

Proračun nosača kranske staze za dvogrednu mosnu dizalicu

Grgurić, Iva

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering / Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:157:149102>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-21**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering - FCERI Repository](#)



image not found or type unknown

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

Iva Grgurić

**PRORAČUN NOSAČA KRANSKE STAZE ZA DVOGREDNU MOSNU DIZALICU
(Design of crane track girder for double girder bridge)**

Završni rad

Rijeka, 2020.

SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET

Preddiplomski sveučilišni studij građevinarstva

Osnove čeličnih konstrukcija

Iva Grgurić

JMBAG: 0114029648

PRORAČUN NOSAČA KRANSKE STAZE ZA DVOGREDNU MOSNU DIZALICU
(Design of crane track girder for double girder bridge)

Završni rad

Rijeka, srpanj 2020.

Naziv studija: **Sveučilišni preddiplomski studij Građevinarstvo**
Znanstveno područje: Tehničke znanosti
Znanstveno polje: Građevinarstvo
Znanstvena grana: Nosive konstrukcije

Tema završnog rada

PRORAČUN NOSACA KRANSKE STAZE ZA DVOGREDNU MOSNU DIZALICU
Design of crane track girder for double girder bridge

Kandidat: **IVA GRGURIĆ**
Kolegij: **OSNOVE ČELIČNIH KONSTRUKCIJA**
Završni rad broj: **20-P-09**

Zadatak:

U uvodnom dijelu završnog rada je potrebno dati teorijski pregled tipova kranova, klasifikaciju prema nosivosti i konstruktivnom obliku. U glavnom dijelu rada potrebno je provesti proračun nosača kranske staze za dvogrednu mosnu dizalicu. Proračunati vertikalna i horizontalna djelovanja na kransku stazu uslijed djelovanja dizalice. Dvogrednu mosnu dizalicu odabrati iz kataloga proizvođača te iz specifikacije proizvoda preuzeti potrebne parametre. Proračunati unutarnje sile te provesti dimenzioniranje nosača kranske staze prema graničnom stanju nosivosti i graničnom stanju uporabivosti koristeći se važećim propisima.

Tema rada je uručena: 24. veljače 2020.

Mentorica:

doc. dr. sc. Paulina Krolo
dipl. ing. građ.

IZJAVA

Završni rad izradila sam samostalno, u suradnji s mentoricom i uz poštivanje pozitivnih građevinskih propisa i znanstvenih dostignuća iz područja građevinarstva. Građevinski fakultet u Rijeci je nositelj prava intelektualnog vlasništva u odnosu na ovaj rad.

Iva Grgurić

Ime Prezime

U Rijeci, 7. srpnja 2020.

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorici doc.dr.sc. Paulini Krolo na stručnoj pomoći pri prikupljanju literature, izradi i pisanju završnog rada te savjetima i uputama koje su mi uveliko olakšale izradu rada.

SAŽETAK

Cilj završnog rada je proračunati kransku stazu za dvogrednu mosnu dizalicu. Prvi, teorijski dio rada, ukratko opisuje svrhu izvedbe industrijske hale te osnovnu podjelu tipova kranova. Svaki tip kрана u nastavku je razrađen na način da su opisane najvažnije značajke pojedinog tipa kрана. Nadalje je objašnjena uloga kranske staze, način njenog postavljanja i izvedbe te opterećenja koja na nju djeluju. Nakon teorijskog dijela, dan je proračun vertikalnih i horizontalnih djelovanja na kransku stazu za dvogrednu mosnu dizalicu ABUS ZLK 10 t x 24,5 m. Podaci za izračun uzeti su iz kataloga. Prema karakteristikama poprečnog presjeka nosač kranske staze je dimenzioniran za granično stanje nosivosti i granično stanje uporabivosti, te je napravljena provjera na umor nosača.

Ključne riječi: mosna dizalica, čelična hala, kranski nosač, opterećenja, proračun

ABSTRACT

The aim of the final work is to calculate the crane track support for a two-girder bridge crane. The first, theoretical part, briefly describes the purpose of the industrial hall and the basic division of crane types. Each crane type is elaborated in such a way that the most important features of each crane type are described. Furthermore, it is explained the role of the crane track, the method of its installation and execution, and the loads that affect it. After the theoretical part, the calculation of vertical and horizontal actions on the crane track for two-girder bridge crane ABUS ZLK 10 t x 24.5 m operates is given. The data for the calculation are taken from the catalog. According to the cross-sectional characteristics, the crane track girder was dimensioned for the ultimate limit state and the limit state of usability, and then a fatigue check was made.

Keywords: bridge crane, steel hall, crane girder, loads, calculation

SADRŽAJ

POPIS TABLICA.....	1
POPIS SLIKA	2
UVOD.....	5
1. TEORIJSKI PREGLED TIPOVA KRANOVA	6
1.1 KONZOLNI KRANOVI	8
1.2. PORTALNI KRANOVI.....	8
1.3. MOSNI KRANOVI	9
2. KRANSKE STAZE	11
3. OPTEREĆENJA KOJA DJELUJU NA KRANSKE STAZE	13
4. PRORAČUN KRANSKE STAZE ZA DVOGREDNU MOSNU DIZALICU.....	18
4.1. TEHNIČKI OPIS	18
4.2. PRIKAZ DVOGREDNE MOSNE DIZALICE S KRANSKOM STAZOM	19
4.3. OSNOVNI PODACI O KRANU	20
4.4. DJELOVANJA	20
4.4.1. <i>Dinamički faktor</i>	21
4.4.2. <i>Vertikalna opterećenja</i>	24
4.4.3. <i>Horizontalna opterećenja</i>	30
5. DIMENZIONIRANJE NOSAČA KRANSKE STAZE ZA KGS	41
5.1. KLASIFIKACIJA POPREČNOG PRESJEKA	42
5.2. UNUTARNJE SILE I MOMENTI	43
5.3. POSMIČNA OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA	48
5.4. POSMIČNA OTPORNOST GORNJE POJASNICE POPREČNOG PRESJEKA	49
5.5. KOMBINIRANI POSMIK USLIJED SAVIJANJA I TORZIJE	51
5.6. DOKAZ NA SAVIJANJE USLIJED ISKOŠENJA KRANA PRI KRETANJU.....	52
5.7. DOKAZ NOSAČA NA BOČNO TORZIJSKO IZVIJANJE	54
5.8. PROVJERA NOSAČA NA CRUSHING, CRIPPLING I IZBOČAVANJE IZAZVANO KONCENTRIRANIM OPTEREĆENJEM.....	57
5.8.1. <i>Crushing resistance</i>	57
5.8.2. <i>Crippling resistance</i>	58
5.8.3. <i>Otpornost na izbočavanje</i>	59
5.9. PROVJERA NAPREZANJA U HRPTU	61
6. DIMENZIONIRANJE NOSAČA KRANSKE STAZE ZA GSU.....	62
6.1. PROGIB USLIJED VERTIKALNOG OPTEREĆENJA	62
6.2. PROGIB UZROKOVAN HORIZONTALNIM OPTEREĆENJEM	63
7. PROVJERA UMORA	64
7.1. EKVIVALENTNO OPTEREĆENJE.....	64
7.2. NORMALNI NAPONI	65
7.3. POSMIČNA NAPREZANJA	69
7.4. INTERAKCIJA NORMALNIH I POSMIČNIH NAPREZANJA	71
8. ZAKLJUČAK.....	71
9. LITERATURA	72

POPIS TABLICA

Tablica 1: Dinamički faktori [3]

Tablica 2: Skupine opterećenja i dinamički faktori koje treba uzeti u obzir za modeliranje djelovanja kрана kao jednog karakterističnog opterećenja [3]

Tablica 3: Vrijednosti dinamičkih faktora [4]

Tablica 4: Klase dizanja kрана; vrijednosti $\varphi_{2,min}$ i θ_2 [2]

Tablica 5: Dinamički faktor φ_s [2]

Tablica 6: Određivanje vrijednosti razmaka h [4]

Tablica 7: Određivanje vrijednosti faktora sile $\lambda_{s,i,j,k}$ [2]

Tablica 8: Skupine opterećenja, kao karakteristične vrijednosti jednog djelovanja na kran, za krajnje granično stanje (KGS)

POPIS SLIKA

Slika 1: Tipični poprečni presjek hale s kranom [2]

Slika 2: Mosni kran [https://www.google.com/search?q=mosne+dizalice&tbm=isch&ved=2ahUKEwiBoYfyj-roAhWTt6QKHGYDx0Q2-cCegQIABAA&oq=mosne+dizalice&gs_lcp=CgNpbWcQAzICCAAYBAGAEbgyBAGAEbgyBAGAEbHqz7UoWWM-1KGC6tyhoAHAAeACAAXaIAXaSAQMwLjGYAQcGAQgAQnd3Mtd2l6LWltZw&sclient=img&ei=pdSWXsG6PJpvkgWbsb7oAQ&bih=722&biw=1536#imgrc=s_nVWDjLccUurM]

Slika 3: Konzolni kran

[https://www.google.com/search?q=konzolna+dizalica&tbm=isch&ved=2ahUKEwiM6rThlOroAhVMt6QKHVTLc3wQ2-cCegQIABAA&oq=konzolna+dizalica&gs_lcp=CgNpbWcQAzICCAAYBAGAEbgyBAGAEbgyBAGAEbgyBAGAEbgyBAGAEbG6BggAEAcQHjoICAAQCBAHEB5QhKIGWJuxBmC6sgZoAHAAeACAAXilAfsGkgEDMS43mAEAoAEbqgELZ3dzLXdpei1pbWc&sclient=img&ei=wdmWXsyFEMzucgXUlgBw&bih=722&biw=1536#imgrc=Xe_EsRI67UtnLM]

Slika 4: Portalni kran [https://www.google.com/search?q=portalna+dizalica&tbm=isch&ved=2ahUKEwjPnL-ukuroAhVKhqQKHX20C2UQ2-cCegQIABAA&oq=portalna&gs_lcp=CgNpbWcQARgBMgQIABBDmGIADICCAAYAggAMgIADICCAAYAggAMgQIABAEAgQIABAEAgQIABADUJr3JliYiydglJnsnaABwAHgAgAHOAYgB9AaSAQUwLjYuMZgBAKABAAoBC2d3cy13aXotaW1n&sclient=img&ei=PdeWXo-KJcqMkgX96K6oBg&bih=722&biw=1536#imgrc=sSUyUpn3W-dAZM]

Slika 5: Zidni konzolni kran [https://www.hahn-kolb.fr/All-categories/Column-mounted-slewing-jib-crane-ASSISTENT-AS-complete-set-with-chain-hoist/1458CL04_0509070104.cyid/1458.cgid/en/US/EUR/?CatalogCategoryRef=1458CL04_0509070104%40WuerthGroup-HAHN_KOLB-1458&SelectedFilterAttribut=%255B%255D]

Slika 6: Stupni konzolni kran [https://www.hahn-kolb.fr/All-categories/-/1458CL04_0509070313.cyid/1458.cgid/en/US/EUR/?CatalogCategoryRef=1458CL04_0509070313%40WuerthGroup-HAHN_KOLB-1458]

Slika 7: Jednogredni portalni kran [<http://www.primcompany.com/?izbor=4&ID=6>]

Slika 8: Dvogredni portalni kran [<http://www.primcompany.com/?izbor=4&ID=6>]

Slika 9: Dijelovi mosnog kрана [1]

Slika 10: Kran koji vozi po gornjoj pojasnici [2]

Slika 11: Kran koji vozi po donjoj pojasnici [2]

Slika 12: Jednogredni mosni kran [<http://www.primcompany.com/?izbor=4&ID=5>]

Slika 13: Dvogredni mosni kran [<http://www.primcompany.com/?izbor=4&ID=5>]

Slika 14: Karakteristični poprečni presjeci kranskih staza [2]

Slika 15: Varijante oslanjanja kranova na stupove i mogući poprečni presjeci stupova [1]

Slika 16: Raspored opterećenja za određivanje najvećeg opterećenja na kransku stazu [1]

Slika 17: Raspored opterećenja za određivanje najmanjeg opterećenja na kransku stazu [1]

Slika 18: Vlastita težina kрана Q_c i nosivost kрана Q_h [4]

Slika 19: Primjer odbojnika i tipovi odbojnika [1]

Slika 20: Nacrt dvogredne mosne dizalice s kranskom stazom [Hoistec d.o.o., Katalog, Dvogredna mosna dizalica]

Slika 21: Ekscentricitet unosa sile [1]

Slika 22: Raspored opterećenja zbog uzdužnih i poprečnih horizontalnih sila prouzročenim ubrzanjem i usporenjem [1]

Slika 23: Prikaz djelovanja horizontalnih poprečnih sila i momenta [4]

Slika 24: Prikaz horizontalnih sila prilikom iskošenja kрана [2]

Slika 25: Poprečni presjek [<https://www.biad.co.il/ipe#&gid=1&pid=1>]

Slika 26: Najnepovoljniji položaj vertikalnog opterećenja i pripadajući dijagrami

Slika 27: Položaj horizontalne sile $H_{T,2}$ i pripadajući dijagrami

Slika 28: Najnepovoljniji položaj horizontalnog opterećenja i pripadajući dijagrami

Slika 29: Pozicija vertikalnih opterećenja koja daju najveću poprečnu silu

Slika 30: Opterećenje nosača zbog vlastite težine i pripadajući dijagrami

Slika 31: Horizontalno opterećenje koje daje najnepovoljniju silu V_y, E_d

Slika 32: Djelovanje sile H_a i pripadajući momentni dijagram

Slika 33: Promatrani poprečni presjek

UVOD

Gradnja industrijskih hala uvelike ovisi namjeni same hale. Važno je dobro organizirati radni prostor, a uz njega i položaj kрана koji služi za prijenos tereta. Tip kрана (ili drugačije rečeno - dizalice) ovisit će o vrsti robe koja se prevozi te načinu i udaljenosti prijevoza tereta. Osim u halama, kranovi se koriste i u skladišnim prostorima, radionicama, prilikom montaže i demontaže opreme i slično. Tri su osnovna tipa kranova: mosni, konzolni i portalni kranovi, a u ovom radu najveća pažnja dana je mosnom kranu za koji je napravljen i proračun.

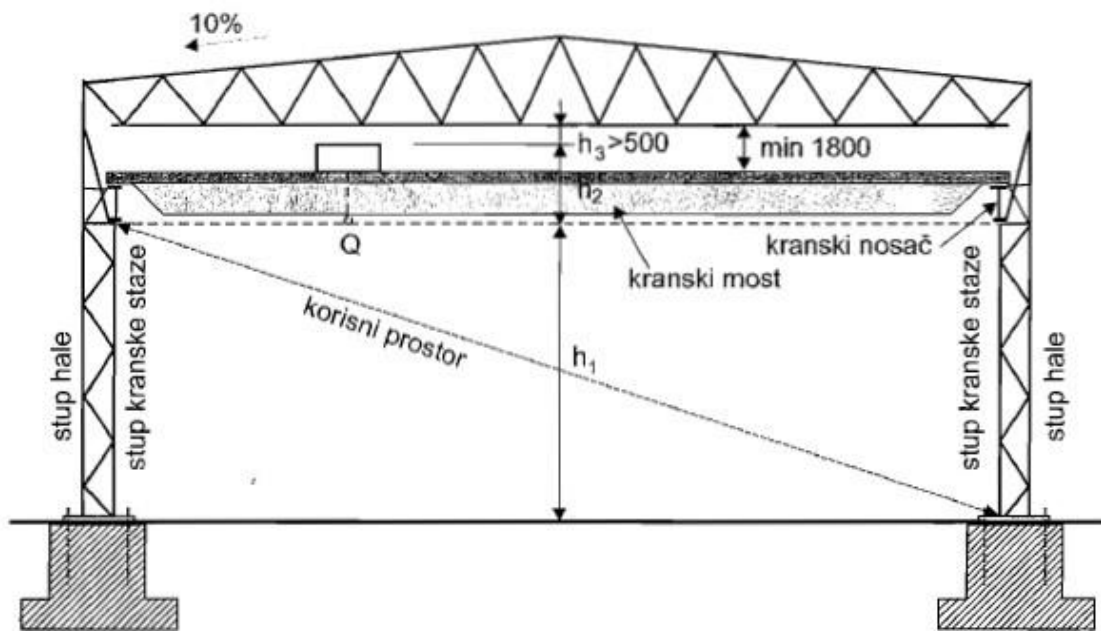
Mosni kran ima oblik mosta koji služi za kretanje mačke kojom se podiže i spušta teret. Uz most i mačku, mosni kran sadrži još kransku stazu, tračnice ili šine te elektroniku i dijelove koji služe za pogon.

Proračun se sastoji od izračuna verikalnih i horizontalnih opterećenja koja djeluju na nosač kranske staze. Ispitivanje pouzdanosti nosača kranske staze rađeno je po karakteristikama poprečnog presjeka, a nosač je dimenzioniran za granično stanje nosivosti (GSN) i granično stanje uporabivosti (GSU). Na temelju najvećih opterećenja napravljena je provjera nosača na umor.

Za proračun nosača primjenjene su norme Eurocode1 i Eurocode3, a dimenzije kрана uzete su iz kataloga.

1. TEORIJSKI PREGLED TIPOVA KRANOVA

Izvedba industrijskih hala ovisi o vrsti robe koja se proizvodi i obavljanju određenih tehnoloških procesa unutar hale. One moraju zadovoljavati potrebne uvjete za proizvodnju i za rad radnika. Također, kako bi se omogućio transport materijala unutar hale, postavljaju se specijalne konstrukcije koje olakšavaju i omogućuju brz transport materijala. S obzirom na način njihova rada možemo ih podijeliti na transportne trake i na dizalice (Slika 1) [1].



Slika 1: Tipični poprečni presjek hale s kranom [2]

Transportne dizalice, odnosno kranovi, neizostavan su dio većine industrijskih građevina. Postoji više načina izvedbe kranova koji ovisi o načinu povezivanja kрана s konstrukcijom hale.

Možemo ih podijeliti na tri osnovna tipa:

- mosni kranovi (Slika 2)
- konzolni kranovi (Slika 3)
- portalni kranovi (Slika 4)



Slika 2: Mosni kran



Slika 3: Konzolni kran



Slika 4: Portalni kran

1.1 Konzolni kranovi

Konzolni kranovi mogu biti zidni ili stupni (Slika 5 i 6). Zidni su pogodni za malo manje terete u odnosu od stupnih, tj. pogodni su za nosivost do 5t dok su stupni pogodni za nosivost do 7t. Obje vrste konzolnih kranova mogu imati raspon dizalice do 10m [1].



Slika 5: Zidni konzolni kran



Slika 6: Stupni konzolni kran

Ovakva vrsta kranova koristi se u proizvodnji za obavljanje rada manjih tehnoloških cjelina i posluživanje različitih strojeva. Ovisno o zahtjevima proizvodnje mogu imati ograničen kut rotacije ili neograničenu rotaciju konzolne grane koja omogućuje rotaciju punog kruga [1].

1.2. Portalni kranovi

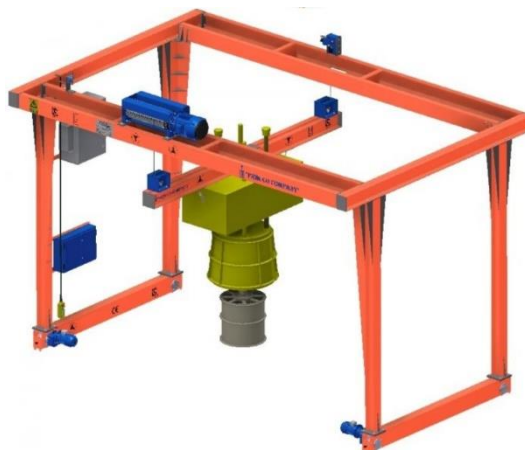
Portalni kranovi imaju oblik potala, odnosno okvira, pa su po svom izgledu dobili i ime. Najčešća primjena im je na otvorenom prostoru, a kretanje im je omogućeno po tračnicama koje se obično protežu kroz halu pa izvan objekta. Primjer takvih kranova je kod pretovara robe velikih masa. Kod portalnih kranova manje nosivosti moguća je i izvedba na kotačima, a moguća je i izvedba nepokretnih kranova. Pogodni su u objektima kada nije predviđeno ili dozvoljeno

opterećenje noseće konstrukcije. Portalni se kranovi postavljaju kada se zahtjeva prijenos jako velikih tereta koje mosni kranovi ne bi mogli prenijeti [1].

Portalni kranovi se mogu sastojati od jedne ili dvije grede (nosača) (Slika 7 i 8). Jednogredni, čija je greda valjani I profil, imaju nosivost do 12,5 tona, dok dvogredni kranovi, čija je greda zavarenog sandučastog presjeka može imati nosivost do čak 100 tona [1].



Slika 7: Jednogredni portalni kran



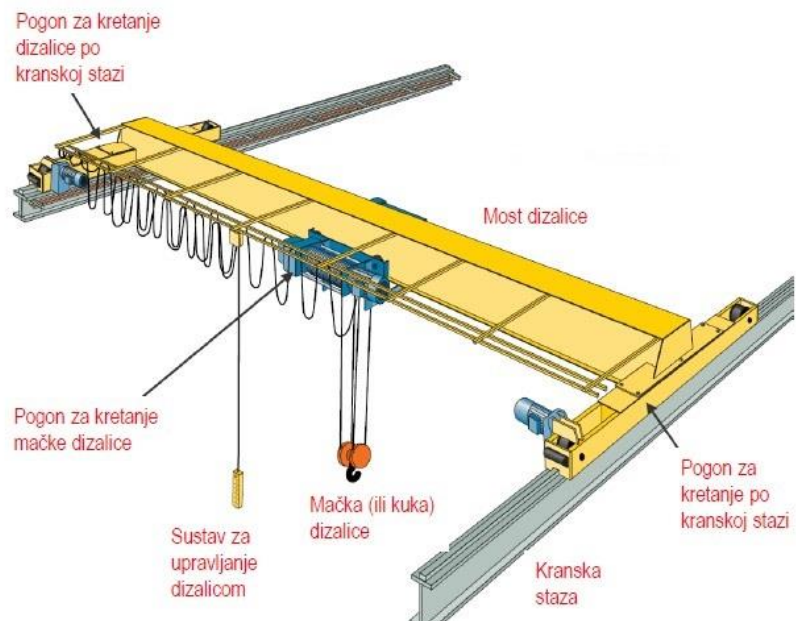
Slika 8: Dvogredni portalni kran

1.3. Mosni kranovi

Mosni kranovi su dobili ime po tome što imaju oblik mosta. Oni se najčešće koriste za veće terete i veće raspone hala jer se konstrukcija kрана, koja je podignuta iznad radne površine hale, preko nosača oslanja na stupove hale. Upravo ovaj oblik kрана ima statički sustav proste grede što ga čini jednostavnijim za izvođenje. Sam most kрана ostavlja slobodan prostor ispod njega što je također prednost pri oslobađanju prostora u kojem se nesmetano može obavljati rad.

Most kрана omogućava kretanje kolica koja nose zahvatni uređaj koji se jednostavnije naziva mačka. Mačka ima mehanizam za dizanje, spuštanje i vodoravni transport tereta [1].

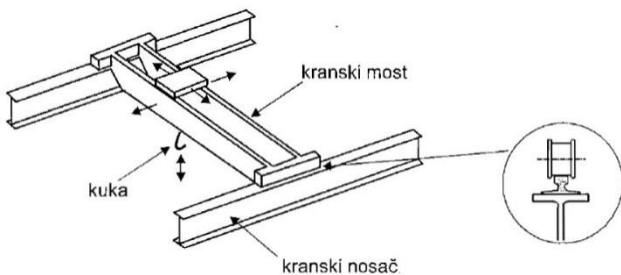
Osnovni dijelovi mosnog kрана prikazani su na slici 9:



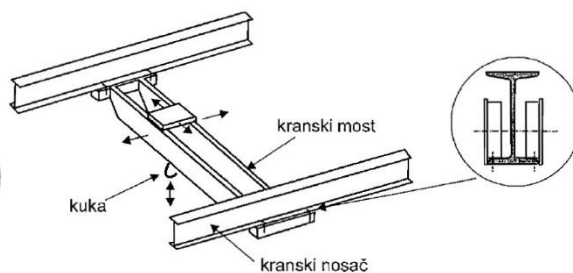
Slika 9: Dijelovi mosnog kрана [1]

Moguća su dva tipa izvedbe mosnih kрана:

- oni koji se kreću po gornjoj pojasnici kranskog nosača (Slika 10)
- oni koji se kreću po donjoj pojasnici kranskog nosača (Slika 11)



Slika 10: Kran koji vozi po gornjoj pojasnici [2]



Slika 11: Kran koji vozi po donjoj pojasnici [2]

Mosni kranovi izvede se kao jednogredni (Slika 12) i dvogredni nosači (Slika 13). Kombinacijom ta dva tipa proizvode se kranovi koji odgovaraju traženim zahtjevima. Pri većim rasponima i opterećenjima koriste se dizalice s dvije grede i mačkom koja se kreće po dvjema tračnicama na gornjoj pojasnici. U suprotnom slučaju, kod manjih opterećenja, koriste se kranovi s jednom gredom i mačkom koja se kreće po donjoj pojasnici [2].



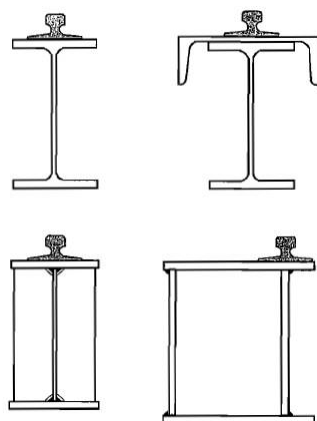
Slika 12: Jednogredni mosni kran



Slika 13: Dvogredni mosni kran

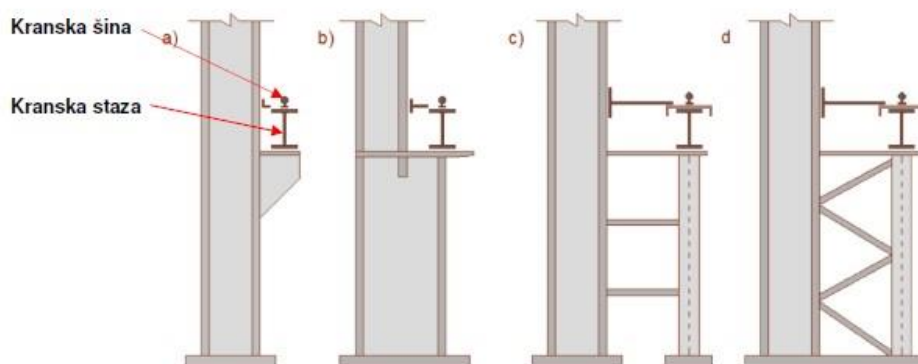
2. KRANSKE STAZE

Kranska staza je nosač kranske dizalice. Oslanjaja se direktno na stupove ili preko konzola okvirnih glavnih nosača hala. Kranske staze postavljaju se ispod tračnica (šina) po kojoj se kreće dizalica pa tako imaju ulogu nosive konstrukcije. Ponekad se kranske staze izvede kao kontinuirani nosači koji se oslanjaju na okvir glavne konstrukcije hale, međutim, najjednostavniji oblik je statički sustav proste grede. Razlog tome je jednostavniji proračun i statička analiza, jeftinija izrada i lakša montaža. Za manja opterećenja najčešće konstruktivno rješenje za kranske staze su puni I profili (valjani ili zavareni). Za velika opterećenja primjenjuju se sandučasti i rešetkasti nosači [1]. Na slici 14 prikazani su karakteristični poprečni presjeci kranskih nosača:



Slika 14: Karakteristični poprečni presjeci kranjskih staza [2]

Glavni stupovi su nosivi elementi koji služe za preuzimanje djelovanja dizalice koja se preko kranjske staze direktno naslanja na njega. Kada se na stup naslanja kranjska staza (zbog proširenja stupa) sile djeluju ekscentrično pa se javlja i dodatni torzijski učinak. Za glavne stupove koriste se valjani profili, rešetkasti i sandučasti presjeci. Na slici 15 prikazani su mogući načini oslanjanja kranjske staze na stup te nekoliko mogućih poprečnih presjeka stupova [1]:



Slika 15: Varijante oslanjanja kranova na stupove i mogući poprečni presjeci stupova [1]

Prilikom kretanja i kočenja mačke javljaju se bočne sile uzduž dizalice. Spregovi za preuzimanje bočnih udara su konstrukcije koje preuzimaju te sile i najčešće se izvode od rebrastog lima (debljine pojasnice 5 do 8 mm) s jednim pojasom od U profila ili kutnika. Ako je spreg protiv bočnih udara širi od 1,0 m, bolje ga je izvoditi u obliku rešetkastog nosača zbog manjeg utroška

čelika. U takvom obliku izvodi se kao rešetkasti nosač s paralelnim pojasevima i ispunom koja se sastoji ili od dijagonala ili od vertikalala. Ispunu obično čine jedan ili dva kutnika [1].

Također, spregovi za kočenje preuzimaju sile koje se javljaju prilikom kretanja i kočenja. Oni se mogu postaviti samostalno ili u sklopu vertikalnog sprega u uzdužnom zidu. Spreg za kočenje najbolje je postaviti direktno ispod kranske staze [1].

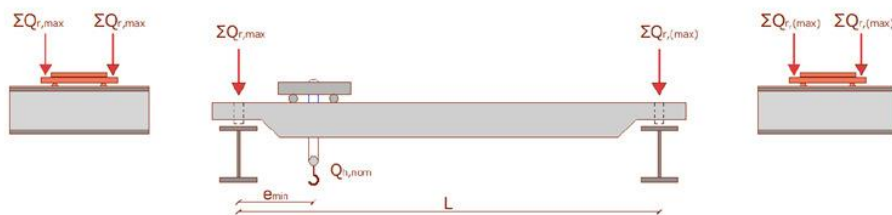
Ako su mosne dizalice nosivosti manje od 10t i rasponi kranskih staza oko 6,0m za kransku stazu usvaja se poprečni presjek valjanog I profila ili samostalno ili sa ojačanom gornjom pojasnicom zbog preuzimanja horizontalnih sila od bočnih udara. U slučaju kranskih staza većeg raspona i teških dizalica koriste se zavareni limeni nosači I presjeka sa horizontalnim nosačem istog raspona koji ima funkciju sprega protiv bočnih udara i služi kao staza za opsluživanje dizalica. Visina kranskih staza za statički sustav proste grede je $L/10$ do $L/12$ u odnosu s rasponom kranske staze. Za kranske staze većih raspona racionalne su sandučaste ili rešetkaste kranske staze. Pritom visina rešetkastih kranskih staza može biti u omjeru $L/7$ do $L/10$ raspona kranske staze, [2].

3. OPTEREĆENJA KOJA DJELUJU NA KRANSKE STAZE

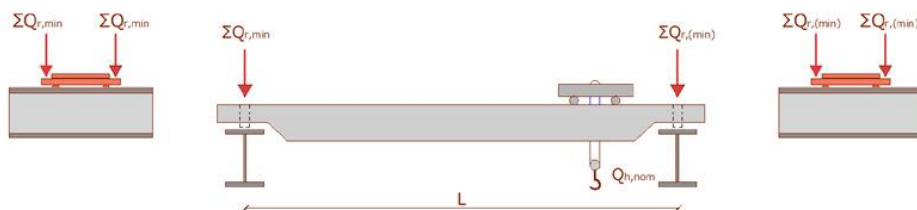
Za razliku od proračuna ostalih konstrukcijskih elemenata hale, kod kranskih nosača valja razmotriti nekoliko stvari kao što su: kombinacija poprečnih sila i momenata savijanja, bočno-torzijsko izvijanje, torzijska naprezanja, utjecaj horizontalnih opterećenja, kontrola zamora i slično [3].

Vertikalno opterećenje je dominantno kod kranskih nosača, dok je iduće po redu poprečno, odnosno horizontalno djelovanje na kranski nosač [3]. Vertikalno opterećenje nastaje prilikom kretanja mačke po dizalici i potrebno ga je proračunati za različite položaje mačke sa i bez tereta. Tim izračunima dobijemo maksimalne (Slika 16) i minimalne (Slika 17) vrijednosti vertikalnog opterećenja koje definiramo kao koncentriranu silu

na mjestima kotača. Ukoliko dođe do nepravilnog nalijeganja kotačića, javlja se ekscentričnost vertikalnog opterećenja i ono se uzima kao 25% od širine tračnice [3].



Slika 16: Raspored opterećenja za određivanje najvećeg opterećenja na kranску stazu [1]



Slika 17: Raspored opterećenja za određivanje najmanjeg opterećenja na kranскую stazu [1]

Djelovanjem kranova nastaju statička i dinamička opterećenja. Ta opterećenja se mijenjaju ovisno o težini tereta i položaju samog kрана, što znači da su u funkciji vremena. Dinamičke sile ovise o vrsti i izvedbi kрана, a nastaju pri pokretanju i zaustavljanju kрана, te podizanju i spuštanju tereta. Dinamički utjecaji računaju se na način da se poznato statičko opterećenje pomnoži određenim dinamičkim faktorima φ . Dakle, dinamički faktor je faktor koji predstavlja omjer dinamičkog djelovanja prema statičkom [2].

$$F_{\varphi,k} = \varphi_i * F_k$$

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

φ_i – dinamički faktor

F_k – karakteristična statična vrijednost opterećenja kрана

Tablica 1: Dinamički faktori [3]

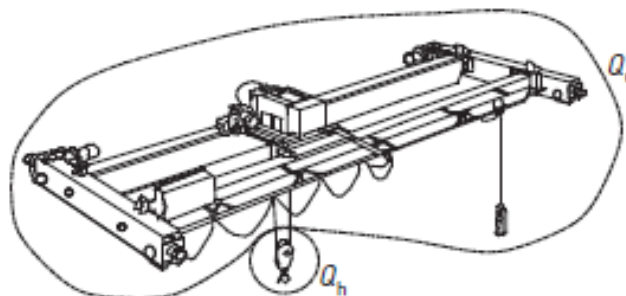
DINAMIČKI FAKTOR	UČINCI KOJI SE RAZMATRAJU	PRIMJENJUJE SE NA
φ_1	Vibracijska pobuda konstrukcije kрана zbog podizanja tereta s tla	Vlastitu težinu kрана
φ_2	Dinamički učinak podizanja tereta od tla do kрана	Teret koji se diže
φ_3	Dinamički učinak naglog otpuštanja korisnog opterećenja ako se koriste kliješta ili magnet	Teret koji se diže
φ_4	Dinamički učinci zbog kretanja po tračnicama ili kranskoj stazi	Vlastitu težinu 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 tračnicama	Vodne sile
φ_6	Dinamički učinak zbog kretanja probnog tereta po kranskom mostu koji se kreće	Probni teret
φ_7	Dinamički elastični učinak udarca na odbojnice	Sile u odbojniku

Tablica 2: Skupine opterećenja i dinamički faktori koje treba uzeti u obzir za modeliranje djelovanja kрана kao jednog karakterističnog opterećenja [3]

Djelovanje	Oznaka	Grupe opterećenja									
		GSN							PROBNI TERET	Izvanredno	
		1	2	3	4	5	6	7			
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	* η	-	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_S	-	-	-	-	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

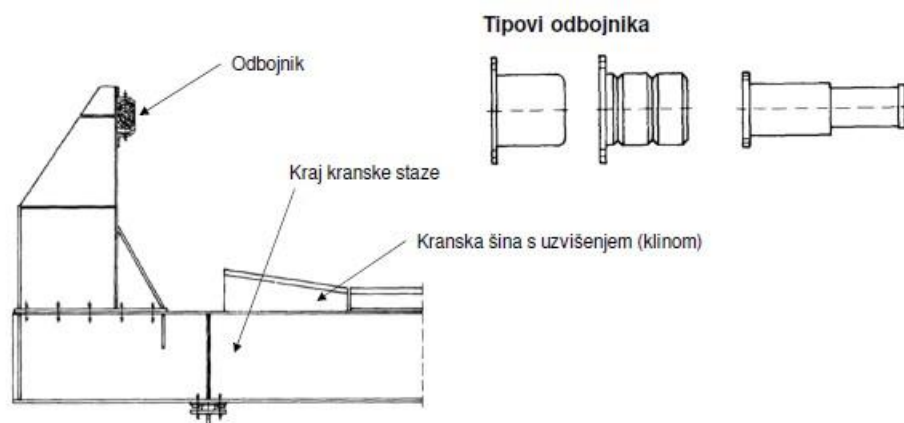
* η je dio tereta koji se diže, a koji ostaje nakon uklanjanja korisnog opterećenja i nije uračunat u vlastitu težinu

Vlastita težina kрана Q_c je vlastita težina svih nepokretnih i pokretnih dijelova, uključujući mehaničku i električnu opremu kрана, ali bez kuke za dizanje i dijela njenog ovješnja, dok nosivost kрана Q_h uključuje masu korisnog tereta i dijelove njenog ovješnja (Slika 18) [2].



Slika 18: Vlastita težina kрана Q_c i nosivost kрана Q_h [4]

Pri kretanju i zaustavljanju kрана javljaju se uzdužne sile. Bočna opterećenja nastaju prilikom zakošenja kрана pri kretanju. Kod proračuna kрана, u obzir se moraju uzeti i branici (odbojnici) na krajevima kranskih nosača kako bi preuzeli udarnu silu pri zaustavljanju kolica, ukoliko do udara dođe. Odbojnici se izrađuju od elastičnih materijala (Slika 19) [1].



Slika 19: Primjer odbojnika i tipovi odbojnika [1]

Jako je važno i ograničavanje maksimalnih vrijednosti progiba kako bi se izbjegli neželjeni dinamički efekti te osiguralo normalno funkcioniranje kрана. Takvo ograničenje vertikalnih progiba kreće se oko $L/700$ za kranove srednje težine, dok se ograničenje horizontalnih (bočnih) pomaka kreće oko $L/400$ do $L/600$. Pritom se vertikalni progib uobičajeno ograničava na iznos manji od 25 mm kako bi se izbjegle prekomjerne vibracije. Postavljanje ukrućenja na kranske nosače nešto većih visina povećava otpornost hrpta na izbočivanje, te povećava rotacijski kapacitet gornje pojasnice, odnosno sprječava njezino zakretanje. Međutim, poprečni su zavari slaba mjesta zbog efekta umaranja pa pri konstrukcijskom rješavanju detalja treba biti pažljiv. Tako se otpornost na zamor vlačne pojasnice može povećati ako se ugradi poprečno ukrućenje koje ne doseže do nje ili se na nju ne veže zavarivanjem [3].

Treba spomenuti i problem zamora koji je kod kranskih nosača jako značajan, budući da su oni izloženi mnogostrukim ciklusima opterećenja i rasterećenja. Kritični detalji za zamor su spoj ukrućenja s pojasnicom, zatim spoj ukrućenja s hrptom te spoj pojasnice i hrpta [2].

4. PRORAČUN KRANSKE STAZE ZA DVOGREDNU MOSNU DIZALICU

4.1. Tehnički opis

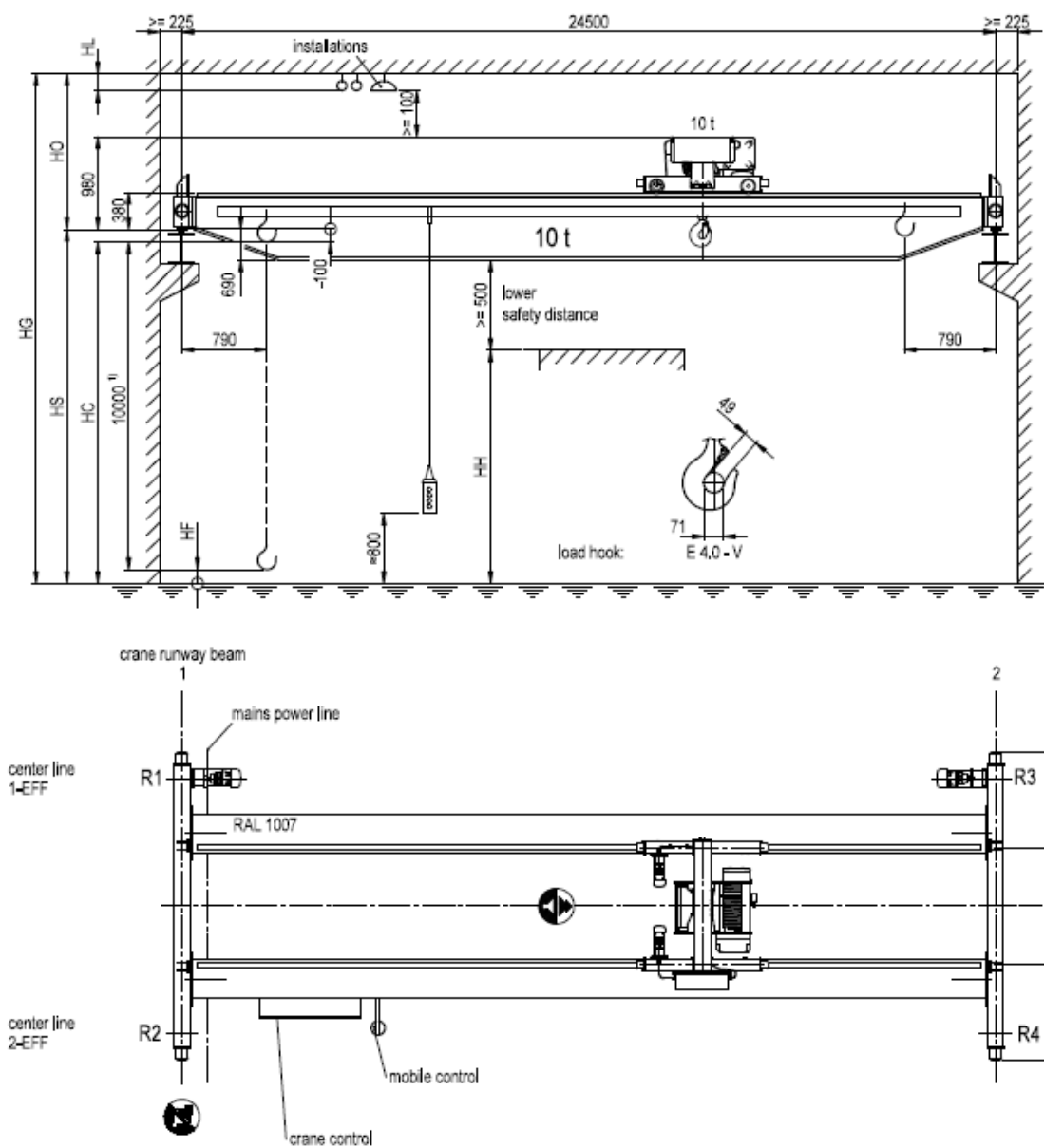
Planira se izvesti konstrukcija nosača kranske staze sa sustavom prostih greda duljine 6,0 m. Kranske staze postaviti će se u sklopu proizvodne hale. Nosači se izvode na ukupnoj duljini 54 m. U glavnom projektu hale određena je visina na koju se postavljaju nosači kranske staze.

Raspon mosnog kрана između dviju kranskih staza iznosi 24,5 m. Najveća nosivost kрана je 98,07 kN, a ukupna vlastita težina kрана je 96,50 kN. Most kрана sastoji se od dviju gkavnih punostijenih nosača na kojima su tračnice po kojima se kreće kran. Vlastita težina mačke iznosi 7,61 kN, dok je brzina dizanja tereta 4,0 m/min. Zbog namjene i pretpostavljenog opterećenja, kran je svrstan u klasu dizanja HC4 i klasu umora S3. Za sve podatke izdan je certifikat kojim proizvođač kрана garantira sigurnost i uporabljivost.

Poprečni presjek nosača je valjani profil HEA 300. Kvaliteta materijala je čelik S 275. Na vrhu poprečnog presjeka zavarene su tračnice po kojima se kreće most kрана uzduž hale. Dimenzije punog pravokutnog presjeka od kojeg su tračnice izrađene su 50 x 30 mm. Razmak između kotača je 2,00 m i svaki par kotača kрана ima poseban pogonski motor. Za sva su četiri kotača ležajevi između pogona i nosača sustava IFF (upeto-upeto).

Proračunom su u obzir uzeta djelovanja na nosač kranske staze koja su podijeljena na vertikalna i horizontalna opterećenja i izračunata uz odgovarajuće dinamičke faktore. Dimenzioniranje nosača kranske staze provedeno je tako da su opterećenja postavljena da se dobiju najveće vrijednosti unutrašnjih sila i momenata. Rađena je provjera nosača za granično stanje nosivosti, granično stanje uporabivosti i provjera na umornost. Sve provjere odgovaraju potrebnim zahtjevima.

4.2. Prikaz dvogredne mosne dizalice s kranskom stazom



Slika 20: Nacrt dvogredne mosne dizalice s kranskom stazom

4.3. Osnovni podaci o kranu

Nosivost kрана:	$Q_h = 10 \text{ t} = 98,07 \text{ kN}$
Raspon kрана:	$L = 24,5 \text{ m}$
Ukupna vlastita težina kрана:	$Q_c = 96,5 \text{ kN}$
Vlastita težina mačke:	$G_c = 7,61 \text{ kN}$
Brzina dizanja tereta:	$v_h = 4 \text{ m/min}$
Razmak kotača:	$a = 2 \text{ m}$
Klasa dizanja:	HC4
Klasa umornosti:	S3
Razmak od kuke do osi nosača kranske staze:	$e_{\min} = 790 \text{ mm} = 0,79 \text{ m}$
Širina tračnica:	$b_r = 62 \text{ mm}$
Broj pogonskih kotača:	$m_w = 2$
Koeficijent trenja:	$\mu = 0,2$ (za čelik-čelik)
Broj kranskih staza:	$n_r = 2$

4.4. Djelovanja

Djelovanja na kransku stazu uzrokovana kretanjem kрана dijele se na:

1. vertikalna opterećenja
2. horizontalna opterećenja

Vertikalna opterećenja nastaju zbog istovremenog djelovanja vlastite težine kрана i težine mačke, dok horizontalna opterećenja nastaju prilikom kretanja ili zaustavljanja kрана uslijed kojih može doći i do iskošenja kрана.

Navedena opterećenja se sastoje od statičke i dinamičke komponente zbog čega ih svrstavamo u promjenjiva opterećenja. Radi lakšeg računanja dinamičkih komponenti koristimo odgovarajući dinamički faktor.

4.4.1. Dinamički faktor

Postoji osam vrsta dinamičkih faktora. U ovom proračunu zanemarit ćemo kretanje probnog tereta, odgovor na udare vjetra i elastični učinak udarca na odbojnice pa ćemo odrediti ostalih pet vrsta dinamičkih faktora.

Tablica 3: Vrijednosti dinamičkih faktora [4]

Vrijednosti dinamičkih faktora	
φ_1	$0,9 \leq \varphi_1 \leq 1,1$ Dvije vrijednosti 1,1 i 0,9 čine gornju i donju granicu vibracijskih pulseva
φ_2	$\varphi_2 = \varphi_{2,min} + \beta_2 \cdot v_h$ v_h je brzina dizanja tereta u m/s $\varphi_{2,min}$ i β_2 uzimaju se iz tablice 4
φ_3	$\varphi_3 = 1 - \frac{\Delta m}{m} \cdot (1 + \beta_3)$ Gdje su: Δm osloboden ili ispušteni dio tereta koji se diže m ukupni teret koji se diže $\beta_3 = 0,5$ za kranove s grabilicom ili sličnim uređajem, kod kojih se teret sporo otpušta $\beta_3 = 1$ za kranove s magnetom ili sličnim brzo otpusnim uređajima
φ_4	$\varphi_4 = 1$ pretpostavljena tolerancija dana je u EN 1993-6
NAPOMENA: ako se ne poštuju dopuštena odstupanja za tračnice kako je određeno u EN 1993-6, dinamički faktor φ_4 može se odrediti modelom predviđenim u EN 13001-2	

Vodeći se tablicom 1 i tablicom 3 računamo vrijednosti za potrebne faktore:

a) Dinamički faktor φ_1

$$0,9 < \varphi_1 < 1,1 \quad (1)$$

$$\varphi_1 = 1 \pm a \quad \text{gdje je } 0 \leq a \leq 0,1$$

$$\varphi_1 = 1 \pm 0,1$$

$$\varphi_1 = 1,1$$

Kao što je opisano u tablici 1 dinamički faktor φ_1 uzima u obzir vibracijsku pobudu kрана uslijed podizanja tereta i primjenjuje se samo na vlastitu težinu kranskog mosta pa proizlazi da je:

$$\varphi_1 = 1,1$$

b) Dinamički faktor φ_2

$$\varphi_2 = \varphi_{2,min} + \beta_2 \cdot v_h \quad (2)$$

$\varphi_{2,min}$ i β_2 ovise o klasi dizanja u koju je svrstan kran

v_h je brzina dizanja tereta [m/s]

$\varphi_{2,min}$ i β_2 dani su u tablici 4

Tablica 4: Klase dizanja kрана; vrijednosti $\varphi_{2,min}$ i β_2 [2]

Klasa dizanja kрана	$\varphi_{2,min}$	β_2
HC1	1,05	0,17
HC2	1,10	0,34
HC3	1,15	0,51
HC4	1,20	0,68

Kranovi se svrstavaju u klase dizanja HC1 do HC4 radi uvažavanja dinamičkih učinaka zbog premještanja tereta od tla do kрана. Odabir klase ovisi o tipu kрана.

U tablici 1 opisano je da se za dinamički faktor φ_2 , koji se primjenjuje za podizanje tereta, uzima u obzir dinamički učinak kada se teret dizanja vrši od tla do kрана. Kran je svrstan u klasu dizanja HC4 što znači da je prema tablici 3:

$$\varphi_{2,\min} = 1,20$$

$$\beta_2 = 0,68$$

$$v_h = 4 \text{ m/min} = \frac{4}{60} = 0,0667 \text{ m/sek}$$

Uvrštavanjem u izraz (2) dobiva se:

$$\varphi_2 = \varphi_{2,\min} + \beta_2 \cdot v_h$$

$$\varphi_2 = 1,20 + 0,68 \cdot 0,0667$$

$$\varphi_2 = 1,245$$

c) Dinamički faktor φ_3

$$\varphi_3 = 1 - \frac{\Delta m}{m} \cdot (1 + \beta_3) \quad (3)$$

Gdje su:

Δm – oslobođen ili ispušteni dio tereta koji se diže

m – ukupni teret koji se diže

$\beta_3 = 0,5$ za kranove s grabilicom ili sličnim uređajem, kod kojih se teret sporo otpušta

$\beta_3 = 1$ za kranove s magnetom ili sličnim brzo otpusnim uređajima

$\varphi_3 = 1,0$ (ako ne postoji mogućnost iznenadnog otpuštanja dijela tereta)

Dinamički faktor φ_3 uzima u obzir dinamički učinak naglog otpuštanja korisnog opterećenja ako se koriste kliješta ili magnet, a primjenjuje se na teret koji se diže. Kao takav, uzet je:

$$\varphi_3 = 1,0$$

d) Dinamički faktor φ_4

$\varphi_4 = 1,0$ (odstupanja za tračnice usklađene s odredbom EN 1993-6)

Odabran je:

$$\varphi_4 = 1,0$$

e) Dinamički faktor φ_5

Tablica 5: Dinamički faktor φ_5 [2]

Vrijednost	Primjenjuje se kod:
$\varphi_5 = 1,0$	Centrifugalne sile
$1,0 \leq \varphi_5 \leq 1,5$	Sustavi s kontinuiranom promjenom sila
$1,5 \leq \varphi_5 \leq 2,0$	Sustavi kod kojih je promjena sile nagla
$\varphi_5 = 3,0$	Vožnja kрана sa znatnim odstupanjem u zračnosti između tračnice i kotača

Faktor φ_5 iščitavamo iz tablice 4:

$$\varphi_5 = 1,5$$

4.4.2. Vertikalna opterećenja

Kod analize vertikalnih opterećenja provjeravaju se dva slučaja:

- a) neopterećen kran – najmanje vrijednosti vertikalnog opterećenja
- b) opterećen kran – najveće vrijednosti vertikalnog opterećenja

Najmanje vrijednosti vertikalnih opterećenja – kada je kran neopterećen

Kuka za podizanje i spuštanje tereta nalazi se na najudaljenijem položaju od nosača kranske staze.

Prema tablici 2. slijedi:

a) Skupine opterećenja 1 i 2

Opterećenja od kranskog mosta (bez težine mačke) kao jednoliko raspodijeljeno opterećenje:

$$q_c = \frac{(Q_c - G_c)}{L} = \frac{(96,5 - 7,61)}{24,5} = 3,63 \text{ kN/m} \quad (4)$$

Opterećenje od mačke s kukom djeluje kao koncentrirana sila:

$$G_c = 7,61 \text{ kN}$$

Opterećenje na više opterećenom nosaču kranske staze $\Sigma Q_{r,(\min)}$:

$$\Sigma Q_{r,(\min)} = 0,5 \cdot (\varphi_1 \cdot q_c) \cdot L + (\varphi_1 \cdot G_c) \cdot \frac{L - e_{\min}}{L} \quad (5)$$

$$\Sigma Q_{r,(\min)} = 0,5 \cdot (1,1 \cdot 3,63) \cdot 24,5 + (1,1 \cdot 7,61) \cdot \frac{24,5 - 0,79}{24,5}$$

$$\Sigma Q_{r,(\min)} = 57,02 \text{ kN}$$

Za jedan kotač:

$$Q_{r,(\min)} = \frac{\Sigma Q_{r,(\min)}}{2} = \frac{57,02}{2} = 28,51 \text{ kN} \quad (6)$$

Opterećenje na manje opterećenom nosaču kranske staze $\Sigma Q_{r,\min}$:

$$\Sigma Q_{r,\min} = 0,5 \cdot (\varphi_1 \cdot q_c) \cdot L + (\varphi_1 \cdot G_c) \cdot \frac{e_{\min}}{L} \quad (7)$$

$$\Sigma Q_{r,\min} = 0,5 \cdot (1,1 \cdot 3,63) \cdot 24,5 + (1,1 \cdot 7,61) \cdot \frac{0,79}{24,5}$$

$$\Sigma Q_{r,\min} = 49,18 \text{ kN}$$

Za jedan kotač:

$$Q_{r,min} = \frac{\Sigma Q_{r,min}}{2} = \frac{49,18}{2} = 24,59 \text{ kN} \quad (8)$$

b) Skupine opterećenja 3,4 i 5

- uzima se dinamički faktor 1,0 pa je:

Opterećenje na više opterećenom nosaču kranske staze $\Sigma Q_{r,(min)}$:

$$\Sigma Q_{r,(min)} = 0,5 \cdot q_c \cdot L + G_c \cdot \frac{L - e_{min}}{L} \quad (9)$$

$$\Sigma Q_{r,(min)} = 0,5 \cdot 3,63 \cdot 24,5 + 7,61 \cdot \frac{24,5 - 0,79}{24,5}$$

$$\Sigma Q_{r,(min)} = 50,92$$

Za jedan kotač:

$$Q_{r,(min)} = \frac{\Sigma Q_{r,(min)}}{2} = \frac{50,92}{2} = 25,46 \text{ kN} \quad (10)$$

Opterećenje na manje opterećenom nosaču kranske staze $\Sigma Q_{r,min}$:

$$\Sigma Q_{r,min} = 0,5 \cdot q_c \cdot L + G_c \cdot \frac{e_{min}}{L} \quad (11)$$

$$\Sigma Q_{r,min} = 0,5 \cdot 3,63 \cdot 24,5 + 7,61 \cdot \frac{0,79}{24,5}$$

$$\Sigma Q_{r,min} = 44,71 \text{ kN}$$

Za jedan kotač:

$$Q_{r,min} = \frac{\Sigma Q_{r,min}}{2} = \frac{44,71}{2} = 22,36 \text{ kN} \quad (12)$$

Najveće vrijednosti vertikalnih opterećenja – kada je kran opterećen

Opterećenje od kranskog mosta bez težine mačke s kukom za podizanje i spuštanje tereta uzima se kao jednoliko raspodijeljeno opterećenje.

a) Skupina opterećenja 1

Sila od krana uvećana dinamičkim faktorom:

$$Q_H = \varphi_2 \cdot Q_h \quad (13)$$

$$Q_H = 1,25 \cdot 98,07$$

$$Q_H = 122,59 \text{ kN}$$

Opterećenje na više opterećenom nosaču kranske staze $\Sigma Q_{r,max}$:

$$\Sigma Q_{r,max} = 0,5 \cdot (\varphi_1 \cdot q_c) \cdot L + (\varphi_1 \cdot G_c + Q_H) \cdot \frac{L - e_{min}}{L} \quad (14)$$

$$\Sigma Q_{r,max} = 0,5 \cdot (1,1 \cdot 3,63) \cdot 24,5 + (1,1 \cdot 7,61 + 122,59) \cdot \frac{24,5 - 0,79}{24,5}$$

$$\Sigma Q_{r,max} = 175,65 \text{ kN}$$

Za jedan kotač:

$$Q_{r,max} = \frac{\Sigma Q_{r,max}}{2} = \frac{175,65}{2} = 87,83 \text{ kN} \quad (15)$$

Opterećenje na manje opterećenom nosaču kranske staze $\Sigma Q_{r,(max)}$:

$$\Sigma Q_{r,(max)} = 0,5 \cdot (\varphi_1 \cdot q_c) \cdot L + (\varphi_1 \cdot G_c + Q_H) \cdot \frac{e_{min}}{L} \quad (16)$$

$$\Sigma Q_{r,(max)} = 0,5 \cdot (1,1 \cdot 3,63) \cdot 24,5 + (1,1 \cdot 7,61 + 122,59) \cdot \frac{0,79}{24,5}$$

$$\Sigma Q_{r,(max)} = 53,14 \text{ kN}$$

Za jedan kotač:

$$Q_{r,(max)} = \frac{\Sigma Q_{r,(max)}}{2} = \frac{53,14}{2} = 26,57 \text{ kN} \quad (17)$$

b) Skupina opterećenja 2

Sila od kрана uvećana dinamičkim faktorom:

$$Q_H = \varphi_3 \cdot Q_h \quad (18)$$

$$Q_H = 1,00 \cdot 98,07$$

$$Q_H = 98,07 \text{ kN}$$

Opterećenje na više opterećenom nosaču kranske staze $\Sigma Q_{r,max}$:

$$\Sigma Q_{r,max} = 0,5 \cdot (\varphi_1 \cdot q_c) \cdot L + (\varphi_1 \cdot G_c + Q_H) \cdot \frac{L - e_{min}}{L} \quad (19)$$

$$\Sigma Q_{r,max} = 0,5 \cdot (1,1 \cdot 3,63) \cdot 24,5 + (1,1 \cdot 7,61 + 98,07) \cdot \frac{24,5 - 0,79}{24,5}$$

$$\Sigma Q_{r,max} = 151,92 \text{ kN}$$

Za jedan kotač:

$$Q_{r,max} = \frac{\Sigma Q_{r,max}}{2} = \frac{151,92}{2} = 75,96 \text{ kN} \quad (20)$$

Opterećenje na manje opterećenom nosaču kranske staze $\Sigma Q_{r,(max)}$:

$$\Sigma Q_{r,(max)} = 0,5 \cdot (\varphi_1 \cdot q_c) \cdot L + (\varphi_1 \cdot G_c + Q_H) \cdot \frac{e_{min}}{L} \quad (21)$$

$$\Sigma Q_{r,(max)} = 0,5 \cdot (1,1 \cdot 3,63) \cdot 24,5 + (1,1 \cdot 7,61 + 98,07) \cdot \frac{0,79}{24,5}$$

$$\Sigma Q_{r,(max)} = 52,35 \text{ kN}$$

Za jedan kotač:

$$Q_{r,(max)} = \frac{\Sigma Q_{r,(max)}}{2} = \frac{52,35}{2} = 26,18 \text{ kN} \quad (22)$$

c) Skupine opterećenja 4 i 5

Sila od kрана uvećana dinamičkim faktorom:

$$Q_H = \varphi_4 \cdot Q_h \quad (23)$$

$$Q_H = 1,00 \cdot 98,07$$

$$Q_H = 98,07 \text{ kN}$$

Opterećenje na više opterećenom nosaču kranske staze $\Sigma Q_{r,max}$:

$$\Sigma Q_{r,max} = 0,5 \cdot (\varphi_4 \cdot q_c) \cdot L + (\varphi_4 \cdot G_c + Q_H) \cdot \frac{L - e_{min}}{L} \quad (24)$$

$$\Sigma Q_{r,max} = 0,5 \cdot (1 \cdot 3,63) \cdot 24,5 + (1 \cdot 7,61 + 98,07) \cdot \frac{24,5 - 0,79}{24,5}$$

$$\Sigma Q_{r,max} = 146,74 \text{ kN}$$

Za jedan kotač:

$$Q_{r,max} = \frac{\Sigma Q_{r,max}}{2} = \frac{146,74}{2} = 73,37 \text{ kN} \quad (25)$$

Opterećenje na manje opterećenom nosaču kranske staze $\Sigma Q_{r,(max)}$:

$$\Sigma Q_{r,(max)} = 0,5 \cdot (\varphi_4 \cdot q_c) \cdot L + (\varphi_4 \cdot G_c + Q_H) \cdot \frac{e_{min}}{L} \quad (26)$$

$$\Sigma Q_{r,(max)} = 0,5 \cdot (1 \cdot 3,63) \cdot 24,5 + (1 \cdot 7,61 + 98,07) \cdot \frac{0,79}{24,5}$$

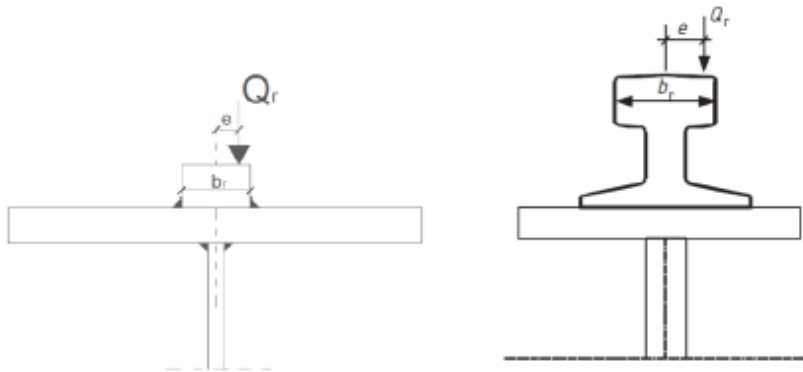
$$\Sigma Q_{r,(max)} = 47,88 \text{ kN}$$

Za jedan kotač:

$$Q_{r,(\max)} = \frac{\Sigma Q_{r,(\max)}}{2} = \frac{47,88}{2} = 23,94 \text{ kN} \quad (27)$$

Ekscentrično uvođenje vertikalnog opterećenja

Tračnice su širine $b_r = 50 \text{ mm}$



Slika 21: Ekscentricitet unosa sile [1]

Ekscentrično djelovanje vertikalnog opterećenja uzima se kao 25% od širine tračnice.

$$e = \frac{b_r}{4} = \frac{50}{4} = 12,5 \text{ mm} \quad (28)$$

4.4.3. Horizontalna opterećenja

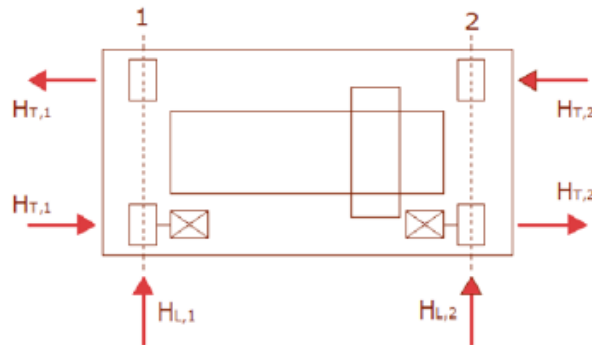
Kod proračuna horizontalnih opterećenja promatramo:

a) horizontalna opterećenja uslijed pokretanja ili kočenja kрана

- opterećenje uzduž kranske staze
- opterećenje poprečno na kransku stazu

b) horizontalna opterećenja zbog iskošenja kрана pri kretanju

Horizontalna opterećenja zbog pokretanja ili kočenja kрана



Slika 22: Raspored opterećenja zbog uzdužnih i poprečnih horizontalnih sila prouzročеним ubrzanjem i usporenjem [1]

a) Uzdužna opterećenja kranske staze

Pogonska sila:

$$K = K_1 + K_2 = \mu \cdot m_w \cdot Q_{r,min} \quad (29)$$

μ – koeficijent trenja = 0,2 za čelik-čelik

m_w – broj pogonskih kotača = 2

$$K = 0,2 \cdot 2 \cdot 22,36 = 8,94 \text{ kN}$$

Horizontalna opterećenja uzduž kranske staze:

$$H_{L,1} = H_{L,2} = \varphi_5 \cdot K \cdot \frac{1}{n_r} \quad (30)$$

$$H_{L,1} = H_{L,2} = 1,5 \cdot 8,94 \cdot \frac{1}{2}$$

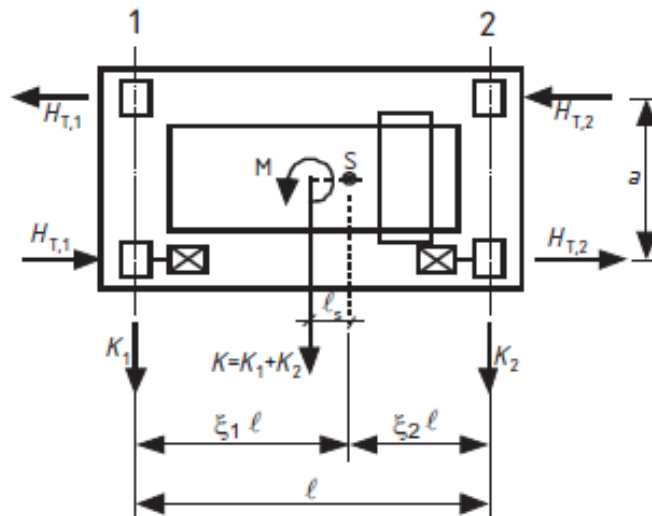
$$H_{L,1} = H_{L,2} = 6,71 \text{ kN}$$

φ_5 - dinamički koeficijent

K - pogonska sila

n_r - broj kranskih staza = 2

b) Poprečna opterećenja kranske staze



Slika 23: Prikaz djelovanja horizontalnih poprečnih sila i momenta [4]

$$H_{T,1} = \varphi_5 \cdot \xi_2 \cdot \frac{M}{a} \quad (31)$$

$$H_{T,2} = \varphi_5 \cdot \xi_1 \cdot \frac{M}{a} \quad (32)$$

Gdje je:

$$\xi_1 = \frac{\sum Q_{r,max}}{\sum Q_r} \quad (33)$$

$$\sum Q_r = \sum Q_{r,max} + \sum Q_{r,(max)} \quad (34)$$

$$\xi_2 = 1 - \xi_1 \quad (35)$$

$$M = K \cdot l_s \quad (36)$$

$$l_s = (\xi_1 - 0,5) \cdot L \quad (37)$$

l – raspon dizalice

a – osni razmak kotača

Proračunate vrijednosti sile od kрана:

$$\sum Q_{r,max} = 146,74 \text{ kN}$$

$$\sum Q_{r,(max)} = 47,88 \text{ kN}$$

Uvrštavanjem u izraz (34) dobiva se:

$$\sum Q_r = 146,74 + 47,88 = 194,62 \text{ kN}$$

Uvrštavanjem u izraz (33) dobiva se:

$$\xi_1 = \frac{\sum Q_{r,max}}{\sum Q_r} = \frac{146,74}{194,62}$$

$$\xi_1 = 0,754$$

Uvrštavanjem u izraz (35) dobiva se:

$$\xi_2 = 1 - \xi_1 = 1 - 0,754$$

$$\xi_2 = 0,246$$

Razmak između težišta sustava S i osi vožnje dobije se uvrštavanjem u izraz (37):

$$l_s = (\xi_1 - 0,5) \cdot L = (0,754 - 0,5) \cdot 24,5$$

$$l_s = 6,223 \text{ m}$$

Moment zbog pogonske sile:

$$M = K \cdot l_s$$

$$M = 8,94 \cdot 6,223$$

$$M = 55,63 \text{ kNm}$$

Horizontalna sila na kranskoj stazi kojoj je mačka dalje prema slici 22 dobije se uvrštavanjem u izraz (31):

$$H_{T,1} = \varphi_5 \cdot \xi_2 \cdot \frac{M}{a}$$

$$H_{T,1} = 1,5 \cdot 0,246 \cdot \frac{55,63}{2}$$

$$H_{T,1} = 10,26 \text{ kN}$$

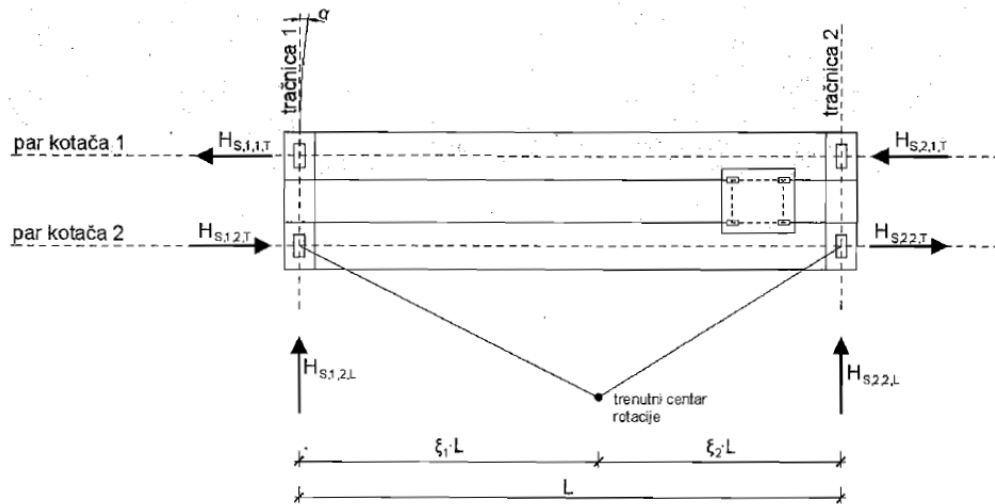
Horizontalna sila na kranskoj stazi kojoj je mačka bliže prema slici 22 dobije se uvrštavanjem u izraz (32):

$$H_{T,2} = \varphi_5 \cdot \xi_1 \cdot \frac{M}{a}$$

$$H_{T,2} = 1,5 \cdot 0,754 \cdot \frac{55,63}{2}$$

$$H_{T,2} = 31,46 \text{ kN}$$

Horizontalna opterećenja zbog iskošenja kрана pri kretanju



Slika 24: Prikaz horizontalnih sila prilikom iskošenja kрана [2]

$$H_{S,i,j,k} = f \cdot \lambda_{s,i,j,k} \cdot \sum Q_{r,max} \quad (38)$$

$$S = f \cdot \lambda_{s,j} \cdot \sum Q_{r,max} \quad (39)$$

gdje je:

S - sila vodilice

$H_{S,i,j,k}$ - poprečna (transverzalna) ili uzdužna (longitudinalna) sila na kotačima uzrokovana zakošenjem kрана

$\lambda_{s,i,j,k}$ - faktor sile

i - broj nosača kranske staze (u ovom slučaju i=1 ili i=2)

j - par kotača (u ovom slučaju j=1 ili j=2)

k - smijer sile (L - uzdužna, T - poprečna)

faktor f:


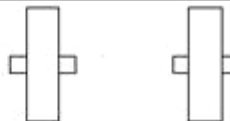


$$f = 0,3 \cdot (1 - e^{(-250\alpha)}) \leq 0,3 \quad (40)$$

α – kut zakošenja (ako ne postoje točni podaci $\alpha = 0,015$ rad ili $0,859^\circ$)

$$f = 0,3 \cdot (1 - e^{(-250 \cdot 0,015)}) \leq 0,3$$

$$f = 0,293 < 0,3$$

Tablica 6: Određivanje vrijednosti razmaka h [4]

Sustav	Kombinacija parova kotača		h
	Povezani (C)	Neovisni (I)	
Nepokretno – nepokretno (FF)	 CFF	 IFF	$\frac{m \cdot \xi_1 \xi_2 \cdot l^2 + \sum e_j^2}{\sum e_j}$
Nepokretno – pokretno (FM)	 CFM	 IFM	$\frac{m \cdot \xi_1 \cdot l^2 + \sum e_j^2}{\sum e_j}$

h, razmak trenutačnog središta rotacije i odgovarajućeg uređaja za vođenje
m, broj paraova povezanih kotača (m=0 za neovisne parove kotača)
 $\xi_1 l$, razmak između trenutačnog središta rotacije i tračnice 1
 $\xi_2 l$, razmak između trenutačnog središta rotacije i tračnice 2
l, raspon krana
 e_j , razmak između j-tog para kotača i odgovarajućih uređaja za vođenje

Tablica 7: Određivanje vrijednosti faktora sile $\lambda_{s,i,j,k}$ [2]

Sustav	$\lambda_{s,j}$	$\lambda_{s,1,j,L}$	$\lambda_{s,1,j,T}$	$\lambda_{s,2,j,L}$	$\lambda_{s,2,j,T}$
CFF	$1 - \frac{\sum e_j}{n \cdot h}$	$\frac{\xi_1 \cdot \xi_2 \cdot L}{n \cdot h}$	$\frac{\xi_2}{n} \cdot \left(1 - \frac{e_1}{h}\right)$	$\frac{\xi_1 \cdot \xi_2 \cdot L}{n \cdot h}$	$\frac{\xi_1}{n} \cdot \left(1 - \frac{e_1}{h}\right)$
IFF		0	$\frac{\xi_2}{n} \cdot \left(1 - \frac{e_1}{h}\right)$	0	$\frac{\xi_1}{n} \cdot \left(1 - \frac{e_1}{h}\right)$
CFM	$\xi_1 \cdot \left(1 - \frac{\sum e_j}{n \cdot h}\right)$	$\frac{\xi_1 \cdot \xi_2 \cdot L}{n \cdot h}$	$\frac{\xi_2}{n} \cdot \left(1 - \frac{e_1}{h}\right)$	$\frac{\xi_1 \cdot \xi_2 \cdot L}{n \cdot h}$	0
IFM		0	$\frac{\xi_2}{n} \cdot \left(1 - \frac{e_1}{h}\right)$	0	0
gdje je:					
n - broj parova kotača					
$\xi_1 \cdot L$ - razmak između trenutnog centra rotacije i tračnice 1					
$\xi_2 \cdot L$ - razmak između trenutnog centra rotacije i tračnice 2					
L - raspon krana					
e_j - razmak j-tog para kotača i odgovarajućih uređaja za vođenje					
h - razmak između trenutnog centra rotacije i odgovarajućeg uređaja za vođenje					

Faktor sile $\lambda_{s,i,j,k}$ ovisi o razmaku između trenutnog centra rotacije i odgovarajućeg uređaja za vođenje h, odnosno o konfiguraciji parova kotača koji mogu biti neovisni ili povezani, pokretni ili nepokretni - prikazano u tablici 5. Za ovaj slučaj odabran je par neovisnih nepokretnih kotača (IFF sustav):

$$\lambda_s = 1 - \frac{\sum e_j}{n \cdot h} = 1 - \frac{e_1 + e_2}{n \cdot h} \quad (41)$$

$$\lambda_{s,1,1,T} = \frac{\xi_2}{n} \cdot \left(1 - \frac{e_1}{h}\right) \quad (42)$$

$$\lambda_{s,1,2,T} = \frac{\xi_2}{n} \cdot \left(1 - \frac{e_2}{h}\right) \quad (43)$$

$$\lambda_{s,2,1,T} = \frac{\xi_1}{n} \cdot \left(1 - \frac{e_1}{h}\right) \quad (44)$$

$$\lambda_{s,2,2,T} = \frac{\xi_1}{n} \cdot \left(1 - \frac{e_2}{h}\right) \quad (45)$$

$$\lambda_{s,1,1,L} = \lambda_{s,1,2,L} = \lambda_{s,2,2,L} = 0 \quad (46)$$

Gdje je:

n - broj parova kotača

e_1 - udaljenost između prednjeg para kotača i vodilice

e_2 - udaljenost između kotača

h - udaljenost između trenutnog položaja centra rotacije i vodilice

Za sustav IFF vrijedi:

m – broj parova spojenih kotača (za neovisne kotače $m=0$)

$e_1=0$; $e_2=2m$

$$h = \frac{m \cdot \xi_1 \cdot \xi_2 \cdot l^2 + \sum e_j^2}{\sum e_j} = \frac{\sum e_j^2}{\sum e_j} \quad (47)$$

$$h = \frac{\sum e_j^2}{\sum e_j} = \frac{2,0^2}{2,0} = 2,0 \text{ m}$$

Faktor λ_s određuje se prema izrazu (41) i pomoću tablice 6 kao:

$$\lambda_s = 1 - \frac{\sum e_i}{n \cdot h}$$

$$\lambda_s = 1 - \frac{0+2,0}{2 \cdot 2,0} = 0,50$$

$$\text{Iz izraza (41): } \lambda_{S,1,1,T} = \frac{\xi_2}{n} \cdot \left(1 - \frac{e_1}{h}\right) = \frac{0,246}{2} \cdot \left(1 - \frac{0}{2,0}\right) = 0,123$$

$$\text{Iz izraza (42): } \lambda_{S,1,2,T} = \frac{\xi_2}{n} \cdot \left(1 - \frac{e_2}{h}\right) = \frac{0,246}{2} \cdot \left(1 - \frac{2,0}{2,0}\right) = 0$$

$$\text{Iz izraza (43): } \lambda_{S,2,1,T} = \frac{\xi_1}{n} \cdot \left(1 - \frac{e_1}{h}\right) = \frac{0,754}{2} \cdot \left(1 - \frac{0}{2,0}\right) = 0,377$$

$$\text{Iz izraza (44): } \lambda_{S,2,2,T} = \frac{\xi_1}{n} \cdot \left(1 - \frac{e_2}{h}\right) = \frac{0,754}{2} \cdot \left(1 - \frac{2,0}{2,0}\right) = 0$$

Za opterećenje H_s uzima se samo skupina opterećenja 5 pa za opterećenje H_s slijedi:

Uvrštavanjem u izraz (39):

$$S = f \cdot \lambda_{s,j} \cdot \sum Q_{r,max} = 0,293 \cdot 0,50 \cdot 73,37$$

$$S = 10,75 \text{ kN}$$

$$H_{S,1,1,T} = f \cdot \lambda_{s,1,1,T} \cdot \sum Q_{r,max} = 0,293 \cdot 0,123 \cdot 73,37 = 2,64 \text{ kN} \quad (48)$$

$$H_{S,2,1,T} = f \cdot \lambda_{s,2,1,T} \cdot \sum Q_{r,max} = 0,293 \cdot 0,377 \cdot 73,37 = 8,10 \text{ kN} \quad (49)$$

$$H_{S,1,2,T} = H_{S,2,2,T} = 0 \quad (50)$$

Na osi kрана 1 i osi kрана 2 (prednji par kotača) vrijedi:

$$H_{S,1,T} = H_{S,1,1,T} - S = 2,64 - 10,75 \quad (51)$$

$$H_{S,1,T} = -8,11 \text{ kN}$$

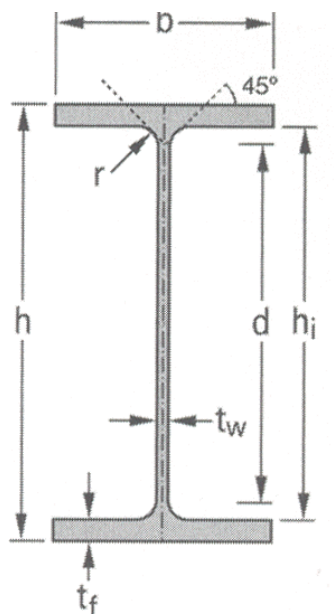
$$H_{S,2,T} = H_{S,2,1,T} = 8,10 \text{ kN} \quad (52)$$

Parcijalni faktor $\gamma=1,35$ koristimo za određivanje računskih opterećenja. Tablica prikazuje vertikalna i horizontalna opterećenja koja djeluju kao jedinstveno karakteristično djelovanje. Kombinacije djelovanja prikazane su u tablici 8.

Tablica 8: Skupine opterećenja, kao karakteristične vrijednosti jednog djelovanja na kran,
za krajnje granično stanje (KGS)

				SKUPINE OPTEREĆENJA [kN]				
				1	2	3	4	5
VERTIKALNA OPTEREĆENJA	Vlastita težina kрана	Q _{r,(min)}	*	28,51	28,51	25,46	25,46	25,46
			**	38,49	38,49	34,37	34,37	34,37
	Q _{r,min}	*	24,59	24,59	22,36	22,36	22,36	
		**	33,20	33,20	30,19	30,19	30,19	
	Vlastita težina kрана + teret dizanja	Q _{r,max}	*	87,83	75,96	-	73,37	73,37
			**	118,57	102,55	-	99,05	99,05
Q _{r,(max)}	*	26,57	26,18	-	23,94	23,94		
	**	35,87	35,34	-	32,32	32,32		
HORIZONTALNA OPTEREĆENJA	Pokretanje i kočenje	H _{L,1}	*	6,71	6,71	6,71	6,71	-
			**	9,06	9,06	9,06	9,06	-
		H _{L,2}	*	6,71	6,71	6,71	6,71	-
			**	9,06	9,06	9,06	9,06	-
		H _{T,1}	*	10,26	10,26	10,26	10,26	-
			**	13,85	13,85	13,85	13,85	-
	H _{T,2}	*	31,46	31,46	31,46	31,46	-	
		**	42,47	42,47	42,47	42,47	-	
	Iskošenje kрана pri kretanju	H _{S,1,T}	*	-	-	-	-	8,10
			**	-	-	-	-	10,94
		H _{S,2,T}	*	-	-	-	-	8,10
			**	-	-	-	-	10,94
* s parcijalnim faktorom $\gamma=1,0$								
** s parcijalnim faktorom $\gamma=1,35$								

5. DIMENZIONIRANJE NOSAČA KRANSKE STAZE ZA KGS



Slika 25: Poprečni presjek

Karakteristike poprečnog presjeka:

Raspon nosača kranske staze:	$L = 6 \text{ m}$
Vrsta poprečnog presjeka:	HEA 300
Čelik:	S275
Visina presjeka:	$h = 290 \text{ mm}$
Širina presjeka:	$b = 300 \text{ mm}$
Debljina hrpta:	$t_w = 8,5 \text{ mm}$
Debljina pojasnice:	$t_f = 14,0 \text{ mm}$
Radius:	$r = 27 \text{ mm}$
Površina poprečnog presjeka:	$A = 112,5 \text{ cm}^2$

5.1. Klasifikacija poprečnog presjeka

HRBAT

Uvjet za klasu 1:

$$\frac{c}{t} \leq 72\varepsilon \quad (53)$$

$$\frac{c}{t} = \frac{h-2t_f-2r}{t_w} = \frac{290-2\cdot 14-2\cdot 27}{8,5} = 24,47 \quad (54)$$

$$\frac{c}{t} = 24,47 < 72 \cdot 0,92 = 66,24$$

→ Hrbat je klasa 1

POJASNICA

Uvjet za klasu 1:

$$\frac{c}{t} \leq 9\varepsilon \quad (55)$$

$$\frac{c}{t} = \frac{\frac{b}{2} - \frac{t_w}{2} - r}{t_f} = \frac{\frac{300}{2} - \frac{8,5}{2} - 27}{14} = 8,48 \quad (56)$$

$$\frac{c}{t} = 8,48 > 9 \cdot 0,92 = 8,28$$

Uvjet za klasu 2:

$$\frac{c}{t} \leq 10\varepsilon \quad (57)$$

$$\frac{c}{t} = 8,48 < 10 \cdot 0,92 = 9,20$$

→ Pojasnica je klasa 2

POPREČNI PRESJEK HEA 300 JE KLASA 2

5.2. Unutarnje sile i momenti

Položaj opterećenja koji daje najveće vrijednosti momenta savijanja na jednostavno oslonjenom nosaču kranske staze dobit ćemo kada se prvo opterećenje nalazi na udaljenosti $x = \frac{2L-a}{4}$ od ležaja nosača, pod uvjetom da je razmak između kotača $a < 0,586L$. U slučaju kada taj uvjet nije zadovoljen, moment ima najveću vrijednost kada se jedna od dviju koncentriranih sila nađe na polovici raspona.

$$a = 2,0 \text{ m}$$

$$0,586 \cdot L = 0,586 \cdot 3,9 = 2,29 \text{ m} \quad (58)$$

$$a < 0,586L \quad (59)$$

Provodimo analizu tri slučaja kako bismo odredili mjerodavne proračunske vrijednosti:

- a) najveći moment savijanja oko y-osi i pripadni moment oko z-osi
- b) najveći moment savijanja oko z-osi i pripadni moment oko y-osi
- c) najveća poprečna sila

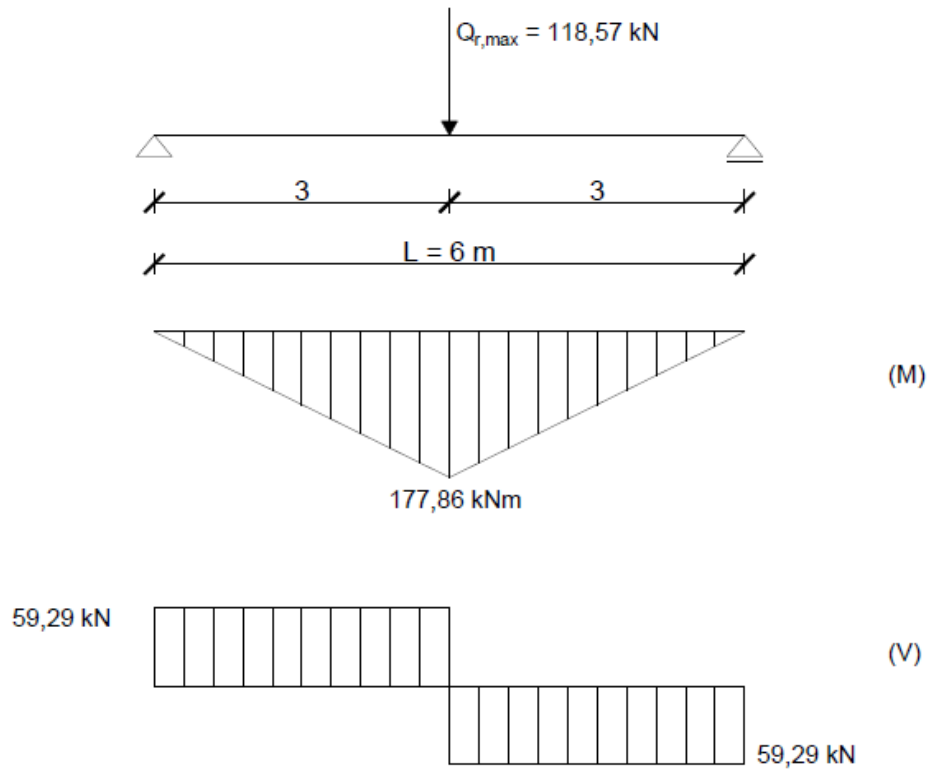
Najveći moment oko y-osi

Proračunska vrijednost vertikalnog opterećenja:

$$Q_{r,max} = 1,35 \cdot 87,83 = 118,57 \text{ kN} \quad (60)$$

Maksimalna vrijednost momenta savijanja oko y-osi:

$$M_{y,Ed(max)} = \frac{Q_{r,max} \cdot L}{4} = \frac{118,57 \cdot 6,0}{4} = 177,86 \text{ kNm} \quad (61)$$

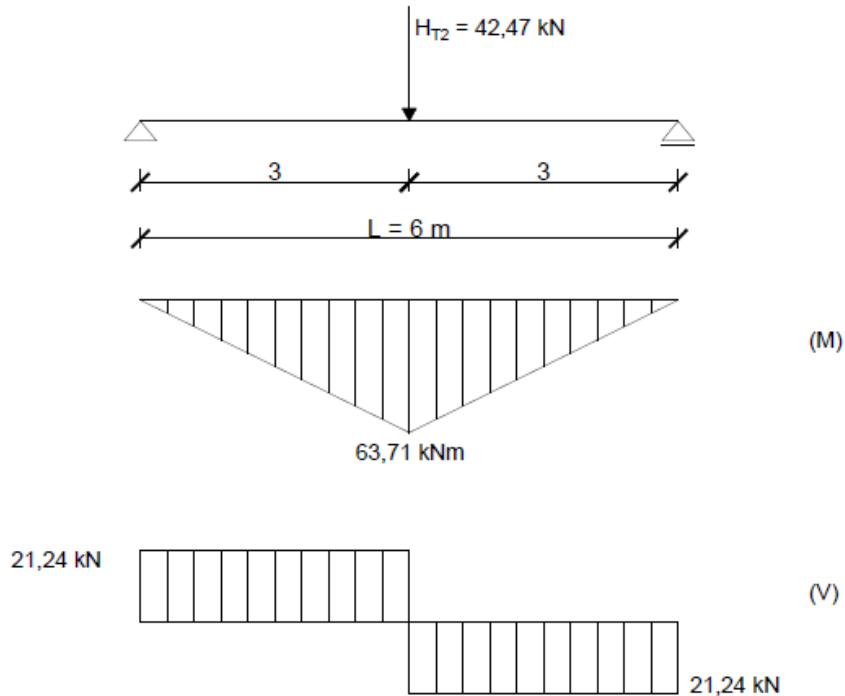


Slika 26: Najnepovoljniji položaj vertikalnog opterećenja i pripadajući dijagrami

Uslijed djelovanja horizontalne sile $H_{T,2}$ pojavljuje se i moment savijanja oko slabije osi:

$$H_{T,2} = 1,35 \cdot 31,46 = 42,47\text{ kN} \quad (62)$$

$$M_{z,Ed} = \frac{H_{T,2} \cdot L}{4} = \frac{42,47 \cdot 6,0}{4} = 63,71\text{ kNm} \quad (63)$$



Slika 27: Položaj horizontalne sile $H_{T,2}$ i pripadajući dijagrami

Torzijski moment nastaje zbog ekscentričnog prijenosa vertikalnog i horizontalnog opterećenja na nosače kranskih staza:

$$M_t = Q_{r,max} \cdot e + H_{T,2} \cdot \left(\frac{h}{2} + 0,03\right) \quad (64)$$

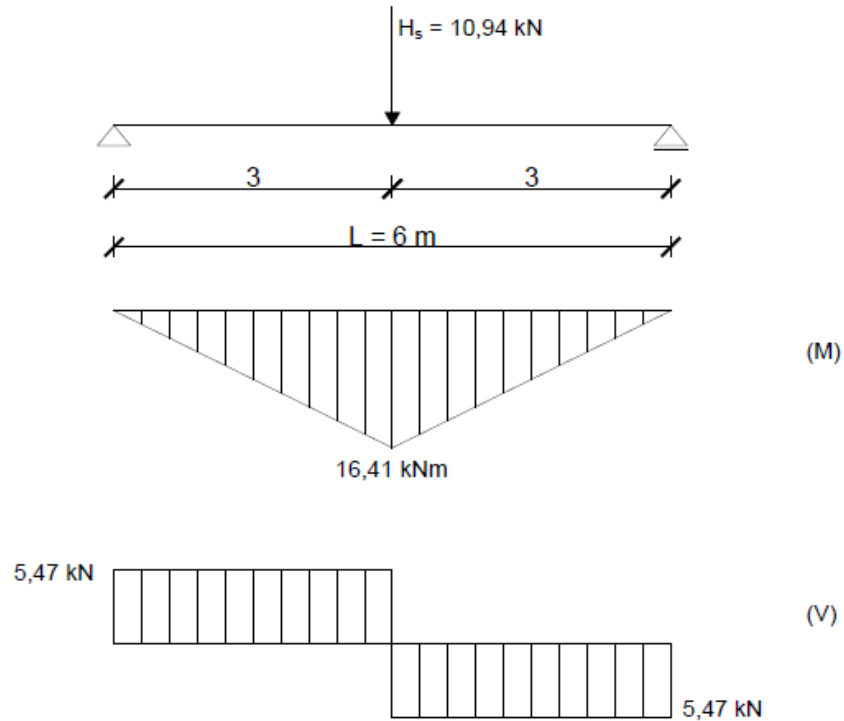
$$M_t = 118,57 \cdot 0,0125 + 42,47 \cdot (0,145 + 0,03) = 8,91 \text{ kNm}$$

Najveći moment oko z-osi

Najveći moment savijanja oko z-osi nastaje djelovanjem $H_s = 8,10 \text{ kN}$:

$$H_s = 1,35 \cdot 8,10 = 10,94 \text{ kN} \quad (65)$$

$$M_{z,Ed(max)} = \frac{H_s \cdot L}{4} = \frac{10,94 \cdot 6,0}{4} = 16,41 \text{ kNm} \quad (66)$$



Slika 28: Najnepovoljniji položaj horizontalnog opterećenja i pripadajući dijagrami

Proračunska vrijednost sile koja izaziva savijanje oko y-osi:

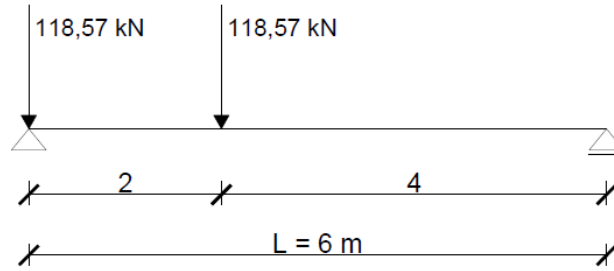
$$Q_{r,max} = 1,35 \cdot 73,37 = 99,05\text{ kN} \quad (67)$$

$$M_{y,Ed} = \frac{Q_{r,max} \cdot L}{4} = \frac{99,05 \cdot 6,0}{4} = 148,58\text{ kNm} \quad (68)$$

Najveća poprečna sila

Dobijemo je kada se jedna koncentrirana sila nalazi iznad ležaja, a druga u polju nosača kranske staze

$$Q_{r,max} = 118,57\text{ kN}$$



Slika 29: Pozicija vertikalnih opterećenja koja daju najveću poprečnu silu

$$V_{z,Ed(\max)} = Q_{r,\max} \cdot \left(1 + \frac{x}{L}\right) \quad (69)$$

$$V_{z,Ed(\max)} = 118,57 \cdot \left(1 + \frac{4}{6}\right) = 197,62 \text{ kN}$$

Unutarnje sile i momenti zbog vlastite težine nosača

Težina nosača kranske staze zajedno s vlastitom težinom tračnice:

$$g_k = (A + 0,05 \cdot 0,03) \cdot 78,5 \quad (70)$$

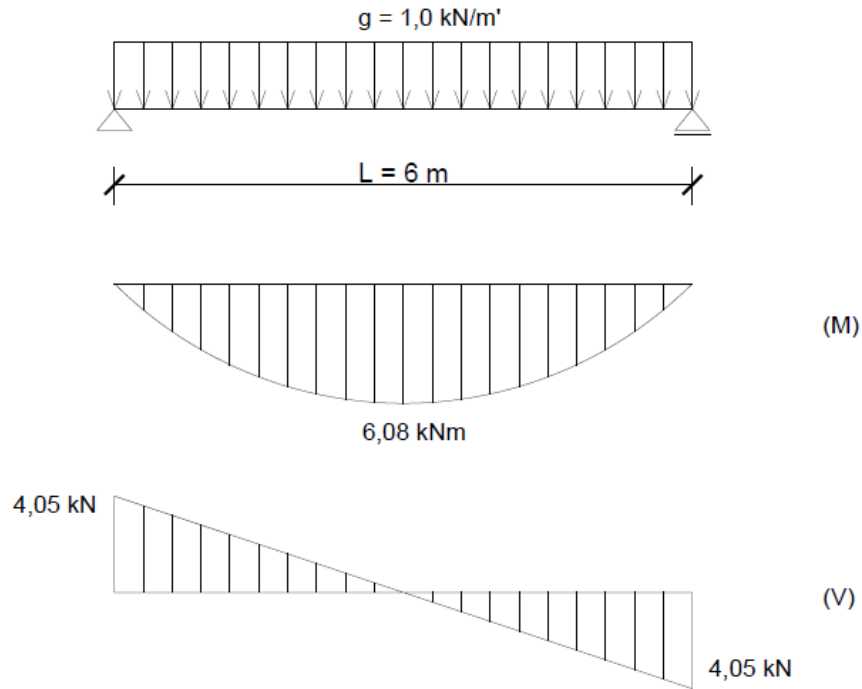
$$g_k = (0,01125 + 0,05 \cdot 0,03) \cdot 78,5 = 1,00 \text{ kN/m'}$$

Vrijednost momenta savijanja na polovini raspona:

$$M_{g,Ed} = \gamma_G \cdot \frac{g_k \cdot L^2}{8} = 1,35 \cdot \frac{1,00 \cdot 6^2}{8} = 6,08 \text{ kNm} \quad (71)$$

Vrijednost poprečne sile u presjeku nad osloncem od vlastite težine:

$$V_{g,Ed} = \gamma_G \cdot \frac{g_k \cdot L}{2} = 1,35 \cdot \frac{1,00 \cdot 6}{2} = 4,05 \text{ kN} \quad (72)$$



Slika 30: Opterećenje nosača zbog vlastite težine i pripadajući dijagrami

5.3. Posmična otpornost poprečnog presjeka

Provjera izbočavanja hrpta na posmik:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq 72 \frac{\varepsilon}{\eta} \quad (73)$$

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h-2t_f}{t_w} = \frac{290-2 \cdot 14}{8,5} = 30,82 \quad (74)$$

Za čelik S275 vrijedi: $\varepsilon = 0,92$

$\eta = 1,2$ – za valjani profil

$$\frac{h_w}{t_w} = 30,82 < 72 \cdot \frac{0,92}{1,2} = 55,2$$

Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta na posmik.

Određivanje posmične površine:

$$A_{v,z} = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2r) \cdot t_f \geq \eta \cdot h_w \cdot t_w \quad (75)$$

$$h_w = h - 2t_f = 29 - 2 \cdot 1,4 = 26,2 \text{ cm} \quad (76)$$

$$A_{v,z} = 112,5 - 2 \cdot 30 \cdot 1,4 + (0,85 + 2 \cdot 2,7) \cdot 1,4 \geq 1,2 \cdot 26,2 \cdot 0,85$$

$$A_{v,z} = 37,25 \text{ cm}^2 > 26,72$$

Posmična otpornost:

$$V_{pl,Rd} = V_{z,Rd} = \frac{A_{v,z} \cdot f_y / \sqrt{3}}{\gamma_{M0}} = \frac{37,25 \cdot 27,5 / \sqrt{3}}{1,0} \quad (77)$$

$$V_{pl,Rd} = 591,42 \text{ kN}$$

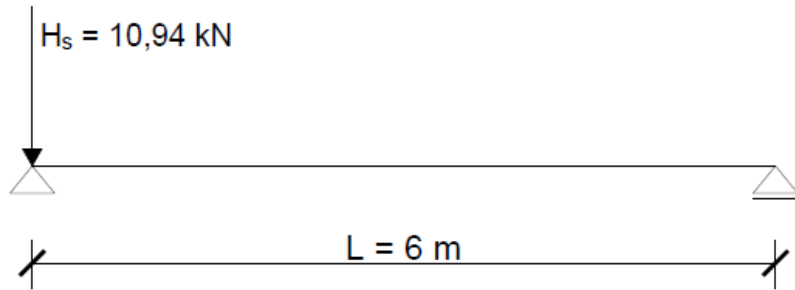
Uvjet nosivosti:

$$V_{z,Ed} < V_{pl,Rd} \quad (78)$$

$$197,62 \text{ kN} < 591,42 \text{ kN} \quad \text{Uvjet nosivosti zadovoljava}$$

5.4. Posmična otpornost gornje pojasnice poprečnog presjeka

Provjeravamo zadovoljava li gornja pojasnica uvjetima posmične otpornosti zato što se pretpostavlja da sva horizontalna opterećenja preuzima gornja pojasnica. Kada se horizontalna sila H_s nađe na kraju nosača dobije se najnepovoljnija poprečna sila.



Slika 31: Horizontalno opterećenje koje daje najnepovoljniju silu $V_{y,Ed}$

Posmična površina:

$$A_{v,y} = b \cdot t_f = 30 \cdot 1,4 = 42,0 \text{ cm}^2 \quad (79)$$

Posmična otpornost:

$$V_{pl,Rd} = V_{y,Rd} = \frac{A_{v,y} \cdot f_y / \sqrt{3}}{\gamma_{M0}} = \frac{42,0 \cdot 27,5 / \sqrt{3}}{1,0} \quad (80)$$

$$V_{pl,Rd} = V_{y,Rd} = 666,84 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

$$V_{y,Ed} < V_{pl,Rd} \quad (81)$$

$$10,94 \text{ kN} < 666,84 \text{ kN} \quad \text{Uvjet nosivosti zadovoljava}$$

5.5. Kombinirani posmik uslijed savijanja i torzije

Računamo opterećenje koje daje najveća normalna naprezanja od savijanja pod uvjetom da se poprečna sila od vlastite težine nosača kranske staze zanemaruje.

$$V_{z,Ed} = \frac{Q_{r,max}}{2} = \frac{118,57}{2} = 59,29 \text{ kN} \quad (82)$$

$$M_{t,Ed} = 6,08 \text{ kNm} \quad (83)$$

$$I_t = 85,17 \text{ cm}^4 \text{ - torzijska konstanta}$$

Posmični napon uslijed torzije:

$$\tau_{v,Ed} = \frac{M_{t,Ed} \cdot t_w}{I_t} = \frac{608 \cdot 0,85}{85,17} = 6,07 \text{ kN/cm}^2 \quad (84)$$

Određivanje koeficijenta β_v :

$$\beta_v = \frac{\frac{V_{z,Ed}}{A_{v,z}}}{\frac{f_y/\sqrt{3}}{\gamma_{M0}}} + \left(\frac{\tau_{v,Ed}}{1,25 \cdot \frac{f_y/\sqrt{3}}{\gamma_{M0}}} \right)^2 \quad (84)$$

$$\beta_v = \frac{\frac{59,29}{37,25}}{\frac{27,5/\sqrt{3}}{1,0}} + \left(\frac{6,07}{1,25 \cdot \frac{27,5/\sqrt{3}}{1,0}} \right)^2 = 0,19 < 0,5$$

Nije potrebno reducirati otpornost na savijanje uslijed posmika.

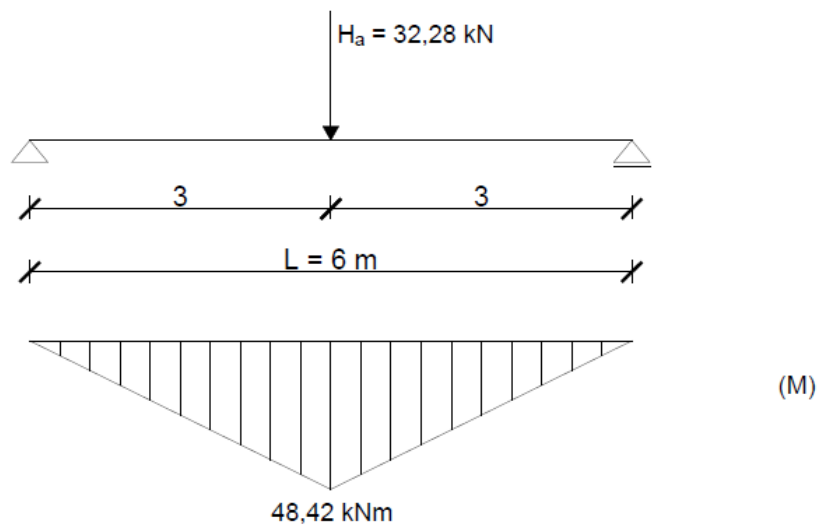
5.6. Dokaz na savijanje uslijed iskošenja kрана pri kretanju

Zbog ekscentričnog uvođenja horizontalnog i vertikalnog opterećenja javljaju se torzijski momenti. Njih rastavljamo na par sila koje djeluju u ravnini gornje i donje pojasnice. Za proračun se uzima pretpostavka da se torzijski momenti prihvaćaju samo krivljenjem presjeka.

$$H_a = \frac{M_t}{h-t_f} = \frac{8,91}{0,29-0,014} = 32,28 \text{ kNm} \quad (85)$$

Računamo moment savijanja u gornjoj pojasnici na koju djeluje koncentrirano opterećenje H_a :

$$M_{z,Ed} = \frac{H_a \cdot L}{4} = \frac{32,28 \cdot 6}{4} = 48,42 \text{ kNm} \quad (86)$$



Slika 32: Djelovanje sile H_a i pripadajući momentni dijagram

Dokaz provodimo pomoću izraza:

$$\frac{N_{Ed}}{\gamma_{M0} \cdot A \cdot f_y} + \frac{M_{\varphi,y,Ed}}{\gamma_{M0} \cdot W_{pl,y} \cdot f_y} + \frac{M_{\varphi,z,Ed}}{\alpha_T \cdot \gamma_{M0} \cdot W_{el,y} \cdot f_y} + \frac{\sigma_{\varphi,w,Ed}}{\alpha_T \cdot \gamma_{M0} \cdot f_y} \leq 1 \quad (87)$$

$$N_{Ed} = \gamma_G \cdot H_{L,1} = 1,35 \cdot 6,71 = 9,06 \text{ kN} \quad (88)$$

$$A = b \cdot t_f = 30 \cdot 1,4 = 42 \text{ cm}^2 \quad (89)$$

$$M_{\varphi,y,Ed} = M_{y,Ed(\max)} + M_{g,Ed} = 177,86 + 6,08 = 183,16 \text{ kNm} \quad (90)$$

$$M_{\varphi,z,Ed} = M_{z,Ed} = 63,71 \text{ kNm} \quad (91)$$

$$\text{Za HEA 300 vrijedi: } W_{pl,z} = 641,2 \text{ cm}^3$$

$$W_{el,z} = 420,6 \text{ cm}^3$$

$$\alpha_T = \frac{W_{pl,z}}{W_{el,z}} = \frac{641,2}{420,6} = 1,52 > 1,25 \quad (92)$$

Odabire se $\alpha_T = 1,25$

$$\text{Iz tablica očitavamo: } W_{pl,y} = 1383 \text{ cm}^3$$

$$W_{el,y} = 1260 \text{ cm}^3$$

Elastični moment otpora gornje pojasnice:

$$W_{el,p} = \frac{1,4 \cdot 30^2}{6} = 210,00 \text{ cm}^3 \quad (93)$$

Normalni napon krivljenja:

$$\sigma_{w,Ed} = \frac{M_{z,Ed}}{W_{el,p}} = \frac{4842}{210} = 23,06 \text{ kN/cm}^2 \quad (94)$$

Uvrštavanjem u izraz (87) dobijemo:

$$\frac{9,06}{\frac{42 \cdot 27,5}{1,0}} + \frac{18316}{\frac{1383 \cdot 27,5}{1,0}} + \frac{6371}{1,25 \cdot \frac{1260 \cdot 27,5}{1,0}} + \frac{23,06}{1,25 \cdot \frac{27,5}{1,0}} \leq 1$$

$$1,31 > 1$$

5.7. Dokaz nosača na bočno torzijsko izvijanje

Kranski nosač je bočno pridržan. Razmak bočnih pridržanja jednak je rasponu L. Provjeravamo presjek nosača koji se sastoji od gornje pojasnice i 1/5 hrpta kako bismo odredili bočno torzijsko izvijanje.

Razmak između pridržanja:

$$c \leq 0,4 \cdot i_{z,p} \cdot \lambda_1 \cdot \left(\frac{M_{pL,y,Rd}}{M_{Ed}} \right)^{0,5} \quad (95)$$

$$I_{z,p} = \frac{1,4 \cdot 30^3}{12} = 3150,0 \text{ cm}^4 \quad (96)$$

$$A_{f,p} = b \cdot t_f + \frac{1}{5} \cdot t_w \cdot h = 30 \cdot 1,4 + \frac{1}{5} \cdot 0,85 \cdot 29 = 46,93 \text{ cm}^2 \quad (97)$$

$$i_{z,p} = \sqrt{\frac{I_{z,p}}{A_{f,p}}} = \sqrt{\frac{3150,0}{46,93}} = 8,19 \text{ cm} \quad (98)$$

$$\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = \pi \cdot \sqrt{\frac{21000}{27,5}} = 86,8 \quad (99)$$

$$M_{pL,y,Rd} = \frac{W_{pL,y,Rd} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1383 \cdot 27,5}{1,0} = 38032,5 \text{ kNcm} = 380,33 \text{ kNm} \quad (100)$$

Uvrštavanjem u izraz (95) dobijemo:

$$c \leq 0,4 \cdot 8,19 \cdot 86,8 \cdot \left(\frac{380,33}{183,16}\right)^{0,5}$$

$$600 \text{ cm} > 409,76 \text{ cm}$$

Uvjet ne zadovoljava! Zato pojasnicu moramo računati kao tlačno opterećen element na izvijanje savijanjem, tj. na bočno torzijsko izvijanje.

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad (101)$$

Vitkost elementa:

$$\lambda = \frac{L}{i_{z,p}} = \frac{600}{8,19} = 73,26 \quad (102)$$

Svedena vitkost za bočno torzijsko izvijanje:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{73,26}{86,80} = 0,84 \quad (103)$$

Mjerodavna krivulja izvijanja – očitavamo iz tablice:

$$\frac{h}{b} = \frac{290}{300} = 0,97 < 1,2$$

$$t_f = 14 \text{ mm} < 100 \text{ mm}$$

- iz ova dva uvjeta znamo da gledamo krivulju izvijanja a i iščitamo iz tablice:

$$\alpha_{LT} = 0,21 - \text{faktor imperfekcije}$$

Određivanje faktora ϕ_{LT}

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2] \quad (104)$$

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,84 - 0,2) + 0,84^2] = 0,92$$

Faktor redukcije ovisan o izvijanju:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} \quad (105)$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{0,92 + \sqrt{0,92^2 - 0,84^2}} = 0,77$$

Uvjet nosivosti:

$$N_{Ed} \leq N_{b,Rd} \quad (106)$$

$$N_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{h - t_f} = \frac{183,16}{0,30 - 0,014} = 640,42 \text{ kN} \quad (107)$$

Uvrštavanjem u izraz (101) dobijemo:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot \frac{A_{f,p} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 0,77 \cdot \frac{46,93 \cdot 27,5}{1,0} = 993,74 \text{ kN}$$

$$640,42 \text{ kN} < 993,74 \text{ kN}$$

Uvjet za bočno torzijsko izvijanje zadovoljava

5.8. Provjera nosača na crushing, crippling i izbočavanje izazvano koncentriranim opterećenjem

5.8.1. Crushing resistance

Momenti površine II. stupnja:

- Gornje pojasnice oko njezine horizontalne težišne osi:

$$I_f = \frac{30 \cdot 1,4^3}{12} = 6,86 \text{ cm}^4 \quad (108)$$

- Tračnice oko njezine horizontalne težišne osi:

$$I_R = \frac{5,0 \cdot 3,0^3}{12} = 11,25 \text{ cm}^4 \quad (109)$$

Najveći uzdužni napon gornje pojasnice:

$$\sigma_{f,Ed} = \frac{M_{y,Ed}}{W_{el,y}} = \frac{18316}{1260} = 14,53 \text{ kN/cm}^2 \quad (110)$$

$$s_y = k_R \cdot \left(\frac{I_f + I_R}{t_w} \right)^{1/3} + \left[1 - \left(\gamma_{M0} \cdot \frac{\sigma_{f,Ed}}{f_y} \right)^2 \right]^{0,5} \quad (111)$$

$$s_y = 3,25 \cdot \left(\frac{6,86 + 11,25}{0,85} \right)^{1/3} + \left[1 - \left(1,0 \cdot \frac{14,53}{27,5} \right)^2 \right]^{0,5} = 9,86 \text{ cm}$$

Crushing resistance računamo po izrazu:

$$R_{y,Rd} = \frac{s_y \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{9,86 \cdot 0,85 \cdot 27,5}{1,0} = 230,48 \text{ kN} \quad (112)$$

Uvjet nosivosti:

$$Q_{r,max} \leq R_{y,Rd} \quad (113)$$

$$118,57 \text{ kN} < 230,48 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti zadovoljava

5.8.2. Crippling resistance

Širina rasprostiranja opterećenja:

$$s_s = 2 \cdot 14 + 8,5 = 36,5 \text{ mm} \quad (114)$$

$$\frac{s_s}{d} = \frac{36,5}{272} = 0,13 \quad (115)$$

Crippling resistance određujemo prema izrazu:

$$R_{a,Rd} = 0,5 \cdot t_w^2 \cdot (E \cdot f_y)^{0,5} \cdot \left[\left(\frac{t_f}{t_w} \right)^{0,5} + 3 \cdot \left(\frac{t_w}{t_f} \right) \cdot \left(\frac{s_s}{d} \right) \right] \quad (116)$$

$$R_{a,Rd} = 0,5 \cdot 0,85 \cdot (21000 \cdot 27,5)^{0,5} \cdot \left[\left(\frac{1,4}{0,85} \right)^{0,5} + 3 \cdot \left(\frac{0,85}{1,4} \right) \cdot 0,13 \right] = 490,97 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

$$Q_{r,max} \leq R_{a,Rd} \quad (117)$$

$$118,57 \text{ kN} < 490,97 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti zadovoljava

Također, mora biti zadovoljen i uvjet interakcije:

$$\frac{Q_{r,max}}{R_{a,Rd}} + \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1,5 \quad (118)$$

$$\frac{118,57}{490,97} + \frac{177,86}{380,33} \leq 1,5$$

$$0,71 < 1,5$$

Uvjet interakcije zadovoljava

5.8.3. Otpornost na izbočavanje

Za proračun vrijedi pretpostavka da je hrpat virtualni tlačni element efektivne širine b_{eff}

$$b_{eff} = \sqrt{h^2 + s_s^2} = \sqrt{30^2 + 3,65^2} = 30,22 \text{ cm} \quad (119)$$

Promatramo izvijanje dijela hrpta površine $b_{eff} \cdot t_w$:

$$A_f = b_{eff} \cdot t_w = 30,22 \cdot 0,85 = 25,69 \text{ cm}^2 \quad (120)$$

Moment površine II. stupnja oko slabije osi:

$$I = \frac{30,22 \cdot 0,85^3}{12} = 1,55 \text{ cm}^4 \quad (121)$$

$$i = \sqrt{\frac{I}{A_f}} = \sqrt{\frac{1,55}{25,69}} = 0,25 \text{ cm} \quad (122)$$

$$\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = \pi \cdot \sqrt{\frac{21000}{27,5}} = 86,8 \quad (123)$$

Vitkost elementa:

$$\lambda = \frac{d}{i} = \frac{27,2}{0,25} = 108,8 \quad (124)$$

Svedena vitkost:

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{108,80}{86,80} = 1,25 \quad (125)$$

Mjerodavna krivulja izvijanja – očitavamo iz tablice:

$$\frac{h_w}{b_{eff}} = \frac{272}{302,2} = 0,90 < 1,2$$

$$t_f = 14 \text{ mm} < 100 \text{ mm}$$

- iz ova dva uvjeta znamo da gledamo krivulju izvijanja c i iščitamo iz tablice:

$$\alpha = 0,49 - \text{faktor imperfekcije}$$

Određivanje faktora ϕ

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] \quad (126)$$

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (1,25 - 0,2) + 1,25^2] = 1,539$$

Faktor redukcije ovisan o izvijanju:

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \quad (127)$$

$$\chi = \frac{1}{1,539 + \sqrt{1,539^2 - 1,25^2}} = 0,41$$

Otpornost na izbočavanje:

$$R_{b,Rd} = \chi \cdot \frac{A_f \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 0,41 \cdot \frac{25,69 \cdot 27,5}{1,0} = 289,65 \text{ kN} \quad (128)$$

Uvjet nosivosti:

$$Q_{r,max} \leq R_{b,Rd} \quad (129)$$

$$118,57 \text{ kN} < 289,65 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti zadovoljava

5.9. Provjera naprezanja u hrptu

Javlja se normalni napon prilikom savijanja u najgornjem vlakancu hrpta:

$$\sigma_{x,Ed} = \frac{M_{y,Ed}}{I_y} \cdot \frac{h_w}{2} = \frac{17786}{18260} \cdot \frac{27,2}{2} = 13,25 \text{ kN/cm}^2 \quad (130)$$

Širina rasprostiranja opterećenja na najgornjem vlakancu:

$$s = 2 \cdot (30 + 14) = 88 \text{ mm} \quad (131)$$

Naprezanje u hrptu izazvano djelovanjem koncentriranog opterećenja:

$$\sigma_{z,Ed} = \frac{Q_{r,max}}{s \cdot t_w} = \frac{118,57}{8,8 \cdot 0,85} = 15,85 \text{ kN/cm}^2 \quad (132)$$

Kriterij tečenja koji mora zadovoljavati:

$$\left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_{yd}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{z,Ed}}{f_{yd}}\right)^2 - \frac{\sigma_{x,Ed}}{f_{yd}} \cdot \frac{\sigma_{z,Ed}}{f_{yd}} \leq 1 \quad (133)$$

$$\left(\frac{13,25}{27,5}\right)^2 + \left(\frac{15,85}{27,5}\right)^2 - \frac{13,25}{27,5} \cdot \frac{15,85}{27,5} \leq 1$$

$$0,287 < 1$$

Uvjet zadovoljava

6. DIMENZIONIRANJE NOSAČA KRANSKE STAZE ZA GSU

6.1. Progib uslijed vertikalnog opterećenja

Kada se sila $Q_{r,max}$ nađe na polovici raspona dobijemo najveći vertikalni progib

$$Q_{r,max} = 87,83 \text{ kN}$$

$$E = 21000 \text{ kN/cm}^2$$

$$I_y = 18260 \text{ cm}^4$$

Progib:

$$\delta_{1,z} = \frac{Q_{r,max} \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot I_y} = \frac{87,83 \cdot 600^3}{48 \cdot 21000 \cdot 18260} = 1,03 \text{ cm} \quad (134)$$

Progib uslijed težine nosača kranske staze

$$g_k = 1,00 \text{ kN/m}$$

$$\delta_{2,z} = \frac{5 \cdot g_k \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I_y} = \frac{5 \cdot 0,01 \cdot 600^4}{384 \cdot 21000 \cdot 18260} = 0,04 \text{ cm} \quad (135)$$

Ukupni progib

$$\delta_z = \delta_{1,z} + \delta_{2,z} = 1,03 + 0,04 = 1,07 \text{ cm} \quad (136)$$

Granične vrijednosti progiba:

$$\delta_z \leq \frac{L}{600} \quad i \quad \delta_z \leq 25 \text{ mm} \quad (137)$$

$$\frac{L}{600} = \frac{600}{600} = 1,00 \text{ cm}$$

$$1,07 \text{ cm} > 1 \text{ cm} \quad i \quad 1,07 \text{ cm} < 2,5 \text{ cm}$$

6.2. Progib uzrokovan horizontalnim opterećenjem

Kada se sila H_s nađe na polovici raspona dobijemo najveći horizontalni progib. Izračun radimo pod pretpostavkom da gornja pojasnica preuzima silu H_s .

$$H_s = 8,10 \text{ kN}$$

$$I_z = \frac{1,4 \cdot 30^3}{12} = 3150,0 \text{ cm}^4 \quad (138)$$

$$\delta_y = \frac{H_s \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot I_z} = \frac{8,10 \cdot 600^3}{48 \cdot 21000 \cdot 3150,0} = 0,55 \text{ cm} \quad (139)$$

Granične vrijednosti progiba:

$$\delta_y \leq \frac{L}{600} \quad (140)$$

$$\frac{L}{600} = \frac{600}{600} = 1,0 \text{ cm}$$

$$0,55 \text{ cm} < 1,0 \text{ cm}$$

Provjera progiba uslijed djelovanja horizontalnog opterećenja zadovoljava

7. PROVJERA UMORA

7.1. Ekvivalentno opterećenje

Provjera na umor provodi se pomoću ekvivalentnog opterećenja Q_e . Ono se može odrediti na način da uključuje učinke povijesti naprezanja koji proizlaze iz detaljno navedenih uvjeta za korištenje kрана i omjera apsolutnog broja ciklusa opterećenja za vrijeme projektiranog životnog vijeka i referentne vrijednosti koja iznosi:

$$N = 2 \cdot 10^6 \text{ ciklusa}$$

Kranovi se svrstavaju u različite klase umaranja koje su raspoređene od S0 do S9, a koje ovise o tipu pogona i uvjetima korištenja. Viša klasa označava veću osjetljivost na zamor. Najčešće klasu umaranja određuje proizvođač koji isporučuje kran.

Za ovaj slučaj usvojena je klasa S3.

Opterećenje na umor određuje se prema izrazu:

$$Q_{e,i} = \varphi_{fat} \cdot \lambda_i \cdot Q_{max,i} \quad (141)$$

Faktor λ_i , za klasu umora S3, ima sljedeće vrijednosti:

a) Za normalne napone $\lambda_i = 0,397$

b) Za posmične napone $\lambda_i = 0,575$

$$Q_{max,i} = 73,37 \text{ kN}$$

Dinamički faktor umaranja:

$$\varphi_{fat} = \frac{1+\varphi_2}{2} = \frac{1+1,245}{2} = 1,12 \quad (142)$$

Ekvivalentna opterećenja dobijemo uvrštavanjem u izraz (141):

a) Za normalne napone $Q_{e,i} = 1,12 \cdot 0,379 \cdot 73,37 = 31,14 \text{ kN}$

b) Za posmične napone $Q_{e,i} = 1,12 \cdot 0,575 \cdot 73,37 = 47,25 \text{ kN}$

7.2. Normalni naponi

Normalna naprezanja uslijed koncentriranog opterećenja kotačem

Potrebno je odrediti efektivnu dužinu l_{eff} od koncentriranog opterećenja kotačem, pod uvjetom da se uzima samo polovica vrijednosti iskošenosti visine tračnice od od prethodno usvojene vrijednosti $0,25t_r$.

Visina tračnice:

$$t_{tr} = 0,875 \cdot t_r = 0,875 \cdot 3 = 2,625 \text{ cm} \quad (143)$$

Razmak između gornjeg ruba tražnice i najgornjeg ruba hrpta iznosi:

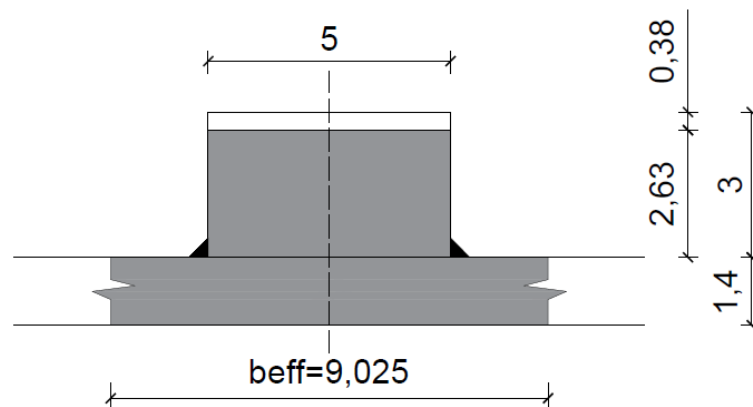
$$d_r = t_{tr} + t_f \quad (144)$$

$$d_r = 2,625 + 1,4 = 4,025 \text{ cm}$$

Efektivna širina b_{eff} :

$$b_{eff} = b_{tr} + d_r \quad (145)$$

$$b_{eff} = 5 + 4,025 = 9,025 \text{ cm}$$



Slika 33: Promatrani poprečni presjek

Kako bismo mogli odrediti efektivnu dužinu l_{eff} , prvo moramo izračunati moment površine II. stupnja presjeka oko horizontalne osi koji se sastoji od gornje pojasnice i tračnice, pod uvjetom da se ne uzima istrošeni dio zbog koncentriranog opterećenja kotačem.

Visina tračnice koja ne ulazi u presjek:

$$\Delta t_r = 3 - t_{tr} = 3 - 2,625 = 0,375 \text{ cm} \quad (146)$$

Težište presjeka:

$$x = \frac{5,0 \cdot 2,625 \cdot \left(\frac{2,625}{2} + 1,4\right)^2 + 9,025 \cdot 1,4 \cdot \frac{1,4}{2}}{5,0 \cdot 2,625 + 9,025 \cdot 1,4} = 4,09 \text{ cm} \quad (147)$$

Moment površine II. stupnja oko horizontalne osi:

$$I_{rf} = 5,0 \cdot 2,625 \cdot \left(\frac{2,625}{2} + 0,375\right)^2 + \frac{5,0 \cdot 2,625^3}{12} + 9,025 \cdot 1,4 \cdot \left(\frac{1,4}{2} - 0,375\right)^2 + \frac{9,025 \cdot 1,4^3}{12} \quad (148)$$

$$I_{rf} = 48,31 \text{ cm}^4$$

Efektivna dužina l_{eff} :

$$l_{eff} = 3,25 \cdot \left(\frac{I_{rf}}{t_w}\right)^{\frac{1}{3}} = 3,25 \cdot \left(\frac{48,31}{0,85}\right)^{\frac{1}{3}} = 14,19 \text{ cm} \quad (149)$$

Normalni napon uzrokovan koncentriranim opterećenjem kotača:

$$\sigma_1 = \frac{Q_{e,i}}{l_{eff} \cdot t_w} = \frac{31,14}{14,19 \cdot 0,85} = 2,58 \text{ kN/cm}^2 \quad (150)$$

Normalna naprezanja uslijed ekscentričnog djelovanja opterećenja kotačem na tračnicu

Do pojave torzijskog momenta dolazi zbog ekscentričnog prijenosa vertikalnog opterećenja.

Poprečna rebra za ukrućenje nalaze se samo na ležajevima.

$$e_y = 0,25 \cdot b_r = 0,25 \cdot 5,0 = 1,25 \text{ cm} \quad (151)$$

Torzijski moment:

$$T_{Ed} = Q_{e,i} \cdot e_y = 31,14 \cdot 1,25 = 38,93 \text{ kNcm} \quad (152)$$

Normalno naprezanje:

$$\sigma_{T,Ed} = \frac{6 \cdot T_{Ed}}{a \cdot t_w^2} \cdot \eta \cdot \tanh(\eta) \quad (153)$$

Poprečna rebra za ukrutu su na ležajevima na razmacima: $a = 600 \text{ cm}$

$$d_w = 27,2 \text{ cm}$$

$$\eta = \left[\frac{0,75 \cdot a \cdot t_w^3}{I_{t,1}} \cdot \frac{\sinh^2\left(\frac{\pi \cdot d_w}{a}\right)}{\sinh\left(\frac{2\pi \cdot d_w}{a}\right) - \frac{2\pi \cdot d_w}{a}} \right]^{0,5} \quad (154)$$

Torzijsku konstantu $I_{t,1}$ određujemo za presjek koji obuhvaća gornju pojasnicu i tračnicu smanjene visine prilikom istršenosti od 25% :

$$I_{t,1} = \frac{1}{3} \cdot b_f \cdot t_f^3 + \frac{1}{3} \cdot b_r \cdot (t_r - \Delta t_r)^3 = \frac{1}{3} \cdot 30 \cdot 1,4^3 + \frac{1}{3} \cdot 5,0 \cdot (2,625 - 0,375)^3 \quad (155)$$

$$I_{t,1} = 46,42 \text{ cm}^4$$

Uvrštavanjem u izraz (154) dobijemo:

$$\eta = \left[\frac{0,75 \cdot 600 \cdot 0,85^3}{46,42} \cdot \frac{\sinh^2\left(\frac{\pi \cdot 27,2}{600}\right)}{\sinh\left(\frac{2\pi \cdot 27,2}{600}\right) - \frac{2\pi \cdot 27,2}{600}} \right]^{0,5} = 5,61$$

Uvrštavanjem u izraz (153) dobijemo:

$$\sigma_2 = \sigma_{T,Ed} = \frac{6 \cdot T_{Ed}}{a \cdot t_w^2} \cdot \eta \cdot \tanh(\eta) = \frac{6 \cdot 38,93}{600 \cdot 0,85^2} \cdot 5,61 \cdot \tanh(5,61) = 3,10 \text{ kN/cm}^2$$

Procjena umornosti zbog normalnih naprezanja

Prema tablici 8.1. Eurocodea3 Part6 odabrana je kategorija detalja 160:

$$\Delta\sigma_c = 16,0 \text{ kN/cm}^2$$

Naponska razlika normalnih naprezanja:

$$\Delta\sigma_{E2} = \sigma_1 + \sigma_2 = 2,58 + 3,10 = 5,68 \text{ kN/cm}^2 \quad (156)$$

Kriterij za procjenu umornosti koja obuhvaća normalna naprezanja:

$$\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E2} \leq \frac{\Delta\sigma_c}{\gamma_{Ff}} \quad (157)$$

$$\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E2} = 1,0 \cdot 5,68 = 5,68 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\Delta\sigma_c}{\gamma_{Ff}} = \frac{16,0}{1,25} = 12,8 \text{ kN/cm}^2$$

$$5,68 \text{ kN/cm}^2 < 12,8 \text{ kN/cm}^2$$

Uvjet zadovoljava

7.3. Posmična naprezanja

Posmična naprezanja zbog savijanja

Najveća posmična naprezanja nastanu kada se ekvivalentno opterećenje $Q_{e,i}$ nađe na kraju nosača kranske staze.

$$Q_{e,i} = 47,25 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = Q_{e,i} \cdot \left(1 + \frac{x}{L}\right) = 47,25 \cdot \left(1 + \frac{4}{6}\right) = 78,75 \text{ kN} \quad (158)$$

$$\tau_1 = \frac{V_{Ed} \cdot S}{b \cdot I} = \frac{78,75 \cdot (30 \cdot 1,4 \cdot 13,275)}{0,85 \cdot 18260} = 2,83 \text{ kN/cm}^2 \quad (159)$$

Posmična naprezanja zbog koncentriranog opterećenja kotačem

$$\tau_2 = 0,2 \cdot \sigma_1 = 0,2 \cdot 2,58 = 0,52 \text{ kN/cm}^2 \quad (160)$$

Procjena umornosti zbog posmičnih naprezanja

Prema tablici 8.1. Eurocodea3 Part6 odabrana je kategorija detalja 100:

$$\Delta\tau_c = 10,0 \text{ kN/cm}^2$$

Naponska razlika normalnih naprezanja:

$$\Delta\tau_{E2} = \tau_1 + \tau_2 = 2,83 + 0,52 = 3,35 \text{ kN/cm}^2 \quad (161)$$

Kriterij za procjenu umornosti koja obuhvaća normalna naprezanja:

$$\gamma_{Ff} \cdot \Delta\tau_{E2} \leq \frac{\Delta\tau_c}{\gamma_{Ff}} \quad (162)$$

$$\gamma_{Ff} \cdot \Delta\tau_{E2} = 1,0 \cdot 3,35 = 3,35 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\Delta\tau_c}{\gamma_{Ff}} = \frac{10,0}{1,25} = 8,0 \text{ kN/cm}^2$$

$$3,35 \text{ kN/cm}^2 < 8,0 \text{ kN/cm}^2$$

Uvjet zadovoljava

7.4. Interakcija normalnih i posmičnih naprezanja

$$\left(\frac{\gamma_{Ff} \cdot \Delta \sigma_{E2}}{\gamma_{Mf}} \right)^3 + \left(\frac{\gamma_{Ff} \cdot \Delta \tau_{E2}}{\gamma_{Mf}} \right)^5 \leq 1 \quad (163)$$

$$\left(\frac{1,0 \cdot 5,68}{1,25} \right)^3 + \left(\frac{1,0 \cdot 3,35}{1,25} \right)^5 \leq 1$$

$$0,100 < 1$$

8. ZAKLJUČAK

Završni rad obuhvaća teorijski pregled kranova koji se koriste u industrijskim halama. Jedan od tipova – mosni kran, koji sadrži dvogrednu mosnu dizalicu, proračunat je u radu.

Prema zadanim dimenzijama krana izračunata su djelovanja na kransku stazu koja obuhvaćaju vertikalna i horizontalna opterećenja. Prema karakteristikama poprečnog presjeka ispitivala se pouzdanost nosača kranske staze pa je proračunato dimenzioniranje nosača kranske staze za granično stanje nosivosti (GSN) i za granično stanje uporabivosti (GSU), te procjena nosača na umor koja je napravljena na temelju određivanja najvećih vrijednosti opterećenja koja djeluju na nosač.

Na kraju proračuna, sukladno dokazu pouzdanosti nosača kranske staze, zaključujemo da nosač zadovoljava uvjetima koji su definirani u normama Eurocode1 Part3 i Eurocode3 Part6.

9. LITERATURA

- [1] Krolo Paulina, *Hale s dizalicama*, materijali s predavanja, Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet
- [2] Markulak Damir, *Posebna poglavlja čeličnih konstrukcija*, Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku, Građevinski fakultet Osijek, travanj 2010.
- [3] Joketović Mario, Radić Ivan, Markulak Damir, *Proračun kranskih nosača prema Eurokod normama*, Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku, Građevinski fakultet Osijek, 2011.
- [4] Eurocode1 Part3 – EN 1991-3-2006
- [5] Eurocode3 Part6 - prEN 1993-6-2006
- [6] Eurocode3 Part1-9 - EN1993-1-9:2005
- [7] Androić, B., Dujmović, D., Džeba, I., *ČELIČNE KONSTRUKCIJE 1*, IA Projektiranje, Zagreb, 2009.
- [8] Androić, B., Dujmović, D., Džeba, I., *ČELIČNE KONSTRUKCIJE 2 – Numerički primjeri prema EC3*, IA Projektiranje, Zagreb, 2007.
- [9] Džeba, I., Androić, B., Dujmović, D., *METALNE KONSTRUKCIJE 3*, IA Projektiranje, Zagreb, 1998.
- [10] Markulak, D., *PRORAČUN ČELIČNIH KONSTRUKCIJA PREMA EN 1993-1-1*, Građevinski fakultet Osijek, Osijek, 2008.