ_{Oo} LC2
56	CO56	Max	8.810			γ_G (LC1 + LC85) + γ_Q (LC87 + LC90)
57	CO57	Max	9.560			γ_G (LC1 + LC92) + γ_Q (LC94 + LC96) + γ_{Oo} LC2
58	CO58	Max	9.560			γ_G (LC1 + LC91) + γ_Q LC96 + γ_{Oo} LC2
59	CO59	Max	9.560			γ_G (LC1 + LC93) + γ_Q (LC95 + LC96) + γ_{Oo} LC2
60	CO60	Max	9.560			γ_G (LC1 + LC93) + γ_Q (LC95 + LC97) + γ_{Oo} LC2
61	CO61	Max	9.560			γ_G (LC1 + LC93) + γ_Q (LC95 + LC98)

Project: Projects

Model: Kranska staza, statički odredjen nosac

Date: 12.3.2020.

DESCRIPTION OF LOAD COMBINATIONS

No.	CO No.	Girder	Location of 1st Wheel of Crane [m]			Load Description
			Crane 1	Crane 2	Crane 3	
62	CO62	Max	10.310			$\gamma_G (LC1 + LC100) + \gamma_Q (LC102 + LC104) + \gamma_{\text{ao}} LC2$
63	CO63	Max	10.310			$\gamma_G (LC1 + LC99) + \gamma_Q LC104 + \gamma_{\text{ao}} LC2$
64	CO64	Max	10.310			$\gamma_G (LC1 + LC101) + \gamma_Q (LC103 + LC104) + \gamma_{\text{ao}} LC2$
65	CO65	Max	10.310			$\gamma_G (LC1 + LC101) + \gamma_Q (LC103 + LC105) + \gamma_{\text{ao}} LC2$
66	CO66	Max	10.310			$\gamma_G (LC1 + LC101) + \gamma_Q (LC103 + LC106)$
67	CO67	Max	11.060			$\gamma_G (LC1 + LC108) + \gamma_Q (LC110 + LC112) + \gamma_{\text{ao}} LC2$
68	CO68	Max	11.060			$\gamma_G (LC1 + LC107) + \gamma_Q LC112 + \gamma_{\text{ao}} LC2$
69	CO69	Max	11.060			$\gamma_G (LC1 + LC109) + \gamma_Q (LC111 + LC112) + \gamma_{\text{ao}} LC2$
70	CO70	Max	11.060			$\gamma_G (LC1 + LC109) + \gamma_Q (LC111 + LC113) + \gamma_{\text{ao}} LC2$
71	CO71	Max	11.060			$\gamma_G (LC1 + LC109) + \gamma_Q (LC111 + LC114)$
72	CO72	Max	11.810			$\gamma_G (LC1 + LC116) + \gamma_Q (LC118 + LC120) + \gamma_{\text{ao}} LC2$
73	CO73	Max	11.810			$\gamma_G (LC1 + LC115) + \gamma_Q LC120 + \gamma_{\text{ao}} LC2$
74	CO74	Max	11.810			$\gamma_G (LC1 + LC117) + \gamma_Q (LC119 + LC120) + \gamma_{\text{ao}} LC2$
75	CO75	Max	11.810			$\gamma_G (LC1 + LC117) + \gamma_Q (LC119 + LC121) + \gamma_{\text{ao}} LC2$
76	CO76	Max	11.810			$\gamma_G (LC1 + LC117) + \gamma_Q (LC119 + LC122)$
77	CO77	Max	12.560			$\gamma_G (LC1 + LC124) + \gamma_Q (LC126 + LC128) + \gamma_{\text{ao}} LC2$
78	CO78	Max	12.560			$\gamma_G (LC1 + LC123) + \gamma_Q LC128 + \gamma_{\text{ao}} LC2$
79	CO79	Max	12.560			$\gamma_G (LC1 + LC125) + \gamma_Q (LC127 + LC128) + \gamma_{\text{ao}} LC2$
80	CO80	Max	12.560			$\gamma_G (LC1 + LC125) + \gamma_Q (LC127 + LC129) + \gamma_{\text{ao}} LC2$
81	CO81	Max	12.560			$\gamma_G (LC1 + LC125) + \gamma_Q (LC127 + LC130)$
82	CO82	Max	13.310			$\gamma_G (LC1 + LC132) + \gamma_Q (LC134 + LC136) + \gamma_{\text{ao}} LC2$
83	CO83	Max	13.310			$\gamma_G (LC1 + LC131) + \gamma_Q LC136 + \gamma_{\text{ao}} LC2$
84	CO84	Max	13.310			$\gamma_G (LC1 + LC133) + \gamma_Q (LC135 + LC136) + \gamma_{\text{ao}} LC2$
85	CO85	Max	13.310			$\gamma_G (LC1 + LC133) + \gamma_Q (LC135 + LC137) + \gamma_{\text{ao}} LC2$
86	CO86	Max	13.310			$\gamma_G (LC1 + LC133) + \gamma_Q (LC135 + LC138)$
87	CO87	Max	14.060			$\gamma_G (LC1 + LC140) + \gamma_Q (LC142 + LC144) + \gamma_{\text{ao}} LC2$
88	CO88	Max	14.060			$\gamma_G (LC1 + LC139) + \gamma_Q LC144 + \gamma_{\text{ao}} LC2$
89	CO89	Max	14.060			$\gamma_G (LC1 + LC141) + \gamma_Q (LC143 + LC144) + \gamma_{\text{ao}} LC2$
90	CO90	Max	14.060			$\gamma_G (LC1 + LC141) + \gamma_Q (LC143 + LC145) + \gamma_{\text{ao}} LC2$
91	CO91	Max	14.060			$\gamma_G (LC1 + LC141) + \gamma_Q (LC143 + LC146)$
92	CO92	Max	14.810			$\gamma_G (LC1 + LC148) + \gamma_Q (LC150 + LC152) + \gamma_{\text{ao}} LC2$
93	CO93	Max	14.810			$\gamma_G (LC1 + LC147) + \gamma_Q LC152 + \gamma_{\text{ao}} LC2$
94	CO94	Max	14.810			$\gamma_G (LC1 + LC149) + \gamma_Q (LC151 + LC152) + \gamma_{\text{ao}} LC2$
95	CO95	Max	14.810			$\gamma_G (LC1 + LC149) + \gamma_Q (LC151 + LC153) + \gamma_{\text{ao}} LC2$
96	CO96	Max	14.810			$\gamma_G (LC1 + LC149) + \gamma_Q (LC151 + LC154)$
97	CO97	Max	15.560			$\gamma_G (LC1 + LC156) + \gamma_Q (LC158 + LC160) + \gamma_{\text{ao}} LC2$
98	CO98	Max	15.560			$\gamma_G (LC1 + LC155) + \gamma_Q LC160 + \gamma_{\text{ao}} LC2$
99	CO99	Max	15.560			$\gamma_G (LC1 + LC157) + \gamma_Q (LC159 + LC160) + \gamma_{\text{ao}} LC2$
100	CO100	Max	15.560			$\gamma_G (LC1 + LC157) + \gamma_Q (LC159 + LC161) + \gamma_{\text{ao}} LC2$
101	CO101	Max	15.560			$\gamma_G (LC1 + LC157) + \gamma_Q (LC159 + LC162)$
102	CO102	Max	16.310			$\gamma_G (LC1 + LC164) + \gamma_Q (LC166 + LC168) + \gamma_{\text{ao}} LC2$
103	CO103	Max	16.310			$\gamma_G (LC1 + LC163) + \gamma_Q LC168 + \gamma_{\text{ao}} LC2$
104	CO104	Max	16.310			$\gamma_G (LC1 + LC165) + \gamma_Q (LC167 + LC168) + \gamma_{\text{ao}} LC2$
105	CO105	Max	16.310			$\gamma_G (LC1 + LC165) + \gamma_Q (LC167 + LC169) + \gamma_{\text{ao}} LC2$
106	CO106	Max	16.310			$\gamma_G (LC1 + LC165) + \gamma_Q (LC167 + LC170)$
107	CO107	Max	17.060			$\gamma_G (LC1 + LC172) + \gamma_Q (LC174 + LC176) + \gamma_{\text{ao}} LC2$
108	CO108	Max	17.060			$\gamma_G (LC1 + LC171) + \gamma_Q LC176 + \gamma_{\text{ao}} LC2$
109	CO109	Max	17.060			$\gamma_G (LC1 + LC173) + \gamma_Q (LC175 + LC176) + \gamma_{\text{ao}} LC2$
110	CO110	Max	17.060			$\gamma_G (LC1 + LC173) + \gamma_Q (LC175 + LC177) + \gamma_{\text{ao}} LC2$
111	CO111	Max	17.060			$\gamma_G (LC1 + LC173) + \gamma_Q (LC175 + LC178)$
112	CO112	Max	17.810			$\gamma_G (LC1 + LC180) + \gamma_Q (LC182 + LC184) + \gamma_{\text{ao}} LC2$
113	CO113	Max	17.810			$\gamma_G (LC1 + LC179) + \gamma_Q LC184 + \gamma_{\text{ao}} LC2$
114	CO114	Max	17.810			$\gamma_G (LC1 + LC181) + \gamma_Q (LC183 + LC184) + \gamma_{\text{ao}} LC2$
115	CO115	Max	17.810			$\gamma_G (LC1 + LC181) + \gamma_Q (LC183 + LC185) + \gamma_{\text{ao}} LC2$
116	CO116	Max	17.810			$\gamma_G (LC1 + LC181) + \gamma_Q (LC183 + LC186)$
117	CO117	Max	18.560			$\gamma_G (LC1 + LC188) + \gamma_Q (LC190 + LC192) + \gamma_{\text{ao}} LC2$
118	CO118	Max	18.560			$\gamma_G (LC1 + LC187) + \gamma_Q LC192 + \gamma_{\text{ao}} LC2$
119	CO119	Max	18.560			$\gamma_G (LC1 + LC189) + \gamma_Q (LC191 + LC192) + \gamma_{\text{ao}} LC2$
120	CO120	Max	18.560			$\gamma_G (LC1 + LC189) + \gamma_Q (LC191 + LC193) + \gamma_{\text{ao}} LC2$
121	CO121	Max	18.560			$\gamma_G (LC1 + LC189) + \gamma_Q (LC191 + LC194)$
122	CO122	Max	19.310			$\gamma_G (LC1 + LC196) + \gamma_Q (LC198 + LC200) + \gamma_{\text{ao}} LC2$
123	CO123	Max	19.310			$\gamma_G (LC1 + LC195) + \gamma_Q LC200 + \gamma_{\text{ao}} LC2$
124	CO124	Max	19.310			$\gamma_G (LC1 + LC197) + \gamma_Q (LC199 + LC200) + \gamma_{\text{ao}} LC2$
125	CO125	Max	19.310			$\gamma_G (LC1 + LC197) + \gamma_Q (LC199 + LC201) + \gamma_{\text{ao}} LC2$
126	CO126	Max	19.310			$\gamma_G (LC1 + LC197) + \gamma_Q (LC199 + LC202)$
127	CO127	Max	20.060			$\gamma_G (LC1 + LC204) + \gamma_Q (LC206 + LC208) + \gamma_{\text{ao}} LC2$
128	CO128	Max	20.060			$\gamma_G (LC1 + LC203) + \gamma_Q LC208 + \gamma_{\text{ao}} LC2$
129	CO129	Max	20.060			$\gamma_G (LC1 + LC205) + \gamma_Q (LC207 + LC208) + \gamma_{\text{ao}} LC2$
130	CO130	Max	20.060			$\gamma_G (LC1 + LC205) + \gamma_Q (LC207 + LC209) + \gamma_{\text{ao}} LC2$
131	CO131	Max	20.060			$\gamma_G (LC1 + LC205) + \gamma_Q (LC207 + LC210)$
132	CO132	Max	20.810			$\gamma_G (LC1 + LC212) + \gamma_Q (LC214 + LC216) + \gamma_{\text{ao}} LC2$
133	CO133	Max	20.810			$\gamma_G (LC1 + LC211) + \gamma_Q LC216 + \gamma_{\text{ao}} LC2$
134	CO134	Max	20.810			$\gamma_G (LC1 + LC213) + \gamma_Q (LC215 + LC216) + \gamma_{\text{ao}} LC2$
135	CO135	Max	20.810			$\gamma_G (LC1 + LC213) + \gamma_Q (LC215 + LC217) + \gamma_{\text{ao}} LC2$
136	CO136	Max	20.810			$\gamma_G (LC1 + LC213) + \gamma_Q (LC215 + LC218)$
137	CO137	Max	21.560			$\gamma_G (LC1 + LC220) + \gamma_Q (LC222 + LC224) + \gamma_{\text{ao}} LC2$
138	CO138	Max	21.560			$\gamma_G (LC1 + LC219) + \gamma_Q LC224 + \gamma_{\text{ao}} LC2$

Project: Projects

Model: Kranska staza, statički odredjen nosac

Date: 12.3.2020.

DESCRIPTION OF LOAD COMBINATIONS

No.	CO No.	Girder	Location of 1st Wheel of Crane [m]			Load Description
			Crane 1	Crane 2	Crane 3	
139	CO139	Max	21.560			$\gamma_G (LC1 + LC221) + \gamma_Q (LC223 + LC224) + \gamma_{Q_{00}} LC2$
140	CO140	Max	21.560			$\gamma_G (LC1 + LC221) + \gamma_Q (LC223 + LC225) + \gamma_{Q_{00}} LC2$
141	CO141	Max	21.560			$\gamma_G (LC1 + LC221) + \gamma_Q (LC223 + LC226)$
142	CO142	Max	22.310			$\gamma_G (LC1 + LC228) + \gamma_Q (LC230 + LC232) + \gamma_{Q_{00}} LC2$
143	CO143	Max	22.310			$\gamma_G (LC1 + LC227) + \gamma_Q LC232 + \gamma_{Q_{00}} LC2$
144	CO144	Max	22.310			$\gamma_G (LC1 + LC229) + \gamma_Q (LC231 + LC232) + \gamma_{Q_{00}} LC2$
145	CO145	Max	22.310			$\gamma_G (LC1 + LC229) + \gamma_Q (LC231 + LC233) + \gamma_{Q_{00}} LC2$
146	CO146	Max	22.310			$\gamma_G (LC1 + LC229) + \gamma_Q (LC231 + LC234)$
147	CO147	Max	23.060			$\gamma_G (LC1 + LC236) + \gamma_Q (LC238 + LC240) + \gamma_{Q_{00}} LC2$
148	CO148	Max	23.060			$\gamma_G (LC1 + LC235) + \gamma_Q LC240 + \gamma_{Q_{00}} LC2$
149	CO149	Max	23.060			$\gamma_G (LC1 + LC237) + \gamma_Q (LC239 + LC240) + \gamma_{Q_{00}} LC2$
150	CO150	Max	23.060			$\gamma_G (LC1 + LC237) + \gamma_Q (LC239 + LC241) + \gamma_{Q_{00}} LC2$
151	CO151	Max	23.060			$\gamma_G (LC1 + LC237) + \gamma_Q (LC239 + LC242)$
152	CO152	Max	23.810			$\gamma_G (LC1 + LC244) + \gamma_Q (LC246 + LC248) + \gamma_{Q_{00}} LC2$
153	CO153	Max	23.810			$\gamma_G (LC1 + LC243) + \gamma_Q LC248 + \gamma_{Q_{00}} LC2$
154	CO154	Max	23.810			$\gamma_G (LC1 + LC245) + \gamma_Q (LC247 + LC248) + \gamma_{Q_{00}} LC2$
155	CO155	Max	23.810			$\gamma_G (LC1 + LC245) + \gamma_Q (LC247 + LC249) + \gamma_{Q_{00}} LC2$
156	CO156	Max	23.810			$\gamma_G (LC1 + LC245) + \gamma_Q (LC247 + LC250)$
157	CO157	Max	24.560			$\gamma_G (LC1 + LC252) + \gamma_Q (LC254 + LC256) + \gamma_{Q_{00}} LC2$
158	CO158	Max	24.560			$\gamma_G (LC1 + LC251) + \gamma_Q LC256 + \gamma_{Q_{00}} LC2$
159	CO159	Max	24.560			$\gamma_G (LC1 + LC253) + \gamma_Q (LC255 + LC256) + \gamma_{Q_{00}} LC2$
160	CO160	Max	24.560			$\gamma_G (LC1 + LC253) + \gamma_Q (LC255 + LC257) + \gamma_{Q_{00}} LC2$
161	CO161	Max	24.560			$\gamma_G (LC1 + LC253) + \gamma_Q (LC255 + LC258)$
162	CO162	Max	25.310			$\gamma_G (LC1 + LC260) + \gamma_Q (LC262 + LC264) + \gamma_{Q_{00}} LC2$
163	CO163	Max	25.310			$\gamma_G (LC1 + LC259) + \gamma_Q LC264 + \gamma_{Q_{00}} LC2$
164	CO164	Max	25.310			$\gamma_G (LC1 + LC261) + \gamma_Q (LC263 + LC264) + \gamma_{Q_{00}} LC2$
165	CO165	Max	25.310			$\gamma_G (LC1 + LC261) + \gamma_Q (LC263 + LC265) + \gamma_{Q_{00}} LC2$
166	CO166	Max	25.310			$\gamma_G (LC1 + LC261) + \gamma_Q (LC263 + LC266)$
167	CO167	Max	26.060			$\gamma_G (LC1 + LC268) + \gamma_Q (LC270 + LC272) + \gamma_{Q_{00}} LC2$
168	CO168	Max	26.060			$\gamma_G (LC1 + LC267) + \gamma_Q LC272 + \gamma_{Q_{00}} LC2$
169	CO169	Max	26.060			$\gamma_G (LC1 + LC269) + \gamma_Q (LC271 + LC272) + \gamma_{Q_{00}} LC2$
170	CO170	Max	26.060			$\gamma_G (LC1 + LC269) + \gamma_Q (LC271 + LC273) + \gamma_{Q_{00}} LC2$
171	CO171	Max	26.060			$\gamma_G (LC1 + LC269) + \gamma_Q (LC271 + LC274)$
172	CO172	Max	26.810			$\gamma_G (LC1 + LC276) + \gamma_Q (LC278 + LC280) + \gamma_{Q_{00}} LC2$
173	CO173	Max	26.810			$\gamma_G (LC1 + LC275) + \gamma_Q LC280 + \gamma_{Q_{00}} LC2$
174	CO174	Max	26.810			$\gamma_G (LC1 + LC277) + \gamma_Q (LC279 + LC280) + \gamma_{Q_{00}} LC2$
175	CO175	Max	26.810			$\gamma_G (LC1 + LC277) + \gamma_Q (LC279 + LC281) + \gamma_{Q_{00}} LC2$
176	CO176	Max	26.810			$\gamma_G (LC1 + LC277) + \gamma_Q (LC279 + LC282)$
177	CO177	Max	27.560			$\gamma_G (LC1 + LC284) + \gamma_Q (LC286 + LC288) + \gamma_{Q_{00}} LC2$
178	CO178	Max	27.560			$\gamma_G (LC1 + LC283) + \gamma_Q LC288 + \gamma_{Q_{00}} LC2$
179	CO179	Max	27.560			$\gamma_G (LC1 + LC285) + \gamma_Q (LC287 + LC288) + \gamma_{Q_{00}} LC2$
180	CO180	Max	27.560			$\gamma_G (LC1 + LC285) + \gamma_Q (LC287 + LC289) + \gamma_{Q_{00}} LC2$
181	CO181	Max	27.560			$\gamma_G (LC1 + LC285) + \gamma_Q (LC287 + LC290)$
182	CO182	Max	28.310			$\gamma_G (LC1 + LC292) + \gamma_Q (LC294 + LC296) + \gamma_{Q_{00}} LC2$
183	CO183	Max	28.310			$\gamma_G (LC1 + LC291) + \gamma_Q LC296 + \gamma_{Q_{00}} LC2$
184	CO184	Max	28.310			$\gamma_G (LC1 + LC293) + \gamma_Q (LC295 + LC296) + \gamma_{Q_{00}} LC2$
185	CO185	Max	28.310			$\gamma_G (LC1 + LC293) + \gamma_Q (LC295 + LC297) + \gamma_{Q_{00}} LC2$
186	CO186	Max	28.310			$\gamma_G (LC1 + LC293) + \gamma_Q (LC295 + LC298)$
187	CO187	Max	29.060			$\gamma_G (LC1 + LC300) + \gamma_Q (LC302 + LC304) + \gamma_{Q_{00}} LC2$
188	CO188	Max	29.060			$\gamma_G (LC1 + LC299) + \gamma_Q LC304 + \gamma_{Q_{00}} LC2$
189	CO189	Max	29.060			$\gamma_G (LC1 + LC301) + \gamma_Q (LC303 + LC304) + \gamma_{Q_{00}} LC2$
190	CO190	Max	29.060			$\gamma_G (LC1 + LC301) + \gamma_Q (LC303 + LC305) + \gamma_{Q_{00}} LC2$
191	CO191	Max	29.060			$\gamma_G (LC1 + LC301) + \gamma_Q (LC303 + LC306)$
192	CO192	Max	29.810			$\gamma_G (LC1 + LC308) + \gamma_Q (LC310 + LC312) + \gamma_{Q_{00}} LC2$
193	CO193	Max	29.810			$\gamma_G (LC1 + LC307) + \gamma_Q LC312 + \gamma_{Q_{00}} LC2$
194	CO194	Max	29.810			$\gamma_G (LC1 + LC309) + \gamma_Q (LC311 + LC312) + \gamma_{Q_{00}} LC2$
195	CO195	Max	29.810			$\gamma_G (LC1 + LC309) + \gamma_Q (LC311 + LC313) + \gamma_{Q_{00}} LC2$
196	CO196	Max	29.810			$\gamma_G (LC1 + LC309) + \gamma_Q (LC311 + LC314)$
197	CO197	Max	30.560			$\gamma_G (LC1 + LC316) + \gamma_Q (LC318 + LC320) + \gamma_{Q_{00}} LC2$
198	CO198	Max	30.560			$\gamma_G (LC1 + LC315) + \gamma_Q LC320 + \gamma_{Q_{00}} LC2$
199	CO199	Max	30.560			$\gamma_G (LC1 + LC317) + \gamma_Q (LC319 + LC320) + \gamma_{Q_{00}} LC2$
200	CO200	Max	30.560			$\gamma_G (LC1 + LC317) + \gamma_Q (LC319 + LC321) + \gamma_{Q_{00}} LC2$
201	CO201	Max	30.560			$\gamma_G (LC1 + LC317) + \gamma_Q (LC319 + LC322)$
202	CO202	Max	31.310			$\gamma_G (LC1 + LC324) + \gamma_Q (LC326 + LC328) + \gamma_{Q_{00}} LC2$
203	CO203	Max	31.310			$\gamma_G (LC1 + LC323) + \gamma_Q LC328 + \gamma_{Q_{00}} LC2$
204	CO204	Max	31.310			$\gamma_G (LC1 + LC325) + \gamma_Q (LC327 + LC328) + \gamma_{Q_{00}} LC2$
205	CO205	Max	31.310			$\gamma_G (LC1 + LC325) + \gamma_Q (LC327 + LC329) + \gamma_{Q_{00}} LC2$
206	CO206	Max	31.310			$\gamma_G (LC1 + LC325) + \gamma_Q (LC327 + LC330)$
207	CO207	Max	32.060			$\gamma_G (LC1 + LC332) + \gamma_Q (LC334 + LC336) + \gamma_{Q_{00}} LC2$
208	CO208	Max	32.060			$\gamma_G (LC1 + LC331) + \gamma_Q LC336 + \gamma_{Q_{00}} LC2$
209	CO209	Max	32.060			$\gamma_G (LC1 + LC333) + \gamma_Q (LC335 + LC336) + \gamma_{Q_{00}} LC2$
210	CO210	Max	32.060			$\gamma_G (LC1 + LC333) + \gamma_Q (LC335 + LC337) + \gamma_{Q_{00}} LC2$
211	CO211	Max	32.060			$\gamma_G (LC1 + LC333) + \gamma_Q (LC335 + LC338)$
212	CO212	Max	32.810			$\gamma_G (LC1 + LC340) + \gamma_Q (LC342 + LC344) + \gamma_{Q_{00}} LC2$
213	CO213	Max	32.810			$\gamma_G (LC1 + LC339) + \gamma_Q LC344 + \gamma_{Q_{00}} LC2$
214	CO214	Max	32.810			$\gamma_G (LC1 + LC341) + \gamma_Q (LC343 + LC344) + \gamma_{Q_{00}} LC2$
215	CO215	Max	32.810			$\gamma_G (LC1 + LC341) + \gamma_Q (LC343 + LC345) + \gamma_{Q_{00}} LC2$

Project: Projects

Model: Kranska staza, staticki odredjen nosac

Date: 12.3.2020.

DESCRIPTION OF LOAD COMBINATIONS

No.	CO No.	Girder	Location of 1st Wheel of Crane [m]			Load Description
			Crane 1	Crane 2	Crane 3	
216	CO216	Max	32.810			$\gamma_G (LC1 + LC341) + \gamma_Q (LC343 + LC346)$
217	CO217	Max	33.560			$\gamma_G (LC1 + LC348) + \gamma_Q (LC350 + LC352) + \gamma_{\text{ao}} LC2$
218	CO218	Max	33.560			$\gamma_G (LC1 + LC347) + \gamma_Q LC352 + \gamma_{\text{ao}} LC2$
219	CO219	Max	33.560			$\gamma_G (LC1 + LC349) + \gamma_Q (LC351 + LC352) + \gamma_{\text{ao}} LC2$
220	CO220	Max	33.560			$\gamma_G (LC1 + LC349) + \gamma_Q (LC351 + LC353) + \gamma_{\text{ao}} LC2$
221	CO221	Max	33.560			$\gamma_G (LC1 + LC349) + \gamma_Q (LC351 + LC354)$
222	CO222	Max	34.310			$\gamma_G (LC1 + LC356) + \gamma_Q (LC358 + LC360) + \gamma_{\text{ao}} LC2$
223	CO223	Max	34.310			$\gamma_G (LC1 + LC355) + \gamma_Q LC360 + \gamma_{\text{ao}} LC2$
224	CO224	Max	34.310			$\gamma_G (LC1 + LC357) + \gamma_Q (LC359 + LC360) + \gamma_{\text{ao}} LC2$
225	CO225	Max	34.310			$\gamma_G (LC1 + LC357) + \gamma_Q (LC359 + LC361) + \gamma_{\text{ao}} LC2$
226	CO226	Max	34.310			$\gamma_G (LC1 + LC357) + \gamma_Q (LC359 + LC362)$
227	CO227	Max	35.060			$\gamma_G (LC1 + LC364) + \gamma_Q (LC366 + LC368) + \gamma_{\text{ao}} LC2$
228	CO228	Max	35.060			$\gamma_G (LC1 + LC363) + \gamma_Q LC368 + \gamma_{\text{ao}} LC2$
229	CO229	Max	35.060			$\gamma_G (LC1 + LC365) + \gamma_Q (LC367 + LC368) + \gamma_{\text{ao}} LC2$
230	CO230	Max	35.060			$\gamma_G (LC1 + LC365) + \gamma_Q (LC367 + LC369) + \gamma_{\text{ao}} LC2$
231	CO231	Max	35.060			$\gamma_G (LC1 + LC365) + \gamma_Q (LC367 + LC370)$
232	CO232	Max	35.810			$\gamma_G (LC1 + LC372) + \gamma_Q (LC374 + LC376) + \gamma_{\text{ao}} LC2$
233	CO233	Max	35.810			$\gamma_G (LC1 + LC371) + \gamma_Q LC376 + \gamma_{\text{ao}} LC2$
234	CO234	Max	35.810			$\gamma_G (LC1 + LC373) + \gamma_Q (LC375 + LC376) + \gamma_{\text{ao}} LC2$
235	CO235	Max	35.810			$\gamma_G (LC1 + LC373) + \gamma_Q (LC375 + LC377) + \gamma_{\text{ao}} LC2$
236	CO236	Max	35.810			$\gamma_G (LC1 + LC373) + \gamma_Q (LC375 + LC378)$
237	CO237	Max	36.560			$\gamma_G (LC1 + LC380) + \gamma_Q (LC382 + LC384) + \gamma_{\text{ao}} LC2$
238	CO238	Max	36.560			$\gamma_G (LC1 + LC379) + \gamma_Q LC384 + \gamma_{\text{ao}} LC2$
239	CO239	Max	36.560			$\gamma_G (LC1 + LC381) + \gamma_Q (LC383 + LC384) + \gamma_{\text{ao}} LC2$
240	CO240	Max	36.560			$\gamma_G (LC1 + LC381) + \gamma_Q (LC383 + LC385) + \gamma_{\text{ao}} LC2$
241	CO241	Max	36.560			$\gamma_G (LC1 + LC381) + \gamma_Q (LC383 + LC386)$
242	CO242	Max	37.310			$\gamma_G (LC1 + LC388) + \gamma_Q (LC390 + LC392) + \gamma_{\text{ao}} LC2$
243	CO243	Max	37.310			$\gamma_G (LC1 + LC387) + \gamma_Q LC392 + \gamma_{\text{ao}} LC2$
244	CO244	Max	37.310			$\gamma_G (LC1 + LC389) + \gamma_Q (LC391 + LC392) + \gamma_{\text{ao}} LC2$
245	CO245	Max	37.310			$\gamma_G (LC1 + LC389) + \gamma_Q (LC391 + LC393) + \gamma_{\text{ao}} LC2$
246	CO246	Max	37.310			$\gamma_G (LC1 + LC389) + \gamma_Q (LC391 + LC394)$
247	CO247	Max	38.060			$\gamma_G (LC1 + LC396) + \gamma_Q (LC398 + LC400) + \gamma_{\text{ao}} LC2$
248	CO248	Max	38.060			$\gamma_G (LC1 + LC395) + \gamma_Q LC400 + \gamma_{\text{ao}} LC2$
249	CO249	Max	38.060			$\gamma_G (LC1 + LC397) + \gamma_Q (LC399 + LC400) + \gamma_{\text{ao}} LC2$
250	CO250	Max	38.060			$\gamma_G (LC1 + LC397) + \gamma_Q (LC399 + LC401) + \gamma_{\text{ao}} LC2$
251	CO251	Max	38.060			$\gamma_G (LC1 + LC397) + \gamma_Q (LC399 + LC402)$
252	CO252	Max	38.810			$\gamma_G (LC1 + LC404) + \gamma_Q (LC406 + LC408) + \gamma_{\text{ao}} LC2$
253	CO253	Max	38.810			$\gamma_G (LC1 + LC403) + \gamma_Q LC408 + \gamma_{\text{ao}} LC2$
254	CO254	Max	38.810			$\gamma_G (LC1 + LC405) + \gamma_Q (LC407 + LC408) + \gamma_{\text{ao}} LC2$
255	CO255	Max	38.810			$\gamma_G (LC1 + LC405) + \gamma_Q (LC407 + LC409) + \gamma_{\text{ao}} LC2$
256	CO256	Max	38.810			$\gamma_G (LC1 + LC405) + \gamma_Q (LC407 + LC410)$
257	CO257	Max	39.190			$\gamma_G (LC1 + LC412) + \gamma_Q (LC414 + LC416) + \gamma_{\text{ao}} LC2$
258	CO258	Max	39.190			$\gamma_G (LC1 + LC411) + \gamma_Q LC416 + \gamma_{\text{ao}} LC2$
259	CO259	Max	39.190			$\gamma_G (LC1 + LC413) + \gamma_Q (LC415 + LC416) + \gamma_{\text{ao}} LC2$
260	CO260	Max	39.190			$\gamma_G (LC1 + LC413) + \gamma_Q (LC415 + LC417) + \gamma_{\text{ao}} LC2$
261	CO261	Max	39.190			$\gamma_G (LC1 + LC413) + \gamma_Q (LC415 + LC418)$
262	CO262	Min	1.310			$\gamma_G (LC1 + LC420) + \gamma_Q (LC422 + LC424) + \gamma_{\text{ao}} LC2$
263	CO263	Min	1.310			$\gamma_G (LC1 + LC419) + \gamma_Q LC424 + \gamma_{\text{ao}} LC2$
264	CO264	Min	1.310			$\gamma_G (LC1 + LC421) + \gamma_Q (LC423 + LC424) + \gamma_{\text{ao}} LC2$
265	CO265	Min	1.310			$\gamma_G (LC1 + LC421) + \gamma_Q (LC423 + LC425) + \gamma_{\text{ao}} LC2$
266	CO266	Min	1.310			$\gamma_G (LC1 + LC421) + \gamma_Q (LC423 + LC426)$
267	CO267	Min	2.060			$\gamma_G (LC1 + LC428) + \gamma_Q (LC430 + LC432) + \gamma_{\text{ao}} LC2$
268	CO268	Min	2.060			$\gamma_G (LC1 + LC427) + \gamma_Q LC432 + \gamma_{\text{ao}} LC2$
269	CO269	Min	2.060			$\gamma_G (LC1 + LC429) + \gamma_Q (LC431 + LC432) + \gamma_{\text{ao}} LC2$
270	CO270	Min	2.060			$\gamma_G (LC1 + LC429) + \gamma_Q (LC431 + LC433) + \gamma_{\text{ao}} LC2$
271	CO271	Min	2.060			$\gamma_G (LC1 + LC429) + \gamma_Q (LC431 + LC434)$
272	CO272	Min	2.810			$\gamma_G (LC1 + LC436) + \gamma_Q (LC438 + LC440) + \gamma_{\text{ao}} LC2$
273	CO273	Min	2.810			$\gamma_G (LC1 + LC435) + \gamma_Q LC440 + \gamma_{\text{ao}} LC2$
274	CO274	Min	2.810			$\gamma_G (LC1 + LC437) + \gamma_Q (LC439 + LC440) + \gamma_{\text{ao}} LC2$
275	CO275	Min	2.810			$\gamma_G (LC1 + LC437) + \gamma_Q (LC439 + LC441) + \gamma_{\text{ao}} LC2$
276	CO276	Min	2.810			$\gamma_G (LC1 + LC437) + \gamma_Q (LC439 + LC442)$
277	CO277	Min	3.560			$\gamma_G (LC1 + LC444) + \gamma_Q (LC446 + LC448) + \gamma_{\text{ao}} LC2$
278	CO278	Min	3.560			$\gamma_G (LC1 + LC443) + \gamma_Q LC448 + \gamma_{\text{ao}} LC2$
279	CO279	Min	3.560			$\gamma_G (LC1 + LC445) + \gamma_Q (LC447 + LC448) + \gamma_{\text{ao}} LC2$
280	CO280	Min	3.560			$\gamma_G (LC1 + LC445) + \gamma_Q (LC447 + LC449) + \gamma_{\text{ao}} LC2$
281	CO281	Min	3.560			$\gamma_G (LC1 + LC445) + \gamma_Q (LC447 + LC450)$
282	CO282	Min	4.310			$\gamma_G (LC1 + LC452) + \gamma_Q (LC454 + LC456) + \gamma_{\text{ao}} LC2$
283	CO283	Min	4.310			$\gamma_G (LC1 + LC451) + \gamma_Q LC456 + \gamma_{\text{ao}} LC2$
284	CO284	Min	4.310			$\gamma_G (LC1 + LC453) + \gamma_Q (LC455 + LC456) + \gamma_{\text{ao}} LC2$
285	CO285	Min	4.310			$\gamma_G (LC1 + LC453) + \gamma_Q (LC455 + LC457) + \gamma_{\text{ao}} LC2$
286	CO286	Min	4.310			$\gamma_G (LC1 + LC453) + \gamma_Q (LC455 + LC458)$
287	CO287	Min	5.060			$\gamma_G (LC1 + LC460) + \gamma_Q (LC462 + LC464) + \gamma_{\text{ao}} LC2$
288	CO288	Min	5.060			$\gamma_G (LC1 + LC459) + \gamma_Q LC464 + \gamma_{\text{ao}} LC2$
289	CO289	Min	5.060			$\gamma_G (LC1 + LC461) + \gamma_Q (LC463 + LC464) + \gamma_{\text{ao}} LC2$
290	CO290	Min	5.060			$\gamma_G (LC1 + LC461) + \gamma_Q (LC463 + LC465) + \gamma_{\text{ao}} LC2$
291	CO291	Min	5.060			$\gamma_G (LC1 + LC461) + \gamma_Q (LC463 + LC466)$
292	CO292	Min	5.810			$\gamma_G (LC1 + LC468) + \gamma_Q (LC470 + LC472) + \gamma_{\text{ao}} LC2$

Project: Projects

Model: Kranska staza, statički odredjen nosac

Date: 12.3.2020.

DESCRIPTION OF LOAD COMBINATIONS

No.	CO No.	Girder	Location of 1st Wheel of Crane [m]			Load Description
			Crane 1	Crane 2	Crane 3	
293	CO293	Min	5.810			$\gamma_G (LC1 + LC467) + \gamma_Q LC472 + \gamma_{Qo} LC2$
294	CO294	Min	5.810			$\gamma_G (LC1 + LC469) + \gamma_Q (LC471 + LC472) + \gamma_{Qo} LC2$
295	CO295	Min	5.810			$\gamma_G (LC1 + LC469) + \gamma_Q (LC471 + LC473) + \gamma_{Qo} LC2$
296	CO296	Min	5.810			$\gamma_G (LC1 + LC469) + \gamma_Q (LC471 + LC474)$
297	CO297	Min	6.560			$\gamma_G (LC1 + LC476) + \gamma_Q (LC478 + LC480) + \gamma_{Qo} LC2$
298	CO298	Min	6.560			$\gamma_G (LC1 + LC475) + \gamma_Q LC480 + \gamma_{Qo} LC2$
299	CO299	Min	6.560			$\gamma_G (LC1 + LC477) + \gamma_Q (LC479 + LC480) + \gamma_{Qo} LC2$
300	CO300	Min	6.560			$\gamma_G (LC1 + LC477) + \gamma_Q (LC479 + LC481) + \gamma_{Qo} LC2$
301	CO301	Min	6.560			$\gamma_G (LC1 + LC477) + \gamma_Q (LC479 + LC482)$
302	CO302	Min	7.310			$\gamma_G (LC1 + LC484) + \gamma_Q (LC486 + LC488) + \gamma_{Qo} LC2$
303	CO303	Min	7.310			$\gamma_G (LC1 + LC483) + \gamma_Q LC488 + \gamma_{Qo} LC2$
304	CO304	Min	7.310			$\gamma_G (LC1 + LC485) + \gamma_Q (LC487 + LC488) + \gamma_{Qo} LC2$
305	CO305	Min	7.310			$\gamma_G (LC1 + LC485) + \gamma_Q (LC487 + LC489) + \gamma_{Qo} LC2$
306	CO306	Min	7.310			$\gamma_G (LC1 + LC485) + \gamma_Q (LC487 + LC490)$
307	CO307	Min	8.060			$\gamma_G (LC1 + LC492) + \gamma_Q (LC494 + LC496) + \gamma_{Qo} LC2$
308	CO308	Min	8.060			$\gamma_G (LC1 + LC491) + \gamma_Q LC496 + \gamma_{Qo} LC2$
309	CO309	Min	8.060			$\gamma_G (LC1 + LC493) + \gamma_Q (LC495 + LC496) + \gamma_{Qo} LC2$
310	CO310	Min	8.060			$\gamma_G (LC1 + LC493) + \gamma_Q (LC495 + LC497) + \gamma_{Qo} LC2$
311	CO311	Min	8.060			$\gamma_G (LC1 + LC493) + \gamma_Q (LC495 + LC498)$
312	CO312	Min	8.810			$\gamma_G (LC1 + LC500) + \gamma_Q (LC502 + LC504) + \gamma_{Qo} LC2$
313	CO313	Min	8.810			$\gamma_G (LC1 + LC499) + \gamma_Q LC504 + \gamma_{Qo} LC2$
314	CO314	Min	8.810			$\gamma_G (LC1 + LC501) + \gamma_Q (LC503 + LC504) + \gamma_{Qo} LC2$
315	CO315	Min	8.810			$\gamma_G (LC1 + LC501) + \gamma_Q (LC503 + LC505) + \gamma_{Qo} LC2$
316	CO316	Min	8.810			$\gamma_G (LC1 + LC501) + \gamma_Q (LC503 + LC506)$
317	CO317	Min	9.560			$\gamma_G (LC1 + LC508) + \gamma_Q (LC510 + LC512) + \gamma_{Qo} LC2$
318	CO318	Min	9.560			$\gamma_G (LC1 + LC507) + \gamma_Q LC512 + \gamma_{Qo} LC2$
319	CO319	Min	9.560			$\gamma_G (LC1 + LC509) + \gamma_Q (LC511 + LC512) + \gamma_{Qo} LC2$
320	CO320	Min	9.560			$\gamma_G (LC1 + LC509) + \gamma_Q (LC511 + LC513) + \gamma_{Qo} LC2$
321	CO321	Min	9.560			$\gamma_G (LC1 + LC509) + \gamma_Q (LC511 + LC514)$
322	CO322	Min	10.310			$\gamma_G (LC1 + LC516) + \gamma_Q (LC518 + LC520) + \gamma_{Qo} LC2$
323	CO323	Min	10.310			$\gamma_G (LC1 + LC515) + \gamma_Q LC520 + \gamma_{Qo} LC2$
324	CO324	Min	10.310			$\gamma_G (LC1 + LC517) + \gamma_Q (LC519 + LC520) + \gamma_{Qo} LC2$
325	CO325	Min	10.310			$\gamma_G (LC1 + LC517) + \gamma_Q (LC519 + LC521) + \gamma_{Qo} LC2$
326	CO326	Min	10.310			$\gamma_G (LC1 + LC517) + \gamma_Q (LC519 + LC522)$
327	CO327	Min	11.060			$\gamma_G (LC1 + LC524) + \gamma_Q (LC526 + LC528) + \gamma_{Qo} LC2$
328	CO328	Min	11.060			$\gamma_G (LC1 + LC523) + \gamma_Q LC528 + \gamma_{Qo} LC2$
329	CO329	Min	11.060			$\gamma_G (LC1 + LC525) + \gamma_Q (LC527 + LC528) + \gamma_{Qo} LC2$
330	CO330	Min	11.060			$\gamma_G (LC1 + LC525) + \gamma_Q (LC527 + LC529) + \gamma_{Qo} LC2$
331	CO331	Min	11.060			$\gamma_G (LC1 + LC525) + \gamma_Q (LC527 + LC530)$
332	CO332	Min	11.810			$\gamma_G (LC1 + LC532) + \gamma_Q (LC534 + LC536) + \gamma_{Qo} LC2$
333	CO333	Min	11.810			$\gamma_G (LC1 + LC531) + \gamma_Q LC536 + \gamma_{Qo} LC2$
334	CO334	Min	11.810			$\gamma_G (LC1 + LC533) + \gamma_Q (LC535 + LC536) + \gamma_{Qo} LC2$
335	CO335	Min	11.810			$\gamma_G (LC1 + LC533) + \gamma_Q (LC535 + LC537) + \gamma_{Qo} LC2$
336	CO336	Min	11.810			$\gamma_G (LC1 + LC533) + \gamma_Q (LC535 + LC538)$
337	CO337	Min	12.560			$\gamma_G (LC1 + LC540) + \gamma_Q (LC542 + LC544) + \gamma_{Qo} LC2$
338	CO338	Min	12.560			$\gamma_G (LC1 + LC539) + \gamma_Q LC544 + \gamma_{Qo} LC2$
339	CO339	Min	12.560			$\gamma_G (LC1 + LC541) + \gamma_Q (LC543 + LC544) + \gamma_{Qo} LC2$
340	CO340	Min	12.560			$\gamma_G (LC1 + LC541) + \gamma_Q (LC543 + LC545) + \gamma_{Qo} LC2$
341	CO341	Min	12.560			$\gamma_G (LC1 + LC541) + \gamma_Q (LC543 + LC546)$
342	CO342	Min	13.310			$\gamma_G (LC1 + LC548) + \gamma_Q (LC550 + LC552) + \gamma_{Qo} LC2$
343	CO343	Min	13.310			$\gamma_G (LC1 + LC547) + \gamma_Q LC552 + \gamma_{Qo} LC2$
344	CO344	Min	13.310			$\gamma_G (LC1 + LC549) + \gamma_Q (LC551 + LC552) + \gamma_{Qo} LC2$
345	CO345	Min	13.310			$\gamma_G (LC1 + LC549) + \gamma_Q (LC551 + LC553) + \gamma_{Qo} LC2$
346	CO346	Min	13.310			$\gamma_G (LC1 + LC549) + \gamma_Q (LC551 + LC554)$
347	CO347	Min	14.060			$\gamma_G (LC1 + LC556) + \gamma_Q (LC558 + LC560) + \gamma_{Qo} LC2$
348	CO348	Min	14.060			$\gamma_G (LC1 + LC555) + \gamma_Q LC560 + \gamma_{Qo} LC2$
349	CO349	Min	14.060			$\gamma_G (LC1 + LC557) + \gamma_Q (LC559 + LC560) + \gamma_{Qo} LC2$
350	CO350	Min	14.060			$\gamma_G (LC1 + LC557) + \gamma_Q (LC559 + LC561) + \gamma_{Qo} LC2$
351	CO351	Min	14.060			$\gamma_G (LC1 + LC557) + \gamma_Q (LC559 + LC562)$
352	CO352	Min	14.810			$\gamma_G (LC1 + LC564) + \gamma_Q (LC566 + LC568) + \gamma_{Qo} LC2$
353	CO353	Min	14.810			$\gamma_G (LC1 + LC563) + \gamma_Q LC568 + \gamma_{Qo} LC2$
354	CO354	Min	14.810			$\gamma_G (LC1 + LC565) + \gamma_Q (LC567 + LC568) + \gamma_{Qo} LC2$
355	CO355	Min	14.810			$\gamma_G (LC1 + LC565) + \gamma_Q (LC567 + LC569) + \gamma_{Qo} LC2$
356	CO356	Min	14.810			$\gamma_G (LC1 + LC565) + \gamma_Q (LC567 + LC570)$
357	CO357	Min	15.560			$\gamma_G (LC1 + LC572) + \gamma_Q (LC574 + LC576) + \gamma_{Qo} LC2$
358	CO358	Min	15.560			$\gamma_G (LC1 + LC571) + \gamma_Q LC576 + \gamma_{Qo} LC2$
359	CO359	Min	15.560			$\gamma_G (LC1 + LC573) + \gamma_Q (LC575 + LC576) + \gamma_{Qo} LC2$
360	CO360	Min	15.560			$\gamma_G (LC1 + LC573) + \gamma_Q (LC575 + LC577) + \gamma_{Qo} LC2$
361	CO361	Min	15.560			$\gamma_G (LC1 + LC573) + \gamma_Q (LC575 + LC578)$
362	CO362	Min	16.310			$\gamma_G (LC1 + LC580) + \gamma_Q (LC582 + LC584) + \gamma_{Qo} LC2$
363	CO363	Min	16.310			$\gamma_G (LC1 + LC579) + \gamma_Q LC584 + \gamma_{Qo} LC2$
364	CO364	Min	16.310			$\gamma_G (LC1 + LC581) + \gamma_Q (LC583 + LC584) + \gamma_{Qo} LC2$
365	CO365	Min	16.310			$\gamma_G (LC1 + LC581) + \gamma_Q (LC583 + LC585) + \gamma_{Qo} LC2$
366	CO366	Min	16.310			$\gamma_G (LC1 + LC581) + \gamma_Q (LC583 + LC586)$
367	CO367	Min	17.060			$\gamma_G (LC1 + LC588) + \gamma_Q (LC590 + LC592) + \gamma_{Qo} LC2$
368	CO368	Min	17.060			$\gamma_G (LC1 + LC587) + \gamma_Q LC592 + \gamma_{Qo} LC2$
369	CO369	Min	17.060			$\gamma_G (LC1 + LC589) + \gamma_Q (LC591 + LC592) + \gamma_{Qo} LC2$

Project: Projects

Model: Kranska staza, statički odredjen nosac

Date: 12.3.2020.

DESCRIPTION OF LOAD COMBINATIONS

No.	CO No.	Girder	Location of 1st Wheel of Crane [m]			Load Description
			Crane 1	Crane 2	Crane 3	
370	CO370	Min	17.060			$\gamma_G (LC1 + LC589) + \gamma_Q (LC591 + LC593) + \gamma_{Q0} LC2$
371	CO371	Min	17.060			$\gamma_G (LC1 + LC589) + \gamma_Q (LC591 + LC594)$
372	CO372	Min	17.810			$\gamma_G (LC1 + LC596) + \gamma_Q (LC598 + LC600) + \gamma_{Q0} LC2$
373	CO373	Min	17.810			$\gamma_G (LC1 + LC595) + \gamma_Q LC600 + \gamma_{Q0} LC2$
374	CO374	Min	17.810			$\gamma_G (LC1 + LC597) + \gamma_Q (LC599 + LC600) + \gamma_{Q0} LC2$
375	CO375	Min	17.810			$\gamma_G (LC1 + LC597) + \gamma_Q (LC599 + LC601) + \gamma_{Q0} LC2$
376	CO376	Min	17.810			$\gamma_G (LC1 + LC597) + \gamma_Q (LC599 + LC602)$
377	CO377	Min	18.560			$\gamma_G (LC1 + LC604) + \gamma_Q (LC606 + LC608) + \gamma_{Q0} LC2$
378	CO378	Min	18.560			$\gamma_G (LC1 + LC603) + \gamma_Q LC608 + \gamma_{Q0} LC2$
379	CO379	Min	18.560			$\gamma_G (LC1 + LC605) + \gamma_Q (LC607 + LC608) + \gamma_{Q0} LC2$
380	CO380	Min	18.560			$\gamma_G (LC1 + LC605) + \gamma_Q (LC607 + LC609) + \gamma_{Q0} LC2$
381	CO381	Min	18.560			$\gamma_G (LC1 + LC605) + \gamma_Q (LC607 + LC610)$
382	CO382	Min	19.310			$\gamma_G (LC1 + LC612) + \gamma_Q (LC614 + LC616) + \gamma_{Q0} LC2$
383	CO383	Min	19.310			$\gamma_G (LC1 + LC611) + \gamma_Q LC616 + \gamma_{Q0} LC2$
384	CO384	Min	19.310			$\gamma_G (LC1 + LC613) + \gamma_Q (LC615 + LC616) + \gamma_{Q0} LC2$
385	CO385	Min	19.310			$\gamma_G (LC1 + LC613) + \gamma_Q (LC615 + LC617) + \gamma_{Q0} LC2$
386	CO386	Min	19.310			$\gamma_G (LC1 + LC613) + \gamma_Q (LC615 + LC618)$
387	CO387	Min	20.060			$\gamma_G (LC1 + LC620) + \gamma_Q (LC622 + LC624) + \gamma_{Q0} LC2$
388	CO388	Min	20.060			$\gamma_G (LC1 + LC619) + \gamma_Q LC624 + \gamma_{Q0} LC2$
389	CO389	Min	20.060			$\gamma_G (LC1 + LC621) + \gamma_Q (LC623 + LC624) + \gamma_{Q0} LC2$
390	CO390	Min	20.060			$\gamma_G (LC1 + LC621) + \gamma_Q (LC623 + LC625) + \gamma_{Q0} LC2$
391	CO391	Min	20.060			$\gamma_G (LC1 + LC621) + \gamma_Q (LC623 + LC626)$
392	CO392	Min	20.810			$\gamma_G (LC1 + LC628) + \gamma_Q (LC630 + LC632) + \gamma_{Q0} LC2$
393	CO393	Min	20.810			$\gamma_G (LC1 + LC627) + \gamma_Q LC632 + \gamma_{Q0} LC2$
394	CO394	Min	20.810			$\gamma_G (LC1 + LC629) + \gamma_Q (LC631 + LC632) + \gamma_{Q0} LC2$
395	CO395	Min	20.810			$\gamma_G (LC1 + LC629) + \gamma_Q (LC631 + LC633) + \gamma_{Q0} LC2$
396	CO396	Min	20.810			$\gamma_G (LC1 + LC629) + \gamma_Q (LC631 + LC634)$
397	CO397	Min	21.560			$\gamma_G (LC1 + LC636) + \gamma_Q (LC638 + LC640) + \gamma_{Q0} LC2$
398	CO398	Min	21.560			$\gamma_G (LC1 + LC635) + \gamma_Q LC640 + \gamma_{Q0} LC2$
399	CO399	Min	21.560			$\gamma_G (LC1 + LC637) + \gamma_Q (LC639 + LC640) + \gamma_{Q0} LC2$
400	CO400	Min	21.560			$\gamma_G (LC1 + LC637) + \gamma_Q (LC639 + LC641) + \gamma_{Q0} LC2$
401	CO401	Min	21.560			$\gamma_G (LC1 + LC637) + \gamma_Q (LC639 + LC642)$
402	CO402	Min	22.310			$\gamma_G (LC1 + LC644) + \gamma_Q (LC646 + LC648) + \gamma_{Q0} LC2$
403	CO403	Min	22.310			$\gamma_G (LC1 + LC643) + \gamma_Q LC648 + \gamma_{Q0} LC2$
404	CO404	Min	22.310			$\gamma_G (LC1 + LC645) + \gamma_Q (LC647 + LC648) + \gamma_{Q0} LC2$
405	CO405	Min	22.310			$\gamma_G (LC1 + LC645) + \gamma_Q (LC647 + LC649) + \gamma_{Q0} LC2$
406	CO406	Min	22.310			$\gamma_G (LC1 + LC645) + \gamma_Q (LC647 + LC650)$
407	CO407	Min	23.060			$\gamma_G (LC1 + LC652) + \gamma_Q (LC654 + LC656) + \gamma_{Q0} LC2$
408	CO408	Min	23.060			$\gamma_G (LC1 + LC651) + \gamma_Q LC656 + \gamma_{Q0} LC2$
409	CO409	Min	23.060			$\gamma_G (LC1 + LC653) + \gamma_Q (LC655 + LC656) + \gamma_{Q0} LC2$
410	CO410	Min	23.060			$\gamma_G (LC1 + LC653) + \gamma_Q (LC655 + LC657) + \gamma_{Q0} LC2$
411	CO411	Min	23.060			$\gamma_G (LC1 + LC653) + \gamma_Q (LC655 + LC658)$
412	CO412	Min	23.810			$\gamma_G (LC1 + LC660) + \gamma_Q (LC662 + LC664) + \gamma_{Q0} LC2$
413	CO413	Min	23.810			$\gamma_G (LC1 + LC659) + \gamma_Q LC664 + \gamma_{Q0} LC2$
414	CO414	Min	23.810			$\gamma_G (LC1 + LC661) + \gamma_Q (LC663 + LC664) + \gamma_{Q0} LC2$
415	CO415	Min	23.810			$\gamma_G (LC1 + LC661) + \gamma_Q (LC663 + LC665) + \gamma_{Q0} LC2$
416	CO416	Min	23.810			$\gamma_G (LC1 + LC661) + \gamma_Q (LC663 + LC666)$
417	CO417	Min	24.560			$\gamma_G (LC1 + LC668) + \gamma_Q (LC670 + LC672) + \gamma_{Q0} LC2$
418	CO418	Min	24.560			$\gamma_G (LC1 + LC667) + \gamma_Q LC672 + \gamma_{Q0} LC2$
419	CO419	Min	24.560			$\gamma_G (LC1 + LC669) + \gamma_Q (LC671 + LC672) + \gamma_{Q0} LC2$
420	CO420	Min	24.560			$\gamma_G (LC1 + LC669) + \gamma_Q (LC671 + LC673) + \gamma_{Q0} LC2$
421	CO421	Min	24.560			$\gamma_G (LC1 + LC669) + \gamma_Q (LC671 + LC674)$
422	CO422	Min	25.310			$\gamma_G (LC1 + LC676) + \gamma_Q (LC678 + LC680) + \gamma_{Q0} LC2$
423	CO423	Min	25.310			$\gamma_G (LC1 + LC675) + \gamma_Q LC680 + \gamma_{Q0} LC2$
424	CO424	Min	25.310			$\gamma_G (LC1 + LC677) + \gamma_Q (LC679 + LC680) + \gamma_{Q0} LC2$
425	CO425	Min	25.310			$\gamma_G (LC1 + LC677) + \gamma_Q (LC679 + LC681) + \gamma_{Q0} LC2$
426	CO426	Min	25.310			$\gamma_G (LC1 + LC677) + \gamma_Q (LC679 + LC682)$
427	CO427	Min	26.060			$\gamma_G (LC1 + LC684) + \gamma_Q (LC686 + LC688) + \gamma_{Q0} LC2$
428	CO428	Min	26.060			$\gamma_G (LC1 + LC683) + \gamma_Q LC688 + \gamma_{Q0} LC2$
429	CO429	Min	26.060			$\gamma_G (LC1 + LC685) + \gamma_Q (LC687 + LC688) + \gamma_{Q0} LC2$
430	CO430	Min	26.060			$\gamma_G (LC1 + LC685) + \gamma_Q (LC687 + LC689) + \gamma_{Q0} LC2$
431	CO431	Min	26.060			$\gamma_G (LC1 + LC685) + \gamma_Q (LC687 + LC690)$
432	CO432	Min	26.810			$\gamma_G (LC1 + LC692) + \gamma_Q (LC694 + LC696) + \gamma_{Q0} LC2$
433	CO433	Min	26.810			$\gamma_G (LC1 + LC691) + \gamma_Q LC696 + \gamma_{Q0} LC2$
434	CO434	Min	26.810			$\gamma_G (LC1 + LC693) + \gamma_Q (LC695 + LC696) + \gamma_{Q0} LC2$
435	CO435	Min	26.810			$\gamma_G (LC1 + LC693) + \gamma_Q (LC695 + LC697) + \gamma_{Q0} LC2$
436	CO436	Min	26.810			$\gamma_G (LC1 + LC693) + \gamma_Q (LC695 + LC698)$
437	CO437	Min	27.560			$\gamma_G (LC1 + LC700) + \gamma_Q (LC702 + LC704) + \gamma_{Q0} LC2$
438	CO438	Min	27.560			$\gamma_G (LC1 + LC699) + \gamma_Q LC704 + \gamma_{Q0} LC2$
439	CO439	Min	27.560			$\gamma_G (LC1 + LC701) + \gamma_Q (LC703 + LC704) + \gamma_{Q0} LC2$
440	CO440	Min	27.560			$\gamma_G (LC1 + LC701) + \gamma_Q (LC703 + LC705) + \gamma_{Q0} LC2$
441	CO441	Min	27.560			$\gamma_G (LC1 + LC701) + \gamma_Q (LC703 + LC706)$
442	CO442	Min	28.310			$\gamma_G (LC1 + LC708) + \gamma_Q (LC710 + LC712) + \gamma_{Q0} LC2$
443	CO443	Min	28.310			$\gamma_G (LC1 + LC707) + \gamma_Q LC712 + \gamma_{Q0} LC2$
444	CO444	Min	28.310			$\gamma_G (LC1 + LC709) + \gamma_Q (LC711 + LC712) + \gamma_{Q0} LC2$
445	CO445	Min	28.310			$\gamma_G (LC1 + LC709) + \gamma_Q (LC711 + LC713) + \gamma_{Q0} LC2$
446	CO446	Min	28.310			$\gamma_G (LC1 + LC709) + \gamma_Q (LC711 + LC714)$

Project: Projects

Model: Kranska staza, staticki odredjen nosac

Date: 12.3.2020.

DESCRIPTION OF LOAD COMBINATIONS

No.	CO No.	Girder	Location of 1st Wheel of Crane [m]			Load Description
			Crane 1	Crane 2	Crane 3	
447	CO447	Min	29.060			$\gamma_G (LC1 + LC716) + \gamma_Q (LC718 + LC720) + \gamma_{\infty} LC2$
448	CO448	Min	29.060			$\gamma_G (LC1 + LC715) + \gamma_Q LC720 + \gamma_{\infty} LC2$
449	CO449	Min	29.060			$\gamma_G (LC1 + LC717) + \gamma_Q (LC719 + LC720) + \gamma_{\infty} LC2$
450	CO450	Min	29.060			$\gamma_G (LC1 + LC717) + \gamma_Q (LC719 + LC721) + \gamma_{\infty} LC2$
451	CO451	Min	29.060			$\gamma_G (LC1 + LC717) + \gamma_Q (LC719 + LC722)$
452	CO452	Min	29.810			$\gamma_G (LC1 + LC724) + \gamma_Q (LC726 + LC728) + \gamma_{\infty} LC2$
453	CO453	Min	29.810			$\gamma_G (LC1 + LC723) + \gamma_Q LC728 + \gamma_{\infty} LC2$
454	CO454	Min	29.810			$\gamma_G (LC1 + LC725) + \gamma_Q (LC727 + LC728) + \gamma_{\infty} LC2$
455	CO455	Min	29.810			$\gamma_G (LC1 + LC725) + \gamma_Q (LC727 + LC729) + \gamma_{\infty} LC2$
456	CO456	Min	29.810			$\gamma_G (LC1 + LC725) + \gamma_Q (LC727 + LC730)$
457	CO457	Min	30.560			$\gamma_G (LC1 + LC732) + \gamma_Q (LC734 + LC736) + \gamma_{\infty} LC2$
458	CO458	Min	30.560			$\gamma_G (LC1 + LC731) + \gamma_Q LC736 + \gamma_{\infty} LC2$
459	CO459	Min	30.560			$\gamma_G (LC1 + LC733) + \gamma_Q (LC735 + LC736) + \gamma_{\infty} LC2$
460	CO460	Min	30.560			$\gamma_G (LC1 + LC733) + \gamma_Q (LC735 + LC737) + \gamma_{\infty} LC2$
461	CO461	Min	30.560			$\gamma_G (LC1 + LC733) + \gamma_Q (LC735 + LC738)$
462	CO462	Min	31.310			$\gamma_G (LC1 + LC740) + \gamma_Q (LC742 + LC744) + \gamma_{\infty} LC2$
463	CO463	Min	31.310			$\gamma_G (LC1 + LC739) + \gamma_Q LC744 + \gamma_{\infty} LC2$
464	CO464	Min	31.310			$\gamma_G (LC1 + LC741) + \gamma_Q (LC743 + LC744) + \gamma_{\infty} LC2$
465	CO465	Min	31.310			$\gamma_G (LC1 + LC741) + \gamma_Q (LC743 + LC745) + \gamma_{\infty} LC2$
466	CO466	Min	31.310			$\gamma_G (LC1 + LC741) + \gamma_Q (LC743 + LC746)$
467	CO467	Min	32.060			$\gamma_G (LC1 + LC748) + \gamma_Q (LC750 + LC752) + \gamma_{\infty} LC2$
468	CO468	Min	32.060			$\gamma_G (LC1 + LC747) + \gamma_Q LC752 + \gamma_{\infty} LC2$
469	CO469	Min	32.060			$\gamma_G (LC1 + LC749) + \gamma_Q (LC751 + LC752) + \gamma_{\infty} LC2$
470	CO470	Min	32.060			$\gamma_G (LC1 + LC749) + \gamma_Q (LC751 + LC753) + \gamma_{\infty} LC2$
471	CO471	Min	32.060			$\gamma_G (LC1 + LC749) + \gamma_Q (LC751 + LC754)$
472	CO472	Min	32.810			$\gamma_G (LC1 + LC756) + \gamma_Q (LC758 + LC760) + \gamma_{\infty} LC2$
473	CO473	Min	32.810			$\gamma_G (LC1 + LC755) + \gamma_Q LC760 + \gamma_{\infty} LC2$
474	CO474	Min	32.810			$\gamma_G (LC1 + LC757) + \gamma_Q (LC759 + LC760) + \gamma_{\infty} LC2$
475	CO475	Min	32.810			$\gamma_G (LC1 + LC757) + \gamma_Q (LC759 + LC761) + \gamma_{\infty} LC2$
476	CO476	Min	32.810			$\gamma_G (LC1 + LC757) + \gamma_Q (LC759 + LC762)$
477	CO477	Min	33.560			$\gamma_G (LC1 + LC764) + \gamma_Q (LC766 + LC768) + \gamma_{\infty} LC2$
478	CO478	Min	33.560			$\gamma_G (LC1 + LC763) + \gamma_Q LC768 + \gamma_{\infty} LC2$
479	CO479	Min	33.560			$\gamma_G (LC1 + LC765) + \gamma_Q (LC767 + LC768) + \gamma_{\infty} LC2$
480	CO480	Min	33.560			$\gamma_G (LC1 + LC765) + \gamma_Q (LC767 + LC769) + \gamma_{\infty} LC2$
481	CO481	Min	33.560			$\gamma_G (LC1 + LC765) + \gamma_Q (LC767 + LC770)$
482	CO482	Min	34.310			$\gamma_G (LC1 + LC772) + \gamma_Q (LC774 + LC776) + \gamma_{\infty} LC2$
483	CO483	Min	34.310			$\gamma_G (LC1 + LC771) + \gamma_Q LC776 + \gamma_{\infty} LC2$
484	CO484	Min	34.310			$\gamma_G (LC1 + LC773) + \gamma_Q (LC775 + LC776) + \gamma_{\infty} LC2$
485	CO485	Min	34.310			$\gamma_G (LC1 + LC773) + \gamma_Q (LC775 + LC777) + \gamma_{\infty} LC2$
486	CO486	Min	34.310			$\gamma_G (LC1 + LC773) + \gamma_Q (LC775 + LC778)$
487	CO487	Min	35.060			$\gamma_G (LC1 + LC780) + \gamma_Q (LC782 + LC784) + \gamma_{\infty} LC2$
488	CO488	Min	35.060			$\gamma_G (LC1 + LC779) + \gamma_Q LC784 + \gamma_{\infty} LC2$
489	CO489	Min	35.060			$\gamma_G (LC1 + LC781) + \gamma_Q (LC783 + LC784) + \gamma_{\infty} LC2$
490	CO490	Min	35.060			$\gamma_G (LC1 + LC781) + \gamma_Q (LC783 + LC785) + \gamma_{\infty} LC2$
491	CO491	Min	35.060			$\gamma_G (LC1 + LC781) + \gamma_Q (LC783 + LC786)$
492	CO492	Min	35.810			$\gamma_G (LC1 + LC788) + \gamma_Q (LC790 + LC792) + \gamma_{\infty} LC2$
493	CO493	Min	35.810			$\gamma_G (LC1 + LC787) + \gamma_Q LC792 + \gamma_{\infty} LC2$
494	CO494	Min	35.810			$\gamma_G (LC1 + LC789) + \gamma_Q (LC791 + LC792) + \gamma_{\infty} LC2$
495	CO495	Min	35.810			$\gamma_G (LC1 + LC789) + \gamma_Q (LC791 + LC793) + \gamma_{\infty} LC2$
496	CO496	Min	35.810			$\gamma_G (LC1 + LC789) + \gamma_Q (LC791 + LC794)$
497	CO497	Min	36.560			$\gamma_G (LC1 + LC796) + \gamma_Q (LC798 + LC800) + \gamma_{\infty} LC2$
498	CO498	Min	36.560			$\gamma_G (LC1 + LC795) + \gamma_Q LC800 + \gamma_{\infty} LC2$
499	CO499	Min	36.560			$\gamma_G (LC1 + LC797) + \gamma_Q (LC799 + LC800) + \gamma_{\infty} LC2$
500	CO500	Min	36.560			$\gamma_G (LC1 + LC797) + \gamma_Q (LC799 + LC801) + \gamma_{\infty} LC2$
501	CO501	Min	36.560			$\gamma_G (LC1 + LC797) + \gamma_Q (LC799 + LC802)$
502	CO502	Min	37.310			$\gamma_G (LC1 + LC804) + \gamma_Q (LC806 + LC808) + \gamma_{\infty} LC2$
503	CO503	Min	37.310			$\gamma_G (LC1 + LC803) + \gamma_Q LC808 + \gamma_{\infty} LC2$
504	CO504	Min	37.310			$\gamma_G (LC1 + LC805) + \gamma_Q (LC807 + LC808) + \gamma_{\infty} LC2$
505	CO505	Min	37.310			$\gamma_G (LC1 + LC805) + \gamma_Q (LC807 + LC809) + \gamma_{\infty} LC2$
506	CO506	Min	37.310			$\gamma_G (LC1 + LC805) + \gamma_Q (LC807 + LC810)$
507	CO507	Min	38.060			$\gamma_G (LC1 + LC812) + \gamma_Q (LC814 + LC816) + \gamma_{\infty} LC2$
508	CO508	Min	38.060			$\gamma_G (LC1 + LC811) + \gamma_Q LC816 + \gamma_{\infty} LC2$
509	CO509	Min	38.060			$\gamma_G (LC1 + LC813) + \gamma_Q (LC815 + LC816) + \gamma_{\infty} LC2$
510	CO510	Min	38.060			$\gamma_G (LC1 + LC813) + \gamma_Q (LC815 + LC817) + \gamma_{\infty} LC2$
511	CO511	Min	38.060			$\gamma_G (LC1 + LC813) + \gamma_Q (LC815 + LC818)$
512	CO512	Min	38.810			$\gamma_G (LC1 + LC820) + \gamma_Q (LC822 + LC824) + \gamma_{\infty} LC2$
513	CO513	Min	38.810			$\gamma_G (LC1 + LC819) + \gamma_Q LC824 + \gamma_{\infty} LC2$
514	CO514	Min	38.810			$\gamma_G (LC1 + LC821) + \gamma_Q (LC823 + LC824) + \gamma_{\infty} LC2$
515	CO515	Min	38.810			$\gamma_G (LC1 + LC821) + \gamma_Q (LC823 + LC825) + \gamma_{\infty} LC2$
516	CO516	Min	38.810			$\gamma_G (LC1 + LC821) + \gamma_Q (LC823 + LC826)$
517	CO517	Min	39.910			$\gamma_G (LC1 + LC828) + \gamma_Q (LC830 + LC832) + \gamma_{\infty} LC2$
518	CO518	Min	39.910			$\gamma_G (LC1 + LC827) + \gamma_Q LC832 + \gamma_{\infty} LC2$
519	CO519	Min	39.910			$\gamma_G (LC1 + LC829) + \gamma_Q (LC831 + LC832) + \gamma_{\infty} LC2$
520	CO520	Min	39.910			$\gamma_G (LC1 + LC829) + \gamma_Q (LC831 + LC833) + \gamma_{\infty} LC2$
521	CO521	Min	39.910			$\gamma_G (LC1 + LC829) + \gamma_Q (LC831 + LC834)$
522	CO522	Max	1.310			$LC1 + LC835 + LC836 + LC837$
523	CO523	Max	39.190			$LC1 + LC838 + LC839 + LC840$

Project: Projects

Model: Kranska staza, staticki odredjen nosac

Date: 12.3.2020.

DESCRIPTION OF LOAD COMBINATIONS - FATIGUE

No.	CO No.	Girder	Location of 1st Wheel of Crane [m]			Load Description
			Crane 1	Crane 2	Crane 3	
1	CO1	Max	1.310			LC1 + LC2 + LC3
2	CO2	Max	2.060			LC1 + LC4 + LC5
3	CO3	Max	2.810			LC1 + LC6 + LC7
4	CO4	Max	3.560			LC1 + LC8 + LC9
5	CO5	Max	4.310			LC1 + LC10 + LC11
6	CO6	Max	5.060			LC1 + LC12 + LC13
7	CO7	Max	5.810			LC1 + LC14 + LC15
8	CO8	Max	6.560			LC1 + LC16 + LC17
9	CO9	Max	7.310			LC1 + LC18 + LC19
10	CO10	Max	8.060			LC1 + LC20 + LC21
11	CO11	Max	8.810			LC1 + LC22 + LC23
12	CO12	Max	9.560			LC1 + LC24 + LC25
13	CO13	Max	10.310			LC1 + LC26 + LC27
14	CO14	Max	11.060			LC1 + LC28 + LC29
15	CO15	Max	11.810			LC1 + LC30 + LC31
16	CO16	Max	12.560			LC1 + LC32 + LC33
17	CO17	Max	13.310			LC1 + LC34 + LC35
18	CO18	Max	14.060			LC1 + LC36 + LC37
19	CO19	Max	14.810			LC1 + LC38 + LC39
20	CO20	Max	15.560			LC1 + LC40 + LC41
21	CO21	Max	16.310			LC1 + LC42 + LC43
22	CO22	Max	17.060			LC1 + LC44 + LC45
23	CO23	Max	17.810			LC1 + LC46 + LC47
24	CO24	Max	18.560			LC1 + LC48 + LC49
25	CO25	Max	19.310			LC1 + LC50 + LC51
26	CO26	Max	20.060			LC1 + LC52 + LC53
27	CO27	Max	20.810			LC1 + LC54 + LC55
28	CO28	Max	21.560			LC1 + LC56 + LC57
29	CO29	Max	22.310			LC1 + LC58 + LC59
30	CO30	Max	23.060			LC1 + LC60 + LC61
31	CO31	Max	23.810			LC1 + LC62 + LC63
32	CO32	Max	24.560			LC1 + LC64 + LC65
33	CO33	Max	25.310			LC1 + LC66 + LC67
34	CO34	Max	26.060			LC1 + LC68 + LC69
35	CO35	Max	26.810			LC1 + LC70 + LC71
36	CO36	Max	27.560			LC1 + LC72 + LC73
37	CO37	Max	28.310			LC1 + LC74 + LC75
38	CO38	Max	29.060			LC1 + LC76 + LC77
39	CO39	Max	29.810			LC1 + LC78 + LC79
40	CO40	Max	30.560			LC1 + LC80 + LC81
41	CO41	Max	31.310			LC1 + LC82 + LC83
42	CO42	Max	32.060			LC1 + LC84 + LC85
43	CO43	Max	32.810			LC1 + LC86 + LC87
44	CO44	Max	33.560			LC1 + LC88 + LC89
45	CO45	Max	34.310			LC1 + LC90 + LC91
46	CO46	Max	35.060			LC1 + LC92 + LC93
47	CO47	Max	35.810			LC1 + LC94 + LC95
48	CO48	Max	36.560			LC1 + LC96 + LC97
49	CO49	Max	37.310			LC1 + LC98 + LC99
50	CO50	Max	38.060			LC1 + LC100 + LC101
51	CO51	Max	38.810			LC1 + LC102 + LC103
52	CO52	Max	39.190			LC1 + LC104 + LC105
53	CO53	Min	1.310			LC1 + LC106 + LC107
54	CO54	Min	2.060			LC1 + LC108 + LC109
55	CO55	Min	2.810			LC1 + LC110 + LC111
56	CO56	Min	3.560			LC1 + LC112 + LC113
57	CO57	Min	4.310			LC1 + LC114 + LC115
58	CO58	Min	5.060			LC1 + LC116 + LC117
59	CO59	Min	5.810			LC1 + LC118 + LC119
60	CO60	Min	6.560			LC1 + LC120 + LC121
61	CO61	Min	7.310			LC1 + LC122 + LC123
62	CO62	Min	8.060			LC1 + LC124 + LC125
63	CO63	Min	8.810			LC1 + LC126 + LC127
64	CO64	Min	9.560			LC1 + LC128 + LC129
65	CO65	Min	10.310			LC1 + LC130 + LC131
66	CO66	Min	11.060			LC1 + LC132 + LC133
67	CO67	Min	11.810			LC1 + LC134 + LC135
68	CO68	Min	12.560			LC1 + LC136 + LC137
69	CO69	Min	13.310			LC1 + LC138 + LC139
70	CO70	Min	14.060			LC1 + LC140 + LC141
71	CO71	Min	14.810			LC1 + LC142 + LC143
72	CO72	Min	15.560			LC1 + LC144 + LC145
73	CO73	Min	16.310			LC1 + LC146 + LC147
74	CO74	Min	17.060			LC1 + LC148 + LC149
75	CO75	Min	17.810			LC1 + LC150 + LC151
76	CO76	Min	18.560			LC1 + LC152 + LC153
77	CO77	Min	19.310			LC1 + LC154 + LC155
78	CO78	Min	20.060			LC1 + LC156 + LC157
79	CO79	Min	20.810			LC1 + LC158 + LC159
80	CO80	Min	21.560			LC1 + LC160 + LC161
81	CO81	Min	22.310			LC1 + LC162 + LC163
82	CO82	Min	23.060			LC1 + LC164 + LC165
83	CO83	Min	23.810			LC1 + LC166 + LC167
84	CO84	Min	24.560			LC1 + LC168 + LC169
85	CO85	Min	25.310			LC1 + LC170 + LC171

Project: Projects

Model: Kranska staza, staticki odredjen nosac

Date: 12.3.2020.

DESCRIPTION OF LOAD COMBINATIONS - FATIGUE

No.	CO No.	Girder	Location of 1st Wheel of Crane [m]			Load Description
			Crane 1	Crane 2	Crane 3	
86	CO86	Min	26.060			LC1 + LC172 + LC173
87	CO87	Min	26.810			LC1 + LC174 + LC175
88	CO88	Min	27.560			LC1 + LC176 + LC177
89	CO89	Min	28.310			LC1 + LC178 + LC179
90	CO90	Min	29.060			LC1 + LC180 + LC181
91	CO91	Min	29.810			LC1 + LC182 + LC183
92	CO92	Min	30.560			LC1 + LC184 + LC185
93	CO93	Min	31.310			LC1 + LC186 + LC187
94	CO94	Min	32.060			LC1 + LC188 + LC189
95	CO95	Min	32.810			LC1 + LC190 + LC191
96	CO96	Min	33.560			LC1 + LC192 + LC193
97	CO97	Min	34.310			LC1 + LC194 + LC195
98	CO98	Min	35.060			LC1 + LC196 + LC197
99	CO99	Min	35.810			LC1 + LC198 + LC199
100	CO100	Min	36.560			LC1 + LC200 + LC201
101	CO101	Min	37.310			LC1 + LC202 + LC203
102	CO102	Min	38.060			LC1 + LC204 + LC205
103	CO103	Min	38.810			LC1 + LC206 + LC207
104	CO104	Min	39.190			LC1 + LC208 + LC209

IMPERFECTIONS

Type of definition : Calculate automatically by the eigenvalue method
 Buckling curve Bscz : c

IMPERFECTIONS - PARAMETERS

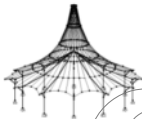
CO No.	Mode Shape No.	Reference Length	Camber Rise
		L [m]	w ₀ [mm]
CO1	1	8.000	20.0
CO2	1	8.000	-20.0
CO17	1	8.000	-20.0
CO22	1	8.000	20.0
CO24	1	8.000	20.0
CO25	1	8.000	20.0
CO42	1	8.000	20.0
CO52	1	8.000	-20.0
CO72	1	8.000	-20.0
CO75	1	8.000	20.0
CO77	1	8.000	20.0
CO80	1	8.000	20.0
CO97	1	8.000	20.0
CO107	1	8.000	-20.0
CO127	1	8.000	-20.0
CO129	1	8.000	-20.0
CO130	1	8.000	20.0
CO132	1	8.000	20.0
CO152	1	8.000	20.0
CO157	1	8.000	-20.0
CO177	1	8.000	-20.0
CO182	1	8.000	20.0
CO184	1	8.000	20.0
CO185	1	8.000	20.0
CO202	1	8.000	20.0
CO212	1	8.000	-20.0
CO232	1	8.000	-20.0
CO235	1	8.000	20.0
CO237	1	8.000	20.0
CO239	1	8.000	20.0
CO240	1	8.000	20.0
CO257	1	8.000	20.0

Results

DESIGN SUMMARY

Type of Design	Member No.	Location x [m]	Design Criterion		Governing Load Combination
			existing	limiting	
2.4 Stress Analysis	4	0.060	0.748	< 1.00	CO157
2.5 Deformation Analysis - Horizontal	3	4.000	451.870	< 600.000	CO130
2.5 Deformation Analysis - Vertical	4	4.000	909.114	> 600.000	CO182
2.6 Fatigue Design	3	7.810	0.557	< 1.00	
2.7 Plate Buckling Analysis	5	4.060	0.794	< 1.00	
2.8 Welds - Stress Analysis	4	0.060	0.441	< 1.00	CO157
2.9 Welds - Fatigue Design	1	0.810	0.642	< 1.00	
2.10 Critical Load Factors	1		2.849	> 1.00	CO182

IZVJEŠTAJ PRORAČUNA ZA STATIČKI NEODREĐEN NOSAČ KRANSKE
STAZE



Design of crane runway girders

Project: Projects

Model: Kranska staza

Date: 12.3.2020.

DETAILS

Standard Used : CEN* - European Union

Total girder length	40.000	m
The total weight of the beam	7748.1	kg
The cross-sectional weight per meter	193.7	kg/m
Total weight of the beam after 25% reduction in rail section due to wear	7748.1	kg
The cross-sectional weight per meter	193.7	kg/m

DATA FOR NATIONAL ANNEX

CEN* - European Union - Eurocode 3: Design of steel structures - Part 6: Crane supporting structures

Partial Safety Factors

- Resistance of cross-section	γ_{M0} :	1.00
- Member resistance to stability failure	γ_{M1} :	1.00
- Weld resistance	γ_{Mw} :	1.25
- Fatigue stiffness	$\gamma_{M,f}$:	1.15
- Permanent actions	γ_G :	1.35
- Variable Actions, Crane	γ_Q :	1.35
- Variable Actions, Other	γ_{Qo} :	1.50
- Fatigue actions	$\gamma_{F,f}$:	1.00
- Combination factor	ψ :	1.00
Coefficient for shear resistance	η :	1.20

USED STANDARDS

[1] EN 1993-6:2007/AC:2009-07	Eurocode 3: Design of steel structures - Part 6: Crane supporting structures
[2] EN 1993-1-1:2005/AC:2009-04	Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings
[3] EN 1993-1-5:2006/AC:2009-04	Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-5: Plated structural elements
[4] EN 1993-1-8:2005/AC:2009-07	Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-8: Design of joints
[5] EN 1993-1-9:2005/AC:2009-04	Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-9: Fatigue strength of steel structures
[6] EN 1991-3:2006/AC:2012-12	Eurocode 1: Actions on structures - Part 3: Actions induced by cranes and machinery
[7] EN 1990:2002/A1:2005/AC:2010-04	Eurocode 0: Basis of structural design

GEOMETRY - SUPPORT

Support No.	Location x [m]	Type of Support	Displacement			Rotation				Release	Support [mm]		
			in X	in Y	in Z	ab. X	ab. Y	ab. Z	Warping		Stiffener	Length a	
1	0.000	Hinged	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Rigid	
2	8.000	Hinged movable	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Rigid	
3	16.000	Hinged movable	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Rigid	
4	24.000	Hinged movable	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Rigid	
5	32.000	Hinged movable	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Rigid	
6	40.000	Hinged	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Rigid	

GEOMETRY - STIFFENERS

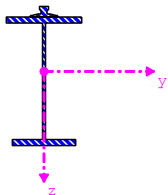
Span No.	Length L [m]	Number of Int. Panels	Type of Location	x[m]:
1	8.000	2	Regularly	{0.000; 4.000; 8.000}
2	8.000	2	Regularly	{0.000; 4.000; 8.000}
3	8.000	2	Regularly	{0.000; 4.000; 8.000}
4	8.000	2	Regularly	{0.000; 4.000; 8.000}
5	8.000	2	Regularly	{0.000; 4.000; 8.000}

MATERIAL

Material Description : Steel S 235 EN 10025-2:2004-11

CROSS-SECTIONS

Girder	: Welded Section IU 600/350/28/8/300/28/0/0
Rail profile	: Rail SA 45 (worn-out)
Cross-section description	: KB(IU+SA) IU 600/350/28/8/300/28/0/0 + SA 45 (worn-out)
25% reduction of the rail section due to wear	: <input checked="" type="checkbox"/>
Consider rail section for the cross-section properties	: <input checked="" type="checkbox"/>
Additional Design	
Perform fatigue design	: <input checked="" type="checkbox"/>
Perform weld seam design	: <input checked="" type="checkbox"/>
Thickness of welds rail/flange	a : 6.0 mm
Thickness of welds upper flange/web	a _o : As a general rule, the resistance of butt welds welded with full penetration should be equal to that of the weaker of the components connected. This is the case when the weld is performed using filler metals having minimum values of yield strength and tensile strength according to weld metal tests, which are not less than that of the base material.
Thickness of welds lower flange/web	a _u : As a general rule, the resistance of butt welds welded with full penetration should be equal to that of the weaker of the components connected. This is the case when the weld is p



A) IU 600/350/28/8/300/28/0/0 ...

Project: Projects

Model: Kranska staza

Date: 12.3.2020.

CROSS-SECTIONS

performed using filler metals having minimum values of yield strength and tensile strength according to weld metal tests, which are not less than that of the base material.

Intermittent weld seam between rail and flange :

ACTIONS GENERAL DATA

Number of cranes	:	1
Buffer left	:	0.400 m
Buffer right	:	0.400 m
Additional Permanent Loads	g	: 0.00 kN/m
Additional Variable Loads	w	: 0.00 kN/m
Crane loads at both girders (W_{max} and W_{min})		
Increment		
Increment of load positions	:	0.750 m
Number of generated crane positions	:	104
Number of generated load combinations	:	521

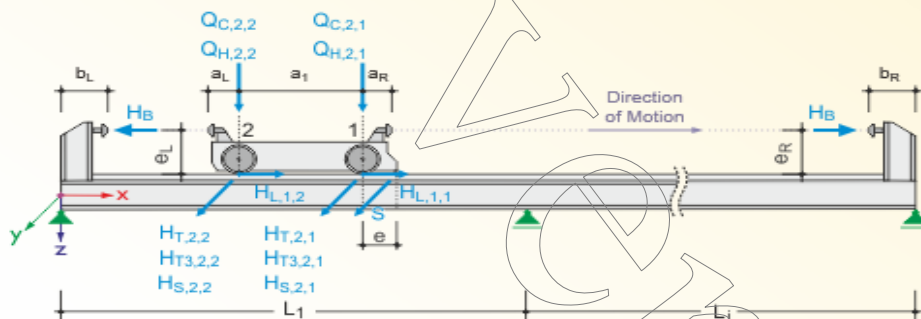
Crane No. 1

CRANE PARAMETERS

Crane description : DEMOD-K-12.5 Vulkan Rijeka

Dynamic Coefficient for		
- Weight of crane	ϕ_1	: 1.100
- Load lifting	ϕ_2	: 1.120
- Sudden pull-off weight	ϕ_3	: 1.000
- Crane travel	ϕ_4	: 1.000
- Driving force	ϕ_5	: 1.500
- Buffer force	ϕ_7	: 1.250
S-Class		: S3
Crane buffer left	a_L	: 0.410 m
Crane buffer right	a_R	: 0.410 m
Number of crane axles		: 2
Distances of axles	a_1	: 0.500 m
Buffer Force (Girder with W_{max})	$H_{B,max}$: 61.85 kN
Buffer Force (Girder with W_{min})	$H_{B,min}$: 0.00 kN

GRAPHIC



CRANE LOADS - W-MAX

Axle No.	Vertical Wheel Loads		Horizontal Wheel Loads			Long. Loadings H_L [kN]	Distance e [m]	Skew Force S [kN]
	Q_C [kN]	Q_H [kN]	H_T [kN]	H_S [kN]	H_{T3} [kN]			
1	68.40	59.90	-5.14	26.43	9.94	3.46	0.407	0.00
2	68.40	59.90	5.14	0.00	9.94	3.46		

CRANE LOADS - W-MIN

Axle No.	Vertical Wheel Loads		Horizontal Wheel Loads			Long. Loadings H_L [kN]	Distance e [m]	Skew Force S [kN]
	Q_C [kN]	Q_H [kN]	H_T [kN]	H_S [kN]	H_{T3} [kN]			
1	34.60	0.00	-17.70	26.43	9.94	3.46	0.000	0.00
2	34.60	0.00	17.70	0.00	9.94	3.46		

Project: Projects

Model: Kranska staza

Date: 12.3.2020.

DESCRIPTION OF LOAD CASES

No.	LC No.	Description
1	LC1	Self-Weight + Additional Permanent Load
2	LC2	Additional Variable Loads
3	LC3,11...	Q_C
4	LC4,12...	$Q_C \varphi_1$
5	LC5,13...	$Q_C \varphi_4$
6	LC6,14...	$Q_H \max(\varphi_2, \varphi_3)$
7	LC7,15...	$Q_H \varphi_4$
8	LC8,16...	$H_T \varphi_5 + H_L \varphi_5$
9	LC9,17...	$(H_s + S)$
10	LC10,18...	H_{T3}
1	LC835,838	Q_C
2	LC836,839	Q_H
3	LC837,840	$H_B \varphi_7$

DESCRIPTION OF LOAD CASES - FATIGUE

No.	LC No.	Description
1	LC1	Self-Weight + Additional Permanent Load
2	LC2,4...	$Q_C (1 + \varphi_1)/2$
3	LC3,5...	$Q_H (1 + \varphi_2)/2$

COEFFICIENT OF LOAD CASES

Resistance			
Partial Safety Factors			
Permanent Actions	γ_G		1.350
Variable Actions - Crane	γ_Q		1.350
Variable Actions - Other	γ_{Qo}		1.500
Combination Factor	ψ		1.000
Crane No. 1			
Dynamic Coefficient for			
Weight of crane	φ_1		1.100
Load lifting	φ_2		1.120
Sudden pull-off weight	φ_3		1.000
Crane travel	φ_4		1.000
Driving force	φ_5		1.500
Fatigue			
Partial Safety Factors			
Permanent Actions	γ_G		1.000
Variable Actions - Crane	γ_Q		1.000
Variable Actions - Other	γ_{Qo}		1.000
Combination Factor	ψ		1.000
Crane No. 1			
Dynamic Coefficient for			
Weight of crane	φ_1		1.100
Load lifting	φ_2		1.120
Sudden pull-off weight	φ_3		1.000
Crane travel	φ_4		1.000
Driving force	φ_5		1.500
Deformation			
Partial Safety Factors			
Permanent Actions	γ_G		1.000
Variable Actions - Crane	γ_Q		1.000
Variable Actions - Other	γ_{Qo}		1.000
Combination Factor	ψ		1.000
Crane No. 1			
Dynamic Coefficient for			
Weight of crane	φ_1		1.000
Load lifting	φ_2		1.000
Sudden pull-off weight	φ_3		1.000
Crane travel	φ_4		1.000
Driving force	φ_5		1.000
Support Forces			
Partial Safety Factors			
Permanent Actions	γ_G		1.000
Variable Actions - Crane	γ_Q		1.000
Variable Actions - Other	γ_{Qo}		1.000
Combination Factor	ψ		1.000
Crane No. 1			
Dynamic Coefficient for			
Weight of crane	φ_1		1.100
Load lifting	φ_2		1.120
Sudden pull-off weight	φ_3		1.000

Project: Projects

Model: Kranska staza

Date: 12.3.2020.

COEFFICIENT OF LOAD CASES

Crane travel	φ_4	1.000
Driving force	φ_5	1.500

DESCRIPTION OF LOAD COMBINATIONS

No.	CO No.	Girder	Location of 1st Wheel of Crane [m]			Load Description
			Crane 1	Crane 2	Crane 3	
1	CO1					$\gamma_G LC1$
2	CO2	Max	1.310			$\gamma_G (LC1 + LC4) + \gamma_Q (LC6 + LC8) + \gamma_{\infty} LC2$
3	CO3	Max	1.310			$\gamma_G (LC1 + LC3) + \gamma_Q LC8 + \gamma_{\infty} LC2$
4	CO4	Max	1.310			$\gamma_G (LC1 + LC5) + \gamma_Q (LC7 + LC8) + \gamma_{\infty} LC2$
5	CO5	Max	1.310			$\gamma_G (LC1 + LC5) + \gamma_Q (LC7 + LC9) + \gamma_{\infty} LC2$
6	CO6	Max	1.310			$\gamma_G (LC1 + LC5) + \gamma_Q (LC7 + LC10)$
7	CO7	Max	2.060			$\gamma_G (LC1 + LC12) + \gamma_Q (LC14 + LC16) + \gamma_{\infty} LC2$
8	CO8	Max	2.060			$\gamma_G (LC1 + LC11) + \gamma_Q LC16 + \gamma_{\infty} LC2$
9	CO9	Max	2.060			$\gamma_G (LC1 + LC13) + \gamma_Q (LC15 + LC16) + \gamma_{\infty} LC2$
10	CO10	Max	2.060			$\gamma_G (LC1 + LC13) + \gamma_Q (LC15 + LC17) + \gamma_{\infty} LC2$
11	CO11	Max	2.060			$\gamma_G (LC1 + LC13) + \gamma_Q (LC15 + LC18)$
12	CO12	Max	2.810			$\gamma_G (LC1 + LC20) + \gamma_Q (LC22 + LC24) + \gamma_{\infty} LC2$
13	CO13	Max	2.810			$\gamma_G (LC1 + LC19) + \gamma_Q LC24 + \gamma_{\infty} LC2$
14	CO14	Max	2.810			$\gamma_G (LC1 + LC21) + \gamma_Q (LC23 + LC24) + \gamma_{\infty} LC2$
15	CO15	Max	2.810			$\gamma_G (LC1 + LC21) + \gamma_Q (LC23 + LC25) + \gamma_{\infty} LC2$
16	CO16	Max	2.810			$\gamma_G (LC1 + LC21) + \gamma_Q (LC23 + LC26)$
17	CO17	Max	3.560			$\gamma_G (LC1 + LC28) + \gamma_Q (LC30 + LC32) + \gamma_{\infty} LC2$
18	CO18	Max	3.560			$\gamma_G (LC1 + LC27) + \gamma_Q LC32 + \gamma_{\infty} LC2$
19	CO19	Max	3.560			$\gamma_G (LC1 + LC29) + \gamma_Q (LC31 + LC32) + \gamma_{\infty} LC2$
20	CO20	Max	3.560			$\gamma_G (LC1 + LC29) + \gamma_Q (LC31 + LC33) + \gamma_{\infty} LC2$
21	CO21	Max	3.560			$\gamma_G (LC1 + LC29) + \gamma_Q (LC31 + LC34)$
22	CO22	Max	4.310			$\gamma_G (LC1 + LC36) + \gamma_Q (LC38 + LC40) + \gamma_{\infty} LC2$
23	CO23	Max	4.310			$\gamma_G (LC1 + LC35) + \gamma_Q LC40 + \gamma_{\infty} LC2$
24	CO24	Max	4.310			$\gamma_G (LC1 + LC37) + \gamma_Q (LC39 + LC40) + \gamma_{\infty} LC2$
25	CO25	Max	4.310			$\gamma_G (LC1 + LC37) + \gamma_Q (LC39 + LC41) + \gamma_{\infty} LC2$
26	CO26	Max	4.310			$\gamma_G (LC1 + LC37) + \gamma_Q (LC39 + LC42)$
27	CO27	Max	5.060			$\gamma_G (LC1 + LC44) + \gamma_Q (LC46 + LC48) + \gamma_{\infty} LC2$
28	CO28	Max	5.060			$\gamma_G (LC1 + LC43) + \gamma_Q LC48 + \gamma_{\infty} LC2$
29	CO29	Max	5.060			$\gamma_G (LC1 + LC45) + \gamma_Q (LC47 + LC48) + \gamma_{\infty} LC2$
30	CO30	Max	5.060			$\gamma_G (LC1 + LC45) + \gamma_Q (LC47 + LC49) + \gamma_{\infty} LC2$
31	CO31	Max	5.060			$\gamma_G (LC1 + LC45) + \gamma_Q (LC47 + LC50)$
32	CO32	Max	5.810			$\gamma_G (LC1 + LC52) + \gamma_Q (LC54 + LC56) + \gamma_{\infty} LC2$
33	CO33	Max	5.810			$\gamma_G (LC1 + LC51) + \gamma_Q LC56 + \gamma_{\infty} LC2$
34	CO34	Max	5.810			$\gamma_G (LC1 + LC53) + \gamma_Q (LC55 + LC56) + \gamma_{\infty} LC2$
35	CO35	Max	5.810			$\gamma_G (LC1 + LC53) + \gamma_Q (LC55 + LC57) + \gamma_{\infty} LC2$
36	CO36	Max	5.810			$\gamma_G (LC1 + LC53) + \gamma_Q (LC55 + LC58)$
37	CO37	Max	6.560			$\gamma_G (LC1 + LC60) + \gamma_Q (LC62 + LC64) + \gamma_{\infty} LC2$
38	CO38	Max	6.560			$\gamma_G (LC1 + LC59) + \gamma_Q LC64 + \gamma_{\infty} LC2$
39	CO39	Max	6.560			$\gamma_G (LC1 + LC61) + \gamma_Q (LC63 + LC64) + \gamma_{\infty} LC2$
40	CO40	Max	6.560			$\gamma_G (LC1 + LC61) + \gamma_Q (LC63 + LC65) + \gamma_{\infty} LC2$
41	CO41	Max	6.560			$\gamma_G (LC1 + LC61) + \gamma_Q (LC63 + LC66)$
42	CO42	Max	7.310			$\gamma_G (LC1 + LC68) + \gamma_Q (LC70 + LC72) + \gamma_{\infty} LC2$
43	CO43	Max	7.310			$\gamma_G (LC1 + LC67) + \gamma_Q LC72 + \gamma_{\infty} LC2$
44	CO44	Max	7.310			$\gamma_G (LC1 + LC69) + \gamma_Q (LC71 + LC72) + \gamma_{\infty} LC2$
45	CO45	Max	7.310			$\gamma_G (LC1 + LC69) + \gamma_Q (LC71 + LC73) + \gamma_{\infty} LC2$
46	CO46	Max	7.310			$\gamma_G (LC1 + LC69) + \gamma_Q (LC71 + LC74)$
47	CO47	Max	8.060			$\gamma_G (LC1 + LC76) + \gamma_Q (LC78 + LC80) + \gamma_{\infty} LC2$
48	CO48	Max	8.060			$\gamma_G (LC1 + LC75) + \gamma_Q LC80 + \gamma_{\infty} LC2$
49	CO49	Max	8.060			$\gamma_G (LC1 + LC77) + \gamma_Q (LC79 + LC80) + \gamma_{\infty} LC2$
50	CO50	Max	8.060			$\gamma_G (LC1 + LC77) + \gamma_Q (LC79 + LC81) + \gamma_{\infty} LC2$
51	CO51	Max	8.060			$\gamma_G (LC1 + LC77) + \gamma_Q (LC79 + LC82)$
52	CO52	Max	8.810			$\gamma_G (LC1 + LC84) + \gamma_Q (LC86 + LC88) + \gamma_{\infty} LC2$
53	CO53	Max	8.810			$\gamma_G (LC1 + LC83) + \gamma_Q LC88 + \gamma_{\infty} LC2$
54	CO54	Max	8.810			$\gamma_G (LC1 + LC85) + \gamma_Q (LC87 + LC88) + \gamma_{\infty} LC2$
55	CO55	Max	8.810			$\gamma_G (LC1 + LC85) + \gamma_Q (LC87 + LC89) + \gamma_{\infty} LC2$
56	CO56	Max	8.810			$\gamma_G (LC1 + LC85) + \gamma_Q (LC87 + LC90)$
57	CO57	Max	9.560			$\gamma_G (LC1 + LC92) + \gamma_Q (LC94 + LC96) + \gamma_{\infty} LC2$
58	CO58	Max	9.560			$\gamma_G (LC1 + LC91) + \gamma_Q LC96 + \gamma_{\infty} LC2$
59	CO59	Max	9.560			$\gamma_G (LC1 + LC93) + \gamma_Q (LC95 + LC96) + \gamma_{\infty} LC2$
60	CO60	Max	9.560			$\gamma_G (LC1 + LC93) + \gamma_Q (LC95 + LC97) + \gamma_{\infty} LC2$
61	CO61	Max	9.560			$\gamma_G (LC1 + LC93) + \gamma_Q (LC95 + LC98)$
62	CO62	Max	10.310			$\gamma_G (LC1 + LC100) + \gamma_Q (LC102 + LC104) + \gamma_{\infty} LC2$
63	CO63	Max	10.310			$\gamma_G (LC1 + LC99) + \gamma_Q LC104 + \gamma_{\infty} LC2$
64	CO64	Max	10.310			$\gamma_G (LC1 + LC101) + \gamma_Q (LC103 + LC104) + \gamma_{\infty} LC2$
65	CO65	Max	10.310			$\gamma_G (LC1 + LC101) + \gamma_Q (LC103 + LC105) + \gamma_{\infty} LC2$
66	CO66	Max	10.310			$\gamma_G (LC1 + LC101) + \gamma_Q (LC103 + LC106)$
67	CO67	Max	11.060			$\gamma_G (LC1 + LC108) + \gamma_Q (LC110 + LC112) + \gamma_{\infty} LC2$
68	CO68	Max	11.060			$\gamma_G (LC1 + LC107) + \gamma_Q LC112 + \gamma_{\infty} LC2$
69	CO69	Max	11.060			$\gamma_G (LC1 + LC109) + \gamma_Q (LC111 + LC112) + \gamma_{\infty} LC2$
70	CO70	Max	11.060			$\gamma_G (LC1 + LC109) + \gamma_Q (LC111 + LC113) + \gamma_{\infty} LC2$

Project: Projects

Model: Kranska staza

Date: 12.3.2020.

DESCRIPTION OF LOAD COMBINATIONS

No.	CO No.	Girder	Location of 1st Wheel of Crane [m]			Load Description
			Crane 1	Crane 2	Crane 3	
71	CO71	Max	11.060			$\gamma_G (LC1 + LC109) + \gamma_Q (LC111 + LC114)$
72	CO72	Max	11.810			$\gamma_G (LC1 + LC116) + \gamma_Q (LC118 + LC120) + \gamma_{Q0} LC2$
73	CO73	Max	11.810			$\gamma_G (LC1 + LC115) + \gamma_Q LC120 + \gamma_{Q0} LC2$
74	CO74	Max	11.810			$\gamma_G (LC1 + LC117) + \gamma_Q (LC119 + LC120) + \gamma_{Q0} LC2$
75	CO75	Max	11.810			$\gamma_G (LC1 + LC117) + \gamma_Q (LC119 + LC121) + \gamma_{Q0} LC2$
76	CO76	Max	11.810			$\gamma_G (LC1 + LC117) + \gamma_Q (LC119 + LC122)$
77	CO77	Max	12.560			$\gamma_G (LC1 + LC124) + \gamma_Q (LC126 + LC128) + \gamma_{Q0} LC2$
78	CO78	Max	12.560			$\gamma_G (LC1 + LC123) + \gamma_Q LC128 + \gamma_{Q0} LC2$
79	CO79	Max	12.560			$\gamma_G (LC1 + LC125) + \gamma_Q (LC127 + LC128) + \gamma_{Q0} LC2$
80	CO80	Max	12.560			$\gamma_G (LC1 + LC125) + \gamma_Q (LC127 + LC129) + \gamma_{Q0} LC2$
81	CO81	Max	12.560			$\gamma_G (LC1 + LC125) + \gamma_Q (LC127 + LC130)$
82	CO82	Max	13.310			$\gamma_G (LC1 + LC132) + \gamma_Q (LC134 + LC136) + \gamma_{Q0} LC2$
83	CO83	Max	13.310			$\gamma_G (LC1 + LC131) + \gamma_Q LC136 + \gamma_{Q0} LC2$
84	CO84	Max	13.310			$\gamma_G (LC1 + LC133) + \gamma_Q (LC135 + LC136) + \gamma_{Q0} LC2$
85	CO85	Max	13.310			$\gamma_G (LC1 + LC133) + \gamma_Q (LC135 + LC137) + \gamma_{Q0} LC2$
86	CO86	Max	13.310			$\gamma_G (LC1 + LC133) + \gamma_Q (LC135 + LC138)$
87	CO87	Max	14.060			$\gamma_G (LC1 + LC140) + \gamma_Q (LC142 + LC144) + \gamma_{Q0} LC2$
88	CO88	Max	14.060			$\gamma_G (LC1 + LC139) + \gamma_Q LC144 + \gamma_{Q0} LC2$
89	CO89	Max	14.060			$\gamma_G (LC1 + LC141) + \gamma_Q (LC143 + LC144) + \gamma_{Q0} LC2$
90	CO90	Max	14.060			$\gamma_G (LC1 + LC141) + \gamma_Q (LC143 + LC145) + \gamma_{Q0} LC2$
91	CO91	Max	14.060			$\gamma_G (LC1 + LC141) + \gamma_Q (LC143 + LC146)$
92	CO92	Max	14.810			$\gamma_G (LC1 + LC148) + \gamma_Q (LC150 + LC152) + \gamma_{Q0} LC2$
93	CO93	Max	14.810			$\gamma_G (LC1 + LC147) + \gamma_Q LC152 + \gamma_{Q0} LC2$
94	CO94	Max	14.810			$\gamma_G (LC1 + LC149) + \gamma_Q (LC151 + LC152) + \gamma_{Q0} LC2$
95	CO95	Max	14.810			$\gamma_G (LC1 + LC149) + \gamma_Q (LC151 + LC153) + \gamma_{Q0} LC2$
96	CO96	Max	14.810			$\gamma_G (LC1 + LC149) + \gamma_Q (LC151 + LC154)$
97	CO97	Max	15.560			$\gamma_G (LC1 + LC156) + \gamma_Q (LC158 + LC160) + \gamma_{Q0} LC2$
98	CO98	Max	15.560			$\gamma_G (LC1 + LC155) + \gamma_Q LC160 + \gamma_{Q0} LC2$
99	CO99	Max	15.560			$\gamma_G (LC1 + LC157) + \gamma_Q (LC159 + LC160) + \gamma_{Q0} LC2$
100	CO100	Max	15.560			$\gamma_G (LC1 + LC157) + \gamma_Q (LC159 + LC161) + \gamma_{Q0} LC2$
101	CO101	Max	15.560			$\gamma_G (LC1 + LC157) + \gamma_Q (LC159 + LC162)$
102	CO102	Max	16.310			$\gamma_G (LC1 + LC164) + \gamma_Q (LC166 + LC168) + \gamma_{Q0} LC2$
103	CO103	Max	16.310			$\gamma_G (LC1 + LC163) + \gamma_Q LC168 + \gamma_{Q0} LC2$
104	CO104	Max	16.310			$\gamma_G (LC1 + LC165) + \gamma_Q (LC167 + LC168) + \gamma_{Q0} LC2$
105	CO105	Max	16.310			$\gamma_G (LC1 + LC165) + \gamma_Q (LC167 + LC169) + \gamma_{Q0} LC2$
106	CO106	Max	16.310			$\gamma_G (LC1 + LC165) + \gamma_Q (LC167 + LC170)$
107	CO107	Max	17.060			$\gamma_G (LC1 + LC172) + \gamma_Q (LC174 + LC176) + \gamma_{Q0} LC2$
108	CO108	Max	17.060			$\gamma_G (LC1 + LC171) + \gamma_Q LC176 + \gamma_{Q0} LC2$
109	CO109	Max	17.060			$\gamma_G (LC1 + LC173) + \gamma_Q (LC175 + LC176) + \gamma_{Q0} LC2$
110	CO110	Max	17.060			$\gamma_G (LC1 + LC173) + \gamma_Q (LC175 + LC177) + \gamma_{Q0} LC2$
111	CO111	Max	17.060			$\gamma_G (LC1 + LC173) + \gamma_Q (LC175 + LC178)$
112	CO112	Max	17.810			$\gamma_G (LC1 + LC180) + \gamma_Q (LC182 + LC184) + \gamma_{Q0} LC2$
113	CO113	Max	17.810			$\gamma_G (LC1 + LC179) + \gamma_Q LC184 + \gamma_{Q0} LC2$
114	CO114	Max	17.810			$\gamma_G (LC1 + LC181) + \gamma_Q (LC183 + LC184) + \gamma_{Q0} LC2$
115	CO115	Max	17.810			$\gamma_G (LC1 + LC181) + \gamma_Q (LC183 + LC185) + \gamma_{Q0} LC2$
116	CO116	Max	17.810			$\gamma_G (LC1 + LC181) + \gamma_Q (LC183 + LC186)$
117	CO117	Max	18.560			$\gamma_G (LC1 + LC188) + \gamma_Q (LC190 + LC192) + \gamma_{Q0} LC2$
118	CO118	Max	18.560			$\gamma_G (LC1 + LC187) + \gamma_Q LC192 + \gamma_{Q0} LC2$
119	CO119	Max	18.560			$\gamma_G (LC1 + LC189) + \gamma_Q (LC191 + LC192) + \gamma_{Q0} LC2$
120	CO120	Max	18.560			$\gamma_G (LC1 + LC189) + \gamma_Q (LC191 + LC193) + \gamma_{Q0} LC2$
121	CO121	Max	18.560			$\gamma_G (LC1 + LC189) + \gamma_Q (LC191 + LC194)$
122	CO122	Max	19.310			$\gamma_G (LC1 + LC196) + \gamma_Q (LC198 + LC200) + \gamma_{Q0} LC2$
123	CO123	Max	19.310			$\gamma_G (LC1 + LC195) + \gamma_Q LC200 + \gamma_{Q0} LC2$
124	CO124	Max	19.310			$\gamma_G (LC1 + LC197) + \gamma_Q (LC199 + LC200) + \gamma_{Q0} LC2$
125	CO125	Max	19.310			$\gamma_G (LC1 + LC197) + \gamma_Q (LC199 + LC201) + \gamma_{Q0} LC2$
126	CO126	Max	19.310			$\gamma_G (LC1 + LC197) + \gamma_Q (LC199 + LC202)$
127	CO127	Max	20.060			$\gamma_G (LC1 + LC204) + \gamma_Q (LC206 + LC208) + \gamma_{Q0} LC2$
128	CO128	Max	20.060			$\gamma_G (LC1 + LC203) + \gamma_Q LC208 + \gamma_{Q0} LC2$
129	CO129	Max	20.060			$\gamma_G (LC1 + LC205) + \gamma_Q (LC207 + LC208) + \gamma_{Q0} LC2$
130	CO130	Max	20.060			$\gamma_G (LC1 + LC205) + \gamma_Q (LC207 + LC209) + \gamma_{Q0} LC2$
131	CO131	Max	20.060			$\gamma_G (LC1 + LC205) + \gamma_Q (LC207 + LC210)$
132	CO132	Max	20.810			$\gamma_G (LC1 + LC212) + \gamma_Q (LC214 + LC216) + \gamma_{Q0} LC2$
133	CO133	Max	20.810			$\gamma_G (LC1 + LC211) + \gamma_Q LC216 + \gamma_{Q0} LC2$
134	CO134	Max	20.810			$\gamma_G (LC1 + LC213) + \gamma_Q (LC215 + LC216) + \gamma_{Q0} LC2$
135	CO135	Max	20.810			$\gamma_G (LC1 + LC213) + \gamma_Q (LC215 + LC217) + \gamma_{Q0} LC2$
136	CO136	Max	20.810			$\gamma_G (LC1 + LC213) + \gamma_Q (LC215 + LC218)$
137	CO137	Max	21.560			$\gamma_G (LC1 + LC220) + \gamma_Q (LC222 + LC224) + \gamma_{Q0} LC2$
138	CO138	Max	21.560			$\gamma_G (LC1 + LC219) + \gamma_Q LC224 + \gamma_{Q0} LC2$
139	CO139	Max	21.560			$\gamma_G (LC1 + LC221) + \gamma_Q (LC223 + LC224) + \gamma_{Q0} LC2$
140	CO140	Max	21.560			$\gamma_G (LC1 + LC221) + \gamma_Q (LC223 + LC225) + \gamma_{Q0} LC2$
141	CO141	Max	21.560			$\gamma_G (LC1 + LC221) + \gamma_Q (LC223 + LC226)$
142	CO142	Max	22.310			$\gamma_G (LC1 + LC228) + \gamma_Q (LC230 + LC232) + \gamma_{Q0} LC2$
143	CO143	Max	22.310			$\gamma_G (LC1 + LC227) + \gamma_Q LC232 + \gamma_{Q0} LC2$
144	CO144	Max	22.310			$\gamma_G (LC1 + LC229) + \gamma_Q (LC231 + LC232) + \gamma_{Q0} LC2$
145	CO145	Max	22.310			$\gamma_G (LC1 + LC229) + \gamma_Q (LC231 + LC233) + \gamma_{Q0} LC2$
146	CO146	Max	22.310			$\gamma_G (LC1 + LC229) + \gamma_Q (LC231 + LC234)$
147	CO147	Max	23.060			$\gamma_G (LC1 + LC236) + \gamma_Q (LC238 + LC240) + \gamma_{Q0} LC2$

Project: Projects

Model: Kranska staza

Date: 12.3.2020.

DESCRIPTION OF LOAD COMBINATIONS

No.	CO No.	Girder	Location of 1st Wheel of Crane [m]			Load Description
			Crane 1	Crane 2	Crane 3	
148	CO148	Max	23.060			$\gamma_G (LC1 + LC235) + \gamma_Q LC240 + \gamma_{Qo} LC2$
149	CO149	Max	23.060			$\gamma_G (LC1 + LC237) + \gamma_Q (LC239 + LC240) + \gamma_{Qo} LC2$
150	CO150	Max	23.060			$\gamma_G (LC1 + LC237) + \gamma_Q (LC239 + LC241) + \gamma_{Qo} LC2$
151	CO151	Max	23.060			$\gamma_G (LC1 + LC237) + \gamma_Q (LC239 + LC242)$
152	CO152	Max	23.810			$\gamma_G (LC1 + LC244) + \gamma_Q (LC246 + LC248) + \gamma_{Qo} LC2$
153	CO153	Max	23.810			$\gamma_G (LC1 + LC243) + \gamma_Q LC248 + \gamma_{Qo} LC2$
154	CO154	Max	23.810			$\gamma_G (LC1 + LC245) + \gamma_Q (LC247 + LC248) + \gamma_{Qo} LC2$
155	CO155	Max	23.810			$\gamma_G (LC1 + LC245) + \gamma_Q (LC247 + LC249) + \gamma_{Qo} LC2$
156	CO156	Max	23.810			$\gamma_G (LC1 + LC245) + \gamma_Q (LC247 + LC250)$
157	CO157	Max	24.560			$\gamma_G (LC1 + LC252) + \gamma_Q (LC254 + LC256) + \gamma_{Qo} LC2$
158	CO158	Max	24.560			$\gamma_G (LC1 + LC251) + \gamma_Q LC256 + \gamma_{Qo} LC2$
159	CO159	Max	24.560			$\gamma_G (LC1 + LC253) + \gamma_Q (LC255 + LC256) + \gamma_{Qo} LC2$
160	CO160	Max	24.560			$\gamma_G (LC1 + LC253) + \gamma_Q (LC255 + LC257) + \gamma_{Qo} LC2$
161	CO161	Max	24.560			$\gamma_G (LC1 + LC253) + \gamma_Q (LC255 + LC258)$
162	CO162	Max	25.310			$\gamma_G (LC1 + LC260) + \gamma_Q (LC262 + LC264) + \gamma_{Qo} LC2$
163	CO163	Max	25.310			$\gamma_G (LC1 + LC259) + \gamma_Q LC264 + \gamma_{Qo} LC2$
164	CO164	Max	25.310			$\gamma_G (LC1 + LC261) + \gamma_Q (LC263 + LC264) + \gamma_{Qo} LC2$
165	CO165	Max	25.310			$\gamma_G (LC1 + LC261) + \gamma_Q (LC263 + LC265) + \gamma_{Qo} LC2$
166	CO166	Max	25.310			$\gamma_G (LC1 + LC261) + \gamma_Q (LC263 + LC266)$
167	CO167	Max	26.060			$\gamma_G (LC1 + LC268) + \gamma_Q (LC270 + LC272) + \gamma_{Qo} LC2$
168	CO168	Max	26.060			$\gamma_G (LC1 + LC267) + \gamma_Q LC272 + \gamma_{Qo} LC2$
169	CO169	Max	26.060			$\gamma_G (LC1 + LC269) + \gamma_Q (LC271 + LC272) + \gamma_{Qo} LC2$
170	CO170	Max	26.060			$\gamma_G (LC1 + LC269) + \gamma_Q (LC271 + LC273) + \gamma_{Qo} LC2$
171	CO171	Max	26.060			$\gamma_G (LC1 + LC269) + \gamma_Q (LC271 + LC274)$
172	CO172	Max	26.810			$\gamma_G (LC1 + LC276) + \gamma_Q (LC278 + LC280) + \gamma_{Qo} LC2$
173	CO173	Max	26.810			$\gamma_G (LC1 + LC275) + \gamma_Q LC280 + \gamma_{Qo} LC2$
174	CO174	Max	26.810			$\gamma_G (LC1 + LC277) + \gamma_Q (LC279 + LC280) + \gamma_{Qo} LC2$
175	CO175	Max	26.810			$\gamma_G (LC1 + LC277) + \gamma_Q (LC279 + LC281) + \gamma_{Qo} LC2$
176	CO176	Max	26.810			$\gamma_G (LC1 + LC277) + \gamma_Q (LC279 + LC282)$
177	CO177	Max	27.560			$\gamma_G (LC1 + LC284) + \gamma_Q (LC286 + LC288) + \gamma_{Qo} LC2$
178	CO178	Max	27.560			$\gamma_G (LC1 + LC283) + \gamma_Q LC288 + \gamma_{Qo} LC2$
179	CO179	Max	27.560			$\gamma_G (LC1 + LC285) + \gamma_Q (LC287 + LC288) + \gamma_{Qo} LC2$
180	CO180	Max	27.560			$\gamma_G (LC1 + LC285) + \gamma_Q (LC287 + LC289) + \gamma_{Qo} LC2$
181	CO181	Max	27.560			$\gamma_G (LC1 + LC285) + \gamma_Q (LC287 + LC290)$
182	CO182	Max	28.310			$\gamma_G (LC1 + LC292) + \gamma_Q (LC294 + LC296) + \gamma_{Qo} LC2$
183	CO183	Max	28.310			$\gamma_G (LC1 + LC291) + \gamma_Q LC296 + \gamma_{Qo} LC2$
184	CO184	Max	28.310			$\gamma_G (LC1 + LC293) + \gamma_Q (LC295 + LC296) + \gamma_{Qo} LC2$
185	CO185	Max	28.310			$\gamma_G (LC1 + LC293) + \gamma_Q (LC295 + LC297) + \gamma_{Qo} LC2$
186	CO186	Max	28.310			$\gamma_G (LC1 + LC293) + \gamma_Q (LC295 + LC298)$
187	CO187	Max	29.060			$\gamma_G (LC1 + LC300) + \gamma_Q (LC302 + LC304) + \gamma_{Qo} LC2$
188	CO188	Max	29.060			$\gamma_G (LC1 + LC299) + \gamma_Q LC304 + \gamma_{Qo} LC2$
189	CO189	Max	29.060			$\gamma_G (LC1 + LC301) + \gamma_Q (LC303 + LC304) + \gamma_{Qo} LC2$
190	CO190	Max	29.060			$\gamma_G (LC1 + LC301) + \gamma_Q (LC303 + LC305) + \gamma_{Qo} LC2$
191	CO191	Max	29.060			$\gamma_G (LC1 + LC301) + \gamma_Q (LC303 + LC306)$
192	CO192	Max	29.810			$\gamma_G (LC1 + LC308) + \gamma_Q (LC310 + LC312) + \gamma_{Qo} LC2$
193	CO193	Max	29.810			$\gamma_G (LC1 + LC307) + \gamma_Q LC312 + \gamma_{Qo} LC2$
194	CO194	Max	29.810			$\gamma_G (LC1 + LC309) + \gamma_Q (LC311 + LC312) + \gamma_{Qo} LC2$
195	CO195	Max	29.810			$\gamma_G (LC1 + LC309) + \gamma_Q (LC311 + LC313) + \gamma_{Qo} LC2$
196	CO196	Max	29.810			$\gamma_G (LC1 + LC309) + \gamma_Q (LC311 + LC314)$
197	CO197	Max	30.560			$\gamma_G (LC1 + LC316) + \gamma_Q (LC318 + LC320) + \gamma_{Qo} LC2$
198	CO198	Max	30.560			$\gamma_G (LC1 + LC315) + \gamma_Q LC320 + \gamma_{Qo} LC2$
199	CO199	Max	30.560			$\gamma_G (LC1 + LC317) + \gamma_Q (LC319 + LC320) + \gamma_{Qo} LC2$
200	CO200	Max	30.560			$\gamma_G (LC1 + LC317) + \gamma_Q (LC319 + LC321) + \gamma_{Qo} LC2$
201	CO201	Max	30.560			$\gamma_G (LC1 + LC317) + \gamma_Q (LC319 + LC322)$
202	CO202	Max	31.310			$\gamma_G (LC1 + LC324) + \gamma_Q (LC326 + LC328) + \gamma_{Qo} LC2$
203	CO203	Max	31.310			$\gamma_G (LC1 + LC323) + \gamma_Q LC328 + \gamma_{Qo} LC2$
204	CO204	Max	31.310			$\gamma_G (LC1 + LC325) + \gamma_Q (LC327 + LC328) + \gamma_{Qo} LC2$
205	CO205	Max	31.310			$\gamma_G (LC1 + LC325) + \gamma_Q (LC327 + LC329) + \gamma_{Qo} LC2$
206	CO206	Max	31.310			$\gamma_G (LC1 + LC325) + \gamma_Q (LC327 + LC330)$
207	CO207	Max	32.060			$\gamma_G (LC1 + LC332) + \gamma_Q (LC334 + LC336) + \gamma_{Qo} LC2$
208	CO208	Max	32.060			$\gamma_G (LC1 + LC331) + \gamma_Q LC336 + \gamma_{Qo} LC2$
209	CO209	Max	32.060			$\gamma_G (LC1 + LC333) + \gamma_Q (LC335 + LC336) + \gamma_{Qo} LC2$
210	CO210	Max	32.060			$\gamma_G (LC1 + LC333) + \gamma_Q (LC335 + LC337) + \gamma_{Qo} LC2$
211	CO211	Max	32.060			$\gamma_G (LC1 + LC333) + \gamma_Q (LC335 + LC338)$
212	CO212	Max	32.810			$\gamma_G (LC1 + LC340) + \gamma_Q (LC342 + LC344) + \gamma_{Qo} LC2$
213	CO213	Max	32.810			$\gamma_G (LC1 + LC339) + \gamma_Q LC344 + \gamma_{Qo} LC2$
214	CO214	Max	32.810			$\gamma_G (LC1 + LC341) + \gamma_Q (LC343 + LC344) + \gamma_{Qo} LC2$
215	CO215	Max	32.810			$\gamma_G (LC1 + LC341) + \gamma_Q (LC343 + LC345) + \gamma_{Qo} LC2$
216	CO216	Max	32.810			$\gamma_G (LC1 + LC341) + \gamma_Q (LC343 + LC346)$
217	CO217	Max	33.560			$\gamma_G (LC1 + LC348) + \gamma_Q (LC350 + LC352) + \gamma_{Qo} LC2$
218	CO218	Max	33.560			$\gamma_G (LC1 + LC347) + \gamma_Q LC352 + \gamma_{Qo} LC2$
219	CO219	Max	33.560			$\gamma_G (LC1 + LC349) + \gamma_Q (LC351 + LC352) + \gamma_{Qo} LC2$
220	CO220	Max	33.560			$\gamma_G (LC1 + LC349) + \gamma_Q (LC351 + LC353) + \gamma_{Qo} LC2$
221	CO221	Max	33.560			$\gamma_G (LC1 + LC349) + \gamma_Q (LC351 + LC354)$
222	CO222	Max	34.310			$\gamma_G (LC1 + LC356) + \gamma_Q (LC358 + LC360) + \gamma_{Qo} LC2$
223	CO223	Max	34.310			$\gamma_G (LC1 + LC355) + \gamma_Q LC360 + \gamma_{Qo} LC2$
224	CO224	Max	34.310			$\gamma_G (LC1 + LC357) + \gamma_Q (LC359 + LC360) + \gamma_{Qo} LC2$

Project: Projects

Model: Kranska staza

Date: 12.3.2020.

DESCRIPTION OF LOAD COMBINATIONS

No.	CO No.	Girder	Location of 1st Wheel of Crane [m]			Load Description
			Crane 1	Crane 2	Crane 3	
225	CO225	Max	34.310			$\gamma_G (LC1 + LC357) + \gamma_Q (LC359 + LC361) + \gamma_{\infty} LC2$
226	CO226	Max	34.310			$\gamma_G (LC1 + LC357) + \gamma_Q (LC359 + LC362)$
227	CO227	Max	35.060			$\gamma_G (LC1 + LC364) + \gamma_Q (LC366 + LC368) + \gamma_{\infty} LC2$
228	CO228	Max	35.060			$\gamma_G (LC1 + LC363) + \gamma_Q (LC368 + \gamma_{\infty} LC2)$
229	CO229	Max	35.060			$\gamma_G (LC1 + LC365) + \gamma_Q (LC367 + LC368) + \gamma_{\infty} LC2$
230	CO230	Max	35.060			$\gamma_G (LC1 + LC365) + \gamma_Q (LC367 + LC369) + \gamma_{\infty} LC2$
231	CO231	Max	35.060			$\gamma_G (LC1 + LC365) + \gamma_Q (LC367 + LC370)$
232	CO232	Max	35.810			$\gamma_G (LC1 + LC372) + \gamma_Q (LC374 + LC376) + \gamma_{\infty} LC2$
233	CO233	Max	35.810			$\gamma_G (LC1 + LC371) + \gamma_Q (LC376 + \gamma_{\infty} LC2)$
234	CO234	Max	35.810			$\gamma_G (LC1 + LC373) + \gamma_Q (LC375 + LC376) + \gamma_{\infty} LC2$
235	CO235	Max	35.810			$\gamma_G (LC1 + LC373) + \gamma_Q (LC375 + LC377) + \gamma_{\infty} LC2$
236	CO236	Max	35.810			$\gamma_G (LC1 + LC373) + \gamma_Q (LC375 + LC378)$
237	CO237	Max	36.560			$\gamma_G (LC1 + LC380) + \gamma_Q (LC382 + LC384) + \gamma_{\infty} LC2$
238	CO238	Max	36.560			$\gamma_G (LC1 + LC379) + \gamma_Q (LC384 + \gamma_{\infty} LC2)$
239	CO239	Max	36.560			$\gamma_G (LC1 + LC381) + \gamma_Q (LC383 + LC384) + \gamma_{\infty} LC2$
240	CO240	Max	36.560			$\gamma_G (LC1 + LC381) + \gamma_Q (LC383 + LC385) + \gamma_{\infty} LC2$
241	CO241	Max	36.560			$\gamma_G (LC1 + LC381) + \gamma_Q (LC383 + LC386)$
242	CO242	Max	37.310			$\gamma_G (LC1 + LC388) + \gamma_Q (LC390 + LC392) + \gamma_{\infty} LC2$
243	CO243	Max	37.310			$\gamma_G (LC1 + LC387) + \gamma_Q (LC392 + \gamma_{\infty} LC2)$
244	CO244	Max	37.310			$\gamma_G (LC1 + LC389) + \gamma_Q (LC391 + LC392) + \gamma_{\infty} LC2$
245	CO245	Max	37.310			$\gamma_G (LC1 + LC389) + \gamma_Q (LC391 + LC393) + \gamma_{\infty} LC2$
246	CO246	Max	37.310			$\gamma_G (LC1 + LC389) + \gamma_Q (LC391 + LC394)$
247	CO247	Max	38.060			$\gamma_G (LC1 + LC396) + \gamma_Q (LC398 + LC400) + \gamma_{\infty} LC2$
248	CO248	Max	38.060			$\gamma_G (LC1 + LC395) + \gamma_Q (LC400 + \gamma_{\infty} LC2)$
249	CO249	Max	38.060			$\gamma_G (LC1 + LC397) + \gamma_Q (LC399 + LC400) + \gamma_{\infty} LC2$
250	CO250	Max	38.060			$\gamma_G (LC1 + LC397) + \gamma_Q (LC399 + LC401) + \gamma_{\infty} LC2$
251	CO251	Max	38.060			$\gamma_G (LC1 + LC397) + \gamma_Q (LC399 + LC402)$
252	CO252	Max	38.810			$\gamma_G (LC1 + LC404) + \gamma_Q (LC406 + LC408) + \gamma_{\infty} LC2$
253	CO253	Max	38.810			$\gamma_G (LC1 + LC403) + \gamma_Q (LC408 + \gamma_{\infty} LC2)$
254	CO254	Max	38.810			$\gamma_G (LC1 + LC405) + \gamma_Q (LC407 + LC408) + \gamma_{\infty} LC2$
255	CO255	Max	38.810			$\gamma_G (LC1 + LC405) + \gamma_Q (LC407 + LC409) + \gamma_{\infty} LC2$
256	CO256	Max	38.810			$\gamma_G (LC1 + LC405) + \gamma_Q (LC407 + LC410)$
257	CO257	Max	39.190			$\gamma_G (LC1 + LC412) + \gamma_Q (LC414 + LC416) + \gamma_{\infty} LC2$
258	CO258	Max	39.190			$\gamma_G (LC1 + LC411) + \gamma_Q (LC416 + \gamma_{\infty} LC2)$
259	CO259	Max	39.190			$\gamma_G (LC1 + LC413) + \gamma_Q (LC415 + LC416) + \gamma_{\infty} LC2$
260	CO260	Max	39.190			$\gamma_G (LC1 + LC413) + \gamma_Q (LC415 + LC417) + \gamma_{\infty} LC2$
261	CO261	Max	39.190			$\gamma_G (LC1 + LC413) + \gamma_Q (LC415 + LC418)$
262	CO262	Min	1.310			$\gamma_G (LC1 + LC420) + \gamma_Q (LC422 + LC424) + \gamma_{\infty} LC2$
263	CO263	Min	1.310			$\gamma_G (LC1 + LC419) + \gamma_Q (LC424 + \gamma_{\infty} LC2)$
264	CO264	Min	1.310			$\gamma_G (LC1 + LC421) + \gamma_Q (LC423 + LC424) + \gamma_{\infty} LC2$
265	CO265	Min	1.310			$\gamma_G (LC1 + LC421) + \gamma_Q (LC423 + LC425) + \gamma_{\infty} LC2$
266	CO266	Min	1.310			$\gamma_G (LC1 + LC421) + \gamma_Q (LC423 + LC426)$
267	CO267	Min	2.060			$\gamma_G (LC1 + LC428) + \gamma_Q (LC430 + LC432) + \gamma_{\infty} LC2$
268	CO268	Min	2.060			$\gamma_G (LC1 + LC427) + \gamma_Q (LC432 + \gamma_{\infty} LC2)$
269	CO269	Min	2.060			$\gamma_G (LC1 + LC429) + \gamma_Q (LC431 + LC432) + \gamma_{\infty} LC2$
270	CO270	Min	2.060			$\gamma_G (LC1 + LC429) + \gamma_Q (LC431 + LC433) + \gamma_{\infty} LC2$
271	CO271	Min	2.060			$\gamma_G (LC1 + LC429) + \gamma_Q (LC431 + LC434)$
272	CO272	Min	2.810			$\gamma_G (LC1 + LC436) + \gamma_Q (LC438 + LC440) + \gamma_{\infty} LC2$
273	CO273	Min	2.810			$\gamma_G (LC1 + LC435) + \gamma_Q (LC440 + \gamma_{\infty} LC2)$
274	CO274	Min	2.810			$\gamma_G (LC1 + LC437) + \gamma_Q (LC439 + LC440) + \gamma_{\infty} LC2$
275	CO275	Min	2.810			$\gamma_G (LC1 + LC437) + \gamma_Q (LC439 + LC441) + \gamma_{\infty} LC2$
276	CO276	Min	2.810			$\gamma_G (LC1 + LC437) + \gamma_Q (LC439 + LC442)$
277	CO277	Min	3.560			$\gamma_G (LC1 + LC444) + \gamma_Q (LC446 + LC448) + \gamma_{\infty} LC2$
278	CO278	Min	3.560			$\gamma_G (LC1 + LC443) + \gamma_Q (LC448 + \gamma_{\infty} LC2)$
279	CO279	Min	3.560			$\gamma_G (LC1 + LC445) + \gamma_Q (LC447 + LC448) + \gamma_{\infty} LC2$
280	CO280	Min	3.560			$\gamma_G (LC1 + LC445) + \gamma_Q (LC447 + LC449) + \gamma_{\infty} LC2$
281	CO281	Min	3.560			$\gamma_G (LC1 + LC445) + \gamma_Q (LC447 + LC450)$
282	CO282	Min	4.310			$\gamma_G (LC1 + LC452) + \gamma_Q (LC454 + LC456) + \gamma_{\infty} LC2$
283	CO283	Min	4.310			$\gamma_G (LC1 + LC451) + \gamma_Q (LC456 + \gamma_{\infty} LC2)$
284	CO284	Min	4.310			$\gamma_G (LC1 + LC453) + \gamma_Q (LC455 + LC456) + \gamma_{\infty} LC2$
285	CO285	Min	4.310			$\gamma_G (LC1 + LC453) + \gamma_Q (LC455 + LC457) + \gamma_{\infty} LC2$
286	CO286	Min	4.310			$\gamma_G (LC1 + LC453) + \gamma_Q (LC455 + LC458)$
287	CO287	Min	5.060			$\gamma_G (LC1 + LC460) + \gamma_Q (LC462 + LC464) + \gamma_{\infty} LC2$
288	CO288	Min	5.060			$\gamma_G (LC1 + LC459) + \gamma_Q (LC464 + \gamma_{\infty} LC2)$
289	CO289	Min	5.060			$\gamma_G (LC1 + LC461) + \gamma_Q (LC463 + LC464) + \gamma_{\infty} LC2$
290	CO290	Min	5.060			$\gamma_G (LC1 + LC461) + \gamma_Q (LC463 + LC465) + \gamma_{\infty} LC2$
291	CO291	Min	5.060			$\gamma_G (LC1 + LC461) + \gamma_Q (LC463 + LC466)$
292	CO292	Min	5.810			$\gamma_G (LC1 + LC468) + \gamma_Q (LC470 + LC472) + \gamma_{\infty} LC2$
293	CO293	Min	5.810			$\gamma_G (LC1 + LC467) + \gamma_Q (LC472 + \gamma_{\infty} LC2)$
294	CO294	Min	5.810			$\gamma_G (LC1 + LC469) + \gamma_Q (LC471 + LC472) + \gamma_{\infty} LC2$
295	CO295	Min	5.810			$\gamma_G (LC1 + LC469) + \gamma_Q (LC471 + LC473) + \gamma_{\infty} LC2$
296	CO296	Min	5.810			$\gamma_G (LC1 + LC469) + \gamma_Q (LC471 + LC474)$
297	CO297	Min	6.560			$\gamma_G (LC1 + LC476) + \gamma_Q (LC478 + LC480) + \gamma_{\infty} LC2$
298	CO298	Min	6.560			$\gamma_G (LC1 + LC475) + \gamma_Q (LC480 + \gamma_{\infty} LC2)$
299	CO299	Min	6.560			$\gamma_G (LC1 + LC477) + \gamma_Q (LC479 + LC480) + \gamma_{\infty} LC2$
300	CO300	Min	6.560			$\gamma_G (LC1 + LC477) + \gamma_Q (LC479 + LC481) + \gamma_{\infty} LC2$
301	CO301	Min	6.560			$\gamma_G (LC1 + LC477) + \gamma_Q (LC479 + LC482)$

Project: Projects

Model: Kranska staza

Date: 12.3.2020.

DESCRIPTION OF LOAD COMBINATIONS

No.	CO No.	Girder	Location of 1st Wheel of Crane [m]			Load Description
			Crane 1	Crane 2	Crane 3	
302	CO302	Min	7.310			$\gamma_G (LC1 + LC484) + \gamma_Q (LC486 + LC488) + \gamma_{Q_{00}} LC2$
303	CO303	Min	7.310			$\gamma_G (LC1 + LC483) + \gamma_Q LC488 + \gamma_{Q_{00}} LC2$
304	CO304	Min	7.310			$\gamma_G (LC1 + LC485) + \gamma_Q (LC487 + LC488) + \gamma_{Q_{00}} LC2$
305	CO305	Min	7.310			$\gamma_G (LC1 + LC485) + \gamma_Q (LC487 + LC489) + \gamma_{Q_{00}} LC2$
306	CO306	Min	7.310			$\gamma_G (LC1 + LC485) + \gamma_Q (LC487 + LC490)$
307	CO307	Min	8.060			$\gamma_G (LC1 + LC492) + \gamma_Q (LC494 + LC496) + \gamma_{Q_{00}} LC2$
308	CO308	Min	8.060			$\gamma_G (LC1 + LC491) + \gamma_Q LC496 + \gamma_{Q_{00}} LC2$
309	CO309	Min	8.060			$\gamma_G (LC1 + LC493) + \gamma_Q (LC495 + LC496) + \gamma_{Q_{00}} LC2$
310	CO310	Min	8.060			$\gamma_G (LC1 + LC493) + \gamma_Q (LC495 + LC497) + \gamma_{Q_{00}} LC2$
311	CO311	Min	8.060			$\gamma_G (LC1 + LC493) + \gamma_Q (LC495 + LC498)$
312	CO312	Min	8.810			$\gamma_G (LC1 + LC500) + \gamma_Q (LC502 + LC504) + \gamma_{Q_{00}} LC2$
313	CO313	Min	8.810			$\gamma_G (LC1 + LC499) + \gamma_Q LC504 + \gamma_{Q_{00}} LC2$
314	CO314	Min	8.810			$\gamma_G (LC1 + LC501) + \gamma_Q (LC503 + LC504) + \gamma_{Q_{00}} LC2$
315	CO315	Min	8.810			$\gamma_G (LC1 + LC501) + \gamma_Q (LC503 + LC505) + \gamma_{Q_{00}} LC2$
316	CO316	Min	8.810			$\gamma_G (LC1 + LC501) + \gamma_Q (LC503 + LC506)$
317	CO317	Min	9.560			$\gamma_G (LC1 + LC508) + \gamma_Q (LC510 + LC512) + \gamma_{Q_{00}} LC2$
318	CO318	Min	9.560			$\gamma_G (LC1 + LC507) + \gamma_Q LC512 + \gamma_{Q_{00}} LC2$
319	CO319	Min	9.560			$\gamma_G (LC1 + LC509) + \gamma_Q (LC511 + LC512) + \gamma_{Q_{00}} LC2$
320	CO320	Min	9.560			$\gamma_G (LC1 + LC509) + \gamma_Q (LC511 + LC513) + \gamma_{Q_{00}} LC2$
321	CO321	Min	9.560			$\gamma_G (LC1 + LC509) + \gamma_Q (LC511 + LC514)$
322	CO322	Min	10.310			$\gamma_G (LC1 + LC516) + \gamma_Q (LC518 + LC520) + \gamma_{Q_{00}} LC2$
323	CO323	Min	10.310			$\gamma_G (LC1 + LC515) + \gamma_Q LC520 + \gamma_{Q_{00}} LC2$
324	CO324	Min	10.310			$\gamma_G (LC1 + LC517) + \gamma_Q (LC519 + LC520) + \gamma_{Q_{00}} LC2$
325	CO325	Min	10.310			$\gamma_G (LC1 + LC517) + \gamma_Q (LC519 + LC521) + \gamma_{Q_{00}} LC2$
326	CO326	Min	10.310			$\gamma_G (LC1 + LC517) + \gamma_Q (LC519 + LC522)$
327	CO327	Min	11.060			$\gamma_G (LC1 + LC524) + \gamma_Q (LC526 + LC528) + \gamma_{Q_{00}} LC2$
328	CO328	Min	11.060			$\gamma_G (LC1 + LC523) + \gamma_Q LC528 + \gamma_{Q_{00}} LC2$
329	CO329	Min	11.060			$\gamma_G (LC1 + LC525) + \gamma_Q (LC527 + LC528) + \gamma_{Q_{00}} LC2$
330	CO330	Min	11.060			$\gamma_G (LC1 + LC525) + \gamma_Q (LC527 + LC529) + \gamma_{Q_{00}} LC2$
331	CO331	Min	11.060			$\gamma_G (LC1 + LC525) + \gamma_Q (LC527 + LC530)$
332	CO332	Min	11.810			$\gamma_G (LC1 + LC532) + \gamma_Q (LC534 + LC536) + \gamma_{Q_{00}} LC2$
333	CO333	Min	11.810			$\gamma_G (LC1 + LC531) + \gamma_Q LC536 + \gamma_{Q_{00}} LC2$
334	CO334	Min	11.810			$\gamma_G (LC1 + LC533) + \gamma_Q (LC535 + LC536) + \gamma_{Q_{00}} LC2$
335	CO335	Min	11.810			$\gamma_G (LC1 + LC533) + \gamma_Q (LC535 + LC537) + \gamma_{Q_{00}} LC2$
336	CO336	Min	11.810			$\gamma_G (LC1 + LC533) + \gamma_Q (LC535 + LC538)$
337	CO337	Min	12.560			$\gamma_G (LC1 + LC540) + \gamma_Q (LC542 + LC544) + \gamma_{Q_{00}} LC2$
338	CO338	Min	12.560			$\gamma_G (LC1 + LC539) + \gamma_Q LC544 + \gamma_{Q_{00}} LC2$
339	CO339	Min	12.560			$\gamma_G (LC1 + LC541) + \gamma_Q (LC543 + LC544) + \gamma_{Q_{00}} LC2$
340	CO340	Min	12.560			$\gamma_G (LC1 + LC541) + \gamma_Q (LC543 + LC545) + \gamma_{Q_{00}} LC2$
341	CO341	Min	12.560			$\gamma_G (LC1 + LC541) + \gamma_Q (LC543 + LC546)$
342	CO342	Min	13.310			$\gamma_G (LC1 + LC548) + \gamma_Q (LC550 + LC552) + \gamma_{Q_{00}} LC2$
343	CO343	Min	13.310			$\gamma_G (LC1 + LC547) + \gamma_Q LC552 + \gamma_{Q_{00}} LC2$
344	CO344	Min	13.310			$\gamma_G (LC1 + LC549) + \gamma_Q (LC551 + LC552) + \gamma_{Q_{00}} LC2$
345	CO345	Min	13.310			$\gamma_G (LC1 + LC549) + \gamma_Q (LC551 + LC553) + \gamma_{Q_{00}} LC2$
346	CO346	Min	13.310			$\gamma_G (LC1 + LC549) + \gamma_Q (LC551 + LC554)$
347	CO347	Min	14.060			$\gamma_G (LC1 + LC556) + \gamma_Q (LC558 + LC560) + \gamma_{Q_{00}} LC2$
348	CO348	Min	14.060			$\gamma_G (LC1 + LC555) + \gamma_Q LC560 + \gamma_{Q_{00}} LC2$
349	CO349	Min	14.060			$\gamma_G (LC1 + LC557) + \gamma_Q (LC559 + LC560) + \gamma_{Q_{00}} LC2$
350	CO350	Min	14.060			$\gamma_G (LC1 + LC557) + \gamma_Q (LC559 + LC561) + \gamma_{Q_{00}} LC2$
351	CO351	Min	14.060			$\gamma_G (LC1 + LC557) + \gamma_Q (LC559 + LC562)$
352	CO352	Min	14.810			$\gamma_G (LC1 + LC564) + \gamma_Q (LC566 + LC568) + \gamma_{Q_{00}} LC2$
353	CO353	Min	14.810			$\gamma_G (LC1 + LC563) + \gamma_Q LC568 + \gamma_{Q_{00}} LC2$
354	CO354	Min	14.810			$\gamma_G (LC1 + LC565) + \gamma_Q (LC567 + LC568) + \gamma_{Q_{00}} LC2$
355	CO355	Min	14.810			$\gamma_G (LC1 + LC565) + \gamma_Q (LC567 + LC569) + \gamma_{Q_{00}} LC2$
356	CO356	Min	14.810			$\gamma_G (LC1 + LC565) + \gamma_Q (LC567 + LC570)$
357	CO357	Min	15.560			$\gamma_G (LC1 + LC572) + \gamma_Q (LC574 + LC576) + \gamma_{Q_{00}} LC2$
358	CO358	Min	15.560			$\gamma_G (LC1 + LC571) + \gamma_Q LC576 + \gamma_{Q_{00}} LC2$
359	CO359	Min	15.560			$\gamma_G (LC1 + LC573) + \gamma_Q (LC575 + LC576) + \gamma_{Q_{00}} LC2$
360	CO360	Min	15.560			$\gamma_G (LC1 + LC573) + \gamma_Q (LC575 + LC577) + \gamma_{Q_{00}} LC2$
361	CO361	Min	15.560			$\gamma_G (LC1 + LC573) + \gamma_Q (LC575 + LC578)$
362	CO362	Min	16.310			$\gamma_G (LC1 + LC580) + \gamma_Q (LC582 + LC584) + \gamma_{Q_{00}} LC2$
363	CO363	Min	16.310			$\gamma_G (LC1 + LC579) + \gamma_Q LC584 + \gamma_{Q_{00}} LC2$
364	CO364	Min	16.310			$\gamma_G (LC1 + LC581) + \gamma_Q (LC583 + LC584) + \gamma_{Q_{00}} LC2$
365	CO365	Min	16.310			$\gamma_G (LC1 + LC581) + \gamma_Q (LC583 + LC585) + \gamma_{Q_{00}} LC2$
366	CO366	Min	16.310			$\gamma_G (LC1 + LC581) + \gamma_Q (LC583 + LC586)$
367	CO367	Min	17.060			$\gamma_G (LC1 + LC588) + \gamma_Q (LC590 + LC592) + \gamma_{Q_{00}} LC2$
368	CO368	Min	17.060			$\gamma_G (LC1 + LC587) + \gamma_Q LC592 + \gamma_{Q_{00}} LC2$
369	CO369	Min	17.060			$\gamma_G (LC1 + LC589) + \gamma_Q (LC591 + LC592) + \gamma_{Q_{00}} LC2$
370	CO370	Min	17.060			$\gamma_G (LC1 + LC589) + \gamma_Q (LC591 + LC593) + \gamma_{Q_{00}} LC2$
371	CO371	Min	17.060			$\gamma_G (LC1 + LC589) + \gamma_Q (LC591 + LC594)$
372	CO372	Min	17.810			$\gamma_G (LC1 + LC596) + \gamma_Q (LC598 + LC600) + \gamma_{Q_{00}} LC2$
373	CO373	Min	17.810			$\gamma_G (LC1 + LC595) + \gamma_Q LC600 + \gamma_{Q_{00}} LC2$
374	CO374	Min	17.810			$\gamma_G (LC1 + LC597) + \gamma_Q (LC599 + LC600) + \gamma_{Q_{00}} LC2$
375	CO375	Min	17.810			$\gamma_G (LC1 + LC597) + \gamma_Q (LC599 + LC601) + \gamma_{Q_{00}} LC2$
376	CO376	Min	17.810			$\gamma_G (LC1 + LC597) + \gamma_Q (LC599 + LC602)$
377	CO377	Min	18.560			$\gamma_G (LC1 + LC604) + \gamma_Q (LC606 + LC608) + \gamma_{Q_{00}} LC2$
378	CO378	Min	18.560			$\gamma_G (LC1 + LC603) + \gamma_Q LC608 + \gamma_{Q_{00}} LC2$

Project: Projects

Model: Kranska staza

Date: 12.3.2020.

DESCRIPTION OF LOAD COMBINATIONS

No.	CO No.	Girder	Location of 1st Wheel of Crane [m]			Load Description
			Crane 1	Crane 2	Crane 3	
379	CO379	Min	18.560			$\gamma_G (LC1 + LC605) + \gamma_Q (LC607 + LC608) + \gamma_{Q0} LC2$
380	CO380	Min	18.560			$\gamma_G (LC1 + LC605) + \gamma_Q (LC607 + LC609) + \gamma_{Q0} LC2$
381	CO381	Min	18.560			$\gamma_G (LC1 + LC605) + \gamma_Q (LC607 + LC610)$
382	CO382	Min	19.310			$\gamma_G (LC1 + LC612) + \gamma_Q (LC614 + LC616) + \gamma_{Q0} LC2$
383	CO383	Min	19.310			$\gamma_G (LC1 + LC611) + \gamma_Q LC616 + \gamma_{Q0} LC2$
384	CO384	Min	19.310			$\gamma_G (LC1 + LC613) + \gamma_Q (LC615 + LC616) + \gamma_{Q0} LC2$
385	CO385	Min	19.310			$\gamma_G (LC1 + LC613) + \gamma_Q (LC615 + LC617) + \gamma_{Q0} LC2$
386	CO386	Min	19.310			$\gamma_G (LC1 + LC613) + \gamma_Q (LC615 + LC618)$
387	CO387	Min	20.060			$\gamma_G (LC1 + LC620) + \gamma_Q (LC622 + LC624) + \gamma_{Q0} LC2$
388	CO388	Min	20.060			$\gamma_G (LC1 + LC619) + \gamma_Q LC624 + \gamma_{Q0} LC2$
389	CO389	Min	20.060			$\gamma_G (LC1 + LC621) + \gamma_Q (LC623 + LC624) + \gamma_{Q0} LC2$
390	CO390	Min	20.060			$\gamma_G (LC1 + LC621) + \gamma_Q (LC623 + LC625) + \gamma_{Q0} LC2$
391	CO391	Min	20.060			$\gamma_G (LC1 + LC621) + \gamma_Q (LC623 + LC626)$
392	CO392	Min	20.810			$\gamma_G (LC1 + LC628) + \gamma_Q (LC630 + LC632) + \gamma_{Q0} LC2$
393	CO393	Min	20.810			$\gamma_G (LC1 + LC627) + \gamma_Q LC632 + \gamma_{Q0} LC2$
394	CO394	Min	20.810			$\gamma_G (LC1 + LC629) + \gamma_Q (LC631 + LC632) + \gamma_{Q0} LC2$
395	CO395	Min	20.810			$\gamma_G (LC1 + LC629) + \gamma_Q (LC631 + LC633) + \gamma_{Q0} LC2$
396	CO396	Min	20.810			$\gamma_G (LC1 + LC629) + \gamma_Q (LC631 + LC634)$
397	CO397	Min	21.560			$\gamma_G (LC1 + LC636) + \gamma_Q (LC638 + LC640) + \gamma_{Q0} LC2$
398	CO398	Min	21.560			$\gamma_G (LC1 + LC635) + \gamma_Q LC640 + \gamma_{Q0} LC2$
399	CO399	Min	21.560			$\gamma_G (LC1 + LC637) + \gamma_Q (LC639 + LC640) + \gamma_{Q0} LC2$
400	CO400	Min	21.560			$\gamma_G (LC1 + LC637) + \gamma_Q (LC639 + LC641) + \gamma_{Q0} LC2$
401	CO401	Min	21.560			$\gamma_G (LC1 + LC637) + \gamma_Q (LC639 + LC642)$
402	CO402	Min	22.310			$\gamma_G (LC1 + LC644) + \gamma_Q (LC646 + LC648) + \gamma_{Q0} LC2$
403	CO403	Min	22.310			$\gamma_G (LC1 + LC643) + \gamma_Q LC648 + \gamma_{Q0} LC2$
404	CO404	Min	22.310			$\gamma_G (LC1 + LC645) + \gamma_Q (LC647 + LC648) + \gamma_{Q0} LC2$
405	CO405	Min	22.310			$\gamma_G (LC1 + LC645) + \gamma_Q (LC647 + LC649) + \gamma_{Q0} LC2$
406	CO406	Min	22.310			$\gamma_G (LC1 + LC645) + \gamma_Q (LC647 + LC650)$
407	CO407	Min	23.060			$\gamma_G (LC1 + LC652) + \gamma_Q (LC654 + LC656) + \gamma_{Q0} LC2$
408	CO408	Min	23.060			$\gamma_G (LC1 + LC651) + \gamma_Q LC656 + \gamma_{Q0} LC2$
409	CO409	Min	23.060			$\gamma_G (LC1 + LC653) + \gamma_Q (LC655 + LC656) + \gamma_{Q0} LC2$
410	CO410	Min	23.060			$\gamma_G (LC1 + LC653) + \gamma_Q (LC655 + LC657) + \gamma_{Q0} LC2$
411	CO411	Min	23.060			$\gamma_G (LC1 + LC653) + \gamma_Q (LC655 + LC658)$
412	CO412	Min	23.810			$\gamma_G (LC1 + LC660) + \gamma_Q (LC662 + LC664) + \gamma_{Q0} LC2$
413	CO413	Min	23.810			$\gamma_G (LC1 + LC659) + \gamma_Q LC664 + \gamma_{Q0} LC2$
414	CO414	Min	23.810			$\gamma_G (LC1 + LC661) + \gamma_Q (LC663 + LC664) + \gamma_{Q0} LC2$
415	CO415	Min	23.810			$\gamma_G (LC1 + LC661) + \gamma_Q (LC663 + LC665) + \gamma_{Q0} LC2$
416	CO416	Min	23.810			$\gamma_G (LC1 + LC661) + \gamma_Q (LC663 + LC666)$
417	CO417	Min	24.560			$\gamma_G (LC1 + LC668) + \gamma_Q (LC670 + LC672) + \gamma_{Q0} LC2$
418	CO418	Min	24.560			$\gamma_G (LC1 + LC667) + \gamma_Q LC672 + \gamma_{Q0} LC2$
419	CO419	Min	24.560			$\gamma_G (LC1 + LC669) + \gamma_Q (LC671 + LC672) + \gamma_{Q0} LC2$
420	CO420	Min	24.560			$\gamma_G (LC1 + LC669) + \gamma_Q (LC671 + LC673) + \gamma_{Q0} LC2$
421	CO421	Min	24.560			$\gamma_G (LC1 + LC669) + \gamma_Q (LC671 + LC674)$
422	CO422	Min	25.310			$\gamma_G (LC1 + LC676) + \gamma_Q (LC678 + LC680) + \gamma_{Q0} LC2$
423	CO423	Min	25.310			$\gamma_G (LC1 + LC675) + \gamma_Q LC680 + \gamma_{Q0} LC2$
424	CO424	Min	25.310			$\gamma_G (LC1 + LC677) + \gamma_Q (LC679 + LC680) + \gamma_{Q0} LC2$
425	CO425	Min	25.310			$\gamma_G (LC1 + LC677) + \gamma_Q (LC679 + LC681) + \gamma_{Q0} LC2$
426	CO426	Min	25.310			$\gamma_G (LC1 + LC677) + \gamma_Q (LC679 + LC682)$
427	CO427	Min	26.060			$\gamma_G (LC1 + LC684) + \gamma_Q (LC686 + LC688) + \gamma_{Q0} LC2$
428	CO428	Min	26.060			$\gamma_G (LC1 + LC683) + \gamma_Q LC688 + \gamma_{Q0} LC2$
429	CO429	Min	26.060			$\gamma_G (LC1 + LC685) + \gamma_Q (LC687 + LC688) + \gamma_{Q0} LC2$
430	CO430	Min	26.060			$\gamma_G (LC1 + LC685) + \gamma_Q (LC687 + LC689) + \gamma_{Q0} LC2$
431	CO431	Min	26.060			$\gamma_G (LC1 + LC685) + \gamma_Q (LC687 + LC690)$
432	CO432	Min	26.810			$\gamma_G (LC1 + LC692) + \gamma_Q (LC694 + LC696) + \gamma_{Q0} LC2$
433	CO433	Min	26.810			$\gamma_G (LC1 + LC691) + \gamma_Q LC696 + \gamma_{Q0} LC2$
434	CO434	Min	26.810			$\gamma_G (LC1 + LC693) + \gamma_Q (LC695 + LC696) + \gamma_{Q0} LC2$
435	CO435	Min	26.810			$\gamma_G (LC1 + LC693) + \gamma_Q (LC695 + LC697) + \gamma_{Q0} LC2$
436	CO436	Min	26.810			$\gamma_G (LC1 + LC693) + \gamma_Q (LC695 + LC698)$
437	CO437	Min	27.560			$\gamma_G (LC1 + LC700) + \gamma_Q (LC702 + LC704) + \gamma_{Q0} LC2$
438	CO438	Min	27.560			$\gamma_G (LC1 + LC699) + \gamma_Q LC704 + \gamma_{Q0} LC2$
439	CO439	Min	27.560			$\gamma_G (LC1 + LC701) + \gamma_Q (LC703 + LC704) + \gamma_{Q0} LC2$
440	CO440	Min	27.560			$\gamma_G (LC1 + LC701) + \gamma_Q (LC703 + LC705) + \gamma_{Q0} LC2$
441	CO441	Min	27.560			$\gamma_G (LC1 + LC701) + \gamma_Q (LC703 + LC706)$
442	CO442	Min	28.310			$\gamma_G (LC1 + LC708) + \gamma_Q (LC710 + LC712) + \gamma_{Q0} LC2$
443	CO443	Min	28.310			$\gamma_G (LC1 + LC707) + \gamma_Q LC712 + \gamma_{Q0} LC2$
444	CO444	Min	28.310			$\gamma_G (LC1 + LC709) + \gamma_Q (LC711 + LC712) + \gamma_{Q0} LC2$
445	CO445	Min	28.310			$\gamma_G (LC1 + LC709) + \gamma_Q (LC711 + LC713) + \gamma_{Q0} LC2$
446	CO446	Min	28.310			$\gamma_G (LC1 + LC709) + \gamma_Q (LC711 + LC714)$
447	CO447	Min	29.060			$\gamma_G (LC1 + LC716) + \gamma_Q (LC718 + LC720) + \gamma_{Q0} LC2$
448	CO448	Min	29.060			$\gamma_G (LC1 + LC715) + \gamma_Q LC720 + \gamma_{Q0} LC2$
449	CO449	Min	29.060			$\gamma_G (LC1 + LC717) + \gamma_Q (LC719 + LC720) + \gamma_{Q0} LC2$
450	CO450	Min	29.060			$\gamma_G (LC1 + LC717) + \gamma_Q (LC719 + LC721) + \gamma_{Q0} LC2$
451	CO451	Min	29.060			$\gamma_G (LC1 + LC717) + \gamma_Q (LC719 + LC722)$
452	CO452	Min	29.810			$\gamma_G (LC1 + LC724) + \gamma_Q (LC726 + LC728) + \gamma_{Q0} LC2$
453	CO453	Min	29.810			$\gamma_G (LC1 + LC723) + \gamma_Q LC728 + \gamma_{Q0} LC2$
454	CO454	Min	29.810			$\gamma_G (LC1 + LC725) + \gamma_Q (LC727 + LC728) + \gamma_{Q0} LC2$
455	CO455	Min	29.810			$\gamma_G (LC1 + LC725) + \gamma_Q (LC727 + LC729) + \gamma_{Q0} LC2$

Project: Projects

Model: Kranska staza

Date: 12.3.2020.

DESCRIPTION OF LOAD COMBINATIONS

No.	CO No.	Girder	Location of 1st Wheel of Crane [m]			Load Description
			Crane 1	Crane 2	Crane 3	
456	CO456	Min	29.810			$\gamma_G (LC1 + LC725) + \gamma_Q (LC727 + LC730)$
457	CO457	Min	30.560			$\gamma_G (LC1 + LC732) + \gamma_Q (LC734 + LC736) + \gamma_{Q0} LC2$
458	CO458	Min	30.560			$\gamma_G (LC1 + LC731) + \gamma_Q LC736 + \gamma_{Q0} LC2$
459	CO459	Min	30.560			$\gamma_G (LC1 + LC733) + \gamma_Q (LC735 + LC736) + \gamma_{Q0} LC2$
460	CO460	Min	30.560			$\gamma_G (LC1 + LC733) + \gamma_Q (LC735 + LC737) + \gamma_{Q0} LC2$
461	CO461	Min	30.560			$\gamma_G (LC1 + LC733) + \gamma_Q (LC735 + LC738)$
462	CO462	Min	31.310			$\gamma_G (LC1 + LC740) + \gamma_Q (LC742 + LC744) + \gamma_{Q0} LC2$
463	CO463	Min	31.310			$\gamma_G (LC1 + LC739) + \gamma_Q LC744 + \gamma_{Q0} LC2$
464	CO464	Min	31.310			$\gamma_G (LC1 + LC741) + \gamma_Q (LC743 + LC744) + \gamma_{Q0} LC2$
465	CO465	Min	31.310			$\gamma_G (LC1 + LC741) + \gamma_Q (LC743 + LC745) + \gamma_{Q0} LC2$
466	CO466	Min	31.310			$\gamma_G (LC1 + LC741) + \gamma_Q (LC743 + LC746)$
467	CO467	Min	32.060			$\gamma_G (LC1 + LC748) + \gamma_Q (LC750 + LC752) + \gamma_{Q0} LC2$
468	CO468	Min	32.060			$\gamma_G (LC1 + LC747) + \gamma_Q LC752 + \gamma_{Q0} LC2$
469	CO469	Min	32.060			$\gamma_G (LC1 + LC749) + \gamma_Q (LC751 + LC752) + \gamma_{Q0} LC2$
470	CO470	Min	32.060			$\gamma_G (LC1 + LC749) + \gamma_Q (LC751 + LC753) + \gamma_{Q0} LC2$
471	CO471	Min	32.060			$\gamma_G (LC1 + LC749) + \gamma_Q (LC751 + LC754)$
472	CO472	Min	32.810			$\gamma_G (LC1 + LC756) + \gamma_Q (LC758 + LC760) + \gamma_{Q0} LC2$
473	CO473	Min	32.810			$\gamma_G (LC1 + LC755) + \gamma_Q LC760 + \gamma_{Q0} LC2$
474	CO474	Min	32.810			$\gamma_G (LC1 + LC757) + \gamma_Q (LC759 + LC760) + \gamma_{Q0} LC2$
475	CO475	Min	32.810			$\gamma_G (LC1 + LC757) + \gamma_Q (LC759 + LC761) + \gamma_{Q0} LC2$
476	CO476	Min	32.810			$\gamma_G (LC1 + LC757) + \gamma_Q (LC759 + LC762)$
477	CO477	Min	33.560			$\gamma_G (LC1 + LC764) + \gamma_Q (LC766 + LC768) + \gamma_{Q0} LC2$
478	CO478	Min	33.560			$\gamma_G (LC1 + LC763) + \gamma_Q LC768 + \gamma_{Q0} LC2$
479	CO479	Min	33.560			$\gamma_G (LC1 + LC765) + \gamma_Q (LC767 + LC768) + \gamma_{Q0} LC2$
480	CO480	Min	33.560			$\gamma_G (LC1 + LC765) + \gamma_Q (LC767 + LC769) + \gamma_{Q0} LC2$
481	CO481	Min	33.560			$\gamma_G (LC1 + LC765) + \gamma_Q (LC767 + LC770)$
482	CO482	Min	34.310			$\gamma_G (LC1 + LC772) + \gamma_Q (LC774 + LC776) + \gamma_{Q0} LC2$
483	CO483	Min	34.310			$\gamma_G (LC1 + LC771) + \gamma_Q LC776 + \gamma_{Q0} LC2$
484	CO484	Min	34.310			$\gamma_G (LC1 + LC773) + \gamma_Q (LC775 + LC776) + \gamma_{Q0} LC2$
485	CO485	Min	34.310			$\gamma_G (LC1 + LC773) + \gamma_Q (LC775 + LC777) + \gamma_{Q0} LC2$
486	CO486	Min	34.310			$\gamma_G (LC1 + LC773) + \gamma_Q (LC775 + LC778)$
487	CO487	Min	35.060			$\gamma_G (LC1 + LC780) + \gamma_Q (LC782 + LC784) + \gamma_{Q0} LC2$
488	CO488	Min	35.060			$\gamma_G (LC1 + LC779) + \gamma_Q LC784 + \gamma_{Q0} LC2$
489	CO489	Min	35.060			$\gamma_G (LC1 + LC781) + \gamma_Q (LC783 + LC784) + \gamma_{Q0} LC2$
490	CO490	Min	35.060			$\gamma_G (LC1 + LC781) + \gamma_Q (LC783 + LC785) + \gamma_{Q0} LC2$
491	CO491	Min	35.060			$\gamma_G (LC1 + LC781) + \gamma_Q (LC783 + LC786)$
492	CO492	Min	35.810			$\gamma_G (LC1 + LC788) + \gamma_Q (LC790 + LC792) + \gamma_{Q0} LC2$
493	CO493	Min	35.810			$\gamma_G (LC1 + LC787) + \gamma_Q LC792 + \gamma_{Q0} LC2$
494	CO494	Min	35.810			$\gamma_G (LC1 + LC789) + \gamma_Q (LC791 + LC792) + \gamma_{Q0} LC2$
495	CO495	Min	35.810			$\gamma_G (LC1 + LC789) + \gamma_Q (LC791 + LC793) + \gamma_{Q0} LC2$
496	CO496	Min	35.810			$\gamma_G (LC1 + LC789) + \gamma_Q (LC791 + LC794)$
497	CO497	Min	36.560			$\gamma_G (LC1 + LC796) + \gamma_Q (LC798 + LC800) + \gamma_{Q0} LC2$
498	CO498	Min	36.560			$\gamma_G (LC1 + LC795) + \gamma_Q LC800 + \gamma_{Q0} LC2$
499	CO499	Min	36.560			$\gamma_G (LC1 + LC797) + \gamma_Q (LC799 + LC800) + \gamma_{Q0} LC2$
500	CO500	Min	36.560			$\gamma_G (LC1 + LC797) + \gamma_Q (LC799 + LC801) + \gamma_{Q0} LC2$
501	CO501	Min	36.560			$\gamma_G (LC1 + LC797) + \gamma_Q (LC799 + LC802)$
502	CO502	Min	37.310			$\gamma_G (LC1 + LC804) + \gamma_Q (LC806 + LC808) + \gamma_{Q0} LC2$
503	CO503	Min	37.310			$\gamma_G (LC1 + LC803) + \gamma_Q LC808 + \gamma_{Q0} LC2$
504	CO504	Min	37.310			$\gamma_G (LC1 + LC805) + \gamma_Q (LC807 + LC808) + \gamma_{Q0} LC2$
505	CO505	Min	37.310			$\gamma_G (LC1 + LC805) + \gamma_Q (LC807 + LC809) + \gamma_{Q0} LC2$
506	CO506	Min	37.310			$\gamma_G (LC1 + LC805) + \gamma_Q (LC807 + LC810)$
507	CO507	Min	38.060			$\gamma_G (LC1 + LC812) + \gamma_Q (LC814 + LC816) + \gamma_{Q0} LC2$
508	CO508	Min	38.060			$\gamma_G (LC1 + LC811) + \gamma_Q LC816 + \gamma_{Q0} LC2$
509	CO509	Min	38.060			$\gamma_G (LC1 + LC813) + \gamma_Q (LC815 + LC816) + \gamma_{Q0} LC2$
510	CO510	Min	38.060			$\gamma_G (LC1 + LC813) + \gamma_Q (LC815 + LC817) + \gamma_{Q0} LC2$
511	CO511	Min	38.060			$\gamma_G (LC1 + LC813) + \gamma_Q (LC815 + LC818)$
512	CO512	Min	38.810			$\gamma_G (LC1 + LC820) + \gamma_Q (LC822 + LC824) + \gamma_{Q0} LC2$
513	CO513	Min	38.810			$\gamma_G (LC1 + LC819) + \gamma_Q LC824 + \gamma_{Q0} LC2$
514	CO514	Min	38.810			$\gamma_G (LC1 + LC821) + \gamma_Q (LC823 + LC824) + \gamma_{Q0} LC2$
515	CO515	Min	38.810			$\gamma_G (LC1 + LC821) + \gamma_Q (LC823 + LC825) + \gamma_{Q0} LC2$
516	CO516	Min	38.810			$\gamma_G (LC1 + LC821) + \gamma_Q (LC823 + LC826)$
517	CO517	Min	39.190			$\gamma_G (LC1 + LC828) + \gamma_Q (LC830 + LC832) + \gamma_{Q0} LC2$
518	CO518	Min	39.190			$\gamma_G (LC1 + LC827) + \gamma_Q LC832 + \gamma_{Q0} LC2$
519	CO519	Min	39.190			$\gamma_G (LC1 + LC829) + \gamma_Q (LC831 + LC832) + \gamma_{Q0} LC2$
520	CO520	Min	39.190			$\gamma_G (LC1 + LC829) + \gamma_Q (LC831 + LC833) + \gamma_{Q0} LC2$
521	CO521	Min	39.190			$\gamma_G (LC1 + LC829) + \gamma_Q (LC831 + LC834)$
522	CO522	Max	1.310			$LC1 + LC835 + LC836 + LC837$
523	CO523	Max	39.190			$LC1 + LC838 + LC839 + LC840$

Project: Projects

Model: Kranska staza

Date: 12.3.2020.

DESCRIPTION OF LOAD COMBINATIONS - FATIGUE

No.	CO No.	Girder	Location of 1st Wheel of Crane [m]			Load Description
			Crane 1	Crane 2	Crane 3	
1	CO1	Max	1.310			LC1 + LC2 + LC3
2	CO2	Max	2.060			LC1 + LC4 + LC5
3	CO3	Max	2.810			LC1 + LC6 + LC7
4	CO4	Max	3.560			LC1 + LC8 + LC9
5	CO5	Max	4.310			LC1 + LC10 + LC11
6	CO6	Max	5.060			LC1 + LC12 + LC13
7	CO7	Max	5.810			LC1 + LC14 + LC15
8	CO8	Max	6.560			LC1 + LC16 + LC17
9	CO9	Max	7.310			LC1 + LC18 + LC19
10	CO10	Max	8.060			LC1 + LC20 + LC21
11	CO11	Max	8.810			LC1 + LC22 + LC23
12	CO12	Max	9.560			LC1 + LC24 + LC25
13	CO13	Max	10.310			LC1 + LC26 + LC27
14	CO14	Max	11.060			LC1 + LC28 + LC29
15	CO15	Max	11.810			LC1 + LC30 + LC31
16	CO16	Max	12.560			LC1 + LC32 + LC33
17	CO17	Max	13.310			LC1 + LC34 + LC35
18	CO18	Max	14.060			LC1 + LC36 + LC37
19	CO19	Max	14.810			LC1 + LC38 + LC39
20	CO20	Max	15.560			LC1 + LC40 + LC41
21	CO21	Max	16.310			LC1 + LC42 + LC43
22	CO22	Max	17.060			LC1 + LC44 + LC45
23	CO23	Max	17.810			LC1 + LC46 + LC47
24	CO24	Max	18.560			LC1 + LC48 + LC49
25	CO25	Max	19.310			LC1 + LC50 + LC51
26	CO26	Max	20.060			LC1 + LC52 + LC53
27	CO27	Max	20.810			LC1 + LC54 + LC55
28	CO28	Max	21.560			LC1 + LC56 + LC57
29	CO29	Max	22.310			LC1 + LC58 + LC59
30	CO30	Max	23.060			LC1 + LC60 + LC61
31	CO31	Max	23.810			LC1 + LC62 + LC63
32	CO32	Max	24.560			LC1 + LC64 + LC65
33	CO33	Max	25.310			LC1 + LC66 + LC67
34	CO34	Max	26.060			LC1 + LC68 + LC69
35	CO35	Max	26.810			LC1 + LC70 + LC71
36	CO36	Max	27.560			LC1 + LC72 + LC73
37	CO37	Max	28.310			LC1 + LC74 + LC75
38	CO38	Max	29.060			LC1 + LC76 + LC77
39	CO39	Max	29.810			LC1 + LC78 + LC79
40	CO40	Max	30.560			LC1 + LC80 + LC81
41	CO41	Max	31.310			LC1 + LC82 + LC83
42	CO42	Max	32.060			LC1 + LC84 + LC85
43	CO43	Max	32.810			LC1 + LC86 + LC87
44	CO44	Max	33.560			LC1 + LC88 + LC89
45	CO45	Max	34.310			LC1 + LC90 + LC91
46	CO46	Max	35.060			LC1 + LC92 + LC93
47	CO47	Max	35.810			LC1 + LC94 + LC95
48	CO48	Max	36.560			LC1 + LC96 + LC97
49	CO49	Max	37.310			LC1 + LC98 + LC99
50	CO50	Max	38.060			LC1 + LC100 + LC101
51	CO51	Max	38.810			LC1 + LC102 + LC103
52	CO52	Max	39.190			LC1 + LC104 + LC105
53	CO53	Min	1.310			LC1 + LC106 + LC107
54	CO54	Min	2.060			LC1 + LC108 + LC109
55	CO55	Min	2.810			LC1 + LC110 + LC111
56	CO56	Min	3.560			LC1 + LC112 + LC113
57	CO57	Min	4.310			LC1 + LC114 + LC115
58	CO58	Min	5.060			LC1 + LC116 + LC117
59	CO59	Min	5.810			LC1 + LC118 + LC119
60	CO60	Min	6.560			LC1 + LC120 + LC121
61	CO61	Min	7.310			LC1 + LC122 + LC123
62	CO62	Min	8.060			LC1 + LC124 + LC125
63	CO63	Min	8.810			LC1 + LC126 + LC127
64	CO64	Min	9.560			LC1 + LC128 + LC129
65	CO65	Min	10.310			LC1 + LC130 + LC131
66	CO66	Min	11.060			LC1 + LC132 + LC133
67	CO67	Min	11.810			LC1 + LC134 + LC135
68	CO68	Min	12.560			LC1 + LC136 + LC137
69	CO69	Min	13.310			LC1 + LC138 + LC139
70	CO70	Min	14.060			LC1 + LC140 + LC141
71	CO71	Min	14.810			LC1 + LC142 + LC143
72	CO72	Min	15.560			LC1 + LC144 + LC145
73	CO73	Min	16.310			LC1 + LC146 + LC147
74	CO74	Min	17.060			LC1 + LC148 + LC149
75	CO75	Min	17.810			LC1 + LC150 + LC151
76	CO76	Min	18.560			LC1 + LC152 + LC153
77	CO77	Min	19.310			LC1 + LC154 + LC155
78	CO78	Min	20.060			LC1 + LC156 + LC157
79	CO79	Min	20.810			LC1 + LC158 + LC159
80	CO80	Min	21.560			LC1 + LC160 + LC161
81	CO81	Min	22.310			LC1 + LC162 + LC163
82	CO82	Min	23.060			LC1 + LC164 + LC165
83	CO83	Min	23.810			LC1 + LC166 + LC167
84	CO84	Min	24.560			LC1 + LC168 + LC169
85	CO85	Min	25.310			LC1 + LC170 + LC171

Project: Projects

Model: Kranska staza

Date: 12.3.2020.

DESCRIPTION OF LOAD COMBINATIONS - FATIGUE

No.	CO No.	Girder	Location of 1st Wheel of Crane [m]			Load Description
			Crane 1	Crane 2	Crane 3	
86	CO86	Min	26.060			LC1 + LC172 + LC173
87	CO87	Min	26.810			LC1 + LC174 + LC175
88	CO88	Min	27.560			LC1 + LC176 + LC177
89	CO89	Min	28.310			LC1 + LC178 + LC179
90	CO90	Min	29.060			LC1 + LC180 + LC181
91	CO91	Min	29.810			LC1 + LC182 + LC183
92	CO92	Min	30.560			LC1 + LC184 + LC185
93	CO93	Min	31.310			LC1 + LC186 + LC187
94	CO94	Min	32.060			LC1 + LC188 + LC189
95	CO95	Min	32.810			LC1 + LC190 + LC191
96	CO96	Min	33.560			LC1 + LC192 + LC193
97	CO97	Min	34.310			LC1 + LC194 + LC195
98	CO98	Min	35.060			LC1 + LC196 + LC197
99	CO99	Min	35.810			LC1 + LC198 + LC199
100	CO100	Min	36.560			LC1 + LC200 + LC201
101	CO101	Min	37.310			LC1 + LC202 + LC203
102	CO102	Min	38.060			LC1 + LC204 + LC205
103	CO103	Min	38.810			LC1 + LC206 + LC207
104	CO104	Min	39.190			LC1 + LC208 + LC209

IMPERFECTIONS

Type of definition : Calculate automatically by the eigenvalue method
 Buckling curve Bscz : c

IMPERFECTIONS - PARAMETERS

CO No.	Mode Shape No.	Reference Length	Camber Rise
		L [m]	w ₀ [mm]
CO1	1	8.000	20.0
CO2	1	8.000	-20.0
CO17	1	8.000	-20.0
CO20	1	8.000	20.0
CO24	1	8.000	20.0
CO27	1	8.000	20.0
CO42	1	8.000	20.0
CO52	1	8.000	-20.0
CO72	1	8.000	-20.0
CO75	1	8.000	20.0
CO77	1	8.000	20.0
CO97	1	8.000	20.0
CO107	1	8.000	-20.0
CO127	1	8.000	-20.0
CO129	1	8.000	-20.0
CO130	1	8.000	20.0
CO152	1	8.000	20.0
CO157	1	8.000	-20.0
CO177	1	8.000	-20.0
CO182	1	8.000	20.0
CO184	1	8.000	20.0
CO185	1	8.000	20.0
CO202	1	8.000	20.0
CO212	1	8.000	-20.0
CO232	1	8.000	-20.0
CO237	1	8.000	-20.0
CO240	1	8.000	20.0
CO257	1	8.000	20.0

Results

DESIGN SUMMARY

Type of Design	Member No.	Location x [m]	Design Criterion		Governing Load Combination
			existing	limiting	
2.4 Stress Analysis	5	0.060	0.767	< 1.00	CO212
2.5 Deformation Analysis - Horizontal	1	3.643	673.117	> 600.000	CO20
2.5 Deformation Analysis - Vertical	5	4.217	1199.356	> 600.000	CO237
2.6 Fatigue Design	3	7.810	0.572	< 1.00	
2.7 Plate Buckling Analysis	5	4.560	0.740	< 1.00	
2.8 Welds - Stress Analysis	4	0.060	0.441	< 1.00	CO157
2.9 Welds - Fatigue Design	1	0.810	0.642	< 1.00	
2.10 Critical Load Factors	1		4.049	> 1.00	CO237

MONTAŽNI NASTAVAK POMOĆU POVEZICA

Project:
Project no:
Author:

Project data

Project name
Project number
Author
Description
Date 6.3.2020.
Design code EN

Material

Steel S 235

Project:
Project no:
Author:

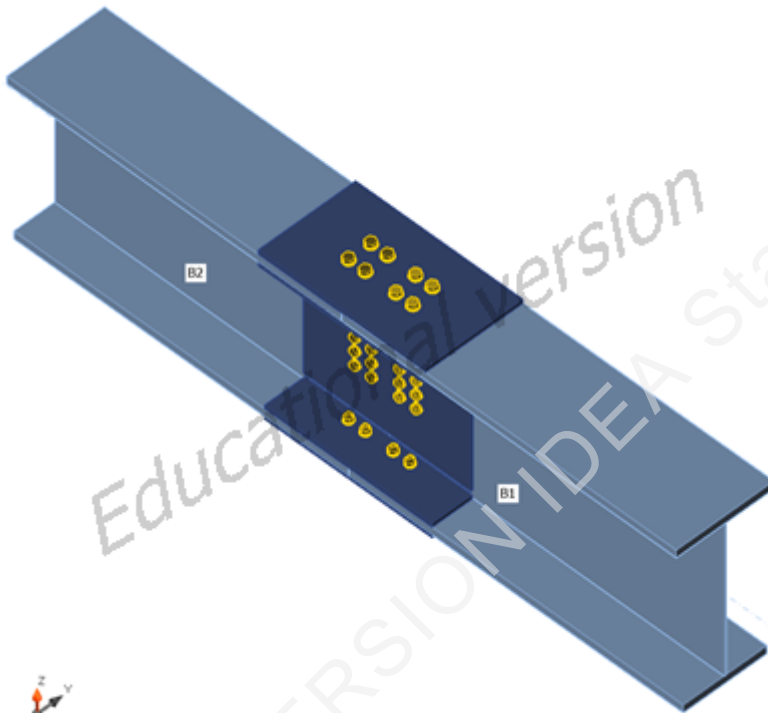
Project item CON1

Design

Name CON1
Description
Analysis Stress, strain/ simplified loading

Beams and columns

Name	Cross-section	β - Direction [°]	γ - Pitch [°]	α - Rotation [°]	Offset ex [mm]	Offset ey [mm]	Offset ez [mm]	Forces in
B1	2 - Iwn600x(350/300)	0,0	0,0	0,0	0	0	0	Node
B2	2 - Iwn600x(350/300)	180,0	0,0	0,0	0	0	0	Node



Cross-sections

Name	Material
2 - Iwn600x(350/300)	S 235

Bolts

Name	Bolt assembly	Diameter [mm]	f_u [MPa]	Gross area [mm ²]
M16 10.9	M16 10.9	16	1000,0	201
M20 10.9	M20 10.9	20	1000,0	314

Load effects (equilibrium not required)

Name	Member	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
LE1	B1	11,5	-21,0	-287,5	-9,7	254,0	17,8

Project:

Project no:

Author:

Check

Summary

Name	Value	Status
Analysis	100,0%	OK
Plates	0,7 < 5%	OK
Bolts	99,6 < 100%	OK
Buckling	Not calculated	

Plates

Name	Thickness [mm]	Loads	σ_{Ed} [MPa]	ϵ_{pl} [%]	Status
B1-tfl 1	28,0	LE1	235,1	0,1	OK
B1-bfl 1	28,0	LE1	210,4	0,0	OK
B1-w 1	8,0	LE1	211,0	0,0	OK
B2-tfl 1	28,0	LE1	235,4	0,2	OK
B2-bfl 1	28,0	LE1	220,0	0,0	OK
B2-w 1	8,0	LE1	236,5	0,7	OK
SPL1a	10,0	LE1	235,7	0,3	OK
SPL1b	14,0	LE1	235,2	0,1	OK
SPL1c	14,0	LE1	235,3	0,1	OK
SPL2a	14,0	LE1	235,4	0,2	OK
SPL2b	14,0	LE1	235,2	0,1	OK
SPL2c	14,0	LE1	235,8	0,4	OK
SPL3a	8,0	LE1	222,5	0,0	OK
SPL3b	8,0	LE1	208,6	0,0	OK

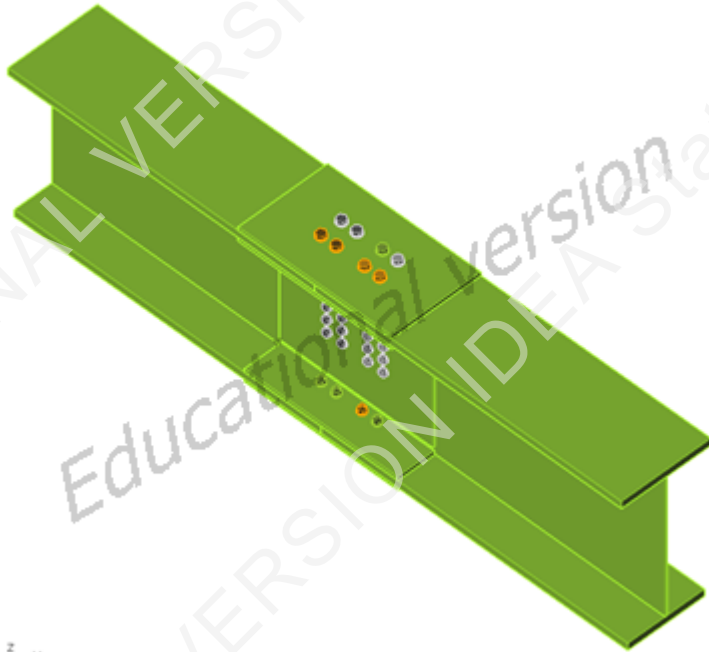
Design data

Material	f_y [MPa]	ϵ_{lim} [%]
S 235	235,0	5,0

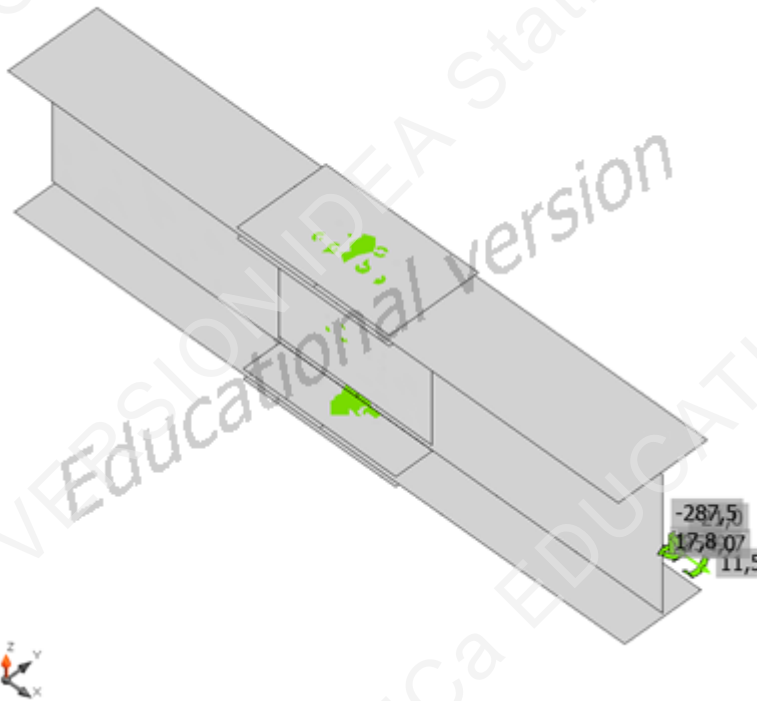
Symbol explanation

ϵ_{pl}	Strain
σ_{Ed}	Eq. stress
f_y	Yield strength
ϵ_{lim}	Limit of plastic strain

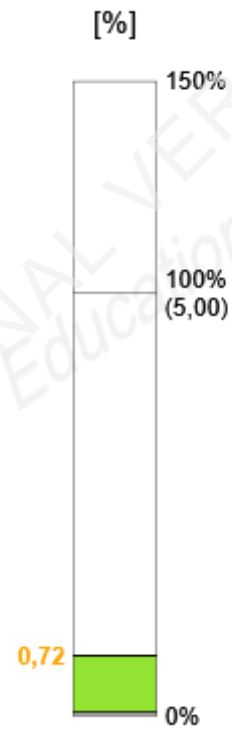
Project:
Project no:
Author:



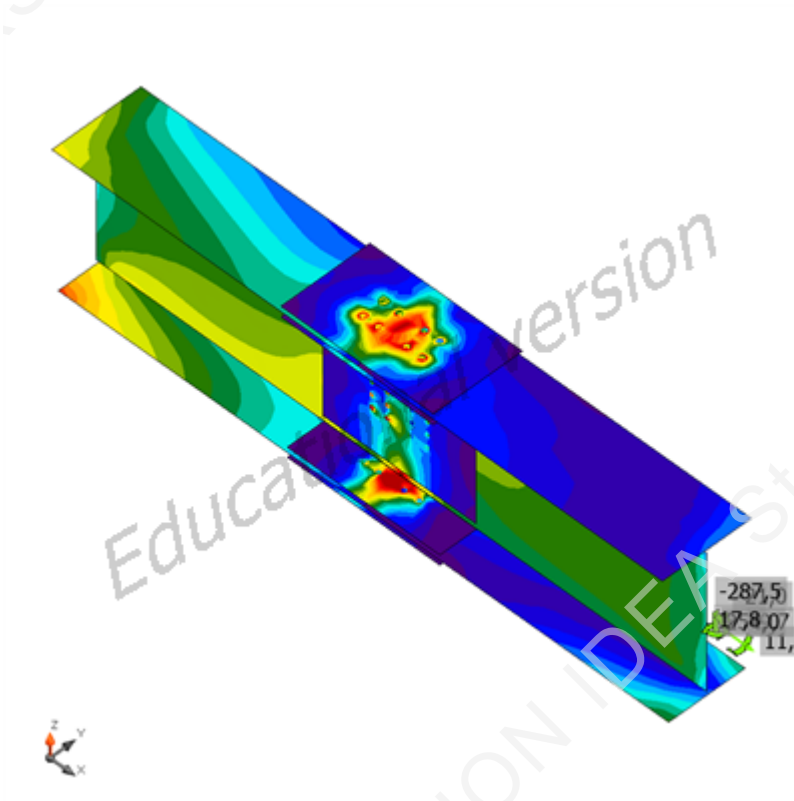
Overall check, LE1



Strain check, LE1



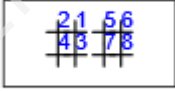
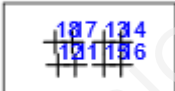
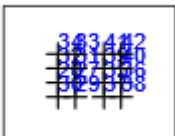
Project:
Project no:
Author:



Equivalent stress, LE1

Project:
Project no:
Author:

Bolts

	Name	Grade	Loads	$F_{t,Ed}$ [kN]	V [kN]	U_{t_t} [%]	$F_{b,Rd}$ [kN]	U_{t_s} [%]	$U_{t_{ts}}$ [%]	Status
	B1	M16 10.9 - 1	LE1	39,6	45,4	35,1	115,2	72,2	97,3	OK
	B2	M16 10.9 - 1	LE1	5,5	48,5	4,9	115,2	77,2	80,7	OK
	B3	M16 10.9 - 1	LE1	30,3	50,3	26,8	115,2	80,0	99,2	OK
	B4	M16 10.9 - 1	LE1	8,7	59,1	7,7	115,2	94,1	99,6	OK
	B5	M16 10.9 - 1	LE1	25,5	41,0	22,5	115,2	65,4	81,4	OK
	B6	M16 10.9 - 1	LE1	2,3	44,2	2,0	115,2	70,3	71,8	OK
	B7	M16 10.9 - 1	LE1	29,4	49,9	26,0	115,2	79,4	98,0	OK
	B8	M16 10.9 - 1	LE1	4,3	56,8	3,8	99,2	90,4	93,2	OK
	B17	M20 10.9 - 2	LE1	20,6	88,8	11,7	132,9	90,6	99,0	OK
	B18	M20 10.9 - 2	LE1	20,1	88,3	11,4	201,6	90,1	98,2	OK
	B11	M20 10.9 - 2	LE1	32,2	46,1	18,2	347,3	47,0	60,0	OK
	B12	M20 10.9 - 2	LE1	9,8	40,3	5,6	201,6	41,2	45,1	OK
	B13	M20 10.9 - 2	LE1	15,6	91,0	8,8	315,3	92,9	99,2	OK
	B14	M20 10.9 - 2	LE1	21,7	88,4	12,3	201,6	90,2	99,0	OK
	B15	M20 10.9 - 2	LE1	23,8	42,6	13,5	353,3	43,4	53,1	OK
	B16	M20 10.9 - 2	LE1	14,8	44,1	8,4	201,6	45,0	51,0	OK
	B35	M16 10.9 - 3	LE1	1,5	8,1	1,3	92,2	16,1	13,8	OK
	B36	M16 10.9 - 3	LE1	0,6	9,7	0,5	92,2	18,5	15,9	OK
	B37	M16 10.9 - 3	LE1	4,1	8,7	3,6	92,2	17,2	16,4	OK
	B38	M16 10.9 - 3	LE1	2,2	10,6	1,9	92,2	20,0	18,2	OK
	B39	M16 10.9 - 3	LE1	1,3	7,7	1,2	92,2	15,4	13,0	OK
	B40	M16 10.9 - 3	LE1	0,6	9,3	0,5	92,2	17,6	15,1	OK
	B41	M16 10.9 - 3	LE1	2,0	7,5	1,8	92,2	15,1	13,3	OK
	B42	M16 10.9 - 3	LE1	0,6	9,2	0,5	92,2	17,3	14,9	OK
	B27	M16 10.9 - 3	LE1	2,5	18,0	2,2	92,2	37,9	30,3	OK
	B28	M16 10.9 - 3	LE1	1,0	13,3	0,9	80,7	29,1	21,8	OK
	B29	M16 10.9 - 3	LE1	4,8	27,6	4,3	92,2	57,8	47,0	OK
	B30	M16 10.9 - 3	LE1	2,6	26,0	2,3	80,7	59,8	43,1	OK
	B31	M16 10.9 - 3	LE1	1,1	12,9	1,0	62,3	40,9	21,3	OK
	B32	M16 10.9 - 3	LE1	0,5	2,6	0,4	92,2	4,1	4,4	OK
	B33	M16 10.9 - 3	LE1	3,3	18,2	2,9	92,2	39,3	31,0	OK
	B34	M16 10.9 - 3	LE1	2,5	14,9	2,2	69,5	39,0	25,2	OK

Design data

Name	$F_{t,Rd}$ [kN]	$B_{p,Rd}$ [kN]	$F_{v,Rd}$ [kN]
M16 10.9 - 1	113,0	153,5	62,8
M20 10.9 - 2	176,4	254,7	98,0
M16 10.9 - 3	113,0	122,8	62,8

Project:

Project no:

Author:

Symbol explanation

$F_{t,Rd}$	Bolt tension resistance EN 1993-1-8 tab. 3.4
$F_{t,Ed}$	Tension force
$B_{p,Rd}$	Punching shear resistance
V	Resultant of shear forces V_y , V_z in bolt
$F_{v,Rd}$	Bolt shear resistance EN_1993-1-8 table 3.4
$F_{b,Rd}$	Plate bearing resistance EN 1993-1-8 tab. 3.4
U_t	Utilization in tension
U_s	Utilization in shear
U_{ts}	Utilization in tension and shear EN 1993-1-8 table 3.4

Buckling

Buckling analysis was not calculated.

Code settings

Item	Value	Unit	Reference
YM0	1,00	-	EN 1993-1-1: 6.1
YM1	1,00	-	EN 1993-1-1: 6.1
YM2	1,25	-	EN 1993-1-1: 6.1
YM3	1,25	-	EN 1993-1-8: 2.2
YC	1,50	-	EN 1992-1-1: 2.4.2.4
YInst	1,20	-	ETAG 001-C: 3.2.1
Joint coefficient β_j	0,67	-	EN 1993-1-8: 6.2.5
Effective area - influence of mesh size	0,10	-	
Friction coefficient - concrete	0,25	-	EN 1993-1-8
Friction coefficient in slip-resistance	0,30	-	EN 1993-1-8 tab 3.7
Limit plastic strain	0,05	-	EN 1993-1-5
Weld stress evaluation	Plastic redistribution		
Detailing	No		
Distance between bolts [d]	2,20	-	EN 1993-1-8: tab 3.3
Distance between bolts and edge [d]	1,20	-	EN 1993-1-8: tab 3.3
Concrete breakout resistance	Yes		ETAG 001-C
Use calculated a_b in bearing check.	Yes		EN 1993-1-8: tab 3.4
Cracked concrete	Yes		
Local deformation check	No		
Local deformation limit	0,03	-	CIDECT DG 1, 3 - 1.1

MONTAŽNI NASTAVAK POMOĆU ČEONIH PLOČA

Project:
Project no:
Author:

Project data

Project name
Project number
Author
Description
Date 6.3.2020.
Design code EN

Material

Steel S 235

Project:
Project no:
Author:

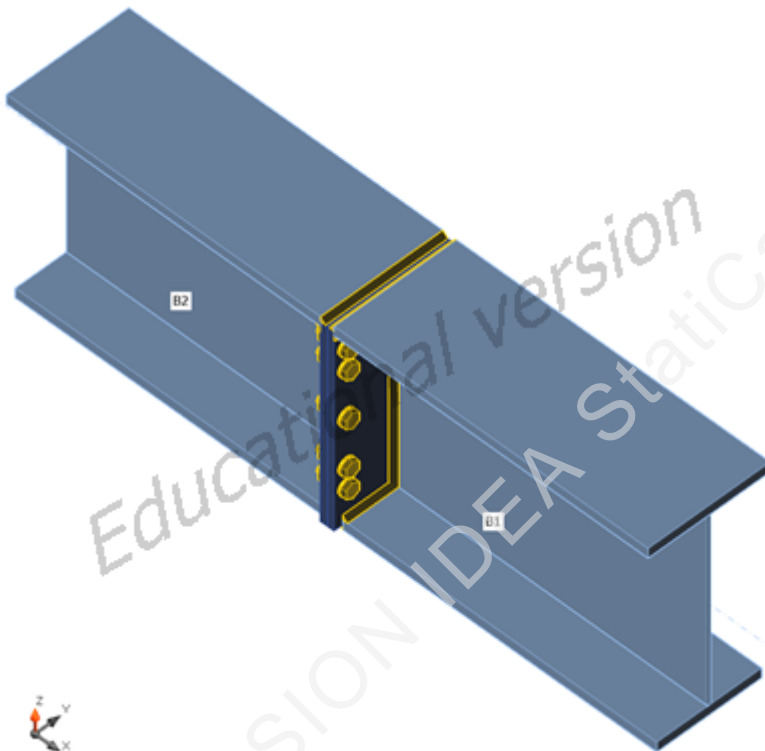
Project item CON1

Design

Name CON1
Description
Analysis Stress, strain/ simplified loading

Beams and columns

Name	Cross-section	β - Direction [°]	γ - Pitch [°]	α - Rotation [°]	Offset ex [mm]	Offset ey [mm]	Offset ez [mm]	Forces in
B1	2 - Iwn600x(350/300)	0,0	0,0	0,0	0	0	0	Node
B2	2 - Iwn600x(350/300)	180,0	0,0	0,0	0	0	0	Node



Cross-sections

Name	Material
2 - Iwn600x(350/300)	S 235

Bolts

Name	Bolt assembly	Diameter [mm]	f_u [MPa]	Gross area [mm ²]
M24 10.9	M24 10.9	24	1000,0	452

Load effects (equilibrium not required)

Name	Member	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
LE1	B1	-11,6	17,6	280,7	8,6	273,7	14,2

Project:
Project no:
Author:

Check

Summary

Name	Value	Status
Analysis	100,0%	OK
Plates	2,2 < 5%	OK
Bolts	97,8 < 100%	OK
Welds	98,4 < 100%	OK
Buckling	Not calculated	

Plates

Name	Thickness [mm]	Loads	σ_{Ed} [MPa]	ϵ_{pl} [%]	Status
B1-tfl 1	28,0	LE1	235,3	0,2	OK
B1-bfl 1	28,0	LE1	143,1	0,0	OK
B1-w 1	8,0	LE1	231,3	0,0	OK
B2-tfl 1	28,0	LE1	235,3	0,2	OK
B2-bfl 1	28,0	LE1	166,9	0,0	OK
B2-w 1	8,0	LE1	207,1	0,0	OK
PP1a	19,0	LE1	239,5	2,2	OK
PP1b	19,0	LE1	238,5	1,7	OK

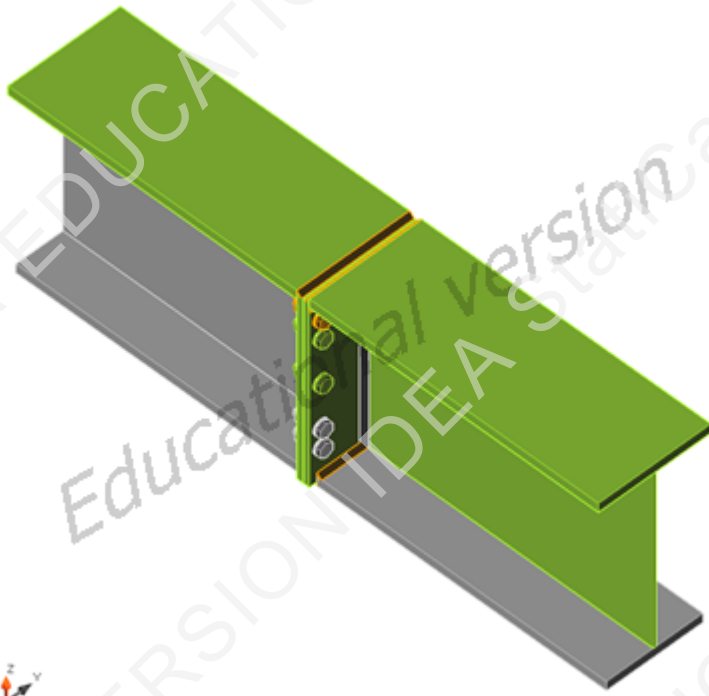
Design data

Material	f_y [MPa]	ϵ_{lim} [%]
S 235	235,0	5,0

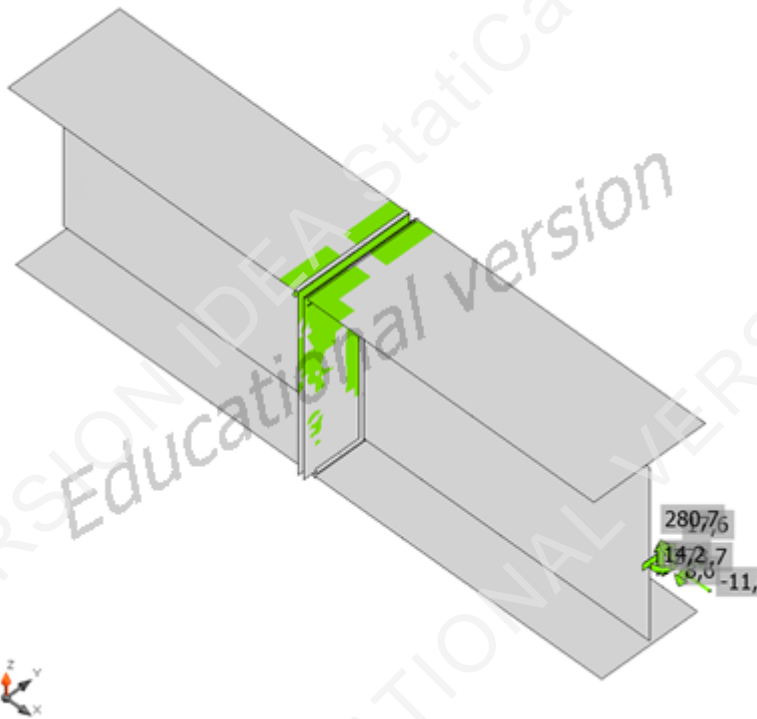
Symbol explanation

ϵ_{pl}	Strain
σ_{Ed}	Eq. stress
f_y	Yield strength
ϵ_{lim}	Limit of plastic strain

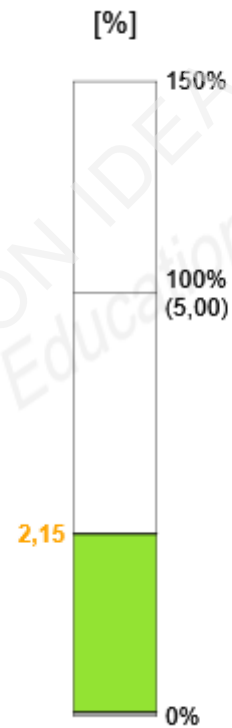
Project:
Project no:
Author:



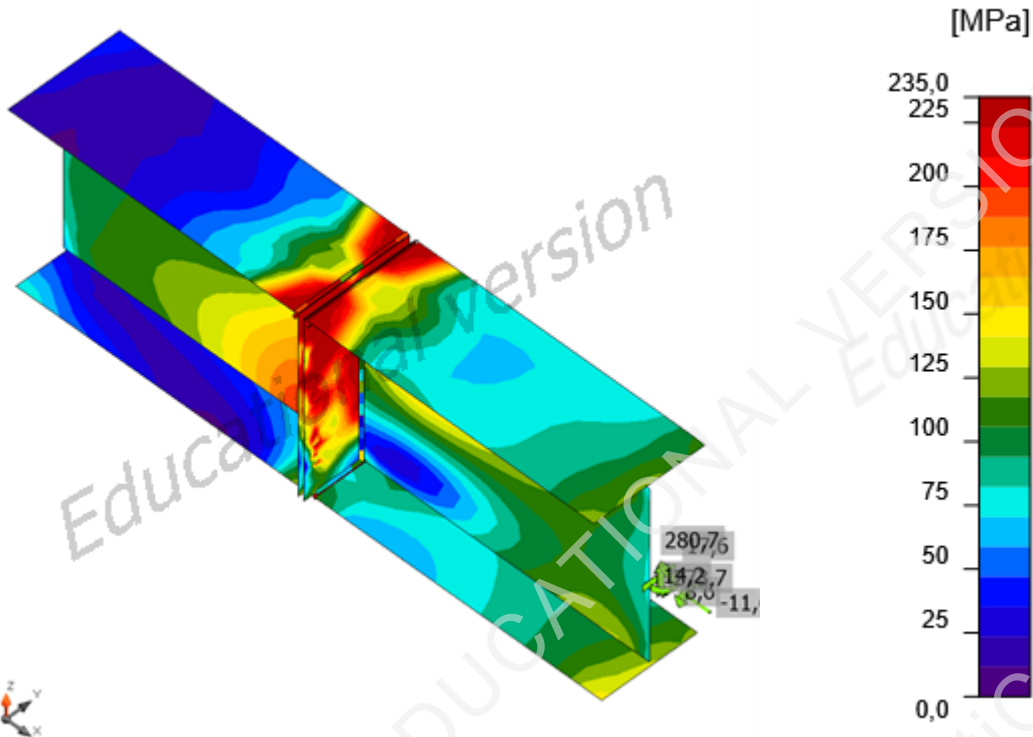
Overall check, LE1



Strain check, LE1



Project:
Project no:
Author:



Equivalent stress, LE1

Bolts

	Name	Loads	$F_{t,Ed}$ [kN]	V [kN]	U_{t_t} [%]	$F_{b,Rd}$ [kN]	U_{t_s} [%]	$U_{t_{ts}}$ [%]	Status
	B9	LE1	246,5	15,6	97,0	141,9	11,1	80,3	OK
	B10	LE1	248,7	11,8	97,8	141,3	8,3	78,2	OK
	B11	LE1	146,7	33,2	57,7	141,3	23,5	64,7	OK
	B12	LE1	148,5	26,3	58,4	141,2	18,6	60,4	OK
	B13	LE1	36,8	36,3	14,5	143,7	25,7	36,1	OK
	B14	LE1	42,0	29,4	16,5	284,0	20,8	32,6	OK
	B15	LE1	81,3	36,2	32,0	141,9	25,6	48,5	OK
	B16	LE1	81,4	29,1	32,0	144,8	20,6	43,5	OK
	B17	LE1	154,0	28,7	60,6	273,1	20,3	63,6	OK
B18	LE1	153,2	35,8	60,3	271,7	25,4	68,4	OK	

Design data

Name	$F_{t,Rd}$ [kN]	$B_{p,Rd}$ [kN]	$F_{v,Rd}$ [kN]
M24 10.9 - 1	254,2	444,6	141,2

Project:
Project no:
Author:

Symbol explanation

$F_{t,Rd}$ Bolt tension resistance EN 1993-1-8 tab. 3.4
 $F_{t,Ed}$ Tension force
 $B_{p,Rd}$ Punching shear resistance
 V Resultant of shear forces V_y, V_z in bolt
 $F_{v,Rd}$ Bolt shear resistance EN_1993-1-8 table 3.4
 $F_{b,Rd}$ Plate bearing resistance EN 1993-1-8 tab. 3.4
 U_t Utilization in tension
 U_s Utilization in shear
 U_{ts} Utilization in tension and shear EN 1993-1-8 table 3.4

Welds (Plastic redistribution)

Item	Edge	Throat th. [mm]	Length [mm]	Loads	$\sigma_{w,Ed}$ [MPa]	ϵ_{pl} [%]	σ_{\perp} [MPa]	$\tau_{ }$ [MPa]	τ_{\perp} [MPa]	U_t [%]	U_{tc} [%]	Status
PP1a	B1-tfl 1	▲10,0▲	350	LE1	340,3	0,0	-146,7	94,0	150,3	94,5	63,9	OK
		▲10,0▲	350	LE1	354,4	0,9	253,2	83,3	-116,4	98,4	79,9	OK
PP1a	B1-bfl 1	▲10,0▲	300	LE1	114,7	0,0	-60,9	3,9	-56,0	31,9	24,7	OK
		▲10,0▲	300	LE1	352,8	0,0	-198,1	58,0	-158,3	98,0	69,3	OK
PP1a	B1-w 1	▲10,0▲	544	LE1	175,8	0,0	53,3	-81,2	52,6	48,8	24,4	OK
		▲10,0▲	544	LE1	180,9	0,0	54,6	82,8	-55,3	50,3	23,2	OK
PP1b	B2-tfl 1	▲10,0▲	350	LE1	333,8	0,0	-134,4	-107,5	139,9	92,7	63,7	OK
		▲10,0▲	350	LE1	354,1	0,9	250,9	-89,4	-113,2	98,4	80,5	OK
PP1b	B2-bfl 1	▲10,0▲	300	LE1	117,8	0,0	103,1	30,7	12,0	39,8	22,8	OK
		▲10,0▲	300	LE1	352,9	0,1	-203,4	-49,2	-159,0	98,0	73,5	OK
PP1b	B2-w 1	▲10,0▲	544	LE1	205,1	0,0	28,7	111,6	35,9	57,0	27,3	OK
		▲10,0▲	544	LE1	168,9	0,0	38,9	-89,5	-31,7	46,9	25,2	OK

Design data

	β_w [-]	$\sigma_{w,Rd}$ [MPa]	0.9σ [MPa]
S 235	0,80	360,0	259,2

Symbol explanation

ϵ_{pl} Strain
 $\sigma_{w,Ed}$ Equivalent stress
 $\sigma_{w,Rd}$ Equivalent stress resistance
 σ_{\perp} Perpendicular stress
 $\tau_{||}$ Shear stress parallel to weld axis
 τ_{\perp} Shear stress perpendicular to weld axis
 0.9σ Perpendicular stress resistance - $0.9 \cdot f_u / \gamma_{M2}$
 β_w Corelation factor EN 1993-1-8 tab. 4.1
 U_t Utilization
 U_{tc} Weld capacity utilization

Project:
Project no:
Author:

Buckling

Buckling analysis was not calculated.

Code settings

Item	Value	Unit	Reference
Y _{M0}	1,00	-	EN 1993-1-1: 6.1
Y _{M1}	1,00	-	EN 1993-1-1: 6.1
Y _{M2}	1,25	-	EN 1993-1-1: 6.1
Y _{M3}	1,25	-	EN 1993-1-8: 2.2
Y _C	1,50	-	EN 1992-1-1: 2.4.2.4
Y _{inst}	1,20	-	ETAG 001-C: 3.2.1
Joint coefficient β _j	0,67	-	EN 1993-1-8: 6.2.5
Effective area - influence of mesh size	0,10	-	
Friction coefficient - concrete	0,25	-	EN 1993-1-8
Friction coefficient in slip-resistance	0,30	-	EN 1993-1-8 tab 3.7
Limit plastic strain	0,05	-	EN 1993-1-5
Weld stress evaluation	Plastic redistribution		
Detailing	No		
Distance between bolts [d]	2,20	-	EN 1993-1-8: tab 3.3
Distance between bolts and edge [d]	1,20	-	EN 1993-1-8: tab 3.3
Concrete breakout resistance	Yes		ETAG 001-C
Use calculated a _b in bearing check.	Yes		EN 1993-1-8: tab 3.4
Cracked concrete	Yes		
Local deformation check	No		
Local deformation limit	0,03	-	CIDECT DG 1, 3 - 1.1