



Javni štipendijski, razvojni,
invalidski in preživninski
sklad Republike Slovenije



REPUBLIKA SLOVENIJA
**MINISTRSTVO ZA IZOBRAŽEVANJE,
ZNANOST IN ŠPORT**



EVROPSKA UNIJA
EVROPSKI
SOCIALNI SKLAD



Univerza v Ljubljani
Pedagoška fakulteta

MODULARNI VERIŽNI EKSPERIMENT

Modul visečih mostov

TEHNIČNA DOKUMENTACIJA

Tomaž Cvetko
Jernej Gorenc
Ana Suhadolnik
Matej Valenčič

mentorji:

dr. Jurij BAJC
dr. Irena DREVENŠEK OLENIK
Žiga NOVAK
Matej PERČIČ
dr. Katarina SUSMAN
dr. Saša ZIHERL

PO KREATIVNI POTI DO ZNANJA 2016/2017

Projekt sofinancirata Ministrstvo za izobraževanje, znanost in šport in Evropska unija iz
Evropskega socialnega sklada.¹

27. julij 2017

¹Operacija se izvaja v okviru Operativnega programa za izvajanje evropske kohezijske politike v obdobju 2014-2020 kot neposredna potrditev operacije "Odprt, odziven in kakovosten sistem visokega šolstva - Projektno delo z gospodarstvom in negospodarstvom v lokalnem in regionalnem okolju Po kreativni poti do znanja 2016-2020"

Kazalo

1	Uvod	2
2	Napotki za branje	2
3	Ogrodje	3
4	Gredi	5
5	Kanali	6
6	Pritrditvene letvice	8
7	Pomožni deli	10
8	Cev	11
9	Vzvod	12
10	Zapornica	14
11	Škripec	16
12	Križišče	19
13	Dodatek	20

Slike

1	Fotografija ogrodja	3
2	Ogrodje	4
3	Gred	5
4	Kanali	7
5	Pritrditvene letvice	9
6	Pomožni deli	10
7	Nastavek za cev	11
8	Vzvod	13
9	Zapornica	15
10	Škripec	17
11	Košara in dvigalo	18
12	Križišče	19
13	Foto: Osnovni elementi	20
14	Foto: Cev	21
15	Foto: Vzvod in križišče	22
16	Foto: Škripec	23
17	Foto: Primeri postavitve	24

1 Uvod

Ideja modularnega verižnega eksperimenta nadaljuje osnovni cilj verižnih eksperimentov: z dokaj preprostimi, a nemalokrat presenetljivimi poskusi pritegniti pozornost ljudi, ki sledijo poti kroglice, ki svojo pot opravlja prek več, neodvisno sestavljenih členov. Dodatek k temu izzivu je pri modularnem členu ta, da je z osnovnimi setom pripomočkov mogoče sestaviti veliko različnih poti kroglice skozi modul. Sama ideja verižnega eksperimenta pa pomeni, da je tako izdelane člene mogoče postaviti v vrsto in že sami lahko tvorijo verigo eksperimentov.

Z dodatno omejitvijo, da so deli dobro sestavljivi in primerni za uporabo v team-building dogodkih, je modul visečih mostov osnovan na kovinskem ogrodju z lesenimi elementi, ki s preprostimi mehanskimi pojavi omogočajo vstop in izstop kroglice v in iz člena. Elementi vključujejo klance, vzvode, škripec, cev itd. Več elementov je namenjenih tudi sami pritrditvi na ogrodje.

2 Napotki za branje

V dokumentaciji so priložene tehnične risbe z merami. Zaradi preglednosti niso označene čisto vse mere in v primeru dvoumnosti se lahko zanese na standardnost pri načrtovanju. V primeru nejasnosti so v pomoč fotografije v poglavju 13.

Osrednja metoda za večkratno sestavo modula je mozničenje s standardnimi mozniki dimenzij $\phi 6$ mm in dolžine ~ 23 mm. Sama dolžina moznika ni preveč pomembna, dokler je daljši od 10 mm, kot je globina lukenj, namenjenih moznikom in debelina pritrditvenih letvic. Velika večina lukenj, ki nastopajo v elementih, je torej namenjena moznikom in se drži standarda: premer luknje 6 mm in globina 10 mm. V primeru pomanjkljivih oznak se gre torej držati tega načela.

Pogosto v elementih za večjo fleksibilnost razdalj nastopa več lukenj v vrsti. Tudi tu smo se odločili za standardiziran pristop in sicer so luknje na pritrdilnih elementih (gredi, letvice, deli škripca) navrtane v razdalji 32 mm med središčema lukenj. Izjeme in odmiki od robov so označeni na skicah.

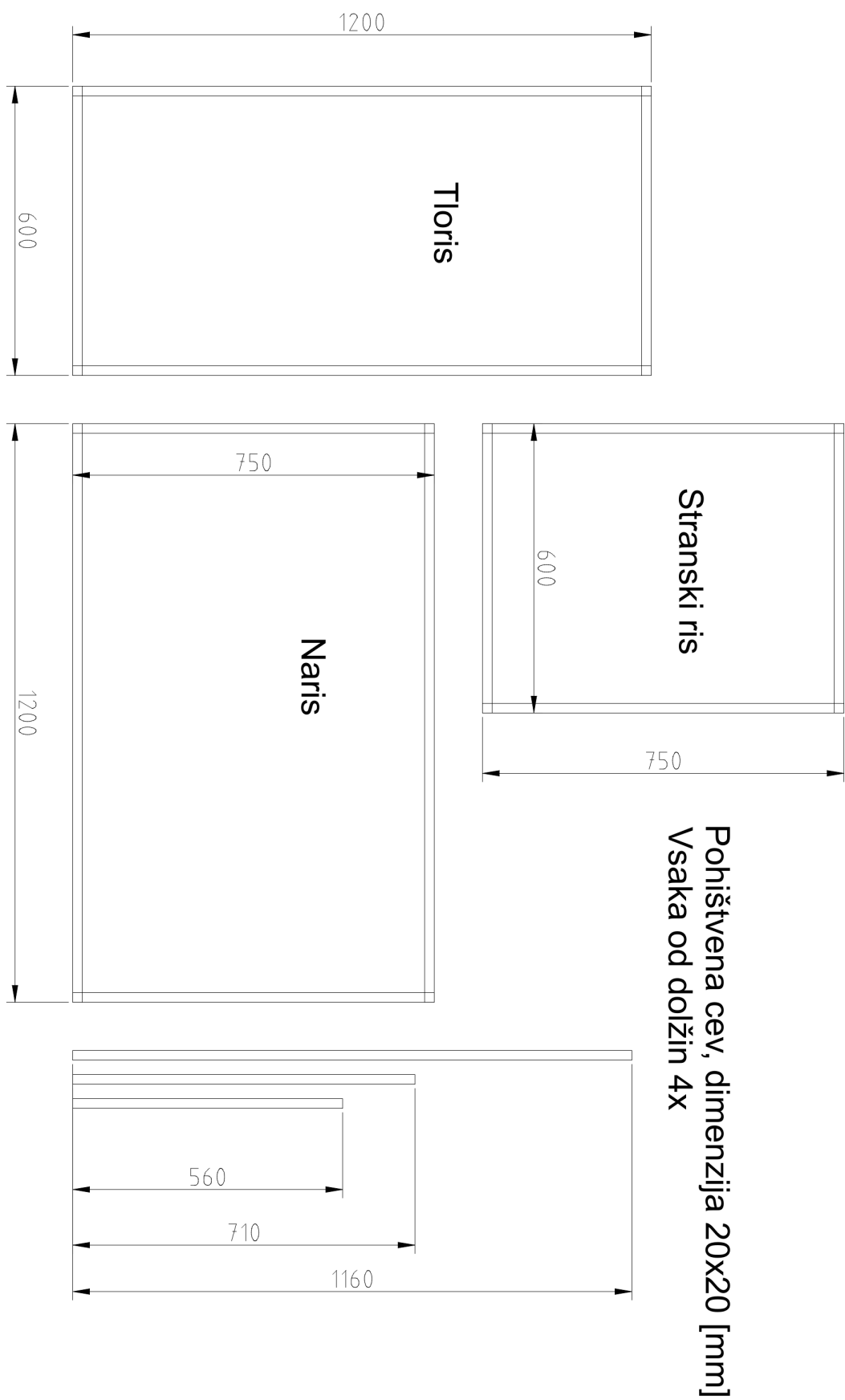
Kanali, ki se uporabljajo za klančine so zlepljeni iz treh enakih letvic. Ta olajšava v izdelavi je povzročila, da so moznične luknje na koncih kanalov razmaknjene za 38 mm in ta standard je uporabljen tudi za zapreke, ki se pritrujejo neposredno na klančine (več v nadaljevanju). V primeru izdelave novega seta priporočamo, da se drži mer, ki so navedene v tej dokumentaciji, v kolikor pa bi razširjali nabor ali obnavljali obstoječe elemente, pa je verjetno bolj primerno neposredno prenašati mere, da se zagotovi kompatibilnost s prvotno izdelanimi.

3 Ogrodje

Ogrodje (Slika 2) je narejeno iz kvadratne pohištvne cevi (profil 20 x 20 mm, debelina 2 mm) dolžin, ki so označene na skici (560, 710 in 1160 mm). V izvedbi prototipa so bile spojene s PVC kotniki za sestavo profilov (dostopni v trgovinah z gradbenim materialom). Ta način se je dobro obnesel in hkrati omogoča veliko prenosljivost naprave, saj so vse cevi zgolj staknjene skupaj in je popolnoma razstavljivo. Detajl na sliki 13, fotografija 1 v poglavju 13.



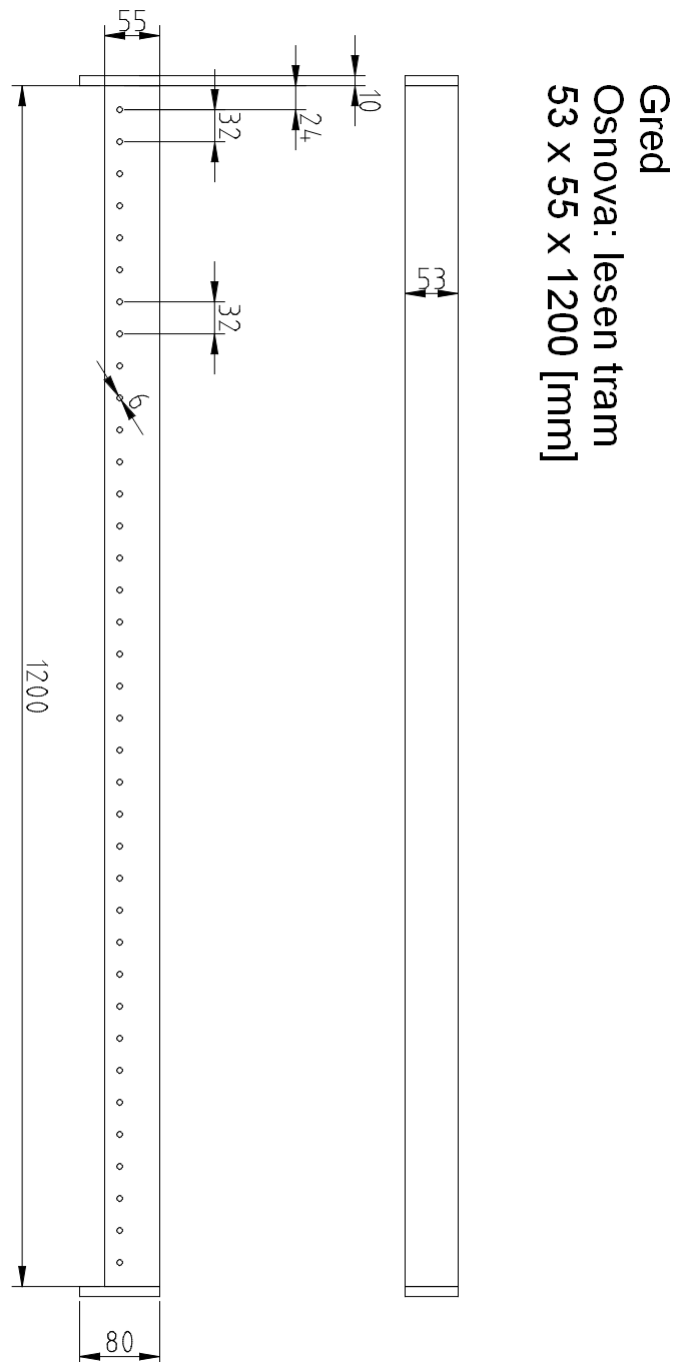
Slika 1: Fotografija ogrodja



Slika 2: Ogradje

4 Gredi

Glavni nosilni element modula so tri (lahko tudi več ali manj) vzporedne gredi, ki so postavljene na vrh ogrodja. Izdelana je iz smrekovega lesenega tramu dimenzije 53 x 55 mm (Slika 3). Širina 53 mm se ujema s širino žleba, a sam način pritrjevanja omogoča nenatančnost nekaj milimetrov. Gred je v navedenih razmakih navrtana z obeh strani do globine 10 mm. Razmaki med središči lukenj so standardni, 32 mm. Središča lukenj v gredi so 15 mm nad spodnjim robom. Detajl na sliki 13, fotografija 2 v poglavju 13.



Slika 3: Gred

5 Kanali

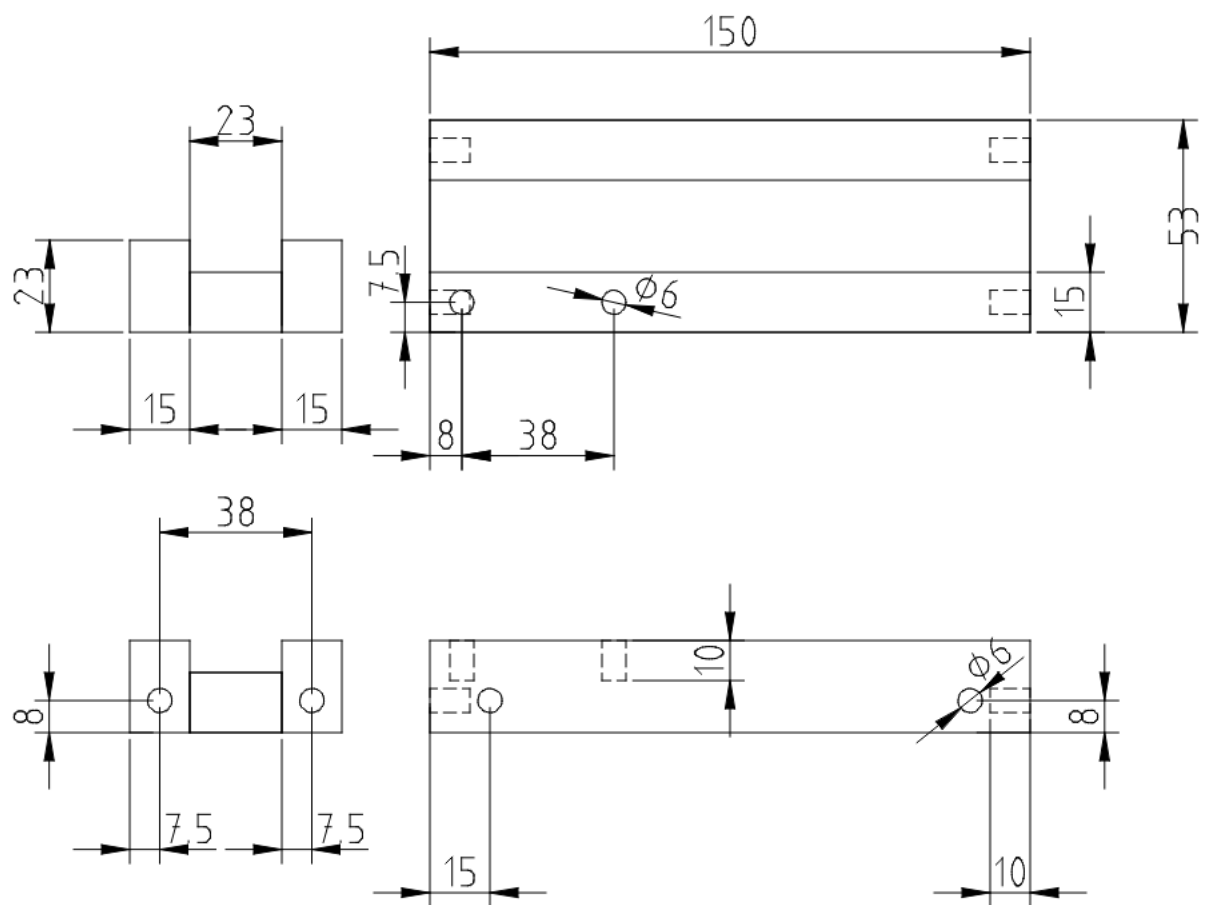
Kanali so osnovni element modula, ki omogoča usmerjeno gibanje kroglice. Za delovanje modula je potrebno veliko število tovrstnih elementov, zato so izdelani iz treh enakih letvic preseka 22 x 15 mm. Te so zlepljene, kot prikazuje Slika 4, da tvorijo kanal. Letvice smo izdelali iz vezane plošče debeline 15 mm. Poljubno dolge kose nato razrežemo na poljubne dolžine kanalov. Mi smo uporabili 150, 200 in 250 mm dolge elemente. Kot surovina je priporočljiva vezana plošča iz bukovega lesa, saj veliko bolje prenaša vrtnanje z vseh stranic, skladno s skico.

Luknje na prednjih straneh so namenjene zaporedni povezavi kanalov v poljubno dolge kanale. Na vrhnji strani sta dve luknji namenjeni namestitvi blokade za kroglico, ki s preveliko hitrostjo prileti pravokotno na klanec. Vse luknje so standardne. Fotografije v poglavju 13: Slika 14, fotografije 5, 6 in 7.

Kanali za kroglico

Osnova: letvice

22 x 15 x (150 / 200 / 250) [mm]

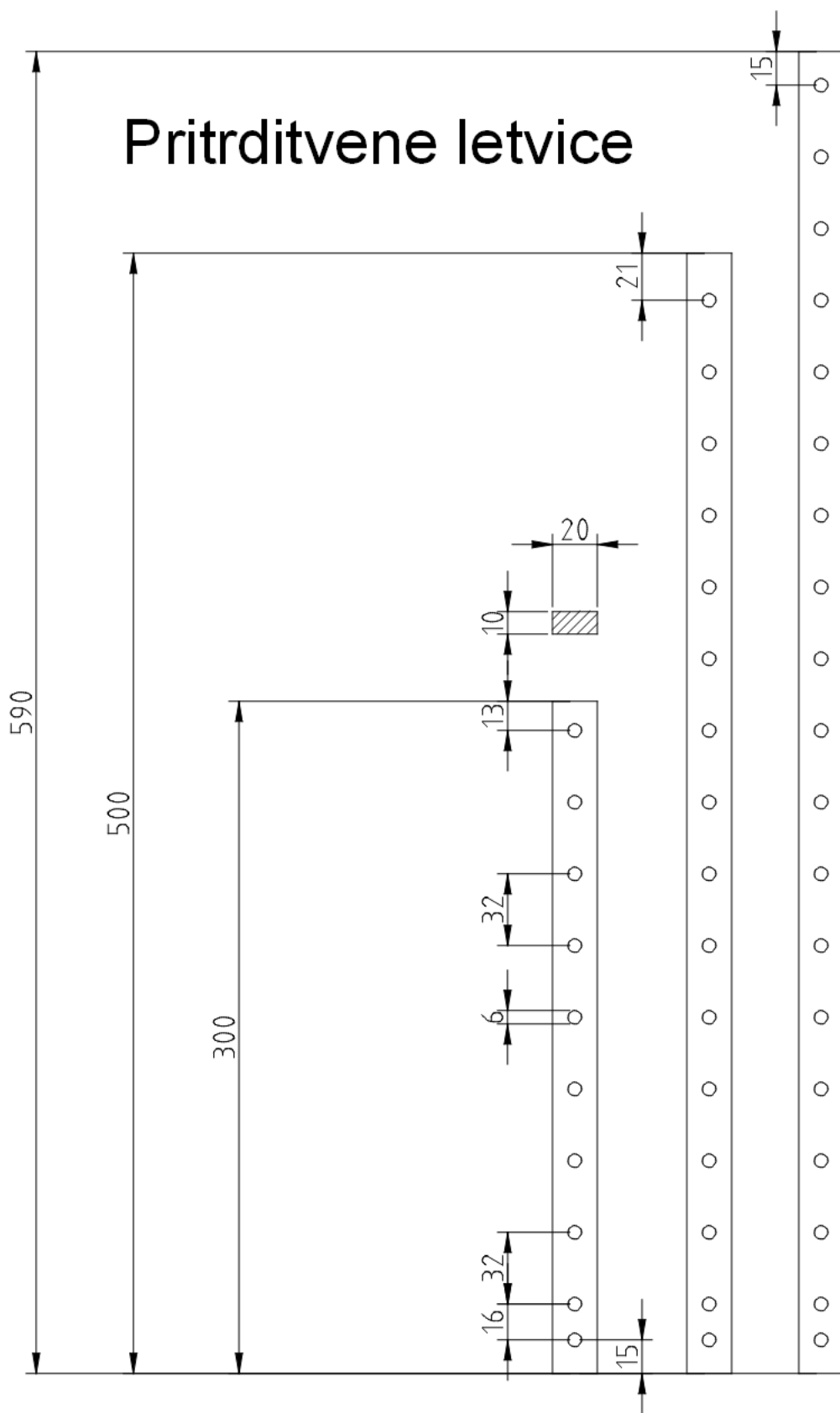


Slika 4: Kanali

6 Pritrditvene letvice

Za pritrditev kanalov na gredi se uporabljajo pritrditvene letvice v kombinaciji z mozniki. Letvice so iz bukovega lesa preseka 20 x 10 mm. Bukov les je dovolj trden, da omogoča fino obdelavo, medtem ko se je smrekov izkazal za neustreznega, saj se je pri vrtanju cepil in ga ni bilo mogoče kvalitetno povrtavati. Pri letvah je povrtavanje pomembno za lažje vstavljanje moznikov, prav tako luknje nikakor ne smejo biti manjše od 6 mm, saj se mozniki zelo tesno prilegajo. Tehnična risba na Sliki 5, fotografiji 3 in 4 na Sliki 13.

Uporaba pritrditvenih letvic ni omejena samo na vertikalno obešanje elementov - uporabna je tudi kot distančnik v katerikoli smeri med dvema elementoma (Fotografija 6 na Sliki 7).



Slika 5: Pritrditvene letvice

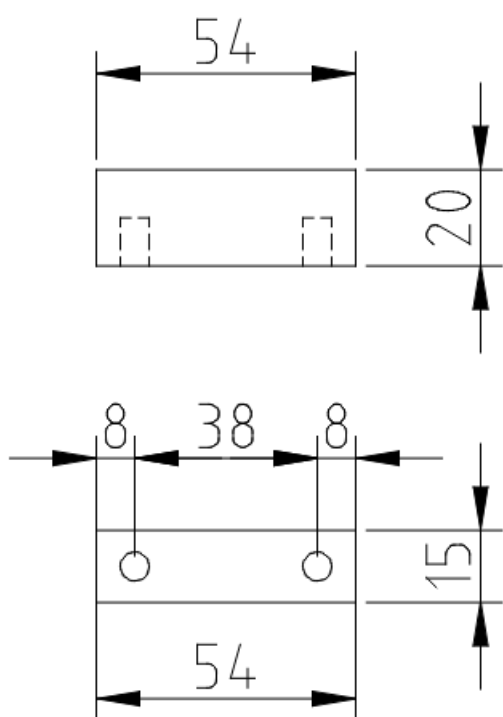
7 Pomožni deli

K pritrditvenim elementom in tako k osnovnemu naboru modula visečih mostov spadata še zapora za kroglice in tako imenovane kotne kocke. Fotografije: 7 na Sliki 14 in 6 na Sliki 15.

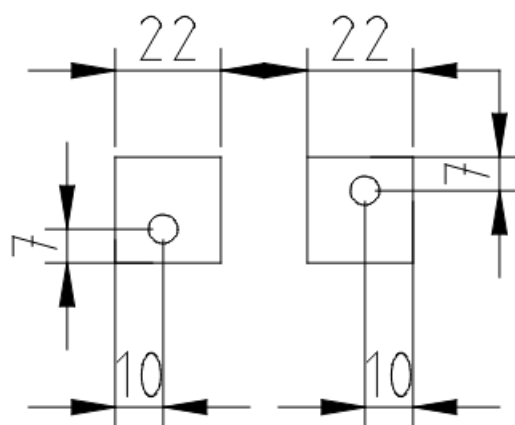
Zapora se namesti neposredno na kanal z mozniki v za to namenjeni luknji na vrhnji strani kanala. Namenjena je ustavljanju kroglic, ki iz pravokotne smeri priletijo na kanal in morajo nadaljevati pot v smeri kanala. Gre za del mehanizma spremembe smeri. Osnova je deščica debeline 15 mm, v katero sta standardno navrtani dve moznični luknji, kot prikazuje skica na Sliki 6.

Kotniki v obliki kocke so elementi, ki omogočajo pravokotno postavitve kanalov in prehod z ene gredi na drugo. Zaradi svoje rahle nesimetričnosti obstaja več različnih postavitvev in so bolj raznoliko uporabni pri namestitvi. Osnova tega dela je kocka s stranico 22 mm, v katero sta navrtani luknji na sosednjih stranicah kot prikazuje skica. Ti dve luknji potekata skozi celotno kocko (in sta torej NESTANDARDNI).

Zapreka za kroglico 15 x 20 x 54 [mm]



Kotna kocka
22 x 22 x 22 [mm]
luknje skozi
Skica: naris in desni stranski ris

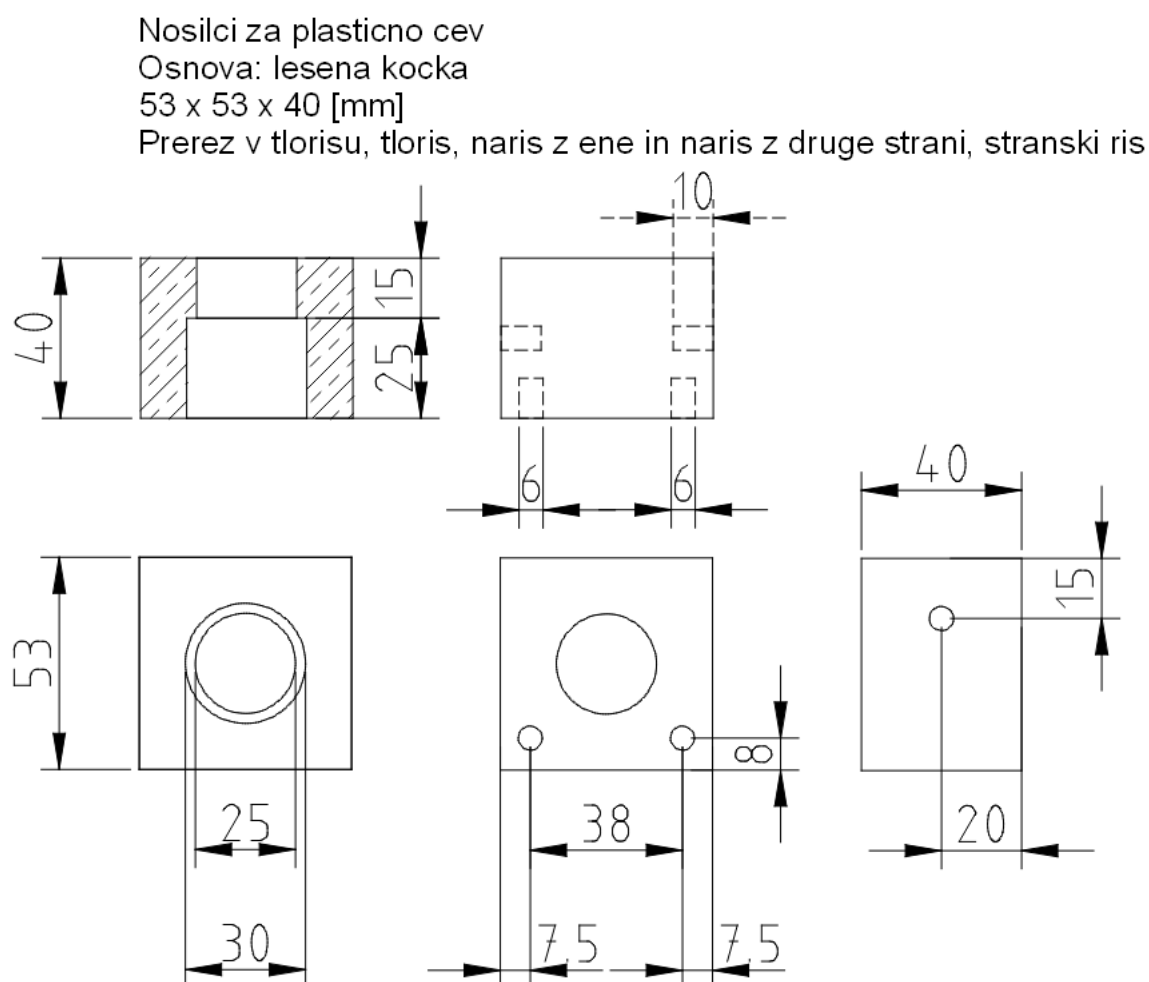


Slika 6: Pomožni deli

8 Cev

Prvi kompleksnejši element je cev v dveh nosilcih, ki je v prvi vrsti namenjena zamenjavi smeri potovanja kroglice (naprej - nazaj). Plastična cev mora biti čimbolj prozorna, a hkrati trdna, da se njen najmanjši presek ob zvijanju ne zmanjša prevec (skica na Sliki 7 velja za cev premera 30mm, deluje pa isti koncept tudi za druge premere). Take cevi so navadno tudi zelo prožne (se težko upogibajo), zato so primerne dolžine daljše od 600 mm, kakršno smo uporabili v prototipu. Če gre za oster zavoj, je potrebno kocki z nastavkoma povezati z t.i. pritrditveno letvico, da navor ne vrte gredi oz. prožnostna sila ne razpira ostalih elementov, na katere je pritrjena. Fotografije: 1-6 na Sliki 14 in 3 na Sliki 17.

Osnova za nosilec je kvader dimenzij 53 x 53 x 40 mm, v katerega je skozi večjo ploskev navrtana luknja premera 25 mm. Z ene strani je luknja razširjena do globine 25 mm na premer 30 mm. Na strani z manjšo odprtino sta spodaj navrtani dve standardni moznični luknji, ki se prilegata v luknje kanalov. Z obeh strani sta na stranskih ploskvah izvrtani dve standardni moznični luknji za vertikalno pritrditev na gred. Po potrebi se lahko na ploskvi z luknjami za kanal simetrično doda luknji za povezovalno letvico.

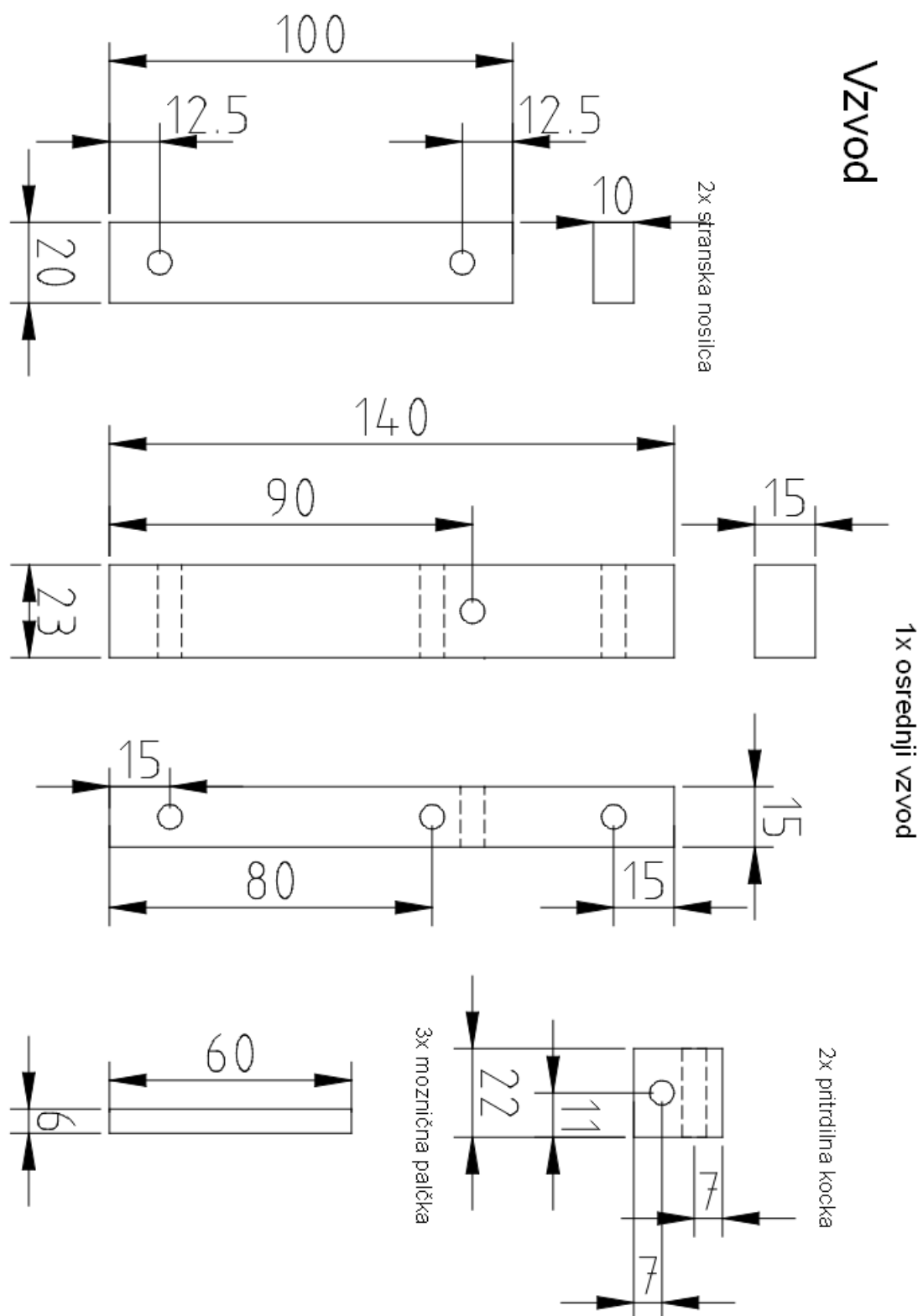


Slika 7: Nastavek za cev

9 Vzvod

Element, ki omogoča vertikalni prenos poteka v členu oziroma proženje kroglice na višjem položaju je t.i. vzvod. Sestavljen je iz večih podelementov (Slika 8), ki so narejeni iz standardnih kosov za osnovne elemente modula. Stanska nosilca sta izdelana iz enakega polizdelka kot pritrditvene letvice, luknje so standardne. Osrednji vzvod je izdelan iz letvice, ki se uporablja tudi kot osnova za kanale. S strani (drugi prikaz) je navrtan tako, da se nanj pritrdi stranska nosilca z moznično palčko dimenzij kot na skici. Vzvod ni samostojen element, temveč se ga s pritrditvenimi kockami namesti na poljubni osnovni element, kanal. Osrednja vzvodna letvica je z drugo moznično palčko povezana s kockami, te pa so pritrjene v končne luknje kanala. Fotografije 1, 2 in 3 na Sliki 15.

Stranska nosilca sta tudi na prostem koncu povezana z moznično palčko in z njo ob pravilni namestitvi zadržujeta kroglico na nagnjenem kanalu. Na osrednji vzvod se preko "hrbtne" luknje (prvi prikaz) pritrdi letvica ustrezne dolžine, da ta sega točno do mesta proženja na nižji lokaciji navpično pod osjo vrtenja vzvoda. Gibljive stranske nosilce je potrebno namestiti tako, da je osrednji vzvod v navpični legi in da že najmanjši sunek sproži kroglico.

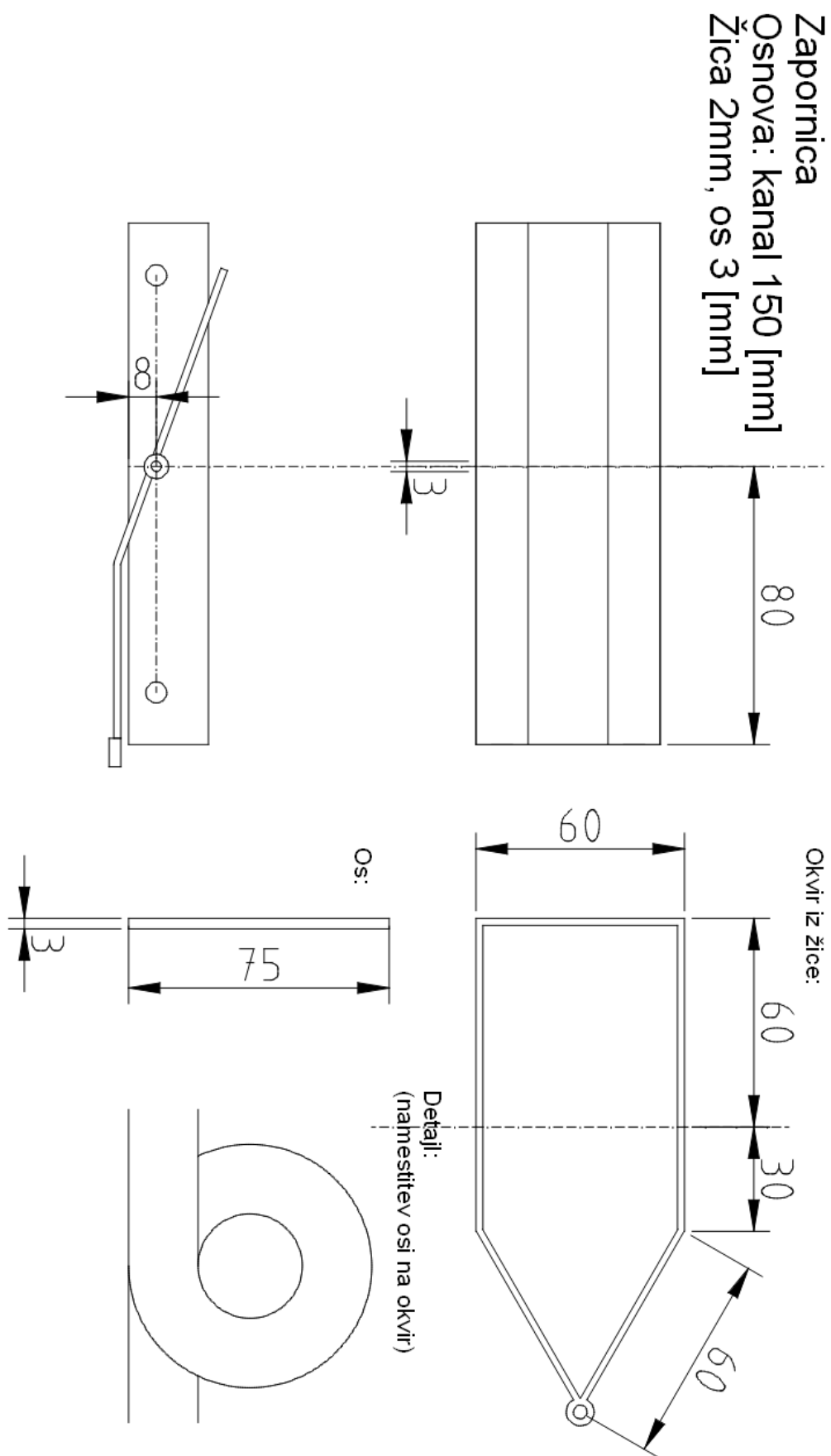


Slika 8: Vzvod

10 Zapornica

Podoben cilj kot vzvod ima tudi element, ki smo ga poimenovali zapornica (Slika 9). Izdelan je iz osnovnega elementa, kanala dolžine 150 mm in 2 mm debele žice (nobena od teh mer pa bistveno ne pogojuje delovanja). Žica je oblikovana v okvir, ki se ga namesti na žleb preko osi, ki je zalepljena v kanal. Os se nahaja na zveznici med stranskima mozničnima luknjama v žlebu. Okvir je najlažje izdelati iz enega kosa žice dolžine ~ 400 mm, ki ima dva ovoja za namestitev na os, kot prikazuje detajl. Fotografiji 4 in 5 na Sliki 15.

Zapornica se na gredi namesti kot običajen kanal. Žičnat okvir zadržuje eno ali dve kroglici, ki se sprostita, ko se zapornica sproži. Temu je namenjeno uho na drugi strani zapornice, skozi katerega se napelje vrvica z utežjo, ki jo potem sproži kroglica v precej poljubni legi (na primer potisne s konca kanala). Vrvica omogoča več načinov proženja kot vzvod, saj ni potrebno, da se prožeča kroglica nahaja neposredno pod zapornico. Eno od postavitav prikazuje fotografija 1 na Sliki 17. Posebej je zapornica namenjena temu, da se namesti neposredno pred košaro škripca in s tem dopolni utež do kritične mase, ki požene škripec.



Slika 9: Zapornica

11 Škripec

Škripec je osrednji element tega modula in njegova uporaba je eden izmed ciljev pri sestavi delujočega člena. Za njegovo delovanje v načrtovani obliki so potrebni: kolut, nosilec, vodila, dvigalo, košara za uteži.

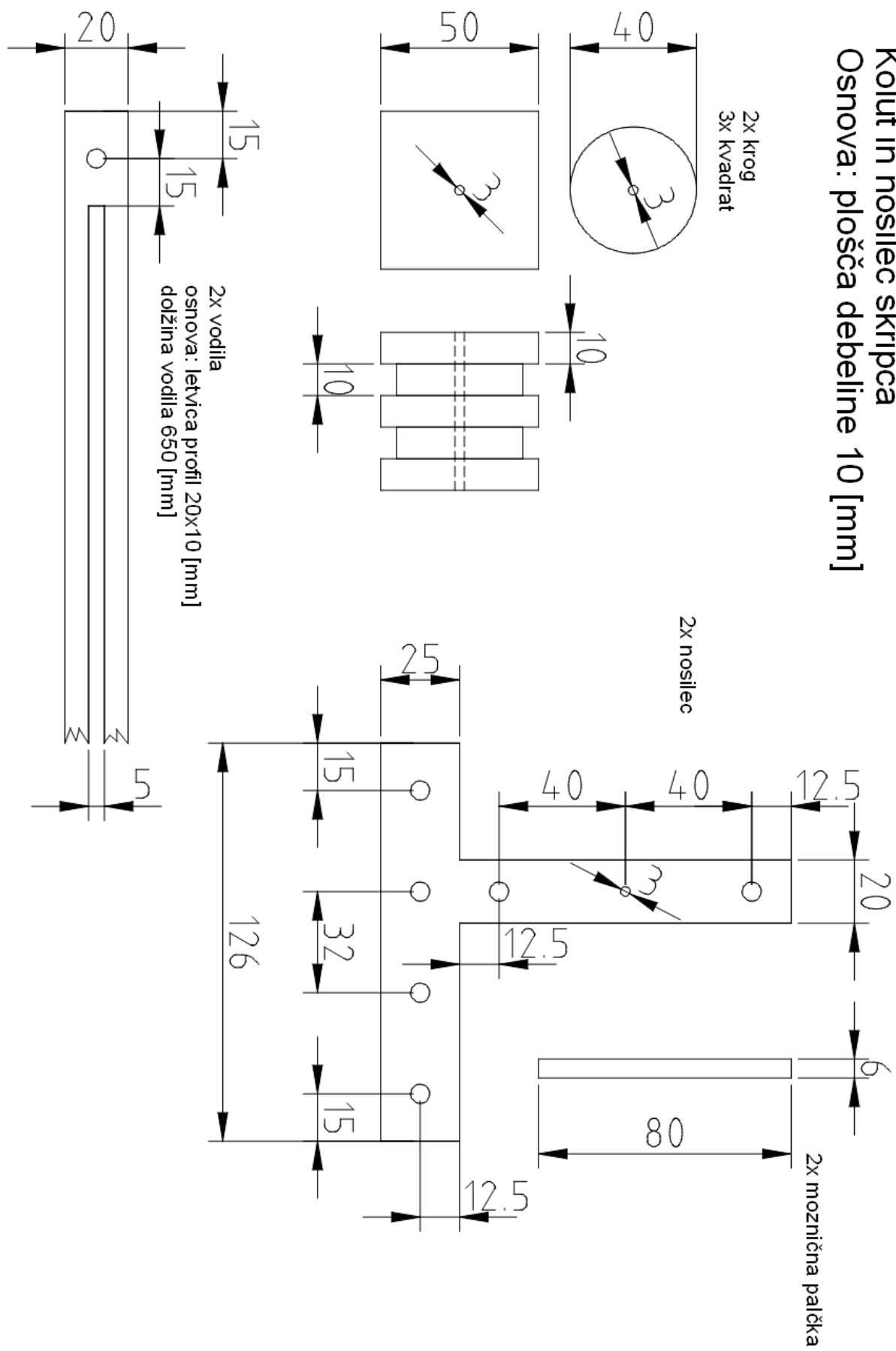
Kolut (Slika 10) je zlepljen iz petih lesenih elementov debeline 10 mm. Trije so leseni kvadrati s stranico 50 mm, ostala dva pa kroga s premerom 40 mm. V geometrični sredini vsakega je izvrtana luknjica s premerom 3 mm, namenjena prosto vrteči osi. Nosilec škripca je element T oblike izdelan iz lesene plošče debeline 10 mm dimenzij, kot prikazuje skica na Sliki 10. Namenjen je pritrditvi na eno gred in sicer tako, da sta T elementa pritrjena vsak s svoje strani z mozniki v luknje na gredi. Za to so predvidene luknje na spodnji strani skice. Vertikalen krak je namenjen povezavi obeh T elementov z mozničnima palčkama (čeprav to večinoma ni potrebno) in namestitvi koluta z žico debeline 2 mm in dolžine ~ 80 mm v vlogi osi. Na skici je označen zgolj premer luknje za os, ostale so standardne dimenzije in namenjene moznikom. Fotografije 1 - 4 na Sliki 16.

Vodila (risba na Sliki 10) se izdelajo iz enakih letev kot pritrditvene letvice. Mi smo uporabili letvi dolžine 650 mm, da smo dobili največji možen doseg, lahko pa so poljubne dolžine. Po sredini letve poteka 5 mm široka zareza, po kateri potuje dvigalo za kroglico. Zgoraj in spodaj so luknje na vodilih enake, zato slika prikazuje samo en konec. Zgoraj se vodila podobno kot nosilec pritrdi na eno gred, spodaj pa se vodilni letvici poveže z moznično palčko, ki ohranja razdaljo med njima. Fotografija 5 na Sliki 16 prikazuje pravilno namestitev dvigala na vodila.

Dvigalo (Slika 11) je element namenjen fizičnemu prenosu kroglice z nižjega na višji položaj. Sestavljen je iz dveh bočnih ploščic, ki sta navrtani, kot na prvi sliki skice z luknjami premera 3 mm. Drugi leseni del je sestavljen iz dveh ploščic širine 25 mm in debeline 10 mm, kot kaže slika (prikazana sta tloris in naris L elementa). L element je na daljši stranici prevrtan z luknjo premera 3 mm, ki poteka po sredini debeline deščice. V dve luknji, ki se nahajata na vertikalni diagonalni stranski ploščici se zalepita dve žici dolžine 70 mm, njuna konca segata po 10 mm izven stranskih ploščic in sta namenjena namestitvi v vodila. L element se z žico (50 mm) skozi vrtilišče in skozi kotirano luknjo na stranski ploskvi pritrdi v dvigalo. Tudi konca te žice se zalepi v stranski ploščici. Skozi zadnjo, desno spodnjo luknjo, se prav tako potisne žica dolžine 50 mm, ki preprečuje da bi se L element pod težo naložene kroglice prevrnil. Sestavljeno dvigalo prikazujejo fotografije 6-8 na Sliki 16. Postavitev dvigala na vodilih in njegovo proženje prikazujeta fotografiji 7 in 8 na Sliki 17.

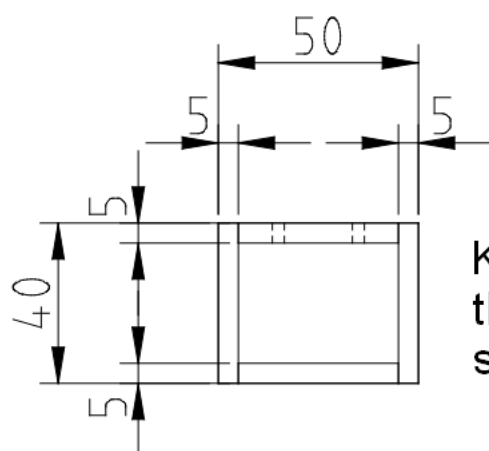
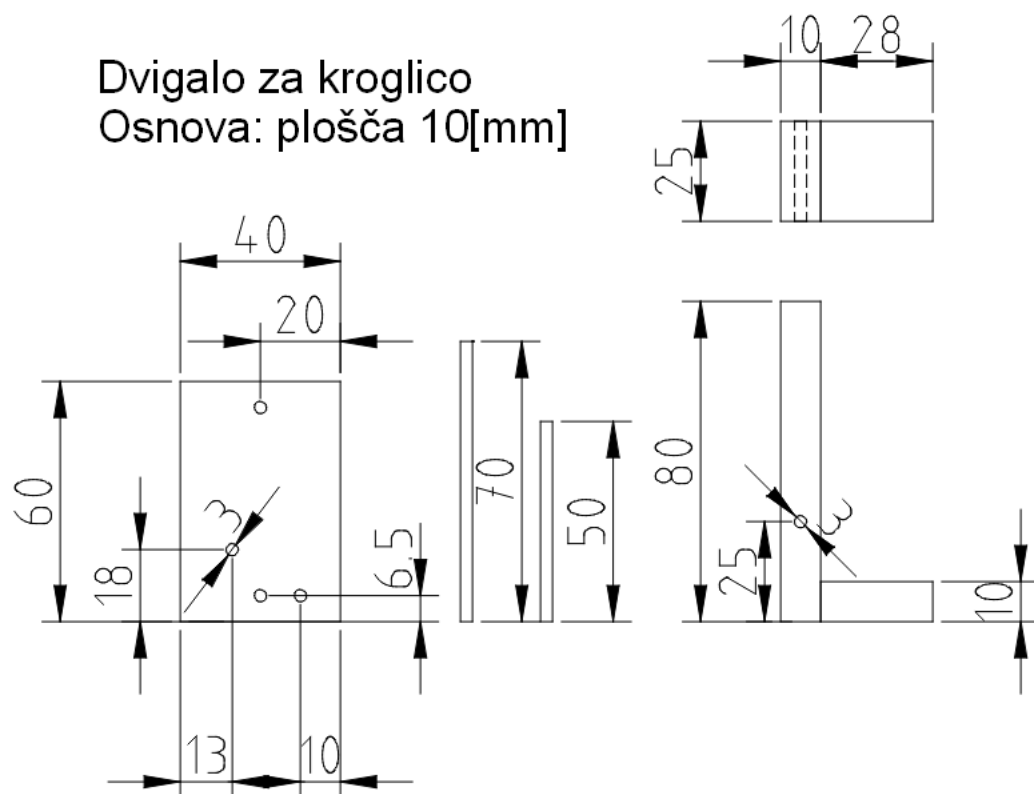
Košara za uteži (Slika 11) je preprost element namenjen za proti utež dvigala škripca. Vanjo je mogoče zložiti kroglice tako, da najprej zgolj uravnotežajo težo dvigala s kroglico, ob dodatku ene kroglice pa se začne škripec vrteti in dvigati dvigalo. Košara za uteži je v bistvu votel kvader s prirezanim vrhom, da je vanj lažje nacicljati kroglico z drugih elementov (zlasti zapornice). Postavitev prikazuje fotografija 6 na Sliki 17.

Kolut in nosilec škripca Osnova: plošča debeline 10 [mm]

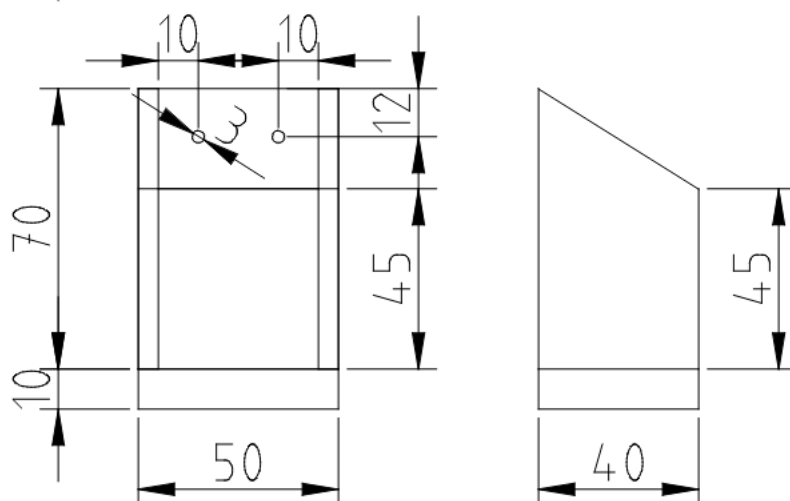


Slika 10: Škripec

Dvigalo za kroglico
Osnova: plošča 10[mm]



Košara za uteži
tloris,
sprednji naris, levi stranski ris



Slika 11: Košara in dvigalo
18

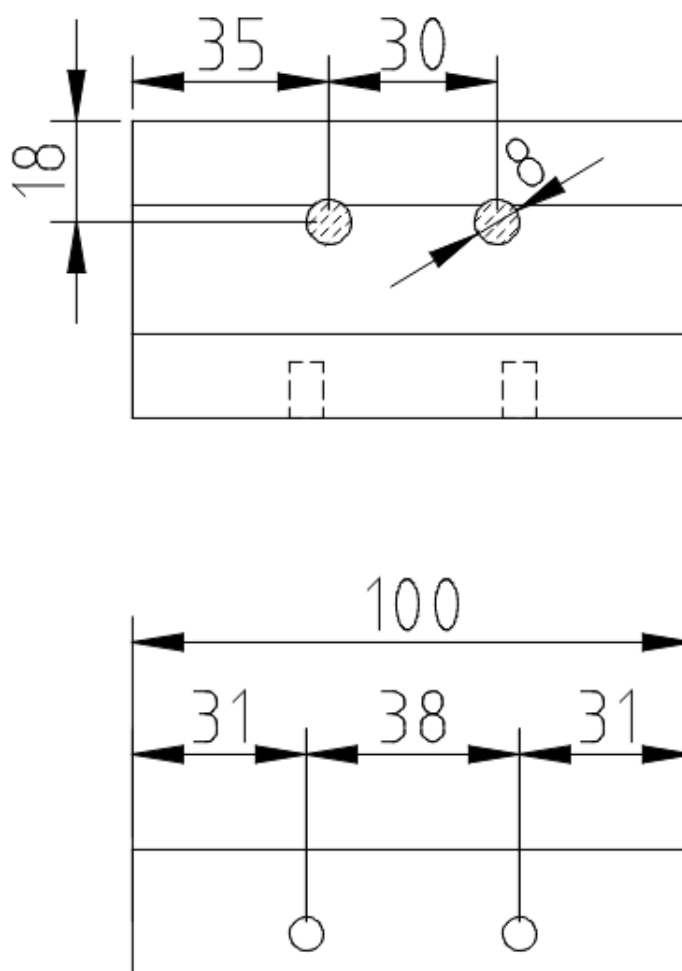
12 Križišče

Križišče je element ki omogoča vzporedno dogajanje na gredeh. Namesto linearnega poteka z eno gibajočo kroglico naenkrat je s tem elementom mogoče poslati dve kroglici v pravokotnih smereh s srednje na obe robni gredi (z malo spretnosti pa ob tem ohraniti tudi gibanje prvotne kroglice).

Element je izdelan iz osnovnega polizdelka namenjenega kanalu, dolžine 100 mm. Na skici (Slika 12) sta prikazana tloris in naris. V tlorisu šrafura označuje mesti, kjer je les plitko povrtan, zgolj toliko, da omogoča zanesljivo postavitve dveh kroglic na tisti dve mesti. Mesti za kroglice sta simetrično postavljeni, sam premer povrtane luknje pa ni preveč pomemben, dokler vdolbina ni preveč izrazita, saj v nasprotnem primeru kroglici ne zapustita svojih mest. Element se pritrdi na kanal z luknjama, prikazanima v narisu. To sta standardni moznični luknji, kot jih najdemo na osnovnih elementih kanalnih. Fotografiji 7 in 8 na Sliki 16.

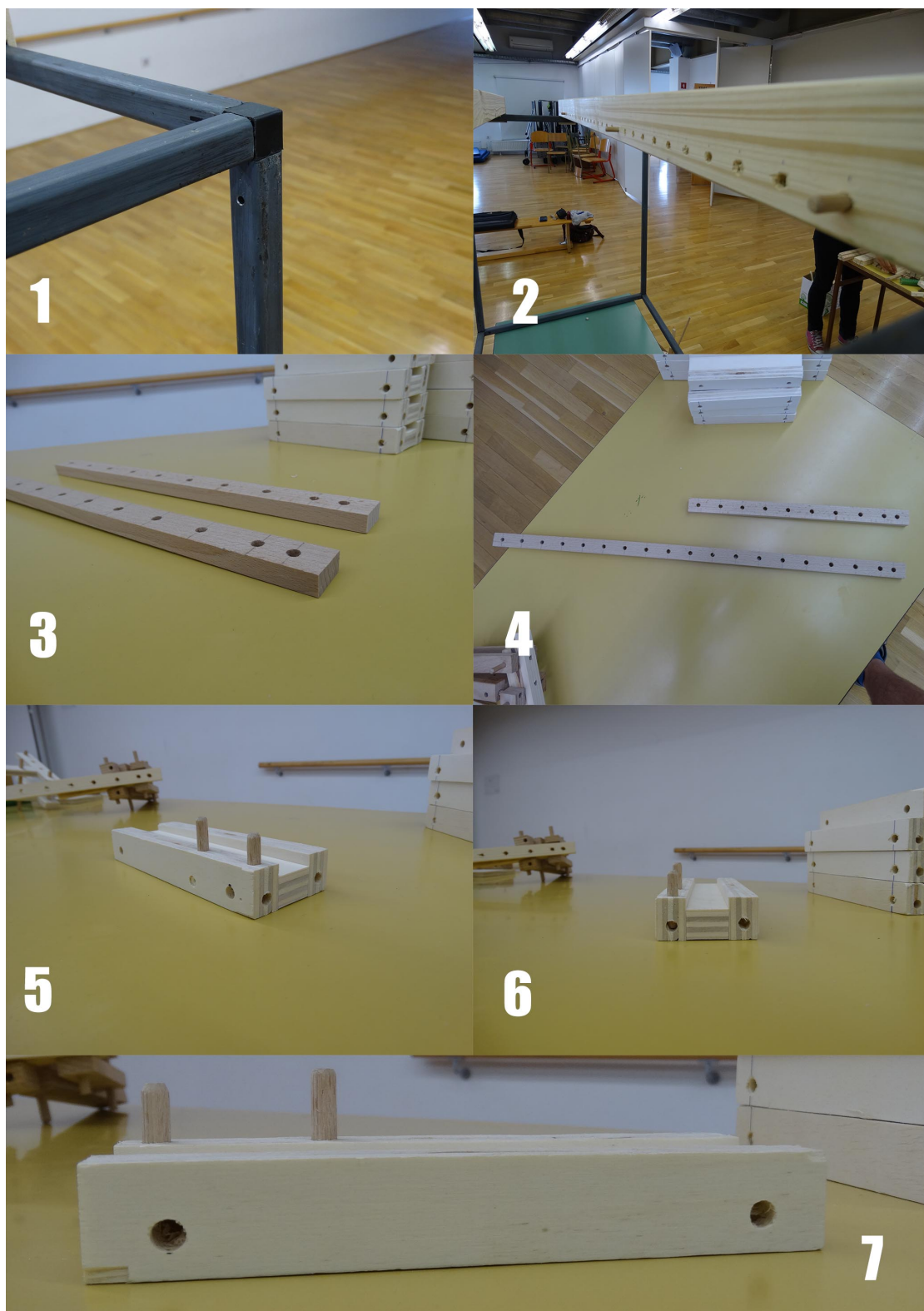
Z uporabo križišča je možno izvesti tudi prenos iste kroglice od vstopa do izstopa iz člena. To je najzahtevnejši cilj pri sestavi tega modula in zahteva veliko iznajdljivosti ter časovno usklajenost potovanja kroglic. Primer postavitve na fotografiji 2, Slika 17.

Križišče
Osnova: žleb dolžine 100 [mm]

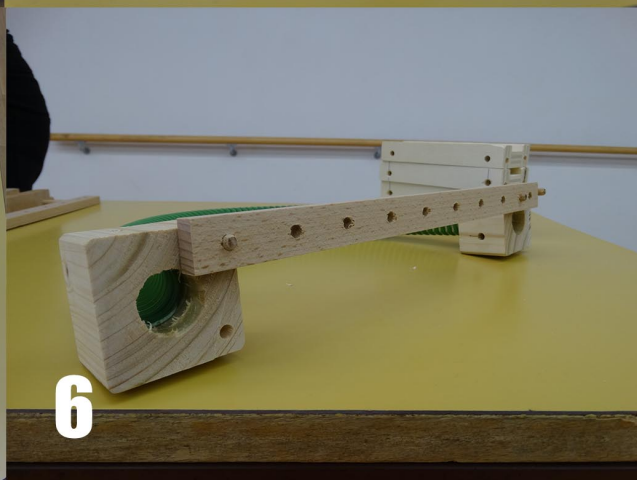
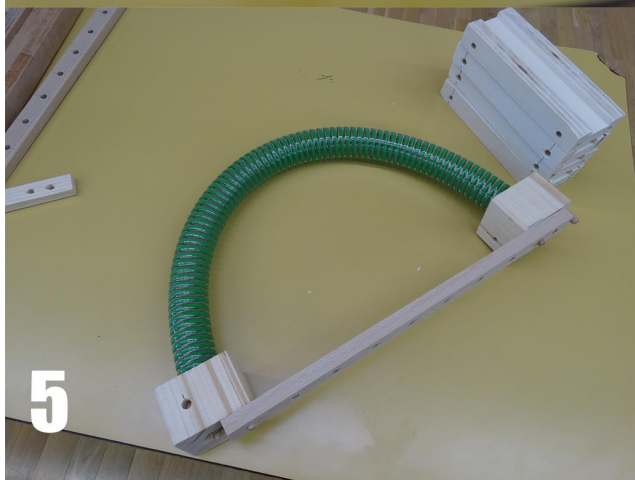
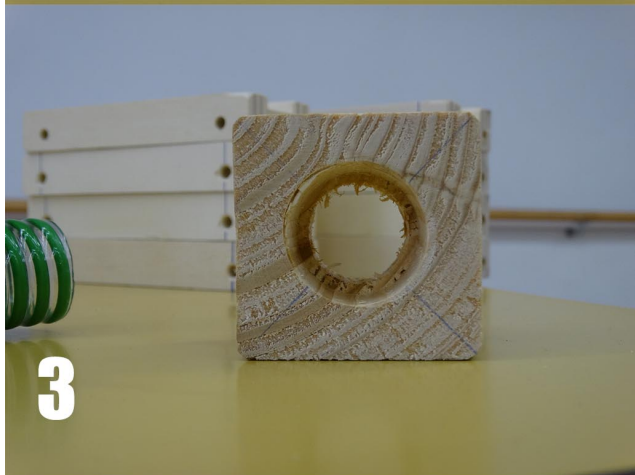
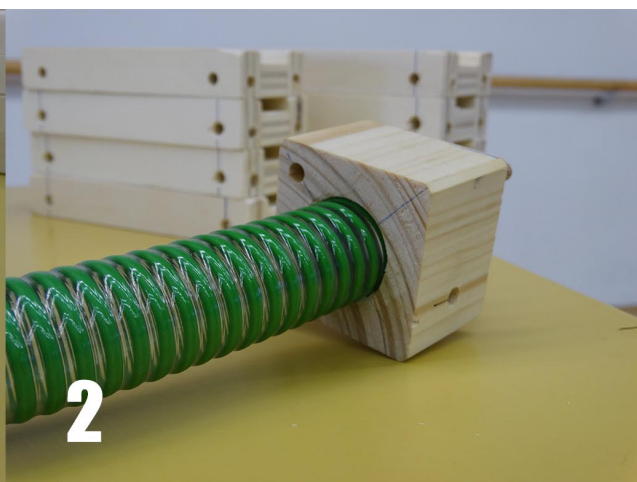
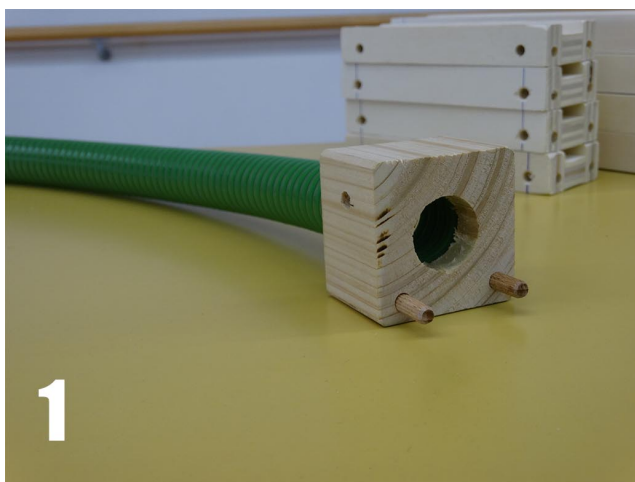


Slika 12: Križišče

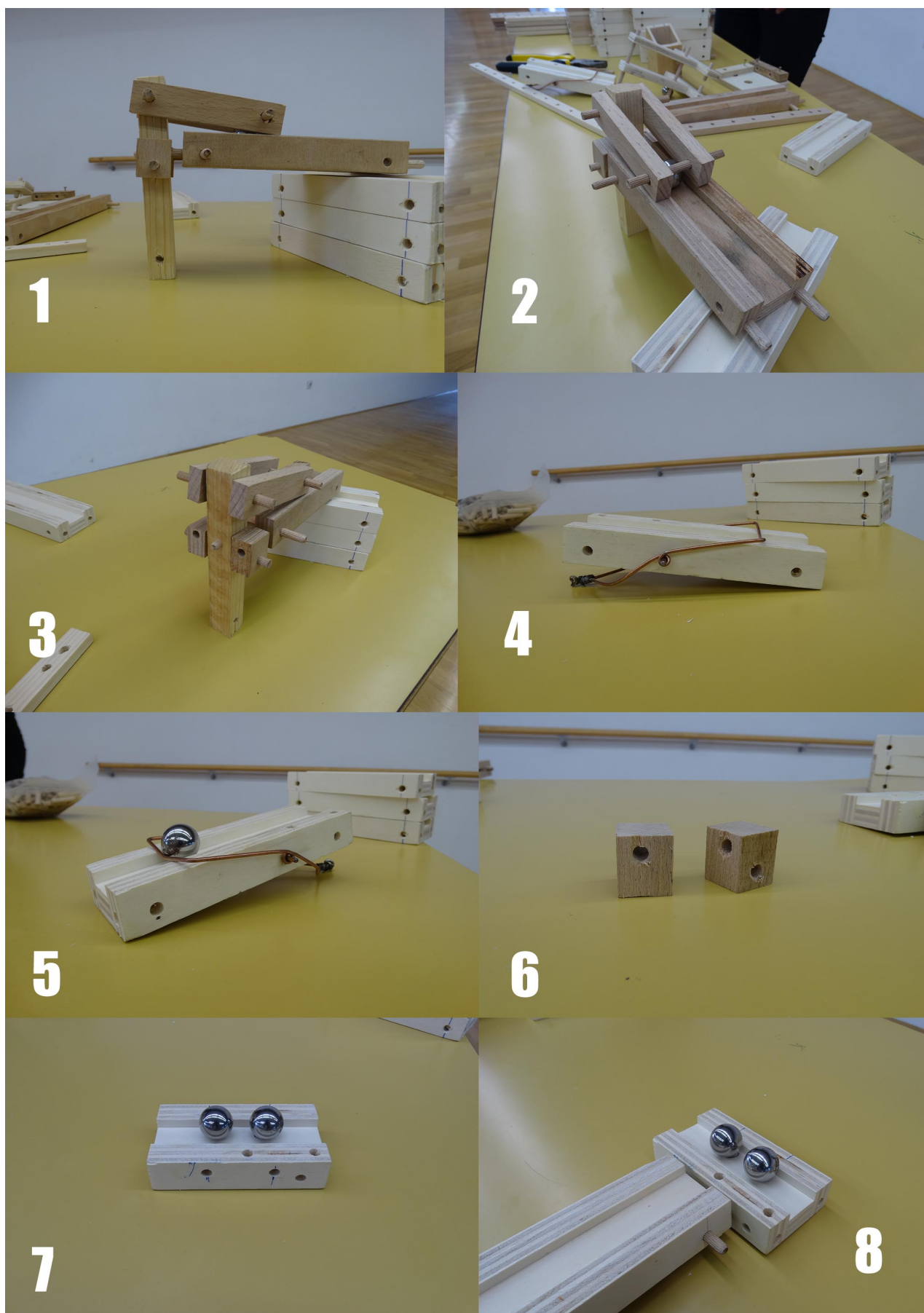
13 Dodatek



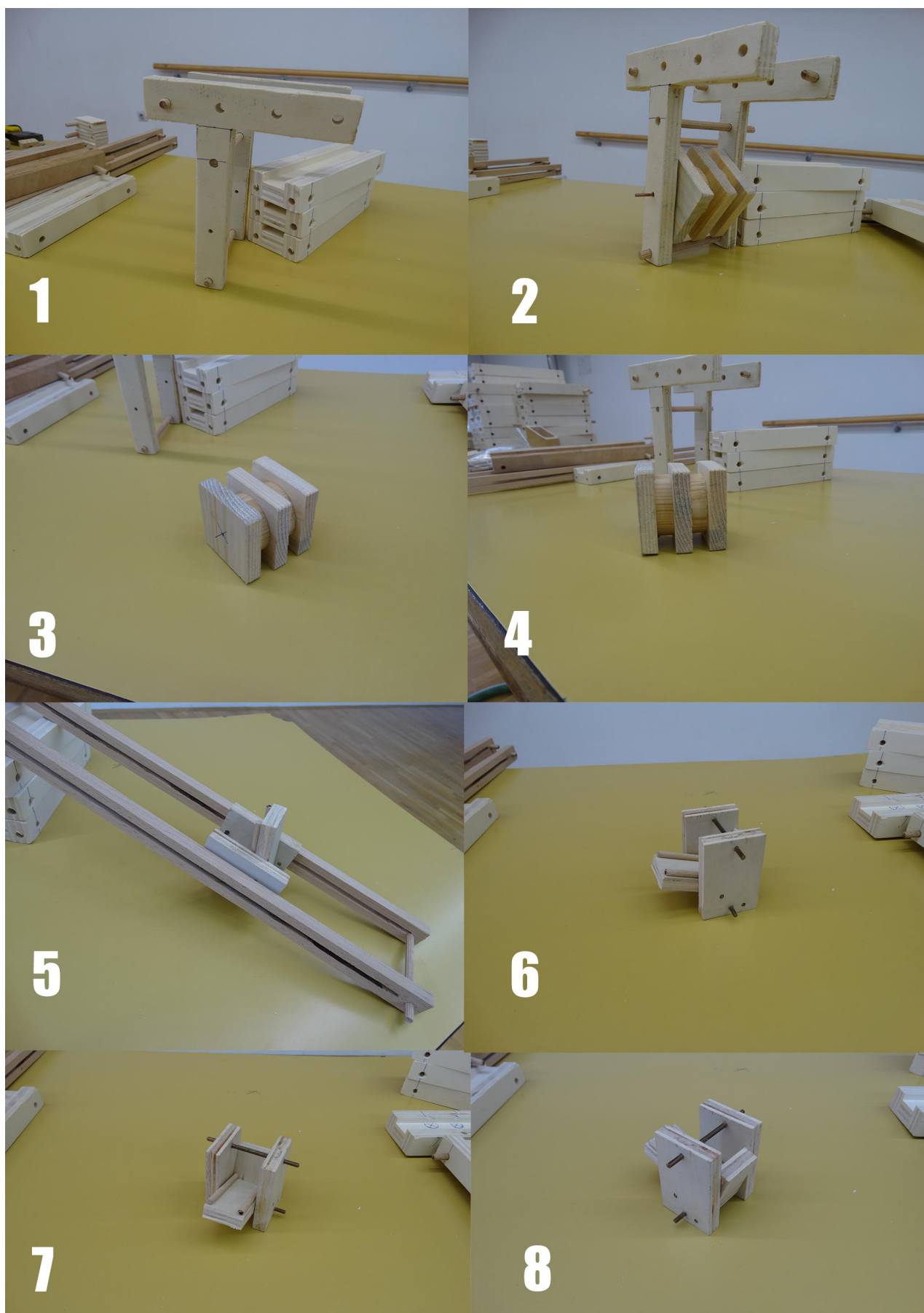
Slika 13: Foto: Osnovni elementi



Slika 14: Foto: Cev



Slika 15: Foto: Vzvod in križišče



Slika 16: Foto: Škripec



Slika 17: Foto: Primeri postavitve