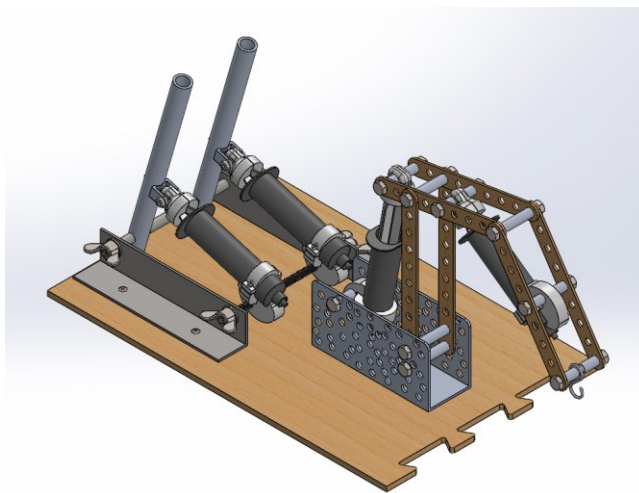


ZVEZA ZA TEHNIČNO KULTURO SLOVENIJE
UNIVERZA V LJUBLJANI, FAKULTETA ZA STROJNIŠTVO

ZBIRKA PRIPRAVLJALNIH NALOG

Krautovo tekmovanje iz strojništva

za osnovne šole - šolsko leto 2026/2027



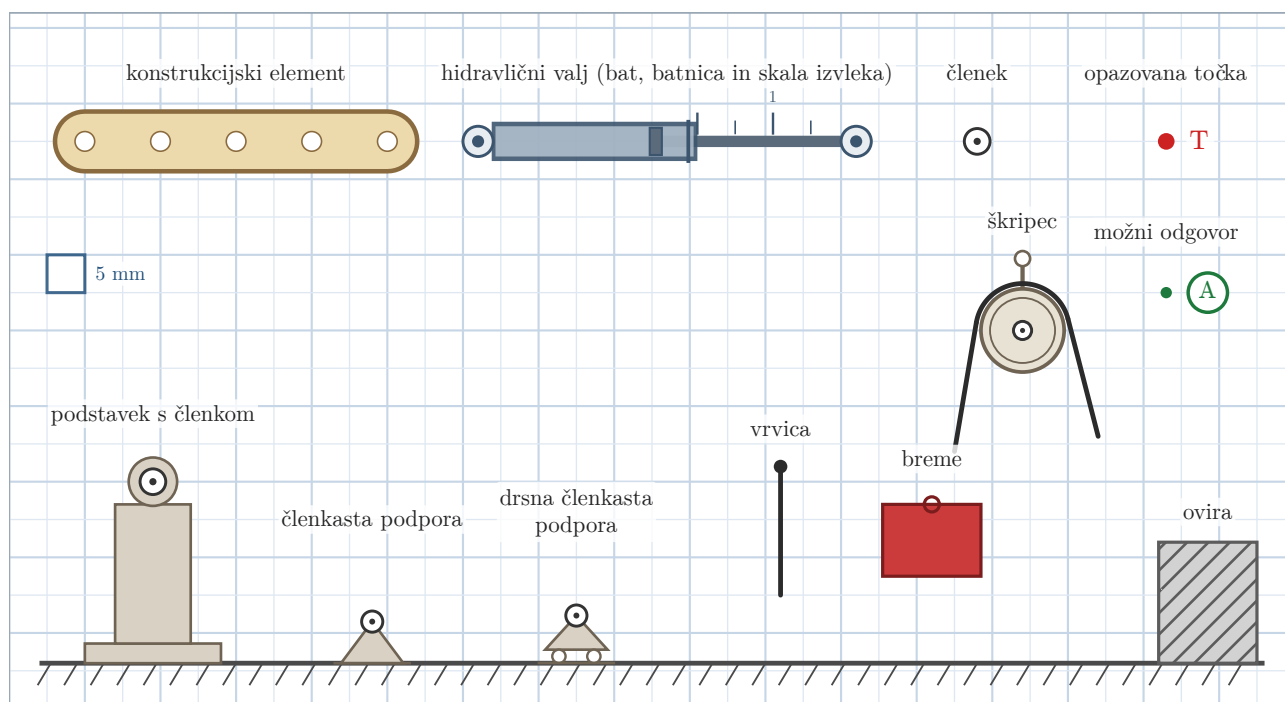
Vsebina dokumenta:

1. Zbirka rešenih in pripravljalnih nalog iz področja mehanike: gibanje pri dviznem hidravličnem mehanizmu
2. Zbirka rešenih in pripravljalnih nalog iz področja statike: vzvod in ravnotežje sil pri hidravličnem dviznem mehanizmu
 - a. Povezava do spletne aplikacije za utrjevanje znanj iz področja statike:
<https://radiant-kringle-a3030a.netlify.app/>

Ljubljana, avgust 2026

Zbirka pripravljalnih nalog iz mehanike

za učenke in učence od 7. do 9. razreda in njihove mentorje



1. del: pripravljalne naloge s postopki reševanja • 2. del: naloge za samostojno reševanje

Kazalo

Preden začneš	3
1 Pripravljalne naloge	5
Naloga K1: Kako deluje hidravlični valj?	5
Naloga K2: Kroženje okoli členka	7
Naloga K3: Zapornica	9
Naloga K4: Izteg valja	11
Naloga K5: Breme na vrvi	14
Naloga K6: Dva valja zaporedno	17
Naloga K7: Dvižna ploščad na vozičku	20
Naloga K8: Kakšno pot opiše konica?	22
Naloga K9: Delovno območje	25
Naloga K10: Bager s teleskopom čez oviro	27
2 Naloge za samostojno reševanje	30
Naloga K11: Poševni valj	30
Naloga K12: Doseg konice	31
Naloga K13: Dvižni most	32
Naloga K14: Izteg valja v levo	33
Naloga K15: Skrček valja z bremenom	34
Naloga K16: Dva valja: spust in skrček	35
Naloga K17: Voziček v levo	36
Naloga K18: Pot konice	37
Naloga K19: Kje je lahko členek?	38
Naloga K20: Čez oviro	39
3 Rešitve 2. dela	40

Preden začneš

Kaj potrebuješ

- oster svinčnik in radirko,
- **geotrikotnik** (za merjenje dolžin, risanje premic ter merjenje in prenašanje kotov); vse razdalje v zbirki so krajše od 14 cm, zato daljšega ravnila ne potrebuješ in ti geotrikotnik služi tudi kot ravnilo,
- **šestilo** (za prenašanje dolžin in risanje krožnic).

Kako beremo slike

Vse slike v zbirki so natisnjene v **merilu 1 : 1** in imajo v ozadju mrežo: en kvadratak meri **5 mm × 5 mm**. Dolžine zato lahko meriš kar na sliki, z geotrikotnikom ali s štetjem kvadratkov (2 kvadrata = 1 cm). Risanje po zbirki je zaželeno, saj se tako rešujejo tudi naloge na tekmovanju! Hidravlični valji imajo ob batnici narisano **skalo**: črtica na vsakih 5 mm in številka na vsak centimeter izvleka, da izteg ali skrček enostavno odčitaš.

Elementi na slikah

Mehanizmi na slikah so sestavljeni iz elementov; večino jih prikazuje slika na naslovnici:

- **konstrukcijski element** je toga palica z luknjami; oblike ne spreminja, lahko pa se vrti okoli členkov,
- **členek** je vrtilišče, okoli katerega se element lahko zavrti,
- **hidravlični valj** spreminja dolžino: bat z batnico se v ohišju pomika ven (izteg) ali noter (skrček),
- **podstavek s členkom, členkasta podpora in drsna členkasta podpora** povezujejo mehanizem s podlago (drsna členkasta podpora dopušča pomik vzdolž podlage),
- **vrvica** prenaša vlečno silo; njena dolžina se ne spreminja,
- **breme** visi na vrvi vedno *navpično* pod pritrdiščem,
- **škripec** spremeni smer vrvice (sila v vrvi ostane enaka),
- **ovira** je področje, ki se mu morajo deli mehanizma in breme izogniti,
- **voziček** nosi mehanizem in se premika po podlagi, **teleskopski nosilec** pa se izteguje kot valj, le da nosi breme,
- **zabojniki** in $\oplus$ **cilji** označujeta mesto, kamor je treba pripeljati breme ali konico.

Osnovna načina gibanja

- Pri **premiku** ali translaciji se vse točke telesa premaknejo za enako razdaljo v isti smeri, telo se pri tem ne zavrti.
- Pri **zasuku** ali rotaciji miruje vrtilišče, druge točke pa se gibljejo po krožnicah okoli njega. Zasuk lahko povzroči motor ali hidravlični valj.

Zlati pravili kinematike v ravnini

1. Točka togega elementa, ki se vrti okoli členka O , se *vedno* giblje po **krožnici** s središčem v O . Njena oddaljenost od O se ne spremeni!

2. Hidravlični valj spremeni samo **razdaljo** med svojima očesoma. Kam se mehanizem pri tem zavrti, ugotovimo s **šestilom**: z lokom okoli vrtilišča in lokom okoli podpore valja.

V zbirki ni računanja s koti in kotnimi funkcijami, vse naloge se rešijo **grafično**: z geotrikotnikom in šestilom. Pri vsakem vprašanju **obkroži črko** pravilnega odgovora; kjer je zapisano (*možnih je več* *pravih odgovorov*), jih je lahko več. Možne lege točk so na slikah označene z zelenimi značkami **(A)**, **(B)**, ...

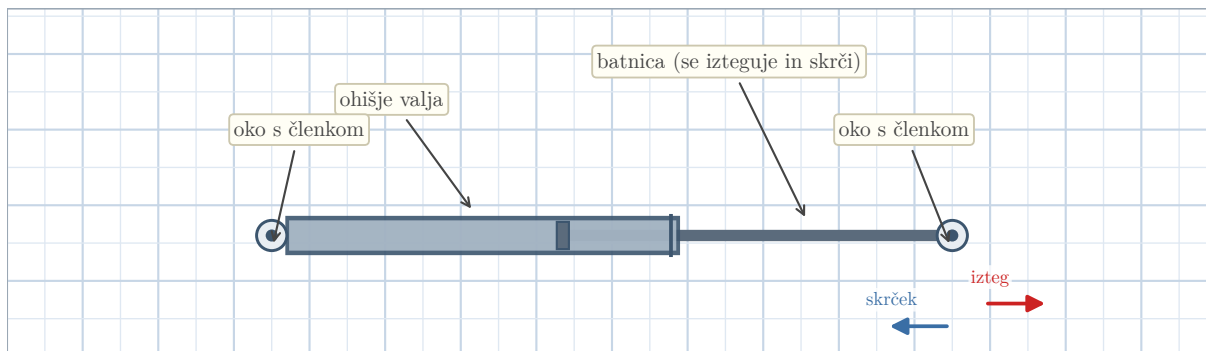
1 Pripravljalne naloge

Naloge v tem delu imajo za vprašanji podrobno razložen postopek reševanja s slikami. Najprej poskusi sam, šele nato poglej rešitev!

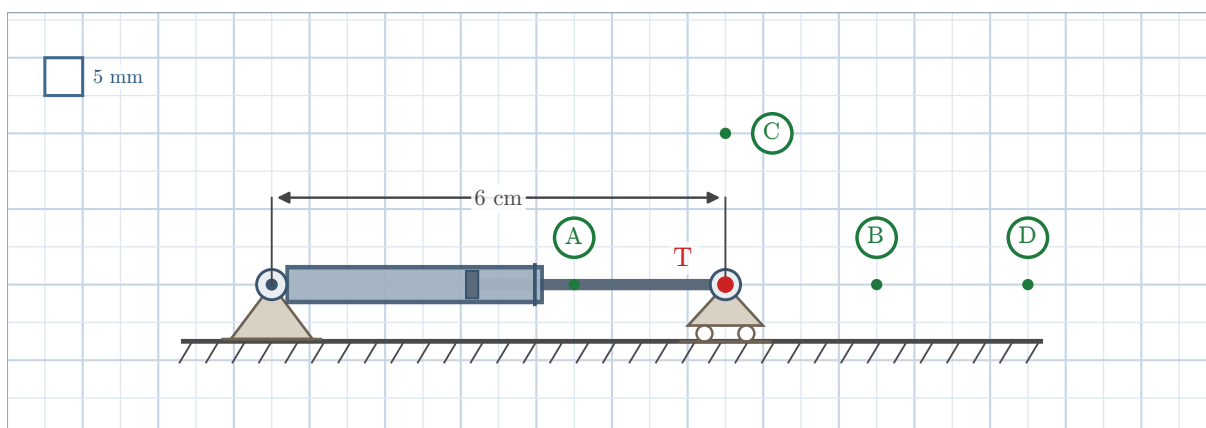
Naloga K1: Kako deluje hidravlični valj?



Hidravlični valj je sestavljen iz *ohišja* in *batnice*, na obeh koncih pa ima očesi s členkoma. Ko v valj potisnemo tekočino, se batnica **iztegne**, ko jo izpustimo, se batnica **skrči**. Valj torej spreminja *razdaljo* med očesoma.



Levo oko valja je pritrjeno na členkasto podporo, desno oko T pa podpira drsna členkasta podpora, zato se lahko pomika le vodoravno.



Vprašanje 1. Batnica se iztegne za 2 cm, os valja pa ostane vodoravna. V katero označeno lego se premakne točka T?

- A) v lego A
- B) v lego B
- C) v lego C
- D) v lego D

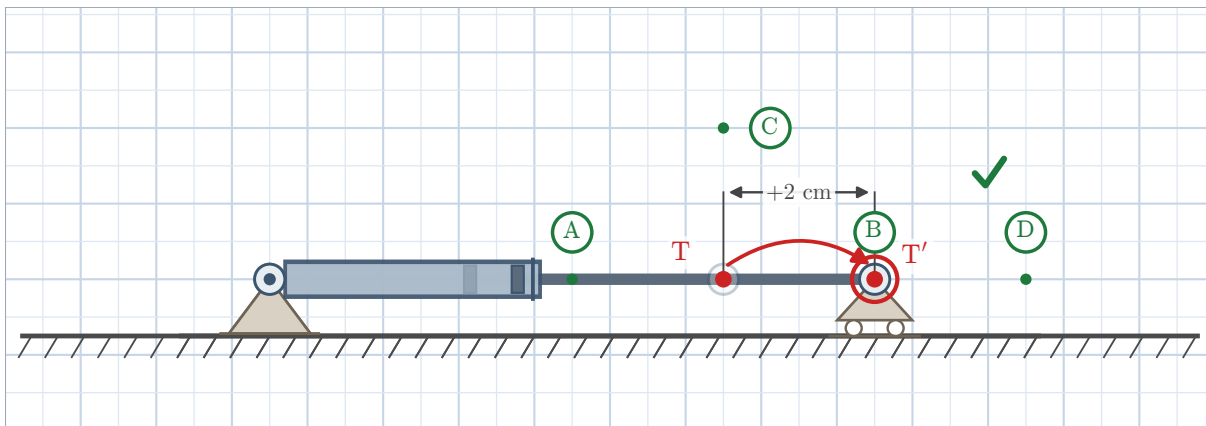
Vprašanje 2. Za koliko kvadratkov mreže se pri tem poveča razdalja med očesoma valja?

- A) za 2 kvadratka
- B) za 4 kvadratke
- C) za 8 kvadratkov
- D) razdalja se ne spremeni

POSTOPEK REŠEVANJA

Korak 1. Podpora drži levo oko na mestu, os valja pa ostane vodoravna. Zato se točka T lahko premakne samo *vzdolž osi valja*, v desno pri iztegu ali v levo pri skrčku.

Korak 2. Izteg pomeni, da se razdalja med očesoma *poveča* za 2 cm. Ker je en kvadrateg mreže 5 mm, sta 2 cm natanko **4 kvadratki**. Od točke T odmerimo 4 kvadratke v desno in pridemo v lego **B**.

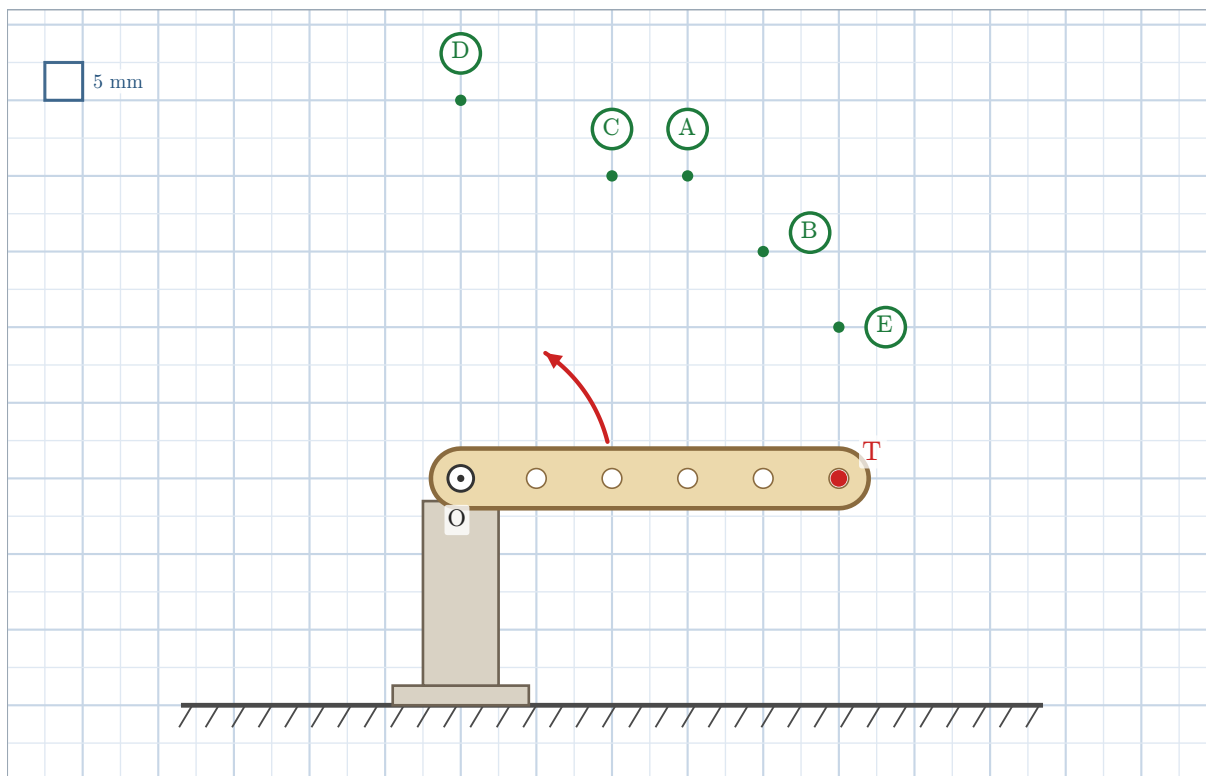


Odgovor: Vprašanje 1: **B**, točka se premakne za 2 cm v desno. Vprašanje 2: **B**, 2 cm = 4 kvadratki po 5 mm.

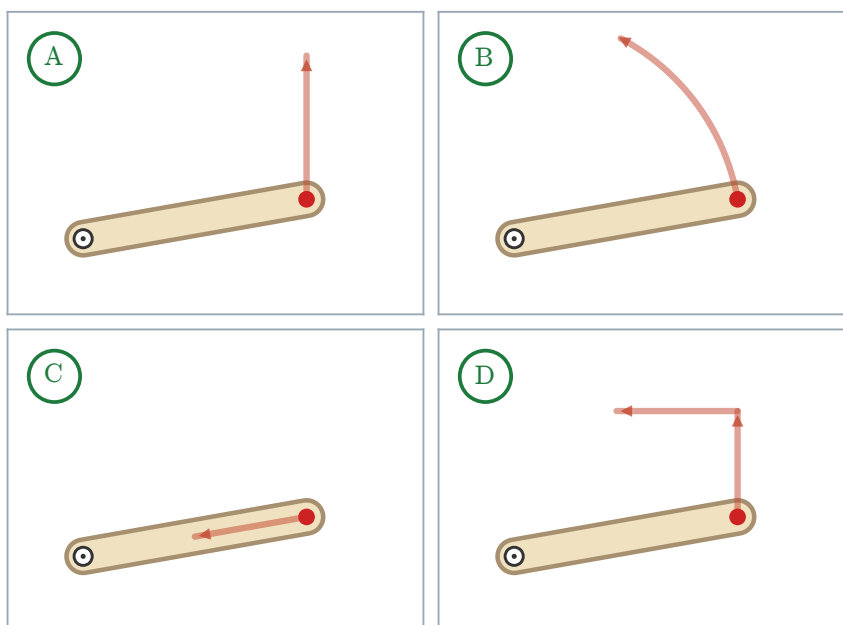
Naloga K2: Kroženje okoli členka



Členek O je nepomično vrtilišče. Pogon, na primer motor, vrti togi nosilec okoli O. Konica nosilca je označena s točko T in je od vrtilišča oddaljena 5 cm.



Vprašanje 1. Nosilec vrtimo okoli členka O. Katera slika pravilno prikazuje pot, ki jo pri tem opiše konica T?



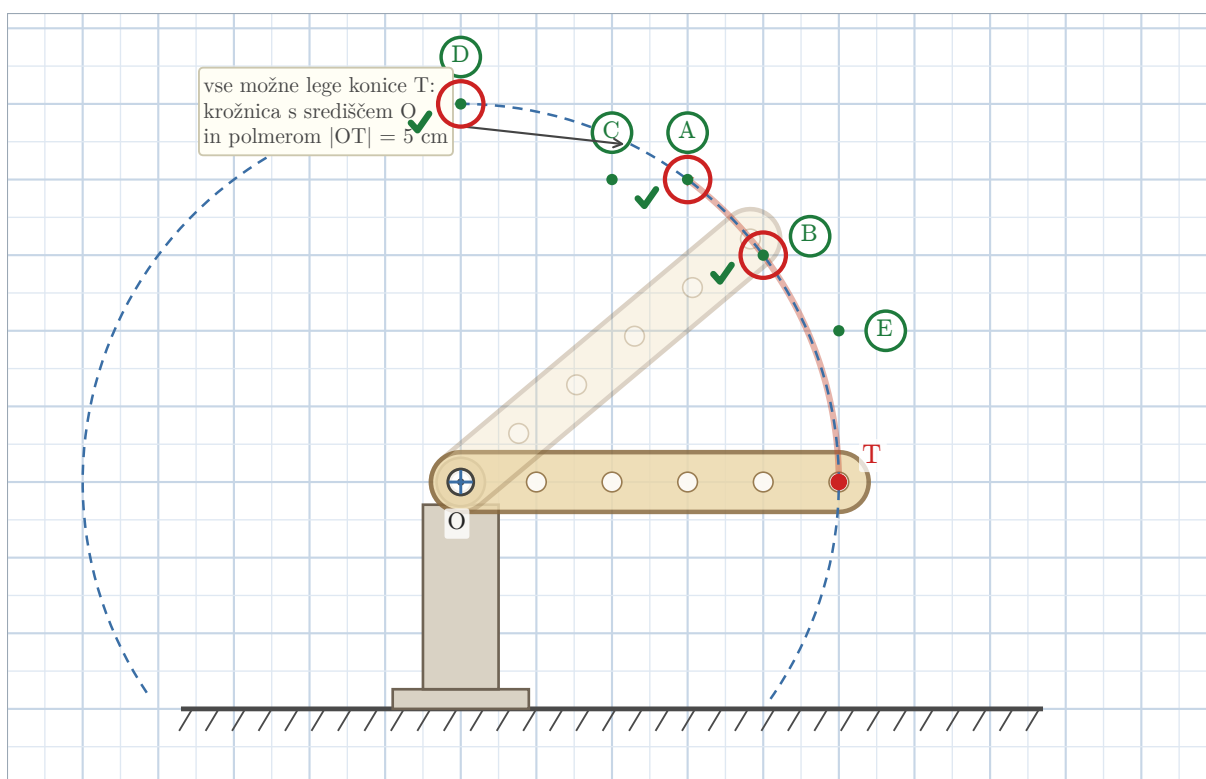
Vprašanje 2. Katere od označenih točk na zgornji sliki lahko konica T sploh doseže? (Možnih je več pravih odgovorov.)

- A) točka A
- B) točka B
- C) točka C
- D) točka D
- E) točka E

POSTOPEK REŠEVANJA

Korak 1. Nosilec je tog, razdalja med členkom O in konico T se med vrtenjem *ne more* spremeniti. Konica zato vedno ostane natanko 5 cm od točke O: giblje se po **krožnici** s središčem v O in polmerom 5 cm. Pravilna je slika **B**.

Korak 2. V šestilo zajamemo razdaljo $|OT| = 5$ cm (vbodemo v O, svinčnik postavimo v T) in narišemo krožnico. Dosežene so natanko tiste označene točke, skozi katere gre krožnica.



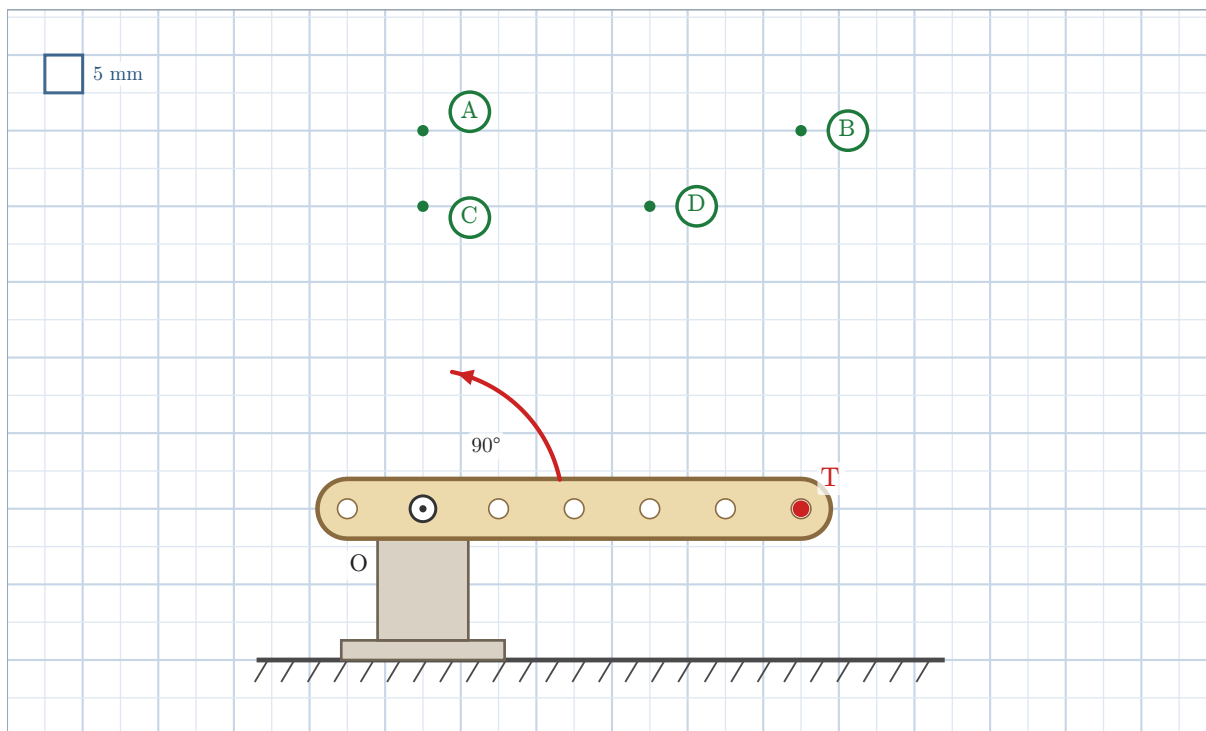
Korak 3. Preverimo lahko tudi z merjenjem ali s štetjem kvadratkov: točke A, B in D so od O oddaljene natanko 5 cm, točki C in E pa ne, C je preblizu, E pa predaleč.

Odgovor: Vprašanje 1: **B**, pot je krožni lok okoli O. Vprašanje 2: **A, B in D**, le te ležijo na krožnici s polmerom 5 cm.

Naloga K3: Zapornica



Zapornica na parkirišču se vrtili okoli členka O. V vodoravni legi je njena konica T od členka oddaljena 5 cm (na sliki). Zapornico nato dvignemo: zavrtno jo za 90° (četrt obrata) v smeri puščice.



Vprašanje 1. V katero označeno lego pride konica T po dvigu?

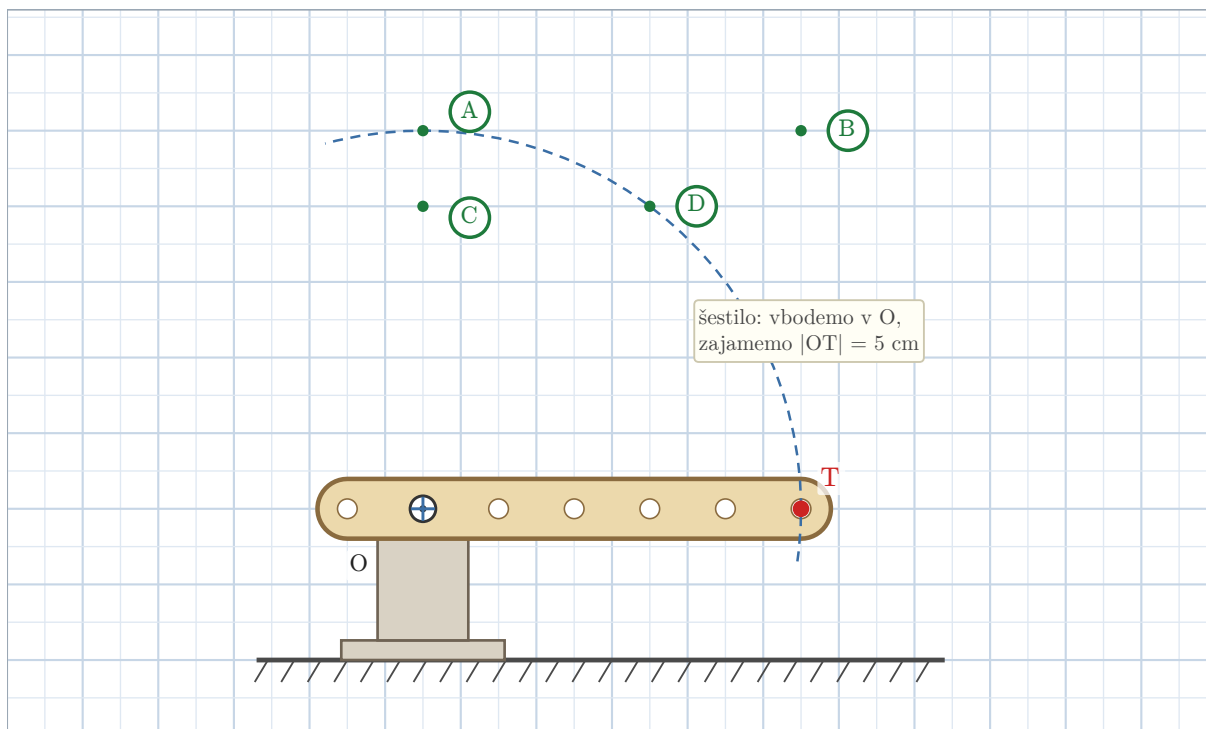
- A) v lego A
- B) v lego B
- C) v lego C
- D) v lego D

Vprašanje 2. Za koliko centimetrov se konica T pri tem dvigne?

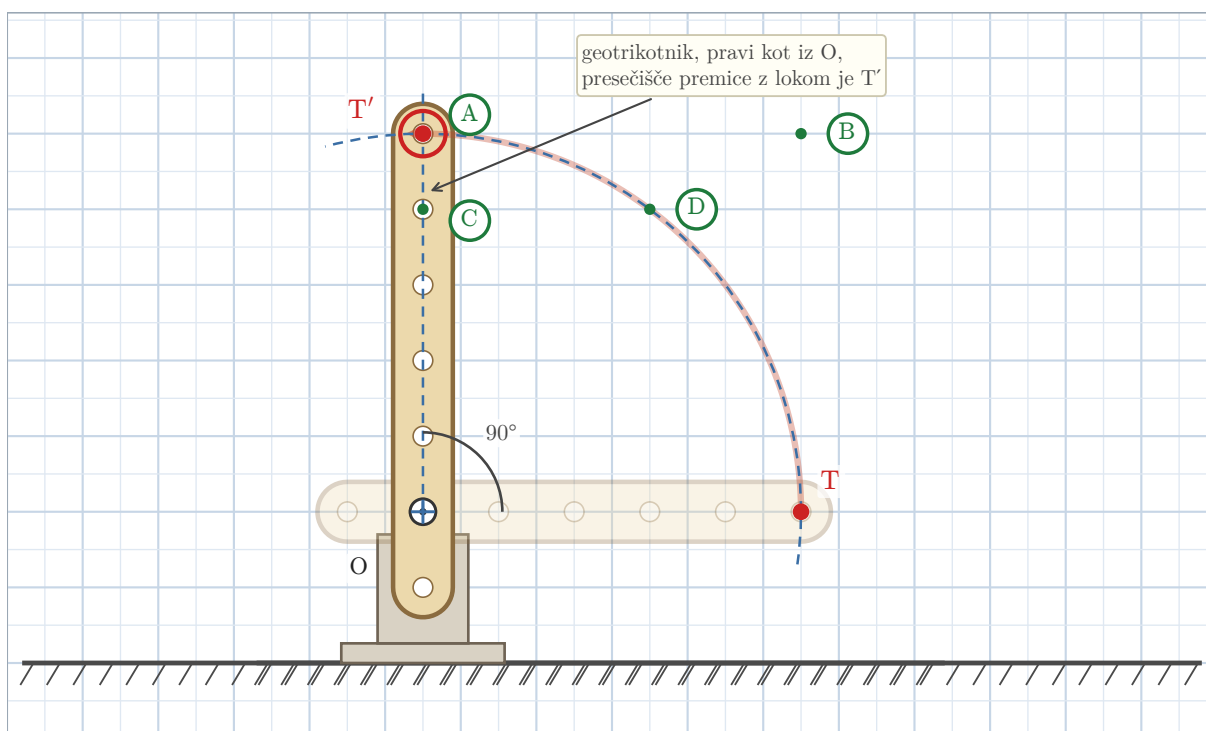
- A) za 3 cm
- B) za 5 cm
- C) za 7 cm
- D) za 2 cm

POSTOPEK REŠEVANJA

Korak 1. Konica T se giblje po krožnici okoli O. V šestilo zajamemo $|OT| = 5$ cm in narišemo lok skozi T.



Korak 2. Zasuk za 90° od vodoravne lege pomeni, da bo nosilec po dvigu *navpičen*. Z geotrikotnikom narišemo skozi O premico, ki je pravokotna na začetno lego nosilca. Nova lega konice T' je presečišče te premice z lokom, to je točka **A**.



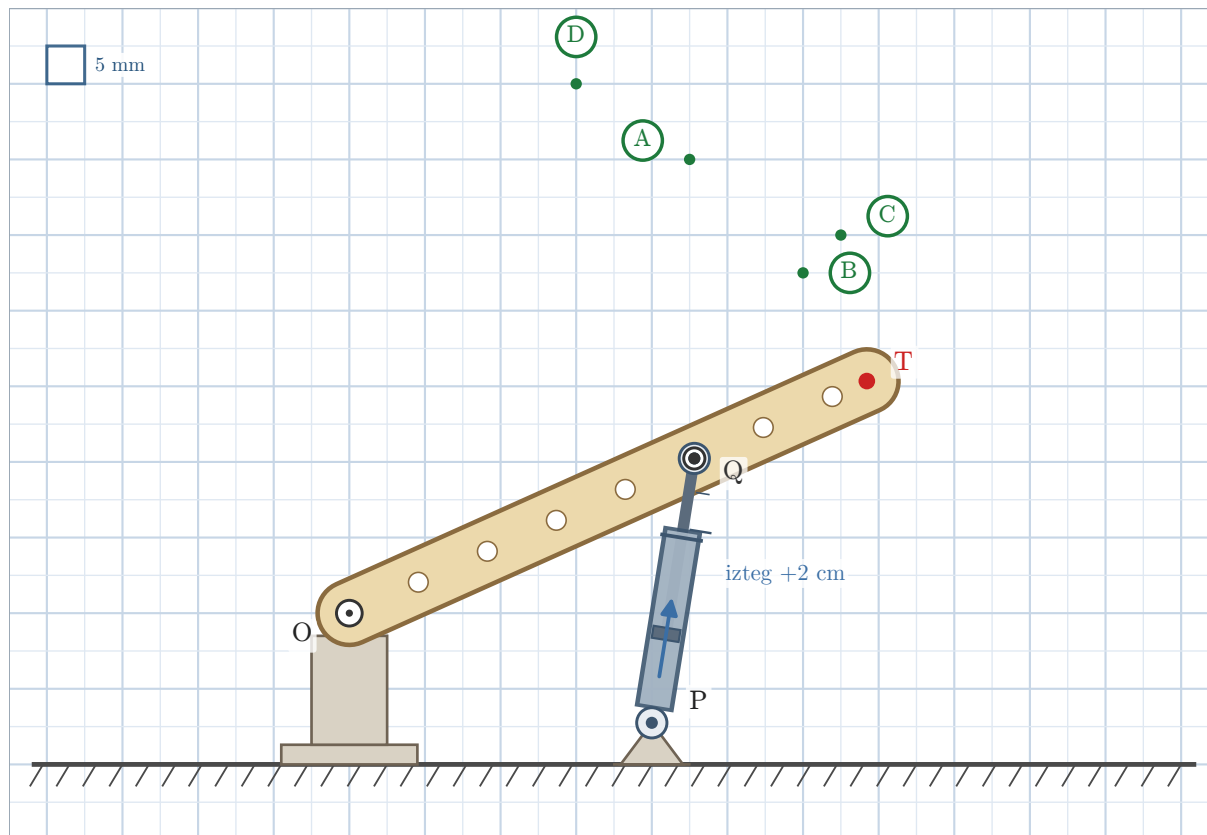
Korak 3. Višina: konica se je z višine členka dvignila na vrh loka. S štetjem kvadratkov (ali z ravnilom) od T do T' po navpičnici: T je bila 2 cm nad tlemi, T' je 7 cm nad tlemi, razlika je **5 cm** (toliko, kolikor meri polmer $|OT|$, saj je bila roka vodoravna, zdaj pa je navpična).

Odgovor: Vprašanje 1: **A**. Vprašanje 2: **B**, konica se dvigne za 5 cm.

Naloga K4: Izteg valja



Nosilec je s členkom O pritrjen na podstavek. Poganja ga hidravlični valj, ki je spodaj vpet v nepomično podporo P, zgoraj pa je v točki Q pritrjen na nosilec. Konica nosilca je označena s točko T. Oznake O, P, Q in T so različne od oznak odgovorov A, B, C in D.

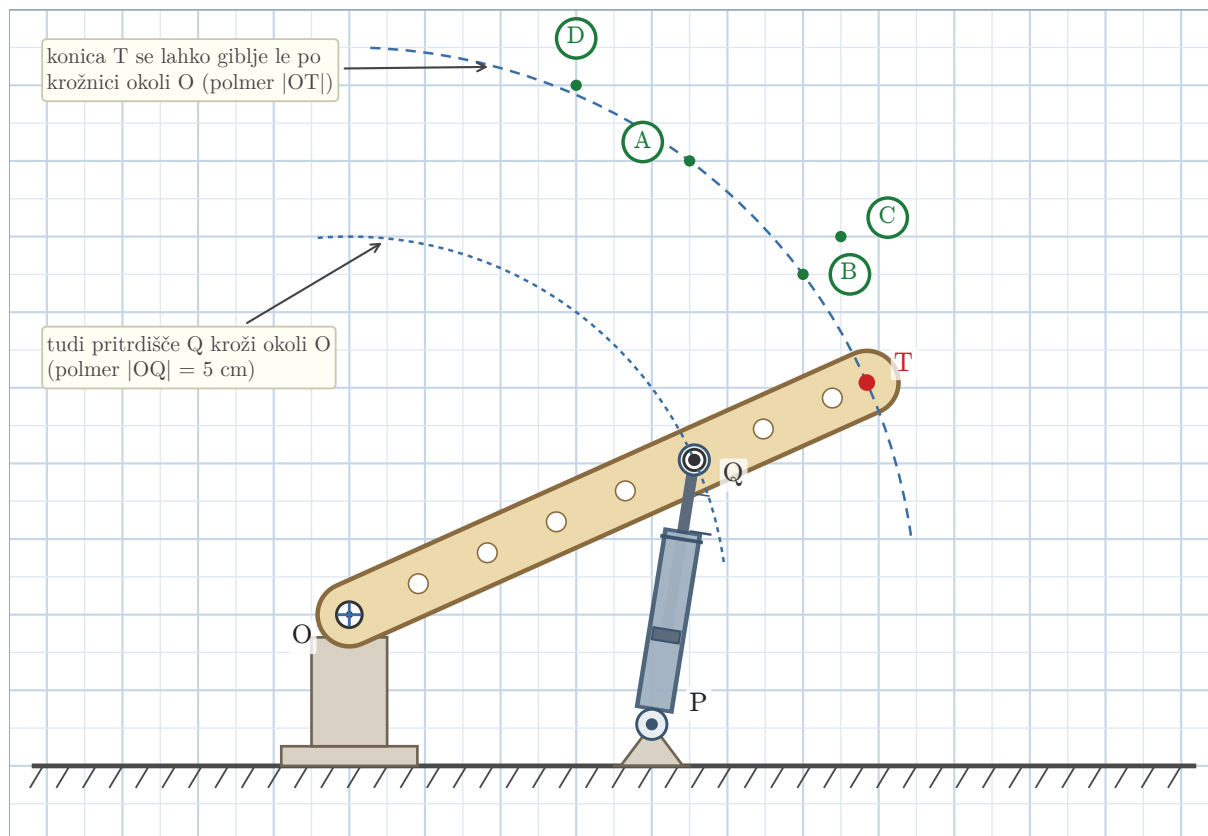


Vprašanje 1. Batnica valja se iztegne za 2 cm. V katero označeno lego se premakne konica T?

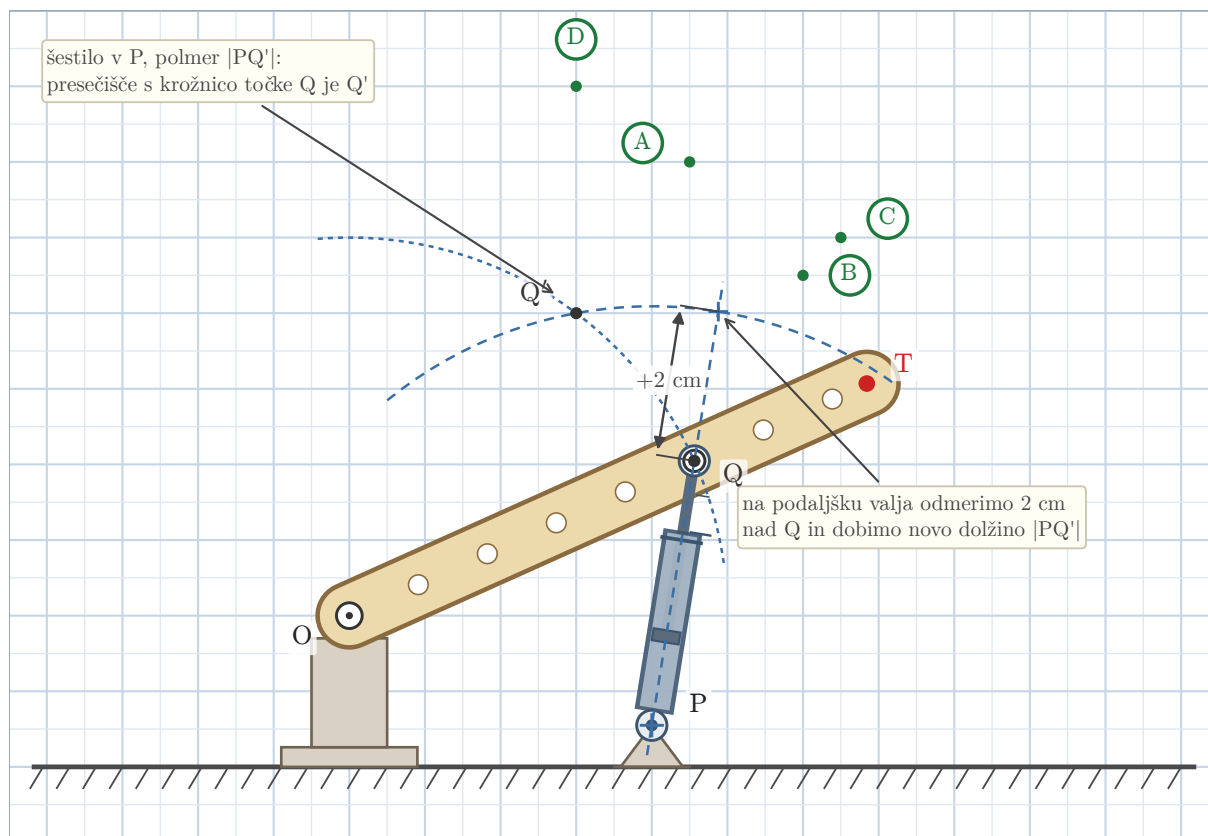
- A) v lego A
- B) v lego B
- C) v lego C
- D) v lego D

POSTOPEK REŠEVANJA

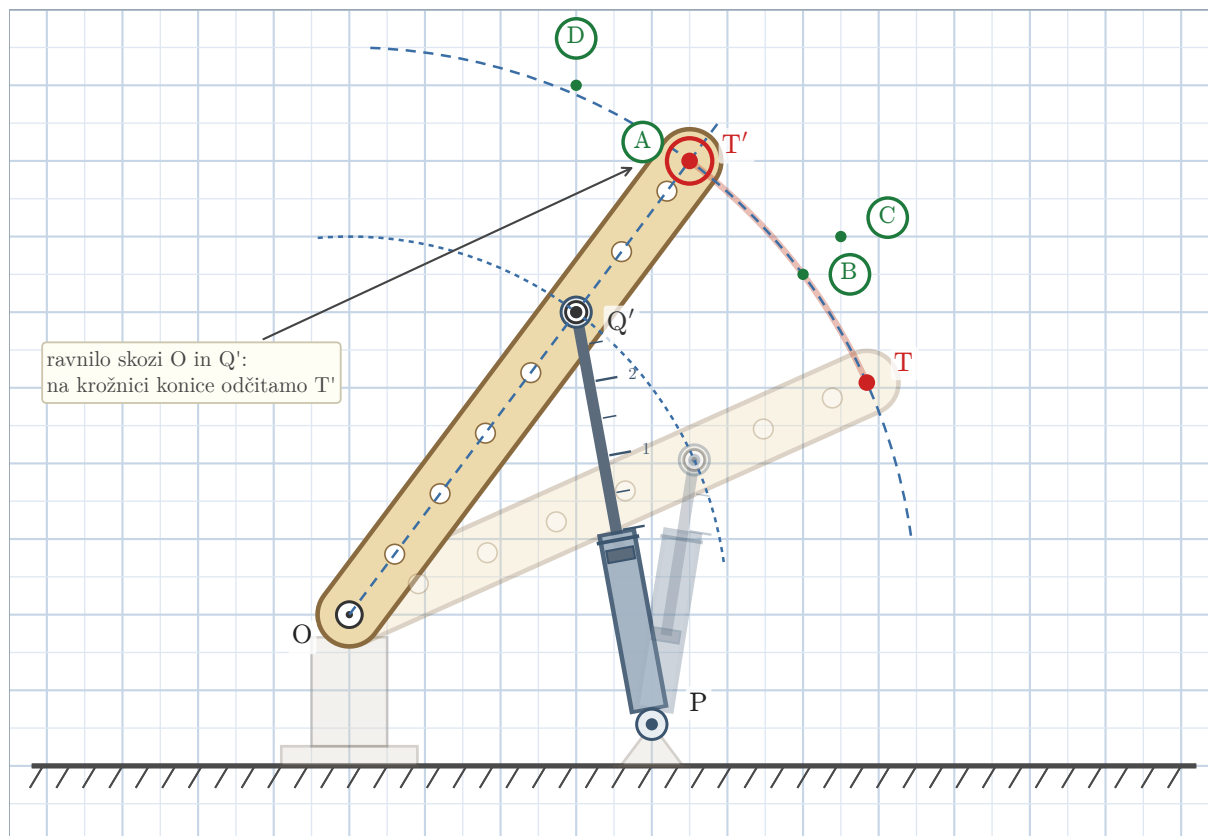
Korak 1. Najprej ugotovimo, *kje sploh* se lahko gibljeta točki na nosilcu: konica T kroži okoli O s polmerom $|OT|$, pritrdišče Q pa s polmerom $|OQ| = 5 \text{ cm}$. Oba loka narišemo s šestilom, vbod je v O.



Korak 2. Zdaj uporabimo podatek o valju. Nova dolžina valja bo $|PQ| + 2 \text{ cm}$. Z ravnilom podaljšamo premico skozi P in Q, na podaljšku odmerimo 2 cm nad Q in dobimo točko na razdalji $|PQ'|$ od P. To razdaljo zajamemo v šestilo, vbodemo v P in narišemo lok. Presečišče tega loka s krožnico točke Q je **novi pritrdišče Q'**.



Korak 3. Nosilec je tog: točke O, Q' in T' ležijo na isti premici. Z ravnilom potegnemo premico skozi O in Q' ter jo podaljšamo do loka konice. Tam je nova lega konice **T'**, ujema se z označeno točko **A**.

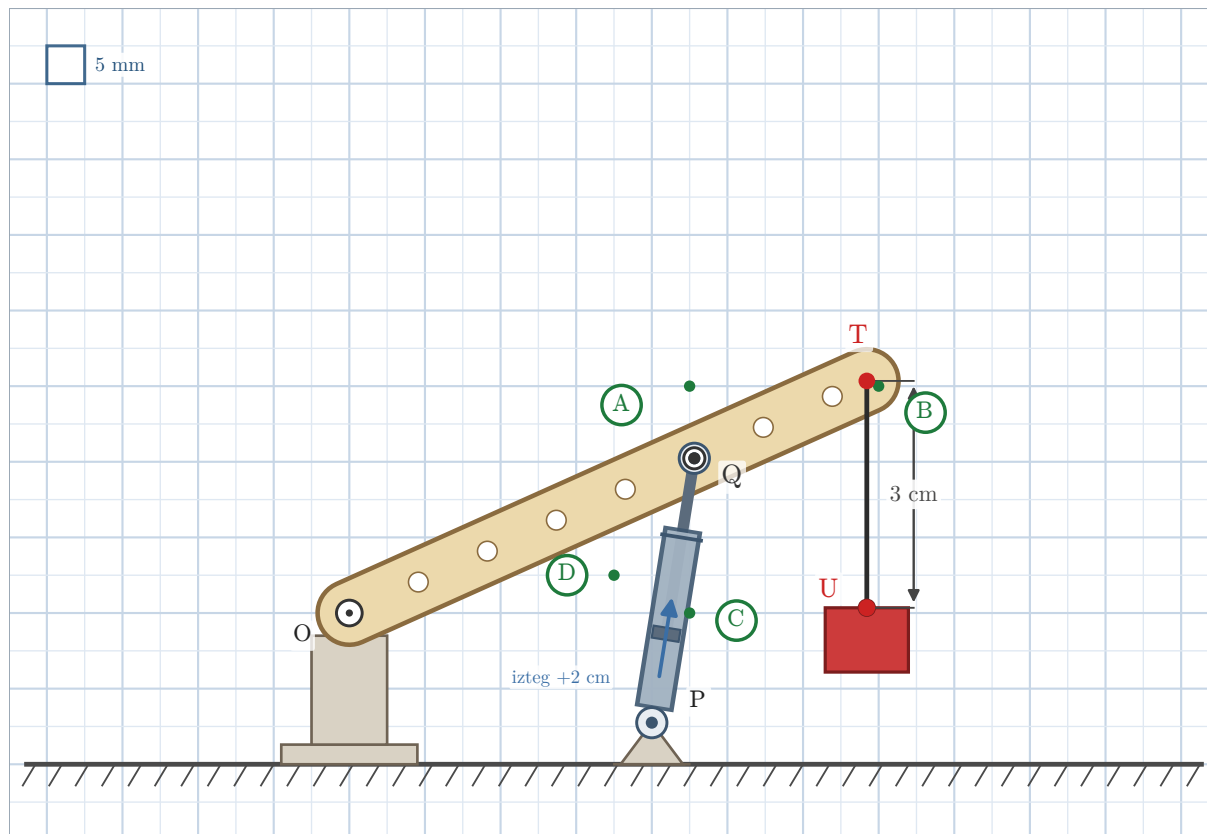


Odgovor: A, konica se po loku okoli O premakne v točko A. (Točka B je na pravem loku, a bi jo dosegli s premajhnim iztegom, točki C in D sploh ne ležita na loku konice.)

Naloga K5: Breme na vrvici



Isti mehanizem kot v nalogi K4, nepomična podpora valja je P, pritrdišče valja na nosilcu pa Q. Na konici T visi breme na 3 cm dolgi vrvici. Zgornji rob bremena je označen s točko U.



Vprašanje 1. Batnica valja se iztegne za 2 cm. V katero označeno lego se premakne točka U?

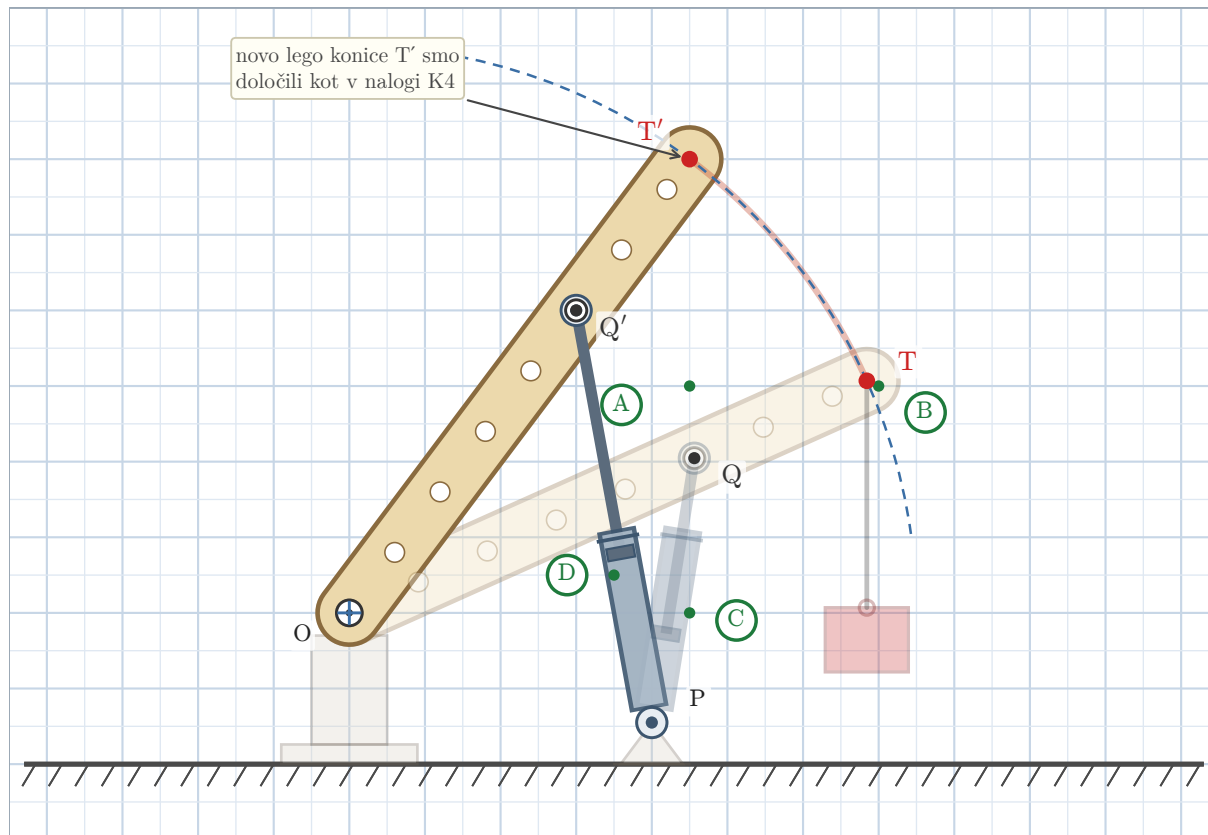
- A) v lego A
- B) v lego B
- C) v lego C
- D) v lego D

Vprašanje 2. Ali se breme pri tem dvigne ali spusti in za približno koliko?

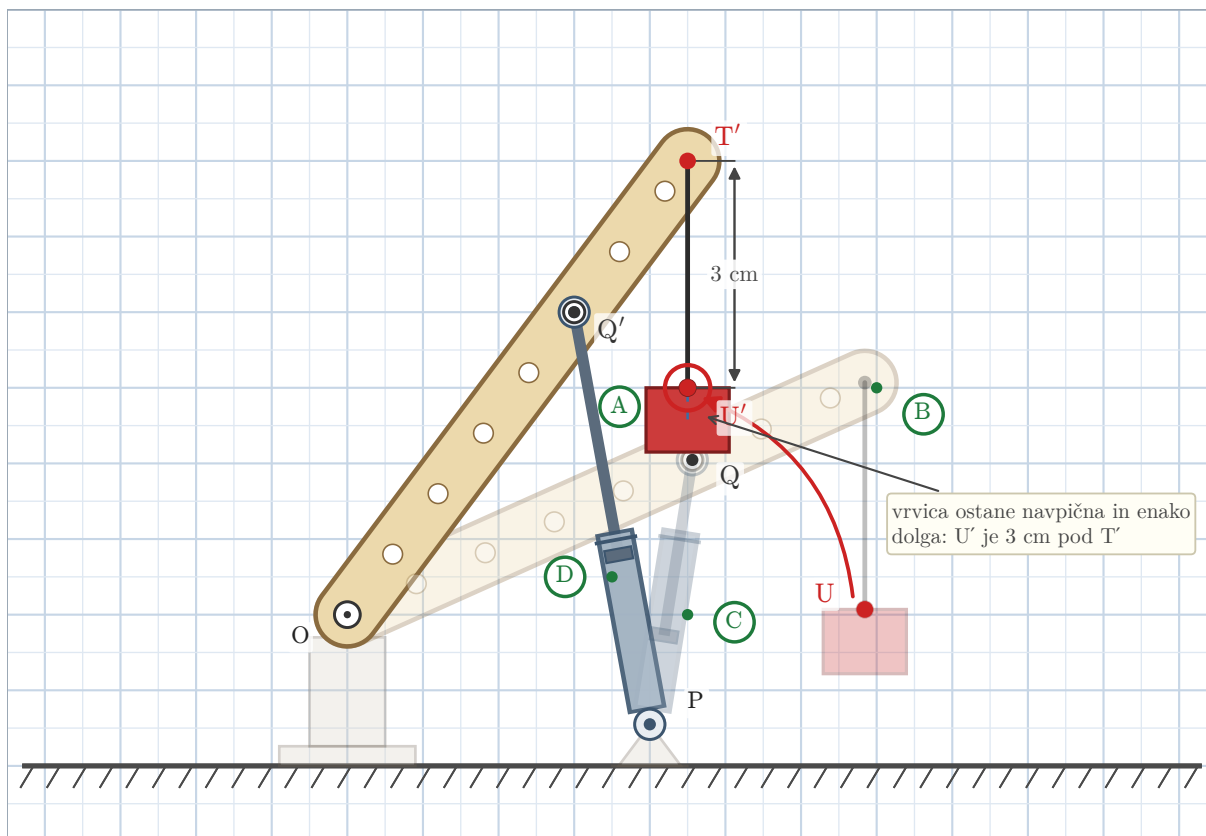
- A) dvigne se za približno 3 cm
- B) spusti se za približno 3 cm
- C) dvigne se za približno 1,5 cm
- D) ostane na isti višini

POSTOPEK REŠEVANJA

Korak 1. Novo lego konice T' določimo kot v nalogi K4. Narišemo lok okoli O , valj podaljšamo za 2 cm, narišemo lok okoli P in skozi O ter Q' potegnemo premico.



Korak 2. Breme na vrvici visi *vedno navpično* pod pritrdiščem, dolžina vrvice pa se ne spremeni. Točko U' zato dobimo tako, da od T' odmerimo 3 cm **navpično navzdol** (6 kvadratkov). Dobimo točko **A**. Pazi: breme se *ne* premakne le navzgor, ker se je konica zavrtela po loku, se breme premakne tudi v levo!



Korak 3. Višina: primerjamo legi U in U' po navpičnici. Točka U je bila približno 2 cm nad tlemi, U' pa je 5 cm nad tlemi, breme se je dvignilo za približno **3 cm**.

Odgovor: Vprašanje 1: **A**. Vprašanje 2: **A**, breme se dvigne za približno 3 cm.

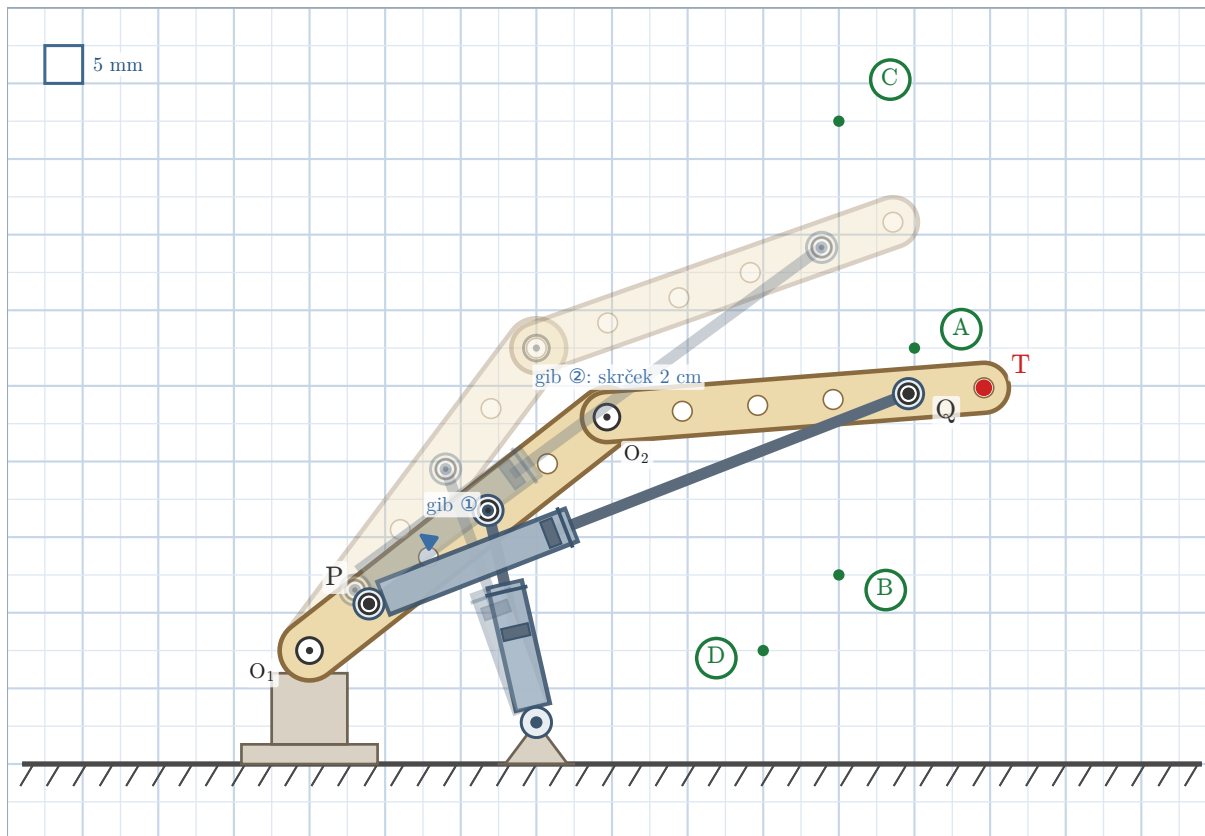
Naloga K6: Dva valja zaporedno



Dvižna roka ima dva toga nosilca in dva valja. Roka 1 se vrti okoli členka O_1 na podstavku, roka 2 pa okoli členka O_2 na koncu roke 1. Valj 2 povezuje pritrdišče P na roki 1 s pritrdiščem Q na roki 2. Konica roke 2 je označena s točko T. Giba se izvedeta *zaporedno*:

gib ① valj 1 dvigne roko v svetlo narisano lego,

gib ② nato se valj 2 **skrči za 2 cm**.



Vprašanje 1. V katero označeno lego pride konica T po obeh gibih?

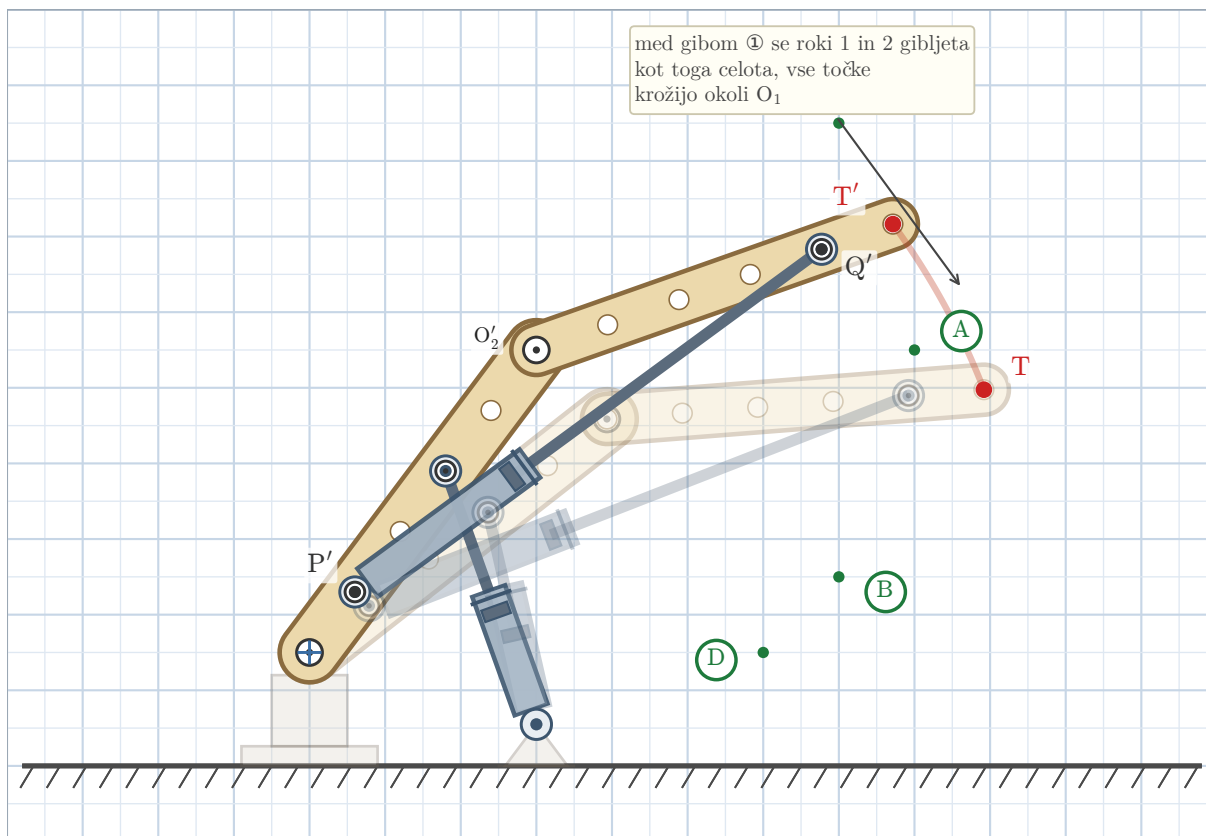
- A) v lego A
- B) v lego B
- C) v lego C
- D) v lego D

Vprašanje 2. Kaj med gibom ② počne členek O_2 ?

- A) miruje
- B) kroži okoli O_1
- C) premika se po premici
- D) kroži okoli konice T

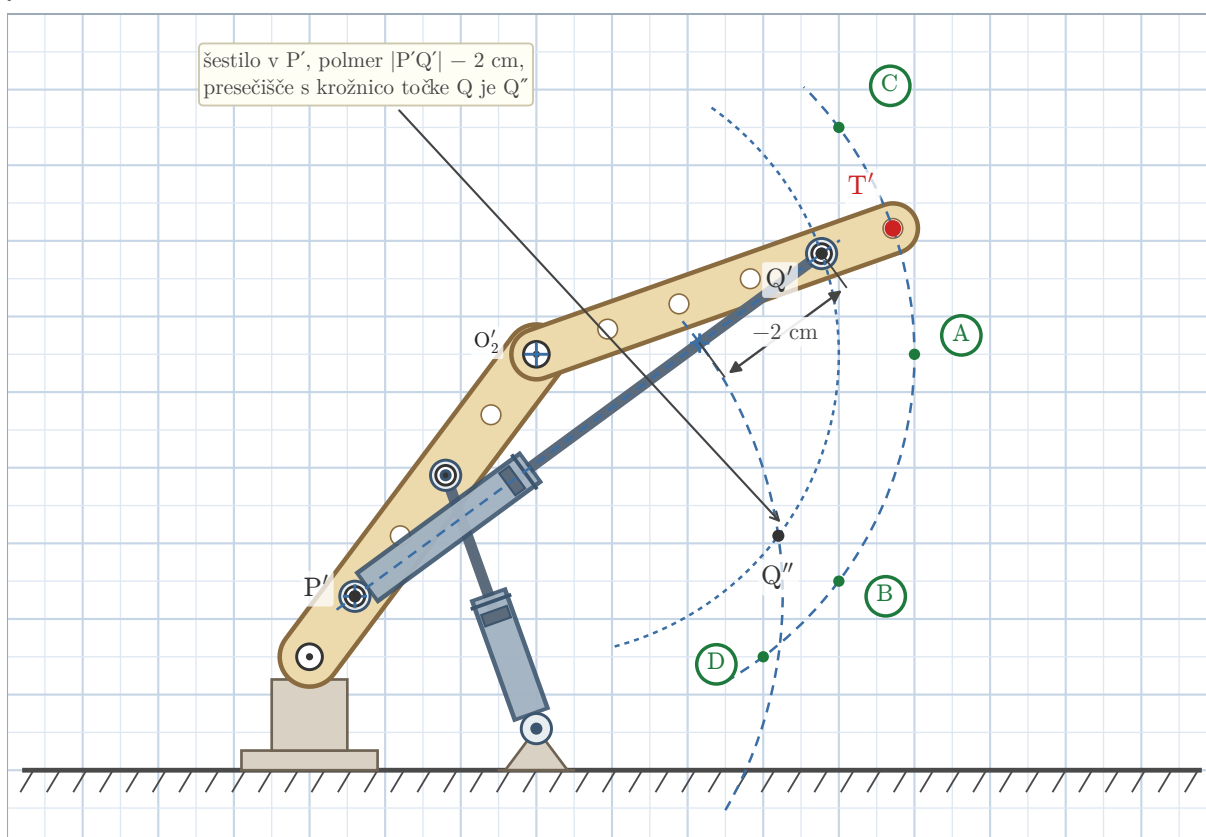
POSTOPEK REŠEVANJA

Korak 1. Med gibom ① se valj 2 ne premika, zato se roki 1 in 2 gibljeta kot *ena toga celota*: vse točke, tudi konica T, krožijo okoli O_1 . Lega po gib ① je na sliki naloge že narisana svetlo, konica je v T' , členek pa v O'_2 .



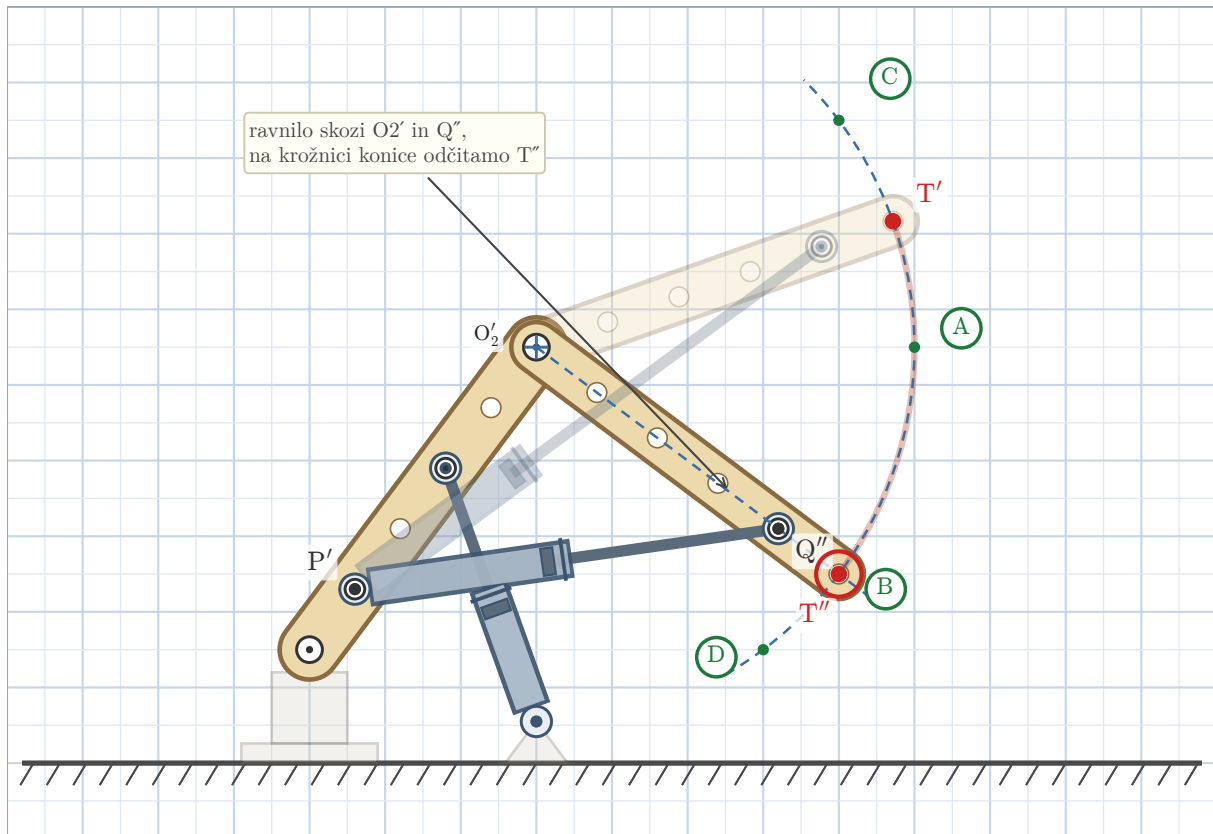
Korak 2. Med gibom ② roka 1 **miruje**, ker valj 1 drži svojo dolžino. Zato miruje tudi členek O_2' . Vrti se samo roka 2, točki Q' in T' pa krožita okoli O_2' .

Korak 3. Valj 2 se skrči za 2 cm. Na daljci $P'Q'$ odmerimo 2 cm od Q' proti P' . Novo dolžino zajamemo v šestilo, vbodemo v P' in narišemo lok. Njegovo presečišče s krožnico točke Q označimo z Q'' .



Korak 4. Roka 2 je toga: O_2' , Q'' in nova konica ležijo na isti premici. Ravnilo položimo skozi O_2'

in Q'' ter na krožnici konice odčitamo T'' , to je označena točka **B**.



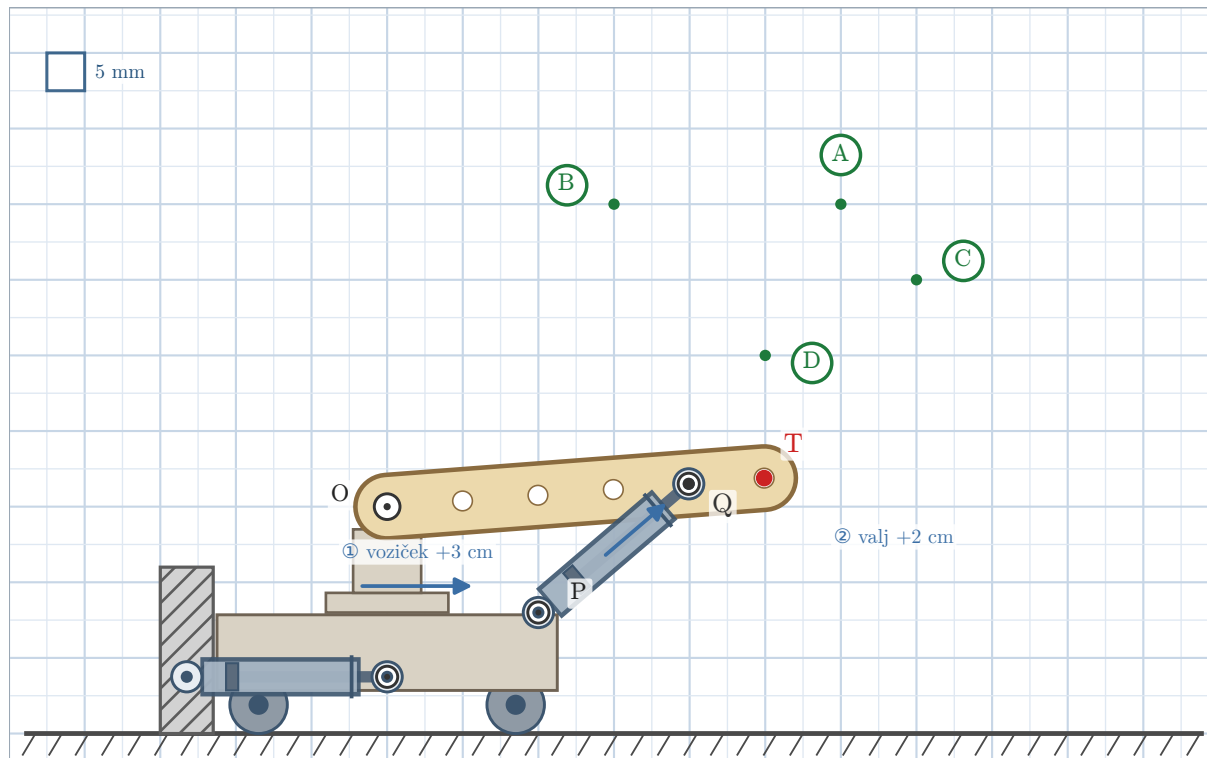
Odgovor: Vprašanje 1: **B**. Vprašanje 2: **A**, členek O_2 med gibom ② miruje, saj roka 1 stoji.

Naloga K7: Dvižna ploščad na vozičku



Dvižna roka z vrtiliščem O stoji na vozičku, ki ga po vodilu premika vodoravni valj (pripet na zid). Konica roke je označena s točko T. Nepomična podpora dvižnega valja na vozičku je P, pritrdišče valja na roki pa Q. Giba se izvedeta zaporedno:

- gib ①** vodoravni valj potisne voziček za **3 cm v desno**,
gib ② nato se dvižni valj **iztegne za 2 cm**.



Vprašanje 1. V katero označeno lego pride konica T po obeh gibih?

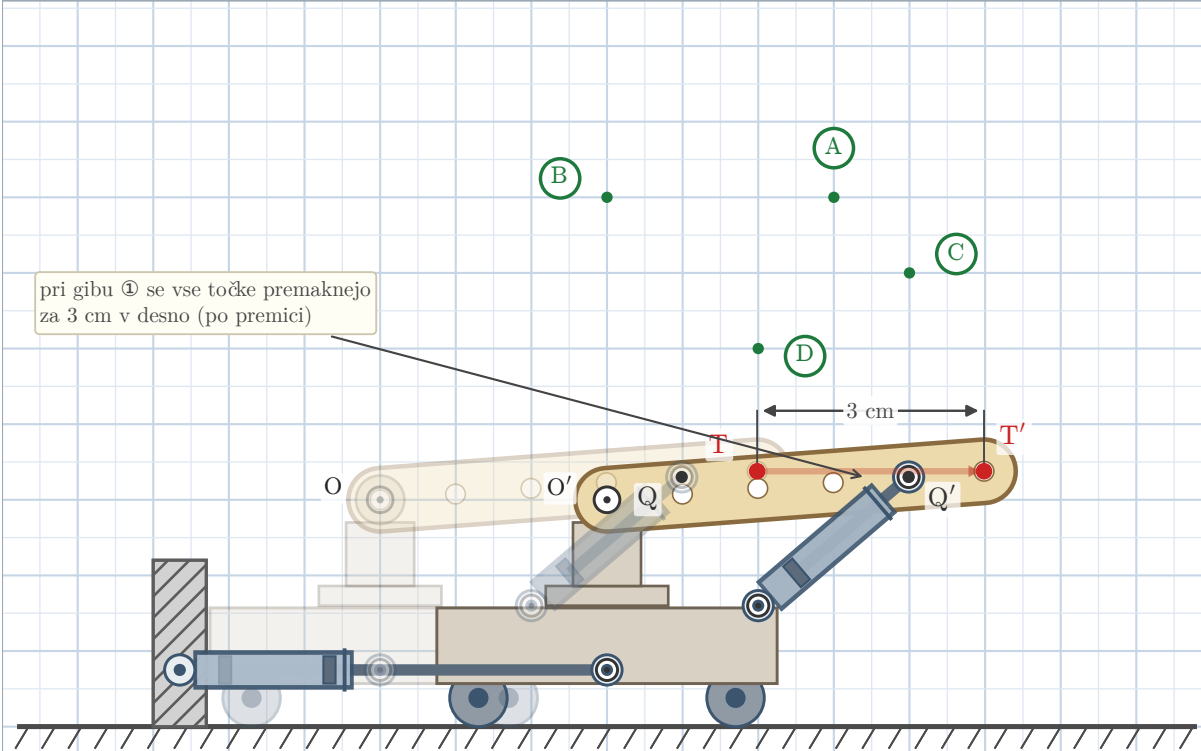
- A) v lego A
- B) v lego B
- C) v lego C
- D) v lego D

Vprašanje 2. Katere trditve držijo? (Možnih je več pravih odgovorov.)

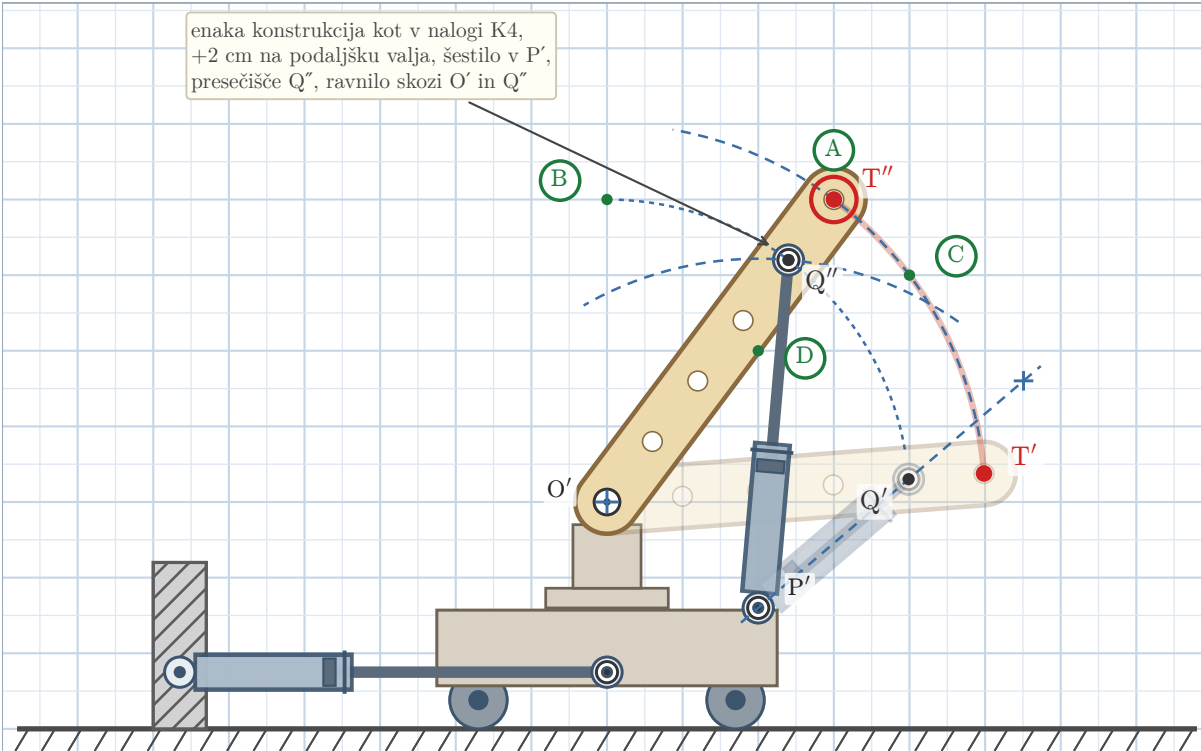
- A) Med gibom ① se konica T giblje po premici.
- B) Med gibom ② se konica T giblje po krožnici okoli členka O.
- C) Konica T se ves čas giblje po eni sami krožnici.
- D) Če giba izvedemo v obratnem vrstnem redu, konča konica v drugi točki.

POSTOPEK REŠEVANJA

Korak 1. Gib ① je *translacija*: celoten voziček z roko vred se premakne za 3 cm v desno, nič se ne zavrti. Vsaka točka (tudi T) se premakne po **premici** za natanko 3 cm (6 kvadratkov) v desno.



Korak 2. Gib ② je *rotacija* okoli premaknjenega vrtilišča O'. Konstrukcija je enaka kot v nalogi K4: narišemo lok konice in lok pritrdišča okoli O', na podaljšku valja odmerimo +2 cm, s šestilom iz P' poiščemo novo pritrdišče Q'' in z ravnilom skozi O' in Q'' odčitamo novo lego konice T''. To je točka A.



Korak 3. Preverimo še trditve. (A) drži in (B) drži, pri translaciji je pot premica, pri rotaciji je pot krožnica. (C) ne drži, pot je sestavljena iz premice in loka. (D) ne drži, tudi pri zamenjanem vrstnem redu dobimo isto končno lego.

Odgovor: Vprašanje 1: **A**. Vprašanje 2: **A in B**.

Naloga K8: Kakšno pot opiše konica?

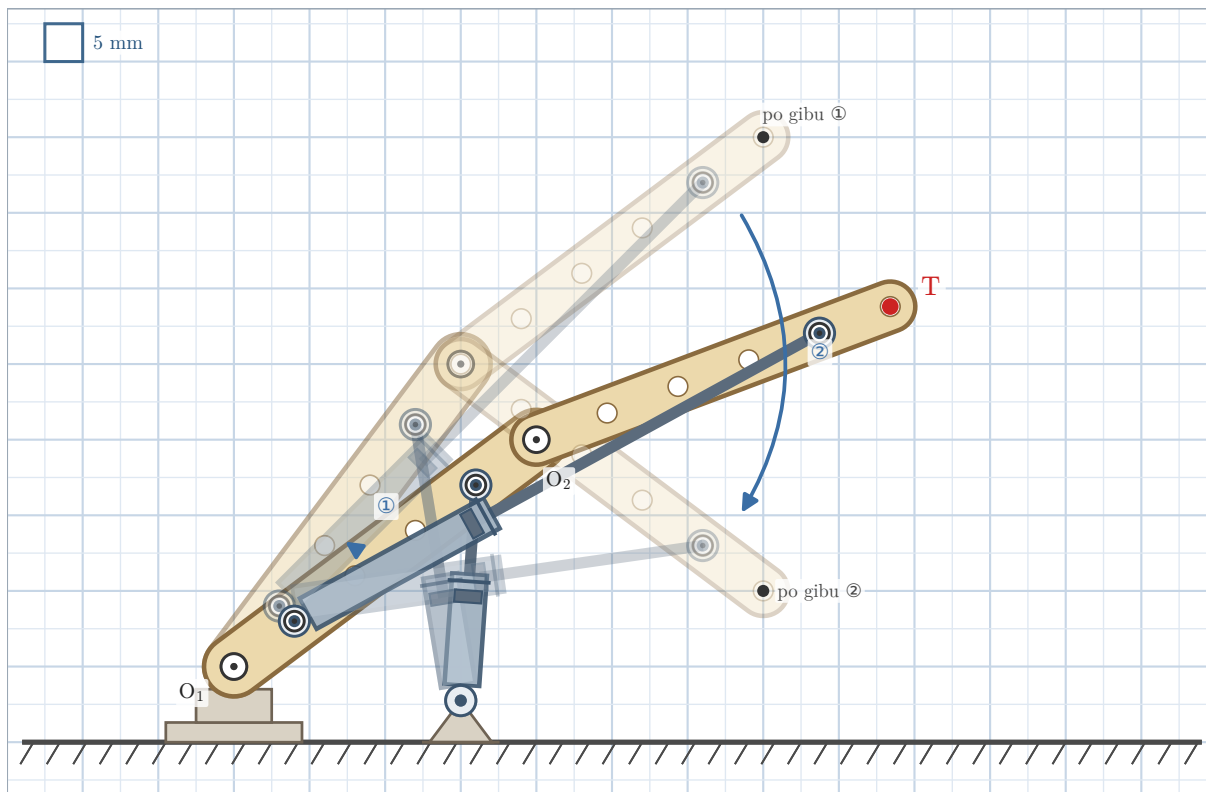
★★★★

Dvoročna dvížna roka iz naloge K6. Giba se izvedeta zaporedno:

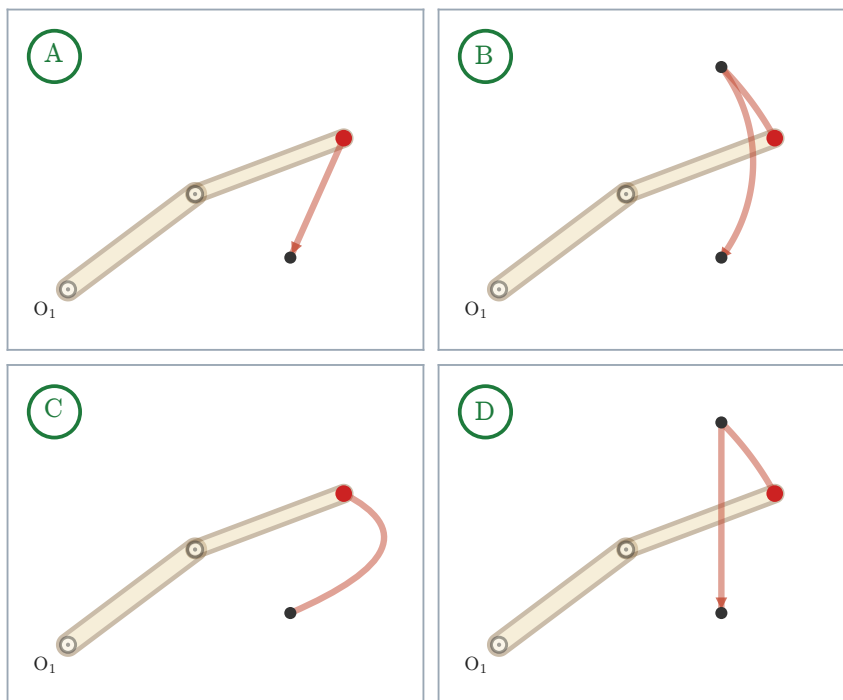
gib ① valj 1 se iztegne in dvigne roko 1 v svetlo narisano lego,

gib ② nato se valj 2 skrči in zavrti roko 2 v končno lego (prav tako svetlo).

Tokrat nas ne zanima samo končna točka, ampak **celotna pot** konice T.



Vprašanje 1. Katera slika pravilno prikazuje pot konice T?

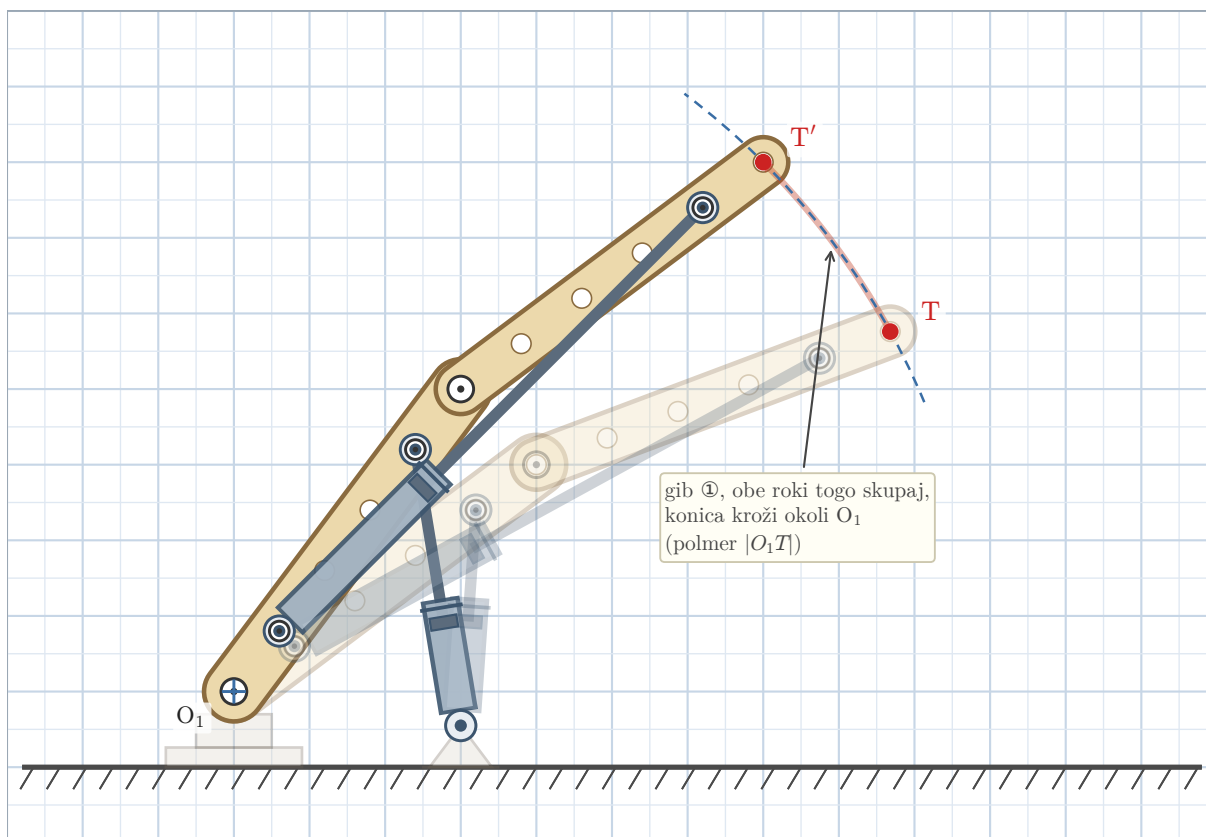


Vprašanje 2. Kako visoko nad tlemi je konica na svoji poti najvišje?

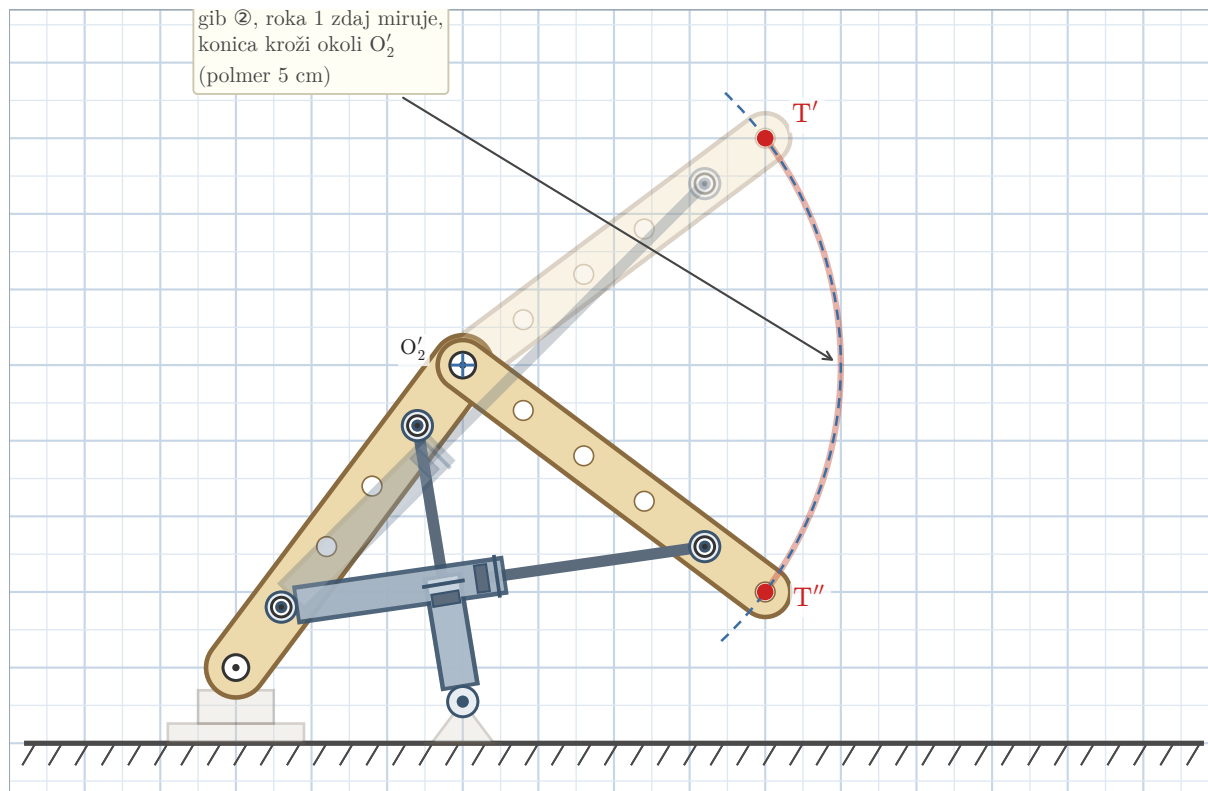
- A) 8 cm
- B) 9 cm
- C) 7 cm
- D) 10 cm

POSTOPEK REŠEVANJA

Korak 1. Med gibom ① se obe roki gibljeta kot toga celota, zato konica T kroži okoli O_1 . Njena pot je krožni lok s polmerom $|O_1T|$. Narišemo ga s šestilom, vbojemo v O_1 in lok povlečemo od T do lege po gibu ①, to je T' .

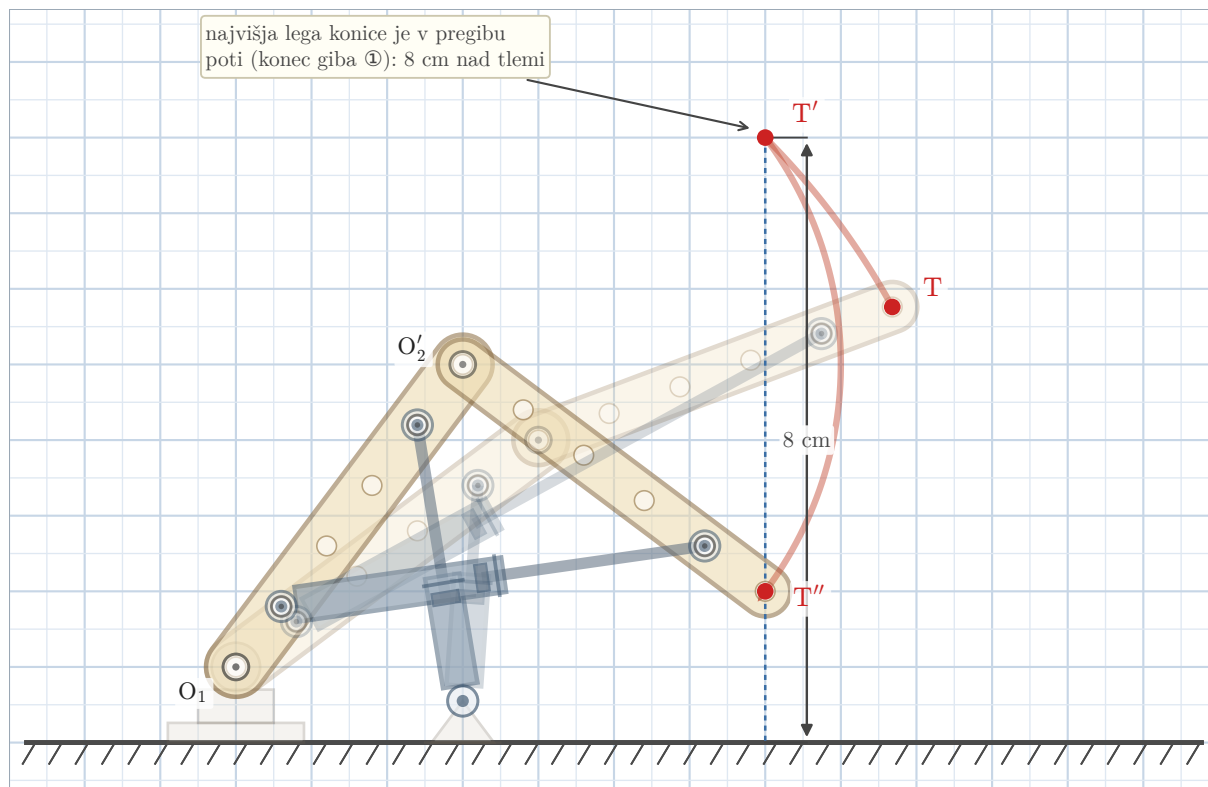


Korak 2. Med gibom ② roka 1 miruje, zato konica kroži okoli členka O'_2 s polmerom 5 cm. Drugi lok narišemo z vbodom v O'_2 , od T' do končne lege T'' .



Korak 3. Celotna pot je torej sestavljena iz **dveh krožnih lokov** z različnima središčema, ki se stikata v *pregibu* (lega po gibu ①). To prikazuje slika **B**. Pot ni premica (A), ni en sam lok (C), niti lok s premico (D).

Korak 4. Najvišja točka poti je ravno v pregibu: prvi lok se tam neha vzpenjati, drugi lok pa se od tam samo še spušča. Z merjenjem po navpičnici: pregib je **8 cm** nad tlemi (16 kvadratkov).

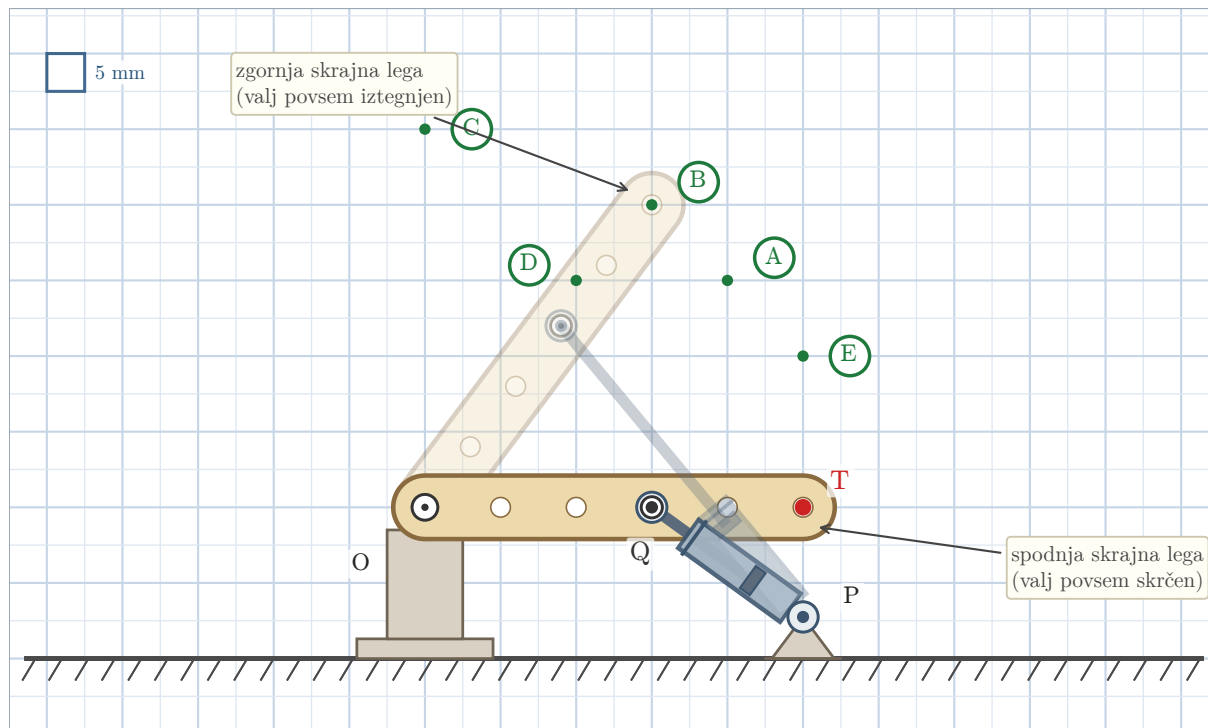


Odgovor: Vprašanje 1: **B**, dva loka s pregibom. Vprašanje 2: **A**, najvišja lega je 8 cm nad tlemi.

Naloga K9: Delovno območje



Valj se lahko izteguje le med svojima skrajnima legama, ki sta obe narisani: polna slika prikazuje *spodnjo* skrajno lego (valj povsem skrčen), svetla pa *zgornjo* (valj povsem iztegnjen). Konica nosilca je označena s točko T, podpora valja s P, pritrdišče valja na nosilcu pa s Q.



Vprašanje 1. Katere od označenih točk lahko konica T doseže? (Možnih je več pravilnih odgovorov.)

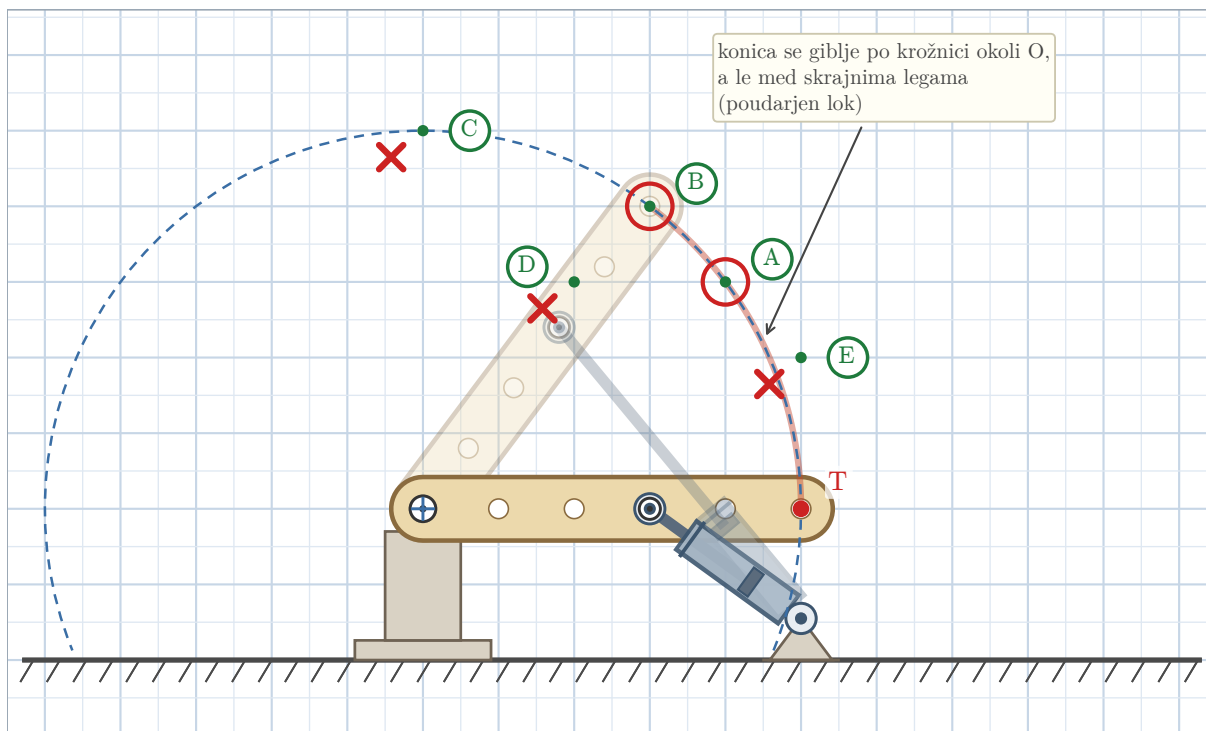
- A) točka A
- B) točka B
- C) točka C
- D) točka D
- E) točka E

Vprašanje 2. Da konica pride iz spodnje skrajne lege v točko A, se mora valj:

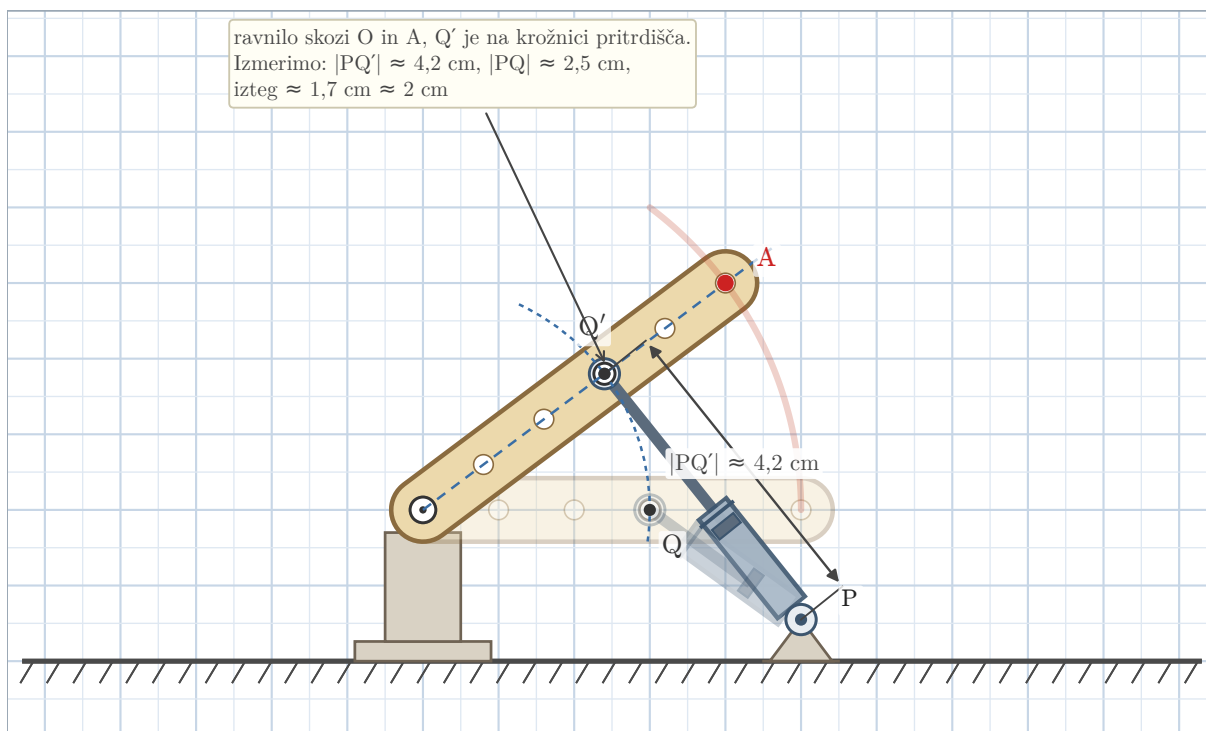
- A) skrčiti za približno 2 cm
- B) iztegniti za približno 2 cm
- C) iztegniti za približno 4 cm
- D) točke A ni mogoče doseči

POSTOPEK REŠEVANJA

Korak 1. Konica T kroži okoli O, vendar ne po celi krožnici! Valj jo lahko premika le *med skrajnima legama*. S šestilom narišemo krožnico skozi T, nato pa poudarimo samo lok med konico v spodnji in konico v zgornji skrajni legi, to je **delovno območje**. Doseženi sta točki **A** in **B** (B je ravno zgornja skrajna lega). Točka C sicer leži na krožnici, a je *izven* delovnega loka, točki D in E pa sta blizu krožnice, vendar ne ležita na njej.



Korak 2. Za vprašanje 2 rešujemo *obratno* nalogo: poznamo končno lego konice, iščemo pa premik valja. Z ravnilom potegnemo premico skozi O in A. Kjer seka krožnico pritrdišča z radijem $|OQ|$, je novo pritrdišče Q' . Izmerimo obe dolžini valja: $|PQ'| \approx 4,2$ cm in $|PQ| \approx 2,5$ cm. Valj se mora torej **iztegniti** za približno $4,2 - 2,5 \approx 1,7$ cm, kar je najbližje 2 cm.



Odgovor: Vprašanje 1: **A in B**. Vprašanje 2: **B**, izteg za približno 2 cm.

Naloga K10: Bager s teleskopom čez oviro

★★★★

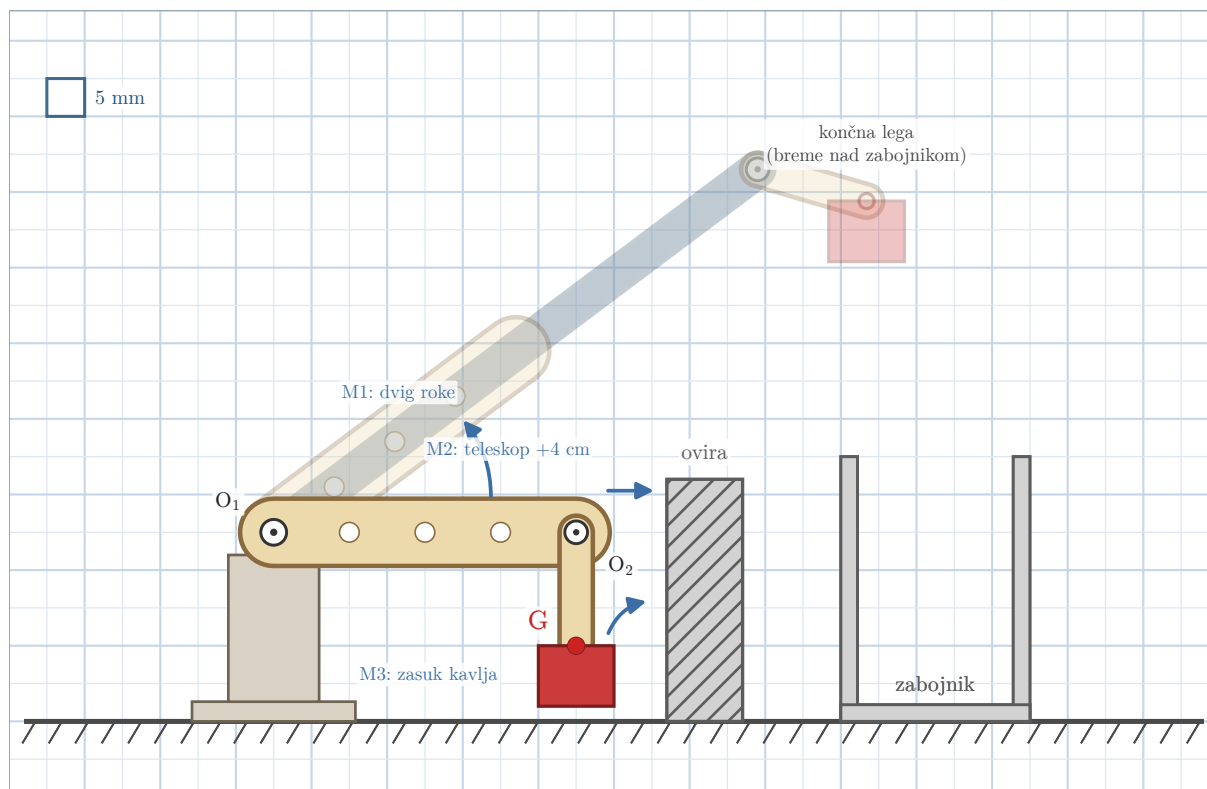
Bagrska roka ima kar **tri** gibe: vrtenje cele roke okoli členka O_1 , teleskopski izteg roke in vrtenje kavlja okoli členka O_2 . Na kavljju (točka G) visi breme, ki ga je treba prenesti čez oviro in odložiti v zabojnik. Na voljo so trije gibi, vsak se izvede v celoti:

M1 dvig roke, zasuk okoli O_1 v prikazano lego,

M2 izteg teleskopa za 4 cm,

M3 zasuk kavlja naprej okoli O_2 .

Končna lega (breme nad zabojnikom) je narisana svetlo. Pazi: breme in roka se ovire *ne smeta* dotakniti!

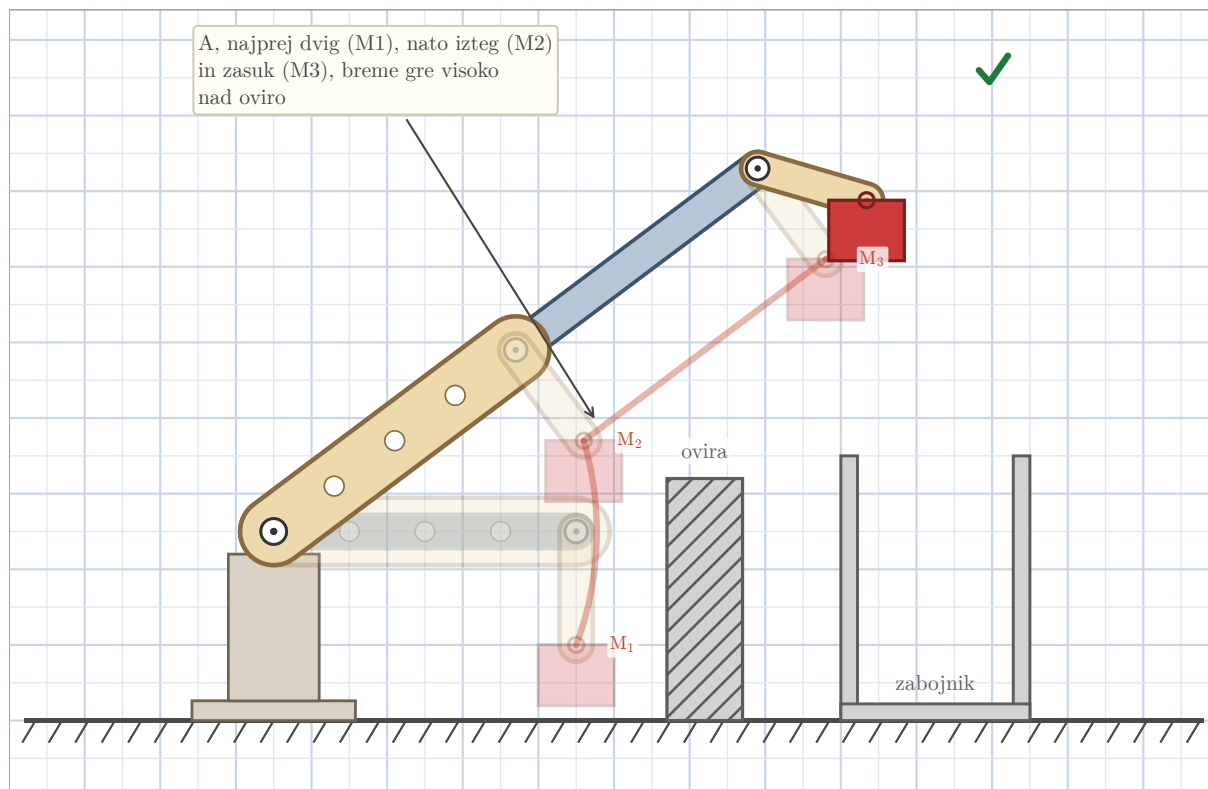


Vprašanje 1. V kakšnem vrstnem redu lahko izvedemo gibe, da breme varno prenesemo do zabojnika? (Možnih je več pravih odgovorov.)

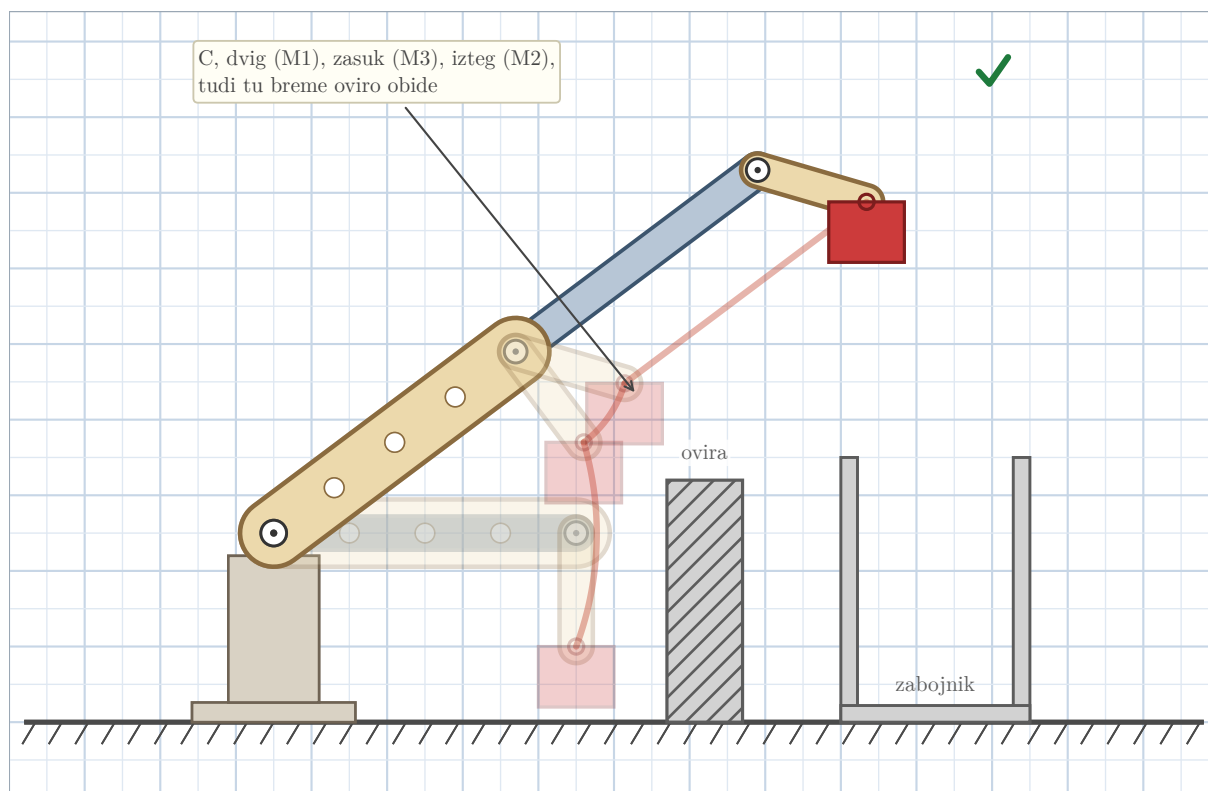
- A) M1 → M2 → M3
- B) M2 → M1 → M3
- C) M1 → M3 → M2
- D) M3 → M1 → M2

POSTOPEK REŠEVANJA

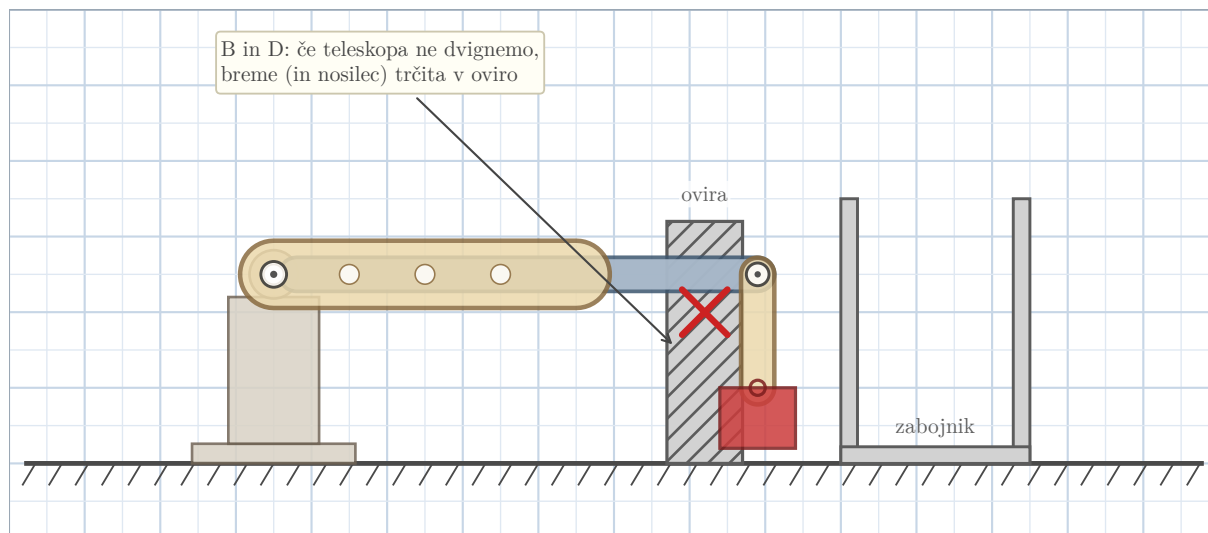
Korak 1. Preverimo zaporedje **A**, M1, M2, M3. Najprej dvig: breme zakroži okoli O_1 in se dvigne visoko nad oviro, ostane pa levo od nje. Izteg teleskopa nato breme po *premici* (vzporedno z roko) prenese čez oviro, dovolj visoko, saj je roka dvignjena. Zasuk kavlja na koncu breme prestavi še naprej, nad zabojnik. Nikjer ni trka: zaporedje deluje.



Korak 2. Preverimo še zaporedje C, M1, M3, M2. Tudi tu najprej dvignemo roko. Zasuk kavlja se zdaj zgodi že pred iztegom, breme zaniha naprej, a je še vedno nad oviro. Ko teleskop nato iztegnemo, breme potuje po premici še višje nad oviro do zabojnika. Tudi to zaporedje deluje! Naloga ima torej *dve* pravilni rešitvi.



Korak 3. Zakaj B in D odpadeta? Pri obeh se prvi gib zgodi, ko je roka še *spuščena*. Pri B teleskopski izteg potisne breme in nosilec naravnost v oviro. Pri D zasuk kavlja zaniha breme naprej, prav tako v oviro. Vrstni red gibov je torej ključen!



Odgovor: A in C, najprej je treba roko dvigniti (M1), nato pa lahko teleskop in kavelj uporabimo v poljubnem vrstnem redu.

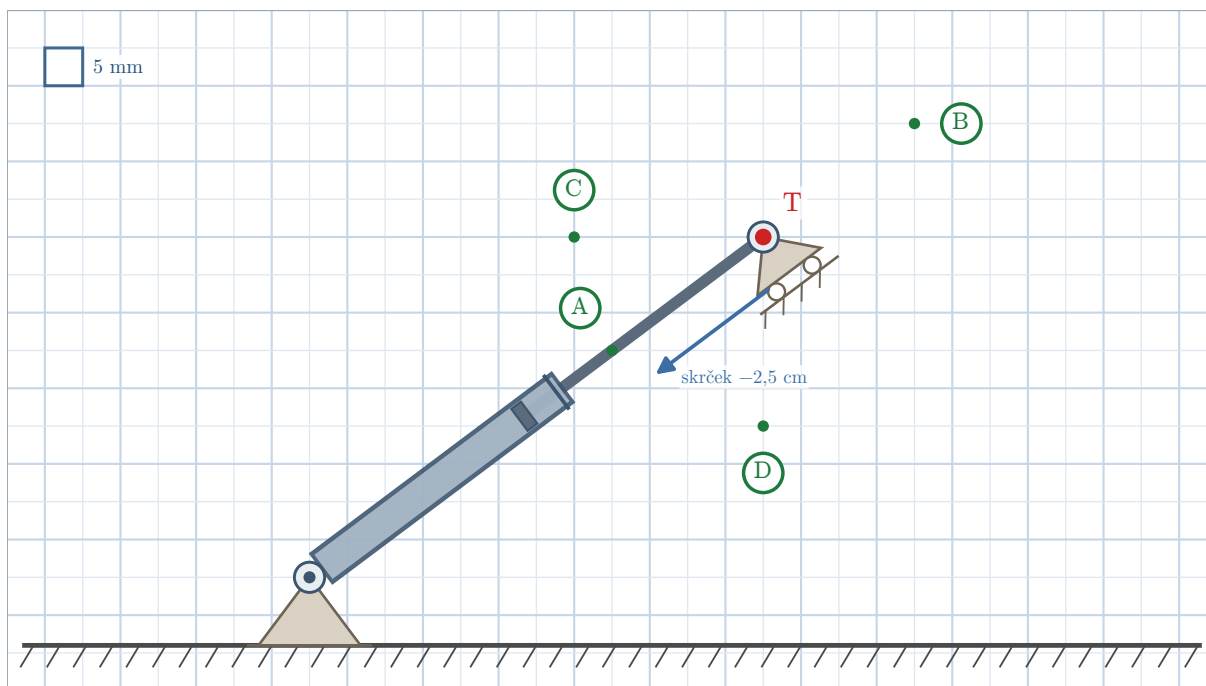
2 Naloge za samostojno reševanje

Postopki so enaki kot pri pripravljalnih nalogah. Končne rešitve so zbrane na zadnjih straneh zbirke.

Naloga K11: Poševni valj

☆☆☆☆

Hidravlični valj je z levim očesom pritrjen na členkasto podporo, njegova os pa je poševna. Točka T označuje oko na batnici, ki ga podpira drsna členkasta podpora, zato se lahko pomika le vzdolž osi valja.



Vprašanje 1. Batnica se **skrči za 2,5 cm**, os valja pa se pri tem ne spremeni. V katero označeno lego se premakne točka T?

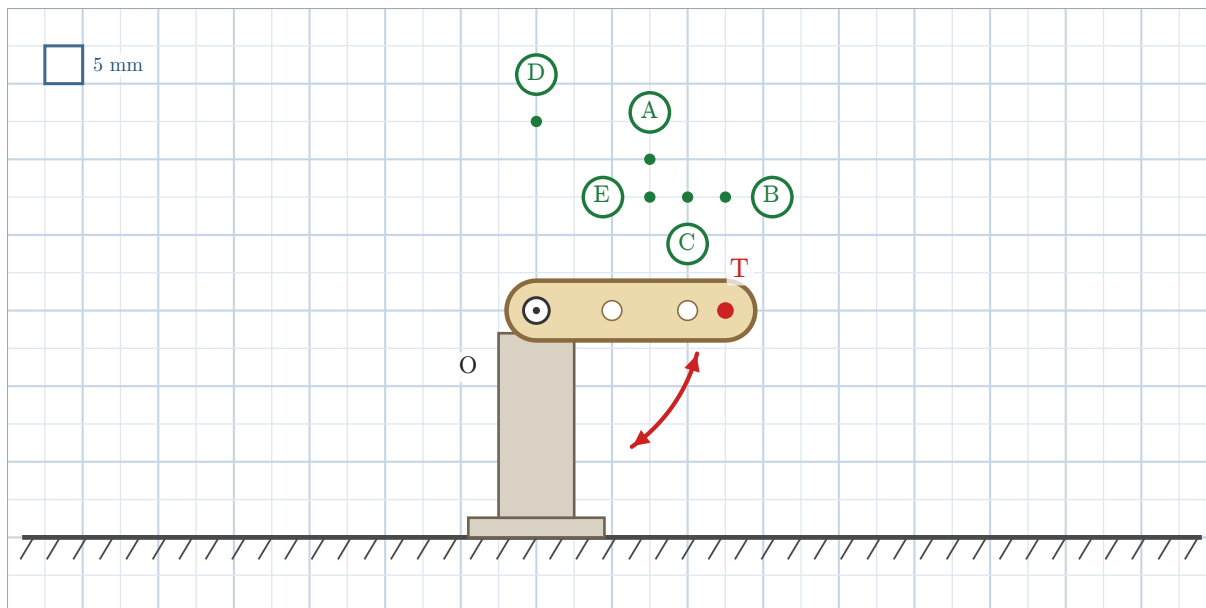
- A) v lego A
- B) v lego B
- C) v lego C
- D) v lego D

Vprašanje 2. Za koliko kvadratkov mreže se zmanjša razdalja med očesoma valja?

- A) za 3 kvadratke
- B) za 5 kvadratkov
- C) za 2,5 kvadratka
- D) za 10 kvadratkov

Naloga K12: Doseg konice

Motor vrtili togi nosilec okoli nepomičnega členka O na podstavku. Konica T je od členka oddaljena 2,5 cm.



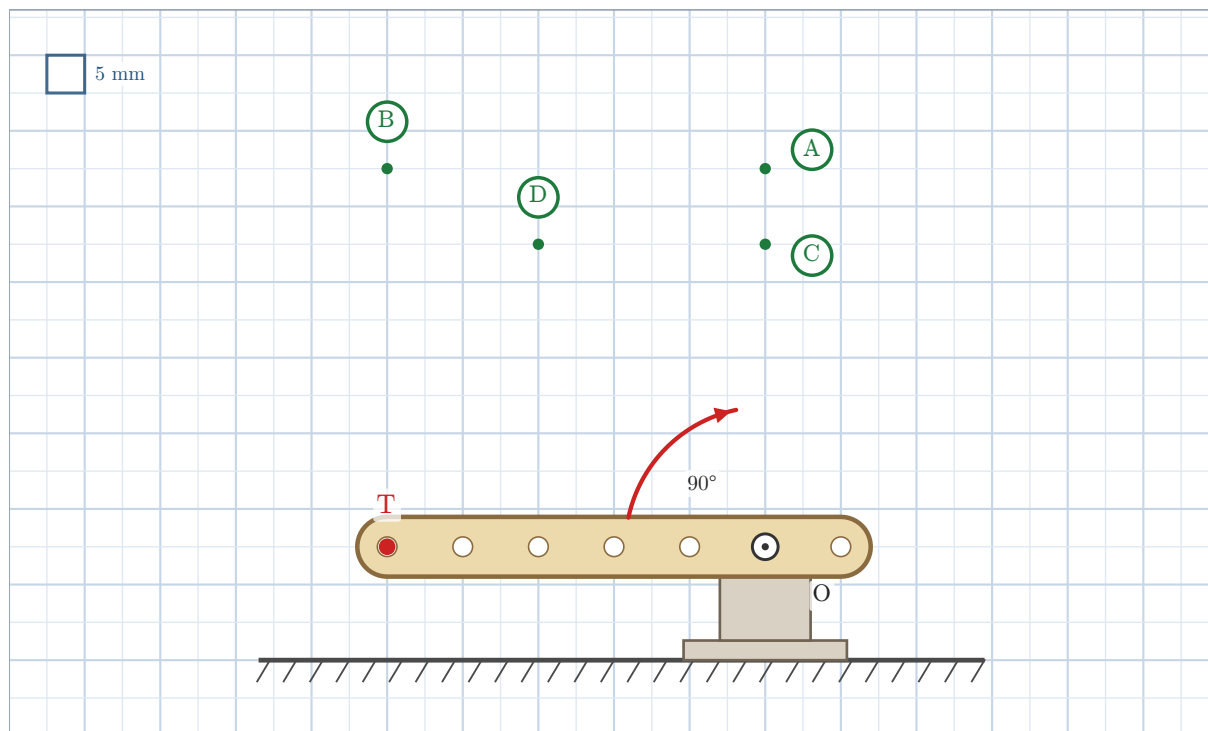
Vprašanje 1. Katere od označenih točk lahko konica T doseže? (Možnih je več pravih odgovorov.)

- A) točka A
- B) točka B
- C) točka C
- D) točka D
- E) točka E

Naloga K13: Dvižni most



Dvižni most se vrti okoli členka O na desnem bregu. V spuščeni (vodoravni) legi je konica T od členka oddaljena 5 cm. Most nato dvignemo: zavrtimo ga za 90° v smeri puščice.



Vprašanje 1. V katero označeno lego pride konica T po dvigu?

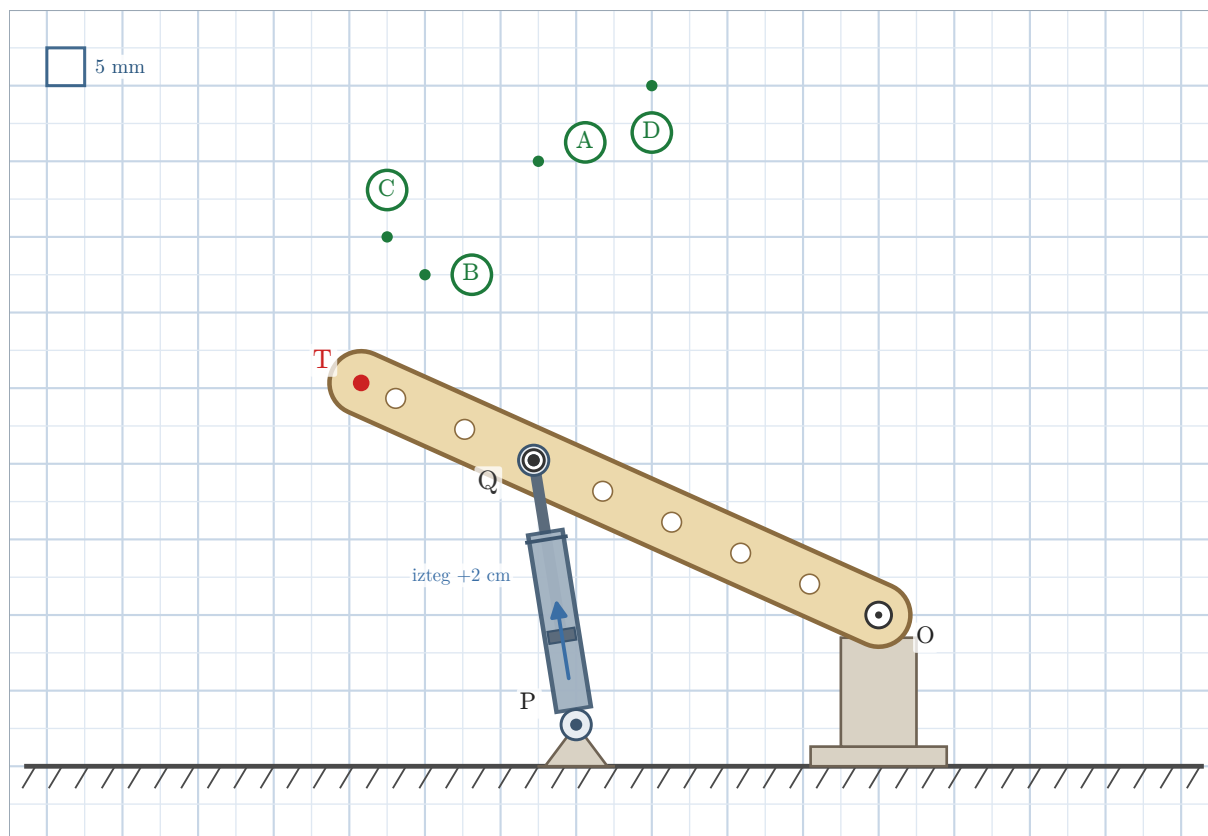
- A) v lego A
- B) v lego B
- C) v lego C
- D) v lego D

Vprašanje 2. Za koliko centimetrov se konica T pri tem dvigne?

- A) za 5 cm
- B) za 7 cm
- C) za 3,5 cm
- D) za 10 cm

Naloga K14: Izteg valja v levo

Nosilec z vrtilščem O na podstavku poganja hidravlični valj med nepomično podporo P in pritrdiščem Q. Konica nosilca je označena s točko T. Postopek reševanja je enak kot v nalogi K4.



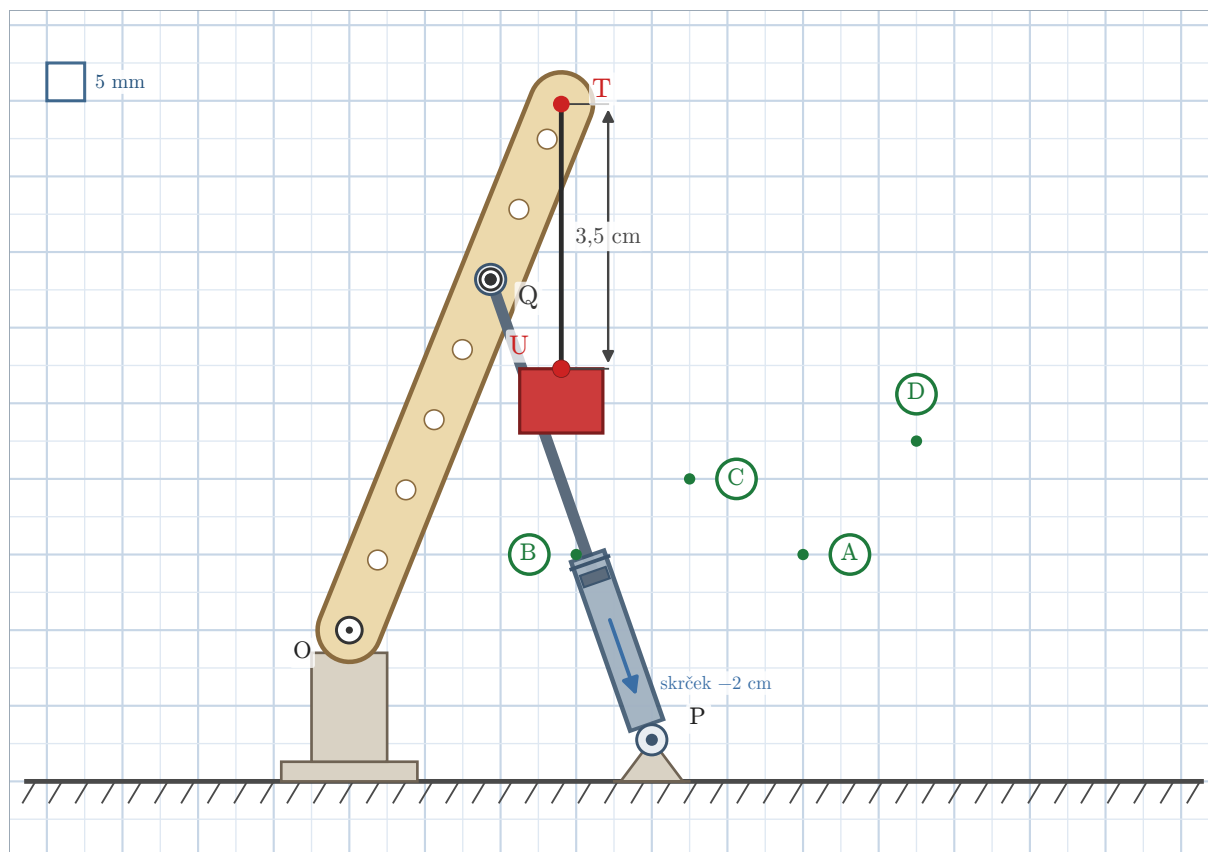
Vprašanje 1. Batnica valja se iztegne za 2 cm. V katero označeno lego se premakne konica T?

- A) v lego A
- B) v lego B
- C) v lego C
- D) v lego D

Naloga K15: Skrček valja z bremenom

★★★★☆

Na konici dvižne roke visi breme na 3,5 cm dolgi vrvici, njegov zgornji rob je označen s točko U. Nepomična podpora valja je P, pritrdišče valja na roki je Q. Roka je visoko dvignjena.



Vprašanje 1. Batnica valja se skrči za 2 cm. V katero označeno lego se premakne točka U?

- A) v lego A
- B) v lego B
- C) v lego C
- D) v lego D

Vprašanje 2. Breme se pri tem:

- A) spusti za približno 2,5 cm
- B) dvigne za približno 2,5 cm
- C) ostane na isti višini
- D) spusti za približno 5 cm

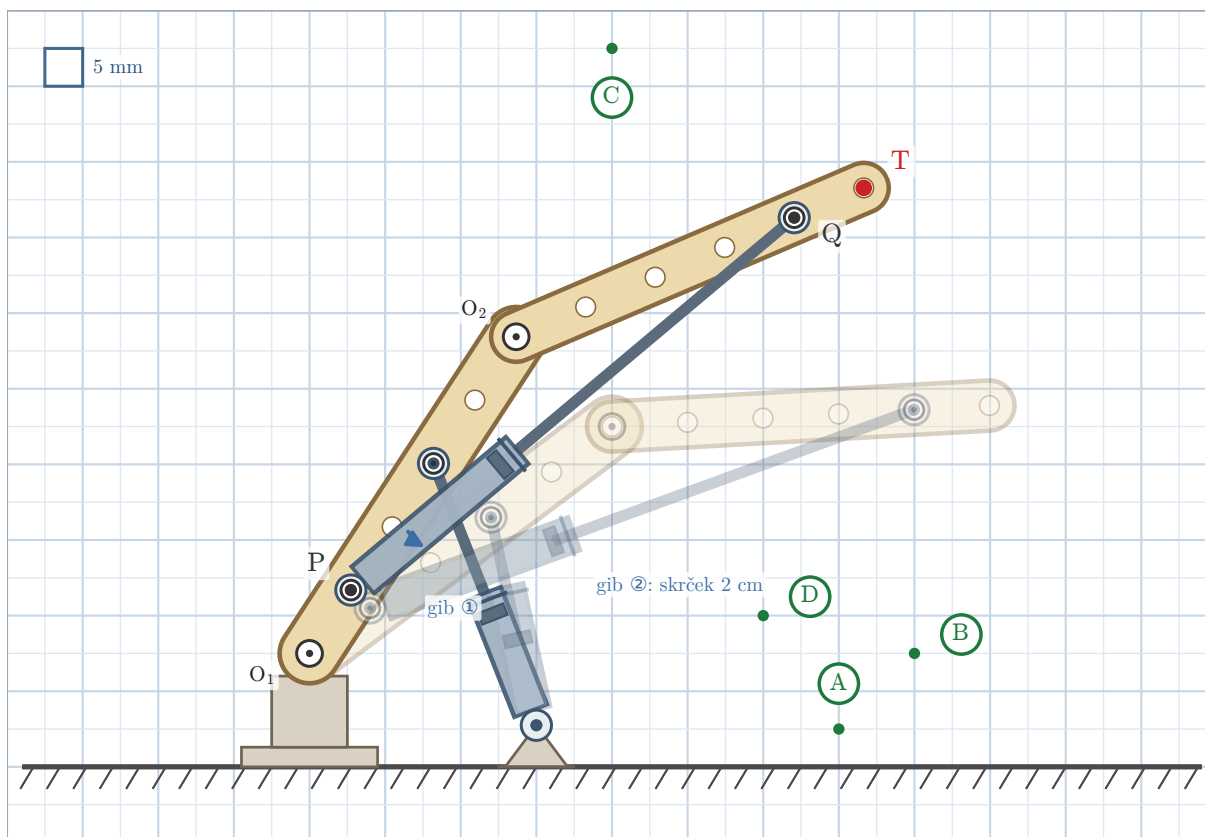
Naloga K16: Dva valja: spust in skrčak



Dvoročna dvížna roka kot v nalogi K6. Valj 2 povezuje pritrdišče P na roki 1 s pritrdiščem Q na roki 2. Giba se izvedeta zaporedno:

gib ① valj 1 **spusti** roko v svetlo narisan lego,

gib ② nato se valj 2 **skrči za 2 cm**.



Vprašanje 1. V katero označeno lego pride konica T po obeh gibih?

- A) v lego A
- B) v lego B
- C) v lego C
- D) v lego D

Vprašanje 2. Kaj med gibom ② počne členek O_2 ?

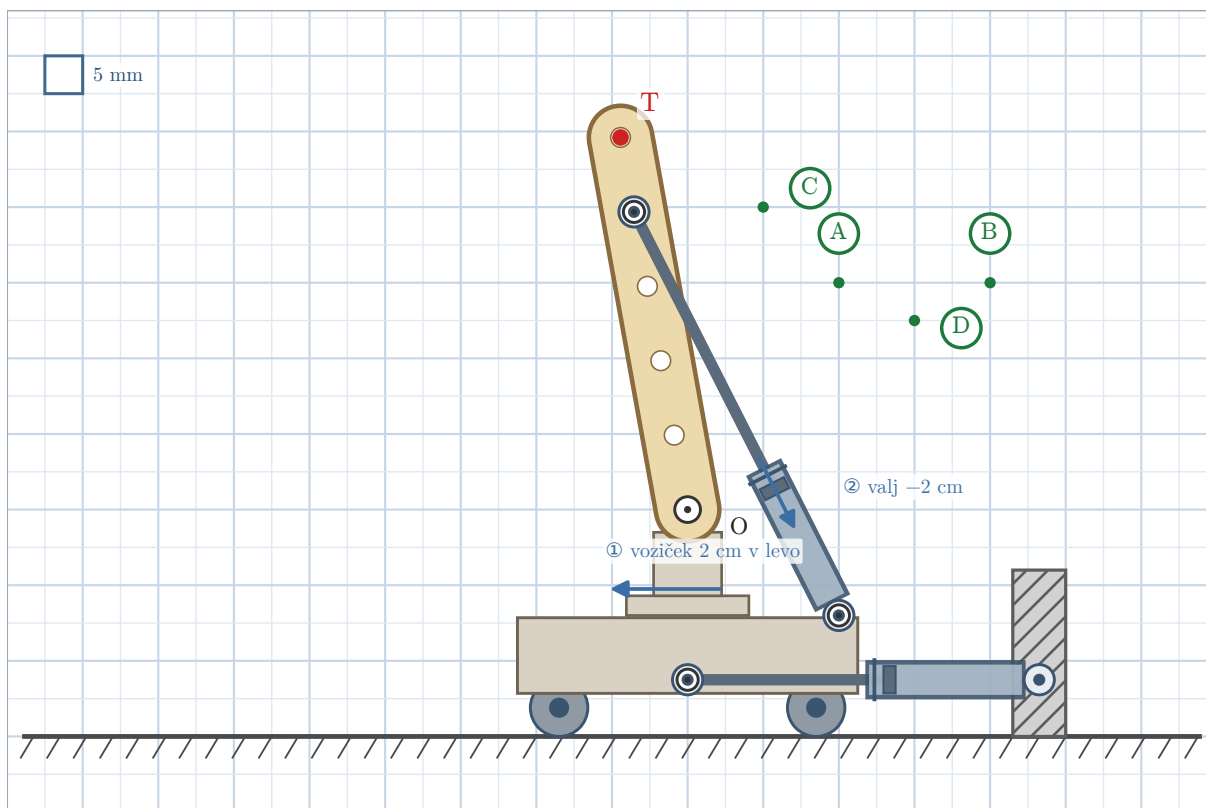
- A) miruje
- B) kroži okoli O_1
- C) premika se po premici
- D) kroži okoli konice T

Naloga K17: Voziček v levo



Dvižna roka z vrtiliščem O stoji na vozičku. Giba se izvedeta zaporedno:

- gib ①** vodoravni valj potisne voziček za **2 cm v levo**,
gib ② nato se dvižni valj **skrči za 2 cm**.



Vprašanje 1. V katero označeno lego pride konica T po obeh gibih?

- A) v lego A
B) v lego B
C) v lego C
D) v lego D

Vprašanje 2. Katere trditve držijo? (Možnih je več pravih odgovorov.)

- A) Med gibom ① se konica T giblje po premici.
B) Med gibom ② se konica T giblje po krožnici okoli členka O.
C) Konica T se ves čas giblje po eni sami krožnici.
D) Če giba zamenjamo, konča konica v drugi točki.

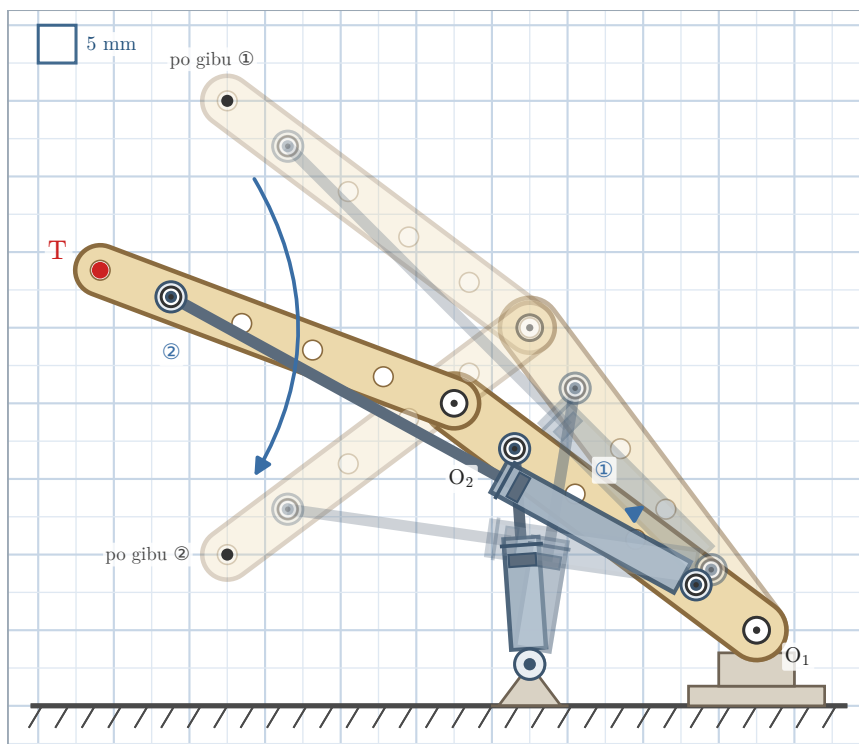
Naloga K18: Pot konice



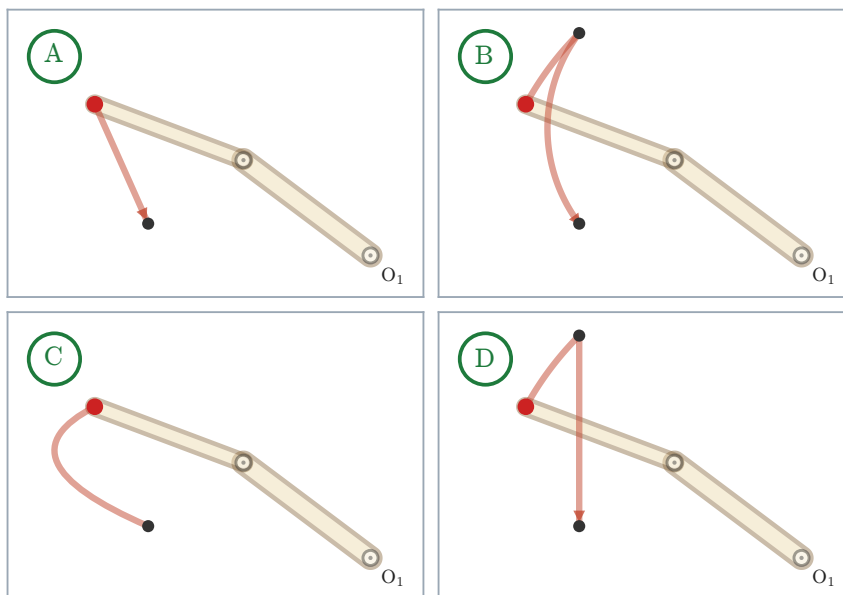
Dvoročna dvížna roka, obrnjena v levo. Giba se izvedeta zaporedno:

gib ① valj 1 dvigne roko 1 v svetlo narisano lego,

gib ② nato valj 2 zavrti roko 2 v končno lego (prav tako svetlo).



Vprašanje 1. Katera slika pravilno prikazuje pot konice T?



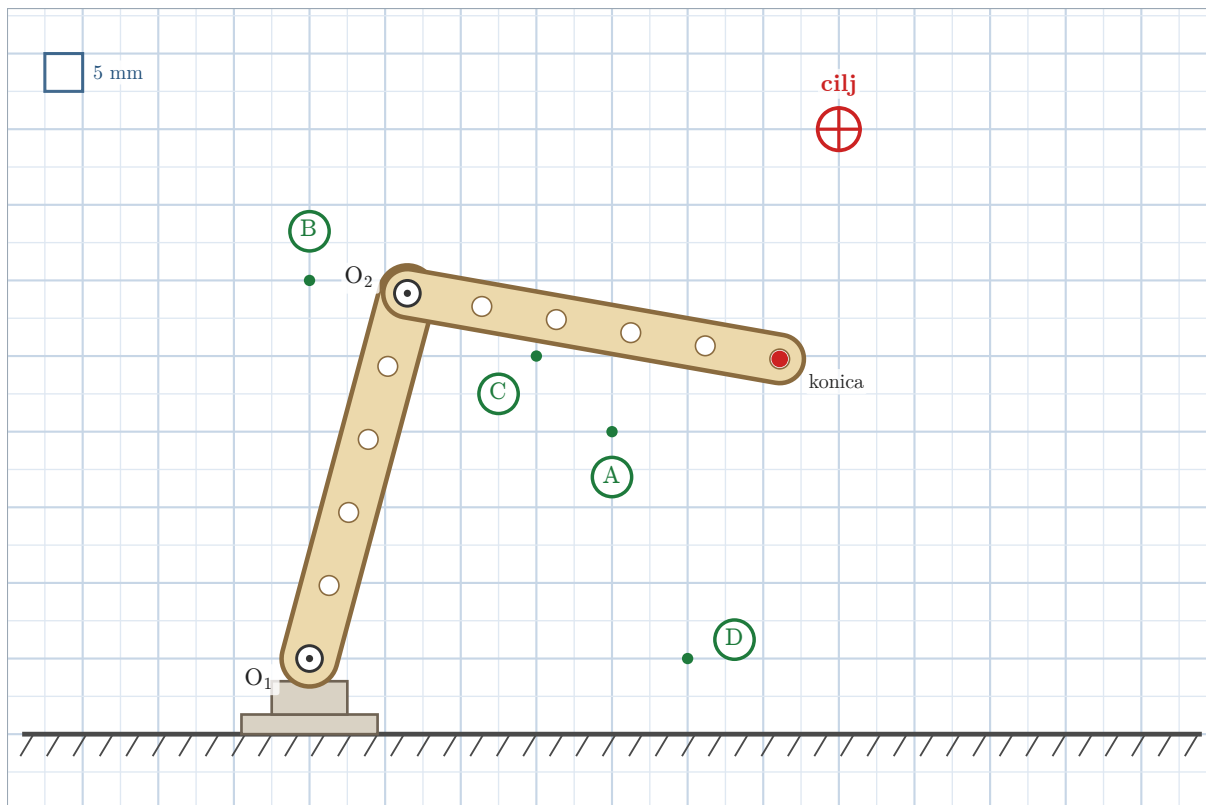
Vprašanje 2. Kako visoko nad tlemi je konica na svoji poti najvišje?

- A) 8 cm
- B) 9 cm
- C) 7 cm
- D) 6,5 cm

Naloga K19: Kje je lahko členek?

★★★★

Dvoročna roka ima dva toga nosilca. Roka 1 povezuje členek O_1 s členkom O_2 , roka 2 pa členek O_2 s konico. Obe roki sta dolgi **5 cm** in ju lahko z valjema poljubno zavrtimo. Konica mora doseči označeni cilj $\oplus$. Namig: členek O_2 mora biti hkrati 5 cm od O_1 in 5 cm od cilja, pomagaj si s šestilom!



Vprašanje 1. V katerih označenih točkah je lahko členek O_2 , da konica doseže cilj? (Možnih je več pravih odgovorov.)

- A) točka A
- B) točka B
- C) točka C
- D) točka D

Naloga K20: Čez oviro

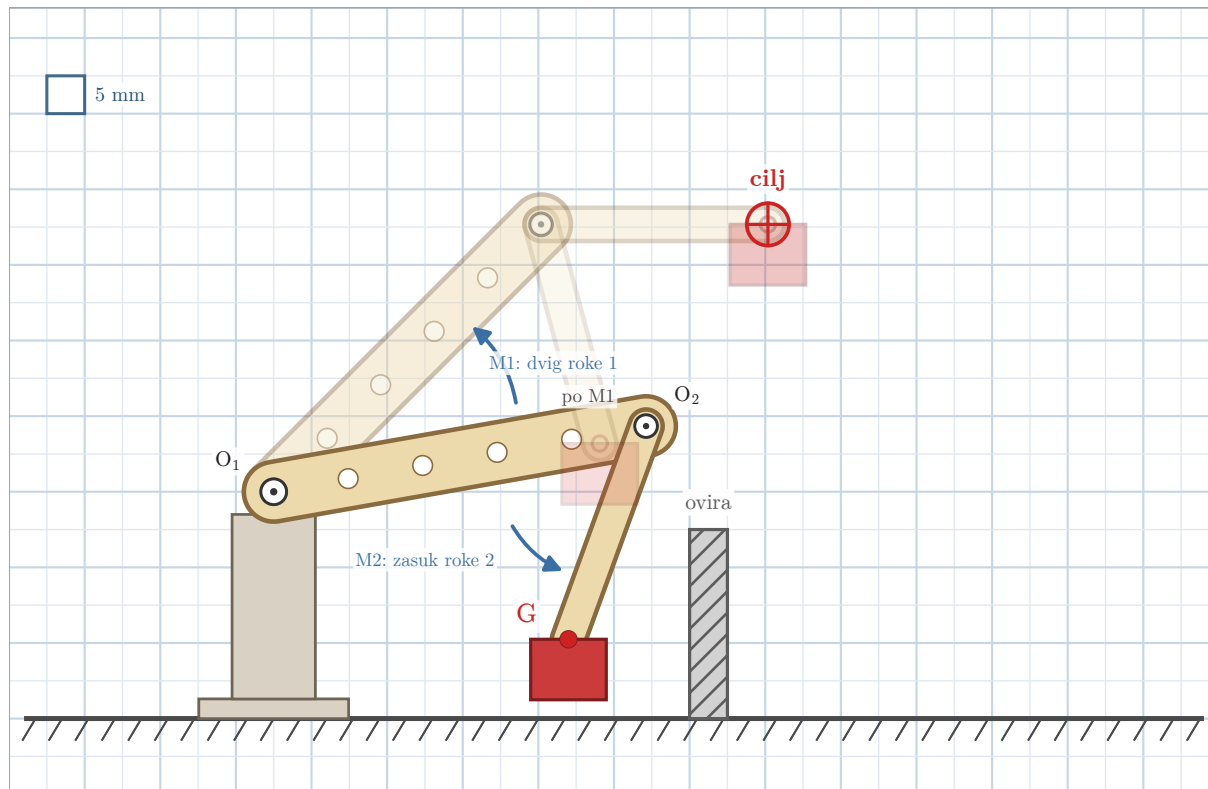
★★★★

Na koncu roke 2 visi breme, ki ga je treba prenesti čez oviro do označenega cilja. Na voljo sta dva giba, vsak se izvede v celoti:

M1 dvig roke 1, zasuk okoli O_1 v svetlo narisano lego,

M2 zasuk roke 2 naprej okoli členka O_2 .

Breme in roki se ovire ne smejo dotakniti.



Vprašanje 1. Kako moramo izvesti giba, da breme varno prenesemo do cilja?

- A) najprej M1, nato M2
- B) najprej M2, nato M1
- C) vrstni red ni pomemben, deluje oboje
- D) cilja sploh ni mogoče doseči

3 Rešitve 2. dela

K11: Poševni valj 1: A, 2: B skrček premakne točko T vzdolž osi valja proti podpori, 2,5 cm je 5 kvadratkov.

K12: Doseg konice A, C, D konica doseže natanko točke na krožnici s središčem O in polmerom 2,5 cm.

K13: Dvižni most 1: A, 2: A konica se po krožnici s polmerom 5 cm zavrti v navpično lego nad členkom, dvigne se za 5 cm.

K14: Izteg valja v levo A konstrukcija kot v nalogi K4: lok konice okoli O, +2 cm na podaljšku valja, lok okoli P, ravnilo skozi O in Q'.

K15: Skrček valja z bremenom 1: A, 2: A konica se po loku spusti v desno, breme ostane 3,5 cm navpično pod konico in se spusti za približno 2,5 cm.

K16: Dva valja: spust in skrček 1: A, 2: A po gibu ① dela konica lok okoli mirujočega členka O₂; členek O₂ med gibom ② miruje, ker roka 1 stoji.

K17: Voziček v levo 1: A, 2: A, B translacija za 2 cm v levo, nato lok okoli premaknjenega vrtilišča; pot je premica in nato lok.

K18: Pot konice 1: B, 2: A pot sta dva krožna loka, najprej okoli O₁, nato okoli O₂'; najvišja lega je v pregibu, 8 cm nad tlemi.

K19: Kje je lahko členek? A, C členek O₂ mora ležati na krožnici okoli O₁ in na krožnici okoli cilja (obe s polmerom 5 cm); pogoj izpolnjujeta natanko točki A in C, zato ima naloga dve rešitvi!

K20: Čez oviro A najprej je treba roko dvigniti z gibom M1, nato roko 2 zasukati naprej z gibom M2; vmesna lega po M1 pokaže, da roke 2 ni treba zasukati nazaj. Pri obratnem vrstnem redu breme zadene oviro.

Konec zbirke. Veliko uspeha na tekmovanju!

KRAUTOVO TEKMOVANJE IZ STROJNIŠTVA ZA OSNOVNE ŠOLE

Statika: vzvod in ravnotežje sil

gradivo LNMS za učenke in učence od 7. do 9. razreda in njihove mentorje

verzija: 12. avgust 2026

Kazalo

Kako uporabljati gradivo?	3
1 Osnovni del	4
2 Aplikativni del	39

Kako uporabljati gradivo?

Gradivo je namenjeno hkrati učenkam in učencem 7., 8. in 9. razreda ter njihovim mentorjem, zato med sklopi ni ene same „pravilne“ poti – spodnja tabela predlaga tri smiselne poti, glede na to, koliko časa in izziva si želimo.

Pot	Sklopi	Kaj osvojimo
Osnovna pot	Sklop 1–5	Vrtilni učinek, seštevanje sil na isti strani in ravnotežje na preprostem, ravnem vzvodu.
Razširjena pot	+ Sklop 6–7	Kotni vzvod in razstavljanje sile pod kotom – prve konstrukcije, ki niso raven element ali sila na njih ne deluje pravokotno.
Tekmovalni izziv	+ Sklop 8–9	Poševni element in hidravlični bat pod kotom – raven, na kateri so zastavljene naloge tekmovanja.

Zvezdice ob naslovu vsake naloge (★☆☆☆ do ★★★★★) merijo težavnost **te naloge same**, ne razreda, ki naj bi jo reševal – **niso starostna omejitev**. Sedmošolec, ki se dobro pripravi po osnovni poti, je na tekmovanju lahko enako uspešen kot devetošolec, ki obvlada vse sklope; pomembno je predvsem, da vsak napreduje do ravni, na kateri je še sproščen.

Kako rešujemo vaje?

Pri vsaki nalogi je rešitev že natisnjena zraven – v zelenem okvirčku „Odgovor“. Preden ga pogledamo, zeleni okvirček najprej pokrijmo z listom papirja in poskusimo nalogo rešiti sami; šele ko imamo svoj odgovor, papir umaknemo in preverimo. Tako gradivo resnično vadi, ne le razlaga.

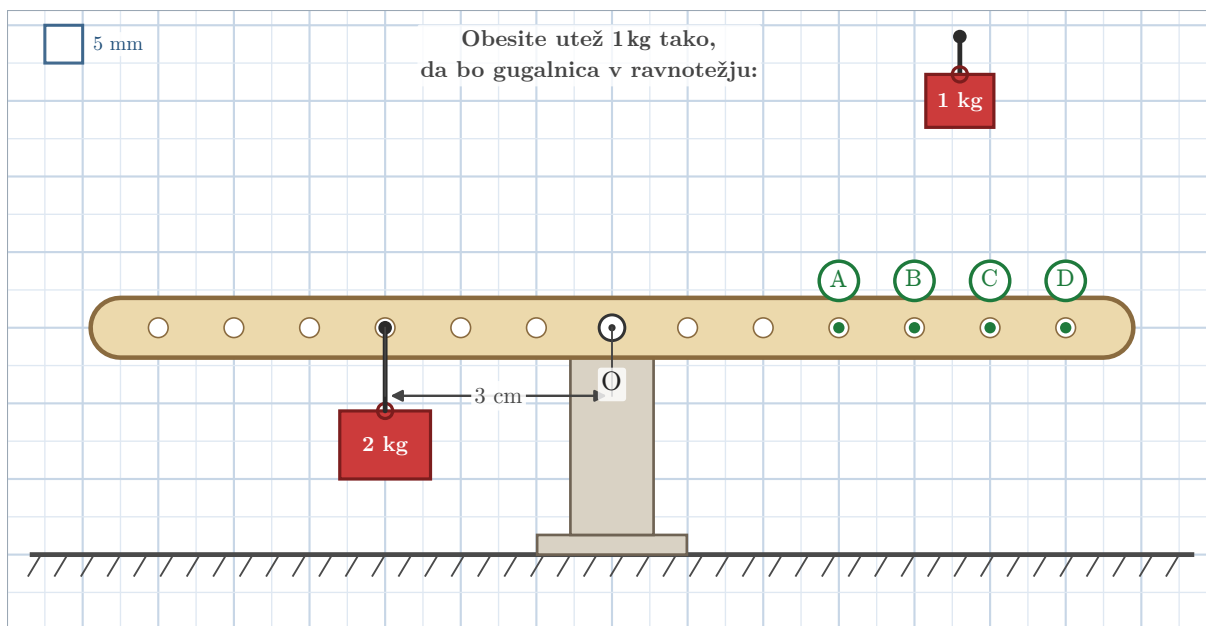
1 Osnovni del

Isto osnovno orodje uporabimo na vedno bolj realističnih primerih. Za vsako tematiko najprej v celoti, korak za korakom, rešimo eno nalogo; sledijo učni cilji in kje v praksi to uporabimo, nato pa še nekaj nalog za vajo (vse z rešitvami), da znanje utrdimo. Vrtilni učinek je produkt ročice in sile. Prikažemo ga kot ploščino pravokotnika na mreži. Težavnost posamezne naloge označujejo zvezdice: ★☆☆☆☆ osnovna, ★★☆☆☆ srednja, ★★★☆☆ težja, ★★★★★ izziv.

Naloga S1-1: Gugalnica v ravnotežju

★☆☆☆☆

Gugalnica miruje na podstavku s členkom O (opora). Tri centimetre levo od opore visi utež z maso 2 kg (teža 20 N). Na voljo imamo še utež z maso 1 kg (teža 10 N). Označena polja štejemo od opore O; uteži obešamo samo na označena (cela) polja.



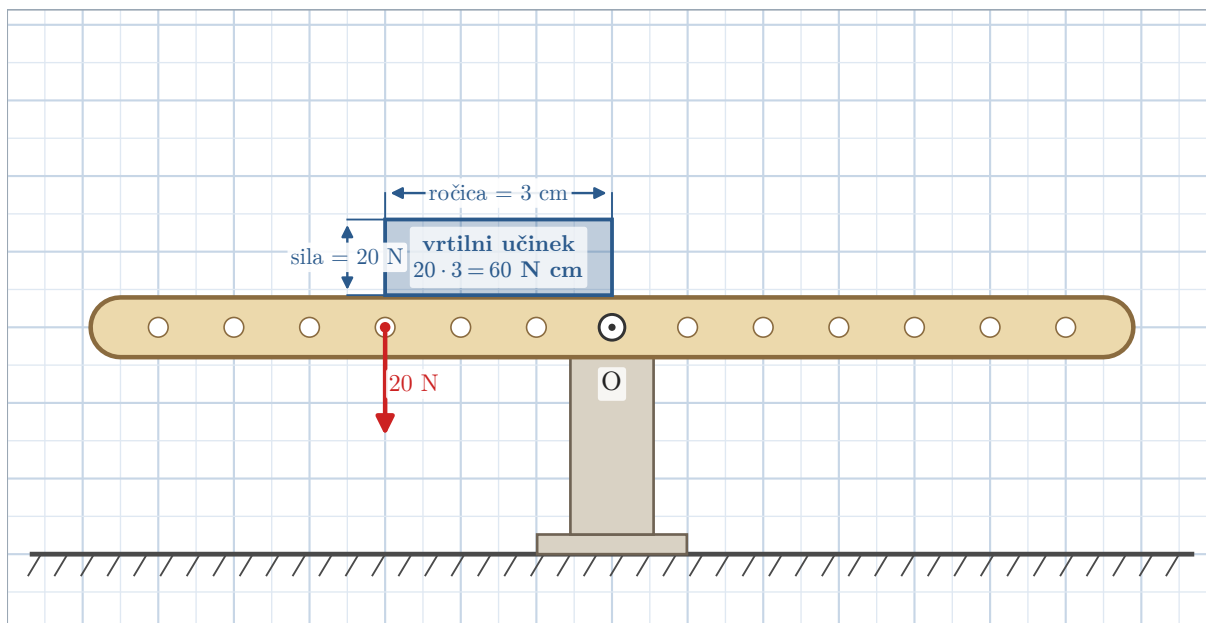
Vprašanje. Na katero označeno polje na desni strani moramo obesiti utež z maso 1 kg, da bo gugalnica v ravnotežju?

- A) polje A
- B) polje B
- C) polje C
- D) polje D

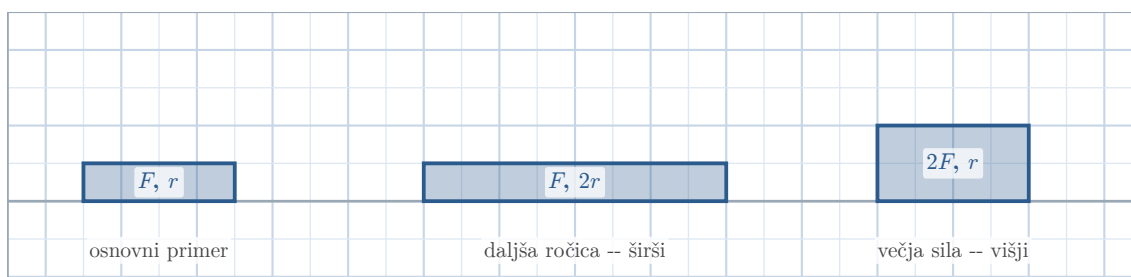
POSTOPEK REŠEVANJA

Da gugalnica ne zavrti, morata biti produkta sile in ročice na obeh straneh opore enaka – produkt, ki ga bomo imenovali **vrtilni učinek**, si predstavljamo kot **ploščino pravokotnika**, ki jo tvorita ročica in sila. Ročico merimo od osi vrtenja O do črte, po kateri deluje sila; ker v tej nalogi sile delujejo navpično, je ročica vodoravna razdalja od opore do uteži.

Če ročico in silo narišemo v merilu neposredno na gugalnici, njuni stranici natanko tvorita ta pravokotnik:

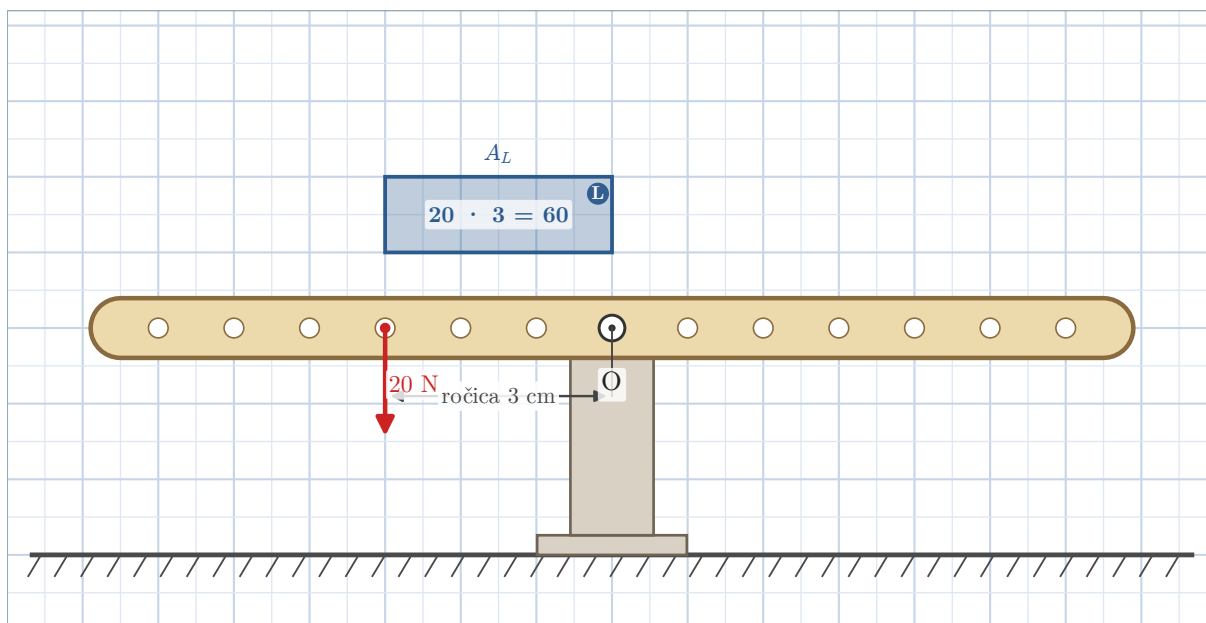


Podaljšamo katerokoli stranico – ročico ali silo – in ploščina (vrtilni učinek) se poveča:



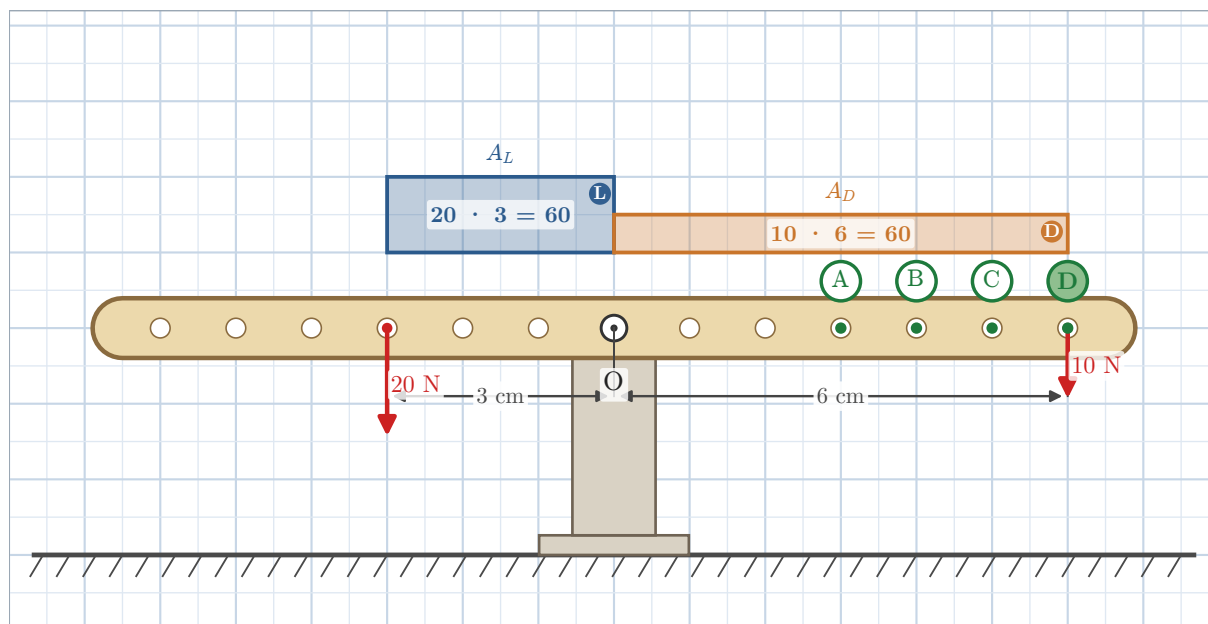
Zaradi preglednosti bomo pravokotnike odslej risali **ločeno nad mehanizmom**, na x-koordinati sile – tako jih bomo lahko primerjali tudi, kadar jih bo več (glej Sklop 2). Vse na **levi** strani opore bomo zaenkrat risali modro in označili z L, vse na **desni** strani pa oranžno in z D (v Sklopu 4 se ta dogovor spremeni).

Korak 1. Najprej pogledjmo levo stran. Utež 2 kg ima težo 20 N. V merilu sil (1 kvadratka = 10 N) je to puščica višine 2 kvadrata, 3 cm (polja) od opore. Njen vrtilni učinek je zato $A_L = 20 \text{ N} \cdot 3 \text{ cm} = 60 \text{ N cm}$.



Korak 2. Da bo gugalnica v ravnotežju, mora imeti pravokotnik na desni strani (utež 1 kg, sila 10 N) enako ploščino: $A_D = A_L = 60 \text{ N cm}$. Njegova širina (ročica) mora biti zato $60 \text{ N cm} / 10 \text{ N} = 6 \text{ cm}$,

torej 6 cm (polj) desno od opore. Na sliki izmerimo: to je polje **D**.



Odgovor: D. Preverimo: $A_L = 20 \text{ N} \cdot 3 \text{ cm} = 60 \text{ N cm}$ in $A_D = 10 \text{ N} \cdot 6 \text{ cm} = 60 \text{ N cm}$. Ker je $A_L = A_D$, je gugalnica v ravnotežju.

Kaj smo se naučili?

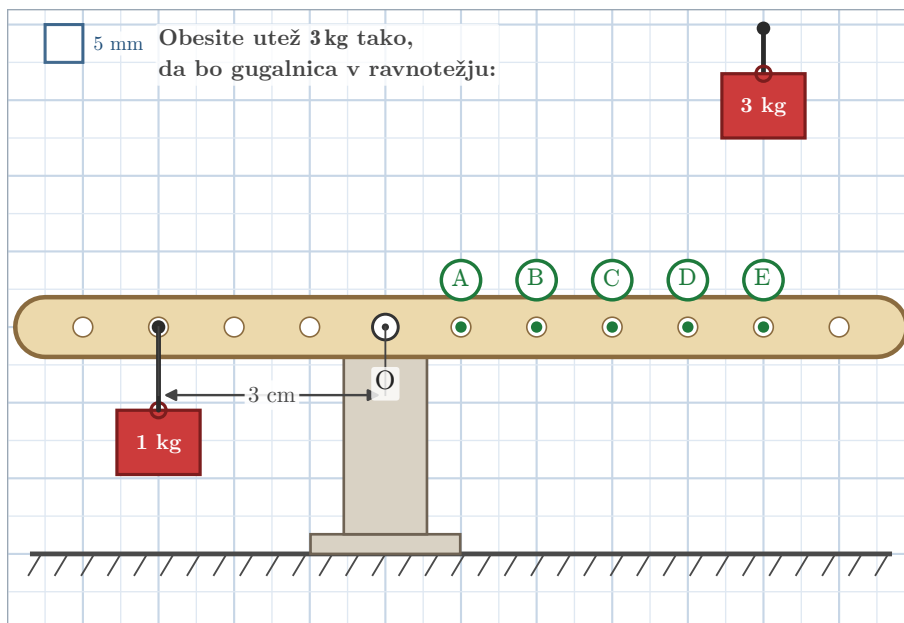
- da lažja utež lahko uravnoteži težjo, če je dlje od opore;
- da je **vrtilni učinek** uteži odvisen od njene teže in oddaljenosti od opore (ročice);
- kako vrtilna učinka primerjamo s ploščinama pravokotnikov na mreži.

Kje to uporabljamo?

Lažjo utež lahko uravnotežimo s težjo, če jo postavimo dlje od opore. Tukaj je desna utež dvakrat lažja, zato mora biti dvakrat dlje od opore ($3 \text{ cm} \times 2 = 6 \text{ cm}$). Isti princip, primerjavo ploščin pravokotnikov, uporabljamo tudi pri protiutežeh na žerjavih in drugih strojnih mehanizmih – tako v splošnem deluje vsak vzvod.

Naloga S1-2: Gugalnica v ravnotežju – vaja

Enako kot v prejšnji nalogi: utež z maso 1 kg (teža 10 N) visi 3 cm levo od opore O. Na voljo imamo tokrat utež z maso 3 kg (teža 30 N).



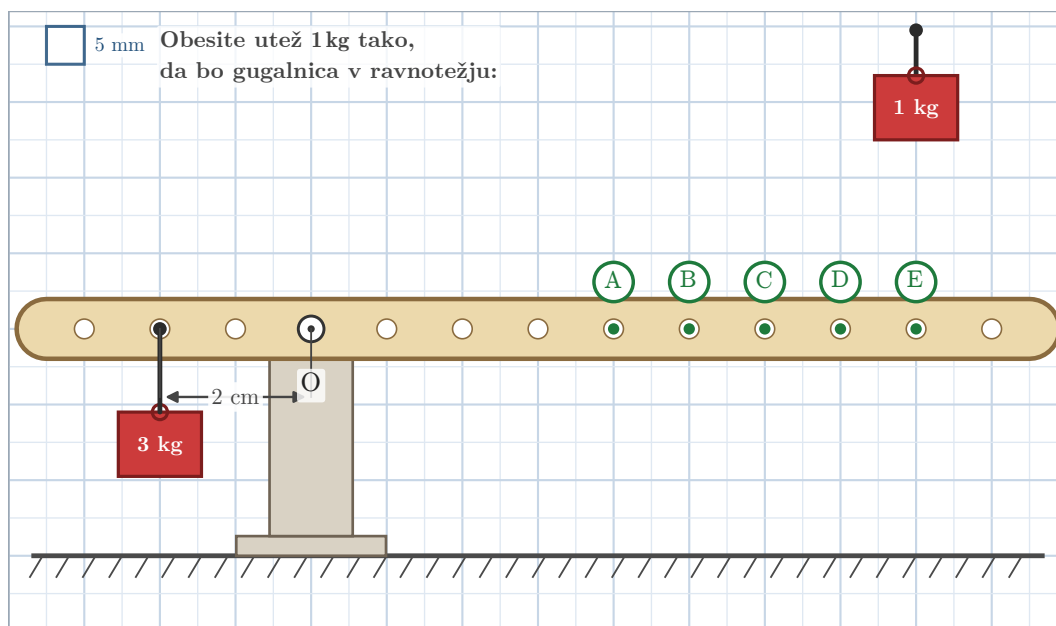
Vprašanje. Na katero označeno polje na desni moramo obesiti utež z maso 3 kg (teža 30 N), da bo gugalnica v ravnotežju?

- A) polje A
- B) polje B
- C) polje C
- D) polje D
- E) polje E

Odgovor: A (polje 1): $A_L = 10 \text{ N} \cdot 3 \text{ cm} = 30 \text{ N cm}$. Utež 3 kg (sila 30 N) zato potrebuje le ročico $30/30 = 1 \text{ cm}$.

Naloga S1-3: Gugalnica v ravnotežju – vaja

Enako kot v prejšnji nalogi: utež z maso 3 kg (teža 30 N) visi 2 cm levo od opore O.



Vprašanje. Na katero označeno polje na desni moramo obesiti utež z maso 1 kg (teža 10 N), da bo gugalnica v ravnotežju?

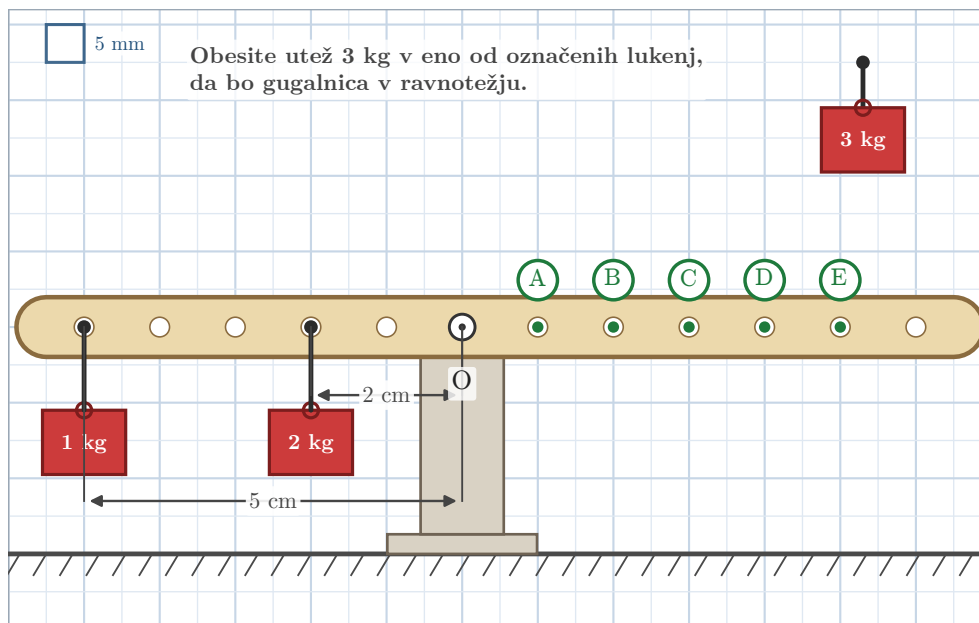
- A) polje A
- B) polje B
- C) polje C
- D) polje D
- E) polje E

Odgovor: C (polje 6): $30 \text{ N} \cdot 2 \text{ cm} = 10 \text{ N} \cdot 6 \text{ cm} = 60 \text{ N cm}$.

Naloga S2-1: Dve sili na isti strani



Na gugalnici visita na levi strani opore O dve uteži: 2 cm od opore utež z maso 2 kg (teža 20 N), 5 cm od opore pa utež z maso 1 kg (teža 10 N). Na desni strani še nimamo nič. Imamo še utež z maso 3 kg.



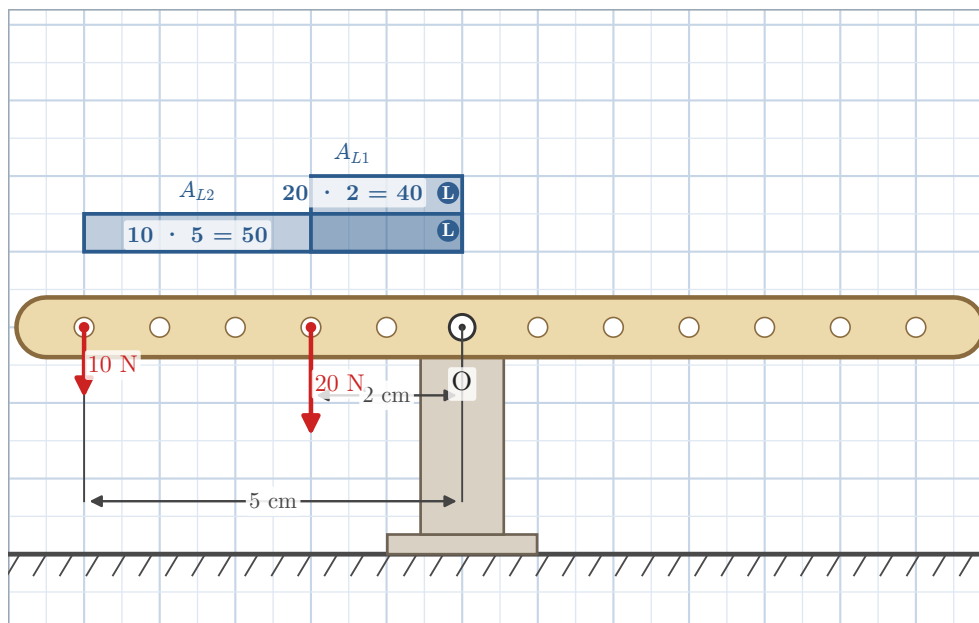
Vprašanje. Na katero označeno polje na desni moramo obesiti utež z maso 3 kg, da bo gugalnica v ravnotežju?

- A) polje A
- B) polje B
- C) polje C
- D) polje D
- E) polje E

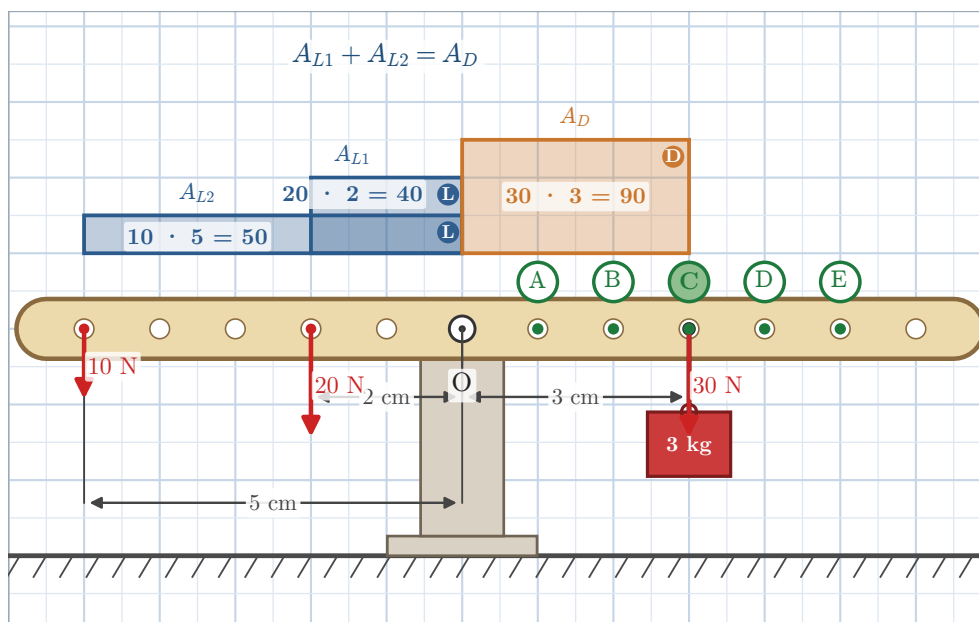
POSTOPEK REŠEVANJA

Na levi strani delujeta hkrati dve sili. Vsaka proizvaja svoj lasten vrtilni učinek, zato zanju narišemo dva samostojna pravokotnika in ju seštejemo, preden ju primerjamo z desno stranjo. Pri obeh pa upoštevamo, da delujeta glede na isto os vrtilišča (za določitev ročice). Za statično ravnotežje (vrtenje) mora namreč veljati: vsota vseh vrtilnih učinkov na levi strani = vsota vseh vrtilnih učinkov na desni strani, kjer „=“ pomeni, da morata biti enaki.

Korak 1. Utež 2 kg (sila 20 N), 2 cm od opore: $A_{L1} = 20 \text{ N} \cdot 2 \text{ cm} = 40 \text{ N cm}$. Utež 1 kg (sila 10 N), 5 cm od opore: $A_{L2} = 10 \text{ N} \cdot 5 \text{ cm} = 50 \text{ N cm}$. Skupaj: $A_{L1} + A_{L2} = 40 + 50 = 90 \text{ N cm}$.



Korak 2. Utež 3 kg (sila 30 N) na desni strani potrebuje enak skupni učinek: $A_D = 90 \text{ N cm}$. Njena ročica je zato $90 \text{ N cm} / 30 \text{ N} = 3 \text{ cm}$. Na sliki izmerimo: to je polje C.



Odgovor: C. Preverimo: $A_{L1} + A_{L2} = 40 + 50 = 90 \text{ N cm}$ in $A_D = 30 \text{ N} \cdot 3 \text{ cm} = 90 \text{ N cm}$. Ker sta enaka, je gugalnica v ravnotežju.

Kaj smo se naučili?

- da lahko na isti strani vzvoda hkrati delujeta dve (ali več) sili; vrtilne učinke te strani med seboj seštejemo, če delujejo v isto smer;
- da vsaka sila dobi svoj samostojen pravokotnik. Pravokotnikov ne združujemo, le seštejemo njune ploščine;
- da za ravnotežje velja: vsota učinkov na levi strani = vsota učinkov na desni strani;
- barve so vezane na **stran** opore (kot v Sklopu 1): vse na levi strani so modre in označene z L, vse na desni oranžne in z D – ne glede na to, ali je posamezna sila znana ali iskana.

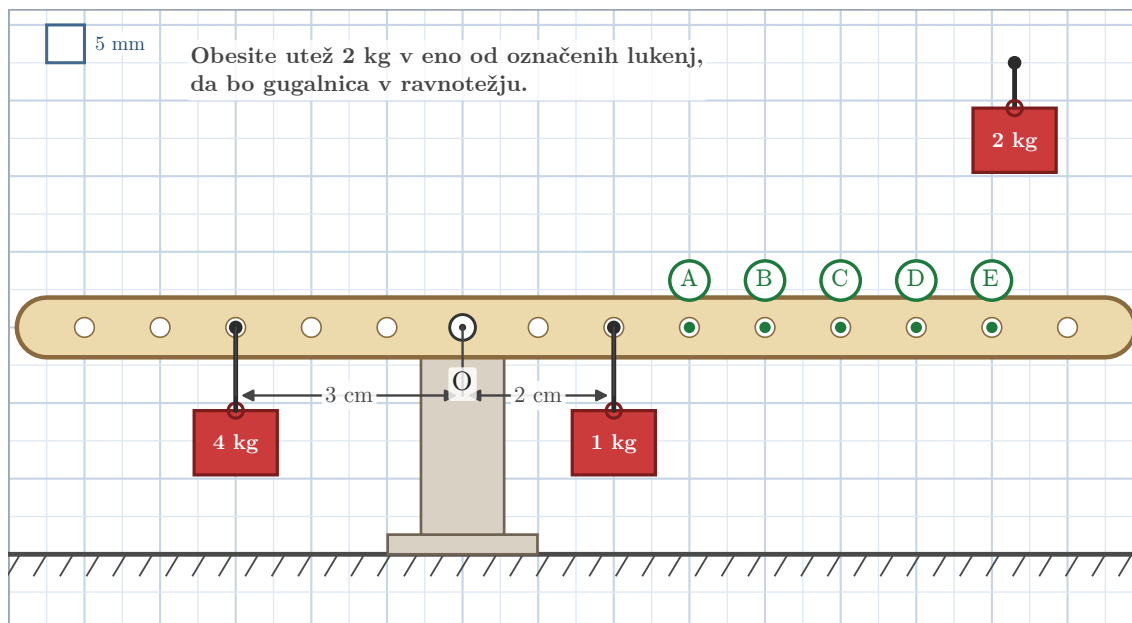
Kje to uporabljamo?

Če je na eni strani vzvoda več sil, njihove vrtilne učinke seštejemo, preden jih primerjamo z nasprotno stranjo. To potrebujemo vsakič, ko je na mehanizmu več kot ena utež na isti strani.

Naloga S2-2: Dve sili na isti strani – vaja



Tokrat je ena sila že vnaprej obešena na isti strani, kot iščemo drugo. Na gugalnici, 3 cm levo od opore O, visi utež z maso 4 kg (teža 40 N). Na desni strani, 2 cm od opore, že visi utež z maso 1 kg (teža 10 N). Še vedno imamo utež z maso 2 kg.



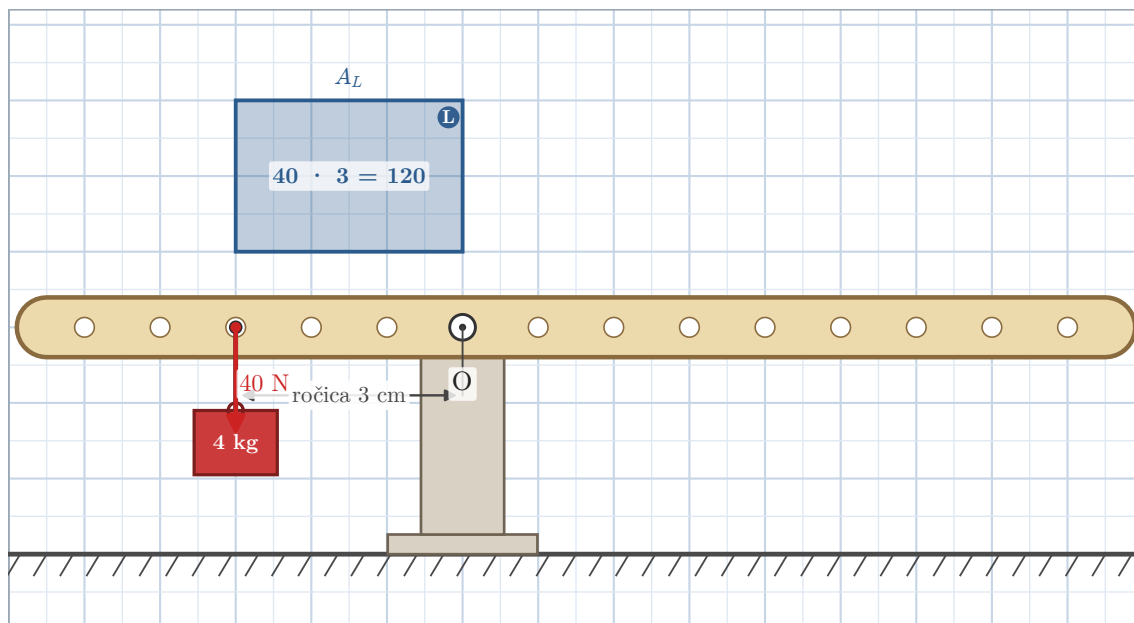
Vprašanje. Na katero označeno polje na desni moramo obesiti utež z maso 2 kg, da bo gugalnica v ravnotežju?

- A) polje A
- B) polje B
- C) polje C
- D) polje D
- E) polje E

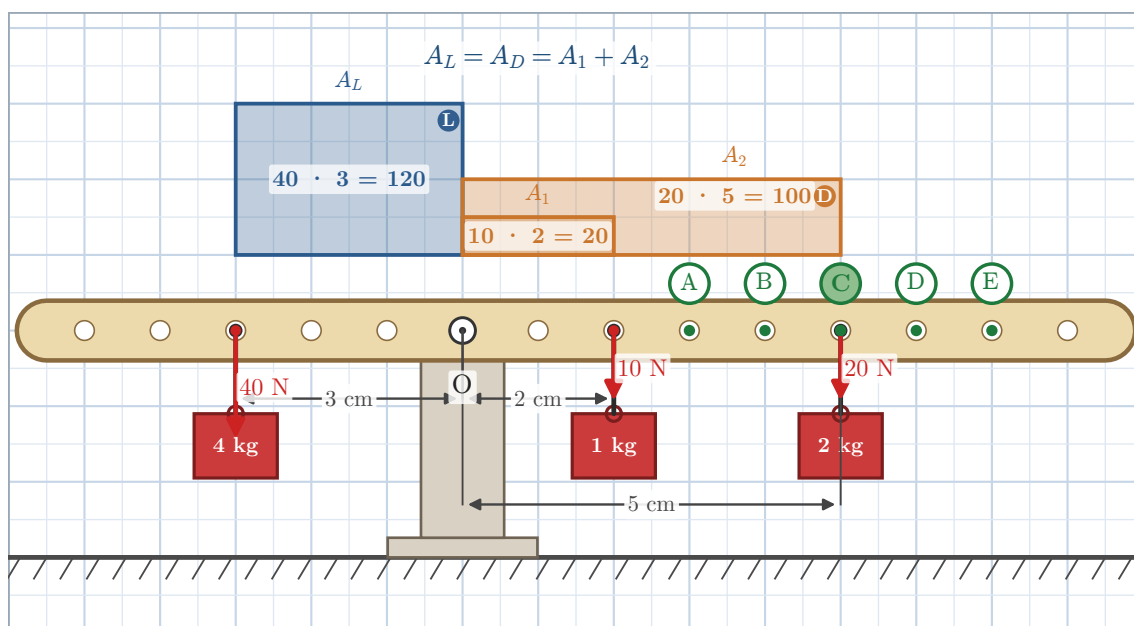
POSTOPEK REŠEVANJA

Tokrat je na desni strani že ena sila. Preden lahko rešimo nalogo, moramo njen vrtilni učinek prišteti k tistemu, ki ga iščemo.

Korak 1. Najprej rešimo levo stran, enako kot prej. Utež 4 kg ima težo 40 N, 3 cm od opore. Njen vrtilni učinek je $A_L = 40 \text{ N} \cdot 3 \text{ cm} = 120 \text{ N cm}$.



Korak 2. Skupni vrtilni učinek desne strani označimo z A_D ; ta mora biti enak A_L . Na desni strani že visi utež 1 kg, 2 cm od opore: njen vrtilni učinek je $A_1 = 10 \text{ N} \cdot 2 \text{ cm} = 20 \text{ N cm}$. Utež 2 kg (sila 20 N) mora zato prispevati še $A_2 = A_L - A_1 = 120 - 20 = 100 \text{ N cm}$. Njena ročica je $100 \text{ N cm} / 20 \text{ N} = 5 \text{ cm}$. Na sliki izmerimo: to je polje **C**.

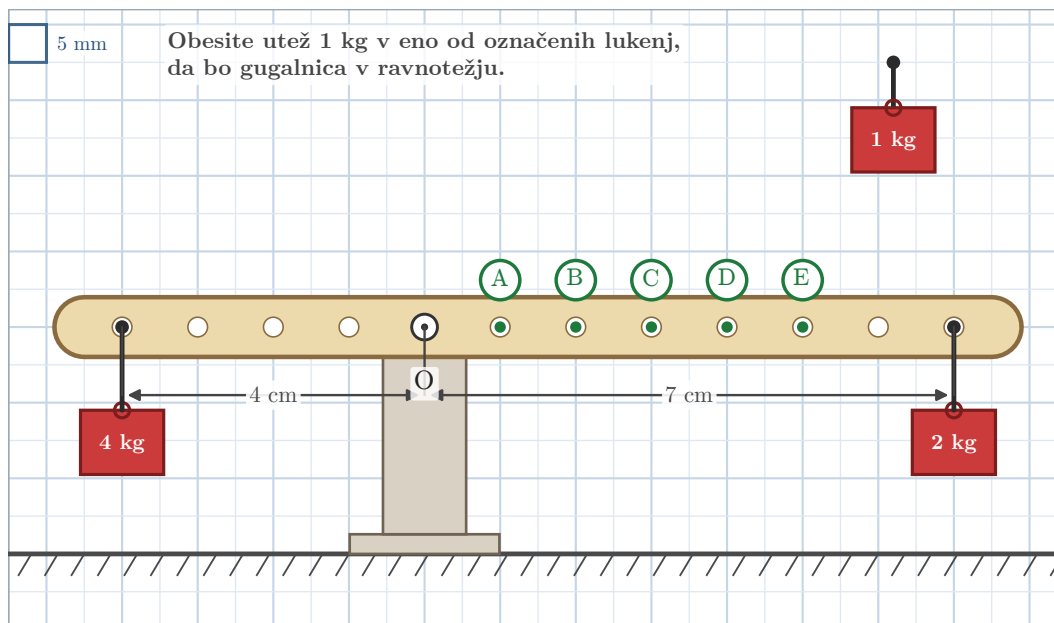


Odgovor: C. Preverimo: $A_L = 120 \text{ N cm}$ in $A_D = A_1 + A_2 = 20 + 100 = 120 \text{ N cm}$. Ker je $A_L = A_D$, je gugalnica v ravnotežju.

Naloga S2-3: Dve sili na isti strani – vaja



Na gugalnici, 4 cm levo od opore O, visi utež z maso 4 kg (teža 40 N). Na desni strani, 7 cm od opore, že visi utež z maso 2 kg (teža 20 N). Še vedno imamo utež z maso 1 kg.



Vprašanje. Na katero označeno polje na desni moramo obesiti utež z maso 1 kg, da bo gugalnica v ravnotežju?

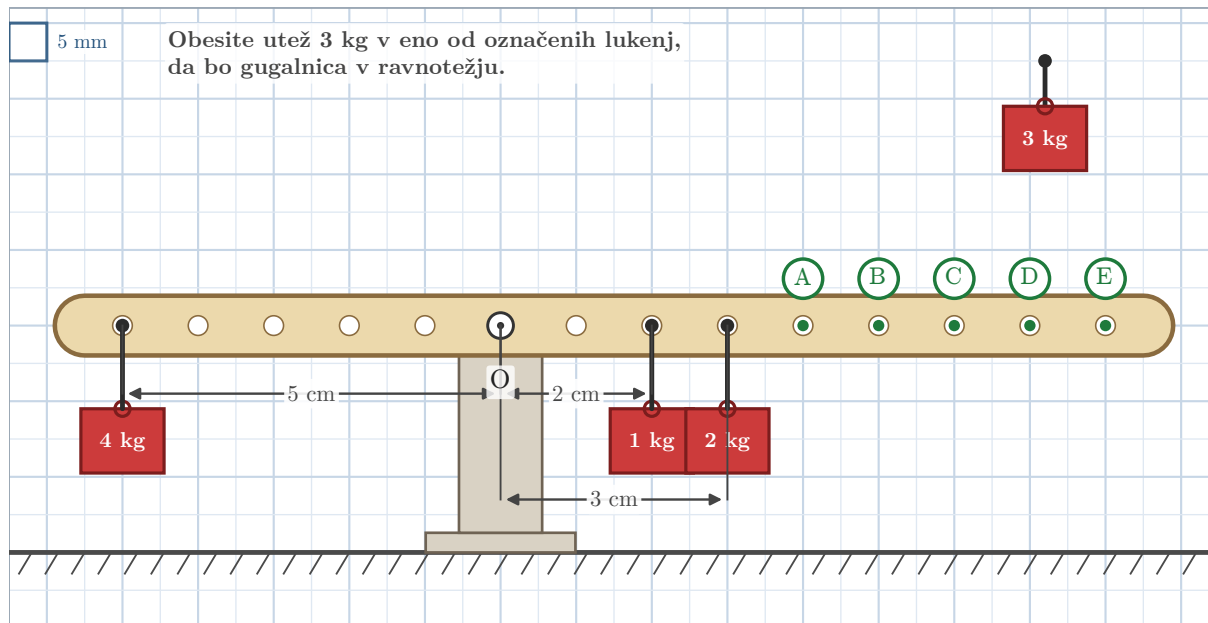
- A) polje A
- B) polje B
- C) polje C
- D) polje D
- E) polje E

Odgovor: B (polje 2). $A_L = 40 \text{ N} \cdot 4 \text{ cm} = 160 \text{ N cm}$. Na desni že imamo $20 \text{ N} \cdot 7 \text{ cm} = 140 \text{ N cm}$. Manjkajo še $160 - 140 = 20 \text{ N cm}$, torej $20 \text{ N cm} / 10 \text{ N} = 2 \text{ cm}$.

Naloga S2-4: Dve sili na isti strani – vaja



Na gugalnici, 5 cm levo od opore O, visi utež z maso 4 kg (teža 40 N). Na desni strani že visita dve uteži: 2 cm od opore utež z maso 1 kg (teža 10 N), 3 cm od opore pa utež z maso 2 kg (teža 20 N). Še vedno imamo utež z maso 3 kg.



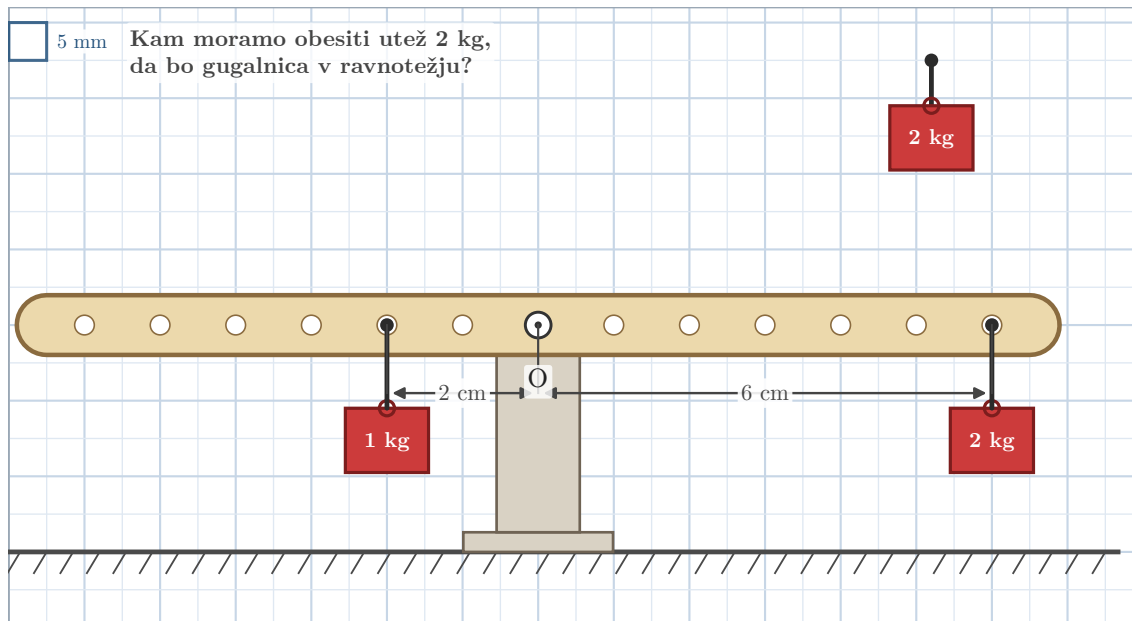
Vprašanje. Na katero označeno polje na desni moramo obesiti utež z maso 3 kg, da bo gugalnica v ravnotežju?

- A) polje A
- B) polje B
- C) polje C
- D) polje D
- E) polje E

Odgovor: A (polje 4). $A_L = 40 \cdot 5 = 200 \text{ N cm}$. Na desni že imamo $10 \cdot 2 + 20 \cdot 3 = 20 + 60 = 80 \text{ N cm}$. Manjkajo še $200 - 80 = 120 \text{ N cm}$, torej $120/30 = 4 \text{ cm}$.

Naloga S2-5: Presežek na desni strani

Na gugalnici, 2 cm levo od opore O, visi utež z maso 1 kg (teža 10 N). Na desni strani, 6 cm od opore, visi utež z maso 2 kg (teža 20 N). Gugalnica ni v ravnotežju. Še vedno imamo utež z maso 2 kg.



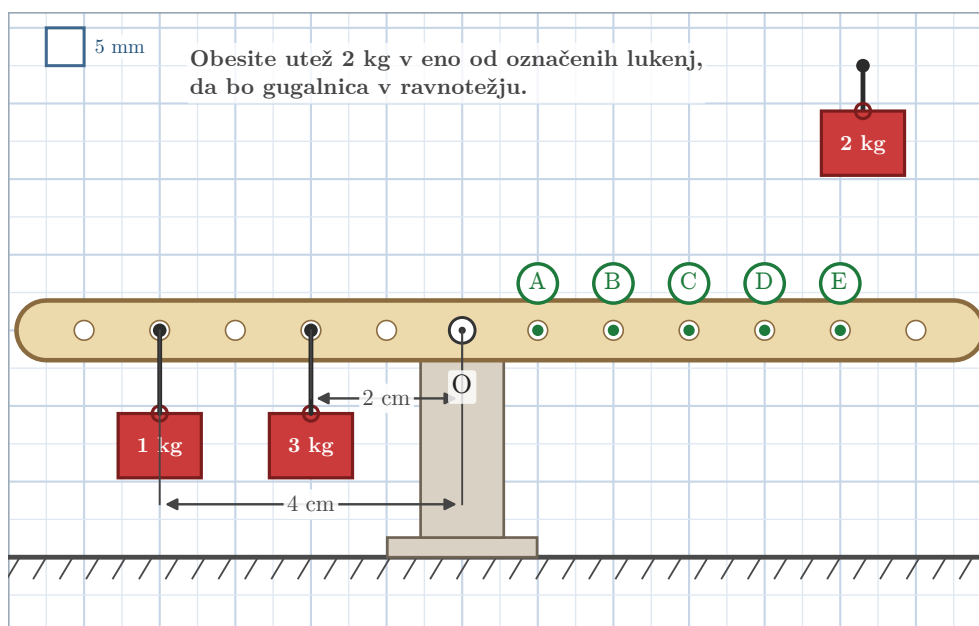
Vprašanje. Kam moramo obesiti to utež, da bo gugalnica v ravnotežju? Razdaljo in stran zapiši sam/a.

Odgovor: 5 cm levo od opore (torej se prišteje k že obešeni levi uteži, ne desni). Desna stran: $20\text{ N} \cdot 6\text{ cm} = 120\text{ N cm}$. Leva stran ima trenutno le $10\text{ N} \cdot 2\text{ cm} = 20\text{ N cm}$. Manjkajo še $120 - 20 = 100\text{ N cm}$, torej $100\text{ N cm} / 20\text{ N} = 5\text{ cm}$ – na levo stran, saj je desna stran tista, ki prevladuje in jo moramo uravnotežiti.

Naloga S2-6: Lov na napako: Mihova rešitev



Miha rešuje podobno nalogo kot S2-1: na gugalnici visita na levi strani opore O dve uteži – 3 kg (teža 30 N), 2 cm od opore, in 1 kg (teža 10 N), 4 cm od opore. Na voljo ima še utež 2 kg (teža 20 N), ki jo mora obesiti na desno stran. Miha računa takole: „Skupna sila na levi je $30 + 10 = 40$ N, skupna ročica pa $2 + 4 = 6$ cm, torej je vrtilni učinek $40 \cdot 6 = 240$ N cm. Ročica moje uteži mora biti $240/20 = 12$ cm.“

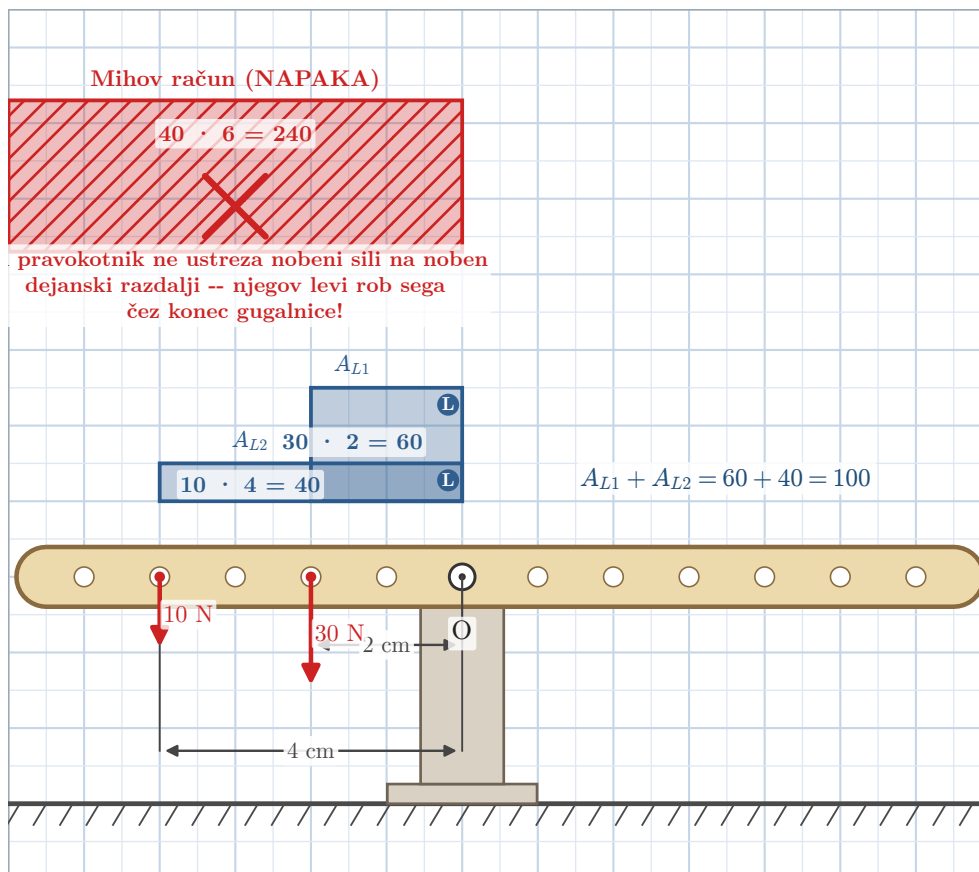


Vprašanje. Ali je Mihov postopek pravilen? Če ni, poišči napako in nato pravilno rešitev.

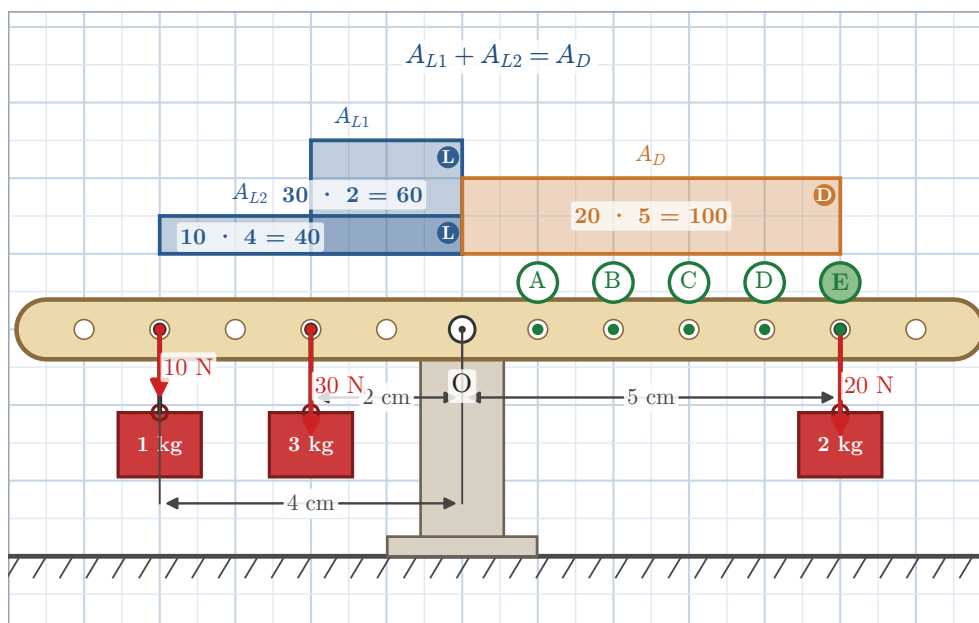
POSTOPEK REŠEVANJA

Mihova napaka je v tem, da je sili in ročici seštel **pred** množenjem, namesto da bi vsako silo obravnaval ločeno. To ni dovoljeno: $(a + b) \cdot (c + d)$ ni enako $a \cdot c + b \cdot d$. Vsaka sila ustvari svoj lasten vrtilni učinek, ki ga izračunamo ločeno; šele nato seštejemo dobljeni ploščini (enako kot v S2-1). Tudi če ne bi takoj videli napake v računu, bi jo razkrila geometrija: Mihova „skupna ročica“ 6 cm je daljša od razdalje do katerekoli od obeh dejanskih uteži (največ 4 cm) – pravokotnik s tako širino bi segal čez konec gugalnice, kar pomeni, da ne ustreza nobeni resnični sili na noben resnični razdalji.

Korak 1. Vsako silo obravnavamo ločeno: $A_{L1} = 30 \text{ N} \cdot 2 \text{ cm} = 60 \text{ N cm}$, $A_{L2} = 10 \text{ N} \cdot 4 \text{ cm} = 40 \text{ N cm}$. Skupaj: $A_{L1} + A_{L2} = 60 + 40 = 100 \text{ N cm}$ – to je manj kot polovica Mihovega (napačnega) rezultata 240.



Korak 2. Utež 2 kg (sila 20 N) na desni potrebuje enak skupni učinek: $A_D = 100 \text{ N cm}$, torej ročica $100/20 = 5 \text{ cm}$. Na sliki izmerimo: to je polje **E**.

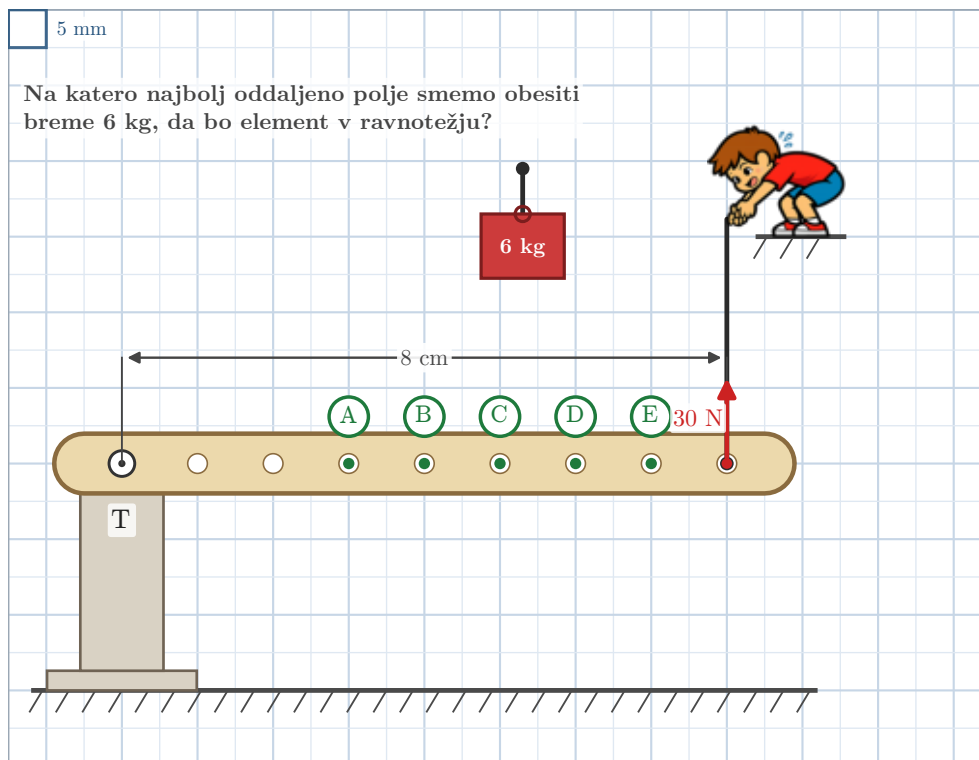


Odgovor: Mihov postopek **ni** pravilen. Pravilna rešitev je polje **E** (5 cm), ne 12 cm, kot je izračunal Miha. Preverimo: $A_{L1} + A_{L2} = 60 + 40 = 100 \text{ N cm} = 20 \text{ N} \cdot 5 \text{ cm}$.

Naloga S3-1: Tečajni element: največji doseg bremena

★★★★

Element je vpet v tečaju T na enem koncu in se prosto vrti. Na element bi radi obesili breme z maso 6 kg. Na drugem koncu, 8 cm od tečaja, ga prek vrvice drži deček. Deček lahko vleče z največjo silo 30 N. Označena polja štejejo od tečaja; breme obesimo samo na označeno (celo) polje.



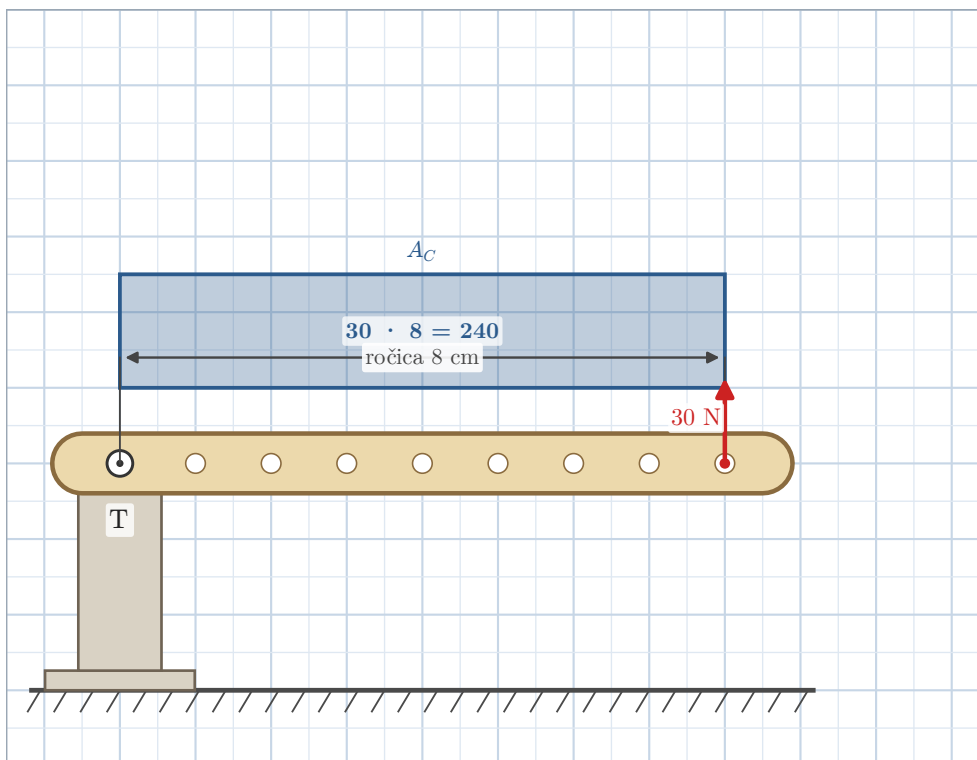
Vprašanje. Na katero najbolj oddaljeno označeno polje smemo obesiti breme z maso 6 kg, da bo element v ravnotežju?

- A) polje A
- B) polje B
- C) polje C
- D) polje D
- E) polje E

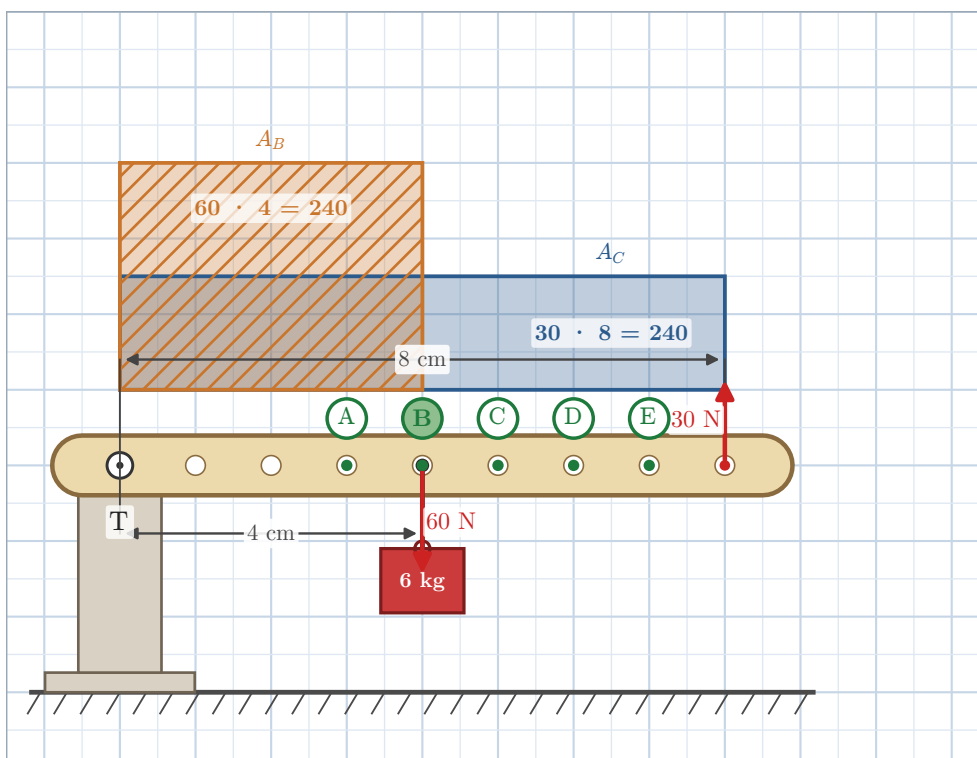
POSTOPEK REŠEVANJA

Isto orodje kot v Sklopu 1 (ploščina pravokotnika) uporabimo tokrat obratno: namesto ravnotežne lege iščemo **največjo** dovoljeno lego bremena. Ker iščemo najbolj oddaljeno lego, gledamo mejni primer: tam mora deček vleči z največjo silo, ki jo zmore (30 N), zato na iskani legi vrtilna učinka izenačimo. Če je breme bližje tečaju, ga deček lahko zadrži z manjšo silo; na najbolj oddaljeni dovoljeni legi pa mora uporabiti vso svojo moč.

Korak 1. Deček vleče s silo 30 N, 8 cm od tečaja. Njegov vrtilni učinek $A_C = 30 \text{ N} \cdot 8 \text{ cm} = 240 \text{ N cm}$ je zgornja meja: vrtilni učinek bremena je ne sme preseči.



Korak 2. Breme vleče navzdol, deček pa navzgor – učinka delujeta v **nasprotno** smer, zato je pravokotnik bremena A_B na sliki šrafiren; njegovo ploščino odštevamo, ne prištevamo. Na najbolj oddaljeni (mejni) legi deček uporabi vso svojo moč, zato velja $A_B = A_C$: breme 6 kg (sila 60 N) na razdalji r : $60 \text{ N} \cdot r = 240 \text{ N cm}$, torej $r = 240/60 = 4 \text{ cm}$. Največja dovoljena lega je zato polje **B** (4 cm).



Odgovor: B. Preverimo: $60 \text{ N} \cdot 4 \text{ cm} = 240 \text{ N cm} = A_C$ – element je natanko v ravnotežju.

Kaj smo se naučili?

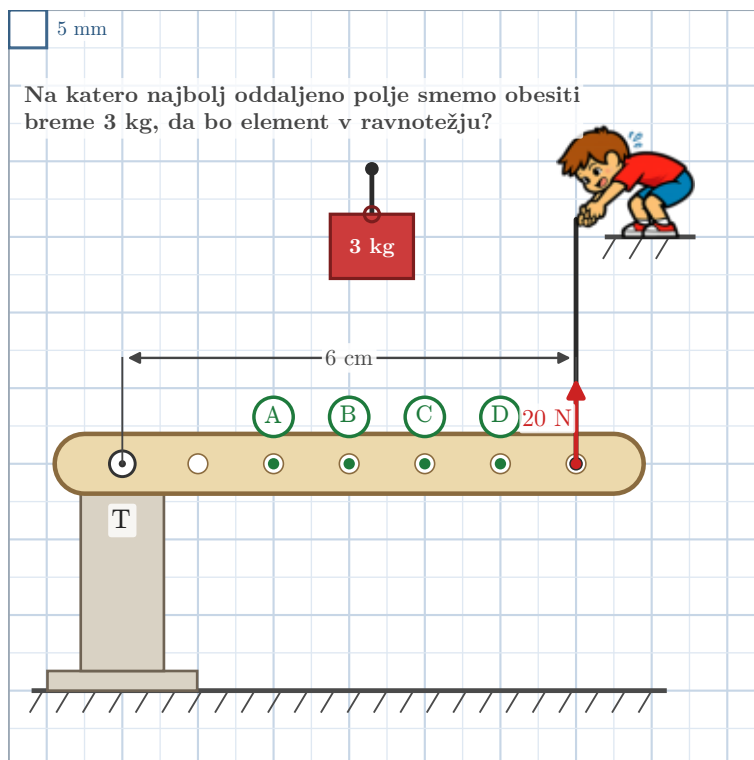
- da isto orodje (ploščine pravokotnikov) uporabimo tudi za iskanje **največje** dovoljene lege, ne le ravnotežja;
- da ima dečkova sila zgornjo mejo (**največ** toliko, kolikor zmore); na najbolj oddaljeni (mejni) legi jo uporabi v celoti, zato velja „=“;
- da moramo pri iskanju cele lege vedno preveriti sosednje polje;
- da ploščino, ki deluje v nasprotno smer, odštevamo. Dogovor je le to, katero smer vrtenja označimo s plusom in katero z minusom.

Kje to uporabljamo?

Vprašanje „do kod sme breme, da mehanizem ostane v ravnotežju“ je temeljno vprašanje pri načrtovanju vsakega dviznega mehanizma. Enako vprašanje rešujemo pri pravem tekmovanju: koliko sme breme obremeniti konstrukcijo na dani legi. Dečkov vlek prek vrvice si lahko predstavljamo tudi kot delovanje hidravličnega bata – z enakim računom bi ugotovili, kakšno silo mora prenašati bat, ali pa koliko obtežbe lahko prenese dečkova vrstica.

Naloga S3-2: Tečajni element: največji doseg bremena – vaja

Element je vpet v tečaju T na enem koncu. Na element bi radi obesili breme z maso 3 kg. Na drugem koncu, 6 cm od tečaja, ga prek vrvice drži deček. Deček lahko vleče z največjo silo 20 N.



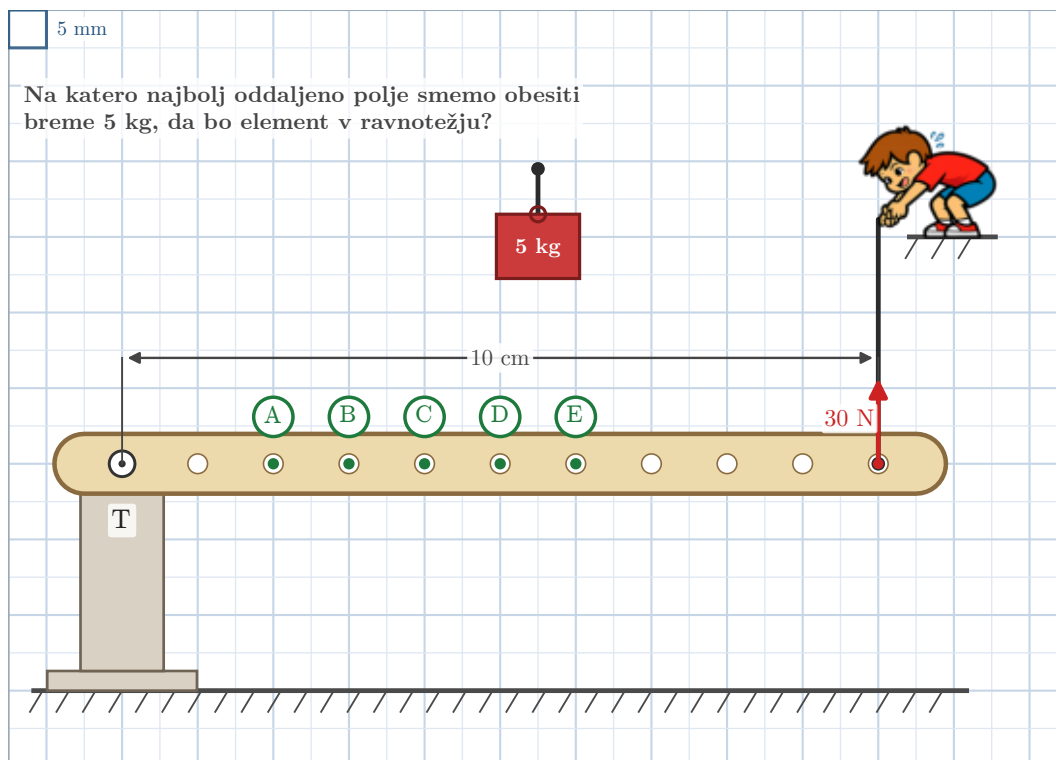
Vprašanje. Na katero najbolj oddaljeno označeno polje smemo obesiti breme z maso 3 kg, da bo element v ravnotežju?

- A) polje A
- B) polje B
- C) polje C
- D) polje D

Odgovor: C (polje 4). $A_C = 20 \text{ N} \cdot 6 \text{ cm} = 120 \text{ N cm}$. Breme 3 kg (sila 30 N): $r = 120/30 = 4 \text{ cm}$.

Naloga S3-3: Tečajni element: največji doseg bremena – vaja

Element je vpet v tečajju T na enem koncu. Na element bi radi obesili breme z maso 5 kg. Na drugem koncu, 10 cm od tečaja, ga prek vrvice drži deček. Deček lahko vleče z največjo silo 30 N.



Vprašanje. Na katero najbolj oddaljeno označeno polje smemo obesiti breme z maso 5 kg, da bo element v ravnotežju?

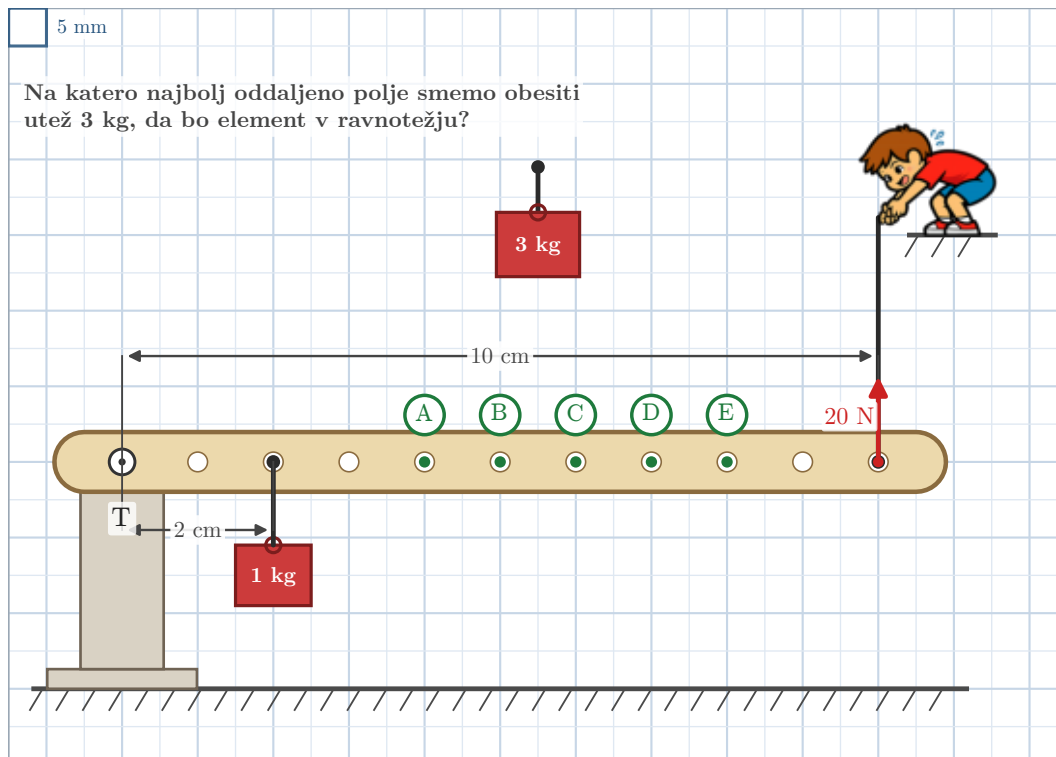
- A) polje A
- B) polje B
- C) polje C
- D) polje D
- E) polje E

Odgovor: E (polje 6). Breme je sicer težje kot v prejšnji nalogi, a deček tokrat vleče močneje in dlje od tečaja, zato ustvari večji vrtilni učinek: $A_C = 30 \text{ N} \cdot 10 \text{ cm} = 300 \text{ N cm}$. Breme 5 kg (sila 50 N): $r = 300/50 = 6 \text{ cm}$.

Naloga S3-4: Tečajni element: eno breme dano, drugo iščemo – vaja

★★★☆☆

Element je vpet v tečajju T na enem koncu. Na drugem koncu, 10 cm od tečaja, ga prek vrvice drži deček. Deček lahko vleče z največjo silo 20 N. Na elementu že visi utež z maso 1 kg, 2 cm od tečaja. Imamo še utež z maso 3 kg.



Vprašanje. Na katero najbolj oddaljeno označeno polje smemo obesiti utež z maso 3 kg, da bo element (skupaj z že obešeno utežjo) v ravnotežju?

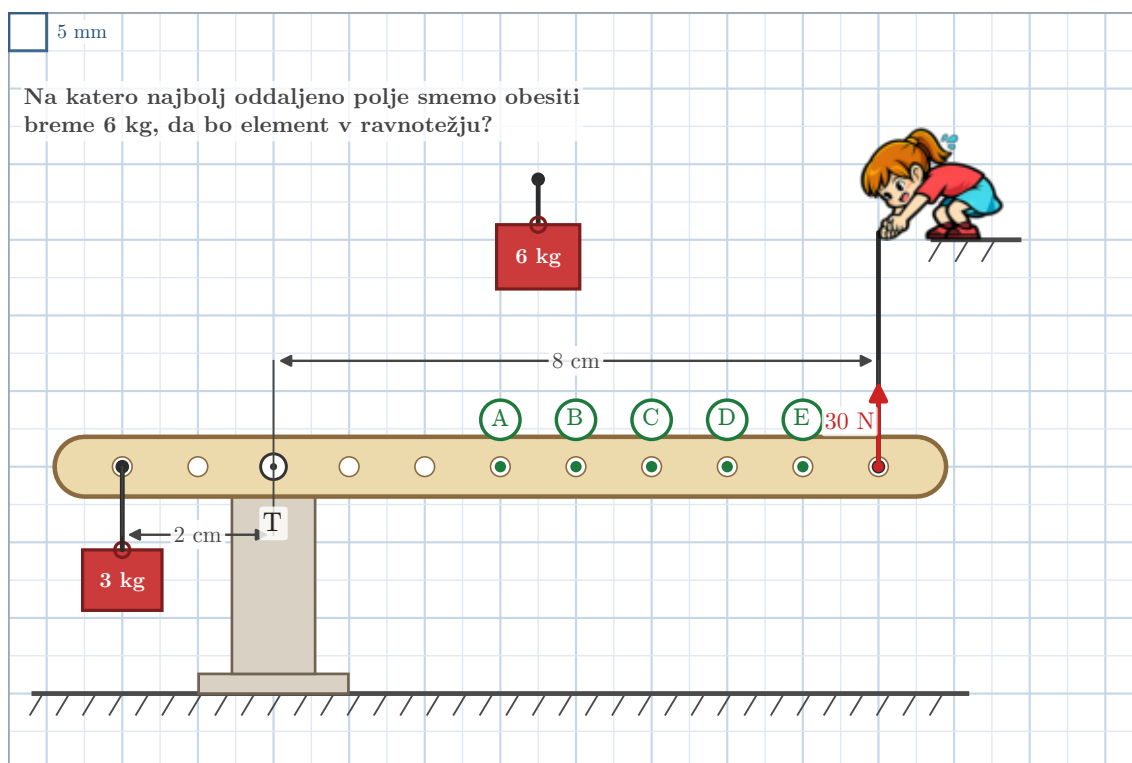
- A) polje A
- B) polje B
- C) polje C
- D) polje D
- E) polje E

Odgovor: C (polje 6). Že obešena utež 1 kg (sila 10 N), 2 cm od tečaja, ima vrtilni učinek $10 \cdot 2 = 20 \text{ N cm}$; to moramo odšteti od dečkove meje. Dečkova meja je $A_C = 20 \text{ N} \cdot 10 \text{ cm} = 200 \text{ N cm}$, na voljo torej ostane $200 - 20 = 180 \text{ N cm}$. Utež 3 kg (sila 30 N): $r = 180/30 = 6 \text{ cm}$.

Naloga S4-1: Protiutež pomaga deklici



Enako kot v Sklopu 3: element je vpet v tečajju T in se prosto vrti; 8 cm od tečaja ga prek vrvice drži deklica. Deklica lahko vleče z največjo silo 30 N. Tokrat je element na **nasprotni** strani tečaja podaljšan za 2 cm, kjer visi protiutež z maso 3 kg. Označena polja štejemo od tečaja; breme obesimo samo na označeno (celo) polje.



Vprašanje. Na katero najbolj oddaljeno označeno polje smemo obesiti breme z maso 6 kg, da bo element v ravnotežju?

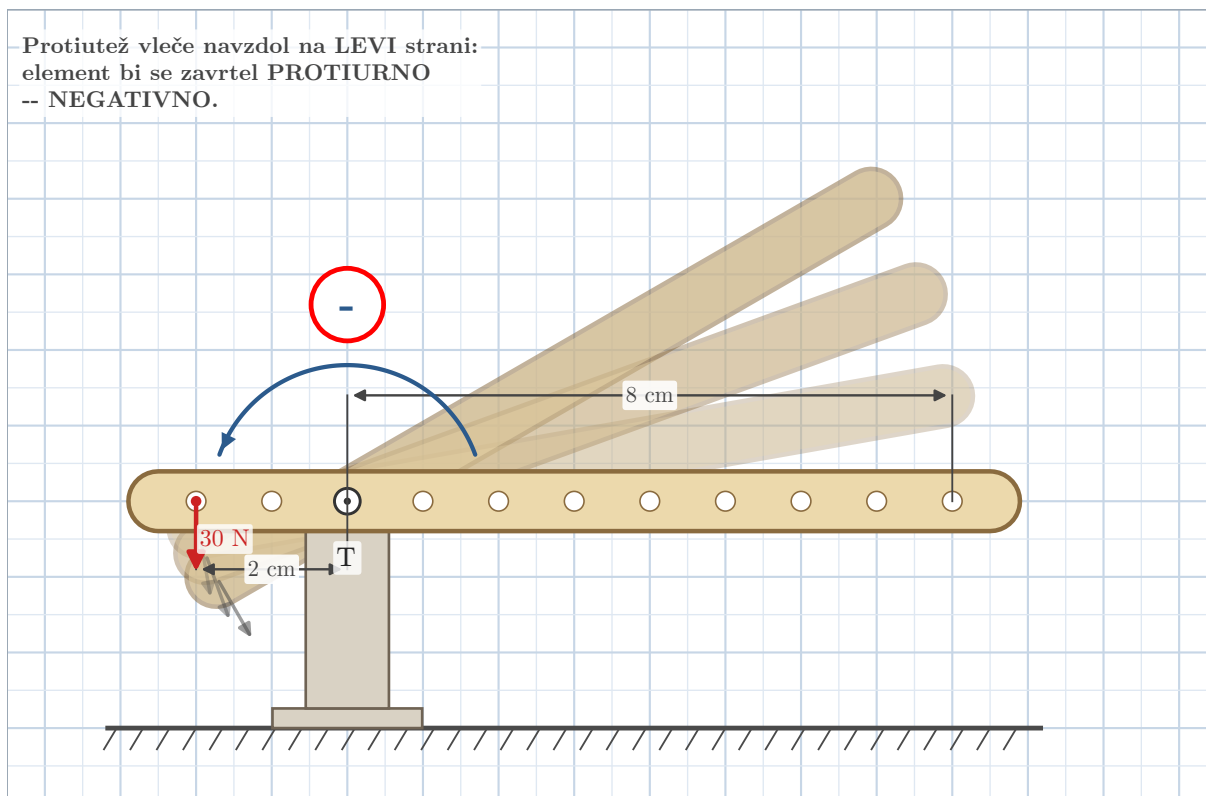
- A) polje A
- B) polje B
- C) polje C
- D) polje D
- E) polje E

POSTOPEK REŠEVANJA

Doslej smo se pri ravnotežju vedno naslanjali na to, katera stran tečaja je katera (Sklop 1-3). Zdaj uvedemo splošnejši, enoten dogovor, ki ga bomo potrebovali tudi kasneje: vsakemu učinku pripišemo **predznak** glede na smer vrtenja, ki bi jo povzročil, ne glede na to, na kateri strani elementa se nahaja – vrtenje v smeri urinega kazalca (na kratko **sournjo**) je **pozitivno**, vrtenje nasprotni njemu (na kratko **protiurno**) pa **negativno**. Za ravnotežje mora biti vsota vseh (predznačenih) vrtilnih učinkov enaka nič.

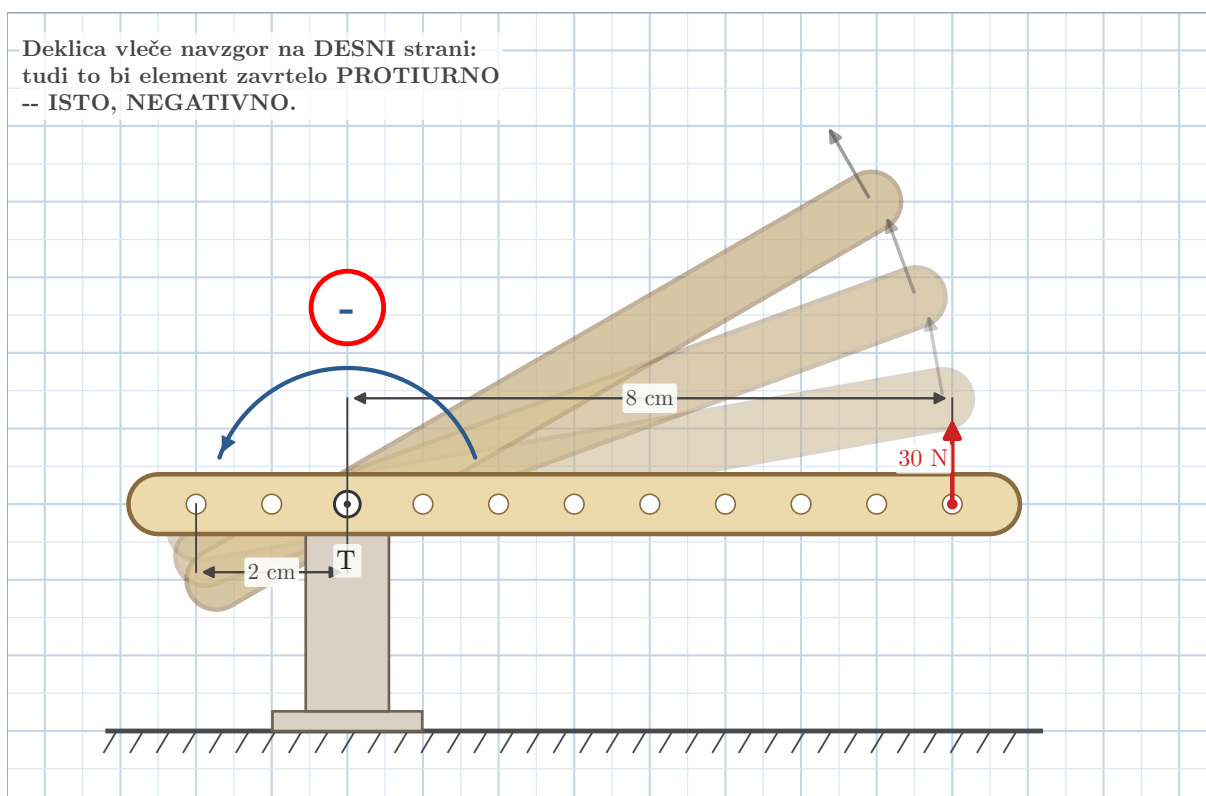
Smer si predstavljamo tako, da si element (kar na našem mehanizmu) mislimo v več zaporednih („navidezni“) legah – kam bi ga sila dejansko zasukala. Vsakič gledamo natanko eno silo posebej.

Protiutež vleče navzdol na LEVI strani:
element bi se zavrtel PROTIURNO
-- NEGATIVNO.



Protiutež vleče navzdol na svoji (levi) strani tečaja – to bi element zavrtelo **protiurno**, torej negativno.

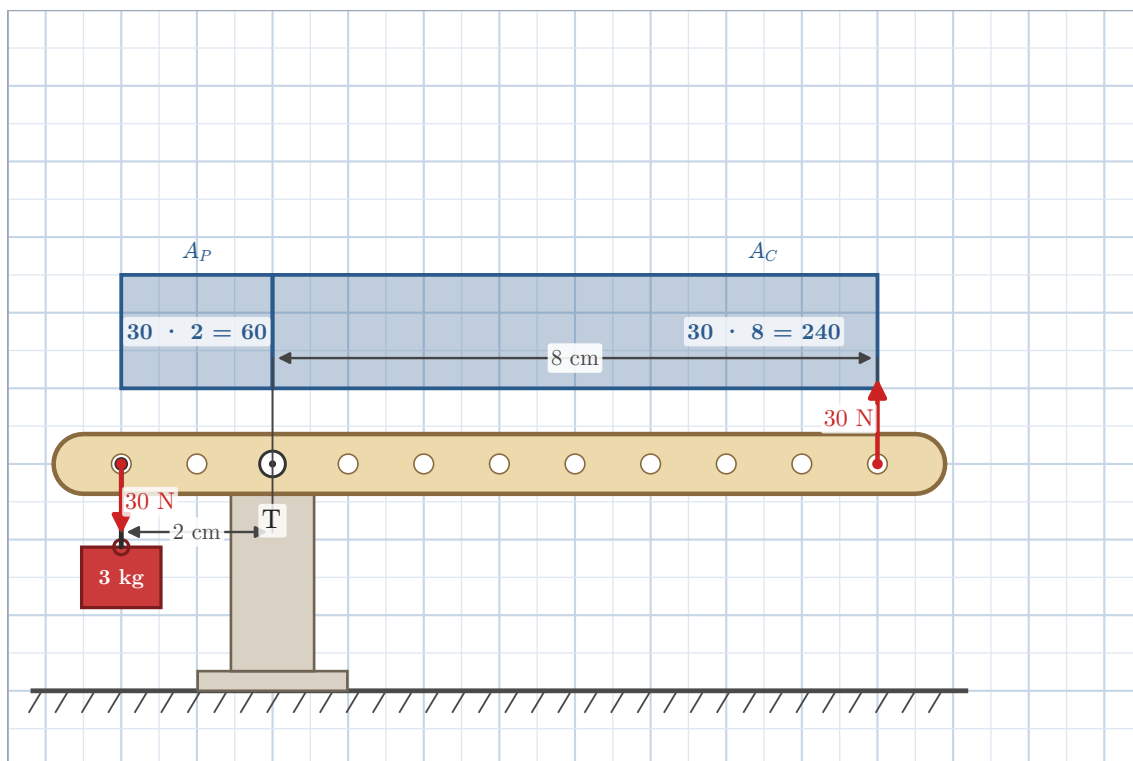
Deklica vleče navzgor na DESNI strani:
tudi to bi element zavrtelo PROTIURNO
-- ISTO, NEGATIVNO.



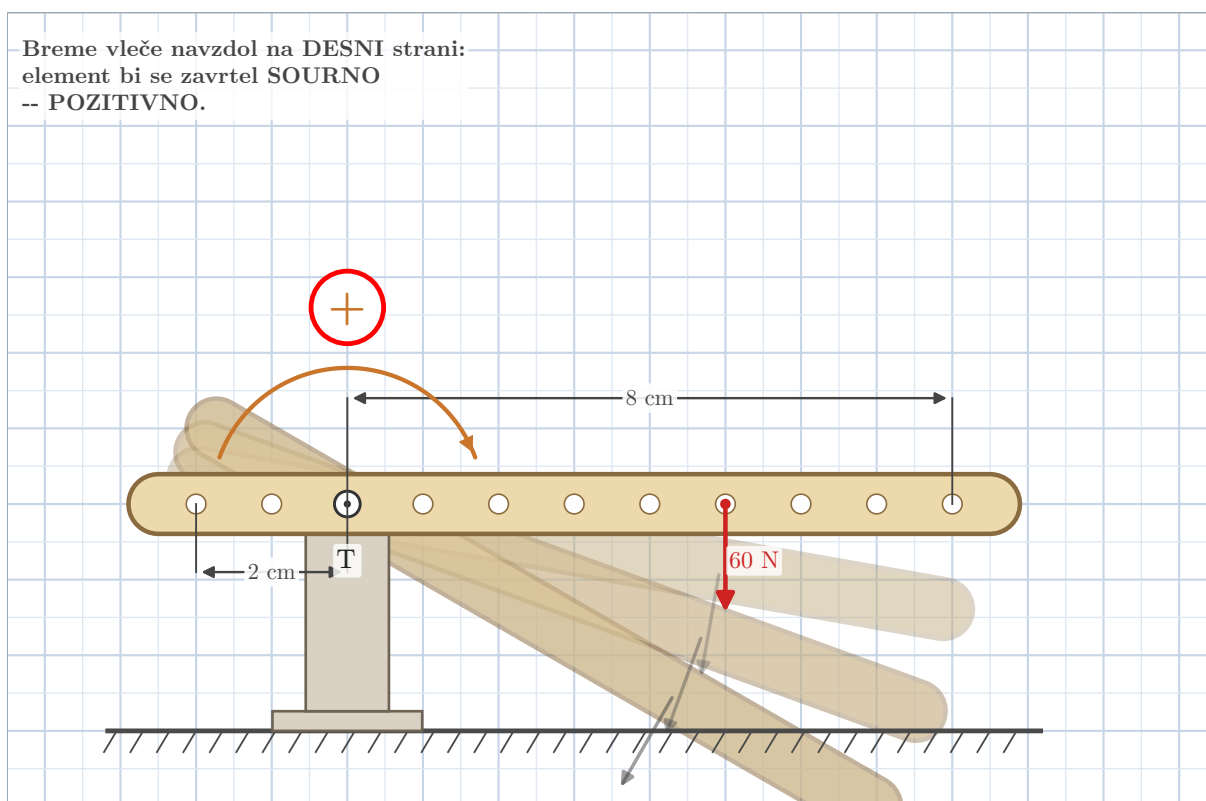
Deklica vleče navzgor na desni strani – tudi to bi element zavrtelo v isto smer, torej prav tako negativno, čeprav je na nasprotni strani in kaže v nasprotno smer! Predznak torej ni odvisen od strani, temveč le od smeri vrtenja, ki jo sila povzroči. Ker imata protiutež in deklica isti predznak, ju seštejemo, enako kot smo v Sklopu 2 seštevati sili na isti strani.

Korak 1. Protiutež 3 kg (sila 30 N), 2 cm od tečaja: $A_P = 30 \text{ N} \cdot 2 \text{ cm} = 60 \text{ N cm}$ (negativno). Deklica (30 N), 8 cm od tečaja: $A_C = 30 \text{ N} \cdot 8 \text{ cm} = 240 \text{ N cm}$ (negativno). Skupaj: $A_P + A_C = 60 + 240 =$

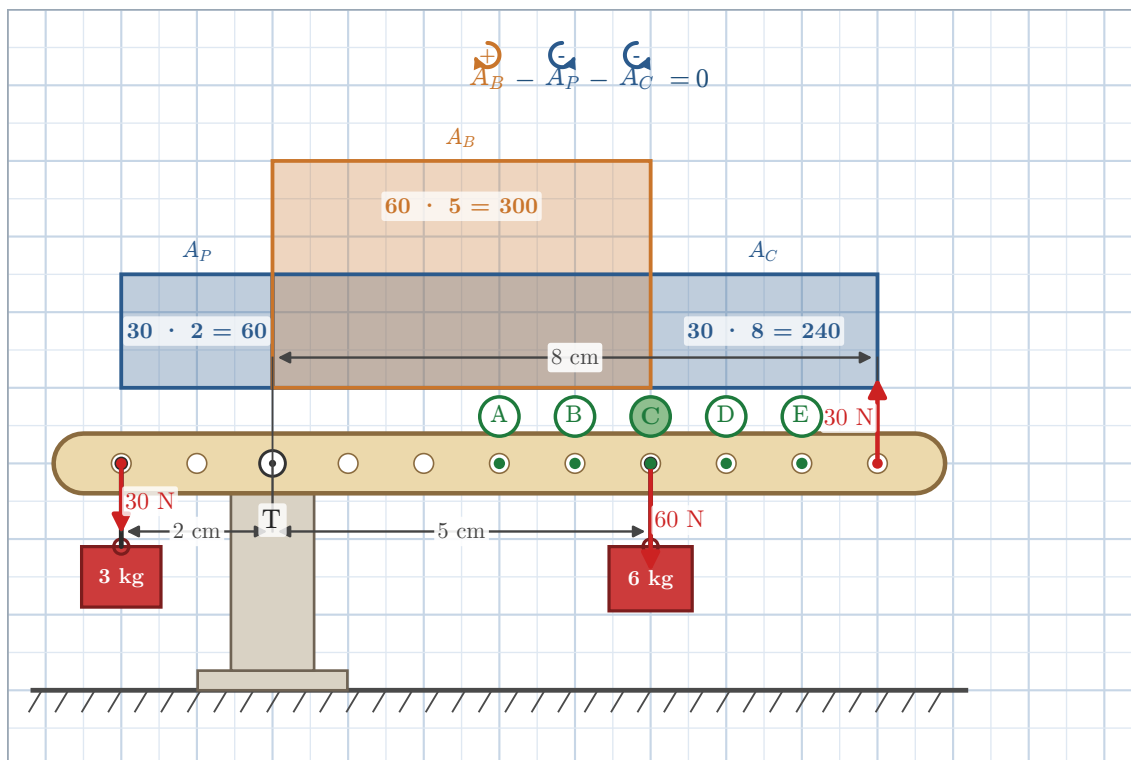
300 N cm.

**Korak 2.**

Breme vleče navzdol na DESNI strani:
element bi se zavrtel **SOURNO**
-- **POZITIVNO**.



Breme vleče navzdol na desni strani – to bi element zavrtelo **sourno**, torej pozitivno (oranžno). Protiutež in deklica (oba negativna, glej zgoraj) zato v enačbi odštejemo od bremenovega (pozitivnega) učinka: $A_B - A_P - A_C = 0$. Na najbolj oddaljeni (mejni) legi deklica uporabi vso svojo moč, zato to velja natančno: breme 6 kg (sila 60 N) na razdalji r : $60 \text{ N} \cdot r = 300 \text{ N cm}$, torej $r = 300/60 = 5 \text{ cm}$. Največja dovoljena lega je zato polje **C** (5 cm).



Odgovor: C. Preverimo: $60 \text{ N} \cdot 5 \text{ cm} = 300 \text{ N cm} = A_P + A_C$ – element je natanko v ravnotežju. Brez protiuteži (Sklop 3) je bila meja polje B (4 cm) – protiutež je doseg povečala za eno polje, ne da bi deklica morala vleči močneje.

Kaj smo se naučili?

- da vsakemu vrtilnemu učinku pripišemo predznak glede na smer vrtenja (sourni = +, protiurni = –), ne glede na to, na kateri strani tečaja je;
- da za ravnotežje zahtevamo, da je vsota **vseh** predznačenih učinkov enaka nič – to je splošnejši zapis pravila „leva stran = desna stran“ iz Sklopa 1-2;
- da fiksna utež na nasprotni strani tečaja (protiutež) poveča doseg mehanizma, ne da bi se povečala njena sila;
- da isto orodje združuje seštevanje (Sklop 2) in iskanje zgornje meje (Sklop 3).

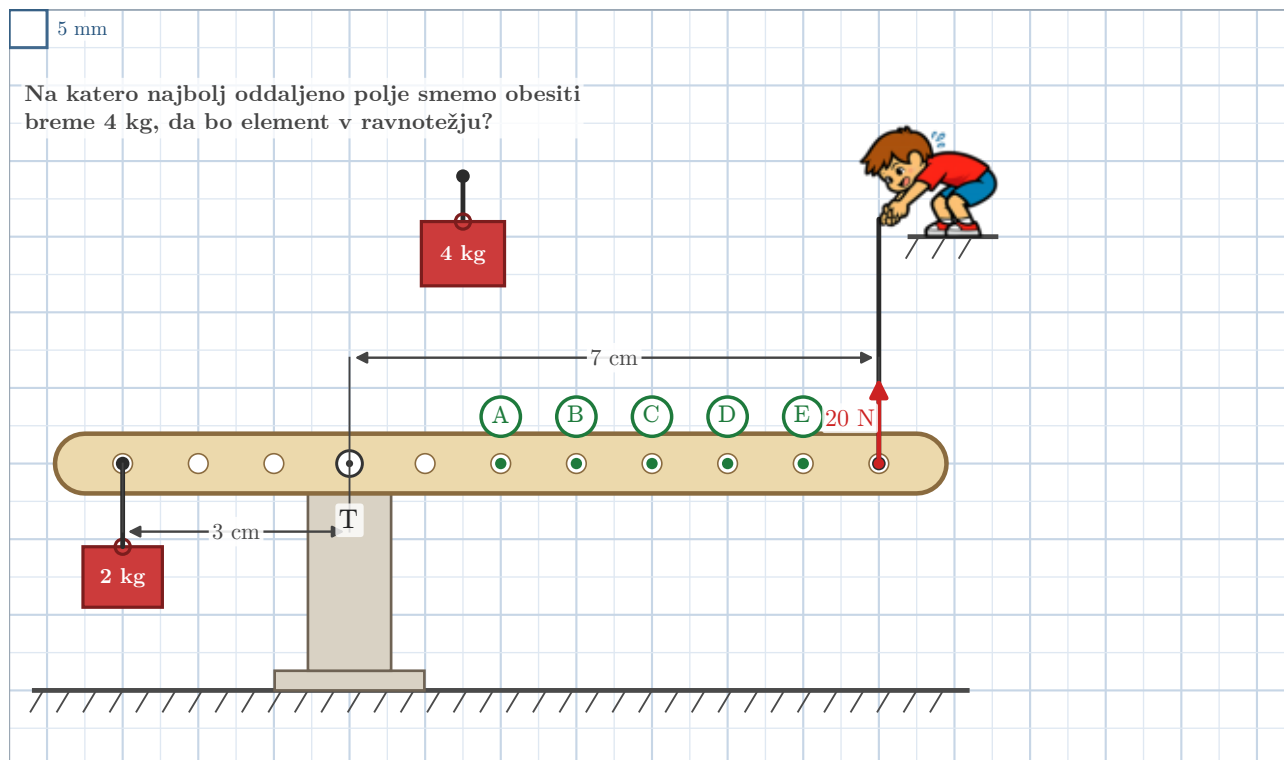
Kje to uporabljamo?

Protiutež poveča doseg mehanizma z lastno (fiksno) težo, ne s silo osebe. Po tem principu delujejo pravi žerjavi: protiutež na kratki roki na eni strani, breme na dolgi roki na drugi.

Naloga S4-2: Protiutež pomaga dečku

★★★★

Enako kot zgoraj, le da je protiutež 2 kg, 3 cm od tečaja, deček (največja sila 20 N) pa je 7 cm od tečaja. Imamo breme z maso 4 kg.

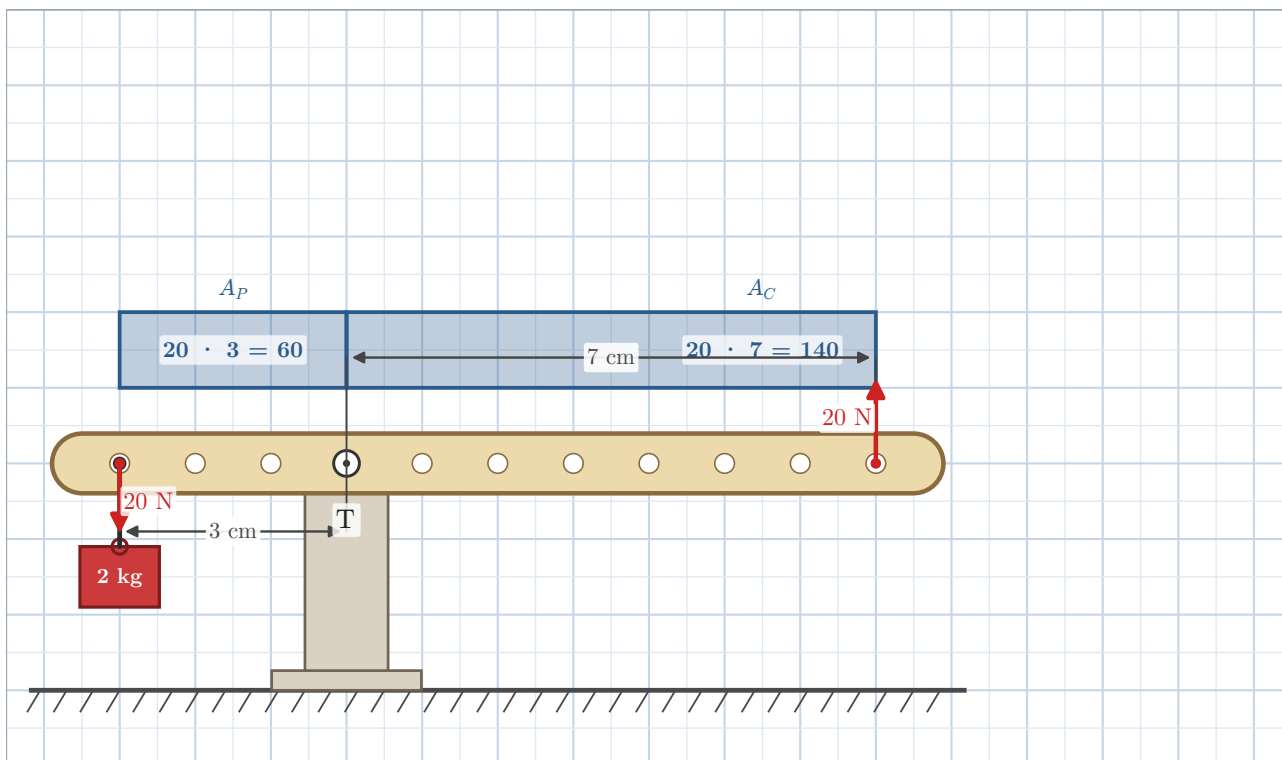


Vprašanje. Na katero najbolj oddaljeno označeno polje smemo obesiti breme z maso 4 kg, da bo element v ravnotežju?

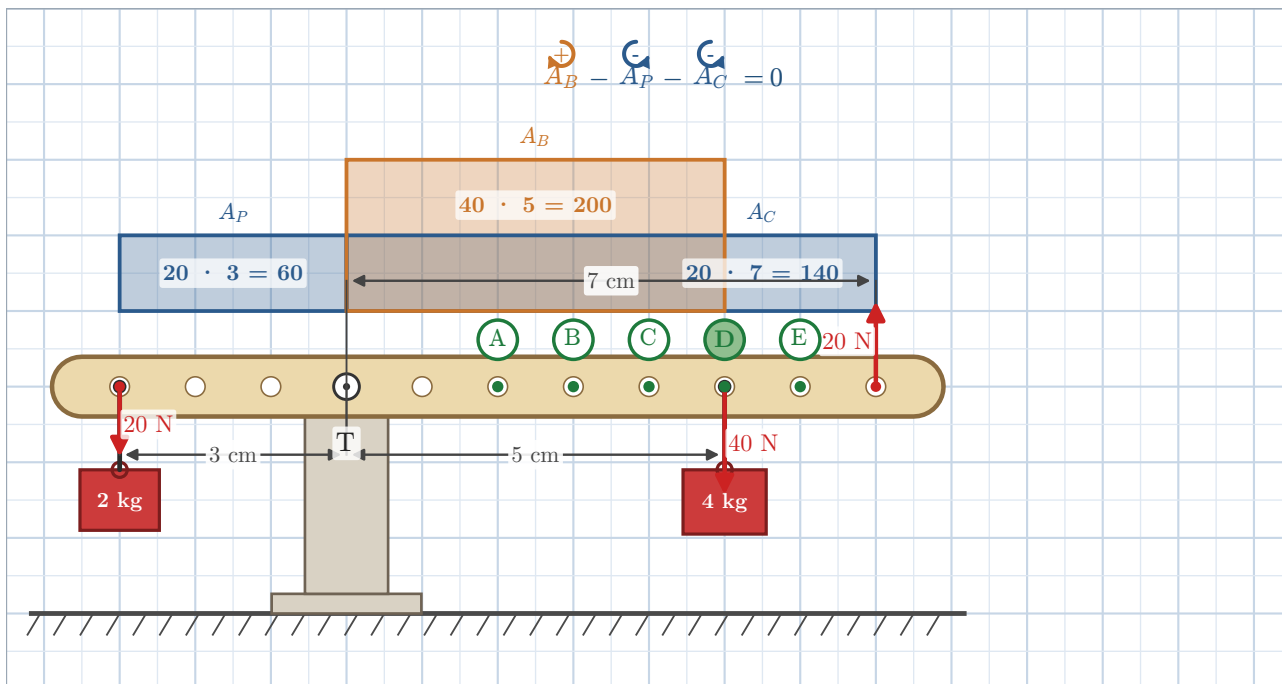
- A) polje A
- B) polje B
- C) polje C
- D) polje D
- E) polje E

POSTOPEK REŠEVANJA

Korak 1. Protiutež (negativno) in deček (negativno) seštejemo: $A_P = 20 \text{ N} \cdot 3 \text{ cm} = 60 \text{ N cm}$, $A_C = 20 \text{ N} \cdot 7 \text{ cm} = 140 \text{ N cm}$.



Korak 2. Breme (pozitivno) je edino v nasprotni smeri, zato od njega odštejemo protiutež in dečka: $A_B - A_P - A_C = 0$. Breme 4 kg (sila 40 N) na razdalji r : $40 \text{ N} \cdot r = 60 + 140 = 200 \text{ N cm}$, torej $r = 200/40 = 5 \text{ cm}$.

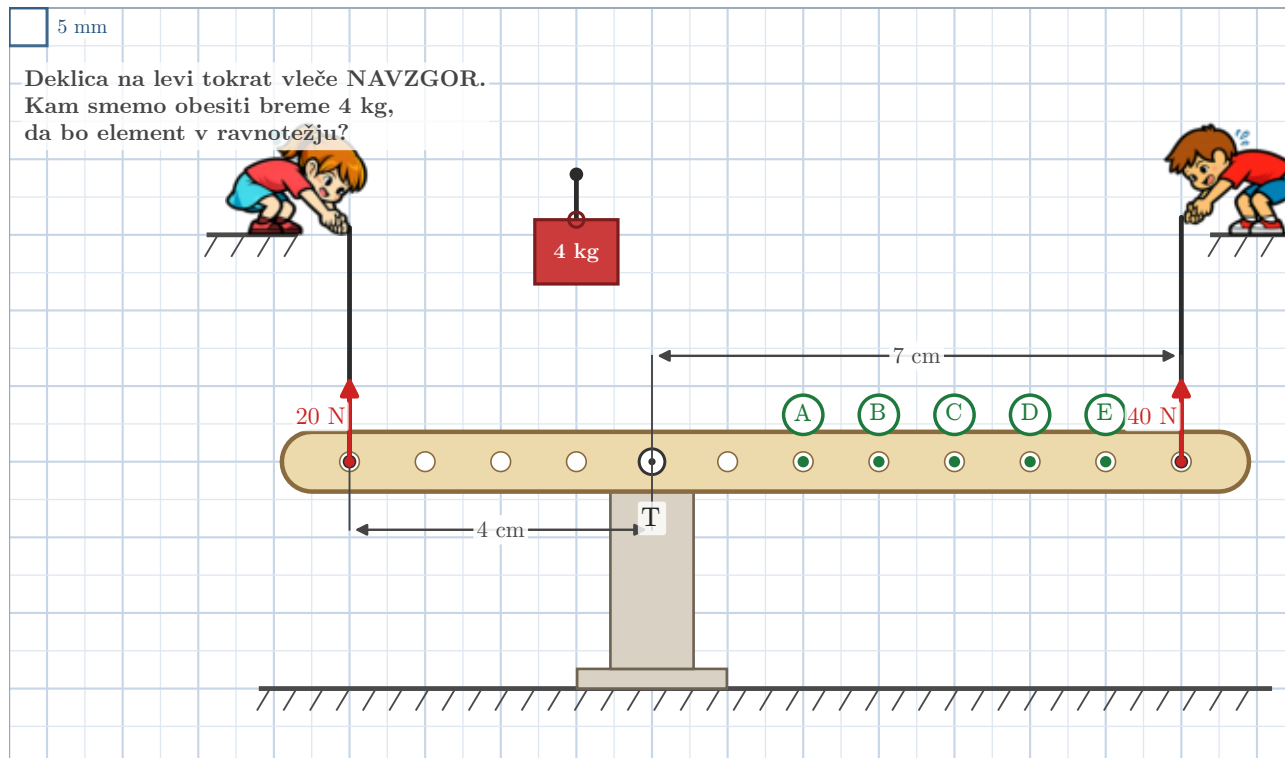


Odgovor: D (polje 5).

Naloga S4-3: Ko na levi strani nekdo vleče navzgor – vaja

★★★★☆

Enak mehanizem, le da na levi strani tokrat **namesto** protiuteži vleče deklica (največja sila 20 N), 4 cm od tečaja – prav tako navzgor. Na desni strani, 7 cm od tečaja, deček lahko vleče z največjo silo 40 N. Imamo breme z maso 4 kg.



Vprašanje. Na katero najbolj oddaljeno označeno polje smemo obesiti breme z maso 4 kg, da bo element v ravnotežju?

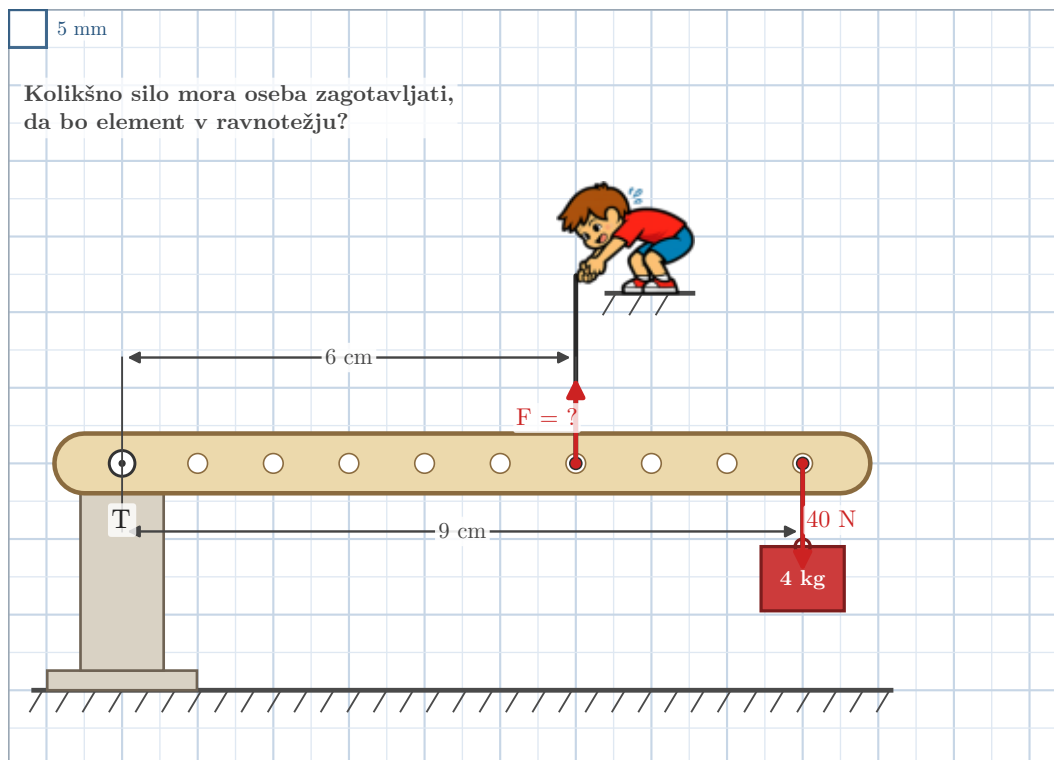
- A) polje A
- B) polje B
- C) polje C
- D) polje D
- E) polje E

Odgovor: D (polje 5). Pozor: deklica na levi strani tokrat vleče **navzgor**, zato element vrti pozitivno (nasprotno kot protiutež v prejšnjih nalogah!) – njen učinek zato prištejemo bremenovemu, namesto da bi ga odšteli od dečkovega. $A_C = 40 \text{ N} \cdot 7 \text{ cm} = 280 \text{ N cm}$ (negativno). $A_L = 20 \text{ N} \cdot 4 \text{ cm} = 80 \text{ N cm}$ (pozitivno, saj vleče navzgor na levi). $A_L + A_B - A_C = 0$, torej breme (4 kg, sila 40 N) sme na razdaljo $r = (280 - 80)/40 = 5 \text{ cm}$. Isti mehanizem kot v S4-1/S4-2, a tokrat oseba na levi strani mehanizmu škodi namesto da bi mu koristila – zato je dovoljeni doseg bremena manjši, ne večji.

Naloga S5-1: Breme fiksno, iščemo silo



Element je vpet v tečajju T na enem koncu in se prosto vrti; na drugem koncu, 9 cm od tečaja, visi breme z maso 4 kg. Oseba (ali bat) element drži 6 cm od tečaja. Označena polja štejemo od tečaja.

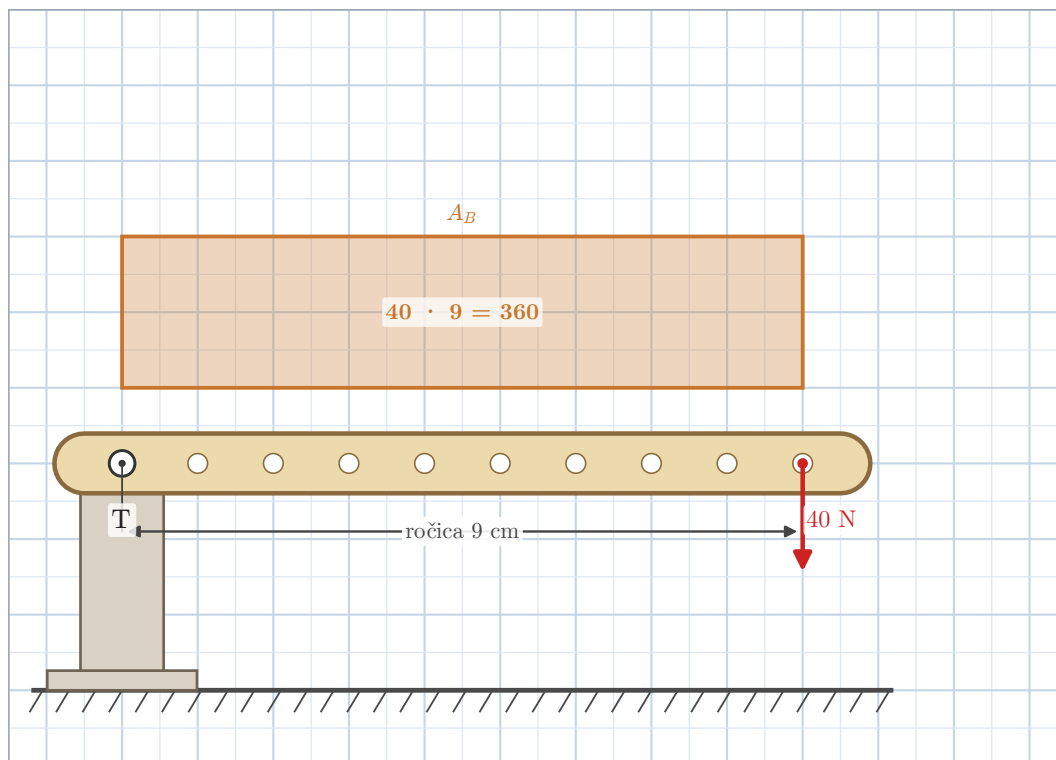


Vprašanje. Kolikšno silo mora oseba zagotavljati, da bo element v ravnotežju?

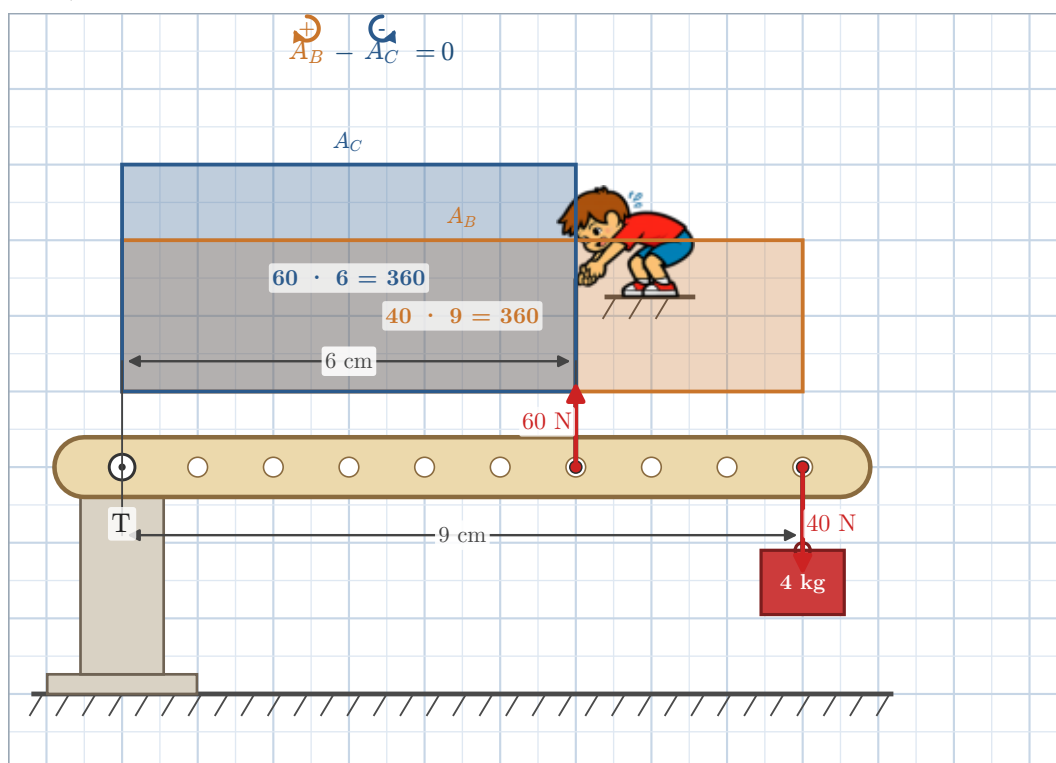
POSTOPEK REŠEVANJA

Doslej (Sklop 3) smo poznali silo osebe in iskali **največji** dovoljeni položaj bremena. Zdaj obrnemo vlogi: lego obeh strani poznamo, iščemo **silo**. Enačba je popolnoma enaka, le neznanka je druga.

Korak 1. Breme 4 kg (sila 40 N), 9 cm od tečaja: vrtilni učinek $A_B = 40 \text{ N} \cdot 9 \text{ cm} = 360 \text{ N cm}$.



Korak 2. Da bo element v ravnotežju, mora biti vrtilni učinek osebe enak: $A_C = F \cdot 6 \text{ cm} = 360 \text{ N cm}$, torej $F = 360/6 = 60 \text{ N}$.



Odgovor: $F = 60 \text{ N}$. Preverimo: $40 \text{ N} \cdot 9 \text{ cm} = 360 \text{ N cm} = 60 \text{ N} \cdot 6 \text{ cm}$ – element je natanko v ravnotežju. *Opomba:* ker tu iščemo silo, ne lege, je decimalen rezultat povsem v redu, če bi prišel – ni nam treba preverjati sosednjih (celih) polj kot doslej.

Kaj smo se naučili?

- da lahko enačbo iz Sklopa 3 "obrnemo": če sta legi obeh strani znani, iz enakosti vrtilnih učinkov izračunamo namesto lege kar manjkajočo **silo**;
- da pri iskanju sile (ne lege) decimalen rezultat ni problem – zaokroževanje na celo (označeno) polje je bilo potrebno le, kadar smo iskali **lego**.

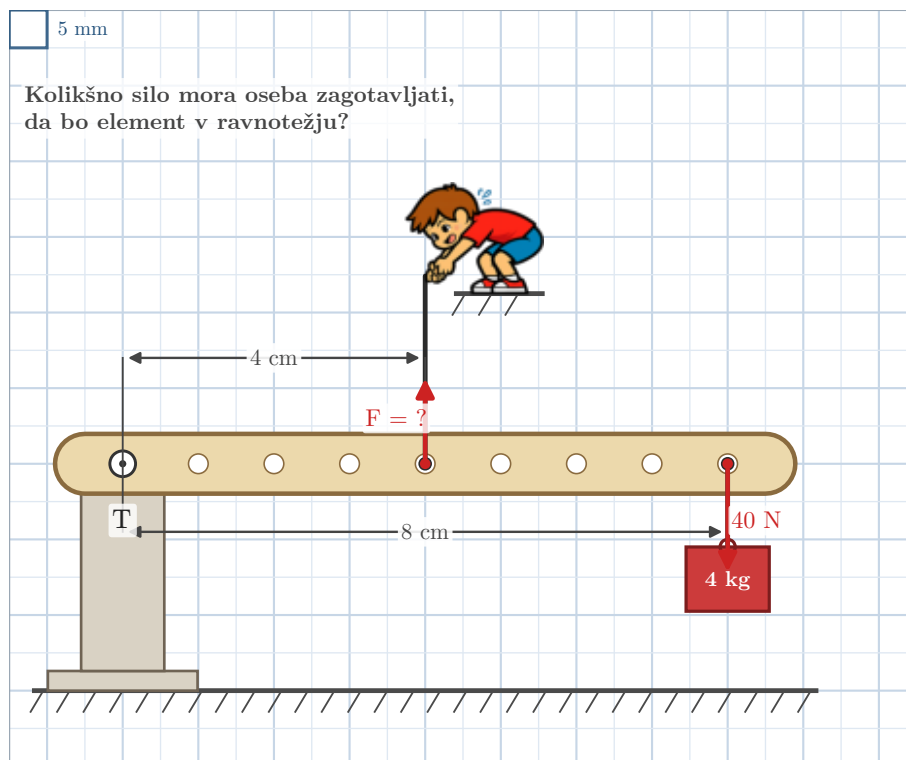
Kje to uporabljamo?

Oseba na tej sliki bi lahko bila kar bat (hidravlični cilindar) – enačba je popolnoma enaka, ne glede na to, ali silo zagotavlja mišica ali hidravlika. S tem računom torej že odgovarjamo na vprašanje, ki ga rešuje vsak, ki načrtuje pravi mehanizem: kolikšno silo mora bat dejansko razvijati na dani legi.

Naloga S5-2: Breme fiksno, iščemo silo – vaja



Enako kot zgoraj: breme z maso 4 kg visi na koncu elementa, 8 cm od tečaja. Oseba element drži 4 cm od tečaja.



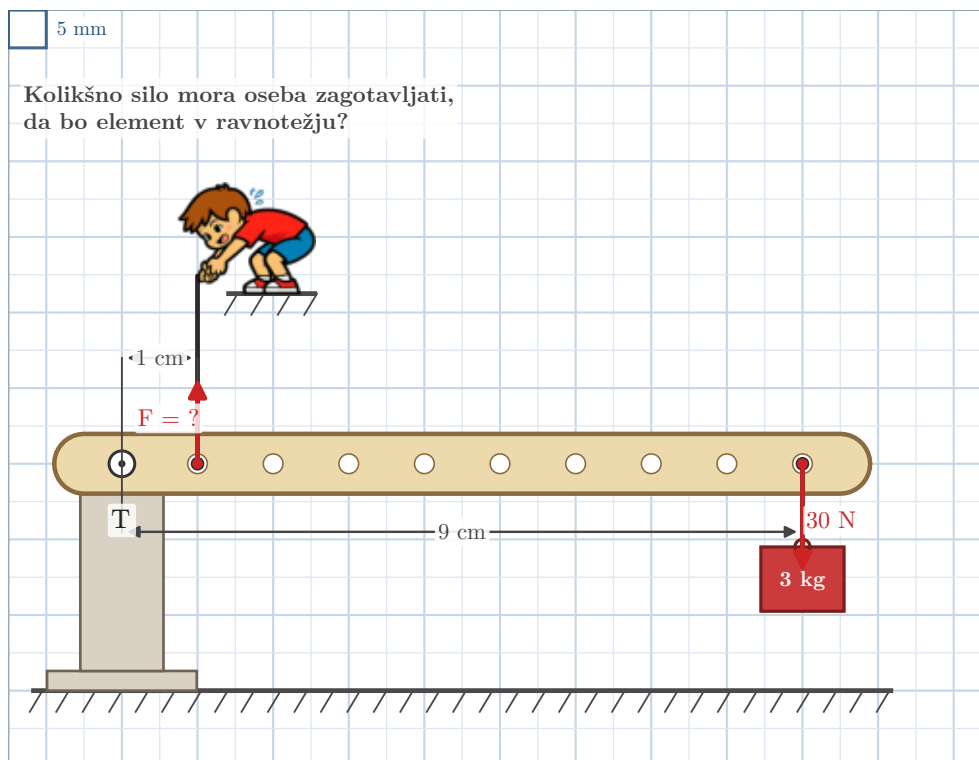
Vprašanje. Kolikšno silo mora oseba zagotavljati, da bo element v ravnotežju?

Odgovor: $F = 80 \text{ N}$. $A_B = 40 \text{ N} \cdot 8 \text{ cm} = 320 \text{ N cm}$, torej $F = 320/4 = 80 \text{ N}$.

Naloga S5-3: Breme fiksno, iščemo silo – vaja



Enako kot zgoraj: breme z maso 3 kg visi na koncu elementa, 9 cm od tečaja. Oseba tokrat element drži čisto blizu tečaja, na razdalji 1 cm.



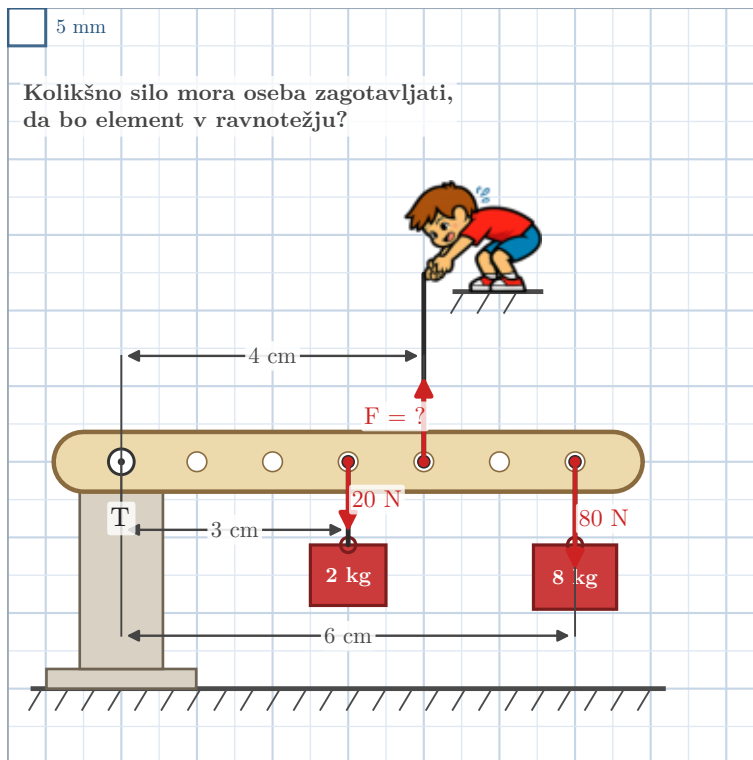
Vprašanje. Kolikšno silo mora oseba zagotavljati, da bo element v ravnotežju?

Odgovor: $F = 270 \text{ N}$. $A_B = 30 \text{ N} \cdot 9 \text{ cm} = 270 \text{ N cm}$, torej $F = 270/1 = 270 \text{ N}$ – ogromna sila za tako majhno breme! Čim bliže tečaju oseba (ali bat) drži element, tem večjo silo mora razviti za enak učinek – pri pravem stroju bi to pomenilo predimenzioniran (in drag) cilinder.

Naloga S5-4: Dve bremeni, iščemo silo – vaja



Na elementu visita dve bremeni: 8 kg na koncu elementa, 6 cm od tečaja, in 2 kg, 3 cm od tečaja. Oseba element drži 4 cm od tečaja.



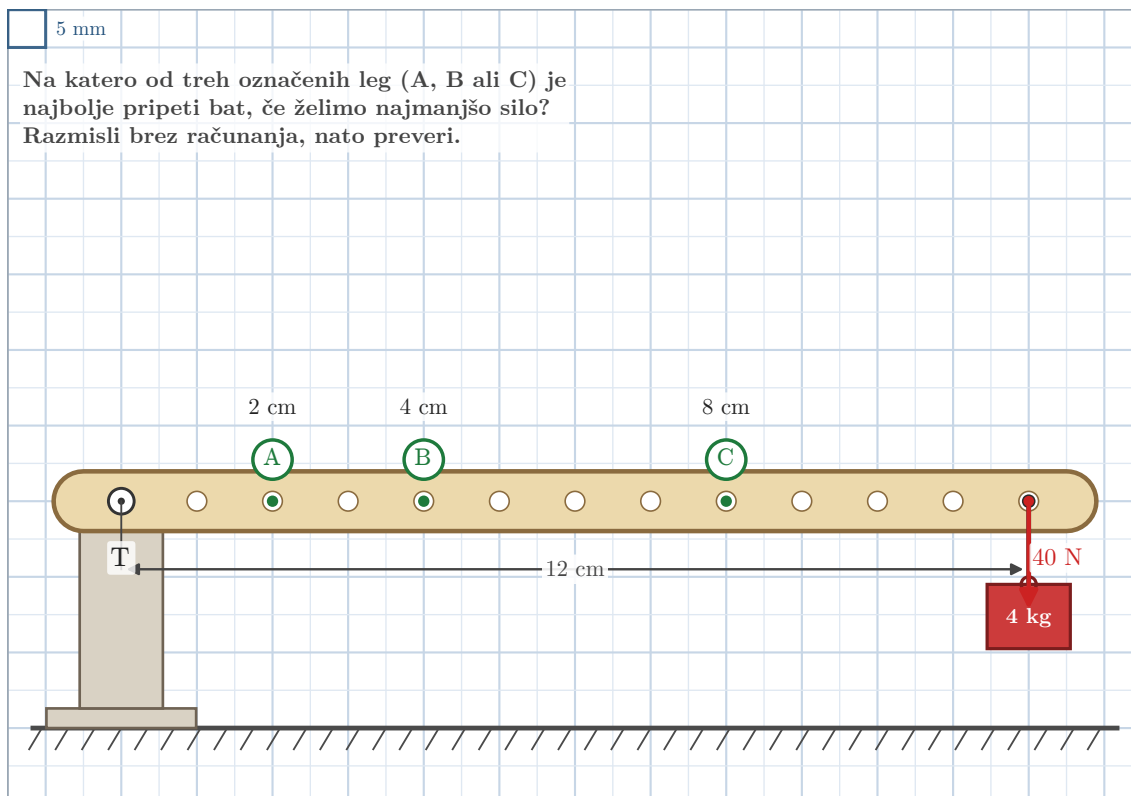
Vprašanje. Kolikšno silo mora oseba zagotavljati, da bo element v ravnotežju?

Odgovor: $F = 135 \text{ N}$. Vrtilna učinka obeh bremen (kot v Sklopu 2) najprej seštejemo: $80 \text{ N} \cdot 6 \text{ cm} + 20 \text{ N} \cdot 3 \text{ cm} = 480 + 60 = 540 \text{ N cm}$, torej $F = 540/4 = 135 \text{ N}$.

Naloga S5-5: Izberi najboljšo postavitev – brez računanja

★★★☆☆

Element je vpet v tečajju T na enem koncu; breme z maso 4 kg fiksno visi na koncu elementa, 12 cm od tečaja. Bat lahko pripnemo na eno od treh označenih leg: A (2 cm od tečaja), B (4 cm) ali C (8 cm).



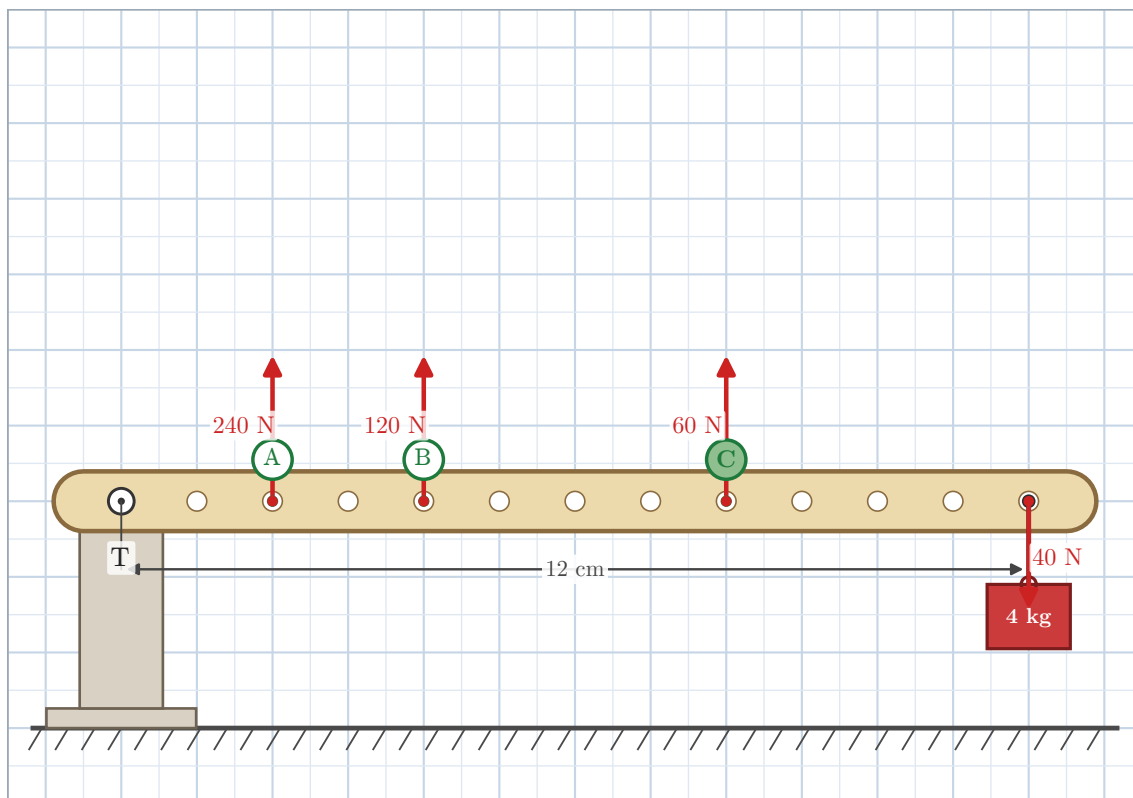
Vprašanje. Na katero od treh leg je najboljše pripeti bat, če želimo, da opravi enak posel z **najmanjšo** silo? Utemelji brez računanja.

POSTOPEK REŠEVANJA

Breme je na vseh treh slikah popolnoma enako, torej je tudi vrtilni učinek, ki ga mora bat ustvariti, na vseh treh legah enak. Iz S5-3 že vemo: čim bliže tečajju je ročica, tem večjo silo potrebujemo za enak učinek – in obratno, dlje od tečaja pomeni manjšo potrebno silo. Ker je od treh leg C najdlje od tečaja, bo prav na njej potrebna sila najmanjša, ne da bi bilo treba karkoli izračunati.

Korak 1. Preverimo s računom: vrtilni učinek bremena je nespremenjen, $A_B = 40 \text{ N} \cdot 12 \text{ cm} = 480 \text{ N cm}$, ne glede na to, katero lego bata izberemo.

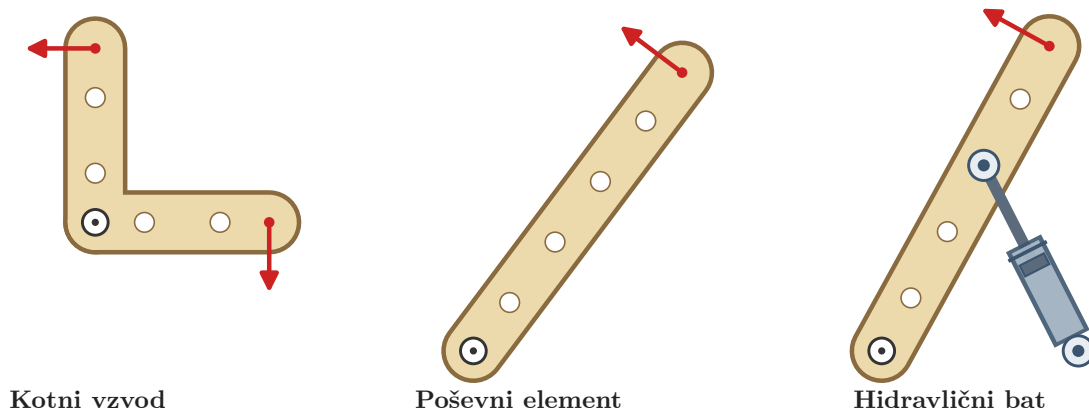
Korak 2. Sila na vsaki legi: $F = A_B/r$. Lega A ($r = 2 \text{ cm}$): $F = 480/2 = 240 \text{ N}$. Lega B ($r = 4 \text{ cm}$): $F = 480/4 = 120 \text{ N}$. Lega C ($r = 8 \text{ cm}$): $F = 480/8 = 60 \text{ N}$.



Odgovor: Lega C (8 cm) – potrebna sila je le 60 N, štirikrat manj kot na legi A (240 N). Zato so pravi hidravlični bati pogosto pripeti dlje od tečaja, kadar je le prostor: enak posel opravijo z manjšo, cenejšo in manj obremenjeno hidravliko. Cena je večji potreben izvlek bata za enak zasuk elementa – bat na legi C se mora ob istem gibu elementa premakniti dlje kot bat na legi A.

2 Aplikativni del

Do zdaj smo osnovno orodje – vrtilni učinek kot ploščino pravokotnika – uporabljali na preprostem, ravnem vzvodu. **Osnovno fizikalno pravilo ostaja povsem enako**; v tem delu mu le dodajamo nova geometrijska orodja, s katerimi ga uporabimo na realnih konstrukcijah, ki niso nujno raven element (kotni vzvod) ali kjer sila ne deluje pravokotno nanj (poševni element, hidravlični bat).



Kotni vzvod

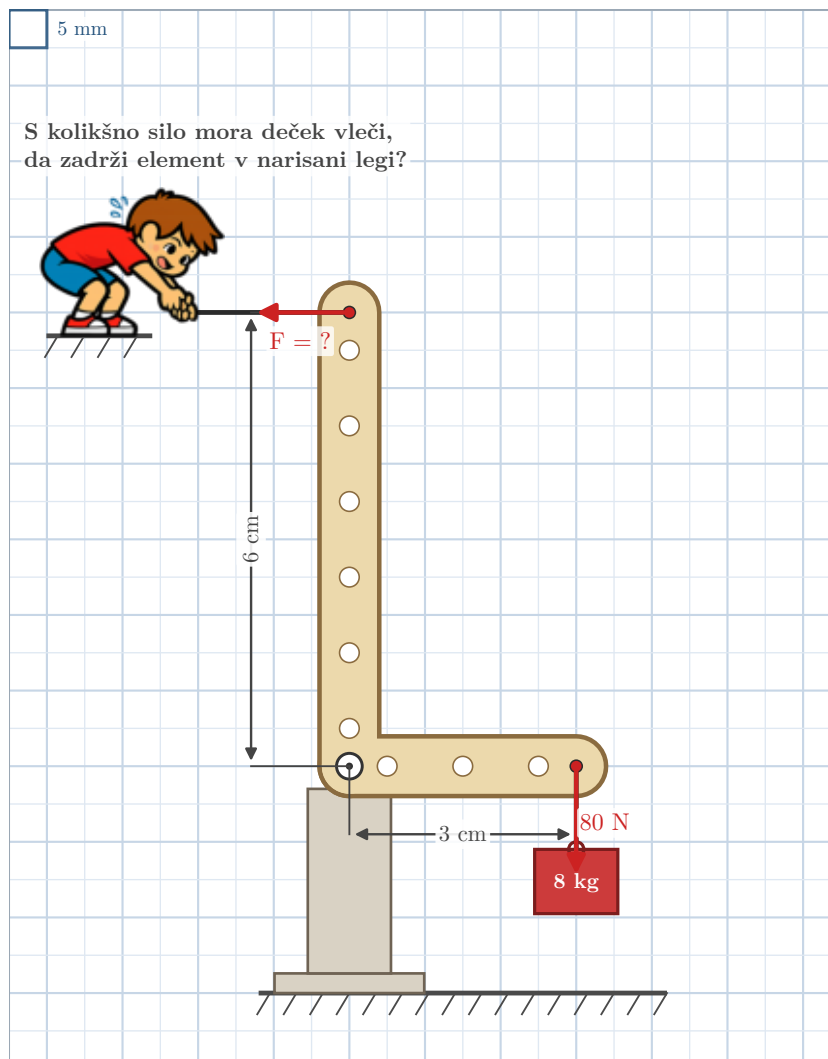
Poševni element

Hidravlični bat

Naloga S6-1: Kotni (L) vzvod



Element ima obliko pravega kota (L) in je vpet v tečajju T natanko v kotu; prosto se vrti. Na vodoravnem kraku, 3 cm od tečaja, visi breme z maso 8 kg. Na koncu navpičnega kraka, 6 cm od tečaja, deček prek vrvice vleče vodoravno, stran od bremena.



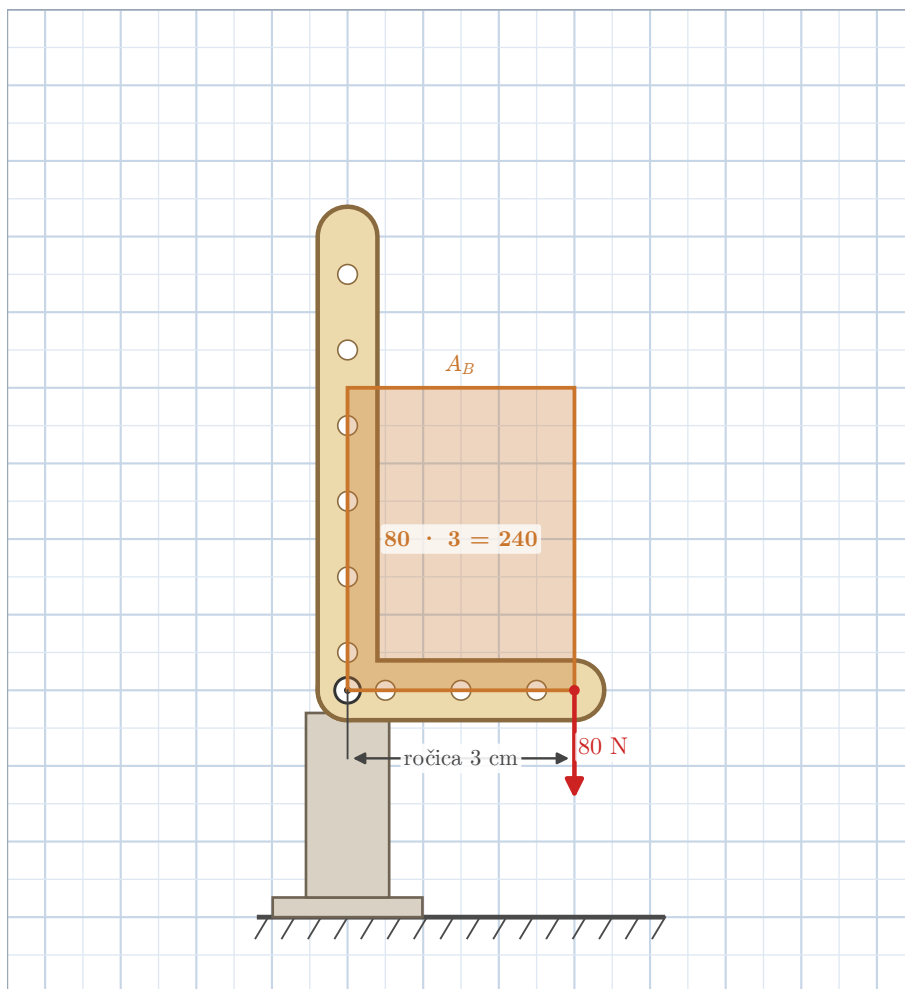
Vprašanje. S koliko silo mora deček vleči, da zadrži element v narisani legi?

POSTOPEK REŠEVANJA

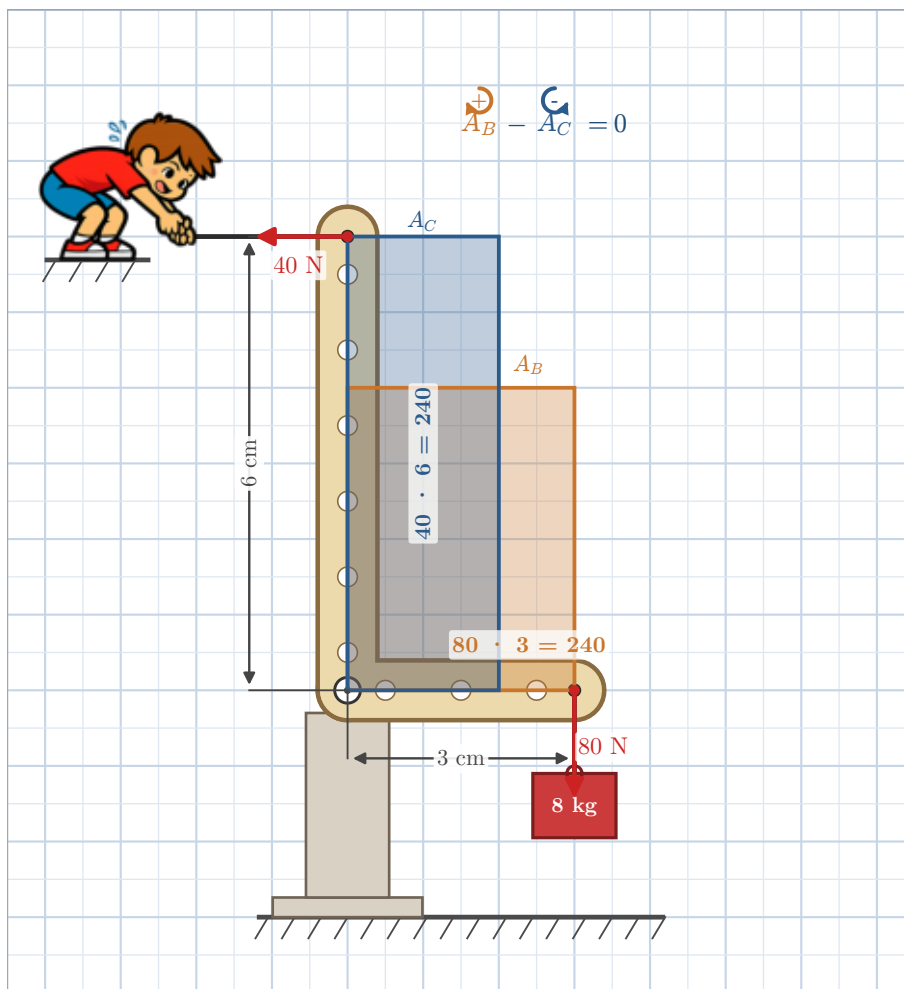
Element zdaj ni več raven – opira se v **kotu**, ne na enem koncu. „Levo“ in „desno“ tu ne pove dovolj, saj kraka gledata v povsem različni smeri. Zato uporabimo isti dogovor kot v Sklopu 4: vsakemu učinku pripišemo predznak glede na smer vrtenja, ki bi jo sam povzročil.

Breme na vodoravnem kraku vleče navzdol – to bi element zavrtelo **sourno (pozitivno)**. Da element zadrži ravnotežje, mora deček na navpičnem kraku ustvariti nasproten, **negativen (protiurno)** učinek – torej vleči stran od bremena, kot pravi navodilo.

Korak 1. Breme 8 kg (sila 80 N), 3 cm od tečaja: $A_B = 80 \text{ N} \cdot 3 \text{ cm} = 240 \text{ N cm}$ (pozitivno).



Korak 2. Deček mora ustvariti enak, a nasprotno predznačen učinek: $A_C = F \cdot 6 \text{ cm} = 240 \text{ N cm}$, torej $F = 240/6 = 40 \text{ N}$.



Odgovor: $F = 40 \text{ N}$. Preverimo: $80 \text{ N} \cdot 3 \text{ cm} = 240 \text{ N cm} = 40 \text{ N} \cdot 6 \text{ cm}$ – učinka sta enaka in nasprotno predznačena, element je v ravnotežju.

Kaj smo se naučili?

- da vzvod ni nujno raven element – tudi kotni (L) vzvod deluje po istem pravilu (vrtilni učinek), le da ima vsak krak svojo lastno ročico, merjeno od tečaja (kota);
- da je tu še le zares vidno, zakaj je predznak glede na **smer vrtenja** (Sklop 4) boljši od „leve/desne strani“ (Sklop 1-3): kraka kotnega vzvoda sploh nista na isti premici, zato „stran“ ne pove dovolj – smer vrtenja pa vedno.

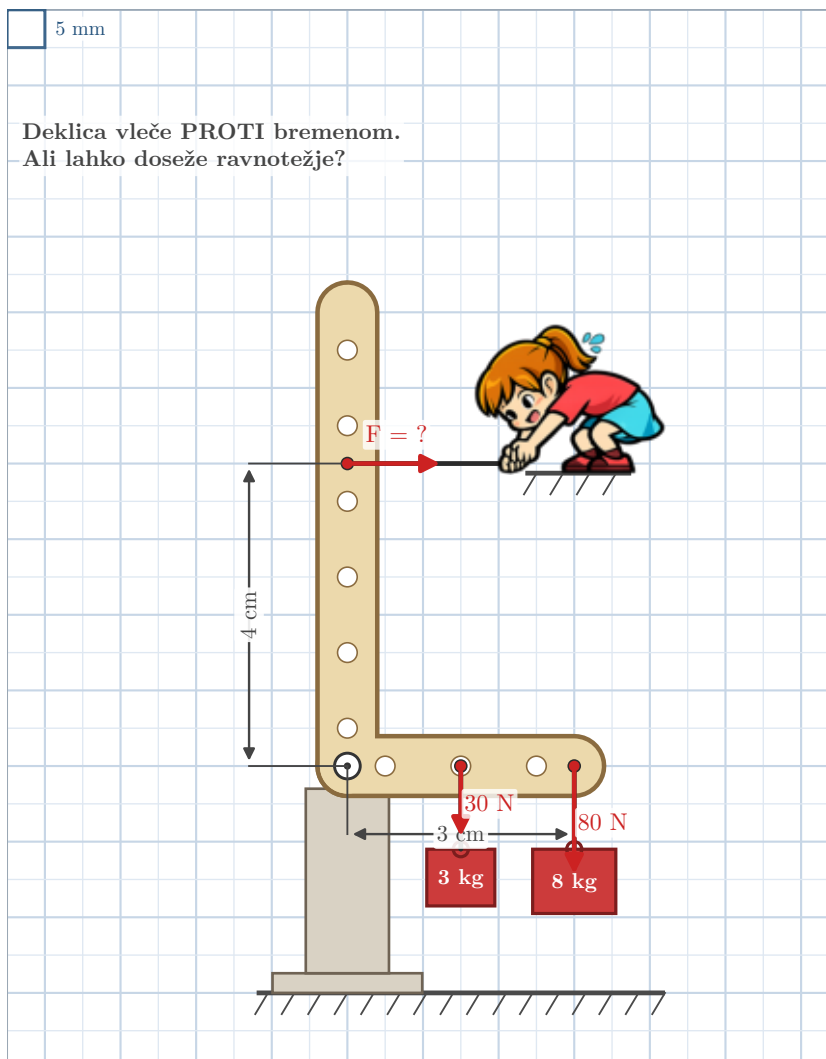
Kje to uporabljamo?

Isti princip velja ne glede na obliko konstrukcije, dokler je krak, na katerem sila deluje, pravokoten na smer sile – ročica je preprosto njegova dolžina. Kotni vzvodi so v pravih strojih pogosti prav zato, ker omogočajo spremembo smeri sile (npr. pedal, ki vodoravno silo noge spremeni v navpični dvig).

Naloga S6-2: Kotni vzvod – ali je to sploh mogoče?

★★☆☆

Enak element kot zgoraj, le da deklica tokrat prime nižje na navpičnem kraku, 4 cm od tečaja, in vleče vodoravno, a v smeri **proti** bremenom (ne stran od njih, kot v S6-1). Na vodoravnem kraku visita dve bremen: 8 kg na koncu kraka (3 cm) in dodatno 3 kg, 1,5 cm od tečaja.



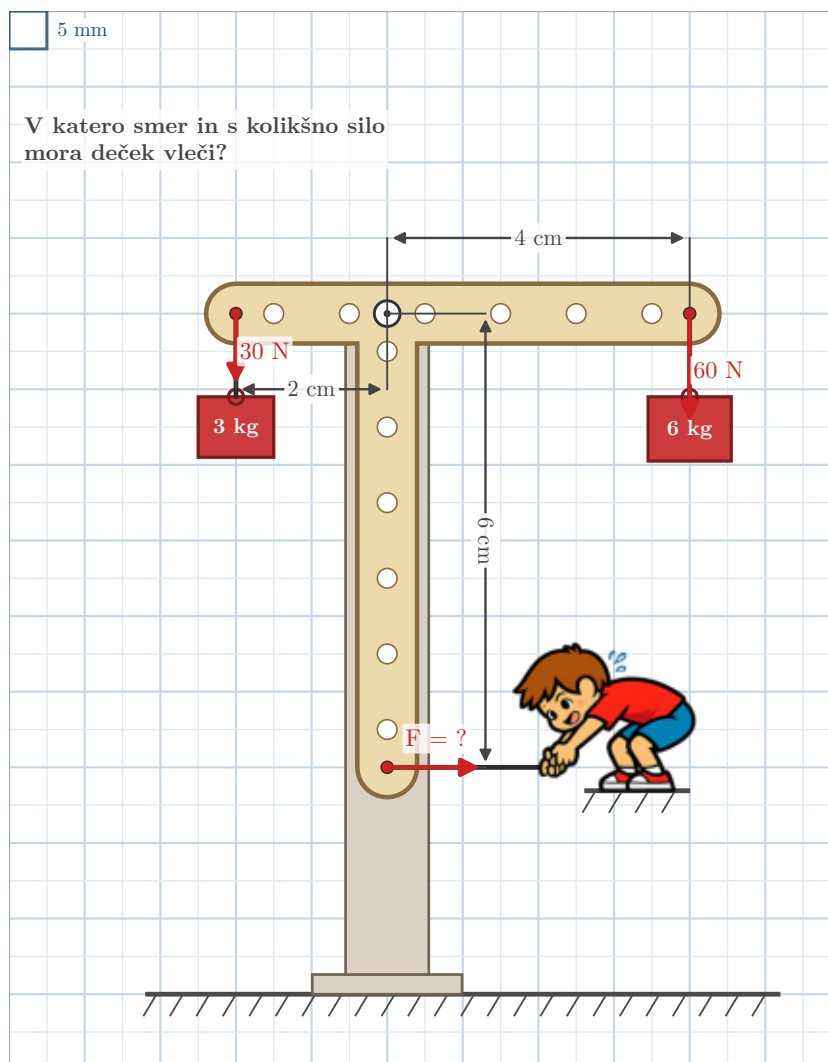
Vprašanje. Ali lahko deklica s pravšno silo element kljub temu zadrži v ravnotežju? Utemelji brez računanja.

Odgovor: NE – ne glede na to, kako močno bi deklica vlekla. Obe bremenima vrtita element **sournjo** (pozitivno); deklica, ki vleče proti bremenom, bi ga vrtela v **isto** smer (prav tako pozitivno). Vse tri sile bi torej vrtele element v isto smer – njihovi učinki se ne morejo izničiti, ne glede na jakost katerekoli od njih. Šele če deklica vleče stran od bremen (nasprotna smer vrtenja, glej S6-1), lahko z ustrezno silo doseže ravnotežje.

Naloga S6-3: Kotni vzvod v obliki črke T

★★★★

Element je zdaj v obliki črke T: vodoravna prečka gre skozi tečaj T na obe strani, navpični krak (6 cm) pa gre od tečaja **navzdol** – enako kot v prejšnji različici te naloge. Na prečki visita dve bremeni: 6 kg na desni strani (4 cm od tečaja) in 3 kg na levi strani (2 cm od tečaja). Deček na spodnjem koncu navpičnega kraka vleče vodoravno.



V katero smer in s kolikšno silo mora deček vleči?

Vprašanje. V katero smer (proti večjemu bremenu ali stran od njega) mora deček vleči, in s kolikšno silo, da bo element v ravnotežju?

POSTOPEK REŠEVANJA

Bremeni sta na **nasprotnih** straneh prečke – to je ista logika kot pri protiuteži v Sklopu 4: breme na levi strani vrta element protiurno (negativno), breme na desni pa sournjo (pozitivno). Ker je navpični krak pod tečajem (kot v prejšnji različici S6-3), mora deček vleči proti večjemu (desnemu) bremenu, da element zavrti protiurno.

Breme 6 kg (desno, 4 cm): $A_{B1} = 60 \text{ N} \cdot 4 \text{ cm} = 240 \text{ N cm}$ (pozitivno). Breme 3 kg (levo, 2 cm): $A_{B2} = 30 \text{ N} \cdot 2 \text{ cm} = 60 \text{ N cm}$ (negativno – deluje kot protiutež, zato ga odštejemo). Skupaj: $A_{B1} - A_{B2} = 240 - 60 = 180 \text{ N cm}$ (še vedno pozitivno – večje breme prevlada).

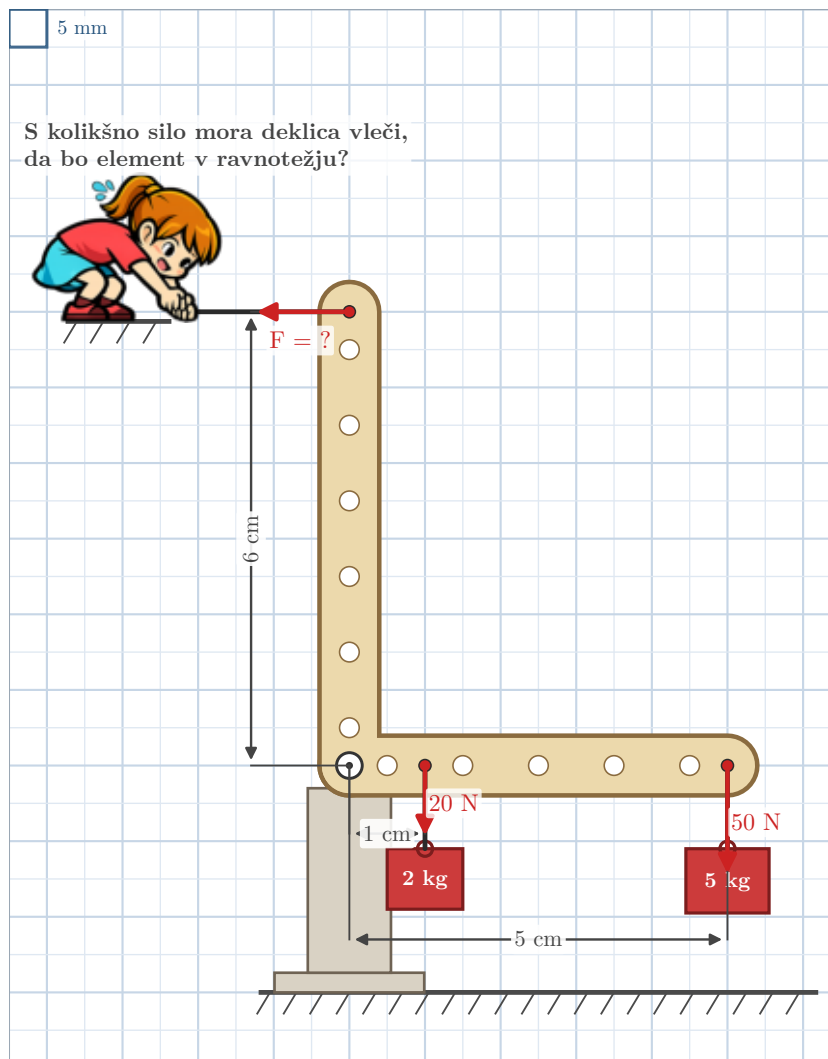
Deček mora ustvariti nasproten, negativen učinek: $F \cdot 6 \text{ cm} = 180 \text{ N cm}$, torej $F = 180/6 = 30 \text{ N}$.

Odgovor: Deček mora vleči **proti** večjemu (desnemu) bremenu, s silo $F = 30 \text{ N}$. Manjše breme na levi strani deluje kot protiutež (Sklop 4) in del dela že opravi samo – zato je potrebna sila manjša, kot bi bila brez njega (brez njega: $60 \cdot 4/6 = 40 \text{ N}$, glej prvotno različico te naloge).

Naloga S6-4: Kotni vzvod, dve bremen



Enak element kot v S6-1 (navpični krak navzgor). Na vodoravnem kraku visita dve bremen: 5 kg na koncu kraka (5 cm od tečaja) in dodatno 2 kg, 1 cm od tečaja. Deklica na navpičnem kraku (6 cm) vleče stran od bremen.



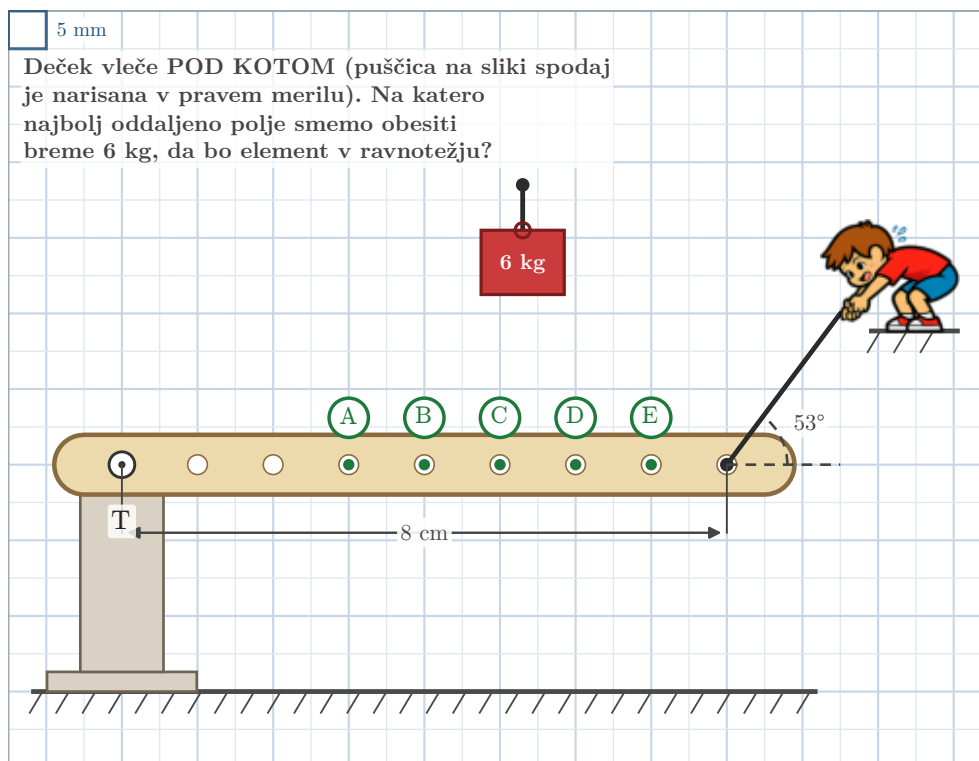
Vprašanje. S kolikšno silo mora deklica vleči, da bo element v ravnotežju?

Odgovor: $F = 45 \text{ N}$. Obe bremen sta na **istem** kraku in vrtita element v **isto** smer – njuna učinka (kot v Sklopu 2) najprej seštejemo: $50 \text{ N} \cdot 5 \text{ cm} + 20 \text{ N} \cdot 1 \text{ cm} = 250 + 20 = 270 \text{ N cm}$, torej $F = 270/6 = 45 \text{ N}$.

Naloga S7-1: Sila pod kotom – razstavljanje na komponente



Element je vpet v tečajju T na enem koncu in se prosto vrti; 8 cm od tečaja ga prek vrvice drži deček. Tokrat pa deček ne vleče pravokotno (navzgor), temveč **pod kotom** – puščica na sliki je narisana v pravem merilu (1 kvadrata mreže = 10 N), tako da lahko obe komponenti sile preberemo kar po mreži. Breme obesimo na eno od označenih (celih) polj med tečajem in dečkom.



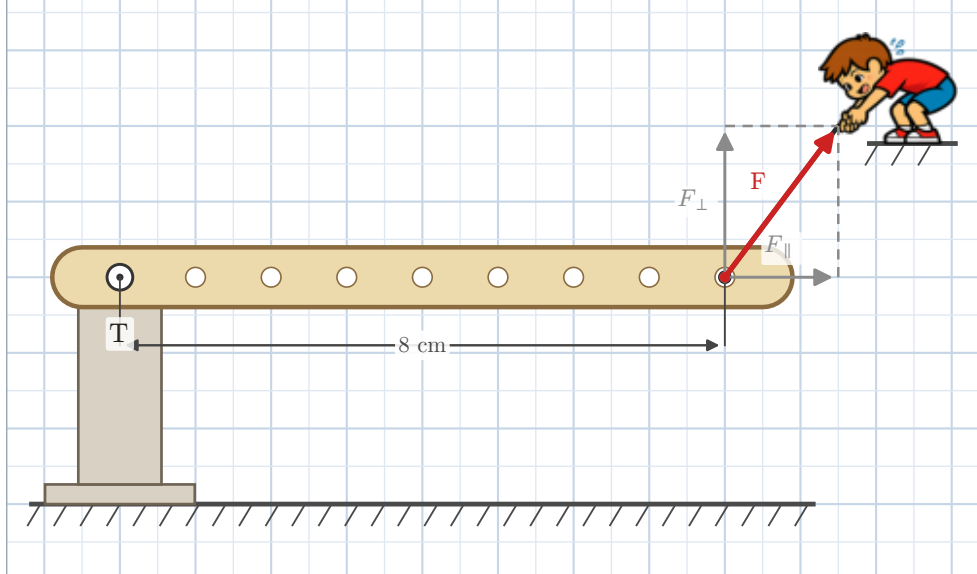
Vprašanje. Na katero najbolj oddaljeno označeno polje smemo obesiti breme z maso 6 kg, da bo element v ravnotežju?

- A) polje A
- B) polje B
- C) polje C
- D) polje D
- E) polje E

POSTOPEK REŠEVANJA

Dečkova sila (F) deluje pod kotom – ne navpično in ne vodoravno. Preden lahko izračunamo vrtilni učinek, jo moramo razstaviti na dve komponenti.

Dečkova sila (F) deluje **POD KOTOM** -- ne navpično in ne vodoravno. Preden računamo vrtilni učinek, jo razstavimo na pravokotno komponento ($F_{\perp}$) in vzporedno ($F_{\parallel}$).

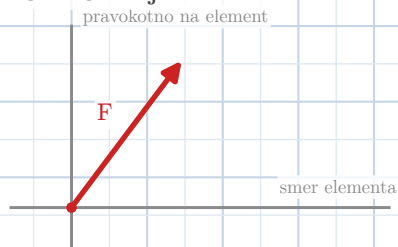


Silo smo narisali natanko v merilu mreže – en kvadrataček (5 mm) je 10 N, enako kot povsod v tej zbirki. Konstrukcijo, s katero komponenti **preberemo** po mreži (brez kota ali kotnih funkcij), sestavimo v štirih korakih.

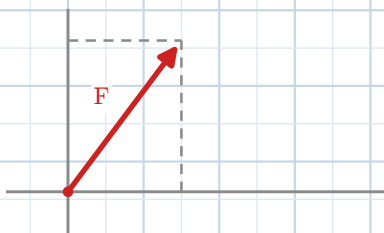
1) Najprej narišemo samo silo F .



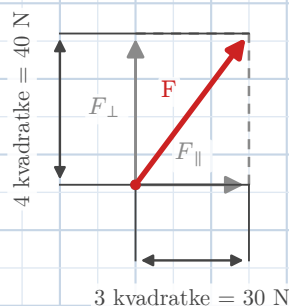
2) V prijemališču potegnemo dve tanki črti: eno **V SMERI** elementa, eno **PRAVOKOTNO** nanj.



3) Skozi konico sile F narišemo črtkani vzporednici -- dobimo pravokotnik, ki natanko uokvirja F .

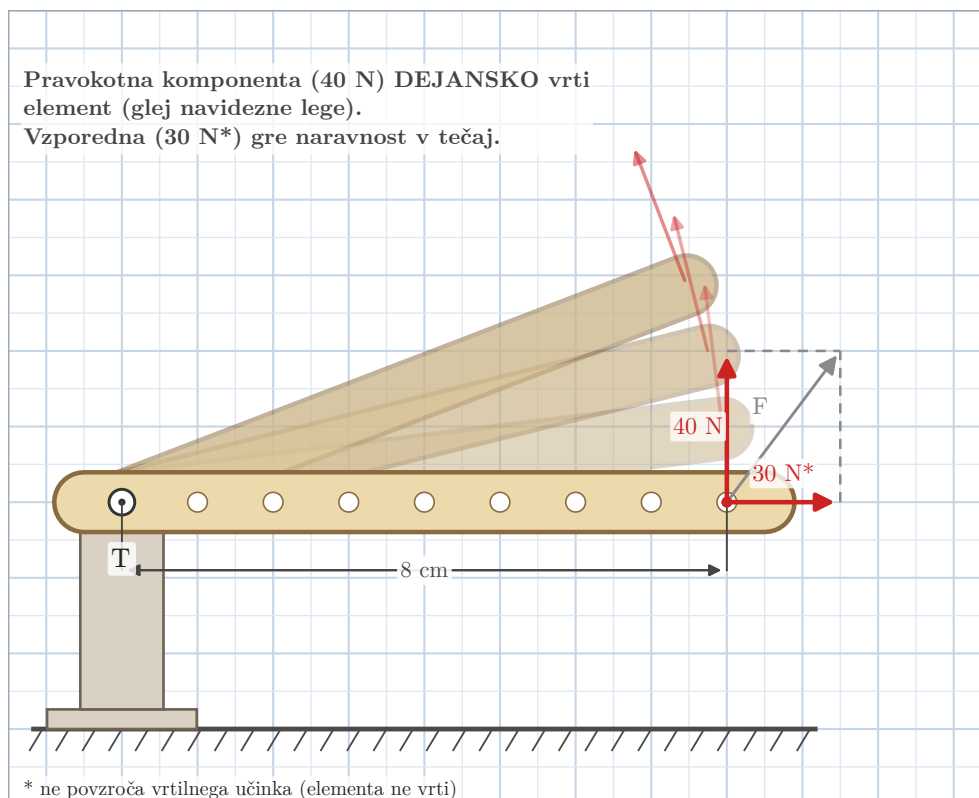


4) Stranici pravokotnika **STA** komponenti ($F_{\perp}$, $F_{\parallel}$) -- dolžini preberemo po mreži.

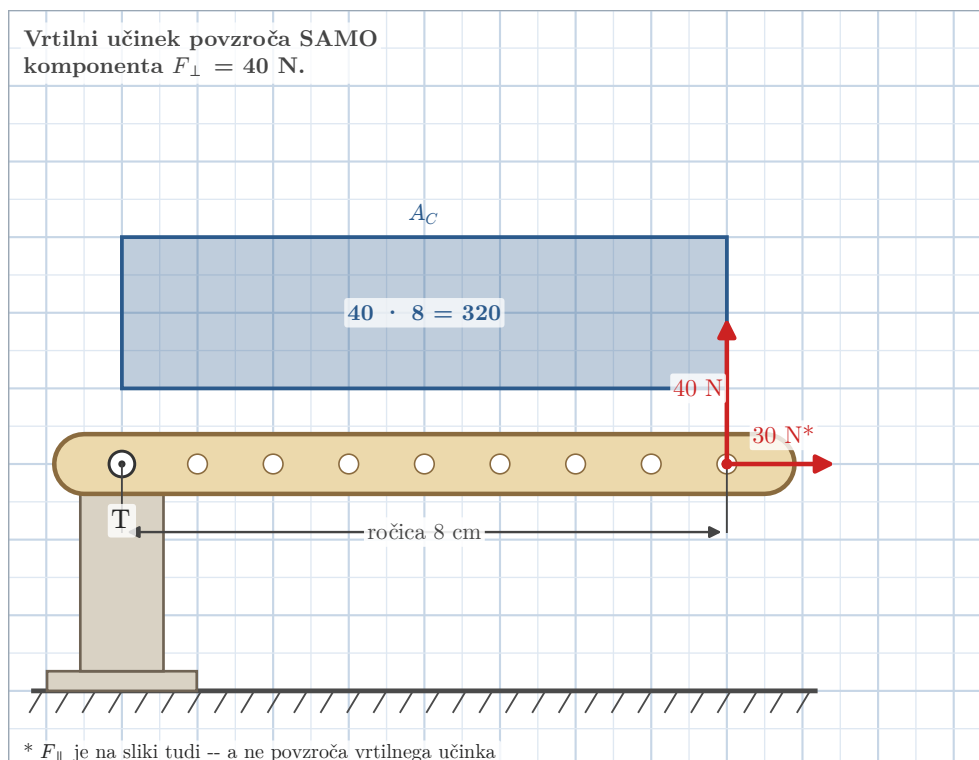


Zdaj sta v ospredju obe komponenti; rezultanta (F) je v ozadju. Komponenta, ki je pravokotna na element, element **dejansko** vrti – navidezne lege (kot v Sklopu 4) pokažejo, kam bi ga sama zasukala.

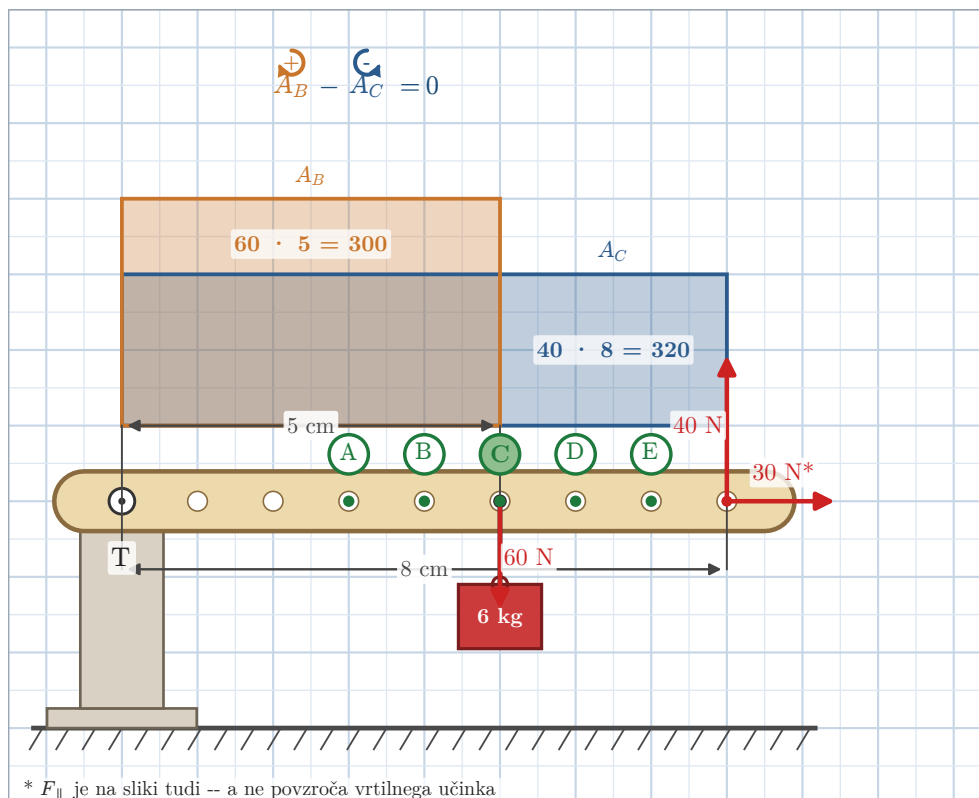
Komponenta, ki je v smeri (vzdolž) elementa, pa se prenaša naravnost v tečaj – elementa ne vrtili, torej za vrtilni učinek ne šteje. Element (in tečaj) še vedno obremenjuje, le ne vrtili ga.



Korak 1. Pri računu vrtilnega učinka upoštevamo **samo** pravokotno komponento (40 N), 8 cm od tečaja: $A_C = 40 \text{ N} \cdot 8 \text{ cm} = 320 \text{ N cm}$. Na sliki je (za jasnost) narisana tudi vzporedna komponenta (30 N*) – a v računu je ne upoštevamo, ker ne prispeva k vrtilnemu učinku.



Korak 2. Na najbolj oddaljeni (mejni) legi deček uporabi vso svojo moč, zato tam velja $60 \text{ N} \cdot r = A_C = 320 \text{ N cm}$, torej $r = 320/60 = 5,33 \text{ cm}$. Največja cela lega, ki še ustreza, je zato $r = 5 \text{ cm}$.



Odgovor: C (polje 5 cm). Čeprav deček vleče s silo 50 N (pravokotna 40 N + vzporedna 30 N), za vrtilni učinek šteje samo 40 N – vzporedna komponenta se prenese naravnost v tečaj.

Kaj smo se naučili?

- da silo, ki deluje pod kotom na element, razstavimo na **pravokotno** komponento (ustvarja vrtilni učinek) in komponento **v smeri** elementa (prenese se naravnost v tečaj/podporo, brez učinka);
- da lahko silo, narisano v merilu mreže, razstavimo kar geometrijsko – z geotrikotnikom skonstruiramo pravokotnik in preberemo dolžini komponent, brez kota ali kotnih funkcij;
- da je za vrtilni učinek pomembna samo pravokotna komponenta – velikost celotne sile sama po sebi ne pove dovolj;
- da je to natanko isto orodje (sila $\times$ ročica) kot doslej – le da moramo silo najprej razstaviti, preden ga uporabimo.

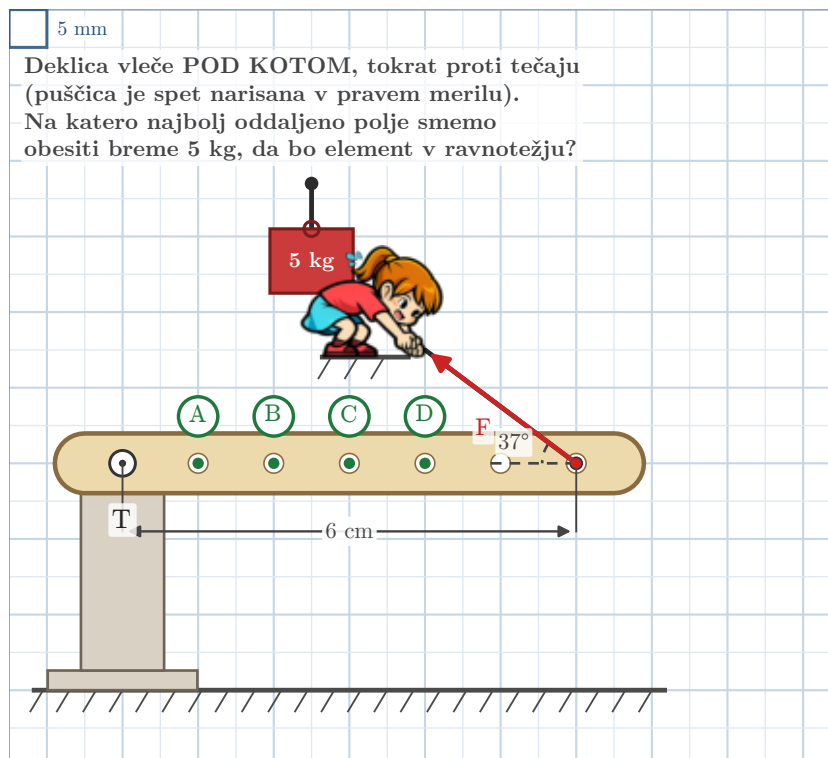
Kje to uporabljamo?

V pravih strojih sila skoraj nikoli ne deluje natanko pravokotno na element (npr. vrv pod kotom, veter na konzolo ...). Zato inženirji vedno najprej razstavijo silo na komponento, ki dejansko vrti (ali upogiba) konstrukcijo, in komponento, ki jo samo obremenjuje (tišči/vleče) vzdolž njene osi.

Naloga S7-2: Sila pod kotom – vaja



Enak mehanizem, le da je tokrat deklica 6 cm od tečaja in vleče pod kotom v **nasprotno smer** (proti tečaju), s silo največ 50 N (puščica je spet narisana v pravem merilu, tako da komponenti preberemo po mreži). Imamo breme z maso 5 kg.

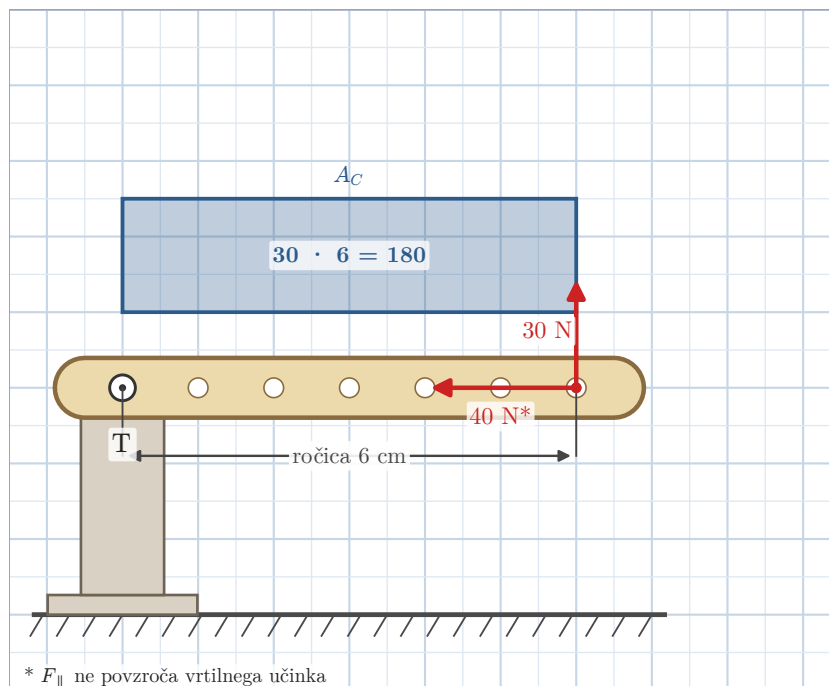


Vprašanje. Na katero najbolj oddaljeno označeno polje smemo obesiti breme z maso 5 kg, da bo element v ravnotežju?

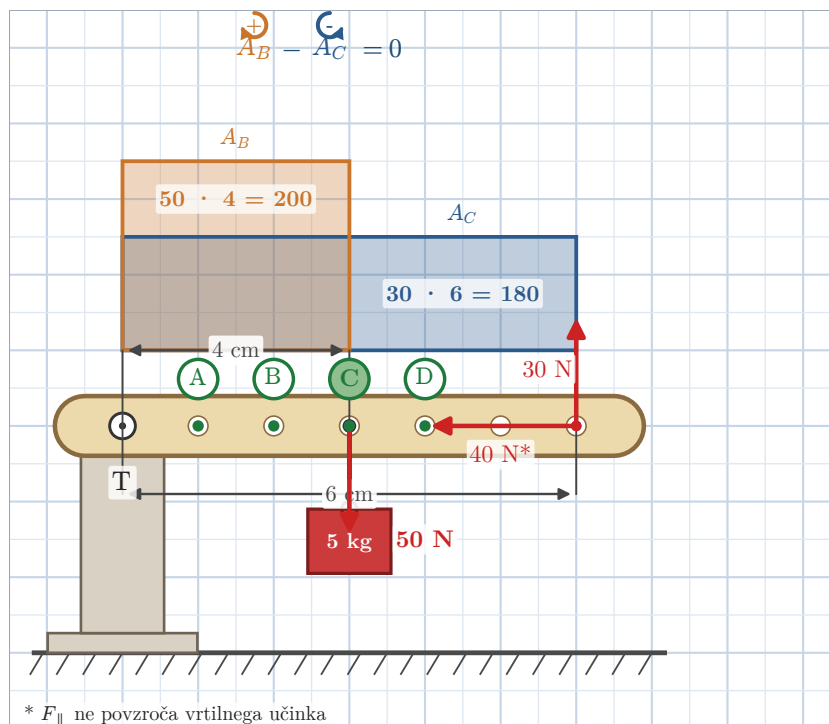
- A) polje A
- B) polje B
- C) polje C
- D) polje D

POSTOPEK REŠEVANJA

Enak postopek kot v S7-1: najprej po mreži preberemo pravokotno komponento, nato izračunamo njen vrtilni učinek.



Zdaj dodamo še iskano breme in poiščemo lego, kjer sta učinka enaka.

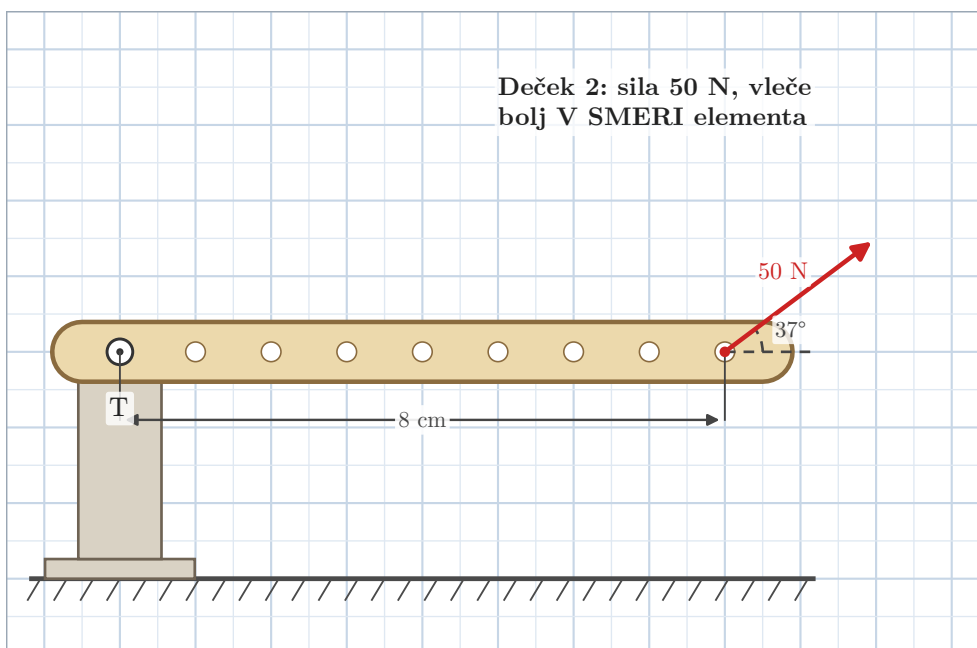
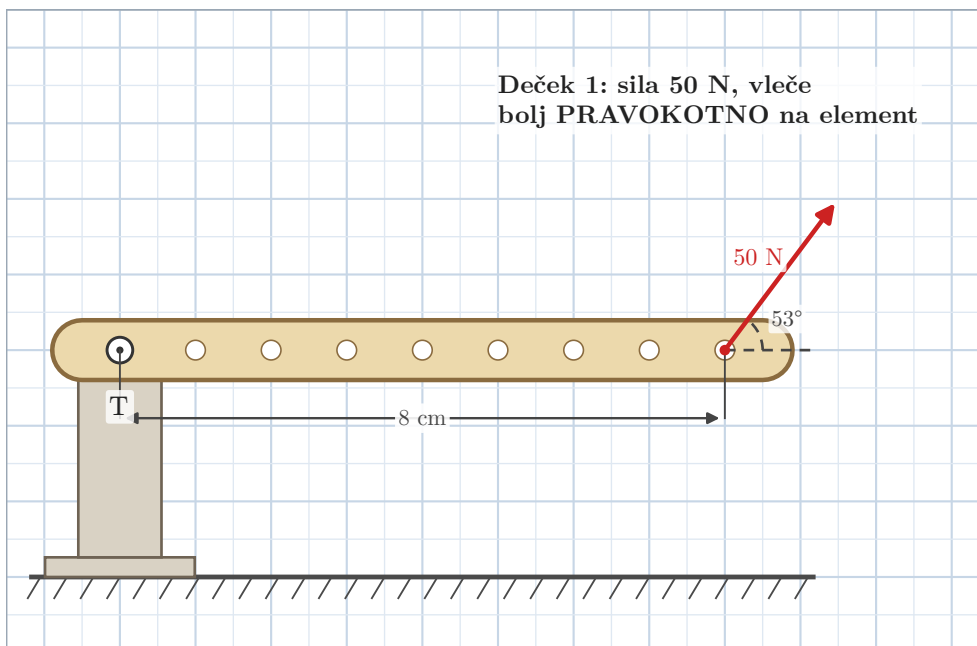


Odgovor: C (polje 3 cm). Po mreži preberemo: pravokotna komponenta 30 N (3 kvadratke), vzporedna 40 N (4 kvadratke, ne šteje – gre naravnost v tečaj). $A_C = 30 \text{ N} \cdot 6 \text{ cm} = 180 \text{ N cm}$. Breme (sila 50 N) sme na razdaljo $r = 180/50 = 3,6 \text{ cm}$, torej največ na polje 3 cm.

Naloga S7-3: Kdo bolj zavrti element? – vaja



Dva dečka vlečeta vsak s silo 50 N, na isti razdalji od tečaja (8 cm) – a pod različnim kotom. Sili sta narisani v pravem merilu; komponenti nista podani – preberi ju sam po mreži.

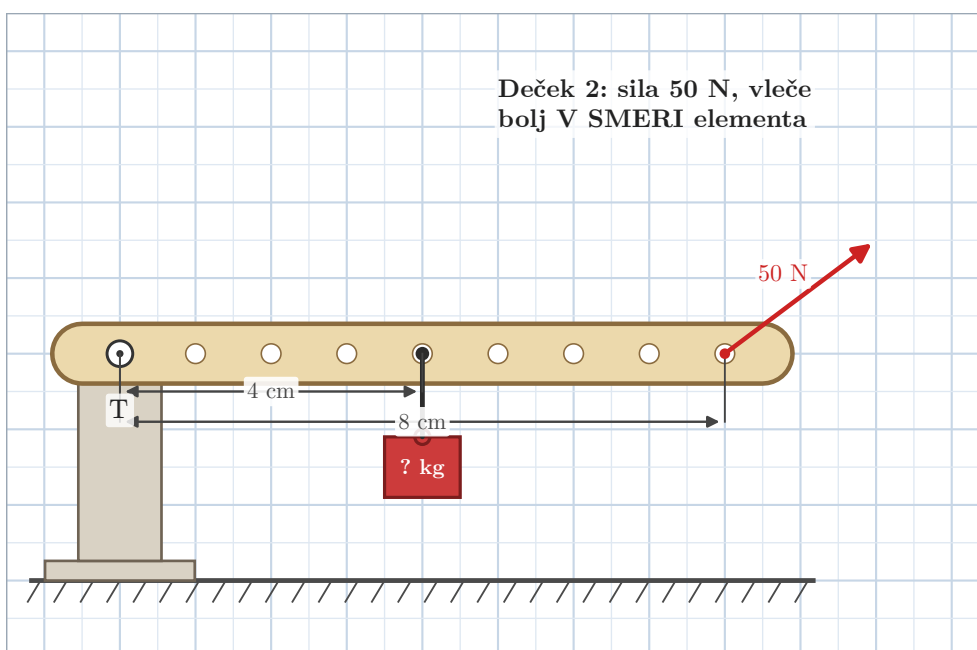
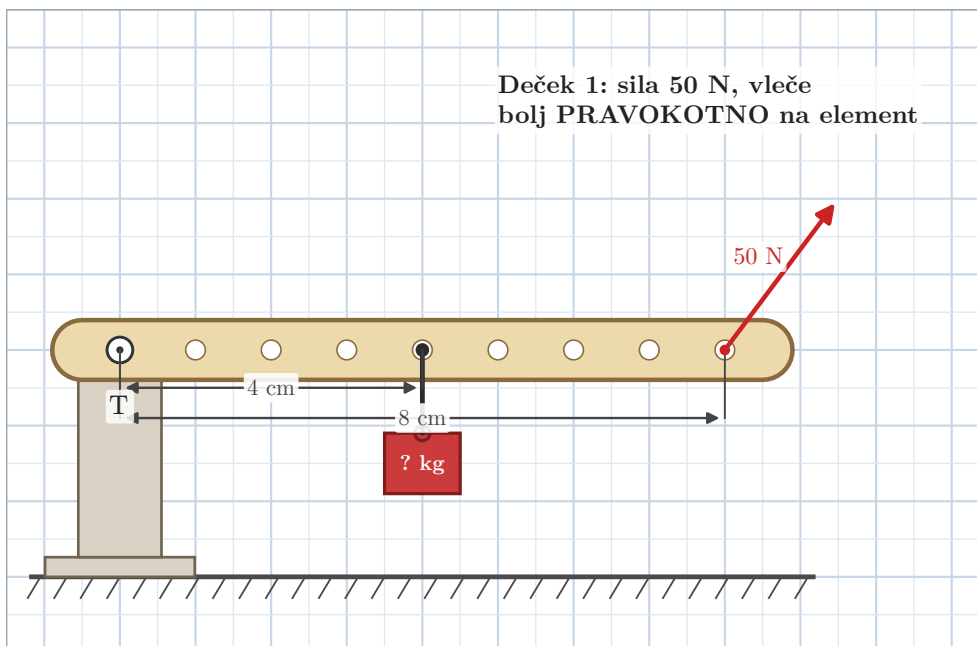


Vprašanje. 1. del: Kateri od dveh dečkov bolj zavrti element, čeprav sta sili enako veliki (50 N)?

- A) Deček 1 (vleče bolj pravokotno na element)
- B) Deček 2 (vleče bolj v smeri elementa)
- C) Enako – sili sta enaki (50 N)

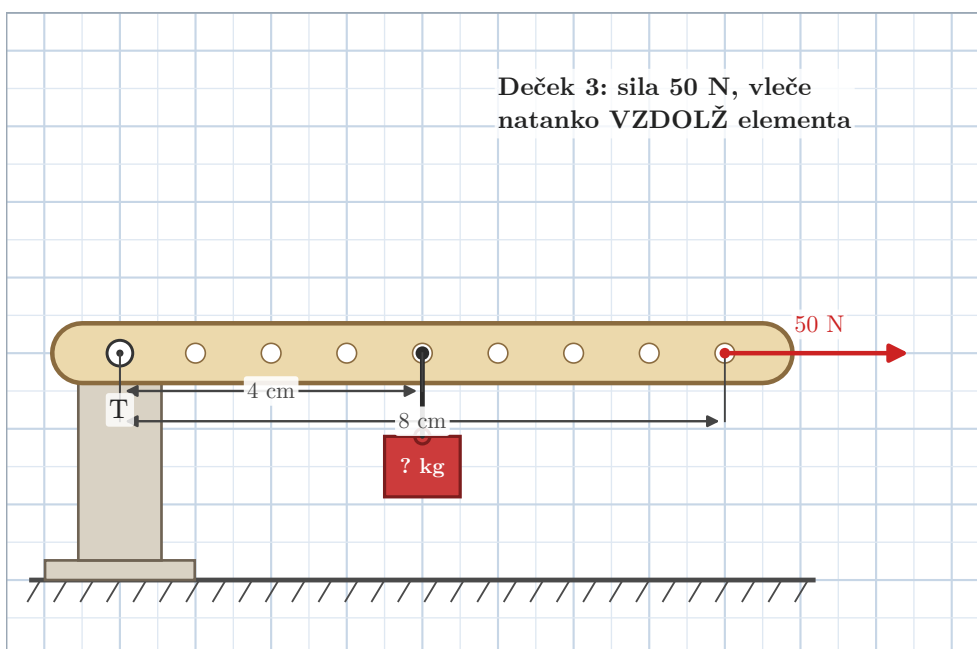
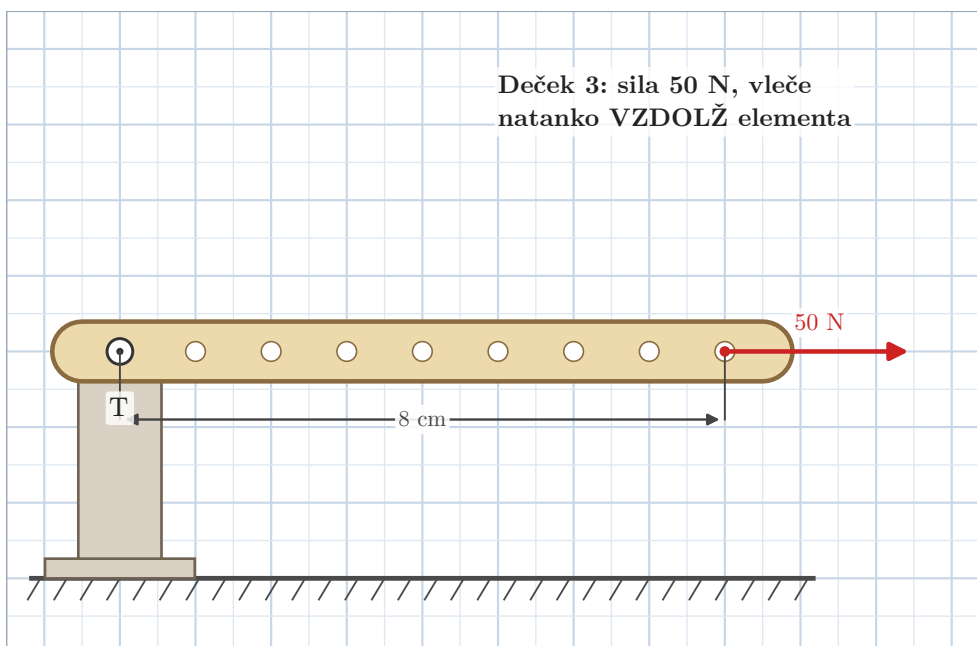
Odgovor: Deček 1. Po mreži preberemo: pri dečku 1 je pravokotna komponenta 40 N (učinek $40 \cdot 8 = 320 \text{ N cm}$), pri dečku 2 pa le 30 N (učinek $30 \cdot 8 = 240 \text{ N cm}$) – čeprav je skupna sila v obeh primerih enaka (50 N). Velikost sile same po sebi torej ne pove dovolj – šteje samo njena pravokotna komponenta.

Vprašanje. 2. del: Na sredino elementa (4 cm od tečaja) obesimo utež neznane mase. Kolikšno največjo maso lahko vsak od dečkov še zadrži, ne da bi ga element premagal?



Odgovor: Deček 1 zadrži do $A_C/4\text{ cm} = 320/4 = 80\text{ N} = 8\text{ kg}$, deček 2 pa le $240/4 = 60\text{ N} = 6\text{ kg}$. Deček 2 ima manjšo pravokotno komponento, zato ima manjši vrtilni učinek in lahko zadrži manjšo utež – del njegove sile ne prispeva k vrtilnemu učinku, temveč se prenese vzdolž elementa naravnost v tečaj.

Vprašanje. 3. del: Pridruži se še tretji deček, ki vleče prav tako s silo 50 N, na isti razdalji (8 cm) – a natanko **vzdolž** elementa. Kolikšno največjo maso lahko zadrži, če je na sredini elementa (4 cm) obešena utež?

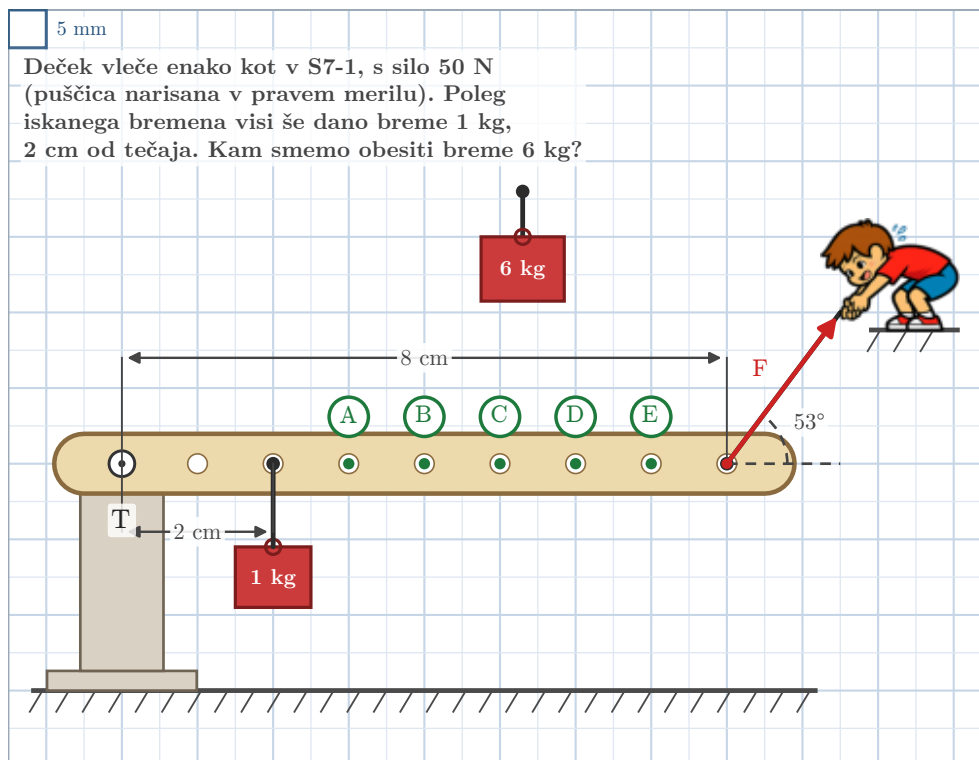


Odgovor: Nobene – tudi če bi vlekel poljubno močno, njegova pravokotna komponenta je natanko 0 N, torej je tudi njegov vrtilni učinek $A_C = 0 \text{ N cm}$. Cela njegova sila (50 N) gre naravnost v tečaj in ga obremenjuje, a elementa ne vrtil prav nič. Že najmanjša utež na sredini elementa bi ga zavrtela – deček 3 tega ne bi mogel preprečiti.

Naloga S7-4: Dve bremeni na isti strani – vaja



Enak mehanizem kot S7-1: deček vleče pod kotom, s silo 50 N, 8 cm od tečaja (puščica narisana v pravem merilu – komponenti preberi sam po mreži). Poleg iskanega bremena visi še eno, **dano**, breme: 1 kg, 2 cm od tečaja. Kam smemo obesiti breme 6 kg?



Vprašanje. Na katero najbolj oddaljeno označeno polje smemo obesiti breme z maso 6 kg, da bo element v ravnotežju?

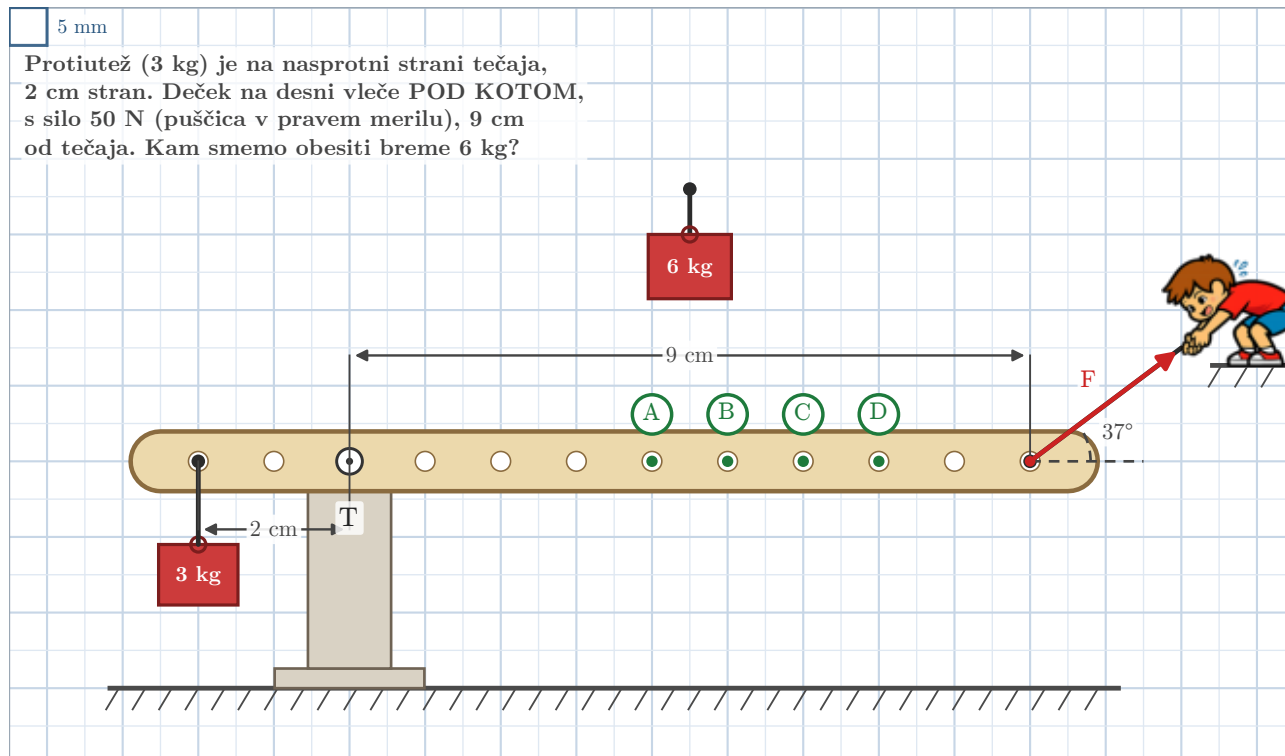
- A) polje A
- B) polje B
- C) polje C
- D) polje D
- E) polje E

Odgovor: C (polje 5 cm). Po mreži preberemo pravokotno komponento dečkove sile: 40 N. Dano breme (10 N, 2 cm) in iskano breme vlečeta v **isto** smer – njuna učinka najprej seštejemo (kot v Sklopu 2): $A_C = 40 \cdot 8 = 320 \text{ N cm}$; dano breme: $10 \cdot 2 = 20 \text{ N cm}$. Iskanemu bremenu (60 N) ostane $320 - 20 = 300 \text{ N cm}$, torej $r = 300/60 = 5 \text{ cm}$.

Naloga S7-5: Protiutež na nasprotni strani – vaja

★★★★☆

Element je tokrat podaljšan tudi na **nasprotno** stran tečaja, kjer visi protiutež (3 kg, 2 cm od tečaja) – enako kot v Sklopu 4. Deček na desni strani vleče pod kotom, s silo 50 N, 9 cm od tečaja (puščica narisana v pravem merilu – to je drugačen kot in druga razdalja kot v S7-1).



Vprašanje. Na katero najbolj oddaljeno označeno polje smemo obesiti breme z maso 6 kg, da bo element v ravnotežju?

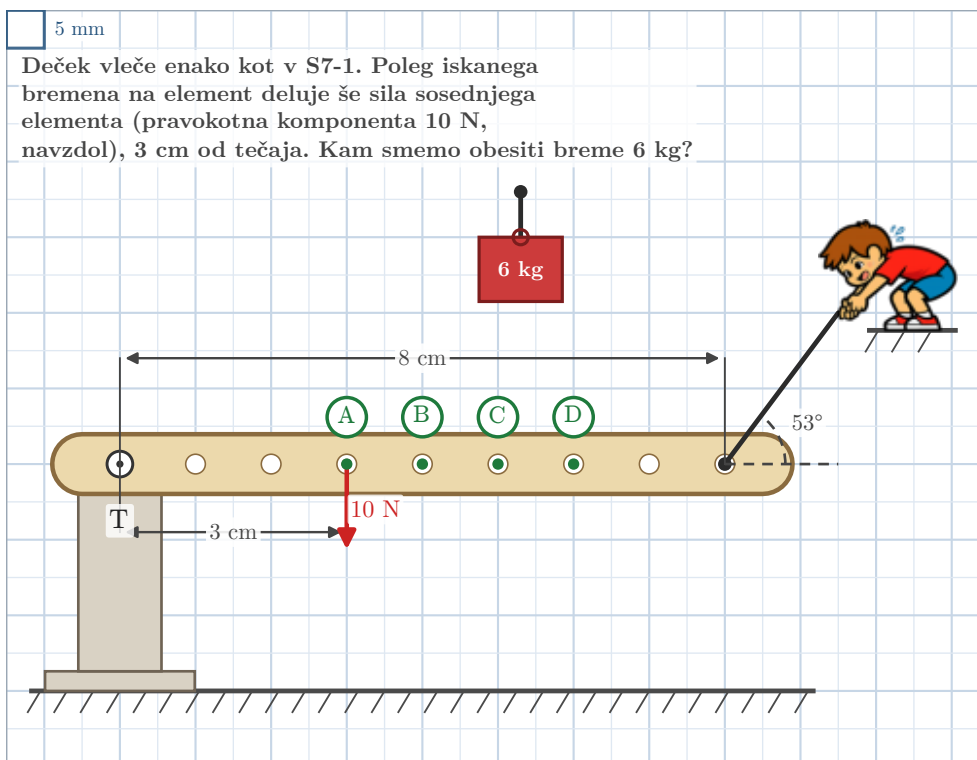
- A) polje A
- B) polje B
- C) polje C
- D) polje D

Odgovor: B (polje 5 cm). Po mreži preberemo pravokotno komponento dečkove sile: 30 N. Protiutež in dečkova pravokotna komponenta vrtita element v **isto** smer – seštejemo ju: $A_P = 30 \cdot 2 = 60 \text{ N cm}$, $A_C = 30 \cdot 9 = 270 \text{ N cm}$, skupaj 330 N cm. Breme (60 N) sme na razdaljo $r = 330/60 = 5,5 \text{ cm}$, torej največ na polje 5 cm.

Naloga S7-6: Vpliv sosednjega elementa – vaja

★★★★

Enak mehanizem kot S7-1. Na elementu, 3 cm od tečaja, deluje še sila **sosednjega** elementa, pod kotom: njena pravokotna komponenta je 10 N, navzdol.



Vprašanje. Na katero najbolj oddaljeno označeno polje smemo obesiti breme z maso 6 kg, da bo element v ravnotežju?

- A) polje A
- B) polje B
- C) polje C
- D) polje D

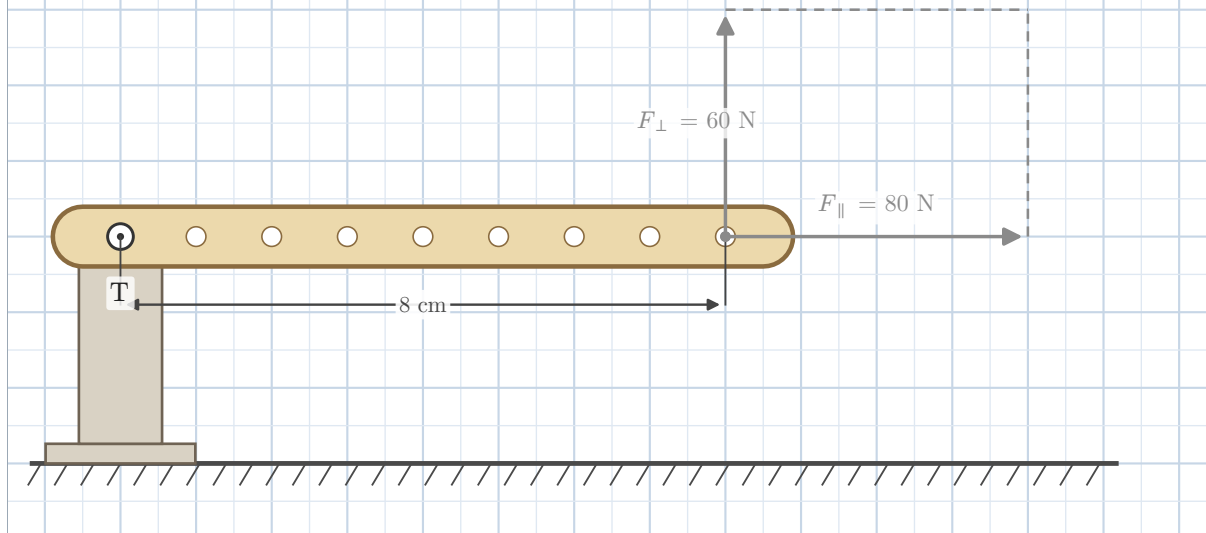
Odgovor: B (polje 4 cm). Sila sosednjega elementa vrtil element v **isto** smer kot iskano breme – oboje odštejemo od dečkovega učinka: $A_C = 40 \cdot 8 = 320 \text{ N cm}$; sosednji element: $10 \cdot 3 = 30 \text{ N cm}$. Iskanemu bremenu (60 N) ostane $320 - 30 = 290 \text{ N cm}$, torej $r = 290/60 = 4,83 \text{ cm}$, največ na polje 4 cm.

Naloga S7-7: Sestavimo rezultanto iz komponent – vaja



Tokrat je obratno kot doslej: sile same **ne poznamo**, poznamo le njeni komponenti – pravokotno (60 N, 6 kvadratkov) in vzporedno (80 N, 8 kvadratkov).

Poznamo **KOMPONENTI** dečkove sile,
ne pa sile same. Kolikšna je
DEJANSKA sila (rezultanta)?



Vprašanje. Kolikšna je dečkova dejanska sila (rezultanta), s katero vleče vrv?

Odgovor: $F = 100 \text{ N}$. Z geotrikotnikom (ali kar po mreži) sestavimo pravokotnik iz obeh komponent – rezultanta je natanko njegova diagonalna. Izmerimo jo: 10 kvadratkov = 100 N. (Gre za isti trikotnik kot 3-4-5, le podvojen: 6-8-10.)

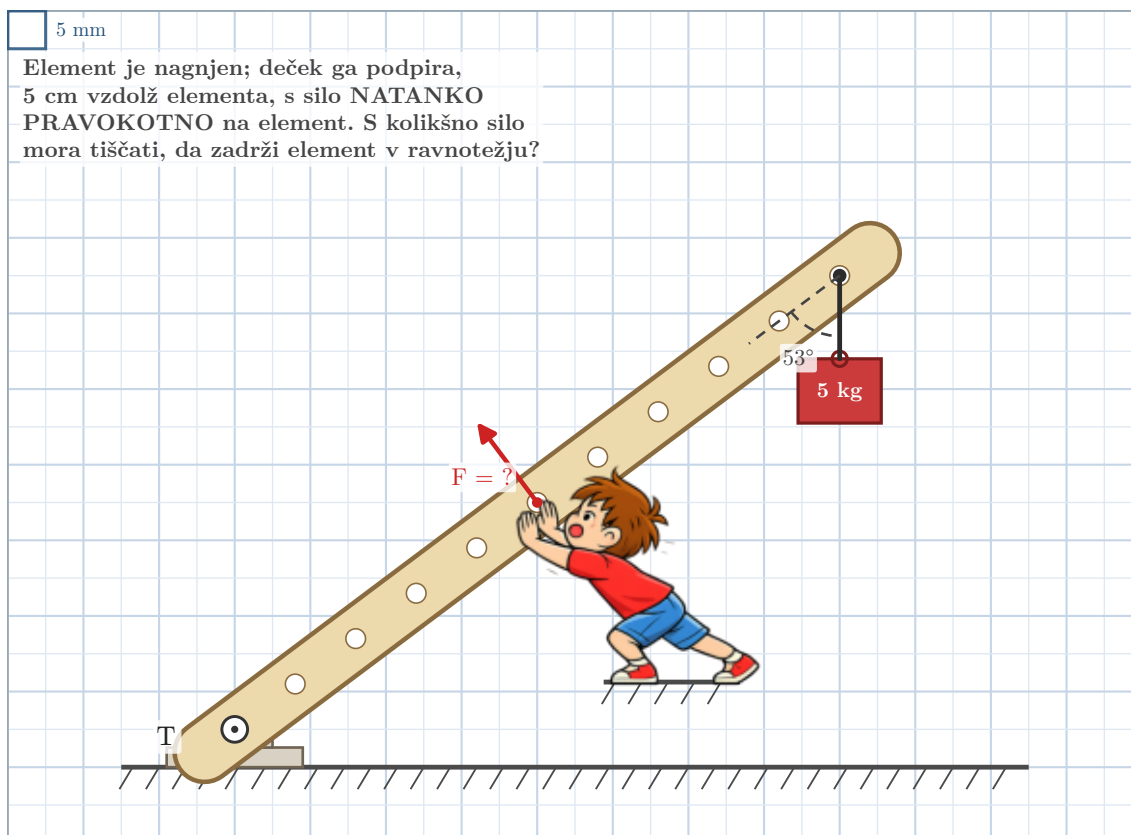
Kaj smo se naučili?

- da lahko postopek obrnemo: če poznamo obe komponenti, z geotrikotnikom sestavimo pravokotnik in **izmerimo** diagonalno – to je dejanska sila (rezultanta);
- da razstavljanje in sestavljanje uporabljata isto sliko (pravokotnik), le v obratni smeri.

Naloga S8-1: Poševni element pod kotom



Element je vpet v tečajju T na tleh in se prosto vrti; naslonjen je na dečkove roke. Element je nagnjen tako, da se za vsakih 5 cm dolžine (vzdolž elementa) premakne 4 cm vodoravno in 3 cm navpično. Breme (5 kg) visi na koncu, 10 cm vzdolž elementa; deček element podpira 5 cm vzdolž elementa, s silo **natanko pravokotno** na element (roke so prislonjene nanj).



Vprašanje. S kolikšno silo mora deček tiščati, da zadrži element v narisani legi?

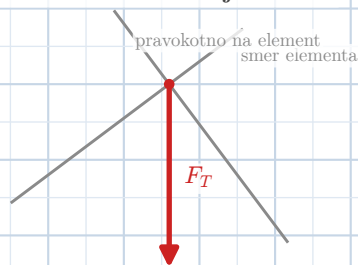
POSTOPEK REŠEVANJA

Breme vleče navpično navzdol (teža) – a element je nagnjen. Njegovo težo zato razstavimo na komponento **pravokotno** na element (ustvarja vrtilni učinek) in komponento **v smeri** elementa (gre naravnost v tečaj) – enaka konstrukcija kot v Sklopu 7, le da je tu referenčna smer (element) **pod kotom**, ne vodoravna, zato konstrukcijski črti potegnemo v smeri elementa in pravokotno nanj, ne v smeri mreže.

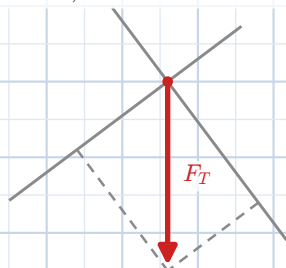
1) Najprej narišemo samo težo F_T .



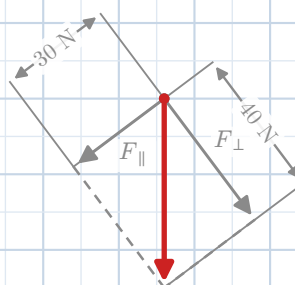
2) V prijemališču potegnemo dve tanki črti: eno V SMERI elementa, eno PRAVOKOTNO nanj.



3) Skozi konico teže F_T narišemo črtkani vzporednici -- dobimo pravokotnik, ki natanko uokvirja F_T .



4) Stranici pravokotnika STA komponenti ($F_{\perp}$, $F_{\parallel}$) -- 40 N in 30 N.

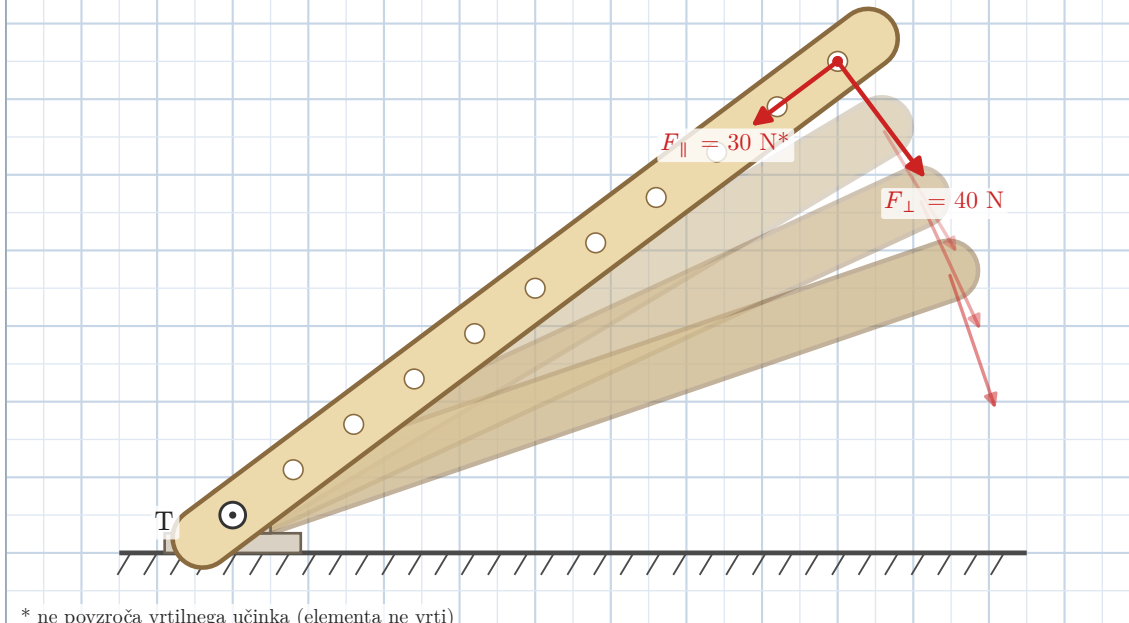


Zdaj operiramo **samo** s komponentama – teža sama ni več pomembna. Navidezne lege (kot v Sklopu 4) pokažejo, kam bi element sama zasukala pravokotna komponenta; vzporedna gre naravnost v tečaj in ga ne vrtil.

Pravokotna komponenta ($F_{\perp} = 40 \text{ N}$)

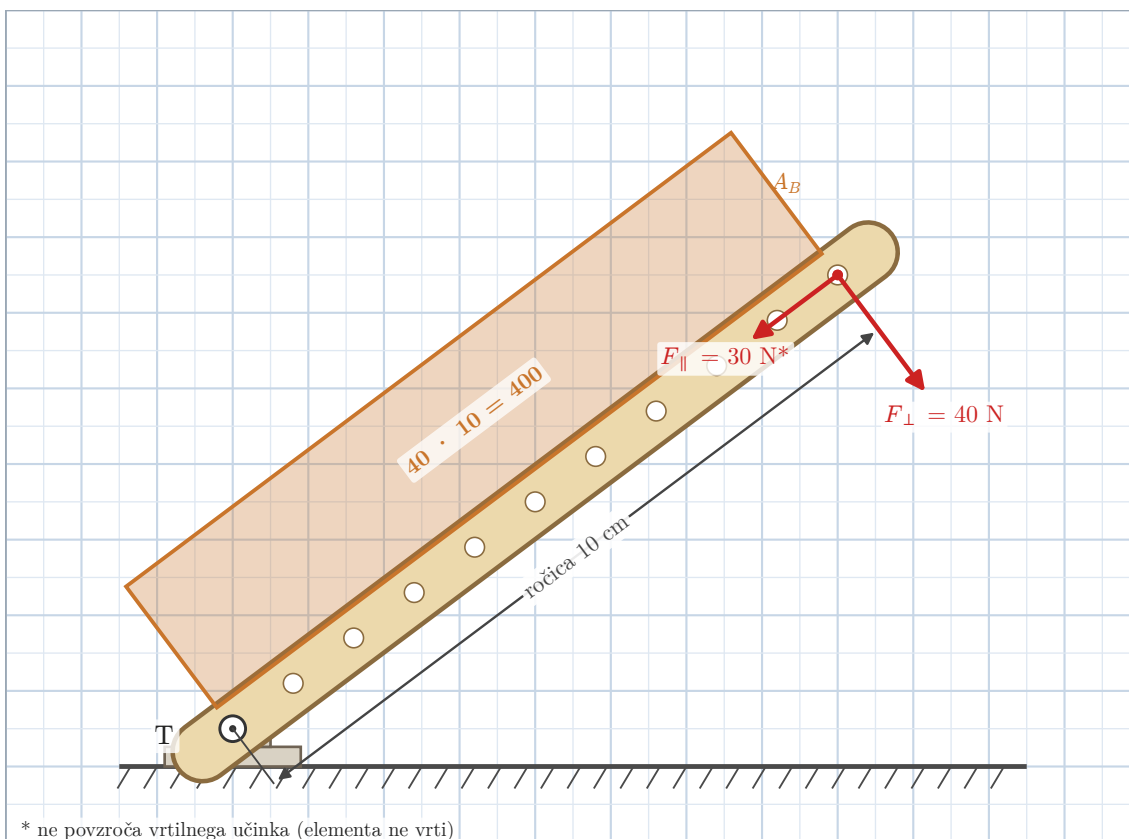
DEJANSKO vrti element (glej „navidezne lege“).

Vzporedna ($F_{\parallel} = 30 \text{ N}^*$) gre naravnost v tečaj.

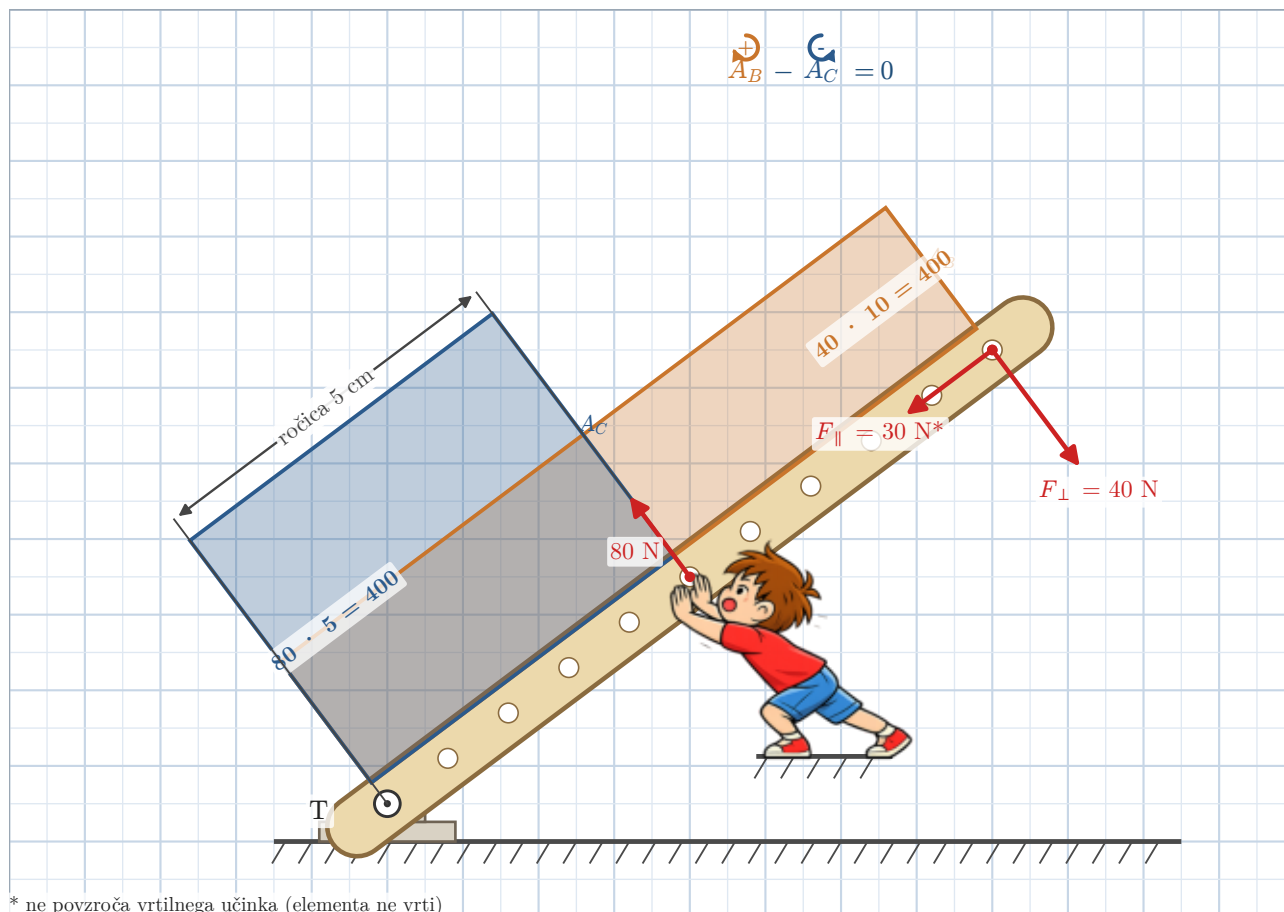


Dečkova sila je že vnaprej pravokotna, zato je ne razstavljamo – v celoti šteje. Ročica je pri obeh preprosto razdalja **vzdolž** elementa (tu se nič ne razstavlja – to je le dolžina).

Korak 1. Teža bremena (50 N) ima pravokotno komponento $F_{\perp} = 50 \cdot 0,8 = 40 \text{ N}$ (vzporedna, 30 N, ne šteje). Ročica je 10 cm (vzdolž elementa): $A_B = 40 \text{ N} \cdot 10 \text{ cm} = 400 \text{ N cm}$ (pozitivno).



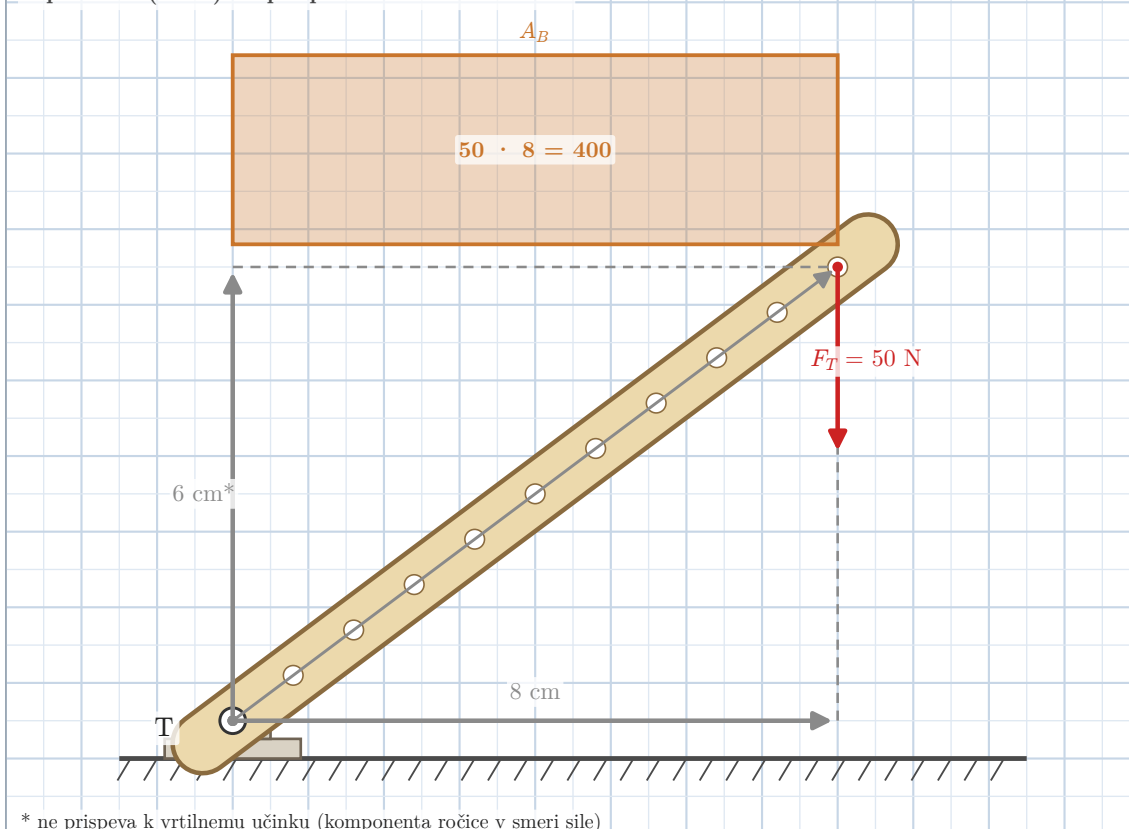
Korak 2. Dečkova sila je v celoti pravokotna, ročica 5 cm: $F \cdot 5 \text{ cm} = 400 \text{ N cm}$, torej $F = 400/5 = 80 \text{ N}$.



Odgovor: $F = 80 \text{ N}$. Preverimo: $40 \text{ N} \cdot 10 \text{ cm} = 400 \text{ N cm} = 80 \text{ N} \cdot 5 \text{ cm}$ – učinka sta enaka in nasprotno predznačena, element je v ravnotežju.

Druga pot do istega izračuna. Namesto teže lahko razstavimo **ročico**: usmerimo se po sili (navpično) in ročico (T do prijemališča) razstavimo na komponento **pravokotno** na silo (8 cm – ta šteje) in komponento **v smeri** sile (6 cm – ta ne prispeva, saj gre natanko v smeri, v kateri sila že deluje). Enaka sila (50 N) in enaka (pravokotna) razdalja (8 cm) dajo **enak** učinek (400 N cm) – isto orodje kot pri razstavljanju sile, le da tokrat razstavimo ročico.

Namesto SILE razstavimo ročico (glede na smer sile): pravokotna komponenta (8 cm) šteje, vzporedna (6 cm) ne prispeva. Enak učinek.



Kaj smo se naučili?

- da je, ko silo razstavimo in uporabimo njeno komponento **pravokotno** na element, pripadajoča ročica razdalja vzdolž elementa od tečaja do prijemališča – enako kot doslej, saj element sam določa svojo dolžino;
- da moramo silo, ki ni pravokotna na element (tu: teža bremena), razstaviti na pravokotno ($F_{\perp}$, šteje) in vzporedno komponento ($F_{\parallel}$, ne šteje) – enako orodje kot v Sklopu 7, le da je referenčna smer tu sam (nagnjen) element;
- da je to spet isto orodje (sila $\times$ ročica) kot doslej – le da moramo pravilno razstaviti silo, preden ga uporabimo.

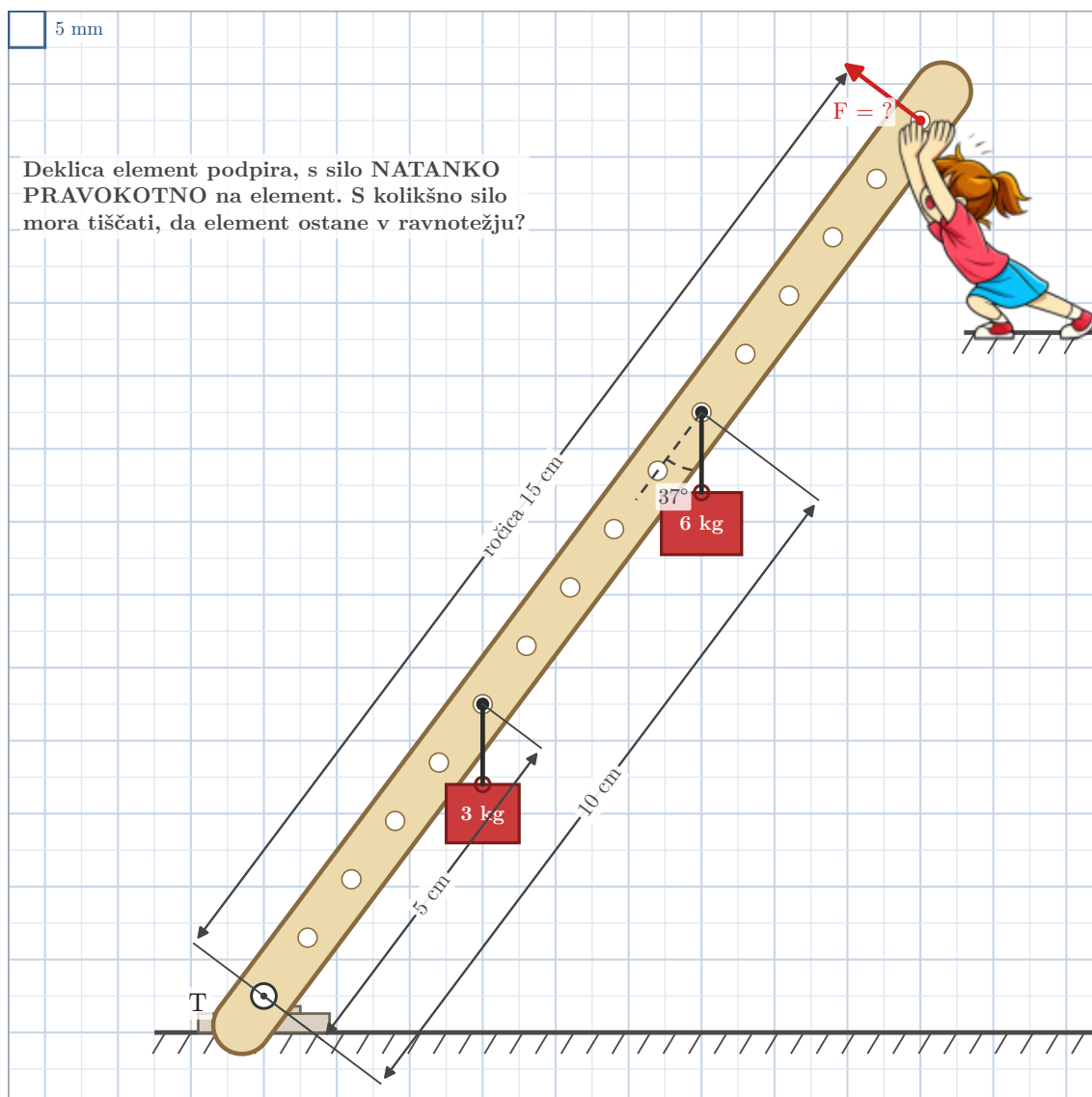
Kje to uporabljamo?

Poševni elementi (lestve, klančine, diagonalne opore) so v pravih konstrukcijah pogosti. Teža (ali katerakoli druga navpična sila) na takem elementu vedno deluje delno pravokotno (upogiba element) in delno vzdolž njega (ga tišči/vleče) – inženirji to razstavijo enako, kot smo naredili tu.

Naloga S8-2: Bolj strm element, dve bremení – vaja



Element je tokrat bolj pokončen: za vsakih 5 cm dolžine (vzdolž elementa) se premakne 3 cm vodoravno in 4 cm navpično. Na elementu visita dve bremení: 3 kg (5 cm vzdolž elementa) in 6 kg (10 cm vzdolž elementa). Deklica element podpira dlje gor, 15 cm vzdolž elementa, s silo **natanko pravokotno** na element.



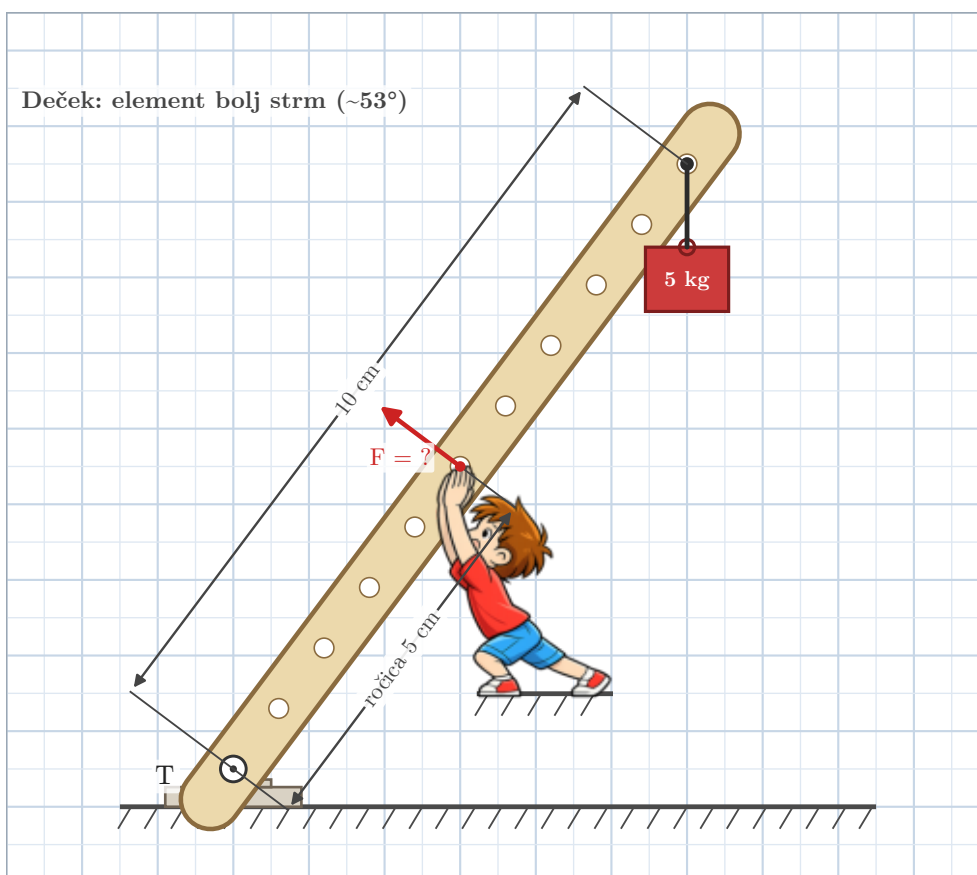
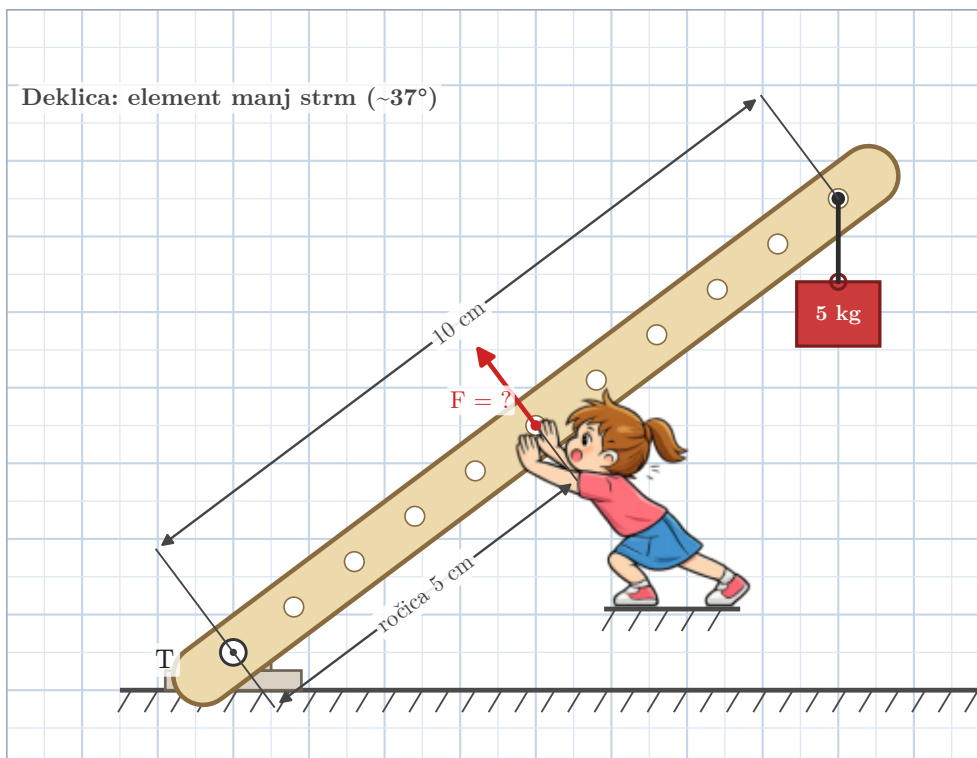
Vprašanje. S kolikšno silo mora deklica tiščati, da element ostane v ravnotežju?

Odgovor: $F = 30 \text{ N}$. Pravokotni komponenti obeh bremen: $30 \cdot 0,6 = 18 \text{ N}$ in $60 \cdot 0,6 = 36 \text{ N}$. $A_{B1} = 18 \cdot 5 = 90 \text{ N cm}$, $A_{B2} = 36 \cdot 10 = 360 \text{ N cm}$, skupaj 450 N cm . $F = 450/15 = 30 \text{ N}$.

Naloga S8-3: Ali je kot elementa pomemben za potrebno silo? – vaja

★★★★

Enako breme (5 kg, 10 cm vzdolž elementa) in enaka oseba (5 cm vzdolž elementa, tišči natanko pravokotno na element) – v obeh primerih **enako dolg** element, le da je enkrat manj strm (deklica), enkrat bolj strm (deček).



Vprašanje. Kdo (deklica ali deček) mora tiščati z **večjo** silo, da zadrži svoj element v ravnotežju?

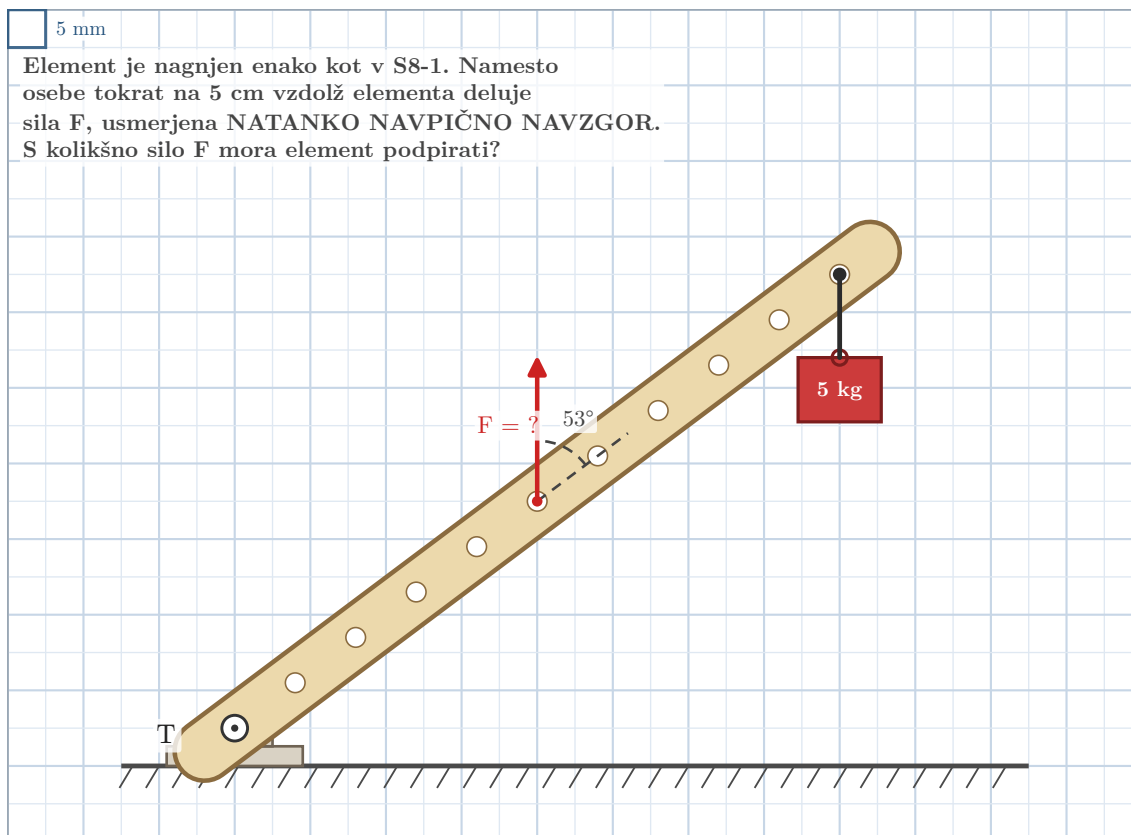
- A) Deklica (manj strm element) potrebuje večjo silo
- B) Deček (bolj strm element) potrebuje večjo silo
- C) Sila je v obeh primerih enaka

Odgovor: Deklica. Pri manj strm elementu je pravokotna komponenta teže **večja**: $F_{\perp} = 50 \cdot 0,8 = 40 \text{ N}$, torej $F = 40 \cdot 10/5 = 80 \text{ N}$. Pri bolj strm elementu je pravokotna komponenta **manjša**: $F_{\perp} = 50 \cdot 0,6 = 30 \text{ N}$, torej $F = 30 \cdot 10/5 = 60 \text{ N}$. Bolj pokončen element torej potrebuje manjšo silo – čim bolj navpičen je element, tem manjši del teže deluje pravokotno nanj (pri povsem navpičnem elementu bi bila pravokotna komponenta teže enaka nič).

Naloga S9-1: Sila bata pod kotom



Element je vpet v tečajju T na tleh in se prosto vrti; nagnjen je enako kot v S8-1 (za vsakih 5 cm dolžine se premakne 4 cm vodoravno, 3 cm navpično). Breme (5 kg) visi na koncu, 10 cm vzdolž elementa. Namesto osebe tokrat na 5 cm vzdolž elementa deluje sila F , usmerjena **natanko navpično navzgor** (ne pravokotno na element, kot v S8-1).

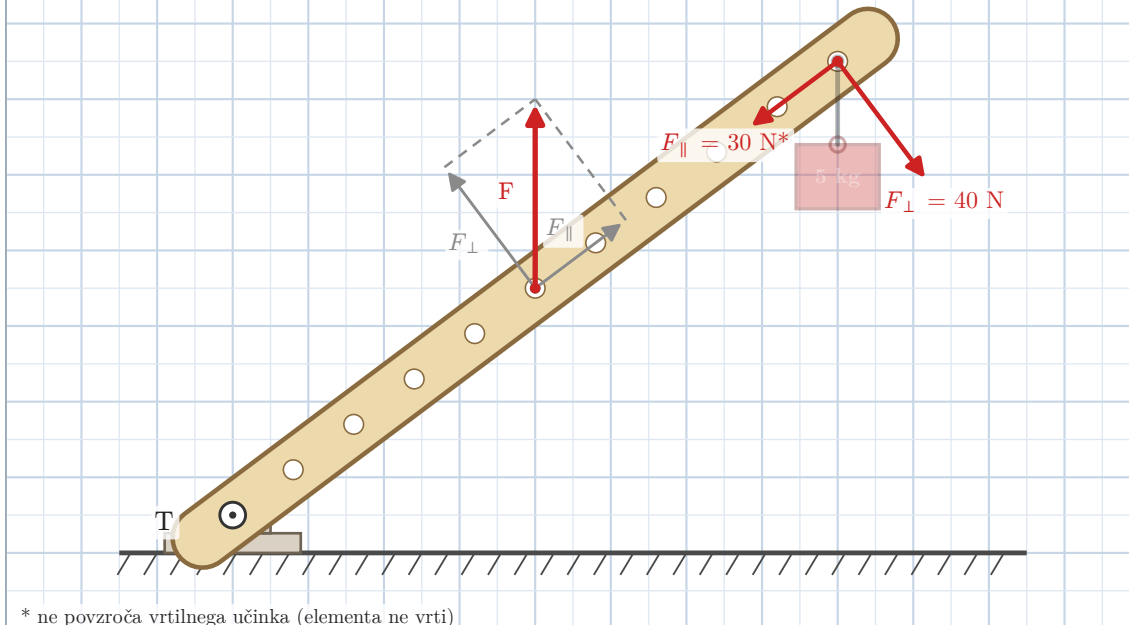


Vprašanje. S kolikšno silo F mora element podpirati, da ostane v ravnotežju?

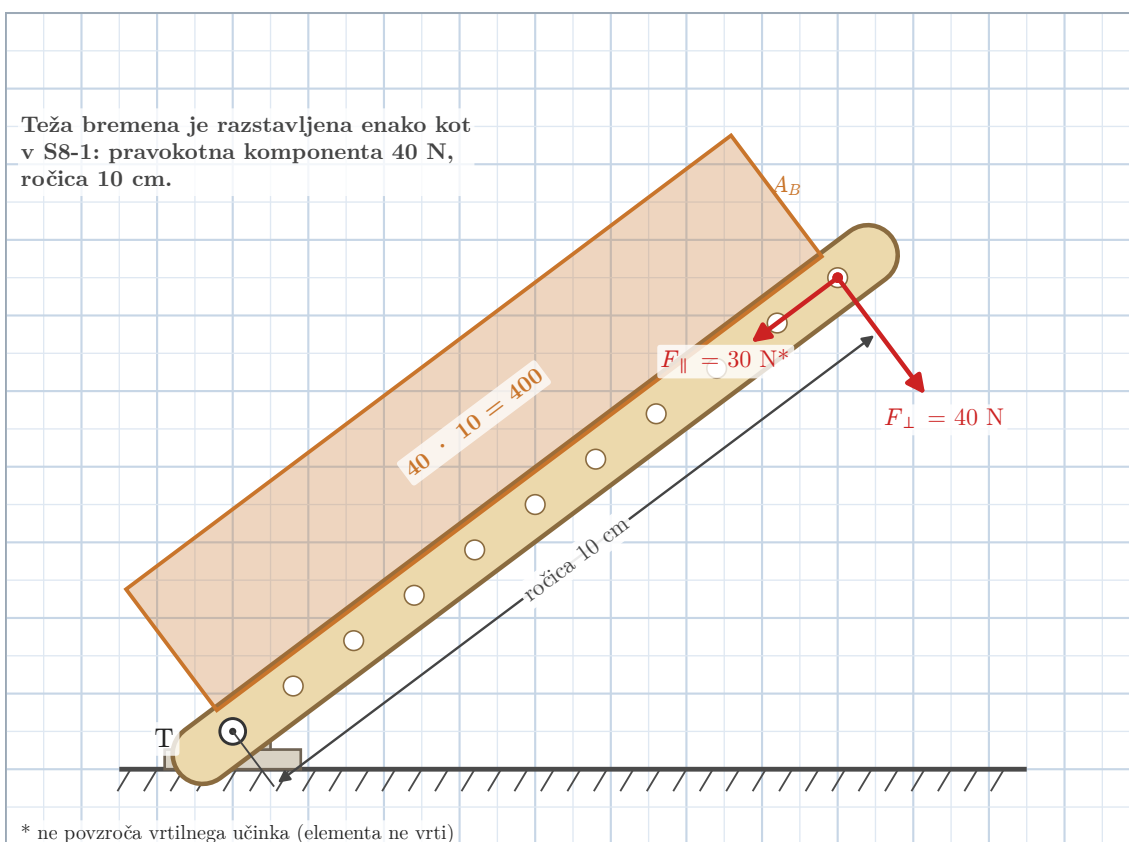
POSTOPEK REŠEVANJA

Sila F je navpična – a element je nagnjen. Enako kot teža bremena, jo razstavimo na komponento **pravokotno** na element (ustvarja vrtilni učinek – to iščemo) in komponento **v smeri** elementa (gre naravnost v tečaj, ne šteje). Velikosti sile F še ne poznamo, zato tu (še) ne pišemo števil zanjo – smer njene pravokotne komponente pa je enaka kot pri teži (isti element, isti trikotnik).

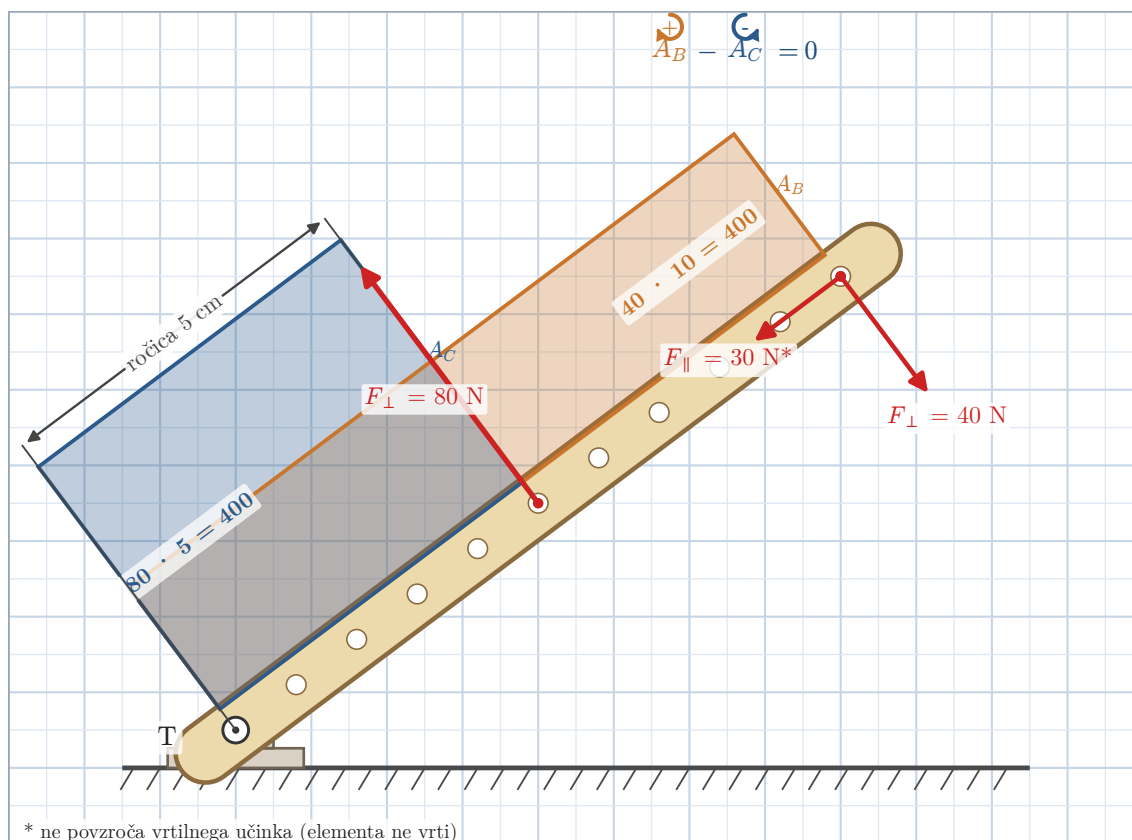
F razstavimo enako kot težo: na PRAVOKOTNO komponento (šteje) in komponento V SMERI elementa (gre naravnost v tečaj) -- iščemo njeno pravokotno komponento, druga ne šteje.



Korak 1. Teža bremena (50 N) ima pravokotno komponento $F_{\perp} = 50 \cdot 0,8 = 40 \text{ N}$, ročica 10 cm: $A_B = 40 \text{ N} \cdot 10 \text{ cm} = 400 \text{ N cm}$ (pozitivno) – enako kot v S8-1.

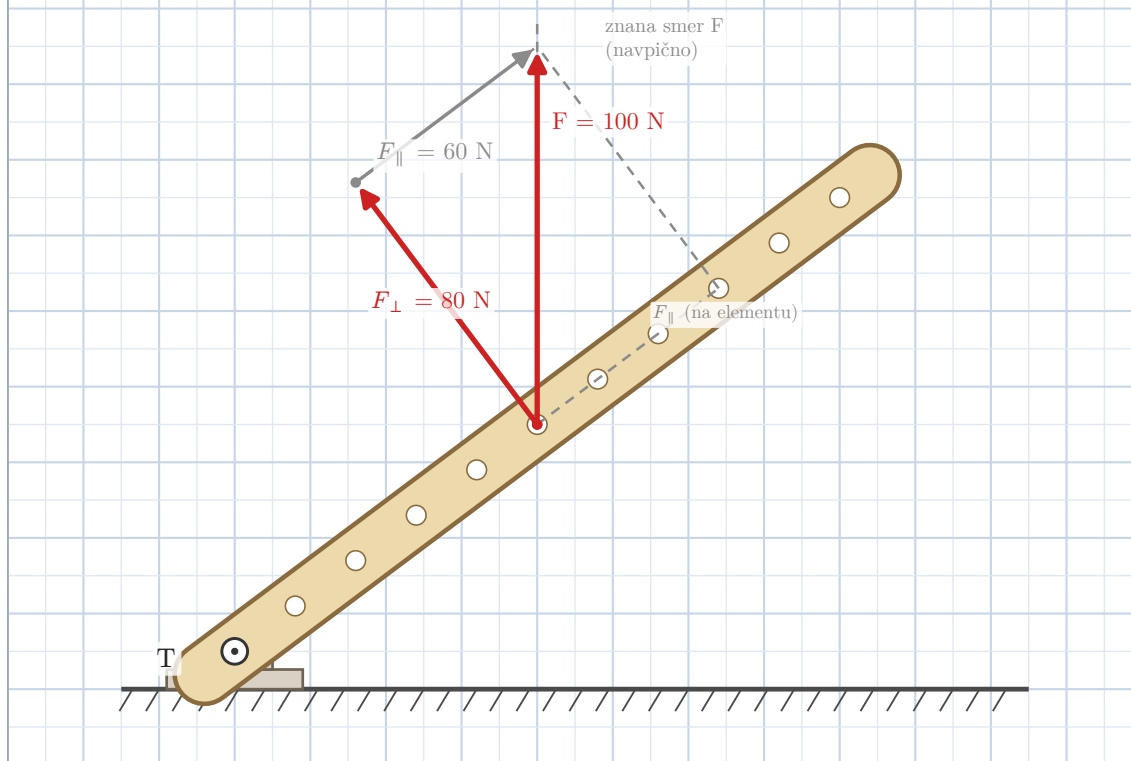


Korak 2. Ker morata biti učinka enaka, iz $A_C = A_B$ najprej poiščemo **samo** pravokotno komponento sile F: $F_{\perp} \cdot 5 \text{ cm} = 400 \text{ N cm}$, torej $F_{\perp} = 80 \text{ N}$ – enak postopek in enako število kot za dečkovo silo v S8-1!



Korak 3. Zdaj poznamo $F_{\perp}$ (80 N) IN smer celotne sile F (navpično) – to je natanko obratna naloga od S7-7: tam smo poznali obe komponenti in iskali rezultanto, tu poznamo eno komponento in smer rezultante. Z geotrikotnikom (skozi konico $F_{\perp}$ potegnemo črtkano vzporednico z elementom, skozi prijemališče pa črtkano navpičnico) grafično določimo še $F_{\parallel}$ in F – brez ulomkov in brez računanja z neznanko F vnaprej.

Poznamo $F_{\perp}$ (80 N) in smer sile F (navpično) -- enako kot pri S7-7 z geotrikotnikom določimo še $F_{\parallel}$ in F .



Odgovor: $F = 100 \text{ N}$ ($F_{\parallel} = 60 \text{ N}$). Preverimo: $40 \text{ N} \cdot 10 \text{ cm} = 400 \text{ N cm} = 80 \text{ N} \cdot 5 \text{ cm}$ – učinka sta enaka in nasprotno predznačena. Opazimo: v S8-1, kjer je sila tiščala natanko pravokotno, je zadoščalo 80 N; tu, kjer je sila navpična (ne pravokotna), pa potrebujemo **več** (100 N) – del sile ne prispeva k vrtilnemu učinku, temveč se prenese vzdolž elementa naravnost v tečaj.

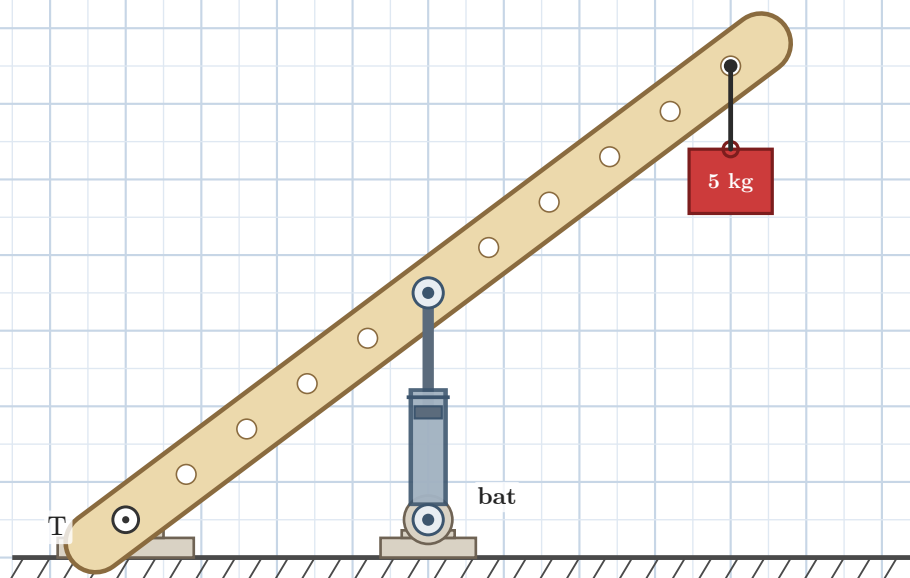
Kaj smo se naučili?

- da lahko **poljubno** silo (ne le težo) razstavimo na enak način – glede na element, ne glede na to, v katero smer sama kaže;
- da za neznan silo najprej poiščemo samo njeno pravokotno komponento (iz ravnotežja učinkov) – šele nato, iz njene znane smeri, grafično določimo še preostanek in celotno silo;
- da sila, ki ne kaže natanko pravokotno na element, za enak učinek potrebuje večjo velikost – del vedno ne prispeva k vrtilnemu učinku, temveč se prenese vzdolž elementa.

Kje to uporabljamo?

Sila F v resnici skoraj vedno prihaja od bata – hidravličnega ali pnevmatskega aktuatorja: togega elementa, vpetega na svojem (spodnjem) koncu, ki tišči ali vleče **natanko v smeri svoje osi**. Tu je ta smer navpična, zato smo batov učinek takoj lahko zamenjali z navpično silo; na splošno pa lahko bat stoji pod poljubnim kotom – takrat je treba razstaviti silo v njegovi smeri, ne navpično (glej S9-2).

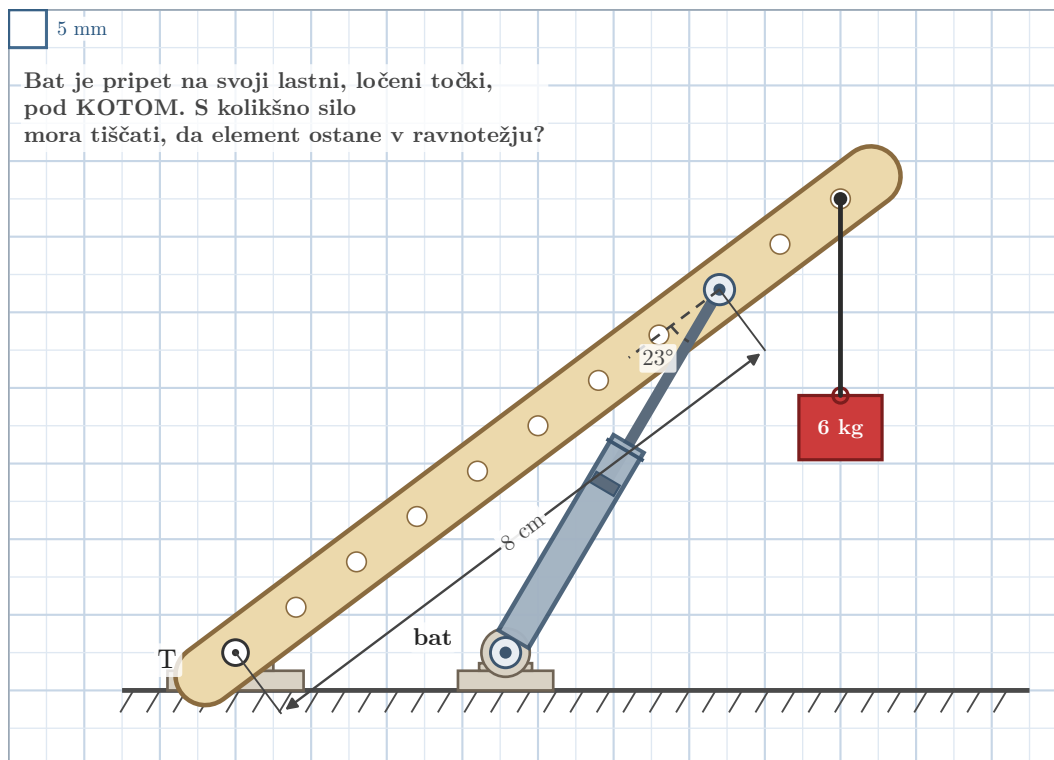
Sila F v resnici prihaja od BATA: elementa, vpetega spodaj, ki tišči NATANKO V SMERI SVOJE OSI. Tu je ta smer navpična -- na splošno pa je lahko poljubna (glej S9-2). Bat je SVOJ element -- povezan samo prek členka.



Naloga S9-2: Pravi mehanizem s batom – vaja

★★★★

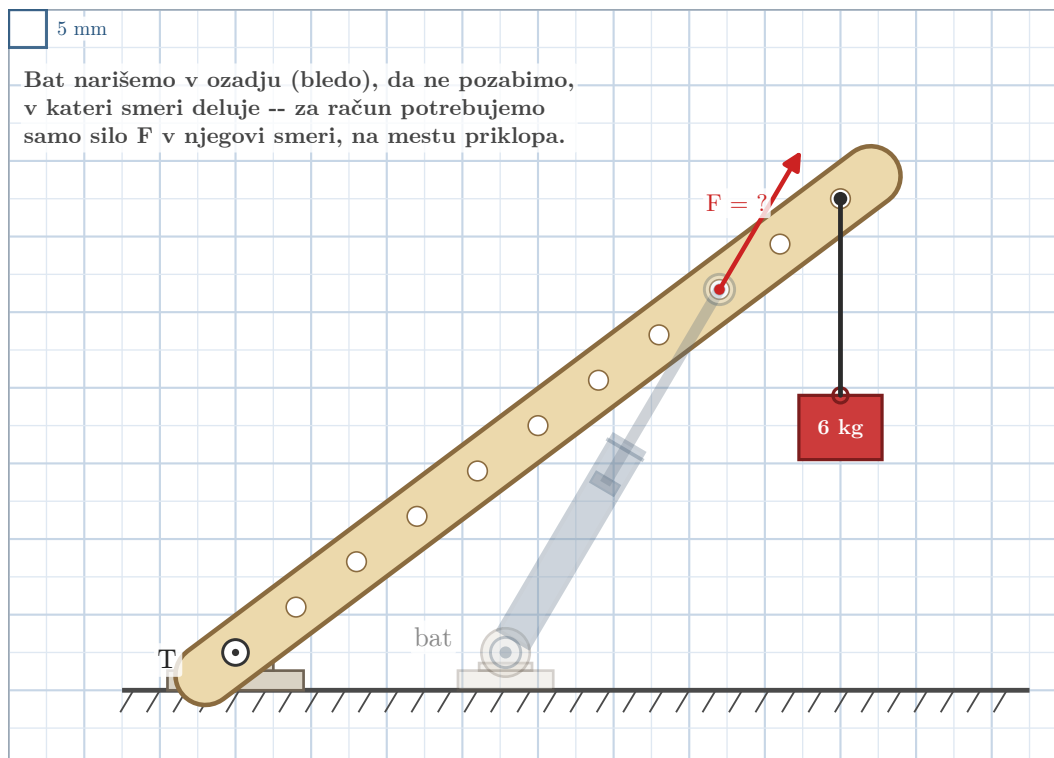
Glavni element (enak nagib kot doslej) drži breme 6 kg na koncu, 10 cm vzdolž elementa. Podpira ga bat, pripet na svoji lastni, ločeni točki – 8 cm vzdolž glavnega elementa – ki tišči **pod kotom**.



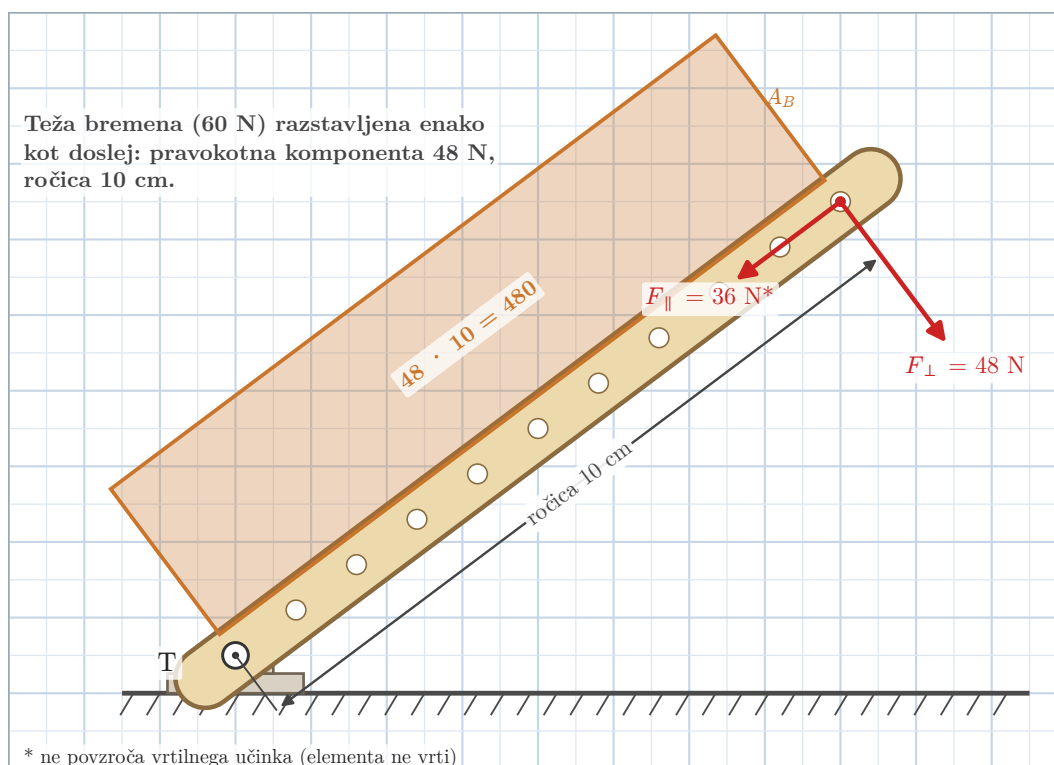
Vprašanje. S kolikšno silo mora bat tiščati, da element ostane v ravnotežju?

POSTOPEK REŠEVANJA

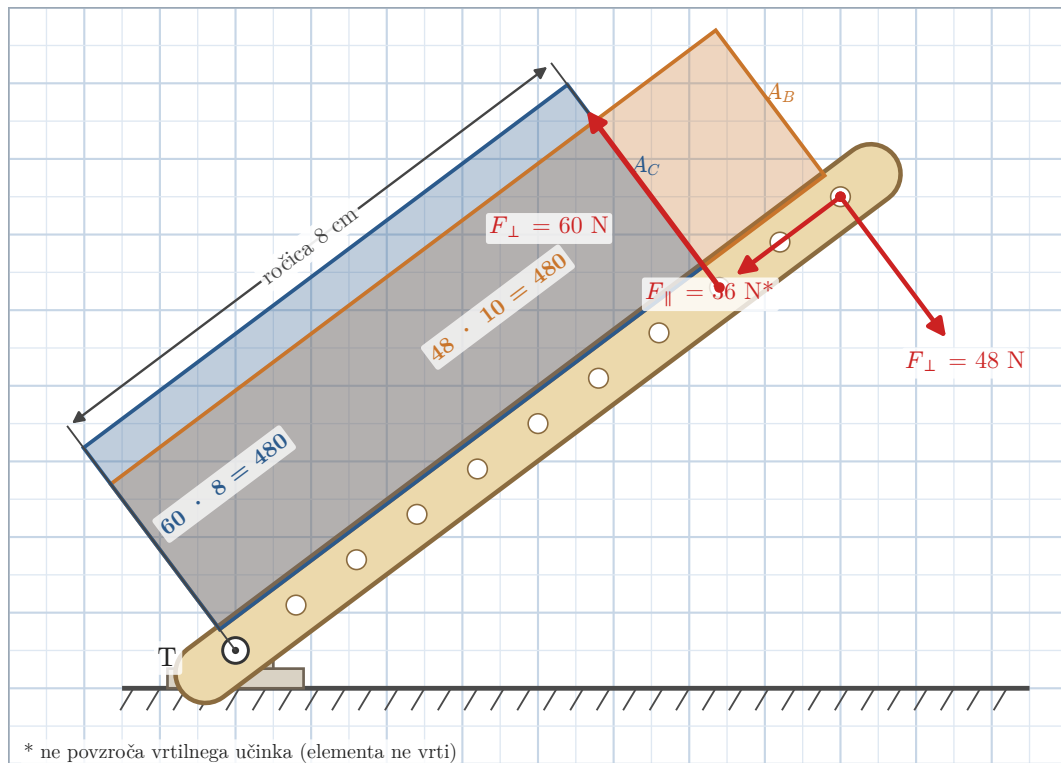
Tako kot smo v Sklopu 8 težo nadomestili z njenim učinkom, lahko tudi bat (tog element, vpet na obeh koncih) nadomestimo s silo, ki deluje **natanko v smeri bata**. Bat narišemo v ozadju (bledo), da ne pozabimo, v kateri smeri deluje; silo narišemo polno – za nadaljnji račun potrebujemo samo še to silo.



Korak 1. Teža bremena (60 N) ima pravokotno komponento $F_{\perp} = 60 \cdot 0,8 = 48 \text{ N}$, ročica 10 cm: $A_B = 48 \text{ N} \cdot 10 \text{ cm} = 480 \text{ N cm}$.

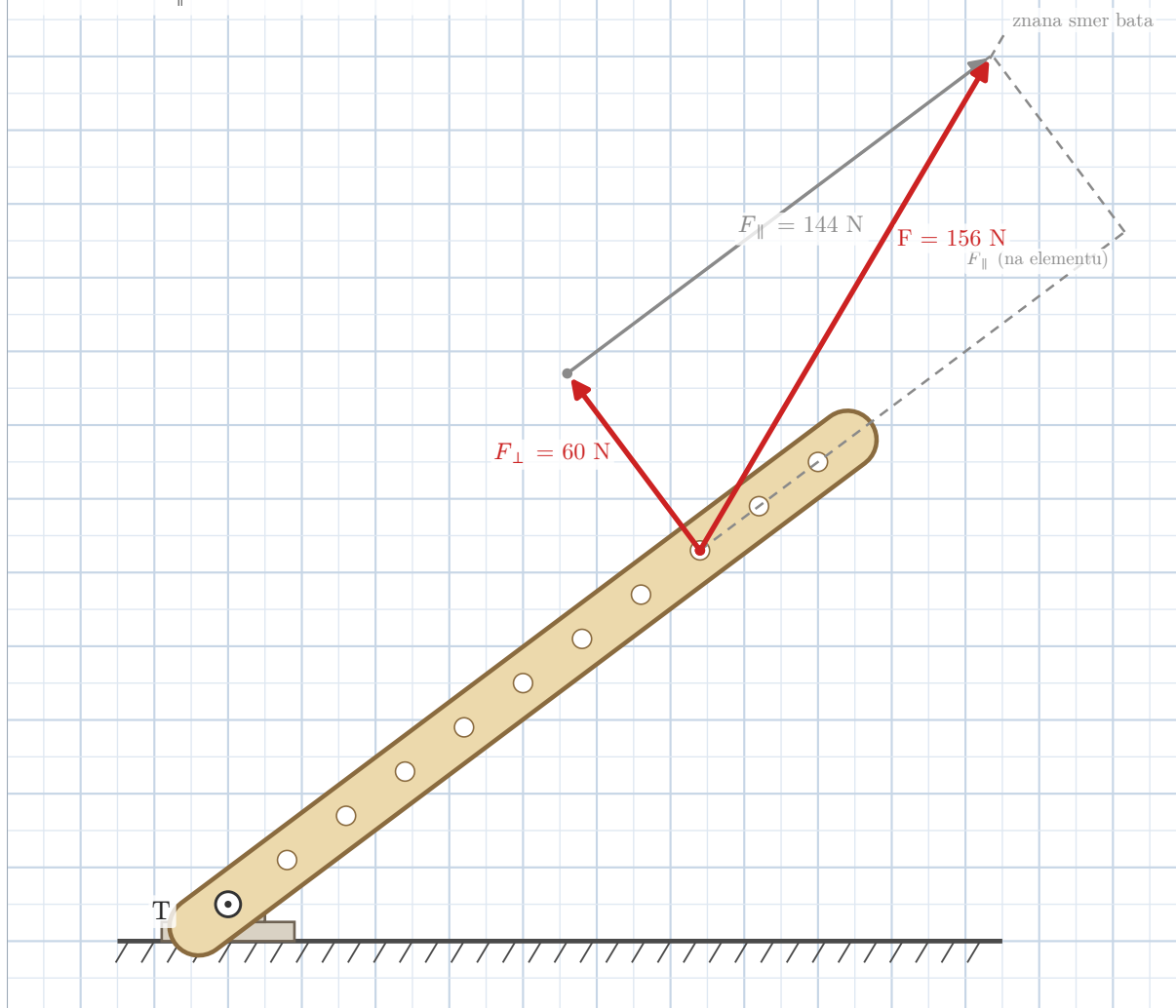


Korak 2. Bat tišči pod kotom – najprej poiščemo **samo** njegovo pravokotno komponento, enako kot v koraku 2 pri S9-1: iz $A_C = A_B$ sledi $F_{\perp} \cdot 8 \text{ cm} = 480 \text{ N cm}$, torej $F_{\perp} = 60 \text{ N}$.



Korak 3. Zdaj poznamo $F_{\perp}$ (60 N) IN smer bata – enako kot v S9-1 (korak 3) z geotrikotnikom grafično določimo še $F_{\parallel}$ in silo F .

Poznamo $F_{\perp}$ (60 N) in smer bata --
 enako kot v S9-1 (korak 3) z geotrikotnikom
 določimo še $F_{\parallel}$ in silo F .



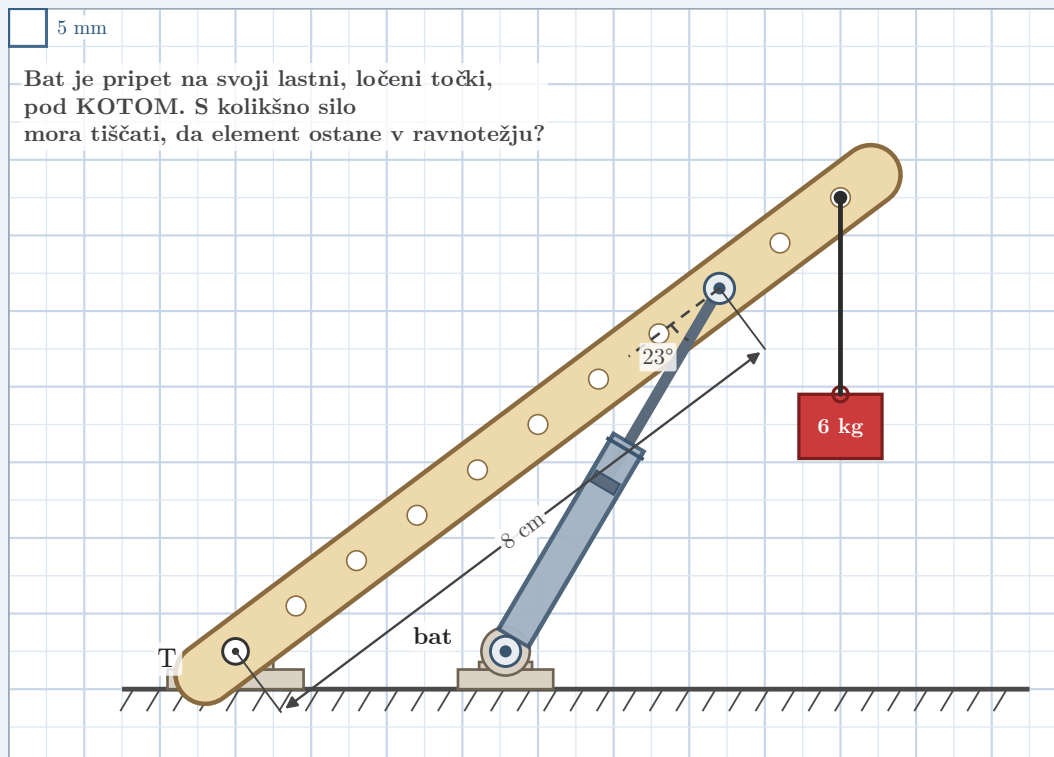
Odgovor: $F = 156 \text{ N}$ ($F_{\parallel} = 144 \text{ N}$). Preverimo: $48 \text{ N} \cdot 10 \text{ cm} = 480 \text{ N cm} = 60 \text{ N} \cdot 8 \text{ cm}$ – učinka sta enaka in nasprotno predznačena. Opazimo: v S9-1 (bat navpičen) je zadoščalo 100 N ; tu, kjer bat tišči pod še bolj neugodnim kotom (njegova pravokotna komponenta je le $\frac{5}{13}$ celotne sile, namesto $\frac{4}{5}$ pri navpičnem batu), pa potrebujemo občutno **več** (156 N) – isto orodje, druga geometrija, druga cena.

Kaj smo se naučili?

- da lahko **tog** element, vpet na obeh koncih (kot bat), za račun vrtilnega učinka nadomestimo s silo, ki deluje natanko v njegovi smeri – smer določata njegovi dve vpetji, ne element, ki ga poganja;
- da isto dvostopenjsko orodje (najprej $F_{\perp}$ iz $A_C = A_B$, nato $F_{\parallel}$ in F iz geotrikotnika) deluje ne glede na to, pod katerim kotom bat dejansko tišči;
- da bolj neugoden kot bata (dlje od pravokotnega) pomeni **večjo** potrebno silo za isti učinek.

Kje to uporabljamo?

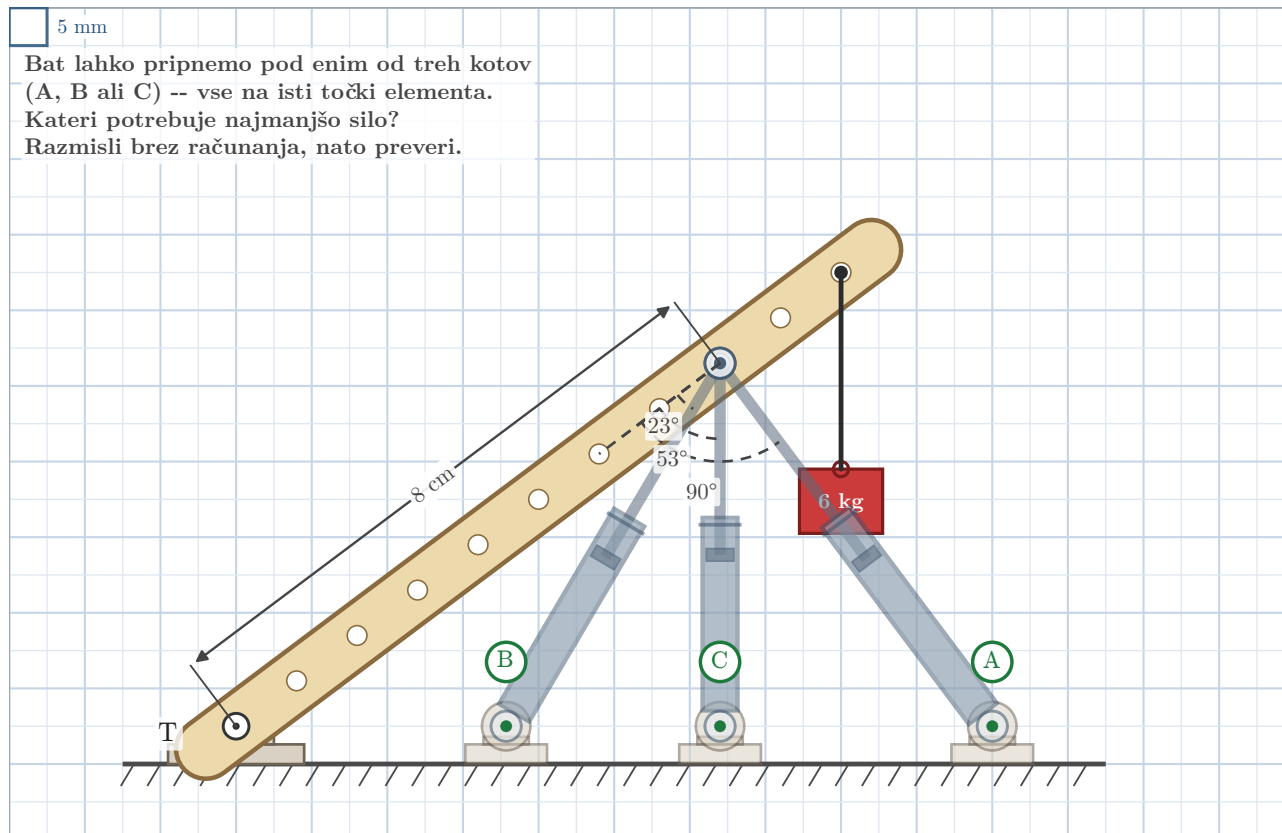
To je isto vprašanje, ki si ga zastavi vsak konstruktor stroja: kam pripeti bat, da bo njegov učinek kar največji? Bat, pripet **natanko pravokotno** na element, izkoristi vso svojo silo (S8-1); pripet pod drugim kotom (navpično, kot v S9-1, ali kot tu) pa za enak učinek potrebuje večjo silo – del ne prispeva k vrtilnemu učinku, temveč se prenese vzdolž elementa.



Naloga S9-3: Zaključni konstruktorjev izziv – izberi najboljši kot

★★★★

Ista glavna konstrukcija kot v S9-2: breme 6 kg na koncu elementa, 10 cm vzdolž elementa. Bat lahko pripnemo na isto točko elementa (8 cm vzdolž elementa) pod enim od treh kotov: **A** (pravokotno na element), **B** (pod kotom kot dejansko v S9-2) ali **C** (navpično, kot v S9-1).



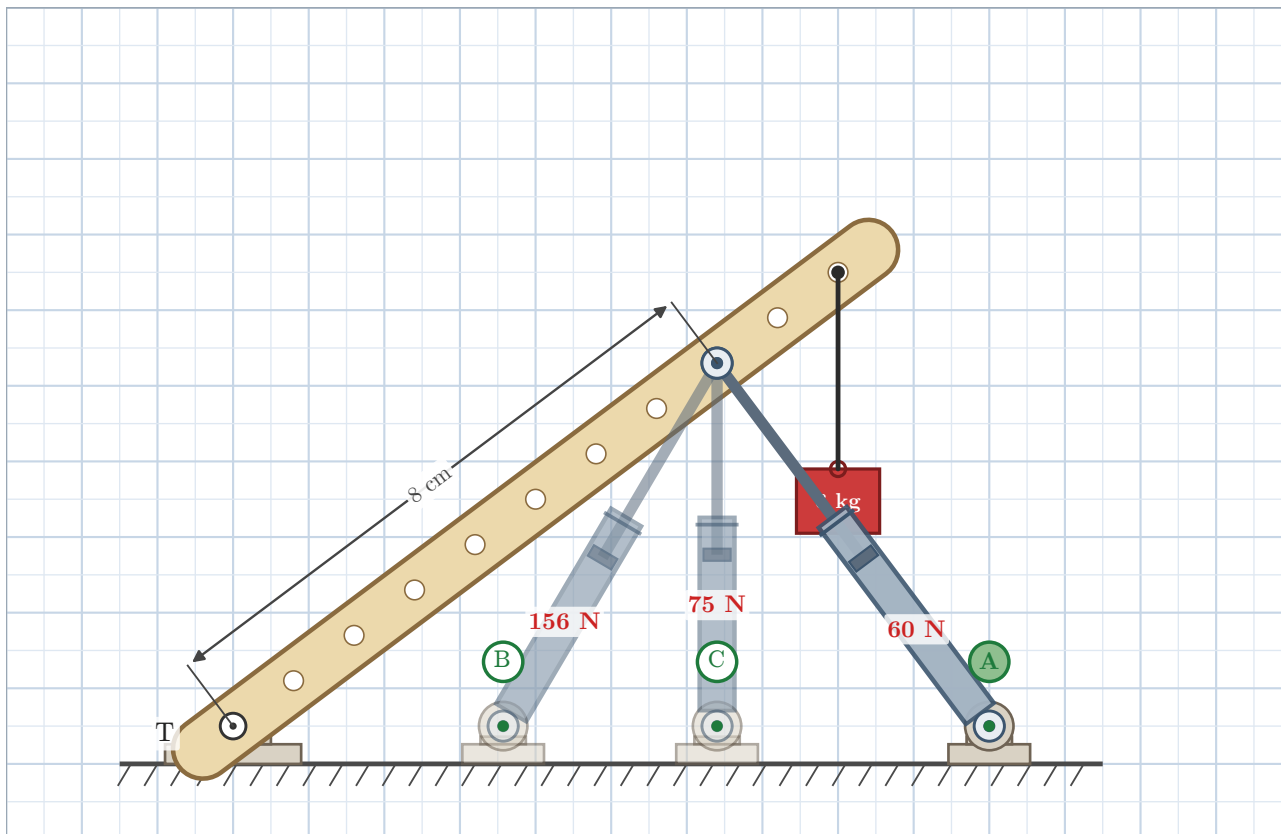
Vprašanje. Katera od treh postavitev (A, B ali C) potrebuje najmanjšo silo? Utemelji **brez računanja**, nato preveri.

POSTOPEK REŠEVANJA

Ročica (razdalja priklonpe točke od tečaja) je pri vseh treh enaka – edina spremenljivka je kot, pod katerim bat stoji. Kot smo že ugotovili zgoraj: bat, pripet natanko pravokotno, izkoristi vso svojo silo; čim bolj se kot oddalji od pravokotnega, tem večjo silo potrebujemo za enak učinek. Ker je od treh postavitev A najbližje pravokotni, bo prav pri njej potrebna sila najmanjša, ne da bi bilo treba karkoli izračunati.

Korak 1. Vrtilni učinek bremena je pri vseh treh postavitvah enak (bat se ne dotika bremena): $A_B = 480 \text{ N cm}$, enako kot v S9-2.

Korak 2. Sila pri vsaki postavitvi: $F = A_B / (8 \text{ cm} \cdot \sin \theta)$, kjer je θ kot med batom in elementom. Postavitev A ($\theta = 90^\circ$, $\sin \theta = 1$): $F = 480/8 = 60 \text{ N}$. Postavitev C ($\sin \theta = 4/5$, enako razmerje kot v S9-1): $F = 60/(4/5) = 75 \text{ N}$. Postavitev B ($\sin \theta = 5/13$, enako kot v S9-2): $F = 60/(5/13) = 156 \text{ N}$.



Odgovor: Postavitev **A** – potrebna sila je le 60 N, skoraj tretjina glede na postavitev B (156 N). To je natanko sila $F_{\perp}$, ki smo jo v S9-2 (korak 2) že izračunali kot vmesni korak – pravokotna postavitev namreč ne potrebuje nič več kot to. S tem se sklene krog: enako orodje (vrtilni učinek), uporabljeno na vedno bolj realnih konstrukcijah, vedno privede do istega načrtovalskega nasveta – bat naj tišči kar se da pravokotno na element, ki ga poganja.