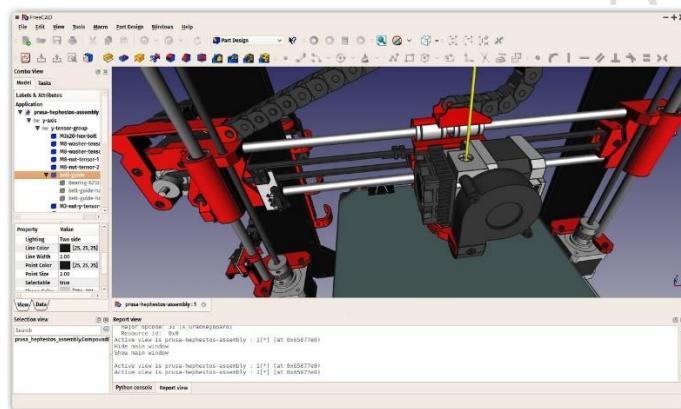




FreeCAD

Pregledni tečaj programskega paketa

(dokument ver.: 2018-04)



Avtorji:

doc. dr. Samo Zupan, univ. dipl. inž.
Aleksander Novak, mag. inž.

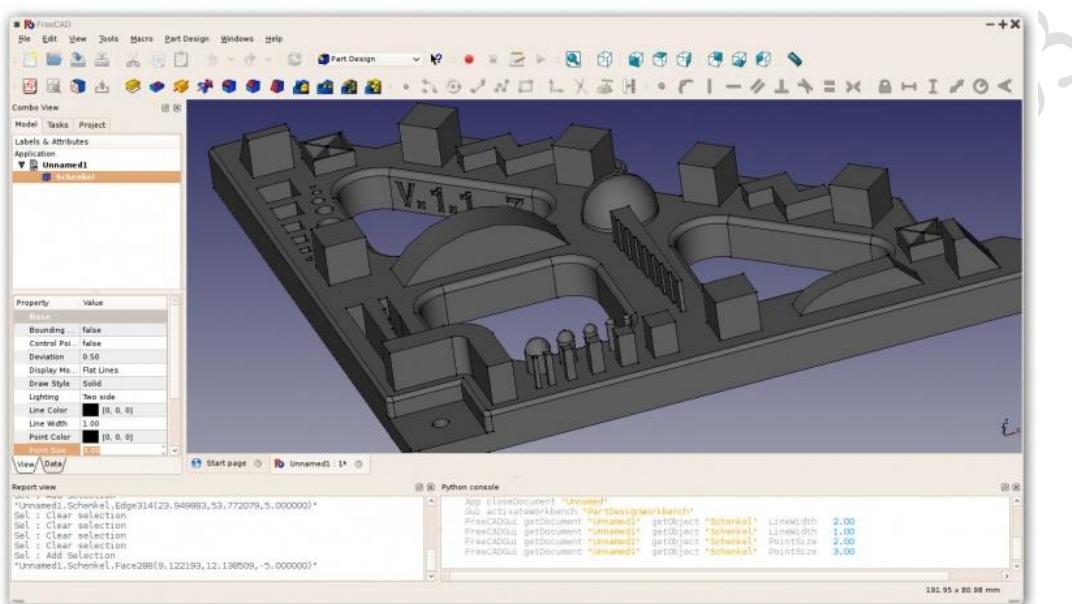
Ljubljana, januar 2018

KAZALO

1. UVOD	1
1.1. GLAVNE ZNAČILNOSTI	2
2. POTREBNO PREDZNANJE.....	4
2.1. DELOVNO GRADIVO ZA TEČAJ.....	4
3. OSNOVNI SKLOPI TEČAJA	5
4. UVOD V UPORABO FREECADA	6
4.1. PREDSTAVITEV OSNOVNIH DELOVNIH OKOLIJ IN GRAFIČNEGA VMESNIKA FREECAD-A	6
4.1.1. <i>Osnovna delovna okolja oziroma namizja FreeCAD-a</i>	7
4.2. PARAMETRIČNOST	8
4.5. PRIKAZOVANJE MODELOV - MANIPULACIJE V PROSTORU	10
4.5.1. <i>Povečava, premik, zasuk in pogledi prikaza objektov</i>	12
4.6. OSNOVNO MODELIRANJE PROSTORSKIH TELES	13
4.6.1. <i>Telesa (primitivi, ang. Primitives)</i>	14
4.6.1.1. Kvader (Orodjarna telesa: Kocka)	14
4.6.1.2. Valj (Orodjarna telesa: Valj)	15
4.6.1.3. Krogle (Orodjarna telesa: Krogle)	16
4.6.1.4. Stožec (Orodjarna telesa: Stožec)	18
4.6.1.5. Torus (Orodjarna telesa: Svitek)	19
4.6.2. <i>Boolova algebra</i>	20
4.6.2.1. Unija	21
4.6.2.2. Izrez	22
4.6.2.3. Presek	22
4.6.3. <i>Orodja za dodatno oblikovanje objektov</i>	23
4.6.3.1. Zaokrožitve robov	23
4.6.3.2. Posnetja robov	24
4.6.4. <i>Gradniki na osnovi skice</i>	26
4.6.4.1. Razteg prerezna v prostor (Ekstruzija, Izrez)	26
4.6.4.2. Zasuk prerezna v prostor (Vrtenina, Rotacijski izrez)	35
5. MODELIRANJE VOLUMSKIH TELES.....	37
5.1. MODELIRANJE TELES Z UPORABO PRIMITIVOV	37
5.1.1. <i>Definicija naloge</i>	37
5.1.2. <i>Rešitev naloge</i>	38
5.1.3. <i>Samostojne vaje</i>	41
5.1.4. <i>Unija dveh valjev</i>	41
5.1.5. <i>Unija valja in kvadra, ki se sekata</i>	45
5.1.6. <i>Luknja v cevi - okrogle</i>	48
5.1.7. <i>Kvadratni izrez v cevi</i>	48
5.2. MODELIRANJE Z GRADNIKI NA OSNOVI SKICE (ANG. <i>PROFILE BASED FEATURES - PBF</i>)	48
5.2.1. <i>Primer – linearni raztegi (PFB)</i>	49
5.2.2. <i>Samostojne vaje – linearni raztegi (PFB)</i>	59
6. IZDELAVA TEHNIŠKE DOKUMENTACIJE (KOMPONENTE)	61
7. VIRI.....	62

1. UVOD

FreeCAD je odprtakodni prostorski (3D) modelirnik namenjen prostorskemu (3D) modeliranju realnih objektov (volumski oziroma »solid« modelirnik), ki se zgleduje po drugih profesionalnih orodjih za inženirsko modeliranje. Omogoča različne načine gradnje in spremjanja virtualnih objektov in omogoča njihovo spremjanje na način premikanja po zgodovini hierarhične gradnje ter spremjanja različnih parametrov na osnovi katerih objekti dobivajo svojo prostorsko obliko, orientacijo in položaj v prostoru.



Slika 1: Delovno okolje FreeCAD

FreeCAD je odprtakodni projekt razvoja programskega sistema, ki omogoča visoko prilagodljivost, makro programiranje z izdelavo ustrezne procesne kode (skriptov) in omogoča razširljivost z dodajanjem različnih programskih vključkov za številne tehnične (inženirske) naloge pri razvoju proizvodov. Preveden programske verzije in izvorna koda so na razpolago brezplačno po pravilih GNU Public licence.

FreeCAD je zasnovan za uporabo na različnih platformah operacijskih sistemov (OS): Windows, Mac in Linux. Na voljo so tako za različne platforme prevedene programske verzije in izvorna koda, ki jo lahko sami prilagajamo in prevajamo (če seveda za to imamo ustrezno znanje in orodja). Bere in zapisuje veliko odprtakodnih formatov zapisa datotek z bazami podatkov prostorskih objektov kot so: STEP, IGES, STL, SVG, DXF, OBJ, IFC, DAE in drugi.

FreeCAD ni nadomestilo za profesionalna programska orodja za 3D modeliranje v zahtevnem poslovnem okolju, ker je to **projekt v stalnem razvoju** in za tako okolje še nima zadostne zanesljivosti in varnosti.

Pregledni hitri vodnik oziroma tečaj za osnovno uporabo FreeCAD (modeliranje 3D objektov, kreiranje 2D prikazov ...) je pripravljene za verzijo FreeCAD-0.16.6712, ki je ta trenutek priporočena kot stabilna delujoča verzija.

Pri razvoju FreeCADA razvijalci iz različnih področij (jezikovnih in strokovnih) izvorno uporabljajo angleški jezik in angleško strokovno izrazoslovje. Ker razvoj temelji na popolnoma prostovoljni bazi in motivih, seveda izrazoslovje ni vedno popolnoma strokovno korektno in v nekaterih primerih odstopa od izrazoslovja pri sorodnih profesionalnih tržnih produktih. Temu trenutno ni posvečena primarna pozornost, kar je razumljivo glede na naravo projekta, vendar pa vseeno prinaša določene težave pri primerjavah produktov in ker bo to vedno težje popravljati.

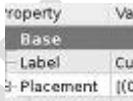
Hkrati različne skupine zanesenjakov posamezne module prevajajo v različne nacionalne jezike, med njimi tudi v slovenski jezik. Stopnja prevedenosti je različna, še bolj je različna strokovna kakovost prevodov, saj nekateri prevajalci očitno nimajo ustrezne strokovne podlage in izkušenj s sorodnimi produkti. Če se uporabnik odloči, da namesti različico s prevodi, se v programskem okolju in posameznih modulih ter njih funkcijah, dialogih... pojavlja in meša tako angleško kot nacionalno (slovensko) izrazoslovje. Mešanje lahko izkušenejše uporabnike moti in raje izberejo izvirni jezik. Za začetne uporabnike vseeno verjamemo, da jim bo verjetno lažja uporaba vsaj delno prevedenega okolja, tudi če kakovost prevodov ni najboljša oziroma je ponekod slaba in celo neprimerna. Tako okolje smo uporabili tudi pri pripravi teh navodil za dano različico modulov in dano stanje slovenskih prevodov. Strokovno urejanje prevodov v slovenski jezik je naloga za prihodnost.

1.1. Glavne značilnosti

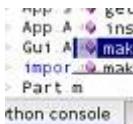
FreeCAD je v fazi razvoja in kot tak še ni primeren (zadosti stabilen, preizkušen in varen) za profesionalno rabo v gospodarskem okolju. Vendar vsebuje številne funkcionalnosti, ki so v stanju razvoja v različnih fazah in stanjih. Nabor njegovih glavnih zmogljivosti je glede na njegovo odprtakodnost vseeno dokaj impresiven.



- Poln 3D modelirnik za volumska telesa, ki temelji na [Open CASCADE Tehnologiji](#) oziroma jedru za zapis geometrijskih podatkov. Omogoča številne kompleksne tehnike gradnje 3D objektov in podporo za zapis v različnih odprtakodnih formatih, kot sta STEP in IGES formata.



- Omogoča popolno parametrično modeliranje, vsi objekti so v osnovi parametrični, kar pomeni, da je njihovo obliko možno popisati z množico spremenljivk, ki lahko zavisijo tudi od spremenljivk drugih objektov. Vsaka sprememba pomeni preračun po zahtevi z možnostjo razveljavitve in ponovne uveljavitve. Objekte dodajamo zlahka, lahko proces gradnje avtomatiziramo s programiranjem v programskem jeziku [Python](#).

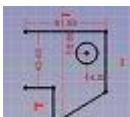


- Zasnovan je modularno, kar pomeni, da se njegova funkcionalnost širi z dodajanjem modulov oziroma vtičnikov v skupno jedrno delovno okolje. Vtičniki so

lahko kompleksni kot popolnoma nove aplikacije programirane v okolju C++ ali kot preprosti [Python skripti](#) ali lastno posneti [makro](#) programi. Uporabnik ima poln dostop do teh funkcionalnosti skozi vgrajen **Python** interpreter, makroje ali zunanje skripte do praktično vseh modulov FreeCADA.



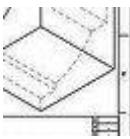
- Zgrajene objekte je možno izvoziti v lepo število **standardnih formatov** kot so [STEP](#), [IGES](#), [OBJ](#), [STL](#), [DXF](#), [SVG](#), [STL](#), [DAE](#), [IFC](#) ali [OFF](#), [NASTRAN](#), [VRML](#) in seveda v osnovni FreeCAD format zapisa [Fcstd](#).



- [Skicirka](#) je modul, ki omogoča gradnjo 2D oblik z medsebojnimi odvisnostmi. Skice oziroma profili so pogosto temelj za gradnjo 3D oblik z različnimi prostorskimi operacijami v FreeCADu.



- Modul za simulacije [Robotskih gibanj](#) omogoča študije kinametike robotov in prikaz v grafičnem prikazovalniku (GUI).



- Modul [za izdelavo tehničnih risb](#) omogoča kreiranje ustreznih večpoglednih prikazov v skladu s standardi, ki so potrebni za izdelavo tehnične dokumentacije. Risbe je mogoče izvoziti v odprtokodne formate SVG ali PDF.



- Vsebuje tudi modul za izdelovanje zahtevnejših [senčenih](#) prikazov (slik). Modul omogoča osnovne metode in je v intenzivnem razvoju.



- Vsebuje tudi modul za [programiranje poti mehanskih obdelav \(CAM\)](#) iz 3D geometrije, ki je zmožen izdelave, prikaza in prilaganja [G kode](#), ki je osnovni programski jezik CNC obdelovalnih strojev

2. POTREBNO PREDZNANJE

Osnovno znanje uporabe računalnika:

- uporaba tipkovnice in miške v grafičnem delovnem okolju MS Windows,
- uporaba programa Raziskovalec (Explorer),
- uporaba katerega izmed Windows programov: npr. Notepad, Wordpad, Paint, MS Word, ipd. (uporaba menijev, drsnikov, odpiranje in shranjevanje datotek).

2.1. Delovno gradivo za tečaj

Delovno gradivo za tečaj ni dovolj podrobno za samostojno delo in študij, ampak je le vodilo z osnovnimi informacijami za lažje spremljanje tečaja in kasnejše utrjevanje znanja. V nekaterih delih je bolj v drugih pa manj natančno.

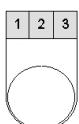
Gradivo je napisano preprosto. Osnovne stvari so na kratko pojasnjene, nekatere so samo naštete, ukazi iz programa pa so večinoma zapisani v drugačnih stilih, kot opisni tekst:

stil za prikaz menijskih ukazov (primer: File > New)

stil za prikaz ikonskih ukazov (primer: New)

➔ **stil za prikaz pod ukazov iz pogovornih oken (primer: Rectangular)**

Opis oznak vezanih na uporabo miške:



- MB1 – leva tipka na miški,
- MB2 – srednja tipka na miški in
- MB3 – desna tipka na miški.

Pri delu s programskim paketom FreeCAD se srečujemo s pogovornimi okni, ki v večini primerov poleg nastavitev opcij vsebujejo nekatere tipke ozira gume, katerih pomen je pomemben za samo efektivnost dela.



Najpomembnejše tipke so (navedeno le v angleškem jeziku, naletimo lahko tudi na slovenski prevod):

- »**OK**« – tipka nam omogoča potrditev nastavitev in izhod iz pogovornega okna,
- »**Apply**« – tipka nam omogoča potrditev nastavitev, vendar pogovorno okno ostane odprto na ekranu in omogoča nadaljnje nastavitev.
- »**Cancel**« – tipka nam omogoči ukinitve vseh opravljenih nastavitev in izklopi pogovorno okno – to nam pride posebej prav, ko ugotovimo, da smo napravili kakšno napako.
- »**Back**« – tipka nam omogoča pomikanje po korakih nazaj. Ta tipka je dostopna pri procedurah, kjer se pojavljajo serije pogovornih oken. Omogoča, da prekinemo zadnjo nastavitev in se povrnemo na predhodno nastavitev ter nadaljujemo z delom.

3. Osnovni sklopi tečaja

Predvideni so vsebinski sklopi:

- Uvod v FreeCAD – teorija in ozadje programa (TD 1),
- Osnove modeliranja volumskih teles – elementov (ang. *Parts*; *TD 1*)
- Napredno modeliranje volumskih teles – elementov (*TD 2*),
- Osnove modeliranja sestavov (ang. *Assembly*; *TD 2*),
- Izdelava tehniške dokumentacije (ang. *Drafting*; *TD 1 in TD 2*) in
- Dodatne tematike pomembne za delo (*TD 1 in TD 2*).

4. Uvod v uporabo FreeCADA

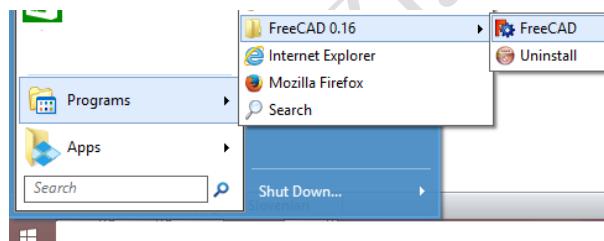
Programski paket FreeCAD je odprtakodni parametrični modelirnik, ki omogoča kreiranje digitalnih kopij objektov (geometrijski modeli) iz vsakodnevnega življenja. Princip parametričnega modeliranja nam omogoča enostavno urejanje geometrijskih modelov objektov s pomočjo urejanja njihove zgodovine in spremjanja ključnih parametrov.

Ker je odprtakoden, je zelo fleksibilen kar se tiče prilagajanja uporabi in nadgrajevanja. Najpomembnejša lastnost pa je, da je ne glede na namen uporabe popolnoma BREZPLAČEN.

Program deluje na več programskih okoljih in bere večino pomembnejših nevtralnih formatov (STEP, IGES, STL, SVG, DXF, OBJ, IFC, DAE), ki jih za izmenjavo modelov uporablja komercialni programski CAD paketi.

4.1. Predstavitev osnovnih delovnih okolij in grafičnega vmesnika FreeCADA

Grafični uporabniški vmesnik (GUI; ang. *Graphic User Interface*) FreeCAD-a sledi logiki in organizaciji profesionalnih prostorskih modelirnikov, ki se uporabljajo v današnjem času v industriji. Ko poženemo programski paket FreeCAD (Slika 2), se odpre osnovno okno FreeCAD (Slika 3) v delovnem okolu Start.

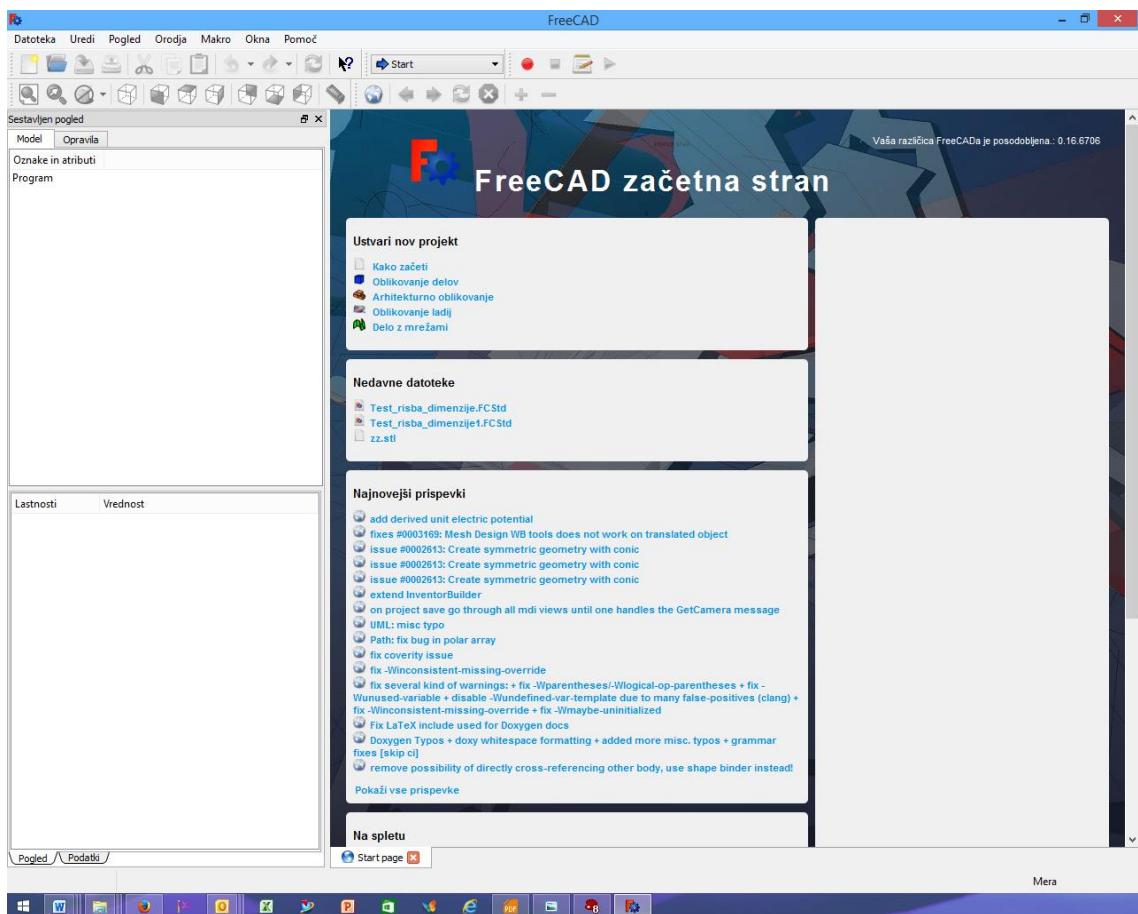


Slika 2: Zagon FreeCAD-a

V gornjem delu osnovnega okna je vidna menijska vrstica s klasičnim naborom menijev (**Datoteka**, **Uredi**, **Pogled**, **Orodja**, **Makro**, **Okna** in **Pomoč**). Pod menijsko vrstico se nahajajo orodjarne Datoteka, *Workbench* (slv. Delovno okolje) in Makro. Pod temi orodjarnami pa še orodjarni Pogled in Krmarjenje.

Pod orodjarnami se na osrednjem delu desne strani nahaja FreeCAD začetna stran s koristnimi informacijami za uporabnike, nedavnimi datotekami, obvestili vezanimi na popravke in razvoj FreeCADA ter koristnimi spletnimi povezavami. V tem delu se lahko preklaplja med odprtimi datotekami s pomočjo zavihkov v spodnjem delu okna.

Na levi imamo dve okni. Gornje ima dva zavihka: Model in Opravila. Zavihek Model prikazuje drevesno strukturo modela, zavihek Opravila pa pogovorna okna za kreiranje gradnikov modela. Spodnje okno ima prav tako dva zavihka: Pogled in Podatki. V zavihku Pogled so prikazane lastnosti »grafičnega prikaza« gradnika (barva črt, tip črt, ...). Zavihek podatki pa omogoča prikaz in popravljanje parametrov posameznega geometrijskega gradnika.



Slika 3: Osnovno okno FreeCAD-a poimenovano »Start«

4.1.1. Osnovna delovna okolja oziroma namizja FreeCAD-a

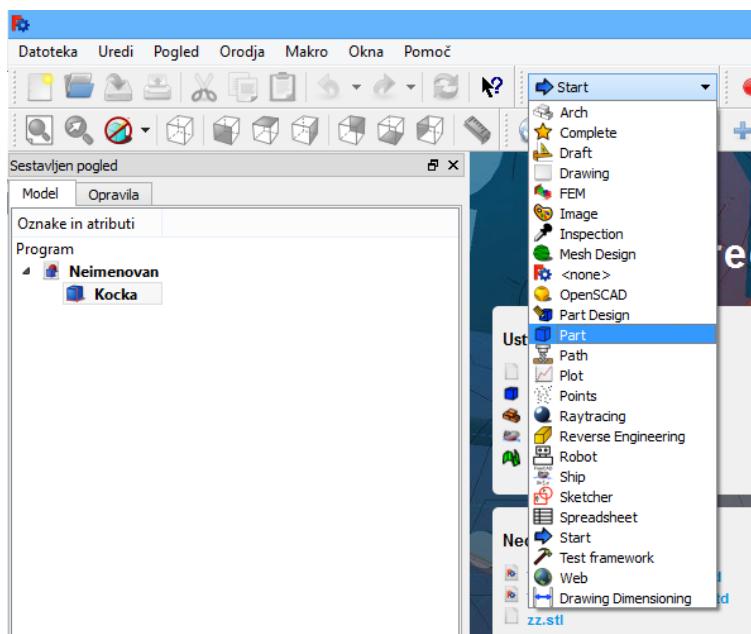
Delovno okolje, ki se odpre ob zagonu FreeCAD je okolje Start, ki je v bistvu neke vrste interaktivna začetna stran z uporabniškimi informacijami (Slika 3).

Za namen izvedbe tega tečaja bomo uporabili le najbolj osnovne module, ki so potrebni za izdelavo dokumentacije elementa oz. sklopa.

Ti moduli so:

- Part (izdelava 3D objektov – elementov in uporaba Boolove algebre za kreiranje volumskih elementov),
- Part Design (uporaba skicirke in geometrijskih gradnikov na osnovi skice ter ukazi za vzorčenje in oblikovni gradniki),
- Drawing (osnovna oprema risbe s postavitvijo pogledov oziroma prerezov 2D) in
- Drawing dimension (dodatek; kotiranje).

Med posameznimi delovnimi okolji preklapljamо s pomočjo spustnega seznama za izbor delovnega okolja (Slika 4).



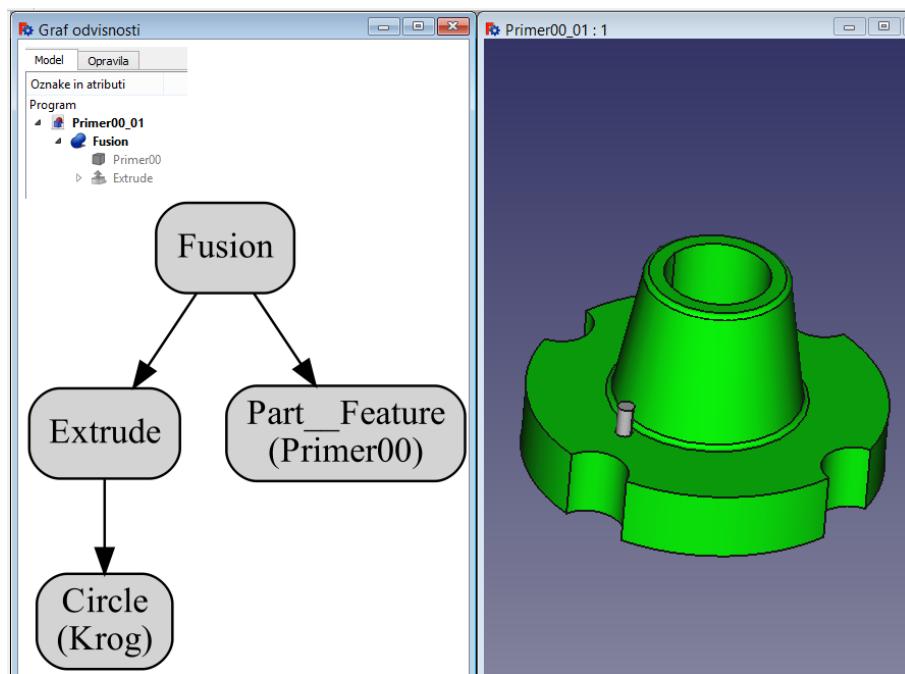
Slika 4: Uporaba spustnega seznama za izbor delovnega okolja

4.2. Parametričnost

Večina aktualnih modelirnikov je parametričnih. To pomeni, da se pri kreiranju gradnikov modela avtomsatko kreirajo parametri, preko katerih lahko kreirani model kasneje tudi popravljamo. Parametre pa lahko med seboj tudi povezujemo z matematičnimi izrazi.

Regeneracija modelov se izvaja sekvenčno in ni vedno avtomska, zato se spremenjeni a ne regenerirani (ponovno preračunani) v drevesnem meniju prikažejo z malo modro ikono ob robu. V takšnih primerih je potreben klik na ikono **Osveži** (ali tipka F5).

Opozorilo: Pri zapisu vrednosti parametrov, ki so običajno decimalna števila (realna števila) je potrebno opozoriti, da se kot decimalno ločilo uporablja sistemsko določeno ločilo, ki je vezano na nastavitev jezika operacijskega sistema (oziroma sistemsko spremembo teh nastavitev). **Za operacijski sistem z nastavljenim slovenskim jezikom je privzeta nastavitev decimalnega simbola »,« (vejica).** To zadevo poudarjam, ker velja za večino komercialnih CAD paketov, da se za decimalno ločilo uporablja »,« (pika)!



Slika 5: Drevesna struktura in graf odvisnosti [modela](#)

Drevesna struktura (Slika 5) je za razliko od komercialnih modelirnikov prikazana od zgoraj navzdol po vrstnem redu (zgodovini) kreiranja geometrijskih gradnikov. FreeCAD ima nekoliko poseben način prikaza zgodovine, saj nivojsko združuje določene objekte:

- Skice se pojavijo na podnivoju geometrijskega gradnika raztega ali zasuka profila v prostor (so starši objektu višje od njih; oz. vstopajo kot lastnost pri kreiranju nadrejenega objekta).
- Če dva geometrijska objekta (dve volumski telesi) združimo s pomočjo operacij Boolove algebре, dobimo nov objekt – vhodna objekta se premakneta v podnivo tega objekta (sta starša novega objekta oz. vstopata kot vhodni podatek pri kreiranju nadrejenega objekta).

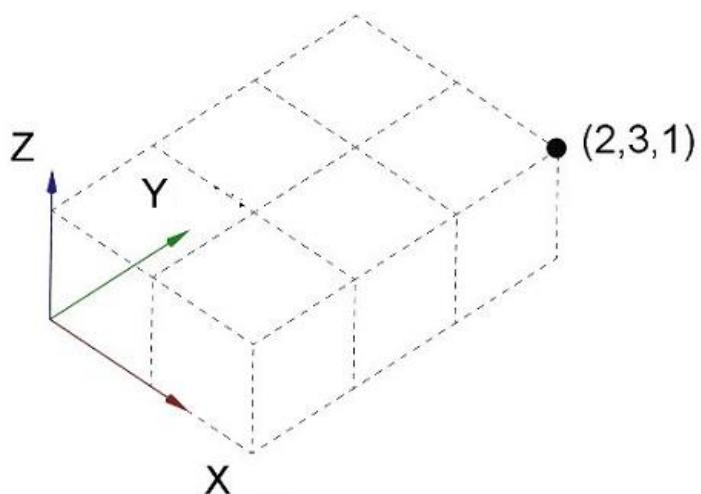
Rezultat takšnega prikaza je razvezjana drevesna struktura, ki lahko na prvi pogled zbega uporabnike komercialnih CAD paketov. Na najnižjem nivoju so starševski objekti, na najvišjem pa otroci oz. telo. V sekvenci sledijo nadaljnje operacije katerih rezultat ni novo telo ampak le oblikovna dodelava obstoječega. (običajen način v modelirnikih). V drevesni strukturi se po zgodovinskem zaporedju pojavijo tudi objekti, ki jih aktualnemu modelu dodamo v drugih delovnih okoljih in ne posegajo v samo geometrijo. Iz tega razloga je v fazi modeliranja smiselno spremljati graf odvisnosti modela: Za to potrebujemo program Graphviz, ki je poseben zunanji dodatek programu FreeCAD in ga lahko prenesemo iz spletne strani:

http://graphviz.org/Download_windows.php. Po namestitvi je potrebno nastaviti pot do njegove izvršilne datoteke (bin) v okolju FreeCADA. Navodila z to so dana na povezavi https://www.freecadweb.org/wiki/index.php?title=Std_DependencyGraph#Configuration

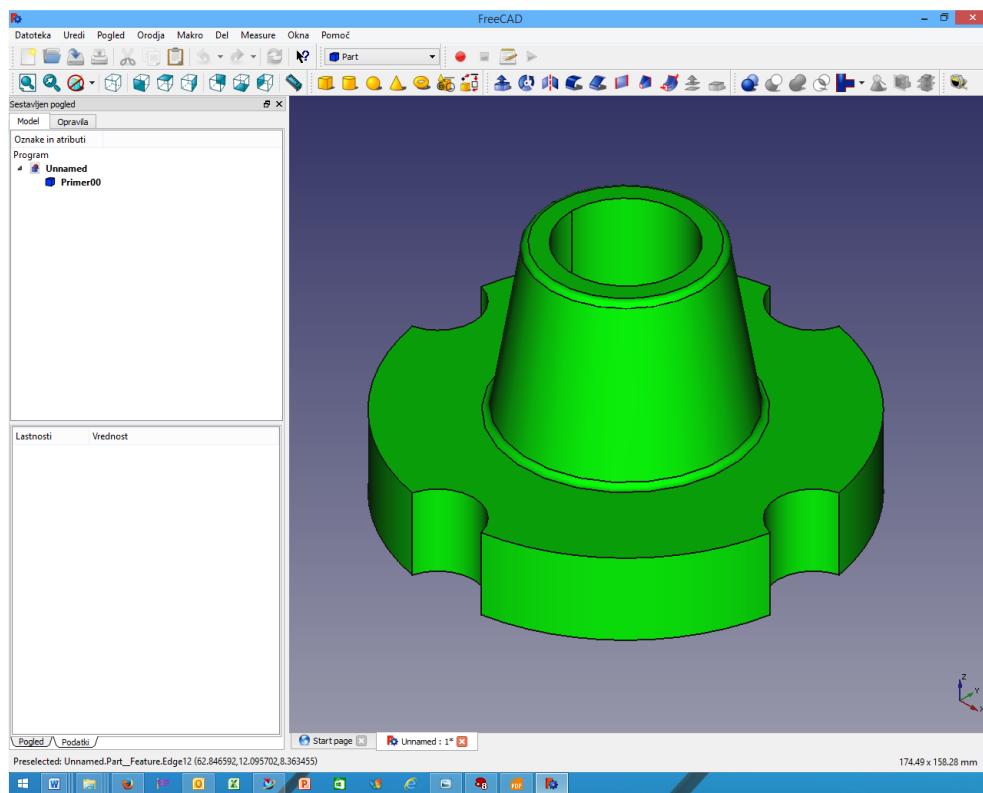
Če imamo na najvišjem nivoju grafa več objektov, potem imamo v datoteki več med seboj nepovezanih teles (Slika 5)!

4.5. Prikazovanje modelov - manipulacije v prostoru

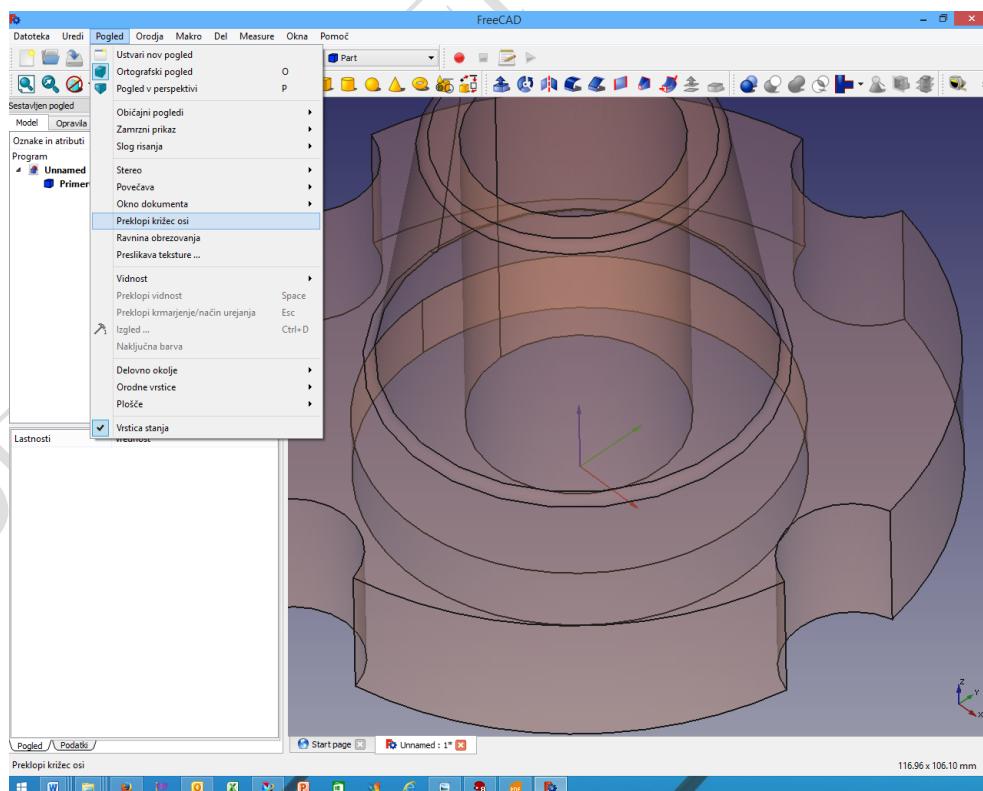
Trirazsežni prostor FreeCAD-a (delovna okolja Part, Part design, ...) je Evklidski prostor, ki ima izhodišče in tri osi X, Y in Z (desnosučni koordinatni sistem). Trenutno orientacijo prostora oz. lego točke gledanja na model nam prikazuje koordinatni sistem (Slika 7) v spodnjem desnem kotu grafičnega okna (Slika 7). Vsaka točka v tem prostoru je popisana s tremi koordinatami (x, y, z) (Slika 6). Na sam model prikazan v 3D prostoru lahko gledamo (lokacija pogleda / kamere) iz različnih strani in različnih razdalj.



Slika 6: Točka v 3D prostoru [2]



Slika 7: Grafično okno z modelom (aksonometrični pogled) in koordinatnim sistemom, ki nakazuje orientacijo modela.



Slika 8: Vklop prikaza osi globalnega koordinatnega sistema (preklopi prikaz osi)

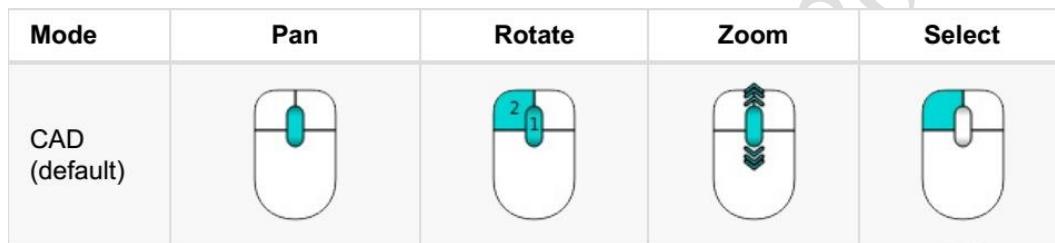
V grafičnem oknu po potrebi lahko vklopimo (izklopimo) osi globalnega koordinatnega sistema. Malce nerodno je, da se ne vidijo preko modela, če le ta ni prosojen ali pa se nahaja ravno izhodišču globalnega koordinatnega sistema.

4.5.1. Povečava, premik, zasuk in pogledi prikaza objektov

Povečava (ang. Zoom), premik (ang. Pan), zasuk (ang. Rotate) in pogledi (ang. Views) manipulacije z modelom bomo praktično prikazali. Odprite model **Primer00_02.FCStd**, ki se nahaja na lokaciji s primeri modelov (**Datoteka > Odpri** ali 2. ikona v orodjarni datoteka).

Model se odpre v takšnem pogledu, kot je bil zadnjič shranjen (aksonometrija, prilagoditev vsebine na zaslon; Slika 7). Vse v nadaljevanju navedene operacije sproti izvedemo.

Povečava (ang. Zoom) se dinamično izvaja s pomočjo tipk **Ctrl in +** (povečaj) oz. **Ctrl in -** (pomanjšaj). Enak učinek dosežemo tudi z vrtenjem kolesca na miški (MB2; vrtenje proti sebi je pomanjševanje; Slika 9).



Slika 9: Funkcije tipk na miški [2], številke prikazujejo vrstni red pritiskanja na posamezno tipko; privzeta nastavitev miške CAD

Premik (ang. Pan) se izvaja s smernimi tipkami na tipkovnici ali pa s stisnjeno srednjo tipko-koleškom (MB2; Slika 9) in premikanjem miške v grafičnem oknu (pri tem je viden tudi križ, ki kaže na aktivno funkcijo premikanja).

Zasuk (ang. Rotate) se izvaja s stisnjeno tipko **Shift** in pritiskom na **smerno tipko za levo ali desno**. Pri rotaciji s pomočjo miške najprej stisnemo kolesce (MB2) in nato še levo (MB1) tipko (ali desno tipko – MB3) in nato z gibanjem miške zasučemo model (Slika 9).

Pogledi (ang. Views), ki so v FreeCAD-u prednastavljeni in pomenijo večpogledne projekcije na ravnine, se preklapljam s tipkami:

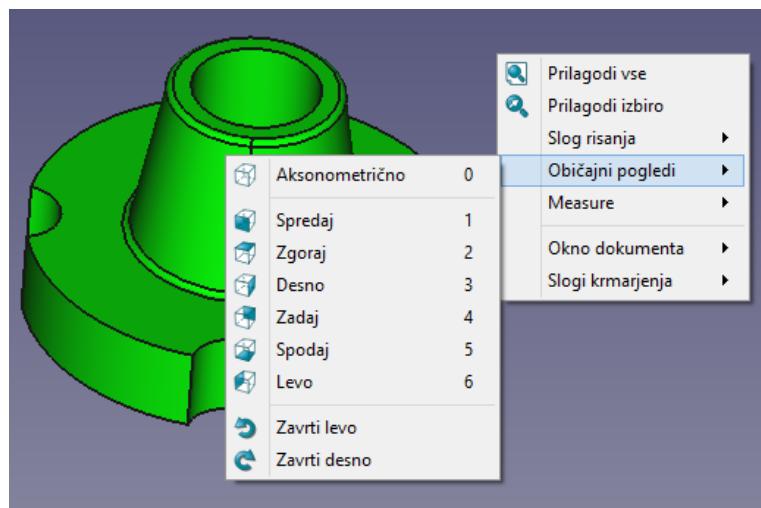
- **0** (aksonometrija),
- **1** (pogled od spredaj – naris),
- **2** (pogled od zgoraj – tloris),
- **3** (pogled z desne),
- **4** (pogled od zadaj),
- **5** (pogled od spodaj) in
- **6** (pogled z leve – stranski ris).

Med pogledi lahko preklapljam tudi z zadnjimi sedmimi ikonami v orodni vrstici Pogled (Slika 10).



Slika 10: Orodna vrstica Pogled

Objekte na modelu in ukaze se izbira z levo tipko na miški (MB1), v odvisnosti od izbora so nam na voljo funkcije iz menija, ki ga odpremo s klikom na desno tipko miške (MB3). Ko nimamo izbranih objektov, so nam v kontekstnem meniju (MB3, Slika 11) na voljo funkcije izbore pogledov, sloga izrisa in nekateri izmed opisanih ukazov za manipulacijo.



Slika 11: Kontekstni (MB3) meni v primeru, ko nimamo izbranih objektov

Poleg navedenega je potrebno omeniti, še dva ukaza, ki ju aktiviramo s tipkami:

- **O** (ortografski pogled; **Pogled > Pravokotno oz. ortogonalno projiciranje**),
- **P** (perspektiva; **Pogled > Pogled v perspektivi ozziroma centralni projekciji**).

Če med izbiranjem držimo tipko **Ctrl**, lahko izberemo več objektov (ali elementov) hkrati.

4.6. Osnovno modeliranje prostorskih teles

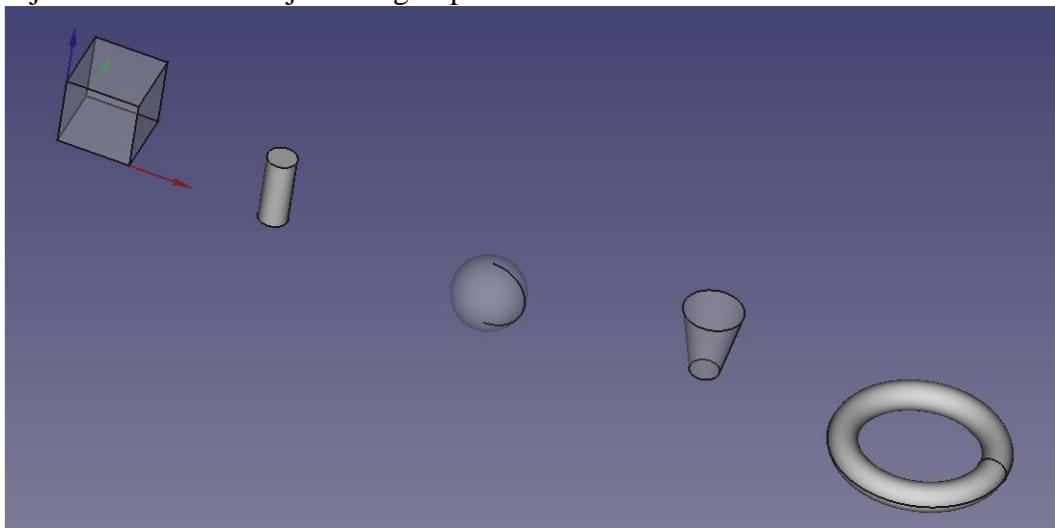
- Predstavitev ukazov nabora za kreiranje geometrijskih primitivov – orodjarna Telesa (Kvader¹ / Valj / Krogla / Stožec / Torus; delovno okolje: Part).
- Predstavitev Boolove algebре – orodjarna Logična vrednost² (Unija / Izrez / Presek).
- Predstavitev nekaterih ukazov za detajliranje teles – orodjarna Orodja za dele:
 - Zaokroži izbrane robove (ang. *Fillet*)
 - Posnemi izbrane robove (ang. *Chamfer*)

¹ Primer neusklenjenega ozziroma slabega izrazoslovja v prevedenih delih modulov – ukaz za kreiranje kvadrov ozziroma prizmatičnih teles se v modulu imenuje Kocka!

² Pri tem ukazu gre za uporabo operacij Boolove algebре ozziroma algebре množic; v nadaljevanju je še nekaj takih nedoslednosti, na katere ne bomo posebej opozarjali, saj gre za ureditev probleme izrazoslovja v celoti.

4.6.1. Telesa (primitivi, ang. Primitives)

Telesa (Slika 12) ali primitivi so zgodovinsko gledano prvi osnovni gradniki pri računalniško podprtjem geometrijskem modeliranju prostorskih objektov (predmetov oz. teles). Postopek izdelave teh teles temelji na njihovih karakterističnih lastnostih geometrije dopolnjenih z informacijami o velikosti in njihovi legi v prostoru.

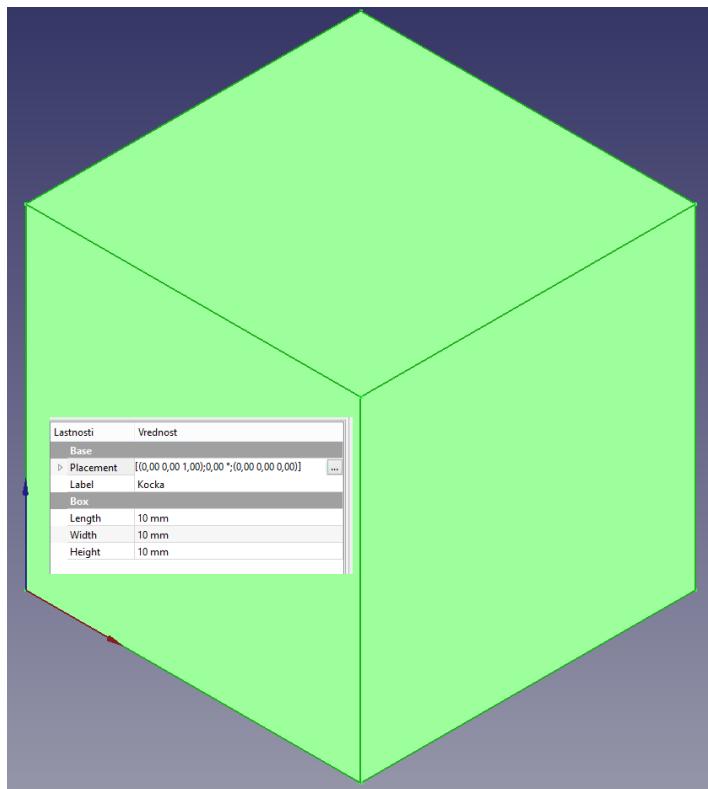


Slika 12: *Osnovna telesa (primitivi)*

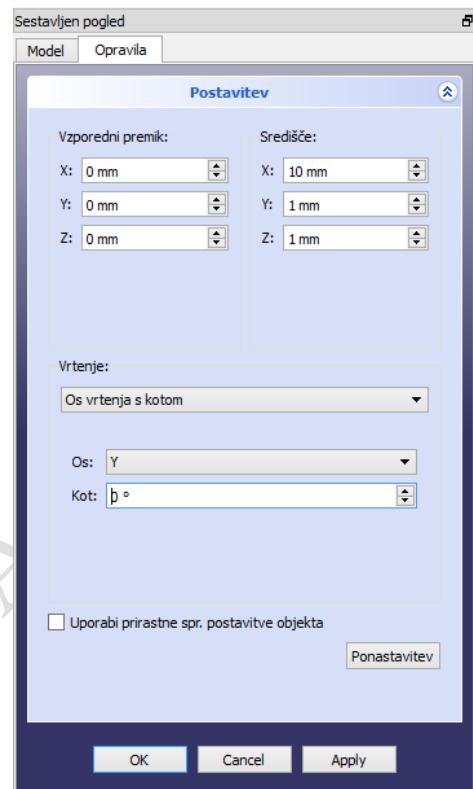
4.6.1.1. Kvader (Orodjarna telesa: Kocka)

- Kliknemo na ikono .
- S tem smo izdelali kvader s stranicami enake velikosti (kocko; 10x10x10 mm; Slika 13) s spodnjim levim ogljiščem v izhodišču globalnega koordinatnega sistema (pogled na XZ ravnino). To ogljišče je izhodiščna točka (lokalnega koordinatnega sistema gradnika).
- Velikost – dimenziije gradnika spremojemo s spremembami vrednosti osnovnih parametrov v tabeli podatki.
- Lego gradnika lahko (velja splošno) spremojemo s klikom na ikono »...« v polju Placement, zavrhka Podatki.
- S klikom se aktivira pogovorno okno Postavitev (Slika 14) v zavrhku Opravila, v njem natančno definiramo lego gradnika v absolutnem prostoru:
 - **Vzporedni premik (XYZ)** – za izvedbo poljubnega premika objekta definiranega s premiki po posamezni osi.
 - **Središče (XYZ)** – izvede premik izhodiščne točke (lokalnega koordinatnega sistema po posamezni osi. To je pomembno predvsem pri definiciji zasuka gradnika).
 - **Vrtenje:**
 - Os vrtenja s kotom (privzeta opcija):
 - Iz spustnega seznama Os izberemo X,Y,Z ali pa vnesemo vektorski zapis osi okoli katere želimo zasukati gradnik.
 - Vnesemo kot zasuka (pozitivna smer je po pravilu desne roke glede na os vrtenja – palec v smeri osi, prsti kažejo na pozitivno smer zasuka).

- Eulerjevi koti (odklon, naklon nagib).
- Če imamo v izbornem okvirju odkljukano opcijo »Uporabi prirastne spr. postavitev objekta« se vsaka spremembra lege izvaja glede na zadnjo lokacijo lege objekta – relativni premiki in zasuki.



Slika 13: Izdelava kvadra (ukaz Kocka)

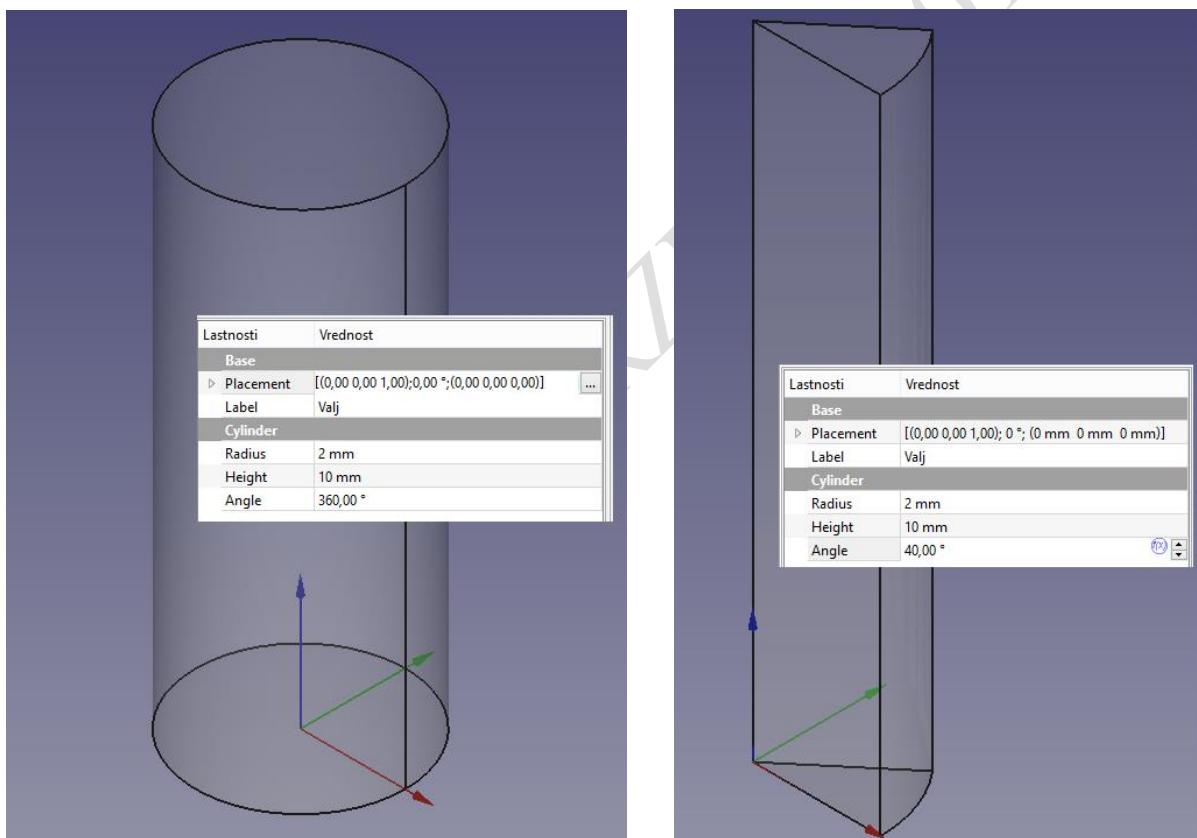


Slika 14: Pogovorno okno postavitev (splošna definicija lege gradnikov)

4.6.1.2. Valj (Orodjarna telesa: Valj)

- Kliknemo na ikono .
- S tem smo izdelali valj (Slika 15 levo) z radijem osnovne ploskve 2 mm (ang. *Radius*), višino 10 mm (ang. *Height*) in kotom osnovne ploskve 360° (ang. *Angle*) središčem krožnice spodnje osnovne ploskve v izhodišču globalnega koordinatnega sistema. To središče je izhodiščna točka (lokalnega koordinatnega sistema gradnika). Kot (ang. *Angle*) definira kot izseka valja (Slika 15 desno), če ne želimo kreirati celega valja.
- Velikost – dimenzijske gradnike spremenjamo s spremembami vrednosti osnovnih parametrov v tabeli podatki.
- Lego gradnika lahko (velja splošno) spremenjamo s klikom na ikono »...« v polju Placement, zavihka Podatki.
- S klikom se aktivira pogovorno okno Postavitev (Slika 14) v zavihku Opravila, v njem natančno definiramo lego gradnika v absolutnem prostoru:
 - **Vzporedni premik (XYZ)** – za izvedbo poljubnega premika objekta definiranega s premiki po posamezni osi.

- **Središče (XYZ)** – izvede premik izhodiščne točke (lokalnega koordinatnega sistema po posamezni osi. To je pomembno predvsem pri definiciji zasuka gradnika.
- **Vrtenje:**
 - Os vrtenja s kotom (prvzeta opcija):
 - Iz spustnega seznama Os izberemo X, Y, Z ali pa vnesemo vektorski zapis osi okoli katere želimo zasukati gradnik.
 - Vnesemo kot zasuka (pozitivna smer je po pravilu desne roke glede na os vrtenja – palec v smeri osi, prsti kažejo na pozitivno smer zasuka).
 - Eulerjevi koti (odklon, naklon nagib).
- Če imamo v izbornem okvirju odkljukano opcijo »Uporabi prirastne spr. postavitve objekta« se vsaka sprememba lege izvaja glede na zadnjo lokacijo lege objekta – relativni premiki in zasuki.

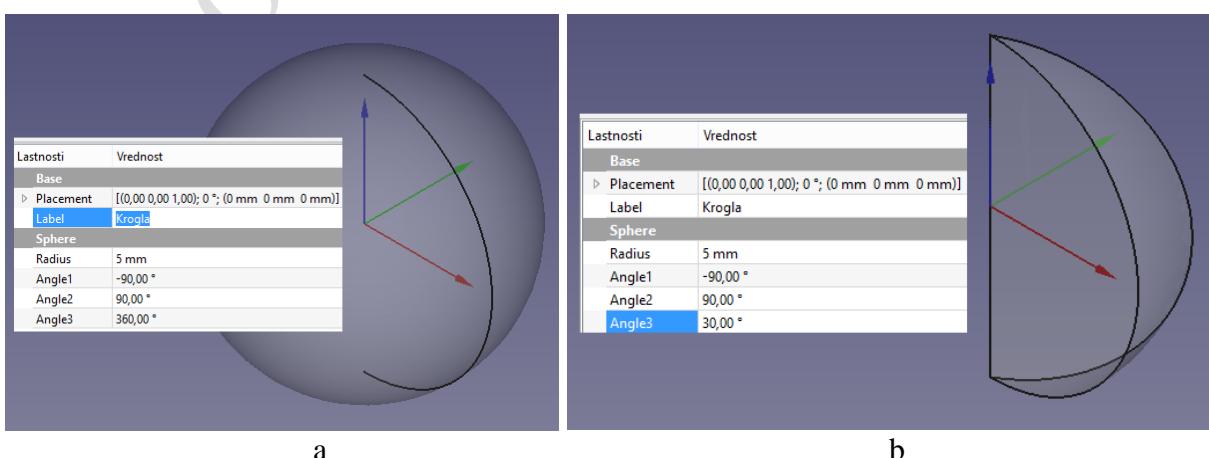


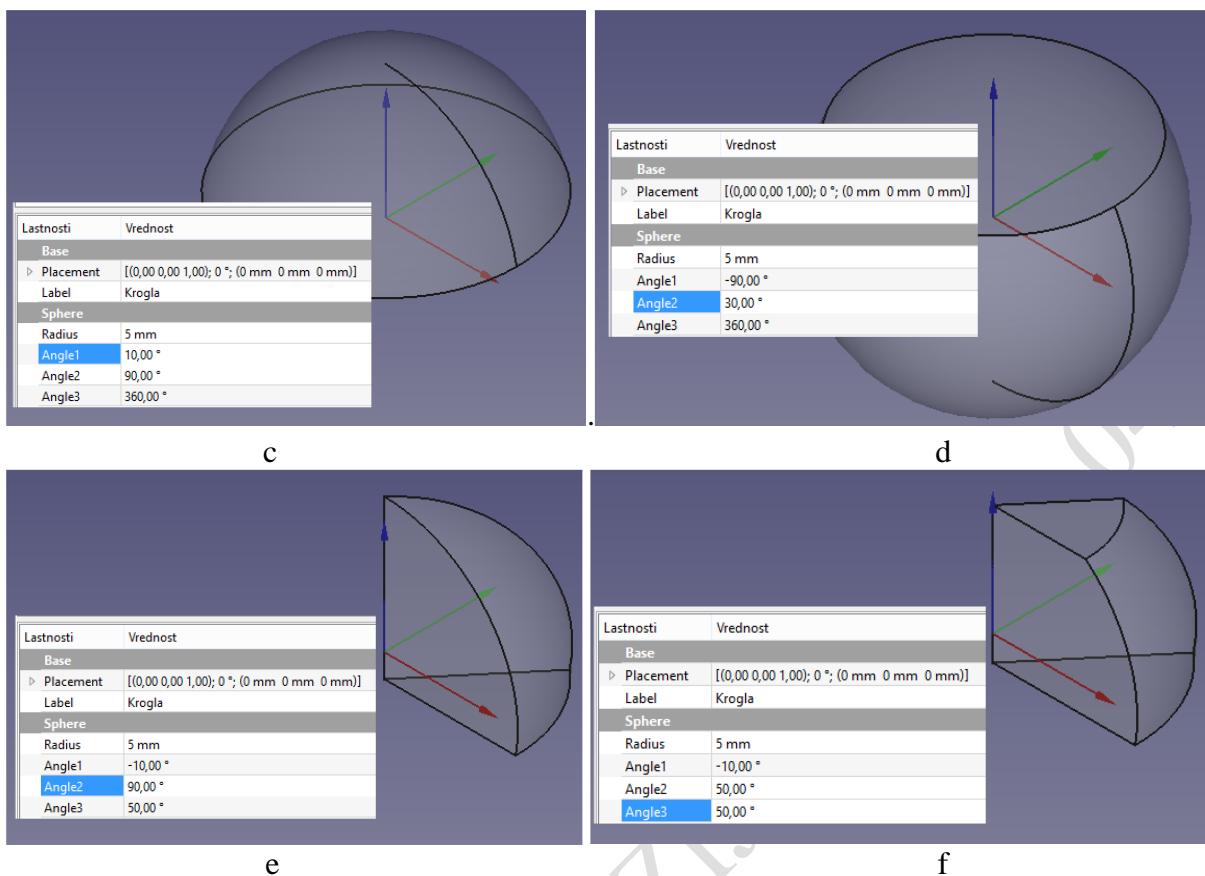
Slika 15: Izdelava valja in izseka valja

4.6.1.3. Krogla (Orodjarna telesa: Krogla)

- Kliknemo na ikono .
- S tem smo izdelali kroglo (Slika 16 a) s sferičnim radijem 5 mm (ang. *Radius*), kotom1 (ang. *Angle1*, kot merjen od lokalne XY ravnine telesa navzdol): -90, kotom2 (ang. *Angle2*, kot merjen od lokalne XY ravnine telesa navzgor): 90, in kotom3 (ang. *Angle3*, kot zavrtitve krožnega loka med kotom1 in kotom2 – tvorilke v prostor): 360° in središčem krogle v izhodišču globalnega koordinatnega sistema . To središče je izhodiščna točka (lokalnega koordinatnega sistema gradnika).

- Velikost – dimenzijske gradnike spremojamo s spremembo vrednosti osnovnih parametrov v tabeli podatki.
- Kot3 (ang. *Angle3*) omogoča ob nespremenjenih kotih1 in 2 definicijo rezine krogle (Slika 16 b).
- Sprememba kota1 (ang. *Angle1*) omogoča kreiranje gornjega odseka krogle (Slika 16 c).
- Sprememba kota2 (ang. *Angle2*) omogoča kreiranje spodnjega odseka krogle (Slika 16 d).
- Sprememba kota1 (ali kota2) in spremembata3 omogoča kreiranje rezine gornjega (ali spodnjega) krogelnega odseka (Slika 16 e).
- Sprememba kota1 in kota2 (ob nespremenjenem kotu3) omogoča kreiranje krogelnega pasu. Če pa spremenimo še kot3, dobimo rezino krogelnega pasu (Slika 16 f).
- Lego gradnika lahko (velja splošno) spremojamo s klikom na ikono »...« v polju Placement, zavrhka Podatki.
- S klikom se aktivira pogovorno okno Postavitev (Slika 14) v zavrhku Opravila, v njem natančno definiramo lego gradnika v absolutnem prostoru:
 - **Vzporedni premik (XYZ)** – za izvedbo poljubnega premika objekta definiranega s premiki po posamezni osi.
 - **Središče (XYZ)** – izvede premik izhodiščne točke (lokalnega koordinatnega sistema po posamezni osi. To je pomembno predvsem pri definiciji zasuka gradnika.
 - **Vrtenje:**
 - Os vrtenja s kotom (privzeta opcija):
 - Iz spustnega seznama Os izberemo X,Y,Z ali pa vnesemo vektorski zapis osi okoli katere želimo zasukati gradnik.
 - Vnesemo kot zasuka (pozitivna smer je po pravilu desne roke glede na os vrtenja – palec v smeri osi, prsti kažejo na pozitivno smer zasuka).
 - Eulerjevi koti (odklon, naklon nagib).
 - Če imamo v izbornem okvirju odkljukano opcijo »Uporabi prirastne spr. postavitve objekta« se vsaka spremembra lege izvaja glede na zadnjo lokacijo lege objekta – relativni premiki in zasuki.





Slika 16: Izdelava krogle in teles na osnovi krogle

4.6.1.4. Stožec (Orodjarna telesa: Stožec)

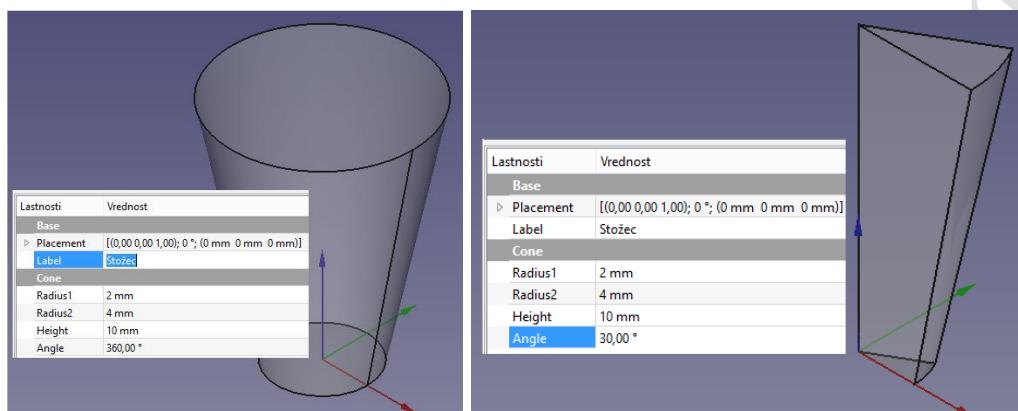
- Kliknemo na ikono .
- S tem smo izdelali prisekani stožec (ki se v tehniki najpogosteje pojavlja, Slika 17 a) z radijem1 (ang. *Radius1*) osnovne ploskve: 2 mm, radijem2 gornje ploskve: 5 mm, višino (ang. *Height*): 10 mm in kotom(ang. *Angle*) osnovne ploskve 360° središčem krožnice spodnje osnovne ploskve v izhodišču globalnega koordinatnega sistema . To središče je izhodiščna točka (lokalnega koordinatnega sistema gradnika). Kot (ang. *Angle*) definira kot izseka stožca (Slika 17 b), če ne želimo kreirati celega (prisekanega) stožca.
- Velikost – dimenziije gradnika spremenjamo s spremembami vrednosti osnovnih parametrov v tabeli podatki.
- Cel stožec (krožni, Slika 17 c) dobimo, če spremenimo radij2 (ali radij1) na 0 mm.
- Lego gradnika lahko (velja splošno) spremenjamo s klikom na ikono »...« v polju »Placement«, zavihka Podatki.
- S klikom se aktivira pogovorno okno Postavitev (Slika 14) v zavihku Opravila, v njem natančno definiramo lego gradnika v absolutnem prostoru:
 - **Vzporedni premik (XYZ)** – za izvedbo poljubnega premika objekta definiranega s premiki po posamezni osi.
 - **Središče (XYZ)** – izvede premik izhodiščne točke (lokalnega koordinatnega sistema) po posamezni osi. To je pomembno predvsem pri definiciji zasuka gradnika.
 - **Vrtenje:**

- Os vrtenja s kotom (privzeta opcija):

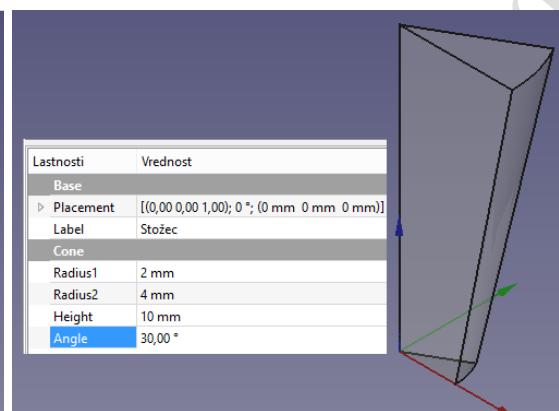
- Iz spustnega seznama Os izberemo X,Y,Z ali pa vnesemo vektorski zapis osi okoli katere želimo zasukati gradnik.
- Vnesemo kot zasuka (pozitivna smer je po pravilu desne roke glede na os vrtenja – palec v smeri osi, prsti kažejo na pozitivno smer zasuka).

- Eulerjevi koti (odklon, naklon nagib).

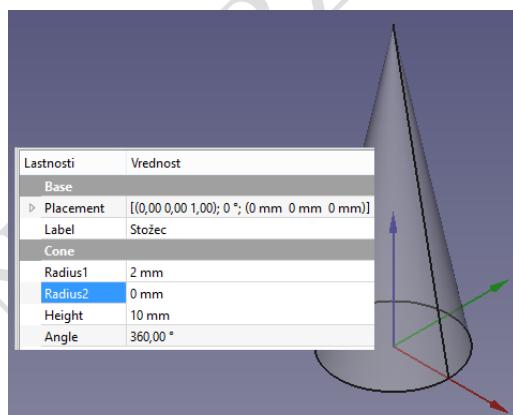
- Če imamo v izbornem okvirju odkljukano opcijo »Uporabi prirastne spr. postavitve objekta« se vsaka spremembra lege izvaja glede na zadnjo lokacijo lege objekta – relativni premiki in zasuki.



a



b



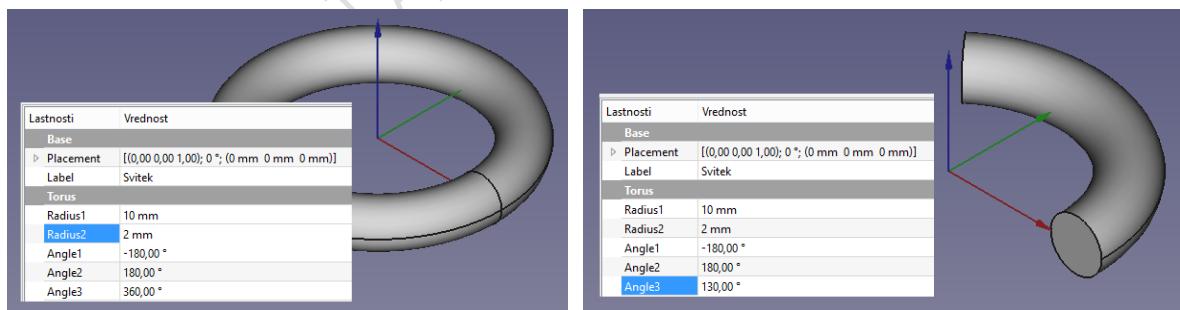
c

Slika 17: Stožec (prisekan), izsek (prisekanega stožca) stožec in cel stožec

4.6.1.5. Torus (Orodjarna telesa: Svitek)

- Kliknemo na ikono .
- S tem smo izdelali torus (Slika 18 levo) z radijem1(ang. *Radius1*, vodilne krožnice po kateri raztegnemo krog tvorilke v prostor): 10 mm, radijsem2 (ang. *Radius2*), krožnice tvorilke: 2 mm višino 10 mm (ang. *Height*), kotom zasuka tvorilke v prostor 360° (ang. *Angle3*) in središčem vodilne krožnice v izhodišču globalnega koordinatnega sistema. To središče je izhodiščna točka (lokalnega koordinatnega sistema gradnika). Kot (ang. *Angle*) definira kot izseka torusa (Slika 18 desno), če ne želimo kreirati celega valja.

- Opozorilo: spremembe kota1 (ang. *Angle1*) in/ali kota2 (ang. *Angle2*) rezultirata v kreiranju površinskega telesa. Povrsinska telesa v tem delu ne bodo obravnavana. Kot1 definira začetek tvorilčke glede na ravnino XY, kot2 pa konec tvorilke glede na ravnino XY. Če se sta začetna in končna točka soležni je tvorilka sklenjen krog in rezultat je volumsko telo torusa.
- Velikost – dimenzijske gradnike spremenimo s spremembami vrednosti osnovnih parametrov v tabeli podatki.
- Lego gradnika lahko (velja splošno) spremenimo s klikom na ikono »...« v polju Placement, zavihka Podatki.
- S klikom se aktivira pogovorno okno Postavitev (*Slika 14*) v zavihku Opravila, v njem natančno definiramo lego gradnika v absolutnem prostoru:
 - **Vzporedni premik (XYZ)** – za izvedbo poljubnega premika objekta definiranega s premiki po posamezni osi.
 - **Središče (XYZ)** – izvede premik izhodiščne točke (lokalnega koordinatnega sistema po posamezni osi). To je pomembno predvsem pri definiciji zasuka gradnika.
 - **Vrtenje:**
 - Os vrtenja s kotom (privzeta opcija):
 - Iz spustnega seznama Os izberemo X,Y,Z ali pa vnesemo vektorski zapis osi okoli katere želimo zasukati gradnik.
 - Vnesemo kot zasuka (pozitivna smer je po pravilu desne roke glede na os vrtenja – palec v smeri osi, prsti kažejo na pozitivno smer zasuka).
 - Eulerjevi koti (odklon, naklon nagib).
 - Če imamo v izbornem okvirju odkljukano opcijo »Uporabi prirastne spr. postavitve objekta« se vsaka sprememba lege izvaja glede na zadnjo lokacijo lege objekta – relativni premiki in zasuki.

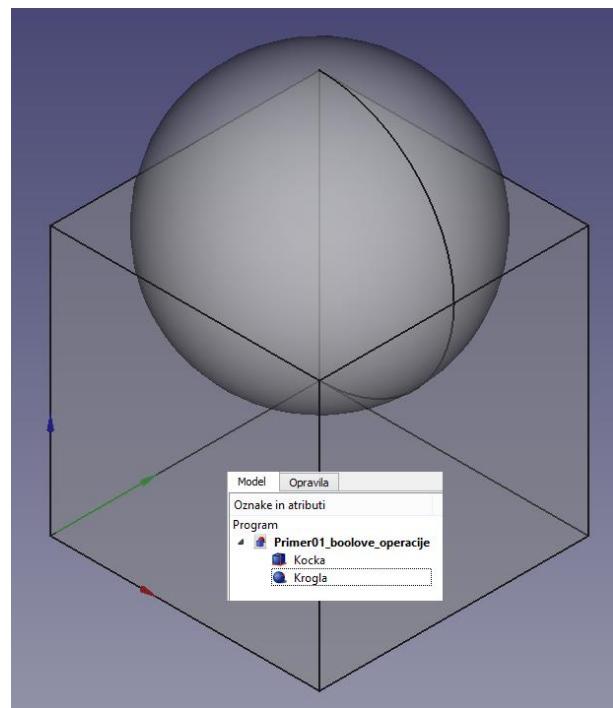


Slika 18 Kreiranje torusa in izseka torusa

4.6.2. Boolova algebra

S pomočjo operacij Boolove algebre lahko kreiramo nova telesa (Slika 19). V bistvu dve vhodni telesi, ki se med seboj delno (ali popolno) prekrivata seštejemo (Unija), odštejemo eno telo od drugega (izrez) in poiščemo skupni volumen (presek).

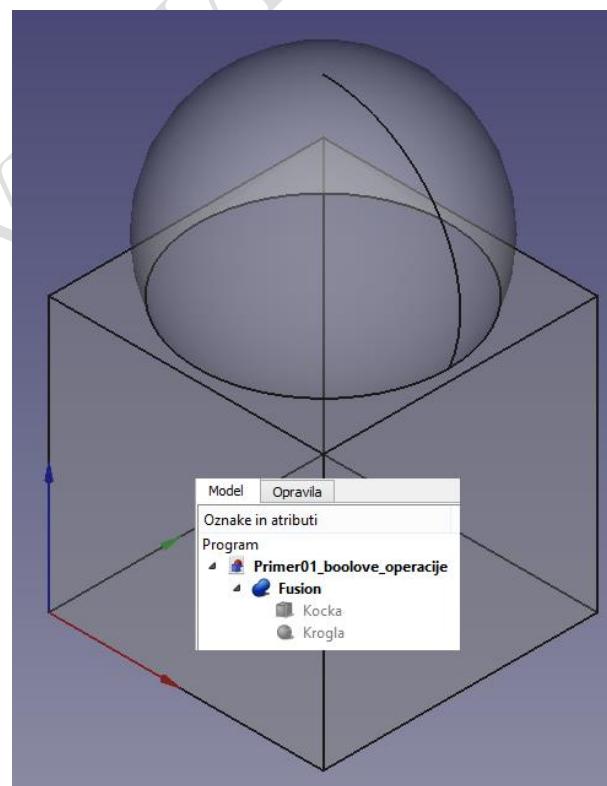
Operacije so bomo praktično ogledali z uporabo dveh primitivov: kvadra in krogle.



Slika 19: [Dve medsebojno prekrivajoči se telesi](#)

4.6.2.1. Unija

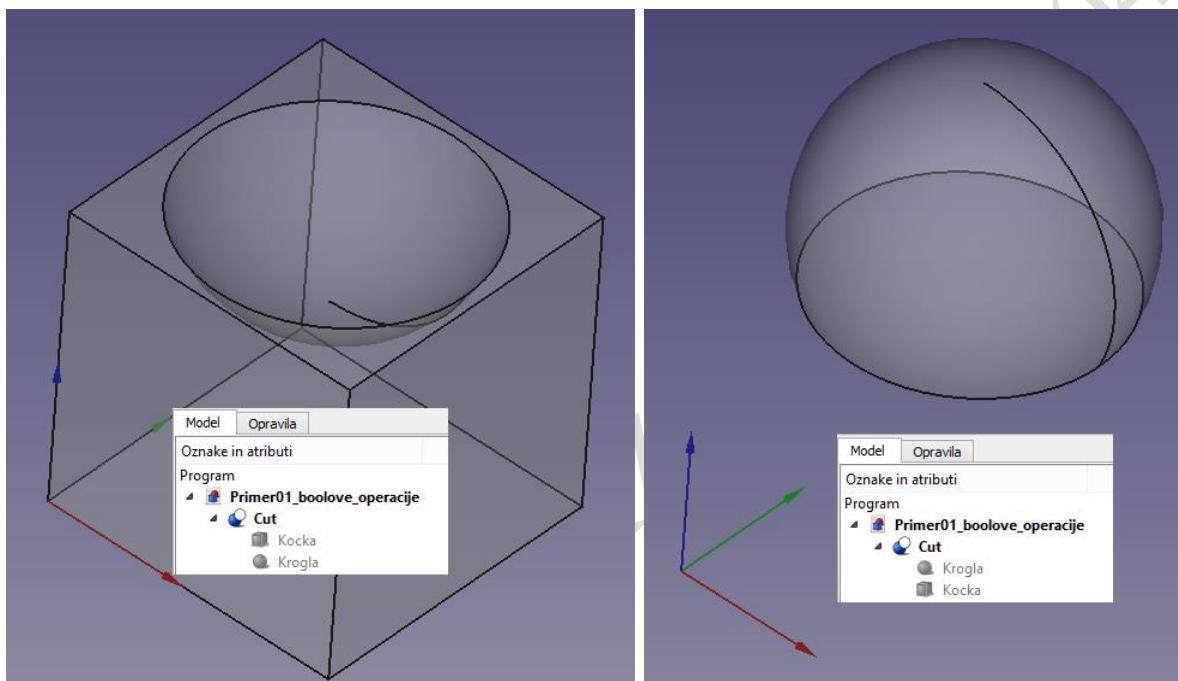
- Izberemo obe telesi iz drevesne strukture (zavihek Model).
- Kliknemo na ikono in telesi se seštejeta – dobimo novo telo, ki je zgrajeno kot unija dveh teles (Slika 20).



Slika 20: [Unija kocke in krogle](#)

4.6.2.2. Izrez (razlika)

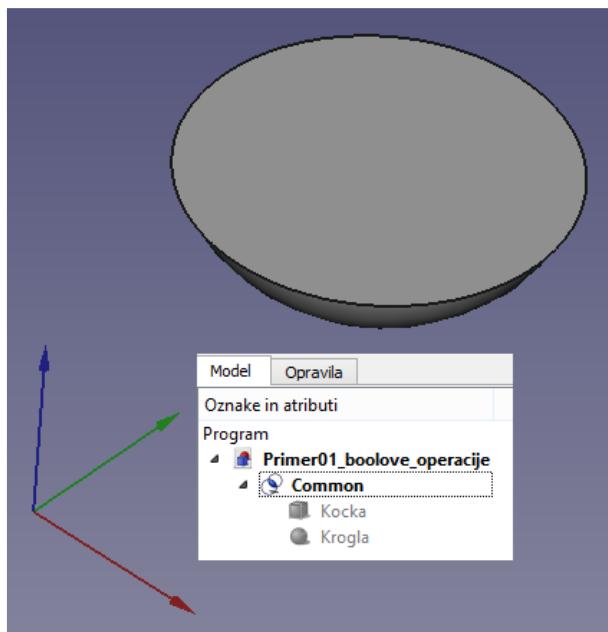
- Izberemo obe telesi iz drevesne strukture (zavihek Model).
- Prvo izbrano telo je tarča (obdelovanec), drugo izbrano telo pa orodje (oblika, ki jo odrežemo od obdelovanca). Od vrstnega reda izbora je odvisen komčen izgled telesa po izvedeni operaciji.
- Kliknemo na ikono  in drugo telo se odreže iz prvega – dobimo novo telo, ki je zgrajeno kot razlika dveh teles (Slika 21).



Slika 21: Oba [možna rezultata operacije izrez \(odštevanja\)](#) med kocko in kroglo

4.6.2.3. Presek

- Izberemo obe telesi iz drevesne strukture (zavihek Model).
- Kliknemo na ikono  in kreiramo telo, ki zavzema skupni volumen obeh izbranih teles (Slika 22).

Slika 22: [Presek kocke in krogle](#)

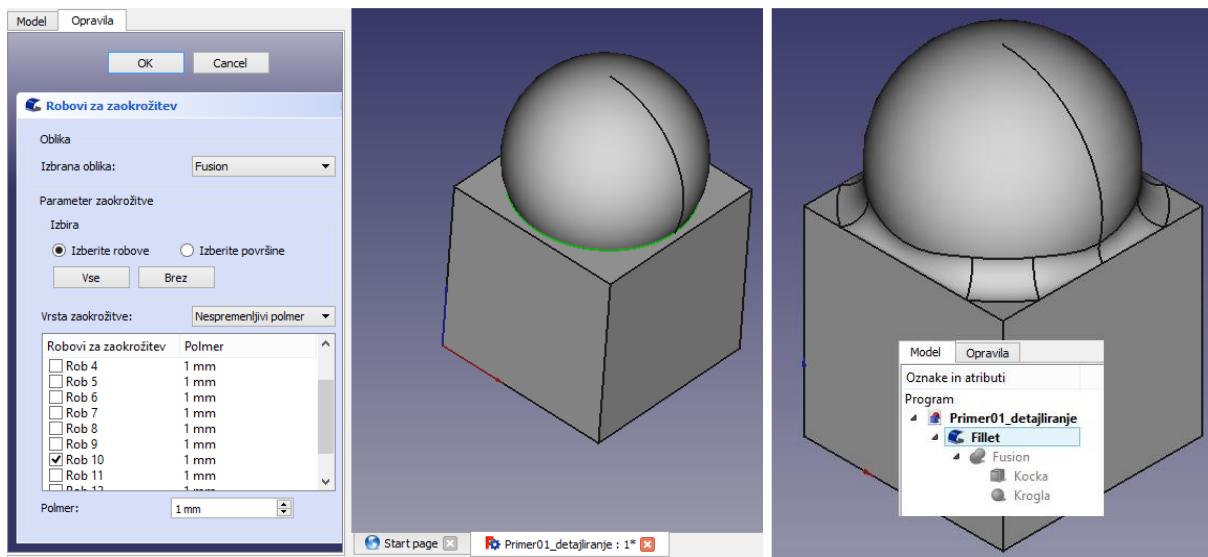
4.6.3. Orodja za dodatno oblikovanje objektov

Iz nabora ukazov v orodnjarni Orodja za dele (ang. *Parts*) sta v delovnem okolju Part na nivoju dela s primitivi zanimiva predvsem ukaza Zaokroži izbrane robove in Posnemi izbrane robove. Ta dva ukaza omogočata dokaj učinkovito detajriranje na tem nivoju dela, ki ga zajemamo v tem preglednem tečaju.

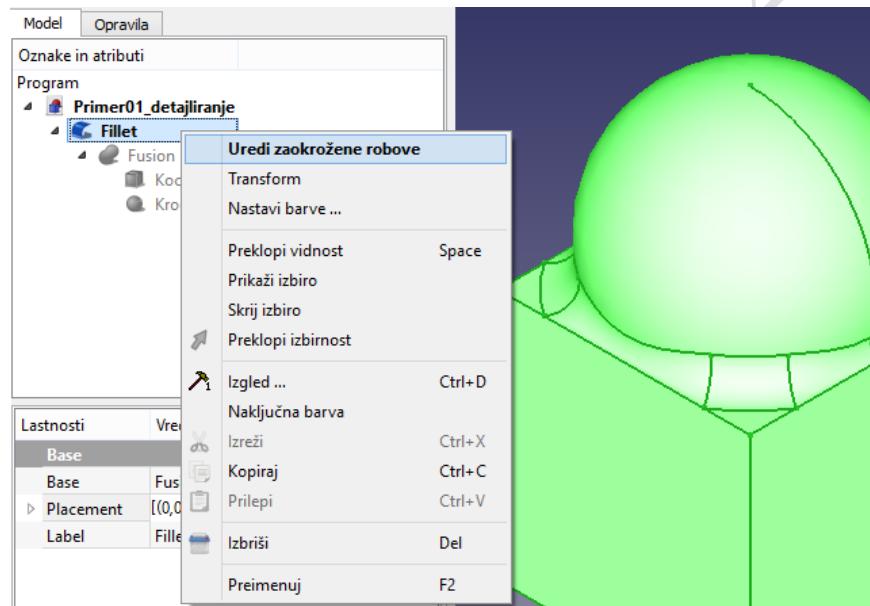
Uporabo obeh orodij lahko predstavimo na telesu, ki je rezultat unije kocke in krogle (Slika 20).

4.6.3.1. Zaokrožitve robov

- Z miško (MB1) izberemo skupni rob med kroglo in kocko (Slika 23 levo).
- Kliknemo na ikono in v zavihu Opravila se odpre pogovorno okno, v katerem za izbrani rob v polje Polmer vnesemo ustrezno vrednost (Slika 23 levo) in potrdimo ukaz s klikom na tipko **OK**.
- Iz dela se zaokrožitev izbranega roba (Slika 23 desno).
- Popravke se izvaja preko drevesne strukture modela:
 - Z desno tipko miške (MB3) izberemo zaokrožitev, ki jo želimo modificirati in iz kontekstnega menija izberemo **Uredi zaokrožene robove** (Slika 24).
 - Izvede se preklop na zavihek opravila, kjer se preko istega pogovornega okna, kot smo ga imeli pri kreiranju zaokrožitve, lahko izvede popravke zaokrožitve.
 - Izberemo lahko druge robove, ali dodajamo nove robove ter spremenjamo velikost zaokrožitve (Slika 23 desno).
 - Urejanje zaključimo s klikom na tipko **OK**.



Slika 23: Izdelava zaokrožitve med primitivoma

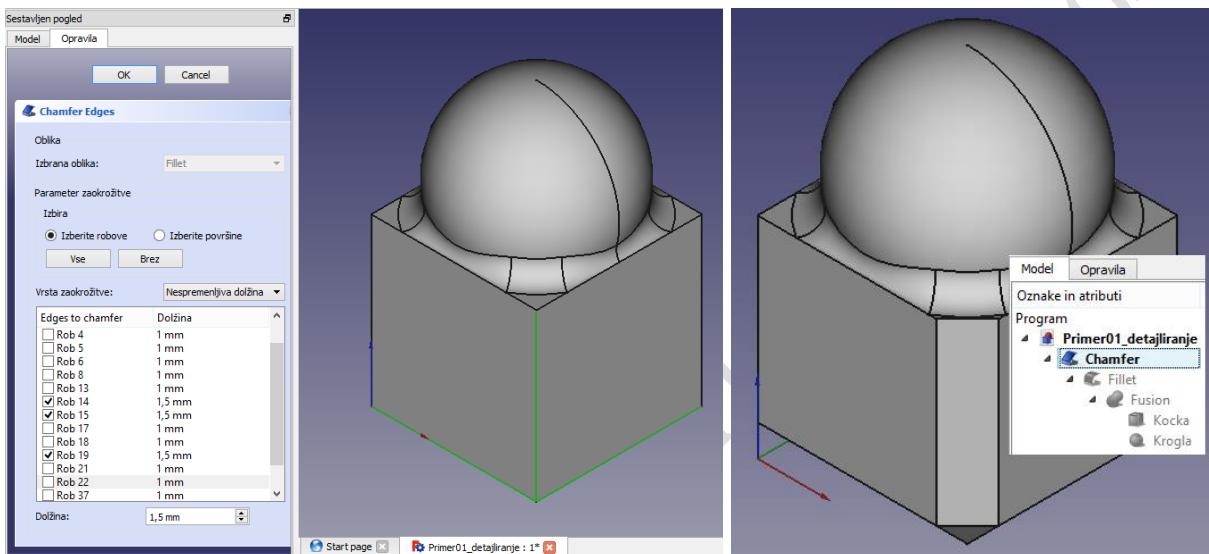


Slika 24: Urejanje izbrane zaokrožitve

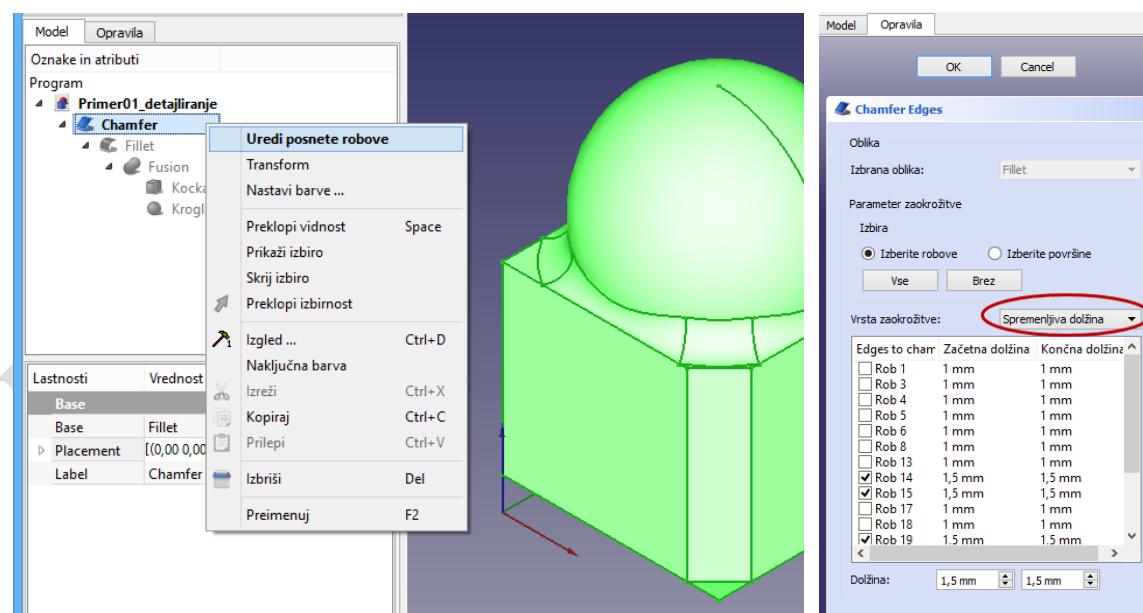
4.6.3.2. Posnetja robov

- Z miško (Ctrl +MB1) izberemo tri najbližje robove na spodnjem delu (kocke; Slika 25 levo).
- Kliknemo na ikono in v zavihu Opravila se odpre pogovorno okno, v katerem za izbrane robove v polje Dolžina vnesemo ustrezno vrednost (Slika 25 levo) in potrdimo ukaz s klikom na tipko OK.
- Izdelata se zaokrožitev izbranih robov (Slika 25 desno).
- Popravke se izvaja preko drevesne strukture modela:
 - Z desno tipko miške (MB3) izberemo posnetje, ki ga želimo modificirati in iz kontekstnega menija izberemo **Uredi posnete robe** (Slika 26 levo).

- Izvede se preklop na zavihek opravila, kjer se preko istega pogovornega okna, kot smo ga imeli pri kreiranju zaokrožitve, lahko izvede popravke zaokrožitve.
- Izberemo lahko druge robeve, ali dodajamo nove robeve ter spremišnjamo velikost posnetja. Zamenjamo lahko tudi tip posnetja (privzet je Nespremenljiva dolžina – v bistvu gre za posnetje z eno definirano dimenzijo (kot je 45°). Če je posnetje pod kotom različnim od 45° , lahko to storimo z izborom opcije Spremenljiva dolžina iz spustnega seznama (v bistvu gre za definiranje posnetja z dvema dolžinama; Slika 26 desno).
- Urejanje zaključimo s klikom na tipko **OK**.



Slika 25: Izdelava posnetja



Slika 26: Urejanje posnetja (levo) in urejanje oz. sprememba posnetja – posnetje podano z dvema dolžinama (Začetna dolžina = dolžina1, Končna dolžina = dolžina2)

4.6.4. Gradniki na osnovi skice

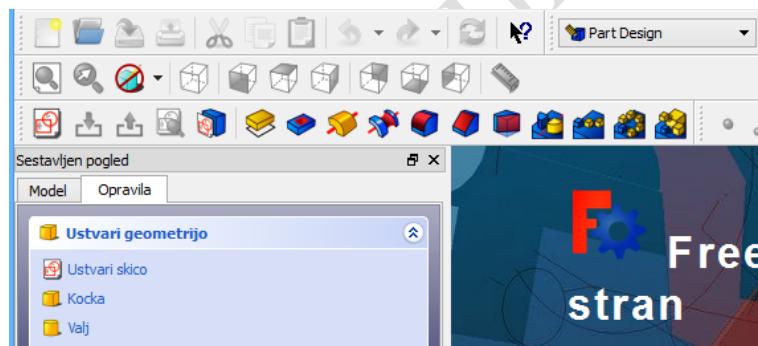
Sodobnejši pristopi k modeliranju geometrije in sama narava (nastanka) geometrije objektov so priveli do drugačnega načina dela. Vse manj se uporablja geometrijske primitive, kot gradnike objektov. Vse bolj so v uporabi t.i. gradniki na osnovi skice (PBF, ang. *Profile Based Features*).

Osnovna ideja teh gradnikov je izdelati oz. uporabiti skico karakterističnega prereza, ki jo nato raztegnemo (za določeno dolžino) v prostor v normalni ali poljubni smeri glede na ravnino skice in s tem kreiramo 3D volumsko telo. Takšno skico lahko tudi zavrtimo v prostor okoli poljubne osi za poljuben kot (maksimalno 360°) in kreiramo volumsko telo (vrtenina; rotacijsko telo). Tretji derivat takšnega objekta pa je raztag skice po vodilni krivulji (poti), ki prav tako privede do volumskega telesa. Tudi tu se končno telo dosega s kombiniranjem teles na osnovi Booleve algebre (poglavlje 4.6.2).

Orodja s katerimi lažje modeliramo na takšen način so nam na voljo v delovnem okolju Part Design (ki ga aktiviramo s pomočjo spustnega seznama za izbor delovnega okolja, Slika 4).

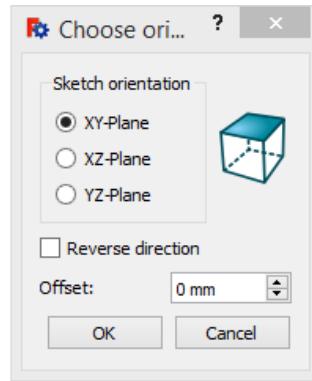
4.6.4.1. Raztag prereza v prostor (Ekstruzija, Izrez)

Ko aktiviramo delovno okolje Part Design, se takoj aktivira zavihek opravila (Slika 27), ki nam kot osnovo za izdelavo prvega gradnika ponuja skico ali kvader (kocko) in valj. To so tudi v praksi najbolj običajni gradniki za začetek izdelave volumskega telesa.



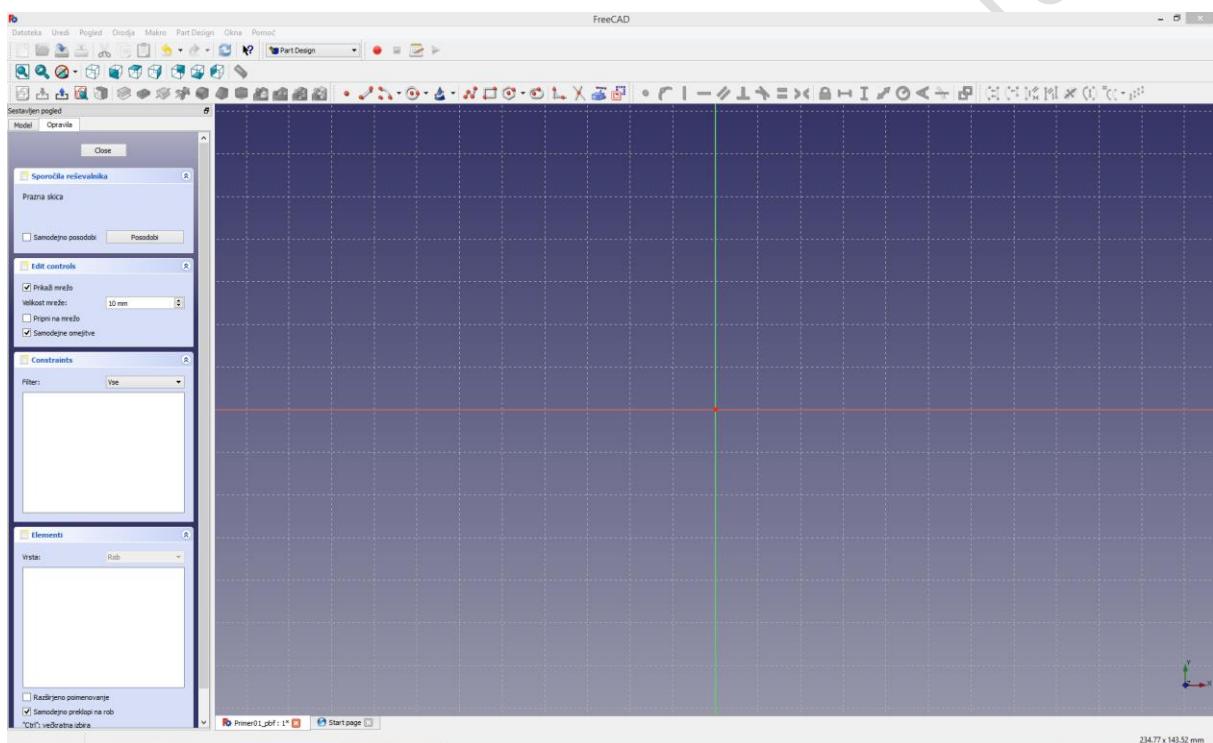
Slika 27: Začetek modeliranja v okolju Part Design

- Kliknemo na ikono .
- Odpre se pogovorno okno (še ni prevedeno) Choose orientation za izbor risalne ravnine in njene orientacije (noramale; Slika 28):
 - V skupini opcij Orientacija skice (ang. *Sketch orientation*) lahko izbiramo med tremi osnovnimi ravninami XY, XZ in YZ (izbor se sinrono kaže na kocki v desni strani pogovornega okna).
 - Spremenimo lahko normalo risalne ravnine, izbor opcije Zamenjaj smer normale (ang. *Reverse direction*; izbor se sinrono kaže na kocki v desni strani pogovornega okna).
 - Z opcijo Vzporedni odmik (ang. *Offset*), lahko definiramo risalno ravnino skice, ki vzporedno premaknjena za vneseno vrednost.
 - Za primer naš poskusni primer (Slika 30) pustimo vse vrednosti na privzetem stanju in potrdimo s klikom na tipko **OK**.

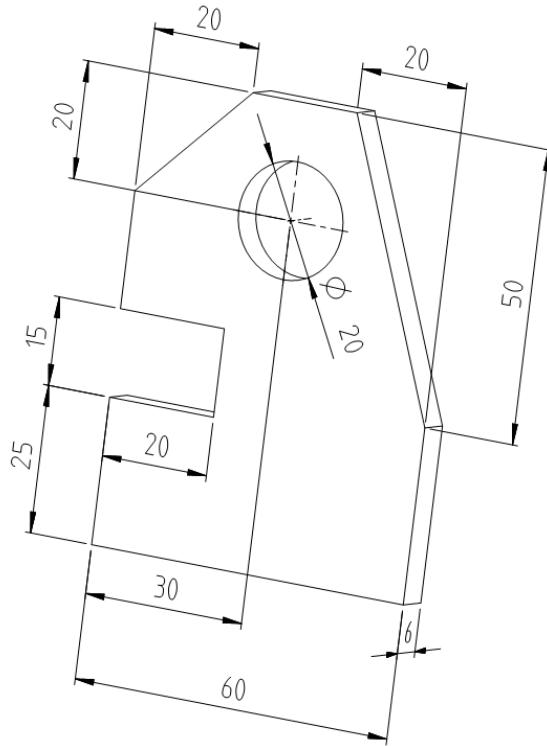


Slika 28: Izbor – definicija risalne ravnine skice

➤ Odpre se delovno okno Skicirke (Slika 29)



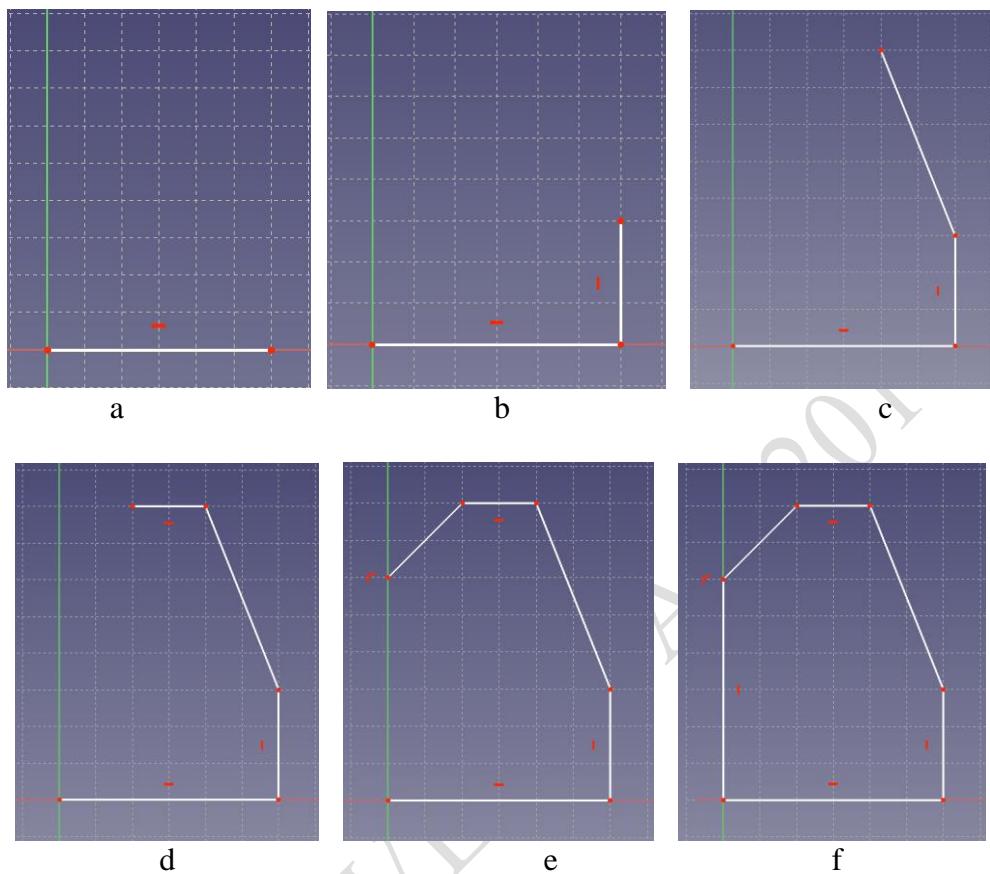
Slika 29: Delovno okno skicirke



Slika 30: Šablona - demonstracijski kos PBF (60 x 80 x 6 mm)

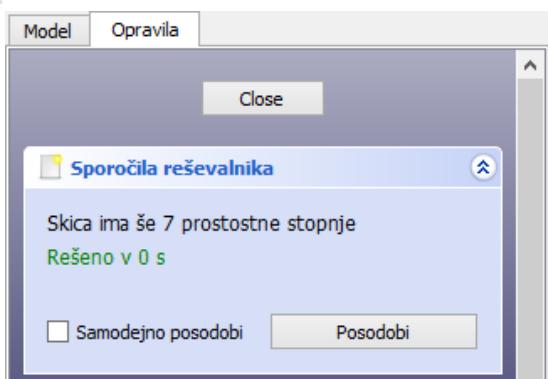
- Kliknemo na (Ustvari črto v skici, orodjarna Geometrije skicirnika):
 - V Krmilnikih urejanja (ang. *Edit controls*) vklopimo opcijo Pripni na mrežo in s tem zagotovimo, da točke vnašajo točno na sečišča horizontalnih in vertikalnih linij.
 - Kliknemo v izhodišče (0, 0) in na sečišče 6. vertikale z izhodiščno horizontalo (60, 0) in s tem izdelamo horizontalno daljico dolgo 60 mm, avtomatsko se ji predpiše tudi geometrijska omejitev Soležna točka in Vodoravno (Slika 31a).
 - Elementi in geometrijske omejitve se prikažejo v seznamih v zavihku opravila.
 - Ukaz ostaja aktiven in kliknemo na zadnjo točko predhodne daljice in na sečišče 6. vertikale s 3. horizontalo (60, 30) in s tem izdelamo verikalno daljico dolgo 30 mm, avtomatsko se ji predpiše tudi geometrijska omejitev Soležna točka in Vodoravno (Slika 31b).
 - Ukaz ostaja aktiven in kliknemo na zadnjo točko predhodne daljice in na sečišče 4. vertikale z 8. horizontalo (40, 80) in s tem izdelamo novo daljico, avtomatsko se ji predpiše tudi geometrijska omejitev Soležna točka (Slika 31c).
 - Ukaz ostaja aktiven in kliknemo na zadnjo točko predhodne daljice in na sečišče 2. vertikale z 8. horizontalo (20, 80) in s tem izdelamo novo daljico, avtomatsko se ji predpiše tudi geometrijska omejitev Soležna točka (Slika 31d).
 - Ukaz ostaja aktiven in kliknemo na zadnjo točko predhodne daljice in na sečišče izhodiščne vertikale s 6. horizontalo (0, 60) in s tem izdelamo novo daljico, avtomatsko se ji predpiše tudi geometrijska omejitev Soležna točka in točka na objektu (Slika 31e).

- Ukaz ostaja aktiven in kliknemo na zadnjo točko predhodne daljice in na sečišče izhodiščne vertikale z izhodiščno horizontalo $(0, 0)$ in s tem izdelamo novo daljico, avtomatsko se ji predpiše tudi geometrijska omejitev Soležna točka - $2x$ (Slika 31f).



Slika 31: Izdelava skice Šablone

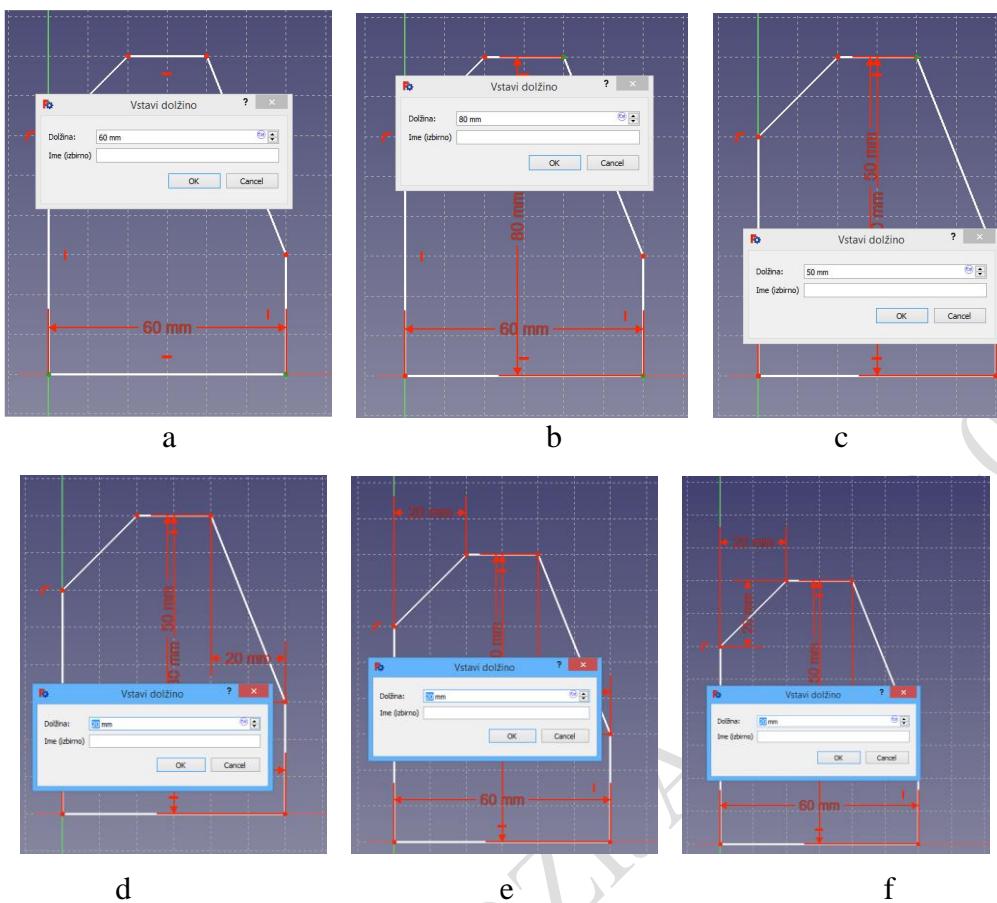
- Z MB3 prekinemo ukaz.
- V Sporočilnem oknu reševalnika imamo obvestilo, da imamo še 7 prostostnih stopenj, ki jih je potrebno omejiti, da dobimo popolnoma definirano skico (Slika 32).



Slika 32: Sporočila reševalnika - stanje skice

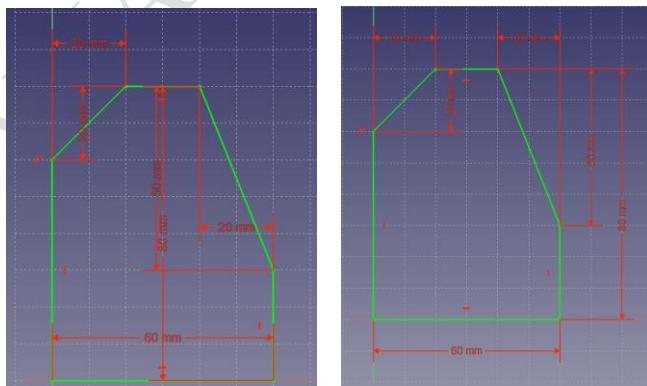
- Preostale prostostne stopnje lahko ukinemo s kotiranjem:

-  Izberemo začetno in končno točko prve daljice (1 - Črta) in kliknemo na ikono (Pritrdi dolžino črte, orodjarna Omejitve skicirnika).
- Odpre se pogovorno okno Vstavi dolžino, kjer lahko spremenimo dolžino kotirane daljice, daljico pa lahko po potrebi tudi pojmenujemo (Slika 33a) in vnos potrdimo s klikom na **OK**.
- Izberemo eno točko spodnje horizontalne daljice (1 - Črta) in eno točko zgornje horizontalne daljice (4 - Črta) in kliknemo na ikono  (Pritrdi navpično razdaljo med dvema točkama ali krajiščema, orodjarna Omejitve skicirnika).
- Odpre se pogovorno okno Vstavi dolžino, kjer lahko spremenimo vertikalno razdaljo med točkama - krajiščema, koto pa lahko po potrebi tudi pojmenujemo (Slika 33b) in vnos potrdimo s klikom na **OK**.
- Izberemo obe krajišči desnega posnetja (3 - Črta) in kliknemo na ikono  (Pritrdi navpično razdaljo med dvema točkama ali krajiščema, orodjarna Omejitve skicirnika).
- Odpre se pogovorno okno Vstavi dolžino, kjer lahko spremenimo vertikalno razdaljo med točkama - krajiščema, koto pa lahko po potrebi tudi pojmenujemo (Slika 33c) in vnos potrdimo s klikom na **OK**.
- Izberemo daljico desnega posnetja (3 - Črta) in kliknemo na ikono  (Pritrdi vodoravno razdaljo med dvema točkama ali krajiščema, orodjarna Omejitve skicirnika).
- Odpre se pogovorno okno Vstavi dolžino, kjer lahko spremenimo vodoravno razdaljo med točkama - krajiščema, koto pa lahko po potrebi tudi pojmenujemo (Slika 33d) in vnos potrdimo s klikom na **OK**.
- Izberemo daljico levega posnetja (5 - Črta) in kliknemo na ikono  (Pritrdi vodoravno razdaljo med dvema točkama ali krajiščema, orodjarna Omejitve skicirnika).
- Odpre se pogovorno okno Vstavi dolžino, kjer lahko spremenimo vodoravno razdaljo med točkama - krajiščema, koto pa lahko po potrebi tudi pojmenujemo (Slika 33e) in vnos potrdimo s klikom na **OK**.
- Izberemo daljico levega posnetja (5 - Črta) in kliknemo na ikono  (Pritrdi navpično razdaljo med dvema točkama ali krajiščema, orodjarna Omejitve skicirnika)
- Odpre se pogovorno okno Vstavi dolžino, kjer lahko spremenimo navpično razdaljo med točkama - krajiščema, koto pa lahko po potrebi tudi pojmenujemo (Slika 33e) in vnos potrdimo s klikom na **OK**.



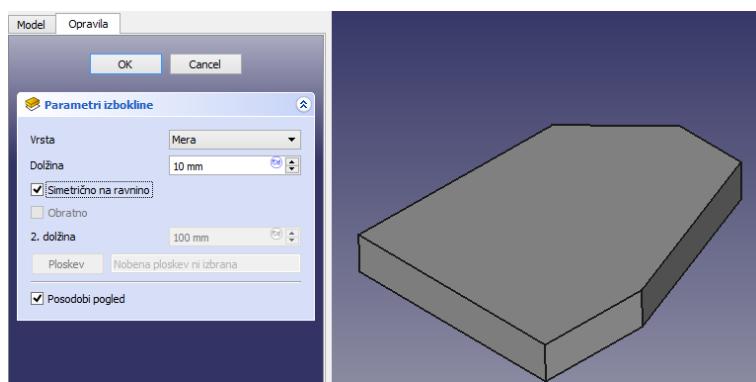
Slika 33: Izdelava dimenzijskih omejitev skice – kotiranje

- Če smo bili pri delu pazljivi, dobimo zaključen popolnoma omejen prerez, ki se obarva zeleno (Slika 34 levo). Kote pa z izborom in vlečenjem prerazporedimo, da je skica bolj pregledna (Slika 34 desno).

Slika 34: Popolno definirana skica

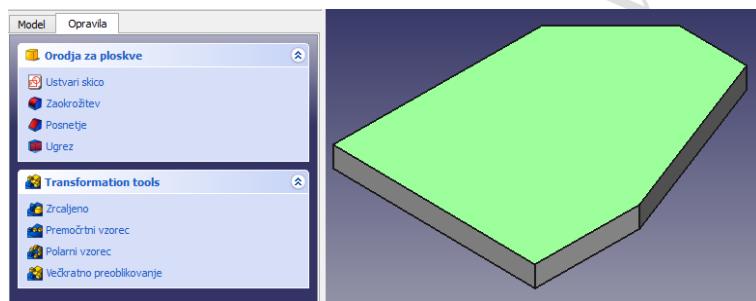
- Izdelavo skice zaključimo s klikom na tipko **Close** (Slika 29).
- Ekstruzijo (izboklino) izdelamo tako, da izberemo skico in kliknemo na ikono (Ustvari izboklino, orodjarna Oblikovanje delov).
 - Odpre se pogovorno okno Parametri izbokline v zavihu Opravila (Slika 35), kjer nastavimo dolžino na vrednost 6 mm in vklopimo opcijo Simetrično na ravnino.

- Potrdimo vnos (**OK**) in s tem smo izdelali osnovno telo.



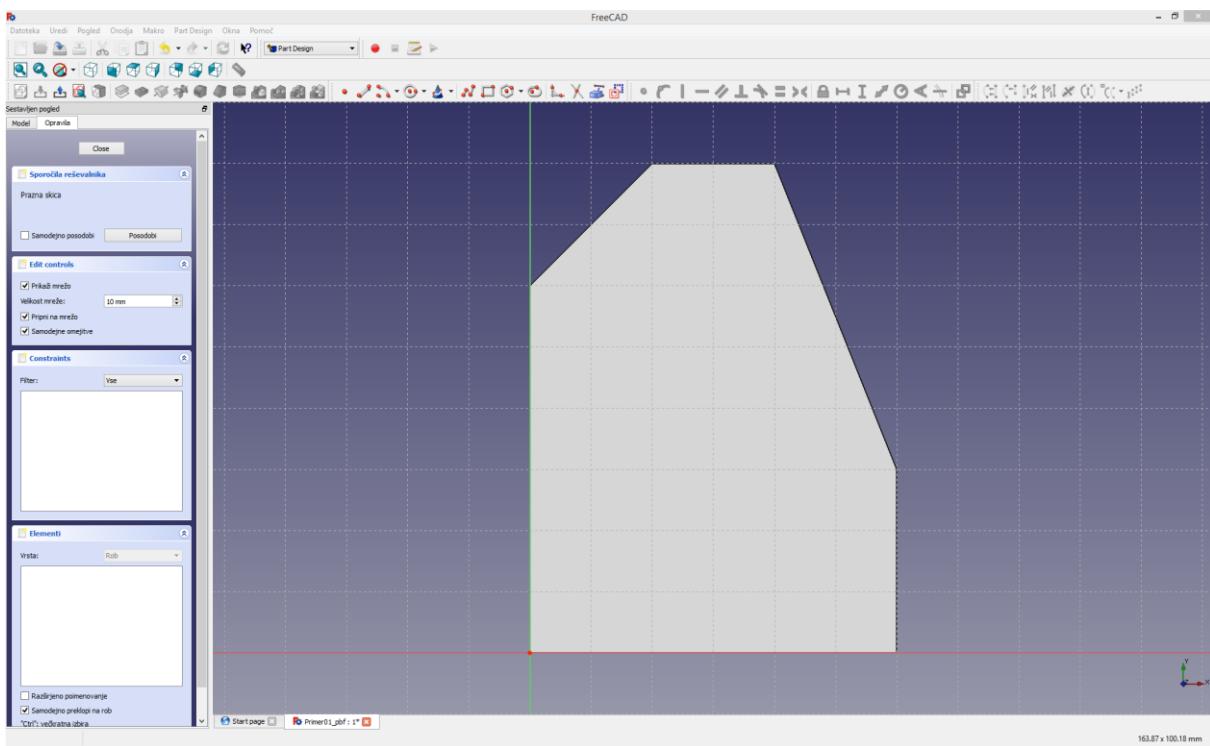
Slika 35: Izdelava ekstruzije

- Sedaj je potrebno izdelati le še izrez luknji in pravokotni izrez na desni. Uporabimo enak način dela.
- Kliknemo na gornjo površino osnovnega telesa in se premaknemo na zavihek Opravila, kjer so zopet na voljo logični ukazi za nadaljevanje dela (Slika 36).



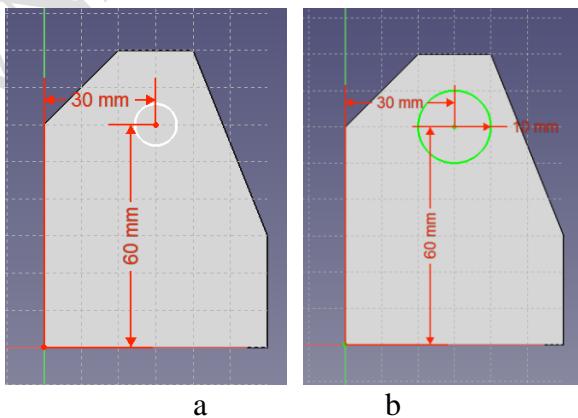
Slika 36: Kreiranje nove skice na obstoječo ploskev

- Kliknemo na ikono .
- Odpre se delovno okno skicirke (Slika 37).



Slika 37: Delovno okno skicirke – nadaljevanje dela

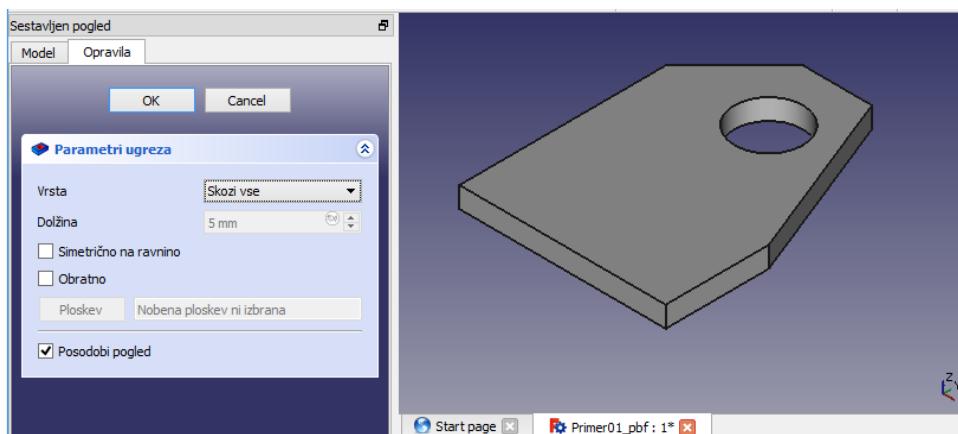
- Kliknemo na (Ustvari krog, orodjarna Geometrije skicirnika) in izdelamo poljuben krog na poljubni lokaciji na ploskvi.
- Legi kroga določimo z uporabo geometrijskih omejitev (in) vezanih na izhodiščna robova ploskve in center kroga (Slika 38a)
- Velikost kroga pa z (Pritrdi polmer kroga ali loka), vnosom pravilne vrednosti (5 mm) in potrditvijo (Slika 38b)
- Skico zaključimo s klikom na tipko **Close** (Slika 37).



Slika 38: Izdelava skice – izreza

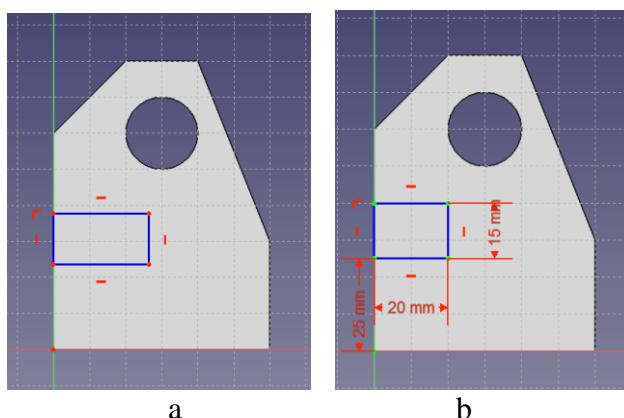
- Izrez (ekstruzijski) izdelamo tako, da izberemo skico in kliknemo na ikono (ang. *Create a pocket*, orodjarna Obliskovanje delov).
- Odpre se pogovorno okno Parametri ugresa v zavihku Opravila (Slika 35), kjer nastavimo Vrsto na Skozi vse.

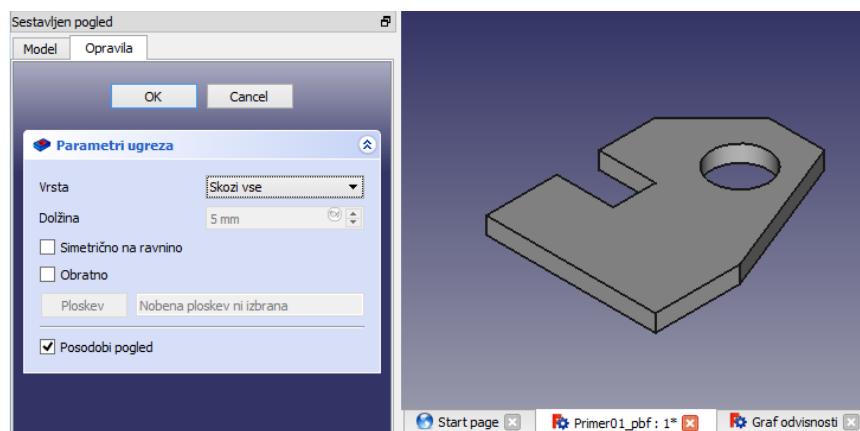
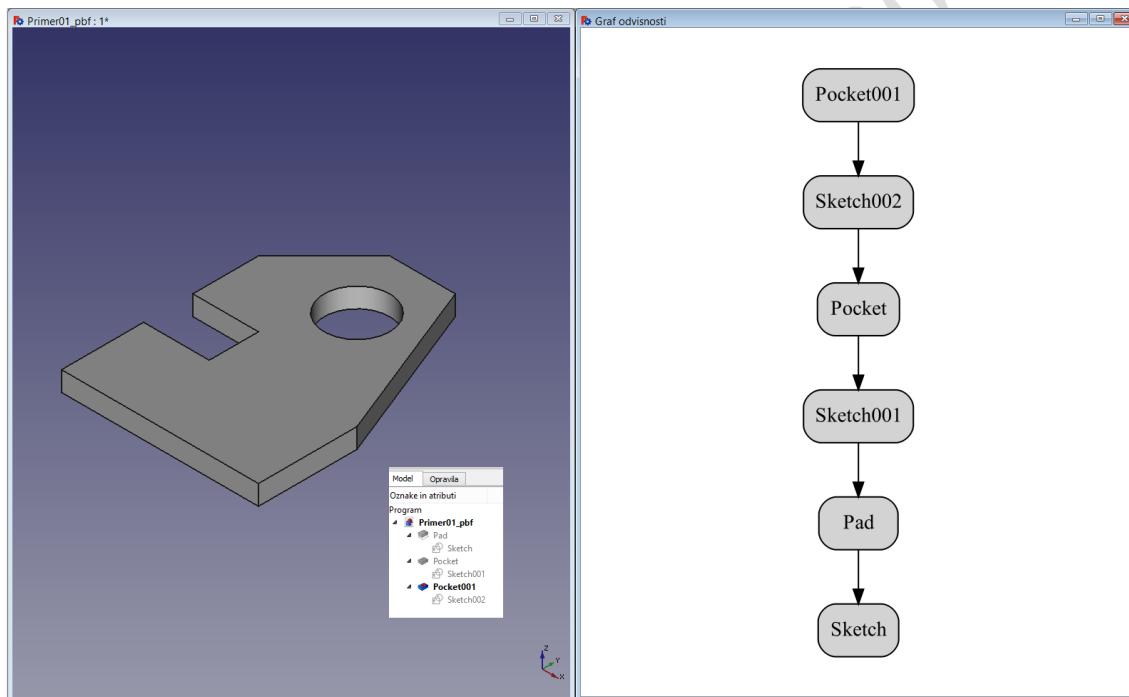
- Potrdimo vnos (**OK**) in s tem smo izdelali izrez luknje



Slika 39: Kreiranje izreza - luknje

- Kliknemo na gornjo površino osnovnega telesa in se premaknemo na zavihek Opravila, kjer so zopet na voljo logični ukazi za nadaljevanje dela.
- Kliknemo na ikono .
- Odpre se delovno okno skicirke.
 - Kliknemo na (Ustvari pravokotnik, orodjarna Geometrije skicirnika) in izdelamo poljuben pravokotnik na tako, da se izhodiščna točka pravokotnika geometrijsko omeji z izhodiščnim robom – protrdi točko na objekt (Slika 40a).
 - Legmo in velikost pravokotnika določimo z uporabo geometrijskih omejitev (in) vezanih na izhodiščna robova ploskve in stranice pravokotnika (Slika 40b)
 - Skico zaključimo s klikom na tipko **Close**.
- Izrez (ekstruzijski) izdelamo tako, da izberemo skico in kliknemo na ikono (ang. Create a pocket, orodjarna Oblikovanje delov).
 - Odpre se pogovorno okno Parametri ugreza v zavihku Opravila (Slika 41), kjer nastavimo Vrsto na Skozi vse.
 - Potrdimo vnos (**OK**) in s tem smo izdelali pravokotni izrez.
- S tem smo zaključili izdelavo modela šablone (Slika 42).

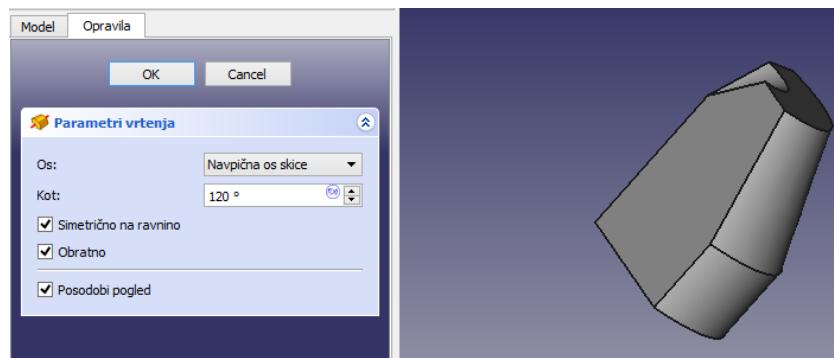


Slika 40: Kreiranje pravokotnega izreza*Slika 41: Izdelava pravokotnega izreza**Slika 42: Izdelana šablona in njen graf odvisnosti*

4.6.4.2. Zasuk prereza v prostor (Vrtenina, Rotacijski izrez)

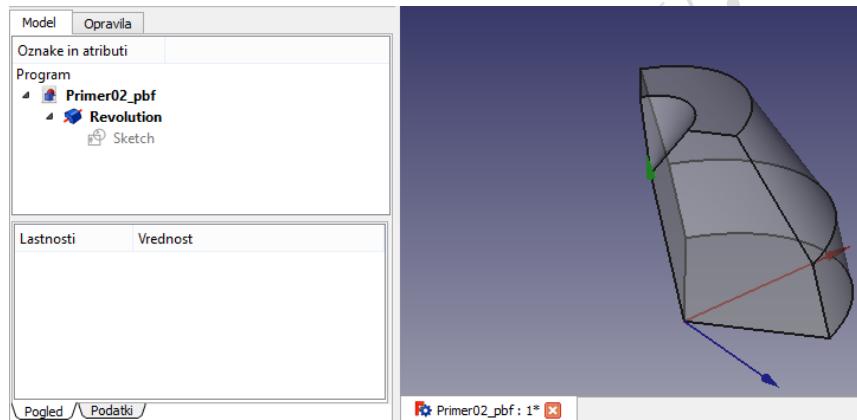
Izdelavo vrtenine (zasuka prereza v prostor) si bomo ogledali na osnovi skice izdelane v predhodnem primeru (Slika 34).

- Kliknemo na ikono (Zavrti izbrano skico, orodjarna Oblikovanje delov).
- Odpre se pogovorno okno Parametri vrtenja (Slika 43), kjer lahko spremenimo os okoli katere sukamo (privzeta je vertikalna os skice, druga opcija je horizontalna os), določimo lahko tudi kot sukanja, njegovo smer (ozioroma simetrijo glede na ravnilo).



Slika 43: Izdelava vrtenine

- Odpre se pogovorno okno Parametri vrtenja (Slika 43), kjer lahko spremenimo os okoli katere sukamo (privzeta je vertikalna os skice, druga opcija je horizontalna os), določimo lahko tudi kot sukanja, njegovo smer (oziroma simetrijo glede na ravnino).
- Potrdimo vnos (**OK**) in s tem smo izdelali vrtenino.
- S tem smo zaključili izdelavo vrtenine (Slika 44).



Slika 44: Izdelano telo (vrtenina)

5. Modeliranje volumskih teles

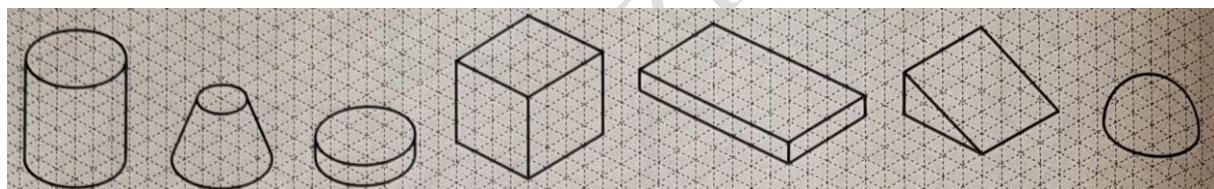
Modeliranje geometrije prostorskih (3D) volumskih teles bomo nadaljevali s praktičnimi vajami. Izdelali bomo nekaj teles in pri tem prikazali način dela, ki je zelo primeren za izdelavo modelov v praksi (tudi pri uporabi komercialnih CAD programskih paketov) in se večinoma uporablja pri modeliranju prostorskih (3D) objektov na različnih področjih tehnike.

5.1. Modeliranje teles z uporabo primitivov

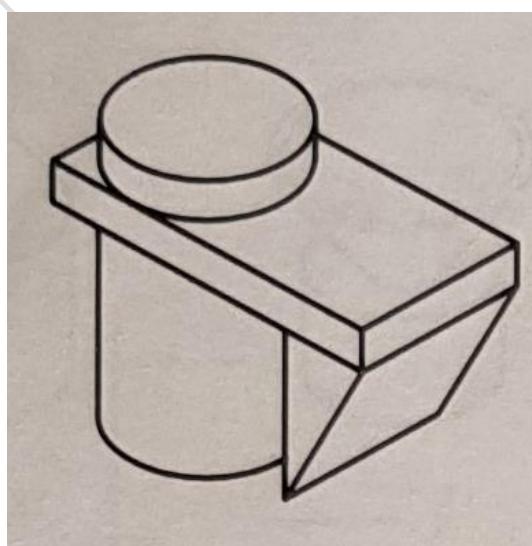
Način modeliranja z uporabo preprostih osnovnih geometrijskih gradnikov oziroma teles, ki jim kratko rečemo primitivi, je v bistvu prvotni način, ki je bil uporabljen pri večini tradicionalnih geometrijskih prostorskih modelirnikov. Gre za kreiranje osnovnih geometrijskih teles, njihovo parametrizacijo (spreminja velikosti), premikanje po prostoru na ustrezeno lokacijo in na koncu kombiniranje teles z uporabo Bolove algebre ter operacij za detajliranje geometrije. Končni rezultat tega dela pa je kompleksno volumsko telo oziroma model, ki ga želimo izdelati.

5.1.1. Definicija naloge

Na osnovi prikazanih teles (Slika 45) oziroma primitivov s podanimi dimenzijami je potrebno s pomočjo uporabe teh primitivov in osnovnih ukazov za detajliranje izdelati končno volumsko telo (Slika 46).



Slika 45: Telesa (od leve proti desni): valj $\phi 20 \times 25$, stožec $\phi 20/\phi 10 \times 15$, valj $\phi 20 \times 5$, kocka $a=20$; kvader $45 \times 20 \times 5$, tristrana prizma višine 20 z osnovno ploskvijo - pravokotni trikotnik s katetama 10 in 20, polkrogla $\phi S20$



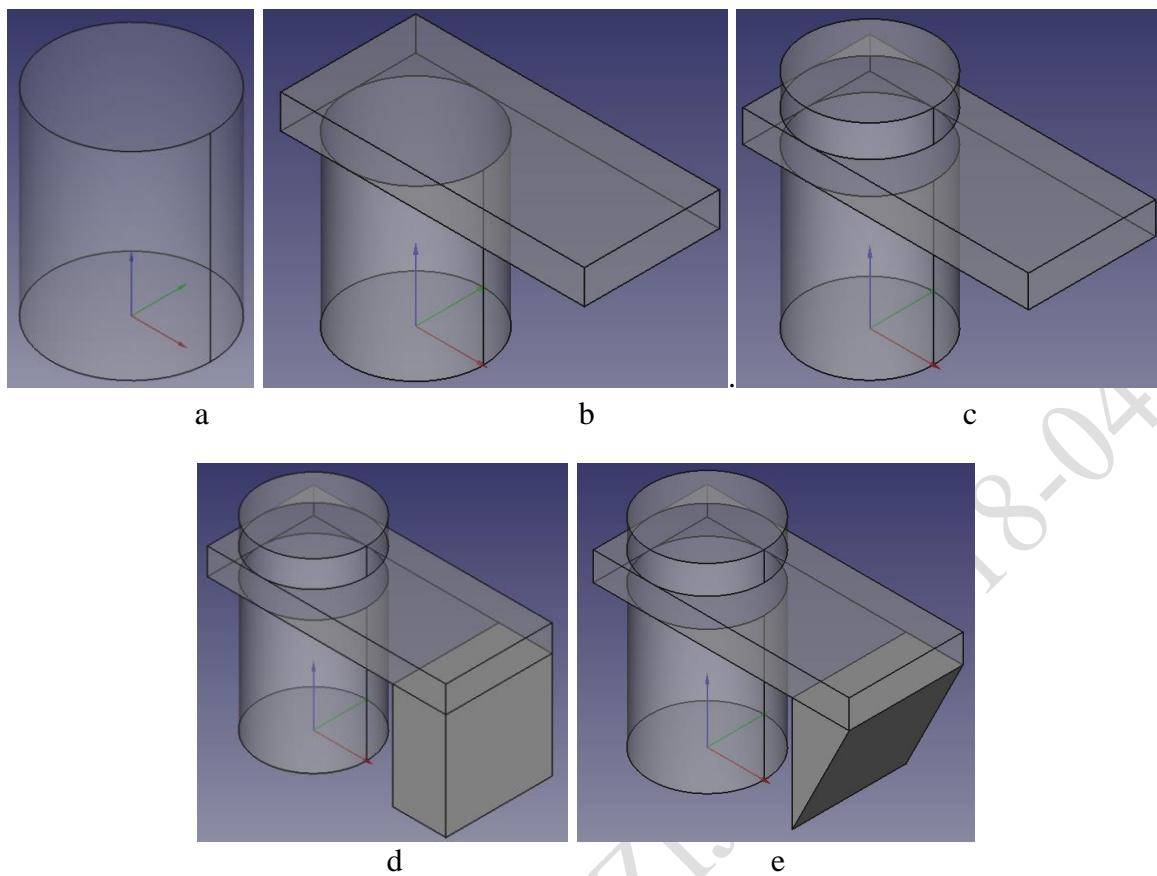
Slika 46: Zahtevano (sestavljen) volumsko telo

Opozorilo: Za izdelavo zahtevanega telesa (Slika 46) potrebujemo 1., 3., 5. in 6. telo, ostale telesa potrebujemo za izvedbo samostojnih vaj (poglavlje 5.1.3).

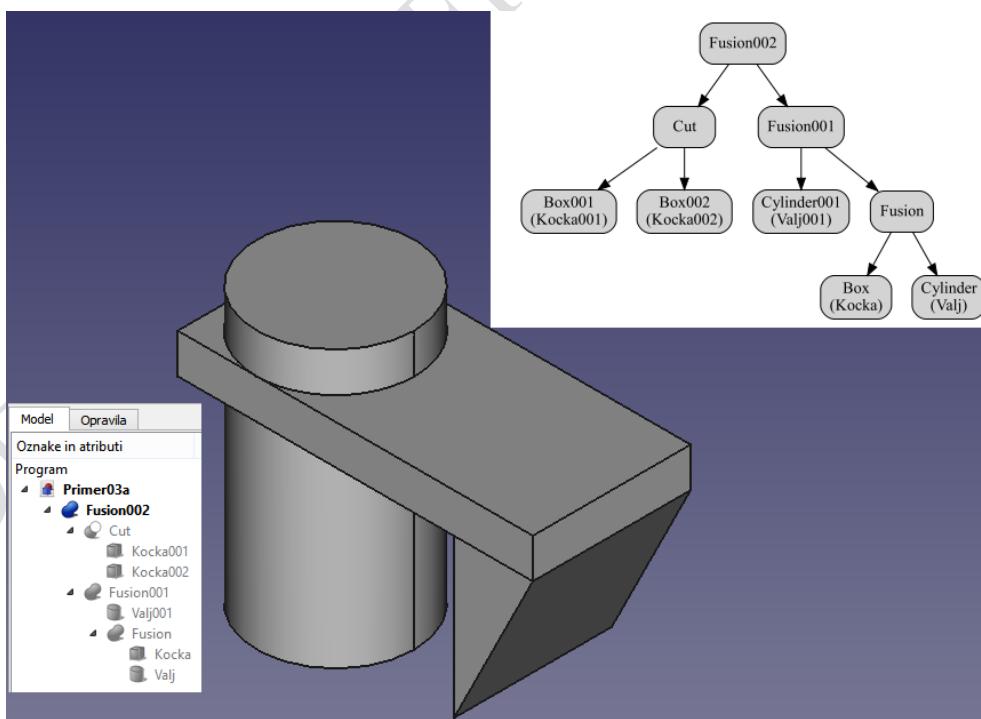
5.1.2. Rešitev naloge

- Poženemo programski paket FreeCAD (Slika 2).
- Preklopimo na delovno okolje Part (Slika 4).
- Izdelamo nov dokument: **Datoteka > Nov** (ali klik na , orodjarna Datoteka).
- Dokument shranimo pod imenom **Primer03a.FCStd** (**Datoteka > Shrani** ali klik na ).
- Najprej izdelamo prvi primitiv - valj ($\phi 20 \times 25$, Slika 45):
 - Kliknemo na  in izdelamo valj.
 - Kliknemo na , da prikažemo telo v aksonometriji (aksonometrična projekcija na zaslonu).
 - Kliknemo na gradnik Valj (zavihek Model) in v zavihu Podatki vnesemo vrednosti parametrov:
 - Radius: 10 (radij),
 - Height: 25 (višina).
 - Orientacijo in lego ne spremojmo, ker sta ustreznii.
 - Kliknemo na , da prikažemo celoten model (Slika 47a).
- Sledi izdelava drugega primitiva - kvadra ($45 \times 20 \times 5$, Slika 45):
 - Kliknemo na  in izdelamo kocko.
 - Kliknemo na gradnik Kocka (zavihek Model) in v zavihu Podatki vnesemo vrednosti parametrov:
 - Length: 45 (dolžina),
 - Width: 20 (širina),
 - Height: 5 (višina).
 - Kvader, ki smo ga definirali moramo prestaviti – polje Placement, klik na ikono  `[(0,0,0,0 1,00);0,00 °;(0,0,0,0,0,0)]`, in definiramo vzporedni premik (zavihek Opravila) izhodišče točke kvadra: X = -10, Y = -10 in Z = 20. Premik potrdimo s klikom na **OK**.
 - Iz drevesne strukture modela izberemo obe telesi in kreiramo unijo s klikom na  (orodjarna Logična vrednost).
 - Kliknemo na , da prikažemo celoten model (Slika 47b).
- Sledi izdelava drugega valja ($\phi 20 \times 5$, Slika 45):
 - Kliknemo na  in izdelamo valj.
 - Kliknemo na gradnik Valj001 (zavihek Model) in v zavihu Podatki vnesemo vrednosti parametrov:
 - Radius: 10 (radij),

- Height: 5 (višina).
- Valj, ki smo ga definirali moramo prestaviti – polje Placement, klik na ikono  `[(0,00 0,00 1,00);0,00 °;(0,00 0,00 0,00) ...]`, in definiramo vzporedni premik (zavihek Opravila) izhodišče točke kvadra: X = 0, Y = 0 in Z = 30. Premik potrdimo s klikom na **OK**.
- Iz drevesne strukture modela izberemo obe telesi in kreiramo unijo s klikom na  (orodjarna Logična vrednost).
- Kliknemo na , da prikažemo celoten model (Slika 47c).
- Izdelati moramo še zadnje telo – tristrano prizmo (Slika 45):
 - Kliknemo na  in izdelamo kocko.
 - Kliknemo na gradnik Kocka (zavihek Model) in v zavihu Podatki vnesemo vrednosti parametrov:
 - Length: 20 (dolžina),
 - Width: 20 (širina),
 - Height: 10 (višina).
 - Kvader, ki smo ga definirali moramo prestaviti – polje Placement, klik na ikono  `[(0,00 0,00 1,00);0,00 °;(0,00 0,00 0,00) ...]`, in definiramo vzporedni premik (zavihek Opravila) izhodišče točke kvadra: X = 25, Y = -10 in Z = 25 in vrtenje okoli Y osi za 90°. Premik potrdimo s klikom na **OK** (Slika 47d).
- Z MB3 kliknemo na kreirani kvader (Kocka001 v drevesni strukturi modela, zavihek Model) in iz kontekstnega menija izberemo opcijo **Kopiraj**, nato pa z **Uredi > Prilepi** izdelamo identično kopijo kvadra (Kocka002). Korigirati moramo le še lokacijo osi zavrtitve in kot zavrtitve $(90 + \arctg(10/20) = 116,565^\circ)$:
 - Klik na Kocka002 v drevesni strukturi. Zavihek podatki - Placement, klik na ikono  `[(0,00 0,00 1,00);0,00 °;(0,00 0,00 0,00) ...]`, korigiramo X = 35 in zasuk okoli Y osi na 116,565°. Premik potrdimo s klikom na **OK**.
 - Ker bomo gradnik Kocka002 odrezali od gradnika Kocka001, moramo za korektno izvedbo rezanja korigirati še dolžino gradnika – Length = 30 mm!
- Iz drevesne strukture modela izberemo najprej gradnik Kocka001, nato gradnik Kocka002 in kreiramo izrez s klikom na  (orodjarna Logična vrednost; Slika 47e).
- Iz drevesne strukture modela izberemo obe telesi in kreiramo unijo s klikom na  (orodjarna Logična vrednost).
- Kliknemo na , da prikažemo celoten model (Slika 48).
- Dokument shranimo (**Datoteka > Shrani**) ali klik na  in s tem smo zaključili vajo. Shranjevanje je smiselno med vsako bolj zahtevno operacijo oz. v intervalih po potrebi.



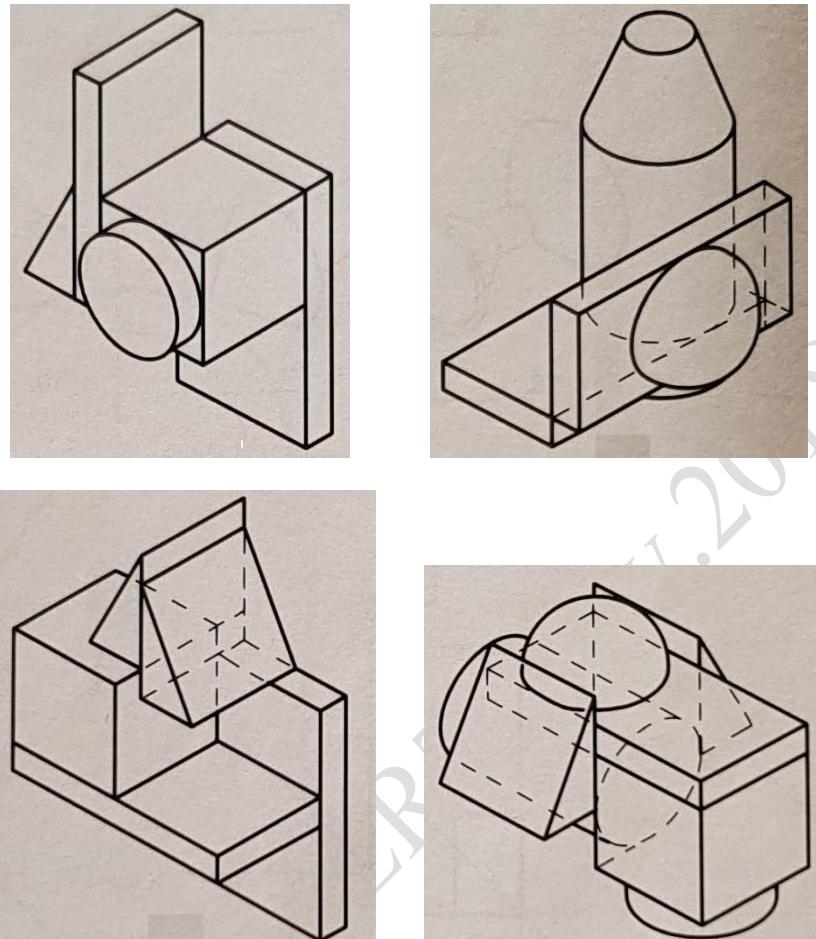
Slika 47: Koraki izdelave modela



Slika 48: Rešitev naloge (drevesna struktúra modela in graf odvisnosti)

5.1.3. Samostojne vaje

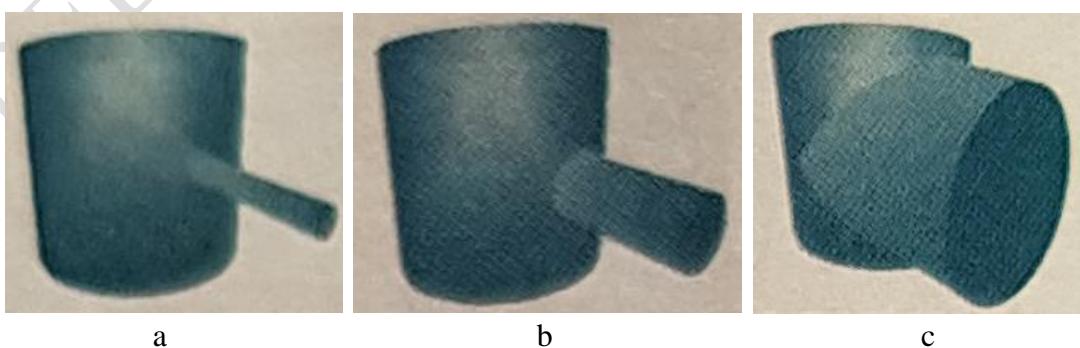
Na osnovi teles (Slika 45) izdelajte sledeče modele (Slika 49) sestavljenih objektov.



Slika 49: Samostojne naloge

5.1.4. Unija dveh valjev

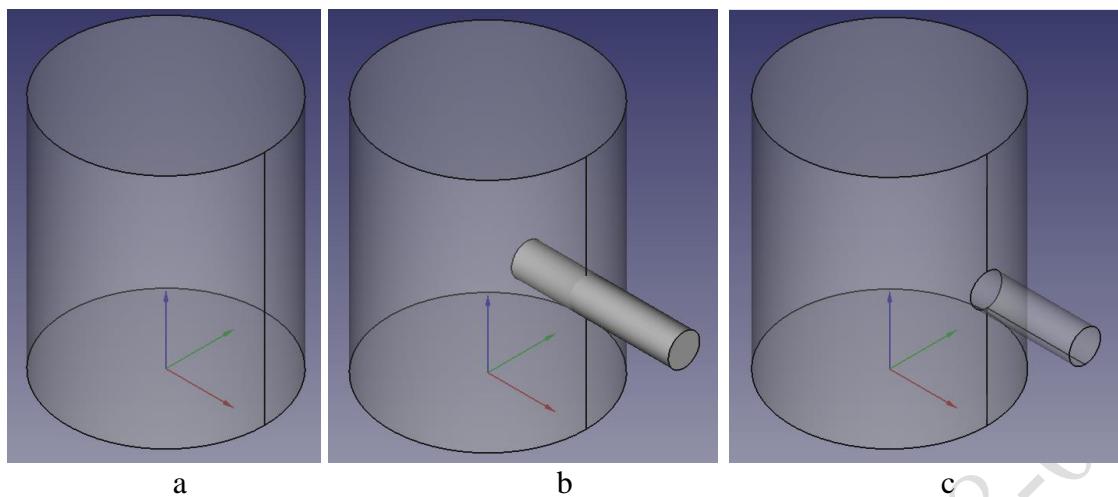
S stališča prostorske predstave objektov so zanimive kombinacije dveh valjev, ki se predirata. Zanimivi so predvsem predorninski liki oziroma krivulje, kjer se sekajo površine teles in korektnost njihove predstavitev (Slika 50).



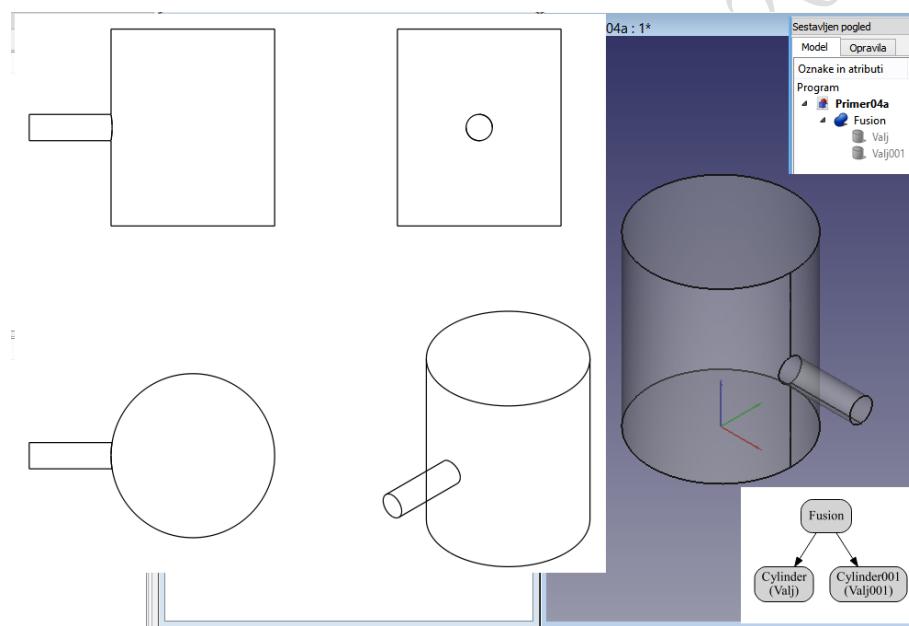
Slika 50: Variacije telesa – unija dveh valjev

- Poženemo programski paket FreeCAD (Slika 2).

- Preklopimo na delovno okolje Part (Slika 4).
- Izdelamo nov dokument: **Datoteka > Nov** (ali klik na , orodjarna Datoteka).
- Dokument shranimo pod imenom Primer04a.FCStd (**Datoteka > Shrani** ali klik na ).
- Najprej izdelamo prvi primitiv - valj ($\phi 50 \times 60$; Slika 51a):
 - Kliknemo na  in izdelamo valj.
 - Kliknemo na , da prikažemo telo v aksonometriji.
 - Kliknemo na gradnik Valj (zavihek Model) in v zavihku Podatki vnesemo vrednosti parametrov:
 - Radius: 25 (radij),
 - Height: 60 (višina).
 - Orientacijo in lego ne spremojmo, ker sta ustreznii.
 - Kliknemo na , da prikažemo celoten model (Slika 51a).
- Sledi izdelava drugega primitiva - valja ($\phi 8 \times 40$; Slika 51b):
 - Kliknemo na  in izdelamo valj.
 - Kliknemo na , da prikažemo telo v aksonometriji.
 - Kliknemo na gradnik Valj001 (zavihek Model) in v zavihku Podatki vnesemo vrednosti parametrov:
 - Radius: 4 (radij),
 - Height: 40 (višina).
 - Valj, ki smo ga definirali moramo prestaviti in zasukati – polje Placement, klik na ikono  **Placement** **[(0,00 0,00 1,00);0,00 °;0,00 0,00 0,00] ...**, in definiramo vzporedni premik (zavihek Opravila) izhodiščne točke kvadra: X = 10, Y=0 in Z = 30. Definiramo tudi zasuk okoli Y osi za kot 90°. Premik potrdimo s klikom na **OK**.
 - Kliknemo na , da prikažemo celoten model (Slika 51b).
- Iz drevesne strukture modela izberemo obe telesi in kreiramo unijo s klikom na  (orodjarna Logična vrednost).
- Kliknemo na , da prikažemo celoten model (Slika 51c)
- Dokument shranimo (**Datoteka > Shrani** ali klik na ) in s tem smo zaključili vajo. Shranjevanje je smiselno med vsako bolj zahtevno operacijo oz. v intervalih po potrebi.



Slika 51: Postopek – variacija A (predorninski lik je skoraj ravninska krožnica)

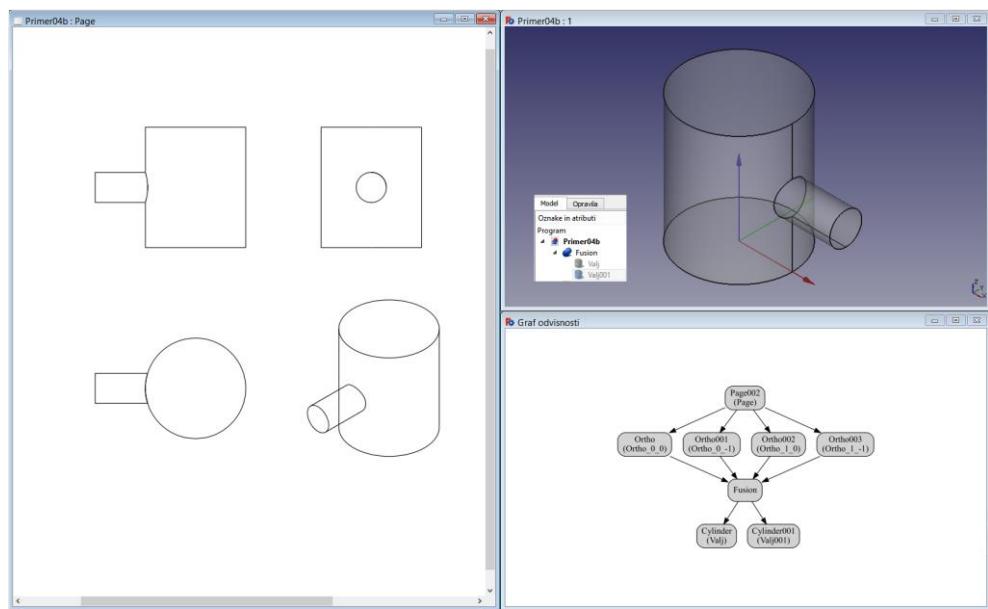


Slika 52: Model - variacija A (drevesna struktura in relacije)

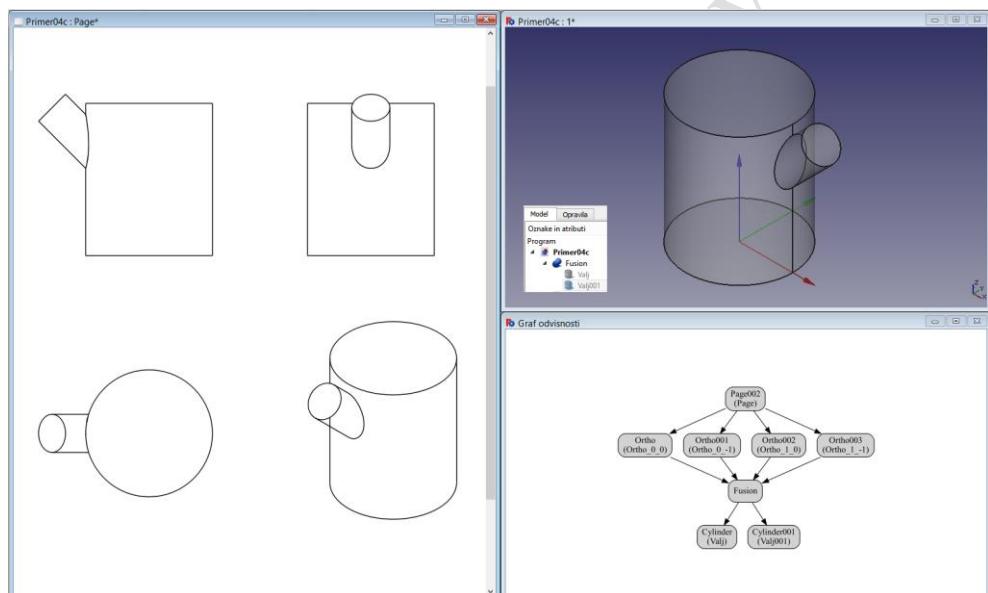
5.1.4.1.Samostojne vaje

Samostojno izdelajte tri modifikacije modela:

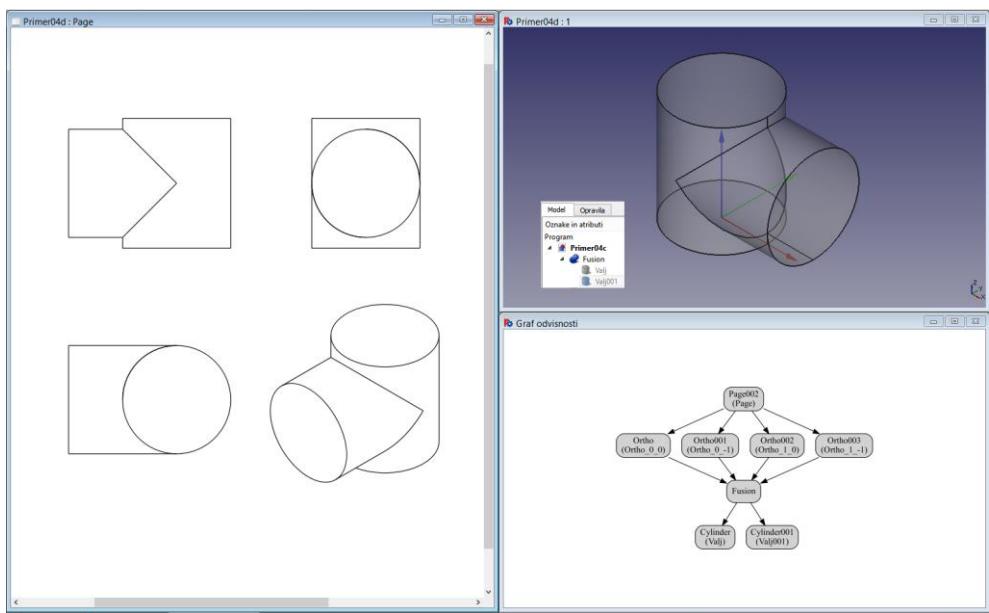
- Valj001 – sprememba polmera na 7,5 mm (valj $\phi 13 \times 40$; Slika 53 oz. Slika 50b),
- Valj001 – sprememba nagiba valja (glede na predhodno stanje) v globalnem koordinatnem sistemu – kot (valj $\phi 13 \times 40$; Slika 54),
- Valj001 – sprememba polmera na 25 mm in dolžine valja na 50 mm kot med valjema je 90° in lega $X = 0$ mm v globalnem koordinatnem sistemu (valj $\phi 50 \times 50$; Slika 55 oz. Slika 50c).



Slika 53: Model – variacija B

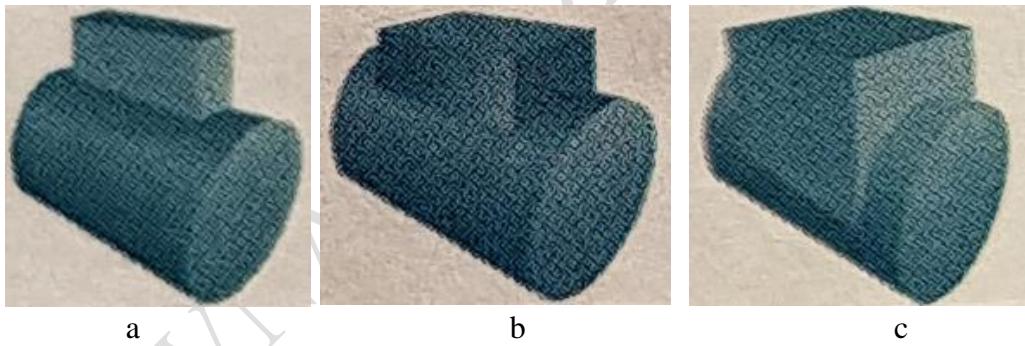


Slika 54: Model – variacija C

Slika 55: Model – variacija D

5.1.5. Unija valja in kvadra, ki se sekata

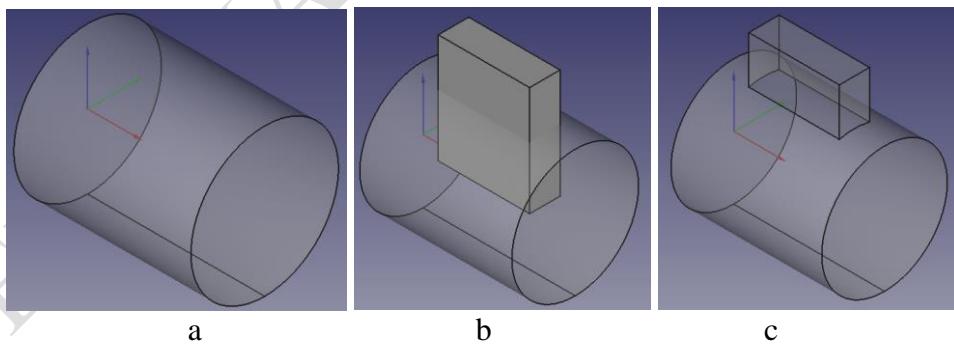
Zanimive kombinacije valja in kvadra (prizme), tudi tu obravnavamo predvsem stične krivulje in korektnost njihove predstavitev pri spremembi velikosti kvadra (Slika 56).



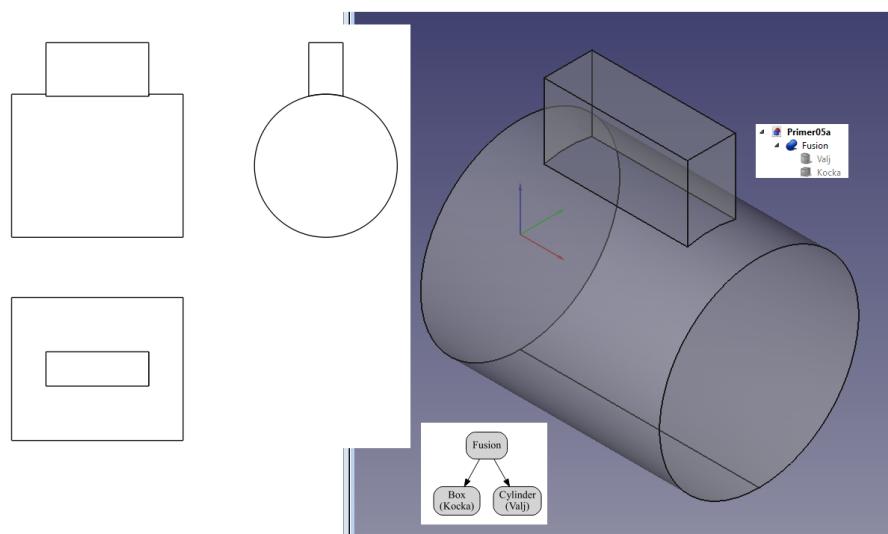
Slika 56: Variacije telesa – unija kombinacije valja in kvadra

- Poženemo programski paket FreeCAD (Slika 2).
- Preklopimo na delovno okolje Part (Slika 4).
- Izdelamo nov dokument: [Datoteka > Nov](#) (ali klik na , orodjarna Datoteka).
- Dokument shranimo pod imenom [Primer05a.FCStd](#) ([Datoteka > Shrani](#) ali klik na).
- Najprej izdelamo prvi primitiv - valj ($\phi 50 \times 60$; Slika 57a):
 - Kliknemo na in izdelamo valj.
 - Kliknemo na , da prikažemo telo v aksonometriji.
 - Kliknemo na gradnik Valj (zavihek Model) in v zavihu Podatki vnesemo vrednosti parametrov:
 - Radius: 25 (radij),

- Height: 60 (višina).
- Valj, ki smo ga definirali moramo zasukati – polje Placement, klik na ikono [(0,00 0,00 1,00);0,00 °;(0,00 0,00) ...] in definiramo zasuk okoli Y osi za kot 90°. Premik potrdimo s klikom na **OK**.
 - Kliknemo na , da prikažemo celoten model (Slika 57a).
- Sledi izdelava drugega primitiva - kvadra ($\phi 8 \times 40$; Slika 57b):
 - Kliknemo na in izdelamo kocko.
 - Kliknemo na gradnik Kocka (zavihek Model) in v zavihku Podatki vnesemo vrednosti parametrov:
 - Length: 36 (dolžina),
 - Width: 12 (širina),
 - Height: 43 (višina).
 - Kvader, ki smo ga definirali moramo prestaviti – polje Placement, klik na ikono [(0,00 0,00 1,00);0,00 °;(0,00 0,00) ...], in definiramo vzporedni premik (zavihek Opravila) izhodiščne točke kvadra: X = 12, Y = -6. Premik potrdimo s klikom na **OK** (Slika 57b).
 - Kliknemo na , da prikažemo celoten model (Slika 57b).
- Iz drevesne strukture modela izberemo obe telesi in kreiramo unijo s klikom na (orodjarna Logična vrednost).
- Kliknemo na , da prikažemo celoten model (Slika 57c)
- Dokument shranimo (**Datoteka > Shrani**) ali klik na in s tem smo zaključili vajo. Shranjevanje je smiselno med vsako bolj zahtevno operacijo oz. v intervalih po potrebi.



Slika 57: Postopek – variacija A

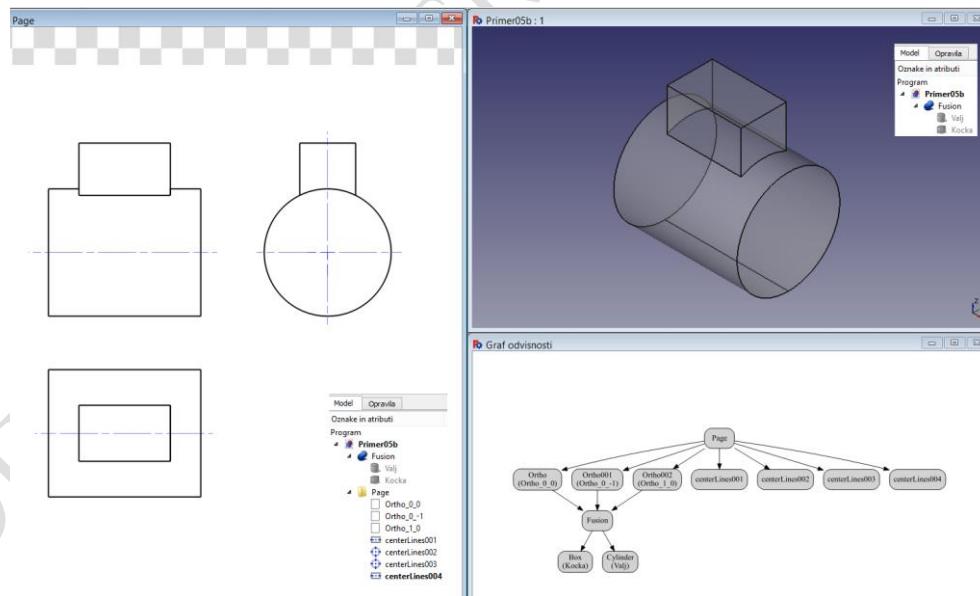


Slika 58: Model - variacija A (drevesna struktura in relacije)

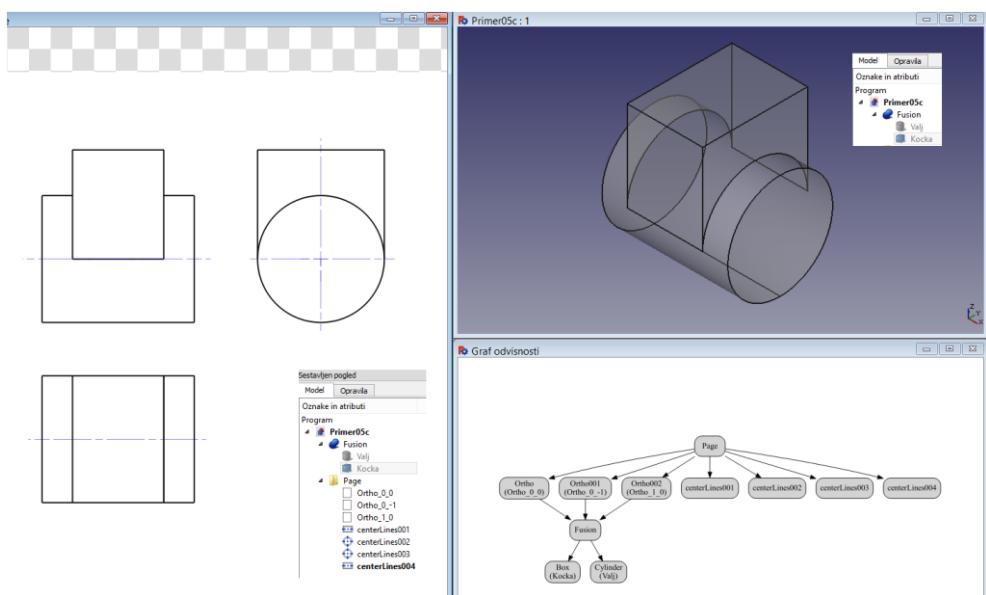
5.1.5.1. Samostojne vaje

Samostojno izdelajte tri modifikacije modela:

- Kocka – sprememba širine (ang. *Width*) na 22 mm in sprememba lege Y = -11 mm (kvader 36 x 22 x 43; Slika 59 oz. Slika 56b),
- Kocka – sprememba širine (ang. *Width*) na 50 mm in sprememba lege Y = -25 mm (kvader 36 x 50 x 43; Slika 60 oz. Slika 56c).



Slika 59: Model – variacija B



Slika 60: Model – [variacija C](#)

5.1.6. Luknja v cevi - okrogla

5.1.7. Kvadratni izrez v cevi

5.2. Modeliranje z gradniki na osnovi skice (ang. *Profile Based Features* - PBF)

Sodobnejši pristop k modeliranju je uporaba gradnikov zgrajenih na osnovi ravninske skice (ang. *Profile Based Features* – PBF). Prvi cenovno dostopni modelirniki, ki so temeljili na tej tehniki modeliranja, so prišli na trg v 90. letih prejšnjega stoletja. Osnovne lastnosti takšnega modeliranja so:

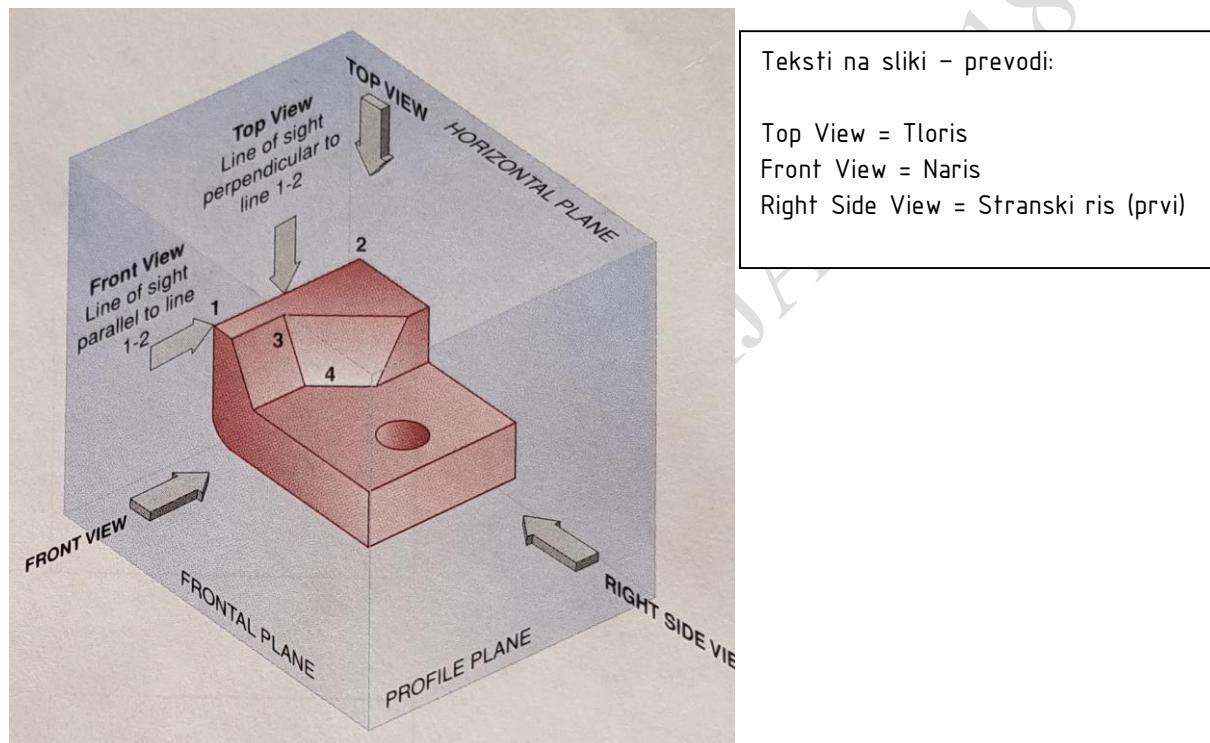
- Geometrijski gradniki, ki temeljijo na uporabi skice, nastajajo po sledečem zaporedju
 - Ravninsko skico izdelamo v prvem koraku s posebnim orodjem – skicirko; skica predstavlja konture nekega profila (prereza) ki ga raztegnemo ali zavrtimo v prostoru.
 - V drugem koraku skico raztegnemo v smeri določenega vektorja ali zavrtimo okoli osi (vektorja) v prostoru ter
 - v zaključnem koraku definiramo logično operacijo Boolove algebре med predhodnim stanjem geometrijskega telesa in na novo kreiranim volumskim gradnikom.
- Gradniki (skica oziroma njeni elementi) in končni modeli (raztegi, zavrtitve) so parametrični, kar omogoča hitro in enostavno izdelavo dimenzijske variacije modelov.
- Večinoma je parametre možno povezati med seboj z matematičnimi izrazi.
- Uporablja se zgodovinski princip modeliranja, kar pomeni, da v primeru premikanja gradnikov gor ali dol po drevesni strukturi modela (kjer je to možno) dobimo različne končne modele.

Kot zares sodoben način modeliranja lahko opredelimo tako imenovano modeliranje brez zgodovine (ang. *History free modelling*; v uporabi so tudi različna komercialna imena). Gre pa v bistvu za nabor ukazov (algoritmov), ki omogoča uvedbo začasnih parametrov, ki se po izvedbi posamezne operacije brišejo. Ta zadeva je malo nerodna, ker se lahko zgodi, da ne

moremo pri popravljanju priti nazaj na predhodno stanje modela (je torej nekoliko nevarna v rokah neveščega uporabnika). Orodja za brezggodovinsko modeliranje pa so odlična pri uporabi na modelih, ki jih dobimo v nadaljno obdelavo že predizdelana v nevtralnem formatu (stp, igs, ...) in jih moramo prilagoditi lastnim potrebam. To tehnologijo so uvedli v komercialne modelirnike okoli leta 2008. Od takrat dalje ni nekih zgodovinsko pomembnih korakov v postopkih modeliranja. V bistvu se le optimira in nadgrajuje PBF postopke modeliranja in brezggodovinsko modeliranje ter optimiranje specialnih naborov ukazov (odvisno od modelirnika) v povezavi z izboljšavami strojne opreme in stabilnosti delovanja samih programskih paketov.

5.2.1. Primer – linearni raztegi (PFB)

S čim manj ukazi (koraki) želimo izdelati prikazani model (Slika 61).

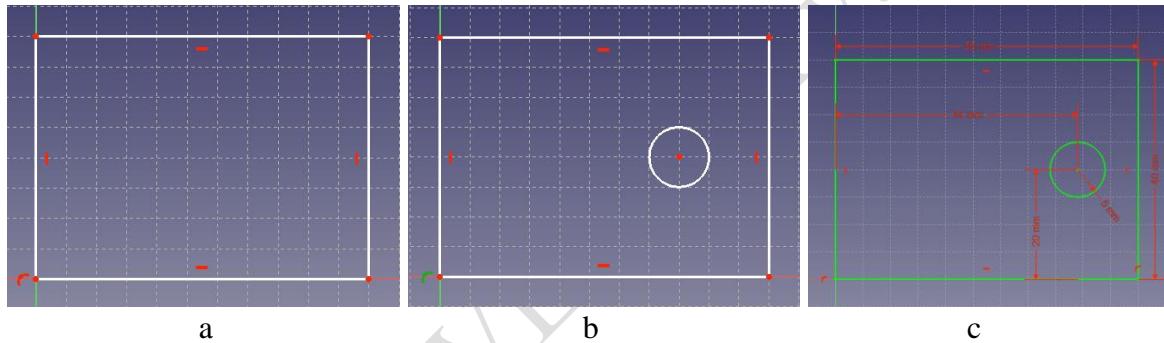


Slika 61: Predloga za definicijo naloge – linearni razteg (PFB)

Postopek:

- Poženemo programski paket FreeCAD (Slika 2).
- Preklopimo na delovno okolje Part Design (Slika 4).
- Izdelamo nov dokument: [Datoteka > Nov](#) (ali klik na , orodjarna Datoteka).
- Dokument shranimo kot [Primer06_PBF.FCStd](#) ([Datoteka > Shrani](#) ali klik na).
- Kliknemo na ikono .
- Odpre se pogovorno okno (še ni prevedeno) Choose orientation za izbor risalne ravnine in njene orientacije (normale; Slika 28):
 - Za primer našo primer (Slika 61) pustimo vse vrednosti na privzetem stanju in potrdimo s klikom na tipko **OK**.

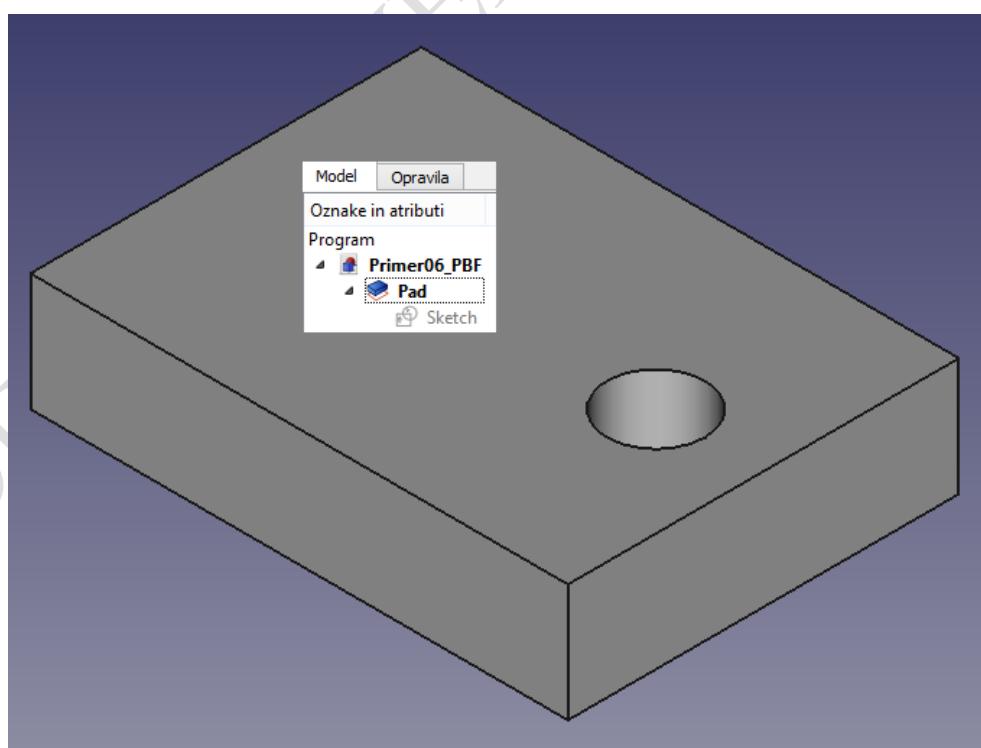
- Odpre se delovno okno Skicirke (Slika 29).
- Kliknemo na  (Ustvari pravokotnik v skici, orodjarna Geometrije skicirnika):
 - V Krmilnikih urejanja (ang. *Edit controls*) vklopimo opcijo Pripni na mrežo in s tem zagotovimo, da točke vnašajo točno na sečišča horizontalnih in vertikalnih linij. Velikost (delitve) mreže nastavimo na 5 mm.
 - Kliknemo v izhodišče (0, 0) in na sečišče 11. vertikale z 8. horizontalo (55, 40) in s tem izdelamo pravokotnik 55 x 40 mm; avtomatsko se predpišejo tudi nekatere geometrijske omejitve (Slika 62a).
 - Pozor: elementi in geometrijske omejitve se po vsaki izvedbi ukaza prikažejo v seznamih v zavihku opravila.
- Kliknemo na  (Ustvari krog v skici, orodjarna Geometrije skicirnika):
 - Kliknemo v sečišče 8. verikale s četrto horizontalo (40, 20) in s tem definiramo središče kroga, radij kroga pa definiramo s klikom na levo (ali desno oz. spodne ali gornje; razdalja 5 mm) sečišče vertikale s horizontalo (5,0 R) in s tem izdelamo krog. (Slika 62b).



Slika 62: Izdelava skice prvega gradnika

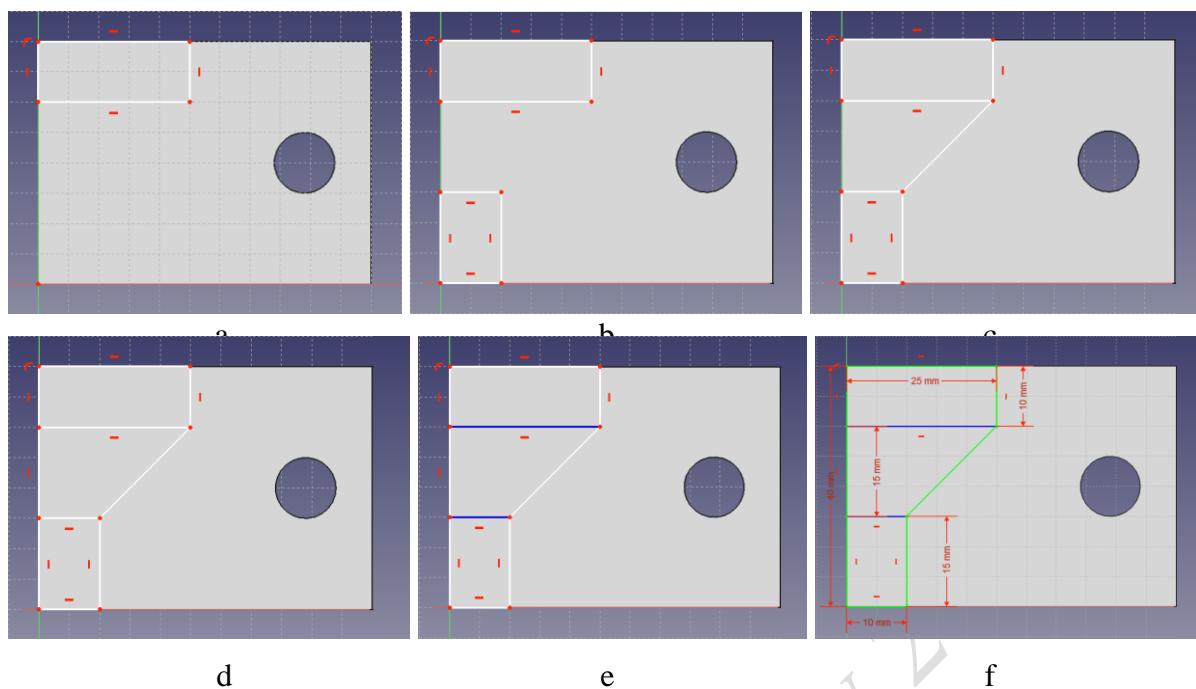
- V Sporočilnem oknu reševalnika preverimo število prostostnih stopenj, ki jih je potrebno omejiti, da dobimo popolnoma definirano skico (Slika 32).
- Preostale prostostne stopnje lahko ukinemo s kotiranjem (Slika 62c) in dodajanjem odvisnosti (relacij):
 - Izberemo gorno ali spodnjo vodoravno stranico pravokotnika in kliknemo na ikono  (Pritrdi dolžino črte, orodjarna Omejitve skicirnika).
 - Odpre se pogovorno okno Vstavi dolžino, kjer lahko spremenimo dolžino kotirane razdalje, koto pa lahko po potrebi tudi poimenujemo in vnos potrdimo s klikom na **OK**.
 - Izberemo eno izmed navpičnih stranic pravokotnika in kliknemo na ikono  (Pritrdi dolžino črte, orodjarna Omejitve skicirnika).
 - Odpre se pogovorno okno Vstavi dolžino, kjer lahko spremenimo dolžino kotirane razdalje, koto pa lahko po potrebi tudi poimenujemo in vnos potrdimo s klikom na **OK**.
 - Izberemo središče kroga levo navpično stranico pravokotnika in kliknemo na ikono  (Pritrdi dolžino črte, orodjarna Omejitve skicirnika).

- Odpre se pogovorno okno Vstavi dolžino, kjer spremenimo dolžino kotirane razdalje na vrednost 44 mm, razdaljo pa lahko po potrebi tudi poimenujemo in vnos potrdimo s klikom na **OK**.
 - Izberemo središče kroga spodnjo (ali zgornjo) vodoravno stranico pravokotnika in kliknemo na ikono (Pritrdi dolžino črte, orodjarna Omejitve skicirnika).
 - Odpre se pogovorno okno Vstavi dolžino, kjer lahko spremenimo dolžino kotirane razdalje (20 mm), razdaljo pa lahko po potrebi tudi poimenujemo in vnos potrdimo s klikom na **OK**.
 - Izberemo krog in kliknemo na ikono (Pritrdi polmer kroga ali loka, orodjarna Omejitve skicirnika).
 - Odpre se pogovorno okno Vstavi dolžino, kjer lahko spremenimo dolžino kotirane razdalje, razdaljo pa lahko po potrebi tudi poimenujemo in vnos potrdimo s klikom na **OK**.
 - Preverimo, če manjka še kakšna od geometrijskih relacij, vezanih na lego pravokotnika in jih po potrebi vstavimo.
 - Izdelavo skice zaključimo s klikom na tipko **Close** (Slika 29).
- Ekstruzijo (razteg oz. izboklino/vboklino) izdelamo tako, da izberemo skico in kliknemo na ikono (Ustvari izboklino, orodjarna Oblikovanje delov).
- Odpre se pogovorno okno Parametri izbokline v zavihu Opravila (Slika 35), kjer nastavimo dolžino na vrednost 18 mm.
 - Potrdimo vnos (**OK**) in s tem smo izdelali osnovno telo (Slika 63).



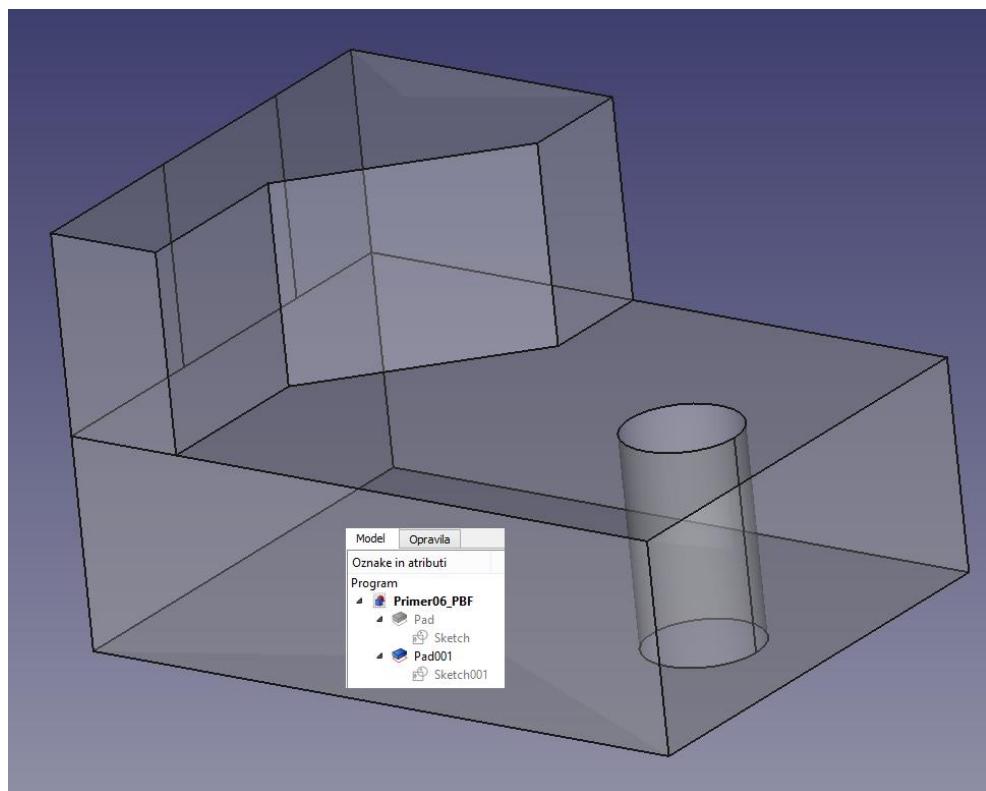
Slika 63: Prvi gradnik modela

- Izberemo gornjo površino predhodnega gradnika (Slika 63) in kliknemo na ikono .
- Odpre se delovno okno Skicirke (Slika 29).
- Kliknemo na  (Ustvari pravokotnik v skici, orodjarna Geometrije skicirnika):
 - V Krmilnikih urejanja (ang. *Edit controls*) vklopimo opcijo Pripni na mrežo in s tem zagotovimo, da točke vnašajo točno na sečišča horizontalnih in vertikalnih linij. Velikost (delitve) mreže nastavimo na 5 mm.
 - Kliknemo v gornje desno oglišče kvadrata (0.0, 50.0) in vlečemo desno navzdol (25.0 x -10.0) in s tem izdelamo pravokotnik 25 x 10 mm, avtomatsko se predpišejo tudi nekatere geometrijske omejitve oziroma relacije (Slika 64a).
 - Pozor: elementi in geometrijske omejitve se po vsaki izvedbi ukaza prikažejo v seznamih v zavihku opravila.
- Kliknemo na  (Ustvari pravokotnik v skici, orodjarna Geometrije skicirnika):
 - V Krmilnikih urejanja (ang. *Edit controls*) vklopimo opcijo Pripni na mrežo in s tem zagotovimo, da točke vnašajo točno na sečišča horizontalnih in vertikalnih linij. Velikost (delitve) mreže nastavimo na 5 mm.
 - Kliknemo v gornje desno oglišče kvadrata (0.0, 0.0) in vlečemo desno navzgor (10.0 x 15.0) in s tem izdelamo pravokotnik 10 x 15 mm, avtomatsko se predpišejo tudi nekatere geometrijske omejitve (Slika 64b).
 - Pozor: elementi in geometrijske omejitve se po vsaki izvedbi ukaza prikažejo v seznamih v zavihku opravila.
- Kliknemo na  (Ustvari črto v skici, orodjarna Geometrije skicirnika):
 - Kliknemo v gornje desno oglišče spodnjega kvadrata (10.0, 15.0) in vlečemo desno navzgor ter kliknemo v spodnje desno oglišče zgornjega pravokotnika, avtomatsko se predpišejo tudi nekatere geometrijske omejitve (Slika 64c).
 - Pozor: elementi in geometrijske omejitve se po vsaki izvedbi ukaza prikažejo v seznamih v zavihku opravila.
- Kliknemo na  (Ustvari črto v skici, orodjarna Geometrije skicirnika):
 - Kliknemo v gornje levo oglišče spodnjega kvadrata (0.0, 15.0) in vlečemo navzgor ter kliknemo v spodnje levo oglišče zgornjega pravokotnika, avtomatsko se predpišejo tudi nekatere geometrijske omejitve (Slika 64d).
 - Pozor: elementi in geometrijske omejitve se po vsaki izvedbi ukaza prikažejo v seznamih v zavihku opravila.
- Izberemo zgornjo vodoravno stranico spodnjega pravokotnika in spodnjo vodoravno stranico ter kliknemo na  (Preklopi izbrano geometrijo v/iz pomožnega načina, orodjarna Geometrije skicirnika) in s tem pretvorimo izbrani stranici v konstrukcijsko geometrijo, ki ne tvori aktivnega prereza gradnika (Slika 64e).



Slika 64: Izdelava skice prvega gradnika

- V Sporočilnem oknu reševalnika preverimo število prostostnih stopenj, ki jih je potrebno omejiti, da dobimo popolnoma definirano skico (Slika 32).
- Preostale prostostne stopnje lahko ukinemo s kotiranjem (Slika 64f):
 - Preverimo, če manjka še kakšna od geometrijskih relacij, vezanih na lego pravokotnika in jih po potrebi vstavimo.
 - Izdelavo skice zaključimo s klikom na tipko **Close** (Slika 29).
- Ekstruzijo (izboklino) izdelamo tako, da izberemo skico in kliknemo na ikono (Ustvari izboklino, orodjarna Oblikovanje delov).
 - Odpre se pogovorno okno Parametri izbokline v zavihku Opravila (Slika 35), kjer nastavimo dolžino na vrednost 17 mm.
 - Potrdimo vnos (**OK**) in s tem smo telesu dodali drugi gradnik (Slika 65).



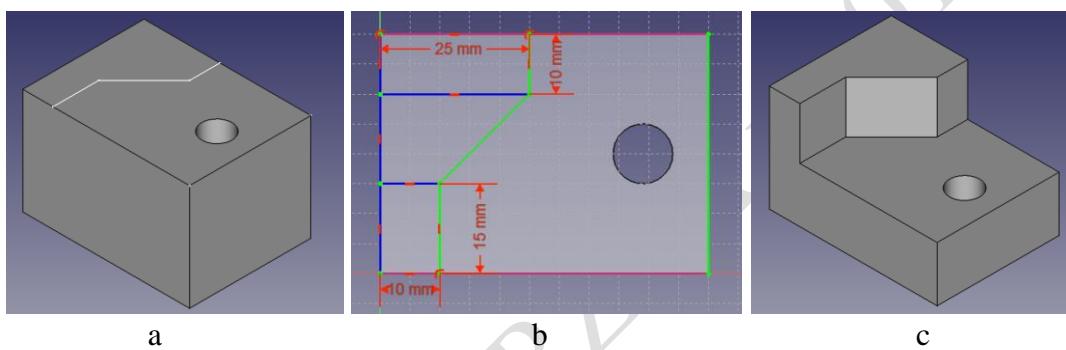
Slika 65: Model z dodanim drugim gradnikom

Komentar: Če si pazljivo ogledamo naš model, lahko ugotovimo, da ima nepotrebne prikazane robove. Soležne površine se pri komercialnih modelirnikih avtomatsko združijo. To pri FreeCADu v delovnem okolju Part Design žal ni možno, pa tudi orodij za ročno združevanje povšin nimamo na voljo. Prikazan model (Slika 65) je s stališča tehničnega risanja tako delno nepravilen, saj so vidni robovi, ki sicer ne obstajajo, ker ni geometrijskih sprememb. Vendar pa velja opozoriti, da pravila tehničnega risanja vseeno zahtevajo, da se rišejo kot vidni robovi tudi razmejitve na istih površinah, če na njih obstajajo različne zahteve za stanje površin ali toleranc.

Ugotovimo lahko, da je potrebno pri modeliranju v Part Design okolju zelo pomemben način izdelave modela, ker je od tega odvisna deljenost površin na modelu. Delitve valjastih površin ni možno preprečiti in jo imajo tudi nekateri komercialni modelirniki. Ostale nepotrebne delitve (segmentacijo površin) pa lahko preprečimo s pristopom k modeliranju, ki je miselno usklajen s postopkom izdelave (z odrezovanjem). Pri tem pa moramo paziti, da ne segmentiramo robov na objektu (en rob = ena črta). V nadaljevanju je prikazano, na kakšen način popravimo ta model, da bo vizualno čim bolj sprejemljiv za namene tehnične dokumentacije.

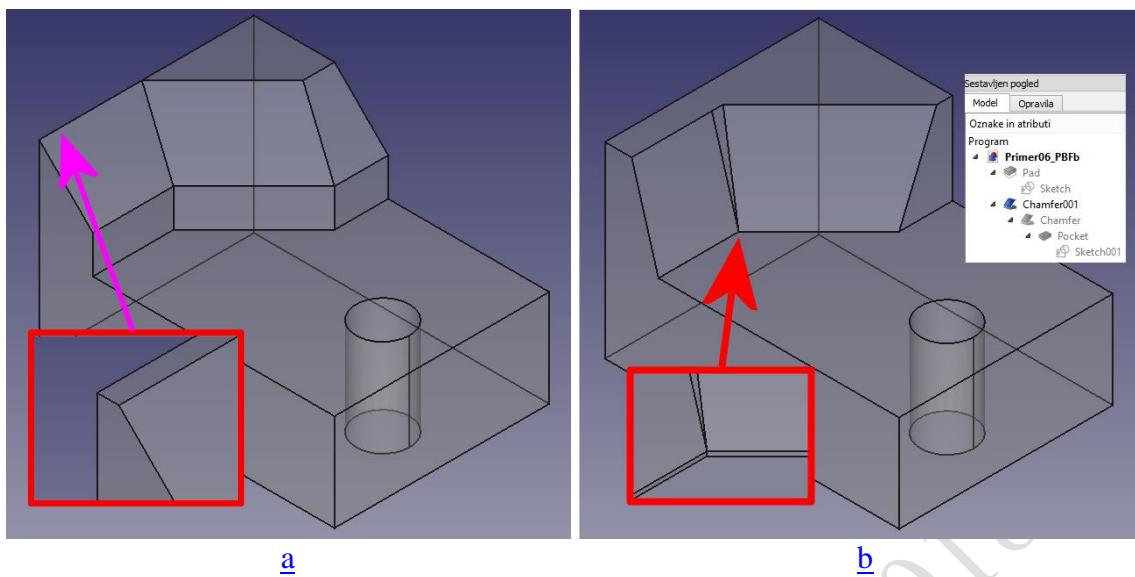
- V drevesni strukturi kliknemo na gradnik Pad001 Ekstruzijo in ga izbrišemo s pritiskom tipke Delete na tipkovnici (ali opcije izbriši iz kontekstnega menija). Zopet postane vidna skica Sketch001.
- Kliknemo na gradnik Pad in v zavihku Podatki popravimo parametre Length na vrednost 35 mm. Ko se izvede popravek, se skupaj z gornjo ploskvijo prvega gradnika premakne tudi skica Sketch001, ki je asociativna s to ploskvijo (Slika 66a).

- Izvesti je potrebno korekcijo skice Sketch001. Skico odpremo v Skicirki z dvojnim klikom na Sketch001 v drevesni strukturi modela. Smiselno se je premakniti na zavihek opravila (Slika 29), ki prikazuje vse podatke vezane na skico.
 - Skico lahko popravimo tako, da brišemo vso nepotrebno geometrijo in dodamo novo ter na novo postavimo potrebne geometrijske in dimenzijske omejitve.
 - Alternativa (bolj napredna, več znanja) je, da nepotrebne dele skice enostavno spremenimo v konstrukcijsko geometrijo (Slika 66b; modre črte) in dodamo manjkajoče črte ter potrebne geometrijske omejitve.
- Izrez (ugrez) izdelamo tako, da izberemo skico in kliknemo na ikono  (ang. *Create a pocket*, orodjarna Oblikovanje delov).
 - Odpre se pogovorno okno Parametri ugreza v zavihu Opravila (Slika 39), kjer nastavimo dolžino na vrednost 18 mm.
 - Potrdimo vnos (**OK**) in s tem smo telesu dodali drugi gradnik (Slika 66b).



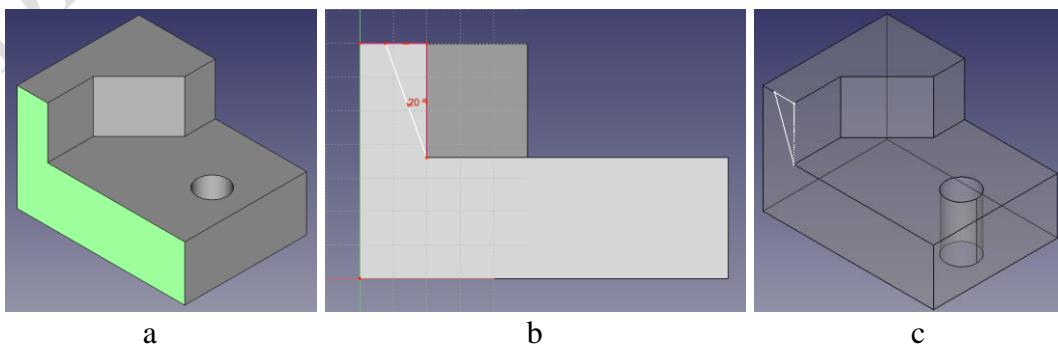
Slika 66: Urejanje – spremenjanje gradnika

Komentar: V tej fazi izdelave je potrebno kreirati posnetja odrezanih ploskev. FreeCAD kot preprosto orodje omogoča v modulu Part Design le kreiranje preprostih posnetij robov pod kotom 45° (Slika 67a; ikona  v orodjarni Oblikovanje delov), kar je v našem primeru, ko imamo posnetje pod 60° od zgornje in spodnje površine, neuporabno. Poleg tega s tem ukazom ne moremo posneti roba po celotni debelini objekta, potrebujemo minimalen iztek (odvisen od natančnosti vnosa parametrov). Pri preklopu v okolje Part dobimo na razpolago drugačno orodje za kreiranje posnetij, ki omogoča tudi izdelavo posnetja v dvema različnima dimenzijsama (Slika 67b; ikona  v orodjarni Orodja za dele; okolje Part). To orodje bi lahko rešilo naš problem, a naletimo na enako težavo kot pri prvem orodju - potrebujemo iztek (enako velja za orodja za izdelavo radialnih prehodov oz. zaokrožitev). Poleg tega pa se pojavi še dodaten problem segmentacije površin, ki ni zaželena. Tudi za ta problem je možna rešitev, ki zahteva malce več domišljije in bolj natančno poznavanje principov modeliranja za doseganje različnih rešitev. Predvsem pa je potrebno dobro poznavanje programa s katerim delamo in seveda njegovih omejitev.

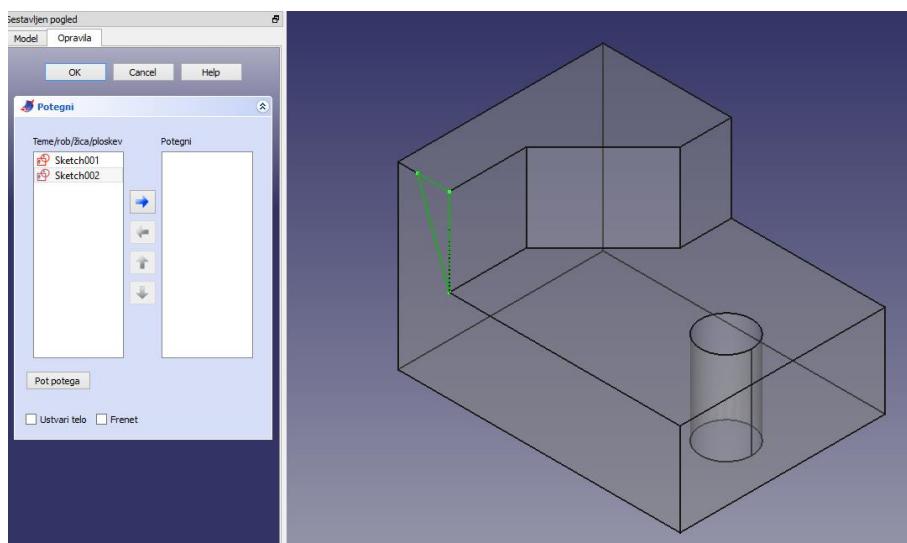


Slika 67: [Problemi pri modeliranju posnetij](#)

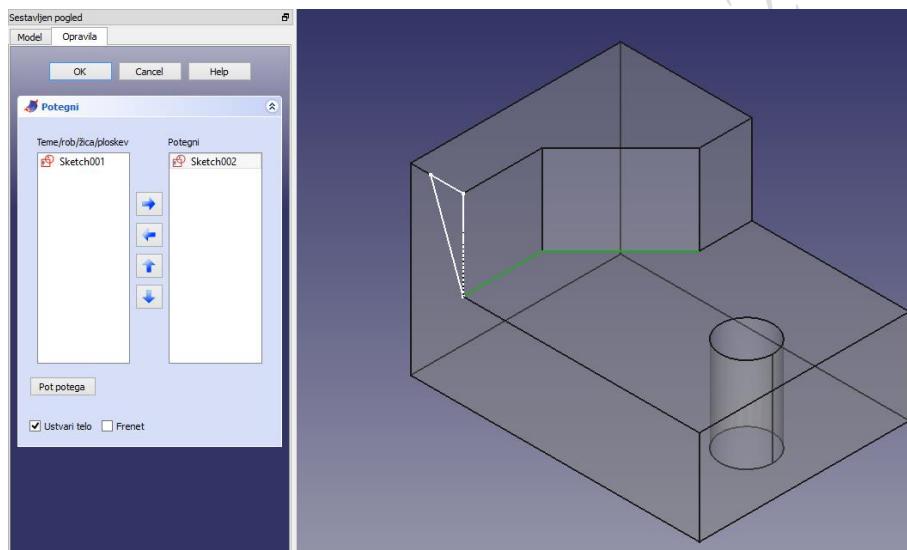
- Izberemo levo vertikalno površino predhodnega gradnika (Slika 68a) in kliknemo na ikono
- Odpre se delovno okno Skicirke (Slika 29).
- Izdelamo ustrezno skico trikotnika in postavimo potrebne geometrijske ter dimenzijske omejitve (pri tem za izdelavo lahko uporabimo obstoječo geometrijo kot referenčni objekt; ; Slika 68b).
- Preklopimo na delovno okolje Part (Slika 4).
- Izdelamo Poteg (razteg oz. ekstruzijo profila po poti; ; orodjarna Orodja za dele):
 - Odpre se pogovorno okno Potegni (zavihek Opravila; Slika 69) z dvojnim klikom izberemo Sketch002 v levem stolpcu, ki se potem premakne v desni stolpec.
 - Kliknemo na tipko Pot potega in izberemo robova (Slika 70; zelene barve), kliknemo na tipko Končano za potrditev izbora in vklopimo stikalo Ustvari telo.
 - Ukaz zaključimo s klikom na OK (Slika 71a).



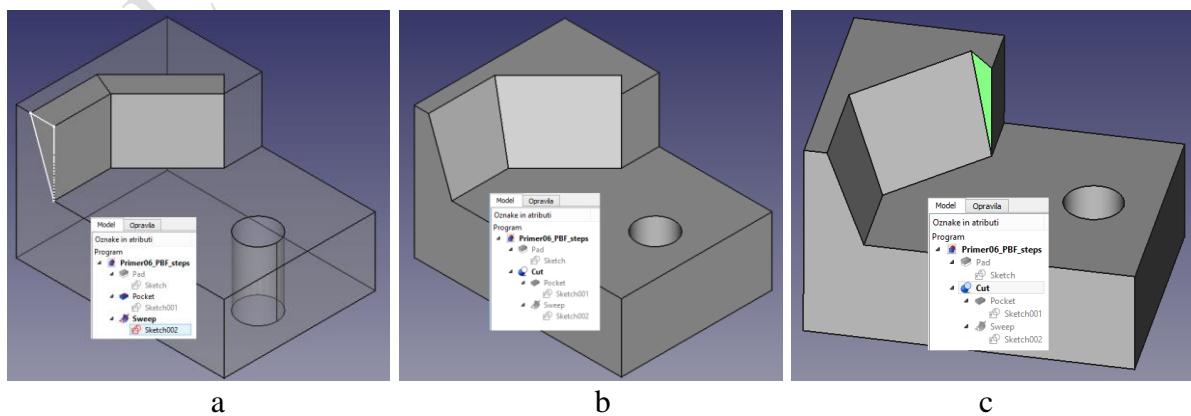
Slika 68: [Izdelava »pravilnega« posnetja \(prvi del\)](#)

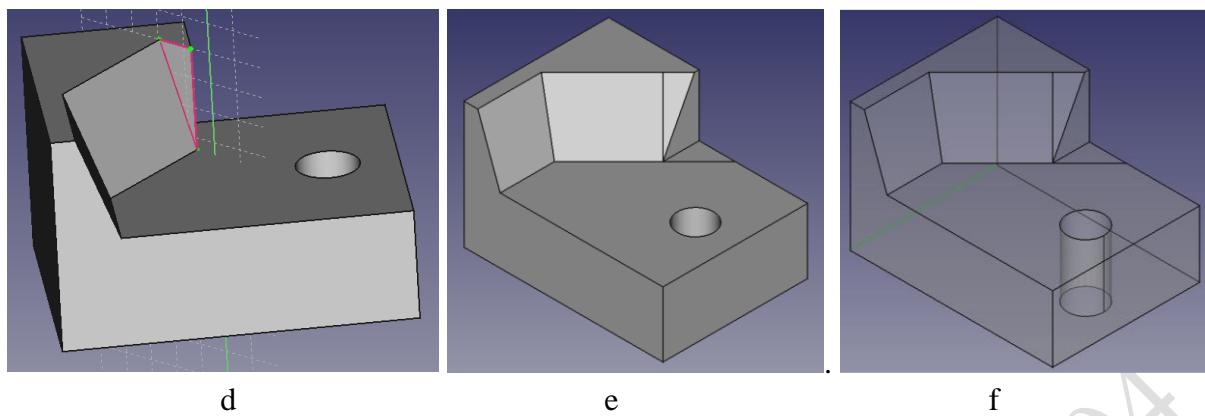


Slika 69: Izdelava potega – definicija profila



Slika 70: Izdelava potega – definicija poti





Slika 71: Izdelava »pravilnega« posnetja (drugi del)

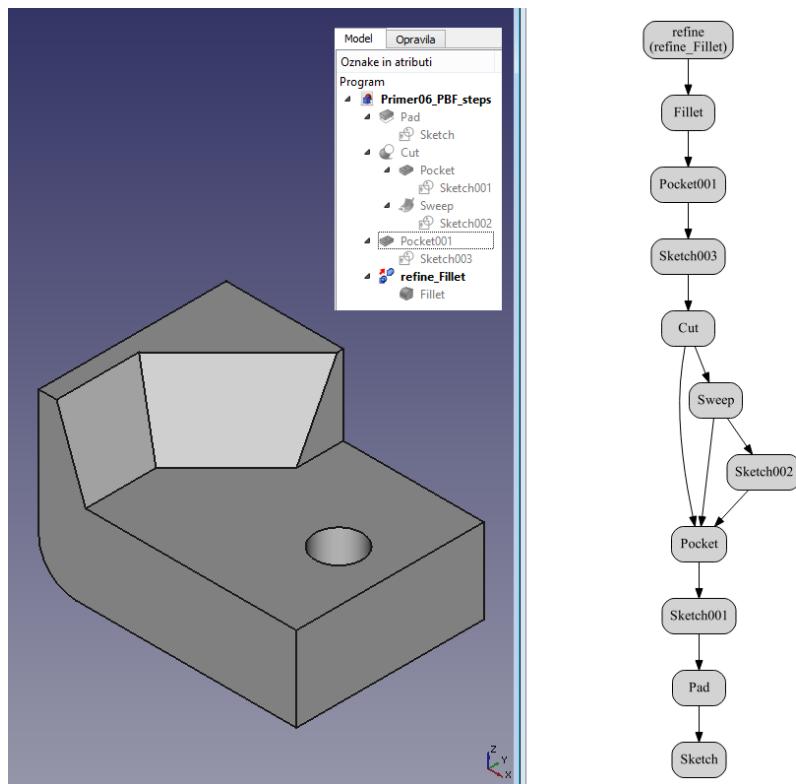
- Najprej izberemo telo Pocket in nato še telo Sweep in s klikom na izrežemo drugo telo iz prvega (Slika 71b).
- Preklopimo na delovno okolje Part Design (Slika 4).
- Izberemo trikotno površino predhodnega gradnika, ki je nastala kot posledica izreza (Slika 71c) in kliknemo na ikono .
- Odpre se delovno okno Skicirke (Slika 29).
- Izdelamo ustrezno skico trikotnika (cela risalna površina) in postavimo potrebne geometrijske ter dimenzijske omejitve (pri tem za izdelavo lahko uporabimo obstoječo geometrijo kot referenčni objekt; ; Slika 71d).
- Izberemo skico Sketch003 in kliknemo na ikono (ang. Create a pocket, orodjarna Oblikovanje delov), odrežemo preostali del posnetja.
 - Odpre se pogovorno okno Parametri ugreza v zavihu Opravila (Slika 39), kjer nastavimo dolžino na vrednost 50 mm.
 - Potrdimo vnos **OK** izdelamo posnetje »pravilne geometrije« (Slika 71e).
- Izberemo še spodnji zadnji rob (Slika 71f) in s klikom na ikono (Ustvari zaokrožitev roba, ploskve ali telesa; orodjarna Oblikovanje delov):
 - V poje Polmer vpišemo vrednost 8 mm.
 - Potrdimo z **OK**.

Komentar: Stanje modela (Slika 71d) zopet ni primerno za izdelavo dokumentacije, saj so nekatere soležne površine segmentirane, kar pomeni, da bomo imeli na risbi vidne robove, ki jih dejansko ni. Takšno stanje je posledica poenostavljenega delovanja modelirnika. Pri komercialnih modelirnikih je združevanje soležnih površin vključeno v sam ukaz. Pri FreeCADu pa je to urejeno malce drugače. V okoljih Part in Part Design se običajno izdela model dokončne oblike, ne glede na segmentacijo, ki jo skušamo minimalizirati z ustreznim pristopom k modeliranju. Spajanje soležnih površin pa nam omogoča drugo delovno okolje OpenSCAD, ki ga moramo uporabiti, da dosežemo zahtevano geometrijo in vizualno predstavitev modela. Ta zadnji korak, ki ga bomo morali uporabiti pri večini modelov bo prikazan v nadaljevanju.

- Preklopimo na delovno okolje OpenSCAD (Slika 4).

- Kliknemo na katerokoli površino na modelu in nato na ikono  (ang. *Create refine Shape Feature*; orodjarna OpenSCAD Part tools). S tem odstranimo vso odvečno geometrijo (segmentacijo površin in robov).
- Dokument shranimo (**Datoteka > Shrani** ali klik na ) in s tem smo zaključili vajo (Slika 72). Shranjevanje je smiselno med vsako bolj zahtevno operacijo oz. v intervalih po potrebi.

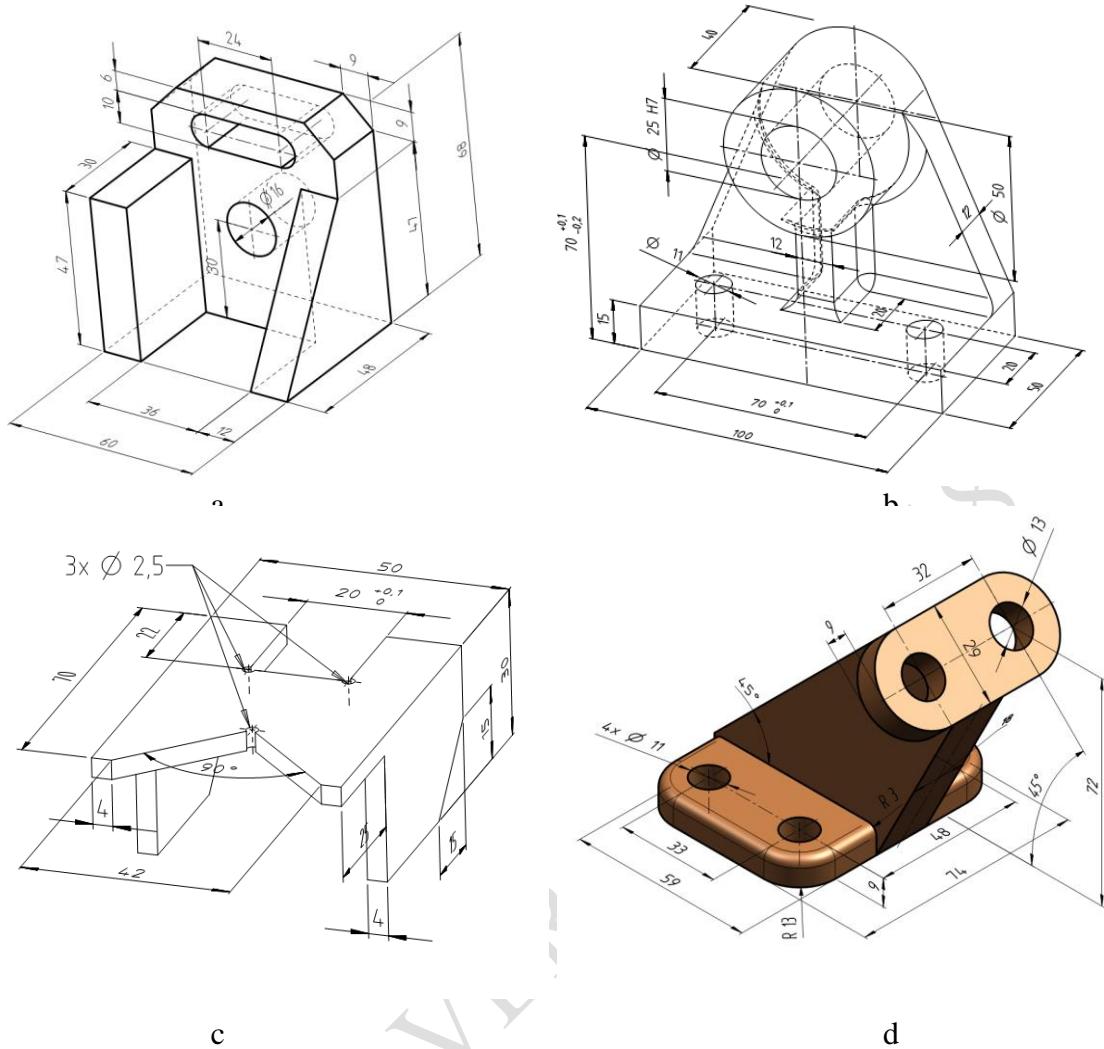
Komentar: Ukaz za izpopolnitve oblike modela je na voljo tudi v okolju Part, a le preko zavesnega menija: **Del > Izpopolni obliko**. Njegovo uporabo v delovnem okolju OpenSCAD smo prikazali, ker je to okolje namenjeno predvsem zaključni obdelavi modelov in ima tudi druga specialna orodja za ta namen. S tem želimo tudi pokazati kako poteka delo na istem modelu v različnih okoljih, kar je tudi običajna praksa v programskem paketu FreeCAD.



Slika 72: [Končni model skladen z zahtevami naloge](#) (Slika 61)

5.2.2. Samostojne vaje – linearni raztegi (PFB)

Samostojno izdelajte prikazane modele (Slika 73) z uporabo do sedaj obravnavanih delovnih okolij.



Slika 73: Modeli za samostojne vaje

6. Izdelava tehniške dokumentacije

*** Dodano v sledečih verzijah

DELOVNA VERZIJA V.2018.04

7. Viri

- [1] NOVAK, Aleksander, KAIBA, Pavel, ZUPAN, Samo, AMBROŽ, Miha, PREBIL, Ivan. Pregledni tečaj programskega paketa UNIGRAPHICS NX : delovno gradivo. Ljubljana: Fakulteta za strojništvo, Center za modeliranje elementov in konstrukcij, 2003. 110 str., Illustr., graf. prikazi. [COBISS.SI-ID 7875355]
- [2] VAN HAVRE, Yorik & The FreeCAD Community: FreeCAD, A Manual
- [3] FreeCAD version 16.0 user manual, compiled articles from <http://www.freecadweb.org/wiki>