

---

# **Osnove 3D modeliranja in tehniškega risanja za učitelje tehnike in tehnologije**

Modularni učni priročnik za bodoče učitelje tehnike in tehnologije. Začenja se z razumevanjem 3D modeliranja kot temelja tehniške predstavitev. Sledi sistematičen prehod v tehniško risanje in uporabo standardov. Združuje teorijo, prakso in pedagoški kontekst.

dr. David Rihtaršič

# Kazalo

|  |            |
|--|------------|
| <b>1 Uvod v modeliranje s programom FreeCAD</b>                                    | <b>1</b>   |
| 1.1 Namestitev, osnovna nastavitev in delovna okolja . . . . .                     | 1          |
| 1.2 Modeliranje: Skica, Pad in Pocket . . . . .                                    | 5          |
| 1.3 Parametrično modeliranje: omejitve, reference in spremenljivke . . . . .       | 9          |
| 1.4 Modeliranje: Mirror, Revolve in Sweep . . . . .                                | 20         |
| 1.5 Soodvisne oblike sestavnih delov . . . . .                                     | 28         |
| 1.6 Referenčne ravnine, premice in točke . . . . .                                 | 34         |
| <b>2 Tehniška risba</b>  | <b>41</b>  |
| 2.1 Struktura tehniške dokumentacije . . . . .                                     | 42         |
| 2.2 Formati tehniških risb . . . . .   | 43         |
| 2.3 Vrste tehniških risb . . . . .   | 45         |
| 2.4 Značilnosti risbe . . . . .  | 55         |
| <b>3 Projekcija</b>  | <b>69</b>  |
| 3.1 Aksonometrične projekcije . . . . .  | 71         |
| 3.2 Večpogledne projekcije . . . . .   | 79         |
| <b>4 PREDSTAVITEV TELES</b>  | <b>87</b>  |
| 4.1 Kotiranje . . . . .  | 88         |
| 4.2 Kotiranje teles . . . . .  | 91         |
| 4.3 Kotiranje valjastih teles, premerov, radijev in kroglastih elementov . . . . . | 95         |
| 4.4 Prerezi . . . . .  | 98         |
| 4.5 Tolerance mer in oblik . . . . .   | 101        |
| 4.6 Označevanje hrapavosti površin in materialov . . . . .                         | 102        |
| 4.7 Standardi tehniške dokumentacije . . . . .                                     | 103        |
| <b>5 Ročno tehniško risanje</b>  | <b>105</b> |
| 5.1 Vloga ročnega risanja . . . . .  | 105        |
| 5.2 Trdota svinčnika, pripomočki in priprava . . . . .                             | 106        |
| 5.3 Risanje osnovnih geometrijskih elementov . . . . .                             | 107        |
| 5.4 Osnove opisne geometrije . . . . .   | 108        |

|  |            |
|--|------------|
| <b>6 PRILOGA</b>   | <b>111</b> |
| 6.1 Izračuni pravokotne projekcije . . . . .                 | 111        |
| 6.2 Izračun kotov rotacije izometrične projekcije . . . . .  | 115        |
| 6.3 Izračun točke pogleda za dimetrično projekcijo . . . . . | 121        |
| 6.4 Izračun kotov rotacije dimetrične projekcije . . . . .   | 126        |
| <b>VIRI IN LITERATURA</b>                                    | <b>129</b> |

# 1 Uvod v modeliranje s programom FreeCAD

Modeliranje je temeljni del sodobnega inženirskega oblikovanja in načrtovanja. Omogoča natančno predstavo o končnem izdelku še pred fizično izdelavo ter omogoča hitrejše in učinkovitejše iteracije pri razvoju. V tem učnem sklopu se bomo spoznali z osnovami parametričnega 3D-modeliranja s pomočjo odprtakodnega programa **FreeCAD**, ki je posebej primeren za izobraževalno rabo.

## Vsebina sklopa

Ta učni sklop vsebuje naslednje učne enote:

- **1.1 Namestitev, osnovna nastavitev in delovna okolja**

Spoznali bomo, kako se FreeCAD namesti, kako prilagodimo osnovne nastavitev in kakšna so glavna delovna okolja (Sketcher, Part Design).

- **1.2 Geometrijske omejitve in parametrično načrtovanje**

Poudarek bo na razumevanju dimenzijskih in geometrijskih omejitev ter osnovah parametričnega modeliranja.

- **1.3 Napredna orodja modeliranja**

Predstavili bomo naprednejše funkcije, kot so Loft, Mirror, Pattern, Boolean operacije in Shape Binder.

- **1.4 Modeliranje enostavnih sestavljenih modelov**

V tej enoti bomo vstopili v svet sestavljanja modelov iz več delov z uporabo ustreznih delovnih okolij.

- **1.5 Pomožne ravnine in delo v prostoru**

Naučili se bomo uporabljati datum ravnine, lokalne koordinate in usmerjene skice za kompleksnejše 3D-modeliranje.

Vsaka enota vsebuje ločen teoretični del s primeri ter praktične vaje z nalogami in izzivi.

## 1.1 Namestitev, osnovna nastavitev in delovna okolja

Za uspešno delo s programom FreeCAD je ključno, da ga pravilno namestimo, razumemo osnovne nastavitev in se seznanimo z najpomembnejšimi delovnimi okolji.

### 1.1.1 Namestitev FreeCAD

Program FreeCAD je odprtakodna programska oprema, ki jo lahko prenesemo s spletno strani: <https://www.freecad.org/>

Na voljo je za različne operacijske sisteme (Windows, macOS, Linux).

#### 1.1.1.1 Koraki namestitve (primer za Windows)

1. Obišči spletno stran in prenesi namestitveno datoteko.
2. Zaženi namestitveni program.
3. Sledi navodilom čarownika in zaključi namestitev.

### 1.1.2 Osnovna nastavitev

Po prvem zagonu lahko prilagodimo osnovne nastavitve:

- Izberemo privzeto delovno okolje (npr. *Part Design*),
- Nastavimo enote (npr. milimetre),
- Prilagodimo videz (teme, ikone, mreža).

To storimo v meniju **Edit > Preferences**.

Omenimo nekaj pomembnejših nastavitev:

- General:
  - General : Numeric format - nastavite decimalno vejico kot mejni simbol med celim in decimalnim delom števila (npr.: Operating system)
  - General : Theme - nastavitev svetle/temne teme.
  - General : Size of toolbar icons - pilagodite velikost ikon, da ustreza vašem zahtevam.
  - Selection : Radius - radij v katerem je mogoče označevati posamezne gradnike.
- Notification Area:
  - Enable Pop-Up Notifications - pojavno okno z napakami in opozorili lahko izključimo,
  - Maximum duration - nastavimo čas pojavnosti in
  - Maximum concurrent Notification count - omejimo lahko koliko sporočil naj se pojavi v tem oknu. Ob veliko napakah to okno lahko zasede znaten del delovnega okolja.
- Display:

- 3D View : Show coordinate system in the corner - prikaz orientacije osnovnih treh osi pride zelo prav med modeliranjem, saj moramo večkrat pravilno izbrati smer operacije.
  - 3D View : Relative size - Prilagodimo lahko velikost te oznake.
  - 3D View : Marker size - Nastavimo velikost točk.
- Sketcher:
    - Display : Font size - velikost pisave (kotirnih elementov) v skici.
    - Display : View scale ratio - spremenimo lahko velikost vseh elementov v skici.
  - TechDraw:
    - General : Label Font - pisavo nastavimo na [ISOCPEUR](#).
    - General : Projection group angle - v evropskem prostoru uporabljamo [First-angle](#) projekcijo.
    - General : Section line convention - nastavimo na ISO.
    - General : Default template - priporočljivo je nastaviti svojo predlogo glave za tehnične risbe.
    - Dimensions : Font size - Današnja praksa dovoljuje višino pisave 3.5 mm za velikosti od A4 do A2.
    - Dimensions : Arrow style - Strokovno področje strojništva in lesarstva uporablja polne tanke puščice.
    - Dimensions : Arrow size - Enaka dolžina kot je višina pisave - torej 3.5 mm.
    - Annotation : Line standard - ISO 128
    - Annotation : Line width group - FC 0.5 mm
    - Colors : Transparent Faces - Označimo prosojnost ploskev zato, da ob izvozu v format [SVG](#) nimamo ploskev obarvanih rahlo sivo (ali v števajščki obliki RGB prostora `#f1f3f5`).
    - HLR : Hidden Line Removal : Show Hard Lines - označimo da nam izrisuje tudi skrite robove.

### 1.1.3 Delovna okolja

FreeCAD omogoča delo v več specializiranih okoljih. Najpomembnejša za začetno modeliranje sta:

- **Sketcher** – omogoča ustvarjanje 2D skic in določanje omejitev (angl. Constraints) narisanih objektov.
- **Part Design** – omogoča izdelavo 3D modelov iz skic z uporabo funkcij (extrude, pad, pocket itd.).

Druga uporabna okolja (kasneje):

- **Part** – delo z osnovnimi telesi (primitives),
- **Assembly (A2+, A4)** – za sestavljanje več delov,
- **TechDraw** – za izdelavo tehničnih risb.

#### 1.1.4 Dodatna orodja

FreeCAD omogoča namestitev dodatnih orodij, delovnih okolij, programskih rešitev, elementov ... ki niso prvotno nameščena. Do teh možnosti dostopamo preko [Tools](#) -> [Addon Manager](#). Naj omenimo nekaj uporabnih dodatkov:

- **FCInfo:** je orodje, ki ponudi različne informacije o modelu kot so: velikost, prostornina, masa... Ker je masa pogosto podatek, ki je prisoten v glavi tehnične dokumentacije (saj neposredno vpliva na ceno izdelka) bomo to orodje potrebovali.

#### 1.1.5 Primer iz prakse

Po uspešni namestitvi programa se ustvari nova prazna datoteka, v kateri se raziskujejo možnosti v meniju Preferences in prilagajajo osnovne nastavitev (npr. enote, mreža, barve).

**Pravilno:** nastavitev milimetrov, izbira privzetega okolja Part Design.

**Nepравилно:** izbira napačnih enot (palci), ignoriranje nastavitev mreže (snap to grid).

#### 1.1.6 Grafični vmesnik in navigacija

##### 1.1.6.1 Premikanje in orientacija pogleda

- Nastavi na BLENDER:
  - leva miškina tipka (LMT),
  - srednja miškina tipka (SMT),
  - desna miškina tipka (DMT)

##### 1.1.6.2 Model

- Seznam operacij
- Create Body (samostojen objekt, sestavni del)
  - krepko besedilo -> objekt, ki je aktiven in omogoča izvedbo operacij
  - sivo besedilo -> objek je v glavnem oknu skrit

##### 1.1.6.3 Task Pannel

- todo

## 1.2 Modeliranje: Skica, Pad in Pocket

Na **praktičnih primerih** bomo spoznali osnovne načine modeliranja in funkcije različnih orodij.

1. **Upoštevajte organizacijo orodij v orodni vrstici:** V FreeCAD-u so orodja v orodni vrstici znotraj posameznih delovnih okolij pogosto razvrščena v zaporedju, ki ga bomo uporabljali pri modeliranju. Na primer, v delovnem okolju Part Design začnemo z ustvarjanjem telesa (Create Body), nadaljujemo z risanjem tlorisne skice, sledimo ekstrudirjanju preseka v tridimenzionalni model s pomočjo orodja Pad, ter zaključimo z odstranitvijo odvečne geometrije s pomočjo orodja Pocket. Takšno logično zaporedje omogoča sistematično in učinkovito uporabo funkcionalnosti programa, kar je bistvenega pomena za uspešno izvedbo modeliranja v CAD okolju.

### 2. Create Body

V delovnem okolju Part Design je ustvarjanje telesa (Create Body) prvi korak pri zasnovi tri-razsežnih modelov. Telo predstavlja osnovno entiteto, ki zbirajo vse nadaljnje geometrijske in operacijske modifikacije modela. S tem se zagotovi, da so vsi elementi znotraj telesa med seboj povezani in organizirani.

- **Vloga telesa:** Telo služi kot zbirnik za skice, funkcije in druge konstrukcijske elemente. To omogoča jasno strukturo in hierarhijo modela, ki je ključnega pomena pri kompleksnejših projektih.
- **Ustvarjanje telesa:** Za začetek modeliranja je potrebno najprej ustvariti telo. To lahko storimo z izbiro funkcije 'Create Body' v orodni vrstici. Ta funkcija doda novo telo v dokument in ga postavi v središče konstruktorske ravnine.
- **Lastnosti telesa:** Po ustvarjanju telesa je možno določiti njegove lastnosti, kot so ime in vidnost. Te lastnosti so pomembne za boljšo prepoznavnost in urejenost modela, še posebej v dokumentih z več telesi.
- **Hierarhična struktura:** Vse skice, pad, pocket in druge funkcije, ki se dodajo, so urejene znotraj telesa. To omogoča enostavno upravljanje in spremembe, saj je vsaka modifikacija omejena na specifično telo.

Ta postopek ustvarja organizacijsko ogrodje, ki omogoča natančno in prilagodljivo modeliranje ter je ključen za zagotovitev doslednosti in stabilnosti pri modeliranju kompleksnih geometrij v CAD sistemu.

### 3. Create Sketch

Skica v FreeCAD-u je ključni gradnik pri oblikovanju tridimenzionalnih modelov, saj predstavlja dvodimenzionalno predstavitev geometrije, ki se lahko kasneje transformira v prostorsko obliko.

- **Izbira ravnine skice:** Preden začnemo s skiciranjem, je potrebno izbrati ustrezeno delovno ravnino. Skica je običajno določena v eni od osnovnih ravnin (XY, YZ, XZ) ali pa na površini obstoječe geometrije, kar omogoča nadaljnje oblikovanje in prilagoditve modela.
- **Aktivacija orodja za skiciranje:** Po izbiri ravnine aktivirajte orodje za ustvarjanje skic, kjer imate na voljo različna geometrijska orodja. Na primer, za začetek lahko uporabite orodje [pravokotnik](#).
  - **Risanje oblik:** Z miško definirajte oblike, kot je kvadrat, v izbrani ravnini. Natančnost je ključna, saj vsaka dodatna omejitve ali modifikacija temelji na tej osnovni geometriji.
  - **Dodatne možnosti v task panelu:** Task panel ponuja dodatne možnosti za natančnejše določanje lastnosti skice, kot so dimenzijske in omejitve. Te možnosti vam omogočajo prilaganje postavitve in natančno konfiguracijo geometrije še pred ekstruzijo.

Skiciranje je osrednjega pomena za vsak CAD projekt, saj predstavlja začetno točko za transpozicijo zamisli v oprijemljivo prostorsko strukturo. Skrbno načrtovana skica omogoča osnovo za nadaljnje operacije, kot so ekstruzija, rezanje in druge modificirajoče funkcije.

#### 4. Določanje omejitev

Določanje omejitev je ključen korak v procesu skiciranja, saj zagotavlja, da so geometrija in dimenzijske skice točno opredeljene, kar omogoča stabilnost in točnost nadaljnjih korakov v modeliranju.

- **Tehnike označevanja elementov:** Za učinkovito določanje omejitev je pomembno pravilno označevanje elementov, ki jih želite omejiti.
  - Z uporabo Ctrl in levega miškinega klika (LMT) lahko označimo več elementov hkrati, kar je koristno pri urejanju in nastavljenju več omejitev hkrati.
  - Z LMT in potegom v desno označimo le tiste elemente, ki so v celoti znotraj izrisanega pravokotnika. Ta metoda je primerna za selektivno urejanje specifičnih delov skice.
  - Z LMT in potegom v levo pa označimo vse elemente, ki jih pravokotnik dotika, kar omogoča hitrejšo selekcijo v bolj zgoščenih skicah.
  - Dvaklik z LMT označi vse povezane elemente, kar je uporabno pri delu z zapletenimi skicami, kjer je potreben pregled in urejanje povezav.
- **Vrstni red označevanja:** Pri določenih omejitvah, kot so simetrija ali ko-linearnost, je vrstni red označevanja elementov ključnega pomena. Pravilno zaporedje zagotavlja predvidljivo vedenje geometrije.
- **Celovito omejevanje:** Za polno definirano skico, ki se obarva [zeleno](#), je potrebno dodati zadostne omejitve, ki opredeljujejo vse dimenzijske in relacijske med elementi. Takšna natančno definirana skica zagotavlja robustnost tranzicije v trirazsežne operacije.

- V nekaterih primerih ni potrebno polno omejevanje skice. To je lahko v fazah eksperimentiranja, ko se načrt še spreminja, ali kadar so relacije ali določene dimenzijske odvisne od zunanje geometrije, ki bo morda definirana pozneje.

Pazljivo določanje omejitev zagotavlja, da skica ostane skladna in prilagodljiva za nadaljnjo uporabo pri razvijanju kompleksnejših CAD modelov.

## 5. Ekstrudiranje skice

Orodje PAD v FreeCAD-u omogoča transformacijo dvodimensionalne skice v tridimensionalno obliko z izvlekom (ekstrudiranjem). To orodje je ključnega pomena pri CAD modeliranju, saj predstavlja osnovni korak pri prehodu od dvo- k tridimensionalnim modelom.

- **Določanje dolžine izvlečenja:** Uporabniki imajo možnost natančnega določenja dolžine, za katero se skica izvleče v tridimensionalni prostor. To omogoča ustvarjanje geometrij, ki so skladne z načrti in vključenimi komponentami.
- **Dvostransko izvlečenje:** Orodje omogoča ekstrudiranje skice v obe smeri. Ta funkcionalnost je posebej uporabna za ustvarjanje kompleksnejših in simetričnih oblik, saj omogoča oblikovanje okoli centralne ravnine.
- **Simetrično izvlečenje do ravnine skice:** Z izbiro te možnosti se zagotavlja, da je ekstrudirana oblika enakomerno razporejena glede na začetno skico, kar je koristno pri modelih, ki potrebujejo uravnoteženo porazdelitev mase ali geometrije.
- **Uporaba geometrijskih omejitev v skici:** Pred izvlečenjem je ključnega pomena, da so vse geometrijske omejitve pravilno nastavljene. To zagotavlja natančnost in stabilnost končnega tridimensionalnega modela, preprečuje pa morebitne napake med procesom.
- **Preprečevanje napak pri ekstrudiranju:** Ekstrudiranje ne bo uspešno, če:
  - **Povezave v skici niso tesno sklenjene:** Skica mora biti zaprta, da proces deluje. Če povezave niso popolne, program sproži napako ali opozorilo, pri čemer so problematične točke običajno prikazane **sivo**, ne **rdeče**.
  - **Neprecizna presečišča:** Jasna opredelitev presečišč je potrebna, da se loči notranje in zunanje dele skice. Nepojasnjena presečišča lahko vodijo do napačne geometrije.
- **Odkritje napak:** Če se med procesom pojavijo težave, lahko uporabnik označi problematično skico in nato uporabi **Sketch -> Validate Sketch -> Highlight Troublesome Vertices** za identifikacijo kritičnih točk.

Navedene smernice in preverjanje omogočajo dosleden prehod iz dvo- v tridimensionalno obliko, kar je temeljna zmožnost pri učinkovitem CAD modeliranju.

## 6. Ponavljanje korakov za oblikovanje

Z upoštevanjem in ponavljanjem prej opisanih korakov lahko ustvarimo številne enostavne oblike in strukture. Zlasti koraki 3 (Create Sketch), 4 (Določanje omejitve), in 5 (Ekstrudiranje skice) so ključni za dodajanje geometrijskih struktur modelu. Pogosto se vrnemo k tem korakom, da bi razširili, prilagodili ali izboljšali model, kar je značilen proces pri CAD modeliranju. Tako skice kot njihovo prilagajanje in ekstrudiranje omogočajo fleksibilnost in kreativnost pri oblikovanju tridimenzionalnih modelov.

## 7. Uporaba orodja Pocket

Orodje Pocket v FreeCAD-u je bistveno za dodajanje detajlov ali odstranjevanje materiala iz obstoječega tridimenzionalnega modela. S tem orodjem lahko ustvarimo vdolbine, reže ali izdolbemo specifične oblike v modelu. To omogoča podrobnejše prilagoditve in oblikovanja, ki so osnova za kompleksne projekte.

- **Izbira skice za Pocket:** Za uporabo orodja Pocket, najprej ustvarite ustrezno skico na obstoječem modelu, ki jo želite uporabiti kot vodilo za odvajanje materiala.
- **Določanje globine žepka:** Uporabnik lahko določi natančno globino žepka, s čimer določi, koliko materiala naj bo odstranjeno iz modela. Ta možnost omogoča natančno kontrolo nad količino in lokacijo materiala, ki bo izdolben.
- **Možnosti smeri odvajanja materiala:** Orodje Pocket omogoča odvajanje materiala v eno ali obojestransko smer, kar omogoča prilagodljivo odzivanje na različne konstrukcijske zahteve.
- **Uporaba omejitev iz skice:** Rimane omejitve iz skice so bistvenega pomena. Preden uporabite Pocket, zagotovite, da so omejitve v skici pravilno definirane, kar zagotavlja natančno odstranjevanje materiala in stabilnost končnega modela.
- **Preprečevanje napak pri orodju Pocket:** Pocket funkcija ne bo uspešna, če:
  - **Skica ni popolnoma zaprta:** Kot pri ekstrudirjanju, mora biti skica zaprta, da zagotovimo pravilno delovanje orodja. Orodje aktualizira napako ob odprtih skicah.
  - **Preseki geometrije niso definirani:** Preseki in njihova jasnost določajo ali Pocket uspešno obvlada geometrijske modifikacije.
- **Identifikacija napak:** V primeru nepravilnosti lahko uporabniki pregledajo skico z uporabo [Sketch > Validate Sketch > Highlight Troublesome Vertices](#), s čimer lahko hitro in učinkovito odpravijo težave.

Orodje Pocket je skupaj z ekstrudiranjem eno od osnovnih orodij, ki se pogosto uporablja pri ustvarjanju in prilagajanju CAD modelov, kar omogoča ustvarjanje kompleksnih in detajlnih geometrijskih struktur.

### 1.3 Parametrično modeliranje: omejitve, reference in spremenljivke

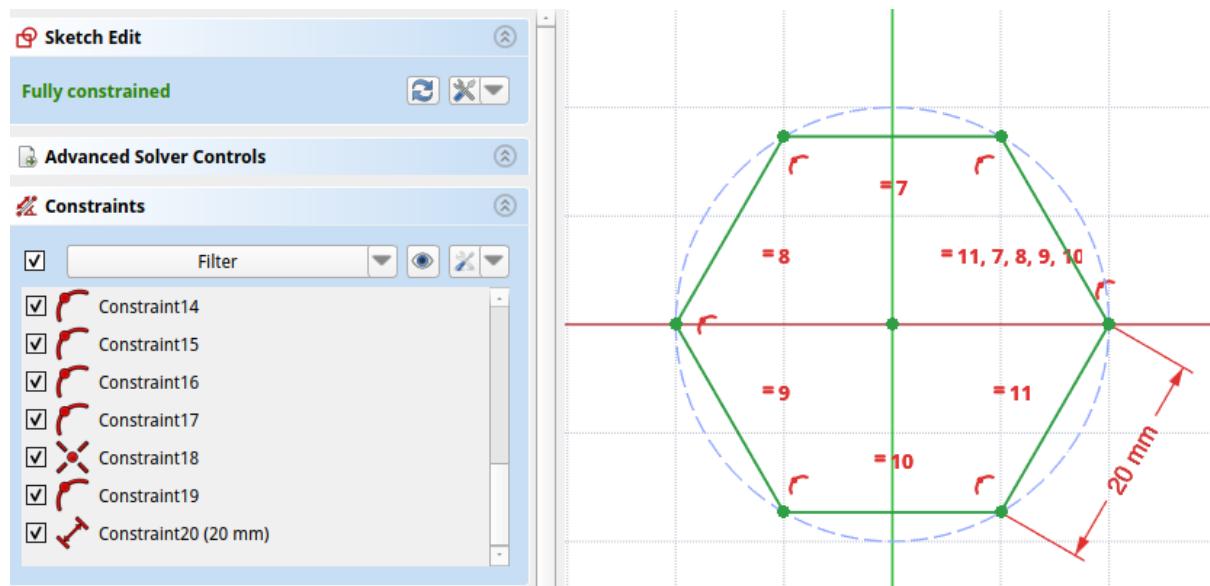
Parametrično načrtovanje omogoča, da so vsi elementi modela definirani z dimenzijskimi vezavami in odvisnostmi, ki jih lahko kadarkoli sprememimo. S tem postane model prilagodljiv in enostaven za posodabljanje. Vsaka sprememba parametra se samodejno odraža v celotnem modelu.

V okolju **FreeCAD** to pomeni, da so skice, telesa in funkcije povezane prek parametrov, ki jih lahko določimo numerično ali s formulami. Praktični primeri so dosegljivi v datoteki [Geometrijske\\_omejitve\\_in\\_parametricno\\_nacrtovanje.FCStd](#).

#### Ključne prednosti:

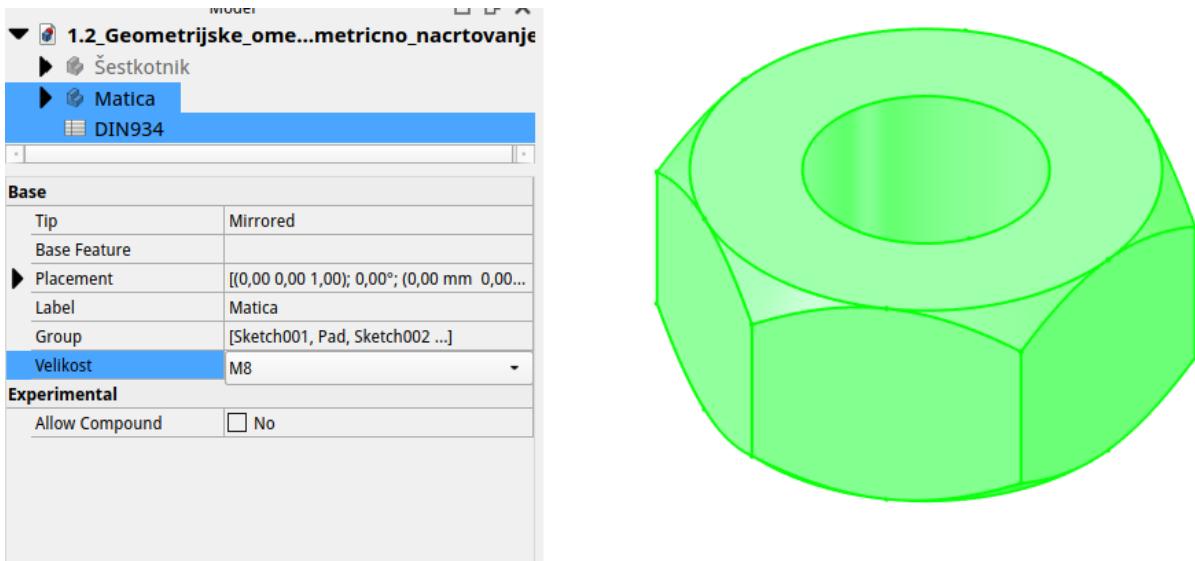
- prilagodljivost in ponovna uporabnost modelov,
- možnost ustvarjanja različic modelov z različnimi dimenzijskimi vezavami,
- lažje posodabljanje projektov.

Primer 1: pri šestkotniku na sl. 1.1, kjer je dolžina stranice podana kot osnovna dimenzija, so vsi robovi enako dolgi in ogljišča enako oddaljena od središča. Če sprememimo dolžino stranice **a**, se samodejno spremeni celoten obris in velikost šestkotnika.



**Slika 1.1:** Pravilni šestkotnik je definiran z le eno dimenzijsko omejitevijo.

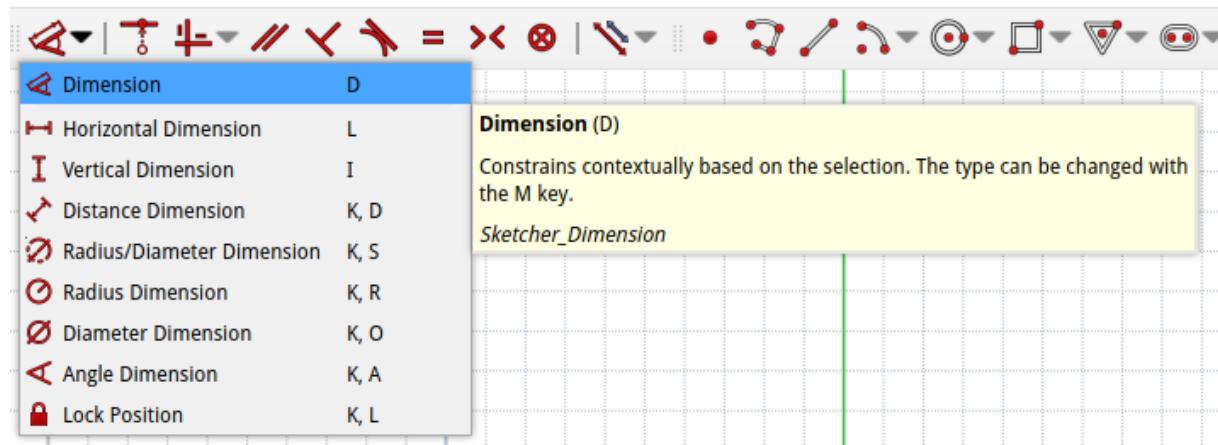
Primer 2: šesterokotna matica na sl. 1.2, kjer so ključne mere izpeljane iz ene vhodne spremenljivke — **nazivnega premera navoja** (npr. M8, M10, M12). Širina med dvema ploskvama **s** in višina **m** sledita standardnim razmerjem glede na **D** (glej tabelo standardov DIN 934), notranja odprtina pa je vezana na **D** (ustrezna izvrtina, ki je potrebna za vrezovanje navoja). Tako lahko z eno vrednostjo **D** avtomatsko določiš celotno geometrijo matice.



**Slika 1.2:** Matica je definirana po ISO standardou DIN 934 in njene dimenziije so shranjene v tabeli.

### 1.3.1 Dimenzijske omejitve

Dimenzijske omejitve določajo **numerične vrednosti**, ki opisujejo dolžine, kote, polmere in oddaljenosti. V FreeCAD Sketcher-ju se te omejitve dodajajo z orodji za **dimenzijske** in so prikazane na sl. 1.3 v spustnem menu-ju.



**Slika 1.3:** Spustni menu z orodji za dimenzijsko omejevanje.

### Vrste dimenzijskih omejitev

- **Dolžina (Distance Constraint):** Določi dolžino črte ali razdaljo med točkama.
- **Kot (Angle Constraint):** Določi kot med dvema črtama.
- **Polmer/Premer (Radius/Diameter Constraint):** Določi velikost kroga ali loka.

Nasvet: kombinacija geometrijskih in dimenzijskih omejitev omogoča popolno definicijo skice.

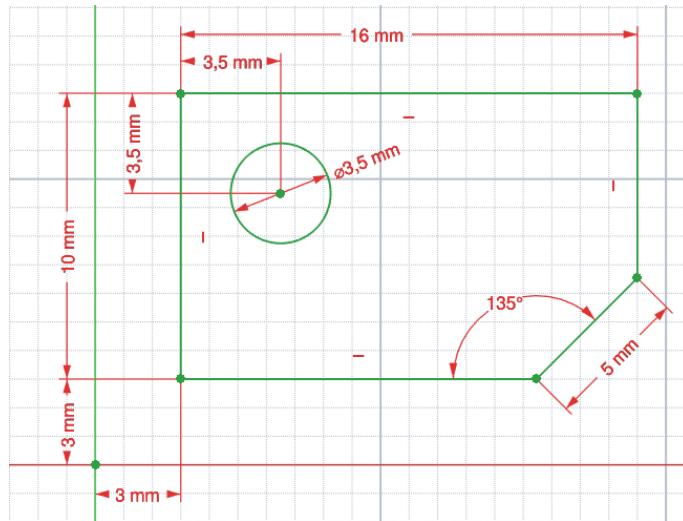
### Primer uporabe

Na sl. 1.4 so prikazane naslednje **dimenzijske omejitve (constraints)** – to so tiste, ki določajo velikosti in kote skiciranih elementov:

1. Dolžina pravokotnika (vodoravno): 16 mm – razdalja med levim in desnim vogalom pravokotnika.
2. Višina pravokotnika (navpično): 10 mm – razdalja med zgornjim in spodnjim robom.
3. Razmak luknje od levega roba (vodoravno): 3 , 5 mm – razdalja med središčem kroga in levim robom.
4. Razmak luknje od zgornjega roba (navpično): 3 , 5 mm – razdalja med središčem kroga in zgornjim robom.
5. Razmak spodnjega roba od vodoravne osi (navpično): 3 mm – razdalja med spodnjim robom pravokotnika in neko referenčno črto spodaj.
6. Razmak levega roba od vertikalne osi (vodoravno): 3 mm – razdalja med levim robom pravokotnika in referenčno črto levo.
7. Kot med poševno črto in spodnjim robom: 135 – verjetno med diagonalno linijo in vodoravno.

8. Premer kroga: 3,5 mm

9. Dolžina poševne črte: 5 mm – dolžina linije, ki tvori kot 135.



**Slika 1.4:** Primer uporabe dimenzijskih omejitev.

### 1.3.2 Geometrijske omejitve

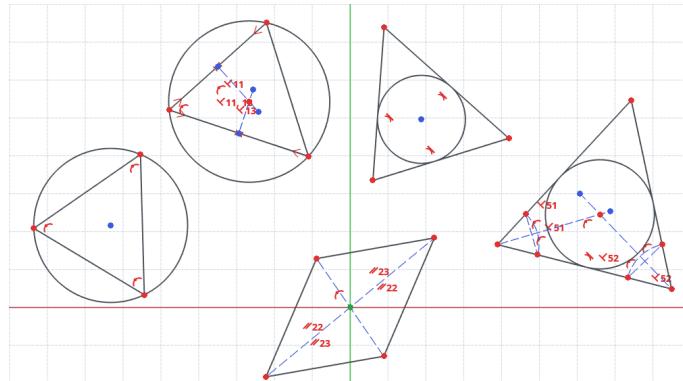
Geometrijske omejitve določajo **relacije med geometrijskimi elementi** (točke, črte, krogi, loke). Namen omejitev je, da določimo, kako so elementi med seboj poravnani, vzporedni, pravokotni, koncentrični ipd.

#### Vrste geometrijskih omejitev

- **Vodoravnost (Horizontal Constraint):** Poravna element v vodoravni smeri glede na koordinatni sistem.
- **Navpičnost (Vertical Constraint):** Poravna element v navpični smeri.
- **Vzporednost (Parallel Constraint):** Dve črti imata enako smer.
- **Pravokotnost (Perpendicular Constraint):** Črti sta pod kotom  $90^\circ$ .
- **Tangencialnost (Tangent Constraint):** Krožnica se dotika črte ali loka.
- **Simetričnost (Symmetry Constraint):** Elementi so simetrični glede na os.
- **Kolinearnost (Coincident Constraint):** Dve točki ali točka in črta se stikata.

**Opomba:** Priporočljivo je, da uporabimo čim manj omejitev, vendar dovolj, da je skica popolnoma definirana.

### Geometrijski primeri



**Slika 1.5:** Nekaj primerov uporabe geometrijskih omejitev.

**NALOGA:** Paralelogram s središčem v izhodišču (0,0)

Nariši paralelogram tako, da je presečišče diagonal v izhodišču, nasprotna oglišča pa so simetrično oddaljena od izhodišča.

1. Postavi štiri daljice  $\overline{AB}$ ,  $\overline{BC}$ ,  $\overline{CD}$  in  $\overline{DA}$  približno v obliki paralelograma.
2. Uporabi **simetričnost** (Symmetry): izberi točki A in C ter referenco **izhodišče (0, 0)**  $\rightarrow$  A in C naj bosta simetrična glede na točko (0,0). Ponovi za B in D.
3. Dodaj **paralelnost**:  $\overline{AB} \parallel \overline{CD}$  in  $\overline{AD} \parallel \overline{BC}$ .
4. (Neobvezno) Poudari lastnost **središča**: dodaj diagonali  $\overline{AC}$  in  $\overline{BD}$  (konstrukcijsko) ter uveljavji **kolinearnost** njunega presečišča z izhodiščem.

**Uporabljene omejitve:** simetričnost, paralelnost, kolinearnost, (vodoravnost/navpičnost kot pomožne).

**NALOGA:** Poljubnemu trikotniku očrtaj krožnico

Za poljuben trikotnik ABC skonstruiraj krožnico, ki gre skozi vsa tri oglišča.

#### a) S točkami na krožnici (“kolinearnimi” točkami)

1. Nariši poljuben trikotnik ABC.
2. Nariši **krog** s poljubnim središčem O in polmerom.

3. Za vsako oglišče (A, B, C) dodaj omejitev **kolinearnosti** na krog.

**b) S simetralami stranic (pravokotne simetrale)**

1. Za stranico  $\overline{AB}$  postavi pomožno točko M\_AB in uveljavlji **simetričnost** točk A in B glede na M\_AB (M\_AB postane **sredina**).
2. Skozi M\_AB nariši pomožno črto in ji dodaj **pravokotnost** na  $\overline{AB}$  (to je pravokotna simetrala AB).
3. Ponovi 1–2 za stranico AC (dobiš M\_AC in ustrezno pravokotno simetralo).
4. Presečišče obih pravokotnih simetral označi z O (dodaj **kolinearnost**).
5. Nariši **krog** s središčem O skozi enega od vrhov (A, B ali C).

**Uporabljene omejitve:** koincidenca, točka-na-objektu, simetričnost, pravokotnost.

---

NALOGA: Poljubnemu trikotniku včrtaj krožnico

Za poljuben trikotnik ABC skonstruiraj krožnico, ki se dotika vseh treh stranic.

**a) S tangentami na stranice**

1. Nariši trikotnik ABC.
2. Nariši **krog** s poljubnim središčem O.
3. Za vsako stranico trikotnika dodaj omejitev **tangentnost** med krogom in stranico.

**b) S simetralami kotov (incenter)**

1. Nariši trikotnik ABC.
2. Iz ogljišča A nariši lok ADE.
3. Dodaj daljico  $\overline{DE}$ .
4. Dodaj daljico  $\overline{AF}$  tako, da bo pravokotna z daljico  $\overline{DE}$ .
5. Ponovi korake 2 - 4, le da simetralo kota narediš v ogljišču B.
6. Kjer se simetrali kotov sekata dodaj točko O in jo uporabi kot središče včrtane krožnice.  
Krožnica se mora dotikate stranice trikotnika tangentno.

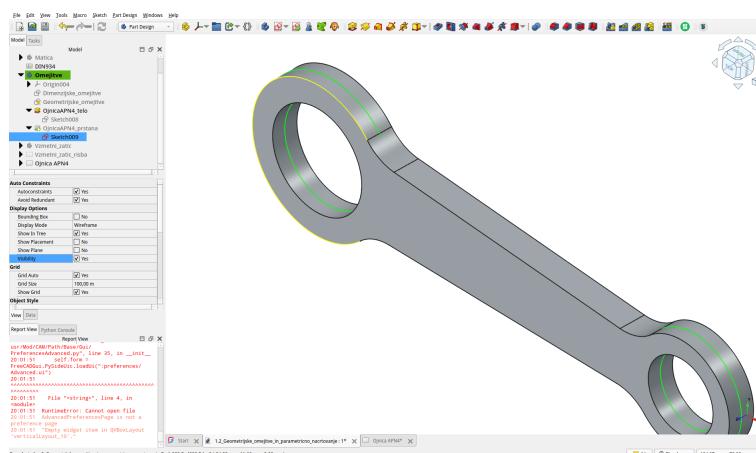
**Uporabljene omejitve:** tangentnost, pravokotnost (radij  $\perp$  tangenta), enakost (razdalj), koincidenca.

---

### 1.3.3 Projekcija robov in ogljišč

V postopkih tehničnega risanja in modeliranja pogosto potrebujemo, da se elementi obstoječih 3D modelov (robovi, ogljišča, obrobe) prikažejo v ploskvi skice, da jih uporabimo kot referenco za nove geometrije ali omejitve. Orodje **External Projection** ustvari pravokotno projekcijo izbranih zunanjih robov/ogljišč na trenutno ravnino skice. Projekcija ostane parametrično povezana z originalnimi objekti—če se izvor spremeni, se ustreznost posodobi tudi projekcija.

Pri modeliranju ojnice APN4 je orodje External Projection uporabljeno za dodajanje dveh prstanov, ob upoštevanju naslednjih dimenzij: globina telesa ojnice 6 mm, globina vsakega prstana 12 mm, kar pomeni, da prstana izstopata iz telesa ojnice 3 mm na vsaki strani. Na sl. 1.6 je prikazano telo ojnice. Rumeno obarvan rob moramo projecirati v skico prstanov. Tak potek uporabe External Projection omogoči natančno dodajanje prstanov, ki se popolnoma prilegajo obstoječi geometriji ojnice. Podrobnejša dokumentacija ojnice za APN4 je dosegljiva v dokumentu [Ojnice APN4.pdf](#).



**Slika 1.6:** Primer uporabe orodja **External Projection** na primeru modeliranja prstanov na telesu ojnice.

### 1.3.4 NALOGA: Uporabi orodje External Projection za prileganje prstanov zunanjim konturi telesa ojnice.

- Na XY ravnini ustvarite skico telesa ojnice iz večpogledne projekcije (razčlenite projekcijo v obris telesa in položaj lukenj).
  - Poskrbite, da so glavni konturi in luknje parametrično omejene z dimenzijskimi prevzemimi iz projekcije.

- Ekstrudirajte obliko telesa (telo ojnice) simetrično glede na ravnino skice z globino 3 mm, tako da je po skupna globina telesa 6 mm.
2. Ustvarite novo skico na XY ravnini za prstane. Skica naj bo aktivna in nameščena natanko na XY ravnini, ki jo uporabljate kot referenco.
    - Preden začnete risati krožnice prstanov, pripravite External Projection za prenosenje kontur iz telesa.
  3. Projecirajte notranjo črto vsake luknje (rob notranjosti) na skico prstanov. Projekcija vsake luknje biti definicijska (defining) — to pomeni, da izberete projekcijo kot dejansko geometrijo (ne konstrukcijsko ali pomožno črto). To zagotovi, da bo notranji rob prstana točno vezan na položaj luknje.
    - Projecirajte zunanjega kontura telesa ojnice, vendar to nastavite kot konstrukcijsko črto (construction). Ta pomožna (construction) črta služi kot referenca, ne kot dejanski rob prstana.
  4. Po konstrukcijski projekciji zunanje konture narišite dve krožnici:
    - veliki prstan: krožnica s premerom 32 mm
    - manjši prstan: krožnica z zunanjim premerom 24 mm
    - Pri postavitvi središč krožnic upoštevajte projekcijo: center kroga naj leži na ustreznih središčnih linijah oziroma v skladu z geometrijo iz projekcije, tako da sta krožnici pravilno poravnani s projekcijo zunanje konture.
  5. Izberite profil vsakega prstana in ekstrudirajte simetrično glede na ravnino skice v obe strani za 6 mm (torej skupni debelinski vložek prstana je 12 mm).

---

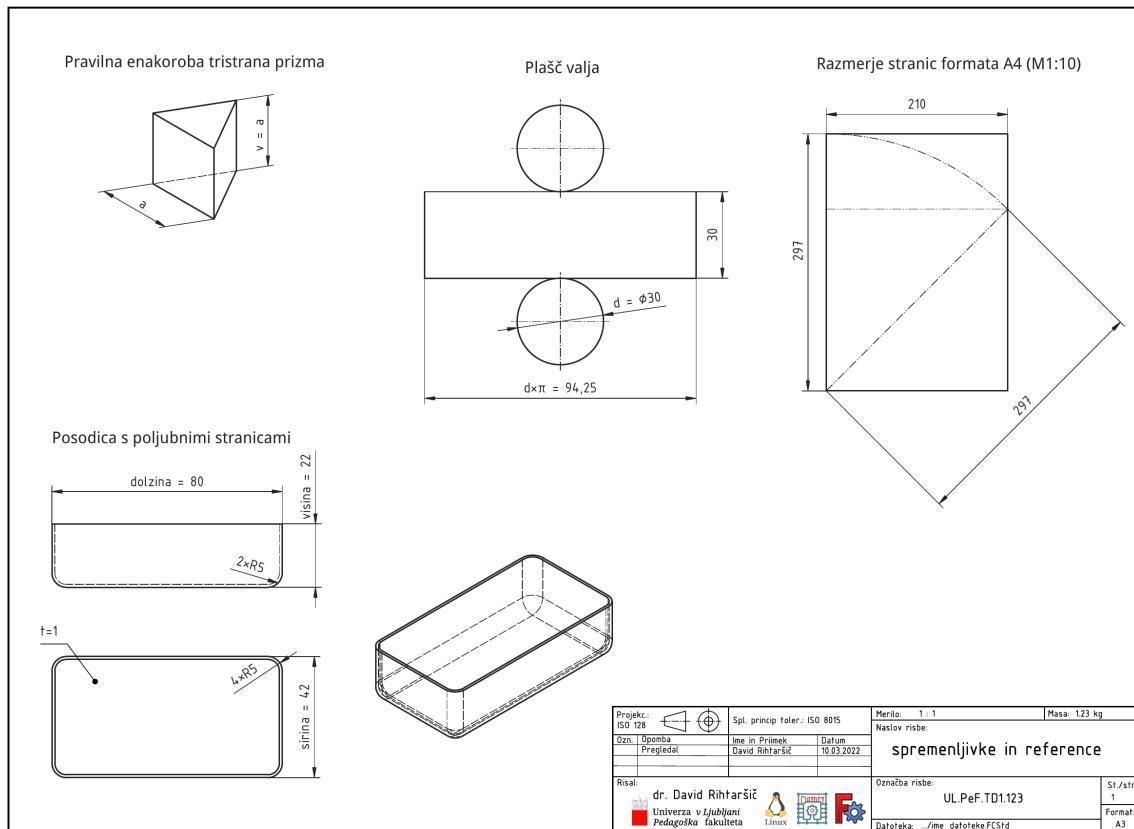
### 1.3.5 Parametričnost in uporaba spremenljivk

Parametrično modeliranje je pristop, ki temelji na definiranju geometrije preko vnaprej določenih parametrov. Namesto ročnega vnašanja mer se oblikuje mreža odnosov med dimenzijami, kar omogoča hitro prilagajanje in ponovljivo proizvodnjo. V FreeCAD-u so ključni elementi prav spremenljivke (variables) in referenčne mere, ki povezujejo različne dele modela: sprememba enega parametra samodejno posodobi sorodne dele, zaračunajo pa se tudi vzporedne dimenzijske povezave.

Pri snovanju lastnih delov je koristno vključiti meritne točke in reference (npr. robovi, središča ali obsege) kot referenčne mere, ki zagotavljajo doslednost pri večkratnem ponavljanju izdelkov. S tem pristopom lahko vnaprej določimo obliko izdelka in njegovo uporabnost v daljšem časovnem okviru, saj je vsaka sprememba enega parametra pragmatično povezana z ostalimi lastnostmi modela.

#### Primeri uporabe referenčnih mer in spremenljivk:

V priloženem dokumentu o uporabi spremenljivk in referenčnih mer na sl. 1.7 so zbrani štirje primeri: pravilna tristranska enakostrana prizma z eno spremenljivko za dolžino stranice osnovne ploskve; izris plašča valja, kjer je dolžina plašča določena iz obsega ( $L = \pi d$ ); načrtovanje formata A4, kjer je višina povezana z diagonalo kvadrata širine papirja; ter uporaba orodja VARIABLE SET, s katerim ustvarimo poljubne spremenljivke (višina, širina, dolžina) za določitev osnovnih mer sortirne posodice v predalu.



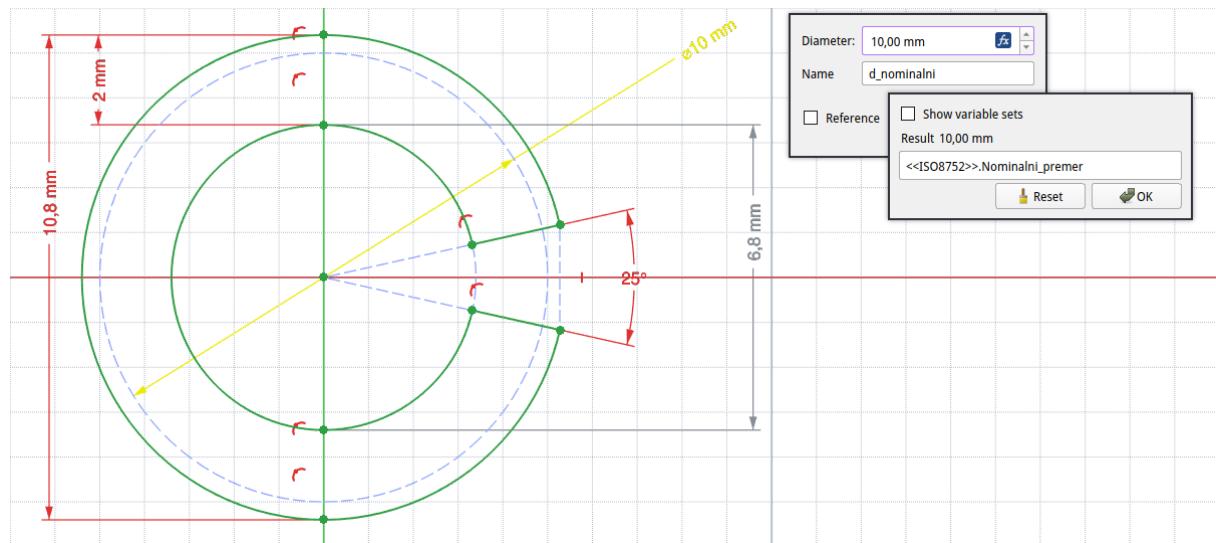
**Slika 1.7:** Primeri uporabe spremenljivk in referenčnih mer.

1. Pravilna tristranska enakostrana prizma: določimo dolžino stranice osnovne ploskve kot spremenljivko  $a$ ; ta spremenljivka nato določa tudi višino/prerez ali dolžino izračuna, kar omogoča prilagoditev vzorca ali dolžine orodja po potrebi.
2. Izris plašča valja: dolžino plašča izračunamo iz obsega definiranega premera valja ( $L = \phi d$ ); spremenljivke omogočajo dinamično prilagoditev premera in posledično tudi dolžine plašča.
3. Načrtovanje formata A4: višina formata je povezana z diagonalo kvadrata širine papirja (npr. širina 210 mm → višina ≈ 297 mm), kar ponazarja razmerja med dimenzijami.
4. Orodje VARIABLE SET: s pripravljenim setom treh spremenljivk – visina, širina in dolžina – dolo-

čimo osnovne mere sortirne posodice v predalu, pri čemer se spremembe enakovredno razširijo na vse relevantne dimenzijske.

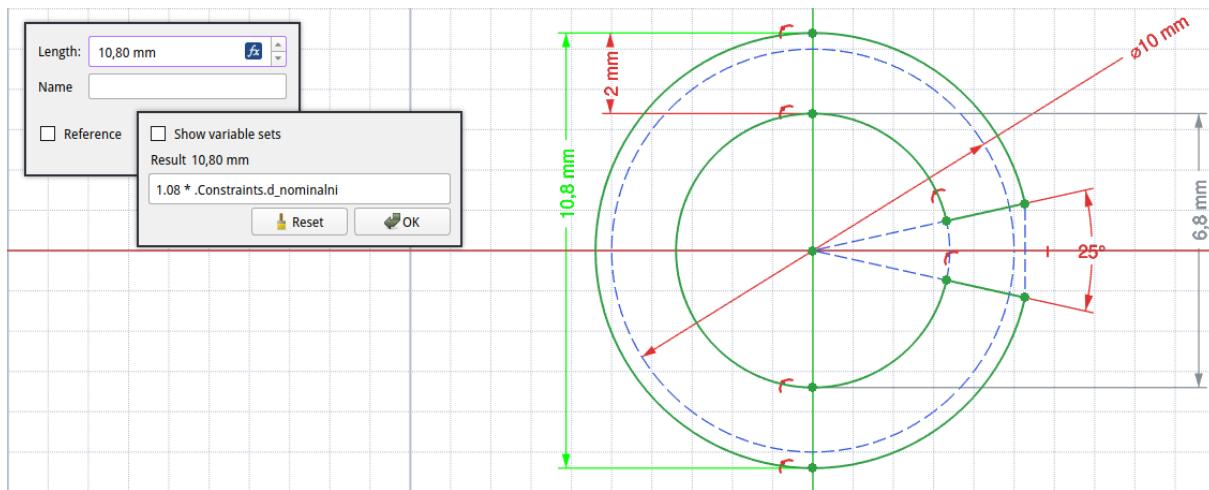
### 1.3.5.1 Primer vzmetnega zatiča

Omenili smo že, da parametrično modeliranje pomeni, da je model določen z **omejitvami in parametri, ki jih je mogoče spremenjati**. V **FreeCAD** to omogoča *Expression Engine*, ki se sklicuje na **imenovane mere** iz skice ali preglednice (*Spreadsheet*). Tak primer je prikazan na sl. 1.8. Pri tem modelu smo generirali nabor spremenljivk in jim vrednosti določili iz standarda ISO8752. V prikazanem primeru je nazivni premer vzmetnega zatiča določen na 10 mm. Vse ostale mere pa so odvisne od tega nazivnega premera. **Dokumentacija vzmetnega zatiča** je dosegljiva na spletni strani.



**Slika 1.8:** Primer pridobitve vrednosti spremenljivke.

Omejitve je mogoče tudi poimenovati in tako te uporabiti v računskih izrazih v istih ali drugih skicah modela. Naslednja sl. 1.9 prikazuje izračun, ki smo ga uporabili za zunano mero vzmetnega zatiča.



**Slika 1.9:** Primer uporabe spremenljivke za izračun dimenzijske omejitve.

Siva mera na sl. 1.9 je raferenčna mera. Le ta ne določa geometrije samega modela, pač pa je lahko koristna za nadaljnjo uporabo.

#### Ključni pojmi:

- **Določena omejitev** – določa geometrijo (črna/zelena) in je *vhodna mera*.
- **Referenčna omejitev** – izračunana (modra); geometrije modela ne spreminja, a jo lahko **beremo** in uporabimo v formulah.
- **Alias (ime mere, spremenljivke)** – poljubno ime dimenzijske, npr. `d_nominalni`, ki ga nato kličeš v izrazih.

#### Poimenovanje mere in uporaba kot spremenljivke

1. V **Sketcherju** dodaj dimenzijo (npr. premer kroga) in ji v seznamu omejitev nastavi **Name: d\_nominalni**.
2. To ime lahko uporabiš v drugih omejitvah ali lastnostih kot izraz: `Sketch.Constraints.d_nominalni` (v isti skici lahko pogosto tudi krajevno `Constraints.d_nominalni`).
3. Po potrebi katerokoli mero spremeni v **Reference** (Toggle reference → siva), če želiš, da je samo **izpis/izračun** in ne vpliva na geometrijo.

Primer: vzmetni zatič (spiralni/roll pin) – en vhodni parameter `d_nominalni` vse ostale mere naj sledijo iz `d_nominalni`.

#### V skici (prerez):

- Glavni krog: premer z **Name d\_nominalni**.

- Zunanji krog (maks. premer): omejitev z **Name d\_max** in izrazom  $1.08 * \text{Sketch}.\text{Constraints}.d_{nominalni}$ .
- Debelina stene: omejitev v skici z izrazom  $0.2 * \text{Sketch}.\text{Constraints}.d_{nominalni}$ .

#### V 3D (Part Design):

- *Pad.Length* (dolžina zatiča):  $5 * \text{Sketch}.\text{Constraints}.d_{nominalni}$ .
- *Chamfer.Size* (posnetje na koncu):  $0.2 * \text{Sketch}.\text{Constraints}.d_{nominalni}$ .

#### Povzetek izrazov:

```
1     L      = 5    * Sketch.Constraints.d_nominalni
2     d_max  = 1.08 * Sketch.Constraints.d_nominalni
3     a (posnet) = 0.2 * Sketch.Constraints.d_nominalni
4     s (stena) = 0.2 * Sketch.Constraints.d_nominalni
```

S spremembo **edine vhodne** mere **d\_nominalni** se samodejno posodobijo vse odvisne mere (**L, d\_max, a, s**).

Kdaj uporabiti **referenčne** mere?

Referenčne mere so uporabne, ko želimo **kaj izmeriti, izpisati ali preveriti**, ne da bi to vplivalo na geometrijo. Na primer v našem primeru smo pri vzmetnem zatiču označili notranjo mero premera zatiča kot referenčno mero. Ta mera je že definirana in ne more spremenjati geometrije zatiča, lahko pa nam pride prav, če bi morali oblikovati trn za raztezanje vzmetnega zatiča na prvotne dimenzije ob morebitni ponovni uporabi vzmetnega zatiča.

### 1.3.6 Diagnostika in vizualni prikaz

FreeCAD uporablja barvno kodo za prikaz stanja skice:

- **Zelena**: Skica je popolnoma definirana.
- **Modra**: Skica je delno definirana.
- **Rdeča**: Skica ima preveč omejitev (over-constrained).

Pri pojavu rdeče barve je treba odstraniti odvečne omejitve ali preveriti podvojene relacije.

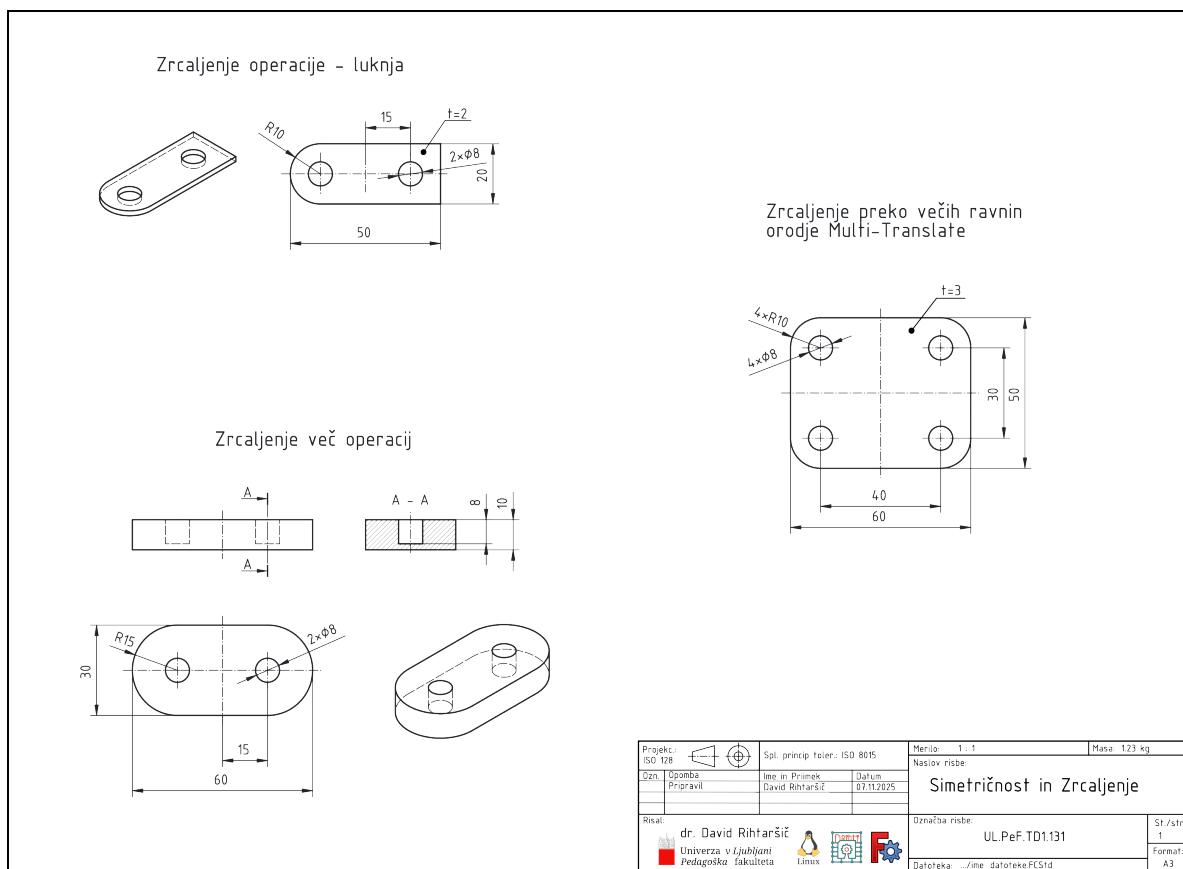
## 1.4 Modeliranje: Mirror, Revolve in Sweep

V tem podoglavlju nadaljujemo z raziskovanjem osnovnih načinov ustvarjanja kompleksnejših oblik. Osredotočili se bomo na vlogo **simetrije** pri modeliranju, ki omogoča racionalno gradnjo in uravnote-

ženost izdelkov. Ob tem bomo spoznali tri temeljne principe oblikovanja v 3D prostoru – **zrcaljenje (Mirror)**, **vrtenje (Revolve)** in **povezovanje profilov (Loft)**. Ti postopki skupaj tvorijo osnovni nabor orodij za ustvarjanje funkcionalnih in estetsko uravnoteženih geometrijskih modelov.

### 1.4.1 Zrcaljenje (Mirror)

V tehnični dokumentaciji so linije simetrije pogosto ključne reference pri opisovanju geometrije telesa (glej sl. 1.10, ali dokument **Simetričnost in Zrcaljenje**). S tem se jasno nakaže simetrija izdelka ali sestavnih delov, olajša razumevanje konstrukcije ter omogoči dosledno reproduciranje modelov.



**Slika 1.10:** Primeri simetričnih značilnosti različnih predmetov in uporaba različnih tehnik zrcaljenja.

V programu FreeCAD je orodje zrcaljenja (Mirror), ki omogoča hitro ustvarjanje simetričnih elementov glede na izbrano ravnino simetrije, pri čemer se ohrani povezava med originalom in njegovim zrcaljeno preslikavo. Ta pristop priomore, da je dokumentacija bolj pregledna in omogoča jasno komunikijo (Developers 2023a, 2023b).

**Zrcaljenje (Mirror)** je orodje, ki omogoča kopiranje oblike ali funkcije modela glede na določeno ravnino simetrije. V inženirskem modeliranju se uporablja za hitro ustvarjanje **simetričnih elementov**, brez potrebe po ponovnem risanju skic.

Zrcaljenje temelji na **geometrijskem pojmu simetrije**, pri katerem so vsi točkovni elementi kopirani na nasprotno stran izbrane ravnine, pri čemer ostane razdalja od ravnine enaka.

V delovnem okolju **Part Design** se orodje Mirror uporablja za:

- **zrcaljenje modelirne operacije (features)** (npr. luknja, posnetje, rebro),
- zrcaljenje **celotnega telesa (body)**.

#### 1.4.1.1 Ključni pojmi

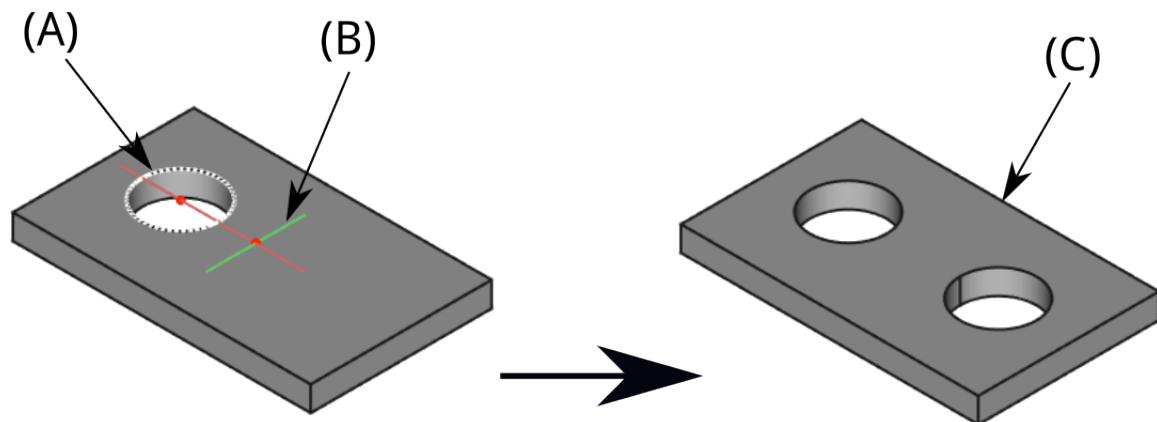
- Ravnina zrcaljenja: referenčna ravnina, na podlagi katere se izvede simetrična preslikava. Lahko je osnovna ravnina (XY, YZ, XZ) ali je v uporabi *Datum Plane* kot izhodišče zrcaljenja.
- Modelirna operacija (Feature): funkcionalni element telesa (npr. Pocket, Pad, Fillet), ki ga je mogoče zrcaliti v okviru parametričnega modeliranja.
- Simetrija: geometrijska lastnost, pri kateri sta dve polovici objekta enaki glede na določeno os ali ravnino.
- Parametričnost: zrcaljeni del ostane v povezavi z izvirnim delom; spremembe v originalu se avtomatsko odražajo na zrcaljeni kopiji.

- **Ključne prednosti zrcaljenja:**

- enostavno ustvarjanje simetričnih oblik,
- manjše število skic in funkcij,
- samodejno posodabljanje ob spremembah izvirnega dela,
- hitrejša gradnja kompleksnih modelov.

#### 1.4.1.2 Uporaba orodja Mirror v FreeCAD

Orodje **Mirror** se nahaja v delovnem okolju **Part Design** in je uporabno za ustvarjanje zrcaljenih kopij značilnosti glede na izbrano ravnino. Primer takega preprostega zrcaljenja je prikazan na sl. 1.11, podrobnejši opis uporabe tega orodja je objavljen na spletnih straneh FreeCAD (Documentation 2025).



**Slika 1.11:** Primer zrcaljenja luknje preko navpične osi skice A. Rezultat zrcaljenja (C) je prikazan na desni strani.

**Postopek:**

1. Izberi operacijo (npr. *Pocket*, *Pad*, *Fillet* ...), ki jo želiš zrcaliti.
2. Klikni ikono **Mirror**.
3. V pogovornem oknu izberi **Mirror Plane** – lahko je osnovna ravnina (*XY*, *YZ*, *XZ*) ali *Datum Plane*.
4. Potrdi. FreeCAD ustvari zrcalno kopijo izbranega elementa.

**Nasvet:** Zrcaljenje je najbolj učinkovito, če je os simetrije že predvidena v zasnovi telesa – npr. če je telo centrirano v izhodišču koordinatnega sistema.

#### 1.4.1.3 Primer 1: Zrcaljenje luknje na plošči

Na sl. 1.11 je prikazan primer uporabe orodja Mirror za luknjo, ki je bila prvotno definirana le na eni strani plošče. Z izbiro ravnine simetrije (v tem primeru **YZ-ravnina**) dobimo zrcalno kopijo luknje na nasprotni strani, brez potrebe po novi skici.

**Postopek:**

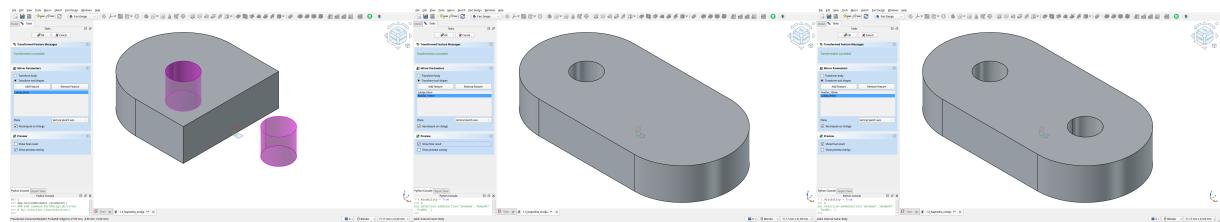
1. V 3D pogledu izberi funkcijo, ki jo želiš zrcaliti (npr. *Pocket* za luknjo).
2. Klikni **Mirror**.
3. Določi **Mirror Plane** – standardna ravnina (*XY*, *YZ*, *XZ*) ali *Datum Plane*.
4. Potrdi.

**Rezultat:** Zrcaljena značilnost je parametrično povezana z izvirno. Sprememba v originalni luknji se samodejno prenese tudi na zrcalno stran.

#### 1.4.1.4 Primer 2: Zrcaljenje več operacij

Na sl. 1.12 je prikazan nosilec ohišja, ki je bil modeliran le na eni strani osnovnega telesa. V tokratni nalogi bomo prikazali primer **zrcaljenja več operacij hkrati**. Pogosto so nosilci zasnovani simetrično, zato lahko modeliramo le polovico nosilca in vanj dodamo luknjo (če luknja ne prebada celotnega telesa). Nato uporabimo funkcijo **Mirror**, da hkrati zrcalimo dve operaciji – *Pad* (osnovno telo nosilca) in *Pocket* (luknjo).

**Pomembno opozorilo:** Če bi v tem primeru zrcalili le operacijo *Pocket*, ali da je vrstni red zrcaljenih operacij napačen, model ne bo prikazan pravilno, saj luknja nima obstoječega telesa, v katero bi bila vrezana. Zato je potrebno v zrcaljenje vedno vključiti prave operacije in jih logično urediti.

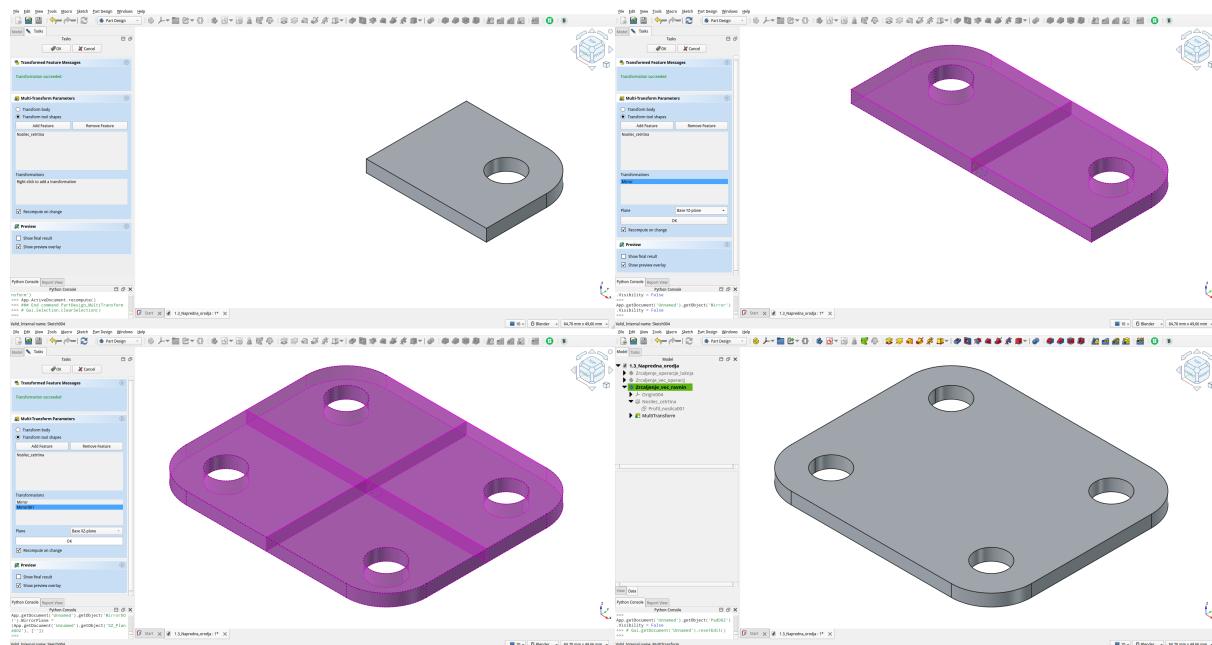


**Slika 1.12:** Primeri napačne in pravilne (desni primer) razporeditve operacij pri zrcaljenju več njih.

**Opomba:** Če v modelu še ni ravnine simetrije, jo lahko ustvariš z orodjem **Datum Plane** – postavi jo točno v sredino med dvema točkama ali obrazoma in jo uporabi kot referenco za Mirror.

#### 1.4.1.5 Primer 3: Zrcaljenje preko več ravnin

Na sl. 1.13 je prikazan primer, kjer uporabimo orodje **Multi-Transform**, ki omogoča hkratno izvedbo več transformacij, med njimi tudi zaporedno zrcaljenje preko različnih ravnin. V praksi to pomeni, da lahko izberemo četrtino nosilca (1/4 modela) in ga v enem koraku zrcalimo dvakrat – najprej glede na YZ-ravnino, nato še glede na XZ-ravnino. Na ta način lahko ustvarimo popolnoma simetričen nosilec brez dodatnega risanja skic.



**Slika 1.13:** Primer uporabe orodja Multi-Transform za potrebe zrcaljenja preko več ravnin.

**Opomba:** V FreeCAD-u zaporedje dveh operacij zrcaljenja ni mogoče izvesti neposredno z več ločenimi ukazi Mirror. V ta namen uporabimo **Multi-Transform**, kjer so zrcaljenja združena v eno operacijo, kar zagotavlja stabilnost in pravilno posodabljanje modela.

#### 1.4.1.6 Tipične uporabe

Spodaj je jedrnat opis, ki povzema navedene primere zrcalne ravnine ter njihove namembnosti v posameznih elementih.

- Luknje na plošči – Ravnina zrcaljenja: YZ – Opis uporabe: Luknje simetrično razporejene levo in desno.
- Ojačitve (rebra) – Ravnina zrcaljenja: XZ – Opis uporabe: Struktturna simetrija ohišij, nosilcev.
- Pokrovi in držala – Ravnina zrcaljenja: XY – Opis uporabe: Zrcalno oblikovanje v simetričnih izdelkih.
- Utori ali rezi – Ravnina zrcaljenja: YZ ali XZ – Opis uporabe: Simetrična razbremenilna zareza.

#### 1.4.1.7 Razlika med Mirror in Pattern

- **Mirror** ustvari **eno zrcaljeno kopijo** elementa glede na ravnino.

- **Pattern (Linear/Polar)** ustvari **več kopij** iste značilnosti v izbrani smeri ali okoli osi.

**Primer:** Če imaš eno luknjo in jo želiš še enkrat na nasprotni strani → *Mirror*.

Če pa želiš 5 enakih lukenj v vrsti → *Linear Pattern*.

#### 1.4.1.8 Diagnostika in nasveti

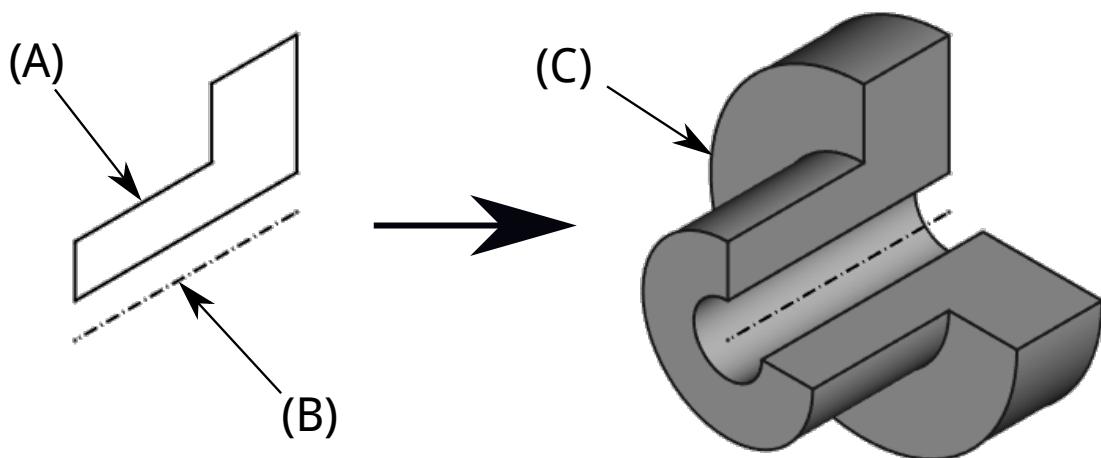
V spodnjem besedilu so povzete ključne napake, ki jih lahko povzročijo, da se zrcaljenje ne izvede pravilno. Posledica takih napak so pogosto topoloških napak.

- Zrcaljenje ne ustvari dodatnega telesa: Ker ravnina zrcaljenja ne seka prvotnega telesa, zrcaljenje ne generira zrcalne kopije. Rešitev: uporabiti Midplane ali premakniti Datum Plane, da ravnino primerno uvedemo v geometrijo.
- Zrcaljeni del ni povezan s telesom: Napaka nastane, kadar zrcaljena značilnost ne tvori kontakta osnovnega telesa. Rešitev: dodati Union (Fuse) ali preveriti, ali je operacija Additive/Subtractive pravilno nastavljena.
- Napaka pri spremembi originala: Vzrok je topološki problem v strukturi. Rešitev: izvesti zrcaljenje na osnovni strukturi telesa (ne na kombiniranih telesih), da ostane povezanost in ažurnost sprememb.

#### 1.4.2 Revolve

Revolve je CAD operacija za ustvarjanje tridimenzionalnih teles s preprosto rotacijo 2D profila okoli izbrane osi. Ker je veliko predmetov osno-simetričnih, je priročno zasnovati modelov zasnovati z revolve, saj s tem dobimo popolnoma simetrične geometrije brez ponovnega risanja.

Ključni koncepti: - os rotacije: izberemo linijo ali rob profila, okoli katere se profil zavrti. - kot vrtenja: lahko je  $360^\circ$  (polni objem) ali manjši kot  $360^\circ$ , kar omogoča delne oblike (npr. valji, stožci, polovične skulpture). - uporabo v praksi: profil se najprej definira v skici, nato se ta skica obrot okoli osi s funkcijo Revolution in tako nastane končni model (Developers 2023a).

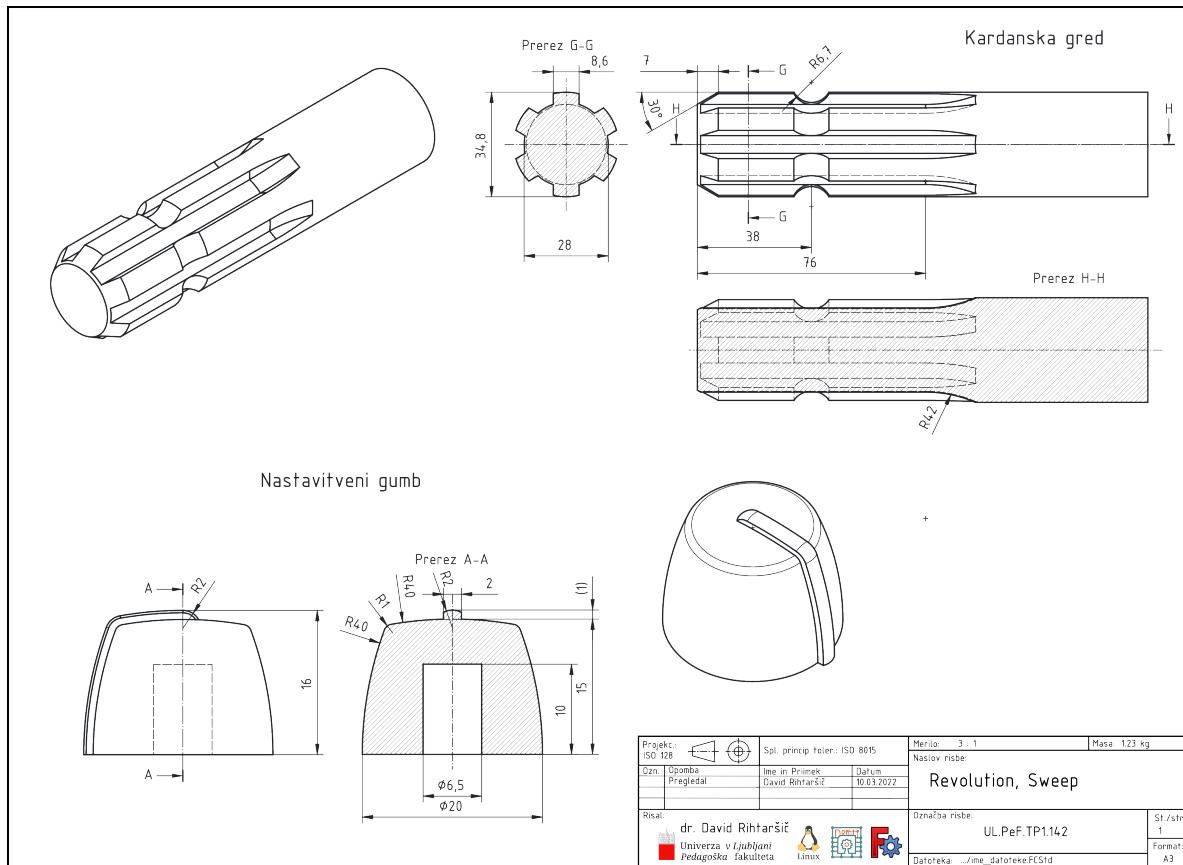


**Slika 1.14:** Slika prikazuje skico (A), ki jo okoli osi (B) zarotiramo z orodjem Revolution in s tem dobimo model (C).

Opomba: pri načrtovanju je smiselno upoštevati osno simetrijo že v začetni fazi modeliranja, saj to olajša kasnejše spremembe in zagotavlja konzistentnost geometrije.

| to-do ...

Poglejmo si primer osnosimetričnih elementov. Podrobnejša dokumentacija je dosegljiva v dokumentu z imenom [1.4.2\\_Napredna\\_oredja\\_Revolution.pdf](#)



**Slika 1.15:** Primer kardanske gredi, kot osnosimetričnega elementa in primer gumba za nastavljanje zvočne jakosti kot osnosimetričnega elemnta s kazalnikom.

#### NALOGA (za vaje):

Ustvari osnovno ploščo ( $80 \times 40 \times 10$  mm) z eno izvrtino na desni strani ( $\varnothing 8$  mm, odmiki od robov 10 mm).

Nato s funkcijo **Mirror** zrcali luknjo na levo stran plošče.

Preveri, ali se spremembra položaja luknje v originalu pravilno prenese na zrcalno stran.

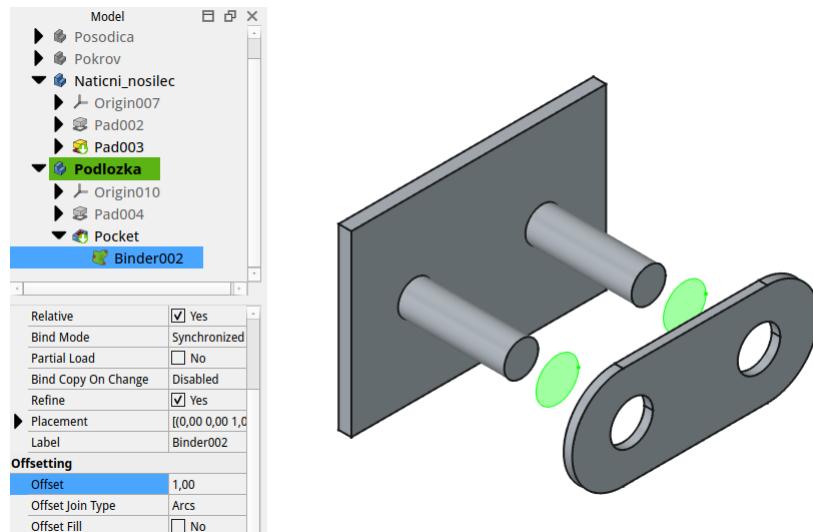
## 1.5 Soodvisne oblike sestavnih delov

Modeli v realnem svetu pogosto niso sestavljeni iz enega samega kosa, temveč iz več komponent, ki jih je treba združiti v logično celoto. Sestavljanje modelov v FreeCAD-u poteka s pomočjo t.i. Assembly okolja, vendar o tem nekoliko kasneje. Najprej bomo spoznali kako lahko načrtujemo posamezne soodvisne elemente, ki se lahko združijo v funkcionalno celoto. V ta namen nam bo v veliko pomoč

orodje "Sub-Shape Binder". To orodje nam omogoča parametrično prenašanje definicijskih točk, robov ali ploskev tudi med različnimi telesi.

### 1.5.1 Sub-Shape Binder

[Sub-Shape Binder](#) je ključno orodje v FreeCAD-u, ki omogoča prenos geometrije med telesi in njeno ponovno uporabo kot referenco pri nadalnjem modeliranju. Namenjen je ohranjanje povezav med deli ozziroma oblikami sestavnih delov, kar zagotavlja soodvisnost oblik in doslednost modelov v sklopih, kjer so potrebna ujemanja sestavnih sklopov (prikazano na sl. 1.16). Orodje deluje kot posrednik, ki omogoča referenciranje robov, ploskev ali skic iz enega telesa v drugo, pri čemer ohranja parameterično povezanost: spremembe v izvirniku se samodejno odražajo v zrcaljeni ali povezanih telesu. Ta način dela je še posebej uporaben pri ustvarjanju sestavljenih teles, kjer so dimenzijske in postavitve med deli odvisne drug od drugega, zato se izogne napakam, ki nastanejo pri neposredni uporabi zunanjih geometrije (Documentation 2023; Developers 2023a).



**Slika 1.16:** Primer uporabe Sub-Shape Binder (zeleno obarvani ploskvi) orodja pri načrtovanju podložke za natični nosilec. Sub-Shape Binder je povezan na členi ploskvi nosilcev, dodeljen mu je 1 mm relativni odmak in nato uporabljen za izdelavo lukenj v podložki.

Pri uporabi [Sub-Shape Binderja](#) je mogoče referencirati različne geometrijske elemente: objekte ali celo celotna telesa, njihove podobjekte (npr. skice ali funkcije) ter tudi njihove pod-elemente (robove, ploskeve ali točke). Izbor prenesene geometrije je odvisen od namena modeliranja: za ustvarjanje teles z orodjem Pad je primarna ravnina ali skica, za določanje položaja izreza sta pogosto dovolj robova, medtem ko je za Booleove operacije smiselnoreferencirati celotno telo. Ker Sub-Shape Binder

deluje na podlagi referenc iz različnih teles ali dokumentov, je skrbno načrtovanje referenčne geometrije ključno za trajno skladnost sestavnih delov modela (Documentation 2023).

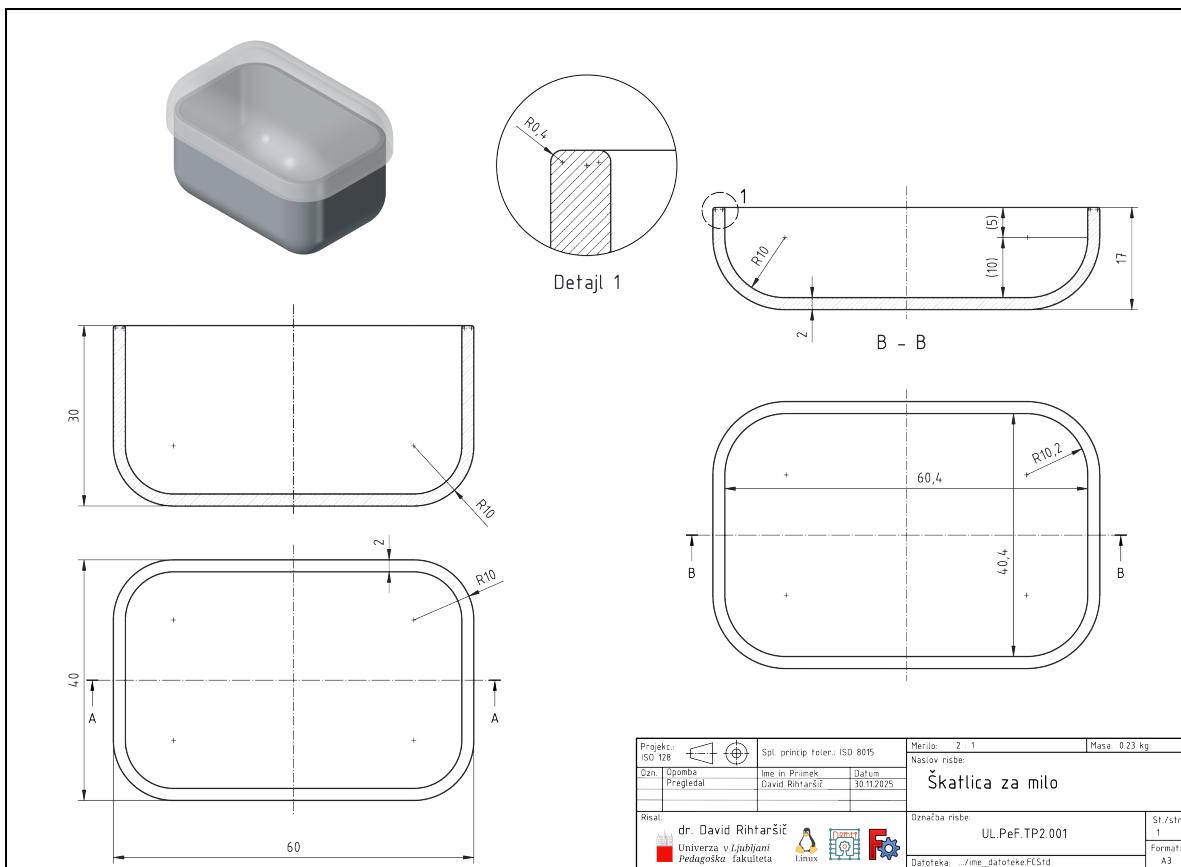
Ena ključnih prednosti **Sub-Shape Binderja** je ohranjanje parametrične povezave. Če se osnovno telo spremeni (npr. sprememba dimenzijs, radija ali debeline), se prenesena geometrija in vse od nje odvisne operacije v drugem telesu samodejno posodobijo. S tem se izognemo ročnemu popravljanju modela in omogočimo zanesljiv razvoj sestava.

Orodje je posebej uporabno v naslednjih primerih:

- izdelava pokrovov, ohišij in nosilcev, ki se morajo natančno prilagajati osnovnemu elementu,
- modeliranje notranjih dodatkov, ki sledijo obliku zunanjega ohišja,
- uporaba pristopa »skeletalnega modeliranja« (master sketch),
- gradnja elementov, ki morajo slediti robovom ali ploskvam drugega telesa,
- prenos referenčnih linij ali ploskev za nadaljnjo konstrukcijo funkcij.

#### **1.5.1.1 Primer: Škatlica s pokrovom**

V naslednjem primeru uporabimo Sub-Shape Binder za modeliranje pokrova, ki se popolnoma ujema z osnovnim telesom škatlice. Primer prikazuje prednosti parametričnega prenosa geometrije med telesi. Podrobnejša dokumentacija škatlice je dosegljiva v datoteki [1.5\\_Soodvisnost\\_sestavnih\\_delov\\_Skatlica.pdf](#).



**Slika 1.17:** Škatlica s pokrovom

### 1. Osnovno telo (škatlica)

Osnovno telo naj bo modelirano z naslednjimi značilnostmi: - tloris:  $60 \times 40$  mm, - radij vogalov: R10 mm, - skupna višina: 30 mm, - debelina sten: 2 mm, - zaobljen spodnji rob: R10 mm.

To telo predstavlja osnovno, glede na katero bo konstruiran pokrov.

2. Novo telo za pokrov Ustvari se novo telo, ki bo predstavljal pokrov škatlice. Pokrov mora ustrezati obliki temeljnika, zato je potrebna uporaba Sub-Shape Binderja za prenos geometrije.
3. Ustvarjanje Sub-Shape Binderja Izberemo zgornjo ploskev osnovnega telesa ali njegove robove.

Uporabimo ukaz Create Sub-Shape Binder.

Binder se ustvari v telesu pokrova in vsebuje kopijo izbrane geometrije.

Preneseni elementi služijo kot referenca za natančno določanje dimenziij in položaja pokrova.

4. Upoštevanje zračnosti Pokrov mora biti nekoliko večji od osnovnega telesa, da se lahko prilega.  
Pri tem uporabimo odmik:

zračnost: 0,2 mm.

Zračnost lahko določimo:

z odmikom skice,

z odmikom robov (3D Offset),

ali s samostojno skico, ki sledi preneseni geometriji.

5. Konstruiranje pokrova Na podlagi geometrije iz Sub-Shape Binderja je pokrov izdelan na naslednji način:

skupna višina pokrova: 15 mm,

10 mm kot del, ki sega v notranjost škatlice,

5 mm kot zgornji vidni del;

debelina sten: 2 mm,

zaobljen zgornji rob: R10 mm.

Zaključeno telo pokrova se parametrično prilagodi spremembam osnovnega telesa, ker Sub-Shape Binder sproti posodablja referenčno geometrijo.

#### **1.5.1.2 Tips and Tricks:**

Sub-Shape Binder je izredno vsestransko orodje v FreeCAD-u, ki omogoča prenos geometrije iz enega modela na drugega. Omogoča, da vsak binder nosi svojo referenčno geometrijo (robovi, ploskve ali skice), kar omogoča ustvarjanje več oblik iz enega glavnega modela z ohranjeno parametrično povezanostjo. Tak pristop olajša prilagajanje in vzdrževanje skladnosti geometrije pri spremembah osnovnega telesa, kar je posebej uporabno pri razširjenih ali variabilnih sestavnih elementov. Zato je primerno omeniti še nekaj praktičnih primerov uporabe.

#### **Uporaba robov namesto celotne ploskve:**

Namesto popolne ploskve je v nekaterih primerih smiselno označiti le robeve ali izbrane robne geometrije (npr. robovi, skice ali posamezne ploskve) in jih uporabiti kot referenco pri drugih telesih. Na primer, pri načrtovanju dveh sestavnih delov, ki ju povežemo z vijakom, pogosto načrtujemo dve različni luknji: skozi prvo telo načrtujemo odprtino z določeno zračnostjo okoli vijaka, medtem ko je na drugem telesu luknja nekoliko ožja, kar zagotavlja zadosten oprijem in togost spoja.

### **Spreminjanje referenčnih sestavnih elementov Sub-Shape Binderja:**

V kolikor smo pri kreiranju Sub-Shape Binderja naredili napako in vanj pozabili vključiti nekatere druge referenčne elemente, jih lahko dodamo tako da:

1. na izbrani funkciji telesa (npr.: Pad003) označimo želene robove ali ploskve (npr.: Pad003.Edge002, Pad003.Edge003...), ki jih želimo dodati v Sub-Shape Binder,
2. na to v oknu z zgodovino operacij (Model), primemo dotično operacijo Pad003 in jo prenesemo v Sub-Shape Binder.

### **Ponovno definiraje sestavnih geometrijskih elementov Sub-Shape Binderja:**

Če želimo sestavne elemente Sub-Shape Binderja ponovno definirati, to storimo tako, da:

1. na izbrani funkciji telesa (npr.: Pad003) označimo želene robove ali ploskve (npr.: Pad003.Edge002, Pad003.Edge003...), ki bodo na novo definirali Sub-Shape Binder,
2. na to v oknu z zgodovino operacij (Model), primemo dotično operacijo Pad003 in jo prenesemo v Sub-Shape Binder **in preden operacijo spustimo moramo držati še tipko CONTROL.**

### **Uporaba Sub-Shape Binderja z Master Sketch:**

Sub-Shape Binder omogoča, da iz Master Sketch, torej iz ene glavne skice, načrtujemo več teles ali sestavnih del ter jih vzdržujemo s pomočjo ločenih referenčnih elementov, kot so robovi ali ploskve, ki se dodelijo posameznim binderjem. Tako lahko vsak binder nosi drugačen sklop referenc (npr. različne robove ali skice), kar omogoča, da iz ene glavne skice ustvarimo več različnih oblik ali delov. Ko spremenimo primarno skico, se spremembe samodejno posodobijo v različnih binderjih, s čimer se vzdržuje parametrična povezanost med deli in se olajšajo iteracije pri zasnovi sestavnih delov.

## **1.5.2 Osnovni pojmi sestavljanja**

- **Komponenta:** posamezni del (kos), ki ga sestavimo v večjo celoto.
- **Sestav (Assembly):** združba več komponent, ki so med seboj povezane s funkcionalnimi relacijami (prileganje, poravnava).
- **Povezave (Constraints):** določajo prostorski odnos med posameznimi komponentami (npr. poravnava osi, stik ploskev).

## **1.5.3 Pristopi k sestavljanju**

- **Znotraj enega dokumenta** (več Body elementov): preprosto modeliranje brez uporabe specializiranega okolja.
- **Z ločenimi dokumenti in Assembly Workbenches:** bolj napredno sestavljanje s komponentami, uvoženimi iz različnih datotek.

#### 1.5.4 Assembly Workbenches

V FreeCAD-u obstaja več dodatkov za sestavljanje:

- **A2+** – enostaven in zelo razširjen dodatek za sestavljanje modelov.
- **Assembly 4** – naprednejši modul s parametrično vezavo in referencami.

#### 1.5.5 Primer uporabe povezav

- Poravnava dveh osi,
- Stik med dvema ploskvama,
- Fiksacija ene komponente in usklajevanje ostalih.

#### 1.5.6 Priporočila za delo

- Komponente naj bodo modelirane posamezno in shranjene kot ločene datoteke,
- Uporabljam skupne referenčne točke za lažje poravnavanje,
- Pred sestavljanjem preveri, da so posamezne komponente popolnoma definirane.

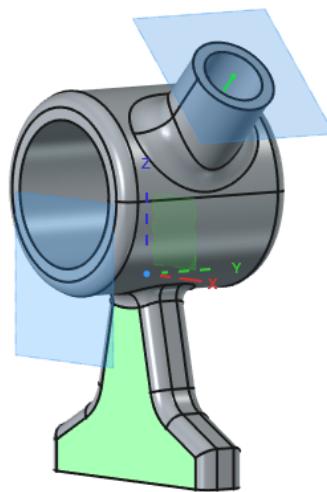
**Pravilno:** uporaba vezav (constraints) za sestavljanje, orientacija na referenčne točke.

**Nepравилно:** ročno premikanje komponent brez povezav, manjkajoče relacije med deli, slaba organizacija datotek.

### 1.6 Referenčne ravnine, premice in točke

Pri kompleksnejših modelih osnovne ravnine XY, YZ in XZ pogosto ne zadostujejo. V takih primerih uporabimo pomožne ravnine (Datum Planes), premice in točke, ki jih lahko postavimo poljubno glede na geometrijo modela ali v soodvisnosti z drugimi geometrijskimi elementi modela. Delo v prostoru vključuje tudi uporabo lokalnih koordinatnih sistemov in orientacijo skic v različnih smereh.

Na sl. 1.18 predstavljamo primer, kjer smo referenčni ravnini (modro obarvani) postavili v prostor relativno glede na izbrane geometrijske elemente. Prvo referenčno ravnino na levi strani modela smo postavili 15 mm pred izbrano zeleno obarvano ploskev modela. To nam je omogočilo, da smo na tej ravnini ustvarili skico za načrtovanje večje cevi. Drugo referenčno ravnino pa smo postavili 20 mm stran od roba cevi in pod kotom 45°. S tem smo pridobili referenčno ravnino, na kateri smo zopet lahko ustvarili skico za načrtovanje druge cevi. V obeh primerih smo na ta način zagotovili referenčni ravnini na katerih smo ustvarili skici, ki prej niso imele referenčnih elementov za pritrjevanje skic. Prav ta problem naslavlja ustvarjanje pomožnih referenčnih ravnin, premic in točk.



**Slika 1.18:** Dva primera uporabe referenčne ravnine (modro), ki smo jih postavili relativno na izbrane geometrijske elemente (zeleno)

Ko v Freecad-u izberemo orodje za kreiranje referenčne geometrije, se v oknu z **Nalogami** (Tasks) prikažejo tri pomembna področja:

1. Določitev izbranih elementov (Attachment):

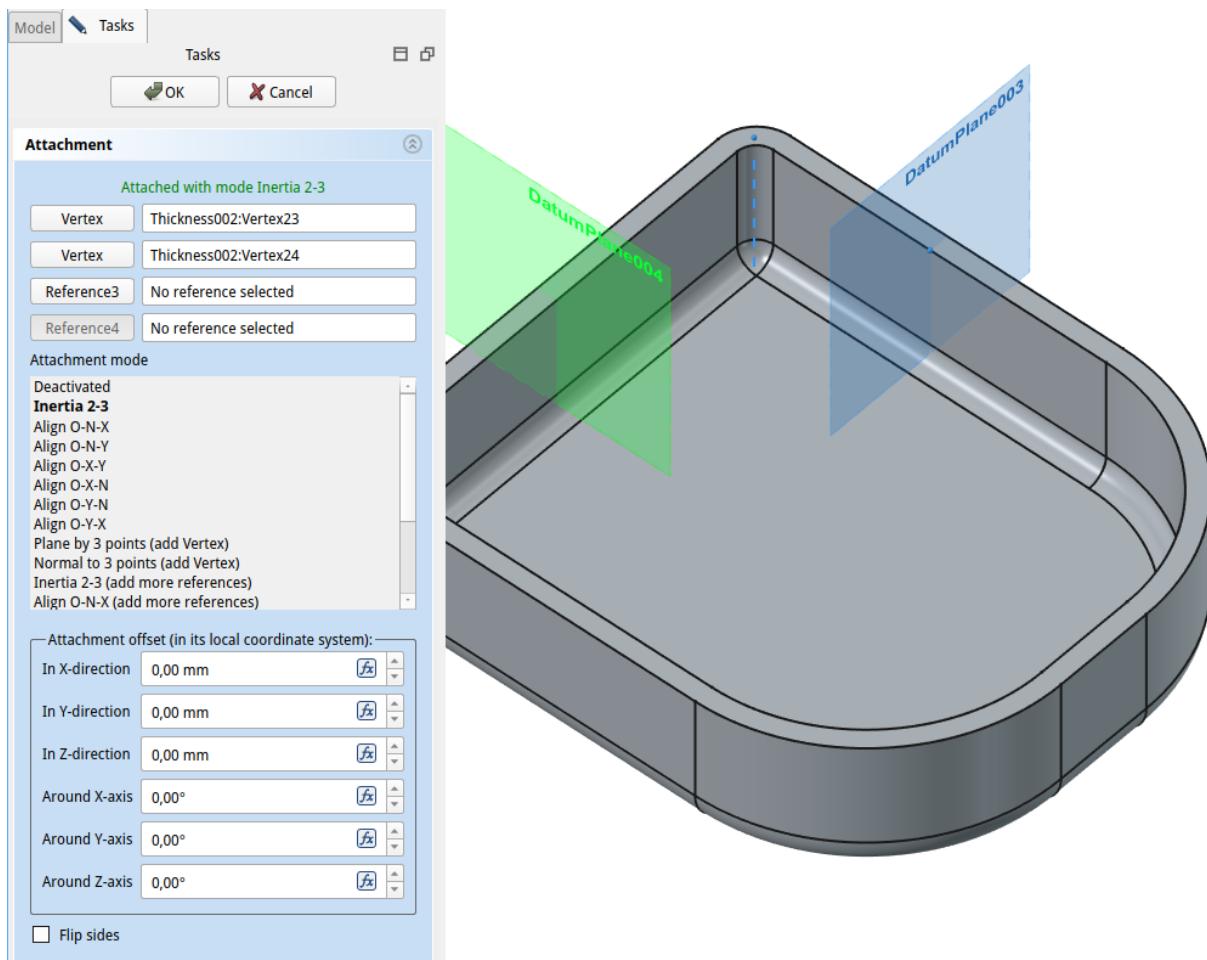
- izberemo geometrijske elemente s katerimi bo določena referenčna geometrija.

2. Definicijske omejitve izbranih elementov izbranih (Attachment mode):

- določimo soodvisnosti izbranih elementov (normala, tangentnost, središče, ...).

3. Dodatni premiki in rotacije (Attachment offset):

- dodatni premik referenčne geometrije v smereh x, y in z.

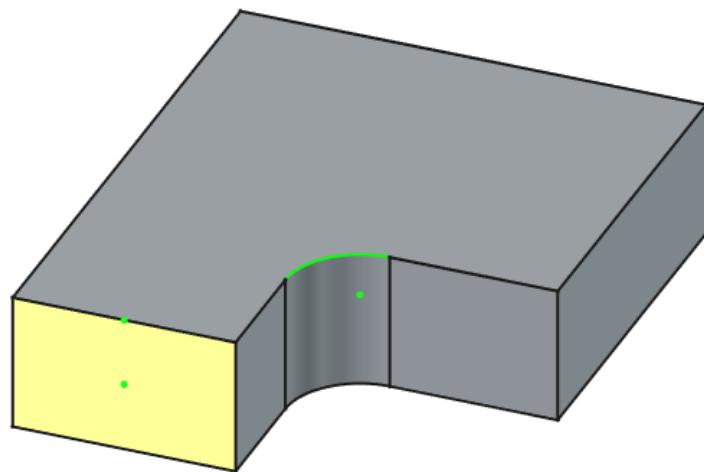


**Slika 1.19:** Primer določitve referenčnih točk in njihove soodvisnosti za določitev nove referenčne ravnine DatumPlane004.

V teh primerih ne bomo posebej izpostavljeni, da vse te elemente lahko premikamo in rotiramo okoli njihovega koordinatnega izhodišča. Ta funkcionalnost je na voljo tudi skici in se v tem skica ne razlikuje od referenčne ravnine. Posebnost referenčnih elementov je prav v tem, da jih lahko definiramo glede na ostale geometrijske elemente telesa.

### 1.6.1 Referenčna točka

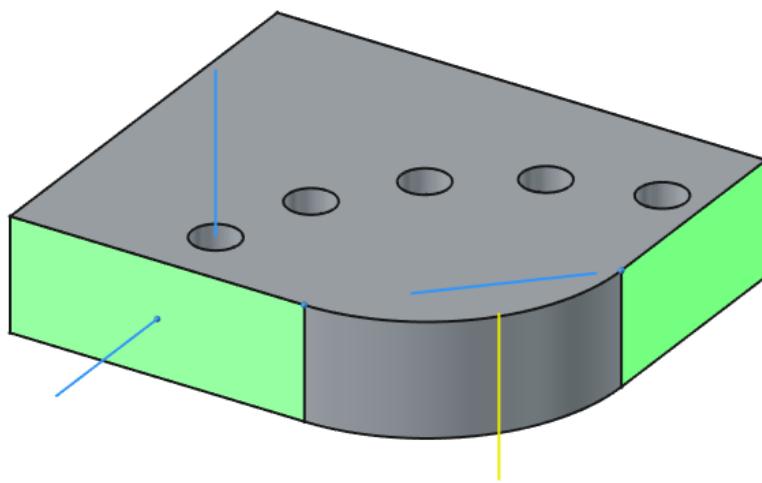
Referenčno točko največkrat uporabimo takrat, ko si želimo pridobiti neko središče. V takih primerih izberemo **Attachment mode = center of mass**. Na sl. 1.20 je prikazan primer, kjer smo referenčne točke določili v središču ploskve, daljice in loka.



**Slika 1.20:** Primer uporabe referenčne točke za določitev središča ploskve, daljice ali loka.

### 1.6.2 Referenčna premica

Referenčna premica (Datum Line) ima pomembno vlogo, še posebej pri naprednejšem modeliranju, saj omogoča natančno kontrolo orientacije, simetrije, osi rotacije, zlasti tam, kjer ne moremo uporabiti izhodiščnih koordinatnih osi ali obstoječih robov določenega modela. Pogosto jo kombiniramo z orodji kot so: Revolve, Groove in Polar pattern. Tak primer je prikazan na sl. 1.21, kjer so izvrtine razporejene okoli osi, ki je presečišče označenih ploskev.



**Slika 1.21:** Primer različno definiranih referenčnih premic.

Uporabne možnosti določitve referenčne daljico so:

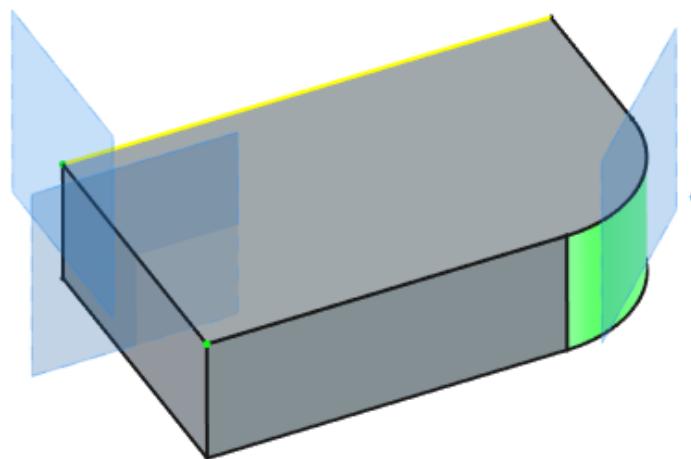
- normala ploskve skozi točko,
- presečišče dveh ploskev,
- premica skozi dve točki,
- os krožnice ali loka,

### 1.6.3 Referenčna ravnina

Od vseh referenčnih geometrijskih elementov se najbolj pogosto uporablja prav referenčna ravnina. Z njo si največkrat pomagamo pri določitvi mesta za skico. Pogosto naletimo na situacijo, ko skice ne moremo pripeti na nek obstoječ geometrijski element. Poleg te situacije, je tudi pogosta uporaba referenčne ravnine v primerih, ko ne moremo zrcaliti preko koordinatnih ravnin.

Ker ravnino določa več geometrijskih omejitev kot na primer točko ali premico, imamo zato v [Attachment mode](#) polju zelo veliko možnosti. A najpogosteje uporabljamo tiste možnosti, ki jih pri pritrjevanju skice ni možno izbrati:

- ravnina tangentna na izbrano ploskev in normalo proti izbrani točki,
- ravnina z normalo izbrane premice ali roba in izbrano točko,
- ravnina, ki gre skozi "težišče" (središče vztrajnostnih momentov) izbranega elementa (ali več njih) in
- ravnina, ki jo določajo tri točke.

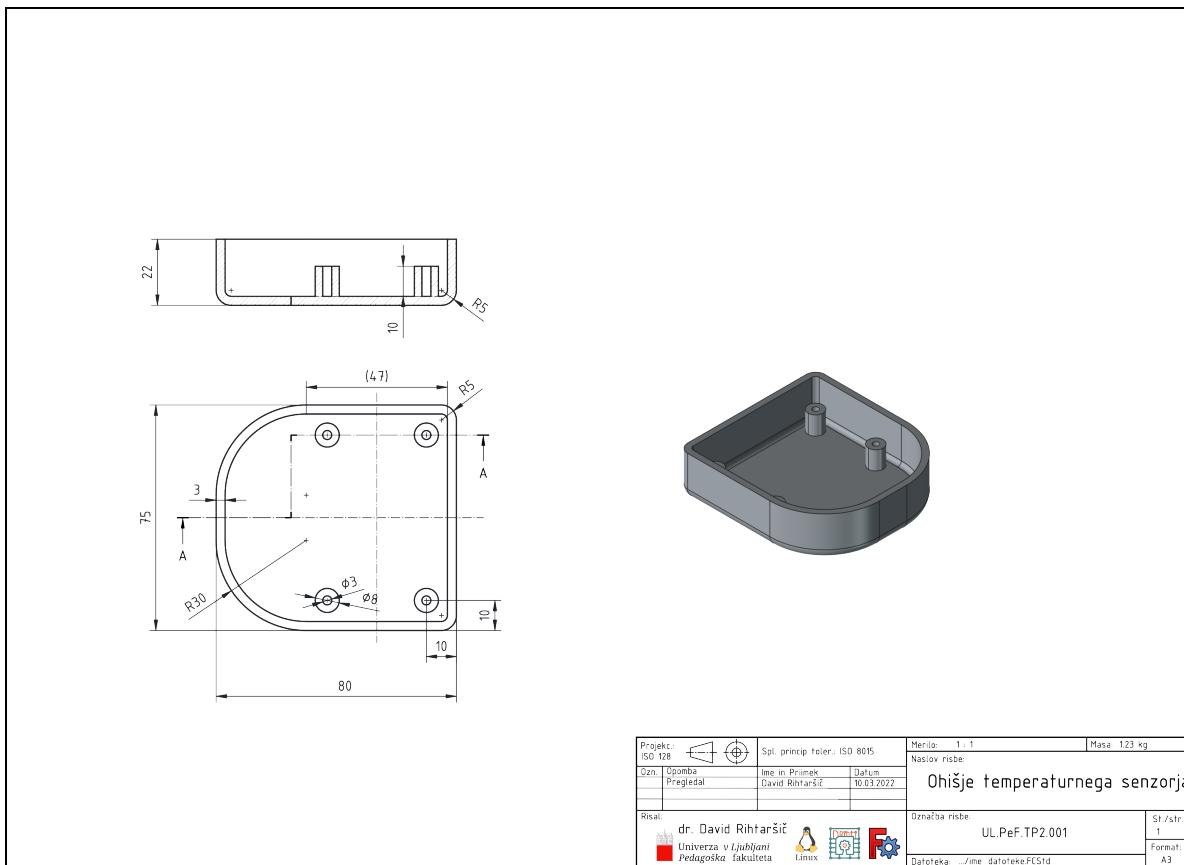


**Slika 1.22:** Primeri različnih referenčnih ravnin določenih z različnimi geometrijskimi elementi in odvisnostmi.

#### **1.6.3.1 Primer: Zrcaljenje lokalne geometrije telesa**

je priličen primer uporabe referenčne ravnine. Na primer če imamo nek izdelek, na katerem se pojavi neka simetrija funkcionalnih elementov le lokalno, takrat si lahko pomagamo z referenčno ravnino.

Naslednja risba **ohišja temperaturnega senzorja** predstavlja tak primer (sl. 1.23). Ohišje vsebuje štiri pritrdilna mesta za tiskano vezje temperaturnega senzorja, ki so simetrično postavljene glede na notranje polje (pravokotnik).

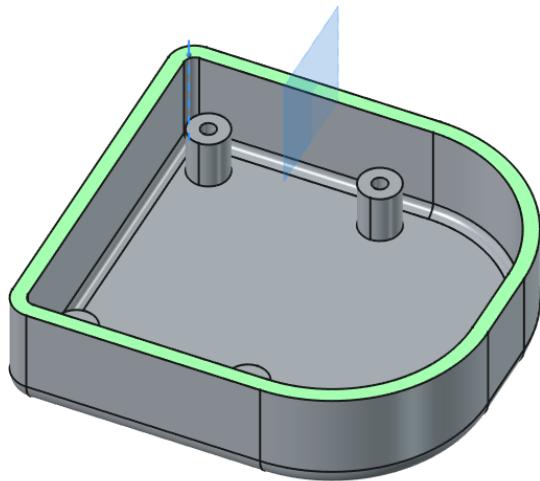


**Slika 1.23:** Risba ohišja temperaturnega senzorja.

V tem primeru si lahko pomagamo z referenčno ravnilom, ki jo določimo glede na sredino notranje daljice. Ker je notranji rob zaokrožen z radijem 2 mm, moramo najprej:

- narečiti referenčno premico, ki jo dobimo s presečiščem notranjih ploskev ohišja.
  - Nato definiramo še referenčno točko, kot presečišče referenčne premice in zgornje ploskve ohišja, ter

- definiramo referenčno ravnino na sredini (Inertia) med končno točko robu in definirano referenčno točko.



**Slika 1.24:** Primer derinicije premice s presečiščem ploskev, premice s ploskvijo in središčne ravnine.

## 2 Tehniška risba

Tehniška risba je temeljni nosilec tehničnih informacij v inženirskih in proizvodnih procesih. Gre za standardiziran grafični zapis, ki omogoča jasno, enoznačno in nedvoumno komunikacijo med konstrukterji, tehnologji, proizvajalci, kontrolorji kakovosti in drugimi strokovnjaki. Ker tehniška risba predstavlja skupni jezik tehničnih poklicev, mora biti pripravljena v skladu z mednarodnimi standardi, ki zagotavljajo primerljivost, berljivost in ponovljivost tehničnih zapisov.

Tehniška risba je del širše **tehniške dokumentacije**, ki vključuje risbe, kosovnice, specifikacije, tolerance, postopke, navodila in druge zapise, pomembne za razvoj in izdelavo izdelka. Organizirana tehniška dokumentacija omogoča sledljivost, revizijsko vodenje in učinkovito sodelovanje med vsemi oddelki.

---

Tehniška dokumentacija ima več ključnih funkcij, ki so temelj za uspešno izvedbo tehničnih projektov. V spodnjitbl. 2.1 so navedene najpomembnejše.

**Table 2.1:** Ključne funkcije tehniške dokumentacije.

| Funkcija                 | Opis   |
|--------------------------|--|
| <b>Komunikacija</b>      | Omogoča izmenjavo informacij med strokovnjaki različnih področij.          |
| <b>Standardizacija</b>   | Uporaba enotnih pravil (ISO, SIST), ki omogočajo primerljivost dokumentov. |
| <b>Sledljivost</b>       | Zagotavlja nadzor nad spremembami, različicami in revizijami dokumentov.   |
| <b>Pravna skladnost</b>  | Dokumentacija mora ustrezati tehničnim in zakonskim standardom.            |
| <b>Ohranjanje znanja</b> | Arhiviranje tehničnih rešitev za kasnejšo uporabo ali nadgradnjo.          |

Ker mora biti dokumentacija razumljiva širšemu krogu uporabnikov, jo urejajo standardi, kot sta:

- **ISO 128** – pravila tehničnega risanja,
  - **ISO 7200** – podatkovna polja v dokumentih.
-

## 2.1 Struktura tehniške dokumentacije

Tehniška dokumentacija mora biti organizirana pregledno in hierarhično, kar omogoča logično razumevanje izdelka in njegovih podsklopov. Osnovno strukturo prikazuje spodnja tabela.

**Table 2.2:** Hierarhična ureditev tehniške dokumentacije.

| Raven                          | Opis   |
|--------------------------------|--|
| <b>1. Izdelek</b>              | Celotna naprava ali objekt, ki ga projektiramo.            |
| <b>2. Skupina (sklop)</b>      | Funkcionalna enota izdelka (npr. ogrodje, pogonski sklop). |
| <b>3. Podsklop (podsestav)</b> | Manjša funkcionalna enota znotraj skupine.                 |
| <b>4. Del</b>                  | Najmanjši nedeljivi element, opisan z delavnško risbo.     |

Takšna hierarhija je predstavljena tudi v literaturi (Prebil et al., 2011) in omogoča modularno sestavljanje dokumentacije ter pripravo kosovnic.

---

Dokumentacijski sistem mora določati tako **vsebino** kot **obliko** dokumentov. Poleg grafičnih elementov mora opredeljevati tudi:

- način številčenja risb,
- strukturo in organizacijo kosovnic,
- povezovanje med dokumenti,
- postopke revizij in sprememb.

Konstrukcijska dokumentacija mora biti pripravljena tako, da je uporabna znotraj podjetja, pa tudi pri sodelovanju z zunanjimi partnerji. Tehniška dokumentacija je splošna, medtem ko je proizvodna (tehnološka) dokumentacija prilagojena strojem, orodjem in organizaciji posameznega podjetja.

Številčenje risb omogoča sledljivost in enoznačno identifikacijo dokumentov. V praksi se uporablajo trije glavni pristopi:

**Table 2.3:** Različni načini številčenja dokumentov.

| Vrsta številčenja              | Opis  |
|--------------------------------|---|
| <b>Tekoče številke</b>         | Uporablja se v manjših sistemih z malo dokumenti.           |
| <b>Strukturno številčenje</b>  | Številka risbe vsebuje oznako izdelka, skupine ali formata. |
| <b>Hierarhično številčenje</b> | Odraža hierarhijo izdelka, npr. 2226–30509.2.               |

Primer interpretacije hierarhičnega zapisa:

- 2226 – oznaka vrste izdelka,
- 30509 – oznaka tipične skupine,
- .2 – zaporedna številka dela.

---

## 2.2 Formati tehniških risb

Standardizacija formatov je ključna za pravilno izmenjavo dokumentacije. Po **SIST EN ISO 5457** so določene velikosti listov, risalna površina, robovi in razširjeni formati.

Serija formatov A je najbolj razširjena v tehnični dokumentaciji in temelji na izhodiščnem formatu **A0** s površino  $1 \text{ m}^2$ , pri katerem je razmerje stranic določeno kot  $1 : \sqrt{2}$ . To razmerje zagotavlja, da se pri prepolovitvi ali podvojitvi formata ohrani isti proporcionalni odnos stranic. Na ta način lahko risbe enostavno pomanjšujemo ( $\text{A}0 \rightarrow \text{A}1 \rightarrow \text{A}2 \rightarrow \text{A}3 \rightarrow \text{A}4$ ) ali povečujemo brez deformacij.

Spodnja tabela prikazuje predpisane mere formatov in pripadajoče risalne površine po standardu **SIST EN ISO 5457**.

**Table 2.4:** Formati v tehniški dokumentaciji in njihove površine risbe.

| Format | Obrezan format (mm) | Površina risanja (mm) |
|--------|---------------------|-----------------------|
| A0     | $841 \times 1189$   | $831 \times 1179$     |
| A1     | $594 \times 841$    | $584 \times 831$      |
| A2     | $420 \times 594$    | $410 \times 584$      |

| Format | Obrezan format (mm) | Površina risanja (mm) |
|--------|---------------------|-----------------------|
| A3     | 297 × 420           | 287 × 410             |
| A4     | 210 × 297           | 200 × 287             |

**Risalna površina**, prikazana v tretjem stolpcu, predstavlja območje, ki ga lahko dejansko uporabimo za tehniško risanje. Razlika med obrezanim formatom in risalno površino predstavlja robe, ki so namenjeni:

- umestitvi glave risbe in drugih identifikacijskih polj,
- estetski in funkcionalni razmejitvi prostora risanja,
- zagotavljanju, da se risba ne poškoduje pri tiskanju, skeniraju ali obrezovanju.

V preteklosti so se tehniške risbe pogosto **fizično shranjevale v mapah s perforacijo**, kar je zahtevalo **večji levi odmak – običajno 20 mm**. Tak razširjeni rob je omogočal arhiviranje risb brez poseganja v risalno površino.

Ker pa se je način shranjevanja dokumentacije sčasoma bistveno spremenil – od fizičnih map k **digitalnim arhivom, elektronskim mapam in podatkovnim sistemom PLM** – povečani levi rob **ni več potreben**. Zato se danes v tehnični praksi uporablajo **enakomerni robovi**, najpogosteje **5 mm na vseh straneh**, kar omogoča boljšo izrabo prostora ter enotno in pregledno oblikovanje risb.

Podaljšani formati se uporabljajo v primerih, ko dimenzijske izdelka ali njegovega dela ne omogočajo učinkovite umestitve na standardni format. Najpogosteje se uporablja pri risanju **dolgih linearnih elementov**, kot so cevi, nosilni profili, tirnice, verige, kabli ali drugi konstrukcijski elementi, kjer bi razbitje risbe na več listov otežilo razumevanje celote.

Uporaba podaljšanih formatov je priporočljiva, kadar: - bi zaradi majhne višine formata prišlo do pretirane pomanjšave merila, - je ključna **kontinuiteta prikaza** (npr. potek cevi ali profila po celotni dolžini), - želimo zagotoviti **preglednost in berljivost** risbe brez razčlenjevanja na več strani, - standardni formati ne omogočajo smiselne postavitev pogledov ali kotiranja.

**Table 2.5:** Podaljšani formati risb.

| Oznaka | Dimenzijske (mm) |
|--------|------------------|
| A4 × 3 | 297 × 630        |
| A3 × 4 | 420 × 1189       |
| A0 × 3 | 1189 × 2523      |

## 2.3 Vrste tehniških risb

Tehniške risbe obstajajo v številnih oblikah, saj vsaka opravlja specifično funkcijo v procesu načrtovanja, izdelave, nadzora ali dokumentiranja tehničnih sistemov. Različne vrste risb omogočajo prenos informacij na različnih stopnjah razvoja izdelka – od prvotne idejne zasnove do natančne delavnške risbe ter končne montažne dokumentacije.

Vsaka vrsta risbe ima svoj namen, raven podrobnosti, stopnjo standardizacije in tipične uporabnike. Razumevanje razlik med njimi je ključno za učinkovito komunikacijo v tehničnih poklicih ter za zagotavljanje, da izdelki nastanejo skladno s pričakovanim delovanjem, kakovostjo in varnostnimi zahtevami.

V nadaljevanju predstavljamo pregled najpogosteje uporabljenih vrst risb v skladu s standardom **SIST ISO 10209 (DIN 199-1)** in dodatnimi klasifikacijami iz literature (Prebil & Zupan). Preglednica združuje splošno sprejete vrste risb ter njihove definicije, kot jih najdemo na str. 17 vira Tehniška dokumentacija (Prebil et al.).

Vtbl. 2.6 so povzete ključne vrste risb ter njihov namen. Terminologija in opisi sledijo mednarodnim standardom ter domači strokovni literaturi.

**Table 2.6:** Vrste risb.

| Vrsta risbe                   | Opis  |
|-------------------------------|---|
| <b>Razporeditvena risba</b>   | Prikazuje prostorsko postavitev in lego posameznih delov v sklopu ali napravi.  |
| <b>Diagram</b>                | Predstavlja medsebojne številčne ali funkcисke odvisnosti v koordinatnem ali sistemskem prikazu.                      |
| <b>Risba posameznega dela</b> | Tehnična risba, narisana za del, ki ga ni mogoče nadalje razstavljati.  |
| <b>Risba osnutka</b>          | Prikazuje razvojno fazo izdelka, ko še ni sprejeta končna konstrukcijska odločitev.                                   |
| <b>Dodatna risba</b>          | Samostojna risba, katere vsebina ni vezana na drugo tehnično dokumentacijo.   |
| <b>Delavnška risba</b>        | Popoln tehnični dokument, potreben za izdelavo posameznega dela. Vključuje mere, tolerance, material, hrapavosti itd. |
| <b>Fotografija</b>            | Uporablja se kot vizualni dodatek za prikaz videza, površin ali sestavov.   |
| <b>Prospekt</b>               | Predstavlja idejne rešitve ali komercialne predstavitve izdelkov.   |

| Vrsta risbe                                    | Opis  |
|--|---|
| <b>Skupinska risba<br/>(podsestav, sestav)</b> | Prikazuje prostorsko razporeditev delov in njihovo medsebojno povezavo.                                 |
| <b>Glavna risba (sestavna risba)</b>           | Predstavlja celoten izdelek v njegovi končni obliki, vključuje standardizirano kosovnico.               |
| <b>Konstrukcijska risba</b>                    | Prikazuje konstrukcijsko rešitev izdelka ali naprave v različni fazi razvoja.                           |
| <b>Namenska risba</b>                          | Prikazuje risbo za določen namen uporabe (npr. servisne risbe).   |
| <b>Patentna risba</b>                          | Služi uradnim postopkom prijave patenta in mora slediti formalnim pravilom patentnih organizacij.       |
| <b>Eksperimentalna risba</b>                   | Uporablja se pri raziskovalnih in eksperimentalnih postopkih; prikazuje postavitev sistema ali meritev. |
| <b>Zbirna risba</b>                            | Prikazuje prostorsko ureditev delov, ki niso sestavljeni.   |
| <b>Shema</b>                                   | Abstraktna ali simbolična predstavitev sistema (električna, hidravlična, pnevmatska shema).             |
| <b>Skica</b>                                   | Ročno izdelana tehnična risba, ki pogosto ni v merilu in se uporablja v začetnih fazah načrtovanja.     |
| <b>Originalna podloga</b>                      | Podlaga, namenjena razmnoževanju risb.  |
| <b>Standardna risba</b>                        | Risba, ki kljub spremembam ohranja določene mere zaradi standardizirane uporabe.                        |
| <b>Tehnična skica</b>                          | Pojasnjuje tehnični namen in način delovanja.   |
| <b>Tehnična podloga</b>                        | Podlaga, katere informacije služijo tehničnemu namenu.  |
| <b>Tehnična risba</b>                          | Splošni pojem za risbo, ki pojasnjuje tehnični namen in način delovanja izdelka ali sklopa.             |
| <b>Risba dela</b>                              | Prikazuje del brez prostorske postavitve, osredotočena na geometrijo.                                   |
| <b>Podloga</b>                                 | Nosilec informacij, ki omogoča arhiviranje, branje in označevanje risb.                                 |
| <b>Tiskani obrazec – podloga</b>               | Oblika predpripravljene risarske podlage.   |
| <b>Risarska podloga</b>                        | Tehnični papir, na katerem je narisana risba.   |
| <b>Montažna risba</b>                          | Risba, ki prikazuje postopek sestavljanja, vrstni red montaže ter lego delov.                           |

(vir: Prebil & Zupan, *Tehniška dokumentacija*)

### 2.3.1 Skica

Skica je prva in najosnovnejša oblika tehniške risbe. Gre za hitro, ročno izdelano predstavitev oblike, razmerij in osnovnih dimenzijs dela ali sklopa. Skiciranje predstavlja začetno fazo razvoja tehnične dokumentacije, saj omogoča zgodnje razumevanje oblike izdelka in pripravo na natančnejše tehniške risbe.

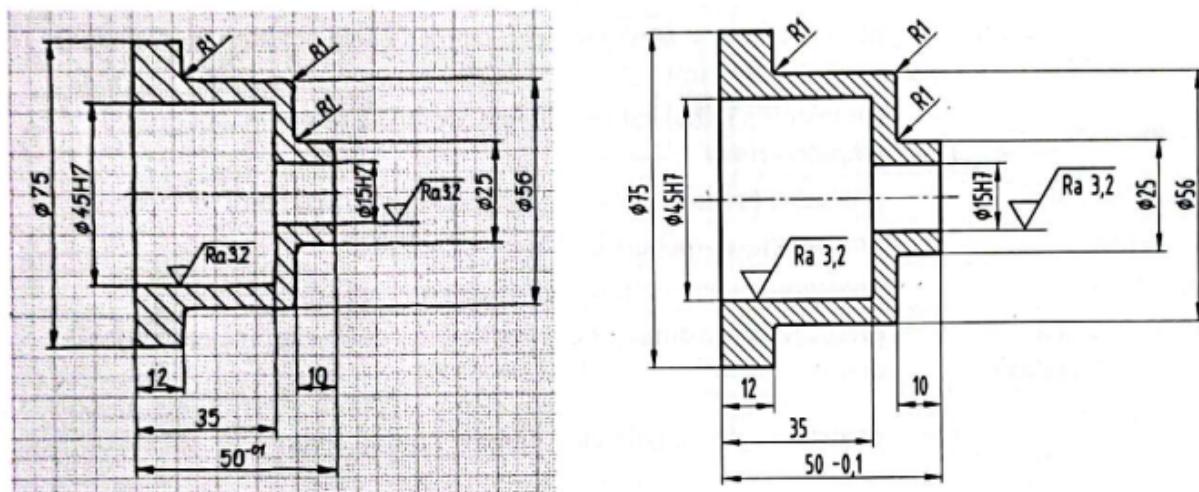
Skica določa potrebne poglede in prereze za nadaljnjo izdelavo natančnega modela. Vedno jo rišemo prostoročno, brez ravnih, šestil in drugih pripomočkov. Pogosto se uporablja mrežni papir, ki pomaga pri določanju simetričnih elementov in razmerij. Na skici so prikazane tudi ključne mere, ki jih kasneje prenesemo v delavnško risbo.

Skica se uporablja:

- v idejni fazi razvoja,
- pri pogovorih med konstrukterjem in tehnologom,
- kot pomoč pri razumevanju poteka delovnega procesa,
- pri določanju osnovnih oblik in proporcev.

Značilnosti skice:

- ni nujno izdelana v merilu,
- vsebuje osnovne mere in oblike,
- pogosto prikazuje srednice, pomožne črte in preproste geometrijske konstrukcije,
- omogoča hitro popravljanje in dopolnjevanje.

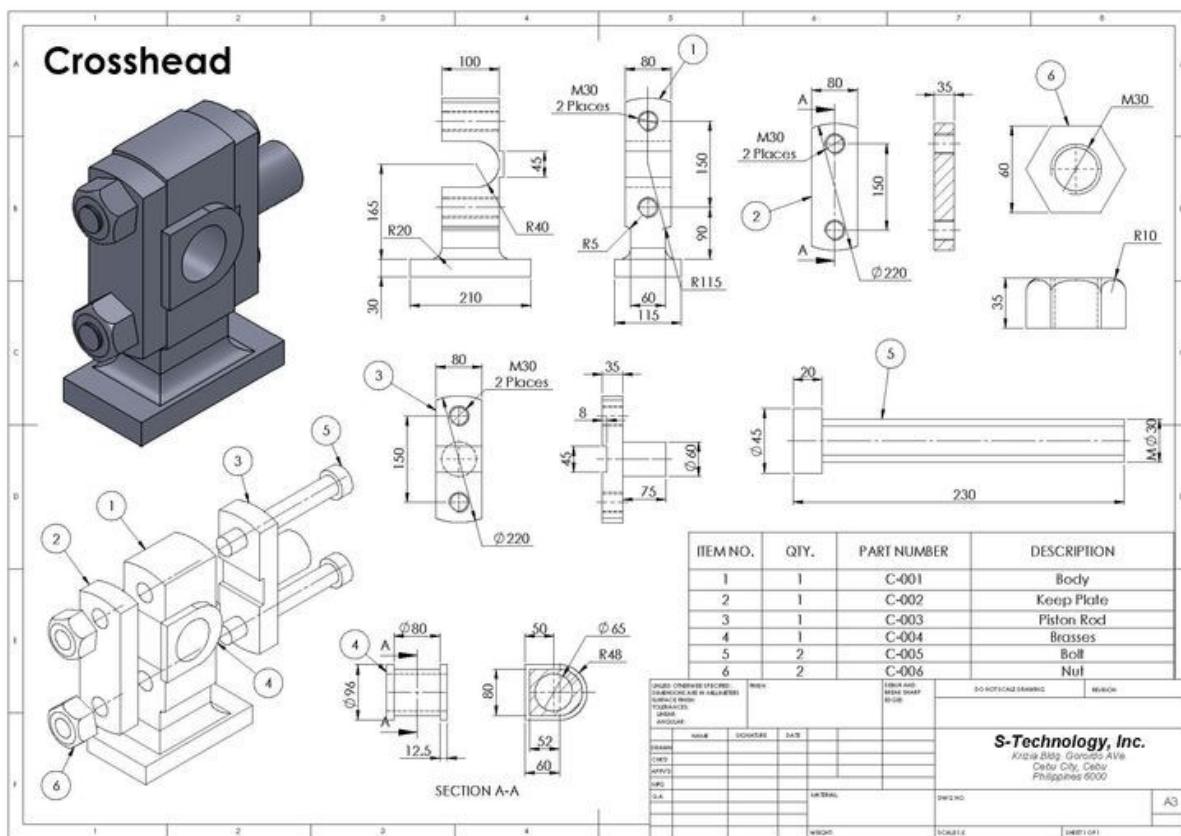


**Slika 2.1:** Skica (levo) in risba (desno) prirobe (vir: Prebil & Zupan, Tehniška dokumentacija, str. 18).

Na sl. 2.1 so prikazani tipični primeri prehoda od skice prirobnice do delavnische risbe ter konstrukcija osnovnih geometrijskih oblik.

### 2.3.2 Sestavna risba

Sestavna risba na sl. 2.2 (Bible 2020) prikazuje, kako so posamezni deli sestavljeni v mehanski sklop. Sestavne risbe prikazujejo neko celoto, lahko je tudi podsestav ali pa celotno napravo. Namenjena je razumevanju povezav med deli, medsebojnega delovanja in pravilnega vrstnega reda sestavljanja.



**Slika 2.2:** Primer sestavne risbe.

Sestavna risba pogosto vsebuje:

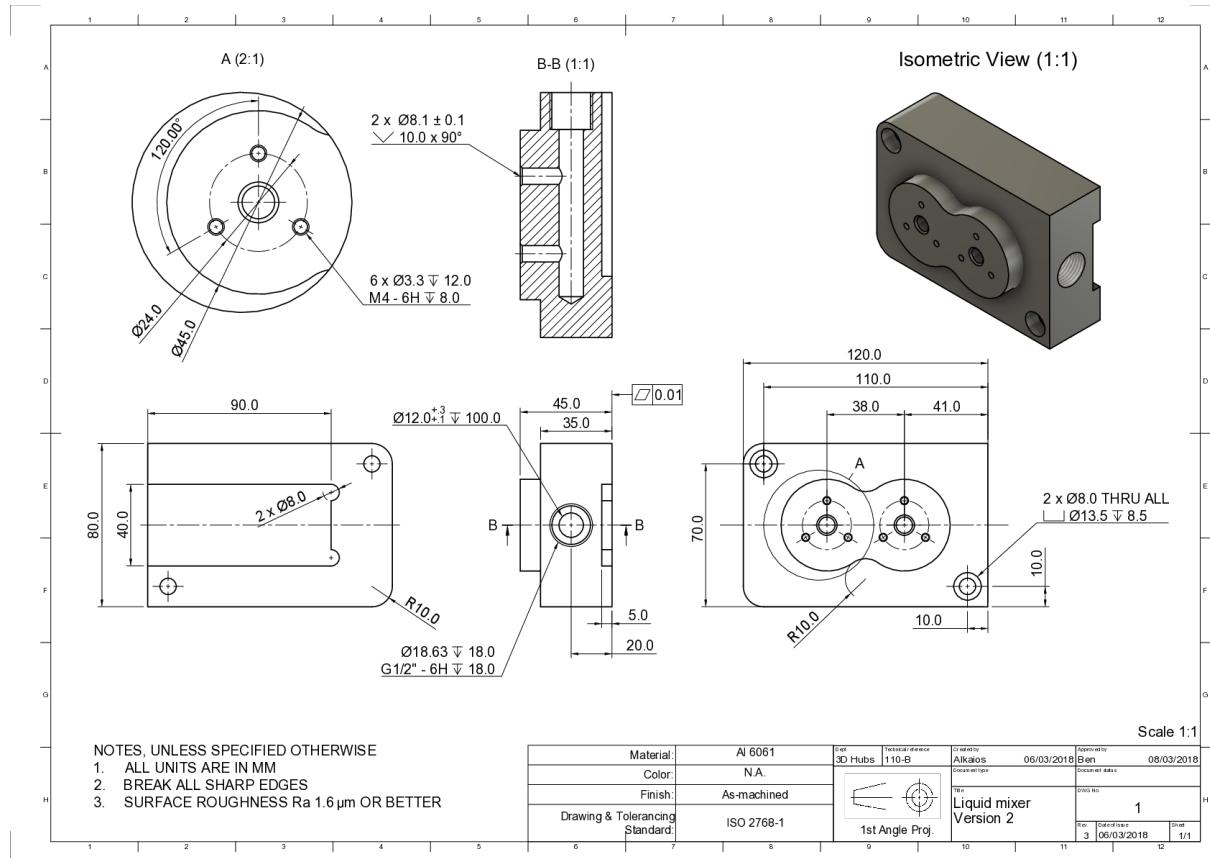
- mere, ki določajo gabarite sklopa,
- pozicijske številke delov,
- kosovnico (seznam delov),
- ključne mere za prileganje (ujem),

- razrede toleranc med sestavnimi deli,
- posamezne poglede in prereze,
- smeri in načine sestavljanja.

Sestavna risba je izhodišče za montažne risbe, delavnške risbe posameznih delov in končno tehnično dokumentacijo.

### 2.3.3 Delavnška risba

Delavnška risba (primer na sl. 2.3 (2024)) je ena najpomembnejših tehničnih risb, saj predstavlja popoln nabor informacij, potrebnih za izdelavo posameznega dela. Gre za risbo, izdelano v standardnem merilu, s pripadajočo glavo risbe, kosovnicami ter tabelami za tolerance.



**Slika 2.3:** Primer delavnške risbe.

Delavnška risba vključuje:

- natančne mere (dimenzijs),

- tolerance dimenzijs in oblik,
- obdelovalne oznake (hrapavost, toplotna obdelava),
- material,
- oznake leg in orientacij,
- opombe, pomembne za proizvodnjo.

Standardni deli (kot so vijaki, matici, podložke, ležaji ...) ne zahtevajo delavnške risbe; zadostuje sklic na standard. Delavnška risba je torej temeljni dokument v proizvodnji, iz katerega delavec, tehnolog ali kontrolor kakovosti neposredno razume, kako izvesti izdelek.

#### 2.3.4 Montažna risba

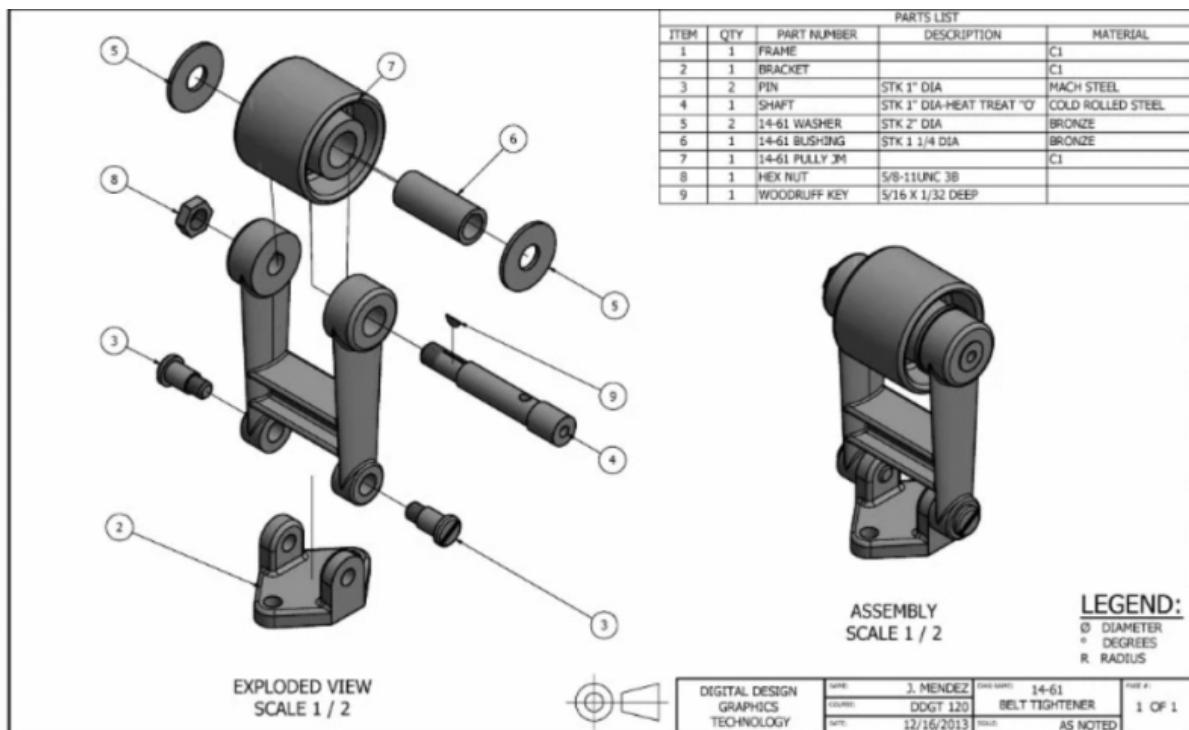
Montažna risba sl. 2.4 (Anderson 2024) prikazuje **postopek sestavljanja** izdelka, zaporedje vključevanja posameznih delov ter končno lego sestava. Osredotoča se na **montažni proces**, zato se razlikuje od sestavne risbe, ki prikazuje predvsem strukturo in medsebojne odnose delov.

Montažna risba vključuje:

- prikaz sestavljanja po korakih (fazno),
- zaporedje in smeri vstavljanja delov,
- potrebna orodja ali posebna navodila,
- ključne montažne mere in ujemne površine,
- pogosto tudi eksplozijski prikaz sestava.

Montažna risba je pomembna za:

- monterje in servisne tehnike,
- sestavo izdelkov v proizvodnji,
- pregled pravilnega vrstnega reda postopkov,
- pripravo učnih gradiv in servisnih dokumentov.

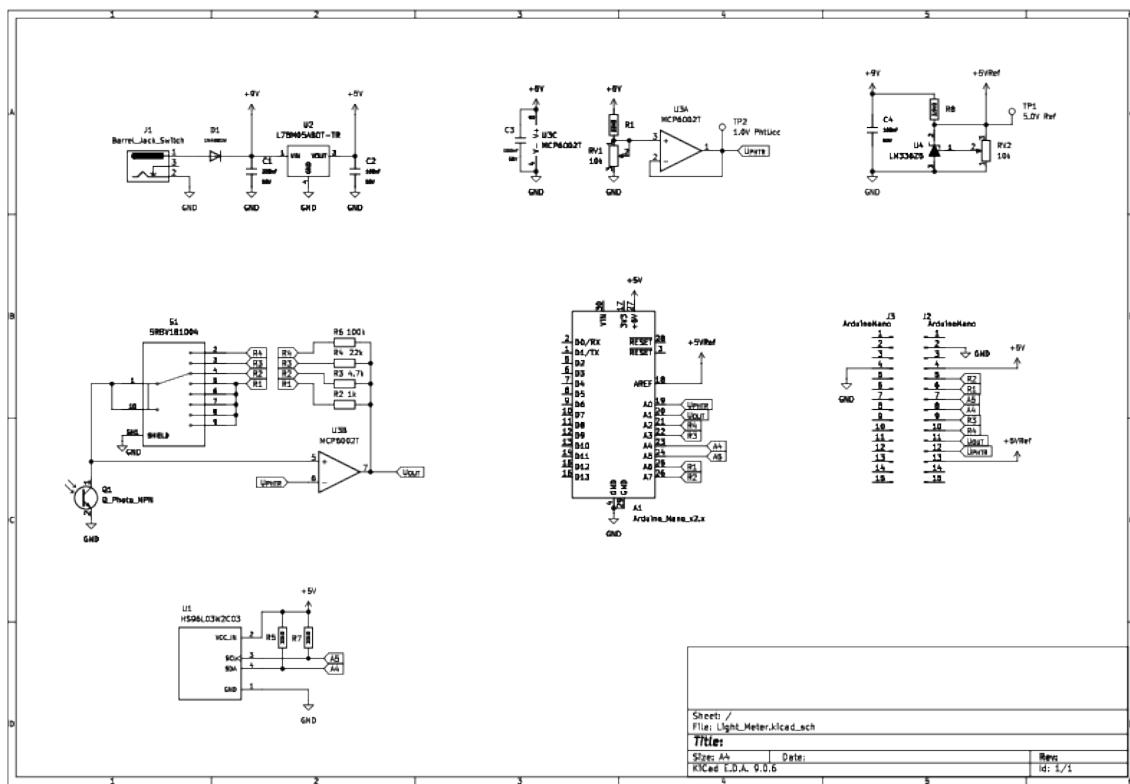


**Slika 2.4:** Montažna risba.

V praksi montažna risba pogosto dopoljuje sestavno risbo, saj poda informacije, ki niso razvidne iz klasičnega projektantskega prikaza.

### 2.3.5 Shematska risba

Shematska risba je **abstrakten** ali **simboličen** prikaz sistema (primer na sl. 2.5), pri katerem prostorska razporeditev ne nujno odraža razporeditvi realnih sestavnih delov. Njen namen je prikazati logično soodvisnost sestavnih delov, ki delujejo kot celota. Namesto realne geometrije so uporabljeni dogovorjeni simboli, ki opisujejo funkcionalne povezave, tokove energij, signalne linije ali zaporedja delovanja.



**Slika 2.5:** Primer shematske risbe elektronskega vezja.

Shematske risbe so ključnega pomena povsod, kjer je za uporabnika pomembno **delovanje sistema**, ne pa njegova oblika. Zaradi tega so močno standardizirane – vsak simbol ima določen pomen, pravila branja shem pa so usklajena med panogami.

#### Ključne značilnosti shematskih risb:

- niso v merilu,
  - uporabljajo standardizirane simbole,
  - prikazujejo **delovanje**, ne **geometrije**,
  - omogočajo hitro razumevanje kompleksnih sistemov,
  - so nujne za načrtovanje, diagnostiko in izobraževanje.

V strojništvu sheme najpogosteje prikazujejo:

- **hidravlične sisteme** (ventili, črpalki, valji, rezervoarji, tlaci),
  - **pnevmaatske sisteme** (regulatorji, aktuatorji, ventili, filtri),

- **krmilne in varnostne mehanizme,**
- **energijske tokove** (pretok zraka, olja, vode itd.).

V teh shemah prostorska razporeditev elementov ni pomembna; pomembni so **tokovni diagrami, povezave, usmerjenost tokov** in **funkcionalne odvisnosti**. Sheme omogočajo hitro razumevanje delovanja stroja, identifikacijo napak in načrtovanje servisnih postopkov.

V elektroniki so shematske risbe (angl. **schematics**) temelj celotnega inženirskega procesa. Predstavljajo električne in elektronske komponente ter njihove medsebojne povezave.

Shematska risba v elektroniki vključuje:

- **simbolične predstavitve komponent** (upori, kondenzatorji, diode, tranzistorji, integrirana vezja),
- **vrednosti komponent** (upori v ohmih, kondenzatorji v faradih, tolerančni razredi),
- **logične povezave med elementi** (signali, napajalne linije, mase),
- **oznako netov** (poimenovane povezave, ki jih računalniško orodje sledi po vezju),
- **referenčne oznake** (R1, C3, U5 ...), ki se uporabljajo pri montaži in izdelavi PCB.

Elektronske sheme so osnova za:

- **načrtovanje tiskanih vezij (PCB),**
- **simulacije delovanja vezij,**
- **debugging in iskanje napak,**
- **proizvodnjo in sestavo vezij,**
- **servisne priročnike.**

Skupna značilnost vseh shem (strojnih in elektronskih) je, da prikazujejo **funkcionalno logiko**, ne pa fizične dimenzijs ali oblike. Zato se uporabljajo abstraktni standardizirani simboli:

- ISO 1219 za hidravlično in pnevmatsko tehniko,
- IEC 60617 za elektronske komponente,
- IEEE standardi za digitalne diagrame.

---

### 2.3.6 Povzetek

V tem poglavju smo predstavili najpogosteje vrste tehniških risb ter njihove namene v celotnem konstrukcijskem procesu. Razumevanje razlik med njimi je ključno za pravilno branje tehniške dokumentacije, učinkovito komunikacijo v inženirskih timih in pravilno pripravo dokumentov za proizvodnjo, montažo ali servis.

Tehniške risbe se med seboj razlikujejo glede na stopnjo natančnosti, vsebino informacij, namen uporabe in uporabnika, ki jih potrebuje. Pri tem štiri vrste izstopajo (tbl. 2.7) kot temeljne za razumevanje in delo v strojništvu ter sorodnih tehničnih področjih:

**Table 2.7:** Povzetek najpogosteje uporabljenih vrst tehniških risb.

| Vrsta risbe                    | Namen                         | Kaj prikazuje   | Značilnosti  | Tipičen uporabnik   |
|--------------------------------|-------------------------------|---|--|---|
| <b>Sestavna (glavna) risba</b> | Razumevanje zgradbe sklopa    | Medsebojno lego delov, gabarite, ujemne mere, povezave              | Vključuje kosovnico, pozicijske številke, poglede in prereze             | Konstrukter, tehnolog, načrtovalec montaže                          |
| <b>Delavnikiška risba</b>      | Izdelava posameznega dela     | Natančno geometrijo dela, vse mere, tolerance, material, hrapavosti | Vedno v merilu, najvišja raven podrobnosti, strogo standardizirana       | Izdelovalec, tehnolog, kontrolor kakovosti                          |
| <b>Montažna risba</b>          | Prikaz postopka sestavljanja  | Zaporedje montažnih korakov, smeri vstavljanja, faze sestave        | Pogosto fazna ali eksplozijska, vsebuje navodila za montažo              | Monterji, servisni tehnički, proizvodnja                            |
| <b>Shematska risba</b>         | Razumevanje delovanja sistema | Simbolni prikaz komponent in njihovih funkcionalnih povezav         | Ni v merilu, uporablja standardizirane simbole, prikazuje logiko sistema | Elektroniki, strojni inženirji (pnevmatika, hidravlika), serviserji |

### Povzetna spoznanja

- Delavnikiška risba se osredotoča na **natančno izdelavo posameznega dela**.
- Sestavna risba prikazuje **zgradbo sklopa in povezave med deli**, skupaj s kosovnico.
- Montažna risba razloži **kako** dele pravilno sestavimo – z navodili in vrstnim redom.
- Shematska risba namesto oblike prikazuje **delovanje**, tok signalov ali energij, in je zato ključna v elektroniki, pnevmatiki, hidravliki in drugih tehničnih sistemih.

Razumevanje teh razlik je temeljno pri pripravi tehniške dokumentacije, saj vsak tip risbe opravlja drugačen del naloge: od prvotnega razumevanja oblike, preko natančnega definiranja delov, do sestave in razumevanja delovanja celotnega sistema.

## 2.4 Značilnosti risbe

Tehniška risba je natančno strukturiran dokument, ki s pomočjo standardiziranih grafičnih elementov posreduje vse ključne informacije o izdelku, njegovi obliki, dimenzijsah, materialu, ter načinu izdelave in sestavljanja. Njena jasnost temelji na dosledni uporabi glave risbe, kosovnice, meril, vrst in debelin črt ter tehniške pisave. Vsak od teh elementov skrbi za to, da bralec risbe razume geometrijo, skrite in vidne robove, razmerja, strukturo sestava in pomembne tehnološke zahteve brez dodatnih razlag. Tehniška risba je zato univerzalni jezik tehničnih strok, ki omogoča nedvoumno komunikacijo med konstrukterji, tehnologi, proizvajalci in kontrolorji kakovosti.

### 2.4.1 Glava risbe in kosovnica

Glava risbe (angl. *title block*) je obvezni del vsake tehniške risbe. Namenjena je identifikaciji dokumenta, omogoča sledljivost in nadzor nad različicami risbe ter vsebuje ključne informacije za uporabo risbe v konstrukcijskem, proizvodnjem in kontrolnem procesu. Kosovnica pa je sestavni del sestavnih risb in predstavlja strukturiran seznam vseh delov, ki pripadajo danemu sklopu ali sestavu.

V glavi risbe morajo biti zapisani vsi podatki, ki omogočajo:

- identifikacijo dokumenta (številka risbe, naziv izdelka),
- sledljivost (datum, izdelek kontroliral, odgovorna oseba),
- razumevanje uporabe risbe (merilo, projekcija, standard toleranc),
- upravljanje dokumentacije (revizije, spremembe, datoteka).

Glava risbe mora biti vedno umeščena v **spodnji desni kot** risalnega formata. Razlog je enoten način branja dokumentacije in kompatibilnost pri arhiviranju.

Glava risbe mora slediti standardu **SIST EN ISO 7200**, ki določa obvezna identifikacijska polja, vendar pri tem ostaja precej prilagodljiv. Medtem ko je bil starejši standard **DIN 6771-1** zelo strog pri natančnem določanju dimenzijs in razporeditve polj, **SIST EN ISO 7200 dopušča bistveno več svobode**. Priporočena je zgolj dolžina glave **180 mm**, medtem ko so ostale mere in razpored polj **poljubni**, če sta ohranjeni preglednost in skladnost podatkov.

V glavi risbe se zato nahajajo ključne skupine podatkov, ki morajo biti jasno predstavljene, njihova natančna grafična izvedba pa je stvar organizacijskih praks. Ta polja se v nadaljevanju podrobnejše predstavijo v preglednici, ki povzema njihov pomen:

**Table 2.8:** Ključna polja v glavi risbe.

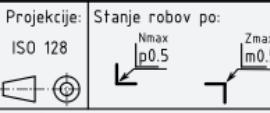
| Polje v glavi risbe          | Pomen  |
|------------------------------|--|
| stopnja točnosti prostih mer | navaja tolerančno območje za netolerirane mere |
| kakovost obdelave            | standard za hrapavost ali obdelavo             |
| merilo                       | merilo risanja in lokalna merila               |
| pozicija                     | pozicijska številka (pri sestavnih risbah)     |
| masa                         | masa dela ali sklopa                           |
| naziv in mere                | naziv izdelka; značilne mere                   |
| št. risbe / standard         | identifikacijska številka dokumenta            |
| stran                        | številka strani dokumentacije                  |
| oznaka spremembe             | sledljivost revizij                            |
| izdelal / kontroliral        | osebe odgovorne za izdelavo in kontrolo        |

Delavniška risba je namenjena izključno enemu samemu delu, zato mora glava risbe na zelo jasen in nedvoumen način podati vse ključne podatke, ki omogočajo njegovo pravilno izdelavo, kontrolo in morebitno poznejšo sledljivost. V proizvodnem procesu delavec ali tehnolog praviloma ne bere dodatnih dokumentov, zato mora biti delavniška glava dovolj informativna, da zagotavlja razumevanje izdelka brez potrebe po drugih razlagah. Delavniška glava zato vsebuje niz podatkov, ki so specifični za posamezen del in se neposredno uporabljajo pri obdelavi. Najpomembnejši med njimi so:

- **Stanje robov** – omogoča določitev, kako naj bodo obdelani robovi (npr. ostali ostri, zaobljeni, odsevani). Nekatere industrije zahtevajo stroge omejitve ostrih robov zaradi varnosti ali funkcionalnih zahtev. V delavniški glavi je zato stanje robov posebej izpostavljeno, da delavec ne dela po lastni presoji.
- **Tolerance in stopnje točnosti** – delavniška risba mora natančno določiti, kako natančno mora biti posamezna mera izvedena. Ker se tolerance med različnimi deli močno razlikujejo, je zapis stopnje točnosti v glavi risbe nujen za zagotavljanje pravilnega ujemanja v kasnejšem sestavu. Globalne tolerance (za vse neoznačene mere) omogočajo lažje branje risbe in preprečujejo nepotrebno preobremenitev s podvojenimi podatki.
- **Hrapavost površin (kakovost obdelave)** – kakovost površin določa končno funkcionalnost dela, npr. trenje, tesnjenje, natančnost prileganja ali vizualno kakovost. V delavniški glavi risbe mora biti zapisano, ali veljajo posebne hrapavosti za izbrane površine, ali pa za celoten del velja enotna privzeta hrapavost. To je ključni podatek za tehnologe in obdelovalne stroje.

- Masa elementa** – masa posameznega dela je pomembna tako v konstrukcijskem smislu (preračuni, obremenitve), kot pri logistiki, skladiščenju in kakovostni kontroli. V delavnški risbi masa izhaja iz natančne geometrije dela in izbranega materiala, zato mora biti jasno navedena v glavi. Posebej je pomembna pri delih, ki se proizvaja serijsko, saj odstopanja v masi pogosto nakazujejo proizvodne napake.

Zaradi vsega naštetega je delavnška glava risbe bistveno bolj tehnično obremenjena kot glava sestavne risbe. Sestavna risba opisuje strukturo sklopa, delavnška pa zagotavlja podatke, potrebne za dejansko izdelavo. Gre za dokument, ki mora biti neposredno uporaben na delavnškem nivoju in mora vključevati vse podatke, ki vplivajo na funkcionalnost, varnost in kakovost izdelka.

|  |   |   |                                 |   |   |  |
|--|---|---|---------------------------------|---|---|--|
| Projekcije:<br>ISO 128                 | Stanje robov po:<br> | Stopnja točnosti prostih mer in oblik:<br>ISO 13920-AE<br>ISO 13920-AE<br>ISO 2768-mK | Površine v [µm] po:<br>ISO 1302 | Merilo: X:Y                                     | Pozicija: ____                            | Masa: ____ kg                                  |
| Splošni principi toleriranja: ISO 8015 |   |   |                                 |   |   | Material: Material standard<br>Material oznaka |
| Geometrijske tolerance po: ISO 1101    |   |   |                                 |   |   | Naziv in mere:                                 |
|  |   | Risal.  | Datum-ris.                      | Ime-risal.                                      | <b>NAZIV risbe</b>                        |  |
|  |   | Kontr.  | Datum-kon.                      | Ime-kontr.                                      | b x h x l                                 |  |
|  |   | K.std.  | Datum-kstd.                     | Ime-kstd.                                       |   |  |
| Ozn.                                   | Sprememba   | Datum   | Ime                             | Datoteka: ime_datoteke.FCStd / ime_datoteke.pdf | Št. risbe:<br><b>PEF.VpŠt.TDx.Rxx.XXX</b> | Str./strani:<br>p/ps<br>Format:<br>A3          |

**Slika 2.6:** Glava delavnške risbe.

Glava sestavne risbe je po zasnovi manj obremenjena z informacijami kot glava delavnške risbe, saj je njen primarni namen predstaviti strukturo sklopa in odnose med posameznimi deli, ne pa podrobnosti o obdelavi ali tehnoloških postopkih. To pomeni, da sestavna glava vsebuje manj tehnoloških podatkov, saj se ti podatki nanašajo le na posamezne dele, ne pa na sklop kot celoto.

|   |           |  |     |   |                         |  |           |
|---|-----------|--|-----|---|-------------------------|--|-----------|
| 2   | 1         | Podnožje 123 × 45 × 67                 |     |   | R12.02                  | PLA  | 89,00 g   |
| 1   | 1         | Vijak M3 × 30                          |     |   | ISO 261                 | jeklo  | 5,60 g    |
| Poz.  | Kos.      | Naziv in mere                          |     |   | Št. risbe / Standard    | Material   | Masa (kg) |
| Projekcije: ISO 128  |           | Splošni principi toleriranja: ISO 8015 |     |   | Merilo: X:Y             | Masa: _____ kg   |           |
|   |           |  |     | Datum   | Ime                     | Naziv in mere:<br><b>NAZIV risbe</b><br><b>b x h x l</b> |           |
|   |           |  |     | Risal.  | Datum-ris. Ime-risal.   | Št. risbe:   |           |
|   |           |  |     | Kontr.  | Datum-kontr. Ime-kontr. | Str./strani<br>1/1                                       |           |
|   |           |  |     | K.std.  | Datum-kstd. Ime-kstd.   | Format:<br>A3  |           |
| Ozn.  | Sprememba | Datum                                  | Ime | Datoteka: <u>ime_datoteke.FCStd</u> / <u>ime_datoteke.pdf</u> |                         |  |           |

**Slika 2.7:** Glava sestavne risbe.

#### 2.4.1.1 Kosovnica

Kosovnica je strukturiran seznam delov, ki sestavljajo sklop ali napravo. V njej so zbrani podatki, ki omogočajo:

- organizacijo delov po pozicijah,
- razumevanje hierarhije sestavov,
- identifikacijo standardnih in nestandardnih delov,
- izračun mase in pripravo materialnih zahtev.

Kot navaja Prebil et al. (2011), obstaja več oblik kosovnic, ki se razlikujejo glede na področje uporabe, kompleksnost sestava in potrebe konstrukcijske dokumentacije. Vendar bomo v tem učbeniku uporabljali **poenostavljenko kosovnico**, ki združuje najpomembnejša polja iz oblike A in B ter je primerna za večino izobraževalnih in projektnih situacij.

V nadaljevanju je predstavljena enotna, didaktično prilagojena struktura kosovnice, ki vključuje **osnovna obvezna polja**, obenem pa omogoča tudi **nekaj razširjenih polj**, kadar so ta potrebna.

Kosovnico lahko tudi nekoliko priredimo glede na naše potrebe. Pri tem pazimo, da vsebuje vse potrebne podatke, da kos sestava nedvoumno določa. Na primer za potrebe pouka bi lahko vključili polja, ki jih prikazuje tbl. 2.9.

**Table 2.9:** Pomembnejša polja kosovnice.

| Polje v kosovnici                  | Pomen / uporaba  |
|------------------------------------|--|
| <b>Pozicija</b>                    | Zaporedna številka dela v sestavni risbi.  |
| <b>Kos</b>                         | Število kosov posamezne komponente v sklopu.   |
| <b>Naziv</b>                       | Ime dela ali sklopov, standardni naziv pri normiranih elementih.                           |
| <b>Mere</b>                        | Ključne značilne mere (npr. $150 \times 80 \times 12$ ); pri standardnih delih ni obvezno. |
| <b>Št. risbe / standard</b>        | Povezava z delavnško risbo ali oznaka standarda (npr. DIN, ISO).                           |
| <b>Material (razširjeno polje)</b> | Vrsta materiala (jeklo, aluminij, plastika ...).   |
| <b>Masa (razširjeno polje)</b>     | Masa posameznega kosa, pomembna pri preračunih ali konstrukcijah večjih sklopov.           |
| <b>Opombe</b>                      | Posebnosti, zahteve, smer montaže, površinske obdelave ipd.                                |

Ta enotna oblika je pregledna, primerna za risanje v FreeCAD-u in skladna s tipično rabo v šolskem in projektno usmerjenem okolju. Poleg tega se dobro navezuje na vsebino glave risbe, kjer se nahajajo ključni podatki o celotnem dokumentu.

#### 2.4.1.2 Nastavitev v FreeCAD – TechDraw: Glava in kosovnica

FreeCAD omogoča enostavno upravljanje glave risbe in kosovnic v okolju **TechDraw**. Pri delu v tem učbeniku bomo uporabljali **že pripravljene predloge**, ki vključujejo glavo risbe za delavnško ali sestavno risbo.

Pri vseh novih risbah bomo FreeCAD nastavili tako, da se bo **privzeto naložila predloga za delavnško risbo**. Na **spletinem odlagališču** si lahko presname dve predlogi: A3\_Land\_PeF\_TD\_DR.svg in A3\_Land\_PeF\_TD\_SR.svg. Ter na to lahko nastavimo privzeto predlogo tako, da:

**Edit → Preferences → TechDraw → General → Files**

Pot do predloge:

... /A3\_Land\_PeF\_DWD\_DR.svg

S tem zagotovimo, da se ob ustvarjanju nove risalne strani samodejno uporabi enotna institucionalna predloga, ki vsebuje vse potrebne elemente glave risbe.

#### Vključevanje kosovnice v TechDraw

V FreeCAD-u je možno vključiti kosovnico s pomočjo okolja Spreadsheet, kjer najprej ustvarimo tabelo in vanjo vnesemo vsa potrebna polja za vsak sestavni element (npr. oznako dela, naziv, količino, material, masa ...), nato pa preidemo na tehnično risbo in v delovnem okolju TechDraw vstavimo tabelo, ki služi kot referenca za izdelavo sestava ter vzdrževanje skladnosti podatkov med deli. Za usklajevanje širine tabele z glavo na sestavni risbi nam je lahko v pomoč **Makro za poravnavo širine kosovnice**.

### Pridobivanje fizikalnih lastnosti modela

Za izračun mase 3D-modela v FreeCAD-u je najprej potrebno modelu dodeliti material, saj program maso izračuna iz volumna telesa in gostote izbranega materiala. Material telesu dodelimo tako, da v drevesu modela označimo objekt, kliknemo z desnim klikom in izberemo možnost *Material*, kjer nato izberemo ustrezni material iz knjižnice ter potrdimo izbiro. S tem FreeCAD pridobi informacijo o gostoti, ki je nujna za nadaljnje izračune.

Če želimo do volumna modela dostopati ročno, lahko uporabimo orodje *Part → Check Geometry*, kjer po izvedenem preverjanju dobimo geometrijske podatke, med njimi tudi volumen. Masa bi bila v tem primeru prepuščena ročnemu izračunu, vendar je tak pristop zamuden in manj pregleden, zato je za izobraževalne in praktične namene bistveno primernejša uporaba makra *PhysicalInfo*.

Makro *PhysicalInfo* prenesemo s spletnne strani <https://davidrihtarsic.github.io/TechDoc/Presnemi/>, ga shranimo in v FreeCAD-u dodamo prek menija *Macro → Macros*, kjer ga vključimo med obstoječe makre. Ko je makro nameščen, izberemo objekt z dodeljenim materialom in makro zaženemo. V oknu *Report View* se nato izpišejo podatki o objektu, vključno z njegovim volumenom, gostoto uporabljenega materiala in izračunano maso. Podatek o masi je tako dostopen neposredno, brez dodatnih korakov ali ročnih izračunov, kar bistveno poenostavi delo pri tehniški dokumentaciji in analizah modelov.

| PODATKI O OBJEKTU |                              |
|-------------------|------------------------------|
| -----             |                              |
| Objekt            | : kvader                     |
| Material          | : PLA-Generic                |
| Volumen           | : 55126.55 <sup>3</sup> mm   |
| Gostota           | : 1240.00 kg/ <sup>3</sup> m |
| Masa              | : 68.36 g (0.068 kg)         |
| -----             |                              |

### 2.4.2 Merilo

Merilo je razmerje med narisano in dejansko velikostjo predmeta. V tehničnem risanju mora biti merilo izbrano tako, da omogoča **preglednost, berljivost in jasnost** risbe, pri čemer se merila **ne prilagajajo formatu risbe**, temveč **vodoravnim ali navpičnim meram obravnavanega izdelka**.

V skladu s standardom **SIST EN ISO 5455** (nadomešča zastareli DIN EN ISO 5455) se merila delijo na:

- **naravna merila**,

- **pomanjšana merila,**
- **povečana merila.**

Če so mere na risbi enake dejanskim meram izdelka, uporabljamo merilo **1 : 1**. Takšna risba se uporablja pri manjših predmetih, kadar je mogoče vse elemente prikazati v realni velikosti. Uporablja se, kadar je predmet prevelik, da bi ga lahko prikazali v naravni velikosti. Standard dovoljuje naslednja pomanjšana merila: **1 : 2, 1 : 5, 1 : 10, 1 : 20, 1 : 50, 1 : 100**. Druga merila so dovoljena le izjemoma. Primer: merilo **1 : 5** pomeni, da je narisana dolžina petkrat manjša od dejanske.

Povečana merila uporabljamo pri majhnih predmetih ali **detajlih**, ki zahtevajo podrobnejši prikaz. Standardna povečana merila so: **2 : 1, 5 : 1, 10 : 1, 20 : 1, 50 : 1, 100 : 1**. Primer: merilo **5 : 1** pomeni, da je narisana vrednost petkrat večja od dejanske.

V tehnični dokumentaciji je ključna doslednost v uporabi pisave in meril, saj to prispeva k jasnosti, berljivosti ter profesionalni predstavitvi risb; Prebil et al. (2011) izpostavlja, da se osnovno merilo zapisuje z večjo pisavo (na primer pri pogledu), medtem ko merila posameznih detajlov ali prerezov zapisujemo z manjšo pisavo, v oklepaju, kot na primer A-A 5:1; prav tako mora biti merilo prereza ali detajla vedno zapisano ob oznaki prereznega pogleda, kar omogoča dosledno interpretacijo zrcaljenih ali detajlnih pogledov ter olajša primerjave med različnimi risbami in koncepti modeliranja.

#### 2.4.2.1 Nastavitev merila v FreeCAD – TechDraw

V tehnični dokumentaciji je ključna doslednost pri uporabi meril, saj različna merila omogočajo jasno predstavitev velikosti v več pogledih istega predmeta, hkrati pa uporaba enotnega merila za celotno risbo zagotavlja splošno skladnost in preglednost. V FreeCAD-u se pri načrtovanju risb pogosto uporablja več meril za različne poglede, pri čemer lahko glavno merilo ostane enotno, medtem ko se pri detajlih ali prerezih uporablja manjša merila ali specifične razlage v oklepaju, kar omogoča primerjavo in jasen prikaz odnosov med različnimi elementi. Vendar pa vizualizacije v glavi risbe ne pomenijo samodejnega zapisovanja merila ob vsakem pogledu, zato je priporočljivo, da se merilo pri posameznem pogledu izrecno navede v risbi, še posebej pri prikazih detajlov ali povečav. To prispeva k pravilni interpretaciji dimenzijskih toleranc ter možnosti primerjalne analize med različnimi pogledi in interpretacijami modelov (Prebil et al. 2011).

Praviloma nastavimo **privzeto merilo**, s tem zagotovimo, da ima vsaka nova risba že ob začetku pravilno določeno osnovno merilo:

**Edit → Preferences → TechDraw → Scale → Page Scale : 1.00**

seveda pa lahko **merilo kadarkoli kasneje določimo ali spremenimo za vsak posamezen pogled posebej.**

Izberemo pogled → *Property Editor* → *Data* → *Scale*

Primeri nastavitev:

- **Scale = 1.00** → merilo 1 : 1,
- **Scale = 0.5** → merilo 1 : 2,
- **Scale = 2** → merilo 2 : 1.

#### 2.4.3 Vrste in debeline črt

Črte so eden najpomembnejših grafičnih elementov tehniške risbe, saj z njihovo pomočjo posredujemo informacije o oblikah, legih, skritih elementih, prerezih, osih in pomožnih konstrukcijskih odnosih. Standard **SIST EN ISO 128** natančno določa vrste črt, njihovo debelino, pomen ter tipične uporabe.

V tehničnem risanju uporabljamo le toliko različnih vrst črt, kot je nujno potrebno za jasno interpretacijo risbe. Preobilica vrst ali napačna uporaba zmede bralca in zmanjša tehnično vrednost dokumenta.

| oznaka in oblika črte  | vrsta in debelina črte |        | uporaba   |
|--|------------------------|--------|---|
| 01.2 ——————  | polna                  | debela | 1. vidni robovi<br>2. konture<br>3. konec navoja<br>4. meja in dolžina navoja<br>5. krivulje v diagramu<br>6. izhodiščna in povezovalna črta<br>7. sistemski črte (konstrukcije)<br>8. delilne črte livaških kalupov<br>9. nosilne črte pozicijskih številk <sup>4)</sup><br>10. diagonalni križi ravnih ploskev<br>11. meje obdelav<br>12. okvirjanje detajlov<br>13. obrisi posameznih elementov<br>14. osnovni krog pri zobniku<br>15. projekcijski žarki<br>16. mreže |
| 01.1 ——————  | polna                  | tanka  | 1. obrisi prekritih prerezov<br>2. kotime črte<br>3. pomožne črte<br>4. kazalne in referenčne črte<br>5. šrafure<br>6. zaokrožitveni prehodi – gube<br>7. kratke srednjice<br>8. osnovnica navoja   |
| 01.1  | prostoročna            | tanka  | 17., 18. omejitve prekinjenih in neprekinitenih prerezov, presekov, če niso srednjice <sup>1)</sup>   |
| 01.1  | cik cak                | tanka  |   |
| 02.2 - - - - -   | črtkana                | debela | 1. prekriti robovi, ki ležijo za prozornim materialom <sup>2)</sup><br>2. prekrite konture <sup>2)</sup><br>3. označevanje postopka obdelave <sup>4)</sup>  |
| 02.1 - - - - -   | črtkana                | tanka  | 1. prekriti robovi<br>2. prekrite konture   |
| 04.1 - - - - -   | črta pika              | tanka  | 1. srednjice<br>2. simetrale<br>3. delilni premer pri zobnikih<br>4. delilni premeri pri izvrtinah<br>5. delitev ravnin   |
| 04.2 - - - - -   | črta pika              | debela | 1. označevanje določenih operacij (toplnota obdelava)<br>2. označevanje prereznih ravnin  |
| 05.1 - - - - -   | črta dve piki          | tanka  | 1. končna oblika v surovcu<br>2. težišče<br>3. obrisi deformacij<br>4. deli, ki ležijo v prerezu<br>5. označevanje izbranih postopkov<br>6. obrisi izbranih izvedb<br>7. označevanje skrajnih leg gibljivih delov   |

Slika 2.8: Vrste črt po ISO 128.20

Skupni poudarki:

- Vidne robe vedno rišemo **polno debelo črto** (01.2).
- Skrite robe prikazujemo s **prekinjeno tanko** (02.1).
- Osi in simetrije vedno s **črtkano-pikčasto** (04.1 ali 04.2).
- Pomožne konstrukcijske črte vedno s **polno tanko** (01.1).

Standard predpisuje, da so črte različnih debelin razdeljene v **skupine**, pri čemer se prehod med skupinami izvede s faktorjem  $\sqrt{2}$ . Naslednja tabl. 2.10 prikazuje najbolj pogosto izbrane skupine črt z določenimi debelinami črt.

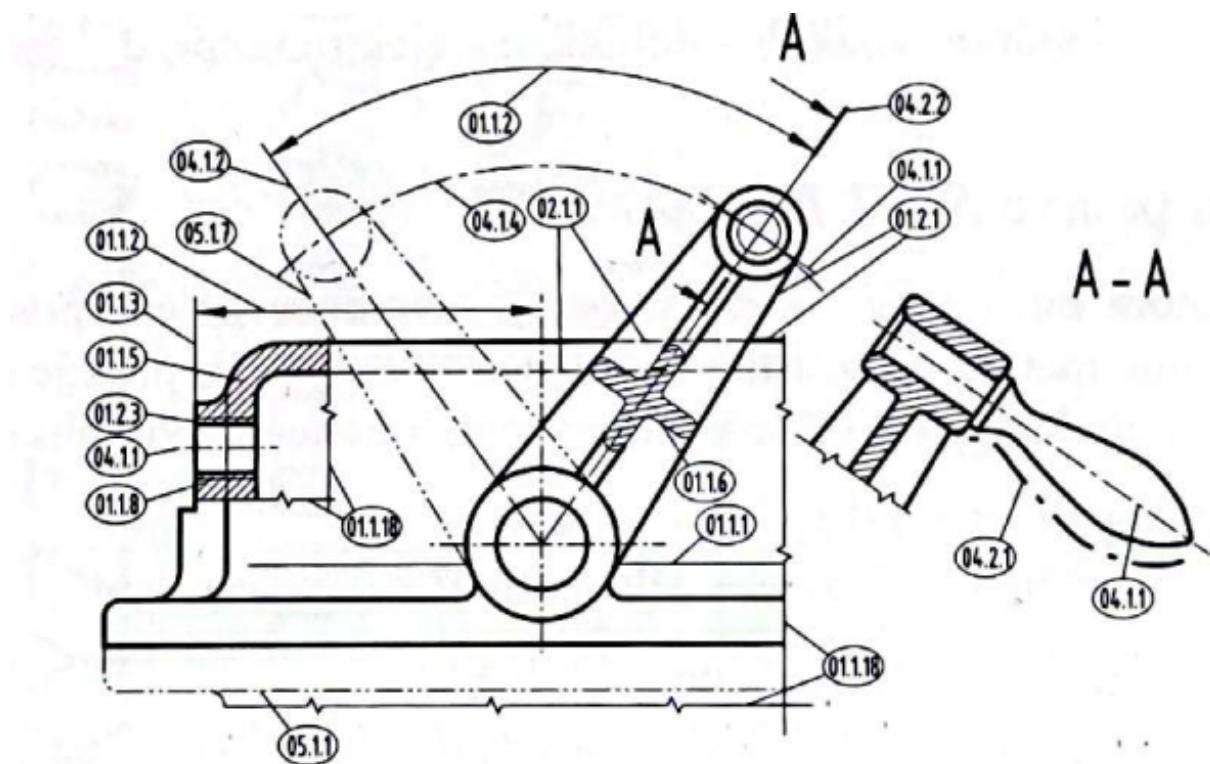
**Table 2.10:** Skupine črt z določenimi debelinami črt.

| Skupina črt | Debela črta (mm) | Tanka črta (mm) | Teksti in grafični simboli (mm) |
|-------------|------------------|-----------------|---------------------------------|
| <b>0,35</b> | 0,35             | 0,18            | 0,25                            |
| <b>0,5</b>  | 0,50             | 0,25            | 0,35                            |
| <b>0,7</b>  | 0,70             | 0,35            | 0,5                             |
| <b>1,0</b>  | 1,00             | 0,50            | 0,7                             |

V splošni praksi uporabljam le **dve skupini črt: 0,5 ali 0,7**. Razmerje med debelo in tanko črto je vedno **2 : 1**, kar zagotavlja jasno ločitev med vidnimi in manj izrazitimi informacijami.

Pri uporabi črt v tehniški risbi je izjemno pomembno, da konstrukter razume ne le posamezne tipe črt, temveč tudi njihovo medsebojno hierarhijo. Vidni robovi in konture imajo najvišjo prednost, saj predstavljajo dejanske, neposredno opazne meje predmeta. Za njimi sledijo skriti robovi, ki omogočajo razumevanje notranje geometrije. Ravnine prerezov in osne črte so kljub svoji funkcionalni pomembnosti grafično podrejene vidnim in skritim robom, medtem ko težiščnice, poti gibanja in pomožne konstrukcijske črte zasedajo zadnja mesta v hierarhiji vizualne izraznosti.

Naslednji praktični primer uporabe črt na sl. 2.9 prikazuje, kako se različne vrste črt združujejo v kompleksnem mehanskem sklopu. Prikaz razkriva več ključnih načel: črte različnih debelin se prekrivajo tako, da so pomembnejše informacije vedno grafično poudarjene (01.2); osi izvrtnin so jasno označene s črta-pika črto (04.1); skrite geometrije so prikazane s tanko prekinjeno črto (02.1); osne črte (04.1) se ustrezno nadaljujejo čez rob elementa, kar omogoča pravilno umestitev elementov v prostoru.



**Slika 2.9:** Primer uporabe različnih črt.

Takšna analiza jasno pokaže, da izbira in uporaba črt ni zgolj grafično pravilo, temveč ključen element tehniške komunikacije. Pravilna raba črt neposredno vpliva na berljivost risbe, razumevanje geometrije in možnost pravilne interpretacije pri proizvodnji, montaži ali kontroli. Obvladovanje črt je zato temeljna veščina tehniškega risanja, tako pri ročnem kot pri računalniškem načrtovanju.

#### 2.4.3.1 Nastavitev vrst in debelin črt v FreeCAD – TechDraw

FreeCAD omogoča nadzor nad vrstami in debelinami črt, kar mora biti skladno s pravili iz standardov. V okolju **TechDraw** so najpomembnejše nastavitev dostopne prek: > **Edit** → **Preferences** → **TechDraw** → **Annotation**

V tem meniju lahko določimo privzete standarde in stile črt. Za potrebe pouka in skladno s SIST EN ISO 128 priporočamo naslednje nastavitev:

- **Line Standard:** ISO .128 .20 .1996  
(skladno s standardom SIST EN ISO 128)
- **Line Width Group:** 0 .5 mm  
(skupina črt, ki najbolje ustreza formatom A3–A4)

- **Hidden Line Style:** Dashed  
(za skrite robove – ustreza črti 02.1)
- **Section Line Style:** LongDashDot  
(za ravnine prerezov – ustreza črti 04.2)
- **Detail Highlight Style:** Continuous  
(za poudarjanje detajlov brez prekinitve)
- **Center Line Style:** DashedDotted  
(za srednice – ustreza črti 04.1)
- **Break Line Style:** Continuous  
(ker slog 01.1.18 ni na voljo, uporabimo klasično tanko polno črto)

Nastavitev črt po posameznem pogledu Izberemo pogled → *Property Editor* → *View* → *Line Width* in *Line Style*.

#### 2.4.3.2 Priporočene debeline

- **tanke črte: 0.25 mm**
- **debele črte: 0.5 mm**

Ti vrednosti sta skladni s skupino črt 0,5 iz preglednice ter omogočata dobro berljivost tehničnih risb na najpogosteje uporabljenih formatih A4 in A3.

Vrste in debeline črt tvorijo temelj jasne tehniške dokumentacije. Napačna uporaba črt vodi do napačne interpretacije risbe, izgube informacij ali zmede pri montaži. Standard SIST EN ISO 128 jasno določa:

- katera črta je primerna za katero informacijo,
- kakšno debelino mora imeti,
- kako se črte uporabljajo v prerezih, pogledih in sestavah.

Obvladovanje črt je zato temeljna veščina tehničnega risanja, tako pri ročnem kot pri računalniškem načrtovanju.

#### 2.4.4 Tehniška pisava

Tehniška pisava je standardizirana pisava, ki se uporablja pri vseh tehničnih risbah. Njena naloga je zagotoviti **čistost, berljivost in enotnost** vseh napisov, kot so mera, oznake prerezov, oznake osi, besedilne opombe, nazivi in podatki v glavi risbe. Standard SIST EN ISO 3098 določa obliko, višine, debeline in razmike posameznih znakov:

- **Pisava oblike A:** debelina črte je  $1/14$  višine velikih črk  
(pri  $h = 7$  mm je debelina  $d = 0,5$  mm)

- **Pisava oblike B:** debelina črte je  $1/10$  višine velikih črk  
(pri  $h = 7 \text{ mm}$  je debelina  $d = 0,7 \text{ mm}$ ).

V tehnični praksi se skoraj izključno uporablja **pisava B**, ker je bolj berljiva pri kopiranju, tiskanju in digitalni obdelavi. Pri tehniški dokumentaciji, ki jo pripravljamo v tem učbeniku, bomo enako uporabljali **pisavo B**.

Preglednica (tbl. 2.11) določa ključna razmerja pisave:

**Table 2.11:** Dimenzije črk tehniške pisave oblike B.

| Parameter  | Razmerje   | Primer pri $h = 3,5 \text{ mm}$ |
|--|------------|---------------------------------|
| Višina velikih črk $h$                             | $(10/10)h$ | 3,5 mm                          |
| Višina malih črk $c$                               | $(7/10)h$  | 2,5 mm                          |
| Najmanjši razmik med črkami $a$                    | $(2/10)h$  | 0,7 mm                          |
| Najmanjsa razdalja med vrsticami (brez podaljšanj) | $(10/10)h$ | 3,5 mm                          |
| Debelina črte $d$ (pisava B)                       | $(1/10)h$  | 0,35 mm                         |

Pri tem je pomembno: - da je **razmerje med višino in debelino črte vedno ohranjeno**, - da se pri majhnih napisih (npr. pri merilih ali oznakah prereza) ne sme uporabljati premajhnih višin črk, - da so vsi napisи izvedeni z enotno pisavo.

Razložimo še, zakaj smo izbrali pisavo B z višino 3,5 mm. Ker smo v poglavju o črtah izbrali **skupino črt 0,5 mm**, je s tem skladno tudi: - **debelina pisave B = 0,35 mm**, - **višina pisave = 3,5 mm**.

To razmerje izhaja neposredno iz standarda SIST EN ISO 3098, kjer je debelina črte določena kot  $1/10$  višine.

Prednosti take izbire so: - odlična berljivost pri tiskanju na A4 in A3, - skladnost z debelinami črt, - dovolj velika pisava za pregledne tehniške risbe, - idealna za študijsko in projektno delo.

#### 2.4.4.1 Nastavitev tehniške pisave v FreeCAD – TechDraw

FreeCAD omogoča nastavitev privzete pisave in velikosti besedila prek dveh ločenih nastavitev, ki ju moramo pravilno konfigurirati. Vendar preden se nastavite se prepričajte, da je pisava [ISOCPEUR](#) res nameščena na vašem računalniku. Če jo še nimate, lahko pisavo [ISOCPEUR.ttf](#) presnamete s spletnega mesta.

Ko imate pisavo preneseno na vaš računalnik jo lahko namestite tako, da z desnim miškino tipko kliknete na datoteko **ISOCPEUR.ttf** in izberete **Install**.

Sedaj lahko v FreeCAD-u nastavite privzeto vrsto pisave tako da v nastavitvah izberete: > **Edit → Preferences → TechDraw → General → Label font**

Za potrebe tega učbenika priporočamo: - **Label font:** [ISOCPEUR](#)

Pisava *ISOCPEUR* je vizualno zelo podobna standardizirani tehniški pisavi po ISO 3098 in je zato najprimernejša za tehniško dokumentacijo.

Velikost pisave nastavimo ločeno v: > **Edit → Preferences → TechDraw → Dimensions → Font size**

Priporočena vrednost je: - **Font size:** [3.5 mm](#)

Ta velikost ustreza pisavi B s črtnim razmerjem, pri katerem je debelina črte **0.35 mm**, kar je popolnoma skladno z izbrano skupino črt **0.5 mm**.

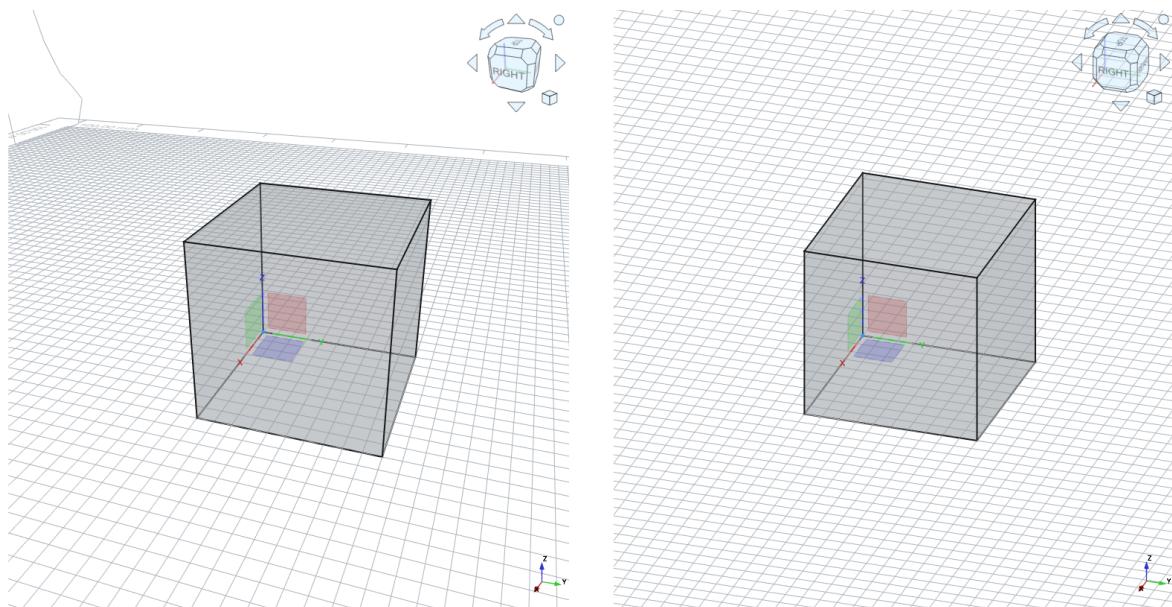
Pisava **ISOCPEUR** je ena najpogosteje uporabljenih CAD pisav, ker je: - vizualno zelo podobna standardizirani tehniški pisavi iz ISO 3098, - enostavna in čista, - dobro berljiva pri majhnih velikostih, - enotna na različnih operacijskih sistemih.

V tehnični dokumentaciji je ključno, da so uporaba pisave in njena velikost dosledni, saj to zagotavlja berljivost, jasnost in profesionalen videz risb; standard SIST EN ISO 3098 opredeljuje obliko črk, debelino pisave, višino črk, razdalje med vrsticami in razdalje med znaki, zato v naših načrtih uporabljamo pisavo B s konkretno višino 3,5 mm ter izbiramo obliko pisave ISOCPEUR, ki je prilagojena ISO smernicam in nudi dobro čitljivost v tehničnih dokumentih, kar prispeva k doslednosti, berljivosti in profesionalni predstavitev tehničnih informacij ter olajša pravilno interpretacijo dimenzij in toleranc na risbah.

## 3 Projekcija

Projekcija je način prikaza tridimenzionalnega objekta na dvodimenzionalni površini, kot je papir ali zaslon. V inženirski praksi je to ključno za natančno komunikacijo oblike, dimenzijs in odnosa med deli. V tem učnem sklopu se bomo spoznali z osnovnimi vrstami projekcij, ki se uporabljajo v tehničnem risanju.

V nadaljevanju razširimo opis projekcij v tehnični dokumentaciji tako, da poudarimo razliko med perspektivo in pravokotno (ortografsko) projekcijo ter izkoristimo konkretni primer kocke na sl. 3.1:



**Slika 3.1:** Primer projekcije kocke v perspektivni in pravokotni projekciji.

Perspektivna projekcija posnema način, kako vidimo svet, in pri tem nastopi učinek, kjer območja daleč stran stremijo v manjše projicirane velikosti, kar daje občutek globine, vendar omogoča manj natančne meritve in večjo odstopanje pri dimenzijsah zaradi različnih pogledov. Precej boljša za natančno komunikacijo oblik in dimenzijs pa je pravokotna projekcija, ki predstavlja objekt skozi različne projekcije (sprednja, zgornja, desna) brez popačenja zaradi oddaljenosti gledalca, zato dolžine, širine in višine ostajajo enake v vseh projekcijah. Čeprav sta obe projekciji v praksi uporabni, je za tehnično

dokumentacijo smiselno uporabiti le pravokotno kot osnovo za merjenje in določanje toleranc ter za preverjanje skladnosti med deli.

Pri obravnavi različnih vrst projekcij bomo v nadaljevanju pogosto uporabljali naslednjo terminologijo, s katero opisujemo matematični in geometrijski vidik preslikave prostorskih objektov na ravnino. Razumevanje teh pojmov je ključno za pravilno interpretacijo projekcij v tehnični dokumentaciji.

**Projekcijska ravnina** je navidezna ravnina, na katero preslikamo (projiciramo) točke, robove in ploskve prostorskega telesa z namenom njegovega ravninskega prikaza. V tehnični dokumentaciji projekcijska ravnina predstavlja ravnino risbe oziroma nosilno ravnino pogleda, na kateri nastane projekcija obravnavanega predmeta.

**Projekcijska smer** je določena z vektorjem, imenovanim projekcijski vektor, ki opisuje smer projiciranja posameznih točk predmeta na projekcijsko ravnino. Projekcijski žarki so v idealnem matematičnem modelu vzporedni in potekajo v smeri projekcijskega vektorja. Pri pravokotni projekciji je projekcijska smer pravokotna na projekcijsko ravnino, zato je projekcijski vektor enak normalnemu vektorju projekcijske ravnine. Ta normalni vektor hkrati določa tudi smer pogleda na predmet.

**Računanje rotacij in projekcij v tehnični dokumentaciji in modeliranju** temelji na uporabi vektorjev in matrik; obravnavane transformacije omogočajo pretvorbo koordinat med različnimi referenčnimi sistemmi in njihovo projekcijo na dvodimenzionalne predstave.

**Enotski vektorji koordinatnega sistema:** V kartezičnem koordinatnem sistemu so osnovni enotski vektorji definirani kot:

$$\mathbf{i} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{j} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{k} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

Ti vektorji določajo smeri osi  $X$ ,  $Y$  in  $Z$ .

**Rotacija poljubnega vektorja:** je izvedena tako, da vektor pomnožimo z rotacijsko matriko  $\mathbf{R}$ . Na primer, naj bo v poljuben vektor v prostoru. Rotacija vektorja je linearна preslikava, opisana z rotacijsko matriko  $\mathbf{R}$ :

$$\mathbf{v}' = \mathbf{R} \mathbf{v}$$

Rotacija ohranja dolžine vektorjev in kote med njimi. Na primer, rotacijske matrike okoli koordinatnih osi  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  za kot  $\alpha$  lahko zapišemo kot:

$$\mathbf{R}_X(\alpha) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & -\sin \alpha \\ 0 & \sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix} \quad \mathbf{R}_Y(\alpha) = \begin{bmatrix} \cos \alpha & 0 & \sin \alpha \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \alpha & 0 & \cos \alpha \end{bmatrix} \quad \mathbf{R}_Z(\alpha) = \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 \\ \sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Če izvedemo več zaporednih rotacij, je skupna rotacija dana s produktom posameznih rotacijskih matrik. Primer (najprej rotacija okoli osi  $Z$  in nato okoli osi  $X$ ):

$$\mathbf{R} = \mathbf{R}_X(\beta) \mathbf{R}_Z(\alpha) \quad (3.2)$$

Vrstni red v en. 3.2 je bistven: rotacije **niso komutativne**. Za rotacijske matrike velja:  $\mathbf{R}^{-1} = \mathbf{R}^T$ .

Takšne transformacije so temelj vizualizacije, primerjave med različnimi projekcijami in zagotavljanja natančnih dimenzij v tehničnih risbah, pri čemer se v praksi pogosto izvedejo kot nabor postopkov znotraj enega ali več referenčnih okvirjev.

### Vsebina sklopa

Ta učni sklop vsebuje naslednje učne enote:

- 2.1 Principi prve in tretje kotne projekcije**

Pregled osnovnih pristopov k projekciji predmetov in razlik med evropskim in ameriškim sistemom.

- 2.2 Pravokotne projekcije (večpogledne risbe)**

Prikaz osnovnih pravil pri ustvarjanju večpoglednih risb (zgornji, čelni, stranski pogled).

- 2.3 Aksonometrične projekcije (izometrična projekcija)**

Teoretična podlaga in uporaba izometrične projekcije za prikaz kompleksnih oblik.

Vsaka enota vsebuje ločen teoretični del s primeri ter praktične vaje z nalogami in izzivi.

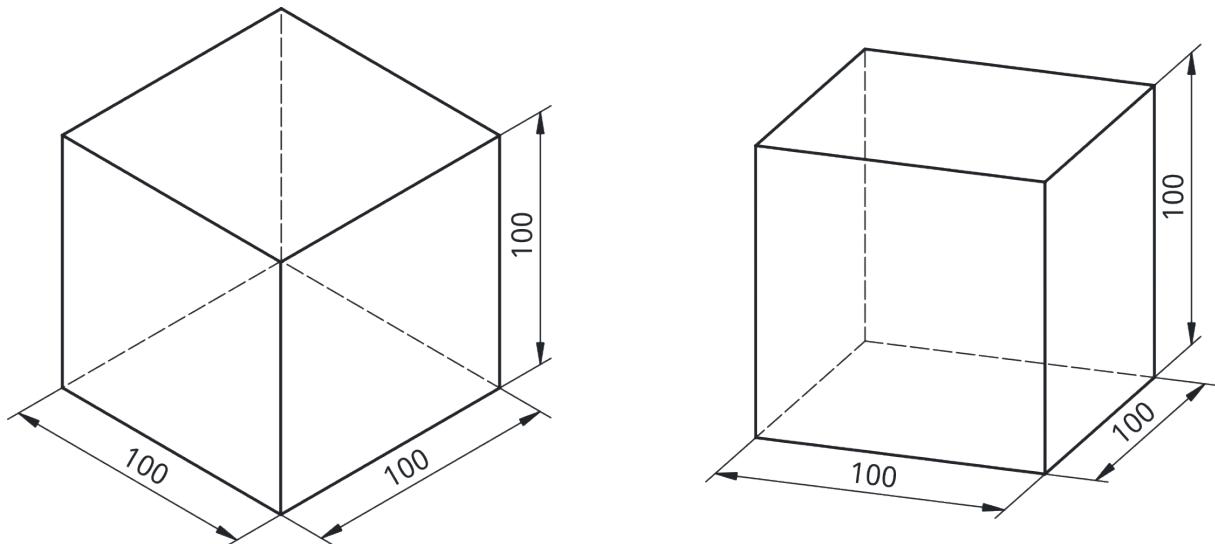
## 3.1 Aksonometrične projekcije

Aksonometrična projekcija je metoda tehnične risbe, ki omogoča prikaz tridimenzionalnih objektov na dvodimenzionalni ravni, pri čemer se ohrani razmerje med dimenzijami v vseh treh prostornih oseh ( $x$ ,  $y$  in  $z$ ). Ta projekcija se uporablja v tehnični dokumentaciji in inženiringu bolj redko. Pogosteje je uporabljena za širšo javnost, ki niso večšči večpoglednih projekcij. Aksonometrična projekcija omogoča

jasen in natančen vpogled v obliko in strukturo objekta. Aksonometrične risbe so še posebej uporabne pri predstavi kompleksnih elementov, saj omogočajo hkrati prikaz prednje, stranske in zgornje perspektive, kar olajša predsavo objekta.

Med najbolj pogosto uporabljenimi oblikami aksonometrične projekcije sta izometrična in dimetrična projekcija. V nadaljevanju bomo podrobnejše raziskali izometrično projekcijo, ki je specifična vrsta aksonometrične risbe, ter njene značilnosti in prednosti pri tehničnem risanju.

Izometrična projekcija je posebna oblika aksonometrične projekcije, kjer so tri glavne osi objekta prikazane pod enakimi koti ( $120^\circ$  med seboj) in brez perspektive. Uporablja se za bolj intuitiven prikaz 3D oblik. Od vseh aksonometričnih projekcij se le-ta največkrat uporablja. Pri predmetih, katerih se prednji in zadnji robovi prekrivajo (npr. pri kocki, 4-strana piramida) lahko uporabimo dimetrično projekcijo, kot na sl. 3.2. Čeprav se le-ta praviloma uporablja ko želimo večji poudarek dati eni ploskvi predmeta.



**Slika 3.2:** Primer kocke v izometrični in dimetrični projekciji.

### 3.1.1 Izometrična projekcija

**Izometrična projekcija** je vrsta **pravokotne aksonometrične projekcije**, pri kateri je mogoče z istim merilom (isto metriko) meriti dolžine vzdolž osi **X**, **Y** in **Z**. Na primer, da želimo na ravni  $\Pi_{XZ}$  projecirati osnovne enotske vektorje:

$$\mathbf{i} = [1, 0, 0]^T, \mathbf{j} = [0, 1, 0]^T, \mathbf{k} = [0, 0, 1]^T.$$

V trenutni orientaciji bi njihove projekcije na ravnino  $\Pi_{XZ}$  lahko izračunali s produktom z matriko  $\mathbf{P}_{XZ}$ :

$$\mathbf{P}_{XZ} = \begin{bmatrix} 1, 0, 0 \\ 0, 0, 0 \\ 0, 0, 1 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{i}' = \mathbf{P}_{XZ}\mathbf{i} = \mathbf{i}, \\ \mathbf{j}' = \mathbf{P}_{XZ}\mathbf{j} = 0, \\ \mathbf{k}' = \mathbf{P}_{XZ}\mathbf{k} = \mathbf{k}$$

Ugotovimo lahko, da v tem primeru njihove dolžine niso enake ( $\|\mathbf{i}'\| = \|\mathbf{k}'\| = 1; \|\mathbf{j}'\| = 0$ ) in da jih moramo pravilno zarotirati. Rešitev je seveda več, izberemo lahko, rotacijo okoli  $z$  osi za kot  $\alpha$  in rotacija po  $y$  osi za kot  $\beta$ :

$$\mathbf{R} = \mathbf{R}_X(\beta) \cdot \mathbf{R}_Z(\alpha) = \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 \\ \cos \beta \cdot \sin \alpha & \cos \beta \cdot \cos \alpha & -\sin \beta \\ \sin \beta \cdot \sin \alpha & \sin \beta \cdot \cos \alpha & \cos \beta \end{bmatrix}$$

in dobimo rotacijsko matriko  $\mathbf{R}_{XZ}$ . Ko tej matriki dodamo še projekcijo na ravnino  $\Pi_{XZ}$ , dobimo končno transformacijsko matriko  $\mathbf{T}$ :

$$\mathbf{T} = \mathbf{P}_{XZ} \cdot \mathbf{R}_{XZ} = \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ \sin \beta \cdot \sin \alpha & \sin \beta \cdot \cos \alpha & \cos \beta \end{bmatrix}.$$

Če upostevamo pogoj za **izometrično projekcijo**:

$$\|\mathbf{i}'\| = \|\mathbf{j}'\| = \|\mathbf{k}'\|,$$

dobimo rezultat transformacijske matrike in s tem tudi kotov  $\alpha$  in  $\beta$ :

$$\mathbf{T} = \begin{bmatrix} \frac{\sqrt{2}}{2} & -\frac{\sqrt{2}}{2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ -\frac{1}{\sqrt{6}} & -\frac{1}{\sqrt{6}} & \sqrt{\frac{2}{3}} \end{bmatrix}; \quad \alpha = 45^\circ; \quad \beta = -35.25^\circ.$$

### 3.1.2 Rotacija predmeta v FreeCAD

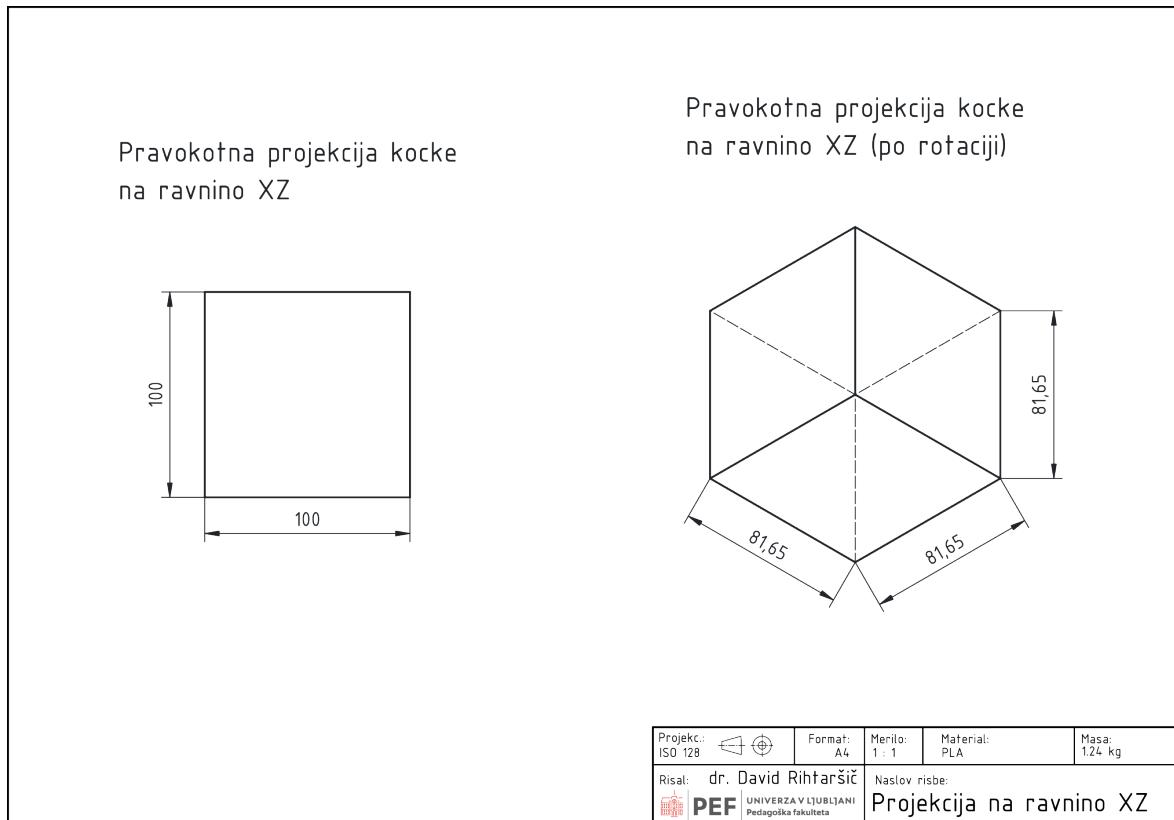
se lahko na osnovni ravni izvede neposredno prek grafičnega uporabniškega vmesnika: predmet najprej označimo v drevesu (Tree View), nato nanj kliknemo z desnim miškinim gumbom in med ponujenimi možnostmi izberemo orodje *Transform*. S tem dobimo interaktivno orodje, ki omogoča rotacijo predmeta okoli posameznih osi ter vizualno prilagajanje njegove orientacije v prostoru. Poleg tega pa lahko rotacijo predmeta izvedemo tudi na bolj matematičen in formaliziran način, in sicer z uporabo rotacijskih matrik preko [Python](#) programske kode, kjer je orientacija predmeta opisana eksplizitno z matematičnimi transformacijami:

```

1 import math
2
3 obj = FreeCAD.ActiveDocument.getObject("Body")
4
5 a = math.radians(45)                                # rotacija okoli Z
6 b = -math.acos(math.sqrt(2/3))                    # rotacija okoli X
7
8 Rz = FreeCAD.Matrix(
9     math.cos(a), -math.sin(a), 0, 0,
10    math.sin(a), math.cos(a), 0, 0,
11    0, 0, 1, 0,
12    0, 0, 0, 1
13 )
14
15 Rx = FreeCAD.Matrix(
16    1, 0, 0, 0,
17    0, math.cos(b), -math.sin(b), 0,
18    0, math.sin(b), math.cos(b), 0,
19    0, 0, 0, 1
20 )
21
22 obj.Placement.Rotation = FreeCAD.Rotation(Rx.multiply(Rz))
23 FreeCAD.ActiveDocument.recompute()

```

Po tej rotaciji dobimo sliko, ki jo prikazuje sl. 3.3.



**Slika 3.3:** Pravokotna projekcija kocke na ravnino XZ pred in po rotaciji.

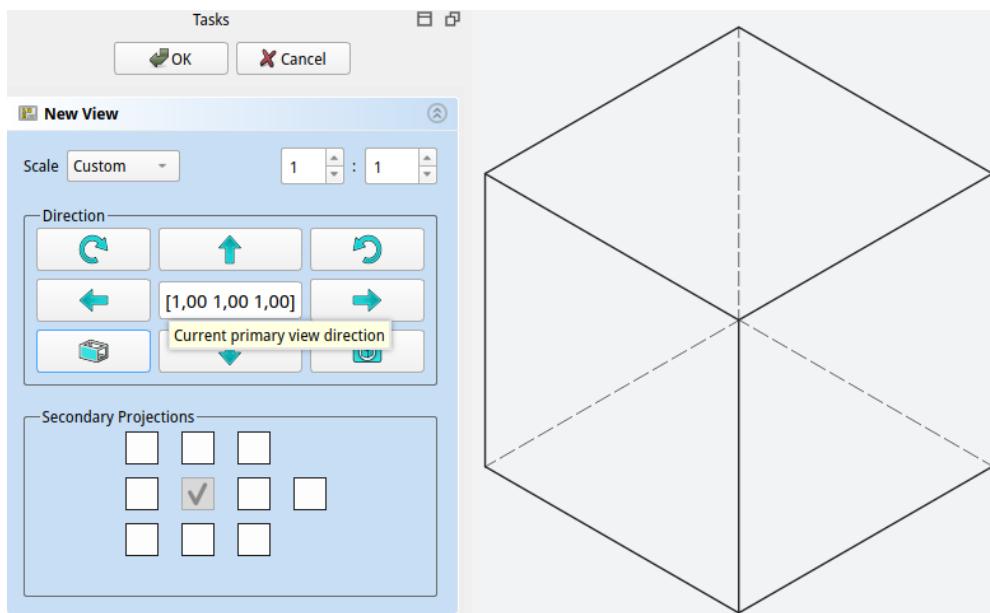
Rotacija predmeta je v praksi lahko nepriročna, kadar želimo predmet prikazati v izometrični projekciji, saj spreminja njegovo dejansko orientacijo v prostoru. V takih primerih je bolj smiselno ohraniti predmet v izhodiščnem položaju in namesto tega obravnavati rotacijo projekcijske ravnine, kar omogoča enakovreden matematični opis izometričnega prikaza. Ta pristop je podrobneje razložen v nadaljevanju.

### 3.1.2.1 Rotacija projekcijske ravnine

je alternativna interpretacija te iste projekcijske situacije. Le da v tem primeru ne rotiramo samega predmeta, pač pa rotiramo projekcijsko ravnino. Torej zanima nas kam moramo premakniti projekcijsko ravnino  $\Pi_{iso}$  z normalnim vektorjem  $\mathbf{n}$ , da dobimo enak rezultat kot v prejšnji situaciji? Ker je rotacija linearnej transformacij, lahko prejšnji normalni vektor  $\mathbf{n}_y$  projekcijske ravnine  $\Pi_{XZ}$  rotiramo z inverzno matriko  $\mathbf{R}^{-1}$ :

$$n = \mathbf{R}^{-1} e_y = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} \approx \begin{bmatrix} 0.5774 \\ 0.5774 \\ 0.5774 \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

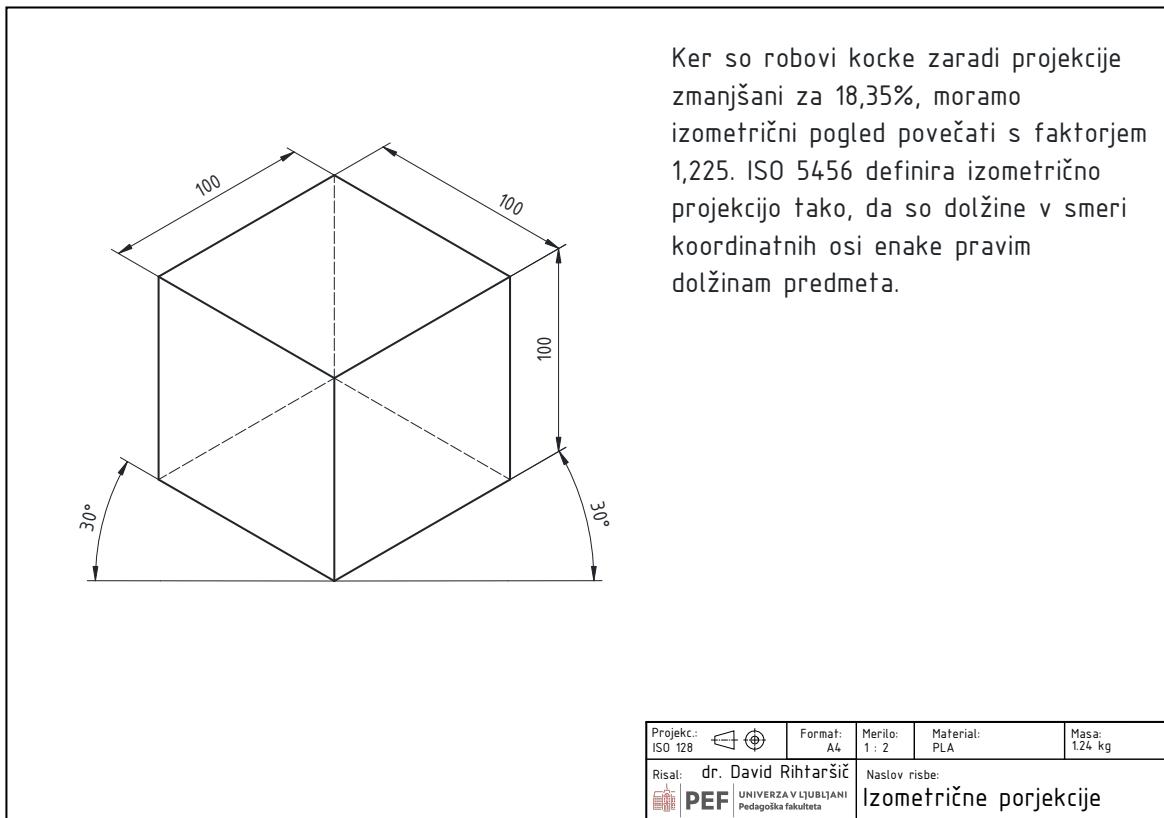
Ker normalni vektor  $\mathbf{n}$  definira smer projicirnih žarkov in smer pogleda na predmet, je ta točka pogosto imenovana kot (angl.) **Point-Of-View**. V programu FreeCAD se ta smer pogleda določi pri vstavljanju novega pogleda (*New View*) na risalni list, kjer v *Task panelu* v sredinski celici nastavimo smer pogleda z vektorjem, na primer  $(1, 1, 1)$ , kot je prikazano na sl. 3.4.



**Slika 3.4:** Nastavitev smeri pogleda za izometrično projekcijo.

### 3.1.2.2 Prikaz izometrične projekcije

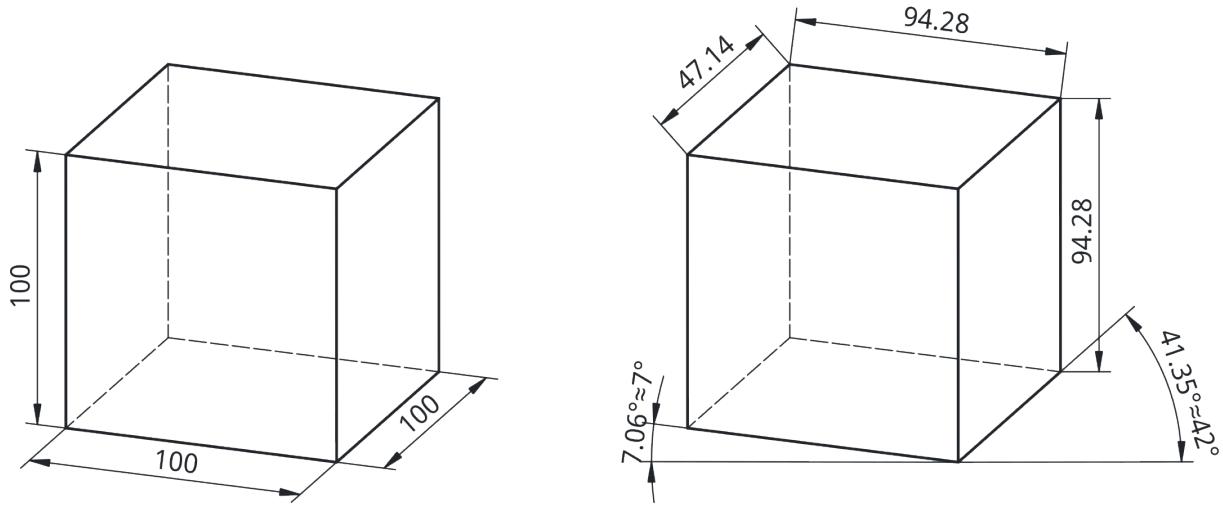
temelji na značilni orientaciji objekta, pri kateri so robovi, vzporedni z osmi  $X$ ,  $Y$  in  $Z$ , enakovredno nagnjeni glede na ravno risbo. Pri izometričnem prikazu kocke je kot med vodoravnico in spodnjima robovoma kocke na levi in desni strani enak  $30^\circ$ , kar ustrezja projekcijama osi  $X$  in  $Y$ . V skladu s standardom ISO 5456 je izometrična projekcija definirana tako, da se robovi telesa rišejo v merilu  $1 : 1$  glede na njihovo pravo dolžino. Ker pa je pri izometrični projekciji dejanska projekcija telesa krašja od realnih robov – in sicer približno za  $18,35\%$  – je za pravilen prikaz potrebno projekcijo ustreznno povečati. To dosežemo v nastavitevah pogleda v zavihku *Data*, kjer parameter *Scale* nastavimo na vrednost približno  $1,23$ .



**Slika 3.5:** Izometrična projekcija kocke.

### 3.1.3 Dimetrična projekcija

Dimetrična projekcija je namenjena poudarjanju ene izmed ploskev predmeta, medtem ko drugi dve ploski ostaneta nekoliko zapostavljeni. Takšen prikaz je značilen za predmete, pri katerih se večina pomembnih konstrukcijskih ali funkcionalnih elementov nahaja na eni strani, zato je smiselno, da je ta ploskev predmeta v projekciji bolj izrazita.

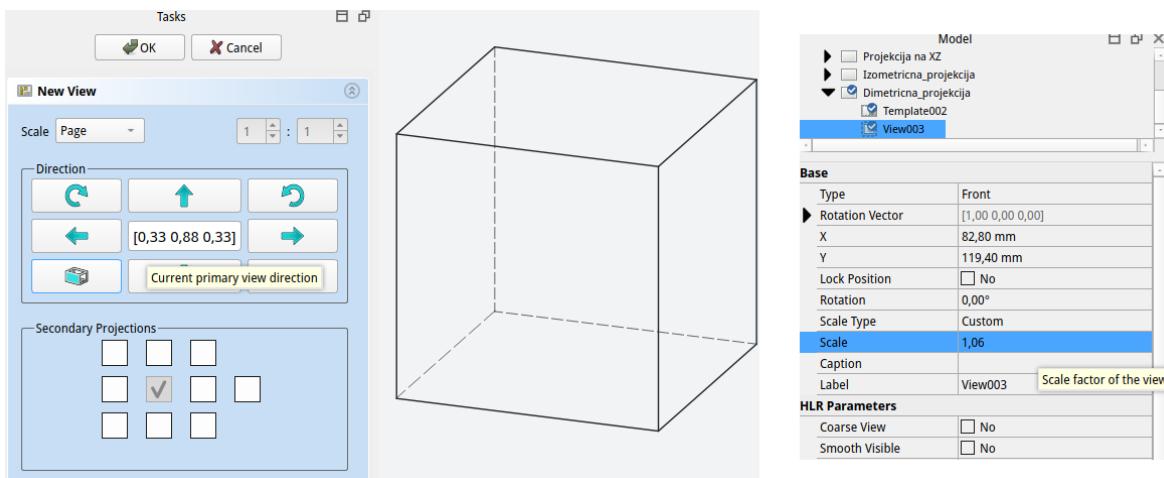


**Slika 3.6:** Dimetrična projekcija kocke. Na levi stani je kotirana dejanska dolžina robov, na desni pa dejanska dolžina projekcije teh robov.

Postopek za konstrukcijo dimetrične projekcije je podoben postopku pri izometrični projekciji, zato ga na tem mestu ne bomo ponovno podrobno obravnavali. Ključni pogoj dimetrične projekcije je izbira takšne orientacije predmeta, pri kateri sta dva robova kocke projicirana v enakem merilu, tretji rob pa je polovico krajši. Rešitev tega problema ponovno vodi do zaporedja dveh zasukov: najprej zasuka  $\alpha$  okoli osi  $Z$  za  $20,74^\circ$ , nato pa zasuka  $\beta$  okoli osi  $X$  za  $19,47^\circ$ . Z uporabo inverzne rotacije lahko iz te orientacije izračunamo normalni vektor projekcijske ravnine, ki je podan z izrazom:

$$\mathbf{n} = \begin{bmatrix} \sqrt{\frac{1}{9}} \\ \sqrt{\frac{7}{9}} \\ \sqrt{\frac{1}{9}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{3} \\ \sqrt{\frac{7}{9}} \\ \frac{1}{3} \end{bmatrix} \approx \begin{bmatrix} 0,3333 \\ 0,8819 \\ 0,3333 \end{bmatrix}.$$

Tudi v primeru dimetrične projekcije standard ISO 5456 določa, da moramo robove kocke risati v merilu  $1 : 1 : 0,5$ . Na primer, rob kocke, ki je v resnici dolg 100 mm (kot je prikazano na sl. 3.6), je v projekciji prikazan kot 94.28 mm. Podobno je projekcija roba v smeri x, ki bi moral meriti 50 mm, prikazana z dolžino 47.14 mm. Ker je zaradi same projekcije dejanska dolžina projiciranih robov nekoliko manjša od predpisanih vrednosti, je za skladnost s standardom potrebno projekcijo ustrezno povečati. V tem primeru to dosežemo tako, da celotno projekcijo pomnožimo s faktorjem 1,0606, s čimer zagotovimo, da dimetrični prikaz ustreza definiciji iz standarda ISO 5456.

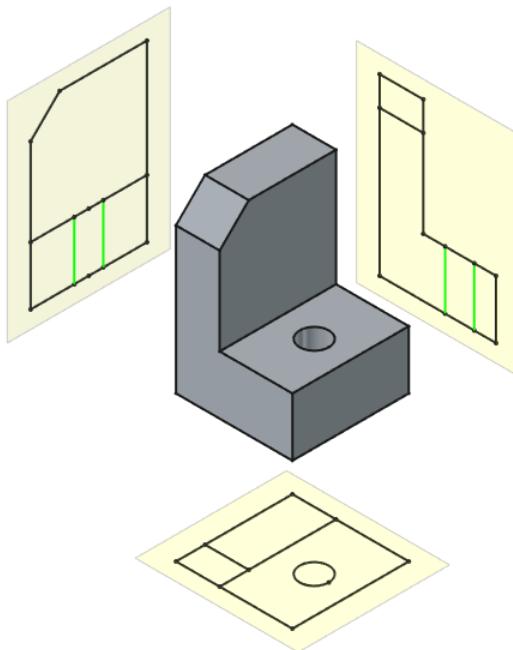


**Slika 3.7:** Nastavitev smeri pogleda za dimetrično projekcijo in koeficient povečave zaradi uskladitve dimenzijs s standardom.

## 3.2 Večpogledne projekcije

Večpogledne projekcije so osnovni način grafičnega prikaza tridimenzionalnih predmetov v tehnični dokumentaciji. Temeljijo na pravokotni projekciji predmeta na več med seboj pravokotnih projekcijskih ravnin. Namen večpogledne projekcije je podati natančen, enoznačen in nedvoumen opis oblike predmeta, brez perspektivnih popačenj, tako da je predmet mogoče izdelati, preveriti in kontrolirati.

V praksi večpogledna projekcija predstavlja povezavo med prostorskim razumevanjem oblike in dvodimensionalno tehniško risbo.



**Slika 3.8:** Projekcija 3D modela po principu prve kotne projkcije.

Večpogledne projekcije temeljijo na projicirjanju predmeta na več pravokotnih projekcijskih ravnin. Najosnovnejše so kar osnovne ravnine koordinatnega sistema  $XZ$ ,  $YZ$  in  $XY$ . Pogosto jih poimenujemo :

- narisna ravnina ali pogled od spredaj,
- tlorisna ravnina ali pogled od zgoraj in
- stranski ris ali pogled z leve.

Pri teoretični obravnavi si te ravnine predstavljamo kot ravnine, ki obdajajo predmet. Z vrtenjem projekcijskih ravnin v skupno ravnino risanja dobimo razporeditev posameznih pogledov na tehnični risbi.

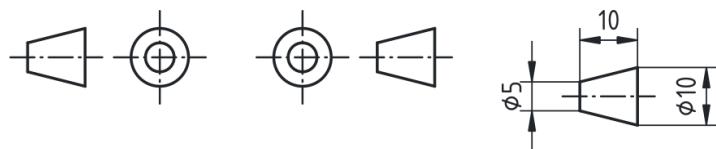
Čeprav je ta postopek izvorno del opisne geometrije, je njegovo razumevanje pomembno za pravilno branje in izdelavo večpoglednih risb.

### 3.2.1 Prva in tretja kotna projekcija

V tehničnem risanju poznamo dva osnovna sistema pravokotnega večpoglednega projiciranja:

- **prvo kotno projekcijo (projekcijska metoda 1)** in
- **tretjo kotno projekcijo (projekcijska metoda 3).**

Za njuno predstavitev se običajno uporablja dva standardizirana grafična simbola. Levo na sl. 3.9 je predstavljen simbol za prvo kotno projekcijo in na sredini za tretjo, kar bralcu jasno nakaže načrtovane razporeditve pogledov. Simbol je določen v standardu ISO5456 z dimenzijskimi, ki so prikazane na sl. 3.9 desno.



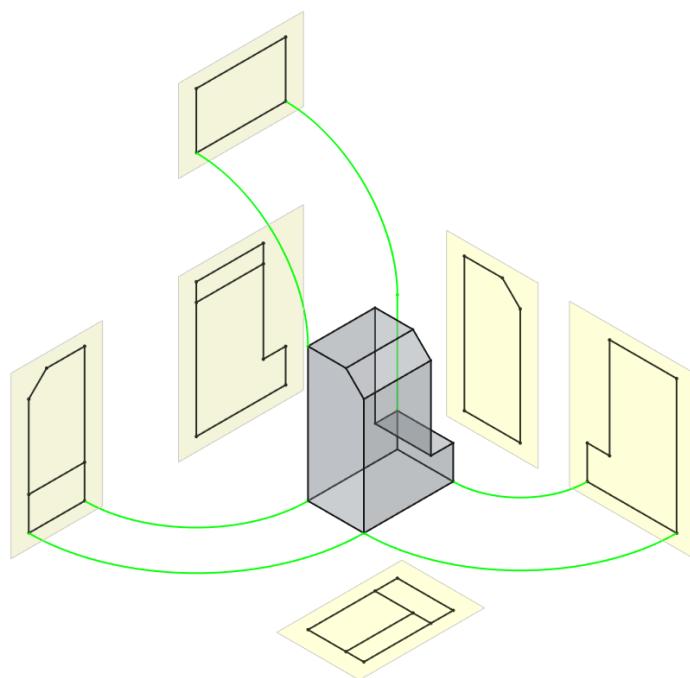
**Slika 3.9:** Simbola za prvo kotno projekcijo (levo) in za tretjo kotno projekcijo (na sredini) z dimenzijskimi (desno).

Razlika med obema metodama večpoglednih projekcij ni v samem predmetu, temveč v medsebojni legi opazovalca, predmeta in projekcijske ravnine: pri prvi kotni projekciji je predmet med projekcijsko ravnino in opazovalcem, zato se projekcije razvrstijo na način, ki odraža ta pristop, medtem ko v tretji kotni projekciji predmet leži za projekcijsko ravnino in se projekcije razporejajo nasprotno, kar omogoča intuitivno razumevanje in skladnost meril med različnimi pogledi.

### 3.2.1.1 Prva kotna projekcija

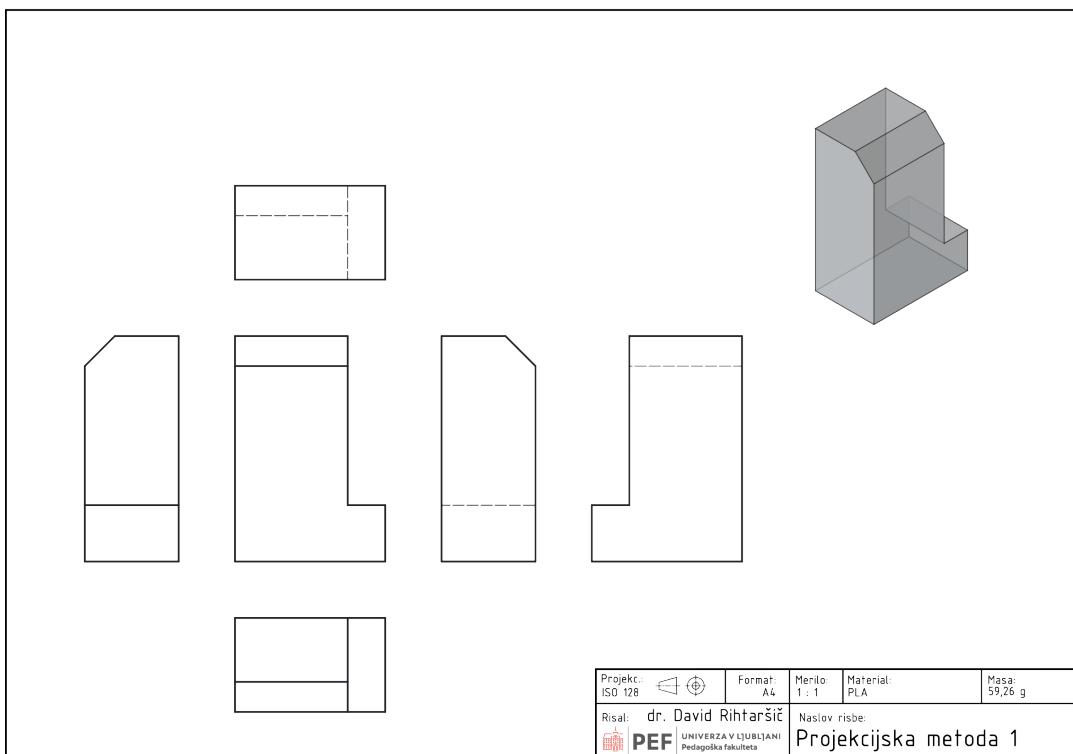
Pri prvi kotni projekciji leži predmet **med opazovalcem in projekcijsko ravnino**. Projekcijski žarki potekajo pravokotno na projekcijsko ravnino, pogled pa nastane na ravnini, ki se nahaja za predmetom.

Značilnost tega sistema je, da se pogledi na risbi pojavijo **na nasprotni strani glede na dejanski položaj pogleda v prostoru**. Tako je na primer tloris narisan pod narisom, desni stranski ris pa levo od narisa.



**Slika 3.10:** Razvoj projekcijskih ravnin v večpogledne projekcije po metodi 1.

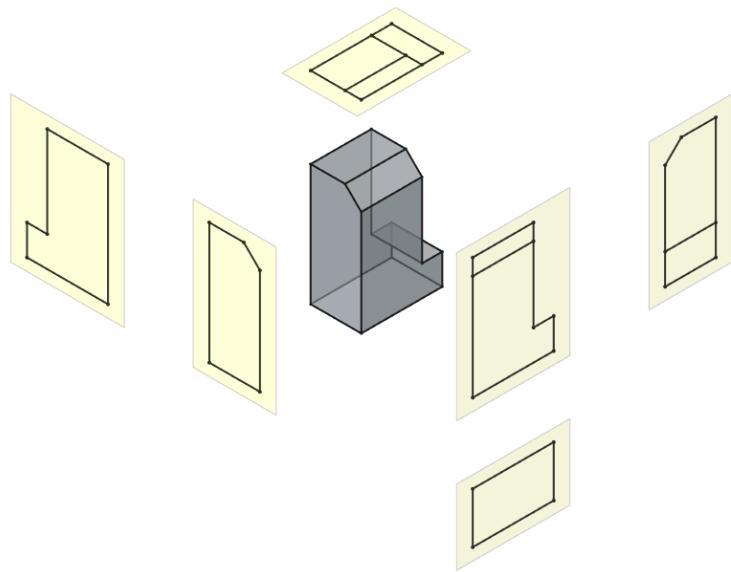
Prva kotna projekcija je standardizirana v Evropi in Sloveniji ter se uporablja v skladu z ISO standardi. Iz tega razloga je v nadaljevanju obravnavane poudarek predvsem na tem projekcijskem sistemu.



**Slika 3.11:** Projekcijska metoda 1.

### 3.2.1.2 Tretja kotna projekcija

Pri tretji kotni projekciji leži projekcijska ravnina **med opazovalcem in predmetom**. Pogledi se na risbi razporedijo na isti strani, kot jih opazujemo v prostoru.



**Slika 3.12:** Razvoj večpoglednih projekcij po metodi 3.

Ta sistem se uporablja predvsem v ZDA in nekaterih drugih neevropskih okoljih. V evropski tehniški dokumentaciji se praviloma ne uporablja, vendar ga je pomembno prepozнатi pri branju tujih risb.

Na tehnični risbi mora biti izbrani projekcijski sistem vedno jasno označen s standardiziranim simbolom.

### 3.2.2 Osnovni pogledi v večpogledni projekciji

V praksi večino tehničnih predmetov opišemo s tremi osnovnimi pogledi:

- **naris** (pogled od spredaj),
- **tloris** (pogled od zgoraj),
- **stranski ris** (pogled z leve ali desne strani).

Ostali pogledi (pogled od spodaj, od zadaj) se uporabljajo le pri zahtevnejših predmetih, kadar osnovni pogledi ne zadostujejo za enoznačen opis oblike.

#### 3.2.2.1 Naris

Naris je glavni in najpomembnejši pogled. Praviloma ga izberemo tako, da:

- najbolje prikaže obliko predmeta,
- vsebuje največ funkcionalno pomembnih elementov,

- omogoča pregledno in smiselno kotiranje.

Izbira narisa bistveno vpliva na berljivost celotne tehniške risbe.

### **3.2.2.2 Tloris**

Tloris prikazuje predmet gledan od zgoraj. Uporablja se za prikaz globine, razporeditve odprtin, lukenj in drugih elementov, ki v narisu niso razvidni.

Tloris je vedno usklajen z narisom, kar pomeni, da so ustrezne mere in oblike poravnane.

### **3.2.2.3 Stranski ris**

Stranski ris dopolnjuje naris in tloris ter omogoča popoln prostorski opis predmeta. Najpogosteje se uporablja levi ali desni stranski ris, odvisno od preglednosti oblike.

### **3.2.3 Medsebojna skladnost pogledov**

Osnovno pravilo večpogledne projekcije je, da so vsi pogledi:

- med seboj geometrijsko povezani,
- poravnani glede na skupne robove in osi,
- dimenzijsko skladni.

Vsak element, prikazan v enem pogledu, mora imeti svoj logični in prostorsko skladen odraz tudi v ostalih pogledih.

Večpogledne projekcije tako ne predstavljajo treh ločenih risb, temveč enoten, povezan sistem prikazov istega predmeta.

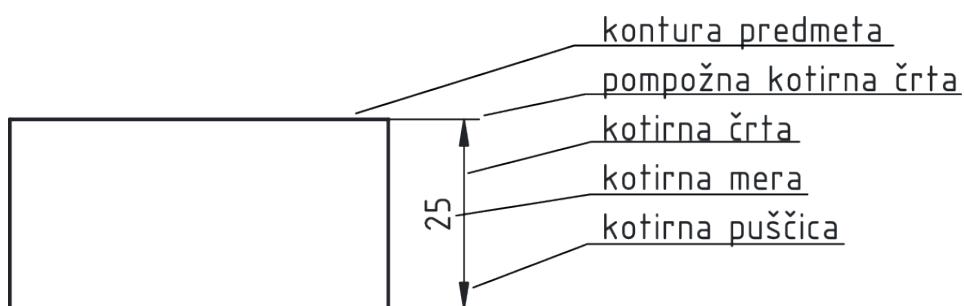


## 4 PREDSTAVITEV TELES

Kotiranje je postopek vpisovanja kot oziroma mer na tehniško risbo, s katerim natančno določimo velikost, lego in medsebojna razmerja posameznih elementov predmeta. Kotiranje je ključen del tehniške dokumentacije, saj povezuje geometrijski prikaz oblike s podatki, potrebnimi za izdelavo, montažo in kontrolo izdelka.

Osnovno pravilo kotiranja je, da morajo biti vse mere podane **nedvojumno, pregledno in funkcionalno smiselno**, pri čemer vsako mero na risbi praviloma zapišemo le enkrat. Osnovni elementi kotiranja so prikazani na sl. 4.1.

### Elementi kotiranja



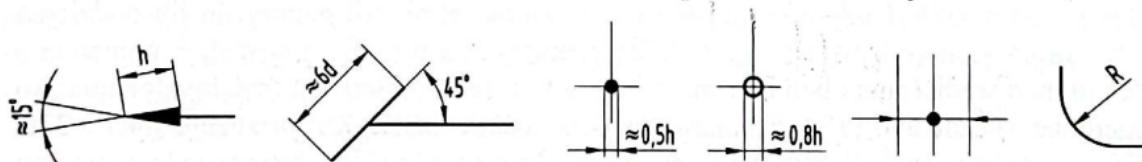
**Slika 4.1:** Osnovni elemneti kotiranja.

- **Kontura predmeta:** Kontura predmeta predstavlja vidni obris telesa v posameznem pogledu tehniške risbe. Sestavljena je iz zunanjih in notranjih robov, ki so v danem pogledu vidni, in je narisana s polno debelo črto. Kontura določa geometrijsko obliko predmeta in je osnovni nosilec informacij o obliki. Vsi ostali elementi risbe – kotirne črte, pomožne črte, osi in označe – se morajo konturi jasno podrejati. Pri kotiranju velja več pomembnih pravil:

- kontura predmeta se ne sme nadomeščati s kotirnimi ali pomožnimi črtami,
- pomožne kotirne črte ne smejo sovpadati s konturo,
- kontura mora ostati neprekinjena in jasno razpoznavna tudi pri gosto kotiranih risbah.

Razlikovati je treba med konturo in skritimi robovi. Skriti robovi niso del vidne konture in se rišejo s črtkano črto.

- **Pomožna kotirna črta:** Pomožna kotirna črta je tanka polna črta, ki izhaja iz roba predmeta ali iz osi simetrije ter omejuje območje, na katerega se nanaša kotirna mera. Pomožne kotirne črte praviloma potekajo pravokotno na kotirno črto in jo nekoliko presežejo (2 mm). Njihova vloga je jasno določiti, **med katerima točkama ali robovoma** se meri razdalja. Pomožne kotirne črte naj se ne sekajo z robovi predmeta in ne smejo biti del konture telesa.
- **Kotirna črta:** Kotirna črta je tanka polna črta, ki poteka vzporedno z merjeno razdaljo. Nameščena je med pomožnima kotirnima črtama in predstavlja nosilko kotirne mere. Razdalja kotirne črte od obrisa predmeta mora biti dovolj velika, da je risba pregledna (vsaj 10 mm). Pri več vzporednih kotirnih črtah morajo biti razmiki med njimi enakomerni (7 mm).
- **Omejitve kotirne črte:** Kotirna črta je na obeh koncih omejena z oznakami, najpogosteje v obliki **puščic**. Puščice označujejo začetek in konec merjene razdalje. Velikost in oblika puščic morata biti enotni na celotni risbi. Dolžina puščic je enaka kot višina kotirne mere (za A4 je priporočena višina 3,5 mm). Puščice se ne smejo prekrivati z robovi predmeta. V posebnih primerih, kadar ni dovolj prostora, se lahko uporabijo druge oblike omejitev (glej sl. 4.2), vendar mora biti pomen vedno jasan in nedvoumen.

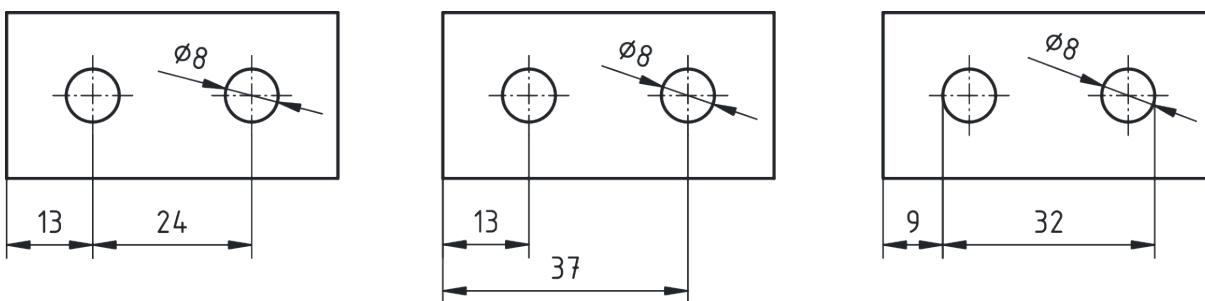


**Slika 4.2:** Omejitve kotirne črte (vir: Predil, 2011).

- **Kotirna mera:** Kotirna mera je številčna vrednost dimenzijske zapisane nad ali na kotirni črti. V tehničnih risbah so mere praviloma podane v milimetrih, brez navedbe enote. Višina pisave mora biti prilagojena formatu risbe in merilu. Kotirne številke so orientirane tako, da jih lahko beremo iz spodnjega ali desnega roba risbe. Njihova lega mora zagotavljati dobro berljivost in ne sme povzročati zmede pri interpretaciji risbe.

## 4.1 Kotiranje

Kotiranje ni zgolj tehnični dodatek k risbi, temveč ključen informacijski sloj tehniške dokumentacije. Kotiranje mora biti vedno prilagojeno namenu risbe, tehnologiji izdelave in zahtevani funkcionalnosti izdelka. Pravilno izbrani način kotiranja bistveno zmanjša možnost napak pri izdelavi in uporabi tehničnega izdelka. Osnovni trije načini kotiranja glede na namen uporabe mer so prikazani na sl. 4.3:



**Slika 4.3:** Koriranje glede na namembnost uporabe mer: funkcija (levo), izdelava (sredina) in preverjanje (desno).

### Funkcija oblike:

Funkcionalne mere določajo tiste dimenzijske vrednosti, ki neposredno vplivajo na delovanje izdelka. To so na primer razdalje med središči luknj, naležne površine ali vodilni elementi. Te mere imajo pogosto predpisane tolerance in so bistvene za pravilno delovanje sklopa.

### Izdelava:

Izdelovalne mere so prilagojene tehnološkemu postopku. Nanašajo se na obdelovalne površine, izhodiščne ravnine in zaporedje obdelave. Pri teh merah je pomembno, da omogočajo enostavno in ponovljivo izdelavo.

### Preverjanje:

Kontrolne mere so namenjene preverjanju izdelka po izdelavi. Omogočajo meritve na končnem izdelku in zagotavljajo, da izdelek ustreza predpisanim zahtevam. Pogosto so povezane s funkcionalnimi zahtevami.

## 4.1.1 Načini kotiranja

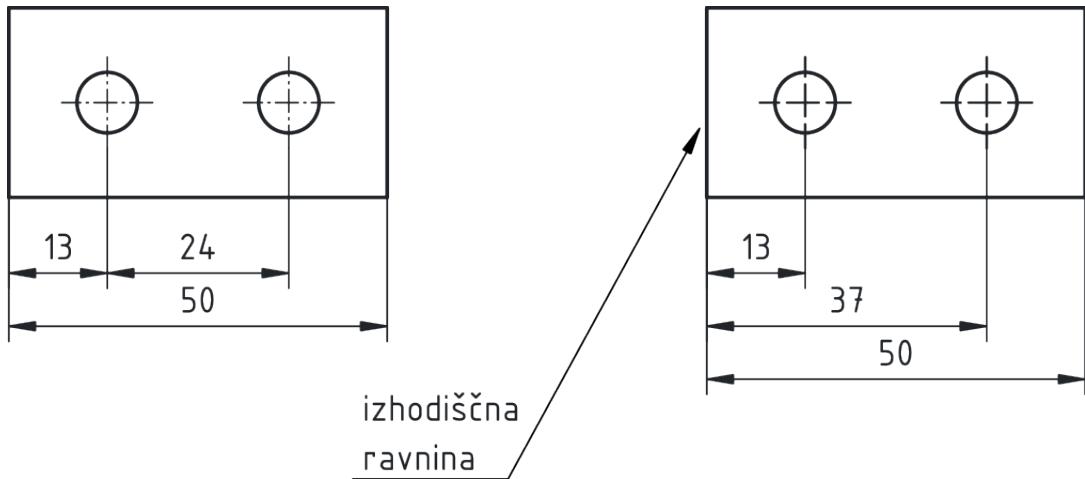
### Zaporedno kotiranje:

Pri zaporednem kotiraju si kotirne mere sledijo ena za drugo. Vsaka mera se nanaša na prejšnjo. Ta način kotiranja podarja **medsebojne relacije posameznih elementov** (glej sl. 4.4), vendar lahko povzroči seštevanje toleranc. Zaporedno kotiranje se uporablja predvsem tam, kjer natančnost posameznih razdalj ni kritična ali kjer je pomembna predvsem relativna lega elementov.

### Vzporedno kotiranje:

Pri vzporednem kotiraju se vse mere nanašajo na **eno skupno izhodiščno ravno ali rob**. Ta način omogoča boljši nadzor nad tolerancami in je primeren za funkcionalno pomembne dimenzijske.

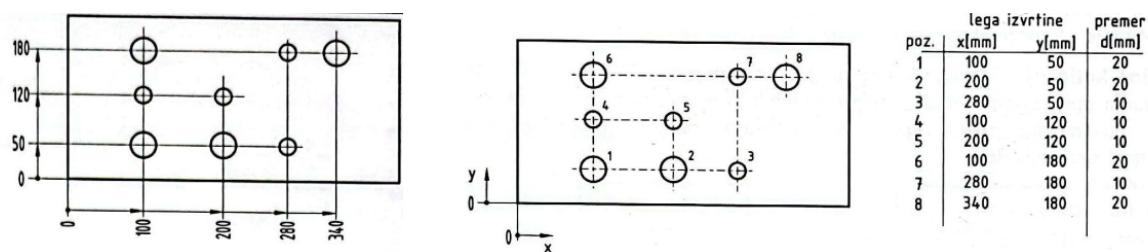
Vzporedno kotiranje je značilno za zahtevnejše strojne dele in je pogosto povezano z izdelovalnimi in kontrolnimi merami.



**Slika 4.4:** Primer zaporednega kotiranja, kjer je izpostavljena pomembnost relativne razdalje med izvrtinama (levo) in zaporednega kotiranja, kjer je izpostavljena pomembnost odmika luknje od referenčne izhodiščne površine (desno).

#### Poenostavljeni vzporedni kotirani:

Poenostavljeni vzporedni kotirani je posebna oblika vzporednega kotiranja (glej sl. 4.5), kjer so vse kotirne črte izpeljane iz skupnega izhodišča, pogosto označenega s simbolom izhodišča. Posamezne mere so zapisane ob pomožnih kotirnih črtah. Ta način izboljša preglednost risbe, zlasti pri večjem številu ponavljajočih se elementov.



**Slika 4.5:** Primer poenostavljenega kotiranja (levo) in kotiranja s koordinatami (vir: Predil, 2011).

#### Kotiranje s koordinatami:

Pri kotiranju s koordinatami so lege elementov podane s koordinatami glede na izhodiščni koordinatni sistem. Mere so pogosto zapisane v tabeli. Ta način kotiranja je posebej primeren za izdelke, ki se

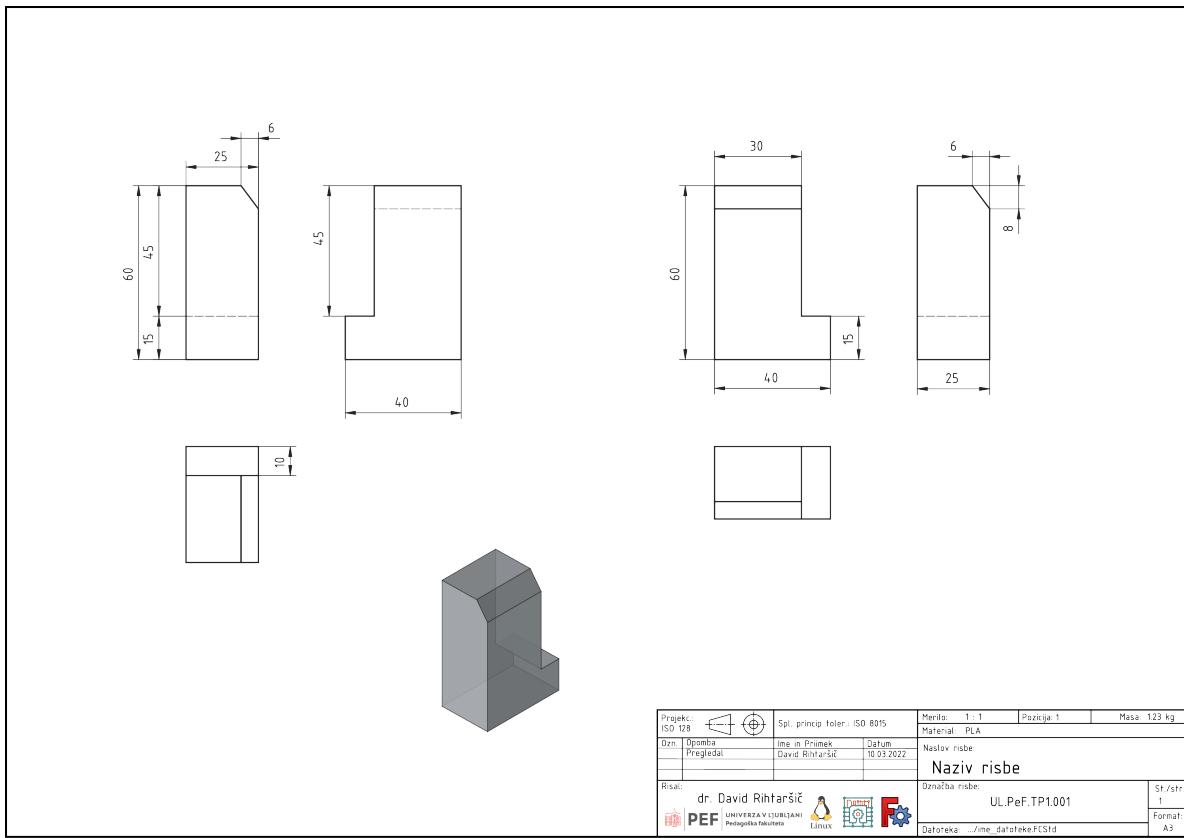
izdelujejo na numerično krmiljenih strojih, saj se neposredno povezuje z G-kodo in računalniško podprto izdelavo (glej sl. 4.5 - desno).

## 4.2 Kotiranje teles

V tem podoglavlju so predstavljena osnovna načela kotiranja, ki jih najprej obravnavamo na **preprostih prizmatičnih predmetih** in **predmetih z ravnimi ploskvami**. Poudarek kotiranja je na funkcionalnem pomenu mer, preglednosti risbe in pravilni organizaciji kotiranja v večpoglednih projekcijah.

### 4.2.1 Osnovna načela kotiranja

Kotiranje teles mora vedno slediti načelom preglednosti, funkcionalnosti in standardizacije. Pravilna izbira pogledov, organizacija mer in upoštevanje osnovnih pravil bistveno prispevajo k jasni in uporabni tehniški dokumentaciji. Prizmatična telesa (npr. kvader) imajo tri osnovne mere: **dolžino, širino in višino**. Osnovno pravilo je, da vsako od teh mer kotiramo **le enkrat**, in sicer v tistem pogledu, kjer je razvidna v pravi velikosti. Na sl. 4.6 (osnove kotiranja) je prikazano nekaj primerov nepravilnega kotiranja in predlog ene možne rešitve, v kateri upoštevamo prej omenjene smernice.



**Slika 4.6:** Napačno in pravilno kotiranje konture, gaberitnih mer in izrezov.

#### 4.2.1.1 Kontura

Kotiranje vedno izhaja iz **konture predmeta**, ki predstavlja vidni obris telesa v posameznem pogledu. Kontura mora ostati jasno razpoznavna in se ne sme nadomeščati s kotirnimi ali pomožnimi črtami. Predmet skušamo orientirati tako, da je v narisni ravnini kar največ vidnih funkcionalnosti in posledično največ kotirnih mer.

#### 4.2.1.2 Gabaritna mera

Gabaritne mere določajo **skupno zunanje dimenzijske** telesa (skrajne mere v vse tri smeri). Te mere so praviloma kotirane na **zunanjem obroblju prikazov**, saj so pomembne za vgradnjo, transport in splošno prostorsko umeščanje predmeta.

#### **4.2.1.3 Kotiranje izven kontur**

Kotirne črte postavljamo po možnosti **izven konture predmeta**, s čimer povečamo preglednost tehniške risbe. Le kadar za to ni dovolj prostora ali kadar bi bila risba manj pregledna, je dovoljeno kotiranje znotraj konture.

#### **4.2.1.4 Prosta mera in krog mer**

Pri zaporedju mer, ki tvorijo t. i. **krog mer**, mora biti ena mera vedno **prosta** (nekotirana). Ta mera je posredno določena z izračunom in ne sme biti funkcionalno pomembna, saj se pri njej seštevajo tolerance.

#### **4.2.1.5 Nesekanje kotirnih in pomožnih črt**

Kotirne črte se med seboj ne smejo sekati. Prav tako se je treba izogibati sekanju kotirnih črt s pomožnimi kotirnimi črtami, saj to zmanjšuje preglednost risbe. Če je mogoče, naj bodo razmiki med sosednjimi kotirnimi črtami enakomerni.

#### **4.2.1.6 Odmik kotirnih črt**

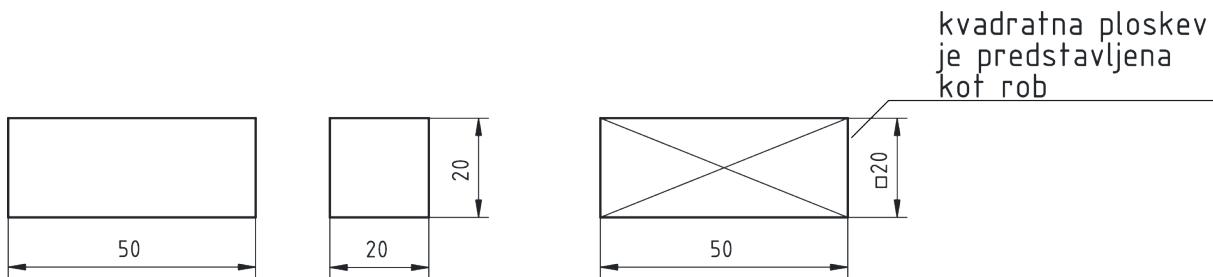
Prva kotirna črta naj bo odmaknjena od konture približno **10 mm**, vsaka naslednja pa dodatnih **7 mm**. Ta razporeditev zagotavlja jasno ločitev konture, pomožnih črt in kotirnih mer.

#### **4.2.1.7 Kotiranje vidnih robov**

Kotiramo **le vidne robe** predmeta. Nevidnih robov (črtkanih črt) praviloma ne kotiramo, saj to povzroča nejasnosti pri interpretaciji risbe. V primerih ko gre za kotne izreze raje kotiramo preostali material in ne izreza.

#### **4.2.1.8 Kvadratne ploskve**

Pri kvadratnih ploskvah, kjer sta dolžina in širina enaki, to enakost posebej označimo z **oznako za kvadrat**. Oznaka se zapiše pred mero in nadomesti podvajanje istih dimenzijs. V primeru na sl. 4.7 (desno) je prizma predstavljena z le enim pogledom. Tanki polni črti po diagonalah poudarjata, da gre za ravno površino in ne okroglico.



**Slika 4.7:** Kotiranje kvadratne ploskve.

#### 4.2.1.9 Ploščati izdelki z ravnimi površinami

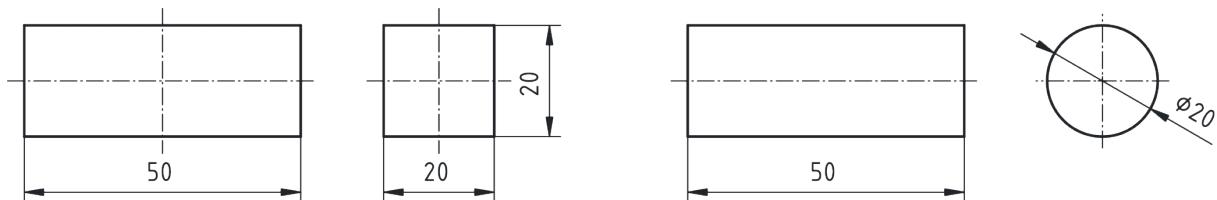
Ploščati izdelki (npr. pločevine, plošče) so telesa z eno izrazito manjšo mero – **debelino**. Debeline ploščatih izdelkov se praviloma kotira z ločeno mero, pogosto v stranskem pogledu ali prerezu, kjer je debelina jasno razvidna. S tem se izognemo nejasnostim in preobremenitvi glavnega pогleda.

#### 4.2.1.10 Simetrala in rotacijska os

Pri simetričnih predmetih uporabljamо **simetralo**, ki je označena s tanko črto tipa srednjice. Predmet je simetričen, kadar sta obe polovici glede na simetralo enaki. Navodilo o simetričnosti vpliva na način kotiranja in izdelave.

**Rotacijska os** pa se uporablja pri rotacijskih telesih (npr. valji, stožci). Tudi rotacijska os je označena s srednjico, vendar njen pomen ni enak simetrali: določa os vrtenja in je ključna za kotiranje premerov in radialnih elementov.

Razlikovanje med simetralo in rotacijsko osjo je pomembno za pravilno razumevanje oblike in izbiro ustreznega načina kotiranja.



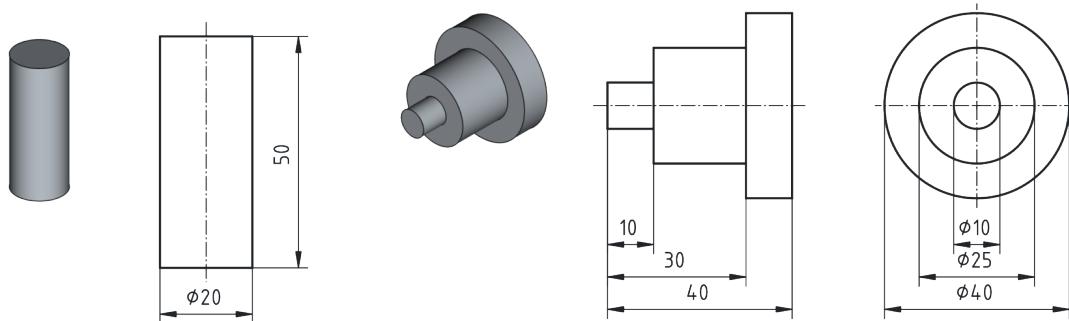
**Slika 4.8:** Uporaba srednjice kot simetrale pri prizmi (levo) oziroma kot rotacijska os pri valju (desno).

### 4.3 Kotiranje valjastih teles, premerov, radijev in kroglastih elementov

Rotacijska telesa so telesa, pri katerih je geometrija določena z vrtenjem profila okoli osi. Značilna lastnost takih teles je **rotacijska os**, ki ima v tehnični risbi vlogo simetrale. Os rišemo s tanko črta-pika črto in jo po potrebi uporabljamo tudi kot pomožno kotirno črto. Kotiranje rotacijskih teles vedno izhaja iz **osi ali simetrale**. Mere zapisujemo praviloma ob osi, saj to povečuje preglednost in zmanjšuje možnost napačne interpretacije.

Valj je osnovno rotacijsko telo, ki ga v tehnični risbi praviloma določimo z **dvema merama**: premerom  $\varnothing$  in višino (dolžino) valja. Pri pokončno postavljenem valju sta stranski in členi pogled geometrijsko enakovredna pravokotniku, zato dodatni pogledi pogosto niso potrebni, če so vse mere jasno in nedvoumno podane.

Za potrebe jasne in pregledne razlage je smiselno več pravilnih primerov združiti na **eno samo risbo**, pri čemer posamezni elementi zasedajo različne dele slike.



**Slika 4.9:** Osnovna načela kotiranja valjastih teles. Levo: osnovni valj z označenima premerom  $\varnothing$  in višino. Sredina: stopničasti valj z dolžinskimi merami, razporejenimi od izhodiščne ravnine. Desno: primer več koncentričnih premerov, kotiranih glede na os.

Če sta na risbi zapisana tako premer kot višina valja, lahko v določenih primerih izpustimo tloris. Kadar je iz zapisa jasno razvidno, da gre za krožno obliko, se premer vedno označi z znakom  $\varnothing$  (to ni grška črka  $\phi$ , ampak krožec s poševno črto), zapisanem pred številčno vrednostjo mere. Označevanje premera mora biti izvedeno jasno in nedvoumno, z osjo valja kot referenco (glej levo in desno stran sl. 4.9).

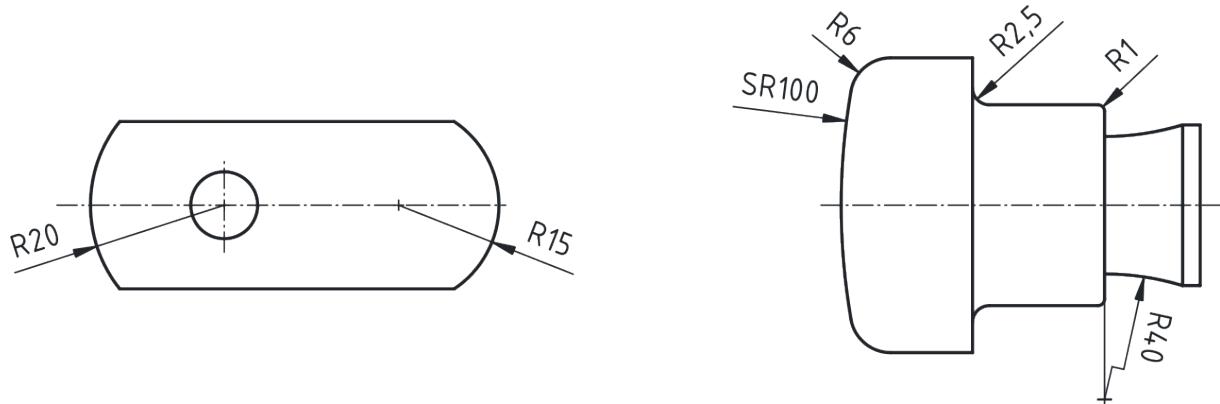
Pri sestavljenih ali stopničastih valjih mora biti kotiranje prilagojeno **zaporedju obdelave**. Kotiranje začnemo na tisti ravnini oziroma robu, ki je v tehnološkem postopku prva obdelovalna referenca (izhodiščna ravnina), dolžinske mere pa nizamo vzdolž osi valja (sredina sl. 4.9).

Pri več koncentričnih premerih morajo biti mere razporejene tako, da se izognemo križanju kotirnih črt in zmanjšani preglednosti. Če bi zaradi večjega števila premerov risba postala nepregledna, je dovoljeno razporejanje mer po različnih pogledih, pri čemer mora ostati vsaka mera jasno povezana z geometrijskim elementom, na katerega se nanaša.

#### 4.3.1 Kotiranje radijev (majhni in veliki radiji)

Polmre oziroma radije označujemo s črko **R**, ki jo zapišemo pred številčno vrednost mere. Kotirna črta ima puščico le na strani loka, medtem ko se druga stran zaključi brez puščice.

Če je središče radija znano in se nahaja v presečišču srednic, lahko radij kotiramo neposredno. Če središče ni razvidno ali leži izven risanega območja, uporabimo lomljeno ali podaljšano kotirno črto oziroma pomožno označbo s križcem.



**Slika 4.10:** Kotiranje radijev. Levo: osnovni primer kotiranja radija z znanim središčem. Sredina: kotiranje radija z neoznačenim središčem. Desno: primer majhnega in velikega radija na istem kosu.

V programu FreeCAD imajo kote radijev tudi nekaj dodatnih nastavitev, do katerih dostopamo v oknu [Model](#), kjer se v zavihku [View](#) lahko nastavi: [Flip Arrowhead](#), [Rendering Extend](#). Prav tako lahko nastavljamo lastnost pogleda ali želimo videti vse majhne označbe središča radijev -> [Arc Center Marks](#). Z lomljeno črto radija, katerega središče se nahaja zunaj pogleda, pa bomo imeli več težav. Za risanje pomožnih črt so koristna orodja kot so: [Add Cosmetic Intersection Vertex](#), [Add Offset Vertex](#), [Add Cosmetic Line](#), [Add Cosmetic Perpendicular Line](#)...

V praksi se uporabljam tipični, standardizirani radiji, ki omogočajo lažjo izdelavo, uporabo standardnega orodja in boljšo ponovljivost izdelave. Pregled najpogosteje uporabljenih radijev je podan v spodnji tabeli.

**Table 4.1:** Uporaba standardnih radijev omogoča preglednejšo tehniško risbo in zmanjšuje potrebo po podrobнем kotiranju vsake posamezne zaokrožitve.

| Namen zaokrožitve                    | Tipični radiji (R) [mm] |
|--------------------------------------|-------------------------|
| Odstranitev ostrih robov             | $0,3 \cdot 0,5 \cdot 1$ |
| Spolšni prehodi med ploskvami        | $1 \cdot 2,5 \cdot 4$   |
| Konstrukcijsko pogojeni prehodi      | $4 \cdot 6 \cdot 10$    |
| Oblikovne in ergonomiske zaokrožitve | $10 \cdot 16 \cdot 20$  |

Majhni radiji, ki služijo za posnemanje robov ali lažji prehod med ploskvami, so pogosto standardizirani. Pri večjih radijih je pomembno jasno razlikovati med funkcionalnimi in oblikovnimi zaokrožitvami, saj imajo lahko različen vpliv na delovanje in izdelavo kosa.

#### 4.3.2 Kotiranje kroglastih elementov

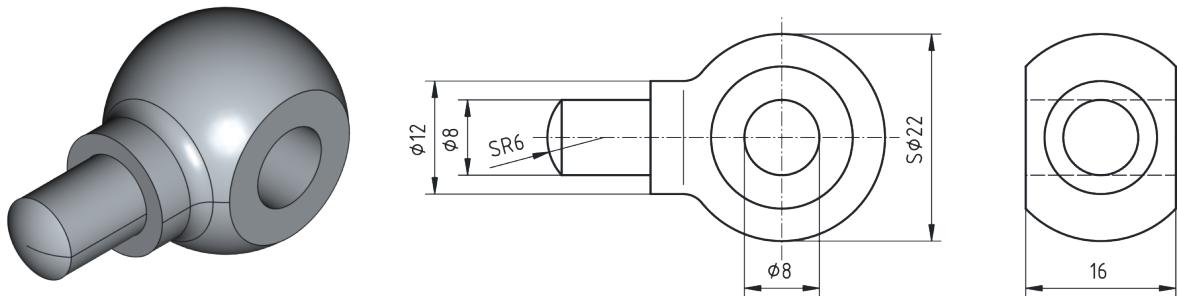
Krogle in kroglasti deli predstavljajo poseben primer rotacijskih teles, pri katerih geometrija ni določena z valjastim ovojem, temveč s sferično površino. Kotiranje teh elementov mora biti še posebej jasno, saj napačna ali nepopolna oznaka hitro vodi do napačne interpretacije oblike.

Kroglaste elemente v tehnični dokumentaciji najpogosteje srečamo v naslednjih oblikah:

- polna krogla (npr. kroglični elementi, ležaji),
- kroglasta podložka ali kroglasti sedež,
- odrezek krogle (sferična kapica),
- kroglasti zaključek ali kroglasti prehod med dvema rotacijskima oblikama.

Pri kotiranju je bistveno razlikovati med valjastimi in kroglastimi geometrijami. Premer krogle zato ne označujemo z običajnim simbolom  $\varnothing$ , temveč s simbolom  $\text{S}\varnothing$ , ki nedvoumno pove, da gre za sferični premer. Analogno temu sferični radij označimo z oznako  $\text{SR}$ .

Pri kroglastih prehodih med valjem in kroglo mora biti prehod jasno razviden iz risbe. Zaradi boljše berljivosti se meja med valjastim in kroglastim delom pogosto označi s tanko črto, ki ni del dejanske konture, temveč služi izključno razlagi oblike.



**Slika 4.11:** Kroglasti prehod med valjem in kroglo. Prikazana je ločnica med valjastim delom in sferično površino, ki omogoča jasno razumevanje poteka geometrije.

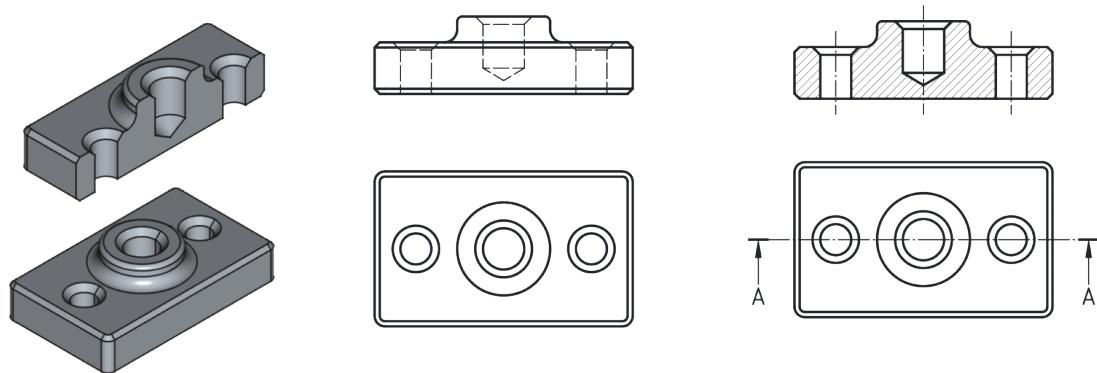
#### 4.4 Prerezi

Prerez je način predstavitev predmeta, pri katerem si zamislimo, da predmet **navidezno prerežemo z ravnino**, del predmeta pred ravnino prereza pa odstranimo. Na ta način postane **notranja oblika predmeta jasno vidna**, kar pri običajnem pogledu pogosto ni mogoče ali pa bi zahtevalo uporabo velikega števila nevidnih robov.

Prerezi so eno izmed ključnih sredstev za povečanje preglednosti in berljivosti tehniških risb, zlasti pri strojnih delih z notranjimi votlinami, izvrtinami, utori ali sestavljenimi oblikami. Njihova uporaba omogoča jasen prikaz notranje geometrije brez preobremenjevanja risbe z nevidnimi robovi.

Pri risanju prerezov se ravnamo po pravilih standarda **SIST EN ISO 128**, ki določa način prikaza rezalne ravnine, obravnavo prerezanih in neprerezanih delov ter pravila šrafirjanja.

Osnovno načelo risanja prereza je, da **nikoli ne rišemo sprednjega, vidnega dela predmeta**, temveč vedno tisti del, ki ostane za rezalno ravnino. Površina, ki nastane z navideznim rezanjem, se označi s šrafuro, notranji robovi in oblike, razkrite s prerezom, pa se rišejo s **polnimi črtami**, saj gre v prerezu za vidne robe. Uporaba črtkanih črt za prikaz notranjosti v prerezu ni dovoljena in predstavlja nepravilno tehniško prakso.



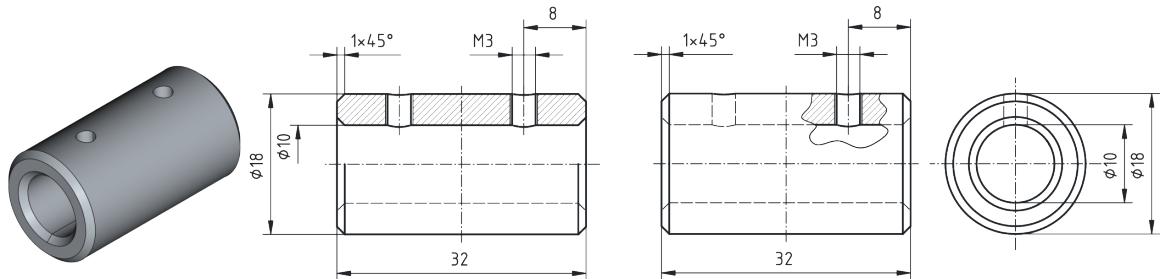
**Slika 4.12:** Osnovna načela prereza in označevanja ravnine prereza: levo – predmet brez prereza z omejeno preglednostjo notranjosti; sredina – nepravilen prikaz notranjosti z uporabo nevidnih robov namesto prereza, notranjimi robovi, risanimi s polno črto, ter označeno ravnino prereza A–A s puščicama smeri opazovanja; desno – pravilno izveden presek s šrafirano prerezano površino.

Ravnino prereza v izvirnem pogledu označimo z **debelo-tanko črta-pika črto**, na njenih koncih pa s **puščicama**, ki kažeta smer opazovanja. Prerez označimo z velikimi črkami, na primer **A–A**. Če poteka rezalna ravnina lomljeno ali v več smereh, jo označimo z lomljeno črto. V primeru, da lega prereza ni dvoumna, označevanje ravnine prereza ni potrebno.

#### 4.4.1 Polni in delni prerezi

**Polni prerez** nastane, kadar rezalna ravnina v celoti preseže predmet, kot na primer na sl. 4.12. Tak prerez uporabimo, kadar želimo jasno prikazati celotno notranjo obliko predmeta.

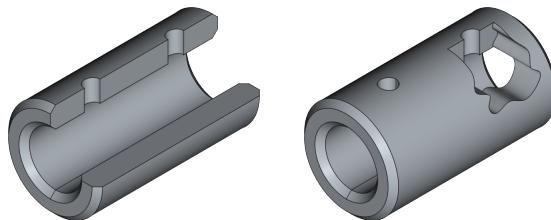
**Delni prerez** uporabimo takrat, kadar želimo prikazati le del notranjosti. Pri delnem prerezu je meja prereza označena z **nepravilno, valovito črto**, ki ločuje prerezani in neprerezani del.



**Slika 4.13:** Primerjava vrst rezov na preprostih strojnih delih: levo – izometrični pogled spojke gredi; sredina – delni (polovični) rez osno simetričnega predmeta (ena polovica v prerezu, druga v zunanjem pogledu); desno – delni rez z valovito mejo.

Pri osno simetričnih predmetih je zelo pogosta posebna oblika delnega prereza – **delni (polovični) rez**, pri katerem je ena polovica predmeta prikazana kot rez, druga polovica pa kot običajen zunanji pogled. Tak prikaz omogoča sočasen prikaz zunanje oblike in notranje geometrije ter se praviloma uporablja pri gredih, pušah, ohišjih in podobnih elementih.

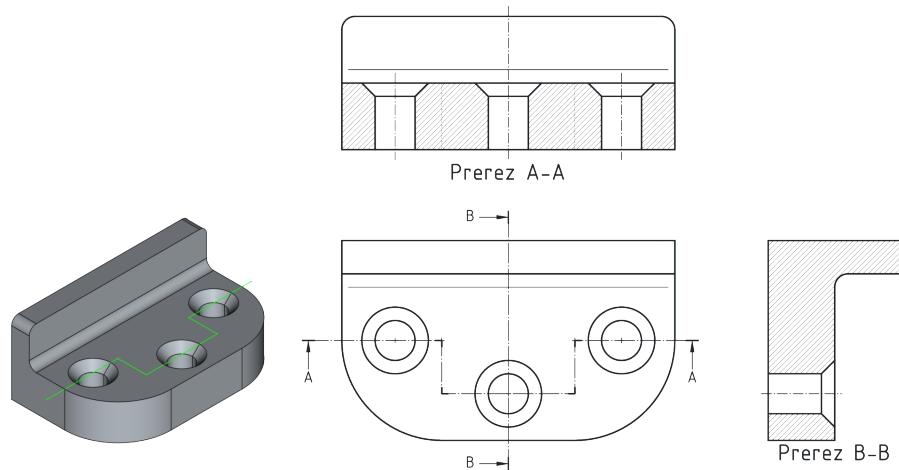
Tovrstne rezove moramo v programu Freecad dejansko rezovati in na tak način pripraviti predmet. Prej omenjene predmete smo dobili na način, da smo pripravili predmete v obliki kot so prikazani na sl. 4.14.



**Slika 4.14:** Priprava modela za prikaz z delnim rezom v programu Freecad.

#### 4.4.2 Prerezi v večpoglednih risbah in rez v več ravninah

V večpoglednih risbah rez pogosto **nadomesti tisti pogled**, v katerem bi bilo sicer potrebno prikazati večje število nevidnih robov. S tem se risba poenostavi, hkrati pa postane notranja oblika predmeta nedvoumno razvidna. Rez praviloma postavimo na mesto pogleda, ki ga nadomešča, in ga označimo skladno z označitvijo rezalne ravnine (npr. rez A-A na sl. 4.15).



**Slika 4.15:** Uporaba prerezov v večpogledni projekciji in prerez v več ravninah: levo – slika nosilca v izometrični projekciji z zeleno obarvano črto ravnine prerez; sredina – prerez A-A v več ravninah je uporabljen kot pogled od spodaj; desno – prerez B-B je uporabljen kot stranski ris.

Pri zahtevnejših notranjih oblikah (npr. več izvrtin v različnih višinah), ki jih ena sama ravnina ne bi razkrila, uporabimo **prerez v več ravninah**. Rezalna ravnina je pri tem **lomljena** (zamaknjena), vendar prerez narišemo **kot da leži v eni ravnini** – to pomeni, da v prerezni risbi ne prikazujemo “loma” prereza, temveč združimo značilne notranje elemente, ki jih rezalna ravnina zaporedoma preseka.

#### 4.4.3 Najpogostejše napake pri risanju prerezov

Pri izdelavi prerezov se je treba izogibati naslednjim napakam: - risanje nevidnih robov v prerezu, - šrafirjanje površin, ki niso rezane, - različni razmiki šrafure na istem delu, - nepotrebno šrafirjanje reber, gredi in tankih sten v vz dolžni smeri.

### 4.5 Tolerance mer in oblik

Toleriranje omogoča, da določimo dopustna odstopanja od nominalnih mer, kar je bistveno za pravilno delovanje in sestavljanje delov.

#### 4.5.1 Vrste toleranc

- **Dimenzijske tolerance** – dovoljeno odstopanje pri dolžini, višini, premeru:

- Simetrične ( $\pm 0.1$  mm),
  - Enostranske (+0.2 / -0.0 mm).
- **Geometrijske tolerance** – odstopanja oblike in lege:
    - Ravnost, vzporednost, pravokotnost,
    - Koncentričnost, valjavitost, kotnost.

#### 4.5.2 Zapisi toleranc

- Dimenzija z oznako tolerance:  $50 \pm 0.1$  mm
- Geometrijske tolerance s simbolom v kvadratnem okvirju:
  - simbol in vrednost (npr. 0.05)

#### 4.5.3 Uporaba

- Pri sestavljanju gibljivih delov (ležaji, osi, puše),
- Kjer je pomembna natančnost prileganja,
- Pri zahtevah za stabilnost in kakovost.

**Pravilno:** uporaba ustrezne tolerance glede na funkcijo dela.

**Nepравилно:** manjkajoče tolerance, neskladje med zahtevo in izvedbo, napačna oznaka.

### 4.6 Označevanje hrapavosti površin in materialov

Površinska hrapavost pomembno vpliva na delovanje mehanskih komponent, zlasti tam, kjer prihaja do stika med deli. Pravilno označevanje hrapavosti je bistven del tehniške dokumentacije.

#### 4.6.1 Simboli za hrapavost (po ISO 1302)

- Osnovni simbol:  $\nabla$  (brez dodatnih oznak),
- S specifikacijo:  $\nabla Ra 3.2$  (površinska hrapavost v  $\mu m$ ),
- Prepoved obdelave:  $\frown$  (simbol s črtico),
- Dovoljena katerakoli obdelava:  $\nabla$  (brez dodatnih oznak).

#### **4.6.2 Kjer se uporablja**

- Površine za tesnjenje,
- Ležajne površine,
- Estetske površine ali tiste, ki zahtevajo določeno drsnost.

#### **4.6.3 Označevanje materialov**

- V prerezih: tekstualno (npr. "jeklo", "aluminij"),
- S šrafurami ali simboli za materiale,
- V legendi risbe ali neposredno ob elementu.

#### **4.6.4 Pravila**

- Simbol hrapavosti je vedno obdan s pomožno črto,
- Zapis Ra vrednosti je v mikrometrih ( $\mu m$ ),
- Material je jasno označen ob prerezih.

**Pravilno:** simboli z ustrezno Ra vrednostjo, ustrezna postavitev.

**Nepравилно:** manjkajoči simboli, napačna interpretacija vrednosti, nejasne oznake.

### **4.7 Standardi tehniške dokumentacije**

Uporaba standardov zagotavlja enotno razumevanje tehničnih risb, ne glede na to, kdo jih bere ali izdela. Standardi določajo vse – od vrst črt, simbolov, meril do načina postavitve risbe.

#### **4.7.1 Ključni standardi**

- **ISO (Mednarodna organizacija za standardizacijo)**
  - ISO 128: pravila tehničnega risanja,
  - ISO 7200: podatkovna polja risb,
  - ISO 1302: hrapavost.
- **SIST (Slovenski inštitut za standardizacijo)**
  - Slovenski prevodi ISO standardov,
  - Lokalno veljavne oznake in posebnosti.

- **DIN (Nemški standardi)**

- Včasih bolj podrobni, specifični za orodjarstvo.

#### **4.7.2 Kako uporabljamo standarde**

- Pri risanju ročno in digitalno (FreeCAD, AutoCAD ...),
- Pri branju dokumentacije drugih izdelovalcev,
- Pri izdelavi projektov, kjer sodelujejo različni partnerji.

#### **4.7.3 Kje jih najdemo**

- Spletna stran SIST,
- ISO portal,
- Učbeniki in priročniki za tehnično risanje.

**Pravilno:** sklicevanje na veljavne standarde, uporaba najnovejših različic.

**Nepравилно:** ignoriranje standardov, uporaba zastarelih praks, mešanje sistemov.

# 5 Ročno tehniško risanje

Čeprav danes večinoma uporabljamо računalniško podprto konstruiranje (CAD), ima ročno tehniško risanje še vedno pomembno vlogo pri učenju osnov tehničnega komuniciranja, geometrije in prostorske predstave.

Ročno risanje razvija občutek za razmerja, natančnost in razumevanje projekcij. Pomembno je tudi za hitro skiciranje idej in za dokumentacijo v pogojih, kjer računalnik ni na voljo.

## Vsebina sklopa

Ta učni sklop vsebuje naslednje učne enote:

- **4.1 Vloga ročnega risanja** Zgodovinski pregled in pomen risanja za razvoj prostorske predstave.
- **4.2 Trdota svinčnika, pripomočki in priprava** Pravilna izbira orodij za tehnično risanje in priprava risalne mape.
- **4.3 Risanje osnovnih geometrijskih elementov** Vadba risanja pravokotnic, krogov in vzporednic z uporabo pripomočkov.
- **4.4 Osnove opisne geometrije** Risanje preslikav in razumevanje projekcij točk in likov v prostoru.

Vsaka enota vsebuje ločen teoretični del s primeri ter praktične vaje z nalogami in izzivi.

## 5.1 Vloga ročnega risanja

Ročno tehniško risanje ima dolgo zgodovino in je bilo pred uvedbo CAD orodij edini način za tehnično komuniciranje med inženirji, tehnologji in izdelovalci. Danes ostaja pomembno kot temeljno orodje za razvijanje prostorske predstave, natančnosti in razumevanja projekcij.

### 5.1.1 Zgodovinski kontekst

- Prve tehniške risbe so nastale že v antičnem Rimu (Vitruvijeve risbe),
- V času renesanse so umetniki kot Leonardo da Vinci uporabljali natančne skice za tehnične zamisli,
- Do 20. stoletja je bilo ročno risanje osrednje orodje v tehničnih poklicih.

### 5.1.2 Današnja vloga

- Uporablja se pri hitrem konceptnem načrtovanju,
- Ključno v izobraževanju za razvoj razumevanja geometrije,
- Omogoča komunikacijo brez računalniških orodij.

### 5.1.3 Prednosti

- Razvija fino motoriko in občutek za razmerja,
- Omogoča bolj intuitivno risanje,
- Krepi temeljno razumevanje projektivnega prikaza.

**Pravilno:** uporaba osnovnih geometrijskih oblik, ohranjanje čistosti linij, jasno ločevanje med vrstami črt.

**Nepравилно:** neporavnane projekcije, prekrivanje črt, risanje brez uporabe pripomočkov.

## 5.2 Trdota svinčnika, pripomočki in priprava

Uspešna ročna tehniška risba je odvisna od ustreznih orodij, natančnosti in doslednosti. Pravilna izbira svinčnika in pripomočkov vpliva na berljivost in kakovost risbe.

### 5.2.1 Trdota svinčnikov

- Oznake:
  - H – trdi svinčniki (tanke, svetle linije),
  - B – mehki svinčniki (temne, debelejše linije),
  - HB – srednji, univerzalni svinčnik,
- Uporaba:
  - 2H ali H za pomožne črte,
  - HB ali B za konture, vidne robeve.

### 5.2.2 Risalni pripomočki

- Ravnila (30 cm, 50 cm),
- Kotomeri ( $30^\circ$ – $60^\circ$ ,  $45^\circ$ ),

- Krogla, šablone,
- Tehniški svinčniki (0.5 mm, 0.7 mm),
- Risalne mape in papir (A4, A3),
- Brisalci, radirke s šablono.

### 5.2.3 Priprava risalne mape

- Oznaka imena, datuma, šole,
- Naslovna plošča na desnem spodnjem delu,
- Označene meje risalnega lista,
- Čistost in preglednost.

**Pravilno:** ustrezna izbira svinčnika glede na funkcijo črte, čiste linije, brez odvečnih oznak.

**Nepравилно:** enaka črta za vse elemente, nepravilno označen list, manjkajoča orodja.

## 5.3 Risanje osnovnih geometrijskih elementov

Temelj vsake tehniške risbe so osnovne geometrijske oblike. Njihovo pravilno risanje omogoča natančne konstrukcije in razumevanje tehničnih predmetov.

### 5.3.1 Ključni elementi

- **Ravnina** – podlaga za vse ostalo,
- **Točka** – začetek črte, središče kroga,
- **Črta** – ravna povezava dveh točk,
- **Pravokotnica** – črta pod pravim kotom,
- **Vzporednica** – črta, ki je enako oddaljena,
- **Krog** – točke enako oddaljene od središča.

### 5.3.2 Tehniške risarske tehnike

- Uporaba kotomera za pravokotnice in vzporednice,
- Risanje krogov s šestilom,
- Natančno merjenje z ravnilom,
- Označevanje presečišč in sredin.

### 5.3.3 Uporaba v tehnični risbi

- Konstrukcija osnovnih teles (kvadri, valji),
- Priprava osnov za prostorske prikaze,
- Pomožne črte za pozicioniranje.

**Pravilno:** čiste in tanke pomožne črte, natančne mere, jasna presečišča.

**Nepравилно:** debela skica, neporavnane črte, ročno risani krogi brez šestila.

## 5.4 Osnove opisne geometrije

Opisna geometrija omogoča natančen prikaz prostorskih objektov na ravnini z uporabo projekcij. Gre za temeljno disciplino pri tehničnem risanju in inženirskem načrtovanju.

### 5.4.1 Ključni pojmi

- **Točka** – osnovni element, ki ga projiciramo na ravnine,
- **Ravnina** – vodilna površina, na katero projiciramo (čelna, vodoravna, stranska),
- **Projekcija** – preslikava objekta na izbrano ravnino,
- **Sled ravnine** – linija presečišča ravnine s projekcijsko ravnino.

### 5.4.2 Vrste projekcij

- Pravokotna projekcija (ortogonalna),
- Aksonometrična (izometrična, dimetrična),
- Kotna projekcija.

### 5.4.3 Postopki risanja

- Najprej določimo ravnine (XY, YZ, XZ),
- Nato določimo točke v prostoru in njihove preslikave,
- Uporabimo čiste pomožne črte in oznake.

### 5.4.4 Uporaba

- Razumevanje 3D oblike prek 2D prikazov,

- Osnova za razumevanje večpoglednih risb,
- Uporabno pri konstruiranju kompleksnih teles.

**Pravilno:** pravilna zaporednost projekcij, poravnane točke med pogledi.

**Nepравилно:** mešanje ravnin, neoznačene preslikave, nepravilne sledi.



# 6 PRILOGA

## 6.1 Izračuni pravokotne projekcije

Za projekcijo vektorja v prostoru lahko uporabimo matrike, kar je posebej uporabno pri računalniški grafiki, linearni algebri in fiziki. Tukaj je razlaga postopka s poudarkom na reševanju z matrikami.

Na primer, da imamo poljuben vektor  $e$ :

$$\mathbf{e} = \begin{bmatrix} e_x \\ e_y \\ e_z \end{bmatrix}.$$

in želimo izračunati pravokotno projekcijo tega vektorja na eno od osnovnih ravnin, na primer v ravni  $XY$ . Ta ravnina ima normalni vektor  $n$ :

$$\mathbf{n} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}.$$

Splošna formula za izračun pravokotne projekcije na ravnino, ki gre skozi izhodišče kordinatnega sistema in ima normalo z enotskim vektrom  $\mathbf{n}$  je:

$$P = I - \mathbf{n}\mathbf{n}^T,$$

kjer matriko  $P$  poimenujemo **projektor** (to je matrika za pravokotno projekcijo na normalo).

Ker je  $\mathbf{n} = [0, 0, 1]^T$ , dobimo

$$P = I - \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

Tako je pravokotna projekcija vektorja  $\mathbf{e}$ :

$$\mathbf{e}' = P\mathbf{e} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e_x \\ e_y \\ e_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e_x \\ e_y \\ 0 \end{bmatrix}.$$

Take izračune bomo potrebovali v nadaljevanju, ko bomo želeli poljubne vektorje pravokotno projicirati na osnovne ravnine in določiti njihovo dolžino.

### 6.1.1 Izračun rotacije

V tridimenzionalnem prostoru lahko vektorje rotiramo okoli koordinatnih osi s pomočjo **rotacijskih matrik**. Vsaka rotacija v 3D prostoru se lahko predstavi z množico osnovnih rotacij okoli osi **X**, **Y** ali **Z**. Tak pristop se pogosto uporablja v:

- računalniški grafiki,
- robotiki,
- fiziki gibanja in simulacijah,
- analizi prostorskih podatkov.

Z uporabo matrik lahko **enostavno kombiniramo več rotacij** – npr. najprej okoli Z, nato okoli Y – z zaporednim množenjem matrik. S tem dobimo **kompozitno rotacijsko matriko**, ki deluje kot ena sama transformacija.

Imamo vektor:

$$\mathbf{e} = \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{bmatrix}$$

Vektor želimo najprej:

1. **zarotirati okoli osi Z za kot  $\alpha$ ,**

2. nato še okoli osi **Y** za kot  $\beta$ .

**Rotacijo vektorja okoli osi Z za kot  $\alpha$**  lahko izračuna tako, da rotacijsko matriko pomnožimo z vektorjem:

$$\mathbf{R}_Z(\alpha) = \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 \\ \sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Vmesni rezultat po tej rotaciji:

$$\mathbf{e}' = \mathbf{R}_Z(\alpha) \cdot \mathbf{e}$$

**Rotacijo vektorja okoli osi Y (kot  $\beta$ )** pa tako, da podobno rotacijsko matriko pomnožimo z zgornjim rezulatom:

$$\mathbf{R}_Y(\beta) = \begin{bmatrix} \cos \beta & 0 & \sin \beta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \beta & 0 & \cos \beta \end{bmatrix}$$

Končni rezultat po drugi rotaciji:

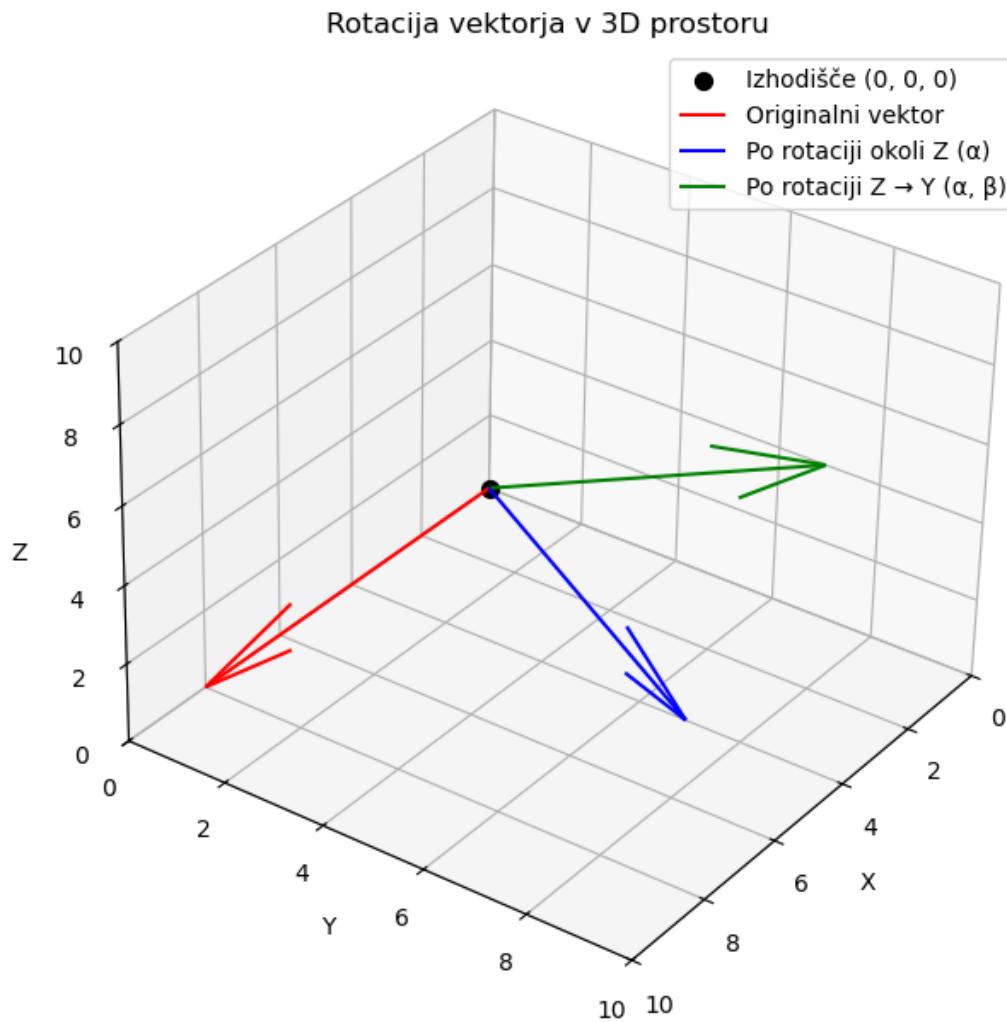
$$\mathbf{e}'' = \mathbf{R}_Y(\beta) \cdot \mathbf{e}' = \mathbf{R}_Y(\beta) \cdot \mathbf{R}_Z(\alpha) \cdot \mathbf{e}$$

### 6.1.2 Primer

Za izračun bomo vzeli poseben primer, kjer bomo vektor e zarotirali tako, da bo vektor zopet končal na eni od glavnih ravnin prostora. Tako ga bomo lahko bolj nazorno prikazali na sl. 6.1.

Naj bo:

- **vektor  $\mathbf{e} = [8, 0, 0]^T$**
- **rotacija okoli Z za  $\alpha = 60^\circ$**
- **nato rotacija okoli Y za  $\beta = -90^\circ$**



**Slika 6.1:** Rezultat rotacije vektorja.

1. Rotacijska matrika okoli Z

$$\mathbf{R}_Z(\alpha) = \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 \\ \sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.5 & -0.8660 & 0 \\ 0.8660 & 0.5 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

2. Rotacijska matrika okoli Y

$$\mathbf{R}_Y(\beta) = \begin{bmatrix} \cos \beta & 0 & \sin \beta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \beta & 0 & \cos \beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

3. Vmesni rezultat:  $\mathbf{e}' = \mathbf{R}_Z(\alpha) \cdot \mathbf{e}$

$$\mathbf{e}' = \begin{bmatrix} 0.5 & -0.8660 & 0 \\ 0.8660 & 0.5 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 8 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 4.0 \\ 6.9282 \\ 0 \end{bmatrix}$$

4. Končni rezultat:  $\mathbf{e}'' = \mathbf{R}_Y(\beta) \cdot \mathbf{e}'$

$$\mathbf{e}'' = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 4.0 \\ 6.9282 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 6.9282 \\ 4.0 \end{bmatrix}$$

5. Rezultat

Po rotaciji vektorja  $[8, 0, 0]^T$  za  $60^\circ$  okoli Z in nato še za  $-90^\circ$  okoli Y dobimo nov vektor:

$$\mathbf{e}_{\text{rotated}} \approx \begin{bmatrix} 0 \\ 6.93 \\ 4.00 \end{bmatrix}$$

Rezultat je tudi grafično prikazan na sl. 6.1.

## 6.2 Izračun kotov rotacije izometrične projekcije

**Izometrična projekcija** je vrsta **pravokotne projekcije**, kjer so osnovni trije enotski vektorji tega prostora:

$$\mathbf{i} = [1, 0, 0]^T, \mathbf{j} = [0, 1, 0]^T, \mathbf{k} = [0, 0, 1]^T,$$

najprej zarotirani in na to projicirani v **ravnino XZ** tako, da so njihove projekcije **enako dolgu**. Od tod izvira tudi izraz, saj uporabljamo isto **metriko** za vse tri osi. To je poseben primer **aksonometrične projekcije** in jo poimenujemo **pravokotna aksonometrična projekcija**.

### 6.2.1 Rotacija vektorjev in projekcija

Najprej zarotiramo osnovne vektorje tako, da bo pogled na vektorje iz ustreznegata. Uporabimo **dve rotaciji**:

1. **rotacijo okoli osi Z** za kot  $\alpha$  in
2. **rotacijo okoli osi X** za kot  $\beta$ .

Po rotaciji nato **projiciramo vektorje v ravnino XZ**.

Rotacija okoli osi Z za kot  $\alpha$ :

$$\mathbf{R}_Z(\alpha) = \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 \\ \sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Rotacija okoli osi X za kot  $\beta$ :

$$\mathbf{R}_X(\beta) = \begin{bmatrix} 0 & \cos \beta & -\sin \beta \\ 0 & \sin \beta & \cos \beta \end{bmatrix}$$

Tako lahko združimo obe rotaciji v:

$$\mathbf{R}_{XZ} = \mathbf{R}_X(\beta) \cdot \mathbf{R}_Z(\alpha) = \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 \\ \cos \beta \cdot \sin \alpha & \cos \beta \cdot \cos \alpha & -\sin \beta \\ \sin \beta \cdot \sin \alpha & \sin \beta \cdot \cos \alpha & \cos \beta \end{bmatrix}$$

Nato izvedemo še projekcijo na ravnino XZ. To storimo z množenjem s projekcijsko matriko:

$$\mathbf{P}_{XZ} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Torej skupna transformacija je:

$$\mathbf{T} = \mathbf{P}_{XZ} \cdot \mathbf{R}_{XZ}$$

in dobimo končno transformacijsko matriko:

$$\mathbf{T} = \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ \sin \beta \cdot \sin \alpha & \sin \beta \cdot \cos \alpha & \cos \beta \end{bmatrix}$$

Pogoj za izometrično projekcijo je, da so projekcije prvotnih osnovnih enotskih vektorjev enako dolge. Zato najprej izračunamo projekcije enotskih vektorjev:

- $\mathbf{i}' = \mathbf{T} \cdot \mathbf{i} \rightarrow$  prva stolpčna vektorja matrike  $\mathbf{T}$
- $\mathbf{j}' = \mathbf{T} \cdot \mathbf{j} \rightarrow$  drugi stolpec
- $\mathbf{k}' = \mathbf{T} \cdot \mathbf{k} \rightarrow$  tretji stolpec

Te vektorje označimo kot:

$$\mathbf{i}' = \begin{bmatrix} \cos \alpha \\ 0 \\ \sin \beta \cdot \sin \alpha \end{bmatrix}, \quad \mathbf{j}' = \begin{bmatrix} -\sin \alpha \\ 0 \\ \sin \beta \cdot \cos \alpha \end{bmatrix}, \quad \mathbf{k}' = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \cos \beta \end{bmatrix}$$

Njihove dolžine morajo biti enako dolge:

$$\|\mathbf{i}'\| = \|\mathbf{j}'\| = \|\mathbf{k}'\|$$

Izračun dolžin:

- $\|\mathbf{i}'\|^2 = \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha \cdot \sin^2 \beta$
- $\|\mathbf{j}'\|^2 = \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha \cdot \sin^2 \beta$
- $\|\mathbf{k}'\|^2 = \cos^2 \beta$

Rešimo sistem enačb:

$$\begin{aligned} \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha \cdot \sin^2 \beta &= \cos^2 \beta \\ \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha \cdot \sin^2 \beta &= \cos^2 \beta \end{aligned}$$

sledi:

$$\cos^2 \alpha = \sin^2 \alpha = \frac{1}{2} \Rightarrow \alpha = 45^\circ$$

in

$$\cos^2 \beta = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cdot \sin^2 \beta = \frac{1}{2}(1 + \sin^2 \beta) \Rightarrow \cos^2 \beta = \frac{2}{3} \Rightarrow \cos \beta = \sqrt{\frac{2}{3}} \approx 0.816 \Rightarrow \beta \approx \arccos(\sqrt{2/3}) \approx 35.26^\circ$$

Ker gre za reševanje periodičnih funkcij je rešitev več. Za naš primer bomo izbrali rešitev izometrične projekcije če uporabimo:

- **rotacijo okoli Z:**  $\alpha = 45^\circ$ ,
- **rotacijo okoli X:**  $\beta \approx -35.26^\circ$  (rotacija prostora "naprej" - stran od projekcijske ravnine) in
- **projekcijo:** na ravnino **XZ**.

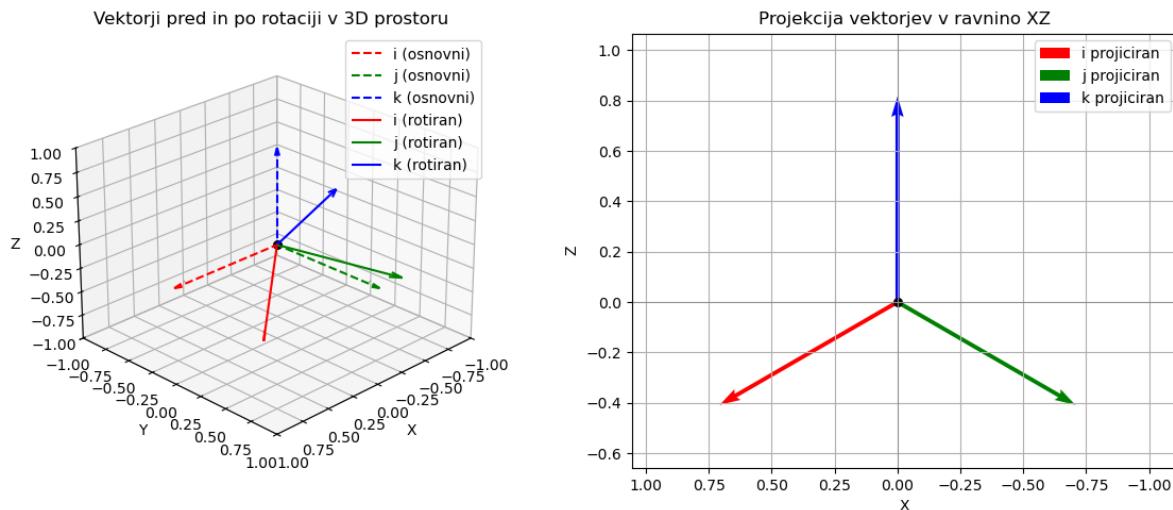
Končna transformacijska matrika **T**:

$$\mathbf{T} \approx \begin{bmatrix} \cos 45^\circ & -\sin 45^\circ & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ \sin 35.26^\circ \cdot \sin 45^\circ & \sin 35.26^\circ \cdot \cos 45^\circ & \cos 35.26^\circ \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\sqrt{2}}{2} & -\frac{\sqrt{2}}{2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} & \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} & \sqrt{\frac{2}{3}} \end{bmatrix}$$

Situacijo lahko razumemo tudi iz drugega zornega kota, na primer kam moramo premakniti trenutno projekcijo ravnino  $\Pi_{XY}$  z normalnim vektorjem  $\mathbf{e}_y = [0, 0, 1]^T$ , da dobimo enak rezultat. Zanimajo nas koordinate novega normalnega vektorja  $\mathbf{n}_{POV}$  te projekcijske ravnine  $\Pi_{POV}$ . Ker imamo izračunano rotacijsko matriko **R** je to enostavno inverzna rotacija:

$$\mathbf{n}_{POV} = \mathbf{R}^{-1} \mathbf{e}_y = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} \approx \begin{bmatrix} 0.5774 \\ 0.5774 \\ 0.5774 \end{bmatrix} \quad (6.1)$$

S tem smo dobili rezultat, ki je prikazan na sl. 6.2.



**Slika 6.2:** Rotacija prostora tako, da dobimo izometrično projekcijo.

Če želite nekoliko eksperimentirati z rotacijami in projekcijami lahko preskusite :

**Listing 6.1:** izracun izometricne projekcije.

```

1 import numpy as np
2 import matplotlib.pyplot as plt
3 from mpl_toolkits.mplot3d import Axes3D
4
5 # --- 1. Definicija kotov ---
6 alpha_deg = 45
7 beta_deg = -35.264 # približno arccos(sqrt(2/3))
8 alpha = np.radians(alpha_deg)
9 beta = np.radians(beta_deg)
10
11 # --- 2. Rotacijski matriki ---
12 Rz = np.array([
13     [np.cos(alpha), -np.sin(alpha), 0],
14     [np.sin(alpha), np.cos(alpha), 0],
15     [0, 0, 1]
16 ])
17
18 Rx = np.array([
19     [1, 0, 0],
20     [0, np.cos(beta), -np.sin(beta)],
21     [0, np.sin(beta), np.cos(beta)]
22 ])

```

```

1 # --- 3. Projekcijska matrika (XZ projekcija) ---
2 P_XZ = np.array([
3     [1, 0, 0],
4     [0, 0, 0],
5     [0, 0, 1]
6 ])
7
8 # --- 4. Skupna transformacija ---
9 T = P_XZ @ Rx @ Rz
10
11 # --- 5. Osnovni vektorji ---
12 i = np.array([1, 0, 0])
13 j = np.array([0, 1, 0])
14 k = np.array([0, 0, 1])
15
16 # --- 6. Rotirani vektorji ---
17 i_rot = Rx @ Rz @ i
18 j_rot = Rx @ Rz @ j
19 k_rot = Rx @ Rz @ k
20
21 # --- 7. Projekcije rotiranih vektorjev ---
22 i_proj = T @ i
23 j_proj = T @ j
24 k_proj = T @ k
25
26 # --- 8. Prikaz ---
27 fig = plt.figure(figsize=(12,6))
28
29 # Levi graf: 3D pogled pred in po rotaciji
30 ax3d = fig.add_subplot(1, 2, 1, projection='3d')
31 ax3d.set_title("Vektorji pred in po rotaciji v 3D prostoru")
32
33 # Črtkani - osnovni
34 ax3d.quiver(0, 0, 0, *i, color='r', linestyle='dashed', label='i (osnovni)', arrow_length_ratio=0.1)
35 ax3d.quiver(0, 0, 0, *j, color='g', linestyle='dashed', label='j (osnovni)', arrow_length_ratio=0.1)
36 ax3d.quiver(0, 0, 0, *k, color='b', linestyle='dashed', label='k (osnovni)', arrow_length_ratio=0.1)

```

```

1   # Polne - rotirani
2   ax3d.quiver(0, 0, 0, *i_rot, color='r', label='i (rotiran)',
3     arrow_length_ratio=0.1)
4   ax3d.quiver(0, 0, 0, *j_rot, color='g', label='j (rotiran)',
5     arrow_length_ratio=0.1)
6   ax3d.quiver(0, 0, 0, *k_rot, color='b', label='k (rotiran)',
7     arrow_length_ratio=0.1)
8
9
10
11
12
13
14
15
16 # Desni graf: projekcija v XZ ravnino
17 ax2d = fig.add_subplot(1, 2, 2)
18 ax2d.set_title("Projekcija vektorjev v ravnino XZ")
19
20 # Projekcije
21 ax2d.quiver(0, 0, i_proj[0], i_proj[2], angles='xy', scale_units='xy',
22   scale=1, color='r', label='i projiciran')
23 ax2d.quiver(0, 0, j_proj[0], j_proj[2], angles='xy', scale_units='xy',
24   scale=1, color='g', label='j projiciran')
25 ax2d.quiver(0, 0, k_proj[0], k_proj[2], angles='xy', scale_units='xy',
26   scale=1, color='b', label='k projiciran')
27
28 # Osi in mreža
29 ax2d.axhline(0, color='gray', lw=0.5)
30 ax2d.axvline(0, color='gray', lw=0.5)
31 ax2d.scatter(0, 0, color='black', s=30)
32 ax2d.set_xlabel('X')
33 ax2d.set_ylabel('Z')
34 ax2d.axis('equal')
35 ax2d.grid(True)
36 ax2d.set_xlim(-1, 1.5)
37 ax2d.set_ylim(-0.5, 1.5)
38 ax2d.legend()
39
40 plt.tight_layout()
41 plt.show()

```

### 6.3 Izračun točke pogleda za dimetrično projekcijo

V prostoru imamo:

- osnovne enotske vektorje  $\mathbf{i} = [1, 0, 0]$ ,  $\mathbf{j} = [0, 1, 0]$ ,  $\mathbf{k} = [0, 0, 1]$ ,
- iščemo **eno samo ravnino** (določeno z njenim **normalnim vektorjem  $\mathbf{n}$** , dolžine 1),
- takšno, da bodo **ortogonalne projekcije** vektorjev  $\mathbf{i}, \mathbf{j}, \mathbf{k}$  v to ravnino dajale dolžine:

$$|\mathbf{i}'| = |\mathbf{k}'| = 2|\mathbf{j}'| \quad (\text{dimetrična zahteva})$$

in

$$|\mathbf{i}'|^2 + |\mathbf{j}'|^2 + |\mathbf{k}'|^2 = 2 \quad (\text{skupna energijska enakost})$$

---

### Ortogonalna projekcija vektorja v ravnino

Projekcija vektorja  $\mathbf{v}$  v ravnino z enotskim normalnim vektorjem  $\mathbf{n}$  je:

$$\mathbf{v}_{\text{proj}} = \mathbf{v} - (\mathbf{v} \cdot \mathbf{n})\mathbf{n}$$

Dolžina kvadrata te projekcije:

$$|\mathbf{v}_{\text{proj}}|^2 = |\mathbf{v}|^2 - (\mathbf{v} \cdot \mathbf{n})^2$$

Ker so  $\mathbf{i}, \mathbf{j}, \mathbf{k}$  enotski, to postane:

$$|\mathbf{i}'|^2 = 1 - (\mathbf{i} \cdot \mathbf{n})^2 = 1 - n_x^2 |\mathbf{j}'|^2 = 1 - n_y^2 |\mathbf{k}'|^2 = 1 - n_z^2$$

Postavimo zdaj pogoje:

1.  $|\mathbf{i}'|^2 = |\mathbf{k}'|^2 \Rightarrow n_x^2 = n_z^2$
2.  $|\mathbf{i}'|^2 = 4 \cdot |\mathbf{j}'|^2 \Rightarrow 1 - n_x^2 = 4(1 - n_y^2)$
3.  $|\mathbf{i}'|^2 + |\mathbf{j}'|^2 + |\mathbf{k}'|^2 = 2$

### Reševanje sistema:

Zapišimo:

- $n_x^2 = n_z^2 = a$
- $n_y^2 = b$

Pogoj (2.):

Zaradi  $|\mathbf{i}'| = |\mathbf{k}'| = 2|\mathbf{j}'|$ , mora veljati:

$$1 - n_x^2 = 4(1 - n_y^2) \Rightarrow 1 - a = 4(1 - b) \Rightarrow a = 1 - 4(1 - b) = 1 - 4 + 4b = -3 + 4b \quad (1) \text{ popravljeno}$$

Pogoj (3.):

$$(1 - a) + (1 - b) + (1 - a) = 2 \Rightarrow 3 - 2a - b = 2 \Rightarrow 2a + b = 1 \quad (2)$$

Popravek pogoja (2.):

Vstavimo (1) v (2):

$$2(-3 + 4b) + b = 1 \Rightarrow -6 + 8b + b = 1 \Rightarrow 9b = 7 \Rightarrow b = \frac{7}{9}$$

Potem:

$$a = -3 + 4b = -3 + \frac{28}{9} = \frac{1}{9}$$

**Končni rezultati:**

$$n_x^2 = n_z^2 = \frac{1}{9}, \quad n_y^2 = \frac{7}{9}$$

Ker gre za **enotski vektor**, to tudi preverimo:

$$n_x^2 + n_y^2 + n_z^2 = \frac{1}{9} + \frac{7}{9} + \frac{1}{9} = \frac{9}{9} = 1 \quad \checkmark$$

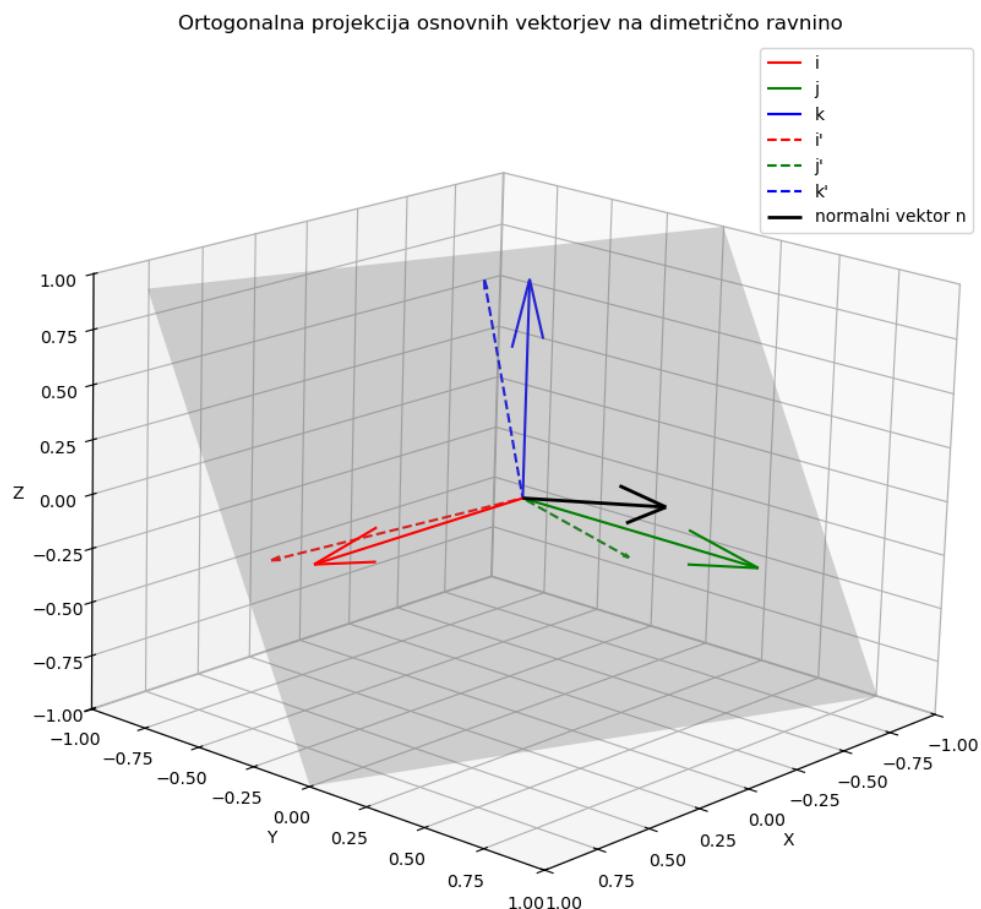
Izberemo pozitivne korene:

$$n_{POV} = \begin{bmatrix} \sqrt{\frac{1}{9}} \\ \sqrt{\frac{7}{9}} \\ \sqrt{\frac{1}{9}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{3} \\ \sqrt{\frac{7}{9}} \\ \frac{1}{3} \end{bmatrix} \approx \begin{bmatrix} 0,3333 \\ 0,8819 \\ 0,3333 \end{bmatrix}$$

**Kaj to pomeni?**

- Če projiciraš osnovne vektorje  $\mathbf{i}$ ,  $\mathbf{j}$ ,  $\mathbf{k}$  ortogonalno na ravnino z normalo  $n_{POV}$  (zgoraj),

- boš dobil **dimetrično projekcijo**, kjer je  $|i'| = |k'| = 2|j'|$
- in  $|i'|^2 + |j'|^2 + |k'|^2 = 2$



**Slika 6.3:** Osnovni vektorji i, j in k, ter njihova dimetrična projekcija na ravnino.

```

1  #! /bin/python3
2  import matplotlib.pyplot as plt
3  from mpl_toolkits.mplot3d import Axes3D
4  # 1. Osnovni vektorji
5  i = np.array([1, 0, 0])
6  j = np.array([0, 1, 0])
7  k = np.array([0, 0, 1])
8  # 2. Normalni vektor dimetrične projekcijske ravnine
9  n = np.array([1/3, np.sqrt(7)/3, 1/3])
10 n = n / np.linalg.norm(n) # normaliziramo
11 # 3. Funkcija za ortogonalno projekcijo vektorja na ravnino
12 def project_onto_plane(v, n):
13     return v - np.dot(v, n) * n
14 # 4. Projekcije osnovnih vektorjev
15 i_proj = project_onto_plane(i, n)
16 j_proj = project_onto_plane(j, n)
17 k_proj = project_onto_plane(k, n)
18 # 5. Priprava 3D grafa
19 fig = plt.figure(figsize=(10, 8))
20 ax = fig.add_subplot(111, projection='3d')
21 ax.set_title("Ortogonalna projekcija osnovnih vektorjev na dimetrično
ravnino")
22 # 6. Osnovni vektorji
23 ax.quiver(0, 0, 0, *i, color='r', label='i', linewidth=1.5)
24 ax.quiver(0, 0, 0, *j, color='g', label='j', linewidth=1.5)
25 ax.quiver(0, 0, 0, *k, color='b', label='k', linewidth=1.5)
26 # 7. Projekcije osnovnih vektorjev
27 ax.quiver(0, 0, 0, *i_proj, color='r', linestyle='dashed', label="i''",
arrow_length_ratio=0.05)
28 ax.quiver(0, 0, 0, *j_proj, color='g', linestyle='dashed', label="j''",
arrow_length_ratio=0.05)
29 ax.quiver(0, 0, 0, *k_proj, color='b', linestyle='dashed', label="k''",
arrow_length_ratio=0.05)
30 # 8. Normalni vektor
31 ax.quiver(0, 0, 0, *n, color='k', label='normalni vektor n', linewidth
=2)
32 # 9. Ravnina: zračunamo y iz enačbe ravnine: n · r = 0
33 xx, zz = np.meshgrid(np.linspace(-1, 1, 10), np.linspace(-1, 1, 10))
34 yy = (-n[0]*xx - n[2]*zz) / n[1]
35 ax.plot_surface(xx, yy, zz, alpha=0.3, color='gray')
36 # 10. Osi in pogled
37 ax.set_xlabel('X')
38 ax.set_ylabel('Y')
39 ax.set_zlabel('Z')
40 ax.set_xlim([-1, 1])
41 ax.set_ylim([-1, 1])
42 ax.set_zlim([-1, 1])
43 ax.view_init(elev=25, azim=45)
44 ax.legend()
45 plt.tight_layout()
46 plt.show()

```

**Table 6.1:** izracun POV dimetricne proj.

published: false

## 6.4 Izračun kotov rotacije dimetrične projekcije

Posebnost dimetrične projekcije je ta, da predmet (oz. prostor) nagnjemo tako, da dobimo dolžine projekcij osnovnih enotskih vektorjev  $\mathbf{i} = [1, 0, 0]^T$ ,  $\mathbf{j} = [0, 1, 0]^T$ ,  $\mathbf{k} = [0, 0, 1]^T$ , v posebnem razmerju:

$$|\mathbf{i}'| = |\mathbf{k}'| = 2|\mathbf{j}'|$$

Reševanja tega problema se lotimo na enak način, kot smo to naredili za izometrično projekcijo, le da v tem primru uporabimo še eno posebno lastnost projekcije vektorjev in sicer, da je vsota kvadratov dolžin projekcij enaka 2:

$$|\mathbf{i}'|^2 + |\mathbf{j}'|^2 + |\mathbf{k}'|^2 = 2.$$

Uporabimo lahko isto transformacijsko matriko:

$$\mathbf{T} = \mathbf{P}_{XZ} \cdot \mathbf{R}_X(\beta) \cdot \mathbf{R}_Z(\alpha) = \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ \sin \beta \cdot \sin \alpha & \sin \beta \cdot \cos \alpha & \cos \beta \end{bmatrix}$$

in iste izraze za projekcije osnovnih enotskih vektorjev:

$$\mathbf{i}' = \begin{bmatrix} \cos \alpha \\ 0 \\ \sin \beta \cdot \sin \alpha \end{bmatrix}, \quad \mathbf{j}' = \begin{bmatrix} -\sin \alpha \\ 0 \\ \sin \beta \cdot \cos \alpha \end{bmatrix}, \quad \mathbf{k}' = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \cos \beta \end{bmatrix}.$$

Ko upoštevamo prej omenjene pogoje: razmerje dolžin in vsoto dolžin projekcij, lahko izračunamo vrednost matrike:

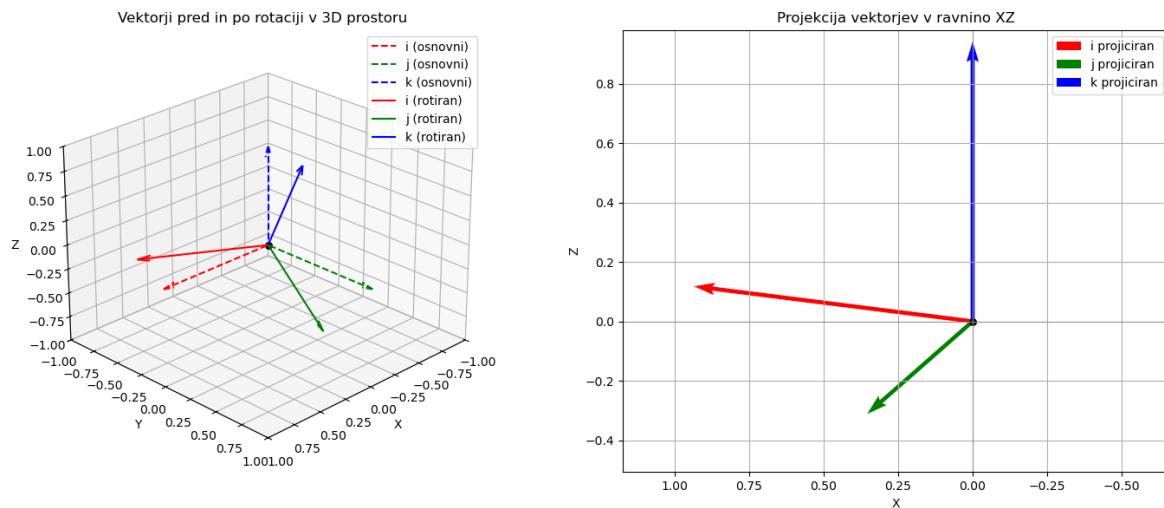
$$\mathbf{T} = \begin{bmatrix} \sqrt{\frac{7}{8}} & -\frac{1}{\sqrt{8}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ \frac{1}{3\sqrt{8}} & \frac{1}{3} \cdot \sqrt{\frac{7}{8}} & \sqrt{\frac{8}{9}} \end{bmatrix}$$

in s tem poznamo rešitev za kota  $\alpha$  in  $\beta$ :

$$\cos \alpha = \sqrt{\frac{7}{8}} \Rightarrow \alpha = \arccos \left( \sqrt{\frac{7}{8}} \right) \approx 20.74^\circ,$$

$$\cos \beta = \sqrt{\frac{8}{9}} \Rightarrow \beta = \arccos \left( \sqrt{\frac{8}{9}} \right) \approx 19.47^\circ.$$

Na enak način to transformacijo lahko prikažemo tudi grafično na sl. 6.4:



**Slika 6.4:** Prikaz rotacije prostora za dimetrično projekcijo.



## VIRI IN LITERATURA

2024. In *Protolabs Network*. <https://www.hubs.com/knowledge-base/how-prepare-technical-drawing-cnc-machining/>.
- Anderson, Sarah. 2024. "How to Prepare a Perfect Technical Drawing?" In *Proleantech | Custom Parts On-Demand*. <https://proleantech.com/perfect-technical-drawing/>.
- Bible, The Engineer's. 2020. "What Is the Difference Between First Angle Projection and Third Angle Projection? (Simple Explanation)." In *The Engineer's Bible*. <https://engineersbible.com/angle-projection/>.
- Developers, FreeCAD. 2023a. *FreeCAD Documentation: Parametric Modeling*. Online. <https://www.freecadweb.org/documentation.php>.
- Developers, FreeCAD. 2023b. *FreeCAD Wiki: Mirror*. Online. <https://wiki.freecadweb.org/Mirror>.
- Documentation, FreeCAD. 2023. *PartDesign SubShapeBinder - FreeCAD Documentation*. Online. [https://wiki.freecadweb.org/PartDesign\\_SubShapeBinder](https://wiki.freecadweb.org/PartDesign_SubShapeBinder).
- Documentation, FreeCAD. 2025. "PartDesign Mirrored - FreeCAD Documentation." In *FreeCAD Documentation*. [https://wiki.freecad.org/PartDesign\\_Mirrored](https://wiki.freecad.org/PartDesign_Mirrored).
- Prebil, Ivan, Samo Zupan, Gordana Marunić, and Božidar Križan. 2011. *Tehnična Dokumentacija*.

