

SVEUČILIŠTE U SPLITU
SVEUČILIŠNI ODJEL ZA STRUČNE STUDIJE
Studij konstrukcijskog strojarstva



CAD I

3D MODELIRANJE: Autodesk Inventor

(Autorizirani nastavni materijali)

Razradio: Ivan Vrljićak, pred.

Igor Šuljić, pred.

Split, svibanj 2023.

Sadržaj

1.	Sučelje programa	7
1.1.	Odabir predloška i jedinica	7
1.2.	Part izbornik	9
1.3.	Ravnine crtanja	10
1.4.	Navigacija i zumiranje	14
1.5.	Geometrijska ograničenja	16
2.	Sketch modul	21
2.1.	Create.....	21
2.2.	Create Geometry.....	25
2.3.	Modify	26
2.4.	Pattern	27
2.5.	Dimension	27
2.6.	Format.....	29
2.7.	Stupnjevi slobode skice	31
3.	3D Modul	32
3.1.	Create.....	32
3.1.1.	Extrude	34
3.1.2.	Revolve	35
3.1.3.	Sweep.....	36
3.1.4.	Loft	37
3.1.5.	Coil	38
3.1.6.	Emboss	39
3.2.	Modify	40
3.2.1.	Hole	41
3.2.2.	Fillet.....	44
3.2.3.	Chamfer.....	45
3.2.4.	Shell	46
3.2.5.	Thread	47
3.2.6.	Combine	48
3.3.	Pattern	49
3.3.1.	Rectangular	50
3.3.2.	Circular	51
3.3.3.	Mirror	52
4.	Izrada 3D modela: primjer 1.	53

4.1.	Predložak.....	53
4.2.	Skiciranje i ekstrudiranje.....	54
4.3.	Provrt	56
4.4.	Chamfer i fillet.....	58
4.5.	Pomoćne ravnine	59
4.6.	Kružni uzorak.....	60
5.	Izrada 3D modela: primjer 2.	62
5.1.	Modeliranje.....	62
5.2.	Fillet i Chamfer	66
5.3.	iProperties.....	67
5.4.	Editiranje modela	68
6.	Zadatci za vježbu	69
7.	Preporučena literatura.....	88

Popis slika

Slika 1 - Odabir predloška	8
Slika 2 - Odabir jedinica i standarda.....	8
Slika 3 - Part izbornik.....	9
Slika 4 - Glavne ravnine i osi.....	10
Slika 5 - Glavne ravnine 3D modela	11
Slika 6 - Upotreba pomoćne ravnine pri izradi utora za pero na vratilu.....	13
Slika 7 - Funkcije miša	15
Slika 8 - Opcija Cube.....	15
Slika 9 - a) prikaz iz perspektive b) ortogonalni prikaz.....	16
Slika 10 - Coincident Constraints	16
Slika 11 - Collinear Constraint	17
Slika 12 - Concentric Constraint	17
Slika 13 - Fix Constraint.....	17
Slika 14 - Parallel Constraint	18
Slika 15 - Perpendicular Constraint.....	18
Slika 16 - Horizontal Constraint.....	18
Slika 17 - Vertical Constraint	19
Slika 18 – Tangent Constraint	19
Slika 19 – Smooth Constraint	19
Slika 20 – Symetric Constraint	20
Slika 21 - Equal Constraint	20
Slika 22 - Sketch grupe naredbi.....	21
Slika 23 - Crtanje linije i kružnog luka	22
Slika 24 - Primjena dinamičkih ograničenja	22
Slika 25 - Prikaz ograničenja.....	23
Slika 26 - Crtanje krivulja.....	23
Slika 27 - Konstrukcijski elementi izbornika Create	24
Slika 28 - Opcija Proje Geometry	25
Slika 29 - Opcije izbornika Modify.....	26
Slika 30 – Pattern	27
Slika 31 - Dimenzioniranje linija	28
Slika 32 - Dimenzioniranje kuta	28
Slika 33 - Dimenzioniranje kružnice	29
Slika 34 - Način prikaza dimenzije.....	29

Slika 35 - Opcija format.....	30
Slika 36 - Stupnjevi slobode	31
Slika 37 - 3D objekt nastao izvlačenjem skice	31
Slika 38 - 3D alati.....	32
Slika 39 - Konstruiranje 3D modela dodavanjem i oduzimanjem materijala.....	33
Slika 40 - Naredba Extrude.....	34
Slika 41 – Izrada 3D modela oduzimanjem	34
Slika 42 - Opcije naredbe Extrude	35
Slika 43 –Naredba Rotate.....	35
Slika 44 - Opcije naredbe Revolve	36
Slika 45 - Naredba Sweep	36
Slika 46 - Opcije naredbe Sweep.....	37
Slika 47 – Naredba Loft	37
Slika 48 - Naredba Coil	38
Slika 49 - Opcije naredbe Coil	38
Slika 50 - Izrada natpisa na tijelu vijka	39
Slika 51 - Opcije naredbe Emboss	40
Slika 52 - Naredba Hole.....	41
Slika 53 - Definiranje provrta i navojem.....	42
Slika 54 - Upuštanje provrta.....	42
Slika 55 - Pozicioniranje provrta u odnosu na zakrivljene bridove	43
Slika 56 - Pozicioniranje provrta u odnosu na ravne bridove	43
Slika 57 - Naredba Fillet	44
Slika 58 - Opcije naredbe Fillet.....	45
Slika 59 - Naredba Chamfer	45
Slika 60 - Opcije naredbe Chamfer.....	46
Slika 61 - Naredba Shell	46
Slika 62 - Smjer nastajanja stijenke.....	47
Slika 63 - Naredba Thread.....	47
Slika 64 - Naredba Combine.....	48
Slika 65 - Rezultati naredbe Combine	49
Slika 66 - Naredba Rectangular	50
Slika 67 - Modeliranje višerednog lančanika	51
Slika 68 - Naredba Circular.....	51
Slika 69 - Naredba Mirror.....	52
Slika 70 - 3D model	53

Slika 71 - Odabir Part predloška za crtanje 3D modela.....	53
Slika 72 - Odabir početne ravnine.....	54
Slika 73 - Početna skica	54
Slika 74 - Ekstrudiranje skice.....	55
Slika 75 – Izrada modela	55
Slika 76 - Modeliranje provrta	56
Slika 77 - Skica trokuta na plohi	56
Slika 78 - Project Geometry	57
Slika 79 - Pozicioniranje trokuta na plovu	57
Slika 80 - Opcija Cut	58
Slika 81 - Dodavanje zaobljenja na bridove modela	58
Slika 82 - Pomoćna ravnina	59
Slika 83 - Projiciranje geometrije modela na ravninu	59
Slika 84 - Ekstrudiranje nacrtu	60
Slika 85 – Provrt	60
Slika 86 - Vidljivost skice na modelu	61
Slika 87 - Kružni uzorak	61
Slika 88 - Upravljački zglobovi.....	62
Slika 89 - Skiciranje.....	63
Slika 90 - Ekstrudiranje profila	63
Slika 91 - Odabir ravnine i uključivanje presjeka	64
Slika 92 - Naredba Revolve	64
Slika 93 - Naredba Extrude.....	65
Slika 94 - Modeliranje provrta	65
Slika 95 - Naredba Fillet	66
Slika 96 - Naredba Chamfer	66
Slika 97 - i Properties	67
Slika 98 - Završni izgled modela	67
Slika 99 - Editiranje modela	68

Predgovor

Autorizirani nastavni materijali za laboratorijske vježbe iz kolegija CAD I namijenjeni su studentima druge godine stručnog preddiplomskog studija Konstrukcijsko strojarstvo.

Svrha izrade ovih materijala je upoznavanje studenata s problematikom rada u CAD/CAM programu Autodesk Inventor 2022.

Predviđeno je da se studenti prije pristupanja laboratorijskim vježbama obavezno pripreme za iste proučavanjem odgovarajućeg poglavlja ovih nastavnih materijala. Nastavni materijali su također namijenjeni i pripremi studenata za provjeru znanja bilo putem kolokvija ili završnog ispita.

Nastavni materijali su podijeljeni u logičke cjeline od kojih svaka obuhvaća više termina laboratorijskih vježbi. U početku studenti se upoznaju sa sučeljem programa, izborom jedinica, ravninama crtanja. Slijedeća cjelina opisuje način upotrebe alata koji se koriste za izradu 3D modela. Detaljan prikaz izrade modela korak po korak prikazan je na dva praktična primjera. Završni dio nastavnih materijala sastoji se od zadataka za vježbu.

Pregled korištene literature može se pronaći na kraju nastavnih materijala čime je omogućeno dodatno produbljivanje znanja zainteresiranim studentima.

Autori

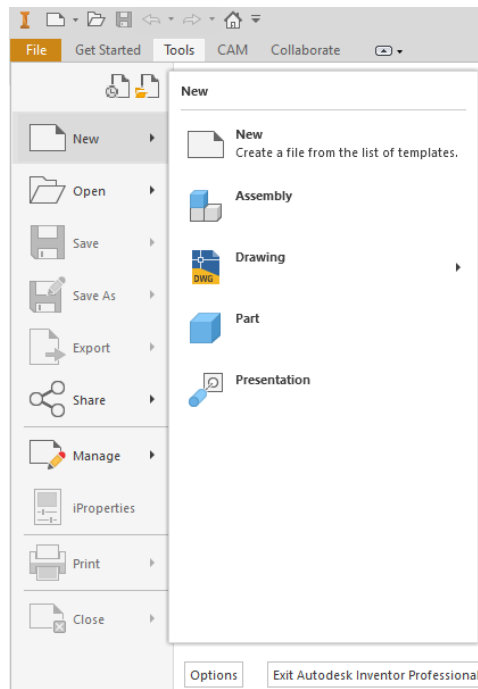
1. Sučelje programa

1.1. Odabir predloška i jedinica

U početku modeliranja s *Autodesk Inventorom* potrebno je odabrati predložak ovisno o tome što se želi izraditi (Slika 1). Pri odabiru predloška treba paziti na standard te izbor mjernih jedinica. Predlošci koji se najčešće koriste u strojarstvu su:

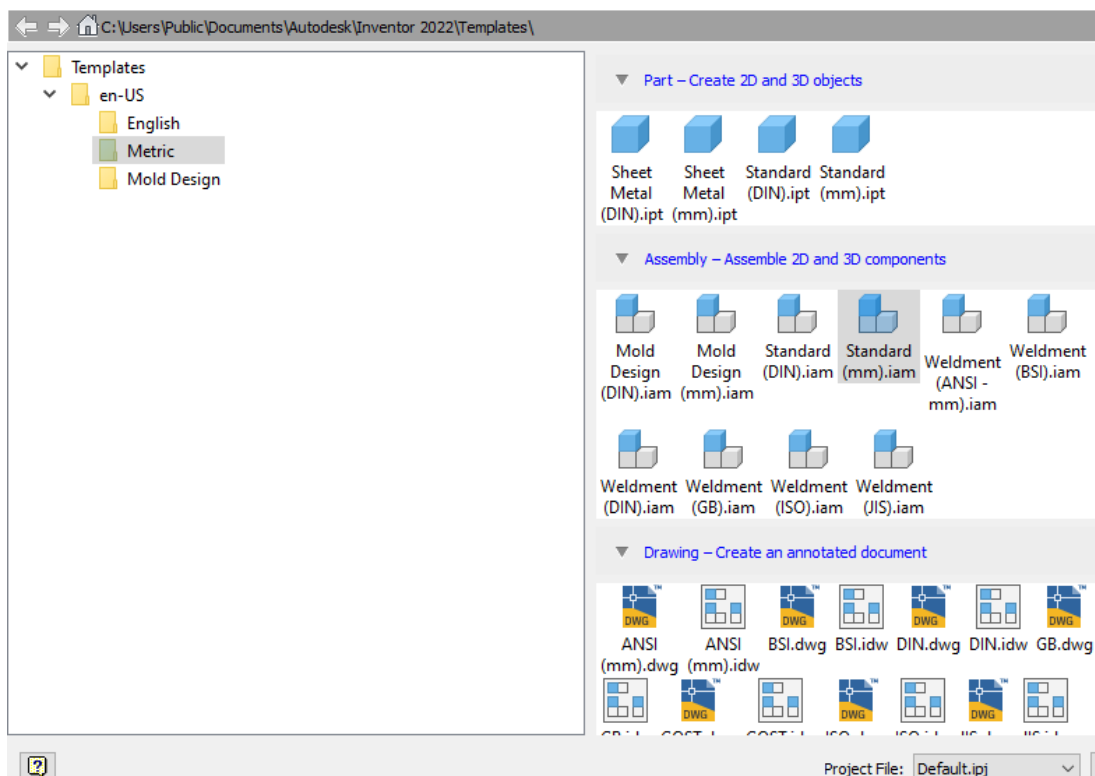
- **Part** – Predložak omogućava kreiranje 3D modela koji se sastoje od različitih značajki te se može sastojati od više nezavisnih tijela koje je moguće kombinirati. Format datoteke je IPT. Izrada 3D modela je osnovni korak. Na osnovi modela moguće je, u daljnjim koracima, izraditi sklopove te projektnu dokumentaciju.
- **Assembly** – Omogućava izradu sklopova koji se sastoje od više 3D modela koje je moguće dovesti u međusobnu vezu. Također je moguća izrada zavarivačkih sklopova. Format datoteke je IAM.
- **Drawing** – Predložak iz 3D modela omogućava izradu tehničke dokumentacije koja se sastoji od sklopnih i radioničkih crteža. Datoteke je moguće spremati u DWG i IDW formatu. DWG format je kompatibilan s *Autodesk AutoCAD-om*.
- **Sheet Metal** - Pomoću ovoga predloška moguće je kreirati 3D modele izrađene iz lima.

Predlošci imaju predefinirane mjerne jedinice no ukoliko se žele izmijeniti to se vrši u slijedećem izborniku: *Tools tab* → *Application Options* → *File* → *Configure Default Template*. Predlošci se nalaze u folderu: *C:\Users\Public\Documents\Autodesk\Inventor(release number)\Templates\Language (e.g. en-US)*.



Slika 1 - Odabir predloška

U *New* izborniku vrši se odabir predloška. Za izradu 3D modela uobičajeno je izabrati predložak *Standard (mm)* ili *Standard (DIN)* u *Part* izborniku. Također je moguće i u izborniku *Templates* odabrati samo metričke predloške (Slika 2).

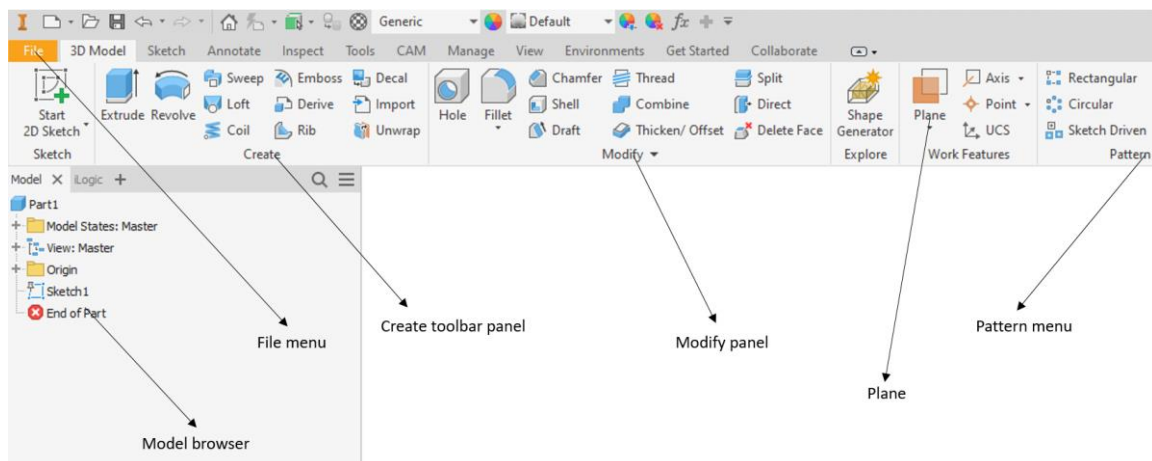


Slika 2 - Odabir jedinica i standarda

1.2. Part izbornik

U **Part** izborniku se formira 3D model. Za izradu modela služe naredbe koje iz ravnine izvlače prostornu (treću) dimenziju. Osnovne grupe naredbi koji se koriste za izradu modela su (Slika 3):

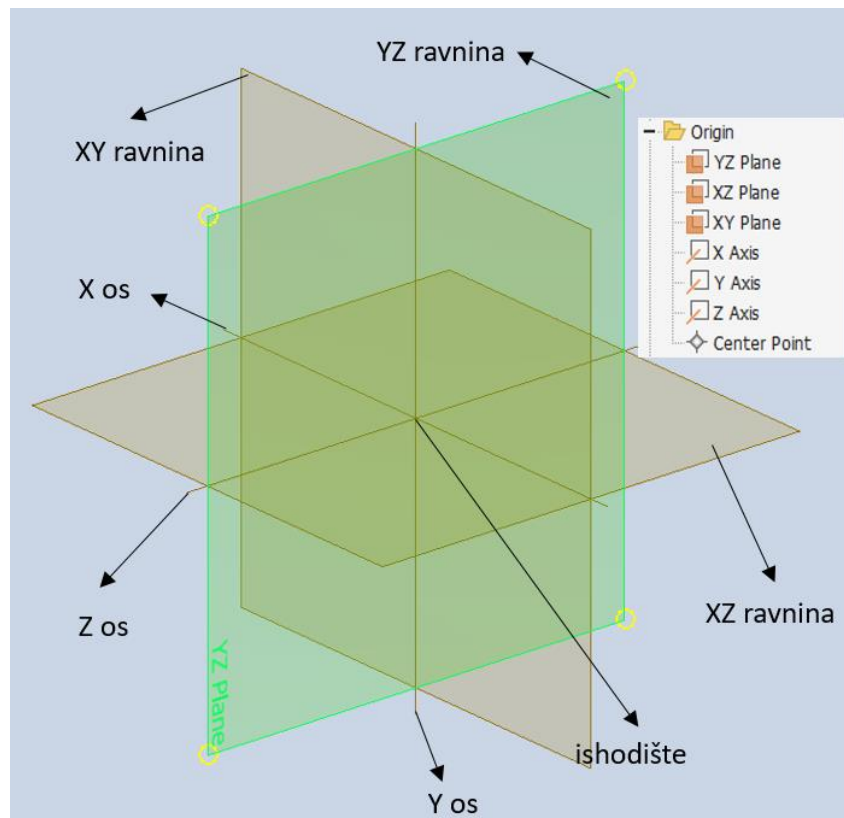
- **2D Sketch** – Koristi se za izradu 2D nacrt na glavnoj ili pomoćnoj ravnini. Nacrt je također moguće izraditi i na postojećoj plohi 3D modela.
- **Model Browser** – Prikazuje povijest nastajanja modela ili sklopa. Naredbe koje su se koristile poredane su kronološkim redom. U svakom trenutku moguće je se vratiti u pojedinu naredbu i vršiti uređivanje značajki.
- **Create** – Postojeći 2D nacrt postaje 3D model pridodavanjem treće dimenzije. To se ostvaruje naredbama *Extrude*, *Revolve*, *Sweep*...
- **Modify** – Omogućava direktno modificiranje postojećeg 3D modela dodavanjem novih značajki. Značajka može biti provrt, skošenje, zaobljenje, navoj...
- **Pattern** – Umnožava postojeće značajke na modelu. Također je moguće izvršiti umnožavanje cijelog 3D modela.
- **File Menu** – Glavni izbornik za kreiranje novih ili otvaranje postojećih modela i sklopova.
- **Work Features** – Koristi se za dodavanje novih pomoćnih ravnina, osi ili točaka u prostoru, kao i za postavljanje novog koordinatnog sustava.



Slika 3 - Part izbornik

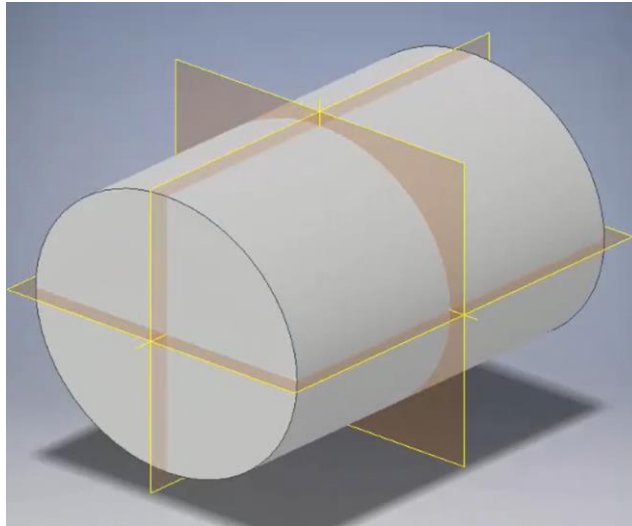
1.3. Ravnine crtanja

Radni prostor crtanja ispresijecan je sa tri glavne ravnine (XY, XZ, YZ). Sjecište ravnina nalaze se u zajedničkoj, ishodišnoj točki (Slika 4). Kroz ishodište prolaze i tri osnovne osi (X,Y,Z). Konstruiranje modela se obično započinje iz ishodišne točke na odabranoj ravnini.








Slika 4 - Glavne ravnine i osi

Ravnine i ishodište se mogu odabrati u *Model browseru*→*Origin*. Osim glavnih ravnina i osi moguće je dodavati pomoćne ravnine, osi i točke (Slika 5). Pomoćne ravnine se pozicioniraju prema postojećoj ravnini, plohi ili osi. Dodavanje ravnina se vrši pomoću naredbe *Work features*→*Plane*.

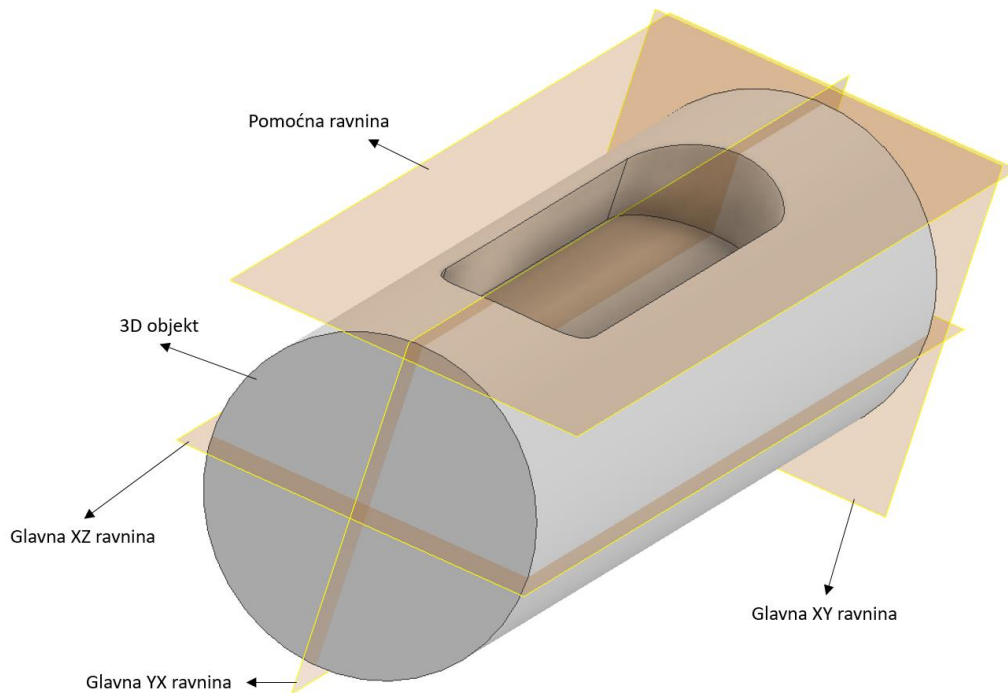


Slika 5 - Glavne ravnine 3D modela

Radne značajke (*Work Feature*) su elementi apstraktne geometrije koje se mogu koristiti za stvaranje i pozicioniranje novih značajki kada postojeća geometrija nije dovoljna. Radne značajke uključuju pomoćne ravnine, pomoćne osi i pomoćne točke. Orijentacija i uvjeti postavljanja izvedeni su iz postojeće geometrije i redoslijeda odabiranja. Kreiranje pomoćnih ravnina se vrši tako da se iste pozicioniraju u odnosu na postojeće glavne ravnine, plohe modela, vrhove ili bridove (Slika 6). Dostupne su Sljedeće opcije kreiranja pomoćnih ravnina:







-  **Offset from Plane** - Kreira se radna, pomoćna, ravnina paralelna s odabranom ravninom ili površinom na navedenoj udaljenosti pomaka (*Offset*). Potrebno je odabrati plohu i povući u smjeru pomaka. Pomak se unosi u izbornik.
-  **Plane** - Kreira se konstrukcijska ravninu kroz odabrane objekte. Potrebno je odabrati vrhove, bridove ili površine za definiranje ravnine.
-  **Parallel to Plane Through Point** - Kreira pomoćnu ravnina paralelna s odabranom točkom, plohom objekta ili ravninom kroz točku. Koordinatni sustav radne ravnine izvodi se iz odabrane ravnine.
-  **Midplane Between Two Planes** - Kreira pomoćnu ravninu u sredini dvije ravninske plohe ili ravnine. Nova radna ravnina je orijentirana na koordinatni sustav i ima istu vanjsku normalu prve odabrane ravnine.
-  **Midplane of Torus** - Kreira pomoćnu ravninu kroz središte, srednju ravninu ili torus.



-  **Angle to Plane Around Edge** – Kreira se pomoćna ravnina pod odabranim kutom obzirom na plohu ili postojeću ravninu.
-  **Three Points** – Pomoćna ravnina prolazi kroz tri odabrane točke. Pozitivna os X usmjerena je od prve točke prema drugoj točki. Pozitivna Y os je okomita na pozitivnu X os kroz treću točku.
-  **Two Coplanar Edges** – Kreira se pomoćna ravnina koja prolazi kroz dvije koplanarne osi, bridove ili pravce. Pozitivna os X pomoćne ravnine usmjerena je duž prvog odabranog brida.
-  **Tangent to Surface Through Edge** - Pomoćna ravnina prolazi kroz brid i tangentu na zakrivljenu površinu. Odabire se zakrivljena površina i brid, bilo kojim redoslijedom. Os X definirana je linijom dodirivanja s plohom. Pozitivna Y os definirana je od X osi do brida.
-  **Tangent to Surface Through Point** - Pomoćna ravnina prolazi kroz točku i tangentu na zakrivljenu površinu. Os X definirana je linijom dodirivanja s plohom. Pozitivna Y os definirana je od X osi do točke.
-  **Tangent to Surface and Parallel to Plane** – Kreira pomoćnu ravninu koja je tangenta na zakrivljenu površinu i paralelna s odabranom postojećom ravninom ili plohom. Novi koordinatni sustav pomoćne ravnine izveden je iz odabrane ravnine. Ova se metoda također može koristiti za stvaranje pomoćne ravnine koja je tangentna na plohu ili ravninu koja je okomita na već postojeći ravninu.
-  **Normal to Axis Through Point** – Nova pomoćna ravnina je okomita na postojeći brid ili os. Pozitivna X os usmjerena je od sjecišta ravnine i osi do točke.
-  **Normal to Curve at Point** – Kreira se pomoćna ravninu okomita na krivulju koja prolazi kroz vrh, sredinu brida ili radnu točku. Pri kreiranju potrebno je odabrati nelinearni brid ili krivulju skice (luk, krug, elipsa ili spline) i vrh, središnju točku brida, točku skice ili radnu točku na krivulji.











Slika 6 - Upotreba pomoćne ravnine pri izradi utora za pero na vratilu

Kreiranje pomoćnih osi se vrši u izborniku *Work features*→*Plane*. Slijedeće su opcije kreiranja pomoćnih osi dostupne:

-  **Axis** - Pomoćna konstrukcijska os je parametarski povezana s drugim objektima. Potrebno je odabrati bridove, linije, ravnine ili točke za stvaranje osi kroz odabrane objekte.
-  **On Line or Edge** - Pomoćna os je kolinearna s linearnim bridom ili linijom skice.
-  **Parallel to Line Through Point** - Pomoćna os prolazi kroz točku i paralelna je s linearnim bridom.
-  **Through Two Points** - Pomoćna os prolazi kroz dvije izabrane točke, sjecišta, središnje točke, točke skice ili pomoćne točke. Pozitivan smjer nove radne osi orijentiran je od prve točke do druge točke.
-  **Intersection of Two Planes** - Pomoćna os se poklapa sa sjecištem dviju neparalelnih ravnina.
-  **Normal to Plane Through Point** – Pomoćna os prolazi kroz odabranu točku i okomita je na odabranu ravninu ili plohu objekta.

-  **Through Center of Circular or Elliptical Shape** - Pomoćna os se podudara s osi kruga, elipse ili zaobljenog oblika.
-  **Through Revolved Face or Feature** - Pomoćna os se podudara s osi oplošja cilindra

Kreiranje pomoćnih točki se vrši u izborniku *Work features*→*Point*. Dostupne su slijedeće opcije kreiranja pomoćnih točki:

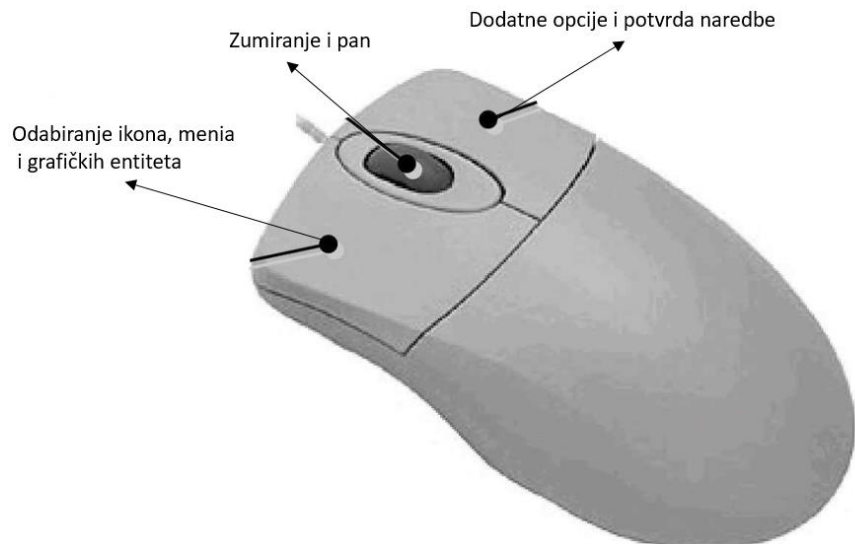
-  **Point** – Pomoćna točka je parametarski povezana s drugim objektima. Potrebno je odabrati vrhove modela, sjecišta bridova i osi, sjecišta triju neparalelnih ploha ili ravnina za stvaranje radne točke.
-  **On Vertex, Sketch Point, or Midpoint** – Pomoćna točka se kreira na bridu modela ili krajnjoj točki.
-  **Intersection of Three Planes** – Pomoćna točka se nalazi na sjecištu triju ravnina ili ploha objekta.
-  **Intersection of Two Lines** – Pomoćna točka se kreira na sjecištu dviju linija.
-  **Intersection of Plane/Surface and Line** – Pomoćna točka se nalazi na sjecištu plohe ili ravnine i radne osi ili linije.
-  **Center Point of Loop of Edges** - Pomoćna točka se nalazi unutar zatvorene petlje.
-  **Center Point of Torus** - Pomoćna točka se nalazi u središtu ili središnjoj ravnini torusa.
-  **Center Point of Sphere** – Pomoćna točka se kreira u središtu sfere.

1.4. Navigacija i zumiranje

Manipuliranje 3D modelom je moguće izvršiti na nekoliko načina. Osnovni način manipuliranja izvodi se preko računalnog miša. U radu sa *Autodesk Inventorom* važno je razumjeti osnovne funkcije tipki miša (Slika 7).

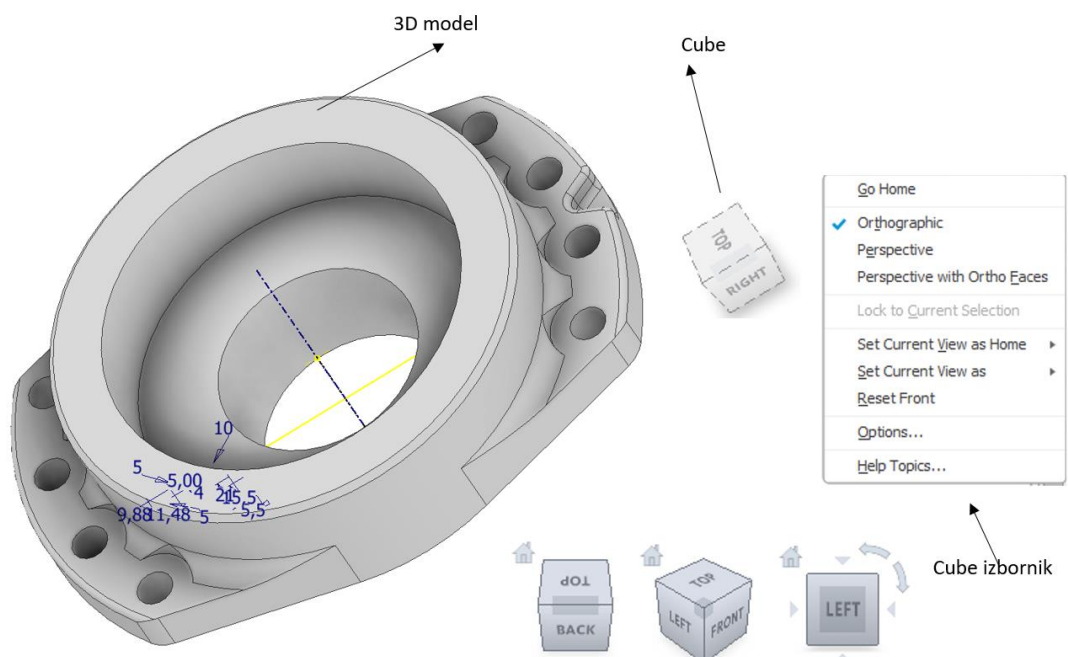
- Lijeva tipka miša koristi se za većinu operacija, poput odabira izbornika i ikona ili odabira grafičkih entiteta. Jedan klik na gumb koristi se za odabir ikona, izbornika i unosa obrazaca te za odabir grafičkih stavki.

- Desna tipka miša koristi se za prikaz dodatnih dostupnih opcija. Softver također koristi desnu tipku miša kao i tipku *ENTER*, a često se koristi za prihvaćanje zadane postavke upita ili za završetak procesa.
- Srednji gumb/kotačić miša može se koristiti za *Pan* (držite gumb kotačić i povucite miš) ili *Zoom* (okrenite kotačić) u stvarnom vremenu.



Slika 7 - Funkcije miša

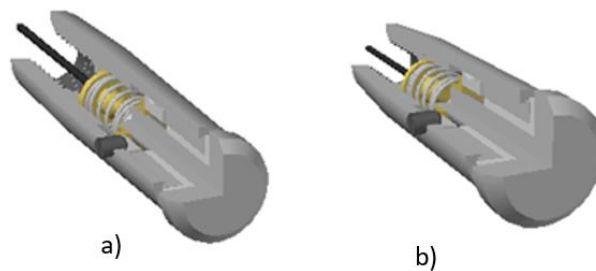
Osim miša za manipuliranje modelom može se koristiti i opcija *Cube* (Slika 8) koja se nalazi u gornjem desnom uglu radne površine. Funkcija *Cube* omogućava precizniju rotaciju modela nego što je to moguće napraviti pomoću miša. Rotacija se vrši pomicanjem ploha i vrhova kocke.



Slika 8 - Opcija Cube

U izborniku je također moguće odabrati slijedeće poglede tj. projekcije (Slika 9):

- **Projicirani pogledi iz perspektive** – Pogled se prikazuje na temelju udaljenosti od teorijske kamere i ciljne točke. Što je kraća udaljenost između kamere i ciljne točke, to je efekt perspektive iskrivljeniji. Veće udaljenosti proizvode manje iskrivljene efekte na modelu.
- **Ortografski projicirani prikazi** - prikazuju sve točke modela projicirane paralelno s ekranom.

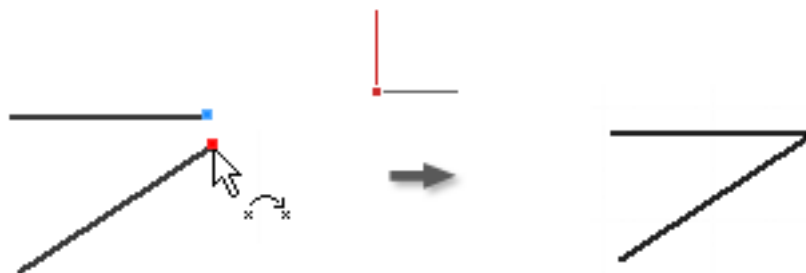


Slika 9 - a) prikaz iz perspektive b) ortogonalni prikaz

1.5. Geometrijska ograničenja

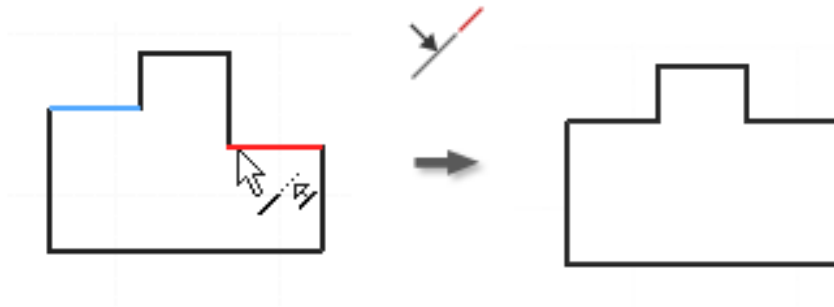
Pri izradi skice modela, *Autodesk Inventor* automatski primjenjuje neka od geometrijskih ograničenja (*Constraints*) kao što su vodoravnost, paralelnost i okomitost na skiciranu geometriju. Osim automatski generiranih geometrijskih ograničenja moguće je dodavati i vlastita dodatna ograničenja i/ili definirati veličinu postojeće geometrije. Cilj ograničenja je dovesti konstrukcijske elemente (linije, krivulje, elipse...) u fiksnu i definiranu vezu. *Autodesk Inventor* omogućava postavljanje slijedećih ograničenja:

- **Coincident Constraint** – Ograničenje *Coincident* (Slika 10) uzrokuje da dvije točke budu ograničene zajedno (leže jedna na drugoj) ili uzrokuje da točka leži na krivulji. U 3D skici, *Coincident Constraint* ograničenje također može uzrokovati ograničenje točaka i linija na površini.



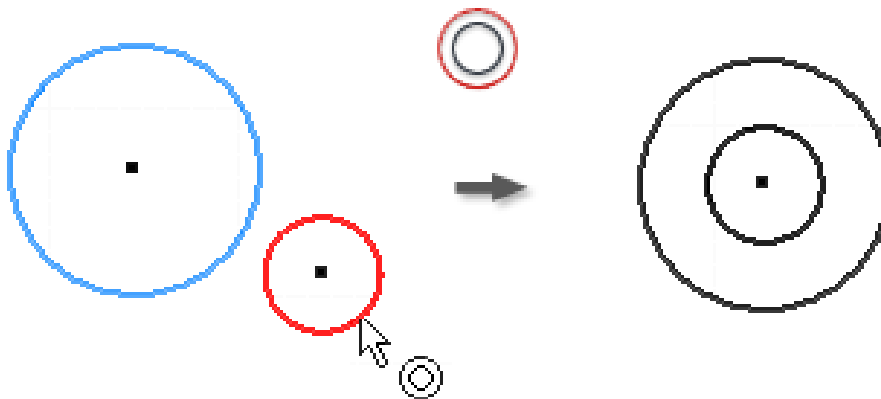
Slika 10 - Coincident Constraints

- **Collinear Constraint** – Postavlja ograničenje da dvije linije leže na istom pravcu (Slika 11).



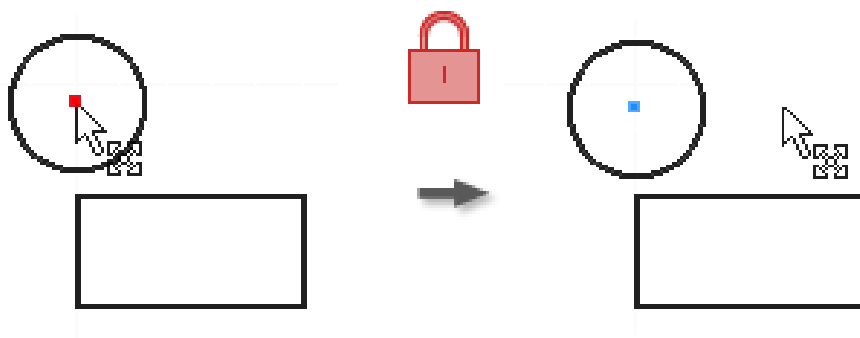
Slika 11 - Collinear Constraint

- **Concentric Constraint** – Koncentrično ograničenje uzrokuje da dva luka, kružnice ili elipse imaju zajedničku središnju točku (Slika 12).



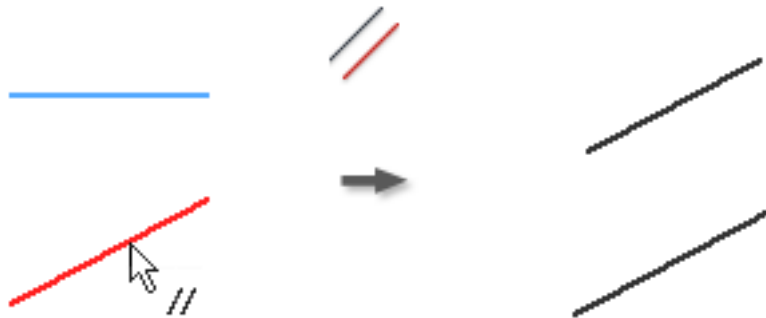
Slika 12 - Concentric Constraint

- **Fix Constraint** – Ograničenje fiksira točke i krivulje u odnosu na koordinatni sustav skice. Ako se pomiče ili rotira koordinatni sustav skice, fiksne krivulje ili točke pomiču se s njim (Slika 13).



Slika 13 - Fix Constraint

- **Parallel Constraint** – Ograničenje paralelnosti uzrokuje da se odabrane linije ili osi dovode u paralelni položaj jedna u odnosu na drugu (Slika 14).



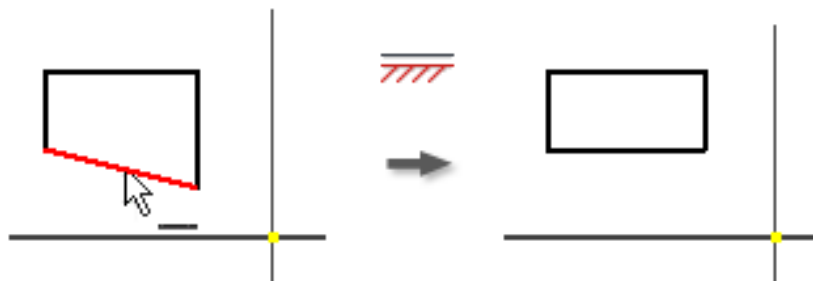
Slika 14 - Parallel Constraint

- **Perpendicular Constraint** - Ograničenje okomitosti uzrokuje da se odabrane linije ili osi dovode u okomiti položaj jedna u odnosu na drugu (Slika 15).



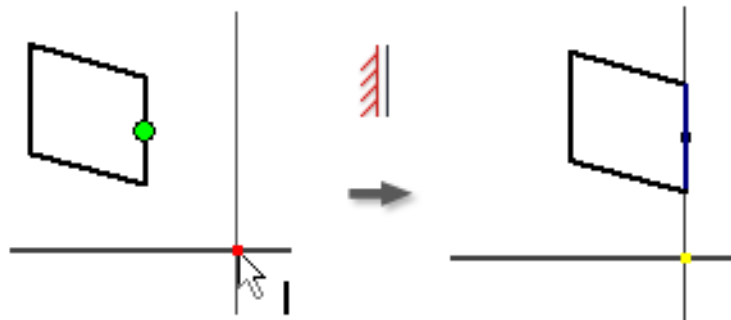
Slika 15 - Perpendicular Constraint

- **Horizontal Constraint** - Horizontalno ograničenje uzrokuje da odabrane linije, osi elipse ili parovi točaka leže paralelno s osi X koordinatnog sustava (Slika 16).



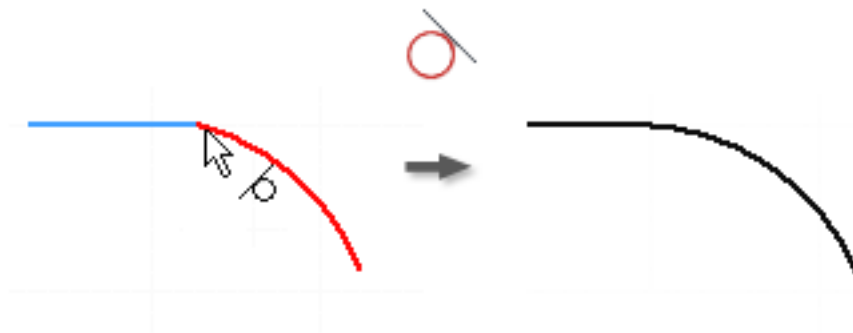
Slika 16 - Horizontal Constraint

- **Vertical Constraint** – Vertikalno ograničenje uzrokuje da odabrane linije, osi elipse ili parovi točaka leže paralelno s osi Y koordinatnog sustava (Slika 17).



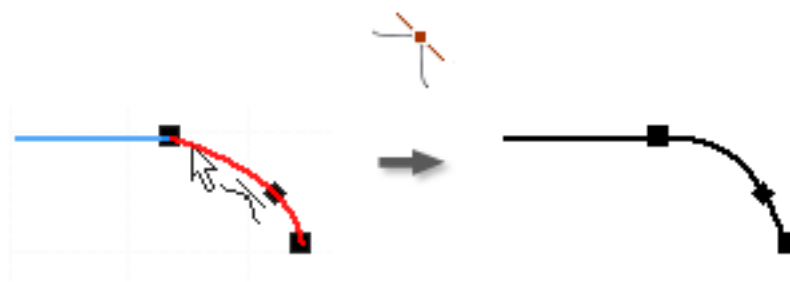
Slika 17 - Vertical Constraint

- **Tangent** – Odabrana krivulja ili linija postaju tangente odabrane kružnice ili krivulje (Slika 18).



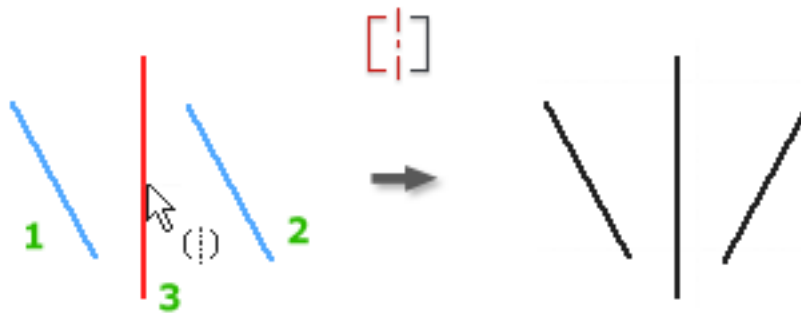
Slika 18 – Tangent Constraint

- **Smooth** – Ograničenje smooth uzrokuje stanje kontinuirane zakrivljenosti između krivulje i linije (Slika 19).



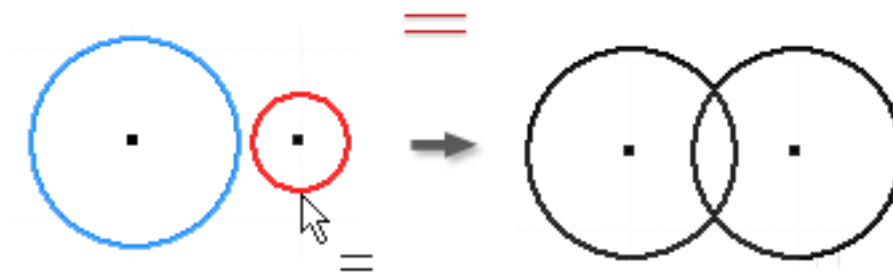
Slika 19 – Smooth Constraint

- **Symetric** - Simetrično ograničenje uzrokuje da odabrane linije ili krivulje postanu proporcionalno ograničene oko odabrane linije koja postaje os simetrije (Slika 20).



Slika 20 – Symetric Constraint

- **Equal Constraint** – Odabrani elementi postaju isti po dimenzijama npr. dvije kružnice imaju isti radijus ili linije istu dužinu (Slika 21).

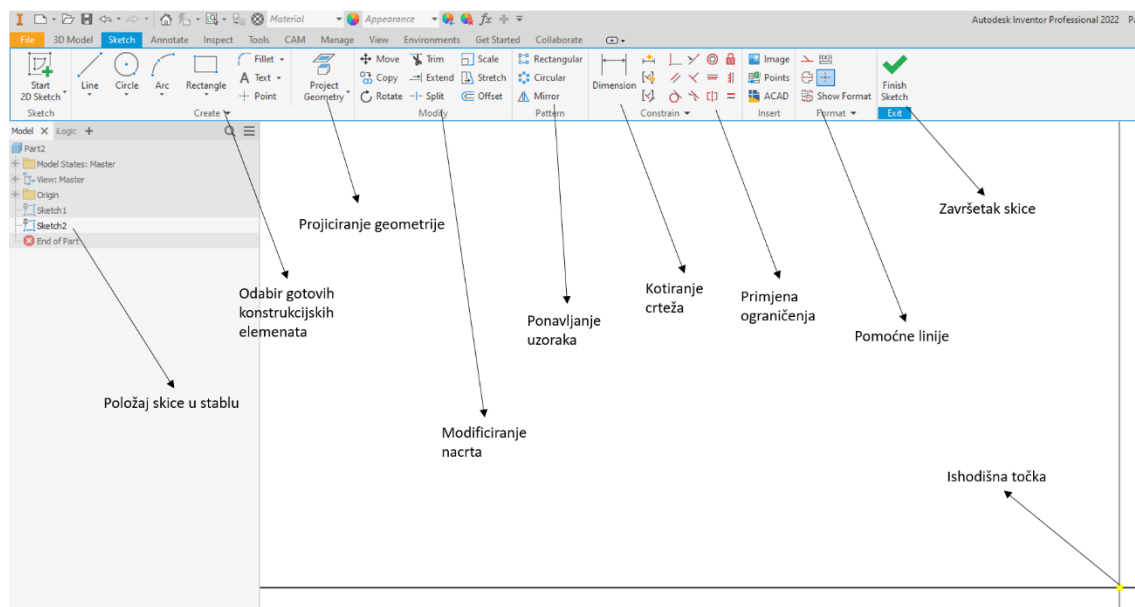


Slika 21 - Equal Constraint

2. Sketch modul

Sketch modul služi za skiciranje nacрта na odabranoj ravni. U *Sketch* modulu također se definiraju dimenzije i međusobni odnosi komponenti nacрта. Na osnovu nacрта generira se 3D model ekstrudiranjem, okretanjem, provlačenje profila kroz točke... *Sketch* izbornik se sastoji od slijedećih bitnih grupa naredbi pomoću kojih se generira nacrt (Slika 22).

- **Create** – Crtanje linija, pravokutnika, kružnica, elipsi....
- **Project Geometry** – Projiciranje geometrije s plohe objekta ili neke ravnine na ravninu crtanja.
- **Modify** – Modificiranje crteža odrezivanjem viška linija, rotiranje, skaliranje, kopiranje....
- **Pattern** – Umnožavanje cijelog ili dijelova nacрта po uzorku te zrcaljenje.
- **Dimension** - Definiranje dimenzija nacрта.
- **Constrain** – primjena ograničenja na pojedine dijelove nacрта.



Slika 22 - Sketch grupe naredbi

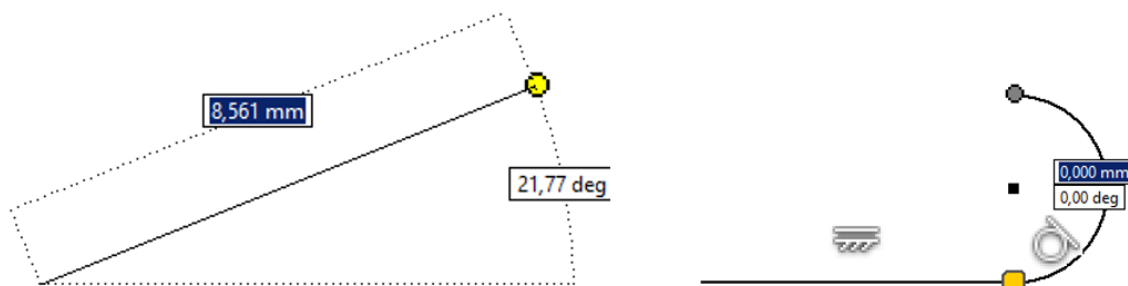
Rad u *Sketch* modulu u mnogočemu je sličan s *Autodesk AutoCAD-om* te koristi iste nazive za naredbe i izbornike.

2.1. Create

Create izbornik se sastoji od nekoliko grupa naredbi pomoću kojih je moguće crtati linije, krivulje, zatvorene profile (kružnice, pravokutnike, elipse, poligone), lukove, skošenja, prijelaze, točke te tekst.

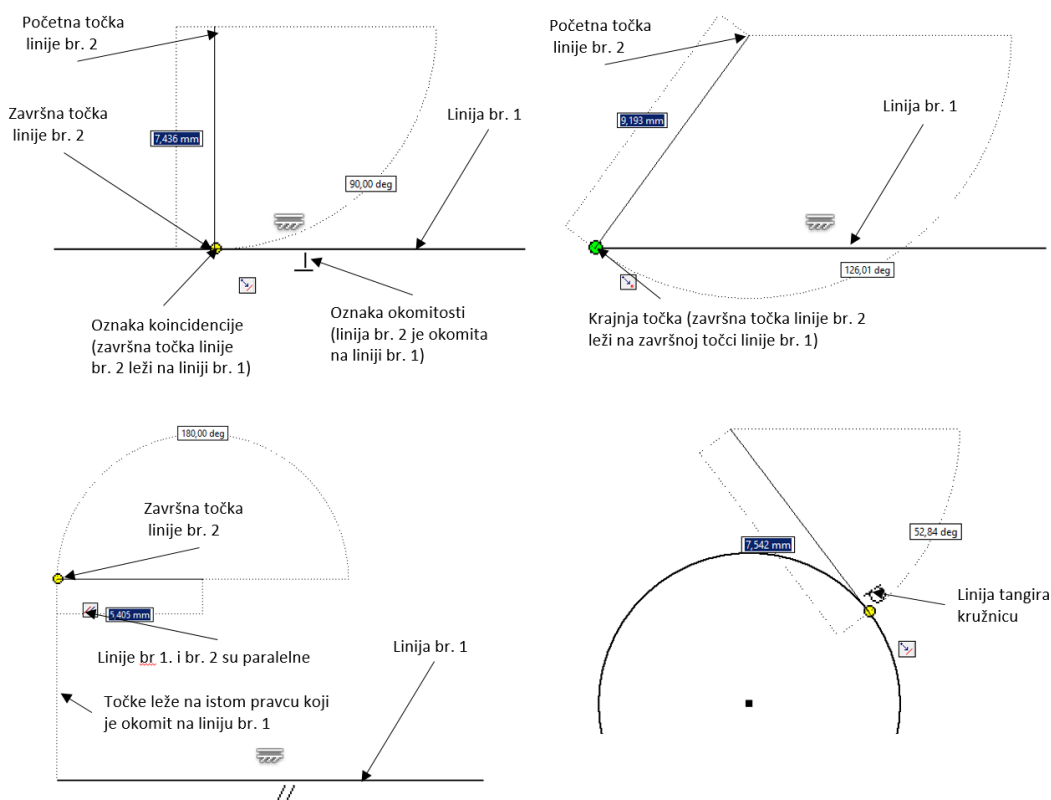
Linija je osnovni element tehničkog nacрта te se u *Autodesk Inventoru* definira početnom i krajnjom točkom. Početna točka se definira klikom računalnog miša na radnoj površini. Završna točka se definira dinamičkim unosom udaljenosti od prve točke i kutom u odnosu na glavnu horizontalnu os ravnine

crtanja. Završna točka se može postaviti i proizvoljno te se definirati naknadnim zadavanjem dimenzija. Crtanje tangentnog kružnog luka se izvodi tako da se istovremeno aktivira tipka *Ctrl* i drži se pritisnuta lijeva tipka miša dok se ne odredi završna točka luka (Slika 23).



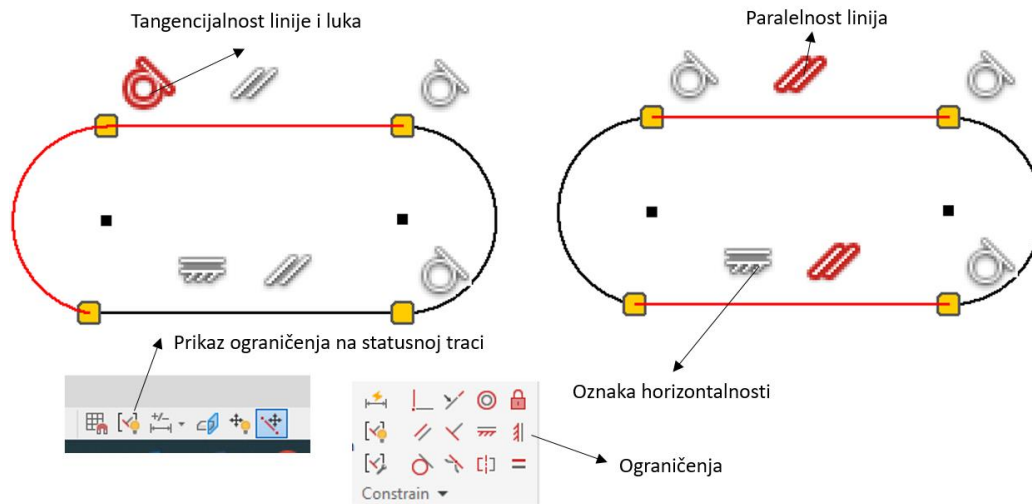
Slika 23 - Crtanje linije i kružnog luka

Dovođenje elemenata crteža u međusobni položaj izvodi se primjenom geometrijskih ograničenja. Tijekom crtanja program, također, dinamički prikazuje karakteristične točke elemenata kao što su krajnje točke, središnje točke, okomitost, koincidencija, tangencijalnost... Zelene točke na kursoru miša signaliziraju da se s konstrukcijskim elementom crteža (npr. linijom) nalazimo na karakterističnoj točki. Kada se primjeni ograničenje (*Constraints*) elementi crteža su fiksirani jedan u odnosu na drugi te nije moguće njihovo pomicanje bez uklanjanja ograničenja. Isprekidane linije su pomoćne linije koje omogućavaju pozicioniranje elemenata no nema primjene ograničenja tj. elementi se mogu slobodno pomicati metodom *Drag and Drop* (Slika 24).



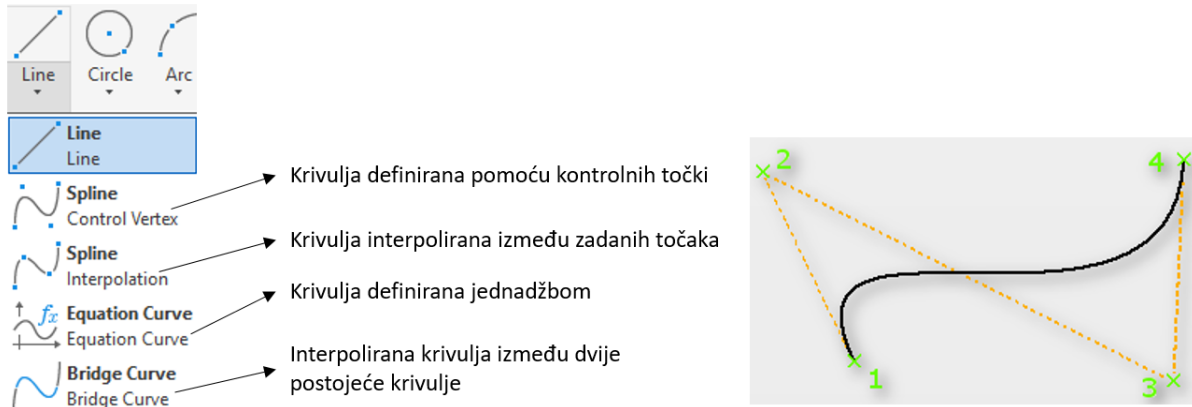
Slika 24 - Primjena dinamičkih ograničenja

Postavljena ograničenja u modulu *Sketch* mogu se vidjeti pritiskom na tipku *F9* ili aktivacijom prikaza na statusnoj traci. Brisanje ograničenja se vrši izborom ograničenja na crtežu i naredbom *Delete* (Slika 25).



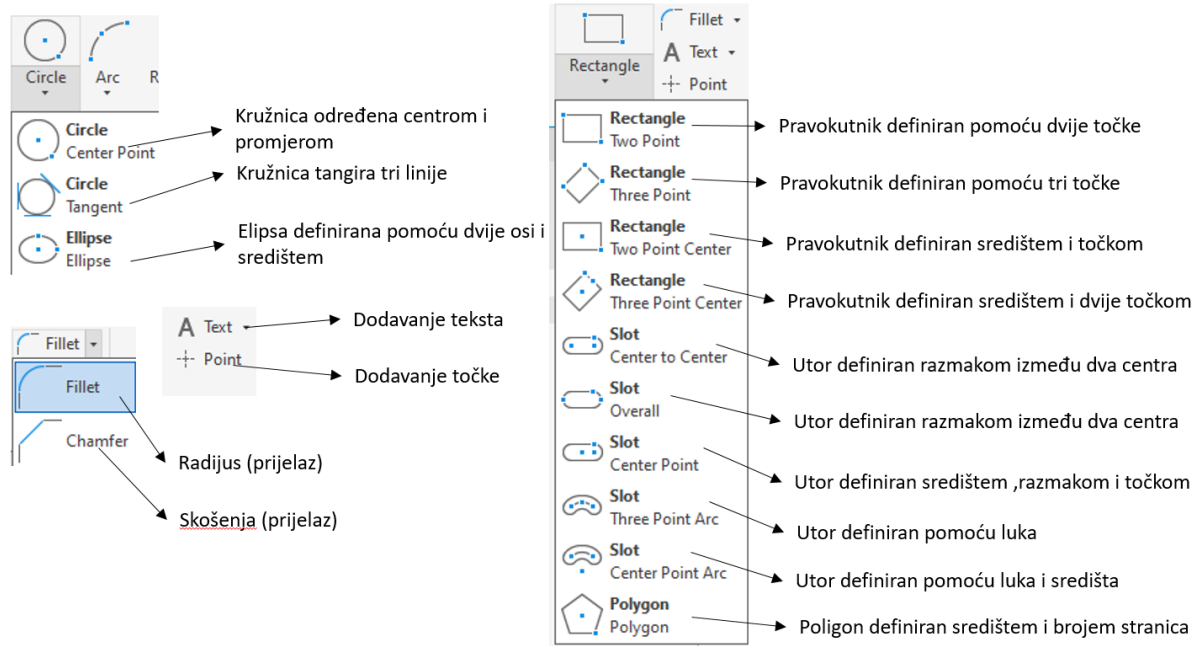
Slika 25 - Prikaz ograničenja

U izborniku *Create* moguće je crtati i ostale konstrukcijske elemente kao što su: krivulje, pravokutnici, kružnice, točke, poligoni, utori (Slika 26)



Slika 26 - Crtanje krivulja

Položaj elemenata, parametri elemenata i dimenzije se definiraju, načelno, kao i u *AutoCAD-u* (Slika 27).



Slika 27 - Konstrukcijski elementi izbornika Create

2.2. Create Geometry

Pomoću naredbe *Project Geometry* na odabranu ravninu crtanja projiciraju se elemente postojećeg 3D objekta. Elementi crteža mogu biti linije, razne zatvorene konture, ponavljajući uzorci, bridovi. Projicirani crtež označen je žutom bojom te se dalje može koristiti kao konstrukcijski ili pomoćni element (Slika 28). Dostupni su različiti načini projiciranja geometrije:

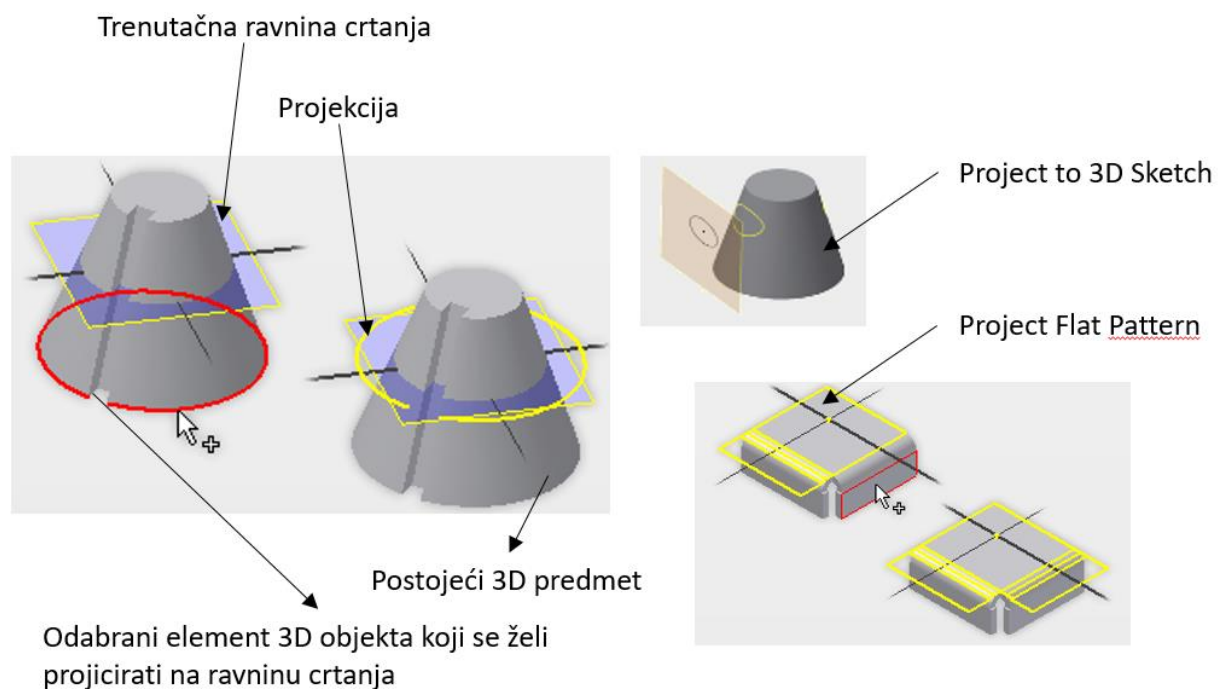
Project Geometry – Projiciranje cijele geometrije 3D objekta na ravninu crtanja.

Project Cut Edges – Projiciranje bridova.

Project Flat Pattern – Projiciranje limova u rastvoreni oblik.

Project to 3D Sketch – Projiciranje elementa s ravnine na 3D objekta.

Project DWG Geometry – Projiciranje DWG crteža.

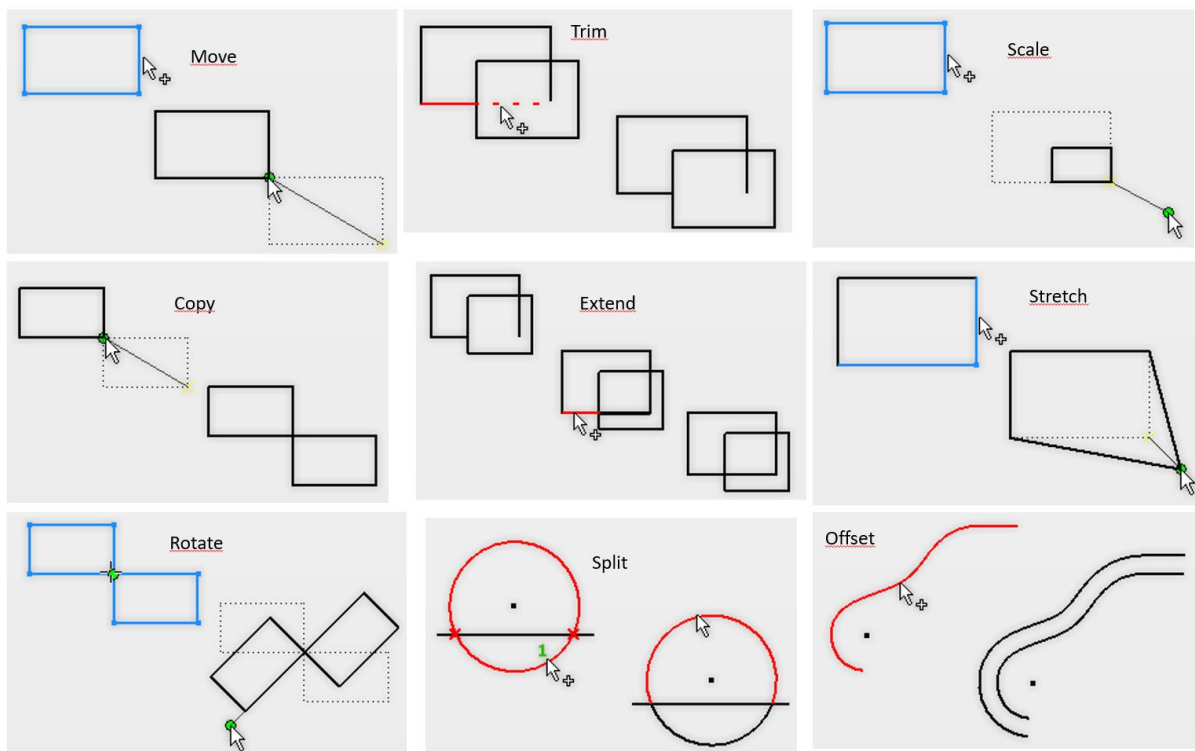


Slika 28 - Opcija Project Geometry

2.3. Modify

U *Modify* izborniku se modificiraju postojeći elementi crteža (Slika 29). Tako je moguće odrezivati i produžavati linije, skalirati elemente crteža, kopirati i pomicati značajke pomoću slijedećih opcija:

- **Move** – Pomicanje odabrane geometrije.
- **Copy** - Kopiranje odabrane geometrije.
- **Rotate** – Rotiranje odabrane geometrije.
- **Trim** – Odrezivanje linije na mjestu sjecišta s drugom linijom.
- **Extend** – Produživanje postojeće linije.
- **Split** – Dijeljenje postojećeg geometrijskog elementa (npr. kružnice) u više dijelova.
- **Scale** – Skaliranje odabrane geometrije.
- **Stretch** – Razvlačenje odabrane geometrije pomoću specifičnih točaka
- **Offset** – Dupliciranje odabrane geometrije i pomicanje za definiranu vrijednost

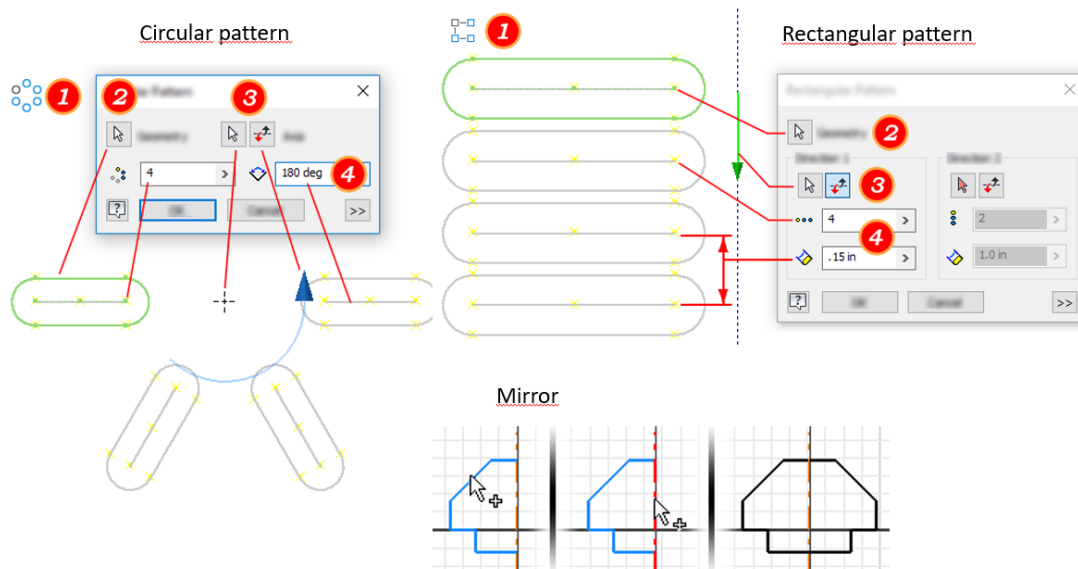


Slika 29 - Opcije izbornika Modify

2.4. Pattern

Pattern (uzorak) opcija omogućava umnožavanje i zrcaljenje značajki crteža. Osim same geometrije zrcaljeni i multiplicirani geometrijski dijelovi crteža preuzimaju sva ograničenja koja su postavljena pred originalni crtež (Slika 30). Opcija *Pattern* sastoji se od tri mogućnosti:

- **Rectangular** – Multipliciranje izabrane geometrije u stupce i/ili retke. Naredba se izvršava tako da se odabere geometrija koja se želi multiplicirati, odredi smjer multipliciranja, broj elemenata multipliciranja te razmak između uzoraka.
- **Circular** - Multipliciranje odabrane geometrije po kružnici ili kružnom luku. Naredba se izvršava tako da se odabere geometrija koja se želi multiplicirati, odredi os ili kružnica rotacije, broj elemenata multipliciranja te razmak između uzoraka u stupnjevima.
- **Mirror** – Naredba kreira zrcalnu sliku odabrane geometrije. Potrebno je odabrati geometriju koja se zrcali te os zrcaljenja.



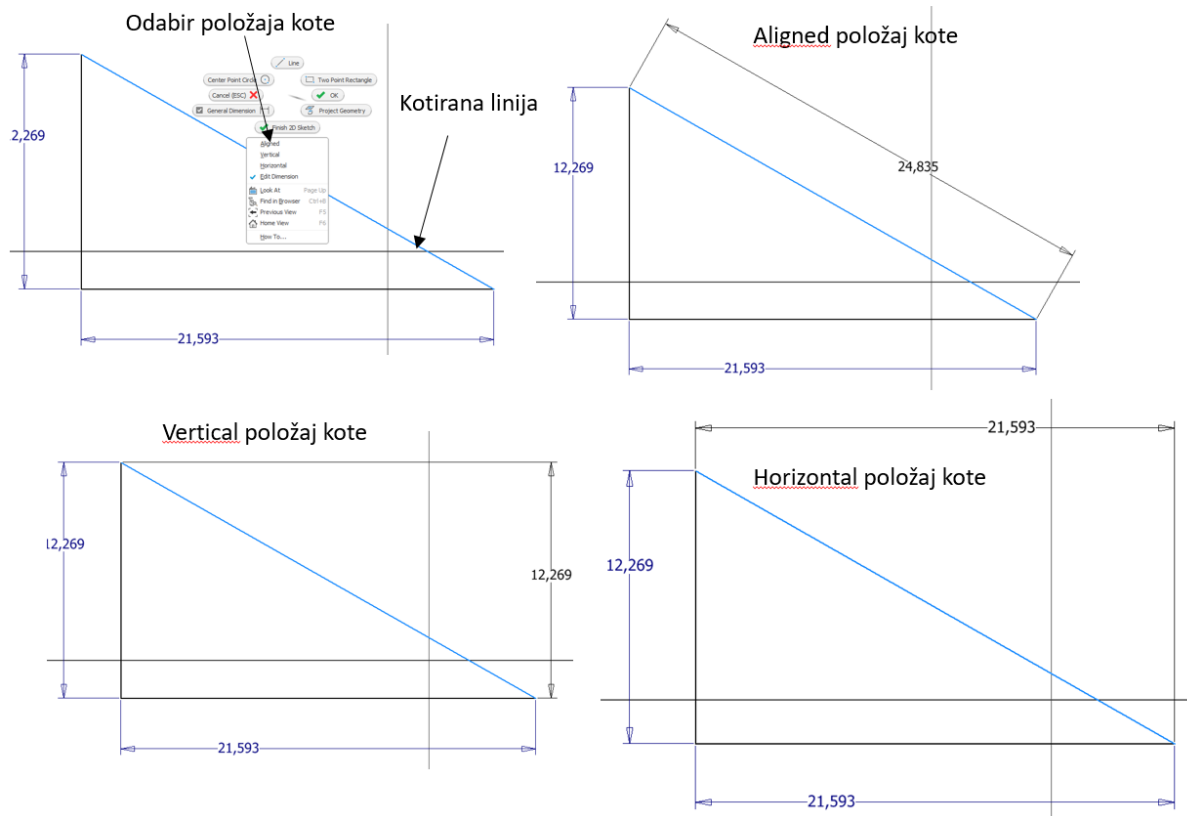
Slika 30 – Pattern

2.5. Dimension

Dimenzioniranjem se definiraju dimenzije na crtežu. Također, unošenjem dimenzija definiraju se i međusobni položaji elemenata crteža (Slika 31). Definiranje dimenzija nacrt izводи se na slijedeći način:

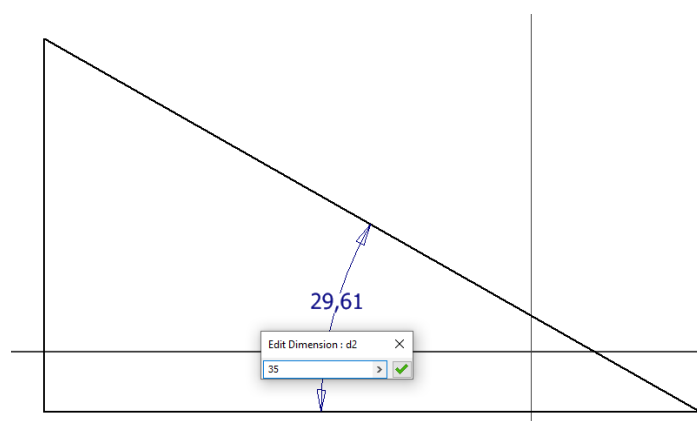
- Klikom na ikonu *Dimension*.
- U grafičkom prozoru odabrati geometriju koja se želi dimenzionirati. Odabir početka i kraja mjere vrši se na karakterističnim točkama (krajnja točka, početna točka, središnja točka) označene zelenom bojom. Neki elementi kao što su kružnice (definirane promjerom) odabiru se klikom na cijeli element.

- Odabir opcija dimenzija vrši se desnim klikom miša te se vrši odabir položaja kote (*Aligned*, *Horizontal*, *Vertical*).
- Uređivanje dimenzije se vrši dvoklikom na željenu dimenziju i upisom nove vrijednosti. Promjenom dimenzije crtež se automatski skalira na zadanu vrijednost.



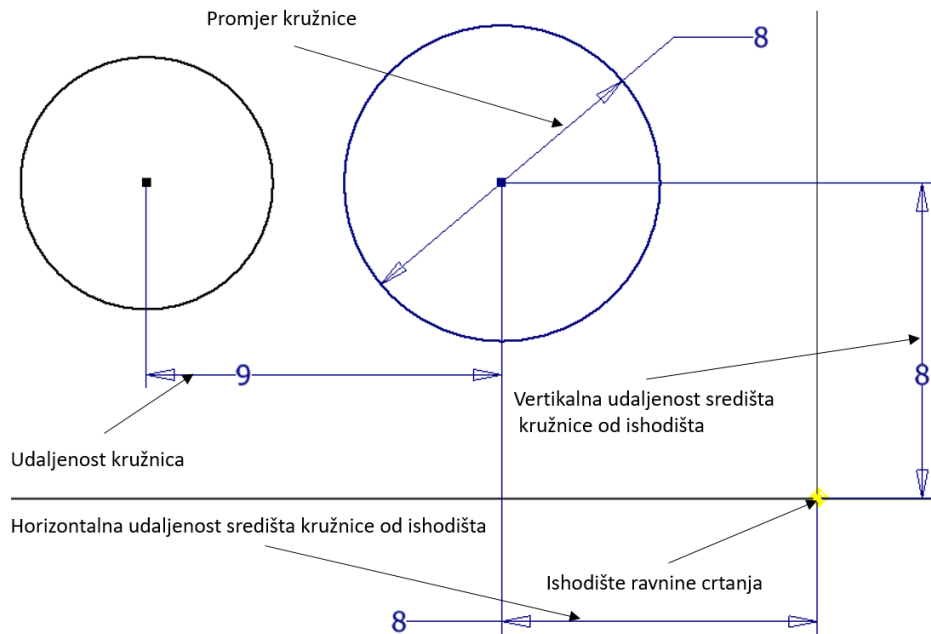
Slika 31 - Dimenzioniranje linija

Dimenzioniranje kuta vrši se odabirom linija koje zatvaraju kut. Promjenom kuta crtež se automatski ažurira (Slika 32).



Slika 32 - Dimenzioniranje kuta

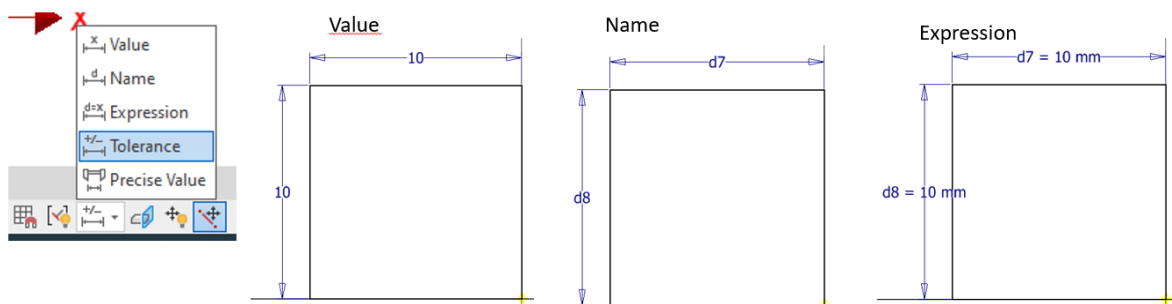
Dimenzioniranje kružnice vrši se odabirom središta i promjerom kružnice. Središte kružnice može biti definirano pomoću udaljenosti od ishodišta ili s udaljenosti od nekog geometrijskog dijela crteža (Slika 33).



Slika 33 - Dimenzioniranje kružnice

Način prikaza dimenzija (kota) vrši se na statusnoj traci te su mogući slijedeći načini (Slika 34):

- **Value** - Prikazuje dimenzije kote kao izračunatu vrijednost.
- **Name** - Prikazuje dimenzije kote kao naziv parametra.
- **Expression** - Prikazuje dimenzije kote kao navedeni parametarski izraz.
- **Tolerance** - Prikazuje dimenzije kote s određenom tolerancijom.
- **Precise Value** - Prikazuje dimenzije kote kao vrijednost, zanemarujući svaku preciznost.

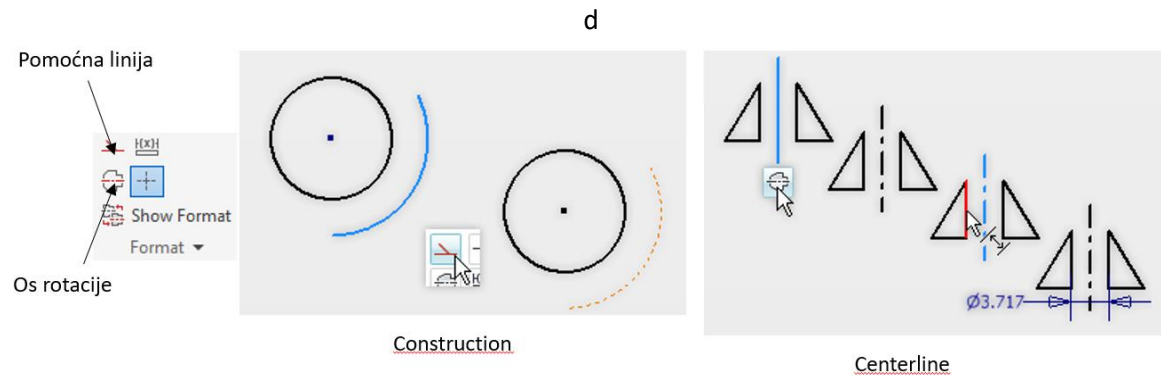


Slika 34 - Način prikaza dimenzije

2.6. Format

U izborniku *Format* (Slika 35) nalaze se opcije za modificiranje značajki elemenata skice (kružnice, lukovi, krivulje, linije). Elemente skice tako mogu postati:

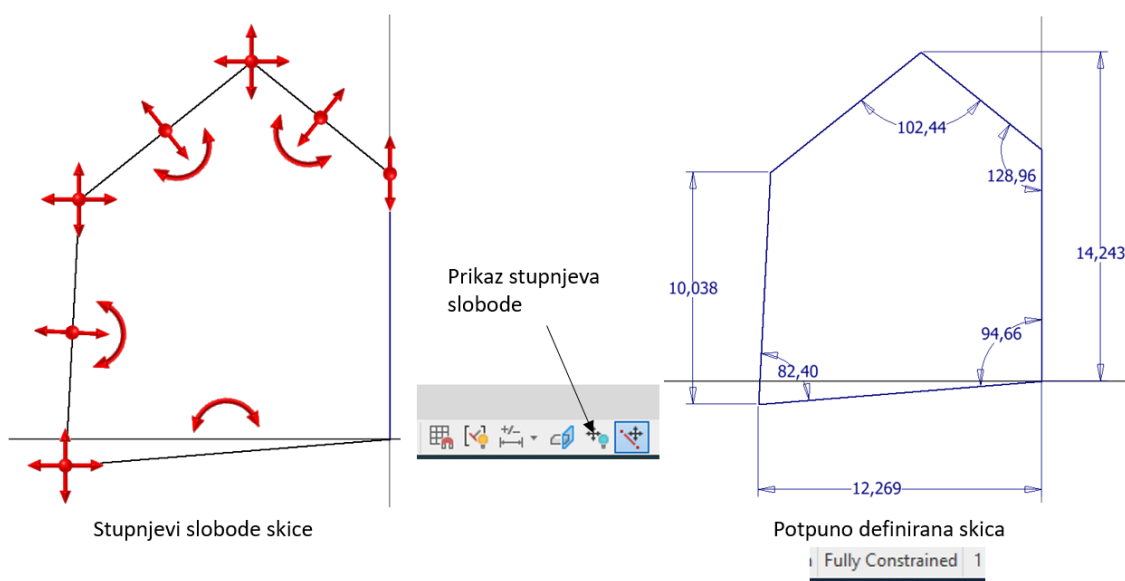
- **Construction** - Odabrani element skice pretvara se u pomoćnu liniju, krivulju, kružnicu. Moguće je također dodati novi element. Pomoćne linije (*Construction*) ne sudjeluju u formiranju 3D objekta već služe kao pomoćni element skice za pozicioniranje elemenata.
- **Centerline** - Odabrani element skice pretvara se u os rotacije (*Centerline*). Odabrani element koji se koristi za os rotacije mora biti pravac odnosno linija.



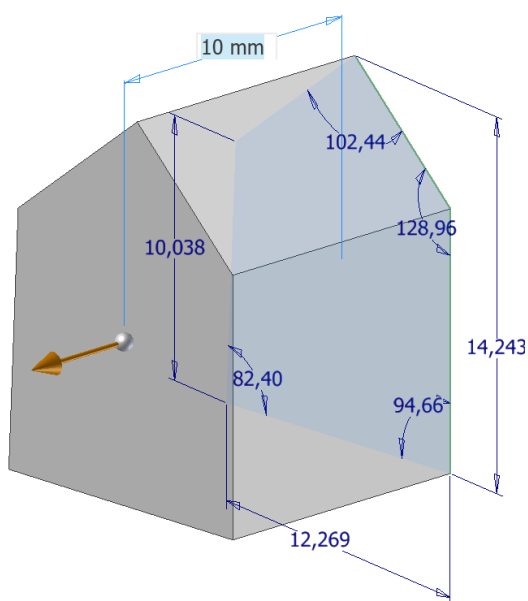
Slika 35 - Opcija format

2.7. Stupnjevi slobode skice

Nacrtna skica u *Sketch* modulu se izvlači u treću dimenziju te se tako generira 3D model (Slika 37). Da bi se dobio 3D objekt skica mora imati zatvorenu konturu. Osim zatvorene konture poželjno je da skica nema stupnjeve slobode tj. da je onemogućen proizvoljan pomak elementa skice. Stupnjevi slobode se definiraju dimenzioniranjem. Skica (Slika 36) tako traži sedam dimenzija da bi se u potpunosti definirala što je naznačeno natpisom u donjem desnom kutu statusne trake (*7 Dimensions Needed*). Kada je skica u potpunosti definirana u donjem desnom dijelu statusne trake pojavi se natpis: *Fully Constrained*. Potpuna definiranost skice se, također, signalizira promjenom boje geometrijskih elemenata skice u plavu boju.



Slika 36 - Stupnjevi slobode

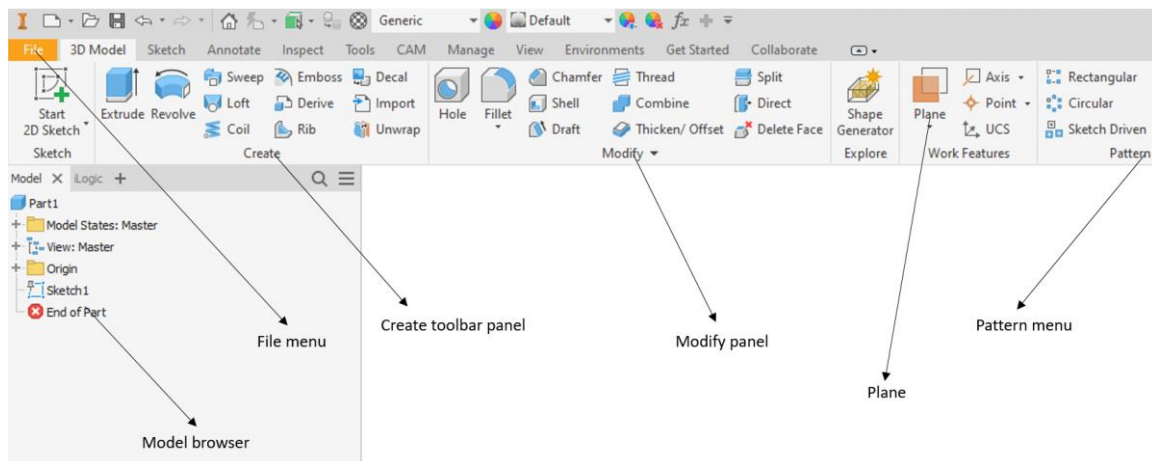


Slika 37 - 3D objekt nastao izvlačenjem skice

3. 3D Modul

Osnova za izradu 3D modela je skica nastala u *Sketch* modulu. Dvodimenzionalna skica se pomoću naredbi izvlači u treću (prostornu ravninu). 3D model se konstruira dodavanjem različitih značajki. Značajke se mogu dodavati direktno u 3D modulu kao i dodavanjem značajki pomoću skica iz različitih ravnina i ploha. Povijest stvaranja modela je dostupan u *Model Browseru*. Naredbe koje su se koristile poredane su kronološkim redom. Grupe naredbi koji se koriste za izradu 3D modela mogu se podijeliti u tri grupe:

- **Create** – Osnova za izradu 3D modela su skice nastale u *Sketch* modulu.
- **Modify** – Omogućava promjenu i dodavanje značajki direktno na 3D modelu.
- **Pattern** – Umnožavanje značajki modela.

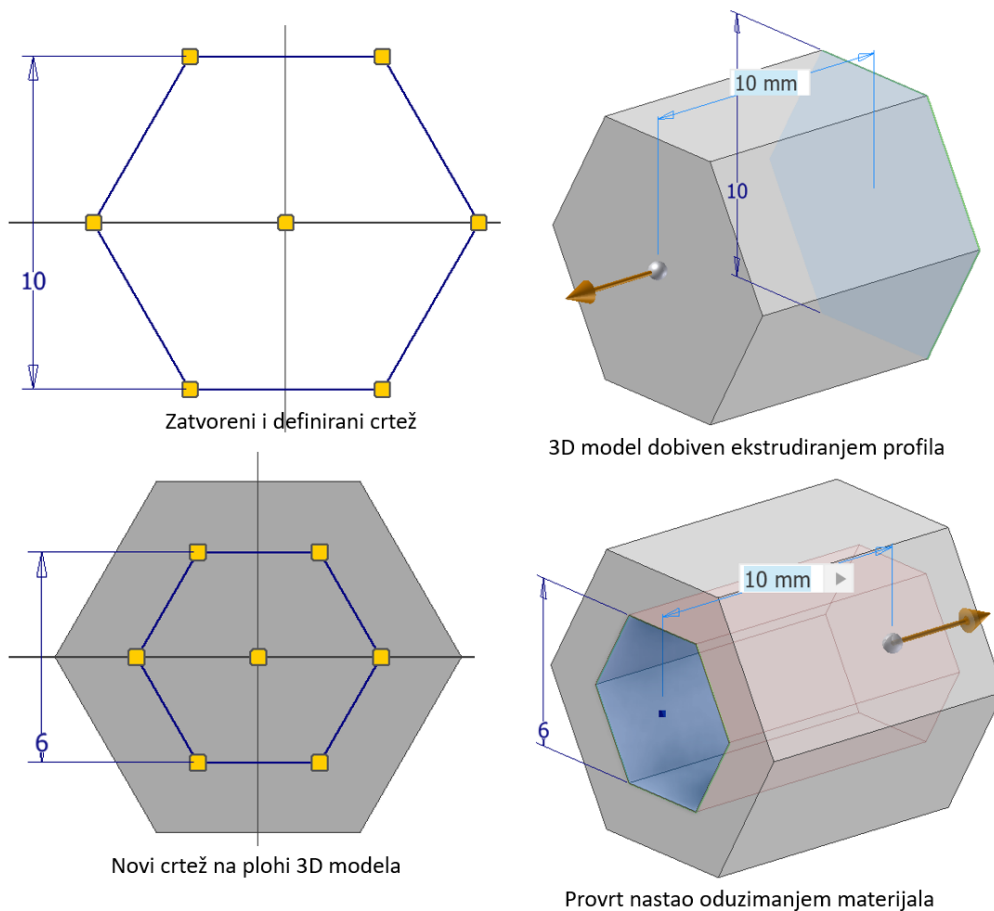


Slika 38 - 3D alati

3.1. Create

Izbornik *Create* omogućava dodavanje dubine profilu skice. Da bi se dobio trodimenzionalan predmet profil skice treba biti zatvoren. *Create* osim dodavanja može i uklanjati materijal u svrhu stvaranja provrta i utora na modelu. Model se gradi dodavanjem novih značajki pomoću skica, položaj skica se definira na glavnim ravninama, pomoćnim ravninama ili na plohama 3D modela (Slika 39). Izrada nove geometrije na zakrivljenim površinama ili pod nekim kutom u odnosu na postojeću plohu obično traži postavljanje pomoćne ravnine. Povijest nastajanja modela tj. redoslijed korištenih naredbi može se vidjeti u *Model Browseru*. Skica nad kojom se primjeni naredba za izradu 3D modela (npr. *Extrude*) biva konzumirana te se nalazi u *Model Browseru* unutar naredbe. U slučaju potrebe za promjenom dimenzija ili geometrije unutar modela u skicu se ulazi dvoklikom miša. Kada se izvrše promjene model se automatski ažurira sa novim dimenzijama i geometrijom. Izbornik *Create* se sastoji od slijedećih osnovnih naredbi:

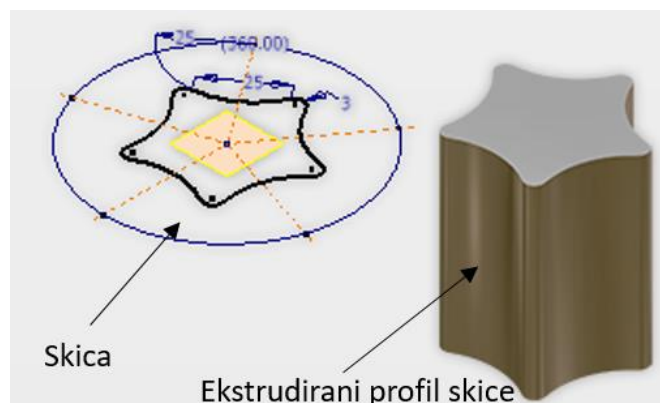
- **Extrude** – Ekstrudiranje (dodavanje) i oduzimanje materijala modelu.
- **Revolve** – Rotacija skice (konture) oko osi.
- **Sweep** – Provlačenje profila kroz krivulju.
- **Loft** – Kreiranje plohe između dvije skice na različitim, međusobno paralelnim, ravninama.
- **Coil** – Izrada zavojnice, opruge ili navoja.
- **Emboss** – Graviranje natpisa na modelu.



Slika 39 - Konstruiranje 3D modela dodavanjem i oduzimanjem materijala

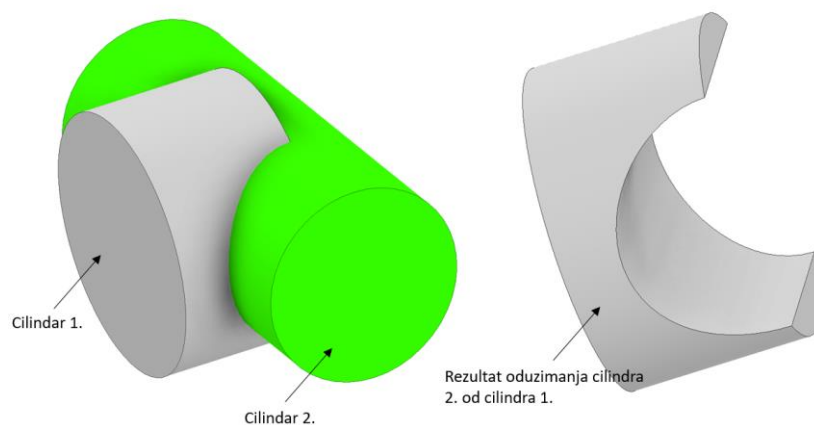
3.1.1.1. Extrude

Naredba kreira model dodavanjem visine skici koja mora imati zatvoreni profil (Slika 40). Naredba *Extrude* je glavni građevni blok pri izradi prizmatičnih modela. Osim dodavanja materijala naredba može i uklanjati materijal sa modela.



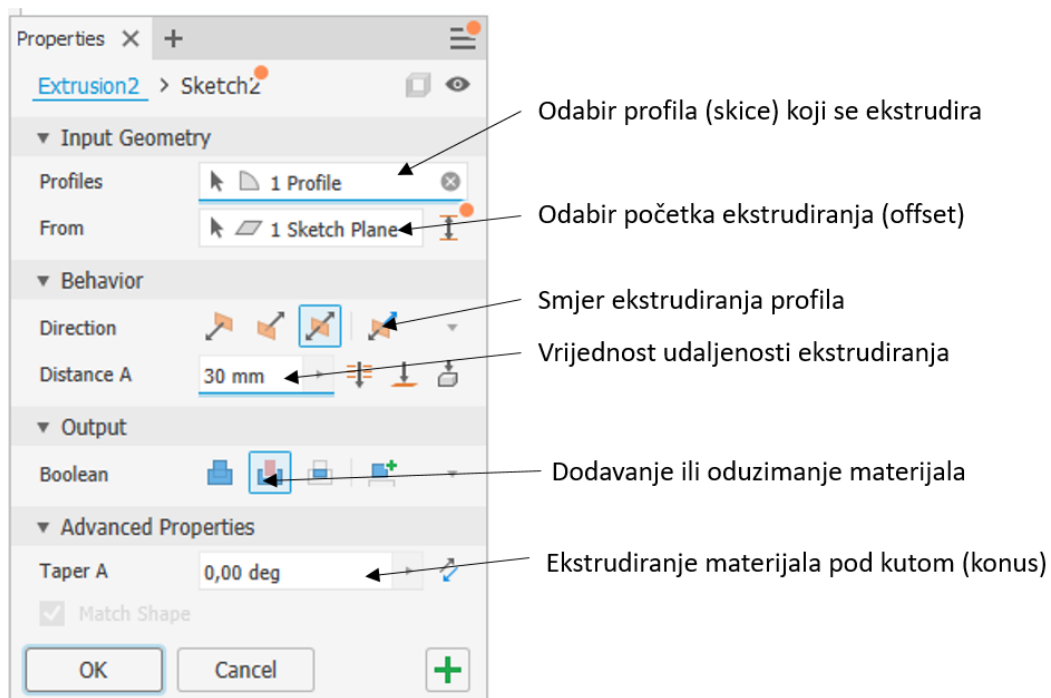
Slika 40 - Naredba Extrude

Također je moguća izrada 3D modela koji se sastoji od više tijela koje je moguće oduzimati ili dodavati (Slika 41). Opcija je posebno upotrebljiva za izradu kalupa za lijevanje.



Slika 41 – Izrada 3D modela oduzimanjem

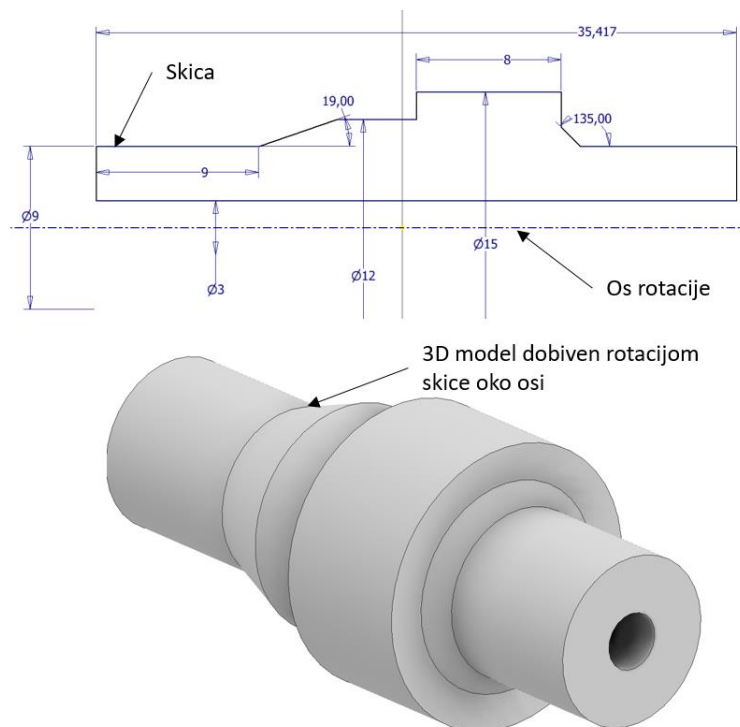
Prilikom definiranja naredbe u izborniku potrebno je naznačiti slijedeće (Slika 42):



Slika 42 - Opcije naredbe Extrude

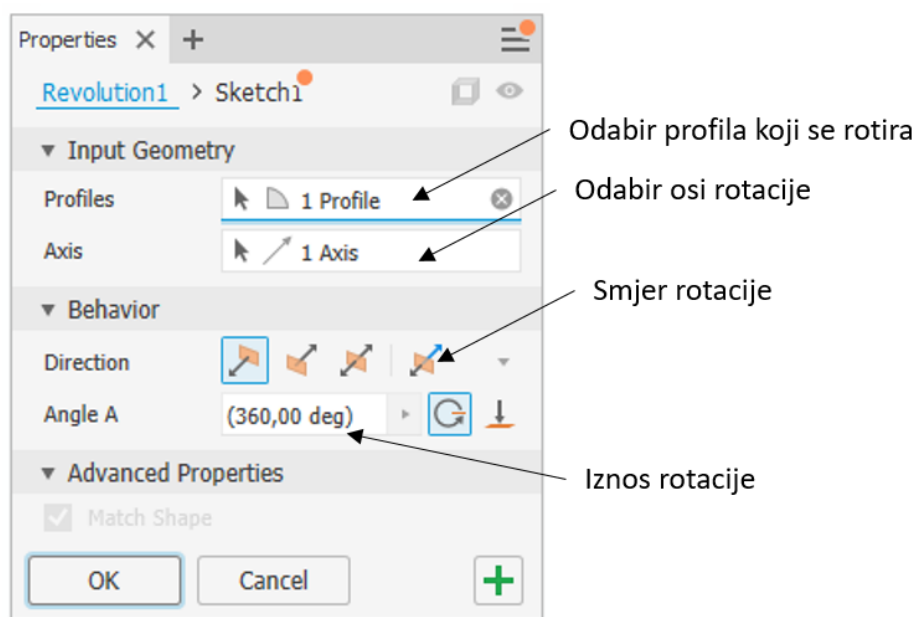
3.1.2. Revolve

Pomoću naredbe *Revolve* generira se 3D model rotacijom skice oko osi rotacije. Skica se može rotirati za zadani kut, a puni profil dobiva se rotacijom skice od 360°. Os rotacije i skica moraju biti koplanarni te skica mora imati zatvoreni profil (Slika 43). Pomoću naredbe *Revolve*, također je moguće oduzimati materijal s postojećeg modela.



Slika 43 –Naredba Rotate

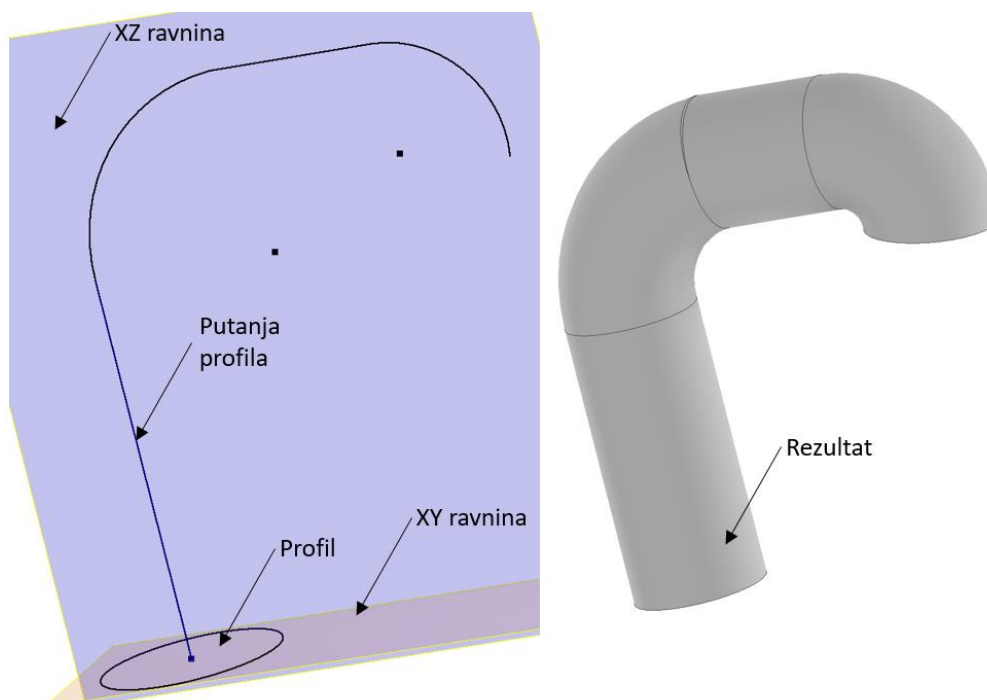
Prilikom definiranja naredbe u izborniku potrebno je definirati slijedeće (Slika 44).



Slika 44 - Opcije naredbe Revolve

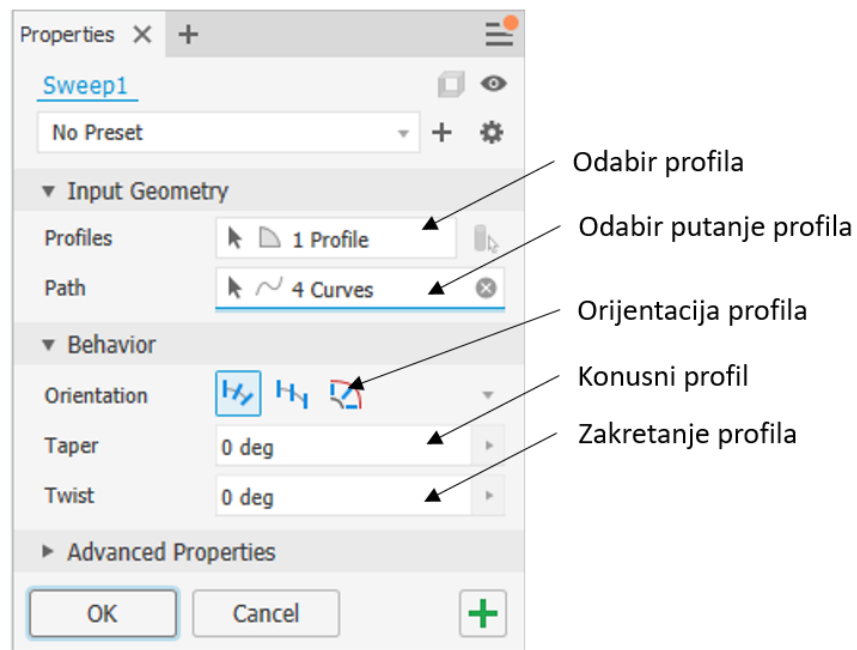
3.1.3. Sweep

Naredba *Sweep* provlači profil (skicu) po odabranoj krivulji (putanji). Profil je pozicioniran na plohi ili ravni dok se putanja profila nalazi u ravni koja je okomita na ravni profila. Putanja se, također može prostirati kroz prostor tj. može sjeći sve tri glavne ravnine. Naredba je posebno pogodna za modeliranje cijevi i profila.



Slika 45 - Naredba Sweep

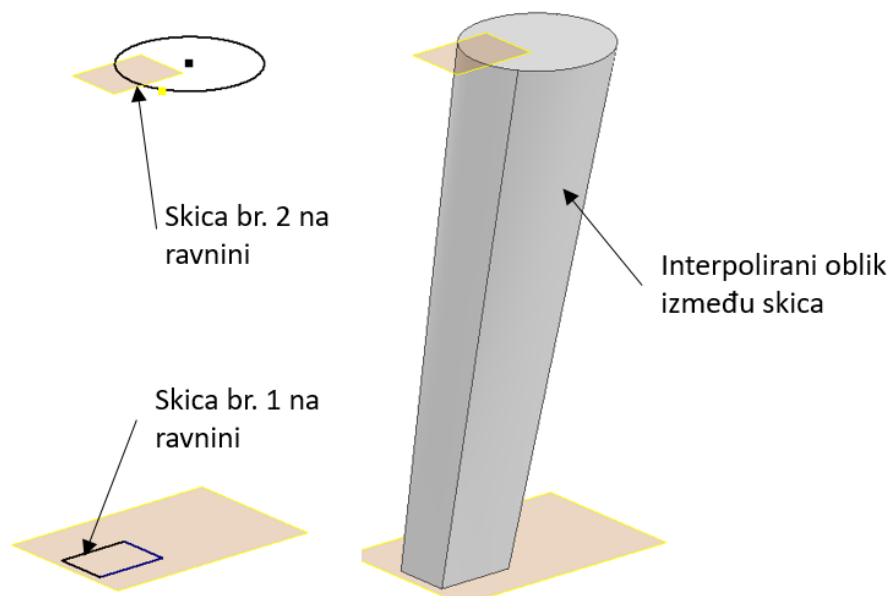
Prilikom definiranja naredbe u izborniku potrebno je odrediti slijedeće (Slika 46).



Slika 46 - Opcije naredbe Sweep

3.1.4. Loft

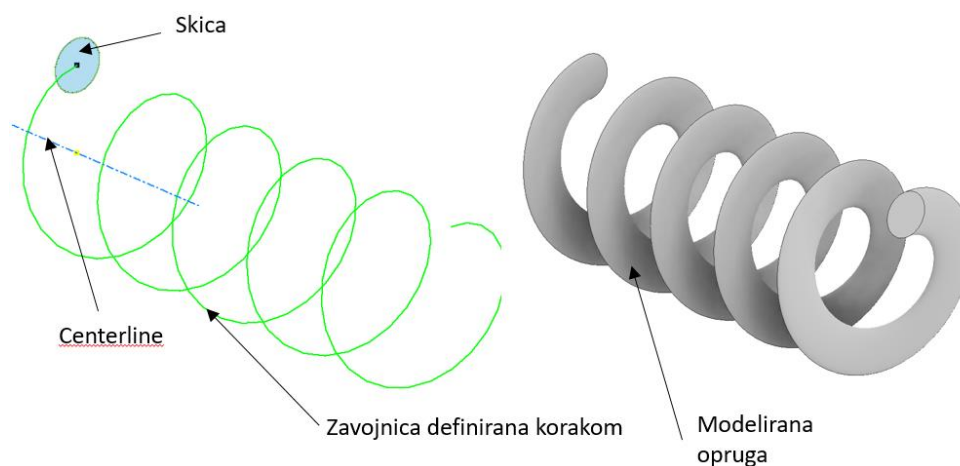
Naredba *Loft* omogućava interpoliranje glatkih oblika (profila) između dvije skice s istom ili različitom geometrijom (Slika 47) koje se nalaze na različitim, međusobno paralelnim, ravninama. Dobiveni profil može imati puni ili šuplji presjek (pogodno za proizvode složene geometrije koji se izrađuju od limova). Prilikom definiranja naredbe potrebno je odabrati ravnine kroz koje se profil prostire.



Slika 47 – Naredba Loft

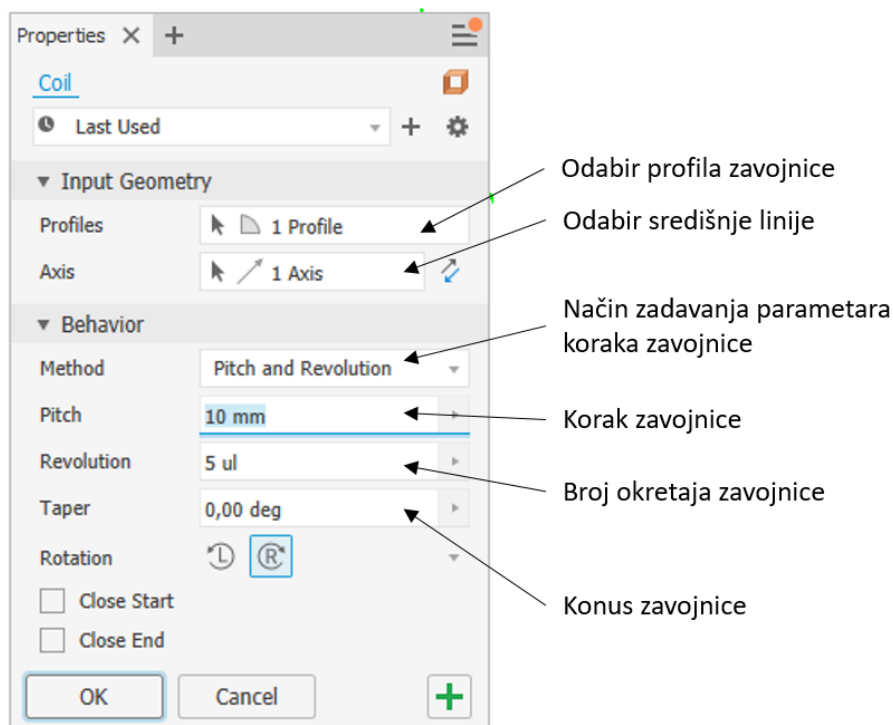
3.1.5. Coil

Naredba se koristi za izradu zavojnica, opruga i navoja (Slika 48). Za izvedbu naredbe potrebno je nacrtati skicu tijela zavojnice u odabranoj ravnini te os (*Centerline*) oko koje će se zavojnica generirati. Definicija zavojnice se vrši odabirom koraka i eventualnog konusa iste. Materijal na modelu se može dodavati npr. kada se modelira zavojnica ili oduzimati kao kod modeliranja navoja na tijelu vijka.



Slika 48 - Naredba Coil

Prilikom definiranja naredbe u izborniku je potrebno odrediti slijedeće (Slika 49).



Slika 49 - Opcije naredbe Coil

Metode odabira karakteristike zavojnice su slijedeće:

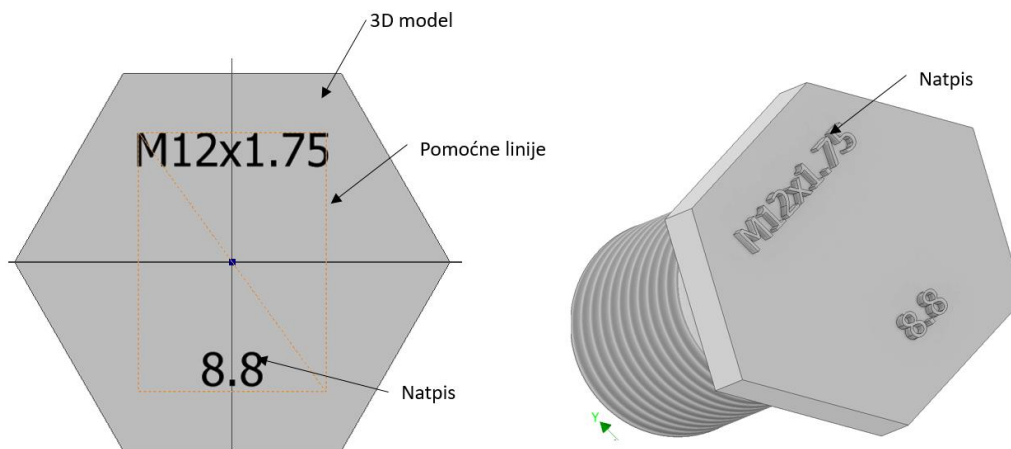
- Pitch and Revolution
- Revolution and Height
- Pitch and Height

Pri čemu:

- **Pitch** - Određuje korak zavojnice.
- **Revolution** - Određuje broj okretaja (zavoja) zavojnice. Mora biti veći od nule, ali može uključivati razlomak (na primjer, 1,5 krug).
- **Height** - Određuje visinu zavojnice od središta profila na početku do središta profila na kraju.

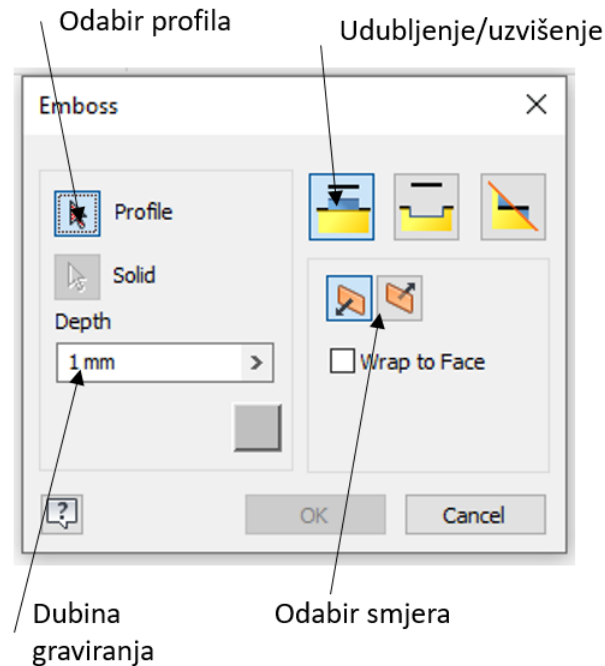
3.1.6. Emboss

Naredba kreira uzvišenja ili udubljenja za određeni iznos prema uzorku na 3D modelu (Slika 50). Naredba je posebno pogodna za graviranje natpisa. Uzorak se definira preko skice koja se nalazi na plohi gdje se želi gravirati natpis. Skica se može izraditi u *Sketch* modulu pomoću naredbe *Text* i pozicionirati pomoćnim linijama i ograničenjima.



Slika 50 - Izrada natpisa na tijelu vijka

Prilikom definiranja naredbe u izborniku je potrebno odrediti slijedeće (Slika 51):



Slika 51 - Opcije naredbe Emboss

3.2. Modify

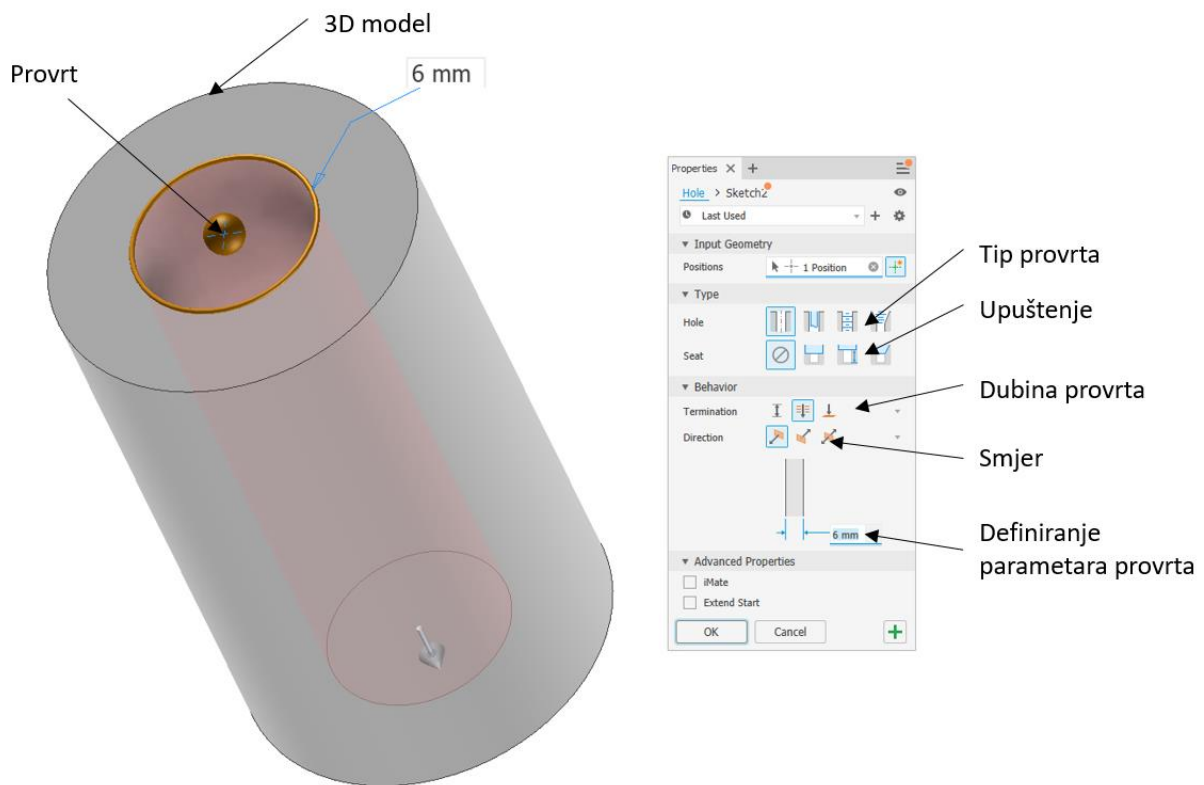
Naredbe smještene u grupi *Modify* omogućavaju direktne izmjene i dodavanje značajki na 3D modelu bez potrebe za izradom skica. Time se značajno ubrzava i pojednostavljuje izrada modela.

Izbornik *Modify* se sastoji od sljedećih naredbi:

- **Hole** – Izrada provrta na plohi 3D modela.
- **Filet** – Izrada zaobljenja na bridovima 3D modela.
- **Chamfer** – Izrada skošenja na bridovima 3D modela.
- **Shell** – Pretvaranje punog modela u tankostijeni.
- **Thread** – Izrada navoja na cilindričnom modelu ili provrtu.
- **Combine** – Spajanje, oduzimanje ili presjek više tijela (*Solid*) unutar istog modela.

3.2.1. Hole

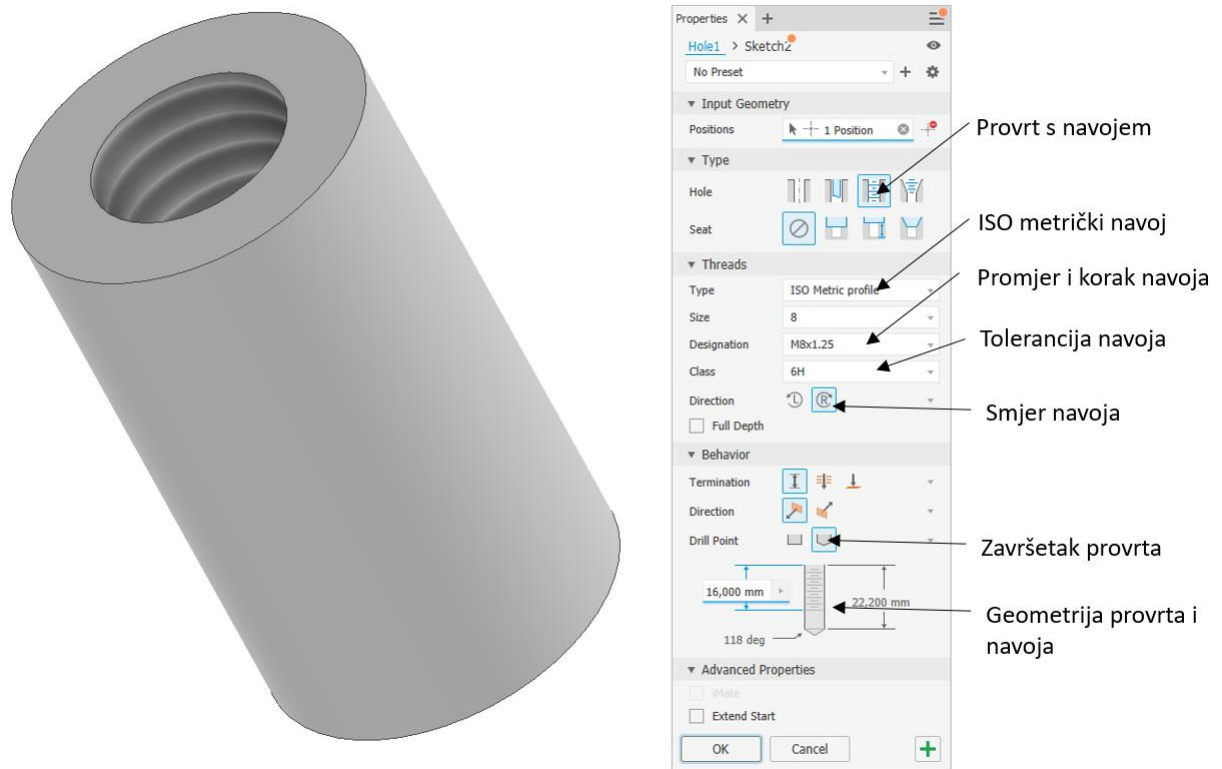
Pomoću ove naredbe moguće je brzo postaviti provrte, odrediti dimenzije i vrstu provrta, točku bušenja, završetak provrta te dodavati navoje. Naredba se izvršava tako da se odabere ploha na koju se želi izraditi provrt te se u izborniku definiraju parametri (Slika 52).



Slika 52 - Naredba Hole

Tip provrta može se definirati kao:

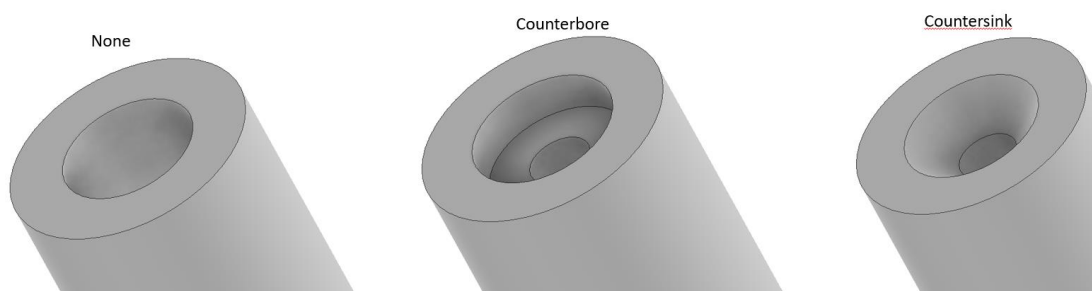
- **Simple hole** – Izrada jednostavnog provrta bez navoja.
- **Clearance hole** – Izrada provrta u određenoj toleranciji. Provrt je prilagođen standardnom vijčanom spoju koji se odabere. Potrebno je odabrati standard navoja, tip vijka koji će se koristiti, dimenzije i dosjed (labavi, prijelazni, čvrsti). Ova opcija se obično koristi za prolazne provrte.
- **Tapped hole** – Izrada provrta s definiranim navojem (Slika 53).
- **Taper tapped hole** – izrada konusnog navoja. Koristi se obično u cjevarstvu.



Slika 53 - Definiranje provrta i navojem

Tip upuštanja provrta može se definirati kao (Slika 54):

- **None** – Bez upuštenja.
- **Counter Bore** – Izrada provrta s upuštanjem pri čemu glava vijka ne prolazi visinu upuštenja.
- **Spotface** – Izrada provrta s upuštanjem. Dubina upuštanja manja od *Counter Bore* opcije.
- **Countersink** – Izrada provrta s konusnim upuštanjem.

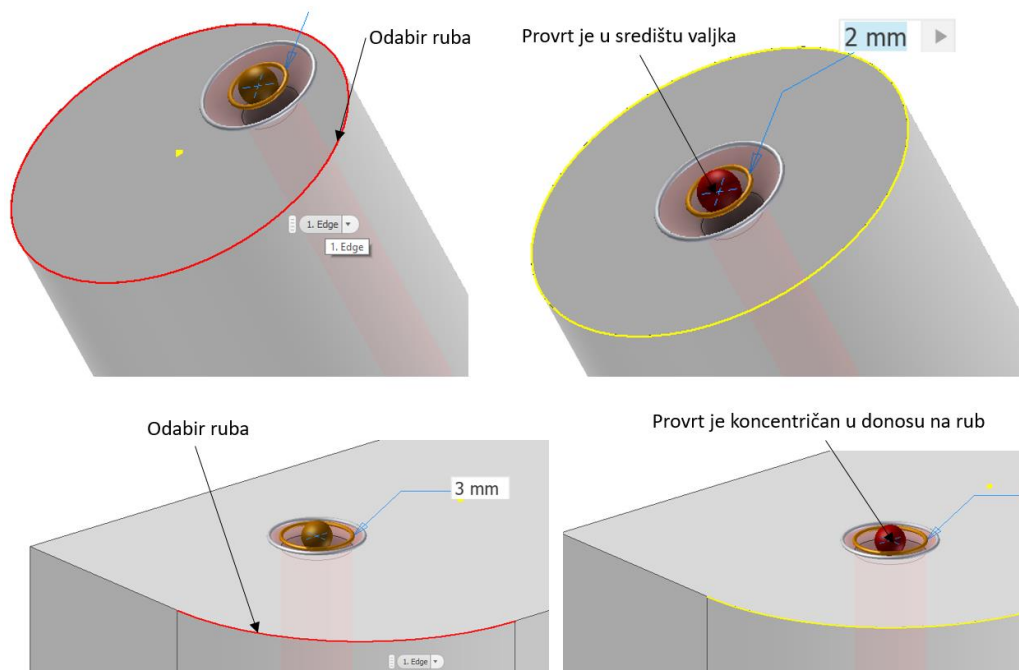


Slika 54 - Upuštanje provrta

Dubina provrta se definira pomoću slijedećih opcija:

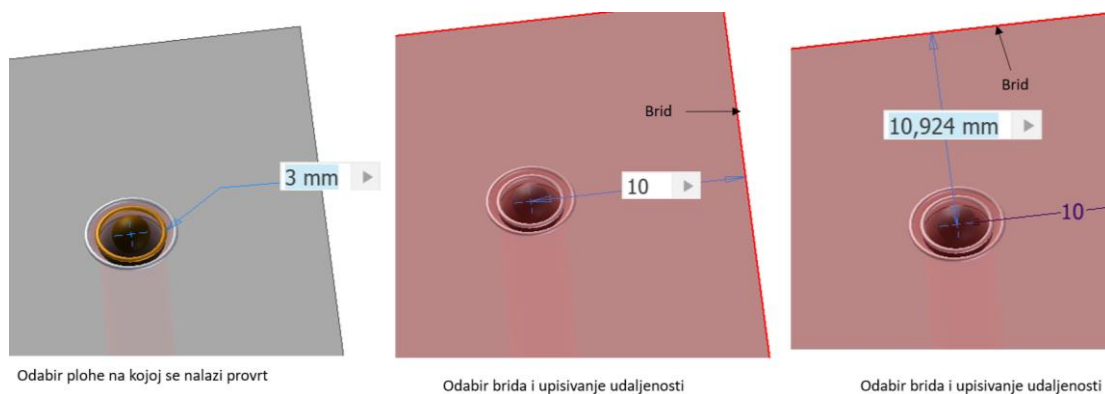
- **Distance** – Zadaje se dubina prodiranja provrta.
- **Through All** – Provrt prodire kroz cijeli model.
- **To** – Dubina prodora se definira odabirom plohe do koje provrt prolazi.

Pozicioniranje provrta na plohi modela se definira odabirom karakterističnih točaka. Tako se koncentričnost provrta određuje odabirom na zakrivljeni brid ili kružnicu s kojim provrt treba biti koncentričan (Slika 55).



Slika 55 - Pozicioniranje provrta u odnosu na zakrivljene bridove

Pozicioniranje provrta u odnosu na ravne bridove vrši se odabirom bridova i zadavanjem udaljenosti centra provrta i brida. Da bi se provrt pozicionirao obično je potrebno odabrati dva brida (Slika 56).



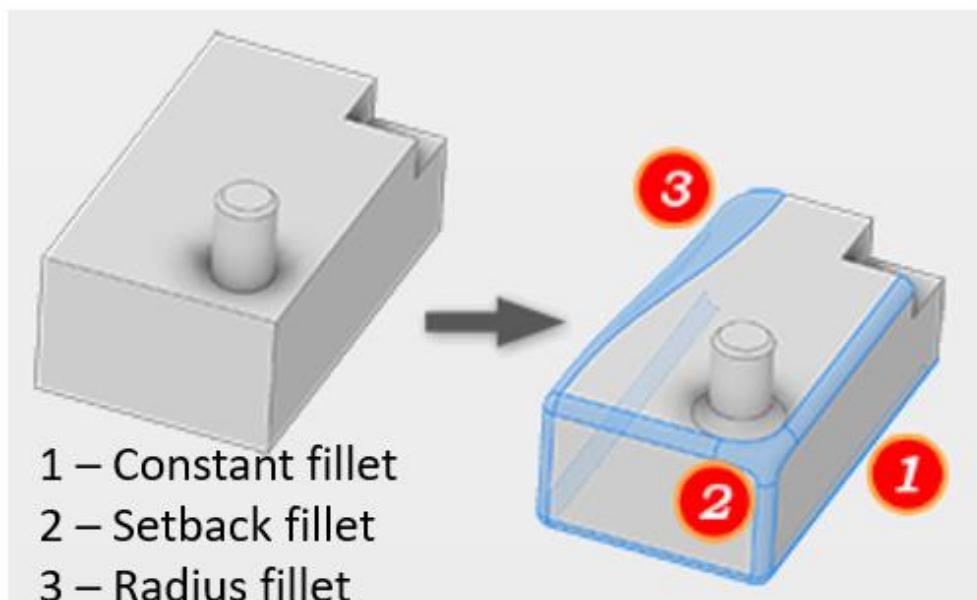
Slika 56 - Pozicioniranje provrta u odnosu na ravne bridove

3.2.2. Fillet

U strojarstvu se izbjegavaju oštri prijelazi između različitih geometrija zbog izbjegavanja koncentracije naprezanja. Naredba *Fillet* omogućuje brzo dodavanje zaobljenja na oštrim bridovima modela (Slika 57).

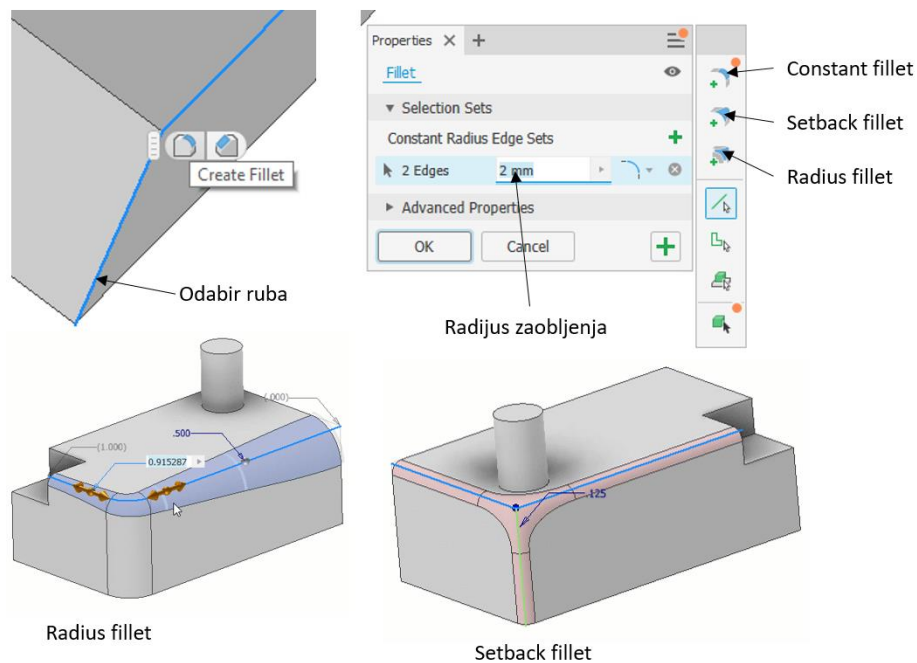
Zaobljenje je moguće izvesti kao:

- **Constant Fillet** – Radijus zaobljenja je konstantan.
- **Setback Fillet** – Radijus na sjecištima bridova modela se može definirati kao tri nezavisne vrijednosti.
- **Radius Fillet** – Radijus zaobljenja se mijenja duž brida. Potrebno je definirati početnu i završnu vrijednost radijusa zaobljenja.



Slika 57 - Naredba Fillet

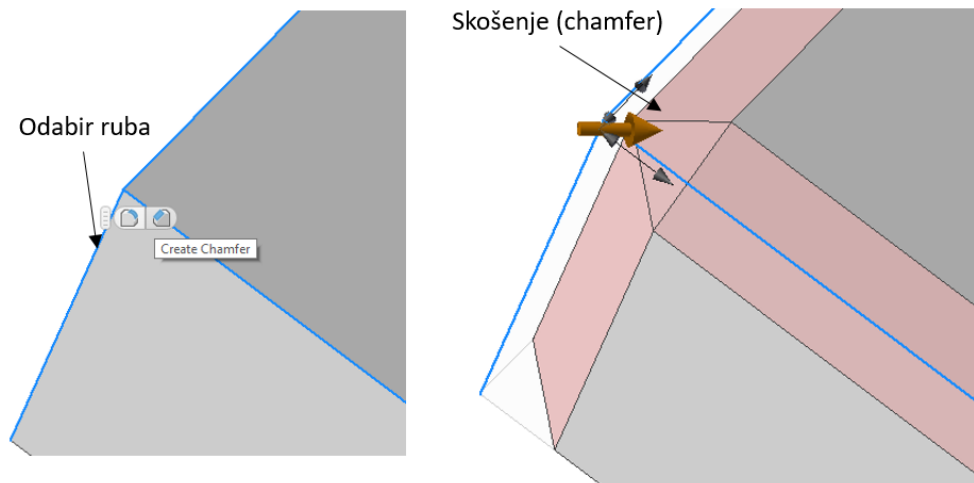
Prilikom definiranja naredbe u izborniku je potrebno odrediti slijedeće (Slika 58).



Slika 58 - Opcije naredbe Fillet

3.2.3. Chamfer

Naredba dodaje skošenje na bridovima modela (Slika 59).

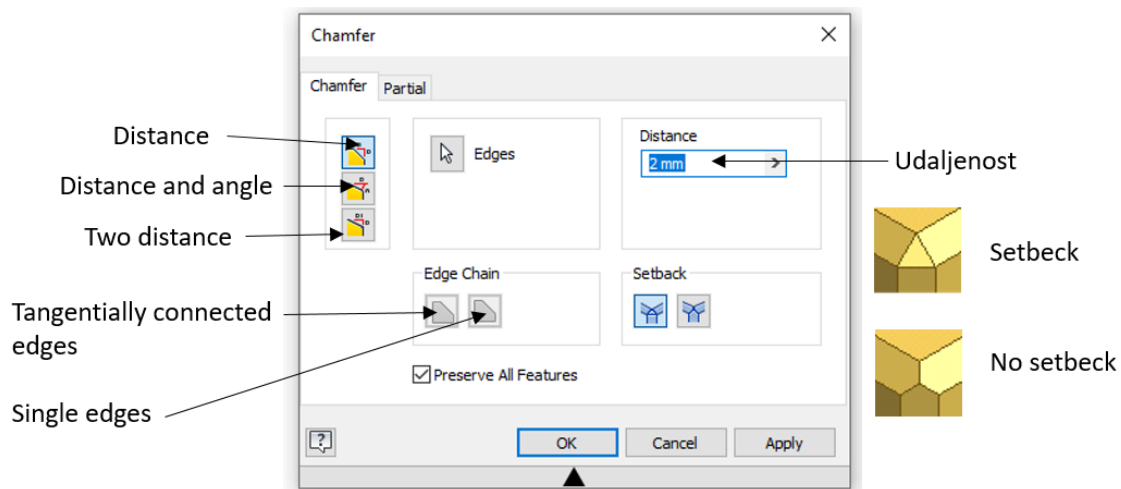


Slika 59 - Naredba Chamfer

Definiranje naredbe tj. skošenja može se izvršiti preko udaljenosti i kuta (Slika 60).

- **Distance** – Skošnje se definira preko udaljenosti koja je ista za obje stranice brida. Kut koji skošenje zatvara je 45°. Ovakav tip skošenja se najčešće i koristi
- **Distance and Angle** – Skošnje se definira preko udaljenosti i kuta. Potrebno je odabrati plohu na kojoj će se nalaziti skošenje i brid s kojim će zatvarati navedeni kut.

- **Two Distance** – Skošnje se definira preko dvije udaljenosti. Moguće je definirati različite vrijednosti udaljenosti za svaku stranu skošnja.

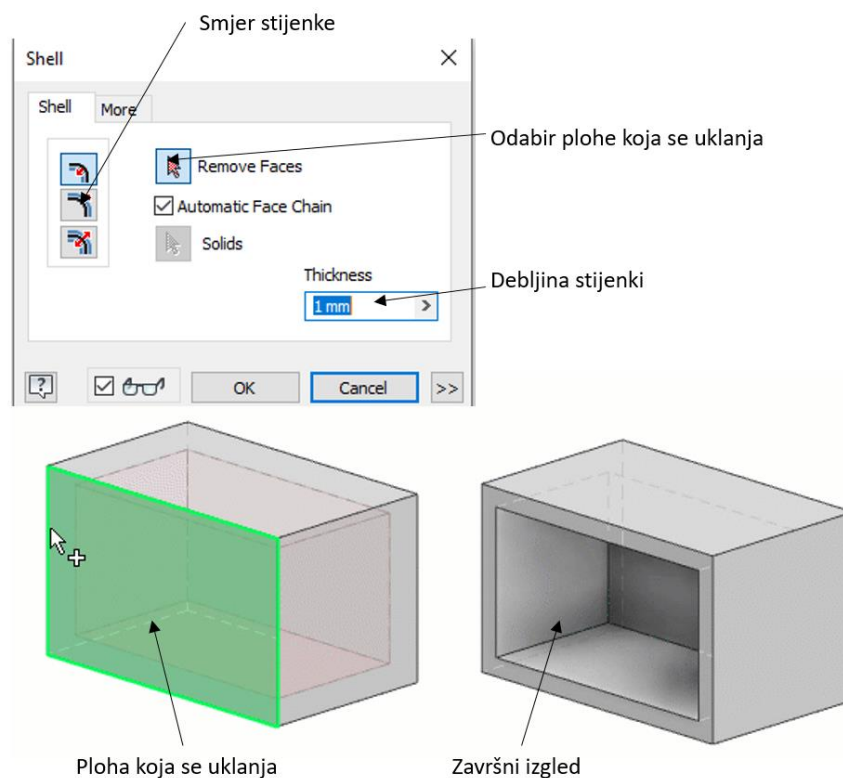


Slika 60 - Opcije naredbe Chamfer

Odabirom opcije *Tangentially Connected Edges* povezuju se svi tangencijalno povezani bridovi.

3.2.4. Shell

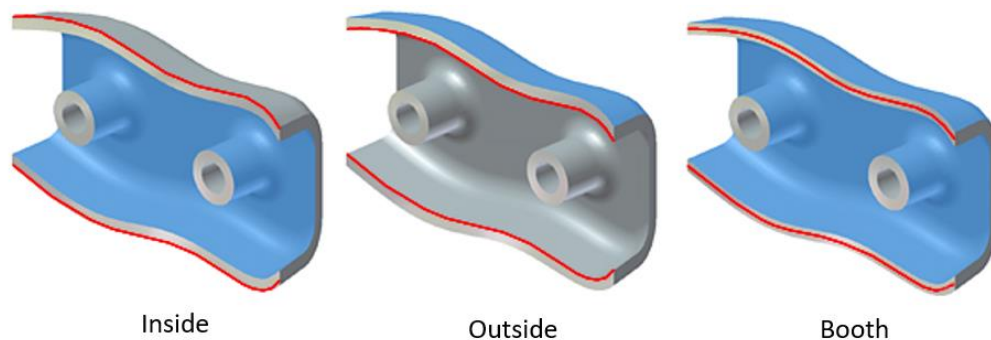
Naredba uklanja materijal iz unutrašnjosti modela te omogućava brzu izradu šupljih i tankostjenih proizvoda (Slika 61). Potrebno je definirati plohu koja se uklanja te debljinu stijenki. Debljinu stijenki je moguće mijenjati duž brida i stranica modela.



Slika 61 - Naredba Shell

Smjer nastanka stijenke u odnosu na odabranu plohu moguće je definirati na slijedeće načine (Slika 62):

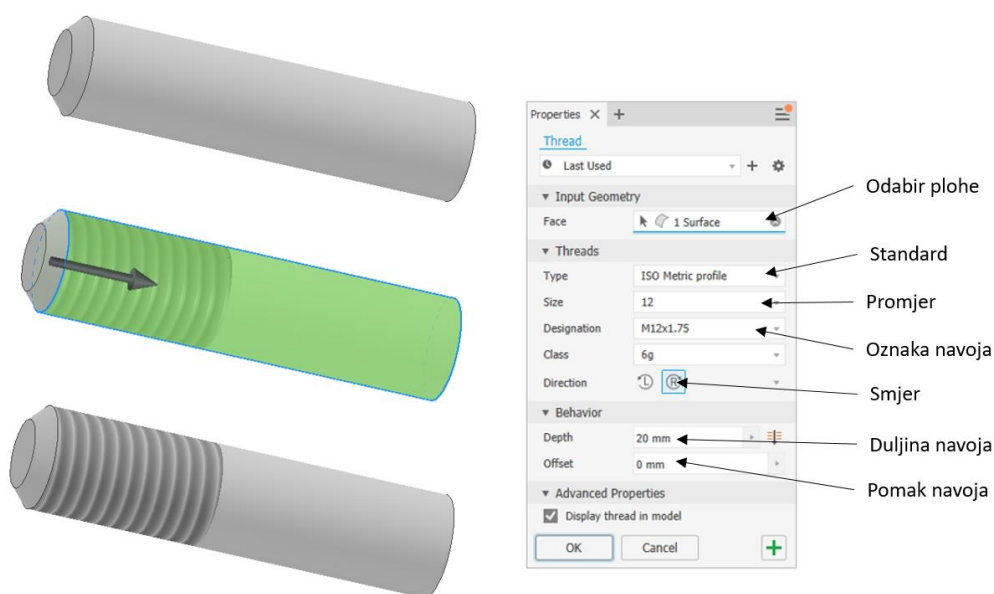
- **Inside** – Pomiče stijenku prema unutarnjem dijelu plohe. Vanjski zid originalnog dijela postaje vanjski dio stijenke.
- **Outside** – Pomiče stijenku prema vanjskom dijelu plohe. Vanjski zid originalnog dijela postaje unutarnji dio stijenke.
- **Booth** – Pomiče vanjsku i unutarnju stijenku za jednake udaljenosti od originalne plohe modela.



Slika 62 - Smjer nastajanja stijenke

3.2.5. Thread

Naredba omogućuje kreiranje navoja direktno na 3D modelu (Slika 63). Moguće je izrađivati navoj na cilindričnim, koničnim površinama te na provrtima. Prilikom izrade navoja na provrtima parametri su isto kao i za naredbu *Hole*. Naredba se definira odabirom plohe na kojoj se želi izraditi navoj te zadavanjem parametara navoja.



Slika 63 - Naredba Thread

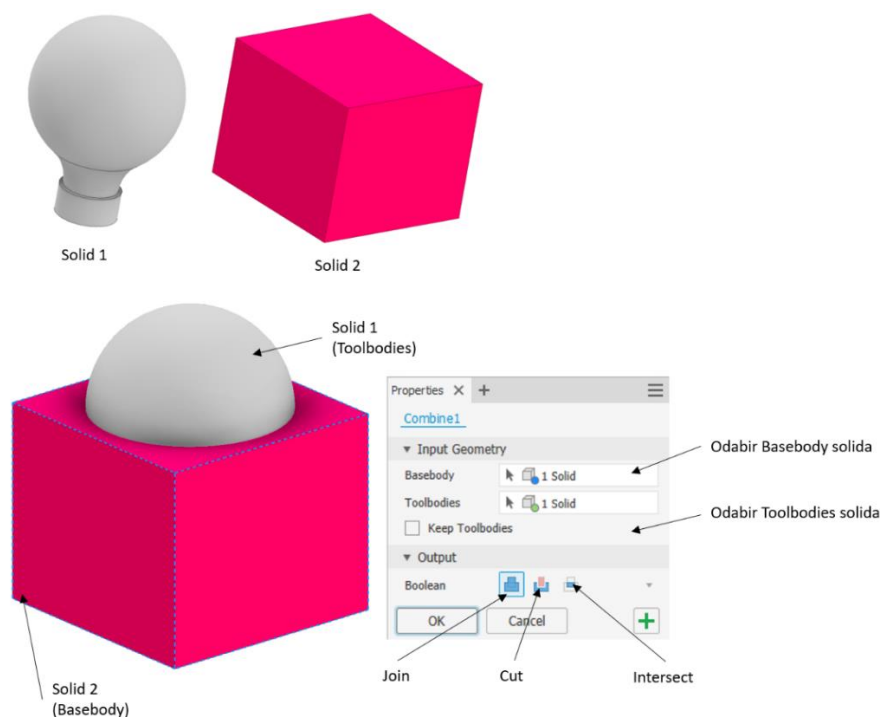
Parametri navoja su:

- **Type** – Definiranje standarda navoja iz liste.
- **Size** – Definiranje nominalnog promjera vijka.
- **Designation** – Definiranje koraka vijka (standardni ili fini navoj).
- **Class** – Definiranje tolerancije navoja.
- **Direction** – Definiranje smjera uspona navoja (lijevi ili desni).
- **Depth** – Definiranje duljine navoja
- **Offset** – Definiranje pomaka nastanka navoja od odabrane plohe ako navoj nije narezan cijelom dužinom cilindrične plohe.

3.2.6. Combine

3D model se može sastojati od više nezavisnih tijela tj. *Solida*. Naredba *Combine* izvršava operacije dodavanja ili oduzimanja materijala od dva ili više nezavisna tijela (*Solida*) koji čine 3D model (Slika 64). Moguće je također dobiti zajednički presjek od više *Solida*. Naredba je idealna za izradu kalupa za lijevanje i modela složene geometrije. U opcijama naredbe potrebno je odabrati:

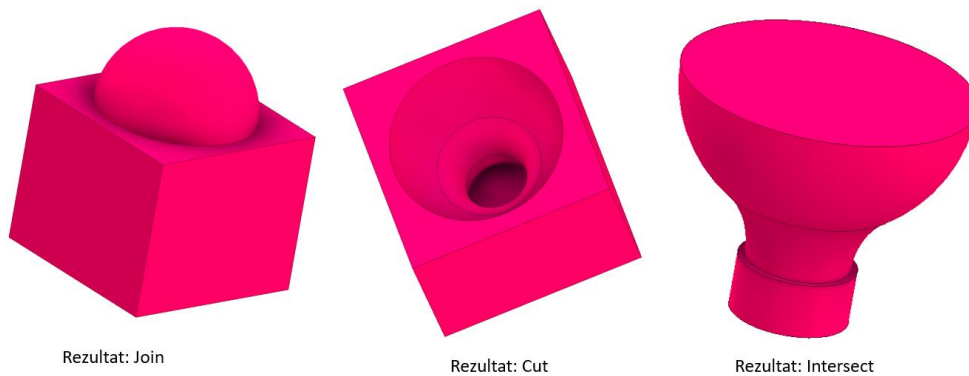
- **Basebody** – Pri operaciji *Cut* predstavlja *Solid* koji ostaje, ali mu se odnosi materijal koji ima oblik *Toolbodies Solida*.
- **Toolbody** – Pri operaciji *Cut* djeluje kao *Solid* koji uklanja materijal sa *Basebody Solida* svojim oblikom.



Slika 64 - Naredba Combine

Rezultat naredbe *Combine* mogu biti (Slika 65):

- **Join** – Zbraja volumen dva *Solida* u rezultirajući novi *Solid*.
- **Cut** – Oduzima volumen *Solida* odabranog kao *Toolbodies* od volumena *Basebody Solida*.
- **Intersect** – Rezultirajući *Solid* je zajednički presjek odabranih *Solida* (*Basebody i Toolbody*).



Slika 65 - Rezultati naredbe *Combine*

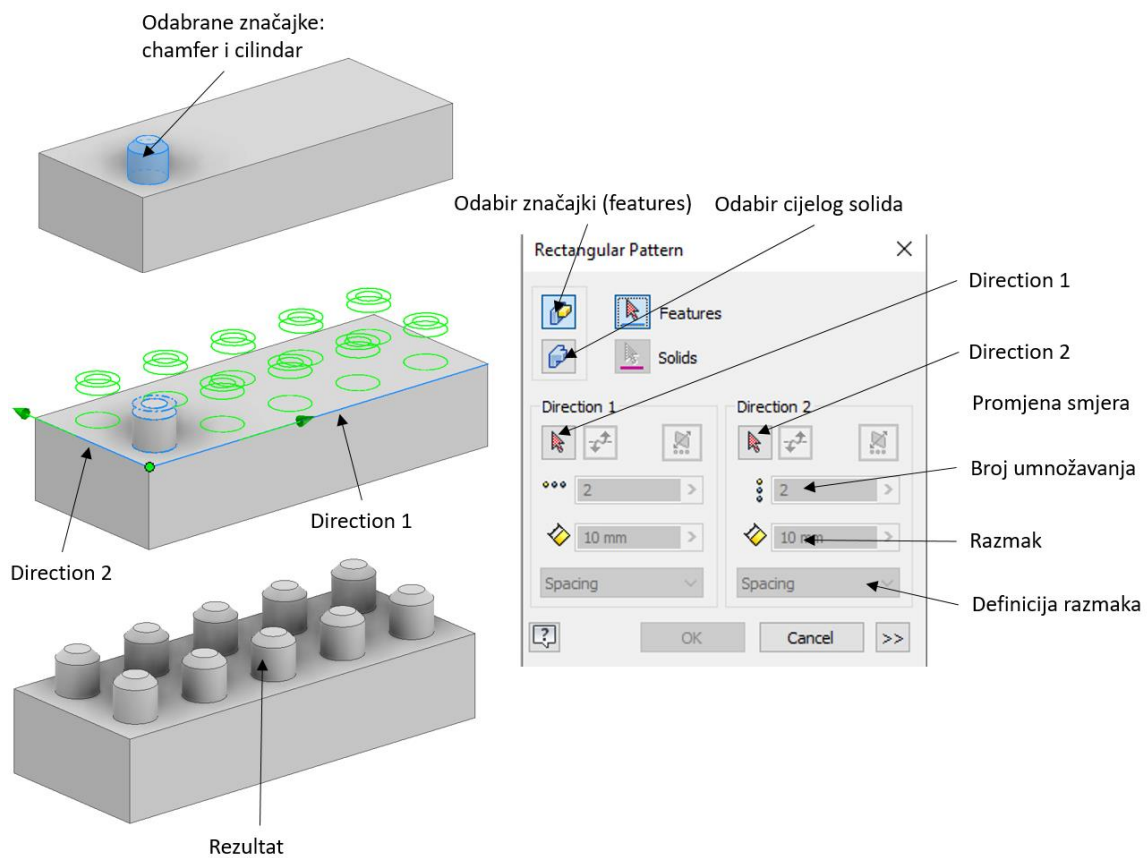
3.3. Pattern

Grupa naredbi *Pattern* omogućuje umnožavanje značajki po uzorku. Odabrane značajke kao što su provrt, utor, skošenje, zaobljenje, navoj moguće je umnožiti na slijedeće načine:

- **Rectangular** – Umnožava značajke po pravokutnom uzorku (stupci i redci).
- **Mirror** – Umnožava značajke zrcaljenjem oko odabrane plohe ili ravnine.
- **Circular** – Umnožava značajke po kružnom uzorku.

3.3.1. Rectangular

Pomoću ove naredbe moguće je umnožavati odabrane značajke ili cijele *Solide* raspoređene u pravokutni uzorak, duž putanje ili dvosmjerno u odnosu na izvornu značajku (Slika 66).

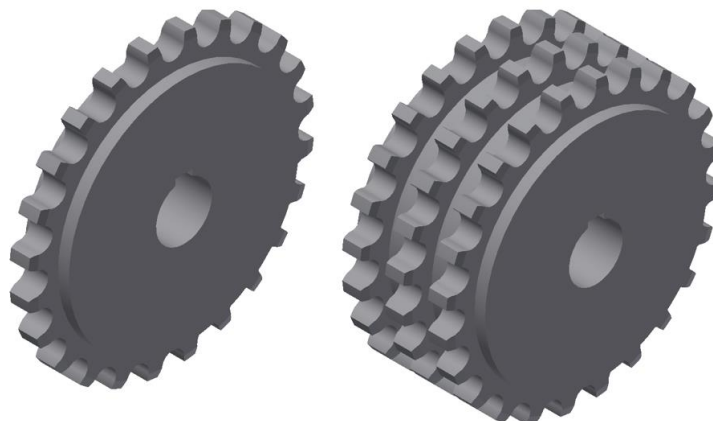


Slika 66 - Naredba Rectangular

U opcijama naredbe potrebno je definirati smjerove umnožavanja odabranog uzorka (*Direction 1* i *Direction 2*), razmak između uzoraka te broj umnožavanja. Način definiranja razmaka između uzoraka se može definirati na slijedeće načine:

- **Space** – Iznos udaljenosti između pojedinih značajki.
- **Distance** – Totalna duljina na kojoj se s pravilnim razmakom raspodijeli naznačeni broj uzoraka.
- **Curve lenght** – Duljina krivulje na kojoj se raspodijeli odabrani broj značajki po putanji.

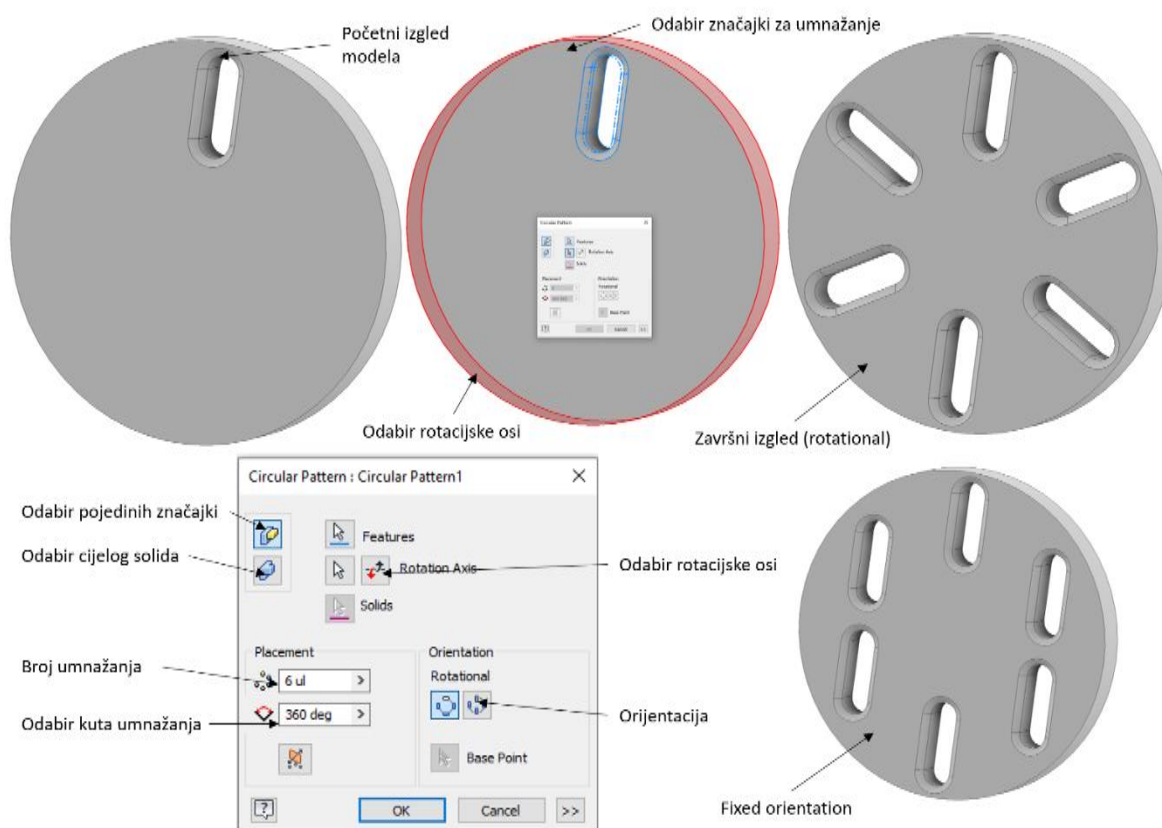
Umnožavanje cijelog *Solida* prikazano je na slijedećoj slici (Slika 67). Lančanic je umnožen po pravokutnom uzorku u svrhu dobivanja modela višerednog lančanika.



Slika 67 - Modeliranje višerednog lančanika

3.3.2. Circular

Naredba *Circular* multiplicira odabrane značajke po uzorku kružnice ili luka (Slika 68). U naredbi je potrebno odrediti broj ponavljanja, odabrati os rotacije po kojoj će se vršiti multipliciranje te odrediti kut. Također je moguće umnožavati cijeli *Solid*, a ne samo pojedine značajke.



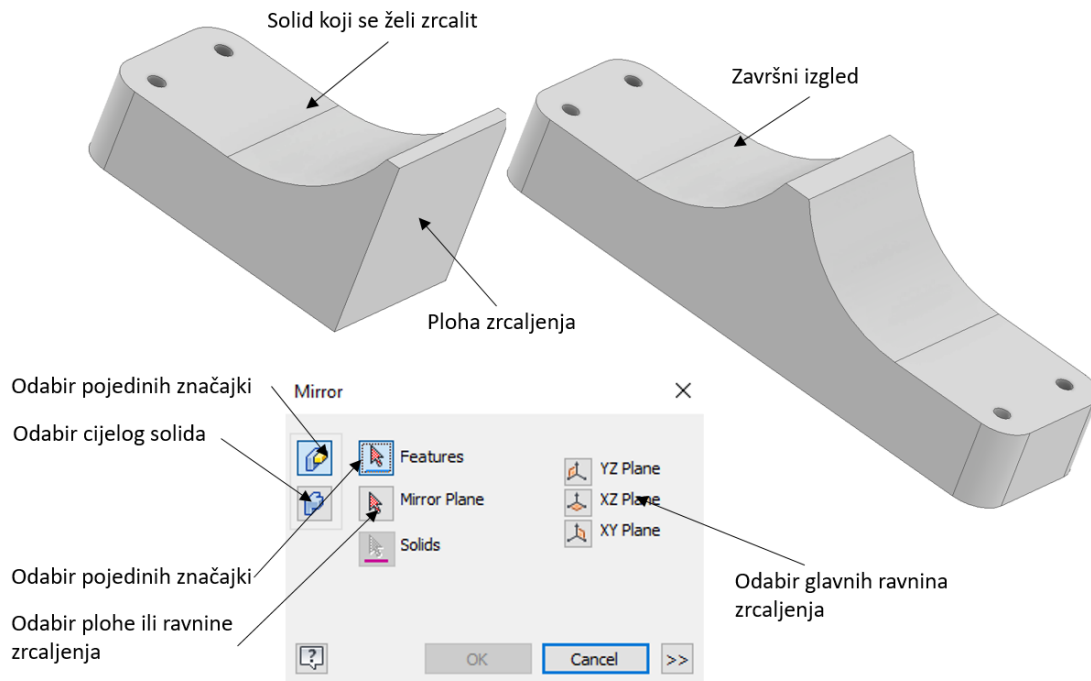
Slika 68 - Naredba Circular

O opcijama naredbe moguće je odabrati slijedeće načine orijentacije umnožavanja:

- **Rotational** – *Solid* ili pojedine značajke mijenjaju orijentaciju dok se kreću oko osi.
- **Fixed** – *Solid* ili značajke zadržavaju fiksnu orijentaciju u odnosu na početni uzorak dok se kreću oko osi.

3.3.3. Mirror

Naredba modelira zrcalnu kopiju cijelog *Solida* ili odabranih značajke (Slika 69). Ravnina zrcaljenja može biti ploha modela ili odabrana ravnina.



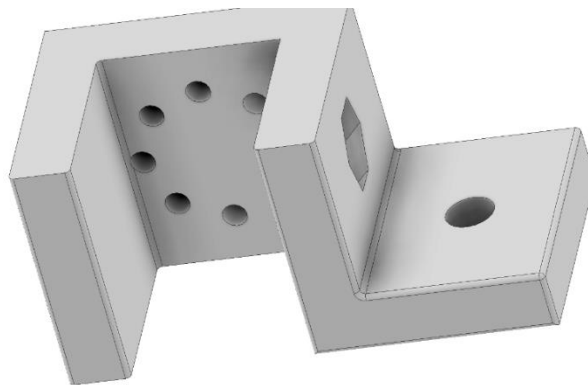
Slika 69 - Naredba Mirror

4. Izrada 3D modela: primjer 1.

U Autodesk Inventoru proces izrade 3D modela uključuje sljedeće korake:

1. Izrada grube dvodimenzionalne skice osnovnog oblika na odabranoj ravni.
2. Definiranje ograničenja i dimenzija na dvodimenzionalnu skicu.
3. Stvaranje 3D modela iz dvodimenzionalne skice pomoću ekstrudiranja, izvlačenja po krivulji ili rotacijom skice.
4. Dodavanje dodatnih značajki na modelu kao što su skošenja, prijelazi, provrti.
5. Analiza modela i po potrebi dorada dizajna.
6. Izrada tehničke dokumentacije.

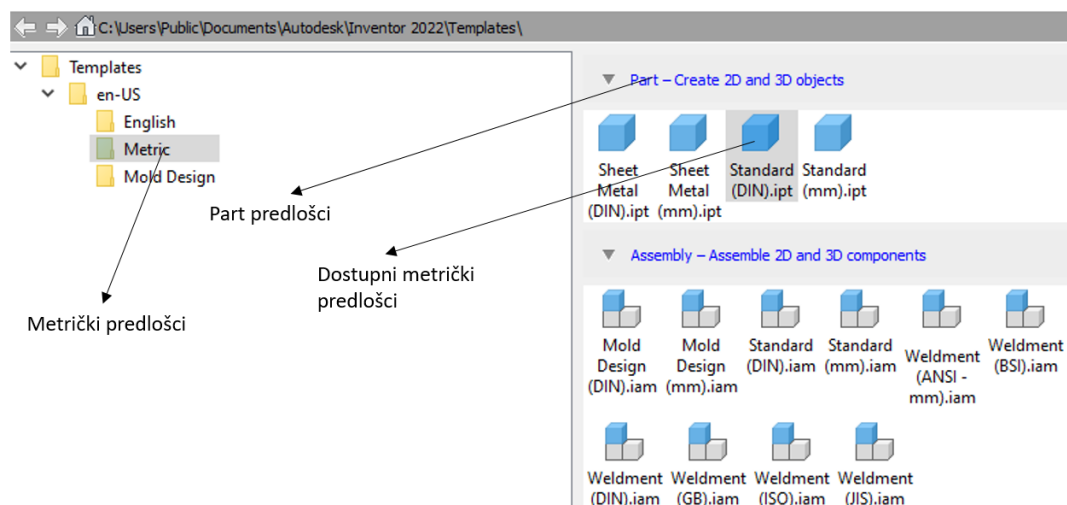
U ovome primjeru biti će prikazana izrada jednostavnog trodimenzionalnog predmeta (Slika 70).



Slika 70 - 3D model

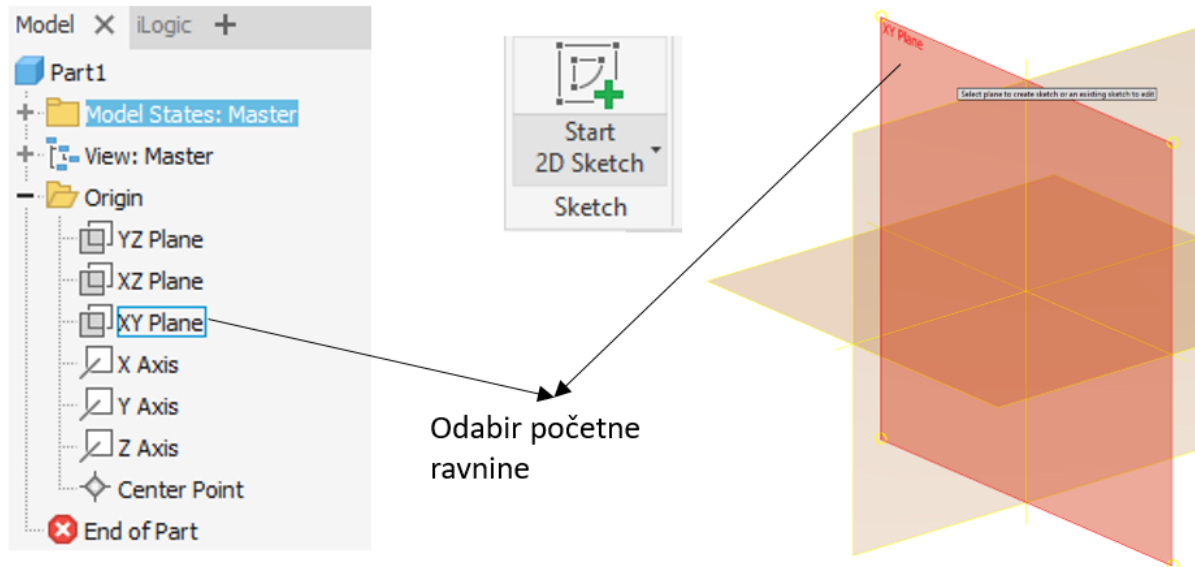
4.1. Predložak

3D model se modelira u *Part* predlošku (Slika 71). Odabir predloška se vrši u izborniku *File*→*New*→*New*. Potrebno je odabrati metričke predloške. Odabire se *Standard (DIN)* predložak.



Slika 71 - Odabir Part predloška za crtanje 3D modela

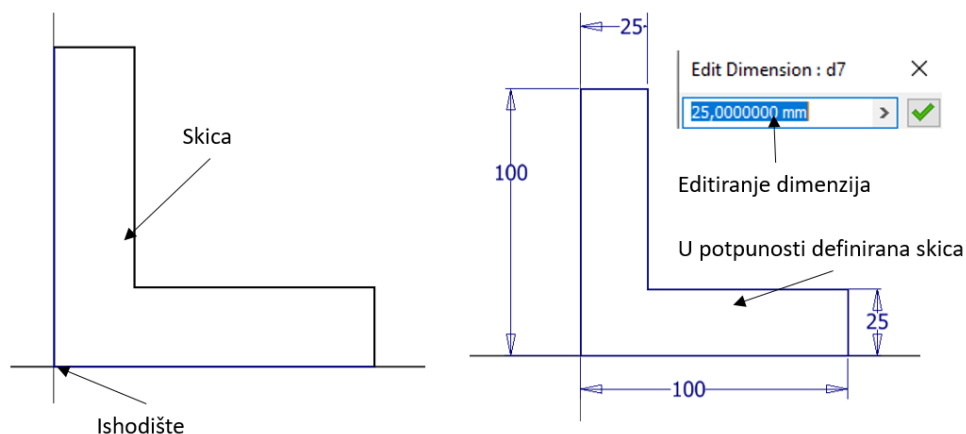
Proces izrade 3D modela započinje izradom skice na odabranoj ravnini (Slika 72). Obično se kao početna ravnina odabire XY. Ravnine, osi i ishodište se mogu prikazati i odabrati u stablu (*Model Browser*). Također, odabir ravnina se može izvršiti u izborniku *Start 2D Sketch*. Na ekranu se zatim prikažu osnovne ravnine te se odabir ravnine vrši klikom miša na ravninu.



Slika 72 - Odabir početne ravnine

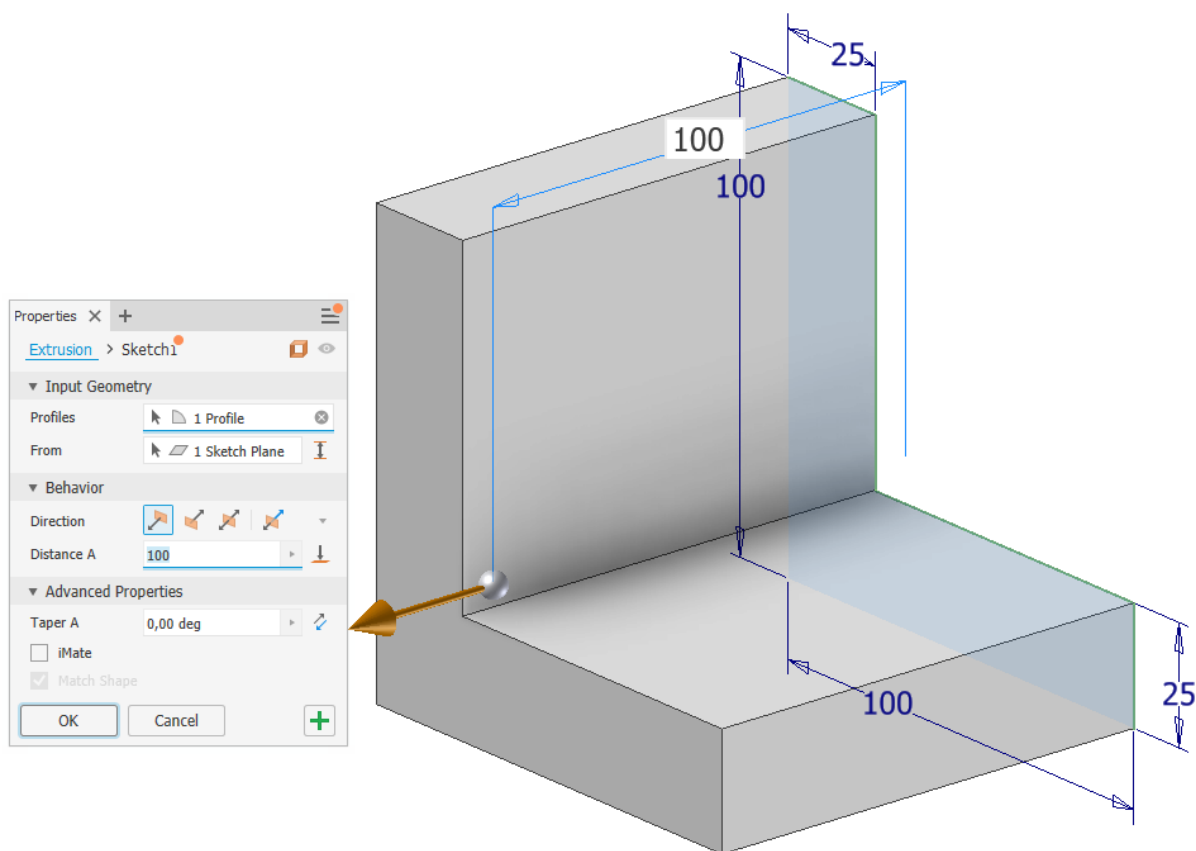
4.2. Skiciranje i ekstrudiranje

U *Sketch* modulu se crta dio modela, s tim da se model prvo skicira te se zatim definiraju sve dimenzije tako da skica bude *Fully Constrained* (Slika 73). Za skiciranje se koristi naredba *Line*, a za dimenzioniranje *Dimension*. Dimenzije kota se mijenjaju tako da se upiše nova vrijednost nakon dvoklika na kotu.



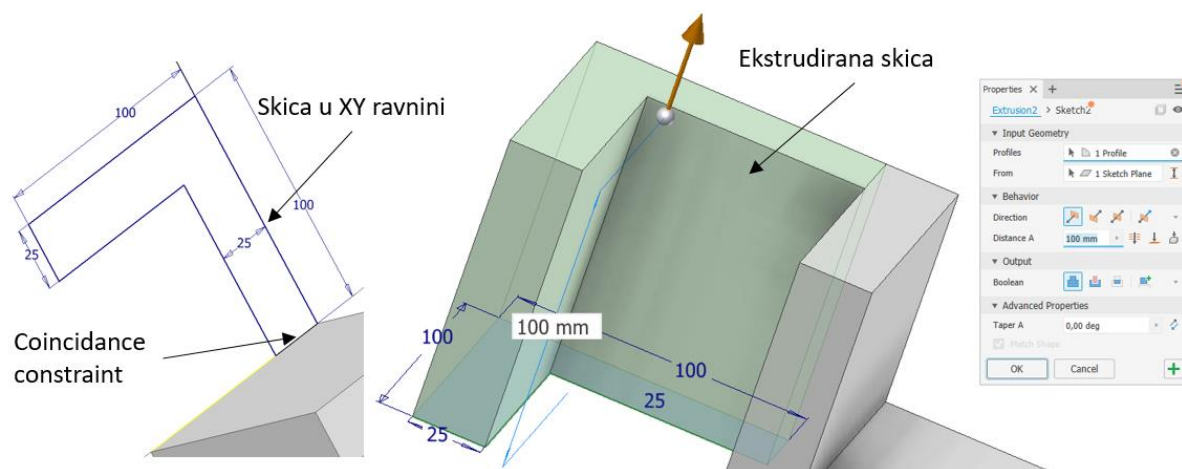
Slika 73 - Početna skica

Poslije završetka izrade 2D skice slijedeći korak je izrada 3D modela pomoću 2D skice. Ekstrudiranje skice je najčešća korištena metoda za dobivanje 3D modela. U ovome primjeru skica će se ekstrudirati za 100 mm (Slika 74).



Slika 74 - Ekstrudiranje skice

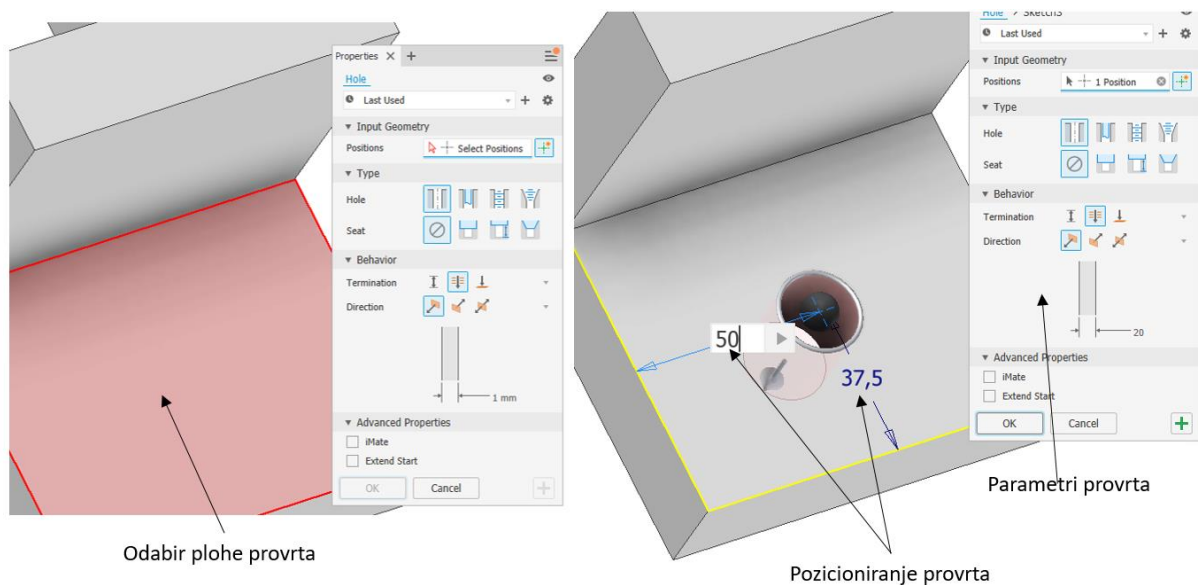
Model se nastavlja graditi dodavanjem novih značajki (Slika 75). Na ravnini XY skicira se preostali dio modela te se zatim skica ekstrudira za 100mm. Za pozicioniranje brida skice na model koristi se ograničenje *Coincident Constraint* (točka na točku).



Slika 75 – Izrada modela

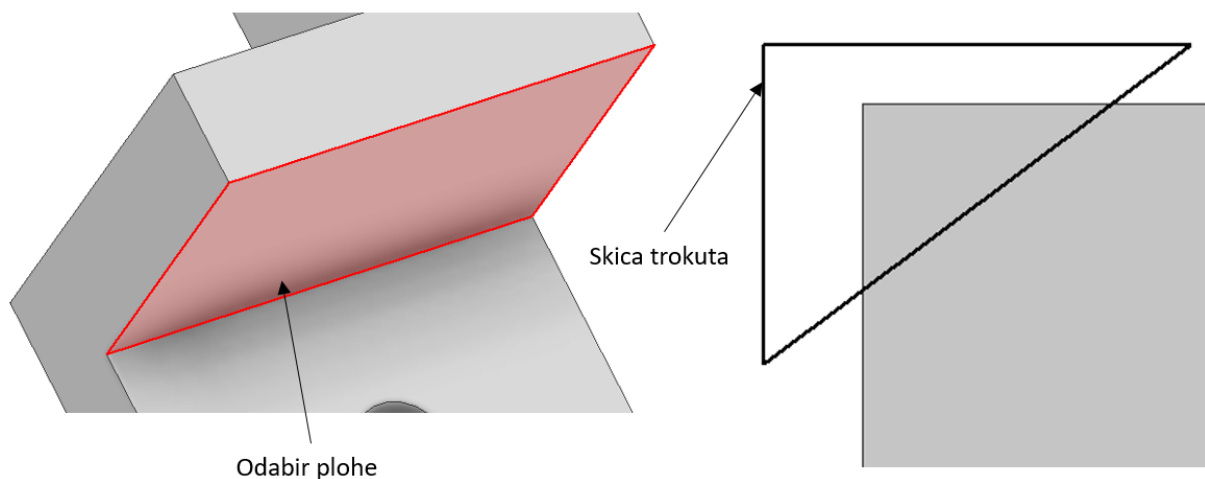
4.3. Provrt

Slijedeće značajka koja se dodaje na model je provrt. Za izradu provrta koristi se naredba *Hole* (Slika 76). Poslije odabira naredbe naznači se klikom miša površina na kojoj se želi izraditi provrt. Pozicioniranje provrta se vrši odabirom brida te se upiše vrijednost udaljenosti od odabranog brida. Parametri provrta su slijedeći: provrt bez navoja (*Hole - Simple Hole*) i upuštenja (*Seat - None*). Provrt prolazi kroz cijeli model (*Termination – Through All*). Zadani promjer provrta je 20mm.



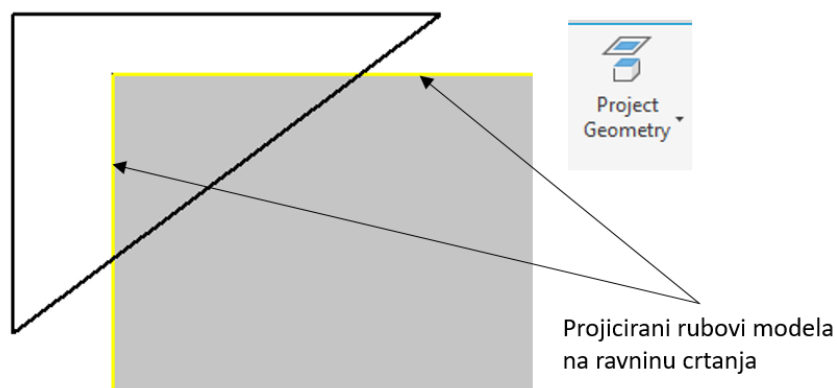
Slika 76 - Modeliranje provrta

Značajka koja oduzima materijal sa modela u obliku trokuta modelira se pomoću naredbe *Extrude*. Poslije odabira naredbe *Extrude* na odabranoj plohi skicira se trokut pomoću naredbe line (Slika 77).



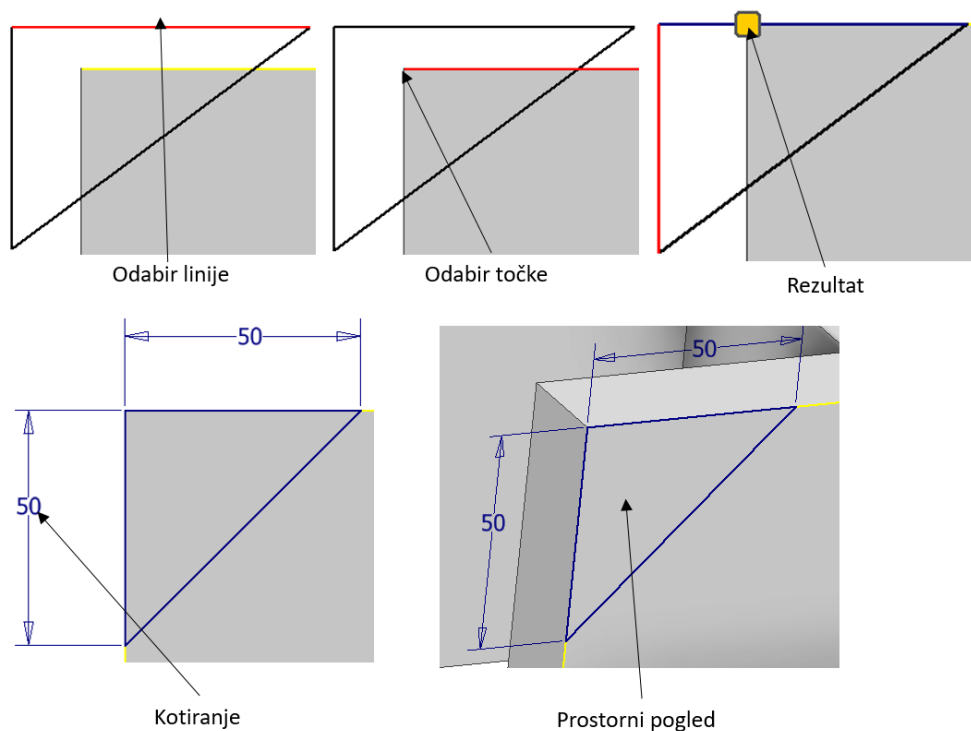
Slika 77 - Skica trokuta na plohi

Da bi se skica trokuta pozicionirala na bridove modela potrebno je projicirati bridove modela na skicu. Projiciranje se vrši pomoću naredbe *Project Geometry* (Slika 78). Poslije odabira naredbe označe se bridovi modela koji se zatim projiciraju na ravninu crtanja. Projicirani bridovi označeni su žutom bojom.



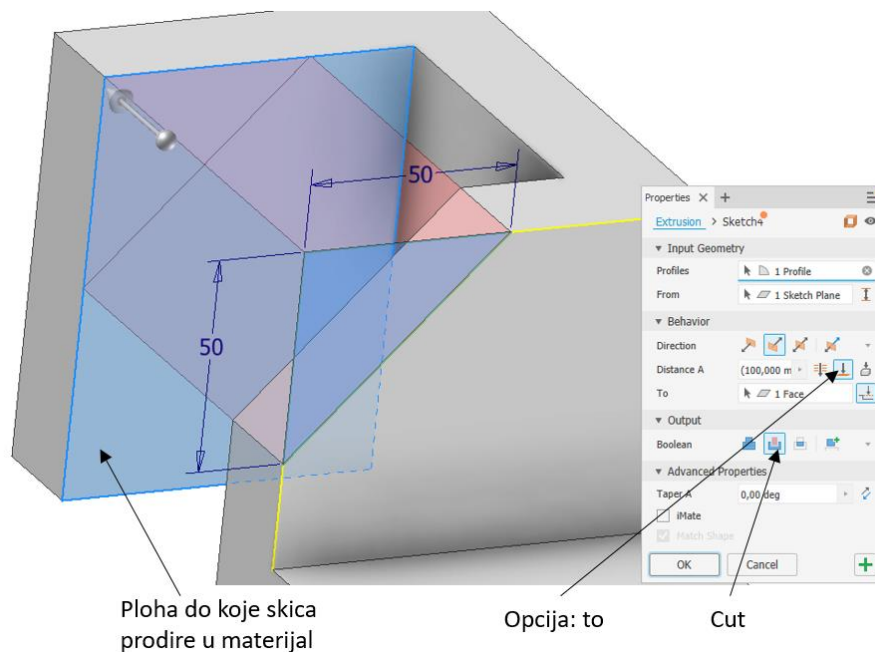
Slika 78 - Project Geometry

Pomoću naredbe *Coincidence* stranice trokuta se postave tako da leže na projiciranim linijama (točka na liniju). Poslije pozicioniranja trokut je dimenzioniran te se izlazi iz modula *Sketch* (*Finish Sketch*). Ravninu skice je moguće zakretati tako da se dobije uvid u smještaj skice na modelu pomoću *Ctrl* + lijeva tipka miša (Slika 79).



Slika 79 - Pozicioniranje trokuta na plovu

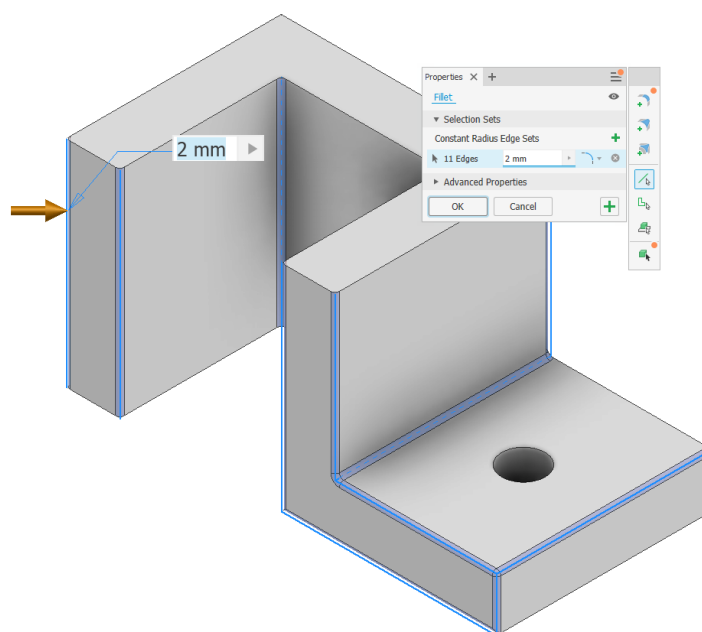
Naredbom *Extrude* može se provoditi i oduzimanje materijala sa skice (Slika 80). Da bi se provelo oduzimanje materijala potrebno je u izborniku odabrati opciju *Boolean - Cut*. Dubina prodiranja skice u materijal se može odrediti upisivanjem vrijednosti (*Distance A*) ili odabrati do koje se plohe oduzima materijal. Odabir plohe se vrši tako da se kliče na ikonu *To* te se zatim naznači do koje se plohe želi prodirati u materijal.



Slika 80 - Opcija Cut

4.4. Chamfer i fillet

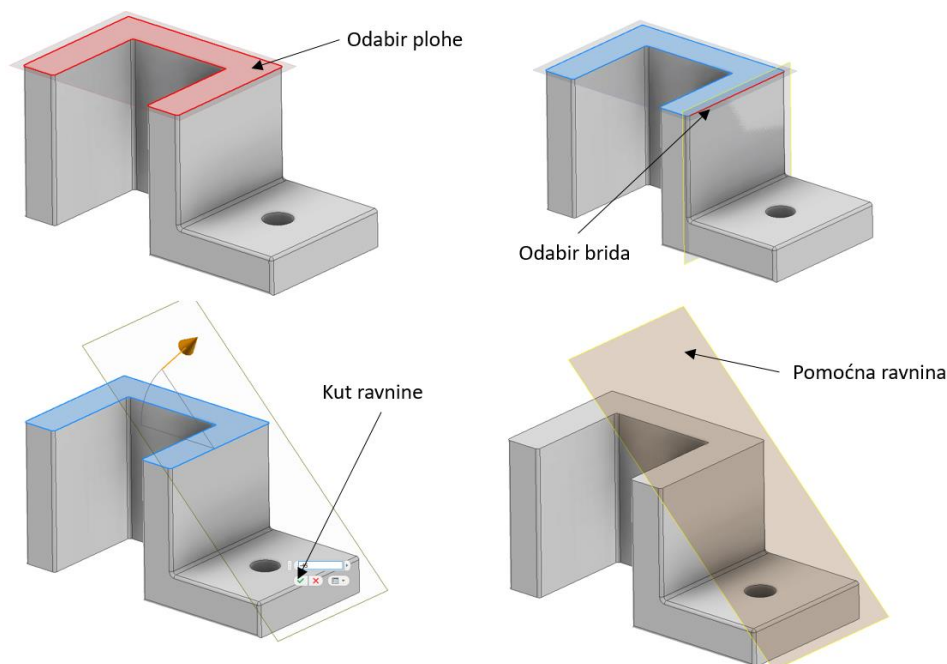
Naredbom *Fillet* i *Chamfer* dodaju se skošenja i zaobljenja na bridove modela (Slika 81).



Slika 81 - Dodavanje zaobljenja na bridove modela

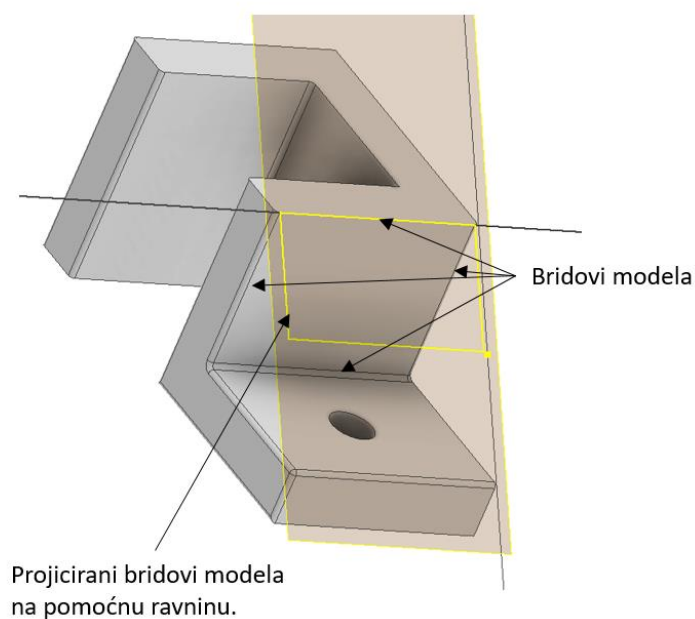
4.5. Pomoćne ravnine

Modeliranje provrta pod kutom na neku plohu koja je paralelna s glavnim ravninama zahtjeva pomoćnu ravninu (Slika 82). Dodavanje pomoćnih ravnina vrši se na izborniku *Work Features* → *Plane*. Potrebno je odabrati plohu i brid kroz koju pomoćna ravnina prolazi. Unosom vrijednosti kuta definira se nagib pomoćne ravnine koja prolazi bridom u odnosu na odabranu plohu.



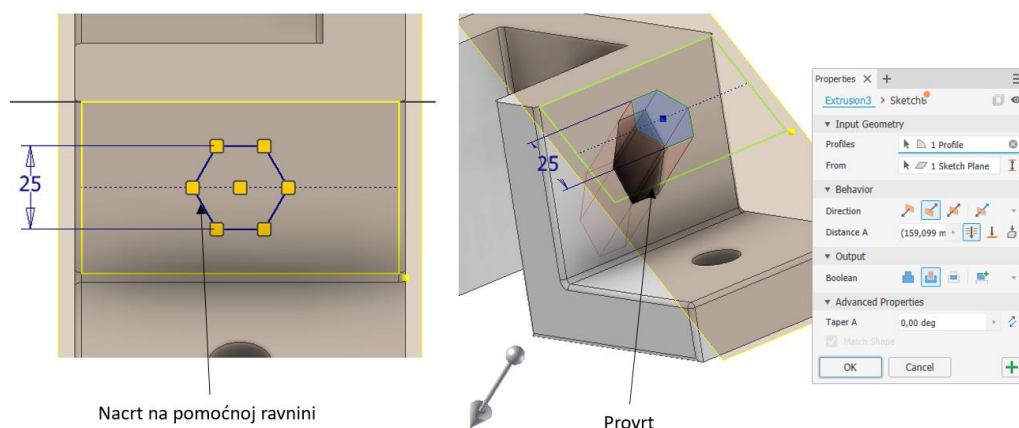
Slika 82 - Pomoćna ravnina

Da bi se pozicionirao provrt potrebno je pomoću opcije *Project Geometry* projicirati bridove modela na pomoćnu ravninu.



Slika 83 - Projiciranje geometrije modela na ravninu

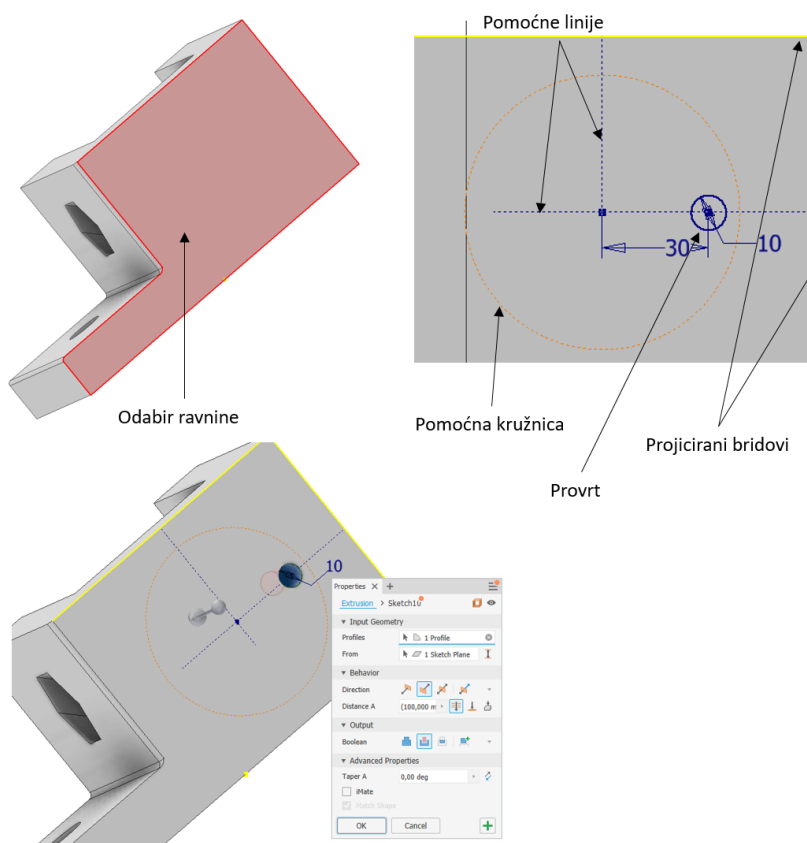
Nacrt (*Sketch*) na pomoćnoj ravni ekstrudira se naredbom *Extrude* (Slika 84). Za pozicioniranje nacrt koriste se projekcije na ravni i pomoćna linija (*Construction*).



Slika 84 - Ekstrudiranje nacrt

4.6. Kružni uzorak

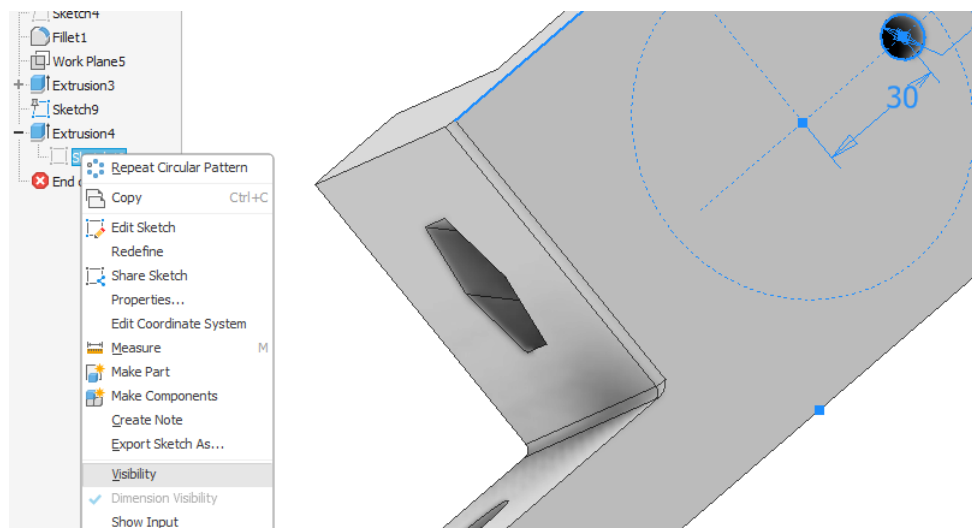
Izrada kružnog uzorka započinje izradom provrt na odabranoj plohi kojeg se želi umnožiti (Slika 85). Za pozicioniranje značajke koristi se projekcija postojećih bridova modela (žute linije). Da bi se dobilo središte pomoćne kružnice koja će služiti za izradu kružnog uzorka koriste se pomoćne linije. Pomoćne linije polaze od središta projiciranog brida (*Midpoint*).



Slika 85 – Provrt

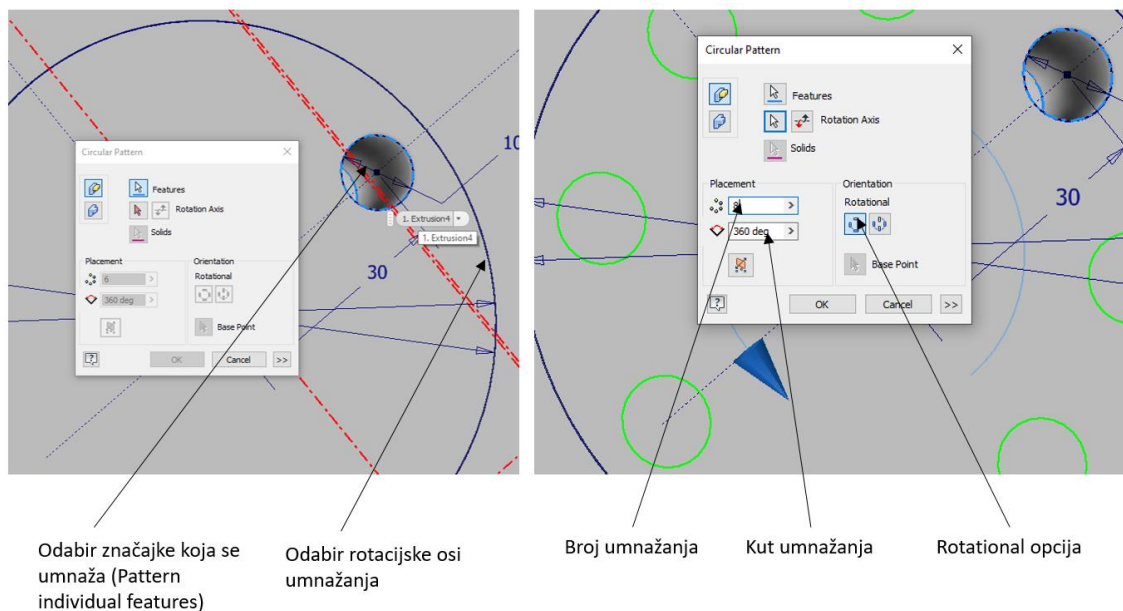
3D Modeliranje: Autodesk Inventor

Slijedi umnožavanje po kružnom uzorku (*Circular Pattern*) odabrane značajke. Da bi se vidjela pomoćna kružnica koja služi za definiranje kružnog uzorka potrebno je uključiti vidljivost (*Visibility*) skice na modelu (Slika 86). Nacrt skice je potrebno pronaći u stablo. Skica je konzumirana naredbom *Extrusion4* koja je služila za izradu provrta te se skica (*Sketch10*) nalazi hijerarhijski ispod ove naredbe. Desnim klikom miša se otvaraju dostupne opcije, te je potrebno uključiti vidljivost (*Visibility*).



Slika 86 - Vidljivost skice na modelu

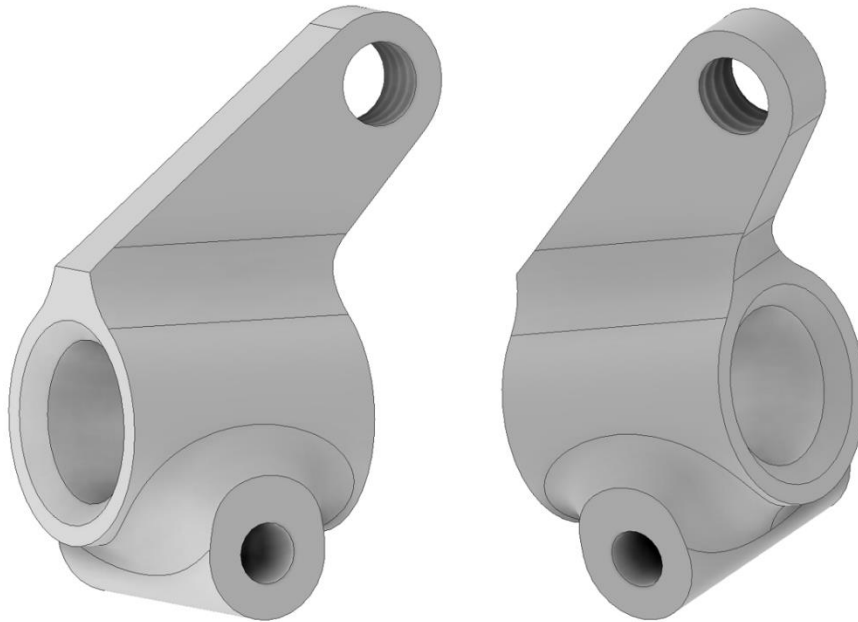
Kružni uzorak se modelira na već poznati način.



Slika 87 - Kružni uzorak

5. Izrada 3D modela: primjer 2.

U ovome poglavlju biti će prikazano modeliranje strojnog dijela. Riječ je o zglobu upravljačkog sklopa ovjesa automobila (Slika 88).



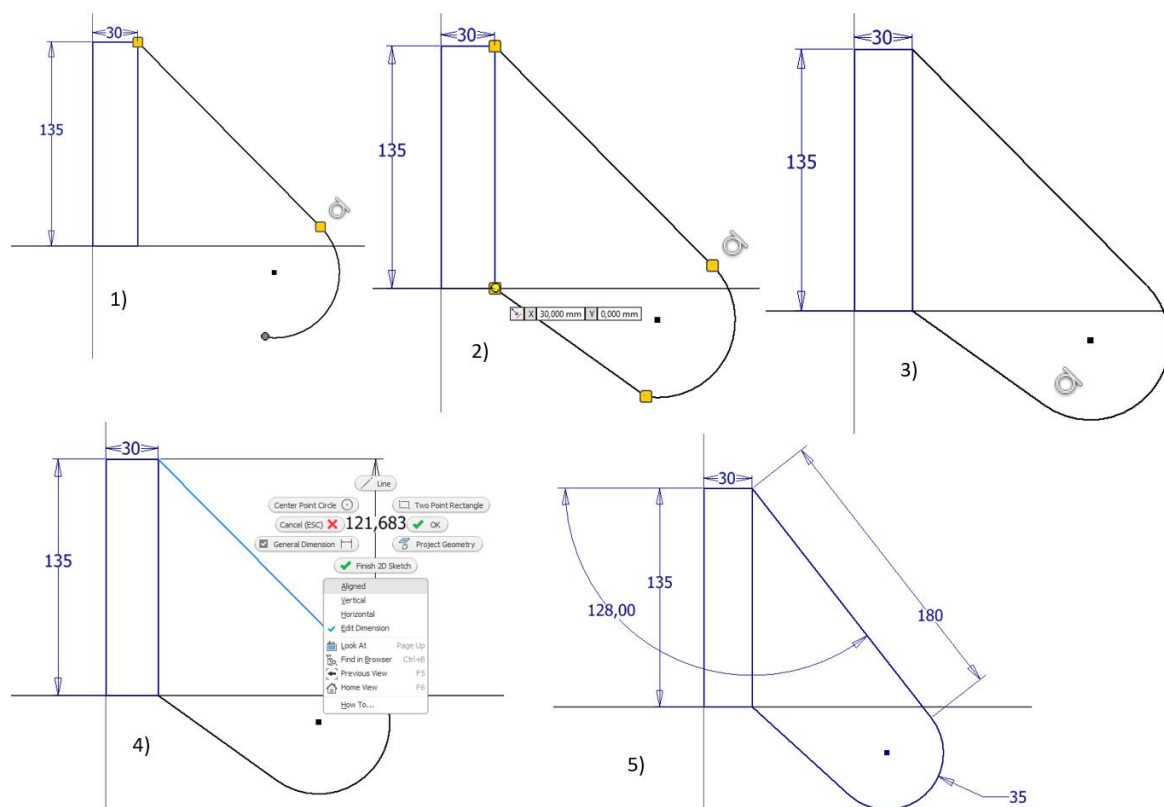
Slika 88 - Upravljački zglob

5.1. Modeliranje

Proces modeliranja strojnog dijela započinje izradom prve skice u XY ravnini *Part* predloška (Slika 89).

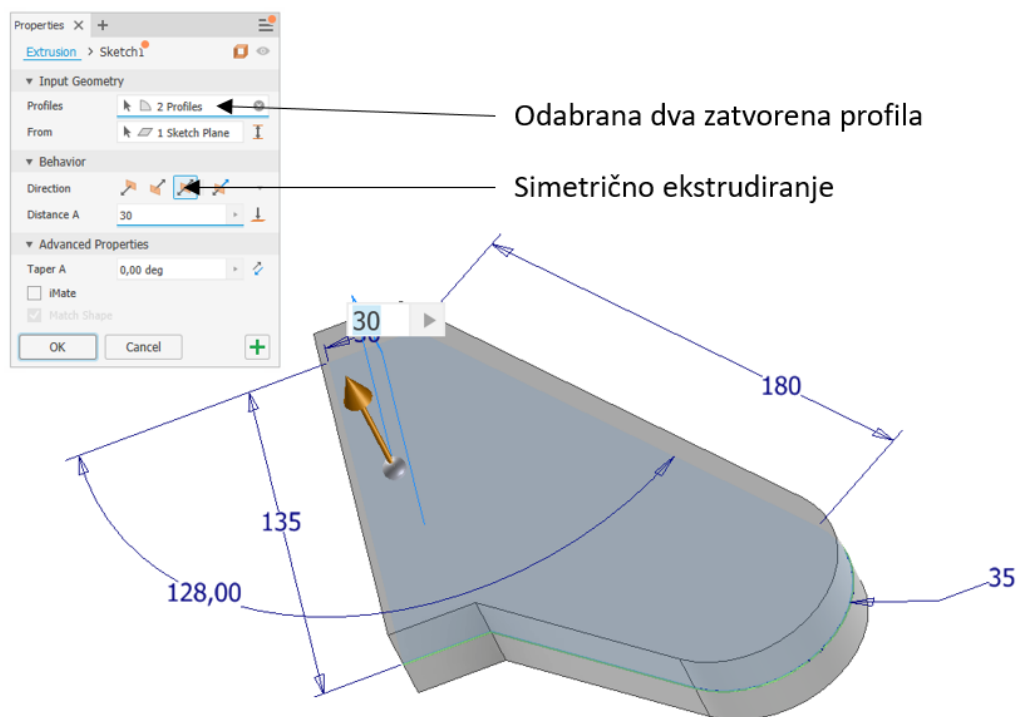
Proces nastajanja slike može se prikazati kroz slijedeće korake:

1. Skica se sastoji od dva zatvorena profila. Prvi zatvoreni profil je pravokutnik. Drugi profil se sastoji od dvije linije i kružnog luka. Početna i krajnja točka profila nalaze se na vrhovima pravokutnika. Kada se podudaraju karakteristične točke pozicioniranjem miša (krajnja točka, srednja točka, sjecište linija...) točka na kursoru miša promijeni boju iz žute u zelenu.
2. Kružni luk je najjednostavnije nacrtati tako da se na završnoj točki linije klikne na lijevu tipku miša + *Ctrl*. Tako se dobije tangenti prijelaz iz linije u kružni luk.
3. Ako se iz kružnog luka direktno nacrtat linija tangenti prijelaz se može dobiti odabirom *Constraint* → *Tangent*.
4. Dimenzioniranje linija horizontalno, vertikalno i poravnato (*Aligned*). Izmjena načina dimenzioniranja se vrši nakon odabira linije koja se dimenzionira klikom na desnu tipku miša i odabirom izbornika.
5. Dimenzioniranje je završeno i skica je u potpunosti definirana (*Fully Constrained*).



Slika 89 - Skiciranje

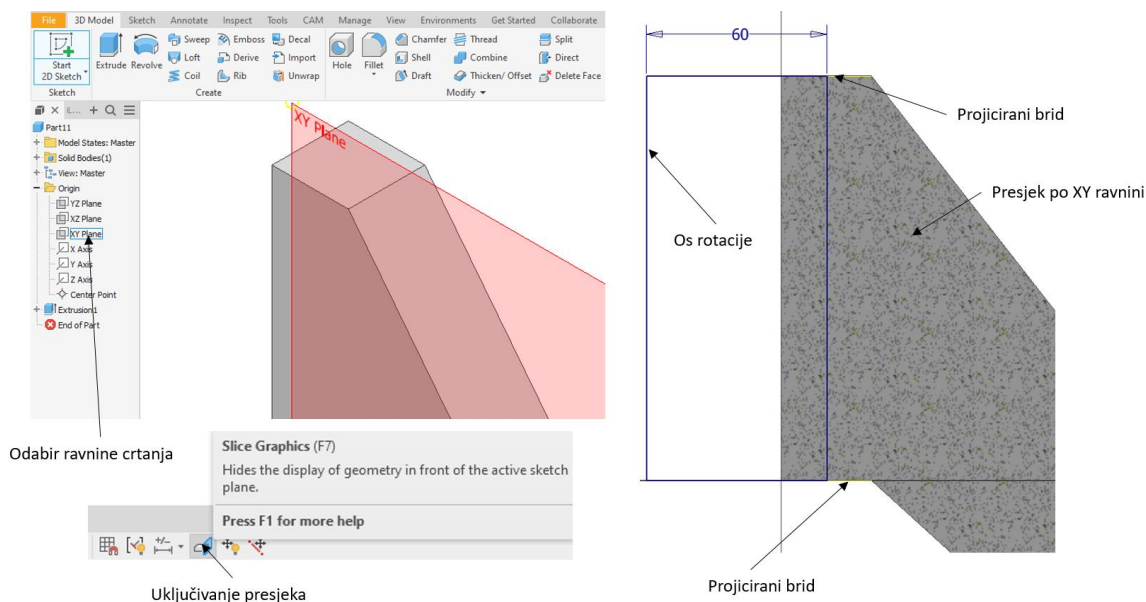
Skica se ekstrudira za 30 mm simetrično (Slika 90). Simetrično ekstrudiranje znači da će skica biti ekstrudirana s obje strane XY ravnine za 15 mm. Također je potrebno odabrati oba zatvorena profila za ekstrudiranje.



Slika 90 - Ekstrudiranje profila

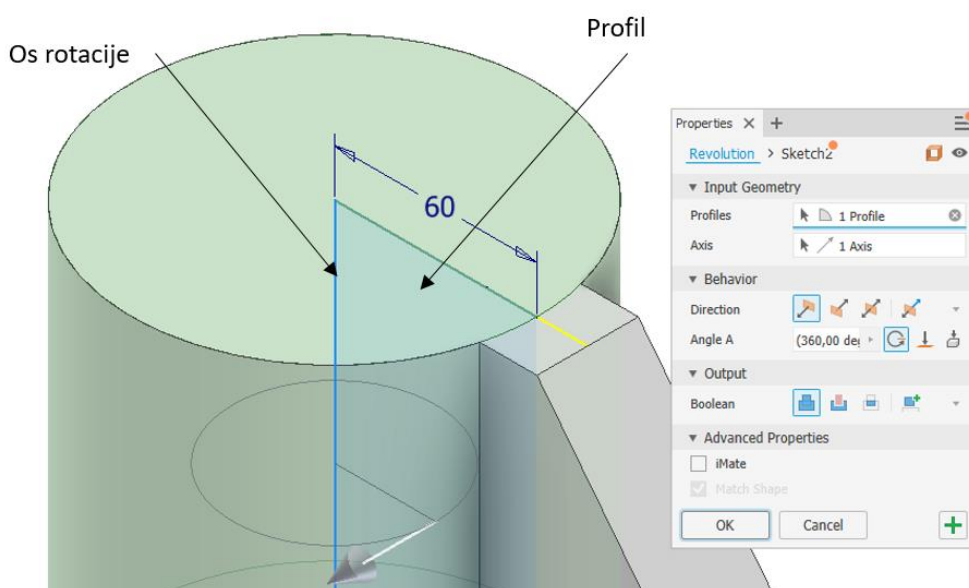
3D Modeliranje: Autodesk Inventor

Slijedi izrada cilindričnog dijela koji se dobije pomoću skice i naredbe *Revolve*. Os rotacije se nalazi u ravnini *XY*. Ravnina crtanja se odabire u stablu poslije odabira naredbe *Sketch* (Slika 91). Ravnina crtanja se nalazi točno u sredini prethodno ekstrudiranog dijela pa da se olakša izrada skice moguće je uključiti presjek (*Slice Graphics* ili *F7*). Aktiviranjem presjeka tako prethodno nacrtani dio biva presječen po ravnini crtanja.



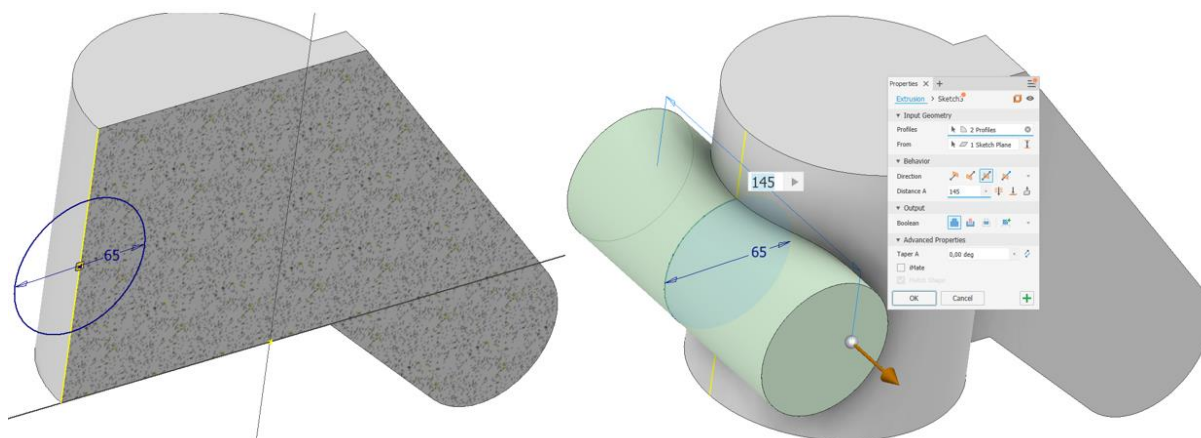
Slika 91 - Odabir ravnine i uključivanje presjeka

Skica pravokutnika je definirana pomoću projiciranih bridova prethodno ekstrudiranog dijela (žute linije). Stranice pravokutnika su postavljene na središnje točke projiciranih linija. Model se generira okretanjem profila oko odabrane osi rotacije za 360° (Slika 92).



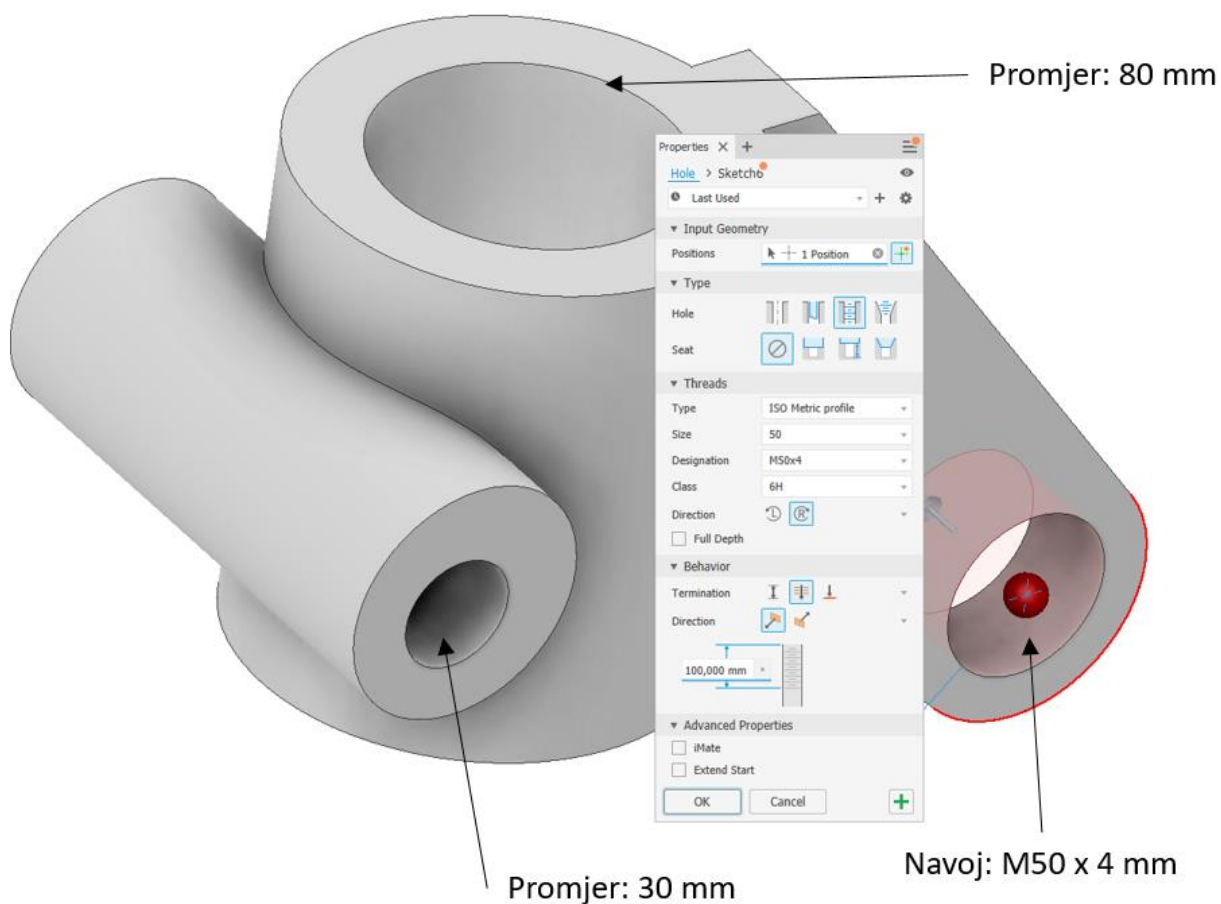
Slika 92 - Naredba Revolve

Slijedeći cilindar se modelira na isti način u ravni XY. Model se pozicionira na središnjoj točki projicirane linije. Kružnica se ekstrudira u valjak simetrično za 145 mm (Slika 93).



Slika 93 - Naredba Extrude

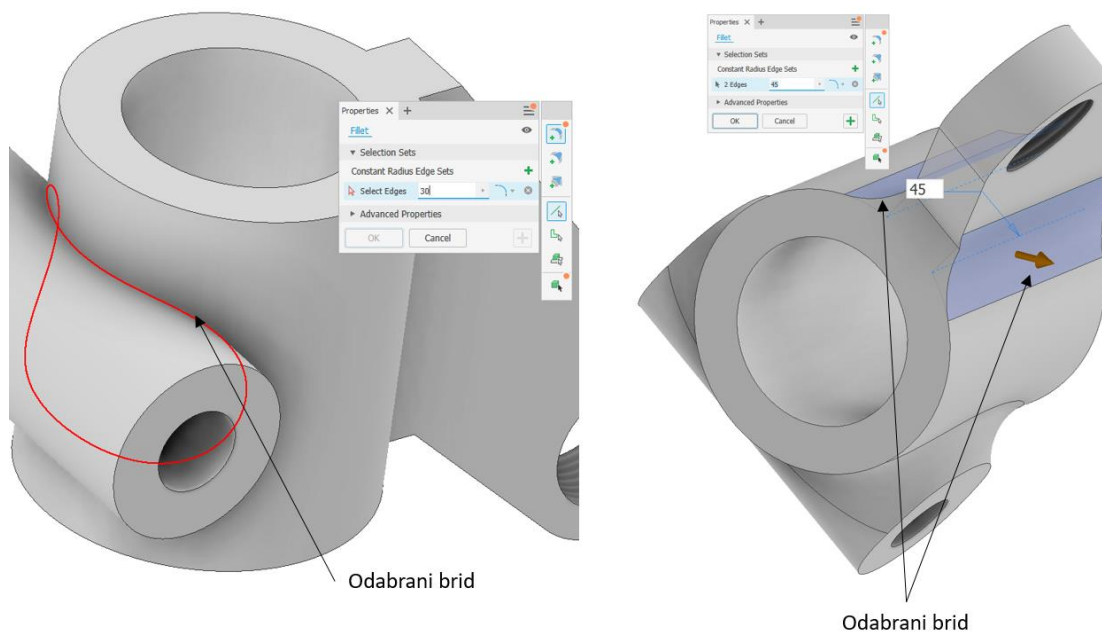
Tri provrta izrađuju se direktno na tijelu modela pomoću naredbe *Hole*. Pozicioniranje provrta se obavlja tako da se klikne na postojeću kružnicu modela ili kružnog luka. Time novi provrt postaje koncentričan u odnosu na odabranu kružnicu ili luk (Slika 94).



Slika 94 - Modeliranje provrta

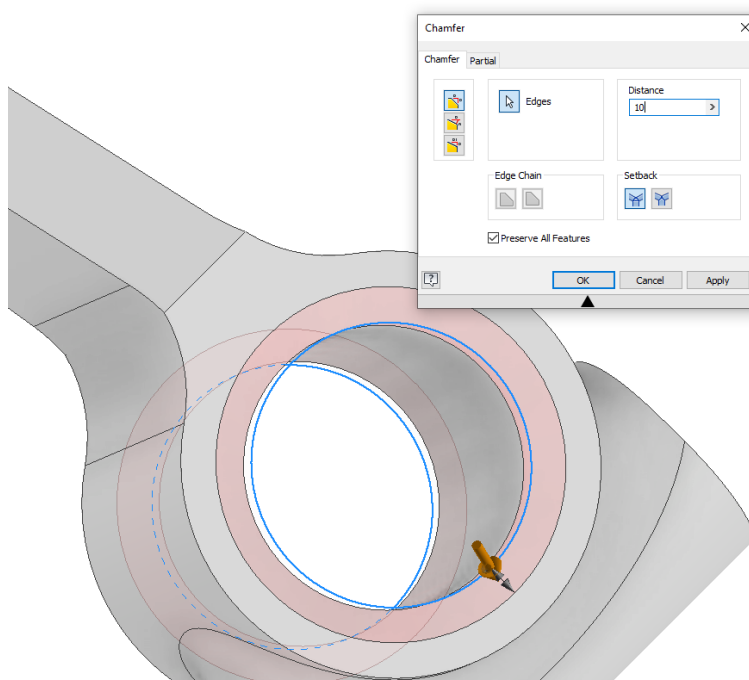
5.2. Fillet i Chamfer

Postepeni prijelazi između različitih geometrija izvode se pomoću naredbe *Fillet* (zaobljenja) i *Chamfer* (skošenja). Kod složenih geometrija odabir brida koji se želi zaobliti obavlja se automatski tako se odaberu svi bridovi koji su tangentno povezani (Slika 95).



Slika 95 - Naredba Fillet

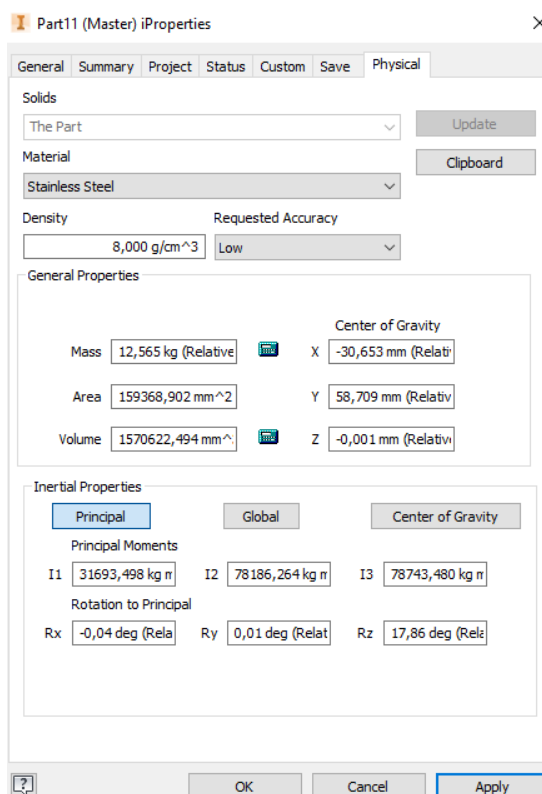
Radi jednostavnije montaže osovine u provrt dodaju se skošenja. Iznos skošenja je 10 mm sa obje strane iz čega proizlazi standardni kut od 45° (Slika 96).



Slika 96 - Naredba Chamfer

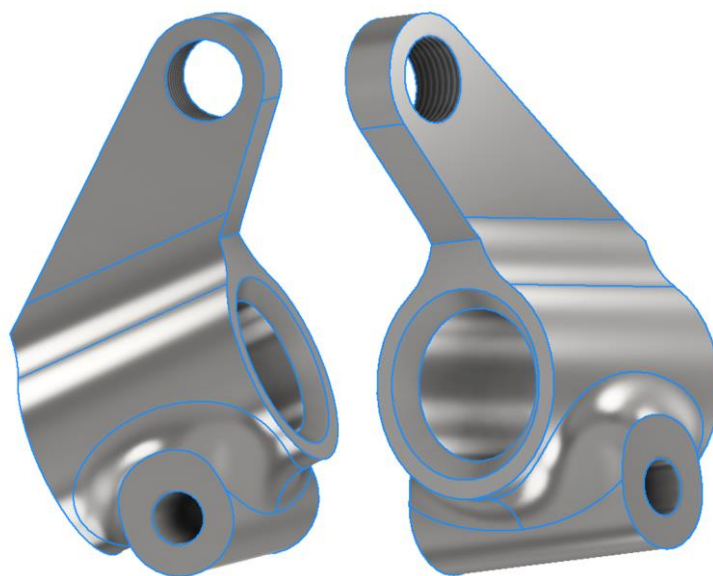
5.3. iProperties

Modelu se mogu pridružiti i fizička svojstva kao što su materijal i stanje površine (boja i tekstura). Odabirom materijala izračunava se masa materijala, pridružuju se svojstva poput modula elastičnosti, računa se i određuje težište modela, površina i volumen (Slika 97). Naredba *iProperties* se aktivira: *File*→*iProperties*→*Physical*.



Slika 97 - i Properties

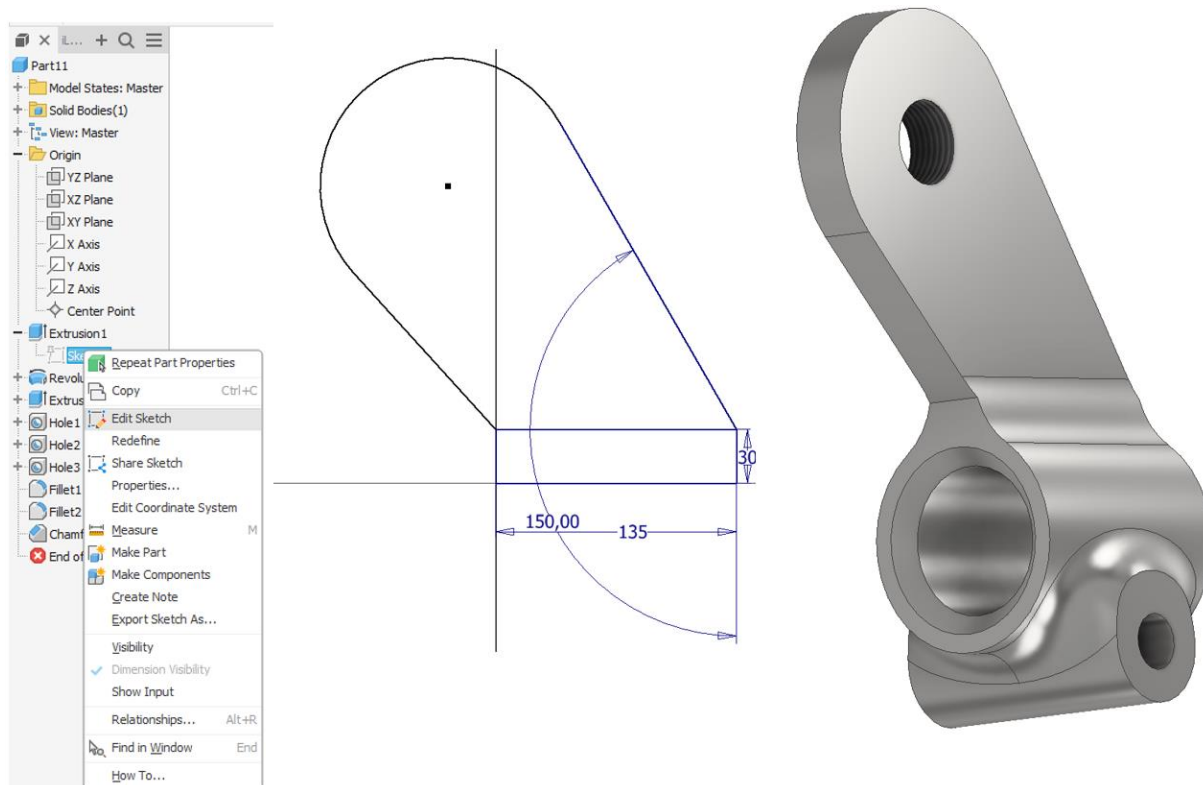
Konačni izgled modela može se vidjeti na slijedećoj slici (Slika 98).



Slika 98 - Završni izgled modela

5.4. Editiranje modela

Izgled modela je moguće izmijeniti tako da se odabere naredba koja je korištena za izradu pojedine značajke. Naredbe su kronološki poredane u stablu prema redu nastajanja. Na primjer, ako se želi promijeniti izgled modela koji je nastao iz skice *Sketch1* potrebno je pronaći skicu u stablu. Kako je skica upotrijebljena za ekstrudiranje ona će se nalaziti unutar naredbe *Extrusion1*. Editiranje značajke se vrši dvoklikom ili desnim klikom miša na značajku i odabirom *Edit Sketch*. Unutar nacрта moguće je mijenjati izgled promjenom dimenzija kota (Slika 99) ili metodom *Drag and Drop*.

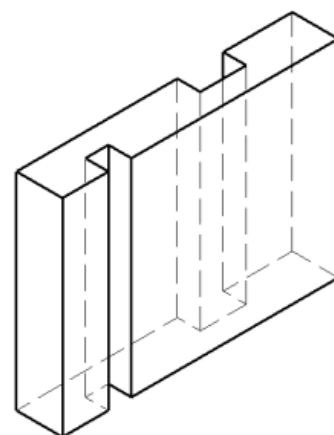
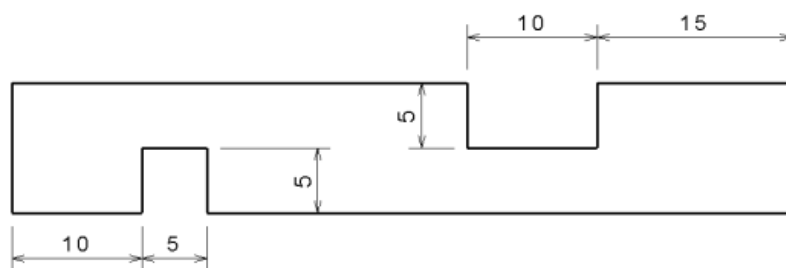
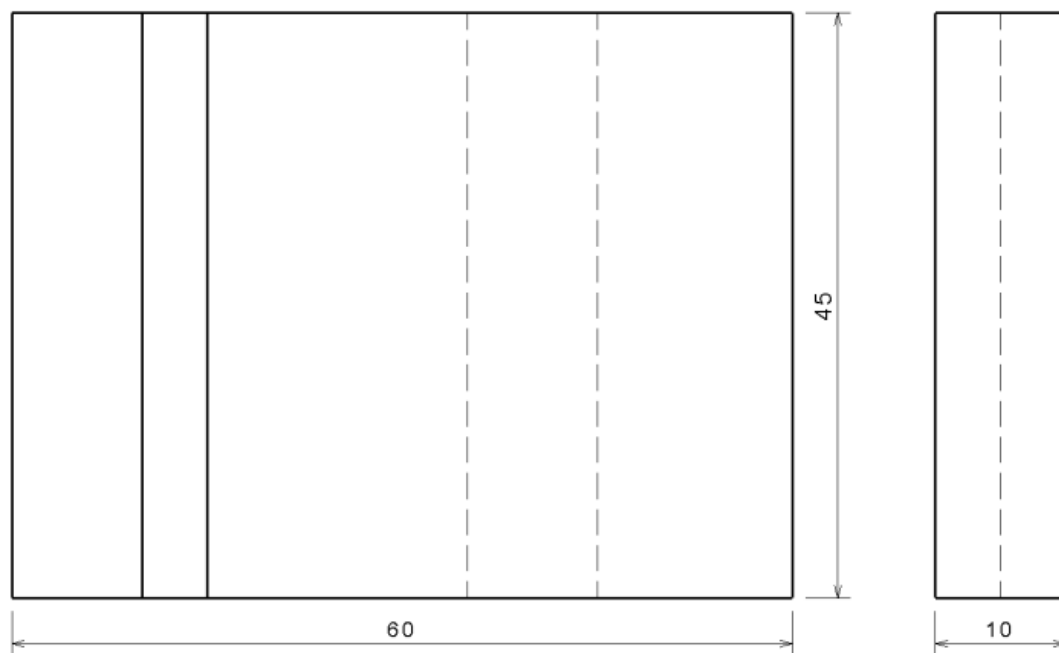


Slika 99 - Editiranje modela

6. Zadatci za vježbu

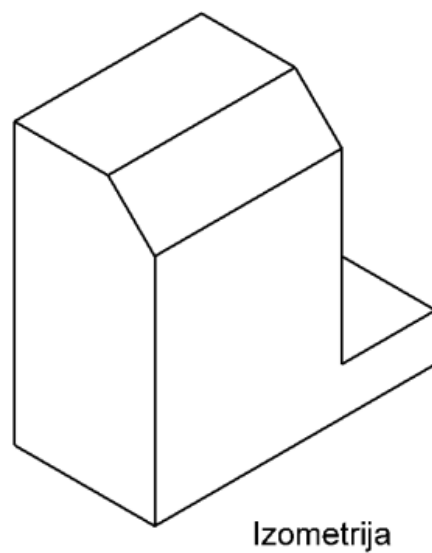
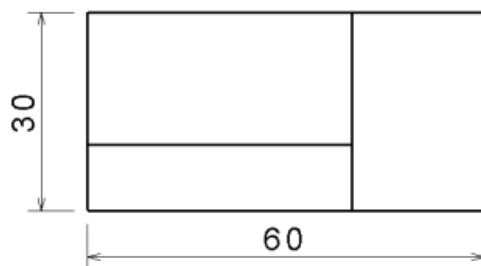
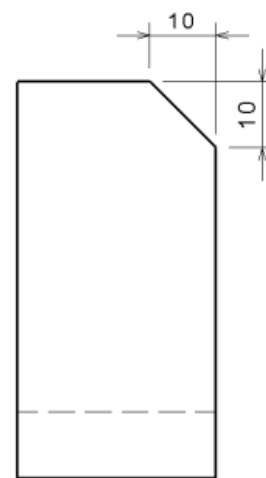
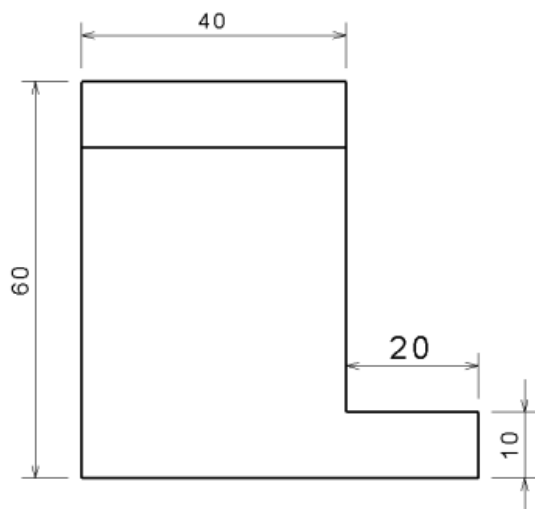
Nacrtati prostorni model prikazan na slici u modulu «Part Design» prema nacrtu u prilogu. Materijal modela je čelik.

Zadatak br. 1



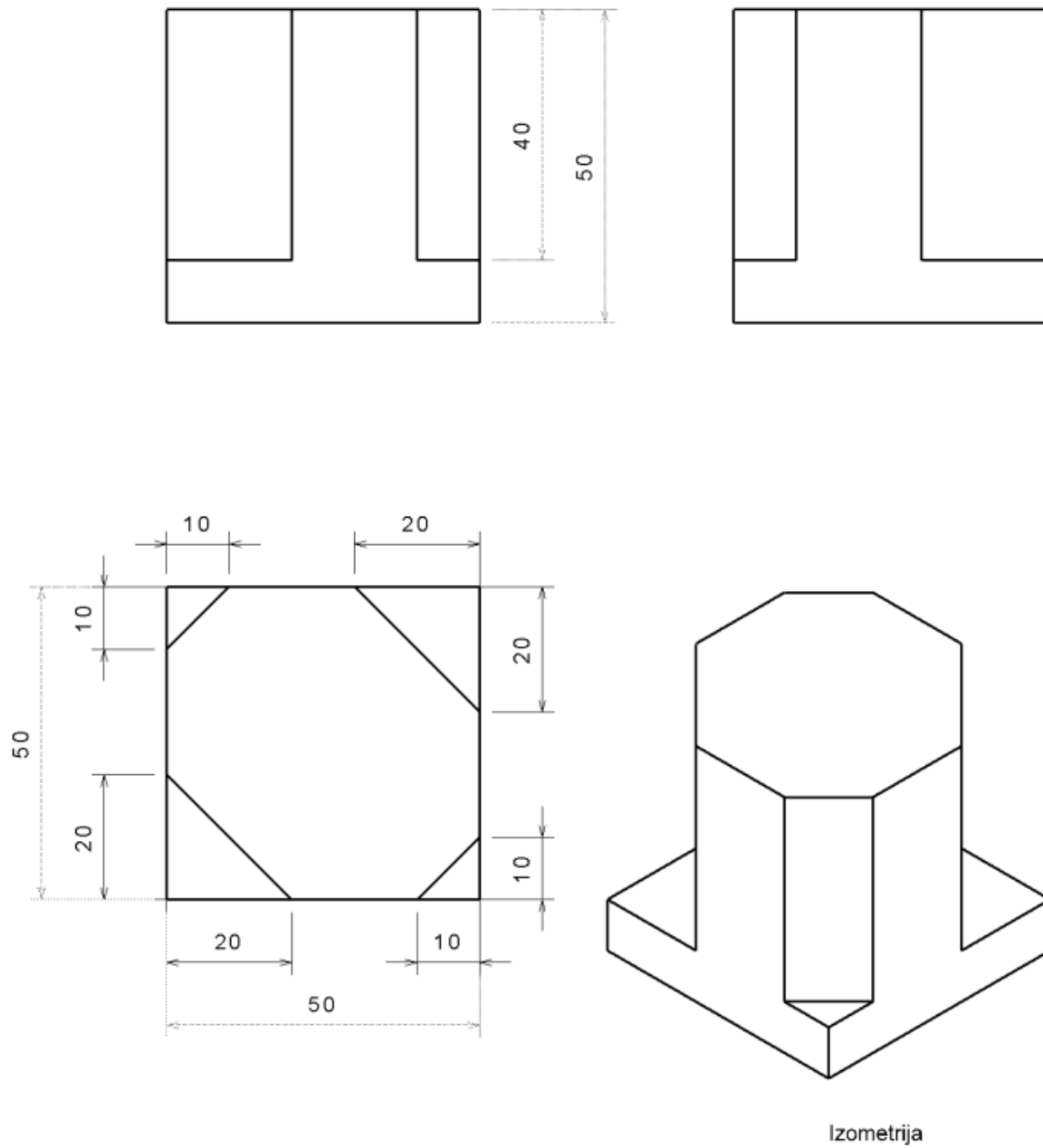
Izometrija

Zadatak br. 2

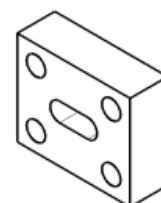
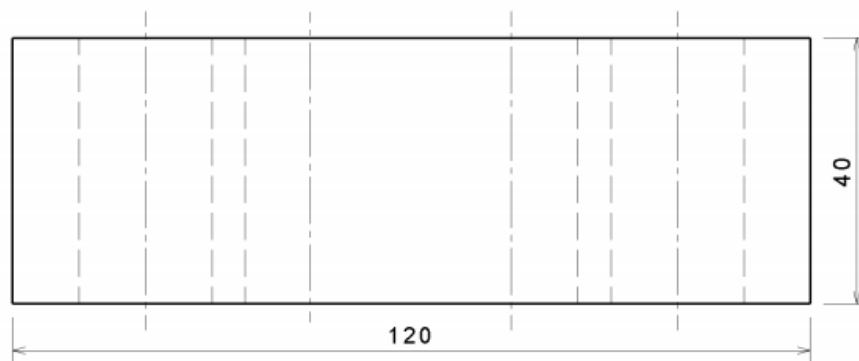
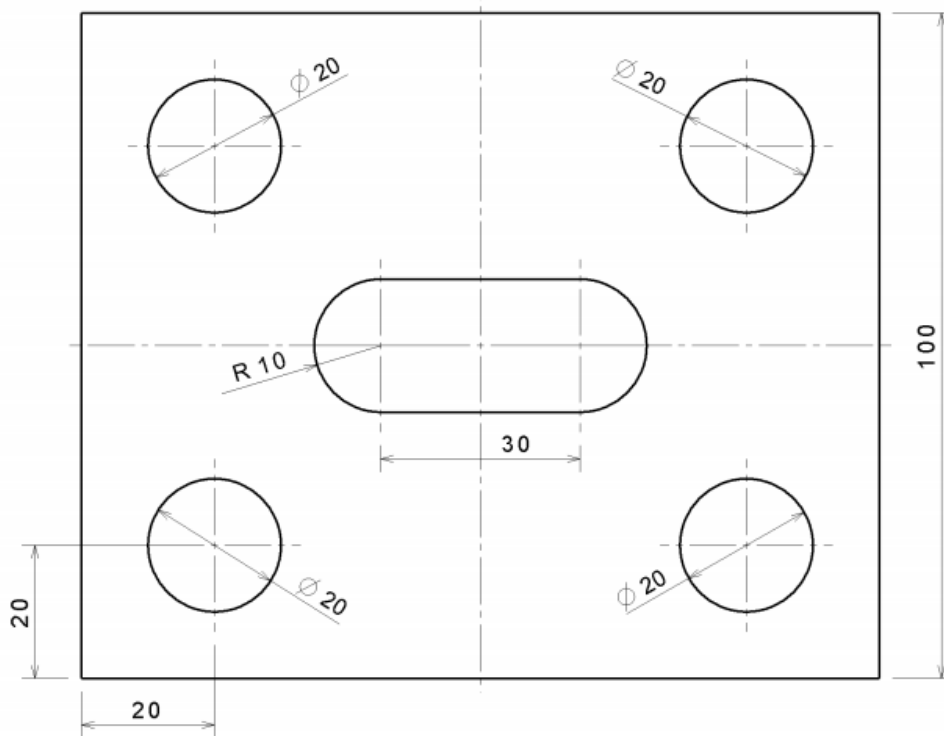


Izometrija

Zadatak br. 3

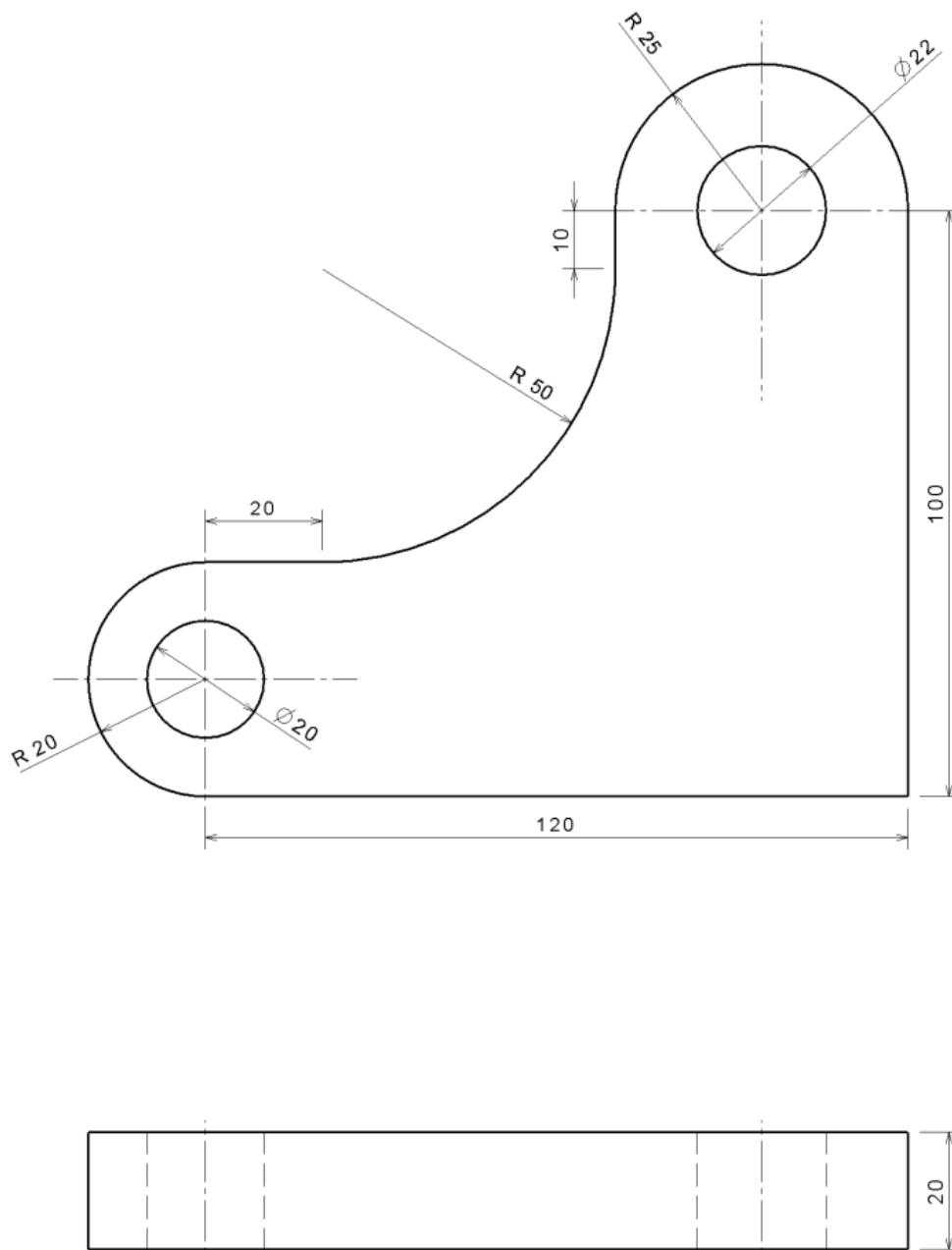


Zadatak br. 4

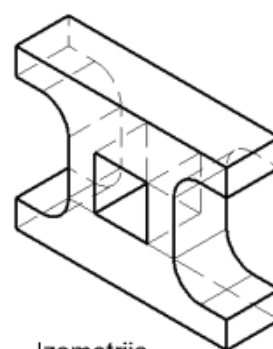
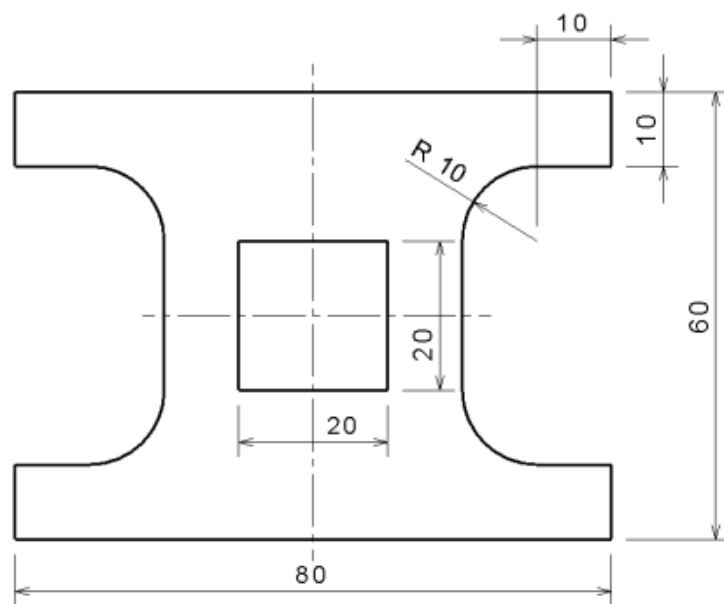


M1:5

Zadatak br. 5

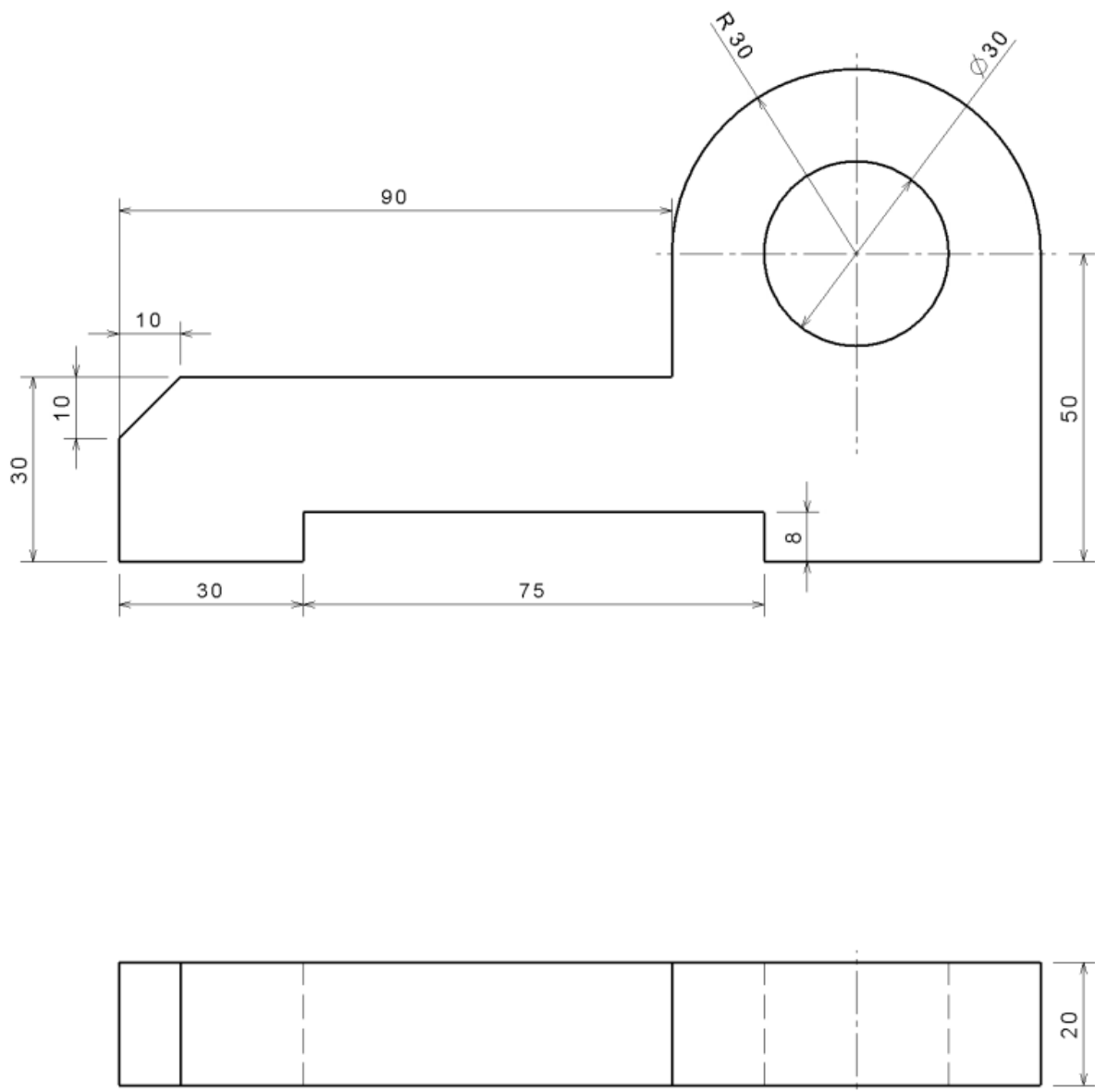


Zadatak br. 6



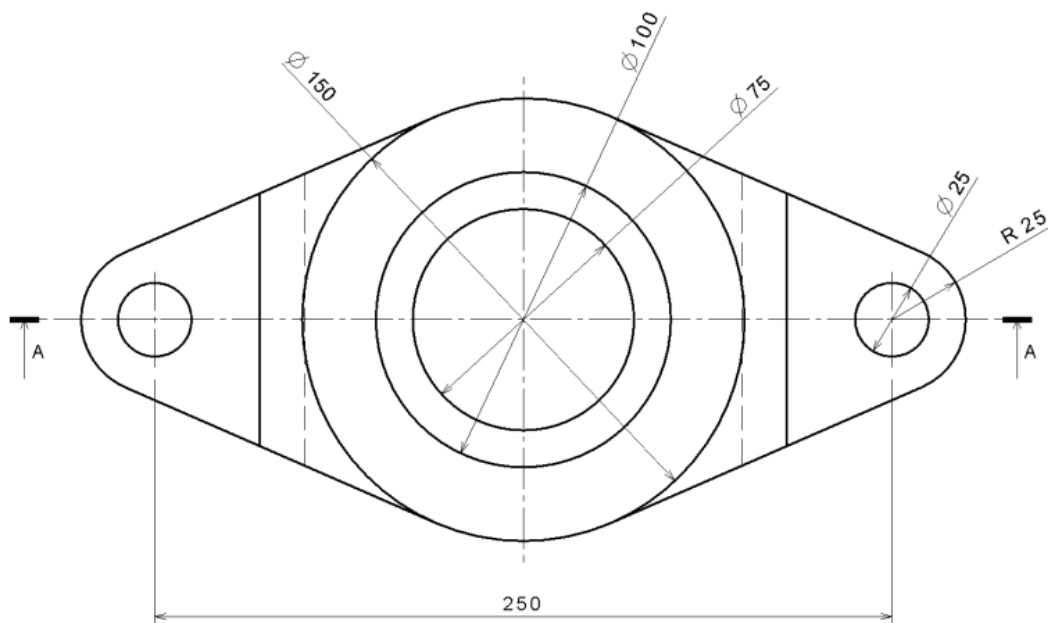
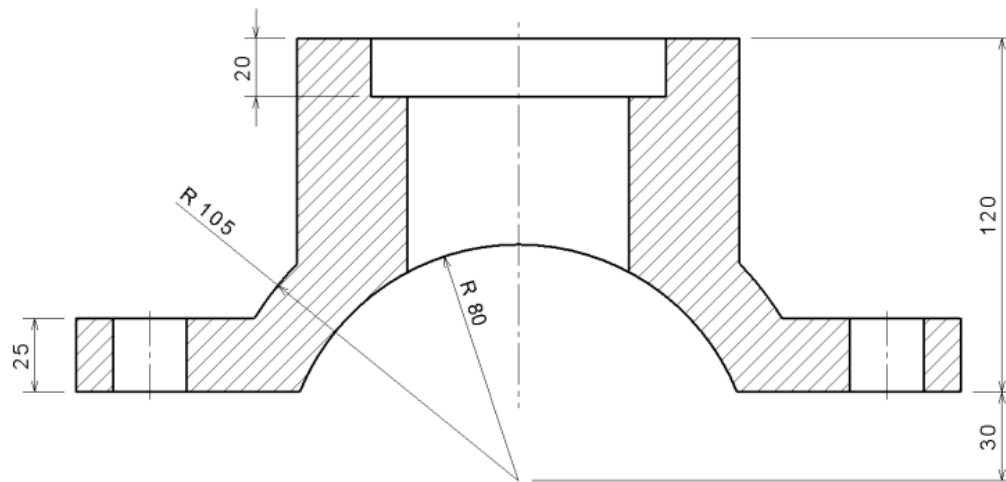
Izometrija
M 1:2

Zadatak br. 7

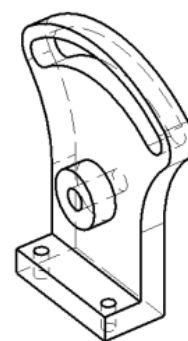
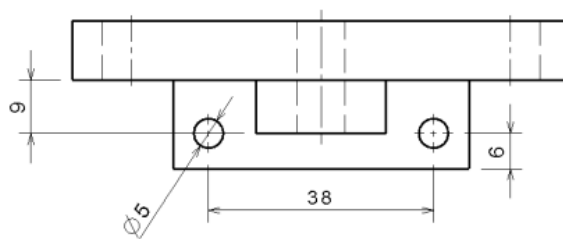
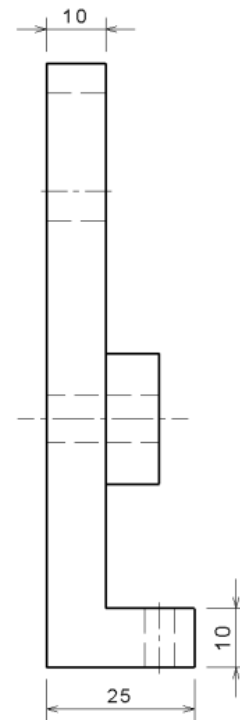
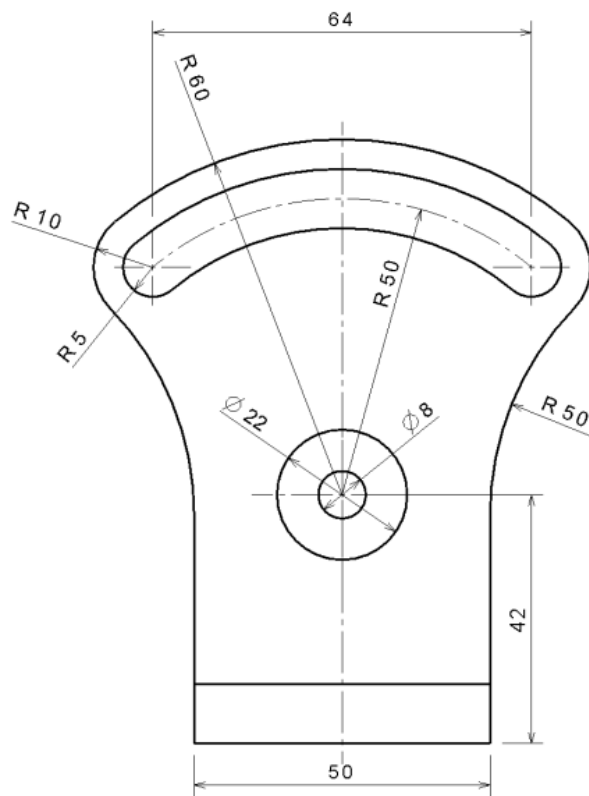


Zadatak br. 8

Presjek A-A

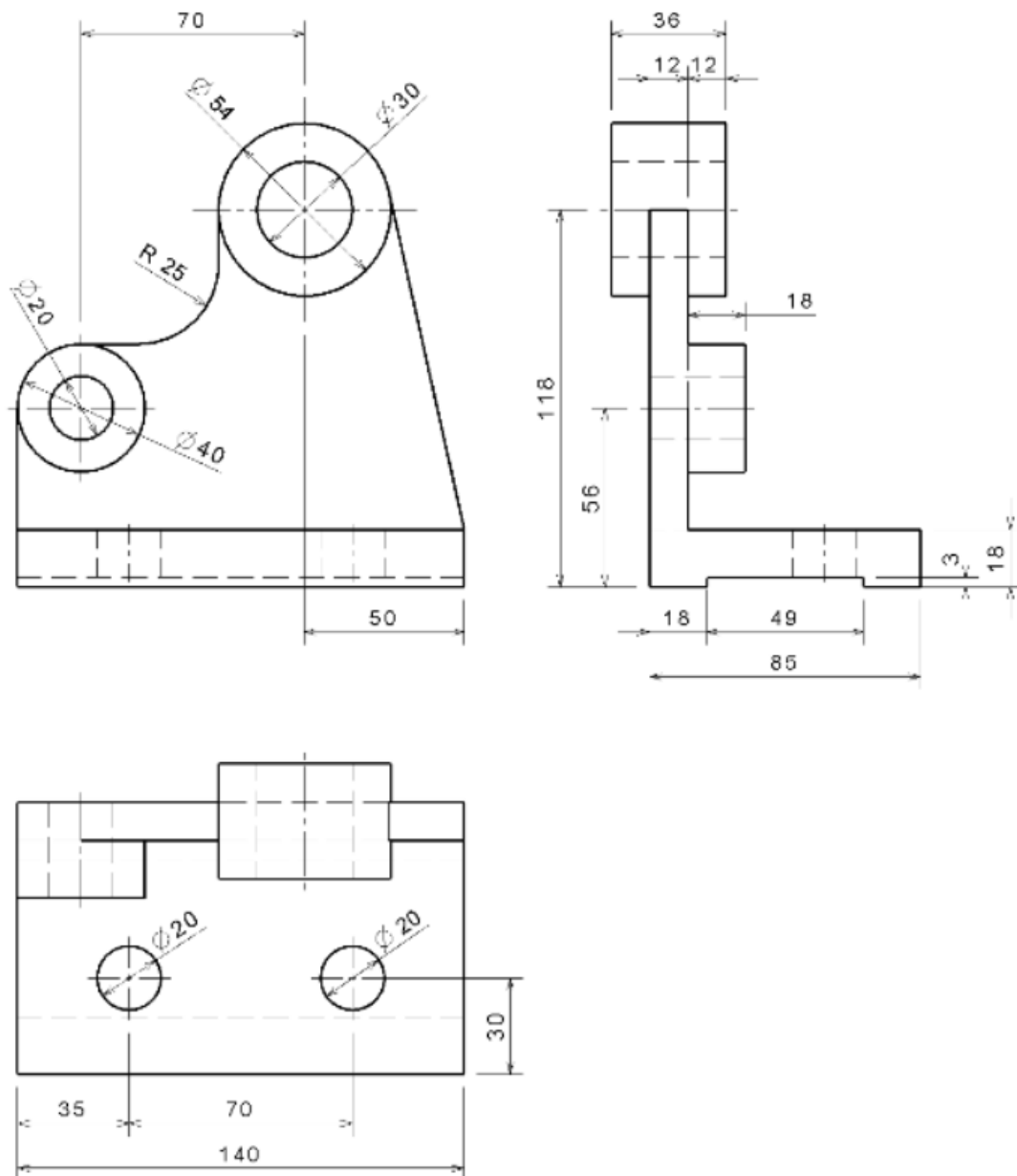


Zadatak br. 9

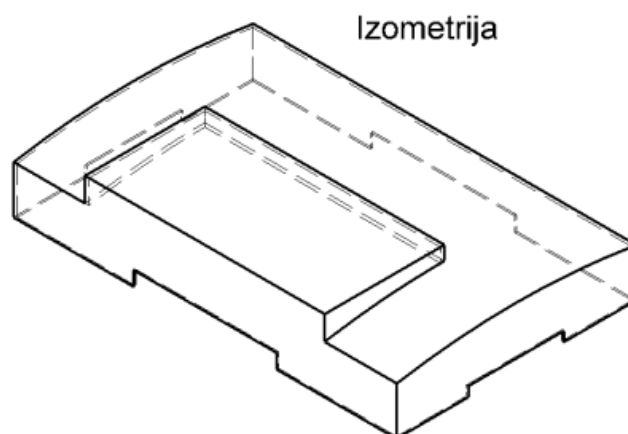
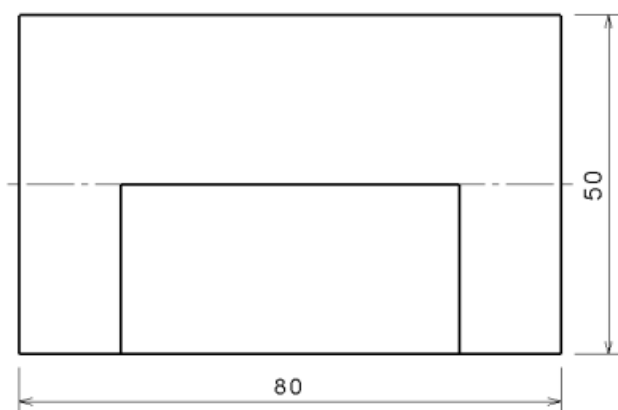
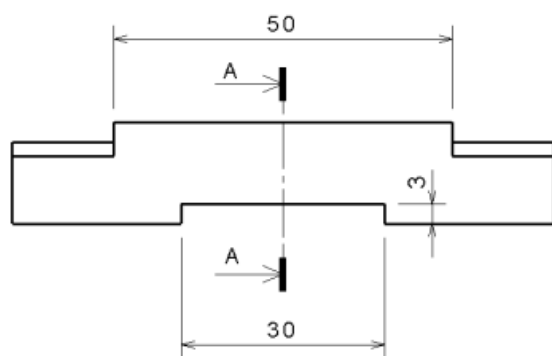


Izometrija

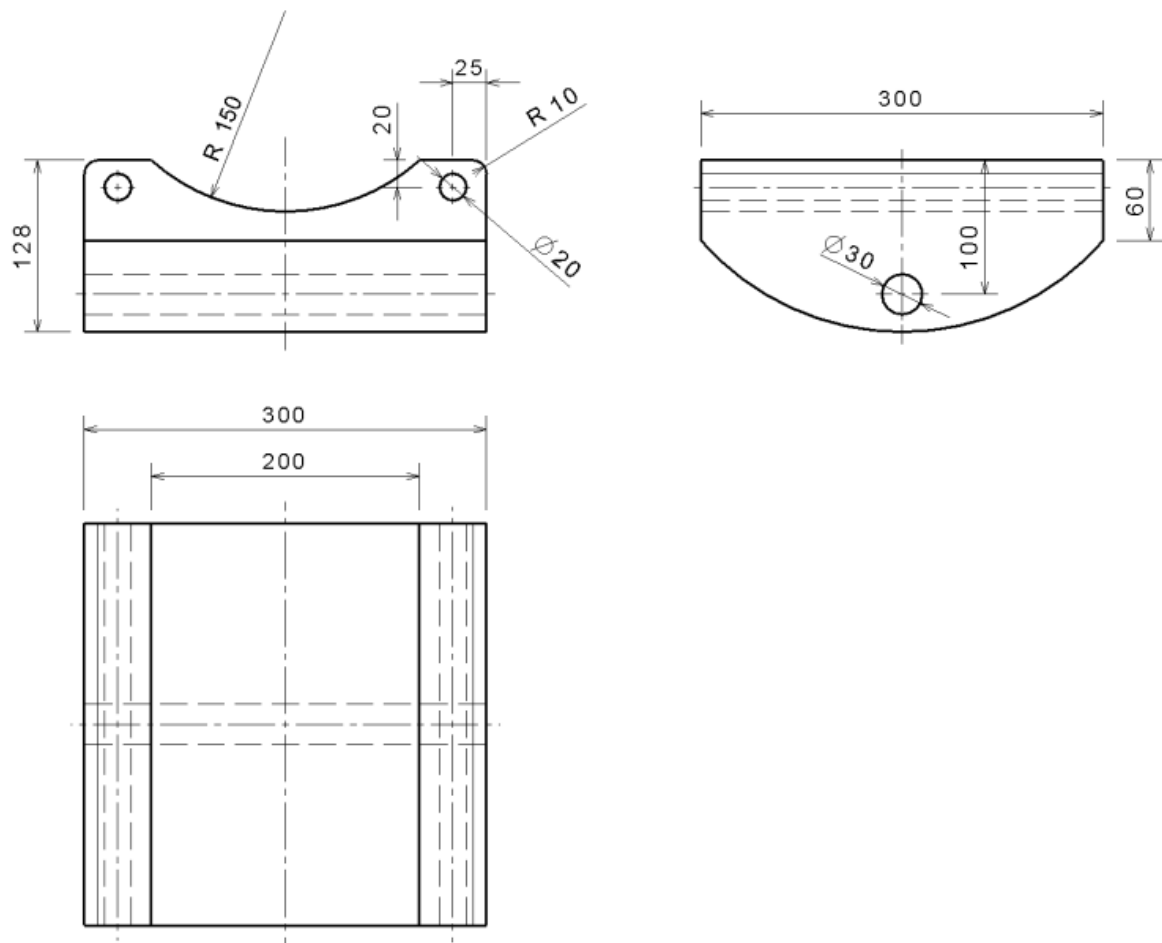
Zadatak br. 10



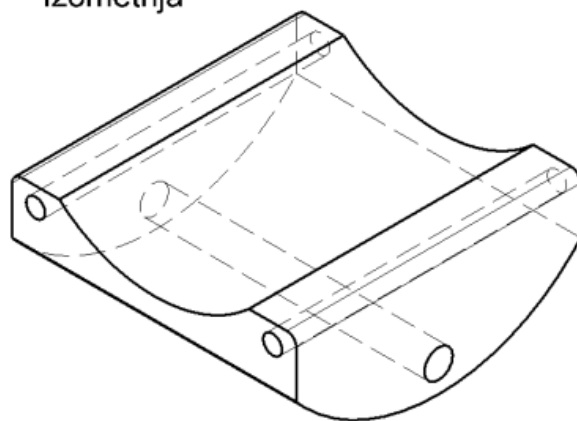
Zadatak br. 11



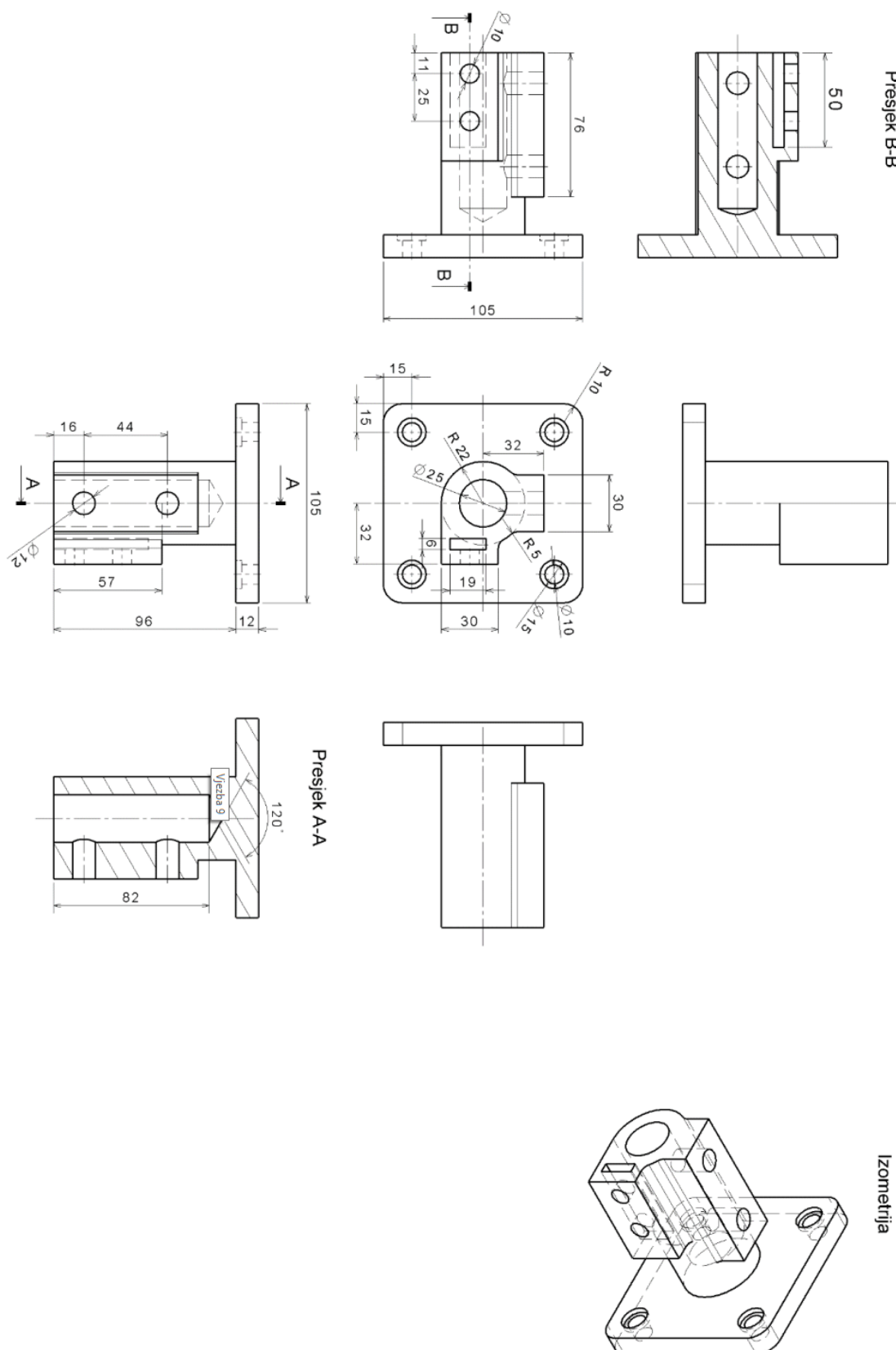
Zadatak br. 12



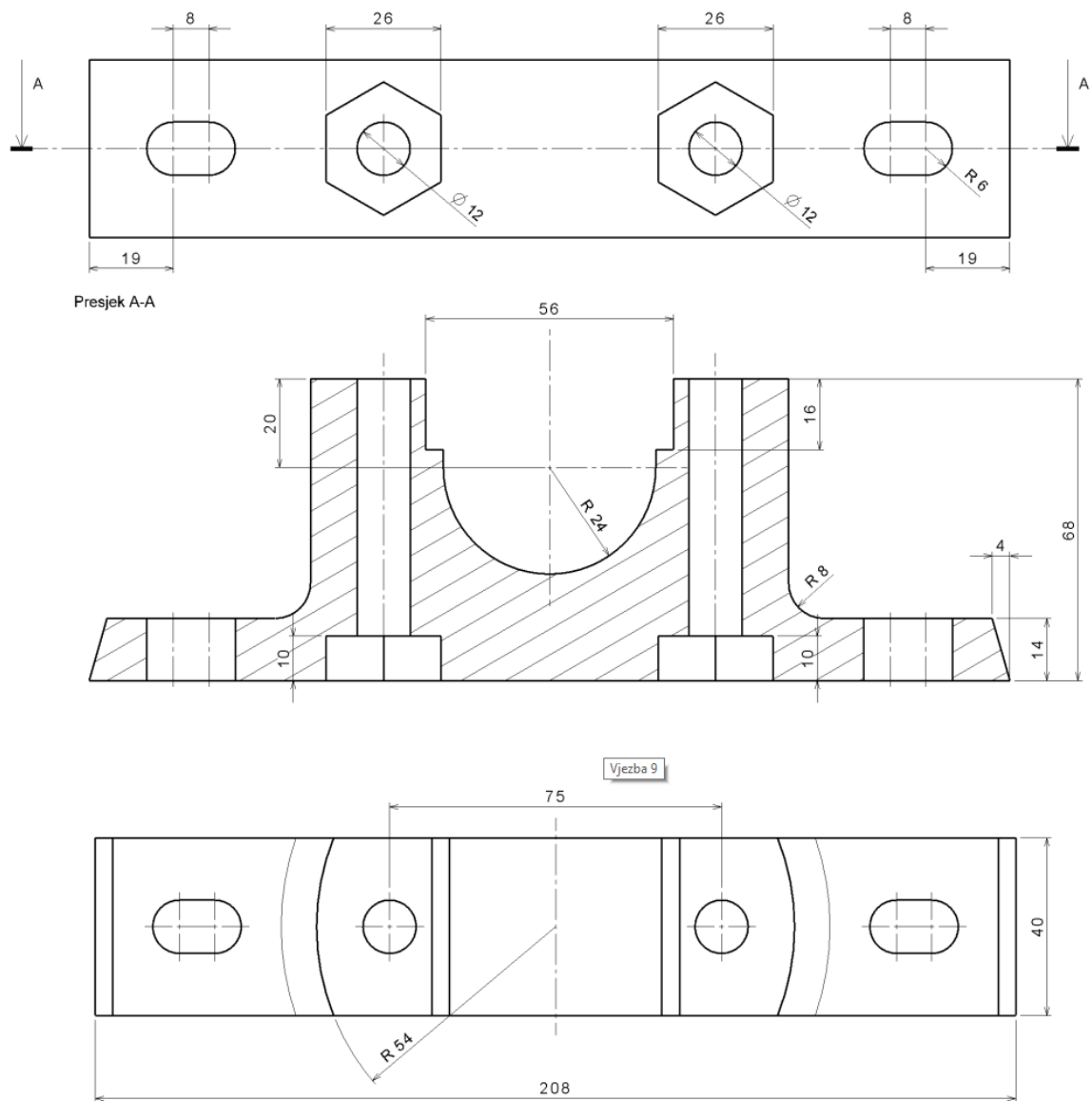
Izometrija



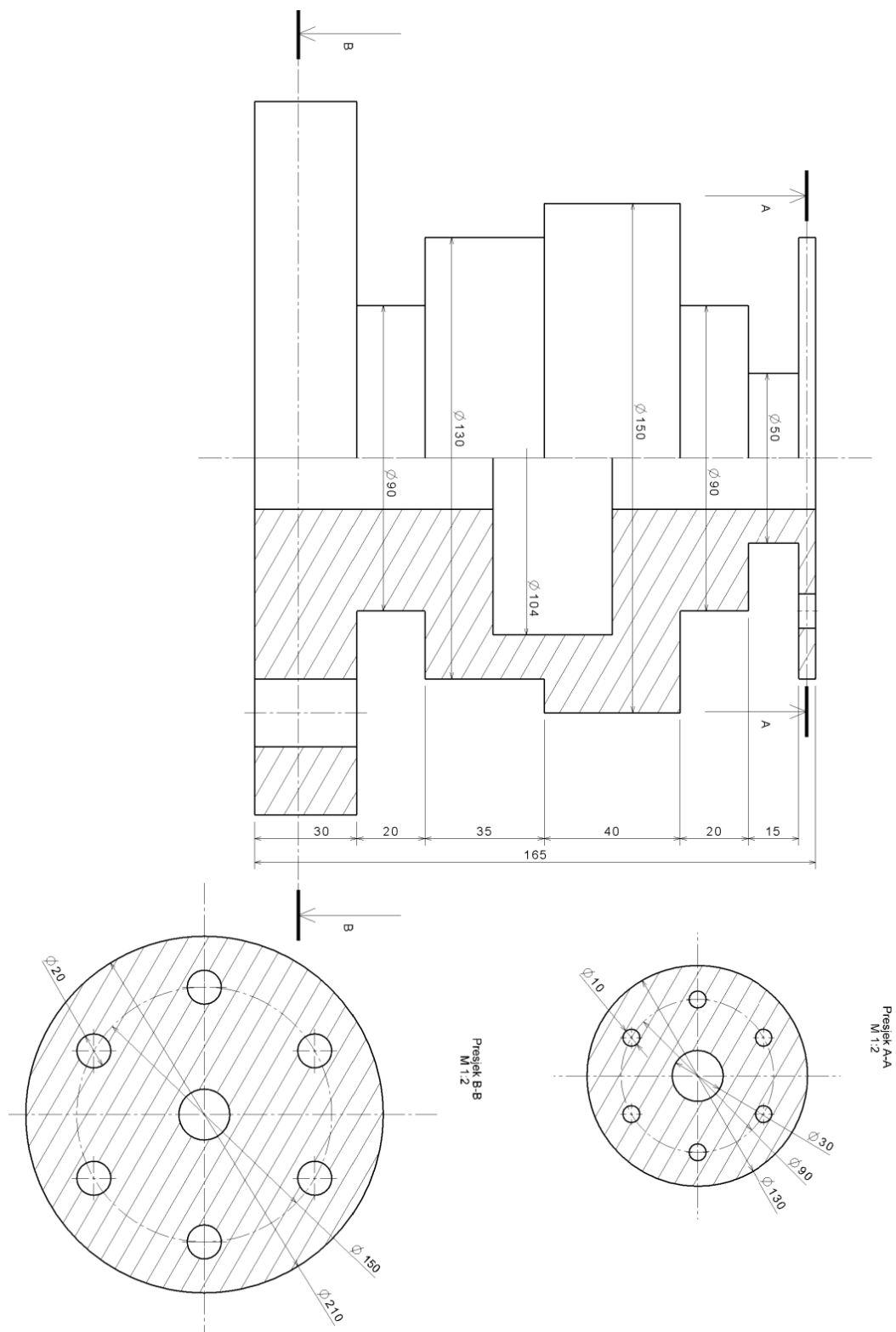
Zadatak br. 13



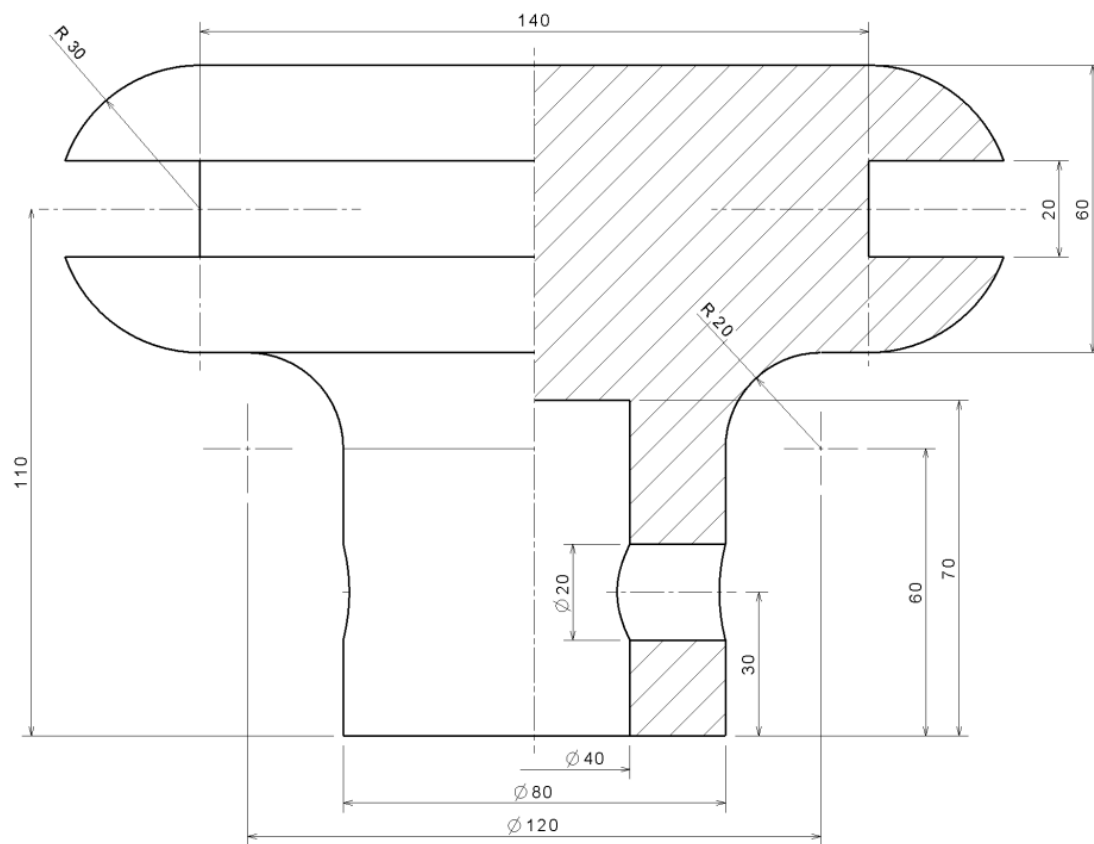
Zadatak br. 14

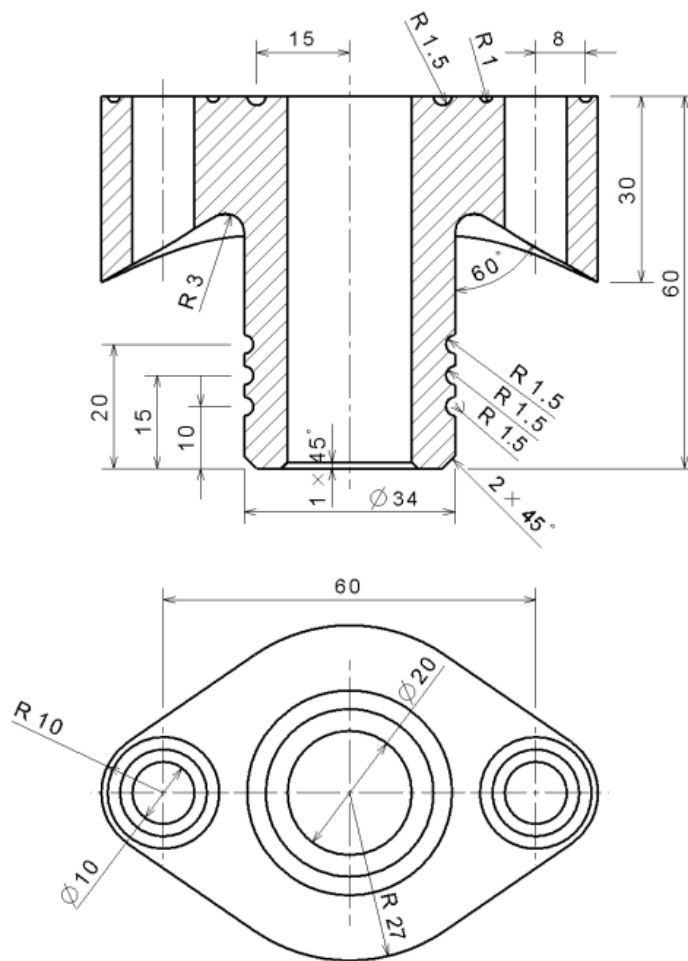


Zadatak br. 15

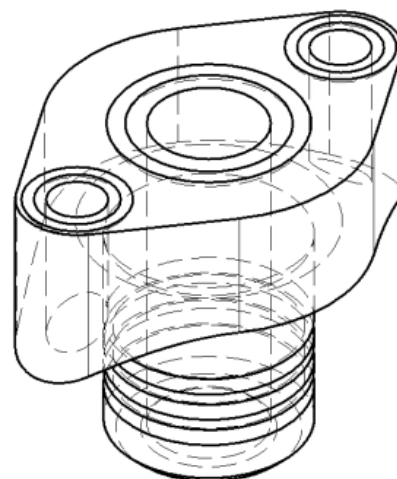


Zadatak br. 16

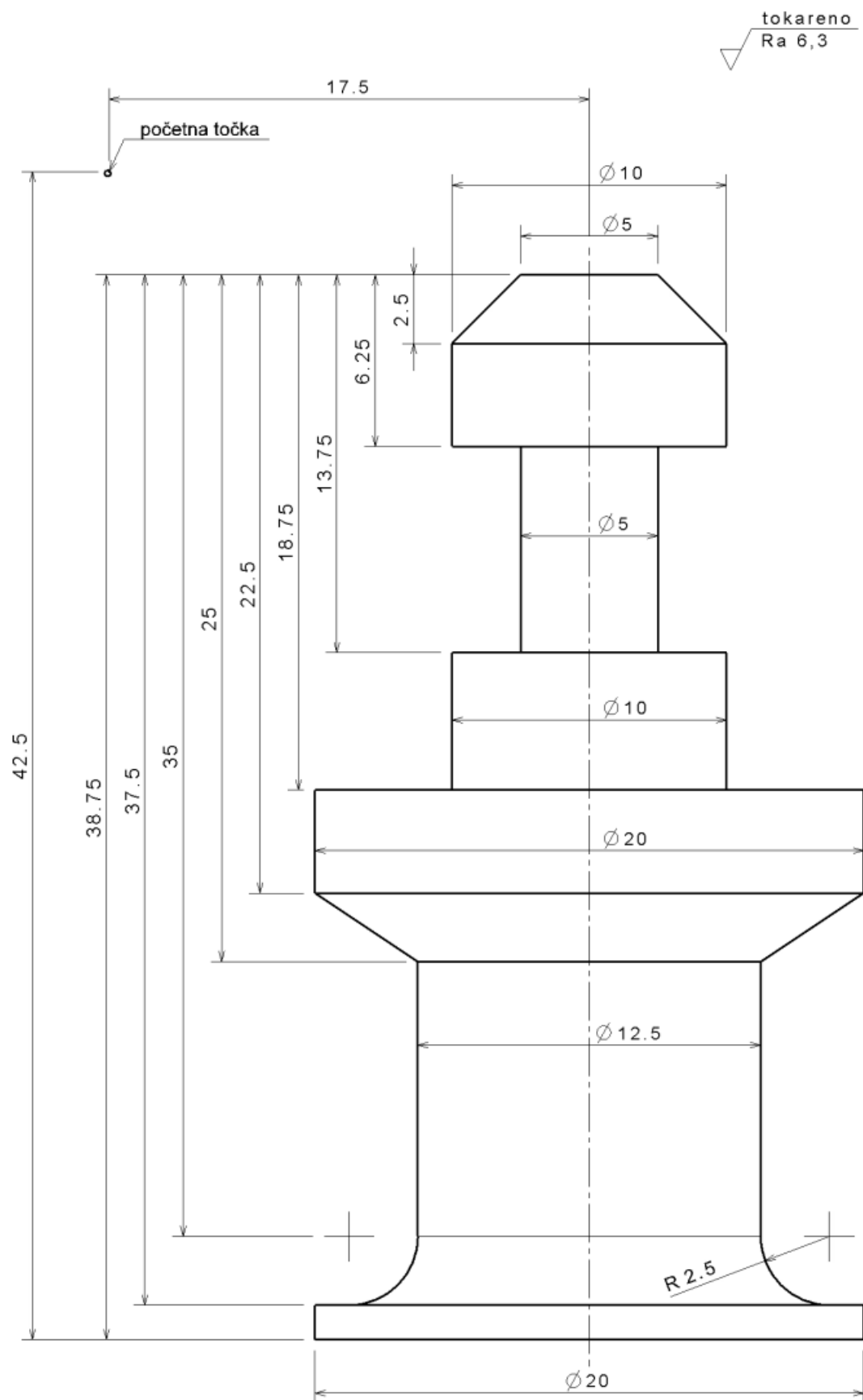


Zadatok br. 17

Izometrija



Zadatak br. 18



7. Preporučena literatura

1. Daniel T. Banach, Shawna Lockhart, Sheila Markazi: AUTODESK INVENTOR 2024 ESSENTIALS PLUS, SDC Publications, SDC Publications, 2023.
2. Randy H. Shih: LEARNING AUTODESK INVENTOR 2024, SDC Publications, 2023.
3. Luke Jumper, Randy H. Shih: PARAMETRIC MODELING WITH AUTODESK INVENTOR 2024, SDC Publications, 2023.
4. L. Scott Hansen Ph.D., Thom Tremblay: AUTODESK INVENTOR CERTIFIED USER EXAM STUDY GUIDE, SDC Publications 2023.
5. Randy H. Shih: TOOLS FOR DESIGN USING AUTOCAD 2023 AND AUTODESK INVENTOR 2023, SDC Publications, 2022.