

GRADITELJSKA TEHNIČKA ŠKOLA

Avenija Većeslava Holjevca 17, Zagreb

MODUL SUSTAVI OPTEREĆENJA

Radni materijali / skripta

IME I PREZIME:_____

RAZRED:_____, ŠKOLSKA GODINA:_____

NASTAVNIK: Hrvoje Mostečak, dipl. ing. građ.

DIGITALNI OBRAZOVNI MATERIJALI

*(preuzeti sa stranice
<https://freedom.asoo.hr/>)*



Agencija za
strukovno obrazovanje
i obrazovanje odraslih



RAVNINSKI SUSTAV OPTEREĆENJA

Autor: Mislav Stepinac



Projekt je sufinancirala Europska unija iz Europskog socijalnog fonda.

Autor:

Mislav Stepinac

Sektor:

Graditeljstvo, geodezija i arhitektura

Naziv standarda kvalifikacije:

Građevinski tehničar/građevinska tehničarka (standard strukovnog dijela kvalifikacije)

Razina HKO: 4.2

Modul:

Sustavi opterećenja

Skup ishoda učenja:

Ravninski sustav opterećenja

Razina SIU: 4

Ishodi učenja:

1. Definirati silu i elemente kojima je sila potpuno definirana kao fizikalna veličina
2. Nacrtati silu u obliku vektora i rastaviti je na komponente
3. Nacrtati i izračunati rezultantu sustava sila grafički i računski
4. Definirati statički moment sile
5. Primijeniti poučak o momentu sila
6. Rješavati praktične primjere ravnoteže sila koristeći grafičke i analitičke uvjete ravnoteže

Ključni pojmovi:

djelovanja, opterećenja, prijenos opterećenja, stabilnost, ravnoteža

CSVET: 4

Datum izrade DOM-a: 31. srpnja 2023.

Napomena:

Riječi i pojmovni sklopovi koji imaju rodno značenje korišteni u ovom dokumentu (uključujući nazive strukovnih kvalifikacija, zvanja i zanimanja) odnose se jednako na oba roda (muški i ženski) i na oba broja (jedinu i množinu), bez obzira na to jesu li korišteni u muškom ili ženskom rodu, odnosno u jedini ili množini.

SADRŽAJ

Uvod	4
1. Ravninski sustav opterećenja	5
1.1. Opterećenja koja djeluju na konstrukcije.....	5
1.2. Uloga stupa, grede i ploče u prijenosu opterećenja	9
Provjerimo što smo naučili	11
Praktičan rad.....	13
Zanimljivosti	14
Za one koji žele znati više	14
Zaključak.....	15
Impresum.....	16
Literatura.....	17

UVOD

Građevinarstvo ima ključnu ulogu u sigurnosti konstrukcija koje nas okružuju. Time se bave projektanti konstrukcija, tzv. statičari, kojima je glavni zadatak jamčiti njihovu sigurnost i stabilnost. U tu svrhu potrebni su ulazni parametri, a to su opterećenja na građevine. Opterećenja mogu biti vanjska, npr. vjetar ili snijeg, ili vlastita težina konstrukcije. Za točan proračun prijenosa opterećenja bitno je, stoga, znati kako ta opterećenja djeluju i prenijeti ih na svaki konstrukcijski element građevine. Opterećenja mogu biti u smjeru gravitacije ili, pak, djelovati horizontalno. Sva djelovanja potrebno je uzeti u obzir i napraviti sve kombinacije opterećenja koje se mogu dogoditi u životnom vijeku građevine. Opterećenja djeluju na građevine površinski, ali ih je zbog jednostavnosti proračuna ponekad potrebno svesti na ravninske sustave opterećenja. Horizontalna opterećenja mogu uzrokovati otkazivanje stabilnosti pa je u građevinarstvu taj aspekt razvijen kao posebna disciplina.

Nakon ovog skupa ishoda učenja moći ćete:

- navesti niz opterećenja koja djeluju na konstrukcije
- razlikovati različite vrste sila koje djeluju na konstrukcije te analizirati njihov učinak
- opisati uloge stupa, grede i ploče u prijenosu opterećenja
- svesti površinska opterećenja na ravninske sustave
- odrediti unutarnje sile i reakcije u konstrukcijama
- opisati kako pojedini konstruktivni elementi utječu na stabilnost konstrukcija
- navesti razlike utjecaja vertikalnih i horizontalnih djelovanja na konstrukcije
- prepoznati nestabilne sustave.

1. Ravninski sustav opterećenja

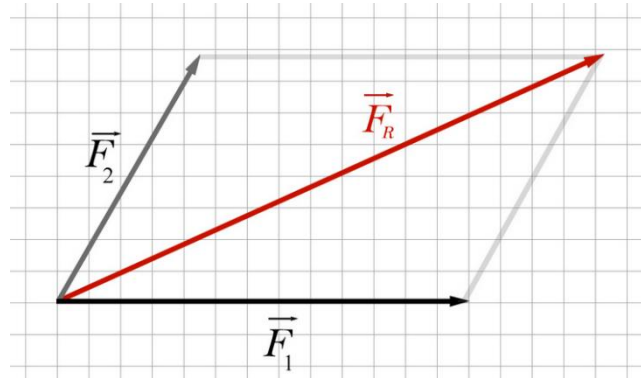
Jeste li se ikada zapitali kako zgrade mogu biti iznimno visoke ili, pak, vrlo neobičnih oblika? Jedan od ključnih čimbenika koji određuje njihovu stabilnost i nosivost način je na koji podnose opterećenja. Pojednostavljeno, opterećenje je sila koja djeluje na konstrukciju, npr. težina ljudi, namještaja, građevinskih slojeva, vlastite težine elemenata ili sila vjeta i snijega. Konstrukcije su projektirane tako da učinkovito prenose opterećenja i raspoređuju ih na nosive elemente, čime je zajamčena njihova sigurnost i stabilnost.

1.1. Opterećenja koja djeluju na konstrukcije

Silu možemo definirati kao fizikalnu veličinu koja djeluje na tijelo i uzrokuje promjenu u njegovu gibanju ili obliku. Kao temeljni pojam mehanike, sila se ne razlikuje u „graditeljskom smislu“, već se u graditeljstvu primjenjuje u specifičnim kontekstima prijenosa i raspodjele opterećenja npr. kada se građevinski element podupire ili kada vjetar djeluje na fasadu. Na građevine djeluju različite sile koje se mogu jednostavno razumjeti ako se povežu s konkretnim situacijama iz svakodnevnog života ili gradilišta. Stalna sila (tj. djelovanje) je vlastita težina građevine, koja uključuje masu zidova, podova, krovova i svih ugrađenih elemenata. Tu su zatim korisna opterećenja, poput ljudi, namještaja, školskih ploča ili strojeva u industrijskoj hali. Ako zamislimo učionicu ispunjenu učenicima, svaka osoba predstavlja silu koja djeluje prema dolje na pod, a pod tu silu mora prenijeti na grede i zidove. Snijeg na krovu također se računa kao opterećenje – njegova težina pritišće konstrukciju odozgo, a količina snijega ovisi o klimi i obliku krova. Vjetar najčešće djeluje kao horizontalna sila na vanjsku ovojnici građevine. Osim toga, postoje i temperaturne sile koje nastaju kada se materijali šire ili skupljaju zbog promjene temperature, primjerice, kada se metalna ograda ljeti rastegne, a zimi skrati. U nekim slučajevima treba uračunati i tlak vode (ako se građevina nalazi ispod razine vode).

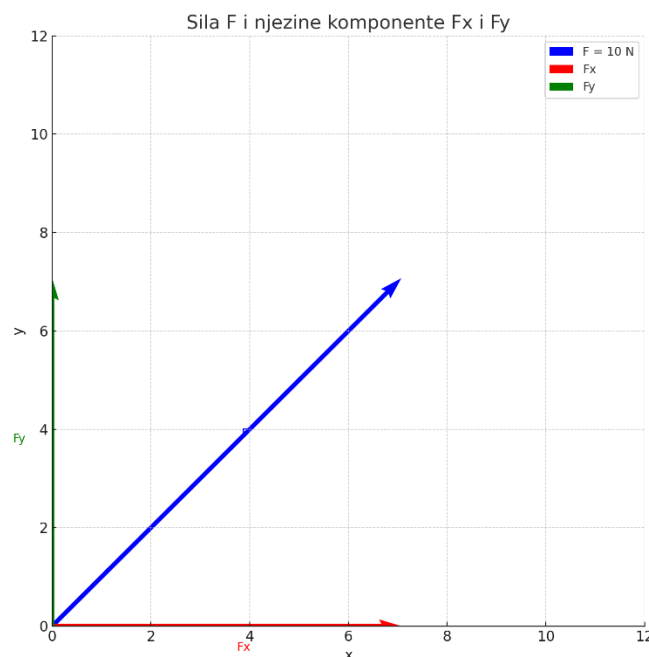
U svim tim primjerima dolazi do međudjelovanja tijela i uzrokovanja gibanja, deformacije ili reakcije, tj. onako kako se sila shvaća i definira u mehanici. Sila je vektorska veličina, te se vizualno prikazuje strelicom koja ima određeni pravac (liniju djelovanja), smjer (orijentaciju), točku primjene (hvatište) i veličinu (duljinu vektora razmjernu intenzitetu sile). U tehničkom crtanju i analizi, vektori se crtaju u mjerilu koje omogućuje usporedbu sila i njihovo međusobno djelovanje (slika 1). U svrhu razumijevanja složenijih sustava, više sila koje djeluju na isto tijelo mora se zbrojiti. To se čini grafički – uporabom metode paralelograma ili trokutne metode – pri čemu se svaka sila prenosi u zajedničku početnu točku te se konstruira rezultanta, odnosno ukupni učinak svih sila. U tehničkom crtežu, rezultanta se prikazuje kao strelica koja zamjenjuje sve pojedinačne sile po učinku. Kada sile ne djeluju u istom smjeru, već pod određenim kutom, one se razlažu na komponente, obično u vodoravnom (x) i okomitom (y) smjeru. Taj se postupak naziva rastavljanje sile na komponente. Komponente se dobivaju pomoću osnovnih trigonometrijskih funkcija: sinus i kosinus. Na primjer, ako je poznata sila i kut pod kojim djeluje, tada se vodoravna komponenta izračunava kao $F \cdot \cos(\alpha)$, a okomita kao $F \cdot \sin(\alpha)$. U praksi se ovakva analiza koristi prilikom proračuna nagiba krovnih elemenata, dijagonalnih podupirača ili kosih elemenata rešetkastih konstrukcija. U svrhu razvijanja razumijevanja tih koncepata koristi se kombinacija grafičkih prikaza, konkretnih primjera iz gradilišnih situacija i računalnih simulacija. Na taj način osigurava se ne samo razumijevanje

apstraktnih pojmova, već i njihova primjena u kontekstu konstrukcijskih sustava i ravnoteže građevinskih elemenata. Grafički alati i digitalne animacije mogu se dodatno upotrijebiti kako bi se prikazale sile koje djeluju na gredu, stup, rešetku ili krov.



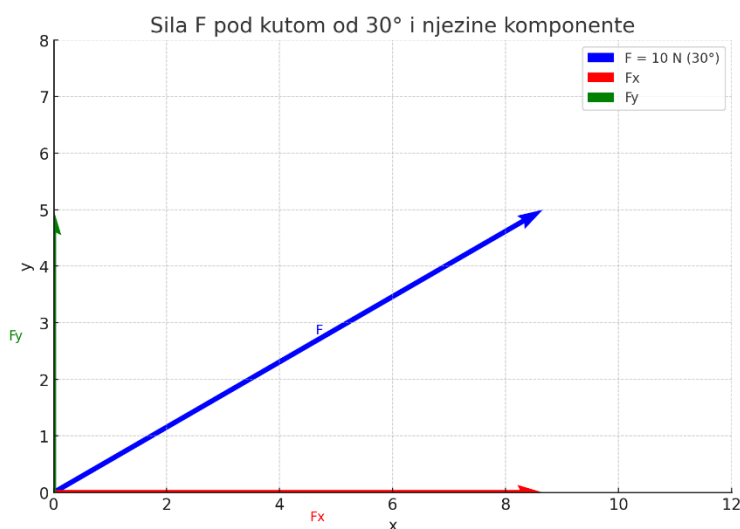
Slika 1. Vektorski zbroj sila – pravilo paralelograma

Na slici 2 je prikazana sila F u obliku vektora, koja djeluje pod kutom od 45° . Sila je rastavljena na dvije komponente: vodoravnu komponentu F_x (crveno) i okomitu komponentu F_y (zeleno). Pomoću ovog prikaza može vidjeti kako se složena sila može analizirati u dva osnovna smjera. Analitičkim pristupom, koristeći osnovne trigonometrijske funkcije, može se izračunati razlaganje sile na komponente. U ovom slučaju, riječ je o sili veličine 10 N koja djeluje pod kutom od 45 stupnjeva u odnosu na vodoravnu os. Vodoravna komponenta sile dobiva se množenjem ukupne sile s kosinusom kuta, dok se okomita komponenta dobiva množenjem s sinusom istog kuta. Primjenom ove metode, vrijednost vodoravne komponente iznosi približno 7,07 N, a ista vrijednost dobiva se i za okomitu komponentu, s obzirom na to da su sinus i kosinus od 45 stupnjeva jednaki ($\approx 0,7071$).



Slika 2. Vektorski zbroj sila – pravilo paralelograma

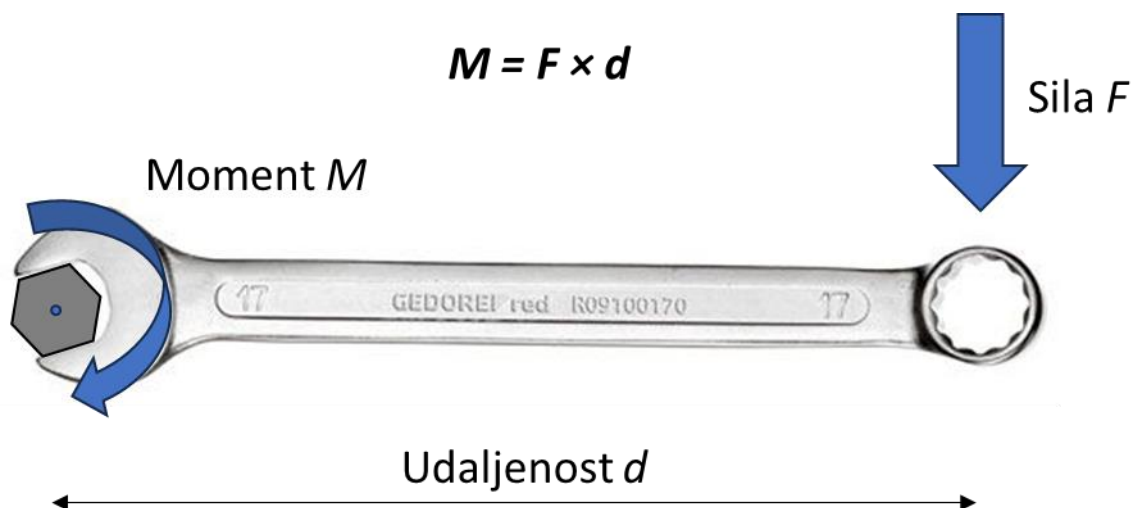
Za silu koja djeluje pod kutom od 30 stupnjeva prikazanoj na slici 3 u odnosu na vodoravnu os koriste se isti matematički principi kao i u prethodnom primjeru. Vodoravna komponenta sile izračunava se množenjem ukupne sile s kosinusom zadanog kuta, dok se okomita komponenta dobiva pomoću sinusa istog kuta. Ako je iznos sile 10 N, tada se njezine komponente mogu izraziti na sljedeći način: $F_x = 10 \cdot \cos(30)$, što daje približno 8,66 N, i $F_y = 10 \cdot \sin(30)$, što iznosi približno 5,00 N. Iz takve analize vidljivo je da manji kut između sile i vodoravne osi dovodi do toga da veći dio sile djeluje vodoravno, a manji okomito. Upravo zato su ovakvi proračuni važni u tehničkim situacijama gdje se koristi kosi prijenos opterećenja, primjerice kod kosih greda ili dijelova rešetkastih konstrukcija.



Slika 3. Vektorski zbroj sila – pravilo paralelograma

Veličina sile mjeri se u njutnima (N) i predstavlja količinu djelovanja sile. U fizici sila se opisuje Newtonovim zakonom dinamike, koji kaže da je ubrzanje tijela proporcionalno sili koja djeluje na tijelo i obrnuto proporcionalno masi tijela. Taj zakon izražava matematičku vezu između sile, mase i ubrzanja tijela.

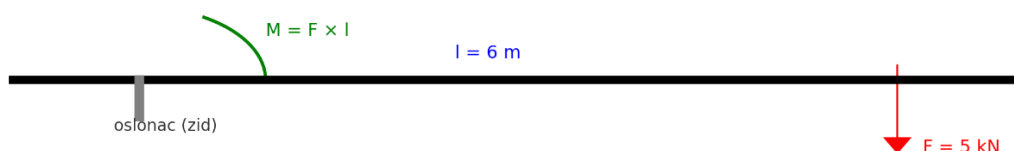
Statički moment sile fizikalna je veličina koja mjeri sposobnost sile da uzrokuje rotaciju oko određene točke ili osi. Statički moment sile mjeri se u njutnmetrima (Nm). Da bi se odvrtjela [matica](#) ili [vijak](#), upotrebljavamo [ključ](#). Što je ručica ključa dulja, manja je sila koju moramo upotrijebiti. Statički moment uzrokuje vrtnju (slika 4.). Obično se uzima da je pozitivan ako uzrokuje vrtnju u smjeru kazaljke na satu, a negativan ako uzrokuje vrtnju obrnuto od kazaljke na satu.



Slika 4. Moment sile

U praktičnoj primjeni, poučak o momentu sile koristi se za analizu učinaka sile na konstrukcijske elemente poput greda, stupova i zidova. Moment sile definira se kao umnožak sile i njezine udaljenosti od osi rotacije, a označava koliko neka sila ima potencijala uzrokovati zakretanje oko te točke. Na slici 5 prikazan je primjer jednostavne grede oslonjene na zidu (točka oslonca) i opterećene silom na suprotnom kraju. Udaljenost između točke djelovanja sile i oslonca iznosi šest metara, a sila iznosi 10 N. Moment koji ta sila stvara u točki oslonca iznosi $M = F \cdot l = 10 \cdot 6 = 60 \text{ Nm}$.

Primjena momenta sile na gredu (npr. krovna greda)

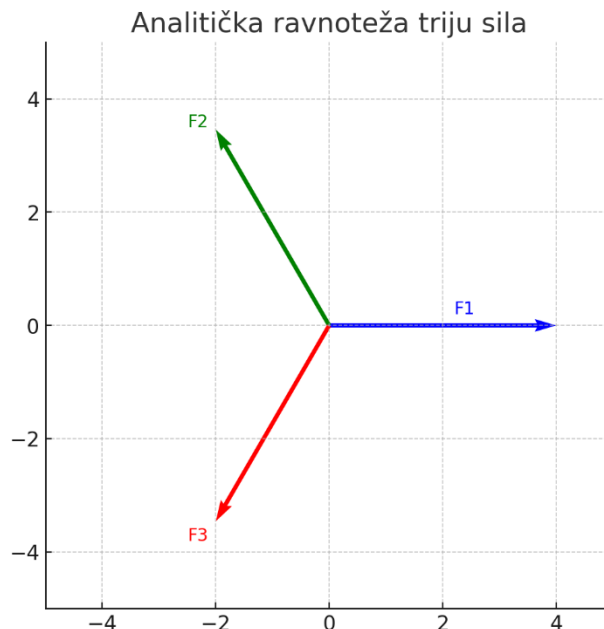


Slika 5. Moment sile

U graditeljstvu se moment sile često javlja kod greda krovne konstrukcije, primjerice, kada snijeg pritišće krovni pokrov i prenosi silu na grede. Ako je ta sila udaljena od oslonca, dolazi do stvaranja momenta koji greda mora izdržati. Slično je i kod stupova zgrada kada vjetar djeluje na pročelje – što je konstrukcijski element viši, veći je moment. U oba slučaja, razumijevanje momenta omogućuje pravilno dimenzioniranje i siguran prijenos opterećenja.

U ravnoteži sila važno je razumjeti da se svi učinci sile međusobno poništavaju. U građevinskoj statici, ravnoteža se koristi za određivanje reakcija oslonaca i razumijevanje kako konstrukcija prenosi opterećenja. Dva su osnovna pristupa za rješavanje ovakvih problema: grafički i analitički. Grafički način oslanja se na vektorsko prikazivanje sile. Analitički pristup koristi matematičke jednadžbe, najčešće uvjete: $\sum F_x = 0$, $\sum F_y = 0$, i $\sum M = 0$. Na slici 6 prikazan je sustav triju sila. Sila F_1 djeluje vodoravno, F_2 prema gore lijevo, a F_3 prema dolje lijevo.

Ovdje se svaka sila razlaže na svoje komponente u x i y smjeru. U ravnoteži, sve vodoravne komponente zajedno daju nulu, kao i sve okomite. Tipično se ovakav sustav pojavljuje kod trokutastih nosača, dijelova rešetkastih konstrukcija ili oslonaca krovništa. Najvažnije je razumjeti da se sve sile međusobno uravnotežuju bilo pomoću vektora na papiru ili uz pomoć jednostavne jednačbe. Ovi principi su temelj za kasnije razumijevanje složenijih konstrukcija poput zgrada, mostova ili hala.



Slika 6. Moment sile

1.2. Uloga stupa, grede i ploče u prijenosu opterećenja

Svaka građevina ima nosive i nenosive elemente. Nosivi elementi poput greda, stupova i zidova prenose opterećenja do temelja konstrukcije. Ti nosivi elementi pažljivo su projektirani i postavljeni kako bi ravnomjerno raspodijelili opterećenja, osiguravajući da konstrukcija ne otkáže prilikom predviđenih djelovanja na nju.

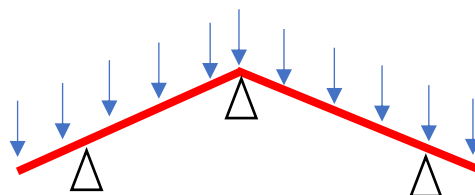
Osnovna su djelovanja (spomenuta i ranije) vlastita težina, korisna opterećenja, snijeg i vjetar. Naravno, u proračunima se moraju uzeti u obzir i ostala specifična opterećenja, kao što su potres, temperatura, tlak vode i slično. Stalna opterećenja na konstrukciju djeluju cijelo vrijeme (npr. težina same konstrukcije, trajne pregrade, uređaji i oprema). Obično se smatra da ta opterećenja djeluju u smjeru gravitacije. Korisna su opterećenja privremena i promjenjiva, a proizlaze iz korištenja građevine. Primjeri uključuju težinu ljudi, namještaja, vozila ili opreme, što se može promijeniti tijekom vremena. Opterećenje vjetrom horizontalne su sile koje djeluju na konstrukciju, a mogu varirati u veličini i smjeru, ovisno o čimbenicima kao što su brzina vjetra, oblik građevine i njezin položaj. Opterećenje snijegom djeluje na konstrukciju težinom nakupljenog snijega na njezinim površinama, a ovisi o čimbenicima kao što su geografski položaj, nagib krova i izloženost građevine.

Kada se govori o svim spomenutim opterećenjima, misli se na silu po jedinici površine, kao što je kilonjutt po četvornom metru (kN/m^2). Međutim, kada se radi o prijenosu tih opterećenja na nosive elemente, praktičnije ih je pretvoriti u opterećenja po jedinici duljine, kao što su kN po metru (kN/m). Pretvorba omogućuje bolje razumijevanje rasporeda opterećenja duž određenog elementa konstrukcije. Učeci o ravninskim sustavima opterećenja i kako se ona prenose na nosive elemente, dobije se dublje razumijevanje sila koje djeluju na konstrukcije i kako ih inženjeri projektiraju da budu sigurne i učinkovite.

Zamislite horizontalnu gredu koja prenosi opterećenje od ploče na kojoj se nalazi školska učionica. Na svakom kvadratnom metru u učionici nalaze se 4 učenika, svaki mase otprilike 50 kg. Ukupno opterećenje učenika iznosi 200 kg/m^2 , što je zapravo 2 kN/m^2 . Da biste izračunali opterećenje po jedinici duljine, pomnožite opterećenje po jedinici površine s razmakom greda i dobit ćete opterećenje po m .

Opterećenje po jedinici duljine = Opterećenje po jedinici površine $\times$ Raspon grede

Ako je razmak greda 5 m, opterećenje po jedinici duljine koje djeluje na tu gredu iznosi 10 kN/m . Ta vrijednost pomaže inženjerima razumjeti raspodjelu opterećenja duž duljine grede pa dimenzioniraju poprečni presjek grede i nosača u skladu s tim. Na slici 7 prikazano je opterećenje snijegom na krov, a na slici 8 linijska opterećenja s drvenog krova.



Slika 7. a) Opterećenje snijegom na krov; b) Svođenje površinskog opterećenja na ravninski sustav



Slika 8. Prikaz drvenog krovišta – linijska opterećenja s krova preuzimaju „linijski“ elementi (rogovi) te ih prenose podrožnicama na drvene rešetk



Provjerimo što smo naučili

Ishod 1: Definirati silu i elemente kojima je sila potpuno definirana kao fizikalna veličina

1. **Tvrdnja:** Sila je skalarna veličina, definirana samo svojim iznosom. (TOČNO/NETOČNO)
2. Koja od navedenih opcija **nije** jedan od elemenata kojima je sila potpuno definirana?
 - a) Pravac
 - b) Boja
 - c) Hvačište.
3. Nabroji četiri elementa kojima je sila kao vektor potpuno definirana.
4. Objasni razliku između stalnih i korisnih opterećenja na građevini i navedi po jedan primjer za svako.
5. Zašto je važno razumjeti silu kao vektorsku veličinu u građevinskoj statici?

Ishod 2: Nacrtati silu u obliku vektora i rastaviti je na komponente

1. **Dopuni:** Postupak razlaganja sile na njene horizontalne i vertikalne komponente naziva se _____ sile.
2. Ako sila od 10 N djeluje pod kutom od 45° u odnosu na horizontalu, njena horizontalna (F_x) i vertikalna (F_y) komponenta su:
 - a) $F_x > F_y$
 - b) $F_x < F_y$

- c) $F_x = F_y$.
3. Opiši kako se grafički zbrajaju dvije sile koje djeluju iz iste točke pomoću pravila paralelograma.
 4. Zašto je u graditeljstvu korisno rastavljati kose sile na njihove horizontalne i vertikalne komponente? Navedi jedan praktičan primjer.
 5. Zadana je sila $F = 20 \text{ kN}$ koja djeluje pod kutom od 60° prema horizontalnoj osi. Izračunaj njenu horizontalnu i vertikalnu komponentu.

Ishod 3: Nacrtati i izračunati rezultantu sustava sila grafički i računski

1. **Tvrdnja:** Rezultanta je sila koja ima suprotan učinak od svih pojedinačnih sila u sustavu zajedno. (TOČNO/NETOČNO)
2. **Dopuni:** Grafička metoda zbrajanja više sila, gdje se vektori nadovezuju jedan na drugi, naziva se pravilo _____ sila.
3. Što predstavlja rezultanta sustava sila?
4. Opiši grafički postupak određivanja rezultante dviju paralelnih sila koje djeluju u istom smjeru.
5. Na gredu djeluju dvije vertikalne sile prema dolje: $F_1 = 5 \text{ kN}$ i $F_2 = 10 \text{ kN}$. Udaljenost između njih je 2 m . Analitički odredi iznos i položaj njihove rezultante.

Ishod 4: Definirati statički moment sile

1. Mjerna jedinica za statički moment sile je:
 - a) N (njutn),
 - b) Nm (njutnmetar),
 - c) N/m (njutn po metru).
2. **Tvrdnja:** Što je krak sile veći, to je potreban manji iznos sile da bi se postigao isti moment. (TOČNO/NETOČNO)
3. Definiraj statički moment sile svojim riječima.
4. Navedi jedan praktičan primjer iz dokumenta gdje se primjenjuje koncept momenta sile.
5. Objasni zašto sila čiji pravac djelovanja prolazi kroz točku promatranja ne stvara moment oko te točke.

Ishod 5: Primijeniti poučak o momentu sile

1. **Dopuni:** Poučak o momentu sile često se naziva i _____ poučak. (Potraži odgovor na internetu ako nije eksplicitno naveden).
2. **Tvrdnja:** Moment rezultante oko neke točke jednak je algebarskom zbroju momenata njenih komponenata oko iste točke. (TOČNO/NETOČNO)
3. Kako glasi poučak o momentu sile?

- Opiši kako se primjenjuje poučak o momentu sile za analizu grede opterećene kosom silom.
- Na konzolnu gredu duljine 4 m djeluje vertikalna sila od 10 kN na samom kraju. Izračunaj koliki moment ta sila stvara u točki gdje je greda upeta (oslonac).

Ishod 6: Rješavati praktične primjere ravnoteže sila koristeći grafičke i analitičke uvjete ravnoteže

- Dopuni:** Tri osnovne jednačbe analitičkih uvjeta ravnoteže su: $\sum F_x=0$, $\sum F_y=0$ i $\sum \underline{\quad}=0$.
- Ako je sustav sila u ravnoteži, znači da se:
 - Tijelo ubrzano giba
 - Tijelo ne giba ili se giba jednoliko
 - Tijelo rotira.
- Što znači kada kažemo da je neki konstrukcijski sustav u ravnoteži?
- Opiši razliku između grafičkog i analitičkog pristupa rješavanju problema ravnoteže.
- Zamisli jednostavnu gredu na dva oslonca. Na sredini grede djeluje vertikalna sila od 20 kN. Kolike su reakcije (vertikalne sile) u svakom od oslonaca? Postavi jednačbe ravnoteže i riješi zadatak.



Praktičan rad

- Pripremite kratko izlaganje s opisom gdje su u Republici Hrvatskoj najveća opterećenja snijegom, a gdje vjetrom. Pomoću karte snijega i vjetra odredite vrijednosti opterećenja za vašu školu te je usporedite s težinom svih učenika u razredu.
- Izračunajte sva opterećenja koja djeluju na podnu ploču vaše učionice. U grupama odredite vrijednosti stalnih i korisnih opterećenja. Pronađite statički sustav svoje zgrade i odredite opterećenja po četvornom metru i po m' ako postoje grede.
- Na internetu pronađite videosnimke o djelovanjima na zgrade, vrstama opterećenja i kombinacijama opterećenja.
 - Što ste iz videozapisa naučili?
 - Koja sve djelovanja na građevine poznajete?
 - Koja je razlika djelovanja snijega i vjetra na konstrukciju?
 - Kako biste površinsko opterećenje sveli na ravninsko?
 - Zašto je bitno pravilno i precizno odrediti opterećenja na konstrukciju?
 - Što su korisna, a što stalna opterećenja?
 - Što su koncentrirana, a što kontinuirana opterećenja?
 - Kako opterećenja prenose ploče, a kako grede?



Zanimljivosti

- Lukovi su izvanredni nosivi elementi. Opterećenje postavljeno na luk ravnomjerno se raspoređuje duž njegove osi i prenosi ga u obliku tlačnih sila na oslonce na svakom kraju. Ta karakteristika omogućuje lukovima nositi značajna opterećenja i stvoriti goleme otvorene prostore bez potrebe za dodatnim stupovima ili nosačima.
- Trokutasti oblici naširoko se koriste u visokogradnji jer imaju iznimno povoljna geometrijska svojstva koja pomažu u prijenosu opterećenja. Kada se opterećenja primjenjuju na trokut, sile se raspoređuju duž stranica, omogućujući da se opterećenje učinkovito prenese na oslonce. Zbog toga se u mostovima i krovovima često koriste rešetkaste konstrukcije, koje se sastoje od međusobno povezanih trokuta.
- Konstrukcije ne moraju izdržati samo statička opterećenja (kao što je težina zgrade), već moraju uzeti u obzir i dinamička opterećenja. Dinamička opterećenja su sile koje se mijenjaju tijekom vremena, poput onih uzrokovanih vjetrom, potresima ili vibracijama.
- Opterećenje snijegom u kontinentalnoj Hrvatskoj na 100 m nadmorske visine iznosi otprilike 120 kg/m^2 . Opterećenja snijegom izmjere se pomoću vrijednosti iz karte snijega, a ona se dobije dugotrajnim prikupljanjem podataka i mjerenja snijega.



Za one koji žele znati više

- **Zadatak za ishod 1:** Istražite razliku između koncentrirane sile i kontinuiranog (jednoliko raspodijeljenog) opterećenja. Nacrtajte skicu jednostavne grede na dva oslonca i na njoj prikažite: a) jednu koncentriranu silu na sredini i b) kontinuirano opterećenje po cijeloj duljini.
- **Zadatak za ishod 2:** Pronađite na internetu sliku rešetkastog krovnog nosača. Odaberite jedan čvor na nosaču u koji ulaze barem dva kosa štapa. Skicirajte taj čvor i sile koje djeluju u štapovima. Zatim, za jednu od kosih sila, grafički je rastavite na njenu horizontalnu i vertikalnu komponentu.
- **Zadatak za ishod 3:** Zamislite da dva radnika vuku teški kameni blok. Jedan vuče silom od 300 N prema istoku, a drugi silom od 400 N prema sjeveru. Nacrtajte grafički prikaz ovog sustava sila u mjerilu i konstruirajte rezultantu. Zatim analitički izračunajte iznos (veličinu) i kut djelovanja resultantne sile.
- **Zadatak za ishod 4:** Izvedite mali eksperiment: Uzmite ravnalo ili daščicu i postavite je na olovku tako da bude u ravnoteži (kao klackalica). Zatim na jednu stranu stavite jedan novčić na određenoj udaljenosti od olovke, a na drugu stranu dva novčića. Pomičite dva novčića sve dok sustav ponovno ne bude u ravnoteži. Izmjerite

udaljenosti i provjerite vrijedi li jednadžba momenata ($M_1 = M_2$). Dokumentirajte eksperiment fotografijom.

- **Zadatak za ishod 5:** Istražite kako se pomoću poučka o momentu sila određuje položaj težišta složenog lika (npr. lika u obliku slova L). Nacrtajte lik u obliku slova L s proizvoljnim dimenzijama, podijelite ga na dva pravokutnika i zatim, koristeći poučak o momentu statičkih momenata površina, analitički izračunajte koordinate njegovog težišta.
- **Zadatak za ishod 6:** Pronađite sliku jednostavne konzolne grede (npr. balkon ili nadstrešnica) koja je opterećena vlastitom težinom i snijegom. Nacrtajte statičku shemu te grede. Procijenite opterećenja i zatim postavite jednadžbe ravnoteže ($\sum F_x$, $\sum F_y$, $\sum M$) kako biste odredili koje sve reakcije (sile i moment) moraju postojati u upetom osloncu da bi greda bila u ravnoteži.

ZAKLJUČAK

Razumijevanje ravninskih opterećenja i njihova utjecaja nužno je za sigurno projektiranje konstrukcija. Naučili smo da opterećenja, poput težine ljudi, namještaja, vjetra ili snijega, imaju ključnu ulogu u određivanju stabilnosti i mehaničke otpornosti konstrukcija.

Pažljivim projektiranjem i analizom inženjeri organiziraju raspored elemenata kojima se ravnomjerno raspoređuju sile, osiguravajući da ni jedna komponenta nije preopterećena.

Kada se govori o stabilnosti, podrazumijeva se sposobnost konstrukcije da se odupre vanjskim silama bez urušavanja ili prekomjerne deformacije. Stabilnost se postiže analizom sila koje djeluju na konstrukciju i osiguranjem da su one učinkovito prenesene i uravnotežene njezinim komponentama. Stabilnost u konstrukcijskom kontekstu prvenstveno je usmjerena na horizontalna djelovanja vjetra i potresa, ali i na jako velika gravitacijska opterećenja koja mogu dovesti do izbočivanja elemenata, tj. gubitka njihove stabilnosti. Djelovanja su u Europskoj uniji određena strogo definiranim normama koje se zovu konstrukcijski Eurokodovi.

Impresum

Autor:

Mislav Stepinac

Nakladnik:

Agencija za strukovno obrazovanje i obrazovanje odraslih

Izvoditelj:

Algebra d.o.o.

Recenzent:

Baldo Stančić

Urednik:

Štefica Dumančić Poljski

Lektor:

Ivana Previšić

Grafička priprema:

BARREK d.o.o.

Stručnjak za metodičko-didaktičko oblikovanje:

Sanja Janeš

Voditelj Projekta:

Siniša Đurđević

Izvori fotografija:

1. Mislav Stepinac, autorski rad
2. Mislav Stepinac, autorski rad
3. Mislav Stepinac, autorski rad
4. Mislav Stepinac, autorski rad
5. Mislav Stepinac, autorski rad
6. Mislav Stepinac, autorski rad
7. Mislav Stepinac, autorski rad
 - a) Houses Roofs Snow Load (2023). *Pixabay*. Pixabay.com. Preuzeto 24. 7. 2023. s: <https://pixabay.com/photos/houses-roofs-snow-load-snow-winter-5904900/>;
 - b) Mislav Stepinac, autorski rad
8. Mislav Stepinac, autorski rad

Literatura

1. Dvornik, J., Lazarević, D., Bičanić, N. (2019). *O načelima i postupcima proračuna građevinskih konstrukcija*. Zagreb: Građevinski fakultet Sveučilišta
2. Mihanović, A.; Trogrlić, B. (1995). *Građevna statika 1*. Split: Građevinski fakultet
3. Saliklis, E. (2022). *Architectural Structures Visualizing Load Flow Geometrically*. GB: Taylor & Francis Ltd.

Sadržaj ove publikacije isključiva je odgovornost Agencije za strukovno obrazovanje i obrazovanje odraslih.

Projekt je sufinancirala Europska unija iz Europskog socijalnog fonda.

Za više informacija o EU fondovima posjetite web stranicu Ministarstva regionalnoga razvoja i fondova Europske unije: www.strukturnifondovi.hr.



Agencija za
strukovno obrazovanje
i obrazovanje odraslih





Agencija za
strukovno obrazovanje
i obrazovanje odraslih



STABILNOST GRAĐEVINA

Autor: Mislav Stepinac



Projekt je sufinancirala Europska unija iz Europskog socijalnog fonda.

Autor:

Mislav Stepinac

Sektor:

Graditeljstvo, geodezija i arhitektura

Naziv standarda kvalifikacije:

Građevinski tehničar/gr građevinska tehničarka (standard strukovnog dijela kvalifikacije)

Razina HKO: 4.2

Modul:

Sustavi opterećenja

Skup ishoda učenja:

Stabilnost građevina

Razina SIU: 4

Ishodi učenja:

1. Odrediti težište različitih poprečnih presjeka
2. Analizirati stabilnost konstrukcije na prevrtanje
3. Analizirati stabilnost konstrukcije na klizanje
4. Opisati stabilnost konstrukcije na slijeganje

Ključni pojmovi:

djelovanja, opterećenja, stabilnost, ravnoteža, prevrtanje, slijeganje

CSVET: 1

Datum izrade DOM-a: 19. srpnja 2023.

Napomena:

Riječi i pojmovni sklopovi koji imaju rodno značenje korišteni u ovom dokumentu (uključujući nazive strukovnih kvalifikacija, zvanja i zanimanja) odnose se jednako na oba roda (muški i ženski) i na oba broja (jedinu i množinu), bez obzira na to jesu li korišteni u muškom ili ženskom rodu, odnosno u jedini ili množini.

SADRŽAJ

Uvod	4
1. Stabilnost građevina	4
1.1. Prevrtnje	7
1.2. Klizanje	9
1.3. Slijeganje	9
Provjerimo što smo naučili	11
Praktičan rad.....	12
Zanimljivosti	13
Za one koji žele znati više	13
Zaključak.....	14
Impresum.....	15
Literatura.....	16

UVOD

Stabilnost građevina ili konstrukcijska stabilnost temeljni je koncept u visokogradnji, koji se odnosi na sposobnost konstrukcije da se odupre vanjskim silama i održi svoju ravnotežu. Osiguravanje konstrukcijske stabilnosti izuzetno je važno jer izravno utječe na sigurnost, funkcionalnost i trajnost zgrade u skladu s njezinim životnim vijekom. Pravilnom analizom globalnog ponašanja zgrade, analizom i projektiranjem konstrukcijskih elemenata, odabirom odgovarajućih materijala i primjenom koncepta robusnosti može se održati i osigurati stabilnost.

Nakon ovog skupa ishoda učenja moći ćete:

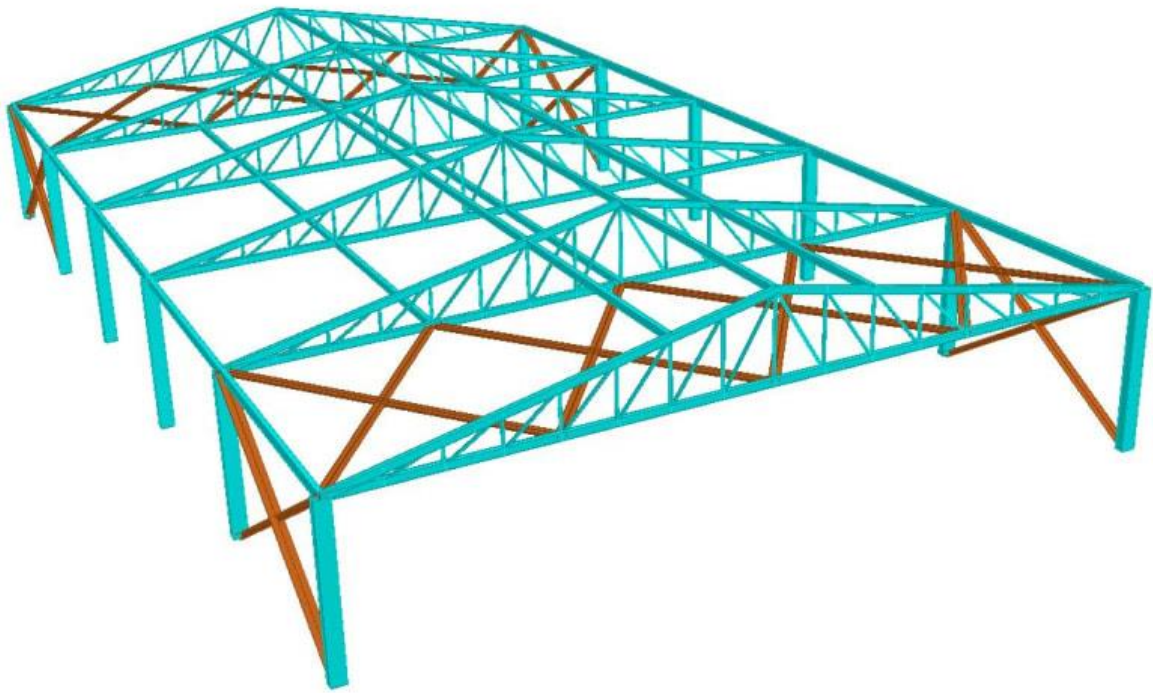
- odrediti težište različitih poprečnih presjeka
- napraviti analizu stabilnosti konstrukcije na prevrtanje
- napraviti analizu stabilnosti konstrukcije na klizanje
- napraviti analizu stabilnosti konstrukcije na slijeganje
- opisati kako konstruktivni elementi utječu na stabilnost konstrukcija
- odrediti nestabilne sustave.

1. Stabilnost građevina

Stabilnost je svojstvo određenoga fizikalnog sustava da održava ravnotežno stanje nakon prestanka djelovanja uzroka koji je ravnotežu poremetio. U građevinarstvu stabilnost označava održavanje ravnoteže, tj. proračunava se ravnoteža tijela.

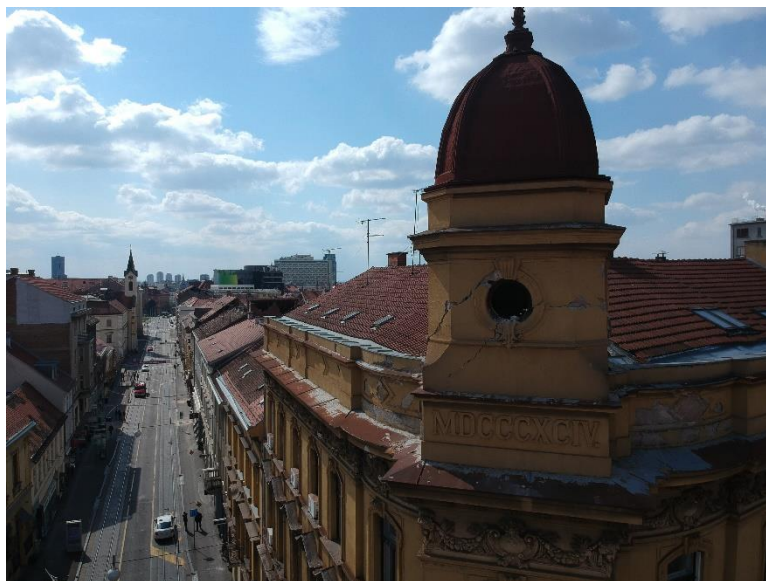
Razlikujemo globalnu stabilnost sustava i lokalnu stabilnost elemenata.

Globalna stabilnost vezana je uz ponašanje konstrukcije kao sustava, pa ako se ona naruši, dolazi do otkazivanja cijele građevine. Strateškim postavljanjem nosivih elemenata, kao što su stupovi i zidovi, inženjeri osiguravaju odupiranje konstrukcije gravitacijskim opterećenjima. Međutim, ponekad je potrebno konstrukciju dodatno stabilizirati određenim elementima kako bi ona prihvatila bočne sile vjetra ili potresa. Globalna stabilnost jako je bitna u konstrukcijama izrađenim od linijskih elemenata, npr. drvenim i čeličnim konstrukcijama (Slika 1.). Bočno povezivanje vertikalnih elemenata osigurava se čeličnim spregovima, dodatnim ukrućenjima, specijaliziranim statičkim sustavima. Ti sustavi pomažu u raspodjeli bočnih sila i sprječavaju prekomjerne pomake ili kolaps cijele konstrukcije. Računalno potpomognuti alati za projektiranje i analizu često se koriste za simulaciju i optimizaciju ponašanja konstrukcije, povećavajući točnost i učinkovitost procesa projektiranja.



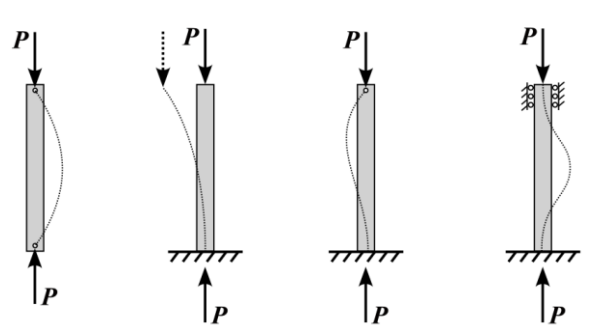
Slika 1. Čelična hala i sustav stabilizacija

Izvanredno djelovanje, kao što je potres, također može narušiti stabilnost konstrukcije. Potresi uzrokuju pomake tla, što može izazvati značajne bočne sile i deformacije koje djeluju na građevine (Slika 2.). Postizanje stabilnosti uključuje projektiranje konstrukcija s odgovarajućom nosivosti, duktilnosti, krutosti i kapacitetom disipacije energije kako bi se prihvatile seizmičke sile. Inženjeri u tu svrhu koriste tehnike kao što su stabilizacije, sustavi prigušenja, izolacije temelja, fleksibilni damperi, prekobrojnost elemenata i povećan broj zidova.



Slika 2. Oštećenja prouzročena potresom

Lokalne nestabilnosti ograničene su na pojedinačne elemente unutar konstrukcije. Prekomjerne sile mogu uzrokovati lokalna izvijanja, gdje elementi, kao što su grede ili stupovi, mogu otkazati pod opterećenjem koje bi trebali nositi. Na primjer, ako je greda izložena opterećenju koje premašuje njezinu nosivost, može se deformirati ili, čak, slomiti. Izvijanje je vrsta lokalne nestabilnosti, a javlja se kada vitki elementi, poput stupova, imaju jako velika tlačna opterećenja. (Slika 3.). Kada primijenjeno uzdužno opterećenje prijeđe kritični prag, stup se počinje izvijati, što dovodi do iznenadnoga i katastrofalnog sloma. Izvijanje se može pojaviti u raznih vrsta stupova, uključujući čelične, betonske ili drvene (Slika 4.). Kritično opterećenje prilikom čega dolazi do izvijanja, ovisi o čimbenicima kao što su duljina stupa, svojstva poprečnog presjeka i rubni uvjeti.



Slika 3. Način izvijanja tlačno opterećenog sustava ovisno o rubnim uvjetima (pridržanjima)

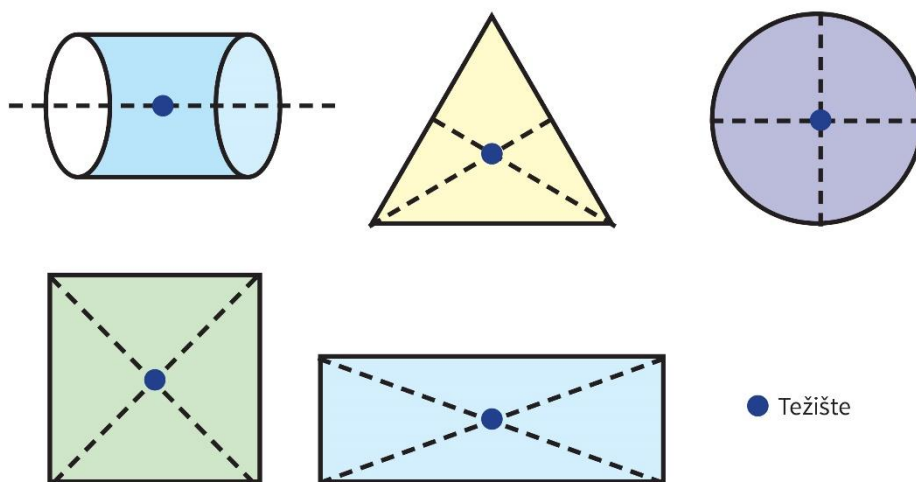


Slika 4. Bočno torzijsko izvijanje čeličnih greda

1.1. Prevrtanje

Jedan je od načina gubitka stabilnosti prevrtanje zgrade, koje nastaje kada moment prevrtanja, stvoren bočnim ili horizontalnim silama, premaši moment koji temelj konstrukcije može podnijeti. Za rješavanje ili sprječavanje prevrtanja potrebno je pravilno projektirati temelje, po potrebi dodati stabilizacije ili stabilizacijske mase, dodatne bočne ukrute i/ili ukrućenja, poboljšati tlo, sidriti konstrukciju ili slično.

Za proračun prevrtanja potrebno je pravilno odrediti težište poprečnog presjeka. Težište poprečnog presjeka određuje se kako bi se pronašla točka koja predstavlja ravnotežnu točku za cijeli poprečni presjek (Slika 5.).



Slika 5. Težište različitih geometrijskih tijela

Slika 6 prikazuje težište tri različita geometrijska lika prikazana u koordinatnom sustavu. Crvena točka predstavlja težište. Težište pravokutnog trokuta nalazi se na sjecištu njegovih medijana, a za pravokutni trokut ono se računa jednostavno. Ako trokut ima osnovicu $b = 6$ cm i visinu $h = 4$ cm, tada se težište nalazi na udaljenosti trećine osnovice od vrha i trećine visine od osnovice. Dakle, po x-osi težište je u točki:

$$x_T = b / 3 = 6 / 3 = 2 \text{ cm}$$

a po y-osi:

$$y_T = h / 3 = 4 / 3 \approx 1,33 \text{ cm}$$

To znači da bi se ravnoteža trokuta u toj točki održala kada bi ga pokušali osloniti samo na toj poziciji – ona je „centar mase“ tog presjeka.

L-profil čini kombinacija dvaju jednostavnih pravokutnika: horizontalnog (6 cm širine i 1 cm visine) i vertikalnog (1 cm širine i 5 cm visine). Prvo izračunavamo površine svakog dijela:

$$A_1 = 6 \cdot 1 = 6 \text{ cm}^2 \text{ (horizontalni dio)}$$

$$A_2 = 1 \cdot 5 = 5 \text{ cm}^2 \text{ (vertikalni dio)}$$

Zatim određujemo težište svakog dijela. Za horizontalni pravokutnik, težište je u njegovom središtu:

$$x_1 = 6 / 2 = 3 \text{ cm}, y_1 = 1 / 2 = 0,5 \text{ cm}$$

Za vertikalni pravokutnik:

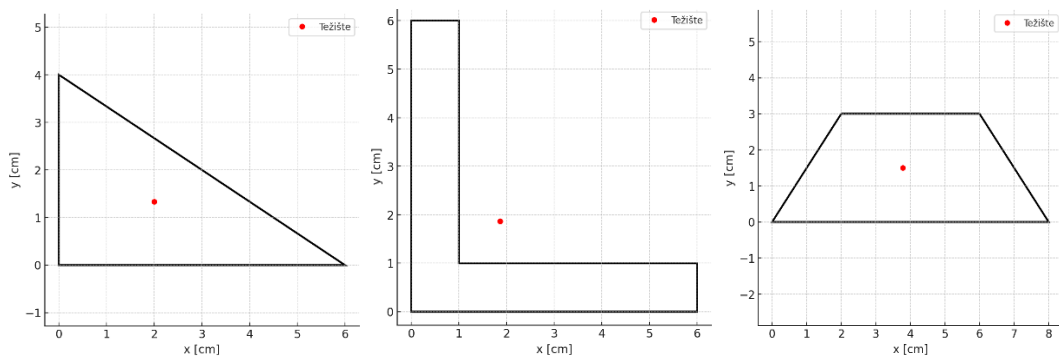
$$x_2 = 1 / 2 = 0,5 \text{ cm}, y_2 = 1 + 5 / 2 = 3,5 \text{ cm}$$

Konačno, ukupno težište L-profila određuje se po formuli:

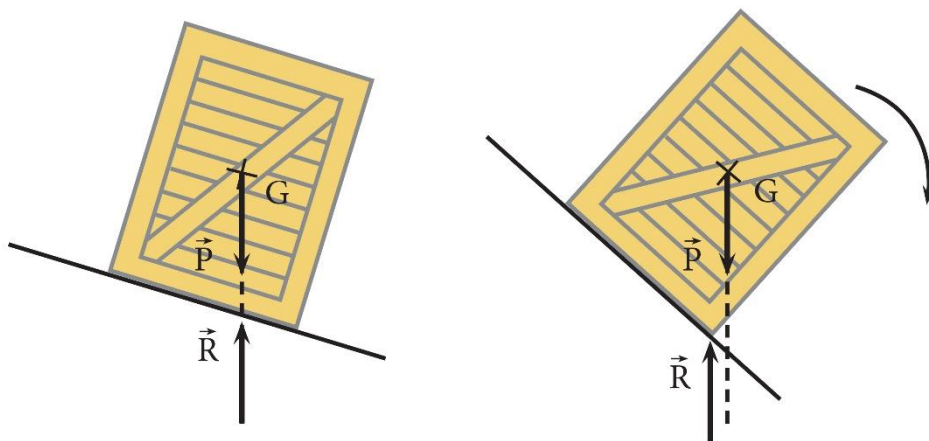
$$x_C = (A_1x_1 + A_2x_2) / (A_1 + A_2) = (6 \cdot 3 + 5 \cdot 0,5) / 11 \approx 1,95 \text{ cm}$$

$$y_C = (A_1y_1 + A_2y_2) / (A_1 + A_2) = (6 \cdot 0,5 + 5 \cdot 3,5) / 11 \approx 2,12 \text{ cm}$$

Probajte izračunati težište trapeza.



Slika 6. Težište trokuta, L oblika i trapeza



Slika 7. Prevrtnanje

Primjeri prevrtanja u graditeljstvu mogu se pronaći u različitim situacijama kada je konstrukcija ili njezin dio izložen horizontalnim silama (vjetar, potres, voda, udar vozila) koje pokušavaju „prevrnuti” element u odnosu na njegovu oslonjenu podlogu. Ogradni zid koji nije sidren ili nije dovoljno masivan u temelju može se prevrnuti uslijed jakog vjetra ili potresa. Takvi zidovi

najčešće nemaju konstruktivnu vezu sa susjednim elementima, pa su posebno osjetljivi. Visoki i uski dimnjaci, ako nisu pravilno pričvršćeni za krovnu konstrukciju, mogu se prevrnuti djelovanjem vjetra ili potresa. Težište im je visoko, a oslonac uzak, pa je stabilnost često problematična bez dodatnih spojeva. Stupovi javne rasvjete ili prometne signalizacije koji nemaju dovoljno duboko temeljenje mogu se prevrnuti zbog jakih udara vjetra ili ako dođe do kolizije s vozilom. Njihovo težište mora biti unutar temeljnog područja ili se mora osigurati sidrenjem. U halama s visokim regalima, osobito u skladištima građevinskog materijala, postoji opasnost da se police prevrnu ako nisu učvršćene za pod i međusobno povezane. To se događa pri udaru viličara ili pri potresu.

1.2. Klizanje

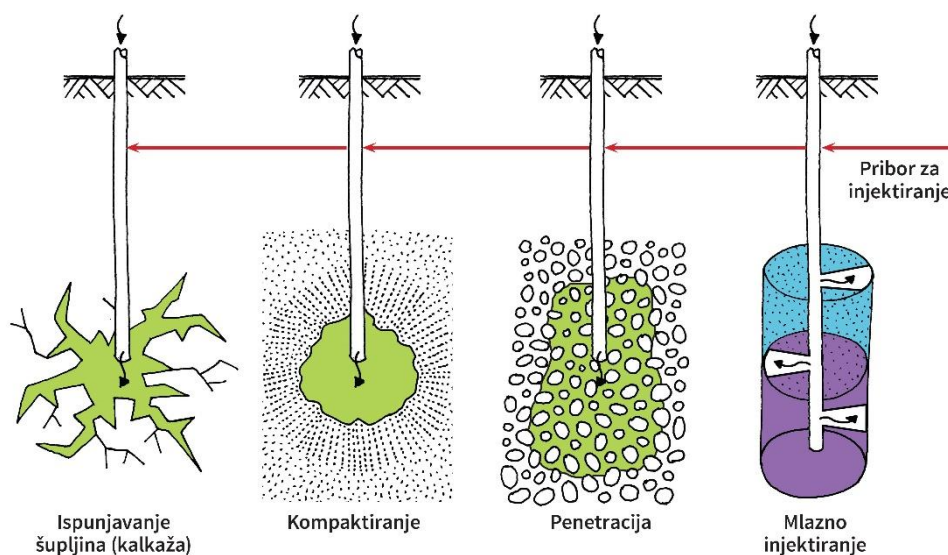
Sprječavanje klizanja još je jedan važan dio projektiranja stabilnosti građevine. Do klizanja može doći kada bočne sile koje djeluju na konstrukciju premašuju otpornost temelja ili otpornost kontaktne površine s tlom na horizontalne sile, tj. kada je trenje između temelja i tla premalo da spriječi klizanje. Kao i u slučaju prevrtanja (slika 7.), važno je pravilno projektirati temelje, ali ponekad je bitno povećati i otpornost na trenje, pojačati tlo, izraditi potporne zidove i stabilizirati kosine i klizišta te napraviti pravilnu drenažu i odvodnju vode. Jedan od najjednostavnijih primjera klizanja javlja se kod temelja zgrada koje se nalaze na kosom terenu. Ako se kuća gradi na padini, postoji mogućnost da cijeli temelj „proklizi“ nizbrdo, osobito ako je tlo vlažno, a nema dovoljnih mjera za osiguranje trenja između temelja i tla. Zato se pri takvim gradnjama koriste tzv. protuklizne stope, pilotiranja ili dodatni temelji koji onemogućuju pomicanje. Slično tome, potporni zidovi koji drže zemlju iza sebe često su izloženi velikim bočnim tlakovima tla. Ako nisu dovoljno temeljeni ili ako tlo ispod njih ne stvara dovoljan otpor, zid se može pomaknuti, odnosno otklizati. Kod ovakvih konstrukcija koristi se dodatno širenje temelja u smjeru klizanja, povećanje mase zida ili čak sidrenje konstrukcije u dublje slojeve tla. Također, temelji visokih industrijskih dimnjaka i stupova moraju biti projektirani tako da odole velikim horizontalnim silama vjetra. Da bi se spriječilo klizanje takvih visokih elemenata, povećava se širina temelja i uvodi dodatna armatura koja stvara trenje između temelja i podloge. Na gradilištima se ponekad koriste i predgotovljeni betonski elementi (npr. betonski blokovi ili montažni elementi) koji nisu odmah montirani. Ako ih se ne stabilizira privremeno, postoji opasnost da se pomaknu pod vlastitom težinom ili vanjskom silom. Klizanje se u tim slučajevima sprječava privremenim ogradama, klinovima ili jednostavno povećanjem trenja ispod elemenata.

1.3. Slijeganje

Slijeganje je najčešće vertikalni pomak uzrokovan prevelikim opterećenjem na predviđeno tlo. Slijeganje je prirodan proces u kojem se tlo pod opterećenjem sabija, ali ako je nepravilno, prekomjerno ili neravnomjerno, može dovesti do oštećenja ili čak rušenja građevine. Jedan od najčešćih primjera slijeganja javlja se kod starijih obiteljskih kuća. Ako se kuća temelji na glinovitom tlu koje upija vodu i mijenja volumen, može doći do neravnomjernog slijeganja jednog dijela temelja. Tada se na zidovima pojavljuju kose pukotine, vrata i prozori se teže zatvaraju, a podovi postaju nagnuti. Drugi primjer je gradnja u nasutim terenima, poput

područja gdje su nekada bili nasipi, deponije ili prekopana zemljišta. Takva tla nisu prirodno stabilna, pa zgrade koje se na njima grade mogu godinama „tonuti“ u tlo. Zbog toga se pri projektiranju koristi dubinsko temeljenje (npr. piloti) kako bi se opterećenje prenijelo na čvršće slojeve ispod nesigurnog tla. Slijeganje se može dogoditi i kod zgrada s nejednolikim opterećenjem, primjerice kada jedan dio zgrade ima više katova od drugoga. Ako se svi temelji ne dimenzioniraju s istom pažnjom, dio s većim opterećenjem više će tonuti u tlo, što opet stvara pukotine i naprezanja u konstrukciji. U nekim slučajevima, podzemna voda može ispratiti tlo ispod temelja (tzv. ispiranjem), posebno ako su cijevi oštećene ili loše izvedene. Time se stvara šupljina i temelj više nema stabilan oslonac, što dovodi do naglog slijeganja.

Slijeganje je često postupan proces koji se može predvidjeti i izbjeći pravilnim ispitivanjem tla, projektiranjem temelja i nadzorom tijekom gradnje. Rješava se na slične načine kao i klizanje i prevrtanje, s tim da je bitno prepoznati tlo i stabilizirati ga metodama kao što su injektiranje, poboljšanje geotekstilima i slično. Injektiranje tla je postupak koji se koristi za poboljšanje svojstava tla, popravak pukotina i rupa u tlu, kao i za sprečavanje prodora vode ili stabilizaciju tla (slika 8.). Ovaj postupak uključuje ubrizgavanje posebnih materijala pod visokim pritiskom izravno u tlo kako bi se postigli željeni učinci. Geotekstili su specijalizirani materijali koji se koriste za poboljšanje svojstava tla, poboljšanje stabilnosti, smanjenje erozije, filtraciju, odvodnju i slično.



Slika 8. Vrste injektiranja



Provjerimo što smo naučili

Ishod 1: Odrediti težište različitih poprečnih presjeka

1. **Tvrdnja:** Težište kvadrata nalazi se u jednom od njegovih kutova. (TOČNO/NETOČNO)
2. **Dopuni:** Za složene likove, težište se određuje tako da se lik prvo podijeli na više _____ likova.
3. Opiši kako se grafički pronalazi težište trokuta.
4. Zašto je važno odrediti težište poprečnog presjeka pri analizi stabilnosti?
5. Na temelju primjera izračuna za L-profil na slici 6, objasni formulu za izračun koordinate težišta u y-smjeru (y_C).

Ishod 2: Analizirati stabilnost konstrukcije na prevrtanje

1. Koja sila najčešće uzrokuje prevrtanje konstrukcije?
 - a) Vertikalna sila
 - b) Horizontalna sila
 - c) Vlastita težina.
2. **Tvrdnja:** Da bi tijelo bilo stabilno na prevrtanje, vertikala iz njegovog težišta mora prolaziti unutar oslonačke površine. (TOČNO/NETOČNO)
3. Navedi dva primjera iz obrazovnog materijal gdje u graditeljstvu može doći do prevrtanja.
4. Objasni što je moment prevrtanja, a što moment stabilnosti. Koji mora biti veći da bi konstrukcija bila stabilna?
5. Analiziraj sliku 7 i objasni zašto je sanduk na lijevoj slici stabilan, a na desnoj se prevrće, koristeći pojmove težišta i oslonačke površine.

Ishod 3: Analizirati stabilnost konstrukcije na klizanje

1. **Dopuni:** Sila koja se suprotstavlja klizanju tijela po podlozi naziva se sila _____.
2. **Tvrdnja:** Klizanje potpornog zida može se spriječiti smanjenjem njegove mase. (TOČNO/NETOČNO)
3. Navedi jedan primjer iz teksta gdje može doći do klizanja konstrukcije uslijed djelovanja horizontalnih sila.
4. Opiši barem dvije metode za sprječavanje klizanja temelja na kosom terenu.
5. Objasni kako vlaga u tlu utječe na opasnost od klizanja potpornih zidova.

Ishod 4: Opisati stabilnost konstrukcije na slijeganje

1. Koji je od navedenih fenomena vertikalni pomak tla pod opterećenjem?
 - a) Klizanje
 - b) Prevratanje
 - c) Slijeganje.
2. **Tvrdnja:** Neravnomjerno slijeganje temelja može uzrokovati pukotine na zidovima zgrade. (TOČNO/NETOČNO)
3. Navedi dva uzroka koji mogu dovesti do slijeganja građevine.
4. Opiši što je injektiranje tla i čemu služi.
5. Objasni razliku između slijeganja na glinovitom tlu i slijeganja u nasutim terenima.



Praktičan rad

- Koristeći slamke, spajalice i gumice za kosu sagradite visoku zgradu. Eksperimentirajte s različitim veličinama baza, visinama i konfiguracijama konstrukcija. Nakon izgradnje testirajte njihovu stabilnost laganim guranjem stola ili primjenom vjetrova (pomoću ventilatora) da vidite hoće li vaši objekti zadržati stabilnost.
- Usporedite statičke sustave od različitih materijala prema njihovoj bočnoj stabilnosti. Raspravite o prijenosu opterećenja prilikom zajedničkog djelovanja gravitacijskih i bočnih opterećenja. Opišite kako potres djeluje na građevine od različitih materijala te ocijenite koje su građevine pritom najpodložnije oštećenjima.
- Pronađite i pogledajte videozapise o bočnim stabilizacijama građevina, izvicanju elemenata i simulacijama potresa na građevine. Što ste naučili iz videozapisa?
 - Na koji se način može stabilizirati konstrukcija izvan ravnine, tj. kada na nju djeluju velika bočna opterećenja?
 - Kakvo djelovanje ima potres?
 - Kako potres djeluje na građevine i na koji način se poboljšava otpornost betonskih konstrukcija na potres?
 - Što je izvicanje i o čemu ovisi?



Zanimljivosti

- Fenomen izvijanja može se pojaviti ne samo u konstrukcijama, već i u svakodnevno korištenim predmetima. Na primjer, ako pritisnete plastično ravnalo oslonjeno na stol, možete primijetiti izvijanje.
- Izvijanje nije ograničeno isključivo na tlačna opterećenja. Na primjer, duga, vitka greda izložena savijanju može doživjeti vrstu izvijanja poznatog kao bočno-torzijsko izvijanje. U tom slučaju greda prolazi kombinacijom bočnoga otklona i izvijanja.
- Toranj *Taipei 101*, koji se nalazi u Tajvanu, nije samo poznat po svojoj impresivnoj visini, već i po svojoj inovativnoj stabilnosti građevine koja ne može biti narušena jakim vjetrovima i potresima. Toranj ima masivni prigušivač mase 660 tona koji visi s 92. kata. Prigušivač je, zapravo, ogromno njihalo koje se može ljuljati u suprotnom smjeru od kretanja zgrade, pomažući u smanjenju utjecaja bočnih sila. Vidi: <https://www.youtube.com/watch?v=CSyJBh8BB44>.
- Jedan je od poznatih primjera nestabilnosti mosta *Tacoma Narrows Bridge*. Izvorni most, dovršen 1940. u državi Washington, pokazao je značajne vertikalne oscilacije i torzijsko ponašanje pri umjerenom vjetru. Dana 7. studenog 1940. godine most je doživio katastrofalno otkazivanje zbog pretjeranih vibracija uzrokovanih vjetrom. Lekcije naučene iz tog događaja značajno su utjecale na kasnija projektiranja mostova. Vidi: <https://www.youtube.com/watch?v=XggxeuFDaDU>.



Za one koji žele znati više

Važno je razumjeti da slijeganje tla nije uvijek negativna pojava – do određene mjere ono je prirodno i očekivano. Međutim, kada je neravnomjerno ili prekomjerno, postaje ozbiljan statički problem. U inženjerskoj praksi koristi se pojam dozvoljeno slijeganje, što znači da je projektiranjem predviđeno koliko se građevina smije slegnuti bez posljedica po njenu funkcionalnost. Eurokod 7 jasno definira granične uvjete pri kojima slijeganje mora ostati unutar dopuštenih vrijednosti, a nadzor izvođenja radova i tla provodi se pomoću geotehničkog monitoringa.

Napredniji sustavi temeljenja, kao što su piloti (dugi betonski ili čelični elementi koji prenose teret u dublje, stabilnije slojeve tla) koriste se upravo kako bi se smanjila opasnost od slijeganja. Učenici koji žele bolje razumjeti tu tematiku mogu istražiti razliku između plitkog i dubokog temeljenja, te pogledati stvarne primjere temeljenja mostova, nebodera i objekata u blizini rijeka, gdje je tlo često nesigurno. Likvefakcija

tla je fenomen u kojem se zasićeno (natopljeno) zrnato tlo ponaša poput tekućine kada prođe kroz jake potresne valove. Pri tome dolazi do naglog smanjenja nosivosti tla, izdizanja pijeska i vode na. Posljedica toga mogu biti ozbiljna oštećenja temelja i potpornog sustava građevine, čak i ako sama konstrukcija ostane neoštećena. U potresima na Banovini iz 2020. godine likvefakcija tla je bila čest problem. Proučite i pronađite fotografije likvefakcije.

- Proučite djelovanja potresa na građevine.
- Istražite kako vjetar djeluje na mostove.
- Istražite kako se izračunava kombinacija opterećenja.
- **Zadatak za ishod 1:** Nacrtajte I-profil (čelični I-nosač) proizvoljnih, ali realnih dimenzija. Podijelite ga na tri pravokutna dijela (gornja pojasnica, hrbat, donja pojasnica) i zatim analitički izračunajte koordinate njegovog težišta.
- **Zadatak za ishod 2:** Istražite zašto se toranjski kranovi na gradilištima ne prevrnu. Napravite shematski prikaz kрана s oznakama glavnih dijelova (kontrateg, krak, toranj, temelj) i silama koje djeluju (težina tereta, težina kontratega, težina kрана). U natuknicama objasnite princip ravnoteže momenata koji osigurava stabilnost kрана.
- **Zadatak za ishod 3:** Istražite koncept "aktivnog" i "pasivnog" tlaka tla koji djeluju na potporne zidove. Nacrtajte skicu potpornog zida i na njoj strelicama jasno prikažite smjer djelovanja aktivnog tlaka (koji uzrokuje klizanje) i pasivnog otpora tla (koji sprječava klizanje).
- **Zadatak za ishod 4 :** Istražite fenomen likvefakcije tla koji se spominje u dokumentu. Pronađite fotografiju posljedica likvefakcije nakon nekog stvarnog potresa (npr. na Banovini 2020. ili u Japanu). Napravite kratku prezentaciju (2-3 slajda) koja objašnjava što je likvefakcija, zašto se događa i kako izgleda šteta na objektima prikazanim na fotografiji.

ZAKLJUČAK

Stabilnost se postiže analizom sila koje djeluju na konstrukciju i osiguravanjem da su one učinkovito prenesene i uravnotežene njezinim komponentama. Stabilnost konstrukcija je usmjerena na horizontalna djelovanja vjetra i potresa, ali i na jako velika gravitacijska opterećenja koja mogu dovesti do izbočavanja elemenata. Slijeganje, prevrtanje i klizanje načini su gubitka stabilnosti građevine, a događaju se u interakciji s tlom. Postoje brojne metode sprječavanja nestabilnosti te je svaku građevinu potrebno promotriti i s toga aspekta.

Impresum

Autor:

Mislav Stepinac

Nakladnik:

Agencija za strukovno obrazovanje i obrazovanje odraslih

Izvoditelj:

Algebra d.o.o.

Recenzent:

Baldo Stančić

Urednik:

Štefica Dumančić Poljski

Lektor:

Ivana Previšić

Grafička priprema:

BARREK d.o.o.

Stručnjak za metodičko-didaktičko oblikovanje:

Sanja Janeš

Voditelj projekta:

Siniša Đurđević

Izvori fotografija:

1. Slika 1. Čelična hala i sustav stabilizacija. Pran System. Preuzeto 11.07.2023. s https://pransystems.in/pre_engineered_building.php
2. Slika 2. Oštećenja prouzročena potresom. Autorski rad
3. Slika 3. Način izvijanja tlačno opterećenog sustava ovisno o rubnim uvjetima (pridržanjima). Greminger, M. (2022). *Calculating the Johnson-Euler Buckling Load – The Official EngineeringPaper.xyz Blog*. Preuzeto 11.07.2023. s <https://blog.engineeringpaper.xyz/calculating-the-johnson-euler-buckling-load>
4. Slika 4. Bočno torzijsko izvijanje čeličnih greda. University of Alberta – Structures Group. *Highlights and News*. Preuzeto 11.07.2023. s <https://structures.civil.ualberta.ca/people/carlos-a-cruz-noguez/highlights-news/>
5. Slika 7. Težište različitih geometrijskih tijela, autorski rad
6. Slika 8. Težište trokuta, L oblika i trapeza, autorski rad
7. Slika 7. Prevrtanje. Preuzeto 11.07.2023. s <https://hr.wikipedia.org/wiki/Te%C5%BEi%C5%A1te>
8. Slika 8. Vrste injektiranja, autorski rad

Literatura

1. Čaušević, M., i Bulić, M. (2013). *Stabilnost konstrukcija*. Zagreb : Golden marketing - Tehnička knjiga.
2. Dvornik, J., Lazarević, D., i Bićanić, N. (2019). *O načelima i postupcima proračuna građevinskih konstrukcija : i o koječemu još, na prilično neformalan i često ležeran način*. Zagreb : Građevinski fakultet.
3. Mihanović, A., i Trogrlić, B. (2011). *Građevna statika 1*. Split : Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije.

Sadržaj ove publikacije isključiva je odgovornost Agencije za strukovno obrazovanje i obrazovanje odraslih.

Projekt je sufinancirala Europska unija iz Europskog socijalnog fonda.

Za više informacija o EU fondovima posjetite web stranicu Ministarstva regionalnoga razvoja i fondova Europske unije: www.strukturnifondovi.hr.



Agencija za
strukovno obrazovanje
i obrazovanje odraslih



PREZENTACIJE PREDAVANJA

SUSTAVI OPTEREĆENJA

Predmetni nastavnik: Hrvoje Mostečak, dipl.ing.građ.

1

DOBRODOŠLI U GTŠ!

- OSNOVNO O MODULU

- NAZIV MODULA: **SUSTAVI OPTEREĆENJA**
- OBUJAM MODULA: **5 CSVET BODOVA** (*CSVET = Croatian Credit System for Vocational Education* ili *Hrvatski sustav bodova strukovnog obrazovanja i osposobljavanja*)
- DVA SKUPA ISHODA UČENJA:
 - 1. SIU: **Ravninski sustav opterećenja** (4 CSVET boda)
 - 2. SIU: **Stabilnost građevina** (1 CSVET bod)

2

UPOZNAJMO SE!

- Predstavimo se jedni drugima – odgovorite na tri pitanja, iz svake skupine odaberi jedno po želji, ali svakako reci svoje ime i prezime

1. skupina	2. skupina	3. skupina
Iz koje škole dolaziš?	Kad bi mogao/la biti superheroj, koja bi bila tvoja supermoć?	Što te najviše veseli oko polaska u školu?
Što najviše voliš jesti?	Što bi ponio na pusti otok?	Što te čini sretnim/sretnom?
Imaš li brata ili sestru?	Koja je tvoja najdraža životinja?	Jesi li uzbuđen/a što ćeš dobiti nove prijatelje?
Čime se baviš?	Gdje želiš stanovati kad odrasteš?	Koja ti je najdraža boja i zašto?

3

PRAVILA, UVJETI, OBAVEZE...

- ŠTO TREBA IMATI **NA SVAKOM SATU?**

➤ OBIČAN FASCIKL S MEHANIZMOM (ISKLUČIVO TAKAV!)

➤ PRIBOR ZA PISANJE I CRTANJE

➤ KALKULATOR

➤ MATERIJALE KOJE ĆETE DOBITI OD NASTAVNIKA (STAVITI IH U FASCIKL)



4

PRAVILA, UVJETI, OBAVEZE...

• KOJI SU UVJETI I OBAVEZE?

- NA SVAKI SAT POTREBNO JE DONIJETI **SKRIPTU**, KALKULATOR I PRIBOR ZA PISANJE I CRTANJE (*UTJEČE NA OCJENU!*)
- NA SVAKOM SATU POTREBNO JE PRATITI NASTAVU I **BILJEŽITI** NASTAVNO GRADIVO (*UVJET ZA OCJENU!*)
- POTREBNO JE **AKTIVNO SUDJELOVANJE** U SVIM OBLICIMA NASTAVNOG RADA (*UTJEČE NA OCJENU!*)
- POTREBNO JE REDOVITO **PISATI DOMAĆE ZADAĆE** (*PREGLEDAVAJU SE! UTJEČE NA OCJENU!*)
- POTREBNO JE AKTIVNO SUDJELOVATI U SVIM GRUPNIM, INDIVIDUALNIM I RADU U PARU (*UTJEČE NA OCJENU!*)
- SVE RADOVE POTREBNO JE PREDATI **NA VRIJEME** (*UTJEČE NA OCJENU!*)
- SVAKU **NEGATIVNU OCJENU ISPRAVITI** U DOGOVORU S NASTAVNIKOM (*UVJET ZA POZITIVNU OCJENU!*)
- U SLUČAJU IZOSTANKA IZ ŠKOLE POTREBNO JE **PREPISATI OBRAĐENO GRADIVO I IZRADITI DOMAĆU ZADAĆU**
- TIJEKOM NASTAVNE GODINE USMENO ĆE SE PROVJERAVATI USVOJENOST NASTAVNIH SADRŽAJA **BEZ PRETHODNE NAJAVE** (OSIM ZA UČENIKE KOJI ODGOVARAJU PO DOGOVORU)
- NA NASTAVI **NIJE DOPUŠTENO** KORIŠTENJE MOBITELA I SLIČNIH UREĐAJA, OMETANJE NASTAVE I NEDISCIPLINIRANO PONAŠANJE (PROUČITI NA STRANICI ŠKOLE KUĆNI RED)
- ZAKLJUČNA OCJENA **NE PROIZLAZI IZ ARITMETIČKE SREDINE** UPISANIH OCJENA JER OCJENE IZ ZNANJA TEŽINSKI IMAJU VEĆI UTJECAJ, PRI TOMJE SVE NEGATIVNE OCJENE TREBAJU BITI ISPRAVLJENE
- JEDNOM TIJEKOM NASTAVNE GODINE MOŽE SE ODGODITI USMENA PROVJERA (OSIM AKO NIJE ZAKAZANA ZA CIJELI RAZRED)

5

PRAVILA, UVJETI, OBAVEZE...

- U e-dnevniku svakom učeniku će biti postavljena prva bilješka ovog sadržaja:

Bilješka

Upis bilješke

UČENIČKE OBAVEZE I KRITERIJI ZA ZAKLJUČNU OCJENU:

- na svaki sat potrebno je donijeti uvezane materijale za rad i pribor (olovka, gumica, trokuti, kalkulator),
- na svakom satu potrebno je bilježiti nastavno gradivo (ili po dogovoru isto prepisati kod kuće)
- redovito pisati domaće zadaće (kriterij zaključne ocjene),
- izraditi sve programske zadatke koji trebaju biti pozitivno ocijenjeni (kriterij zaključne ocjene)
- svaku eventualnu negativnu ocjenu iz usmene ili pisane provjere i programskog zadatka ispraviti (uvjet za pozitivnu ocjenu),
- u slučaju izostanka s nastave potrebno je obrađeno gradivo prepisati te isto svladati (uz učeničku pomoć ili kroz dopunsku nastavu – uz najavu nastavniku odmah po dolasku u školu),
- usmene provjere znanja se ne najavljuju te je potrebno radi kontinuiranog usvajanja gradiva redovito prije nastave ponoviti prethodno obrađeno gradivo,
- na nastavi nije dopušteno korištenje mobitela kao ni svaki oblik ponašanja koji je u suprotnosti s Kućnim redom Škole,
- kriteriji za zaključnu ocjenu: pisane provjere (za pozitivnu ocjenu 50%, za dobar 65%, za vrlo dobar 80% i odličan 90% bodova), usmene provjere, programski zadaci, vježbe, vlastiti uvezani radni materijali (uvjet za ocjenu),
- zaključna ocjena ne proizlazi iz aritmetičke sredine upisanih ocjena budući da ocjene nisu jednakog utjecaja (težine); veći utjecaj na konačnu ocjenu imaju ocjene iz provjere znanja (oko 60%) , dok se ocjenama iz ostalih oblika vrednovanja (oko 40%) zaključna ocjena može korigirati.

6

MATERIJALI ZA RAD

- Udžbenik – nije obavezan (Boris Behaim: Opterećenje silama I)
- Pripremljeni radni materijali za modul Sustavi opterećenja
 - možete ih preuzeti na stranici škole (Nastava → Nastava → Predmeti → Sustavi opterećenja); koristiti šifru *Sustaviopterećenja*
 - Skeniranjem QR koda:
- Na sljedećem satu obavezno imati uvezane radne materijale za modul Sustavi opterećenja u skriptu!

7

PRAVILA, UVJETI, OBAVEZE...

PITANJA???

8

ŠTO ĆETE MOĆI NAKON ZAVRŠETKA MODULA?

SKUP ISHODA UČENJA IZ SK-A, OBUJAM	Ravninski sustav opterećenja
OBUJAM SIU (CSVET)	4 CSVET boda
ISHODI UČENJA	ISHODI UČENJA NA RAZINI USVOJENOSTI "DOBAR"
Definirati silu i elemente kojima je sila potpuno definirana kao fizikalna veličina	Analizirati sve elemente kojima je sila potpuno definirana kao fizikalna veličina
Nacrtati silu u obliku vektora i rastaviti je na komponente	Nacrtati silu u obliku vektora i rastaviti je na komponente grafički i analitički
Nacrtati i izračunati rezultantu sustava sila grafički i računski	Komentirati rezultantu općega sustava sila
Definirati statički moment sile	Objasniti statički moment sile na primjeru
Primijeniti poučak o momentu sila	Primijeniti poučak o momentu sila na opći sustav sila
Rješavati praktične primjere ravnoteže sila koristeći grafičke i analitičke uvjete ravnoteže	Usporediti grafičke i analitičke rezultate ravnoteže općega sustava sila.

9

ŠTO ĆETE MOĆI NAKON ZAVRŠETKA MODULA?

SKUP ISHODA UČENJA IZ SK-A, OBUJAM	Stabilnost građevine
OBUJAM SIU (CSVET)	1 CSVET bod
ISHODI UČENJA	ISHODI UČENJA NA RAZINI USVOJENOSTI "DOBAR"
Odrediti težište različitih poprečnih presjeka	Odrediti težište različitih poprečnih presjeka grafički i analitički
Analizirati stabilnost konstrukcije na prevrtanje	Izračunati stabilnost konstrukcije na prevrtanje
Analizirati stabilnost konstrukcije na klizanje	Odrediti stabilnost konstrukcije na klizanje
Opisati stabilnost konstrukcije na slijeganje	Obrazložiti stabilnost konstrukcije na slijeganje

10

NASTAVNE CJELINE I TEME

NASTAVNE CJELINE	NASTAVNE TEME	NASTAVNE CJELINE	NASTAVNE TEME
Sila	Težina i masa Predočavanje sile Sile i opterećenja u građevinarstvu	Težište	Težišta jednostavnih likova Težišta složenih likova – analitički postupak Težišta složenih likova – grafički postupak
Sile na pravcu	Sile na horizontalnom i vertikalnom pravcu Sile na pravcu pod kutom	Stabilnost na prevrtanje	Stabilnost na prevrtanje
Sile koje imaju zajedničko hvatište, a djeluju na različitim zrakama	Paralelogram i trokut sila Analitički postupak izračunavanja rezultirajuće sile Grafički postupak izračunavanja rezultirajuće sile	Stabilnost na klizanje	Stabilnost na klizanje
Opći sustav sila	Moment sile Pronalaženje rezultante općeg sustava sila – grafički postupak Pronalaženje rezultante općeg sustava sila – analitički postupak (Varignonov teorem)	Stabilnost na slijeganje	Stabilnost na slijeganje
Ravnoteža sila	Grafički uvjet ravnoteže sila Analitički uvjet ravnoteže sila		
Rastavljanje sila	Grafički postupak rastavljanja u dvije sastojnice Analitički postupak rastavljanja sila metodom projekcija sila		

11

SIU:

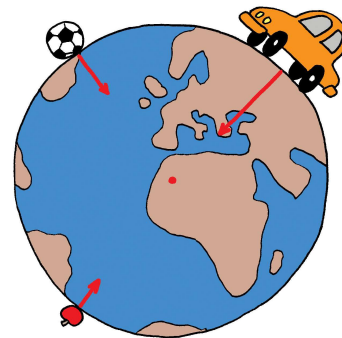
Ravninski sustav opterećenja

(4 CSVET boda)

12

TEŽINA I MASA

- Sila teža usmjerena je vertikalno prema središtu Zemlje.
- Hvatište sile teže je u tijelu, tj. u točki koja se naziva težište.
- Silu težu označavamo oznakom F_g .
- Kao sve druge sile iskazujemo mjernom jedinicom **njtn [N]**.
- **Težina** je sila kojom tijelo djeluje na podlogu na kojoj se nalazi ili na ovjes na koji je ovješeno, odnosno to je sila kojom neko tijelo biva privučeno prema središtu Zemlje ubrzanjem sile teže tj. gravitacijskim ubrzanjem od $g=9,81 [m/s^2]$.
- **Težina** ima isti iznos, smjer i orijentaciju kao i sila teža. Hvatište težine je na podlozi ili na ovjesu gdje se tijelo nalazi. Težinu označavamo oznakom **G**, mjerimo ju mjernim instrumentom dinamometrom i iskazujemo mjernom jedinicom **njtn [N]**.



13

TEŽINA I MASA

- Težine koje djeluju na građevinske dijelove (sklopove) u graditeljstvu se označavaju kao **opterećenja**.
- Sila koju uzrokuje neki građevinski dio svojom vlastitom masom bit će označen kao **vlastita težina**.
- Vlastita težina se izračuna tako da se pomnoži obujam (volumen **V**) tog građevinskog dijela s prostornom težinom materijala od kojeg je izrađen (γ).
- Za različite materijale poznate su vrijednosti prostorne težine γ .

Gradivo	Računska prostorna težina u kN/m ³	Gradivo	Računska prostorna težina u kN/m ³
I. MORT - Žbuka		V. KOVINE (METALI)	
1. Vapneni mort.....	17	5. Čelik i kovano željezo.....	78
2. Produženi cementni mort.....	19	6. Ljeveno željezo.....	72
3. Cementni mort.....	21	7. Cink.....	72
4. Sadreni mort (od gipsa).....	12	8. Mesing.....	85
		9. Olovo.....	114
II. PRIRODNI KAMEN		VI. DRVENA GRAĐA	
1. Bazalt, diorit, gabra, gnajs.....	30	1. Bukovina, hrastovina - suha.....	8
2. Dijabaz, granit, porfir, sijenit.....	28	2. Vlačna bjelogorica.....	10
3. Vapnenac - vrlo čvrsti, uključujući školjasti vapnenac i mramor.....	28	3. Crnogorica (bor, jela, smreka, omorika) - suha.....	6
4. Vapnenac - srednje čvrstoće i vapnenački konglomerat.....	22	4. Bor s većom količinom smole.....	7
5. Vapnenac - mekan, vrlo porozan.....	18	5. Vlačna crnogorica.....	9
6. Travertin.....	20	6. Ivenica.....	5
III. ZIDOVI OD OPEKE		VII. ASFALT	
1. Puna opeka u vapnenom mortu.....	16	1. Katran, bitumen.....	14
2. Puna opeka u produženom mortu.....	16,5	2. Ljeveni asfalt.....	18
3. Puna opeka u cementnom mortu.....	17,5	3. Nabijeni asfalt.....	20
4. Šuplja opeka u vapnenom mortu.....	13,5	VIII. ZEMLJA	
5. Šamotna opeka.....	19	1. Suha glina.....	16
IV. BETON		2. Prirodno vlačna glina.....	17
1. Beton od kamenog puniva.....	24	3. Izrazito vlačna glina.....	21
2. Armirani beton od kamenog puniva (agregata).....	25	4. Humus.....	17
3. Beton od ljevaoničke šljake.....	22	5. Pijesak i šljunak - prirodno vlažan.....	18
4. Beton od obične šljake s najviše 1/3 dodatka pijeska.....	16	6. Pijesak i šljunak - mokar.....	20
5. Pjeno beton.....	7	7. Drobijenac.....	18
6. Zidovi od šupljih betonskih blokova.....	22	IX. RASTRESITO GRADIVO	
V. KOVINE (METALI)		1. Cement.....	12
1. Aluminij.....	27	2. Vapno.....	10
2. Aluminijske legure.....	28	3. Gips.....	12,5
3. Bakar.....	89	X. GORIVO	
4. Bronca.....	85	1. Drvo.....	4
		2. Drveni ugljen.....	2
		3. Kameni ugljen.....	8,5
		4. Mrki ugljen.....	7
		5. Sirova nafta (mazut).....	9,8
		6. Benzin.....	8
		7. Dizel i kerozin.....	8,3

14

TEŽINA I MASA

- Masa tijela nije isto što i težina.
- Masa nekoga tijela je veličina u njemu sadržane količine materijala.
- Masa se **ne mijenja** s promjenom mjesta.
- Oznaka za masu je ***m***, a jedinica [**kg**].
- Masu od 1 kg ima 1 dm³ vode pri temperaturi od 4°C.

15

TEŽINA I MASA

ZADATAK:

Izračunajte svoju težinu ako bi se nalazili na sljedećim planetima:

- a) Na Zemlji ($g=9,81\text{m/s}^2 \approx 10\text{m/s}^2$) težina je:
 $G=.....[\text{N}]$
- b) Na Suncu ($g=274,1\text{ m/s}^2$) težina je:
 $G=.....[\text{N}]$
- c) Na Jupiteru ($g=25,93\text{ m/s}^2$) težina je:
 $G=.....[\text{N}]$
- d) Na Marsu ($g=3,728\text{ m/s}^2$) težina je:
 $G=.....[\text{N}]$
- e) Na Veneri ($g=8,87\text{ m/s}^2$) težina je:
 $G=.....[\text{N}]$
- f) Na Mjesecu ($g=1,625\text{ m/s}^2$) težina je:
 $G=.....[\text{N}]$



16

MJERNE JEDINICE ZA TEŽINU

SILA	N	kN	MN
1 N =	1	10^{-3}	10^{-6}
1 kN =	10^3	1	10^{-3}
1 MN =	10^6	10^3	1

17

MJERNE JEDINICE ZA TEŽINU

ZADATAK:

Izračunaj ukupnu masu koja se sastoji od nekoliko tijela različitih masa:

128 kg + 0,75 t + 1200 g + 150 dkg = [kg]

Kolika je ukupna težina svih tijela zajedno u [N] i [kN]?

..... [N] , odnosno [kN].

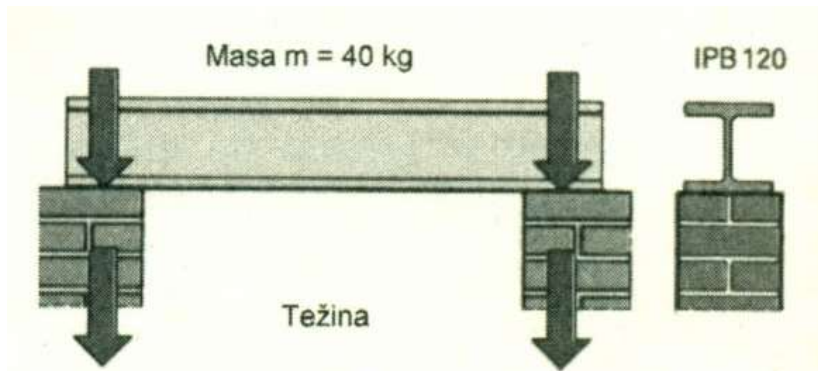
18

MJERNE JEDINICE ZA TEŽINU

ZADATAK:

Izračunaj težinu čeličnog I- nosača koji je postavljen na dva zida.

Kolikom silom u [N] i [kN] svoju težinu taj čelični nosač prenosi na svaki od zidova?



19

TEŽINA I MASA

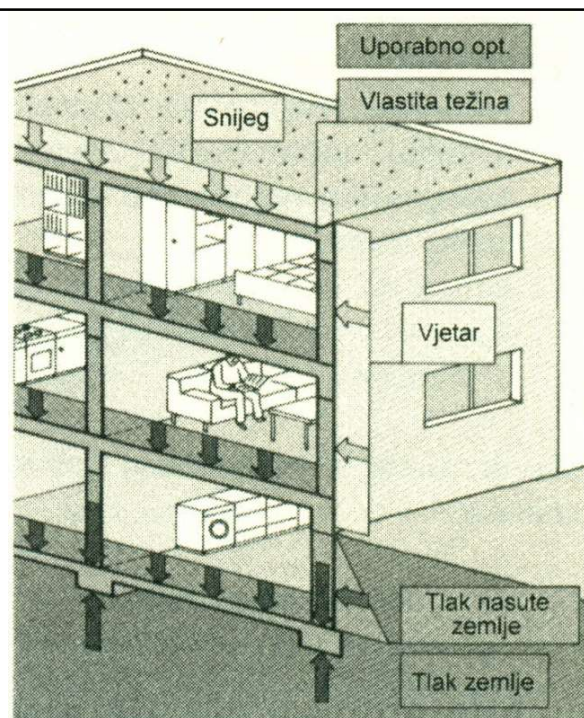
ZADATAK ZA 1. DOMAĆU ZADAĆU:

- a) koliko je u kN: $0,8 \text{ MN} + 2300 \text{ N} - 150 \text{ kN} + 52000 \text{ N} =$
- b) koliko je N: $567 \text{ N} + 0,04 \text{ kN} - 0,00033 \text{ MN} + 1,5 \text{ kN} =$
- c) koliko je u N: $800 \text{ N} + 0,23 \text{ kN} + 0,0021 \text{ MN} - 520 \text{ N} =$
- d) koliko je MN: $5678000 \text{ N} + 456 \text{ kN} - 3,3 \text{ MN} + 1555 \text{ kN} =$
- e) koliko je u kN: $800 \text{ kN} - 0,023 \text{ MN} + 210000 \text{ N} - 5,24 \text{ kN} =$

Uputa: zadatak prepisati na poseban list s okvirom i malom sastavnicom te naslovom „1. DOMAĆA ZADAĆA”

20

SILE I OPTEREĆENJA U GRAĐEVINARSTVU



21

SILE I OPTEREĆENJA U GRAĐEVINARSTVU

- **Stalno opterećenje** (stalni teret) uvijek djeluje na građevini.

Ovdje ubrajamo vlastitu težinu nosivih dijelova građevine (npr. armiranobetonskih ploča i zidova) i težine svih elemenata koje oni nose (to su slojevi iznad i ispod ploče, npr. podovi, izolacija, podgled, te žbuka i izolacija na zidovima ...)

- **Uporabno opterećenje** (korisni teret) je promjenjivo ili pokretno opterećenje građevine.

Tu ubrajamo teret osoblja, namještaj, skladišni materijal, snijeg, djelovanje vjetra.

22

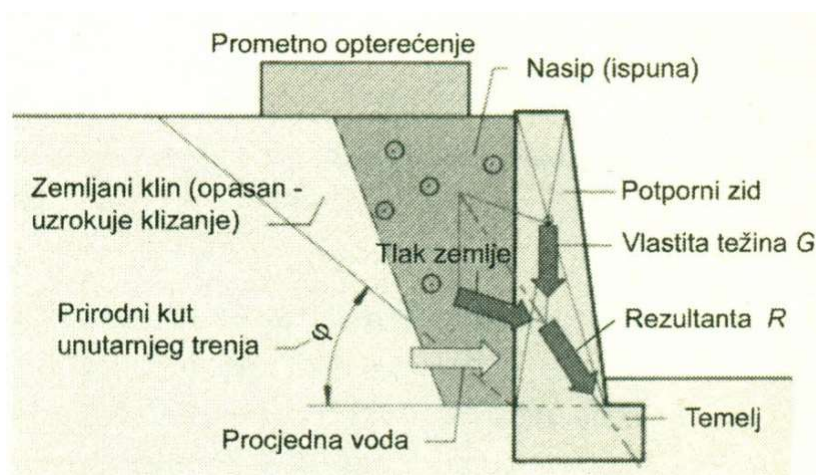
SILE I OPTEREĆENJA U GRAĐEVINARSTVU



23

SILE I OPTEREĆENJA U GRAĐEVINARSTVU

- Primjer sila koje djeluju na potporni zid



24

SILE I OPTEREĆENJA U GRAĐEVINARSTVU

PODJELA STALNOG I UPORABNOG OPTEREĆENJA

- **jednoliko rasprostrto opterećenje** (kontinuirano) i djelomično jednoliko
- **nejednoliko rasprostrto opterećenje** (trokutno, trapezno)
- **koncentrirano opterećenje** (pojedinačne sile - od pregradnih zidova, stupova, sporednih nosača itd.)

25

SILE I OPTEREĆENJA U GRAĐEVINARSTVU

OZNAČAVANJE OPTEREĆENJA

- **g** - stalno opterećenje
- **q** - uporabno opterećenje
- **$g+q$** - ukupno opterećenje
- **G** - stalno pojedinačno opterećenje (stalna koncentrirana sila)
- **Q** - uporabno pojedinačno opterećenje (uporabna koncentrirana sila)

Jačinu (intenzitet) opterećenja po jedinici ploštine iskazujemo u kN/m^2 , dok po jedinici duljine u kN/m^1 ili $\text{kN/m}'$ ili kN/m)

26

SILE I OPTEREĆENJA U GRAĐEVINARSTVU

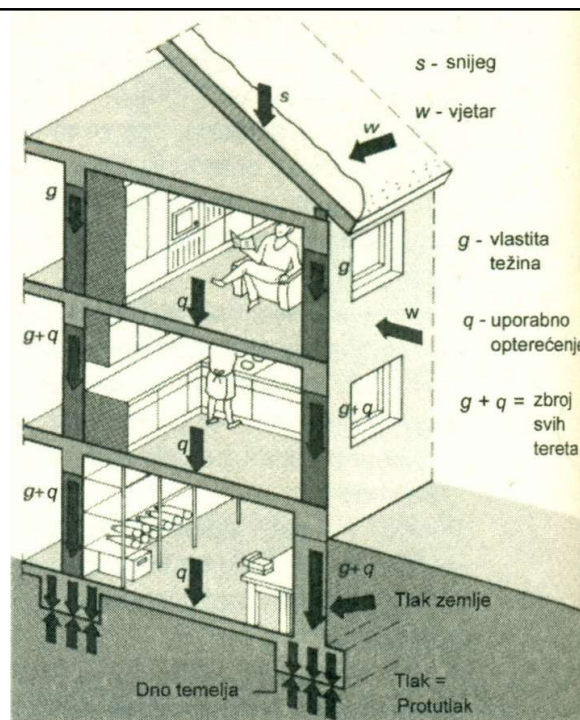
VAŽNO!!!

- Na svim građevinama mora vladati ravnoteža.
- Ako građevina ili njeni pojedini sklopovi ne mogu preuzeti i prihvatiti zadano opterećenje, stabilnost će im biti ugrožena, odnosno: zidovi se mogu **zdrobiti**, stupovi se mogu **izviti** i **slomiti**, nosači i stropne ploče mogu se **prognuti** i **lomiti**, vlačni štapovi se **trgaju**, a što se tla tiče, zgrada može **potonuti** u tlo ili se **prevrnuti**.

27

SILE I OPTEREĆENJA U GRAĐEVINARSTVU

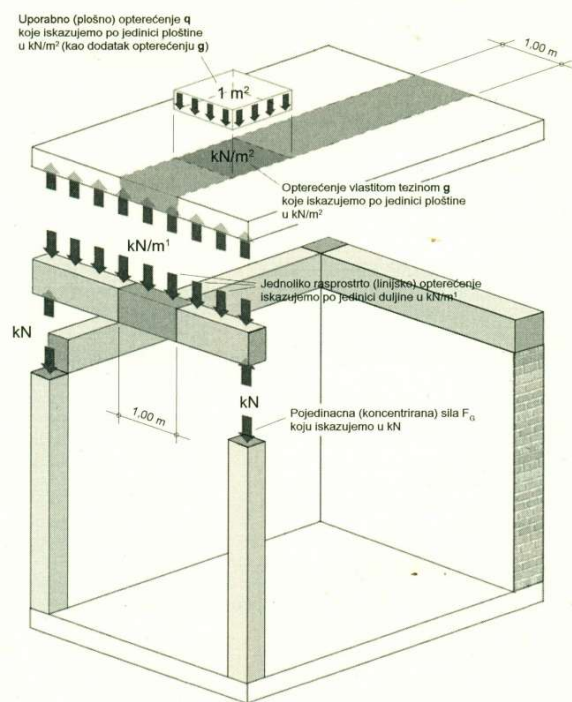
- Zgrada stoji jer je uspostavljena RAVNOTEŽA između opterećenja u zgradi i nosivih sklopova, kao i između ukupnog opterećenja zgrade i nosivosti tla



28

SILE I OPTEREĆENJA U GRAĐEVINARSTVU

➤ Plošno i linijsko opterećenje i opterećenje pojedinačnom silom

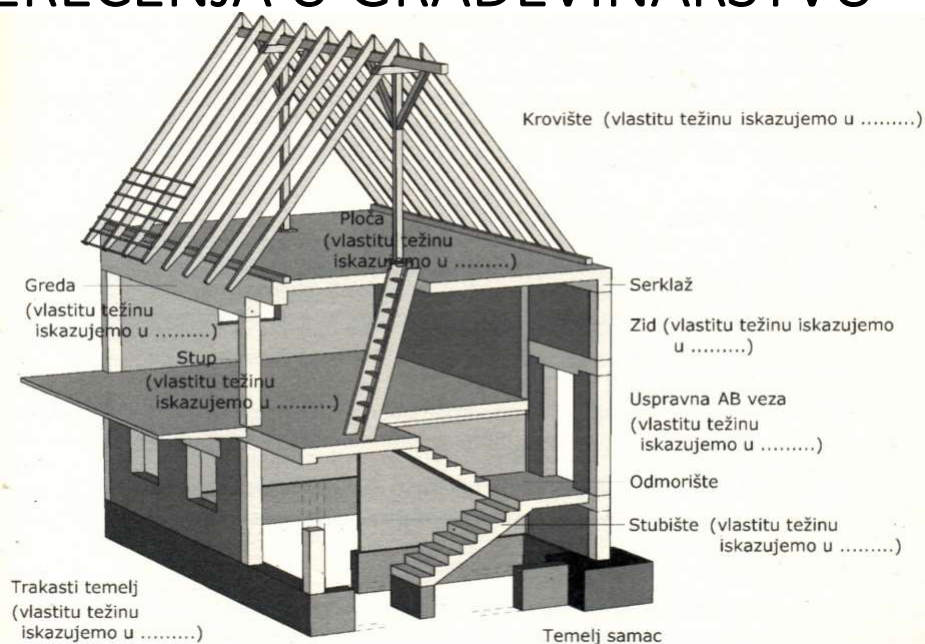


29

SILE I OPTEREĆENJA U GRAĐEVINARSTVU

ZADATAK:

Ispiši jedinice mjera u kojima iskazujemo vlastitu težinu navedenih nosećih sklopova!



30

IZRAČUNAVANJE SILE TEŽINE – VLASTITE TEŽINE SKLOPOVA

a) VLASTITA TEŽINA KAO PLOŠNO OPTEREĆENJE U kN/m^2

PRIMJER 1: Izračunajte vlastitu težinu armiranobetonske ploče zgrade ako joj je debljina 18 cm.

➤ Radi se o plošnom opterećenju (kN/m^2)

IZRAČUN:



PRIMJER 2: Izračunajte vlastitu težinu betonske ploče koja se nalazi u razini prizemlja ako joj je debljina 15 cm.

➤ Radi se o plošnom opterećenju (kN/m^2)

IZRAČUN:



31

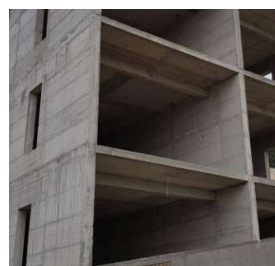
IZRAČUNAVANJE SILE TEŽINE – VLASTITE TEŽINE SKLOPOVA

b) VLASTITA TEŽINA KAO LINIJSKO OPTEREĆENJE U kN/m

PRIMJER 3: Izračunajte vlastitu težinu armiranobetonskog zida zgrade ako mu je debljina 15 cm i visina 2,8 m.

➤ Radi se o linijskom opterećenju (kN/m)

IZRAČUN:



PRIMJER 4: Izračunajte vlastitu težinu zida od pune opeke u produžnom mortu ako mu je debljina 25 cm i visina 300 cm.

➤ Radi se o linijskom opterećenju (kN/m)

IZRAČUN:



32

IZRAČUNAVANJE SILE TEŽINE – VLASTITE TEŽINE SKLOPOVA

C) VLASTITA TEŽINA KAO POJEDINAČNA SILA U kN

PRIMJER 5: Izračunajte vlastitu težinu armiranobetonskog stupa ako su mu tlocrtne dimenzije 40x40 cm i visina 2,75 m.

➤ Radi se o pojedinačnoj sili (kN)

IZRAČUN:



PRIMJER 6: Izračunajte vlastitu težinu stupa izrađenog od kamena vapnenca (vrlo čvrst) ako su mu tlocrtne dimenzije 45x45cm i visina 290 cm.

➤ Radi se o pojedinačnoj sili (kN)

IZRAČUN:



33

IZRAČUNAVANJE SILE TEŽINE – VLASTITE TEŽINE SKLOPOVA

ZADACI ZA UVJEŽBAVANJE

ZADATAK 1: Kao dio konstrukcije tvorničke hale predviđen je čelični IPE 450 profil. Potrebno je izračunati njegovu ukupnu težinu ako mu je duljina 8,0 m.

IZRAČUN:



Oznaka	Izmjere				A	masa
IPE	h mm	b mm	t mm	d mm	cm ²	kg/m
120	120	64	4,4	6,3	13,2	10,4
140	140	73	4,7	6,9	16,4	12,9
160	160	82	5,0	7,4	20,1	15,8
180	180	91	5,3	8,0	23,9	18,8
200	200	100	5,6	8,5	28,5	22,4
240	240	120	6,2	9,8	39,1	30,7
270	270	135	6,6	10,2	45,9	36,1
300	300	150	7,1	10,7	53,8	42,2
330	330	160	7,5	11,5	62,6	49,1
360	360	170	8,0	12,7	72,7	57,1
400	400	180	8,6	13,5	84,5	66,3
450	450	190	9,4	14,6	98,8	77,6
500	500	200	10,2	16,0	116	90,7
600	600	320	12,0	19,0	156	122

34

IZRAČUNAVANJE SILE TEŽINE – VLASTITE TEŽINE SKLOPOVA

ZADACI ZA UVJEŽBAVANJE

ZADATAK 2: Stup nekog skladišta je predviđen od čeličnog IPE 360 profila. Potrebno je izračunati njegovu ukupnu težinu ako mu je visina 6,5 m.

IZRAČUN:



Oznaka	Izmjere				A	masa
IPE	h mm	b mm	t mm	d mm	cm ²	kg/m
120	120	64	4,4	6,3	13,2	10,4
140	140	73	4,7	6,9	16,4	12,9
160	160	82	5,0	7,4	20,1	15,8
180	180	91	5,3	8,0	23,9	18,8
200	200	100	5,6	8,5	28,5	22,4
240	240	120	6,2	9,8	39,1	30,7
270	270	135	6,6	10,2	45,9	36,1
300	300	150	7,1	10,7	53,8	42,2
330	330	160	7,5	11,5	62,6	49,1
360	360	170	8,0	12,7	72,7	57,1
400	300	180	8,6	13,5	84,5	66,3
450	450	190	9,4	14,6	98,8	77,6
500	500	200	10,2	16,0	116	90,7
600	600	320	12,0	19,0	156	122

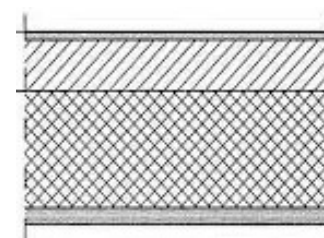
35

IZRAČUNAVANJE SILE TEŽINE – VLASTITE TEŽINE SKLOPOVA

ZADACI ZA UVJEŽBAVANJE

ZADATAK 3: Na slici se nalazi presjek neke međukatne konstrukcije (stropa) sa slojevima. Potrebno je izračunati vlastitu težinu tog stropa ako su poznati slojevi (odozgo prema dolje):

1. Ploče od granita $d=1,0$ cm
2. Cementni estrih (mort) $d=8,0$ cm
3. Armiranobetonska ploča $d=18$ cm
4. Žbuka od produžnog cementnog morta $d=2$ cm



IZRAČUN:

.....

36

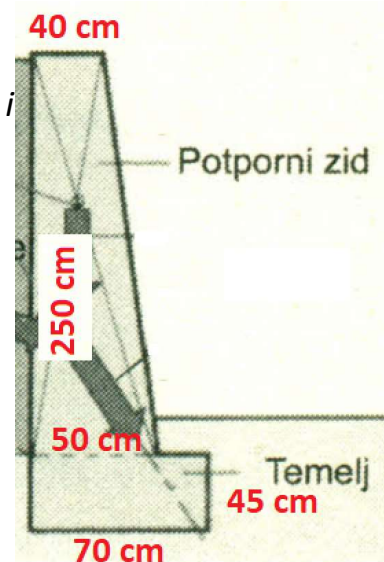
IZRAČUNAVANJE SILE TEŽINE – VLASTITE TEŽINE SKLOPOVA

ZADACI ZA UVJEŽBAVANJE

ZADATAK 4: Na slici se nalazi presjek potpornog zida i temelja koji su izrađeni od armiranog betona. Potrebno je izračunati njihovu vlastitu težinu ako su poznate dimenzije.

IZRAČUN:

.....



37

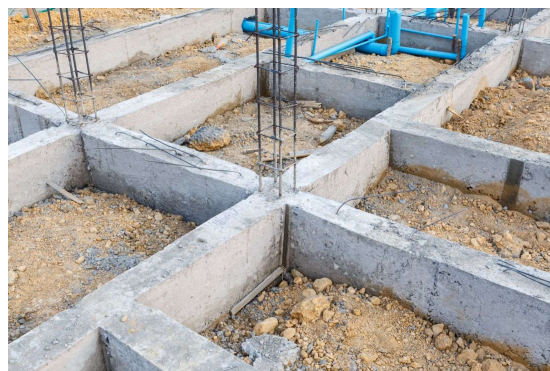
IZRAČUNAVANJE SILE TEŽINE – VLASTITE TEŽINE SKLOPOVA

ZADACI ZA UVJEŽBAVANJE

ZADATAK 5: Potrebno je izračunati težinu trakastog temelja izrađenog od betona. Dimenzije temelja su: širina 40 cm, visina 80 cm i duljina 4,5 m.

IZRAČUN:

.....



38

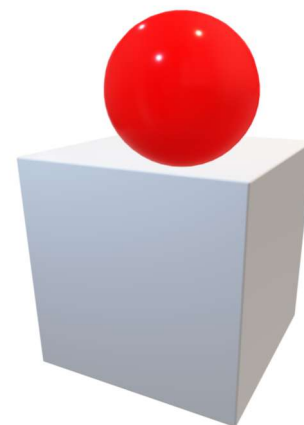
IZRAČUNAVANJE SILE TEŽINE – VLASTITE TEŽINE SKLOPOVA

ZADACI ZA UVJEŽBAVANJE

ZADATAK 6: *Kugla od čelika stoji na kocki od prirodnog kamena travertina. Izračunajte ukupnu težinu ta dva tijela ako se zna da je kugla promjera 40 cm, a kocka ima brid duljine 0,6 m.*

IZRAČUN:

.....



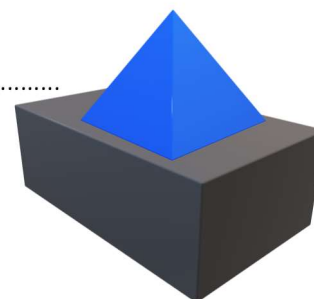
39

IZRAČUNAVANJE SILE TEŽINE – VLASTITE TEŽINE SKLOPOVA

ZADACI ZA UVJEŽBAVANJE

ZADATAK 7: *Četverostrana piramida visine 120 cm i baze dimenzija 50x50 cm izrađena je od drva hrasta. Postavljena je na bazu oblika prizme dimenzija 0,8x1,2x0,4 m izrađene od ljevanog željeza. Kolika je vlastita težina ta dva tijela zajedno?*

IZRAČUN:



40

IZRAČUNAVANJE SILE TEŽINE – VLASTITE TEŽINE SKLOPOVA

ZADACI ZA UVJEŽBAVANJE

ZADATAK 8: Stožac od betona promjera 120 cm i visine 160 cm postavljen je na valjak od olova. Valjak je polumjera 0,5 m i visine 1,5 m. Kolika je vlastita težina ta dva tijela zajedno?

IZRAČUN:



41

IZRAČUNAVANJE SILE TEŽINE – VLASTITE TEŽINE SKLOPOVA

ZADACI ZA UVJEŽBAVANJE

ZADATAK 9: Potrebno je izračunati težinu nosivog sklopa (konstrukcije) sa slike. Poznate su dimenzije i materijali.

A. stropna ploča tlocrtnih dimenzija 4,0x5,0 m se sastoji od sljedećih materijala:

1. nasipani šljunak (mokar) $d=12$ cm
2. hidroizolacija (bitumen) $d=0,5$ cm
3. toplinska izolacija (kamena vuna) $d=15$ cm
4. parna brana (zanemariti težinu)
5. beton za pad $d=6$ cm
6. armiranobetonska ploča $d=16$ cm
7. žbuka (produžna) $d=1,5$ cm



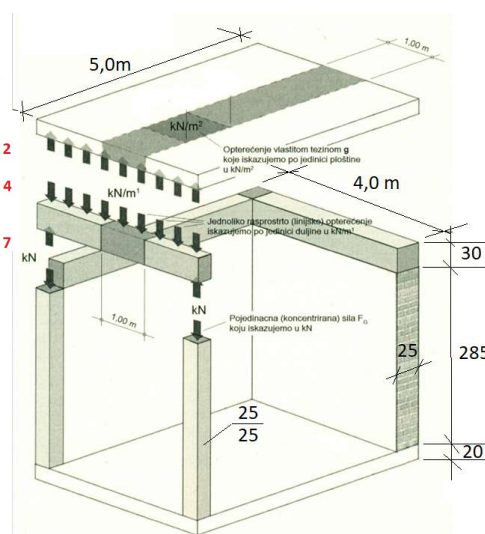
B. grede širine 25 cm i visine 30 cm su izrađene od armiranog betona

C. stupovi tlocrtnih dimenzija 25x25 cm i visine 2,85 m su izrađeni od armiranog betona

D. zidovi su izrađeni od šuplje opeke dimenzija prema slici

E. pod je izrađen od betona dimenzija prema slici.

IZRAČUN: na zasebnoj listu



42

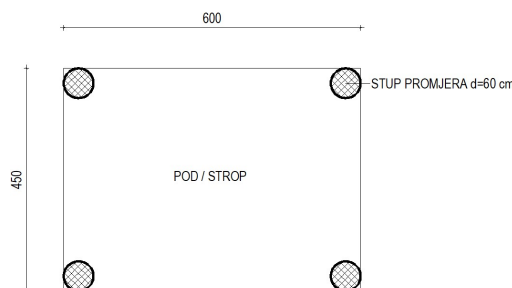
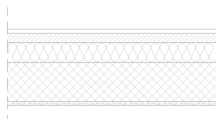
IZRAČUNAVANJE SILE TEŽINE – VLASTITE TEŽINE SKLOPOVA

ZADATAK ZA 2. DOMAĆU ZADAĆU

Potrebno je izračunati težinu nosivog sklopa (konstrukcije) čiji je tlocrt prikazan na slici. Poznate su dimenzije i materijali.

A. stropna ploča se sastoji od sljedećih materijala:

1. parket od hrasta $d=2\text{ cm}$
2. cementni estrih $d=4\text{ cm}$
3. toplinska izolacija (kamena vuna) $d=5\text{ cm}$
4. armiranobetonska ploča $d=15\text{ cm}$
5. žbuka (produžna) $d=1\text{ cm}$



B. stupovi promjera 60 cm i visine 3,2 m su izrađeni od armiranog betona

C. pod je izrađen od armiranog betona tlocrtnih dimenzija prema slici u debljini od 18 cm.

Uputa: zadatak prepisati i nacrtati u mjerilu na poseban list s okvirom i malom sastavnicom te naslovom „2. DOMAĆA ZADAĆA“

43

PREDOČAVANJE SILE

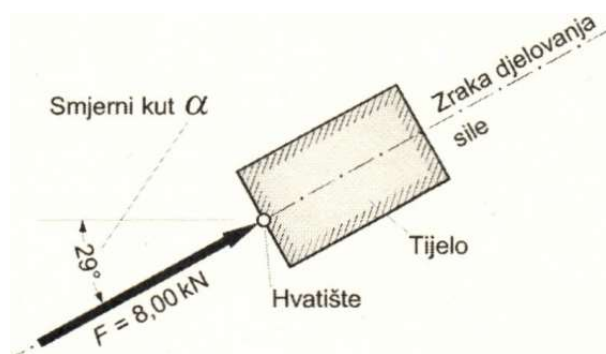
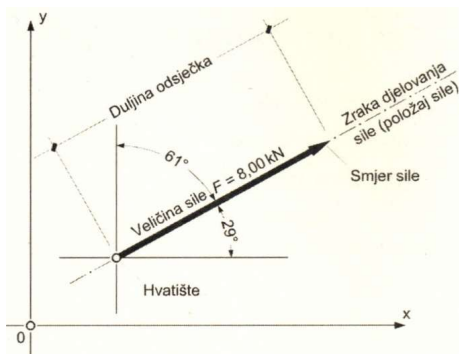
- **SKALARNE VELIČINE** – fizikalne veličine određene brojčanom vrijednošću, npr. vrijeme 3 sata, temperatura 20°C , duljina 40 m, ploština 5 m^2 , masa 60 kg, obujam 25 m^3 ...
 - **VEKTORSKE VELIČINE** – veličine za čiju potpunu određenost treba znati još neke podatke, tj. potrebno je poznavati:
 - **veličinu** (apsolutni iznos)
 - **smjer** na zruci djelovanja
 - položaj početne točke ili **hvatište**
- Primjeri vektorskih veličina:** sila, par sila, brzina, ubrzanje, pomak, količina gibanja...
- Vektorske veličine prikazuju se **VEKTORIMA**.

44

PREDOČAVANJE SILE

➤ Da bi se prikazala **sila** u ravnini potrebna su tri podatka:

1. **SMJER SILE** (zraka djelovanja sile, tj. položaj sile)
2. **HVATIŠTE** (točka na zraci djelovanja gdje sila djeluje)
3. **VELIČINA** (apsolutna vrijednost sile, npr. $F_1=8 \text{ kN}$, $F_2=800 \text{ N}$)



45

GRAFIČKO (CRTANO) PREDOČAVANJE SILE

- Pri grafičkom prikazivanju (crtanju) sile je potrebno prikazati u određenom **mjerilu**.
- U tu svrhu se odabire tzv. **MJERILO SILE** koje ovisi o:
1. Veličini sile koju treba prikazati
 2. Veličini prostora za crtež
 3. Zahtjevanoj točnosti

$$M_F = \frac{F}{l}; \quad l = \frac{F}{M_F}; \quad F = l \cdot M_F$$

M_F mjerilo sile

F (veličina) iznos sile

l duljina sile na slici

46

GRAFIČKO (CRTANO) PREDOČAVANJE SILE

PRIMJER 1.

Grafički prikaži silu veličine $F = 35 \text{ kN}$ u mjerilu sila $1 \text{ cm} = 10 \text{ kN}$ ($M_F = 10 \text{ kN/1,0 cm}$) čija je zraka djelovanja vodoravna.

47

GRAFIČKO (CRTANO) PREDOČAVANJE SILE

PRIMJER 2.

Sila F grafički prikazana (nacrtana) na vertikalnoj zruci djelovanja mjerilom sila $1 \text{ cm} = 4,0 \text{ kN}$ ima ukupnu duljinu odsječka $l = 6,20 \text{ cm}$. Kolika je veličina (jakost, iznos) sile F u kN?

48

GRAFIČKO (CRTANO) PREDOČAVANJE SILE

PRIMJER 3.

Koliko velika treba biti nacrtana sila jakosti $F = 1800 \text{ N}$ ako je za mjerilo odabrano $M_F = 0,5 \text{ kN/1,0 cm}$?

49

GRAFIČKO (CRTANO) PREDOČAVANJE SILE

PRIMJER 4.

Sila na slici je prikazana u mjerilu sila $2,5 \text{ kN/1,0 cm}$. Odredi njezinu veličinu u kN. Duljinu l treba očitati sa slike (izmjeriti).



50

GRAFIČKO (CRTANO) PREDOČAVANJE SILE

PRIMJER 5.

Sila u obliku strelice ima duljinu $l = 8,2 \text{ cm}$. Jakost sile iznosi $F = 1230 \text{ N}$. O kojem se mjerilu sila radi?

51

GRAFIČKO (CRTANO) PREDOČAVANJE SILE

3. DOMAĆA ZADAĆA

Svaki učenik treba sam odabrati veličine i riješiti pet zadataka po uzoru na prethodne primjere.

Uputa: zadatak napisati i nacrtati na poseban list s okvirom i malom sastavnicom te naslovom „3. DOMAĆA ZADAĆA”

52

SILE NA PRAVCU

- Iako je svaka građevina prostorna konstrukcija, **prikazuju se u ravninama** (tlocrt, poprečni i uzdužni presjek), pa se tako i proračunavaju.
- Zadatak statičara (stručnjaka za proračun konstrukcija) je da izračuna sve vanjske sile koje djeluju na neku građevinu.
- Pri tome je najčešće potrebno:
 - sastavljati i rastavljati sile,
 - dokazati ravnotežu (provjeriti ravnotežu)
- To se rješava:
 - **grafičkim postupkom** (približni rezultati, ali pregledno),
 - **analitičkim** (računskim) postupkom (točniji rezultati).

53

SILE NA PRAVCU

SASTAVLJANJE SILA KOJE DJELUJU U ISTOJ ZRACI

- Ako na neko tijelo ili dio konstrukcije djeluje istodobno **više sila** (tzv. sustav sila) može se odrediti **jedna** sila koja potpuno nadomješta sve te sile.
- Ta se sila naziva **REZULTANTA** i označava se sa **R** ili **F_R**
- Postupak izračunavanja rezultante se naziva **SASTAVLJANJE SILA**
- Sve pojedinačne sile sastavljaju se jedna za drugom
- Obrnuti postupak je rastavljanje sila (traženje komponenata ili sastojnica)

54

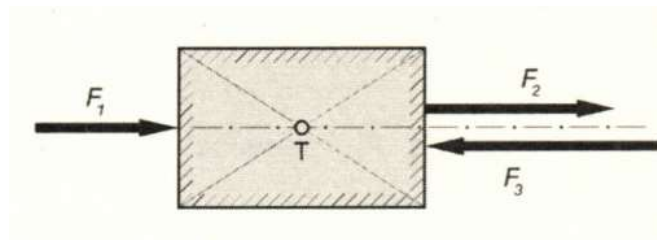
SILE NA HORIZONTALNOM I VERTIKALNOM PRAVCU

PRIMJER 1.

Tri sile, $F_1 = 3,0 \text{ kN}$, $F_2 = 4,0 \text{ kN}$ i $F_3 = -5,0 \text{ kN}$ djeluju na kruto tijelo (ili nedeformabilno tijelo) kao na slici.

Kolika je jakost (iznos, veličina) njihove rezultante i koji je smjer djelovanja rezultante?

Zadatak treba riješiti grafičkim i analitičkim postupkom.

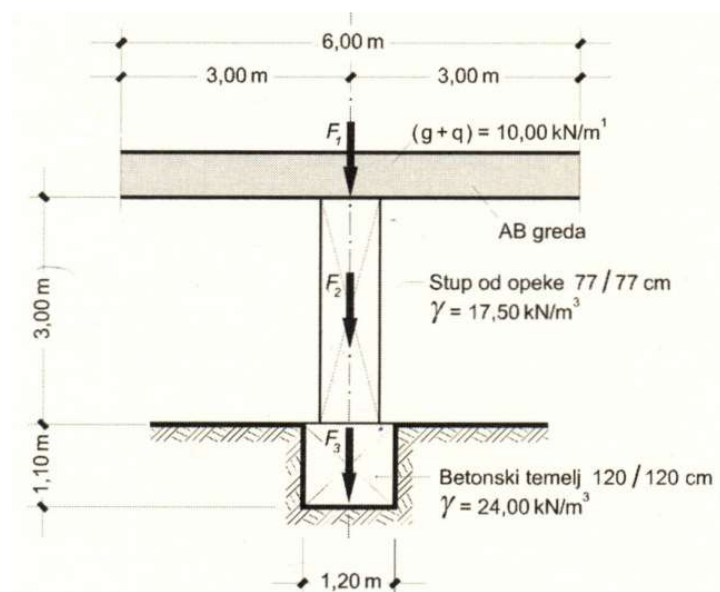


55

SILE NA HORIZONTALNOM I VERTIKALNOM PRAVCU

PRIMJER 2.

Treba izračunati ukupno opterećenje koje se prenosi od grede i stupa preko betonskog temelja na temeljno tlo.



56

ZADACI ZA UVJEŽBAVANJE

1. ZADATAK

Na neko kruto tijelo djeluju tri sile u vodoravnom smjeru. $F_1 = 32,5 \text{ kN}$, $F_2 = -14,0 \text{ kN}$ i $F_3 = -25,0 \text{ kN}$.

Koliko iznosi rezultanta i u kojem smjeru?

Zadatak treba riješiti grafičkim i analitičkim postupkom.

57

ZADACI ZA UVJEŽBAVANJE

2. ZADATAK

Na neko kruto tijelo djeluju tri sile u pod kutom od 30° s obzirom na os x. Sile su $F_1 = 88 \text{ kN}$, $F_2 = -36 \text{ kN}$ i $F_3 = 24 \text{ kN}$.

Koliko iznosi rezultanta i u kojem smjeru?

Koliko iznose projekcije rezultante R na os x i os y?

Zadatak treba riješiti grafičkim i analitičkim postupkom.

58

ZADACI ZA UVJEŽBAVANJE

3. ZADATAK

Na stup od kamena bazalta ($\gamma=30 \text{ kN/m}^3$) tlocrtnih dimenzija $60 \times 60 \text{ cm}$ i visine $2,8 \text{ m}$ djeluje težina od stropa **$G = 35 \text{ kN}$** . Stup stoji na betonskom temelju samcu tlocrtnih dimenzija $90 \times 90 \text{ cm}$ i visine 110 cm .

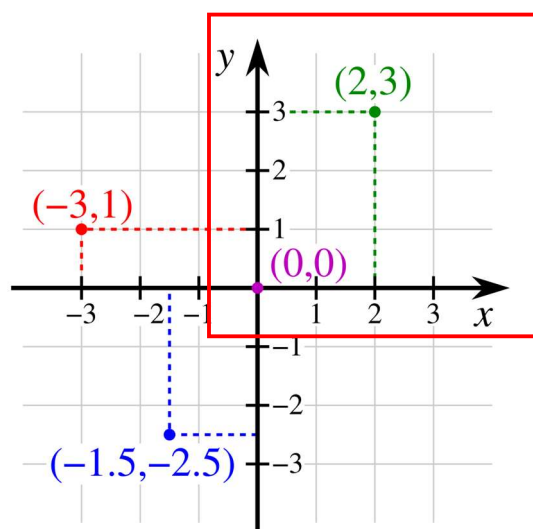
Koliko iznosi rezultanta sila djelovanja na temeljno tlo i u kojem smjeru?

Zadatak treba riješiti grafičkim i analitičkim postupkom.

59

SILE NA PRAVCU POD KUTOM

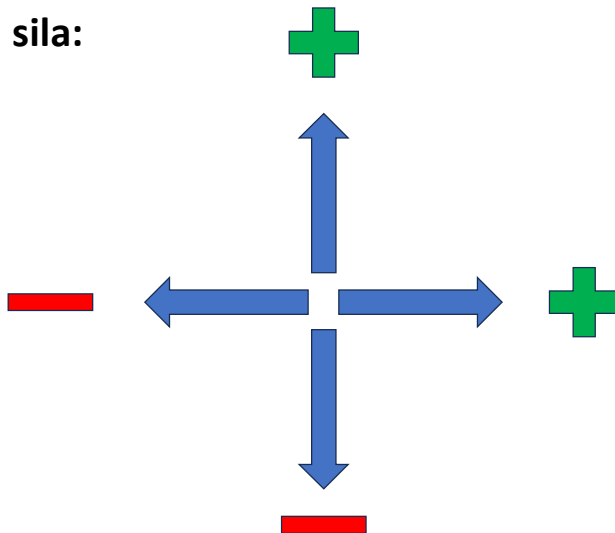
- Za prikazivanje sila koristit će se desni pravokutni koordinatni sustav tzv. **Descartesov (Dekartov) koordinatni sustav**; po latinskoj inačici prezimena *Cartesius* koordinatni sustav se naziva i **Kartezijev koordinatni sustav**.



60

SILE NA PRAVCU POD KUTOM

➤ Predznaci sile:

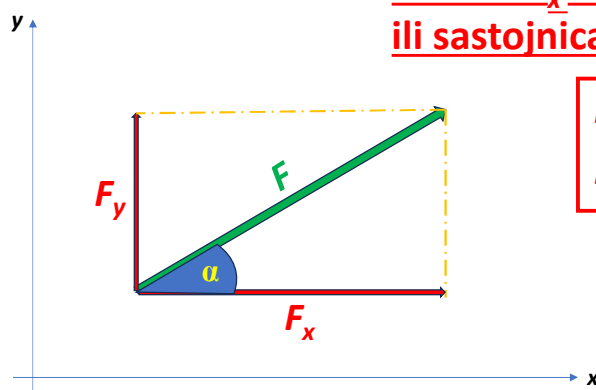


61

SILE NA PRAVCU POD KUTOM

➤ Rastavljanje kosih sila:

Izračun F_x i F_y (tzv. komponenta ili sastojnica sile F):



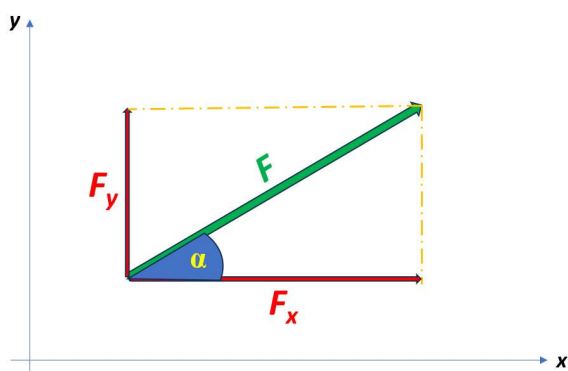
$$F_x = F \cdot \cos \alpha$$

$$F_y = F \cdot \sin \alpha$$

62

SILE NA PRAVCU POD KUTOM

- sinus nekog kuta (*sin*) predstavlja omjer između katete nasuprot kuta i hipotenuze (tj. *nasuprotna kateta / hipotenuza*)
- kosinus nekog kuta (*cos*) predstavlja omjer između katete uz kut (tzv. *priležeće katete*) i hipotenuze (tj. *priležeća kateta / hipotenuza*)



$$\sin \alpha = \frac{F_y}{F} \text{ pa je: } F_y = F \cdot \sin \alpha$$

$$\cos \alpha = \frac{F_x}{F} \text{ pa je: } F_x = F \cdot \cos \alpha$$

63

SILE NA PRAVCU POD KUTOM

PRIMJER 1.

Izračunaj projekcije F_x i F_y sile $F = 12 \text{ kN}$ čija zraka djelovanja zatvara s osi x kut $\alpha = 32^\circ$.

64

SILE NA PRAVCU POD KUTOM

PRIMJER 2.

Izračunaj projekcije F_x i F_y sile $F = 180 \text{ kN}$ čija zraka djelovanja zatvara s osi x kut $\alpha = 45^\circ$.

65

SILE NA PRAVCU POD KUTOM

PRIMJER 3.

Izračunaj projekcije F_x i F_y sile $F = 50 \text{ kN}$ čija zraka djelovanja zatvara s osi y kut $\alpha = 30^\circ$.

66

SILE NA PRAVCU POD KUTOM

PRIMJER 4.

Izračunaj koliko iznosi sila F ako se zna da je veličina projekcije $F_y = 38 \text{ kN}$, a zraka djelovanja zatvara s osi x kut $\alpha = 49^\circ$. Koliko iznosi F_x ?

67

OZNAČAVANJE SILA

- Sila je vektor pa se treba označavati kao:

$$\vec{F} \text{ ili } \overrightarrow{F_1} \text{ ili } \overrightarrow{F_A} \text{ itd.}$$

- Kako se u Nosivim konstrukcijama u srednjoj školi bavimo samo silama, iz praktičnih razloga pišemo samo:

$$F \text{ ili } F_1 \text{ ili } F_A \text{ itd.}$$

68

SILE NA PRAVCU POD KUTOM

4. DOMAĆA ZADAĆA

- 1) Izračunaj projekcije F_x i F_y sile $F = 50 \text{ kN}$ čija zraka djelovanja zatvara s osi x kut $\alpha = 60^\circ$. Skiciraj zadatak. Provjeri rezultat.
- 2) Izračunaj projekcije F_x i F_y sile $F = 100 \text{ kN}$ čija zraka djelovanja zatvara s osi x kut $\alpha = 10^\circ$. Skiciraj zadatak. Provjeri rezultat.
- 3) Izračunaj projekcije F_x i F_y sile $F = 15 \text{ kN}$ čija zraka djelovanja zatvara s osi y kut $\alpha = 36,5^\circ$. Skiciraj zadatak. Provjeri rezultat.
- 4) Koliki je iznos (jakost) sile F ako je iznos njene projekcije $F_x = 50 \text{ kN}$ i nalazi se pod kutom od 25° u odnosu na os x ? Koliko iznosi F_y ? Skiciraj zadatak. Provjeri rezultat.
- 5) Koliki je iznos (jakost) sile F ako je iznos njene projekcije $F_y = 30 \text{ kN}$ i nalazi se pod kutom od 67° u odnosu na os x ? Koliko iznosi F_x ? Skiciraj zadatak. Provjeri rezultat.

Uputa: zadatak napisati i uredno nacrtati na poseban list s okvirom i malom sastavnicom te naslovom „4. DOMAĆA ZADAĆA”

69

1. USMENA PROVJERA ZNANJA

- Svaki učenik nasumično odabire listić s dva kratka teoretska pitanja i dva kratka zadatka.
- Svaki odgovor donosi po jedan bod, odnosno koliko bodova je učenik postigao toliku ocjenu može dobiti u e-dnevnik.
- Za ocjenu odličan (5) potrebno je riješiti dodatan zadatak kojeg također učenik nasumično odabire.

70

1. USMENA PROVJERA ZNANJA

• PRIMJERI ISPITNIH LISTIĆA

1. Hoće li masa i težina nekog tijela biti jednaka na Mjesecu i na Zemlji?
2. Navedi primjer koncentriranog opterećenja na zgradi i oznaku.
3. Izračunaj vlastitu težinu sloja poda od suhe hrastovine debljine 2,5 cm. Navedi točnu oznaku za težinu i mjernu jedinicu.
4. Izračunaj težinu kugle izrađene od olova promjera 40 cm.
 1. Kojim mjernim instrumentom se mjeri težina?
 2. Kako se nazivaju opterećenja na mostu od vlastite težine kolnika, greda i stupova?
 3. Izračunaj vlastitu težinu zida od suhe hrastovine debljine 10 cm i visine 2,5 m. Navedi točnu oznaku za težinu i mjernu jedinicu.
 4. Izračunaj težinu valjka izrađenog od mesinga promjera baze 40 cm i visine 2 m.

71

1. USMENA PROVJERA ZNANJA

• PRIMJERI ISPITNIH LISTIĆA

1. Zašto se s promjenom pozicije mijenja vrijednost težine?
2. U kojoj jedinici se iskazuje jednoliko rasprostrto opterećenje i koja je oznaka?
3. Izračunaj vlastitu težinu zida od pune opeke u vapnenom mortu debljine 12 cm i visine 2,8 m. Navedi točnu oznaku za težinu i mjernu jedinicu.
4. Izračunaj težinu stošca izrađenog od ljevanog željeza promjera baze 40 cm i visine 0,5 m.
 1. Je li vlastita težina nekog tijela njegova masa ili sila?
 2. Navedi primjer jednoliko rasprostrtog **uporabnog** opterećenja na nekoj zgradi i koja bi bila oznaka.
 3. Izračunaj vlastitu težinu stupa od kamena vapnenca srednje čvrstoće kojem su tlocrtne dimenzije 30x30 cm i visina 3,0 m. Navedi točnu oznaku za težinu i mjernu jedinicu.
 4. Izračunaj težinu kugle izrađene od bronce polumjera 10 cm.

72

1. USMENA PROVJERA ZNANJA

• PRIMJERI ISPITNIH LISTIĆA

1. Ako je poznata prostorna težina (γ) nekog tijela i obujam tog tijela (V) što se može izračunati?
2. Kako se nazivaju opterećenja na mostu od snijega, vjetrova i vozila?
3. Izračunaj vlastitu težinu stupa od drva crnogorice (bora) kojem su tlocrtne dimenzije 24x24 cm i visina 3,0 m. Navedi točnu oznaku za težinu i mjernu jedinicu.
4. Izračunaj težinu kugle izrađene od kamena bazalta polumjera 30 cm.
 1. Koja je mjerna jedinica za prostornu težinu nekog materijala?
 2. Navedi primjer jednoliko rasprostrtog **stalnog** opterećenja na nekoj zgradi i koja bi bila oznaka.
 3. Izračunaj vlastitu težinu temelja od betona koji je širine 45 cm i visine 60 cm. Navedi točnu oznaku za težinu i mjernu jedinicu.
 4. Izračunaj težinu piramide izrađene od suhe gline ako joj je baza dimenzija 50x50 cm i visina 0,8 m.

73

1. USMENA PROVJERA ZNANJA

• PRIMJERI ISPITNIH LISTIĆA

1. Gdje se nalazi hvatište težine?
2. Navedi po primjer opterećenja koja bi u nekoj kući bila stalna, a koja uporabna.
3. Izračunaj vlastitu težinu temelja od betona koji je širine 45 cm, visine 60 cm i duljine 4 m. Navedi točnu oznaku za težinu i mjernu jedinicu.
4. Izračunaj težinu valjka izrađenog od vlažne bjelogorice ako mu je promjer 40 cm i visina 6 m.
 1. Gdje se nalazi hvatište sile teže?
 2. Navedi po primjer opterećenja koja bi u nekoj školi bila stalna, a koja uporabna.
 3. Izračunaj vlastitu težinu stupa od pune opeke u produžnom mortu kojem su tlocrtne dimenzije 0,51x0,51 cm i visina 3,0 m. Navedi točnu oznaku za težinu i mjernu jedinicu.
 4. Izračunaj težinu stošca izrađenog od kamena vapnenca (mekanog) kojem je promjer baze 0,3 m i visina 250 cm.

74

1. USMENA PROVJERA ZNANJA

• PRIMJERI ISPITNIH LISTIĆA

1. Koja je razlika između mase i težine?

2. Navedi po primjer opterećenja koja bi u nekoj knjižnici bila stalna, a koja uporabna.

3. Izračunaj vlastitu težinu sloja poda izrađenog od šamotne opeke debljine 7 cm. Dimenzije poda su 2x5 m. Navedi točnu oznaku za težinu i mjernu jedinicu.

4. Izračunaj težinu stošca koji je izrađen od prirodno vlažne gline promjera baze 120 cm i visine 2 m.

1. Kako se izračunava vlastita težina nekog tijela?

2. Koja je oznaka za stalno koncentrirano opterećenje, a koja za rasprostro uporabno opterećenje?

3. Izračunaj vlastitu težinu zida od pune opeke u cementnom mortu debljine 7 cm i visine 2,6 m. Navedi točnu oznaku za težinu i mjernu jedinicu.

4. Izračunaj težinu valjka izrađenog od kamena dijabaza kojem je polumjer 50 cm i visina 200 cm.

75

1. USMENA PROVJERA ZNANJA

• PRIMJERI ISPITNIH LISTIĆA

1. Čime treba pomnožiti obujam nekog tijela (V) kako bi se dobila vlastita težina?

2. Kako se nazivaju opterećenja na zgradi od snijega, vjetra i namještaja?

3. Izračunaj vlastitu težinu zida od suhe bukovine debljine 8 cm i visine 3,0 m. Navedi točnu oznaku za težinu i mjernu jedinicu.

4. Izračunaj težinu prizme izrađene od aluminija kojoj je širina 110 cm, duljina 200 cm i visina 0,5 m.

1. Čime treba pomnožiti prostornu težinu (γ) kako bi se dobila vlastita težina nekog tijela?

2. Kako se nazivaju opterećenja na zgradi od vlastite težine stupova, stubišta i temelja?

3. Izračunaj vlastitu težinu sloja poda od suhe bukovine debljine 1,5 cm. Navedi točnu oznaku za težinu i mjernu jedinicu.

4. Izračunaj težinu piramide izrađene od betona kojoj je baza dimenzija 120x120 cm i visina 2,4 m.

76

1. USMENA PROVJERA ZNANJA

• PRIMJERI ISPITNIH LISTIĆA

1. O čemu ovisi vlastita težina nekog tijela?
2. Koja se opterećenja iskazuju u kN/m^2 , a koja u kN ?
3. Izračunaj vlastitu težinu sloja poda od prirodnog kamena granita debljine 3,0 cm. Navedi točnu oznaku za težinu i mjernu jedinicu.
4. Izračunaj težinu piramide izrađene od betona kojoj je baza dimenzija 120x120 cm i visina 2,4 m i kocke od ljevanog željeza duljine brida 1,5 m. Piramida je postavljena na kocku. Navedi točnu oznaku za težinu i mjernu jedinicu.
 1. O čemu ovisi težina nekog tijela?
 2. Koja se opterećenja iskazuju u kN/m^2 , a koja u kN/m^3 ?
 3. Izračunaj vlastitu težinu temelja sazidanog od pune opeke u cementnom mortu širine 60 cm, visine 100 cm i duljine 6 m. Navedi točnu oznaku za težinu i mjernu jedinicu.
 4. Izračunaj težinu kvadra izrađenog od vlažne crnogorice kojoj je baza dimenzija 80x100 cm i visina 1,7 m i kocke od betona duljine brida 120 cm. Kvadar je postavljen na kocku. Navedi točnu oznaku za težinu i mjernu jedinicu.

77

1. USMENA PROVJERA ZNANJA

• PRIMJERI ISPITNIH LISTIĆA

1. Po čemu se razlikuju sila teža i težina?
2. U kojim jedinicama se iskazuje vlastita težina stropne ploče i grede?
3. Izračunaj vlastitu težinu stropa izrađenog od armiranog betona debljine 18 cm, širine 4,5 m i duljine 3,0 m. Navedi točnu oznaku za težinu i mjernu jedinicu.
4. Izračunaj težinu valjka izrađenog od kamena travertina kojoj je baza promjera 80 cm i visina 0,8 m i prizme od betona duljine tlocrtnih dimenzija 80x80 cm i visine 1,6 m. Valjak je postavljen na prizmu. Navedi točnu oznaku za težinu i mjernu jedinicu.

78

PARALELOGRAM I TROKUT SILA

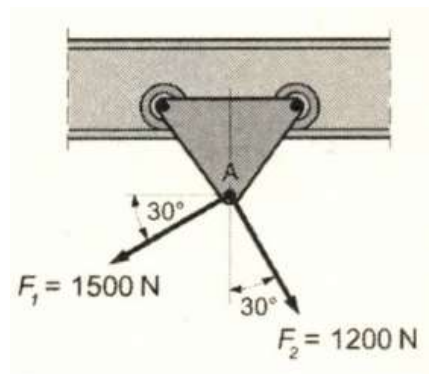
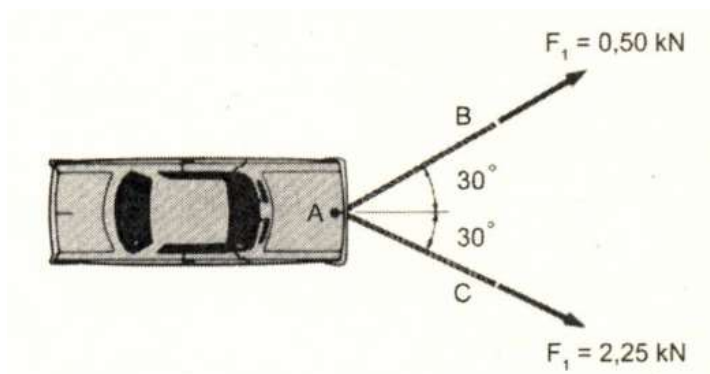
SASTAVLJANJE SILA KOJE DJELUJU U RAZLIČITIM ZRAKAMA I SIJEKU SE U JEDNOJ TOČKI

- Prisjetimo se kako se sastavljaju sile koje djeluju u istoj zruci (pozitivne i negativne)
- Međutim, sile u prirodi mogu djelovati i u različitim zrakama (smjerovima), a te se sile sijeku u jednoj točki
- Rezultanta se dobiva primjenom jednostavnog **GRAFIČKOG** postupka: **paralelogram i trokut sila**.

79

PARALELOGRAM I TROKUT SILA

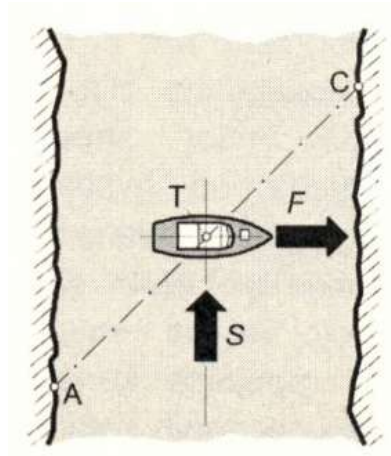
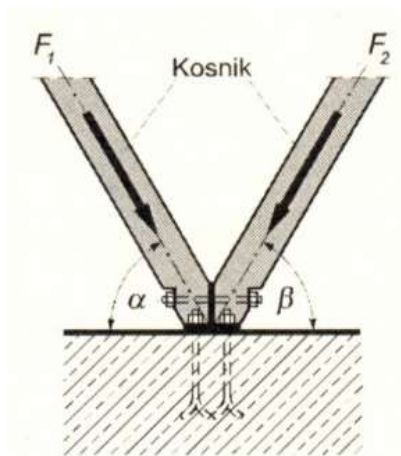
Primjeri



80

PARALELOGRAM I TROKUT SILA

Primjeri

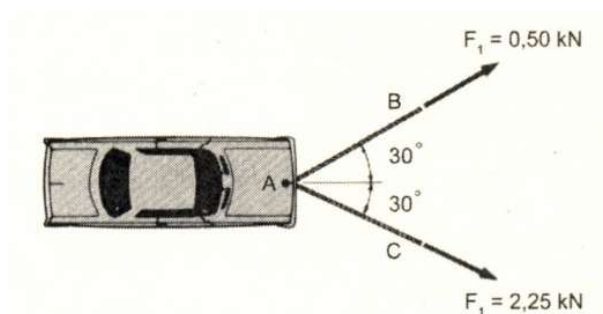


81

PARALELOGRAM I TROKUT SILA

PRIMJER 1.

Grafičkim postupkom, uporabom paralelograma i trokuta sila odredi hvatište, smjer i veličinu rezultante zadanih sila za prikazani primjer. Mjerilo sila odaberi sukladno veličini prostora za crtež.

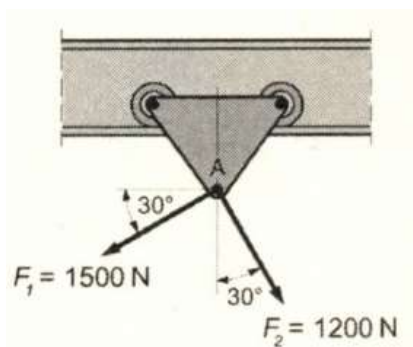


82

PARALELOGRAM I TROKUT SILA

PRIMJER 2.

Grafičkim postupkom, uporabom paralelograma i trokuta sila odredi hvatište, smjer i veličinu rezultante zadanih sila za prikazani primjer. Mjerilo sila odaberi sukladno veličini prostora za crtež.

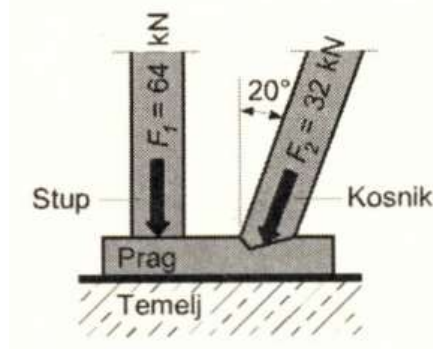


83

PARALELOGRAM I TROKUT SILA

ZADATAK ZA 5. DOMAĆU ZADAĆU

Grafičkim postupkom, uporabom paralelograma ili trokuta sila odredi hvatište, smjer i veličinu rezultante zadanih sila za prikazani primjer. Mjerilo sila odaberi sukladno veličini prostora za crtež.



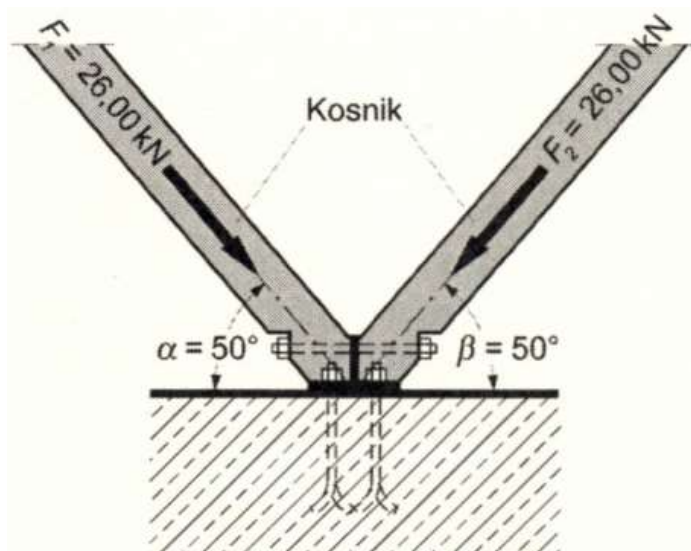
Uputa: zadatak napisati i uredno nacrtati na poseban list s okvirom i malom sastavnicom te naslovom „5. DOMAĆA ZADAĆA”

84

PARALELOGRAM I TROKUT SILA

1. ZADATAK ZA GRUPNI RAD

Grafičkim postupkom, uporabom paralelograma ili trokuta sila odredi hvatište, smjer i veličinu rezultante zadanih sila za prikazani primjer. Mjerilo sila odaberi sukladno veličini prostora za crtež.

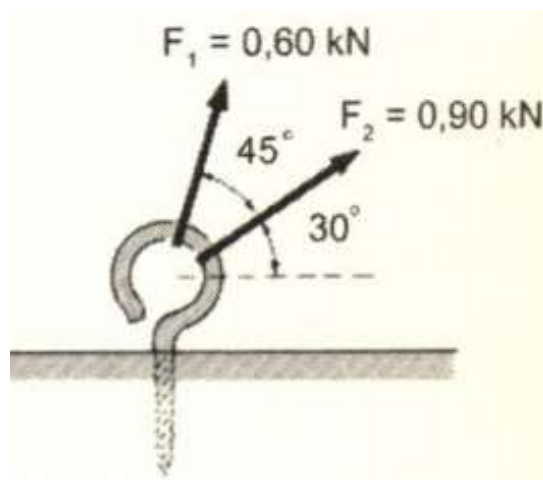


85

PARALELOGRAM I TROKUT SILA

2. ZADATAK ZA GRUPNI RAD

Grafičkim postupkom, uporabom paralelograma ili trokuta sila odredi hvatište, smjer i veličinu rezultante zadanih sila za prikazani primjer. Mjerilo sila odaberi sukladno veličini prostora za crtež.



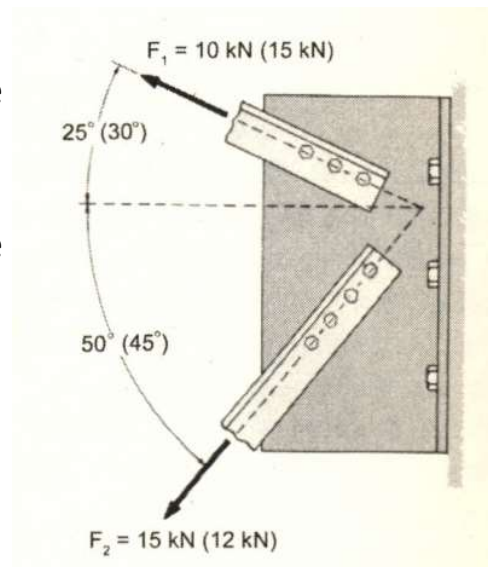
86

PARALELOGRAM I TROKUT SILA

3. ZADATAK ZA GRUPNI RAD

Grafičkim postupkom, uporabom paralelograma ili trokuta sila odredite hvatište, smjer i veličinu rezultante zadanih sila za prikazani primjer. Mjerilo sila odaberi sukladno veličini prostora za crtež. Veličine kutova i sila odaberite iz tablice ispod.

GRUPA	GORNJI KUT (°)	DONJI KUT (°)	F_1 (kN)	F_2 (kN)
1	25	50	10	15
2	25	45	10	12
3	30	50	15	15
4	30	45	15	12
5	25	45	12	12
6	30	45	15	15



87

PARALELOGRAM I TROKUT SILA

ZADATAK ZA 6. DOMAĆU ZADAĆU

Uredno i detaljno napisati i nacrtati sva tri zadatka koja su u školi izrađena u okviru grupnog rada.

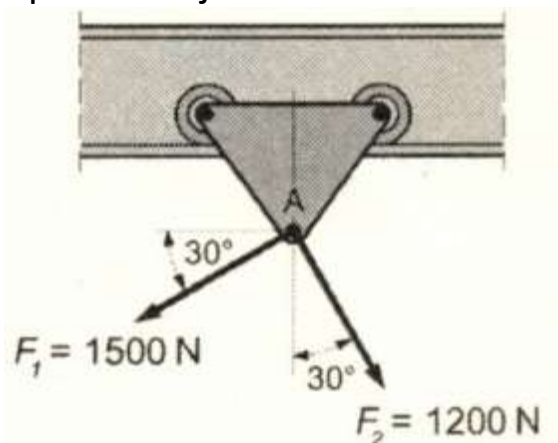
Uputa: zadatak napisati i uredno nacrtati na poseban list s okvirom i malom sastavnicom te naslovom „6. DOMAĆA ZADAĆA“

88

ANALITIČKI POSTUPAK

PRIMJER

Za primjer dviju sila potrebno je izračunati veličinu rezultantne sile.



89

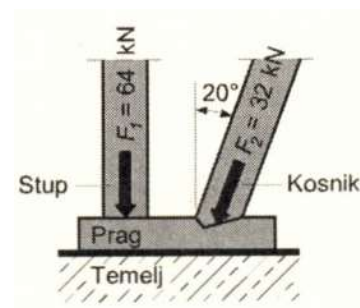
ANALITIČKI POSTUPAK

ZADATAK ZA 7. DOMAĆU ZADAĆU

Na primjeru zadatka iz 5. domaće zadaće (slika ispod), analitičkim postupkom izračunaj veličinu rezultantne sile.

Pazi na kut koji je zadan!

Uputa: zadatak napisati i uredno nacrtati (samo sile) na poseban list s okvirom i malom sastavnicom te naslovom „7. DOMAĆA ZADAĆA”



90

ANALITIČKI POSTUPAK

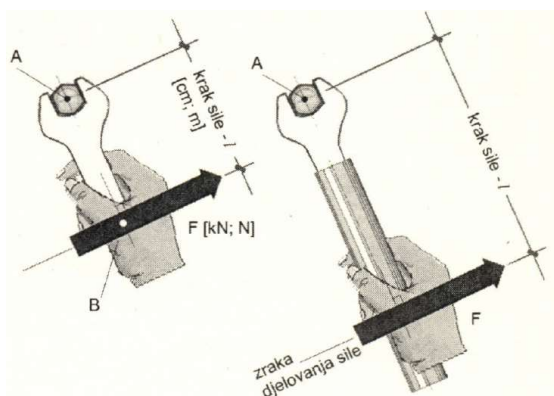
GRUPNI RAD

Na primjeru zadatka iz prethodnog grupnog rada, analitičkim postupkom izračunajte veličinu rezultantne sile.

91

MOMENT SILE

- Osim što se pod djelovanjem sile tijela mogu translatorno gibati, ona se mogu i okretati tj. rotirati.
- Takvo djelovanje sile karakterizirano je njihovim **MOMENTOM**.



92

MOMENT SILE

- Moment sile ovisi o:
 - intenzitetu (jakosti) sile ($F = \dots \text{N}, \text{kN}$)
 - **najkraćoj** udaljenosti sile do točke okretanja (uvijek je to OKOMICA NA SILU!)
 - smjeru okretanja (predznak „+” ili „-”)
- **Izračun momenta sile:** $M = F \cdot l$
- **Jedinice momenta sile:**
 - $[\text{N}] \cdot [\text{m}] = [\text{Nm}]$
 - $[\text{kN}] \cdot [\text{m}] = [\text{kNm}]$
 - $[\text{N}] \cdot [\text{cm}] = [\text{Ncm}]$

93

MOMENT SILE

PRIMJER 1

Potrebno je pritegnuti maticu vijka 30 cm dugim ključem. Na kraju ključa djeluje sila od 0,38 kN. Izračunaj veličinu momenta sile.

94

MOMENT SILE

PRIMJER 2

Izračunaj nedostajuće veličine iz tablice.

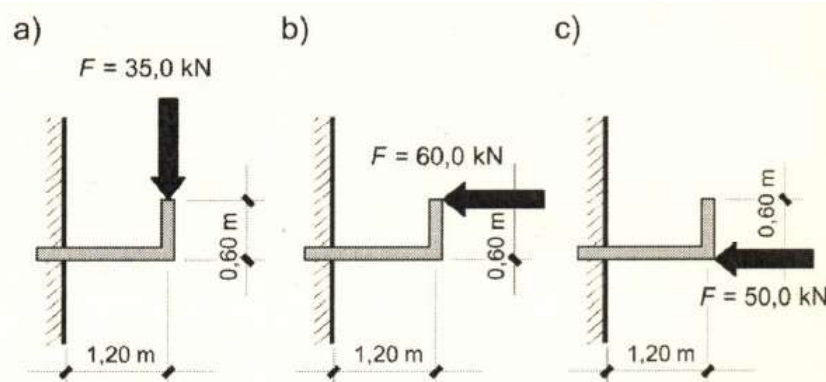
	a)	b)	c)	d)	e)
Krak	20 cm	?	2,75 m	1,95 m	?
Sila	15 kN	12,3 kN	?	39 kN	2,70 kN
Moment	?	95 kNm	178 kNm	?	5,9 Nm

95

MOMENT SILE

PRIMJER 3

Izračunaj veličinu momenta na mjestu upetosti prikazane konstrukcije, izazvanog djelovanjem sile F .

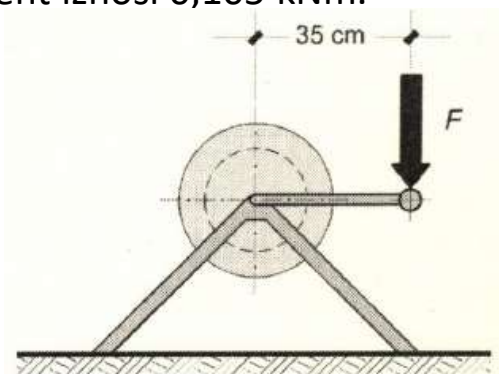


96

MOMENT SILE

PRIMJER 4

Ručica ručne dizalice (ili čekrka, vitla) duga je 35 cm. Izračunaj potrebnu veličinu sile F , ako sila F djeluje okomito na ručicu, a potreban moment iznosi 0,105 kNm.

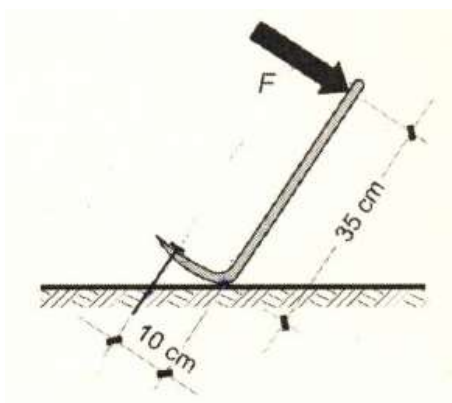


97

MOMENT SILE

PRIMJER 5

Kolikom silom F moramo djelovati na polugu za vađenje čavala, ako čavao pruža otpor od 0,70 kN?

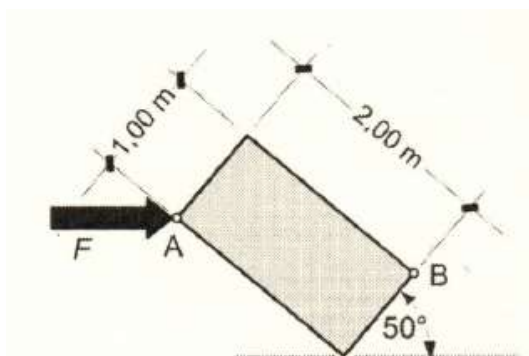


98

MOMENT SILE

PRIMJER 6

Na pravokutnu ploču duljine 2 m i širine 1 m, kojoj je jedan brid priklonjen pod kutom od 50° prema vodoravnoj ravnini, u točki A djeluje vodoravna sila $F = 0,20 \text{ kN}$. Odredi moment sile F za točku B.

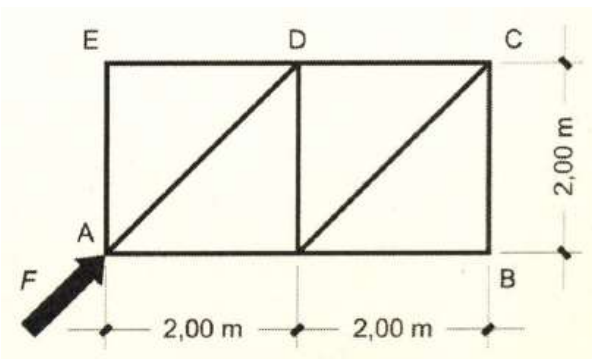


99

MOMENT SILE

PRIMJER 7

Na rešetkasti nosač u obliku pravokutne ploče ABCDE djeluje sila $F = 0,20 \text{ kN}$ čija zraka djelovanja prolazi dijagonalom AD. Izračunaj moment te sile s obzirom na točku A, B, C, D i E.

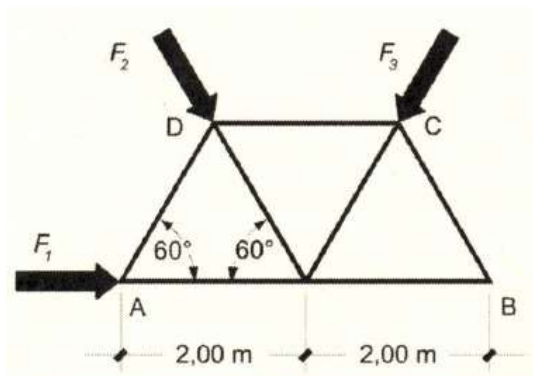


100

MOMENT SILE

PRIMJER 8

Na rešetkasti nosač ABCD djeluju sile $F_1 = 0,20 \text{ kN}$, $F_2 = 0,50 \text{ kN}$ i $F_3 = 0,80 \text{ kN}$. Izračunaj ukupni moment svih sila s obzirom na točku B.



101

MOMENT SILE

ZADATAK ZA 8. DOMAĆU ZADAĆU

Uredno i detaljno napisati i nacrtati sve zadatke koji su u školi izrađeni u okviru grupnog rada.

Uputa: zadatak napisati i uredno nacrtati na poseban list s okvirom i malom sastavnicom te naslovom „8. DOMAĆA ZADAĆA”

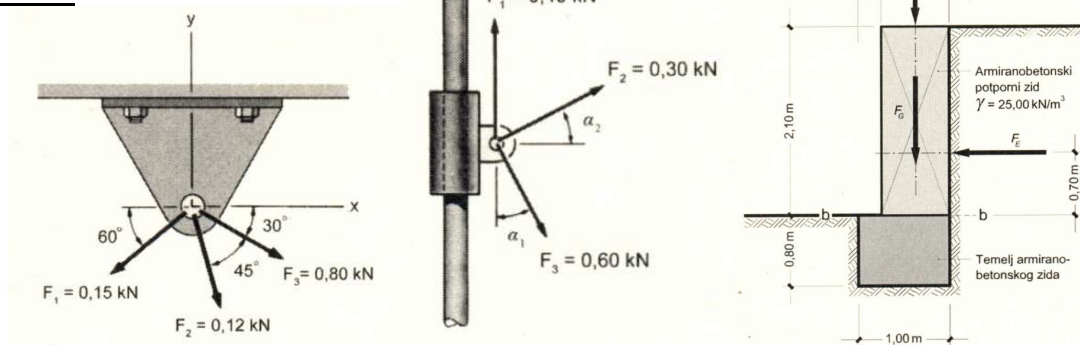
102

PRONALAZENJE REZULTANTE OPCEG SUSTAVA SILA – GRAFIČKI POSTUPAK

SASTAVLJANJE SILA – NA TOČKU DJELUJE VIŠE RAZNOSMJERNIH SILA

➤ za slučaj kad na jednu točku djeluje više sila rezultanta se grafički dobiva tzv. **poligonom sila** (pomoćna metoda; može i uzastopnim paralelogramima sila)

PRIMJERI

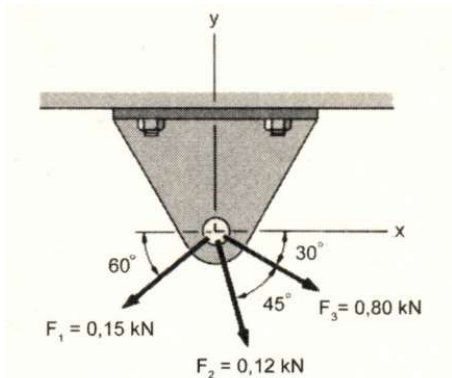


103

PRONALAZENJE REZULTANTE OPCEG SUSTAVA SILA – GRAFIČKI POSTUPAK

PRIMJER 1.

Grafičkim postupkom, uporabom poligona sila odredi hvatište, smjer i veličinu rezultante zadanih sila za prikazani primjer. Mjerilo sila odaberi sukladno veličini prostora za crtež.

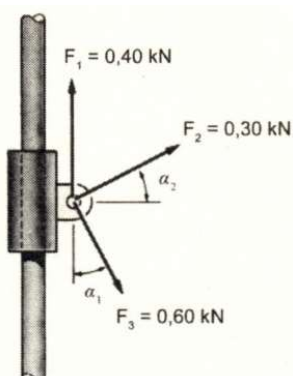


104

PRONALAZENJE REZULTANTE OPCEG SUSTAVA SILA – GRAFIČKI POSTUPAK

PRIMJER 2.

Grafičkim postupkom, uporabom poligona sila odredi hvatište, smjer i veličinu rezultante zadanih sila za prikazani primjer. Mjerilo sila odaberi sukladno veličini prostora za crtež.

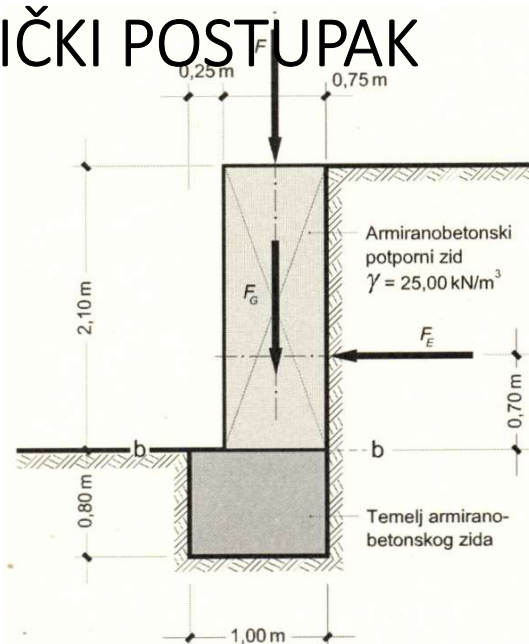


105

PRONALAZENJE REZULTANTE OPCEG SUSTAVA SILA – GRAFIČKI POSTUPAK

PRIMJER 3.

Grafičkim postupkom, uporabom poligona sila odredi smjer i veličinu rezultante zadanih sila za prikazani primjer. Mjerilo sila odaberi sukladno veličini prostora za crtež.



106

PRONALAZENJE REZULTANTE OPCEG SUSTAVA SILA – GRAFIČKI POSTUPAK

GRUPNI RAD

Svaka grupa samostalno kreira jedan složeniji zadatak po uzoru na prethodna tri zadatka te ih rješava samostalno i uz pomoć nastavnika (po potrebi).

107

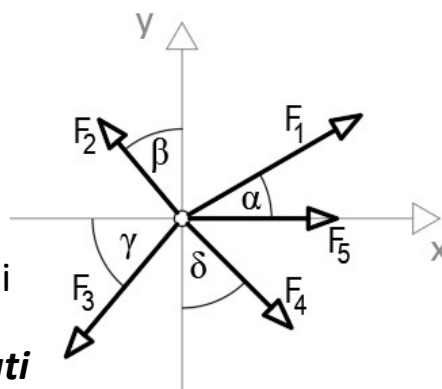
PRONALAZENJE REZULTANTE OPCEG SUSTAVA SILA – GRAFIČKI POSTUPAK

ZADATAK ZA 9. DOMAĆU ZADAĆU

Grafičkim postupkom (poligonom sila) potrebno je odrediti rezultantu sila koje djeluju na točku sa slike. Potrebno je očitati smjerni kut rezultante (ω).

Sile je potrebno nacrtati u prikladnom mjerilu (ne presitno ni preveliko) i po želji ih urediti bojama.

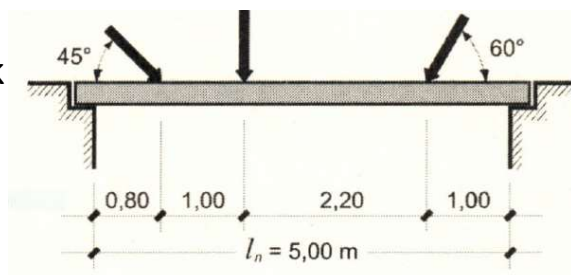
Uputa: zadatak napisati i uredno nacrtati na poseban list s okvirom i malom sastavnicom te naslovom „9. DOMAĆA ZADAĆA”



108

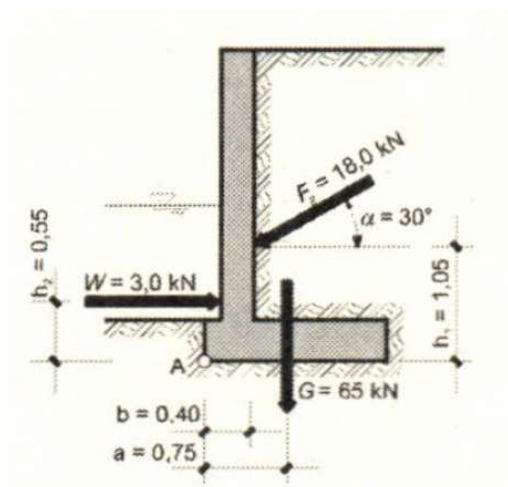
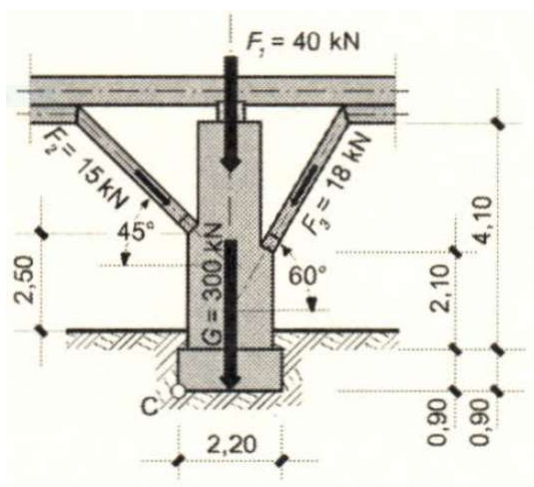
PRONALAŽENJE REZULTANTE OPĆEG SUSTAVA SILA – ANALITIČKI POSTUPAK

- Za opći sustav sila u ravnini općenito možemo reći da je to sustav sila u komu sile imaju **proizvoljan** položaj i ne sijeku se, odnosno ne djeluju u jednoj točki.
- Za sastavljanje i rastavljanje sila opet primjenjujemo **grafički i računski** postupak.
- Za računski (analitički) postupak rješavanja primjenjuje se tzv. **Varignonov teorem**



109

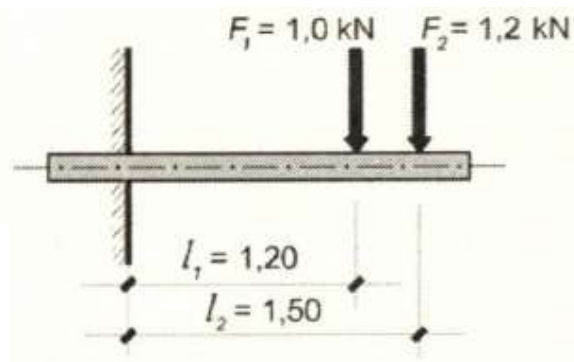
PRONALAŽENJE REZULTANTE OPĆEG SUSTAVA SILA – ANALITIČKI POSTUPAK



110

PRONALAŽENJE REZULTANTE OPĆEG SUSTAVA SILA – ANALITIČKI POSTUPAK

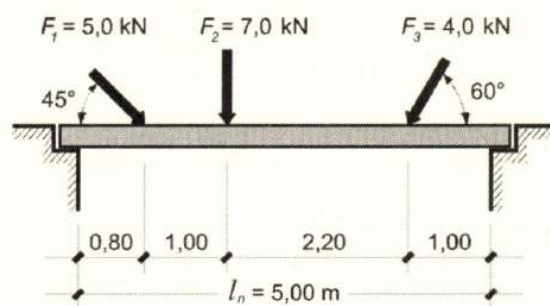
Zadatak 1. Prepušteni nosač opterećen je dvijema uspravnim i usporednim pojedinačnim silama $F_1 = 1,0 \text{ kN}$ i $F_2 = 1,2 \text{ kN}$. Grafičkim i analitičkim postupkom odredi veličinu i položaj rezultante (R i l_R).



111

PRONALAŽENJE REZULTANTE OPĆEG SUSTAVA SILA – ANALITIČKI POSTUPAK

Zadatak 2. Slobodno poduprti nosač opterećen je s tri pojedinačne sile različitih zraka djelovanja, različitih hvatišta i različitih jakosti, $F_1 = 5,0 \text{ kN}$ ($\alpha = 45^\circ$), $F_2 = 7,0 \text{ kN}$ i $F_3 = 4,0 \text{ kN}$ ($\alpha = 60^\circ$). Grafičkim i analitičkim postupkom odredi veličinu rezultante i njen položaj s obzirom na udaljenost od lijevog ruba naližeganja nosača (ili gdje je nosač poduprt, vidi sl. 5.33a).



112

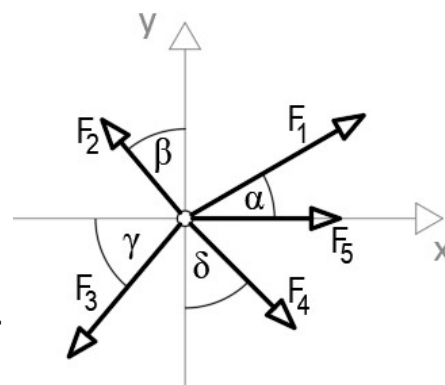
PRONALAŽENJE REZULTANTE OPĆEG SUSTAVA SILA – ANALITIČKI POSTUPAK

ZADATAK ZA 10. DOMAĆU ZADAĆU

Analitičkim postupkom (pomoću Varignonovog teorema) potrebno je odrediti rezultantu sila koje djeluju na točku sa slike. Potrebno je izračunati smjerni kut rezultante (ω).

Koristiti podatke o silama i kutovima iz 9. domaće zadaće.

Uputa: zadatak napisati na poseban list s okvirom i malom sastavnicom te naslovom „10. DOMAĆA ZADAĆA”

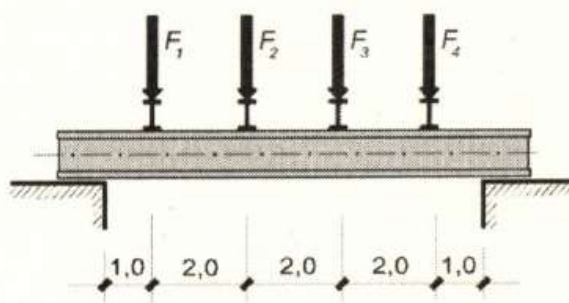


113

PRONALAŽENJE REZULTANTE OPĆEG SUSTAVA SILA – ANALITIČKI POSTUPAK

GRUPNI RAD

Zadatak 3. Četiri uzdužna stropna nosača prenose opterećenje uspravnih pojedinačnih sila $F_1 = F_2 = F_3 = F_4 = 8,0 \text{ kN}$ na čeličnu podvlaku. Grafičkim i analitičkim postupkom odredi veličinu rezultante i njen položaj s obzirom na udaljenost od lijevog ruba nalijeganja nosača (ili gdje je nosač poduprt).

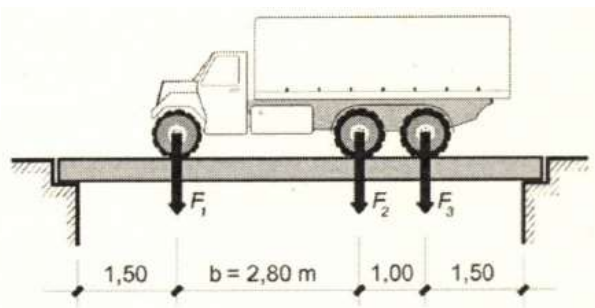


114

PRONALAŽENJE REZULTANTE OPĆEG SUSTAVA SILA – ANALITIČKI POSTUPAK

GRUPNI RAD

Zadatak 4. Teretno vozilo prenosi na nosač – most osovinsko opterećenje $F_1 = 90,0 \text{ kN}$, $F_2 = 105,0 \text{ kN}$ i $F_3 = 105,0 \text{ kN}$. Grafičkim i analitičkim postupkom odredi veličinu i položaj rezultante (R i l_R).

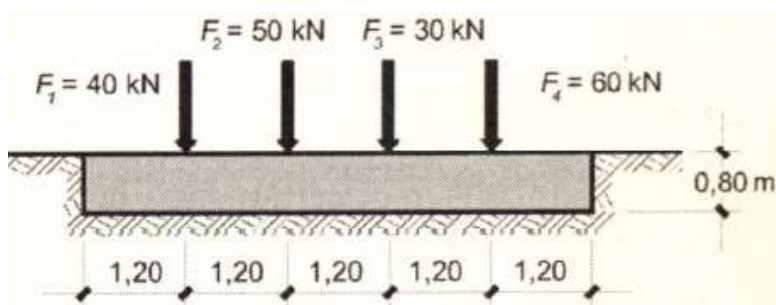


115

PRONALAŽENJE REZULTANTE OPĆEG SUSTAVA SILA – ANALITIČKI POSTUPAK

GRUPNI RAD

Zadatak 5. Trakasti temelj opterećen je s četiri stupa, odnosno s četiri pojedinačne sile različitih jakosti $F_1 = 40,0 \text{ kN}$, $F_2 = 50,0 \text{ kN}$, $F_3 = 30,0 \text{ kN}$ i $F_4 = 60,0 \text{ kN}$. Grafičkim i analitičkim postupkom odredi veličinu i položaj rezultante (R i l_R).



116

RAVNOTEŽA SILA

- Sustav sila bit će ravnoteži onda kad je učinak (rezultanta) zadanih sila jednak nuli.
- Dakle, ravnoteža nastaje tad kad je rezultanta sila jednaka nuli.
- Postoje:
 - Grafički uvjet ravnoteže
 - Računski (analitički) uvjet ravnoteže

117

RAVNOTEŽA SILA

Grafički uvjet ravnoteže

Poligon sila mora biti zatvoren lik!

118

RAVNOTEŽA SILA

Računski (analitički) uvjet ravnoteže

Zbroj horizontalnih komponenata svih sila mora biti jednak nuli:

$$\underline{\Sigma x = 0}$$

Zbroj vertikalnih komponenata svih sila mora biti jednak nuli:

$$\underline{\Sigma y = 0}$$

119

GRAFIČKI POSTUPAK RASTAVLJANJA U DVIJE SASTOJNICE

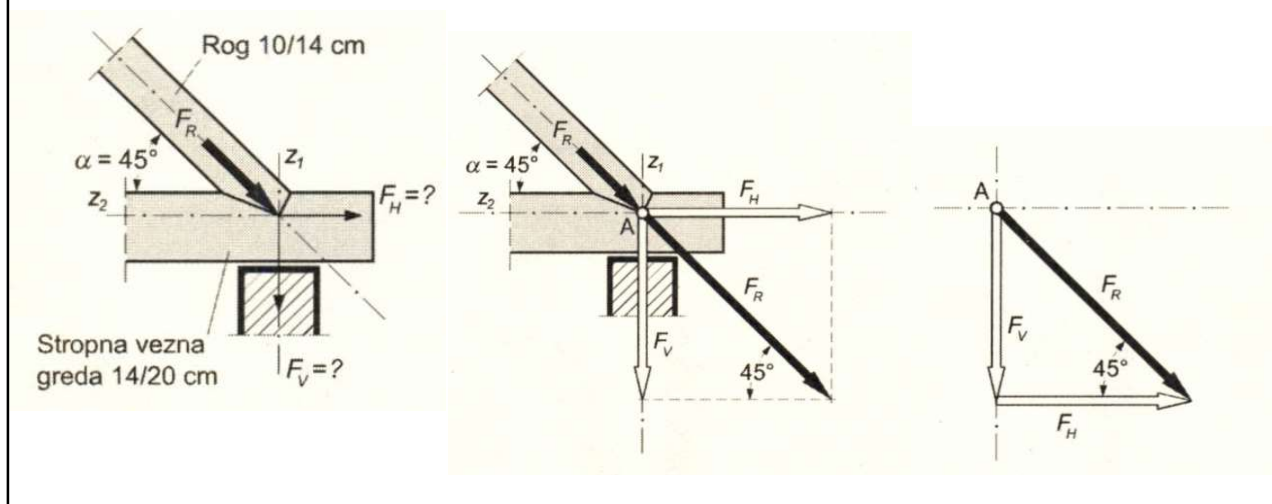
RASTAVLJANJE SILA – GRAFIČKI POSTUPAK RASTAVLJANJA SILE U DVIJE SASTOJNICE, PARALELOGRAM I TROKUT SILA

- **Rastaviti** silu znači pronaći one dvije sile koje su po svojem djelovanju jednake toj sili te je mogu zamijeniti.
- Dijagonala paralelograma će kod rastavljanja zapravo predstavljati zadanu silu koju se želi rastaviti, a stranice će biti komponente
- Sila se može rastaviti na svoje komponente i pomoćnom metodom – trokutom sila

120

GRAFIČKI POSTUPAK RASTAVLJANJA U DVIJE SASTOJNICE

PRIMJER RASTAVLJANJA SILE

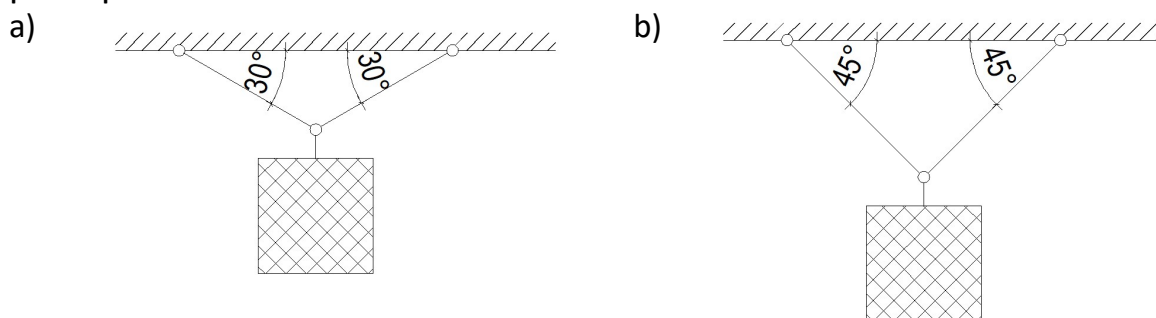


121

GRAFIČKI POSTUPAK RASTAVLJANJA U DVIJE SASTOJNICE

PRIMJER

Betonska kocka duljine brida 50 cm visi o strop tako da je za njega vezana s dva štapa kao što je prikazano na slici. Potrebno je odrediti težinu kocke (silu koja djeluje prema „dolje”) te veličinu sastojnica (komponentata) te sile koje djeluju u zrakama određenima položajem štapova grafičkim postupkom.

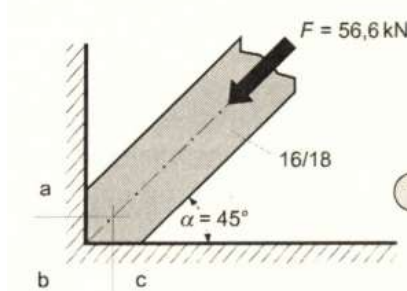


122

GRAFIČKI POSTUPAK RASTAVLJANJA U DVIJE SASTOJNICE

ZADATAK ZA GRUPNI RAD

Kosa upora priklonjena pod kutom $\alpha = 45^\circ$ pravokutnog poprečnog presjeka (16/18 cm) upire se u pod i zid, a prenosi teret $F = 56,60 \text{ kN}$. Grafičkim postupkom odredi vodoravnu i uspravnu sastojnicu (komponente) koje djeluju na dodirne plohe.



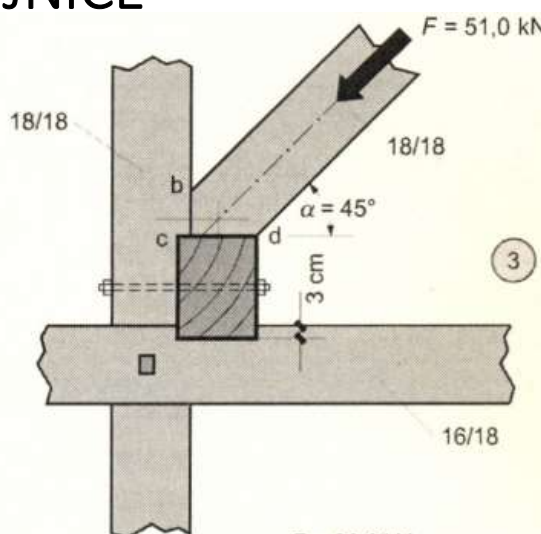
123

GRAFIČKI POSTUPAK RASTAVLJANJA U DVIJE SASTOJNICE

1. ZADATAK ZA 11. DOMAĆU ZADAĆU

Kosa upora (18/18 cm) priklonjena pod kutom $\alpha = 45^\circ$ upire se u vodoravnu i uspravnu gredu drvene konstrukcije i prenosi (teret) silu $F = 51,00 \text{ kN}$. Grafičkim postupkom odrediti sastojnice koje djeluju na dodirne plohe bc i cd (hvatište, smjer i veličinu).

Uputa: zadatak napisati i uredno nacrtati na poseban list s okvirom i malom sastavnicom te naslovom „11. DOMAĆA ZADAĆA”



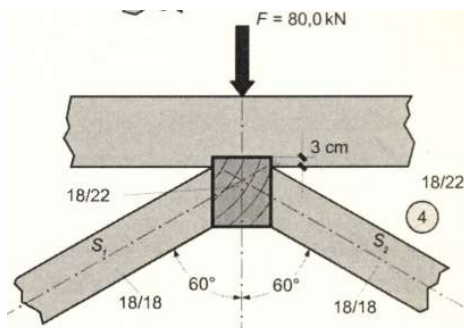
124

GRAFIČKI POSTUPAK RASTAVLJANJA U DVIJE SASTOJNICE

2. ZADATAK ZA 11. DOMAĆU ZADAĆU

Poprečno postavljena vodoravna greda (18/22 cm) jednostruke razupore prenosi (teret) silu $F = 80,00 \text{ kN}$, koja se rastavlja na upore S_1 i S_2 . Upore su priklonjene prema vertikali pod kutom $\alpha = 60^\circ$. Grafičkim postupkom odredi sastojnice koje djeluju u osima upora S_1 i S_2 (hvatište, smjer i veličinu).

Uputa: zadatak napisati i uredno nacrtati na poseban list s okvirom i malom sastavnicom te naslovom „11. DOMAĆA ZADAĆA”



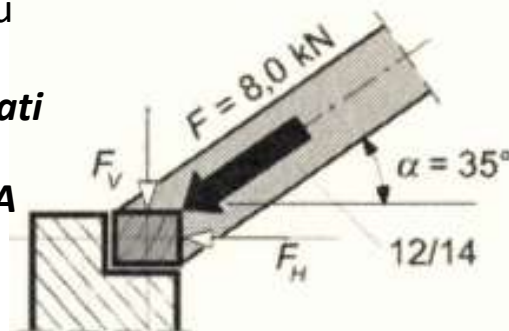
125

GRAFIČKI POSTUPAK RASTAVLJANJA U DVIJE SASTOJNICE

3. ZADATAK ZA 11. DOMAĆU ZADAĆU

Kosa upora priklonjena pod kutom $\alpha = 35^\circ$ upire se u drveni prag (nazidnu gredu) djelujući silom $F = 8,00 \text{ kN}$. Grafičkim postupkom odredi vodoravnu i uspravnu sastojnicu sile F .

Uputa: zadatak napisati i uredno nacrtati na poseban list s okvirom i malom sastavnicom te naslovom „11. DOMAĆA ZADAĆA”

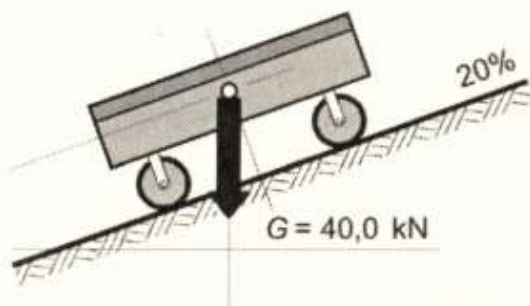


126

GRAFIČKI POSTUPAK RASTAVLJANJA U DVIJE SASTOJNICE

1. ZADATAK (ZA ODLIČNU OCJENU)

Vozilo težine 40 kN stoji na putu koji je pod nagibom od 20% . Grafičkim postupkom odrediti sastojnice težine od kojih je jedna okomita, a druga usporedna s plohom puta.

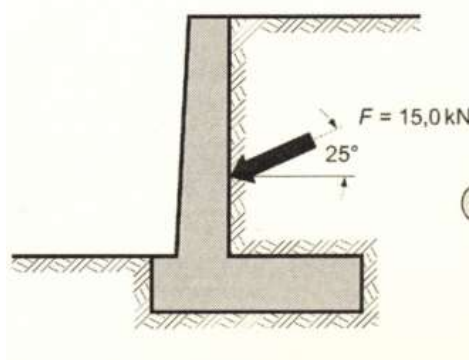


127

GRAFIČKI POSTUPAK RASTAVLJANJA U DVIJE SASTOJNICE

2. ZADATAK (ZA ODLIČNU OCJENU)

Na potporni zid djeluje sila težine zemlje $F_E = 15,00\text{ kN}$ pod kutom $\alpha = 25^\circ$. Grafičkim postupkom odrediti vodoravnu (F_H) i uspravnu (F_V) sastojnicu sile F_E .

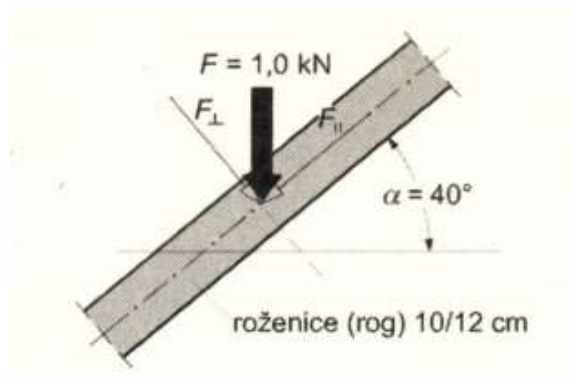


128

GRAFIČKI POSTUPAK RASTAVLJANJA U DVIJE SASSTOJNICE

3. ZADATAK (ZA ODLIČNU OCJENU)

Rog (roženica) drvenog krovišta priklonjen pod kutom $\alpha = 40^\circ$ opterećen je pojedinačnom silom $F = 1,00 \text{ kN}$. Potrebno je grafičkim postupkom odrediti veličinu sastojnice sile F okomite na uzdužnu os roga kao i veličinu sastojnice sile F usporedne s uzdužnom osi roga.



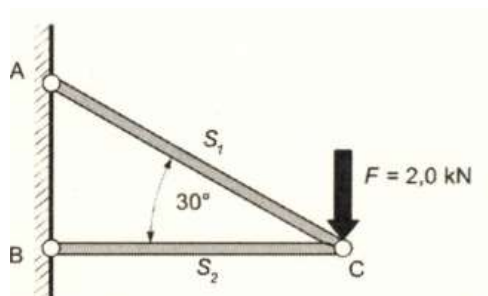
129

GRAFIČKI POSTUPAK RASTAVLJANJA U DVIJE SASSTOJNICE

4. ZADATAK (ZA ODLIČNU OCJENU)

Za prikazani sustav štapova koji nose silu $F = 2,00 \text{ kN}$ potrebno je grafičkim postupkom odrediti njene sastojnice koje djeluju u osima štapova S_1 i S_2 (hvatište, smjer i veličinu).

Zaključite što se pritom događa sa štapovima.



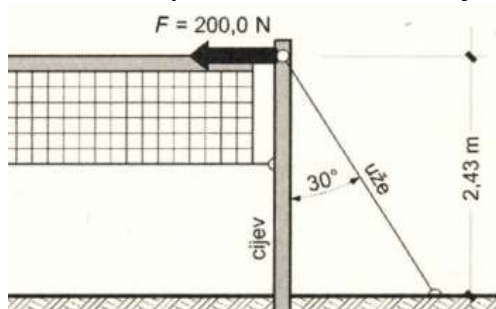
130

GRAFIČKI POSTUPAK RASTAVLJANJA U DVIJE SASTOJNICE

5. ZADATAK (ZA ODLIČNU OCJENU)

Mreža za odbojku napeta je silom $F = 200,00 \text{ N}$ preko gornje postavljene

čeličnog užeta. Potrebno je grafičkim postupkom odrediti sastojnicu sile F koju preuzima cjevasti čelični stup, odnosno sastojnicu za čije je pruzimanje zaduženo uže.

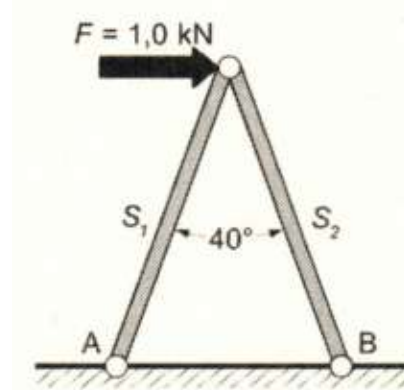


131

GRAFIČKI POSTUPAK RASTAVLJANJA U DVIJE SASTOJNICE

6. ZADATAK (ZA ODLIČNU OCJENU)

Nogari (kosnici) skele opterećeni su vodoravnom silom $F = 1,00 \text{ kN}$. Grafičkim postupkom odredi sastojnice sile F koje djeluju u osima nogara S_1 i S_2 , te pokušaj zaključiti kakvo djelovanje pritom na nogare imaju ove sastojnice.

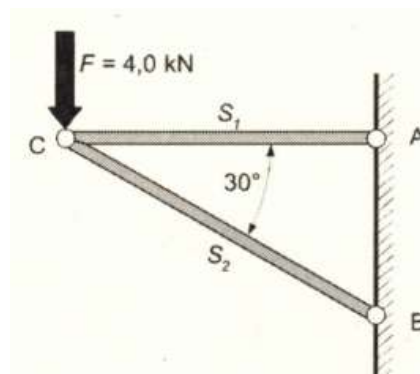


132

GRAFIČKI POSTUPAK RASTAVLJANJA U DVIJE SASTOJNICE

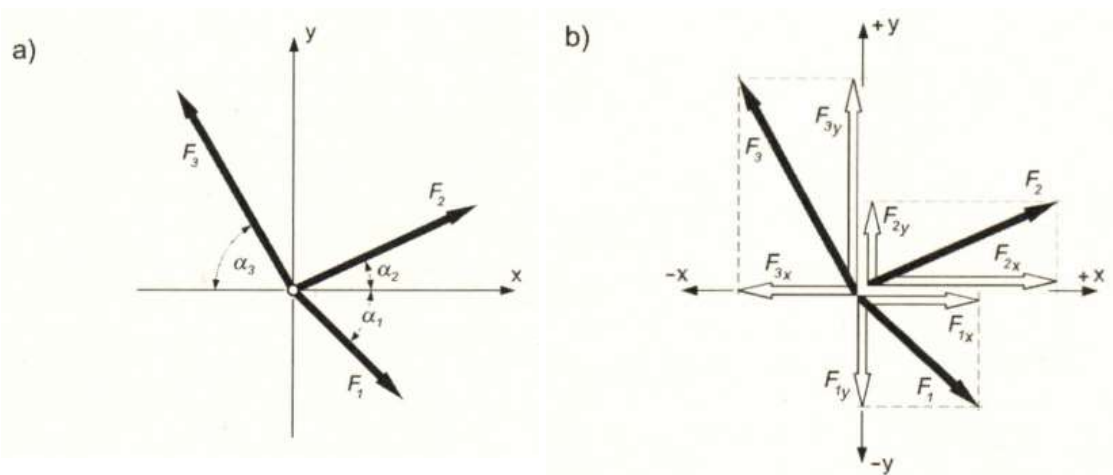
7. ZADATAK (ZA ODLIČNU OCJENU)

Rastavi silu $F = 4,00 \text{ kN}$ na sastojnice u smjeru osi štapova S_1 i S_2 , te odredi njihove veličine grafičkim postupkom. Razmisli kakvom je djelovanju pritom izložen prikazani sustav štapova (*tlak, vlak?*).



133

ANALITIČKI POSTUPAK RASTAVLJANJA SILA METODOM PROJEKCIJA SILA

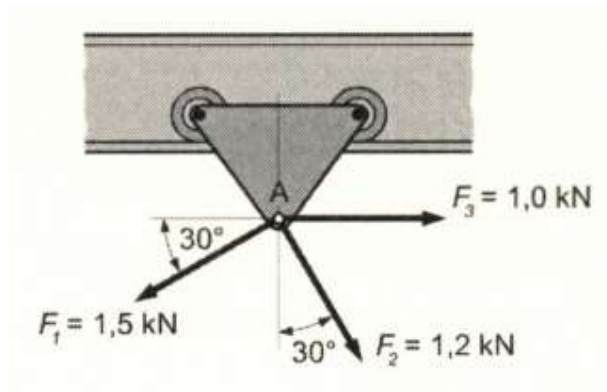


134

ANALITIČKI POSTUPAK RASTAVLJANJA SILA METODOM PROJEKCIJA SILA

PRIMJER 1

Analitičkim postupkom potrebno je odrediti rezultantu sila koje djeluju na drezinu sa slike.



135

ANALITIČKI POSTUPAK RASTAVLJANJA SILA METODOM PROJEKCIJA SILA

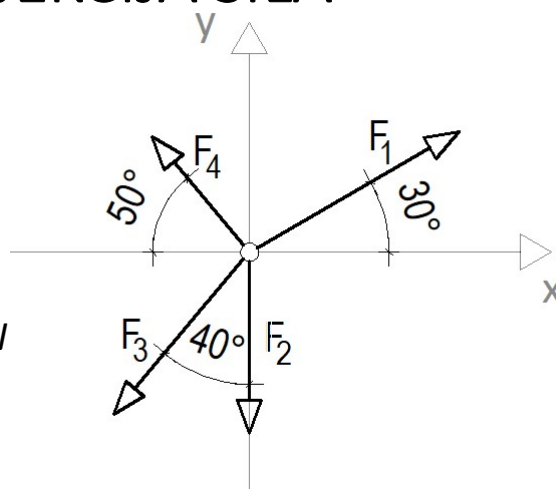
PRIMJER 2

Analitičkim postupkom potrebno je odrediti rezultantu sila koje djeluju na točku sa slike.

Izračun izradi pomoću tablice.

Zadane su sile:

$$F_1=120\text{N}, F_2=90\text{N}, F_3=105\text{N} \text{ i } F_4=75\text{N}$$



136

ANALITIČKI POSTUPAK RASTAVLJANJA SILA METODOM PROJEKCIJA SILA

ZADATAK ZA 12. DOMAĆU ZADAĆU

Analitičkim postupkom potrebno je odrediti rezultantu sila koje djeluju na točku.

Sile neka su F_1 , F_2 , F_3 i F_4 , a svaka neka je smještena u svojem kvadrantu pod kutom po vlastitoj želji.

Uputa: zadatak napisati i uredno nacrtati na poseban list s okvirom i malom sastavnicom te naslovom „12. DOMAĆA ZADAĆA”

137

ANALITIČKI POSTUPAK RASTAVLJANJA SILA METODOM PROJEKCIJA SILA

ZADATAK ZA GRUPNI RAD

Analitičkim postupkom potrebno je odrediti rezultantu sila koje djeluju na točku.

Sile neka su F_1 , F_2 , F_3 i F_4 , tako da je jedna od njih vodoravna te jedna vertikalna. Kutove ostale dvije sile odaberi po želji i smjestite ih bilo koji kvadrant.

138

ANALITIČKI POSTUPAK RASTAVLJANJA SILA METODOM PROJEKCIJA SILA

1. PROJEKTNİ ZADATAK

Odredite težinu cijele učionice.

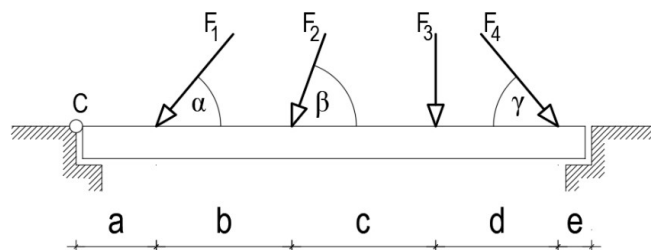
- učionicu izmjerite metrom
- odredite koje sve konstruktivne elemente sadrži
- iz tablica s materijalima odaberite sve potrebne podatke
- skicirajte konstruktivne elemente učionice
- izračunajte pojedine težine kao i ukupnu težinu

139

ANALITIČKI POSTUPAK RASTAVLJANJA SILA METODOM PROJEKCIJA SILA

2. PROJEKTNİ ZADATAK

Nosač je opterećen s četiri sile kao što je prikazano na slici. Potrebno je grafičkim postupkom pomoću poligona sila i verižnog poligona te analitičkim postupkom pomoću momentnog pravila (Varignonovog teorema) odrediti udaljenost rezultantne sile R od lijevog ruba nalijezanja nosača (od točke C). Podaci su na sljedećoj stranici.



140

ANALITIČKI POSTUPAK RASTAVLJANJA SILA METODOM PROJEKCIJA SILA

2. PROJEKTNII ZADATAK - podaci

Podatak	1	2	3	4	5	6
silu F_1 (kN)	20	22	24	26	28	30
silu F_2 (kN)	32	34	36	38	40	42
silu F_3 (kN)	24	26	28	30	32	34
silu F_4 (kN)	18	20	22	24	26	28
kut α (°)	30	25	20	35	40	45
kut β (°)	45	50	55	50	55	60
kut γ (°)	40	45	50	45	50	55
dimenzija a (m)	0,8	0,9	1,0	0,7	0,8	0,9
dimenzija b (m)	1,2	1,3	1,4	1,2	1,3	1,4
dimenzija c (m)	1,4	1,5	1,6	1,4	1,6	1,7
dimenzija d (m)	1,3	1,4	1,5	1,3	1,5	1,6
dimenzija e (m)	0,6	0,5	0,7	0,6	0,5	0,7

141

SIU:

Stabilnost građevina
1 CSVET bod

142

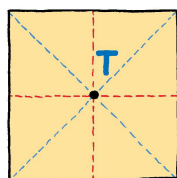
TEŽIŠTA JEDNOSTAVNIH LIKOVA

- U svakodnevnom životu težište vežemo uz pojam stabilnosti.
- U rješavanju problematike iz graditeljske prakse sve mjere nosivosti i stabilnosti proizlaze upravo iz **položaja težišta**.
- U rješavanju nekih praktičnih zadataka iz statike potrebno je poznavati položaj težišne točke, odnosno **TEŽIŠTE** tijela.
- Položaj težišta važan je za ispitivanje stabilnosti nosača i za određivanje naprezanja opterećenih sklopova.
- **TEŽIŠTE** je zamišljena točka u kojoj je teorijski **usredotočena** sva masa tijela, odnosno točka iz koje djeluje rezultanta svih obujamskih sila težine.
- Težište se može odrediti:
 - **grafički** pomoću plana sila i verižnog poligona, te
 - **računski** pomoću poučka o momentu površina.

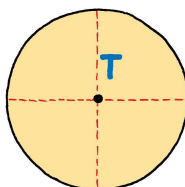
143

TEŽIŠTA JEDNOSTAVNIH LIKOVA

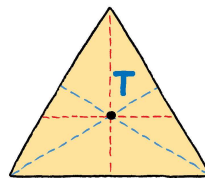
- Kod pravilnih i simetričnih likova (ploha) težište se nalazi u presjecištu dijagonala, težišnica ili dviju osi simetrije



Kvadrat



Krug

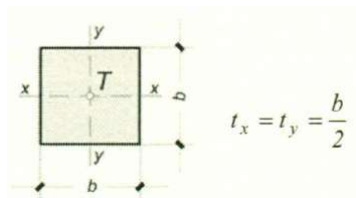


Trokut

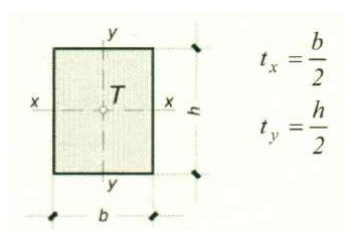
144

TEŽIŠTA JEDNOSTAVNIH LIKOVA

- KVADRAT:



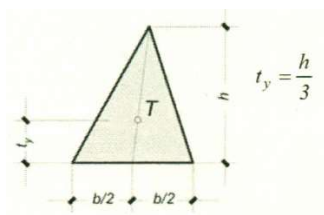
- PRAVOKUTNIK:



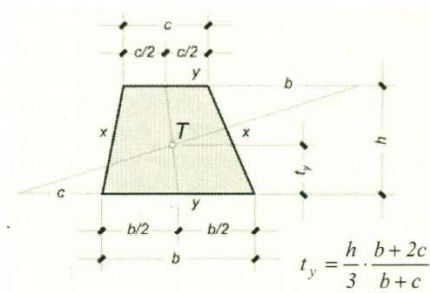
145

TEŽIŠTA JEDNOSTAVNIH LIKOVA

- TROKUT:



- TRAPEZ:



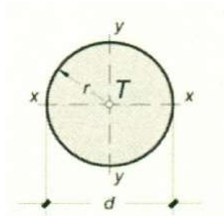
Postupak crtanja težišta trapeza:

- lijevo do donje osnovice nacrtati (crtkano) stranicu „c“;
- desno do gornje osnovice nacrtati (crtkano) stranicu „b“;
- spojiti (crtkano) krajnju donju lijevu s krajnjom gornjom desnom točkom;
- odrediti polovicu donje i gornje osnovice te ih spojiti (dobivena je težišnica);
- na sjecištu prethodno nacrtane linije i težišnice nalazi se težište „T“

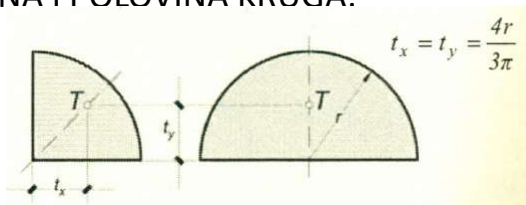
146

TEŽIŠTA JEDNOSTAVNIH LIKOVA

- KRUG:

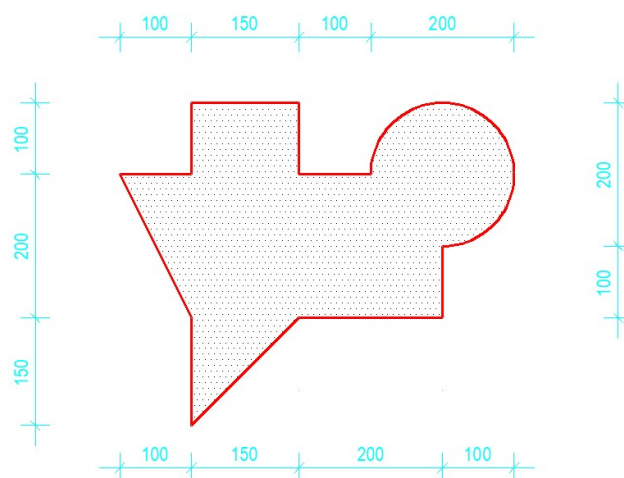


- ČETVRTINA I POLOVINA KRUGA:



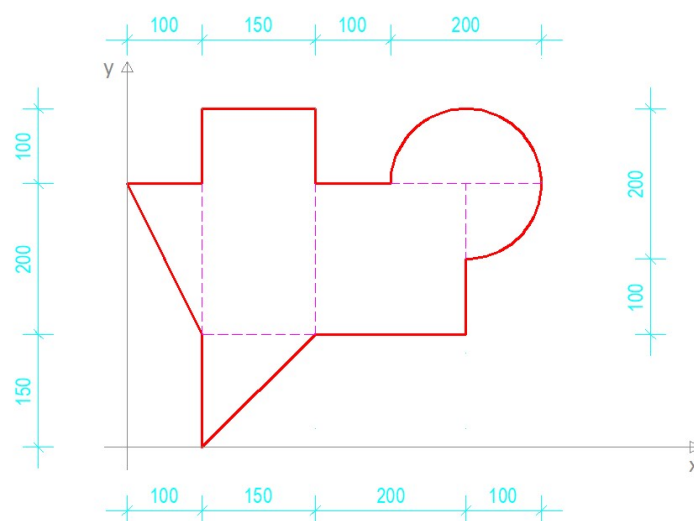
147

TEŽIŠTA SLOŽENIH LIKOVA – ANALITIČKI POSTUPAK



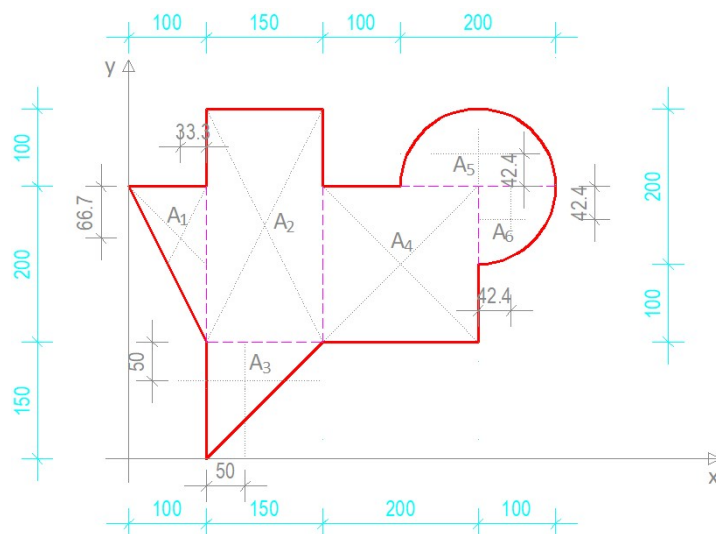
148

TEŽIŠTA SLOŽENIH LIKOVA – ANALITIČKI POSTUPAK



149

TEŽIŠTA SLOŽENIH LIKOVA – ANALITIČKI POSTUPAK



150

TEŽIŠTA SLOŽENIH LIKOVA – ANALITIČKI POSTUPAK

$$A_1 = \frac{100 \cdot 200}{2} = 10000 \text{ cm}^2$$

$$A_2 = 150 \cdot 300 = 45000 \text{ cm}^2$$

$$A_3 = \frac{150 \cdot 150}{2} = 11250 \text{ cm}^2$$

$$A_4 = 200 \cdot 200 = 40000 \text{ cm}^2$$

$$A_5 = \frac{100^2 \pi}{2} = 15708 \text{ cm}^2$$

$$A_6 = \frac{100^2 \pi}{4} = 7854 \text{ cm}^2$$

$$A_{uk} = 129812 \text{ cm}^2$$

151

TEŽIŠTA SLOŽENIH LIKOVA – ANALITIČKI POSTUPAK

$$A_{uk} \cdot x_t = A_1 \cdot x_1 + A_2 \cdot x_2 + A_3 \cdot x_3 + A_4 \cdot x_4 + A_5 \cdot x_5 + A_6 \cdot x_6$$

$$x_t = \frac{A_1 \cdot x_1 + A_2 \cdot x_2 + A_3 \cdot x_3 + A_4 \cdot x_4 + A_5 \cdot x_5 + A_6 \cdot x_6}{A_{uk}}$$

$$x_t = \frac{10000 \cdot 66,6 + 45000 \cdot 175 + 11250 \cdot 150 + 40000 \cdot 350 + 15708 \cdot 450 + 7854 \cdot 492,4}{129812}$$

$$x_t = 270,9 \text{ cm}$$

$$A_{uk} \cdot y_t = A_1 \cdot y_1 + A_2 \cdot y_2 + A_3 \cdot y_3 + A_4 \cdot y_4 + A_5 \cdot y_5 + A_6 \cdot y_6$$

$$y_t = \frac{A_1 \cdot y_1 + A_2 \cdot y_2 + A_3 \cdot y_3 + A_4 \cdot y_4 + A_5 \cdot y_5 + A_6 \cdot y_6}{A_{uk}}$$

$$y_t = \frac{10000 \cdot 283,3 + 45000 \cdot 300 + 11250 \cdot 100 + 40000 \cdot 250 + 15708 \cdot 392,4 + 7854 \cdot 307,6}{129812}$$

$$y_t = 277,6 \text{ cm}$$

152

TEŽIŠTA SLOŽENIH LIKOVA – ANALITIČKI POSTUPAK

RJEŠAVANJE ZADATAKA

Analitičkim postupkom odredi težište složenog lika nacrtanog na ploči.

153

TEŽIŠTA SLOŽENIH LIKOVA – GRAFIČKI POSTUPAK

RJEŠAVANJE ZADATKA

Grafičkim postupkom odredi težište složenog lika nacrtanog na ploči.

154

STABILNOST NA PREVRTANJE

155

STABILNOST NA KLIZANJE

156

STABILNOST NA SLIJEGANJE

157

DOMAĆE ZADAĆE

REDNI BROJ DOMAĆE ZADAĆE	BILJEŠKA NASTAVNIKA
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	

PRILOZI
