

DIMENZIONIRANJE I OPTIMIZACIJA POPREČNOG PRESJEKA GERBEROVOG NOSAČA

Načinović, Thomas

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Karlovac University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:746145>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-14**



VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
Karlovac University of Applied Sciences

Repository / Repozitorij:

[Repository of Karlovac University of Applied Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

DIMENZIONIRANJE I OPTIMIZACIJA POPREČNOG PRESJEKA GERBEROVOG NOSAČA

Načinović, Thomas

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Karlovac University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:746145>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2023-02-13**



VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
Karlovac University of Applied Sciences

Repository / Repozitorij:

[Repository of Karlovac University of Applied Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
STROJARSKI ODJEL
STRUČNI STUDIJ MEHATRONIKE

THOMAS NAČINOVIĆ

**DIMENZIONIRANJE I OPTIMIZACIJA
POPREČNOG PRESJEKA GERBEROVOG
NOSAČA**

ZAVRŠNI RAD

Karlovac, 2021. godina.

Karlovac University of Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Professional study of Mechatronics

THOMAS NAČINOVIĆ

**DIMENSIONING AND OPTIMIZATION OF
GERBER BEAM CROSS-SECTION**

FINAL PAPER

Karlovac, 2021. godina.

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
STROJARSKI ODJEL
STRUČNI STUDIJ MEHATRONIKE

THOMAS NAČINOVIĆ

**DIMENZIONIRANJE I OPTIMIZACIJA
POPREČNOG PRESJEKA GERBEROVOG
NOSAČA**

ZAVRŠNI RAD

Mentor:
Nenad Lorković dipl.ing.

Karlovac, 2021. godina.

Izjavljujem da sam završni rad napisao samostalno koristeći se stečenim znanjem tijekom obrazovanja na Veleučilištu u Karlovcu, stručnom literaturom i internetom.

Zahvaljujem se svom profesoru i mentoru dipl.ing. Nenadu Lorkoviću na strpljenju, korisnim savjetima i pruženoj pomoći tijekom izrade završnog rada.

Posebno se zahvaljujem svojoj obitelji koja mi je bila najveća potpora, te prijateljima koji su mi uljepšali studiranje.

Thomas Načinović

SAŽETAK

Tema završnog rada je dimenzioniranje i optimizacija poprečnog presjeka Gerberovog nosača. Primjenom stečenog znanja iz Mehanike i Nauke o čvrstoći u uvodnom dijelu su opisane teoretske osnove i principi proračuna punih ravnih nosača i Gerberovih nosača.

Za zadano opterećenje Gerberovog nosača su izračunate reakcije u osloncima i u Gerberovom zglobu.

Metodom presjeka izračunate su vrijednosti normalnih i poprečnih sila, te momenata savijanja u karakterističnim točkama nosača, te su zatim nacrtani N, Q i M dijagrami.

Prema rezultatima za momente savijanja dimenzioniran je poprečni presjek nosača koristeći metode i teoretske osnove Nauke o čvrstoći.

Poprečni presjek je optimiran za dijelove nosača između točaka A-B, B-G i G-H, tako da su odabrani čelični profili standardnih dimenzija prema kriteriju najmanje cijene i mase.

Za izračunate reakcije napravljen je pojednostavljeni proračun svornjaka koji ostvaruju zglobni spoj oslonaca i grede.

Ključne riječi: Gerberov nosač, unutrašnje veličine, poprečni presjek, dimenzioniranje, optimiranje

SUMMARY

The topic of this final paper is dimensioning and optimization of the cross-section of the Gerber's carrier. By applying the knowledge that I acquired during my studies in the area of mechanics and the science in the area of strength of various materials in the introduction I described the theoretical fundamentals and principles of the full flat carriers and Gerber's carriers.

Reactions in the supports and in the Gerber joint were calculated for the given load of the Gerber support.

The values of normal and transverse forces, as well as bending moments at the characteristic points of the girder were calculated by the cross - section method, and then N, Q and M diagrams were drawn.

According to the results for bending moments, the cross section of the carrier was dimensioned using the methods and theoretical foundations of the Science of various materials strength.

The cross-section is optimized for the girder parts between points A-B, B-G and G-H, so that standard dimension steel profiles are selected according to the criterion of minimum price and mass.

The calculated reaction was made by a simplified calculation of the stem bolts having an articulated link between the supports and the beam.

Keywords: Gerber carriers, internal size, cross-section, dimensioning, optimization

SADRŽAJ

| | |
|--|----|
| SADRŽAJ | I |
| POPIS SLIKA | II |
| POPIS TABLICA | IV |
| POPIS OZNAKA | V |
| 1. UVOD | 1 |
| 1.1. Općenito o punim ravnim nosačima..... | 2 |
| 1.1.1. Vrste nosača i načina opterećenja | 2 |
| 1.1.2. Konvencija o koordinatnom sustavu i predznacima unutrašnjih veličina..... | 3 |
| 1.1.3. Postupak pri rješavanju punih ravnih nosača..... | 6 |
| 1.2. Općenito o složenim (Gerberovim) nosačima | 7 |
| 1.3. Općenito o Nauci o čvrstoći..... | 8 |
| 1.3.1. Zadatak Nauke o čvrstoći | 9 |
| 1.3.2. Vrste opterećenja..... | 9 |
| 1.3.3. Općenito o naprezanju..... | 12 |
| 1.3.4. Veza između naprezanja i deformacija | 13 |
| 1.3.5. Hookov zakon, modul elastičnosti, modul smicanja i Poissonov koeficijent..... | 14 |
| 1.3.6. Dopušteno i proračunsko naprezanje, faktor sigurnosti | 15 |
| 1.3.7. Proračun čvrstoće pri savijanju grede | 17 |
| 2. PRORAČUN GERBEROVOG NOSAČA..... | 18 |
| 2.1. Određivanje reakcija u osloncima i u Gerberovom nosaču | 19 |
| 2.2. Izračunavanje vrijednosti uzdužnih i poprečnih sila, te momenata savijanja | 22 |
| 3. DIMENZIONIRANJE I OPTIMIRANJE POPREČNOG PRESJEKA..... | 35 |
| 3.1. Čelični profili, karakteristike materijala i proračun dopuštenog naprezanja | 35 |
| 3.2. Proračun čvrstoće i odabir profila..... | 36 |
| 4. DIMENZIONIRANJE SVORNJAKA ZGLOBNIH OSOLONACA..... | 43 |
| 4.1. Općenito o svornjacima..... | 43 |
| 4.2. Proračun i dimenzioniranje svornjaka | 45 |
| 5. ZAKLJUČAK | 48 |
| POPIS PRILOGA | 49 |
| LITERATURA..... | 50 |

POPIS SLIKA

| | |
|---|----|
| Slika 1. Čelični most Forth Bridge [3] | 1 |
| Slika 2. Različiti načini oslanjanja nosača [4] | 2 |
| Slika 3. Različiti načini opterećenja punog ravnog nosača [5] | 3 |
| Slika 4. Koordinatni sustav kod ravninskih linijskih nosača [4] | 3 |
| Slika 5. Pozitivan poprečni presjek..... | 4 |
| Slika 6. Negativan poprečni presjek | 5 |
| Slika 7. Pozitivni smjerovi unutrašnjih sila na pozitivnom presjeku | 5 |
| Slika 8. Pozitivni smjerovi unutrašnjih sila na negativnom presjeku | 6 |
| Slika 9. Puni ravni nosač oslonjen na tri oslonca [5] | 7 |
| Slika 10. Dijelovi nosača s ucrtanim reakcijama u osloncima i Gerberovom zglobu [5]... 8 | |
| Slika 11. Prikaz osnog ili aksijalnog opterećenja [8]..... | 10 |
| Slika 12. Prikaz smicanja ili odreza [8] | 10 |
| Slika 13. Prikaz savijanja ili fleksije [8] | 10 |
| Slika 14. Prikaz uvijanja ili torzije [8] | 11 |
| Slika 15. Prikaz izvijanja [8]..... | 11 |
| Slika 16. Osnovne vrste dijagrama rastezanja [7] | 13 |
| Slika 17. Ilustracija Hookeova zakona [7]..... | 14 |
| Slika 18. Gerberov nosač..... | 18 |
| Slika 19. Lijevi dio Gerberovog nosača | 19 |
| Slika 20. Desni dio Gerberovog nosača | 20 |
| Slika 21. Presjeci u neovisnim područjima za određivanje unutrašnjih sila | 22 |
| Slika 22. Presjek A-B zadanog nosača | 23 |
| Slika 23. Presjek A-B zadanog nosača u kojoj moment savijanja ima ekstremnu vrijednost..... | 25 |
| Slika 24. Presjek B-C zadanog nosača | 26 |
| Slika 25. Presjek C-D zadanog nosača | 27 |
| Slika 26. Presjek D-G zadanog nosača..... | 28 |
| Slika 27. Presjek E-G zadanog nosača | 29 |
| Slika 28. Presjek F-E zadanog nosača..... | 30 |

| | |
|--|----|
| Slika 29. Presjek H-F zadanog nosača | 32 |
| Slika 30. Dijagrami unutrašnjih sila za zadani nosač..... | 34 |
| Slika 31. IPE profil | 35 |
| Slika 32. HE profil..... | 35 |
| Slika 33. Nosač s prikazom presjeka..... | 41 |
| Slika 34. A-A Presjek za IPE160 materijal S355JR | 41 |
| Slika 35. B-B Presjek za IPE180 materijal S355JR | 42 |
| Slika 36. C-C Presjek za IPE180 materijal S355JR..... | 42 |
| Slika 37. Oblici svornjaka : a) Svornjak bez glave: b) Svornjak bez glave s rupama za rascjepke; c) Svornjak s glavom i rupom za rascjepku; d) Svornjak s glavom i navojem [14]..... | 43 |
| Slika 38. Opterećenja u spoju strojnih dijelova svornjaka [14]..... | 44 |

POPIS TABLICA

| | |
|---|----|
| Tablica 1. Podaci za odabir profila za A-B dio nosača | 40 |
| Tablica 2. Podaci za odabir profila za B-G dio nosača | 40 |
| Tablica 3. Podaci za odabir profila za G-H dio nosača..... | 40 |

POPIS OZNAKA

| Oznaka | Mjerna jedinica | Opis |
|-----------------|-------------------|--|
| a | m | Duljina |
| F | kN | Vanjsko opterećenje, sila reakcije u osloncu |
| M | kNm | Vanjski moment |
| M_y | kNm | Unutrašnji moment |
| M_{yMAX} | kNm | Maksimalni unutrašnji moment |
| M_{smax} | kNm | Maksimalni moment savijanja svornjaka |
| N | kN | Unutrašnje sila (uzdužna) |
| Q | kN | Unutrašnje sila (poprečna) |
| R | kN | Reakcija |
| q | kN/m | Kontinuirano opterećenje |
| F_n | kN | Normalna komponenta |
| F_t | kN | Tangencijalna komponenta |
| A | mm ² | Površina |
| σ | N/mm ² | Normalno naprezanje |
| σ_t | N/mm ² | Tlačno naprezanje |
| σ_{dop} | N/mm ² | Dopušteno normalno naprezanje |
| σ_s | N/mm ² | Naprezanje na savijanje u svornjaku |
| σ_{sdop} | N/mm ² | Dopušteno naprezanje na savijanje materijala svornjaka |
| τ | N/mm ² | Tangencijalno naprezanje |
| τ_s | N/mm ² | Naprezanje na smik u svornjaku |
| τ_{sdop} | N/mm ² | Dopušteno naprezanje na smik materijala svornjaka |
| l | mm | Duljina |
| Δl | mm | Apsolutno dužinska deformacija |

| | | |
|-----------------|-------------------|---|
| d | mm | Promjer |
| Δd | mm | Relativno skraćenje promjera |
| ε | / | Prosječna uzdužna deformacija |
| ε_q | / | Prosječna poprečna deformacija |
| E | Pa | Youngov modul elastičnosti |
| ν | / | Poissonov koeficijent |
| G | N/mm ² | Modul smicanja |
| γ | rad, ° | Kutna deformacija |
| p | N/m ² | Tlak |
| K | Pa | Volumenski modul elastičnosti |
| R_e | N/mm ² | Granice tečenja |
| R_m | N/mm ² | Vlačna čvrstoća |
| S | / | Faktor sigurnosti |
| W_y | mm ³ | Moment otpora |
| I_y | mm ⁴ | Moment tromosti |
| z_{MAX} | mm | Udaljenost krajnjeg vlakna od neutralne osi |

1. UVOD

Nosač je naziv za svako tijelo vezano za nepokretnu ravninu i opterećeno silama. Veza može biti pomični ili nepomični oslonac ili uklještenje. Sva su tijela, konstrukcije i njihovi elementi realna tijela. Ona su dakle čvrsta tijela – deformabilna tijela. Budući da se u statici bavimo samo određivanjem uvjeta ravnoteže i nepoznatih sila, to se bavimo samo krutim (nedeformabilnim) tijelima jer nam zato nisu potrebne deformacije.

Mi određujemo dijagrame unutrašnjih sila s nosačima zbog djelovanja vanjskih aktivnih i reaktivnih sila, a ove unutrašnje sile posljedica su deformiranja zbog spomenutih vanjskih sila, no u ovom trenutku prešutno prelazimo preko toga. [1]

Jedan od najvažnijih gradbenih elemenata u strojarstvu i građevinarstvu je svakako greda. Pod ovim se pojmom podrazumijeva takav nosač koji jednu dimenziju ima izrazito veću (duljina, smjer osi X) u odnosu na ostale dvije (visina u smjeru osi Z i širina u smjeru osi Y). Ova uzdužna os grede može biti pravac ili je dio neke krivulje pa je zakrivljena. [2]



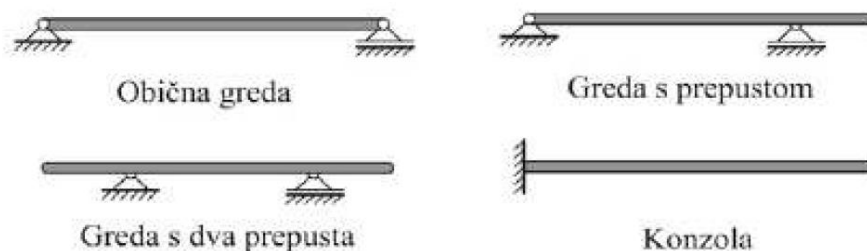
Slika 1. Čelični most Forth Bridge [3]

1.1. Općenito o punim ravnim nosačima

1.1.1. Vrste nosača i načina opterećenja

Greda ili puni ravni nosač je jedna od najvažnijih konstrukcijskih elemenata u strojarstvu i građevinarstvu. Pod nosačem se podrazumijeva konstrukcija čija je jedna dimenzija (duljina) mnogo veća od ostale dvije (širina i visina). [2]

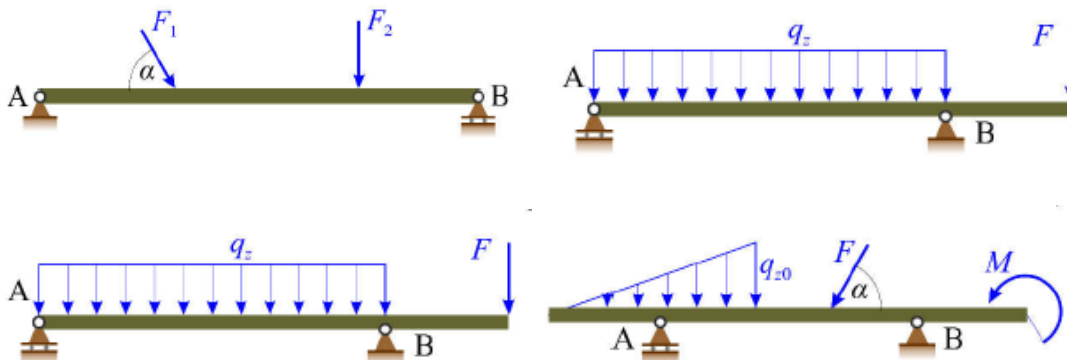
Oslanjanje nosača se može izvršiti na različite načine koji su prikazani na slici 1.



Slika 2. Različiti načini oslanjanja nosača [4]

S obzirom na vrstu sustava sila koji na njih djeluje, nosači mogu biti ravninski i prostorni. Nosač je ravninski ako os nosača i sve sile (tj. opterećenje nosača), bila ona koncentrirana ili kontinuirana, leže u istoj ravnini.

Kod ravninskih nosača koncentrirano opterećenje može djelovati pod nekim kutom ili okomito na os, a dok kod kontinuiranog opterećenja intenzitet može biti promjenjiv ili konstantan. Također, nosači mogu biti opterećeni i momentima savijanja i uvijanja.

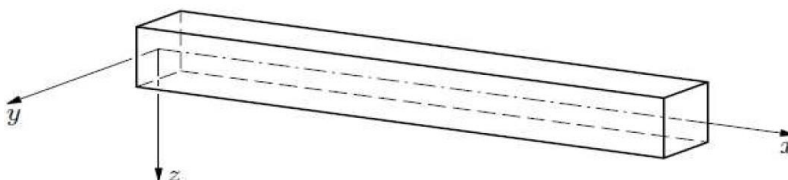


Slika 3. Različiti načini opterećenja punog ravnog nosača [5]

1.1.2. Konvencija o koordinatnom sustavu i predznacima unutrašnjih veličina

Radi jednoznačnosti u rješavanju zadataka s nosačima uveden je dogovor koji se odnosi na koordinatni sustav, te predznake i smjerove unutrašnjih veličina nosača. [6]

Koordinatni sustav je prikazan na slici 4. Os X poklapa se s uzdužnom osi nosača, dok os Z je usmjerena prema dolje, a os Y ima smjer kojim dobivamo desnokretni kartezijski koordinatni sustav. [4]



Slika 4. Koordinatni sustav kod ravninskih linijskih nosača [4]

U presjeku nosača pojavit će se unutrašnje sile pod djelovanjem vanjskih aktivnih sila, te kao posljedica načina oslanjanja, tj. reaktivnih sila.

Intenzitet i raspodjela unutrašnjih sila se izračunavaju kako bi se odabrale odgovarajuće dimenzije poprečnog presjeka nosača. [5]

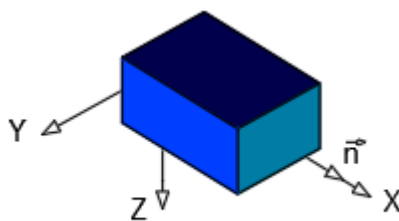
Unutrašnje sile u presjeku nosača su:

- uzdužna sila koju označavamo s N_x , a čiji se pravac djelovanja poklapa s osi nosača
- poprečna sila se označava s oznakom Q_z i okomita je na uzdužnu os nosača
- moment savijanja koji djeluje oko osi Y, a označavamo ga sa M_y .

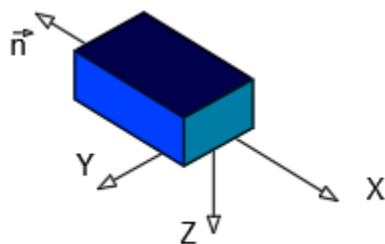
Kako je već prije navedeno, uveden je dogovor o predznacima i pozitivnim smjerovima unutrašnjih veličina. [5] [6]

Ako na nosaču napravimo presjek na određenoj udaljenosti X od lijevog kraja nosača, razlikujemo pozitivan i negativan poprečni presjek.

Poprečni presjek je pozitivan ako se smjer vanjske normale na presjek poklapa s pozitivnim smjerom osi X (slika 5.), a negativan ako vanjska normala ima suprotan smjer od pozitivnog dijela osi X kao što je prikazano na slici 6. [5]



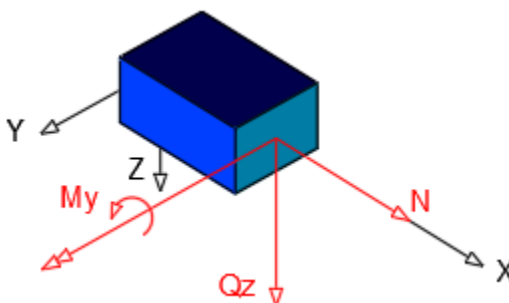
Slika 5. Pozitivan poprečni presjek



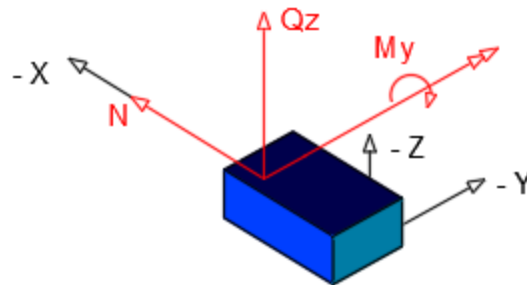
Slika 6. Negativan poprečni presjek

Na temelju pozitivnog i negativnog poprečnog presjeka određujemo predznake unutrašnjih sila.

Tako će na pozitivnom poprečnom presjeku unutrašnje sile biti pozitivne ako im se smjerovi poklapaju s pozitivnim dijelovima koordinatnih osi (slika 7.), a na negativnom poprečnom presjeku bit će pozitivne ako imaju smjerove suprotne smjerovima pozitivnih dijelova koordinatnih osi (slika 8.).



Slika 7. Pozitivni smjerovi unutrašnjih sila na pozitivnom presjeku



Slika 8. Pozitivni smjerovi unutrašnjih sila na negativnom presjeku

1.1.3. Postupak pri rješavanju punih ravnih nosača

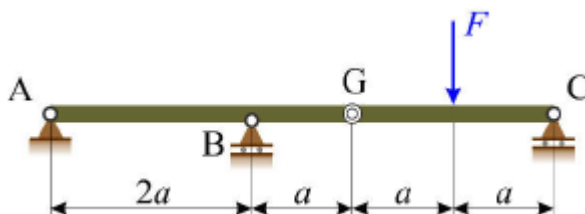
Pri rješavanju punih ravnih nosača postupak je sljedeći: [2] [6]

- nosač moramo osloboditi od veza da bi na temelju vanjskog opterećenja i geometrije nosača koje nam je zadano odredili reakcije veza
- odredimo broj nezavisnih područja nosača pa za svako područje postavljamo jednadžbe ravnoteže za izračunavanje unutrašnjih sila
- prema postavljenim jednadžbama ravnoteže izračunavamo vrijednosti unutrašnjih sila i momenata u pojedinim točkama nosača
- posljednje crtamo i kotiramo dijagrame unutrašnjih sila i momenata [5]
- prema najvećim (maksimalnim) vrijednostima za momente savijanja pristupamo dimenzioniranju i optimiranju poprečnog presjeka nosača [7]

1.2. Općenito o složenim (Gerberovim) nosačima

Puni ravni nosač, opisan u prethodnom poglavlju, je statički određen jer se nepoznanice (reakcije u osloncima) mogu izračunati iz uvjeta ravnoteže za proizvoljni ravninski sustav sila.

Na slici 9. je kao primjer prikazan nosač oslonjen na tri oslonca, jedan nepomični i dva pomična, te opterećen jednom koncentriranom silom.



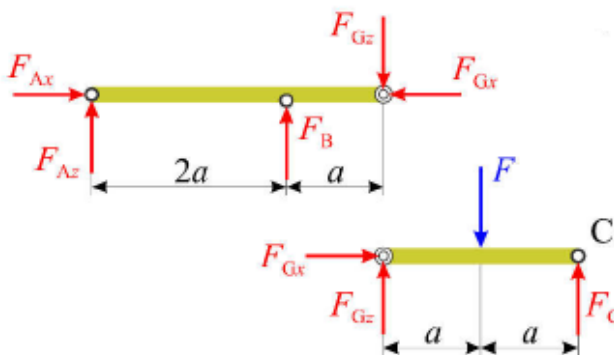
Slika 9. Puni ravni nosač oslonjen na tri oslonca [5]

U tom slučaju broj nepoznanica u osloncima je veći od broja jednadžbi ravnoteže pa je nosač 1x statički neodređen.

Da bi nosač postao statički određen, na nosač se postavlja Gerberov zglob. Gerberov zglob prenosi samo sile (uzdužnu i poprečnu), dok je moment u zglobu jednak nuli. Broj Gerberovih zglobova mora biti jednak broju prekobrojnih reakcija u osloncima, tj. broju statičke neodređenosti nosača. Drugim riječima, ako je nosač "n-puta" statički neodređen, potrebno je "n" Gerberovih zglobova. [2]

Položaj Gerberovog zgloba se odabire tako da se nosač podijeli na dva dijela tako da jedan dio nosača postane statički određen. Podrazumijeva se da dio nosača koji postaje statički određen uključuje i dio vanjskog poznatog opterećenja.

Kako je prikazano na slici 10., Gerberov zglob je postavljen u točki G čime je desni dio nosača postao statički određen. [5] [6]



Slika 10. Dijelovi nosača s ucrtanim reakcijama u osloncima i Gerberovom zglobu [5]

Presijecanjem nosača u točki G, te ucrtavanjem reakcija u osloncu C i Gerberovom zglobu, postavljaju se tri uvjeta ravnoteže za desni dio nosača između točaka G i C.

Rješavanjem tih uvjeta ravnoteže dobiju se rješenja za nepoznate reakcije u osloncu C i zglobu G.

Uz poznate reakcije u zglobu G, lijevi dio nosača postaje statički određen, te se postavljaju tri uvjeta ravnoteže iz kojih dobijemo rješenja za nepoznate reakcije u osloncima A i B.

Za određivanje unutrašnjih sila i momenata, te crtanje dijagrama primjenjuje se postupak koji vrijedi za statički određene nosače, a opisan u poglavlju 1.1.

1.3. Općenito o Nauci o čvrstoći

Nauka o čvrstoći je tehnička disciplina koja proučava ravnotežu između vanjskih i unutrašnjih sila u materijalu te deformacije materijala koje pri tome mogu nastati.

Nauka o čvrstoći materijala omogućuje da u skladu s namjenom, uvjetima i veličinom opterećenja neke konstrukcije, odredimo najpovoljniji oblik i dimenzije elemenata konstrukcije.

1.3.1. Zadatak Nauke o čvrstoći

Tri su osnovna zadatka Nauke o čvrstoći: [7]

- **1. zadatak:** Zadani su oblik, opterećenje i materijal konstrukcije, a potrebno je odrediti dimenzije konstrukcijskih elemenata.
- **2. zadatak:** Zadani su oblik, dimenzije i opterećenje konstrukcije, a potrebno je odrediti materijal konstrukcijskih elemenata.
- **3. zadatak:** Zadani su oblik, dimenzije i materijal, a potrebno je odrediti dopušteno opterećenje konstrukcije.

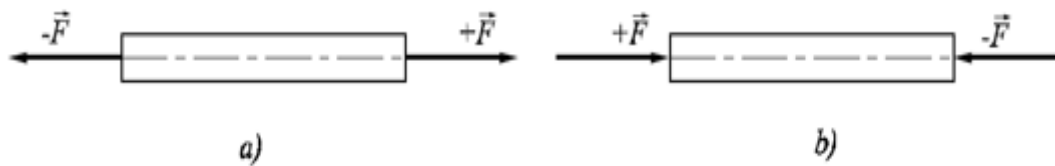
Prvi zadatak se naziva dimenzioniranje, vrši se pri izvođenju novih konstrukcija. U drugom se vrši provjera deformacija za poznato opterećenje, a treći zadatak se odnosi na konstrukciju kojoj želimo promijeniti namjenu, pa je potrebno provjeriti dopuštena naprezanja materijala za nova naprezanja. [8]

1.3.2. Vrste opterećenja

Nauka o čvrstoći bavi se proučavanjem promjene deformacije tijela pri određenom opterećenju. Kako će se tijelo ponašati prilikom opterećenja ovisi o njegovoj vrsti jer neka podnosi lakše, a neka teže. Osnovne vrste opterećenja prikazana su na slikama od 11. do 15., a čine ga:

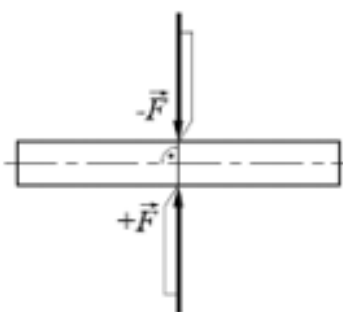
1. Osno ili aksijalno opterećenje, sl. 11

- a) vlak ili rastezanje - Opterećenje (vanjske sile) djeluje u osi i želi rastegnuti štap.
- b) tlak ili sabijanje - Opterećenje također djeluje u osi tijela, ali ga nastoji stlačiti.



Slika 11. Prikaz osnovog ili aksijalnog opterećenja [8]

2. Smicanje ili odrez, sl. 12 - Opterećenje djeluje okomito na uzdužnu os tijela i želi ga prerezati.



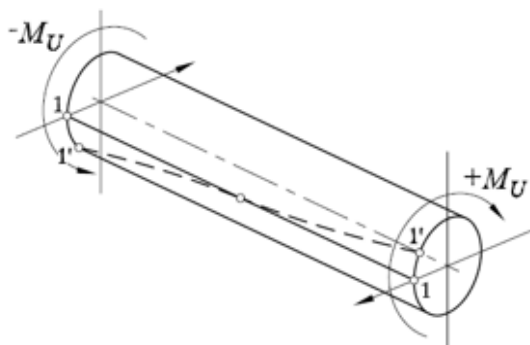
Slika 12. Prikaz smicanja ili odreza [8]

3. Savijanje ili fleksija, sl. 13 - Djeluju li u istoj ravnini na tijelo dva momenta suprotnog smjera, nastaje opterećenje na savijanje ili fleksija.



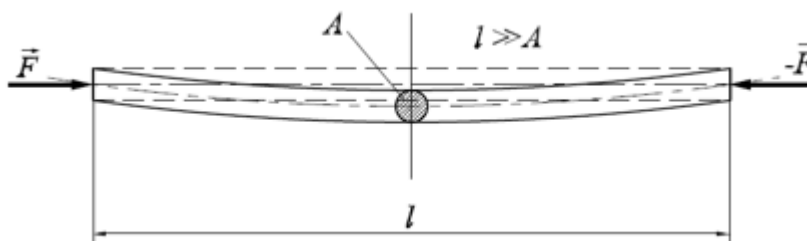
Slika 13. Prikaz savijanja ili fleksije [8]

4. Uvijanje ili torzija, sl. 14 - Djeluju li u ravnini okomitoj na os štapa paralelno razmaknuta dva momenta suprotnih smjerova, nastaje opterećenje na uvijanje ili torzija.



Slika 14. Prikaz uvijanja ili torzije [8]

5. Izvijanje, sl. 15 - U slučaju sabijanja štapa kojemu je dužina l mnogo veća od površine poprečnog presjeka A , on će se izviti, a neće nastupiti tlačno opterećenje. [8]



Slika 15. Prikaz izvijanja [8]

1.3.3. Općenito o naprezanju

Kada na čvrsto tijelo djeluju vanjske sile opterećenja nastaje promjena njegovog oblika tj. ono se deformira, pri čemu se unutar njegove strukture pojavljuju unutrašnje sile, koje će nastojati spriječiti deformaciju.

Ako promatramo presjek tijela unutrašnja sila F može se rastaviti na normalnu komponentu F_n i tangencijalnu komponentu F_t u tom presjeku. Ove unutrašnje sile svedene na jedinicu površine presjeka nazivaju se naprezanja.

Oznake za naprezanje su σ i τ , gdje σ predstavlja normalno naprezanje, a τ tangencijalno naprezanje, te vrijede odnosi

$$\sigma = \frac{F_n}{A}, \tau = \frac{F_t}{A}. \quad [9] \quad (1.1)$$

Ako promatramo naprezanje kao posljedicu opterećenja, tada se aksijalna naprezanja javljaju kod osnih ili aksijalnih opterećenja - rastezanja i sabijanja, pa se za njih rabe izrazi naprezanje na vlak i tlak.

Analogno tome, tangencijalno naprezanje će se javiti kao posljedica opterećenja na smicanje ili odrez. Budući da ovdje naprezanja i opterećenje djeluju okomito na os predmeta, za ovo naprezanje se rabi izraz naprezanje na odrez ili smik. [8]

Kod svih ostalih opterećenja naprezanja na vlak, naprezanja na tlak i naprezanje na odrez mogu se javiti istodobno.

Primjer za to je opterećenje na savijanje ili fleksija. Zbog toga za ostala opterećenja treba rabiti terminologiju: naprezanje pri savijanju, naprezanje pri uvijanju i naprezanje pri izvijanju.

Iz rečenog slijede ove vrste naprezanja:

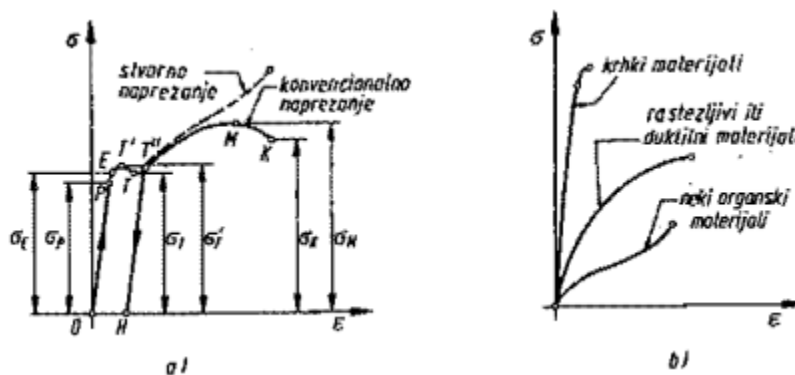
1. naprezanje na vlak (vlačno naprezanje),
2. naprezanje na tlak (tlačno naprezanje),
3. naprezanje na odrez ili smik (smično naprezanje).

1.3.4. Veza između naprezanja i deformacija

Ako neko tijelo opteretimo, u njemu će se pojaviti naprezanje i deformacije. Što je veće opterećenje, bit će veća naprezanja, ali i deformacije. Smanjujemo li naprezanja, smanjit će se i deformacije, pa zaključujemo da su naprezanje i deformacije međusobno ovisni.

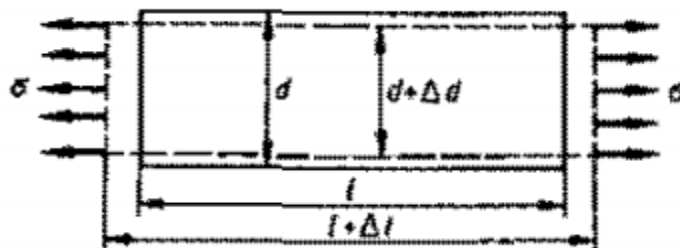
Dijagrami rastezanja raznih materijala vrlo su raznoliki, ali se mogu svrstati u četiri osnovna oblika, od kojih je jedan prikazani na slici 16a, a preostala tri na slici 16b. Kod dijagrama na slici 16b nije izražena granica tečenja σ_t .

Materijali koji pucaju bez pojave većih plastičnih deformacija nazivaju se krhki materijali. Rastezljivi ili duktilni materijali prije loma doživljavaju velike plastične deformacije. Polimerni i neki organski materijali imaju poseban oblik dijagrama rastezanja. Svi ti dijagrami prikazani su na slici 16b. [7]



Slika 16. Osnovne vrste dijagrama rastezanja [7]

1.3.5. Hookov zakon, modul elastičnosti, modul smicanja i Poissonov koeficijent



Slika 17. Ilustracija Hookeova zakona [7]

Na slici 17. prikazan je dio okruglog štapa koji je jednoliko opterećen na rastezanje. Punom crtom prikazan je štap prije opterećenja, a crtkano deformirani štap nakon opterećenja. Početna duljina l povećala se za iznos Δl , a promjer smanjio za iznos Δd . Prema tome je pri rastezanju štapa $\Delta l > 0$, a $\Delta d < 0$.

Prilikom sabijanja imamo obrnutu situaciju: duljina l se smanjuje, a promjer d povećava. Ako s ε označimo prosječnu uzdužnu deformaciju, a s ε_q prosječnu poprečnu deformaciju, možemo pisati:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}, \quad \varepsilon_q = \frac{\Delta d}{d} \quad (1.2)$$

To su ujedno i prave deformacije jer u štapu vlada jednoliko (homogeno) stanje naprezanja, odnosno jednoliko stanje deformacije. Prema dijagramima sa slike 16. vidimo da pri malim deformacijama postoji proporcionalnost između opterećenja i produljenja, odnosno između naprezanja σ i deformacije ε . [7]

Pokusima je također dokazano da postoji proporcionalnost između uzdužne i poprečne deformacije. To možemo matematički izraziti ovako:

$$\sigma = E\varepsilon \quad (1.3)$$

$$\varepsilon_q = -\nu\varepsilon \quad (1.4)$$

Faktori proporcionalnosti E i ν nazivaju se Youngov modul elastičnosti i Poissonov koeficijent. Navedeni izrazi predstavljaju Hookeov zakon jednoosnog stanja napreznja. Kako su ε_q i ε uvijek suprotnog predznaka, Poissonov je koeficijent pozitivan broj. Kod izotropnih je materijala $0 \leq \nu \leq 0,5$. Za većinu metala i metalnih legura je $\nu \approx 0,3$.

Linearnu ovisnost posmičnih napreznja i kutnih deformacija opisuje izraz

$$\tau = G\gamma, \quad (1.5)$$

koji se naziva Hookeov zakon smicanja. Veličina G naziva se Columbov modul, modul smicanja. Ako uzorak materijala opteretimo jednolikim tlakom p u svim smjerovima, promijenit će se njegov volumen. Eksperimenti pokazuju da je obujamna deformacija proporcionalna tlaku p , tj. gdje je K volumenski modul elastičnosti odnosno modul kompresibilnosti ili stlačivosti. [7]

Veličine E, G, ν, K , koje karakteriziraju elastična svojstva tijela nazivaju se konstante elastičnosti. Za elastično tijelo dovoljno je poznavati samo dvije konstantne elastičnosti jer se ostale mogu iz njih izračunati.

1.3.6. Dopušteno i proračunsko napreznje, faktor sigurnosti

Proračunsko napreznje je ono napreznje koje očekujemo da će se pojaviti u strojnom dijelu na temelju proračuna. Proračunsko napreznje vrlo se rijetko podudara sa stvarnim; može biti veće ili manje od stvarnog. Za to postoji više razloga. Često je najveća nepoznanica opterećenje. Sile koje djeluju na pojedine konstrukcije ili njihove dijelove nisu nam poznate. [7]

Druga nesigurnost nastaje pri izboru proračunske sheme koja ne uzima u obzir sve detalje realne konstrukcije.

Treći uzrok leži u netočnosti izraza Nauke o čvrstoći. Osim toga u konstrukciji mogu postojati početna, montažna ili toplinska naprezanja koja su nam nepoznata. Zbog svega ovog proračunsko naprezanje samo je procjena stvarnog naprezanja.

Stvarno naprezanje očito mora biti manje od čvrstoće materijala, inače bi došlo do loma konstrukcije. Međutim, vrlo često ne smije se dopustiti pojava ni najmanjih plastičnih deformacija. Točnost izrade pojedinih strojnih dijelova izražava se u desetinkama ili stotinkama milimetra.

Takva točnosti bila bi nepotrebna ako bismo dopustili da se pojavom plastičnih deformacija strojni dio plastično deformira ma i za desetinku milimetra. [7]

Prema tome, moramo biti sigurni da je stvarno naprezanje manje od granice tečenja kod rastezljivih materijala, odnosno znatno manje od čvrstoće kod krhkih materijala.

Kako stvarno naprezanje može biti veće od proračunskog, moramo osigurati da maksimalno proračunsko naprezanje bude manje od dopuštenog naprezanja σ_{dop} koje je za krhke materijale definirano izrazom:

$$\sigma_{dop} = \frac{R_m}{S}. \quad (1.6)$$

Kod rastezljivih materijala dopušteno naprezanje je:

$$\sigma_{dop} = \frac{R_e}{S} \quad (1.7)$$

gdje je R_m vlačna (tlačna) čvrstoća, R_e granica tečenja, a S faktor sigurnosti. Faktor sigurnosti uvijek je veći od jedan. Najčešće je $1,5 \leq S \leq 2,5$, ali može biti i znatno veći. [7]

1.3.7. Proračun čvrstoće pri savijanju grede

U općem slučaju savijanja grede pojavljuju se normalna i posmična naprezanje međutim, za uobičajene raspone i oblike poprečnog presjeka normalna su naprezanja mnogo veća od posmičnih, pa se proračun čvrstoće izvodi prema najvećem normalnom naprezanju.

U prilog tome je i činjenica da posmično naprezanje iščezava tamo gdje je normalno naprezanje najveće, tj. u krajnjim vlaknima poprečnog presjeka. Prema tome, uvjet čvrstoće pri savijanju glasi:

$$\sigma_{x \max} = \frac{M_{y \max}}{I_y} z_{\max} = \frac{M_{y \max}}{W_y} \leq \sigma_{dop} \quad (1.8)$$

gdje je $W_y = I_y / z_{\max}$ aksijalni moment otpora, z_{\max} udaljenost krajnjeg vlakna od neutralne osi i σ_{dop} dopušteno normalno naprezanje. [7]

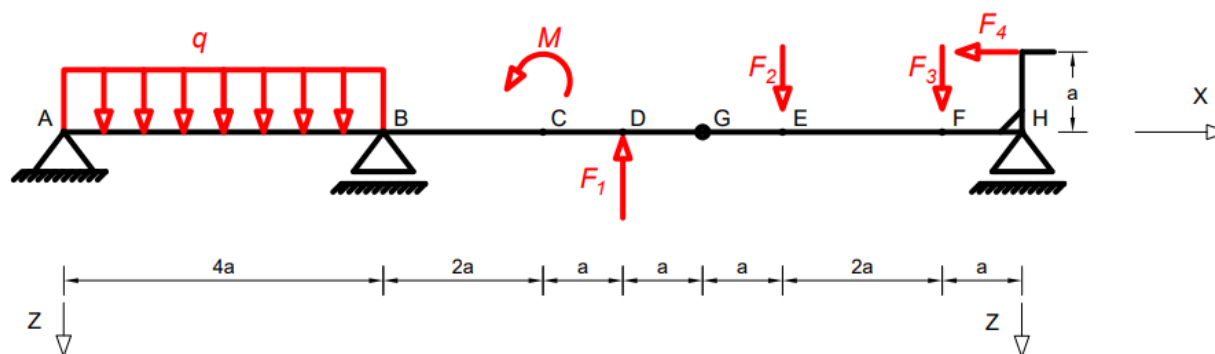
Ovdje smo pretpostavili da materijal grede ima jednaku vlačnu i tlačnu čvrstoću. Da bi bio ispunjen uvjet čvrstoće, oblik i dimenzije poprečnog presjeka grede moraju biti

tako odabrani da je:

$$W_y \geq \frac{M_{y \max}}{\sigma_{dop}}. \quad (1.9)$$

2. Proračun Gerberovog nosača

Za prikaz metoda proračuna navedenih u uvodnom dijelu, uzet je Gerberov nosač prikazan (slikom 18.).



Slika 18. Gerberov nosač

U zadatku je potrebno sljedeće:

- Za zadano opterećenje Gerberovog nosača potrebno je izračunati reakcije u osloncima i u Gerberovom zglobu
- Metodom presjeka izračunati vrijednosti normalnih i poprečnih sila, te momenata savijanja u karakterističnim točkama nosača
- Nacrtati N, Q i M dijagrame

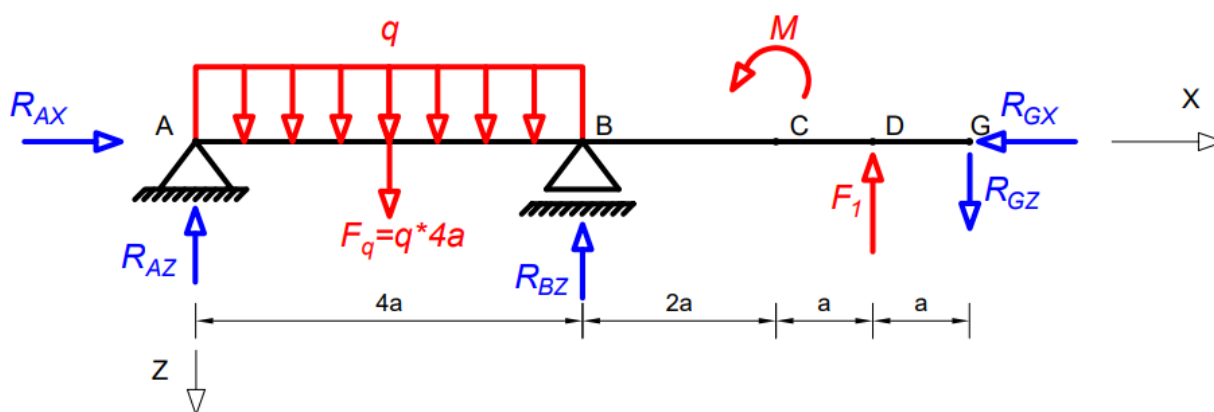
Zadano : $F_1 = 15 \text{ kN}$, $F_2 = 15 \text{ kN}$, $F_3 = 20 \text{ kN}$, $F_4 = 20 \text{ kN}$, $M = 20 \text{ kNm}$, $q = 12 \text{ kN/m}$,
 $a = 1 \text{ m}$

2.1. Određivanje reakcija u osloncima i u Gerberovom nosaču

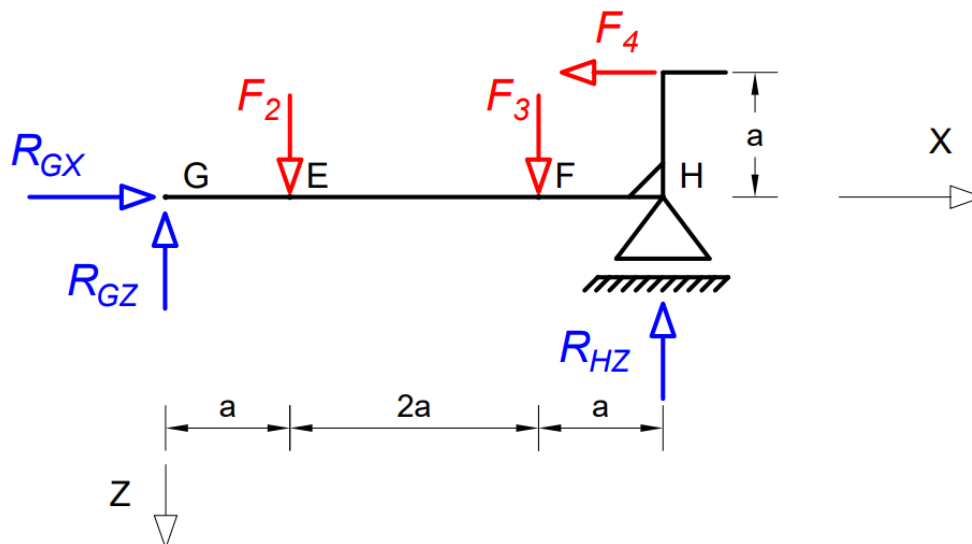
Za određivanje reakcija i unutrašnjih sila promatramo ravnotežu desnog dijela nosača, a zatim poznavajući reakcije u Gerberu promatramo ravnotežu lijevog dijela. Prilikom rastavljanja nosača na dva dijela moramo uzeti u obzir reakcije u Gerberu, koje predstavljaju utjecaj odstranjenog dijela na promatrani dio (npr. utjecaj lijevog dijela na desni dio i obrnuto).

Utjecaj desnog dijela na lijevi dio je jednakog intenziteta, ali i suprotnog smjera od utjecaja lijevog dijela na desnog. Reakcije u Gerberu su označene kao (R_{Gx} i R_{Gz}), a unutrašnjeg momenta u Gerberu nema jer zglob ne prenosi moment savijanja (slika 19. i 20.).

Za potrebe izračunavanja reakcija u osloncima, a kasnije i unutrašnjih veličina, kontinuirano opterećenje q uvijek se zamjenjuje fiktivnom koncentriranom silom F_q .



Slika 19. Lijevi dio Gerberovog nosača



Slika 20. Desni dio Gerberovog nosača

a) Izračunavanje desnog dijela nosača

- Određivanje reakcije R_{Hz} :

$$\sum M_G = 0 \rightarrow -R_{Hz} \cdot 4a - F_4 \cdot a + F_3 \cdot 3a + F_2 \cdot a = 0. \quad (2.1)$$

$$R_{Hz} = \frac{-F_4 \cdot a + F_3 \cdot 3a + F_2 \cdot a}{4a} = 13,75 \text{ kN}. \quad (2.2)$$

- Određivanje unutrašnjih sila u Gerberovom zglobu:

$$\sum F_z = 0 \rightarrow -R_{Gz} + F_2 + F_3 - R_{Hz} = 0. \quad (2.3)$$

$$R_{Gz} = F_2 + F_3 - R_{Hz} = 21,25 \text{ kN}. \quad (2.4)$$

$$\sum F_x = 0 \rightarrow R_{Gx} - F_4 = 0. \quad (2.5)$$

$$R_{Gx} = F_4 = 20 \text{ kN}. \quad (2.6)$$

b) Izračunavanje lijevog dijela nosača

- Određivanje reakcija R_{Bz} , R_{Az} i R_{Ax} :

$$F_q = q \cdot 4a = 48 \text{ N.} \quad (2.7)$$

$$\sum M_A = 0 \rightarrow R_{Gz} \cdot 8a - F_1 \cdot 7a - M + F_q \cdot 2a - R_{Bz} \cdot 4a = 0. \quad (2.8)$$

$$R_{Bz} = \frac{R_{Gz} \cdot 8a - F_1 \cdot 7a - M + F_q \cdot 2a}{4a} = 35,25 \text{ kN.} \quad (2.9)$$

$$\sum F_z = 0 \rightarrow -R_{Az} + F_q - R_{Bz} - F_1 + R_{Gz} = 0. \quad (2.10)$$

$$R_{Az} = F_q - R_{Bz} - F_1 + R_{Gz} = 19 \text{ kN.} \quad (2.11)$$

$$\sum F_x = 0 \rightarrow R_{Ax} - R_{Gx} = 0. \quad (2.12)$$

$$R_{Ax} = R_{Gx} = 20 \text{ kN.} \quad (2.13)$$

2.2. Izračunavanje vrijednosti uzdužnih i poprečnih sila, te momenata savijanja

U svrhu određivanja unutrašnjih sila greda će se promatrati po određenim područjima te se analizirati ravnoteža unutrašnjih sila, vanjskog opterećenja i reakcija za određeno područje (slika 21.).

I. područje: između točaka A i B $\rightarrow 0 \leq x_1 \leq 4a$

II. područje: između točaka B i C $\rightarrow 0 \leq x_2 \leq 2a$

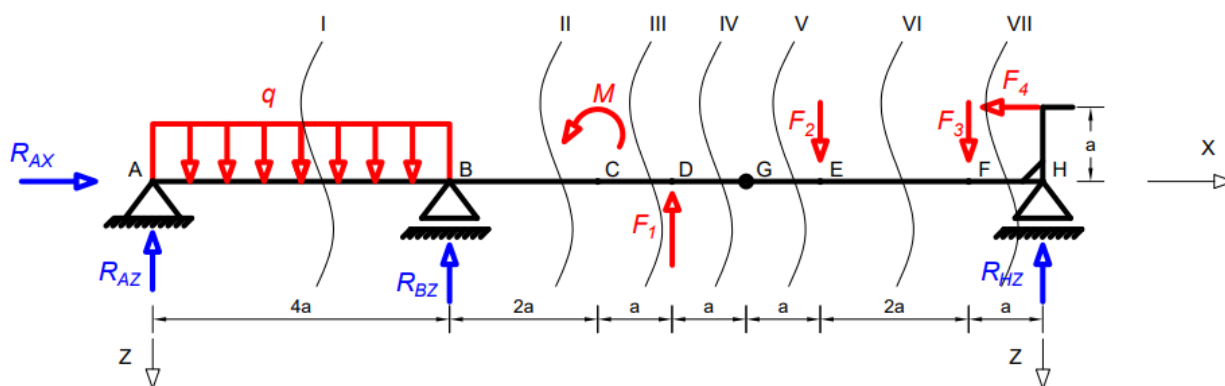
III. područje: između točaka C i D $\rightarrow 0 \leq x_3 \leq a$

IV. područje: između točaka D i G $\rightarrow 0 \leq x_4 \leq a$

V. područje: između točaka E i G $\rightarrow 0 \leq x_5 \leq a$

VI. područje: između točaka F i E $\rightarrow 0 \leq x_6 \leq 2a$

VII. područje: između točaka H i F $\rightarrow 0 \leq x_7 \leq a$



Slika 21. Presjeci u neovisnim područjima za određivanje unutrašnjih sila

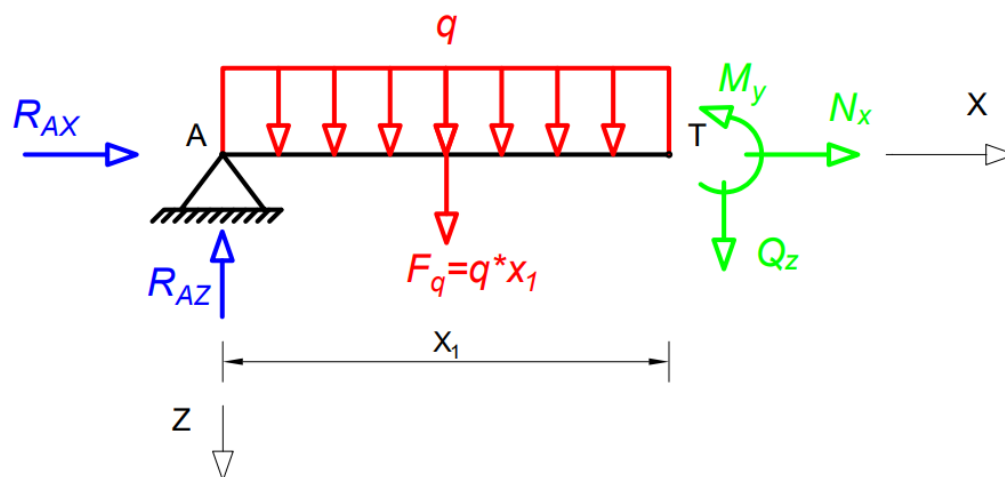
Tako će se odrediti zakonitosti promjene unutrašnjih sila u tim promatranim područjima a izračunate vrijednosti grafički će se unositi u dijagrame.

Pri određivanju unutrašnjih sila smjerovi se pretpostavljaju da djeluju u pozitivnom smjeru držeći se konvencije o predznaku unutrašnjih sila.

Za područja od I. do IV. će se za postavljanje uvjeta ravnoteže promatrati dijelove nosača lijevo od presjeka, a za ostala područja od V. do VII. dijelove nosača desno od presjeka.

a) Određivanje unutrašnjih sila metodom presjeka

I.područje: između točaka A i B $\rightarrow 0 \leq x_1 \leq 4a$



Slika 22. Presjek A-B zadanog nosača

Za dio nosača koji je prikazan na (slici 22.) postavljene su jednačbe ravnoteže iz kojih se izračunava tražene vrijednosti za unutrašnje veličine.

- za uzdužne sile N_x :

$$\sum F_x = 0 \rightarrow R_{Ax} + N_x = 0. \quad (2.2.1)$$

$$N_x = -R_{Ax} = -20 \text{ kN}. \quad (2.2.2)$$

- za poprečne sile Q_z :

$$\sum F_z = 0 \rightarrow -R_{Az} + q \cdot x_1 + Q_z = 0. \quad (2.2.3)$$

$$Q_z = R_{Az} - q \cdot x_1. \quad (\text{jednadžba pravca}) \quad (2.2.4)$$

$$\text{za } x_1 = 0 (\text{točka A}) \rightarrow Q_z = Q_A = 19 \text{ kN}. \quad (2.2.5)$$

$$\text{za } x_1 = 4a (\text{točka B}) \rightarrow Q_z = Q_B^L = -29 \text{ kN}. \quad (2.2.6)$$

- za momente savijanja M_y :

$$\sum M_{yT} = 0 \rightarrow R_{Az} \cdot x_1 - q \cdot x_1 \cdot \frac{x_1}{2} - M_y = 0. \quad (2.2.7)$$

$$M_y = R_{Az} \cdot x_1 - q \cdot x_1 \cdot \frac{x_1}{2}. \quad (\text{jednadžba parabole}) \quad (2.2.8)$$

$$\text{za } x_1 = 0 (\text{točka A}) \rightarrow M_y = M_A = 0 \text{ kNm}. \quad (2.2.9)$$

$$\text{za } x_1 = 4a (\text{točka B}) \rightarrow M_y = M_B^L = -20 \text{ kNm}. \quad (2.2.10)$$

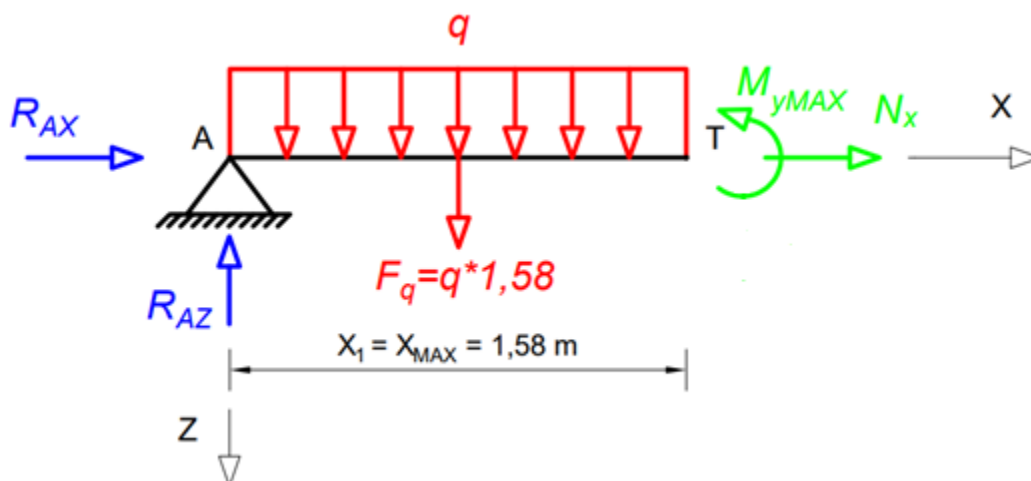
Budući da je poprečna sila derivacija momenta savijanja, moment savijanja postići će ekstremnu vrijednost tamo gdje je vrijednost poprečne sile jednaka nuli. Izraz za poprečnu silu izjednačit će se s nulom te dobiti x_{MAX} , tj. onu vrijednost varijable x za koju će se imati ekstremni moment savijanja.

x_1 nađemo iz uvjeta (2.2.4) da je $Q_z = 0$:

$$R_{Az} - q \cdot x_1 = 0 \rightarrow R_{Az} = q \cdot x_1 \rightarrow x_1 = \frac{R_{Az}}{q} . \quad (2.2.11)$$

$$x_1 = x_{MAX} = 1,58 \text{ m} . \quad (2.2.12)$$

Dobivenu vrijednost uvrštava se u izraz za M_{yMAX} (2.2.13), te se dobiva njegoa ekstremna vrijednost. M_{yMAX} računa se zbog potrebe dimenzioniranja grede.

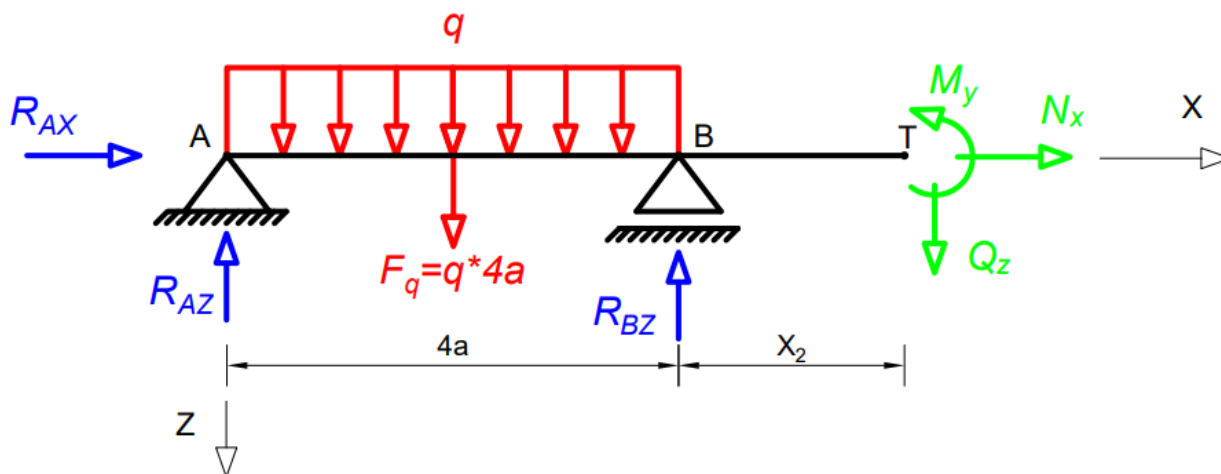


Slika 23. Presjek A-B zadanog nosača u kojoj moment savijanja ima ekstremnu vrijednost

$$M_{yMAX} = R_{Az} \cdot x_{MAX} - q \cdot x_{MAX} \cdot \frac{x_{MAX}}{2} . \quad (2.2.13)$$

$$M_{yMAX} = 15,04 \text{ kNm} . \quad (2.2.14)$$

II. područje: između točaka B i C $\rightarrow 0 \leq x_2 \leq 2a$



Slika 24. Presjek B-C zadanog nosača

Nastavlja se s područjem II, za koje vrijede sljedeće jednadžbe ravnoteže.

- za uzdužne sile N_x :

$$\sum F_x = 0 \rightarrow R_{Ax} + N_x = 0. \quad (2.2.15)$$

$$N_x = -R_{Ax} = -20 \text{ kN}. \quad (2.2.16)$$

- za poprečne sile Q_z :

$$\sum F_z = 0 \rightarrow -R_{Az} + F_q - R_{Bz} + Q_z = 0. \quad (2.2.17)$$

$$Q_z = Q_B^D = R_{Az} - F_q + R_{Bz} = 6,25 \text{ kN}. \quad (2.2.18)$$

- za momente savijanja M_y :

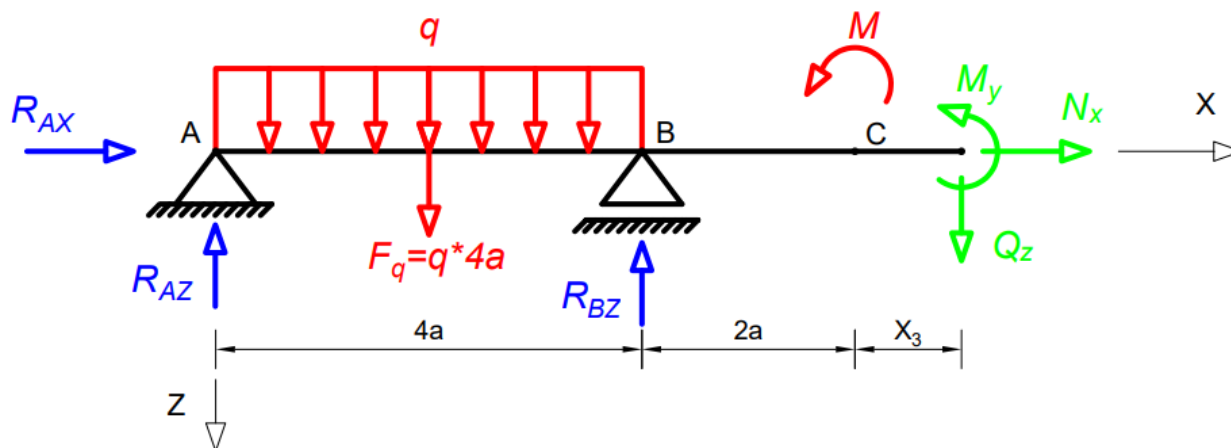
$$\sum M_{yT} = 0 \rightarrow R_{Az} \cdot (4a + x_2) - F_q \cdot (2a + x_2) + R_{Bz} \cdot x_2 - M_y = 0. \quad (2.2.19)$$

$$M_y = R_{Az} \cdot (4a + x_2) - F_q \cdot (2a + x_2) + R_{Bz} \cdot x_2. \quad (\text{jednadžba pravca}) \quad (2.2.20)$$

$$\text{za } x_2 = 0 \text{ (točka B)} \rightarrow M_y = M_B = -20 \text{ kNm} . \quad (2.2.21)$$

$$\text{za } x_2 = 2a \text{ (točka C)} \rightarrow M_y = M_C^L = -7,5 \text{ kNm} . \quad (2.2.22)$$

III. područje: između točaka C i D $\rightarrow 0 \leq x_3 \leq a$



Slika 25. Presjek C-D zadanog nosača

Nastavlja se s područjem III, za koje vrijede sljedeće jednadžbe ravnoteže.

- za uzdužne sile N_x :

$$\sum F_x = 0 \rightarrow R_{Ax} + N_x = 0. \quad (2.2.23)$$

$$N_x = -R_{Ax} = -20 \text{ kN} . \quad (2.2.24)$$

- za poprečne sile Q_z :

$$\sum F_z = 0 \rightarrow -R_{Az} + F_q - R_{Bz} + Q_z = 0. \quad (2.2.25)$$

$$Q_z = Q_D = R_{Az} - F_q + R_{Bz} = 6,25 \text{ kN} . \quad (2.2.26)$$

- za momente savijanja M_y :

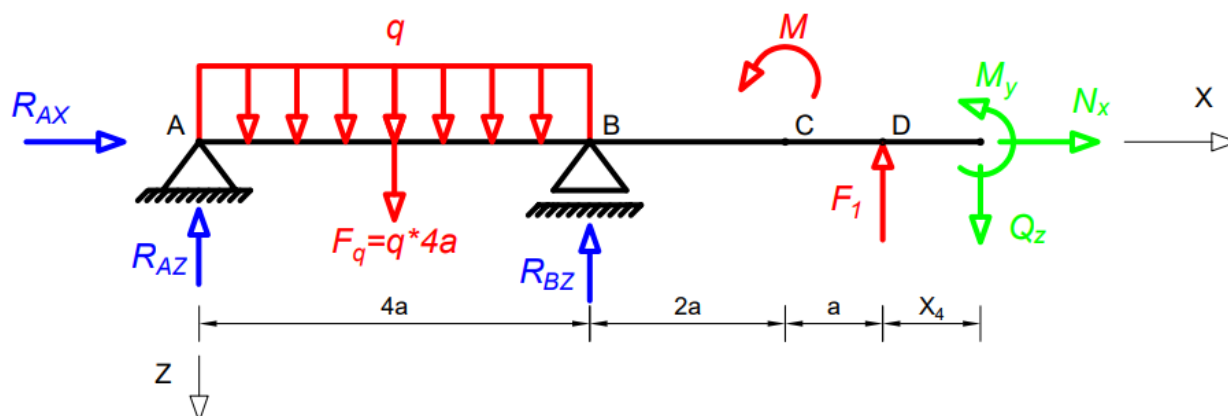
$$\sum M_{yT} = 0 \rightarrow R_{Az} \cdot (6a + x_3) - F_q \cdot (4a + x_3) + R_{Bz} \cdot (2a + x_3) - M - M_y = 0. \quad (2.2.27)$$

$$M_y = R_{Az} \cdot (6a + x_3) - F_q \cdot (4a + x_3) + R_{Bz} \cdot (2a + x_3) - M. \quad (\text{jednadžba pravca}) \quad (2.2.28)$$

$$\text{za } x_3 = 0 (\text{točka C}) \rightarrow M_y = M_C^D = -27,5 \text{ kNm}. \quad (2.2.29)$$

$$\text{za } x_3 = 1a (\text{točka D}) \rightarrow M_y = M_D = -21,25 \text{ kNm}. \quad (2.2.30)$$

IV.područje: između točaka D i G $\rightarrow 0 \leq x_4 \leq a$



Slika 26. Presjek D-G zadanog nosača

Nastavlja se s područjem IV, za koje vrijede sljedeće jednadžbe ravnoteže.

- za uzdužne sile N_x :

$$\sum F_x = 0 \rightarrow R_{Ax} + N_x = 0. \quad (2.2.31)$$

$$N_x = -R_{Ax} = -20 \text{ kN}. \quad (2.2.32)$$

- za poprečne sile Q_z :

$$\sum F_z = 0 \rightarrow -R_{Az} + F_q - R_{Bz} - F_1 + Q_z = 0. \quad (2.2.33)$$

$$Q_z = Q_G = R_{Az} - F_q + R_{Bz} + F_1 = 21,25 \text{ kN} . \quad (2.2.34)$$

- za momente savijanja M_y :

$$\sum M_{yT} = 0 \rightarrow R_{Az} \cdot (7a + x_4) - F_q \cdot (5a + x_4) + R_{Bz} \cdot (3a + x_4) - M + F_1 \cdot x_4 - M_y = 0. \quad (2.2.35)$$

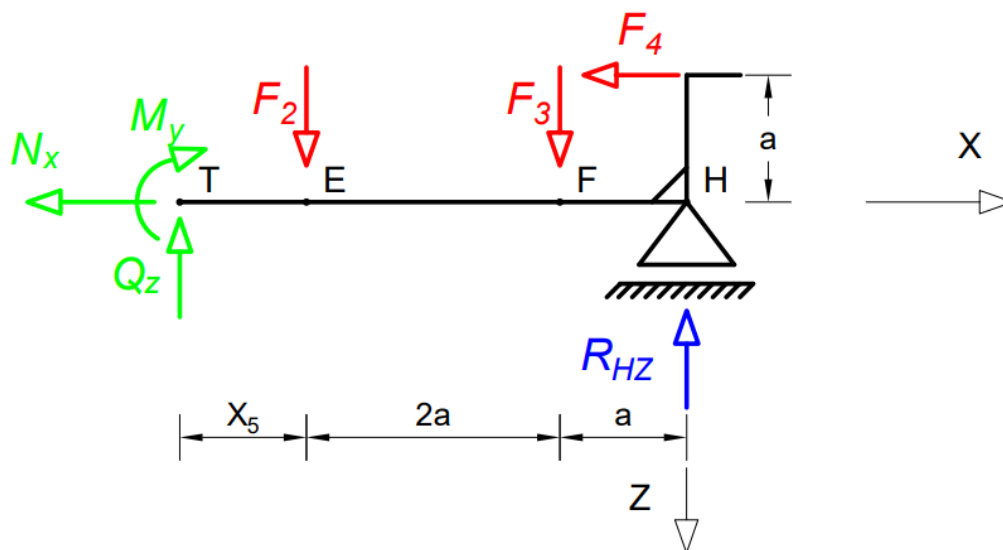
$$M_y = R_{Az} \cdot (7a + x_4) - F_q \cdot (5a + x_4) + R_{Bz} \cdot (3a + x_4) - M + F_1 \cdot x_4 . \quad (2.2.36)$$

(jednadžba pravca)

$$\text{za } x_4 = 0 \text{ (točka D)} \rightarrow M_y = M_D = -21,25 \text{ kNm} . \quad (2.2.37)$$

$$\text{za } x_4 = 1a \text{ (točka G)} \rightarrow M_y = M_G = 0 \text{ kNm} . \quad (2.2.38)$$

V.područje: između točaka E i G $\rightarrow 0 \leq x_5 \leq a$



Slika 27. Presjek E-G zadanog nosača

Nastavlja se s područjem V, za koje vrijede sljedeće jednadžbe ravnoteže.

- za uzdužne sile N_x :

$$\sum F_x = 0 \rightarrow -N_x - F_4 = 0. \quad (2.2.39)$$

$$N_x = -F_4 = -20 \text{ kN}. \quad (2.2.40)$$

- za poprečne sile Q_z :

$$\sum F_z = 0 \rightarrow -Q_z + F_2 + F_3 - R_{Hz} = 0. \quad (2.2.41)$$

$$Q_z = Q_E^L = F_2 + F_3 - R_{Hz} = 21,25 \text{ kN}. \quad (2.2.42)$$

- za momente savijanja M_y :

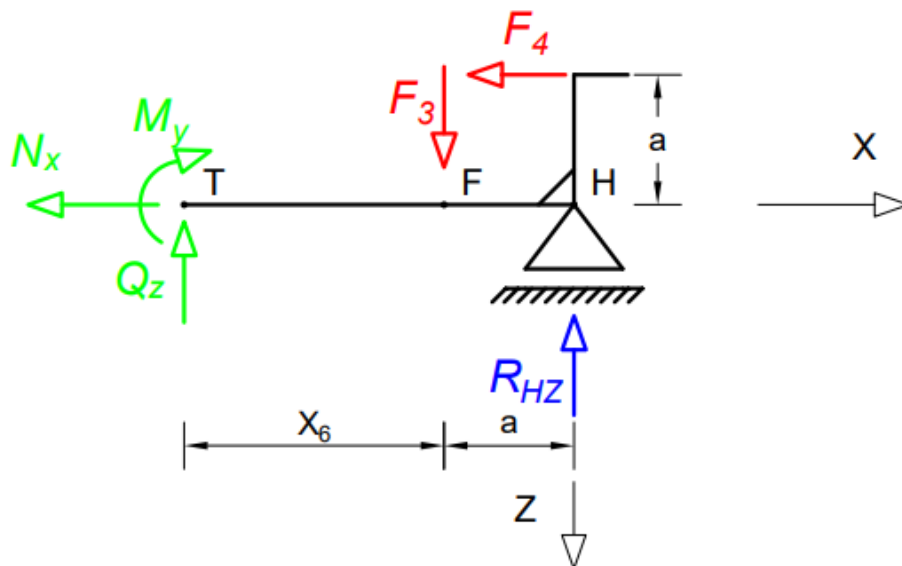
$$\sum M_{yT} = 0 \rightarrow M_y + F_2 \cdot x_5 + F_3 \cdot (2a + x_5) - M_R - R_{Hz} \cdot (3a + x_5) = 0. \quad (2.2.43)$$

$$M_y = -F_2 \cdot x_5 - F_3 \cdot (2a + x_5) + M_R + R_{Hz} \cdot (3a + x_5). \quad (\text{jednadžba pravca}) \quad (2.2.44)$$

$$\text{za } x_5 = 0 \text{ (točka E)} \rightarrow M_y = M_E = 21,25 \text{ kNm}. \quad (2.2.45)$$

$$\text{za } x_5 = 1a \text{ (točka G)} \rightarrow M_y = M_G = 0 \text{ kNm}. \quad (2.2.46)$$

VI.područje: između točaka F i E $\rightarrow 0 \leq x_6 \leq 2a$



Slika 28. Presjek F-E zadanog nosača

Nastavlja se s područjem VI, za koje vrijede sljedeće jednadžbe ravnoteže.

- za uzdužne sile N_x :

$$\sum F_x = 0 \rightarrow -N_x - F_4 = 0. \quad (2.2.47)$$

$$N_x = -F_4 = -20 \text{ kN} . \quad (2.2.48)$$

- za poprečne sile Q_z :

$$\sum F_z = 0 \rightarrow -Q_z + F_3 - R_{Hz} = 0. \quad (2.2.49)$$

$$Q_z = Q_F^L = F_3 - R_{Hz} = 6,25 \text{ kN} . \quad (2.2.50)$$

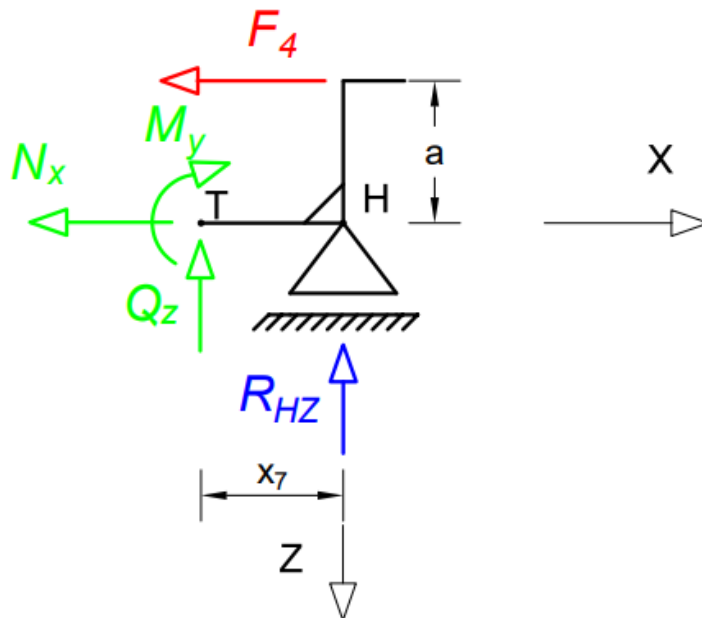
- za momente savijanja M_y :

$$\sum M_{yT} = 0 \rightarrow M_y + F_3 \cdot x_6 - M_R - R_{Hz} \cdot (a + x_6) = 0. \quad (2.2.51)$$

$$M_y = -F_3 \cdot x_6 + M_R + R_{Hz} \cdot (a + x_6) . \quad (\text{jednadžba pravca}) \quad (2.2.52)$$

$$\text{za } x_6 = 0 \text{ (točka F)} \rightarrow M_y = M_F = 33,75 \text{ kNm} . \quad (2.2.53)$$

$$\text{za } x_6 = 2a \text{ (točka E)} \rightarrow M_y = M_E = 21,25 \text{ kNm} . \quad (2.2.54)$$

VII. područje: između točaka H i F $\rightarrow 0 \leq x_7 \leq a$ 

Slika 29. Presjek H-F zadanog nosača

Zadnje područje koje se promatra je područje VII, za koje vrijede sljedeće jednačbe ravnoteže.

- za uzdužne sile N_x :

$$\sum F_x = 0 \rightarrow -N_x - F_4 = 0. \quad (2.2.55)$$

$$N_x = -F_4 = -20 \text{ kN}. \quad (2.2.56)$$

- za poprečne sile Q_z :

$$\sum F_z = 0 \rightarrow -Q_z - R_{Hz} = 0. \quad (2.2.57)$$

$$Q_z = Q_F^D = -R_{Hz} = -13,75 \text{ kN}. \quad (2.2.58)$$

- za momente savijanja M_y :

$$\sum M_{yT} = 0 \rightarrow M_y - M_R - R_{Hz} \cdot x_7 = 0. \quad (2.2.59)$$

$$M_y = M_R + R_{Hz} \cdot x_7. \text{ (jednadžba pravca)} \quad (2.2.60)$$

$$\text{za } x_7 = 0 \text{ (točka H)} \rightarrow M_y = M_H = 20 \text{ kNm}. \quad (2.2.61)$$

$$\text{za } x_7 = 1a \text{ (točka F)} \rightarrow M_y = M_F = 33,75 \text{ kNm}. \quad (2.2.62)$$

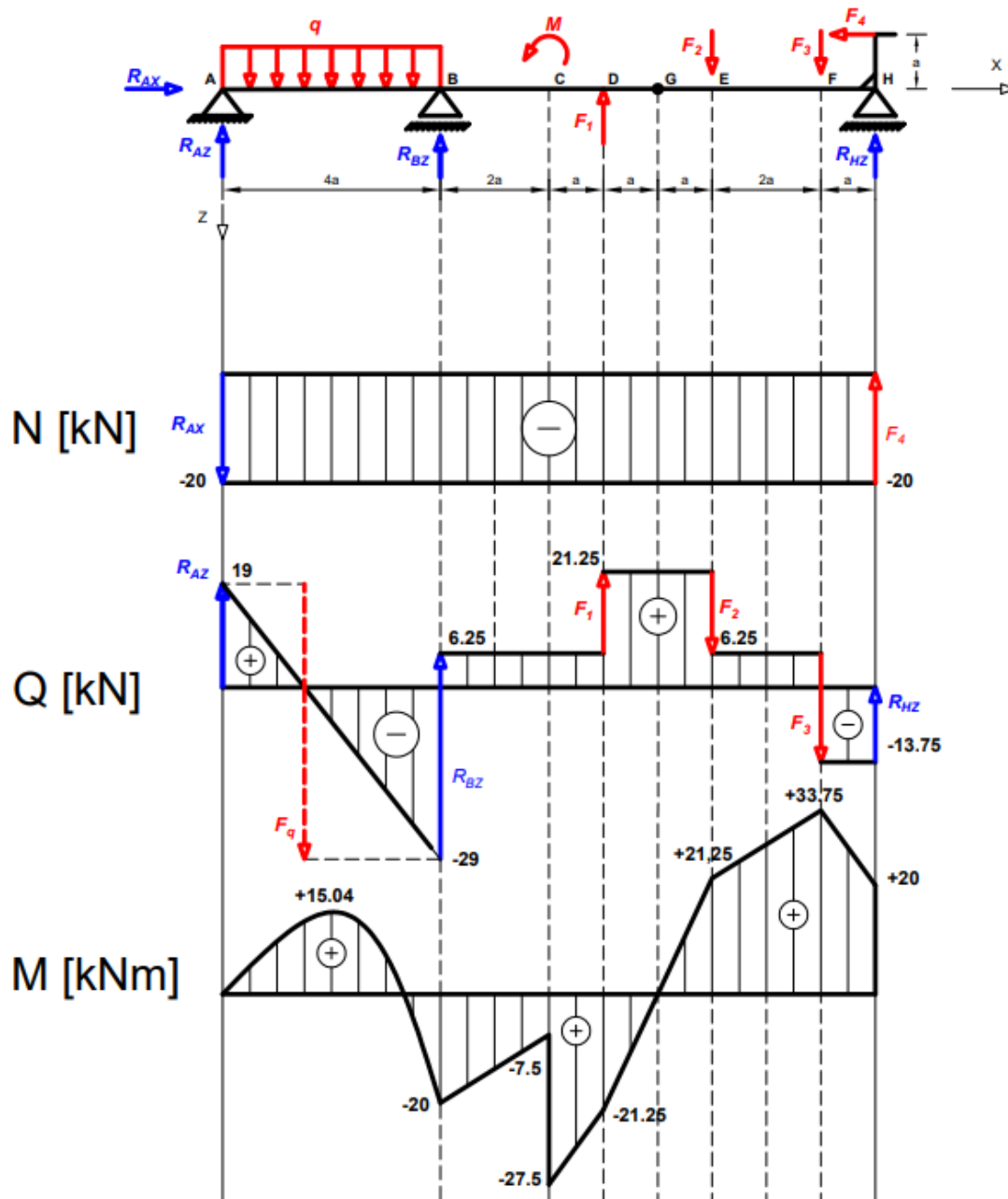
b) Skiciranje i kotiranje dijagrama raspodjele uzdužnih i poprečnih sila, te momenata savijanja (N, Q i M dijagrami)

Nakon što se izračuna vrijednosti uzdužnih i poprečnih sila, te momenata savijanja u pojedinim točkama grede, slijedi skiciranje N, Q i M dijagrama.

Da bi dijagrami bili ispravno nacrtani mora se odrediti mjerilo u kojem će biti prikazane dimenzije grede i vrijednosti unutrašnjih veličina.

Odabrana mjerila su sljedeća:

- za dimenzije grede (a) : $1 \text{ m} \cong 1 \text{ cm}$
- za uzdužne sile N_x : $10 \text{ kN} \cong 1 \text{ cm}$
- za poprečne sile Q_z : $10 \text{ kN} \cong 1 \text{ cm}$
- za momente savijanja M_y : $10 \text{ kN} \cong 1 \text{ cm}$

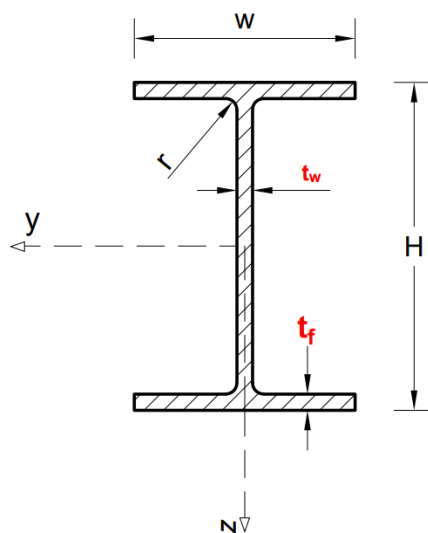


Slika 30. Dijagrami unutrašnjih sila za zadani nosač

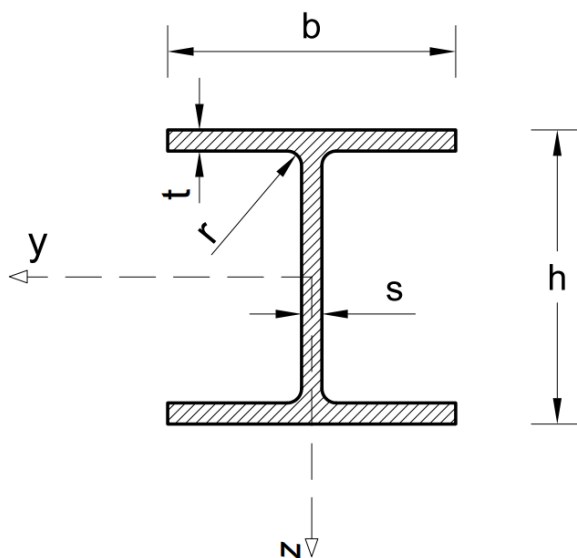
3. Dimenzioniranje i optimiranje poprečnog presjeka

3.1. Čelični profili, karakteristike materijala i proračun dopuštenog naprezanja

Za dimenzioniranje Gerberovog nosača koriste se određeni tipovi standardiziranih čeličnih profila. Tipovi profila koji će se koristiti su profili IPE i HE, izrađeni od konstrukcijskih čelika S235JR i S355JR.



Slika 31. IPE profil



Slika 32. HE profil

Materijal klase S235JR:

R_e - 235 N/mm² (granica tečenja), vrijednost uzeta iz literature [11].

Dopušteno naprezanje se izračunava prema jednadžbi (1.7), uvrštavajući vrijednosti za R_e i S .

$$\sigma_{dop} = \frac{R_e}{S} = 156,66 \text{ N/mm}^2 \quad (3.1)$$

- (proračun dopuštenog naprezanja), gdje je S faktor sigurnosti i iznosi 1,5. [7]

Materijal klase S355JR:

R_e - 355 N/mm² (granica tečenja), vrijednost uzeta iz literature [11].

Dopušteno naprezanje se izračunava prema jednadžbi (1.7), uvrštavajući vrijednosti za R_e i S .

$$\sigma_{dop} = \frac{R_e}{S} = 236,66 \text{ N/mm}^2 \quad (3.2)$$

- (proračun dopuštenog naprezanja), gdje je S faktor sigurnosti i iznosi 1,5. [7]

3.2. Proračun čvrstoće i odabir profila

Gredu se proračunava s obzirom na maksimalni moment savijanja da bi se izbjeglo nepotrebno predimenzioniranje grede, gredu se podijeli na tri dijela.

Za svaki dio se računa potreban moment otpora W_y , za dvije klase materijala S235JR i S355JR, te za svaki materijal za dva standardizirana profila IPE i HE.

Na temelju mase grede po jednom dužnom metru, te dužine pojedinog dijela Gerberove grede može se odrediti masa pojedinih dijelova grede, te poznavajući cijenu po kilogramu za određeni profil, odredit će se cijena za pojedine dijelove.

Odabrat će se materijal i oni profili koji nam daju najpovoljniju kombinaciju mase i cijene.

a) Proračun momenta otpora za dio nosača između A-B

$M_{yMAX} = 20$ kNm (maksimalni moment savijanja) uzima se iz jednadžbe (2.2.10), zatim slijedi proračun i odabrani su profili koji zadovoljavaju traženi W_y iz tablice u (prilogu 1).

1. Konstrukcijski čelik S235JR

Moment otpora izračuna se prema jednadžbi (1.9), uvrštavajući vrijednosti za M_{yMAX} i

σ_{dop} .

$$W_y \geq \frac{M_{yMAX}}{\sigma_{dop}} \geq 127,665 \text{ cm}^3. \quad (3.3)$$

Za čelik S235JR uzeti su profili IPE 180 ($W_y = 146 \text{ cm}^3$) i HE 140 A ($W_y = 155 \text{ cm}^3$).

2. Konstrukcijski čelik S355JR

Moment otpora izračuna se prema jednadžbi (1.9), uvrštavajući vrijednosti za M_{yMAX} i

σ_{dop} .

$$W_y \geq \frac{M_{yMAX}}{\sigma_{dop}} \geq 84,51 \text{ cm}^3. \quad (3.4)$$

Za čelik S355JR uzeti su profili IPE 160 ($W_y = 109 \text{ cm}^3$) i HE 120 A ($W_y = 106 \text{ cm}^3$).

b) Proračun momenta otpora za dio nosač između B-G

$M_{yMAX} = 27,5$ kNm (maksimalni moment savijanja) uzima se iz jednadžbe (2.2.29), zatim slijedi proračun i odabrani su profili koji zadovoljavaju traženi W_y iz tablice u (prilogu 1).

1. Konstrukcijski čelik S235JR

Moment otpora izračuna se prema jednadžbi (1.9), uvrštavajući vrijednosti za M_{yMAX} i

σ_{dop} .

$$W_y \geq \frac{M_{yMAX}}{\sigma_{dop}} \geq 175,54 \text{ cm}^3. \quad (3.5)$$

Za čelik S235JR uzeti su profili IPE 200 ($W_y = 194 \text{ cm}^3$) i HE 160 A ($W_y = 220 \text{ cm}^3$).

2. Konstrukcijski čelik S355JR

Moment otpora izračuna se prema jednadžbi (1.9), uvrštavajući vrijednosti za M_{yMAX} i

σ_{dop} .

$$W_y \geq \frac{M_{yMAX}}{\sigma_{dop}} \geq 116,2 \text{ cm}^3. \quad (3.6)$$

Za čelik S355JR uzeti su profili IPE 180 ($W_y = 146 \text{ cm}^3$) i HE 140 A ($W_y = 155 \text{ cm}^3$).

c) Proračun momenta otpora za dio nosača između G-H

$M_{yMAX} = 33,75$ kNm (maksimalni moment savijanja) uzima se iz jednadžbe (2.2.53), zatim slijedi proračun i odabrani su profili koji zadovoljavaju traženi W_y iz tablice u (prilogu 1).

1. Konstrukcijski čelik S235JR

Moment otpora izračuna se prema jednadžbi (1.9), uvrštavajući vrijednosti za M_{yMAX} i σ_{dop} .

$$W_y \geq \frac{M_{yMAX}}{\sigma_{dop}} \geq 215,43 \text{ cm}^3. \quad (3.7)$$

Za čelik S235JR uzeti su profili IPE 220 ($W_y = 252 \text{ cm}^3$) i HE 160 A ($W_y = 220 \text{ cm}^3$).

2. Konstrukcijski čelik S355JR

Moment otpora izračuna se prema jednadžbi (1.9), uvrštavajući vrijednosti za M_{yMAX} i σ_{dop} .

$$W_y \geq \frac{M_{yMAX}}{\sigma_{dop}} \geq 142,61 \text{ cm}^3. \quad (3.8)$$

Za čelik S355JR uzeti su profili IPE 180 ($W_y = 146 \text{ cm}^3$) i HE 140 A ($W_y = 155 \text{ cm}^3$).

Nakon odabira profila u pojedinačnim tablicama za svaki dio nosača izračunate su njihove pojedinačne cijene u odnosu na materijal i njihovu masu, radi odabira najoptimalnijeg profila. Cijene bez PDV-a nalazi se u (prilogu 2.).

Tablica 1. Podaci za odabir profila za A-B dio nosača

| Naziv materijala | Naziv profila | Kg/m | Cijena kn/kg (PDV je uključen) | Ukupna cijena za 1 kom dužine 6m |
|------------------|----------------|--------------|--------------------------------|----------------------------------|
| S235JR | IPE 180 | 18.80 | 7.75 | 874.20 |
| S235JR | HE 140 A | 24.70 | 7.75 | 1,148.55 |
| S355JR | IPE 160 | 15.80 | 8.50 | 805.80 |
| S355JR | HE 120 A | 19.90 | 8.50 | 1,014.90 |

Tablica 2. Podaci za odabir profila za B-G dio nosača

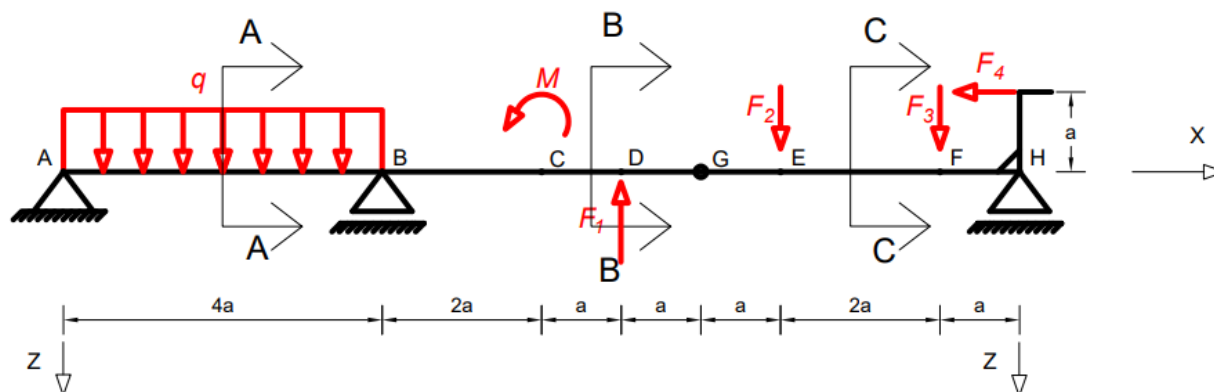
| Naziv materijala | Naziv profila | Kg/m | Cijena kn/kg (PDV je uključen) | Ukupna cijena za 1 kom dužine 6m |
|------------------|----------------|--------------|--------------------------------|----------------------------------|
| S235JR | IPE 200 | 22.40 | 7.75 | 1,041.60 |
| S235JR | HE 160 A | 30.40 | 7.75 | 1,413.60 |
| S355JR | IPE 180 | 18.80 | 8.50 | 958.80 |
| S355JR | HE 140 A | 24.70 | 8.50 | 1,259.70 |

Tablica 3. Podaci za odabir profila za G-H dio nosača

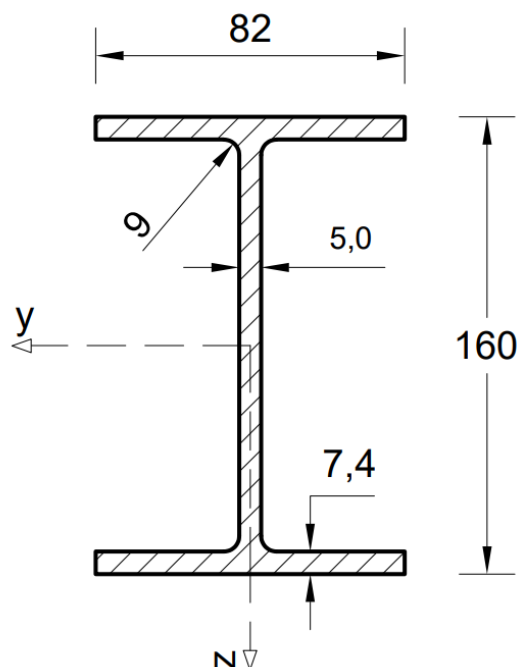
| Naziv materijala | Naziv profila | Kg/m | Cijena kn/kg (PDV je uključen) | Ukupna cijena za 1 kom dužine 6m |
|------------------|----------------|--------------|--------------------------------|----------------------------------|
| S235JR | IPE 220 | 26.20 | 7.75 | 1,218.30 |
| S235JR | HE 160 A | 30.40 | 7.75 | 1,413.60 |
| S355JR | IPE 180 | 18.80 | 8.50 | 958.80 |
| S355JR | HE 140 A | 24.70 | 8.50 | 1,259.70 |

Za sva tri dijela nosača (A-B, B-G, G-H) po oba kriterija tj. po kriteriju najmanje cijene i po kriteriju najmanje mase uvijek su najoptimalniji IPE profili izrađeni od materijala S355JR koji su označeni crvenom bojom.

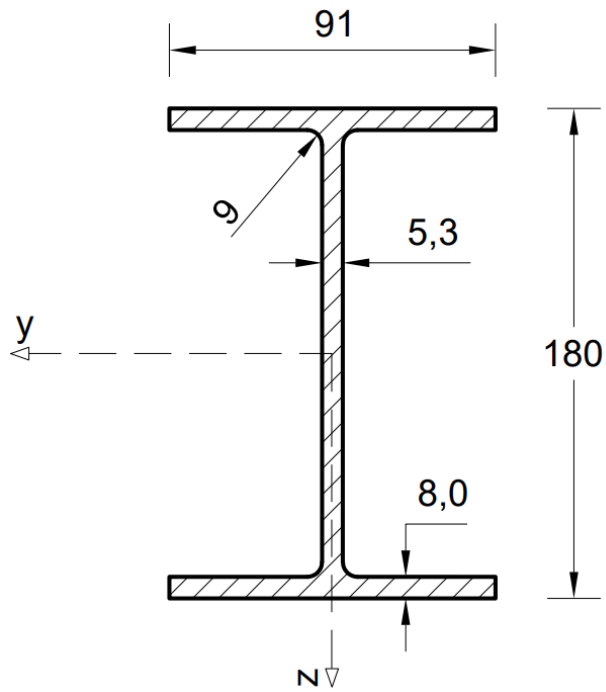
Na slici 33. prikazana je slika nosača koja će se presjeći na tri mjesta i prikazati presjeke za (A-B, B-G, G-H). Dimenzije profila slika (34, 35, i 36.) izražene su u milimetrima (mm).



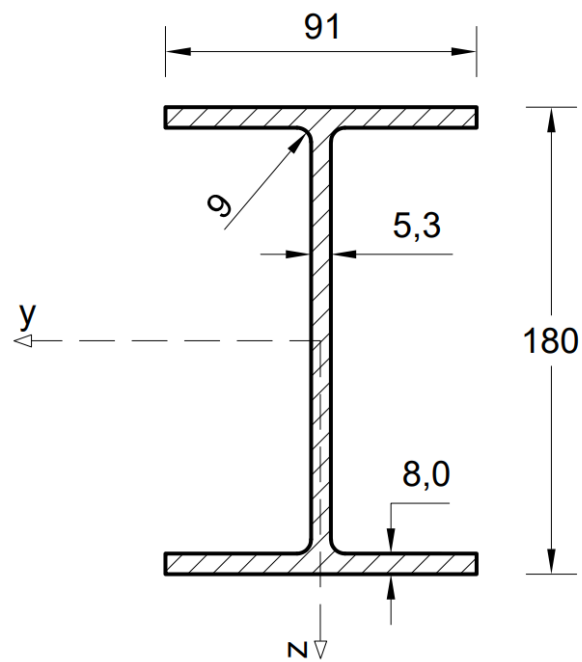
Slika 33. Nosač s prikazom presjeka



Slika 34. A-A Presjek za IPE160 materijal S355JR



Slika 35. B-B Presjek za IPE180 materijal S355JR

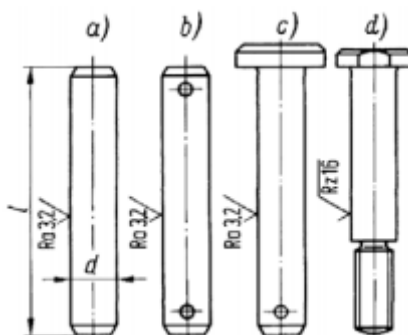


Slika 36. C-C Presjek za IPE180 materijal S355JR

4. Dimenzioniranje svornjaka zglobnih oslonaca

4.1. Općenito o svornjacima

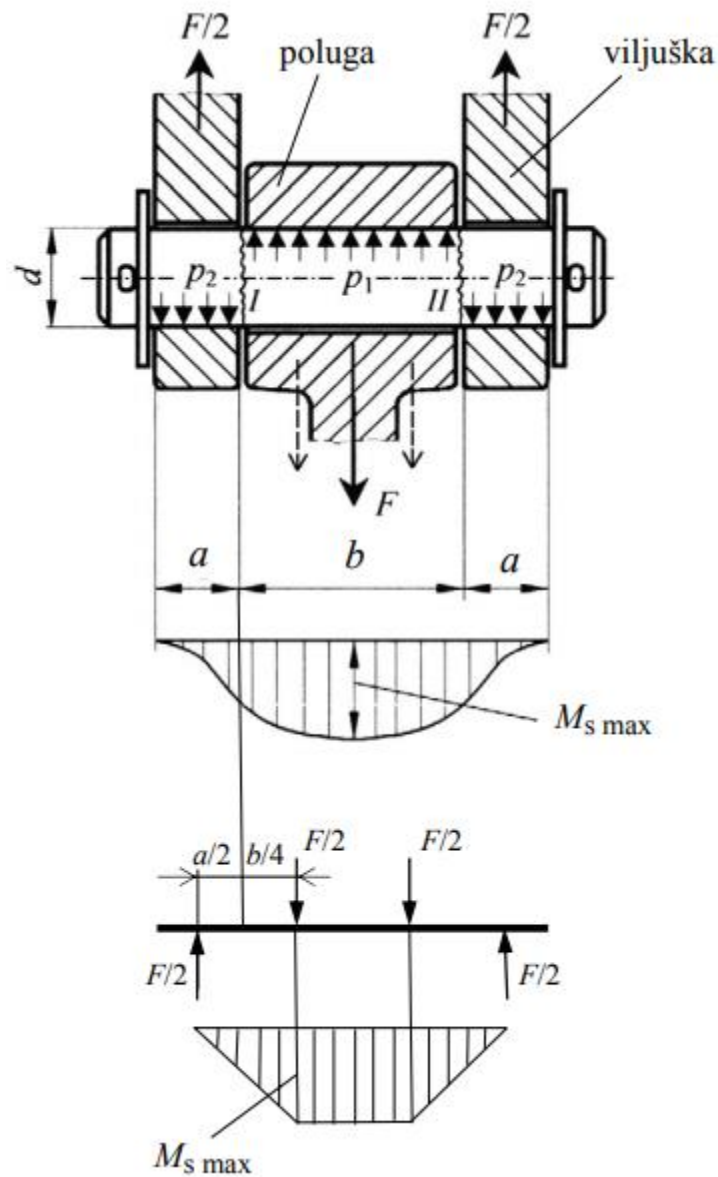
Svornjaci su normirani konstrukcijski elementi slični zaticima. Njima se dobivaju zglobni spojevi u kojima moraju postojati labavi dosjedi - npr. kod šarki vratiju i prozora. Često je potrebno osiguranje protiv ispadanja svornjaka za što se koriste rascjepke, uskočnici i sl. Svornjaci se izrađuju od čelika čvrstoće $R_m = 500...700 \text{ N/mm}^2$ i trebaju biti tvrdi od dijelova u spoju. U našem slučaju odabire se svornjak s glavom i rupom za rascjepku.



Slika 37. Oblici svornjaka : a) Svornjak bez glave; b) Svornjak bez glave s rupama za rascjepke; c) Svornjak s glavom i rupom za rascjepku; d) Svornjak s glavom i navojem

[14]

Svornjaci su opterećeni savijanjem, smicanjem i površinskim pritiskom. Za savijanje je najnepovoljniji slučaj kad je i u poluzi i u viljušci labavi dosjed. Radi pojednostavljenja proračuna se kontinuirano opterećenje u provrtima poluge i viljuške zamjenjuje silama $F/2$, kako je prikazano na slici 38.



Slika 38. Opterećenja u spoju strojnih dijelova svornjaka [14]

Prilikom javljanja opterećenja koja su prikazana na slici 38. naprezanja se izračunavaju prema sljedećim jednažbama:

Naprezanje zbog savijanja:

$$M_{s \max} = \frac{F}{2} \cdot \left(\frac{a}{2} + \frac{b}{4} \right). \quad (4.1)$$

$$\sigma_s = \frac{M_{s \max}}{W} \leq \sigma_{sdop}. \quad (4.2)$$

$$W = d^3 \pi / 32. \quad (4.3)$$

Promjer svornjaka:

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_{s \max}}{\pi \cdot \sigma_{sdop}}}. \quad (4.4)$$

Srednje posmično naprezanje u presjecima I i II

$$\tau_s = \frac{\frac{F}{2}}{\frac{d^2 \pi}{4}} = \frac{2F}{d^2 \pi} \leq \tau_{sdop}. \quad (4.5)$$

Jednadžba (4.3) je izračun momenta otpora za poprečni presjek svornjaka koji je kružnog oblika, pa se zbog toga izračunava potrebni promjer svornjaka.

4.2. Proračun i dimenzioniranje svornjaka

Za pričvršćivanje oslonaca za gredu služi se svornjacima. Svornjaci ostvaruju zglobni spoj oslonaca i grede, a opterećeni su izračunatim reakcijama. Napravljen je pojednostavljeni proračun svornjaka prema naprezanju svornjaka na odrez.

Na osnovu odabranog materijala i dopuštenog naprezanja na odrez dobiti će se potreban promjer svornjaka i izabrati ga iz tablice u literature [15]. Svornjak u Gerberovom zglobu služi za zglobni spoj grede B-G i grede G-H.

Proračun svornjaka u osloncu "A"

$F = 19$ kN (poprečna sila) uzima se iz jednačbe (2.11), τ_{sdop} uzeti će se iz literature [14], a odabran je materijal Č0545 ili EN oznaka E295 i iznosi 72 N/mm².

$$\tau_s = \frac{\frac{F}{2}}{\frac{d^2 \pi}{4}} = \frac{2F}{d^2 \pi} \leq \tau_{sdop} . \quad (4.6)$$

$$d \geq \sqrt{\frac{2F}{\tau_{sdop} \pi}} = 12,96 \text{ mm} . \quad (4.7)$$

Za svornjak u osloncu "A" uzima se prvi veći standardizirani promjer d iz literature [15] a on iznosi 14 mm.

Proračun svornjaka u osloncu "B"

$F = 35,25$ kN (poprečna sila) uzima se iz zbroja dviju jednačbe (2.9), τ_{sdop} uzeti će se iz literature [14], a odabran je materijal Č0545 ili EN oznaka E295 i iznosi 72 N/mm².

$$\tau_s = \frac{\frac{F}{2}}{\frac{d^2 \pi}{4}} = \frac{2F}{d^2 \pi} \leq \tau_{sdop} . \quad (4.8)$$

$$d \geq \sqrt{\frac{2F}{\tau_{sdop} \pi}} = 16,89 \text{ mm} . \quad (4.9)$$

Za svornjak u osloncu "B" uzima se prvi veći standardizirani promjer d iz literature [15] a on iznosi 18 mm.

Proračun svornjaka u Gerberovom zglobu

$F = 21,25$ kN (poprečna sila) uzima se iz jednadžbe (2.4), τ_{sdop} uzeti će se iz literature [14], a odabran je materijal Č0545 ili EN oznaka E295 i iznosi 72 N/mm².

$$\tau_s = \frac{\frac{F}{2}}{\frac{d^2 \pi}{4}} = \frac{2F}{d^2 \pi} \leq \tau_{sdop} . \quad (4.10)$$

$$d \geq \sqrt{\frac{2F}{\tau_{sdop} \pi}} = 13,7 \text{ mm} . \quad (4.11)$$

Za svornjak u Gerberovom zglobu uzima se prvi veći standardizirani promjer d iz literature [15] a on iznosi 14 mm.

Proračun svornjaka u osloncu "H"

$F = 13,75$ kN (poprečna sila) uzima se iz jednadžbe (2.2), τ_{sdop} uzeti će se iz literature [14], a odabran je materijal Č0545 ili EN oznaka E295 i iznosi 72 N/mm².

$$\tau_s = \frac{\frac{F}{2}}{\frac{d^2 \pi}{4}} = \frac{2F}{d^2 \pi} \leq \tau_{sdop} . \quad (4.12)$$

$$d \geq \sqrt{\frac{2F}{\tau_{sdop} \pi}} = 11,02 \text{ mm} . \quad (4.13)$$

Za svornjak u osloncu "H" uzima se prvi veći standardizirani promjer d iz literature [15] a on iznosi 12 mm.

5. ZAKLJUČAK

Glavni cilj ovog završnog rada je dimenzioniranje i optimizacija poprečnog presjeka Gerberovog nosača.

Prvi korak je napraviti proračun Gerberovog nosača te izračunati reakcije u osloncima i Gerberovom zglobu. Kriterij za dimenzioniranje i optimiranje je kombinacija što manje mase i što niže cijene za odabrane čelične profile.

Prilikom izračunavanja reakcija Gerberovu gredu smo podijelili na dva osnovna dijela te koristeći statičke jednadžbe ravnoteže odredili smo reakcije u osloncima.

Metodom presjeka pojedinih dijelova odredili smo nepoznate unutrašnje sile te na osnovu toga nacrtali N, Q i M dijagrame.

Pojedine dijelove grede dimenzionirali smo s obzirom na rezultate za maksimalni moment savijanja i izračunali smo potreban moment otpora poprečnog presjeka.

Prilikom računanja momenta otpora koristili smo dvije klase materijala S235JR i S355JR, za dva standardizirana profila IPE i HE.

Nakon izračunavanja svakog dijela grede izabrali smo one profile koji nam zadovoljavaju moment otpora poprečnog presjeka.

U pojedinačnim tablicama za svaki dio nosača izračunali smo njihove pojedinačne cijene u odnosu na materijal i njihovu masu, te odabrali najoptimalnije profile.

Za sva tri dijela nosača po kriteriju najmanje cijene i mase izabrani su najoptimalniji IPE profili izrađeni od materijala S355JR, a to su za A-B dio IPE160, za B-G dio IPE180 i za G-H dio IPE160.

Za sve svornjake odabrali smo materijal EN oznaka E295 jer ima relativno veliko dopušteno naprezanje na odrez, za oslonac "A" uzeli smo promjer 14 mm, za oslonac "B" 18 mm, za Gerberov zglob 14 mm i za oslonac "H" 12 mm.

POPIS PRILOGA

Prilog 1. Tablice IPE i HE profila

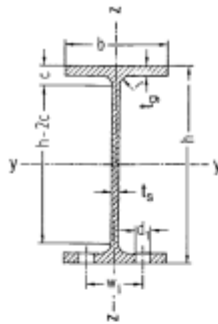
Prilog 2. Ponuda za određene IPE i HE profile

Prilog 3. CD-R disc

LITERATURA

- [1] Brnić, J., Turkalj, G.: *Nauka o Čvrstoći*, Udžbenik, Rijeka, 2004.
- [2] Matejiček, F., Semenski, D., Vnučec. Z.: *Uvod u statiku sa zbirkom zadataka treće dopunjeno i popravljeno izdanje*, Slavonski Brod, 2012.
- [3] <https://structurae.net/en/media/270913-forth-rail-bridge> (5.4.2021)
- [4] Rak, M., Gelo, D.: *Proračun Konstrukcija*, Skripta, Zagreb 2016.
- [5] Plazibat, B., Matoković, A., Vetma, V.: *Tehnička Mehanika 1*, Skripta, Split, 2020.
- [6] Muftić, O.: *Mehanika 1 – statika*, Tehnička knjiga, Zagreb, 1989.
- [7] Alfirević, I.: *Nauka o čvrstoći 1*, Tehnička knjiga, Zagreb, 1989.
- [8] <https://element.hr/wp-content/uploads/2020/06/unutra-12377.pdf> (16.4.2021)
- [9] <https://docplayer.gr/61793066-S-pmf-osnove-strojarstva-podloge-za-predavanja.html> (19.4.2021)
- [10] https://tehnika.lzmk.hr/tehnickaenciklopedija/nauka_o_cvrstoci.pdf (24.4.2021)
- [11] Filetin, T., Kovačićek, F., Indof J.: *Svojstva i primjena materijala*, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2002.
- [12] <https://www.ffri.hr/~mdundjer/Elementi%20strojeva%20I/02-CvrstocaMaterijala.pdf> (29.4.2021)
- [13] Plazibat, B., Matoković, A., Vetma, V.: *Nauka o Čvrstoći*, Skripta, Split, 2019.
- [14] Decker, Karl - Heinz.: *Elementi strojeva*, Tehnička knjiga, Zagreb, 2006.
- [15] Kraut, B.: *Strojarski priručnik*, Tehnička knjiga, Zagreb, 1970.

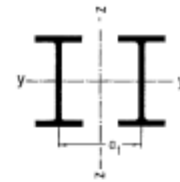
PRILOG 1.



Mittelbreite I-Träger

I PE-Reihe I PEo- und I PEv-Reihen

Normallängen
 bei Profilhöhen unter 300 mm 8 bis 16 m
 300 mm und mehr 8 bis 18 m



Plastische Schnittgrößen M_{pl} , N_{pl} , V_{pl} und Rechenwerte W_{pl} , S_y , I_T , I_w , $I_{z,g}$ siehe rechts

Für a_1 ist aus korrosionsschutztechnischen Gründen DIN EN ISO 12944-3 (siehe Seite 56) zu beachten.

Mantelfläche U siehe Seite 44

Frühere Bezeichnungen

| Kurzzeichen | Maße in mm für | | | | | | A_{Steg} cm ² | A cm ² | G kg/m | Für die Biegeachsen | | | | | | S_y cm | Flanschenlöcher*) nach DIN 997 Ausg. Okt. 1970 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------------------------------|----------------------|-----------|--------------------------|--------------------------|-------------|--------------------------|--------------------------|-------------|-------------|--|-------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|------|-----|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|------|------|-----|-----|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|-------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|----|----|----|----|----|----|-------|----|-------|-----|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | h | b | t_s | t_w | r | h-2c | | | | y-y | | | z-z | | | | d_1 mm | w_1 mm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | I_y cm ⁴ | W_y cm ³ | i_y cm | I_z cm ⁴ | W_z cm ³ | i_z cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | s | t | | | | | F | | J_x | W_x | i_x | J_y | W_y | i_y | s_x | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Mittelbreite I-Träger mit parallelen Flansflächen, I PE-Reihe (warmgewalzt), nach DIN 1025 Teil 5, Ausgabe März 1994, und EURONORM 19-57 Grenzabmaße und Formtoleranzen nach DIN EN 10034, Ausgabe März 1994 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| I PE | 80 | 100 | 120 | 140 | 160 | 180 | 200 | 220 | 240 | 270 | 300 | 330 | 360 | 400 | 450 | 500 | 550 | 600 | 80 | 100 | 120 | 140 | 160 | 180 | 200 | 220 | 240 | 270 | 300 | 330 | 360 | 400 | 450 | 500 | 550 | 600 | 2,84 | 3,87 | 5,00 | 6,28 | 7,63 | 9,12 | 10,7 | 12,4 | 14,3 | 17,1 | 20,5 | 23,9 | 27,8 | 32,2 | 33,2 | 40,9 | 49,4 | 59,1 | 69,7 | 7,64 | 10,3 | 13,2 | 16,4 | 20,1 | 23,9 | 28,5 | 33,4 | 39,1 | 45,9 | 53,8 | 62,6 | 72,7 | 84,5 | 96,8 | 116 | 134 | 158 | 6,00 | 8,10 | 10,4 | 12,9 | 15,8 | 18,8 | 22,4 | 26,2 | 30,7 | 36,1 | 42,2 | 49,1 | 57,1 | 66,3 | 77,6 | 90,7 | 106 | 122 | 80,1 | 171 | 318 | 541 | 869 | 1320 | 1940 | 2770 | 3890 | 5790 | 8360 | 11770 | 16270 | 23130 | 33740 | 48200 | 67120 | 92080 | 20,0 | 34,2 | 53,0 | 77,3 | 109 | 146 | 194 | 252 | 324 | 429 | 557 | 713 | 904 | 1160 | 1500 | 1930 | 2440 | 3070 | 3,24 | 4,07 | 4,90 | 5,74 | 6,58 | 7,42 | 8,26 | 9,11 | 9,97 | 11,2 | 12,5 | 13,7 | 15,0 | 16,5 | 18,5 | 20,4 | 22,3 | 24,3 | 8,49 | 15,9 | 27,7 | 44,9 | 68,3 | 101 | 142 | 205 | 284 | 420 | 604 | 788 | 1040 | 1320 | 1680 | 2140 | 2670 | 3390 | 3,69 | 5,79 | 8,65 | 12,3 | 16,7 | 22,2 | 29,5 | 37,3 | 47,3 | 62,2 | 80,5 | 98,5 | 123 | 146 | 178 | 214 | 254 | 308 | 1,05 | 1,24 | 1,45 | 1,65 | 1,84 | 2,05 | 2,24 | 2,48 | 2,69 | 3,02 | 3,35 | 3,55 | 3,79 | 3,95 | 4,12 | 4,31 | 4,45 | 4,66 | 8,9 | 8,6 | 10,5 | 12,3 | 14,0 | 15,8 | 17,6 | 19,4 | 21,2 | 23,9 | 26,6 | 29,3 | 31,9 | 35,4 | 39,7 | 43,9 | 48,2 | 52,4 | 6,4 | 8,4 | 8,4 | 11 | 13 | 13 | 13 | 17 | 17 | 21/17 | 23 | 25/23 | 25 | 28/25 | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 | 30 | 36 | 44 | 50 | 56 | 60 | 68 | 72 | 80 | 86 | 96 | 106 | 110 | 120 | 120 | 120 | 120 |
| I PEo I PEv | Mittelbreite I-Träger, I PEo-Reihe und I PEv-Reihe (nicht genormt) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 180 o | 200 o | 220 o | 240 o | 270 o | 300 o | 330 o | 360 o | 400 o | 400 v | 450 o | 450 v | 500 o | 500 v | 550 o | 550 v | 600 o | 600 v | 182 | 202 | 222 | 242 | 274 | 304 | 334 | 364 | 404 | 408 | 456 | 460 | 506 | 514 | 556 | 566 | 610 | 618 | 10,3 | 11,9 | 14,0 | 16,2 | 19,6 | 23,3 | 27,2 | 32,1 | 37,6 | 41,4 | 48,2 | 54,8 | 61,7 | 69,7 | 79,160 | 92,4 | 106 | 124 | 146 | 27,1 | 32,0 | 37,4 | 43,7 | 53,8 | 62,8 | 72,6 | 84,1 | 96,4 | 107 | 118 | 132 | 147 | 164 | 182 | 202 | 224 | 254 | 284 | 21,3 | 25,1 | 29,4 | 34,3 | 42,3 | 49,3 | 57,0 | 66,0 | 75,7 | 84,0 | 92,4 | 104 | 117 | 129 | 142 | 159 | 184 | 214 | 244 | 1510 | 2210 | 3130 | 4370 | 6950 | 9990 | 13910 | 19050 | 26750 | 30140 | 40920 | 48200 | 57780 | 70720 | 79160 | 102300 | 118300 | 141600 | 165 | 219 | 282 | 361 | 6950 | 9990 | 833 | 1050 | 1320 | 1480 | 1790 | 2010 | 2290 | 2750 | 2850 | 3620 | 3890 | 4580 | 7,45 | 8,32 | 9,16 | 10,0 | 11,4 | 12,6 | 13,8 | 15,1 | 16,7 | 18,8 | 18,7 | 18,7 | 20,6 | 20,8 | 22,5 | 22,5 | 24,5 | 24,6 | 117 | 169 | 240 | 329 | 514 | 746 | 980 | 1250 | 1560 | 1770 | 2090 | 2400 | 2620 | 3270 | 3220 | 4260 | 4520 | 5570 | 2,08 | 2,30 | 2,53 | 2,74 | 3,09 | 3,45 | 3,84 | 3,86 | 4,03 | 4,06 | 4,21 | 4,26 | 4,38 | 4,46 | 4,55 | 4,59 | 4,79 | 4,88 | 15,9 | 17,7 | 19,5 | 21,3 | 24,2 | 26,9 | 29,5 | 32,1 | 35,6 | 35,8 | 40,0 | 39,8 | 44,2 | 44,7 | 48,5 | 48,7 | 52,9 | 53,2 | 13 | 13 | 17 | 17 | 21/17 | 23 | 25/23 | 25 | 28/25 | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 | 50 | 56 | 62 | 68 | 72 | 80 | 86 | 90 | 98 | 98 | 106 | 106 | 110 | 110 | 120 | 120 | 120 | 120 | | | | | | | | | | | | | | | | |

*) Bei mehreren Werten für d_1 siehe Seite 3.
 **) Genormte Schrauben für HV-Verbindungen sind hier nicht anwendbar.

Breite I-Träger

Reihe HE-A = I PBI

Leichte Ausführung

Plastische Schnittgrößen M_{pl} N_{pl} V_{pl} und Rechenwerte W_{pl} S_y I_T $I_{x,G}$ $I_{z,G}$ siehe rechts

Mantelfläche U siehe Seite 44

Reihe HE-AA = I PBII

Besonders leichte Ausführung

Frühere Bezeichnungen

| Kurzzeichen | Maße in mm für | | | | | | A_{Steg} cm ² | A cm ² | G kg/m | Für die Biegeachsen | | | | | | S_y cm | Flanschenflächar nach DIN 997 Ausg. Okt. 1970 | | | |
|--|----------------|-----|-------|-------|-------|--------|-------------------------------|------------------------|-------------|--------------------------|--------------------------|-------------|--------------------------|--------------------------|-------------|-------------|--|-------------|-------------|-------------|
| | h | b | t_s | t_g | r | $h-2c$ | | | | Y-Y | | | Z-Z | | | | d_1 mm | W_1 mm | W_2 mm | W_3 mm |
| | | | | | | | | | | I_y cm ⁴ | W_y cm ³ | i_y cm | I_z cm ⁴ | W_z cm ³ | i_z cm | | | | | |
| | s | t | F | J_x | W_x | i_x | | | | J_y | W_y | i_y | s_x | | | | | | | |
| HE-A I PBI | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Breite I-Träger mit parallelen Flanschflächen, leichte Ausführung, Reihe HE-A = I PBI nach DIN 1025 Teil 3, Ausgabe März 1994, und EURONORM 53-62 Grenzabmaße und Formtoleranzen nach DIN EN 10034, Ausgabe März 1994 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 100 | 96 | 100 | 5 | 8 | 12 | 56 | 4,40 | 21,2 | 16,7 | 349 | 72,8 | 4,06 | 134 | 26,8 | 2,51 | 8,41 | 13 | 56 | - | |
| 120 | 114 | 120 | 5 | 8 | 12 | 74 | 5,30 | 25,3 | 19,9 | 606 | 108 | 4,89 | 231 | 38,5 | 3,02 | 10,1 | 17 | 66 | - | |
| 140 | 133 | 140 | 5,5 | 8,5 | 12 | 92 | 6,85 | 31,4 | 24,7 | 1030 | 155 | 5,73 | 389 | 55,6 | 3,52 | 11,9 | 21 | 76 | - | |
| 160 | 152 | 160 | 6 | 9 | 15 | 104 | 8,58 | 38,8 | 30,4 | 1670 | 220 | 6,57 | 616 | 76,9 | 3,98 | 13,6 | 23 | 86 | - | |
| 180 | 171 | 180 | 6 | 9,5 | 15 | 122 | 9,69 | 45,3 | 35,5 | 2510 | 294 | 7,45 | 925 | 103 | 4,52 | 15,5 | 25 | 100 | - | |
| 200 | 190 | 200 | 6,5 | 10 | 18 | 134 | 11,7 | 53,8 | 42,3 | 3690 | 389 | 8,28 | 1340 | 134 | 4,98 | 17,2 | 25 | 110 | - | |
| 220 | 210 | 220 | 7 | 11 | 18 | 152 | 13,9 | 64,3 | 50,5 | 5410 | 515 | 9,17 | 1950 | 178 | 5,51 | 19,0 | 25 | 120 | - | |
| 240 | 230 | 240 | 7,5 | 12 | 21 | 164 | 16,3 | 76,8 | 60,3 | 7760 | 675 | 10,1 | 2770 | 231 | 6,00 | 20,9 | 25 | 94 | 35 | |
| 260 | 250 | 260 | 7,5 | 12,5 | 24 | 177 | 17,8 | 86,8 | 68,2 | 10450 | 836 | 11,0 | 3670 | 282 | 6,50 | 22,7 | 25 | 100 | 40 | |
| 280 | 270 | 280 | 8 | 13 | 24 | 196 | 20,6 | 97,3 | 76,4 | 13670 | 1010 | 11,9 | 4760 | 340 | 7,00 | 24,6 | 25 | 110 | 45 | |
| 300 | 290 | 300 | 8,5 | 14 | 27 | 208 | 23,5 | 113 | 88,3 | 18260 | 1260 | 12,7 | 6310 | 421 | 7,49 | 26,4 | 28 | 120 | 45 | |
| 320 | 310 | 300 | 9 | 15,5 | 27 | 225 | 26,5 | 124 | 97,8 | 22930 | 1480 | 13,6 | 8990 | 486 | 7,49 | 28,2 | 28 | 120 | 45 | |
| 340 | 330 | 300 | 9,5 | 16,5 | 27 | 243 | 29,8 | 133 | 105 | 27690 | 1680 | 14,4 | 7440 | 496 | 7,46 | 29,9 | 28 | 120 | 45 | |
| 360 | 350 | 300 | 10 | 17,5 | 27 | 261 | 33,2 | 143 | 112 | 33090 | 1890 | 15,2 | 7890 | 526 | 7,43 | 31,7 | 28 | 120 | 45 | |
| 400 | 390 | 300 | 11 | 19 | 27 | 299 | 40,8 | 159 | 125 | 45070 | 2310 | 16,8 | 8560 | 571 | 7,34 | 35,2 | 28 | 120 | 45 | |
| 450 | 440 | 300 | 11,5 | 21 | 27 | 344 | 48,2 | 178 | 140 | 63720 | 2900 | 18,9 | 9470 | 631 | 7,29 | 39,6 | 28 | 120 | 45 | |
| 500 | 490 | 300 | 12 | 23 | 27 | 390 | 56,0 | 198 | 155 | 86970 | 3550 | 21,0 | 10370 | 691 | 7,24 | 44,1 | 28 | 120 | 45 | |
| 550 | 540 | 300 | 12,5 | 24 | 27 | 438 | 64,3 | 212 | 168 | 111900 | 4150 | 23,0 | 10820 | 721 | 7,15 | 48,4 | 28 | 120 | 45 | |
| 600 | 590 | 300 | 13 | 25 | 27 | 486 | 73,4 | 226 | 178 | 141200 | 4790 | 25,0 | 11270 | 751 | 7,06 | 52,8 | 28 | 120 | 45 | |
| 650 | 640 | 300 | 13,5 | 26 | 27 | 534 | 82,9 | 242 | 190 | 175200 | 5470 | 26,9 | 11720 | 782 | 6,97 | 57,1 | 28 | 120 | 45 | |
| 700 | 690 | 300 | 14,5 | 27 | 27 | 582 | 96,1 | 260 | 204 | 215300 | 6240 | 28,8 | 12180 | 812 | 6,84 | 61,2 | 28 | 120 | 45 | |
| 800 | 790 | 300 | 15 | 28 | 30 | 674 | 114 | 286 | 224 | 303400 | 7680 | 32,6 | 12640 | 843 | 6,65 | 69,8 | 28 | 130 | 40 | |
| 900 | 890 | 300 | 16 | 30 | 30 | 770 | 138 | 321 | 252 | 422100 | 9480 | 36,3 | 13550 | 903 | 6,50 | 78,1 | 28 | 130 | 40 | |
| 1000 | 990 | 300 | 16,5 | 31 | 30 | 868 | 158 | 347 | 272 | 553800 | 11190 | 40,0 | 14000 | 934 | 6,35 | 86,4 | 28 | 130 | 40 | |
| HE-AA I PBII | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Breite I-Träger, besonders leichte Ausführung, Reihe HE-AA = PBII (nicht genormt; Mindestbestimmungen erforderlich) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 100 | 91 | 100 | 4,2 | 5,5 | 12 | 56 | 3,60 | 15,6 | 12,2 | 237 | 52,0 | 3,89 | 92,1 | 18,4 | 2,43 | 8,11 | 13 | 60 | - | |
| 120 | 109 | 120 | 4,2 | 5,5 | 12 | 74 | 4,35 | 18,6 | 14,6 | 413 | 75,8 | 4,72 | 159 | 26,5 | 2,93 | 9,83 | 17 | 69 | - | |
| 140 | 128 | 140 | 4,3 | 6 | 12 | 92 | 5,25 | 23,0 | 18,1 | 719 | 112 | 5,59 | 275 | 39,3 | 3,45 | 11,6 | 21 | 75 | - | |
| 160 | 148 | 160 | 4,5 | 7 | 15 | 104 | 6,34 | 30,4 | 23,8 | 1283 | 173 | 6,50 | 479 | 59,8 | 3,97 | 13,5 | 23 | 86 | - | |
| 180 | 167 | 180 | 5 | 7,5 | 15 | 122 | 7,97 | 36,5 | 28,7 | 1967 | 236 | 7,34 | 730 | 81,1 | 4,47 | 15,2 | 25 | 105 | - | |
| 200 | 186 | 200 | 5,5 | 8 | 18 | 134 | 9,79 | 44,1 | 34,6 | 2944 | 317 | 8,17 | 1068 | 107 | 4,92 | 17,0 | 25 | 115 | - | |
| 220 | 205 | 220 | 6 | 8,5 | 18 | 152 | 11,8 | 51,5 | 40,4 | 4170 | 407 | 9,00 | 1510 | 137 | 5,42 | 18,7 | 25 | 125 | - | |
| 240 | 224 | 240 | 6,5 | 9 | 21 | 164 | 14,0 | 60,4 | 47,4 | 5835 | 521 | 9,83 | 2077 | 173 | 5,87 | 20,5 | 25 | 93 | 35 | |
| 260 | 244 | 260 | 6,5 | 9,5 | 24 | 177 | 15,2 | 69,0 | 54,1 | 7981 | 654 | 10,8 | 2788 | 214 | 6,38 | 22,3 | 25 | 99 | 40 | |
| 280 | 264 | 280 | 7 | 10 | 24 | 196 | 17,8 | 78,0 | 61,2 | 10560 | 800 | 11,6 | 3664 | 262 | 6,85 | 24,2 | 25 | 99 | 50 | |
| 300 | 283 | 300 | 7,5 | 10,5 | 27 | 208 | 20,4 | 88,9 | 69,8 | 13800 | 976 | 12,5 | 4734 | 316 | 7,30 | 25,9 | 28 | 112 | 50 | |
| 320 | 301 | 300 | 8 | 11 | 27 | 225 | 23,2 | 94,6 | 74,2 | 16450 | 1093 | 13,2 | 4969 | 331 | 7,24 | 27,5 | 28 | 112 | 50 | |
| 340 | 320 | 300 | 8,5 | 11,5 | 27 | 243 | 26,2 | 101 | 78,9 | 19550 | 1222 | 13,9 | 5185 | 348 | 7,18 | 29,1 | 28 | 113 | 50 | |
| 360 | 339 | 300 | 9 | 12 | 27 | 261 | 29,4 | 107 | 83,7 | 23040 | 1359 | 14,7 | 5410 | 361 | 7,12 | 30,8 | 28 | 113 | 50 | |
| 400 | 378 | 300 | 9,5 | 13 | 27 | 298 | 34,7 | 118 | 92,4 | 31250 | 1654 | 16,3 | 5861 | 391 | 7,06 | 34,3 | 28 | 114 | 50 | |
| 450 | 425 | 300 | 10,0 | 13,5 | 27 | 344 | 41,1 | 127 | 99,7 | 41890 | 1971 | 18,2 | 6088 | 406 | 6,92 | 38,4 | 28 | 114 | 50 | |
| 500 | 472 | 300 | 10,5 | 14 | 27 | 390 | 48,1 | 137 | 107 | 54640 | 2315 | 20,0 | 6314 | 421 | 6,79 | 42,4 | 28 | 115 | 50 | |
| 550 | 522 | 300 | 11,5 | 15 | 27 | 438 | 58,3 | 153 | 120 | 72870 | 2792 | 21,8 | 6767 | 451 | 6,65 | 46,6 | 28 | 116 | 50 | |
| 600 | 571 | 300 | 12 | 15,5 | 27 | 486 | 66,7 | 164 | 129 | 91870 | 3218 | 23,7 | 6993 | 466 | 6,53 | 50,7 | 28 | 116 | 50 | |
| 650 | 620 | 300 | 12,5 | 16 | 27 | 534 | 75,5 | 176 | 138 | 113900 | 3678 | 25,5 | 7221 | 481 | 6,41 | 54,8 | 28 | 117 | 49 | |
| 700 | 670 | 300 | 13 | 17 | 27 | 582 | 84,9 | 191 | 150 | 142700 | 4260 | 27,3 | 7673 | 512 | 6,34 | 59,0 | 28 | 117 | 49 | |
| 800 | 770 | 300 | 14 | 18 | 30 | 674 | 105 | 218 | 172 | 208900 | 5426 | 30,9 | 8134 | 542 | 6,10 | 67,1 | 28 | 124 | 46 | |
| 900 | 870 | 300 | 15 | 20 | 30 | 770 | 127 | 252 | 198 | 301100 | 6923 | 34,6 | 9041 | 603 | 5,99 | 75,3 | 28 | 125 | 45 | |
| 1000 | 970 | 300 | 16 | 21 | 30 | 868 | 152 | 282 | 222 | 406500 | 8380 | 38,0 | 9501 | 633 | 5,80 | 83,2 | 28 | 126 | 45 | |

PRILOG 2.



BRODOMETALURGIJA d.o.o.
Solinska 5B
21 000 Split, Hrvatska

Tel: +385(0)21 535 029; +385(0)21 382 709
Fax: +385(0)21 535 075; +385(0)21 320 366
Email: info@brodometalurgija.hr
www.brodometalurgija.hr

Članovi uprave: Denis Čović, Emil Prisk, Kresimir Melin
Trgovački sud Split – MBS: 060249491
Uplaćeni temeljni kapital: 6.000.000,00 kn
Matični broj: 2448262
OIB: 31353718090

Rijeka, 25.03.2021.

n/r gdn. Thomas Načinović

PREDMET: Ponuda-15/2021/DK

Dobar dan, g. Thomas

U vezi Vašeg upita u mogućnosti sam ponuditi sljedeće:

| | | | | | |
|-----|-----|------|--------|------|-------|
| IPE | 180 | S235 | L= 6 m | 6,20 | kn/kg |
| IPE | 160 | S355 | L= 6 m | 6,80 | „ |
| IPE | 220 | S235 | L= 6 m | 6,20 | „ |
| IPE | 180 | S355 | L= 6 m | 6,80 | „ |
| IPE | 200 | S235 | L= 6 m | 6,20 | „ |
| HEA | 140 | S235 | L= 6 m | 6,20 | „ |
| HEA | 120 | S355 | L= 6 m | 6,80 | „ |
| HEA | 160 | S235 | L= 6 m | 6,20 | „ |
| HEA | 140 | S355 | L= 6 m | 6,80 | „ |

Cijene su bez PDV-a

Rok isporuke: 5-10 dana od vaše narudžbe

Paritet: EXW skladište Brodometalurgija Rijeka

Općija ponude: 02.04.2021. ili do isteka zalihe

Srdačan pozdrav

BRODOMETALURGIJA d.o.o.
Dragan Kitak
098-822-769

SOETE GENERALE Splitska Banka d.d.
IBAN: HR182230001100488859; SWIFT: SOGDHR22

Erste, Študentski trg bank d.d.
IBAN: HR5524020061100630684; SWIFT: E58CHR22

Zagrebačka banka d.d.
IBAN: HR7022600001100052582; SWIFT: ZABAHR2X