

**VJEŽBA-1****Definisanje mehanizma-Defining a Mechanism**

Potrebno je kreirati blok koji se kreće ubrzano duž prave linije u skladu sa formulom koju definiše korisnik. Simulacija ovog jednostavnog mehanizma je izvedena pomoću prizmatičnog spoja.

Definicija problema

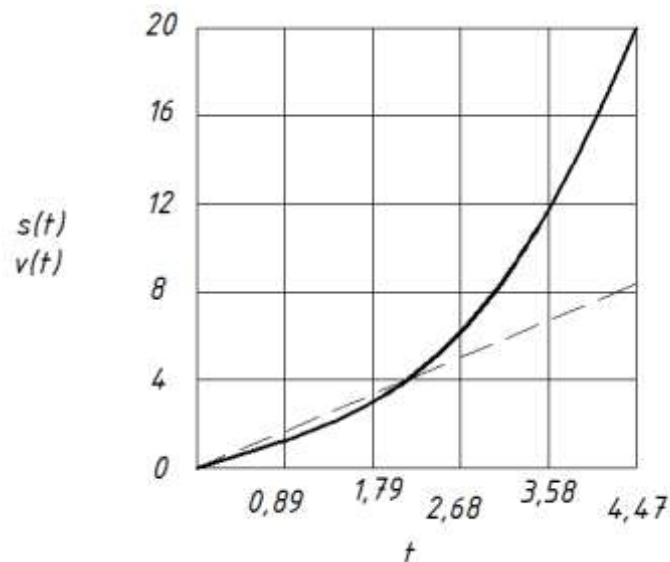
Blok prikazan na slici ispod kreće iz stanja mirovanja i ubrzava duž osnove sa konstantnim ubrzanjem od  $2 \text{ mm/s}^2$ . Jednostavnim integriranjem izraza za ubrzanje dobijaju se izrazi koji određuju poziciju i brzinu bloka duž baze. To su izrazi  $s(t)=t^2$  i  $v(t)=2t$ , respektivno.

Vrijeme potrebno za prelazak sa jednog na drugi kraj baze iznosi  $t=\sqrt{20}= 4.47$

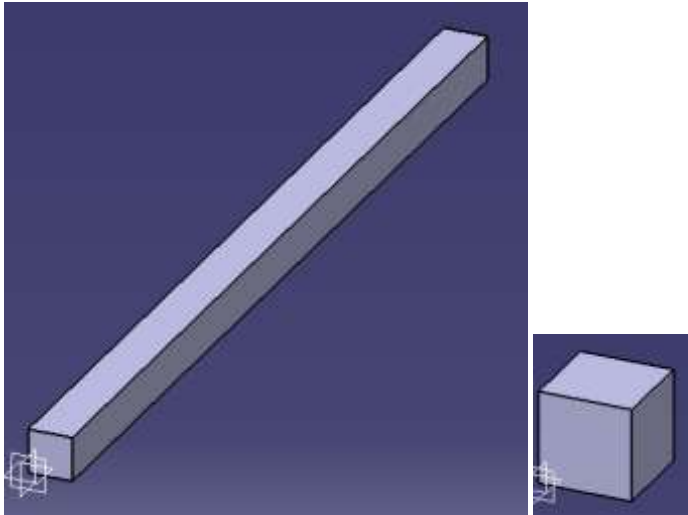


Navedeni problem zahtjeva kreiranje prizmatičnog spoja, u kome jedan blok klizi duž ivice održavajući neprekidno površinski kontakt sa osnovom.

Dijagram pozicije i brzine bloka u vremenu prikazan je na slici dole, pri čemu je  $t$  izraženo u sekundama,  $s(t)$  u mm, a  $v(t)$  u mm u sekundi.

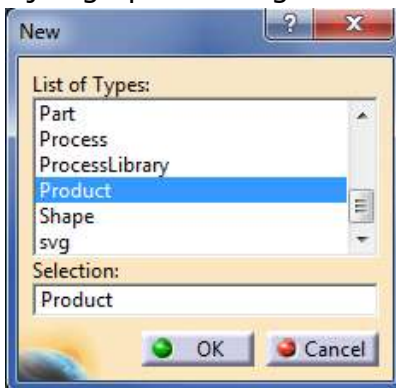


Prvo kreiramo modele dva dijela kao što je prikazano na slici ispod.



Dimenzije dijela-1 su 25x25x525 a dimenzije dijela-2 su 25x25x25.

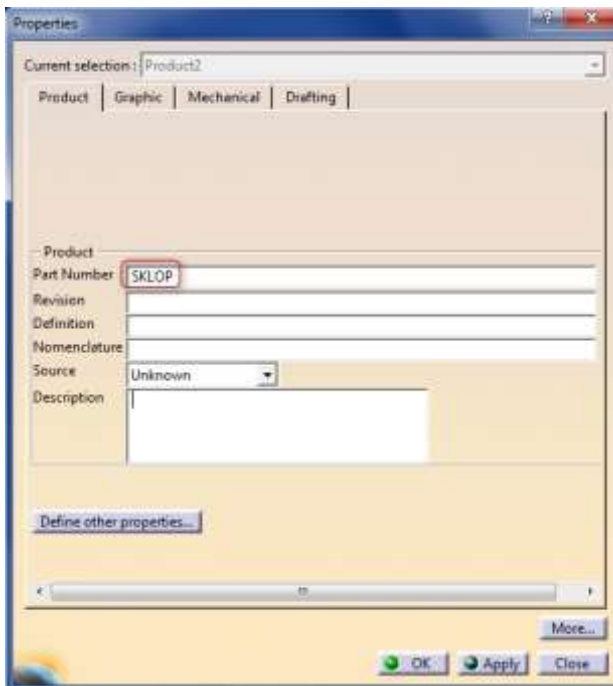
Pokrenimo okruženje **Assembly Design**, što možemo učiniti na različite načine, u zavisnosti od konkretne konfiguracije programa CATIA na računaru. To možemo postići izborom opcije **File-New**. Izaberemo opciju **Product** iz dijaloga prikazanog na slici.



Na taj način ćemo preći u okruženje **Assembly Design**, uz kreiranje sklopa pod podrazumijevanim nazivom **Product. 1**.

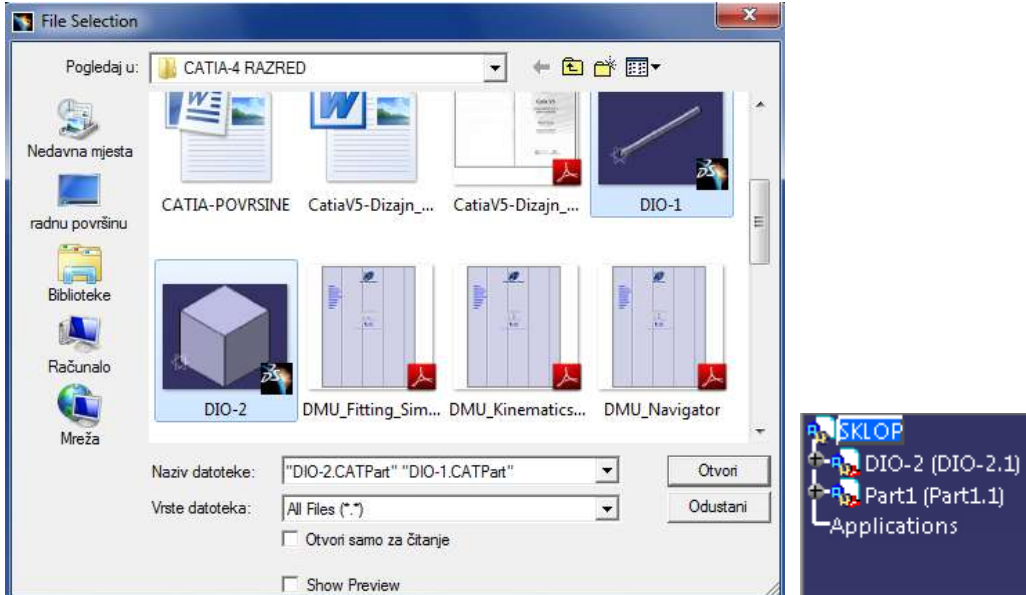
Da bi izmijenili podrazumijevani naziv, postavimo kursor preko stavke **Product. 1** u stablu, kliknemo desnim tasterom miša i iz menija izaberemo opciju **Properties**.

Iz dijaloga **Properties** izaberemo stranicu **Product** i u polje **Part Number** upišemo naziv **SKLOP**.

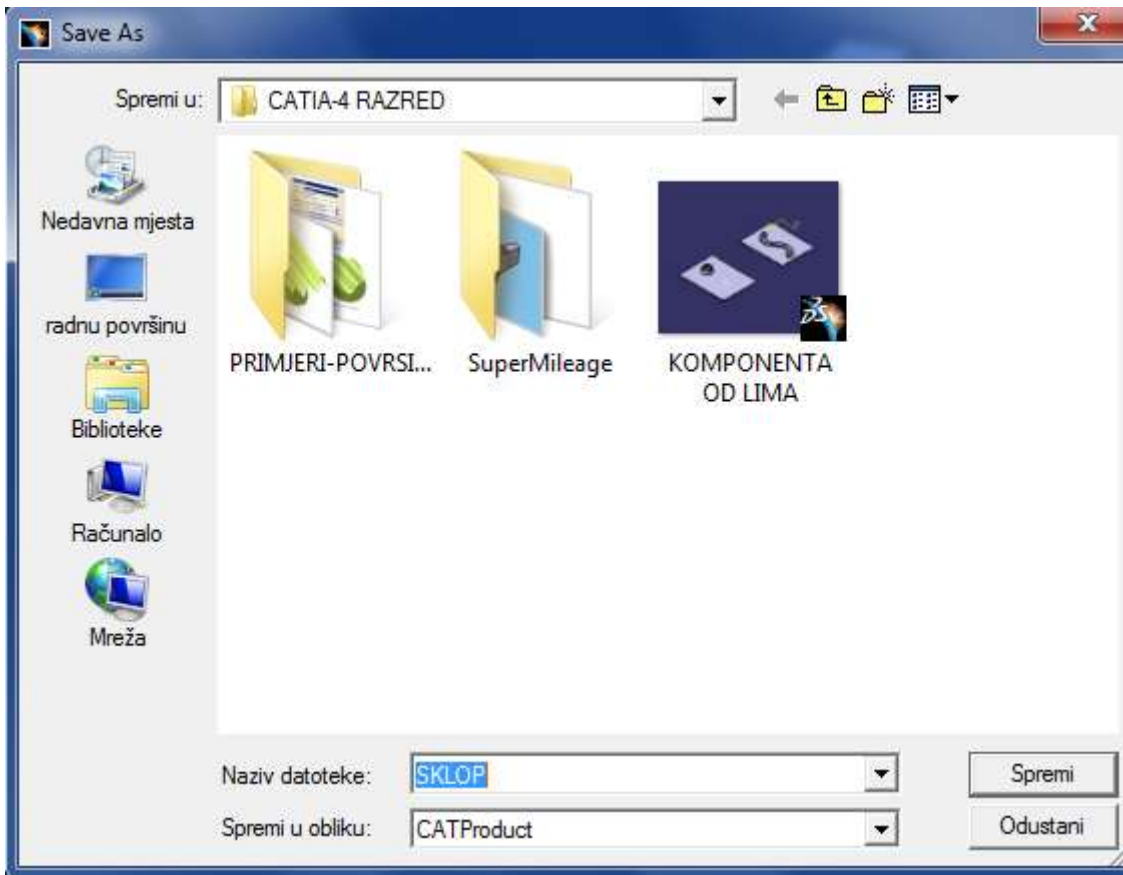


U narednom koraku ćemo ubaciti ranije kreirane dijelove (DIO-1 i DIO-2) u upravo kreirani sklop.

U standardnoj paleti alata izaberemo **Insert-Existing Component**. Iz pop-up okvira **File Selection** izaberemo DIO-1 i DIO-2. Treba imati na umu da se višestruki izbor u programu CATIA obavlja pomoću tipke **Ctrl**. Stablo će biti izmijenjeno i u njemu će se pojaviti upravo ubačeni dijelovi.

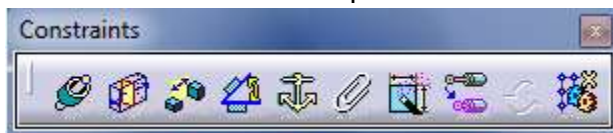


Da bi snimili rezultate svog rada, najbolje je da snimimo čitav sklop. Kliknemo dva puta mišem na gornju granu stabla. Na taj način ćemo sigurno preći u okruženje **Assembly Design**. Selektujemo ikonu **Save**. U pop-up okviru **Save As** možemo izmijeniti naziv sklopa, ukoliko želimo. Podrazumijevani naziv je SKLOP, a datoteka će biti snimljena u formatu **.CATProduct**.

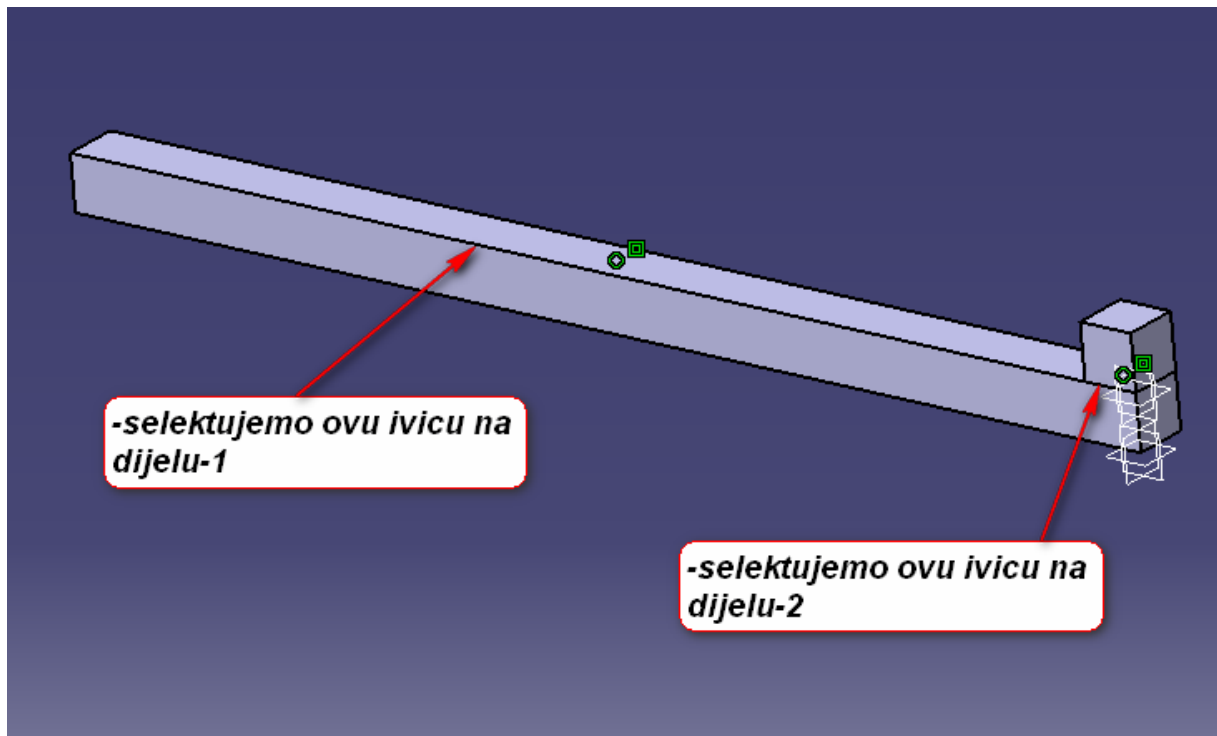


Definisanje ograničenja na nivou sklopa je naš naredni zadatak. Cilj je dvostruk: da postavimo blok na željenu početnu poziciju na osnovi i da ograničimo sklop tako da se ta ograničenja mogu automatski konvertovati u odgovarajući spoj mehanizma. Kada je riječ o ovom prilično jednostavnom mehanizmu, namjera nam je da ograničimo sklop, tako da dio pod nazivom **DIO-1** bude nepokretan, dok dio pod nazivom **DIO-2** moramo postaviti u početni položaj na vrh osnove, tako da mu ostane samo jedan stepen slobode – translatorno kretanje po dužini osnove. Kinematički ekvivalent takvih ograničenja na nivou sklopa je prizmatični spoj, kao što smo i željeli.

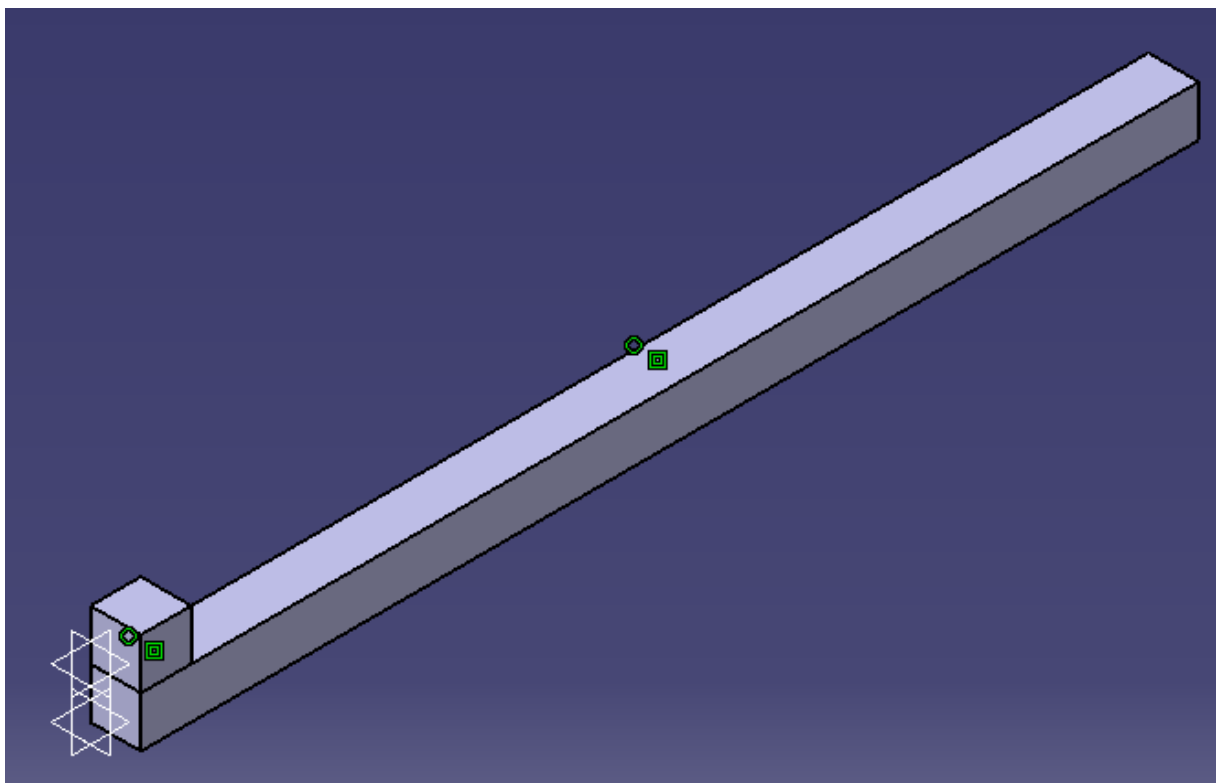
Počecemo time što ćemo ivicu bloka poravnati sa ivicom osnove. Kliknemo na ikonu **Coincidence** u paleti alata **Constraints**.



Selektujemo ivice dijelova kao što je prikazano na slici ispod.



Konačan rezultat je prikazan na slici ispod.



Preostao je još samo jedan translatorni stepen slobode između dijelova – kretanje bloka duž ivice osnove. To je upravo ono što nam je potrebno, pošto želimo da simuliramo jednodimenzionalno translatorno kretanje. Kao što ćemo vidjeti, dva ograničenja na nivou sklopa koja definišu odnos bloka i osnove mogu se automatski pretvoriti u prizmatični spoj mehanizma. Sklopovna ograničenja se

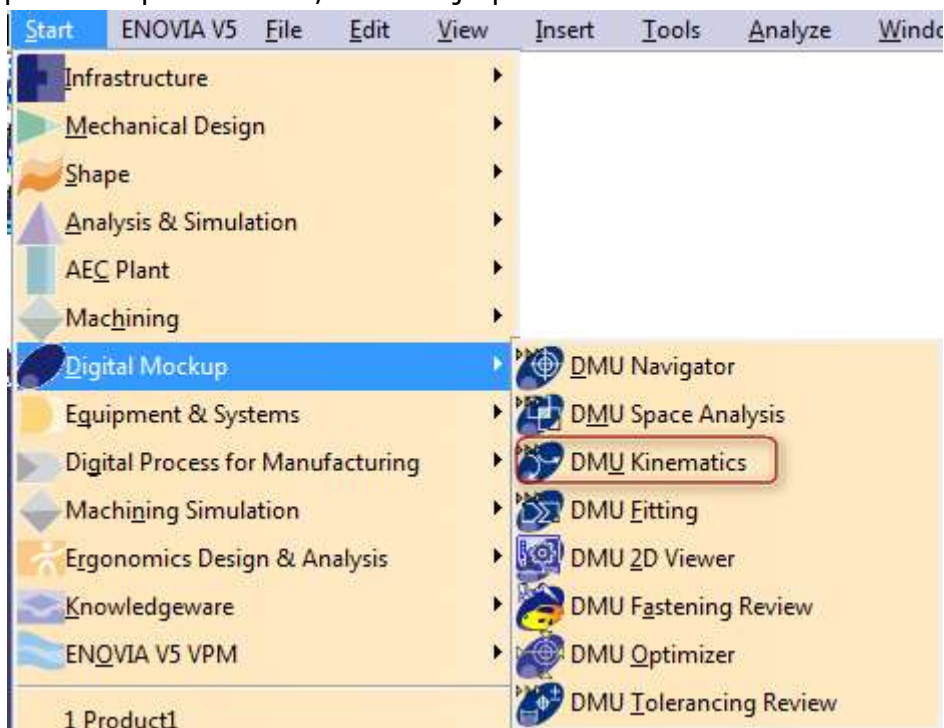
ne mogu uvijek primijeniti tako da se može izvršiti automatska konverzija u željeni spoj.

I pored toga što smo uklonili sve stepene slobode, izuzev željene relativne translacije bloka u odnosu na osnovu, još uvijek nismo ograničili osnovu kako bismo fiksirali njenu lokaciju i orijentaciju. U narednom koraku ćemo primijeniti ograničenje tipa **Fix** kako bismo blokirali bilo kakvo pomjeranje osnove. Izbor dijela u okviru sklopa koji će biti potpuno blokiran obično predstavlja prvi korak u definisanju ograničenja na nivou sklopa, nakon čega korisnik može biti siguran da se blokirani dio neće pomjerati prilikom dodavanja novih ograničenja.

Kliknemo na ikonu **Fix Component** i selektujemo dio koji želimo fiksirati.

Sklop je time završen i možemo nastaviti sa radom u okruženju **Digital Mockup**.

Kreiranje spojeva u okruženju **Digital Mockup** je prilično složeno, ali mi ćemo koristiti modul pod nazivom **DMU Kinematics**. Taj modul možemo aktivirati pomoću palete alata, kao što je prikazano na slici.

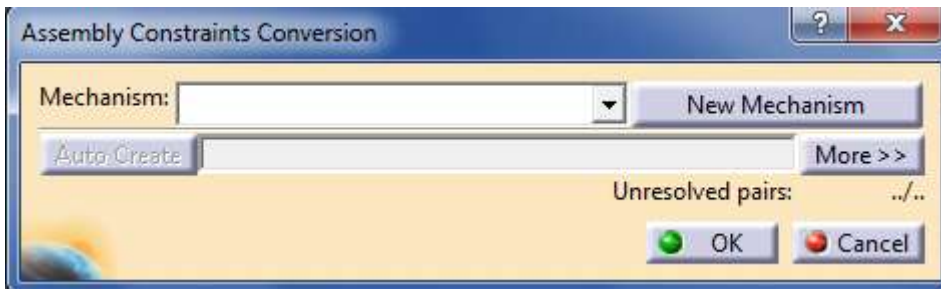


Kliknimo na ikonu **Assembly Constraints Conversion** iz **DMU Kinematics** palete alata.



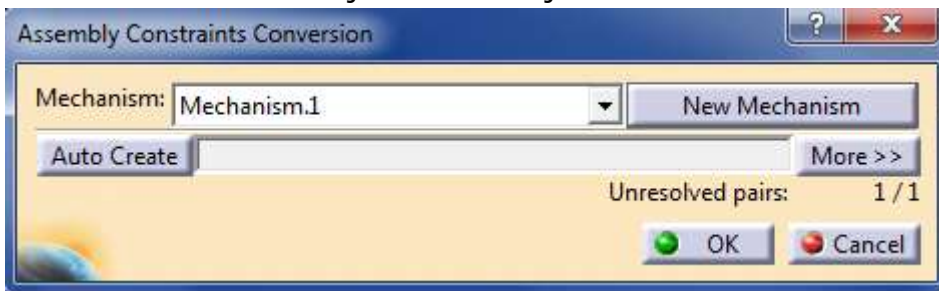
Ova ikona omogućuje automatsko kreiranje najčešće korišćenih spojeva iz postojećih ograničenja definisanih na nivou sklopa. Pojaviće se pop-up okvir prikazan na donjoj slici.





Kliknimo na dugme **New Mechanism**.

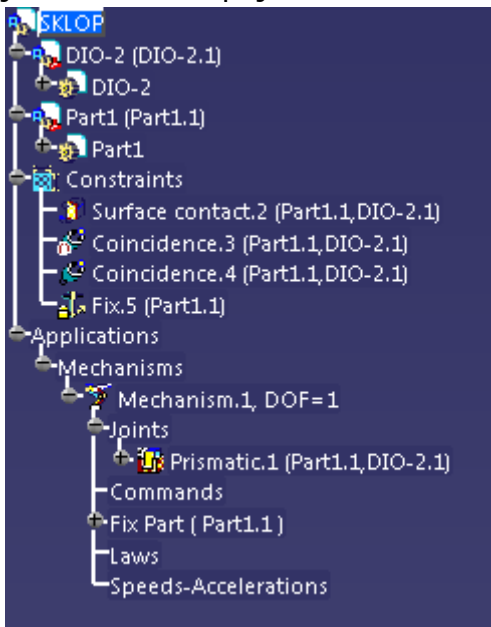
Time otvaramo drugi pop-up okvir u kome možemo dodijeliti naziv svom mehanizmu. Podrazumijevani naziv je **Mechanism.1**.



Obratite pažnju na upozorenje u okviru Unresolved pairs: 1/1

Kliknemo na dugme **Auto Create**. Ukoliko upozorenje **Unresolved pairs** nakon toga dobije vrijednost 0/1, to znači da je u okviru mehanizma upravo kreiran spoj između dva dijela (u našem slučaju postoje samo dva dijela –DIO-1 i DIO-2, tako da možemo biti sigurni da je spoj kreiran upravo između njih).

Primjećujemo da je stablo postalo duže i da je u njemu dodana grana pod nazivom **Application**. Naredna slika prikazuje razvijeno stablo. U njemu se jasno uočava spoj **Prismatic. 1**.

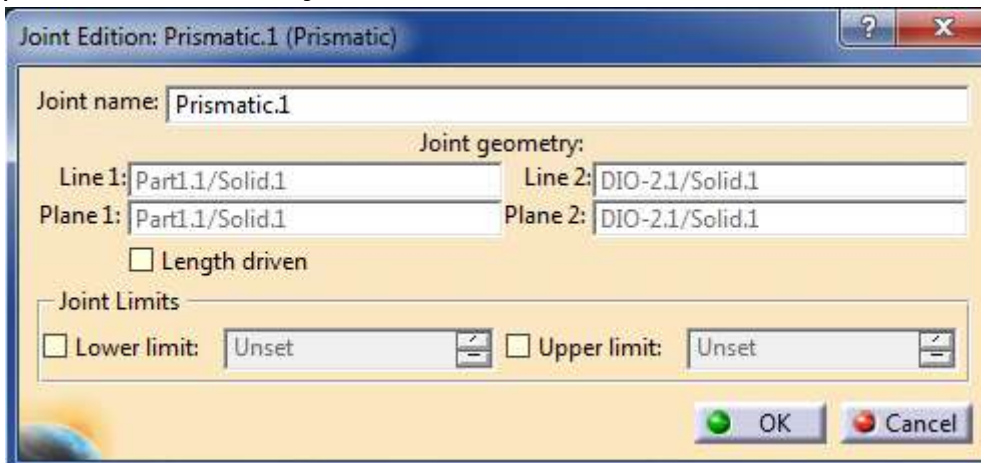


**DOF** ima vrijednost **1** i označava mogućnost klizanja bloka duž osnove (tačnije, njegovog kretanja duž upravo kreiranog prizmatičnog spoja). Podsjećamo da je prizmatični spoj kreiran na osnovu ograničenja na nivou sklopa koja smo kreirali

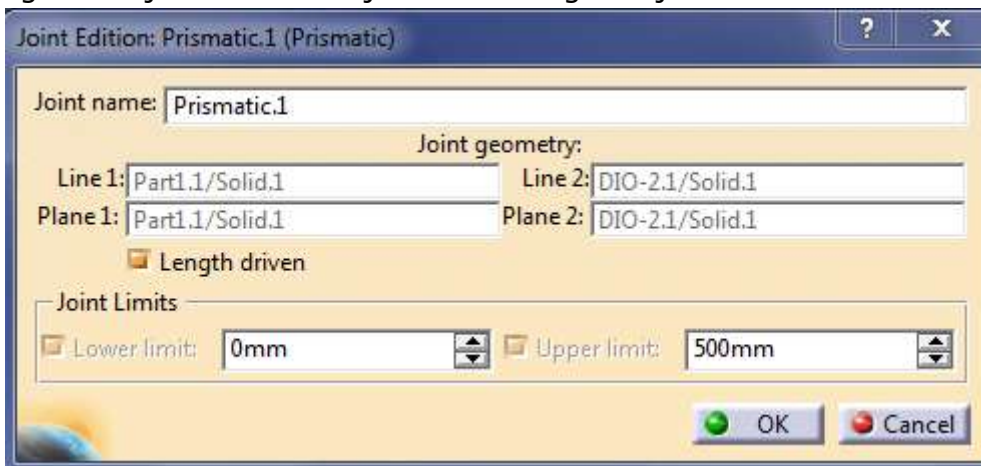
ranije. Ovaj spoj (kao i bilo koji drugi spoj) možemo kreirati i direktno pomoću palete alata **Kinematics Joints**.

### **Simulacija mehanizama-Simulating Mechanisms**

Da bismo animirali mehanizam, moramo ukloniti jedini postojeći stepen slobode. To ćemo postići pretvaranjem spoja **Prismatic. 1** u spoj tipa **Length driven**. Kliknite dva puta mišem na spoj **Prismatic. 1** u stablu. Pojaviće se pop-up okvir prikazan na narednoj slici.

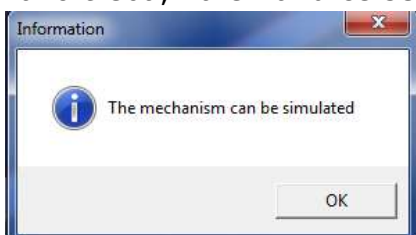


Kliknite na polje **Length driven** i izmijenite vrijednosti polja **Lower limit** i **Upper limit**, tako da odgovaraju onima sa naredne slike. Imajte na umu da ta ograničenja možete izmijeniti i na drugim mjestima.



Ukoliko se blok prilikom animacije kreće u pogrešnom smjeru, onda treba obrnuti vrijednosti **Lower limit** i **Upper limit**.

Nakon zatvaranja gornjeg okvira i pod pretpostavkom da je sve ostalo urađeno kako treba, na ekranu će se pojaviti sljedeća poruka.





To je zaista dobra vijest (Mehanizam se može simulirati).

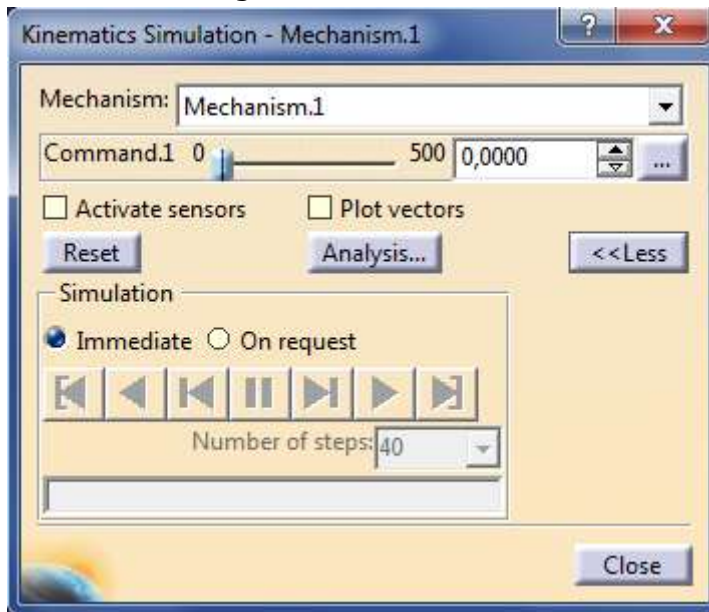
Animaciju mehanizma, odnosno simulaciju osnovnih kretanja u njemu (bez parametra vrijeme) možemo obaviti na dva načina.

#### Simulacija pomoću naredbi

Kliknite na ikonu **Simulation with Command** iz palete alata **Simulation**.

Pojaviće se pop-up okvir **Kinematics Simulation**.

Pritiskom na dugme **More** možemo aktivirati kompaktan prikaz ovog okvira.



Klizači u prozoru odražavaju vrijednosti parametara **Upper** i **Lower** limit koje smo definisali ranije. U našem slučaju opseg iznosi od 0 in do 500 mm. Broj koraka predstavlja rezoluciju prikaza kretanja. Proširena verzija okvira sadrži i dva radio dugmeta. Ukoliko selektujemo dugme **Immediate**, prilikom prevlačenja klizača sa lijeve na desnu stranu možemo posmatrati kretanje na ekranu.

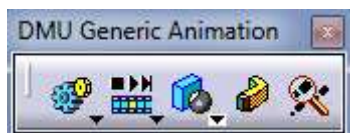
Kada blok dođe do kraja osnove, možemo ga vratiti na startnu poziciju pomoću dugmeta **Reset**.

To se može postići i prevlačenjem klizača na poziciju 0.

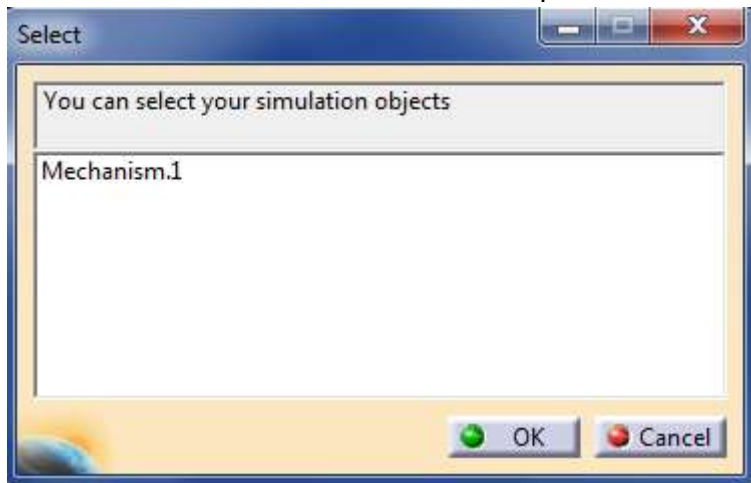
Ukoliko je aktivirano radio dugme **On request** prilikom prevlačenja klizača, na prvi pogled neće se dešavati ništa. Kada, međutim, klizač dođe u krajnju poziciju koja odgovara vrijednosti od 500 mm, pritisnite dugme ► za startovanje video plejera i vidjećete blok koji se pomjera duž osnove.

### **Snimanje i izvršavanje simulacija-Recording and Playing Simulations**

Kliknite na ikonu **Simulation** u paleti alata **DMU Generic Animation**

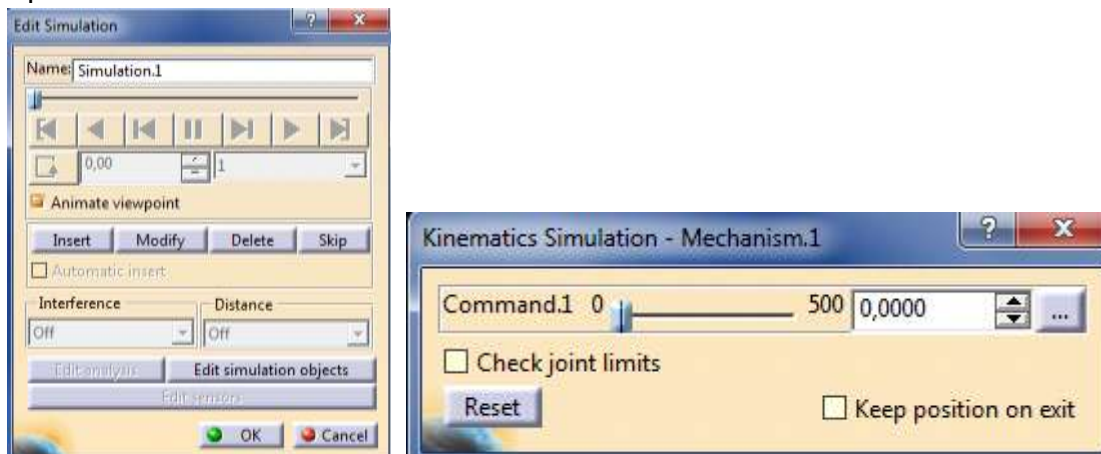


Nakon toga možemo izabrati mehanizam koji želimo da animiramo (ukoliko postoji više mehanizama). U našem primjeru selektujemo mehanizam pod nazivom **Mechanism.1** i zatvorimo prozor.



Odmah nakon zatvaranja prozora, stablu će biti dodana grana pod imenom **Simulation**.

Pored toga, na ekranu će se pojaviti i dva pop-up dijaloga, prikazana na slici ispod.



Prevlačenjem klizača sa lijeve na desnu stranu počinje i kretanje bloka od jedne ivice osnove do druge.

Kada klizač u dijalogu **Kinematics Simulation** dođe do krajnjeg desnog položaja, kliknite na dugme **Insert** u pop-up dijalogu **Edit Simulation** prikazanom na slici.

Time se aktiviraju komandna dugmad video plejera.



Vratite blok na početnu poziciju, tako što ćete kliknuti na dugme **Jump to Start**. Sada je aktivno i dugme **Change Loop Mode**.

Ukoliko kliknemo na dugme **Play Forward**, blok će načiniti brzi skok na drugi kraj osnove.

Kretanje bloka se može usporiti ako podesimo drugačiju vrijednost parametra **Interpolation step** (npr. 0.04).

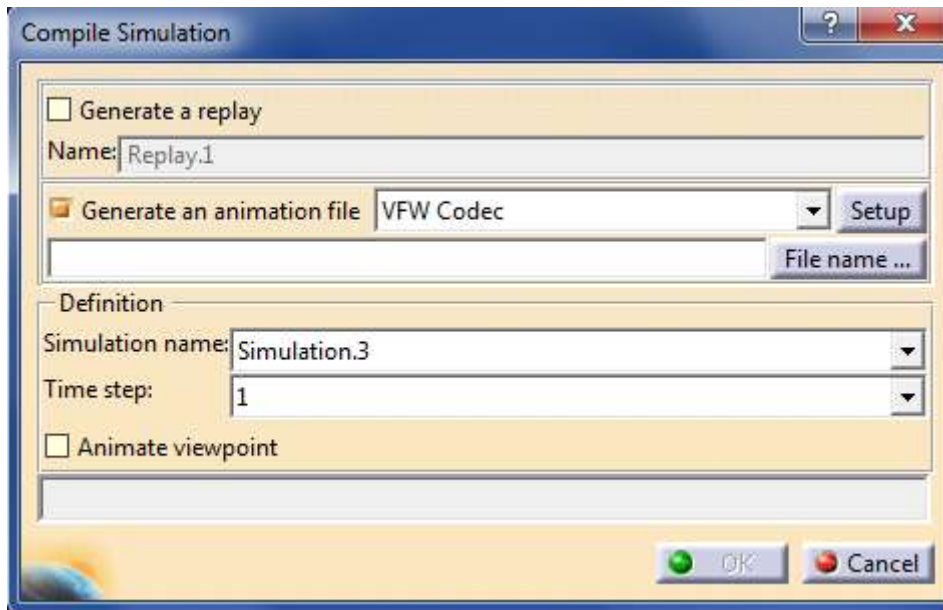
Nakon postavljanja vrijednosti koraka interpolacije na 0.04, vratimo blok na početnu poziciju, tako što ćemo kliknuti na dugme **Jump to Start**.

Pritisnemo dugme **Play Forward** i posmatramo kretanje bloka.

Zatim kliknemo na dugme **Compile Simulation** u paleti alata **Generic Animation**.

Izaberemo opciju **Generate an animation file** i kliknite na dugme **File name**. Na taj način možemo definisati lokaciju i naziv animacione datoteke koja će biti generisana, kao što je prikazano na slici dole.

Odaberemo odgovarajuću putanju i naziv datoteke; vrijednost parametra **Time step** postavimo na **0.04** kako bismo dobili polagani prikaz kretanja bloka u AVI datoteci.



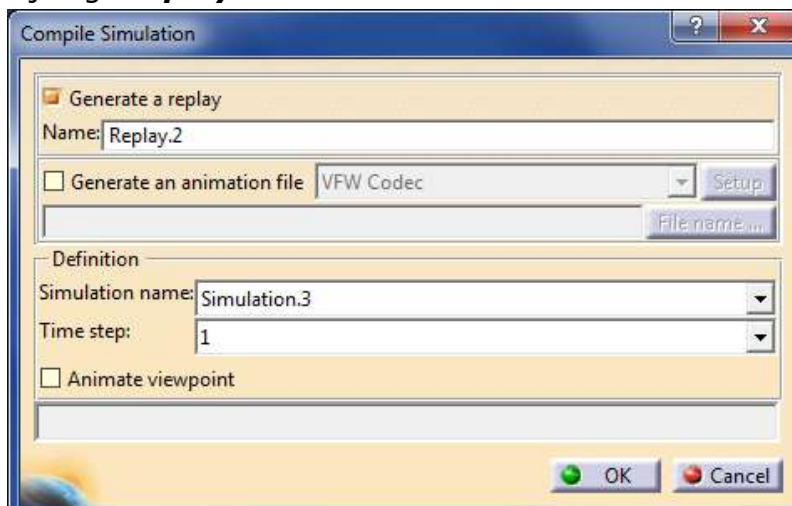
Ukoliko nam AVI datoteka nije potrebna, već želimo da više puta ponovimo animaciju, moramo kreirati **Replay**. U tom cilju, u dijalogu **Compile Simulation** treba uključiti polje **Generate a replay**.

Kada uključimo ovo polje, primjećujemo da je većina opcija koje su ranije bile dostupne sada deaktivirane.

Pored toga u stablu je dodana nova grana pod nazivom **Replay.1**.

Pokrenimo naredbu **Replay** sa palete **DMU Generic Animation**.

Kliknimo dva puta mišem na granu **Replay.1** u stablu, time se aktivira pop-up dijalog **Replay**.

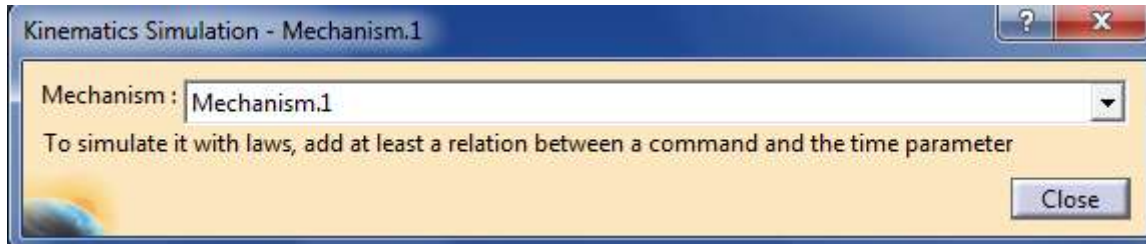


**Definisanje zakona kretanja i simulacija željene kinematike**

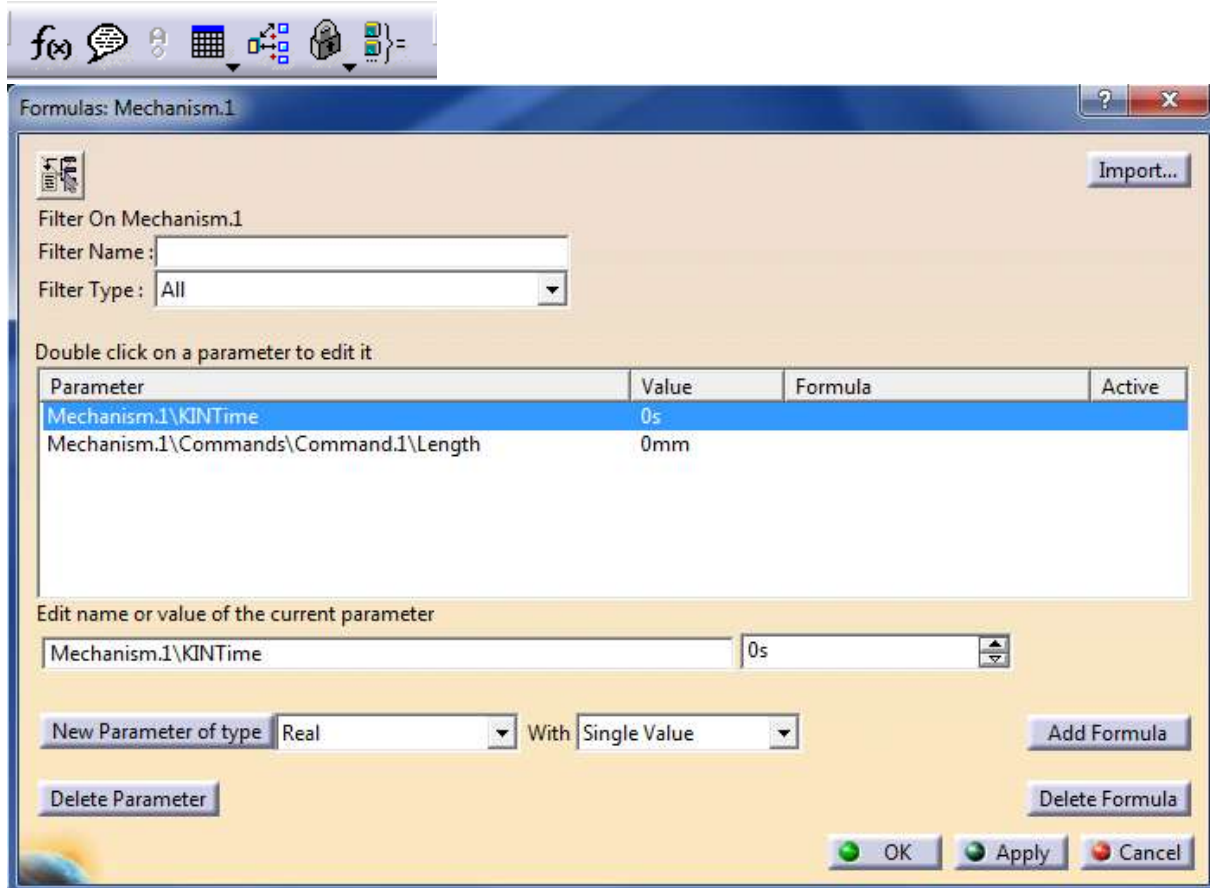
Do sada smo animirali kretanje bloka ne uzimajući u obzir vrijeme, mada je ono navedeno u definiciji problema. Sada ćemo u problem ubaciti i malo fizike zasnovane na vremenu. Cilj je da definišemo poziciju bloka u zavisnosti od vremena. Na taj način ćemo indirektno definisati i brzinu i ubrzanje u zavisnosti od vremena.

Kliknimo na ikonu **Simulation with Laws** u paleti alata **Simulation**.

Na ekranu će se pojaviti sljedeći pop up dijalog, koji nas upozorava da moramo definisati barem jednu jednačinu koja povezuje naredbu i parametar vremena.



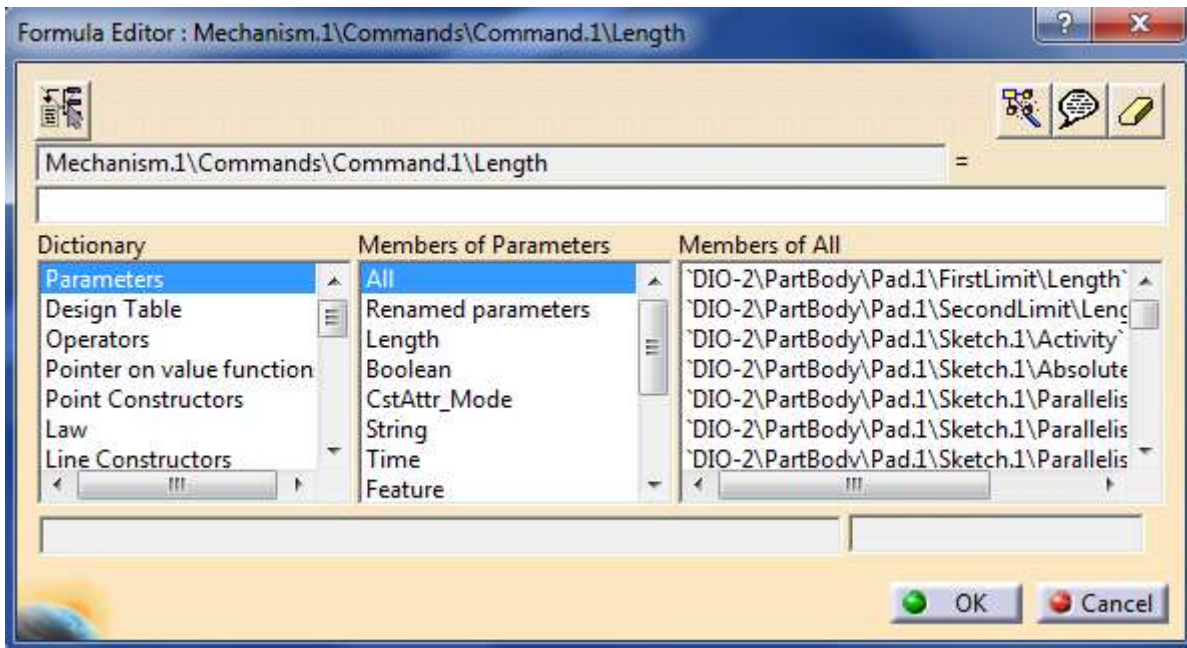
Kliknimo na ikonu **Formula** u paleti alata **Knowledge**. Na ekranu će se pojaviti pop up dijalog prikazan na narednoj slici.



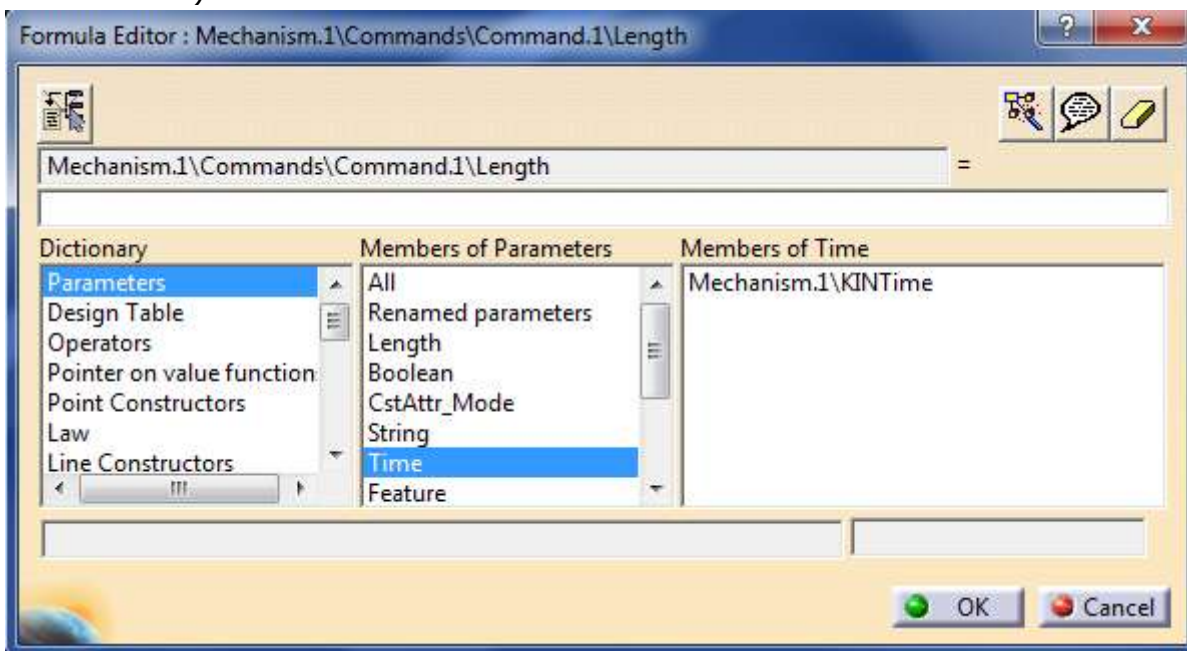
Postavimo kursor iznad grane **Mechanism. 1, DOF=0** u stablu i kliknimo mišem. Kao rezultat, u dijalogu **Formulas** će biti prikazani samo oni parametri koji su pridruženi izabranom mehanizmu.

Selektujmo element **Mehanism.1/Commands/Commands.1/Length** i kliknemo na dugme **Add Formula**. Time se otvara dijalog **Formula Editor**.

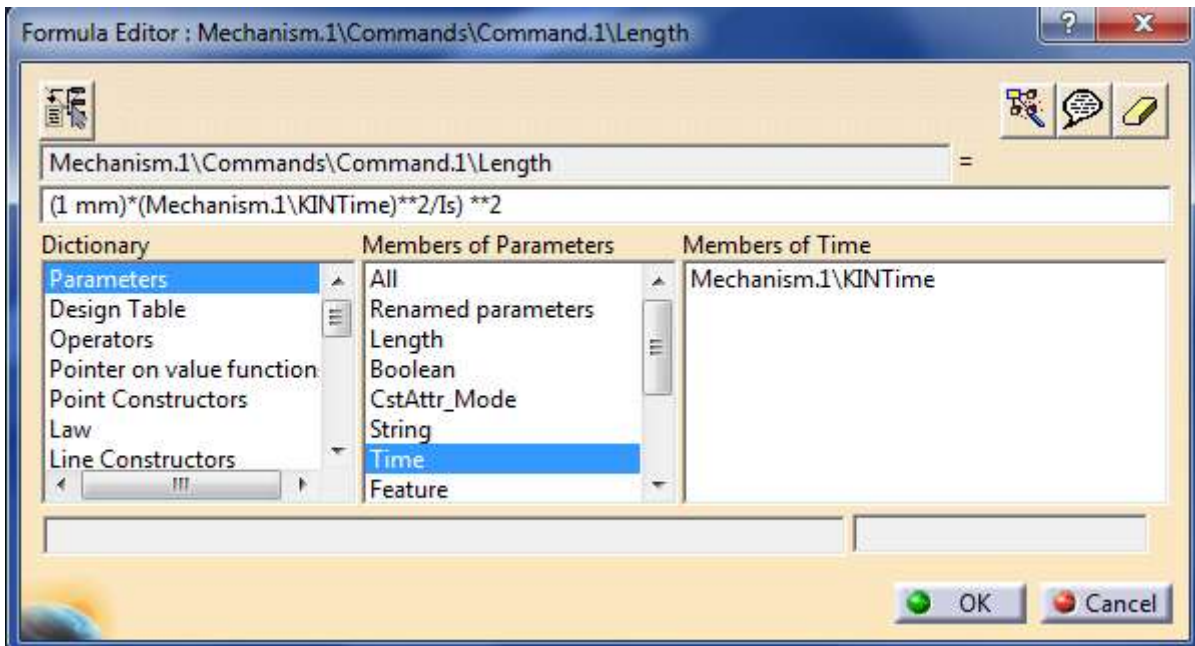




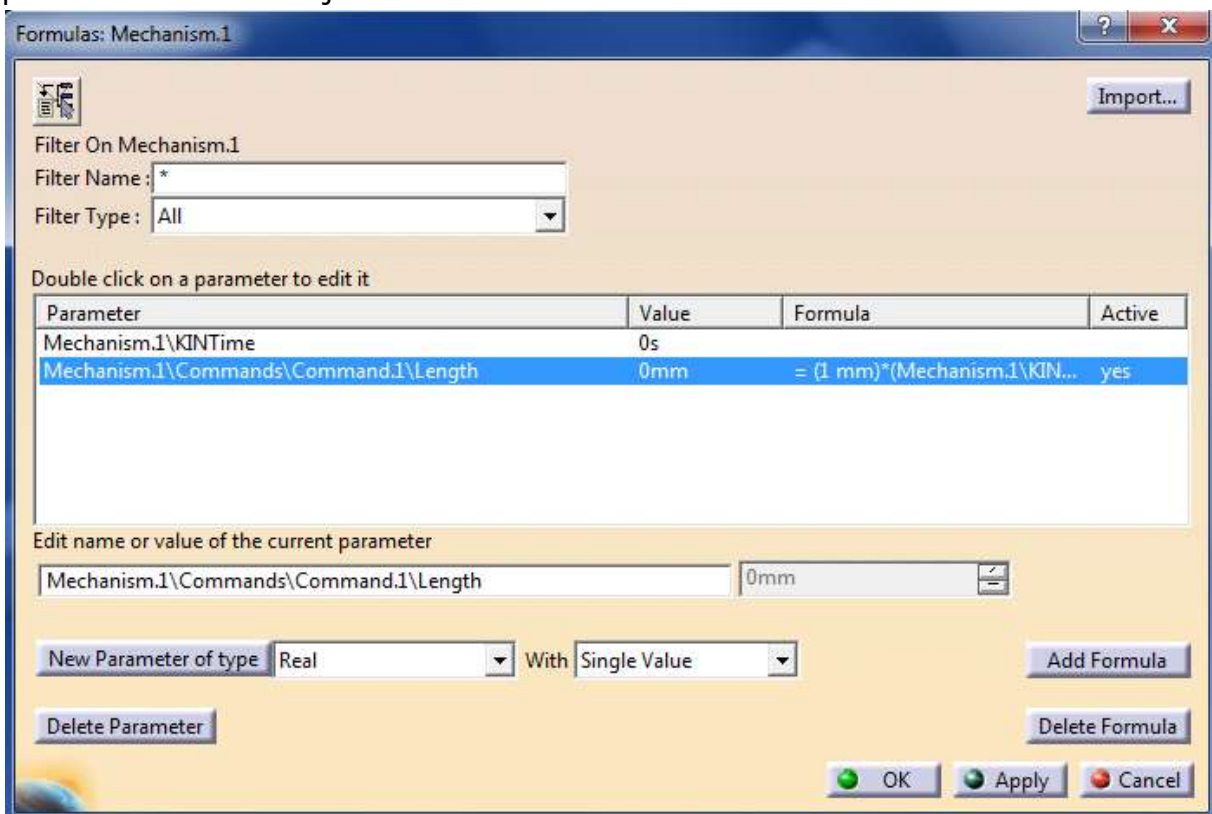
Selektujte element **Time** iz srednje kolone (kolone pod nazivom **Members of Parameters**).



Ukucajte desnu stranu jednačine, tako da dobijete formulu prikazanu ispod.



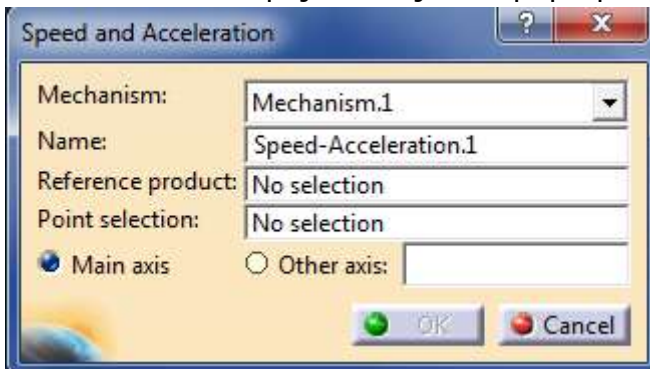
Nakon pritiska na OK jednačina će biti zapisana u dijalog **Formulas**, kao što je prikazano na narednoj slici.



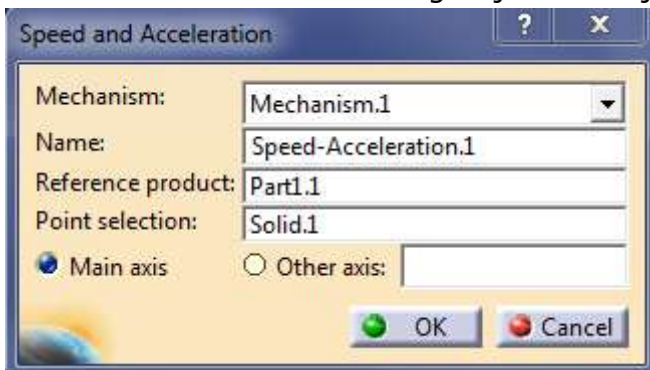
Upotrebene jedinice u formuli zaslužuju dodatno objašnjenje. Lijeva strana jednačine je vezana za parametar dužine (**Length**), tako da čitava desna strana mora biti svedena na mm. Zbog toga su u članu  $(\text{Mechanism.1}\backslash\text{KINTime})^{**2}$  uklonjene dimenzije dijeljenjem sa  $(1\text{s})^{**2}$ . Slovo "s" se ovdje odnosi na sekunde. Konačno, uveden je i član (1 mm) koji čitav izraz pretvara u mm. U slučaju da se u jednačini javljaju različite dimenzije na lijevoj i desnoj strani, program će prikazati poruku upozorenja (Warning).



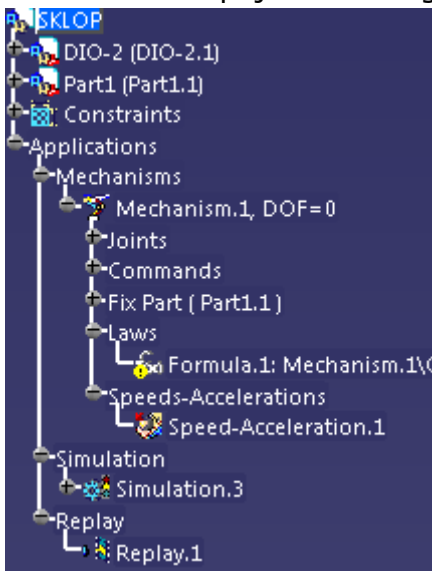
Pošto smo korektno unijeli našu formulu, program neće prikazati ovo upozorenje. Upravo definisani zakon će se pojaviti i u grani **Law** u stablu. Kliknimo na ikonu **Speed and Acceleration** iz palete alata **DMU Kinematics** i na ekranu će se pojaviti slijedeći pop up dijalog.



Za **Reference product** biramo dio pod nazivom DIO-1 (na ekranu ili u stablu). Za **Point selection** biramo gornje desno tjeme dijela pod nazivom DIO-2.




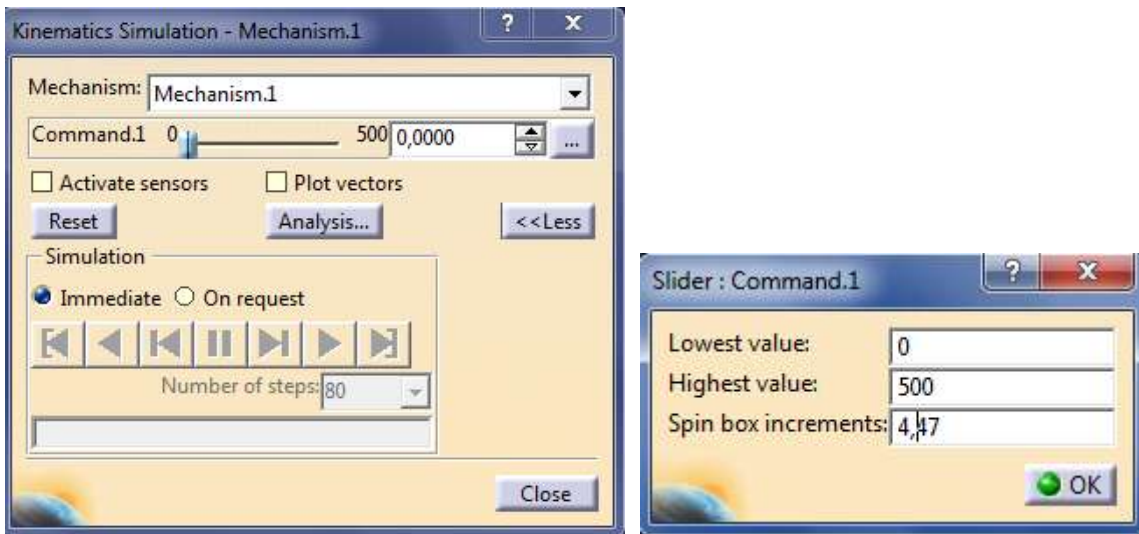
U stablu će se pojaviti nova grana pod nazivom **Speed and Acceleration.1**.



Klikom na ikonu **Simulation with Laws** u paleti alata **Simulation**. Na ekranu će se pojaviti pop up dijalog **Kinematics Simulation**, poput onoga na sljedećoj slici.

Podrazumijevano trajanje simulacije iznosi 10 sekundi.

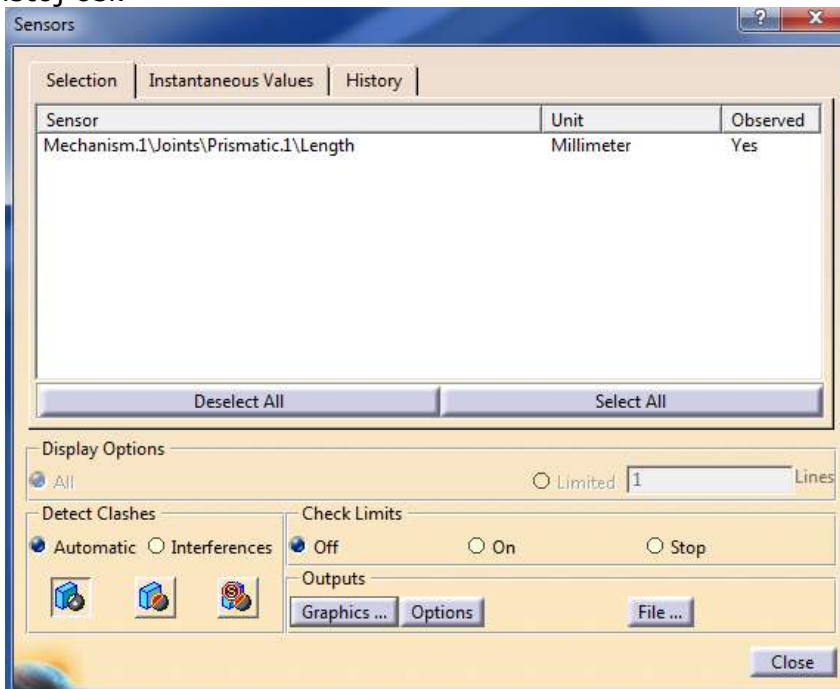
Ako želimo da promijenimo ovu vrijednost, kliknemo na dugme . U pop-up dijalogu koji će se otvoriti izmijenimo vrijeme trajanja simulacije na 4.47s. Podsjećamo da je to vrijeme u kome blok mora preći 500 mm.



Ovjerimo polje **Activate sensors**.

Nakon toga, pomjeramo klizač u dijalogu **Kinematics Simulation**.

Sa pomjeranjem klizača i blok započinje svoje putovanje duž osnove. Kada klizač dođe u krajnji desni položaj, blok će dospjeti do kraja osnove. Kada blok dospije do krajnje tačke, kliknemo na dugme **Graphic** u dijalogu **Sensor**. Dobićemo dijagram pozicije, brzine i ubrzanja, pri čemu su sve vrijednosti prikazane na istoj osi.



**VJEŽBA-2****Rotirajuća poluga sa revolucionim spojem**

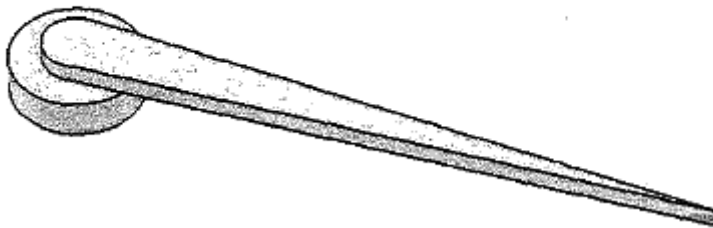
U narednoj vježbi ćemo kreirati polugu koja rotira oko ose konstantnom ugaonom brzinom. Simulacija ovog jednostavnog mehanizma je izvedena pomoću revolucionog spoja uz generisanje dijagrama brzine i ubrzanja vrha poluge.

**Definicija problema**

Poluga dužine  $R=125$  mm prikazana na slici rotira konstantnom ugaonom brzinom  $\omega=2\pi$  rad/s oko ose. Uz pomoć osa  $x$  i  $y$  možemo dokazati da su pozicija, brzina i ubrzanje vrha poluge određeni sljedećim izrazima:

$$x = R \cos \omega t \quad x' = -R \sin \omega t \quad x'' = -R \omega^2 \cos t$$

$$y = R \sin \omega t \quad y' = R \cos \omega t \quad y'' = R \omega^2 \sin t$$



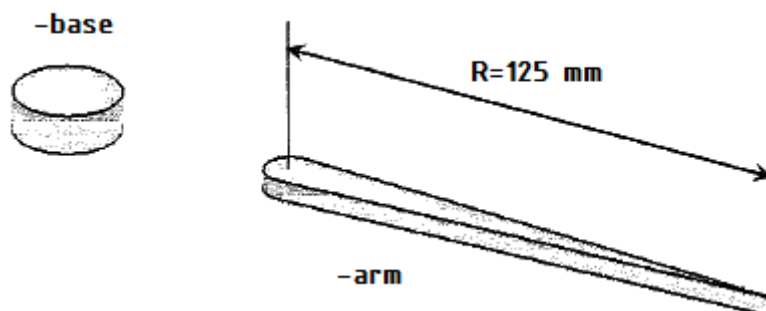
Kratak pregled vježbe

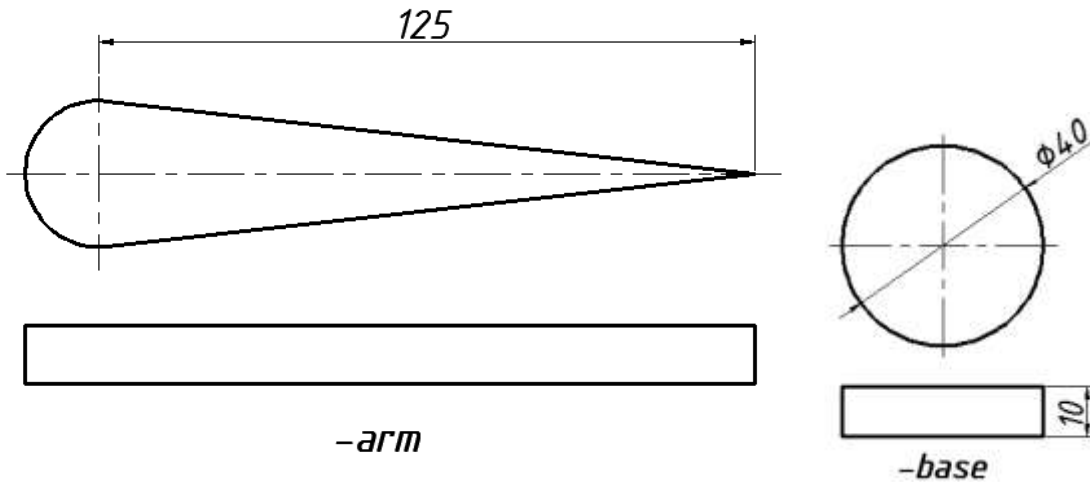
Vježba obuhvata sljedeće korake:

- modeliranje dva neophodna dijela
- kreiranje sklopa (CATIA Product) koji sadrži dva prethodno kreirana dijela
- definisanje ograničenja na nivou sklopa koji ostavlja samo jedan stepen slobode-rotacija poluge oko ose osnove
- otvaranje radnog okruženja *Digital Mockup* i konverzija ograničenja na nivou sklopa u revolucionni spoj koji predstavlja željeno rotaciono kretanje poluge oko ose osnove
- simulacija relativnog kretanja poluge bez uključivanja vremenskog parametra (drugim riječima, bez implementacije ugaone brzine koja je data u definiciji problema)
- dodavanje jednačine koja implementira vremenski zavisnu kinematiku
- simulacija željenog kretanja sa konstantnom ugaonom brzinom i generisanje dijagrama rezultata

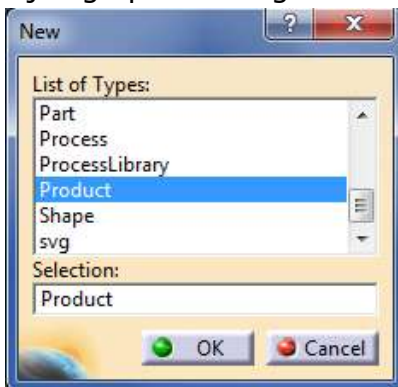
**Kreiranje sklopa u modulu *Mechanical Design Solutions***

Kao prvo potrebno je da kreiramo modele dijelova poput onih na sljedećoj slici i da im damo nazive **arm** i **base**; jedina kritična dimenzija je  **$R = 125$  mm**.





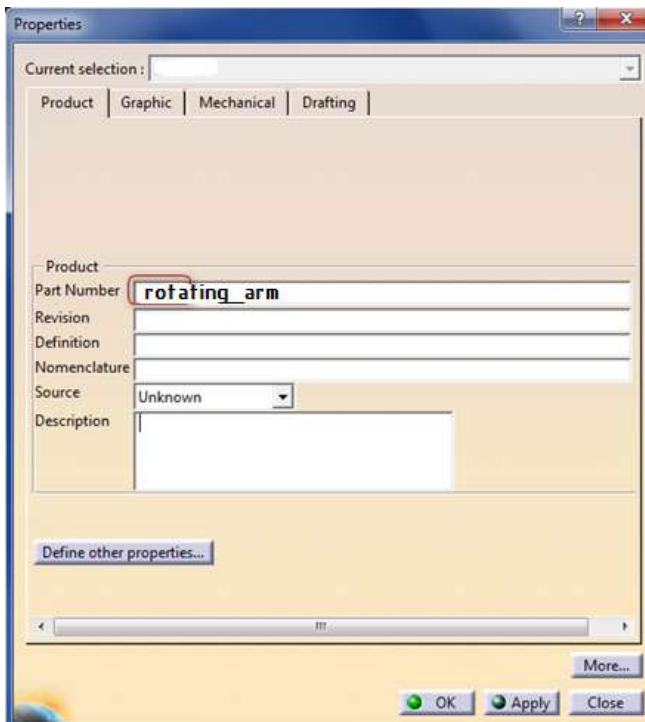
Pokrenimo okruženje **Assembly Design**, što možemo učiniti na različite načine, u zavisnosti od konkretne konfiguracije programa CATIA na računaru. To možemo postići izborom opcije **File-New**. Izaberemo opciju **Product** iz dijaloga prikazanog na slici.



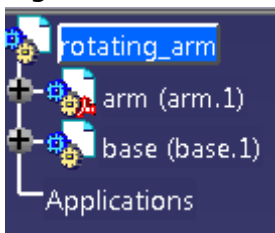
Na taj način ćemo preći u okruženje **Assembly Design**, uz kreiranje sklopa pod podrazumijevanim nazivom **Product. 1**.

Da bi izmijenili podrazumijevani naziv, postavimo kursor preko stavke **Product. 1** u stablu, kliknemo desnim tasterom miša i iz menija izaberemo opciju **Properties**.

Iz dijaloga **Properties** izaberemo stranicu **Product** i u polje **Part Number** upišemo naziv **rotating\_arm**.



U narednom koraku ćemo postojeće dijelove ugraditi u upravo kreirani sklop. U standardnoj paleti alata selektujemo **Insert>Existing Component**. Iz popup dijaloga **File Selection** izaberemo dijelove pod nazivom **arm** i **base**. Izgled stabla će biti izmjenjen i u njemu će se pojaviti upravo ubačeni dijelovi.



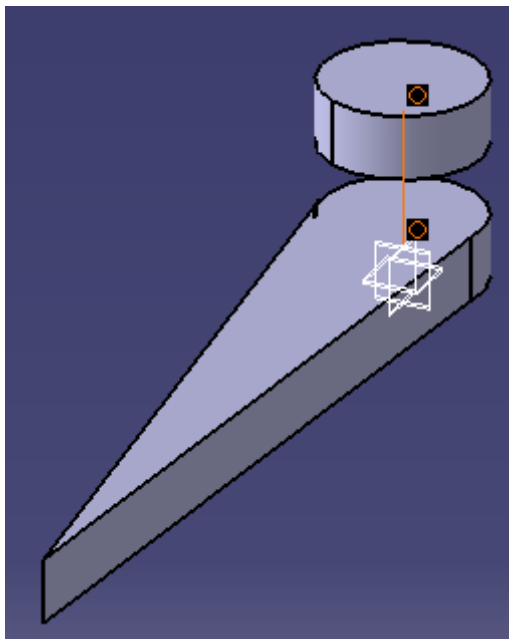
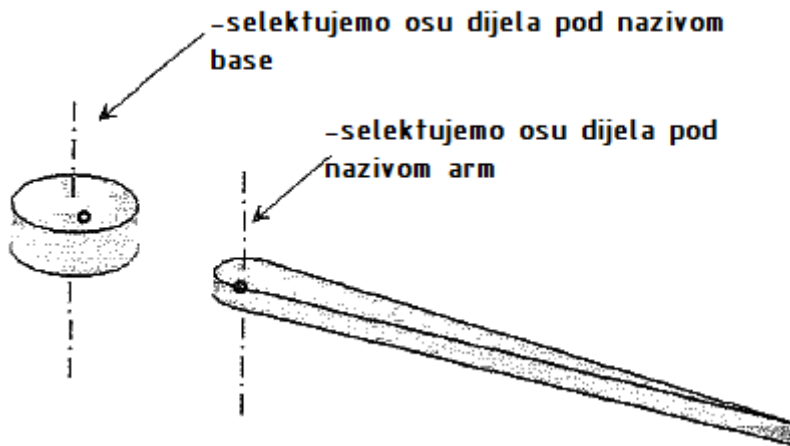
U nastavku moramo definisati ograničenja na nivou sklopa. Inicijalno poluga posjeduje svih šest stepeni slobode (dof); tačnije, može se slobodno translatomo kretati duž sve tri ose i rotirati oko bilo koje od njih. Dodavanjem ograničenja želimo da uklonimo sve te stepene slobode, izuzev rotacije ose poluge oko ose osnove. Ukoliko to uradimo pravilno, CATIA će moći automatski da konvertuje ograničenja na nivou sklopa u revolucioni spoj u mehanizmu.

Počecemo tako što ćemo poravnati ose poluge i osnove.

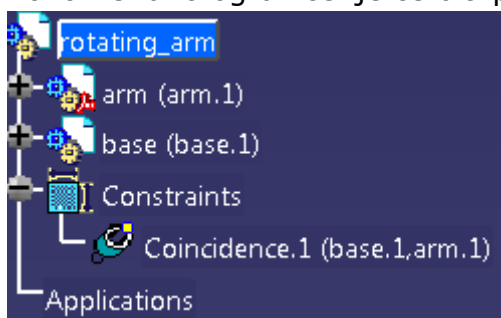
Da bi to uradili kliknemo na ikonu **Coincidence** u paleti alatki **Constraints**.



Selektujemo ose dijelova **base** i **arm**, kao što je prikazano na slici.




Novokreirano ograničenje će biti predstavljeno zasebnom granom u stablu.



Upravo kreirano ograničenje tipa poravnanja između dvije ose uklanja sve stepene slobode kretanja, izuzev dvije relativne slobode između dijelova **arm** i **base**. Preostala je rotacija poluge oko osnove (onaj stepen slobode koji nam je potreban), kao i translacija ose osnove duž ose poluge (stepen slobode koji želimo da uklonimo).

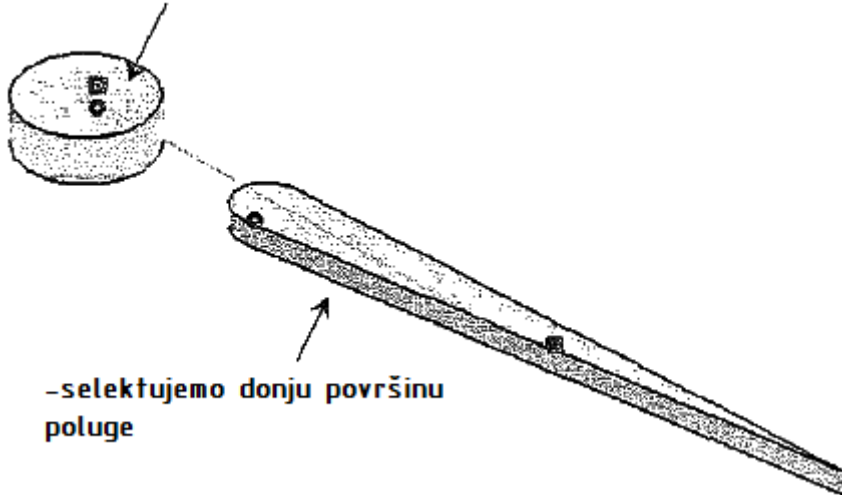
Kontaktno ograničenje između donje površine poluge i gornje površine osnove može ukloniti neželjenu translaciju.

Da bi kreirali ovo ograničenje, kliknemo na ikonu **Contact**  u paleti alata

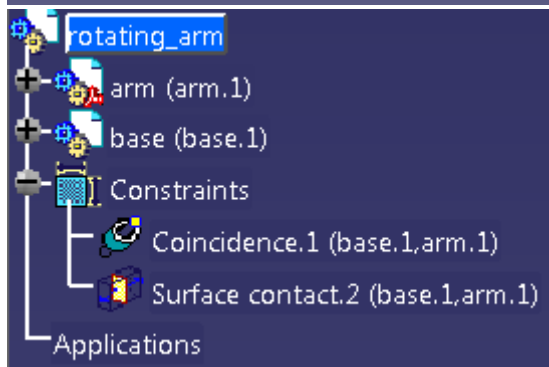
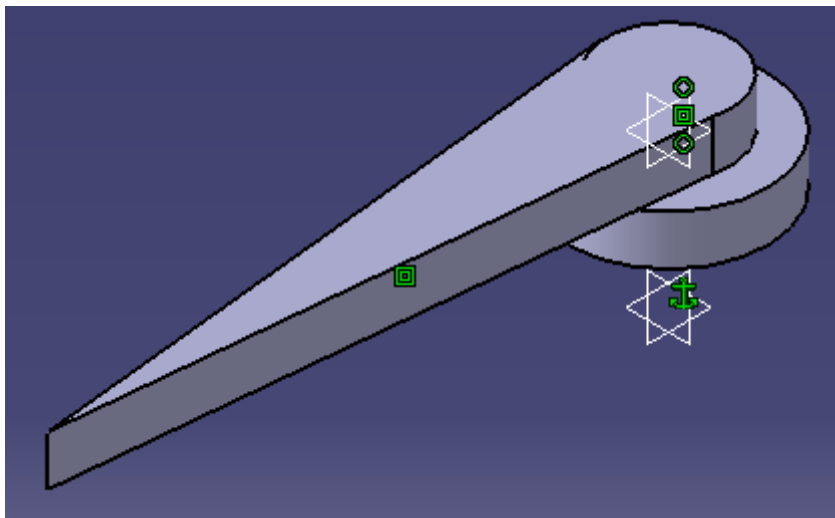


**Constraints** i selektujemo površine prikazane na donjoj slici. Stablo će biti izmjenjeno i u njemu će biti prikazano novo ograničenje.

-selektujemo gornju površinu osnove




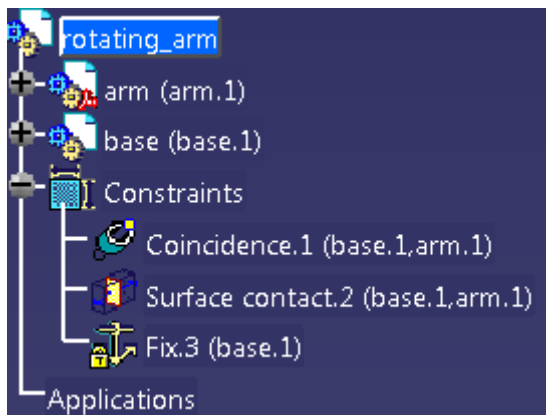
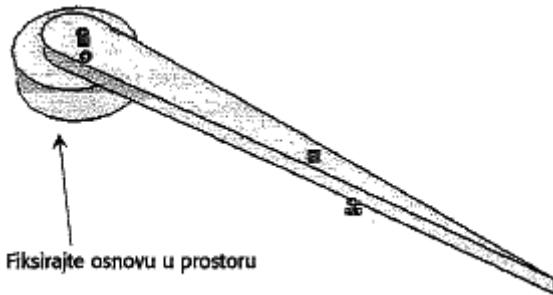
-selektujemo donju površinu poluge



Pomoću ikone **Update** aktiviramo ova dva ograničenja, koja smo upravo kreirali ,čime će dva dijela doći u međusobni relativni položaj.

Na kraju ćemo definisati još jedno ograničenje tipa blokiranje (engl. anchor), kojim ćemo fiksirati poziciju i orijentaciju osnove u prostoru. Ovo ograničenje treba primjenjivati prije dva prethodna ograničenja, ali pošto to nismo uradili ranije, uradićemo sada.

Da bismo definisali blokiranje, kliknemo na ikonu **Fix Component**  u paleti alata **Constraints** i selektujemo dio pod nazivom **base** iz stabla (ili na ekranu).



Sklop je time završen i možemo preći u radno okruženje pod nazivom **Digital Mockup**.

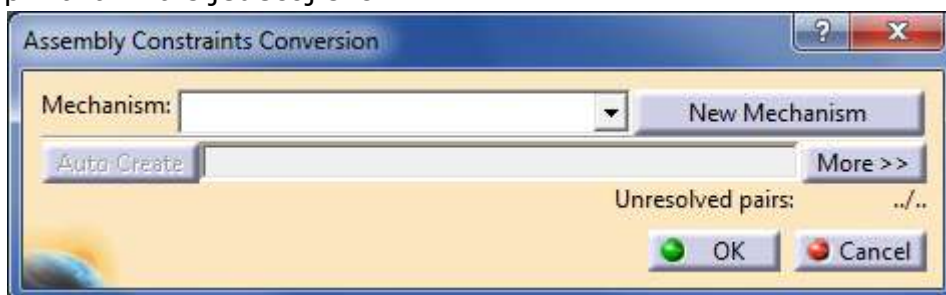
### Kreiranje spojeva u radnom okruženju **Digital Mockup**

Okruženje **Digital Mockup** je prilično složeno, ali mi ćemo se pozabaviti samo modulom **DMU Kinematics**. Ovaj modul možemo otvoriti preko standardne Windows palete alata **Start-Digital Mockup-DMU Kinematics**.

Kliknemo na ikonu **Assembly Constraints Conversion**  u paleti alata **DMU Kinematics**.



Pomoću ove ikone možemo automatski kreirati najčešće korištene spojeve na osnovu postojećih ograničenja na nivou sklopa. Pojaviće se pop-up dijalog prikazan na sljedećoj slici.

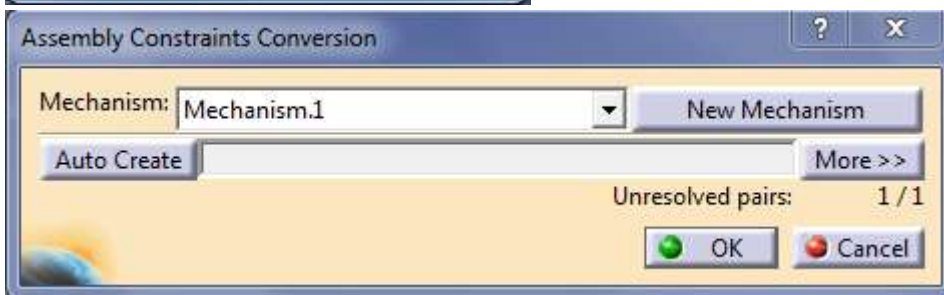


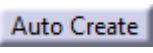
Kliknemo na dugme **New Mechanism** .

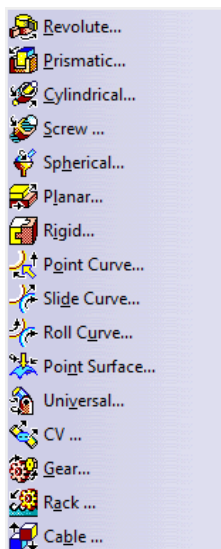
Na taj način ćemo preći u drugi pop-up dijalog u kome možemo dodijeliti naziv mehanizmu.

Podrazumijevani naziv je **Mechanism.1**. Prihvatimo taj naziv, tako što ćemo kliknuti na **OK**.

U dijalogu možemo uočiti natpis **Unresolved pairs: 1/1**



Kliknite na dugme **Auto Create** . Ukoliko vrijednost parametra **Unresolved pairs** postane **0/1**, možemo zaključiti da se stvari odvijaju u željenom smjeru.



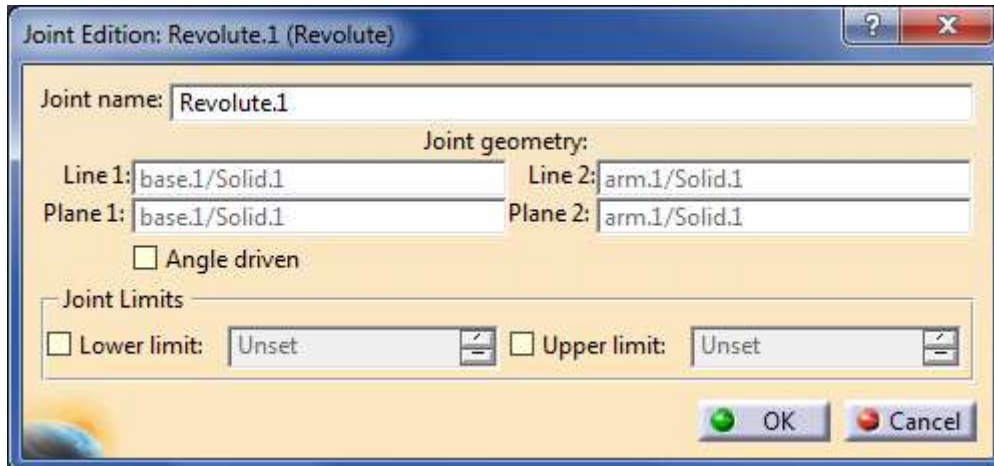
Primjećujemo da je specifikaciono stablo dobilo na dužini i da se sada u njemu nalazi i grana pod nazivom **Application**.

Naredna slika prikazuje razvijeno stablo. U njemu se jasno uočava spoj **Revolute.1** i element Fixed Part pod nazivom **Fix.3**. Parametar DOF ima vrijednost 1 i označava jedini preostali stepen slobode -rotaciju poluge oko ose osnove. Primjećujemo još da je program kreirao i prizmatični spoj, koji je nastao na osnovu kontaktnog ograničenja definisanog ranije na nivou sklopa.

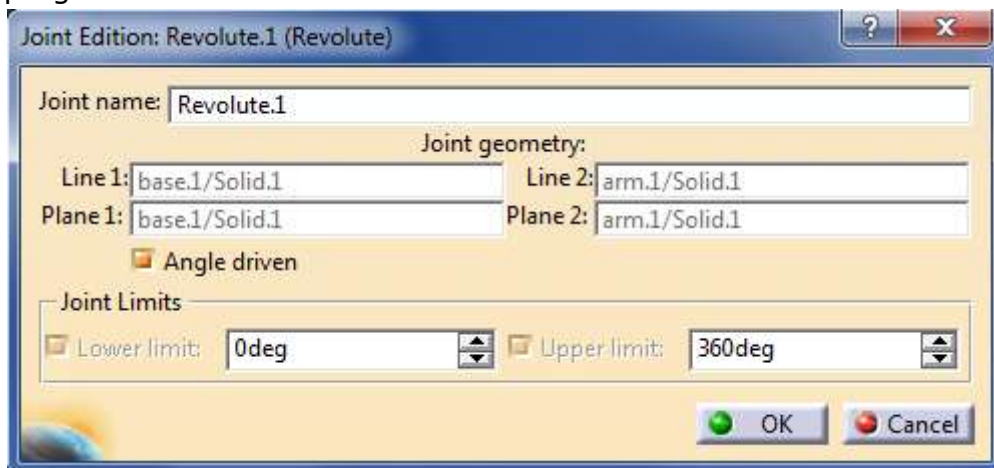
Ukoliko ograničenja na nivou sklopa ne budu automatski konvertovana u željene spojeve, spojeve možemo kreirati i ručno pomoću palete alata **Kinematics Joints**, (ili ići na **Insert-New Joint**) koja je prikazana na sljedećoj slici.

Da bismo kreirali animaciju našeg mehanizma, potrebno je da uklonimo jedini prisutan stepen slobode kretanja. To ćemo postići tako što ćemo spoj **Revolute.1** pretvoriti u spoj **Angle driven**. Kliknemo dva puta mišem na spoj

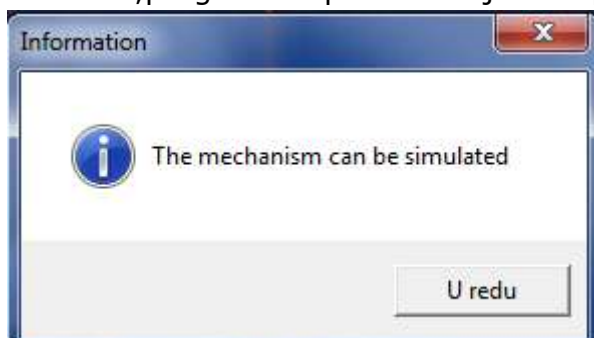
**Revolute.1** u stablu. Pojaviće se pop-up dijalog prikazan na sljedećoj slici.



Potvrdimo polje **Angle driven** i izmjenimo vrijednosti parametara **Lower limit** i **Upper limit** tako da odgovaraju vrijednostima sa naredne slike. Treba imati na umu da se ta ograničenja mogu izmjeniti i na drugim mjestima u okviru programa.



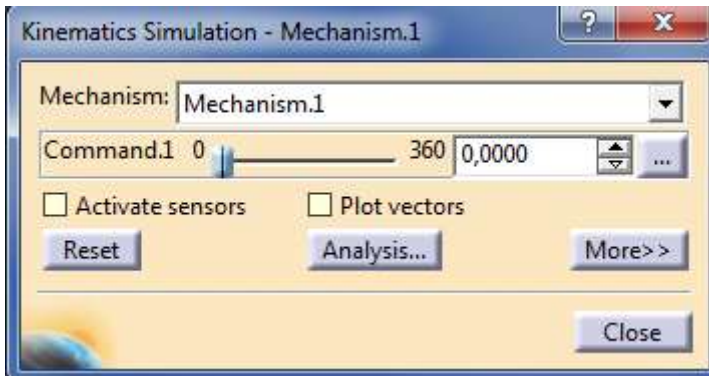
Nakon zatvaranja prikazanog dijaloga, pod uslovom da je sve ostalo urađeno korektno, program će prikazati sljedeću poruku.



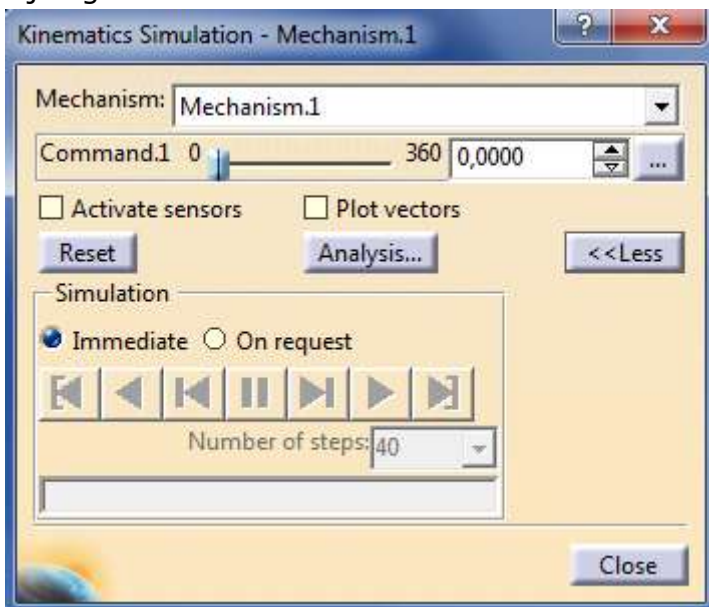
To je zaista povoljna vijest („Može se izvršiti simulacija mehanizma“). Postoje dva načina za pokretanje animacije novokreiranog mehanizma. Razmotrićemo oba.

## Prvi način-Simulacija pomoću naredbi:

Klinite na ikonu **Simulation with Commands**  .  
Pojaviće se pop-up dijalog **Kinematics Simulation**.



Pritiskom na dugme **More>>** možemo uključiti prikaz kompaktne verzije ovog dijaloga.



Ranije postavljene vrijednosti parametara **Upper** i **Lower limit** (0 i 360) sada su prikazane uz klizač u dijalogu. Broj koraka predstavlja rezoluciju prikaza kretanja. U dijalogu se nalaze i dva radio-dugmeta, **Immediate** i **On request**. Ukoliko kliknemo na dugme **Immediate**, kretanje poluge će biti automatski prikazivano na ekranu sa prevlačenjem klizača sa lijeve u desnu stranu. Kada poluga završi jedan puni okret, pomoću dugmeta **Reset** možemo je vratiti na početnu poziciju. To se može postići i prevlačenjem klizača na poziciju 0. Opseg revolucionog spoja možemo podesiti i pritiskom na dugme

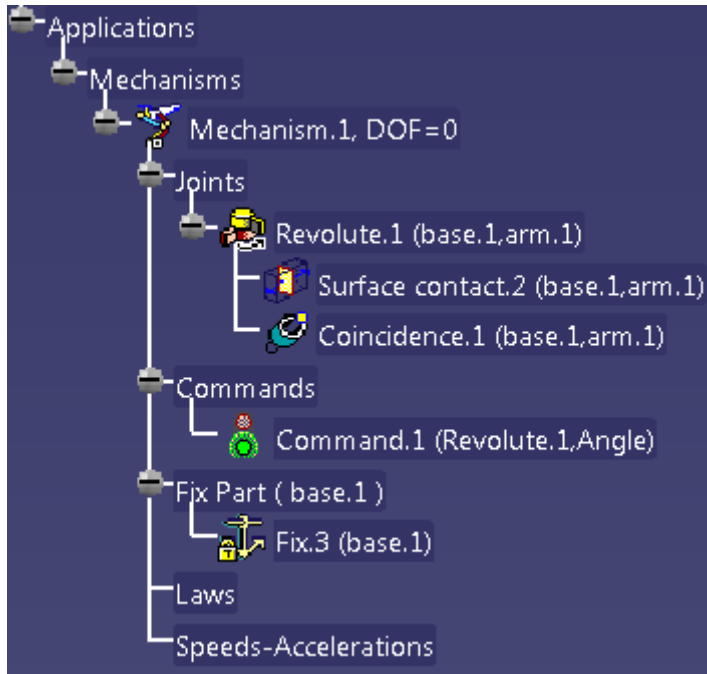


Time se otvara dijalog u kome možemo precizirati novi opseg. Ukoliko je potvrđeno radio-dugme **On request**, sa prevlačenjem klizača sa lijeve u desnu stranu, na prvi pogled na ekranu se neće dešavati ništa. Kada, međutim, poluga stigne do krajnjeg položaja koji odgovara uglu od 360°




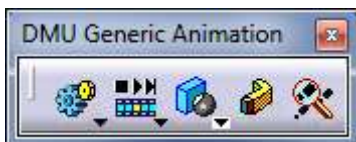
, pritisnemo **Simulation** dugme video plejera vidjećemo polugu kako rotira oko osnove. Kada poluga završi zadanu rotaciju, kliknemo na dugme **Reset** kako bi se vratili na početnu poziciju. To možemo uraditi i prevlačenjem klizača **Number of step** na poziciju 0.

Pored toga, primjećujemo i da je u stablu mehanizma ubačena nova grana pod nazivom **Command. 1**.



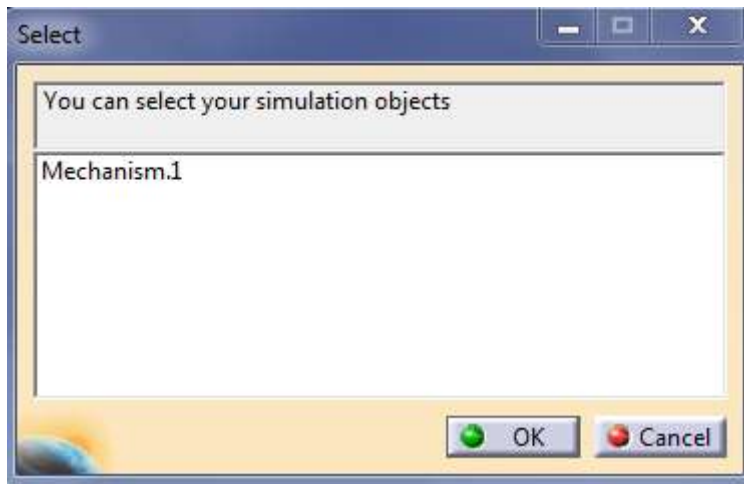
### Drugi način- Simulacija:

Kliknemo na ikonu **Simulation**  u paleti alata **DMU Generic Animation**.

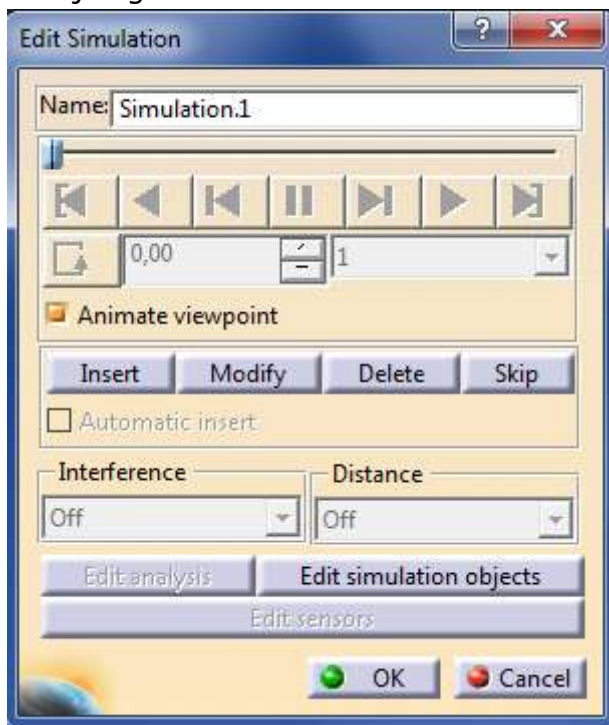


Nakon toga, možemo izabrati mehanizam koji želimo da animiramo (ukoliko postoji više mehanizama). U našem primjeru selektujemo **Mechanism. 1** i zatvorimo dijalog klikom na dugme **OK**.

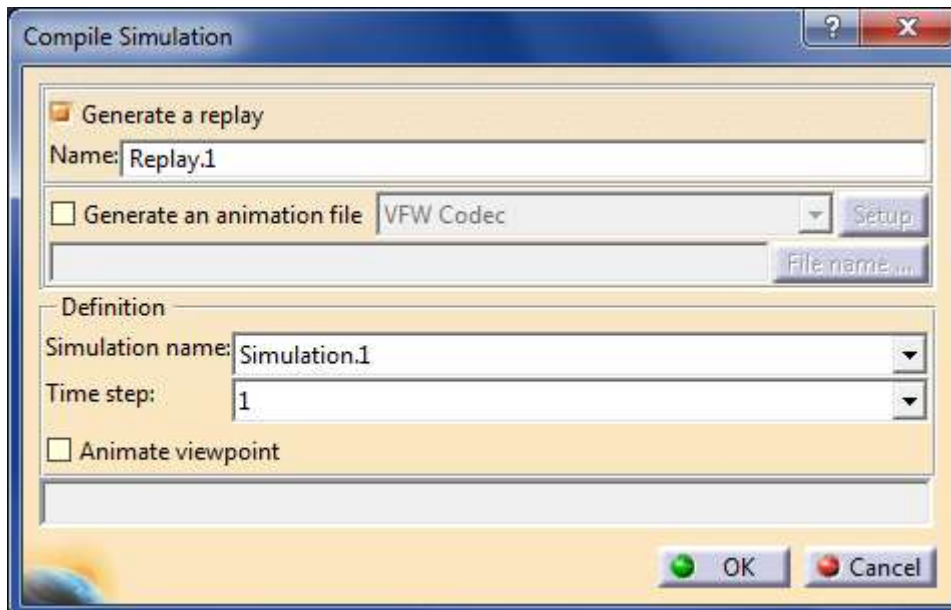




U stablu se pojavljuje nova grana pod nazivom **Simulation**. Pored toga pojaviće se dijalog **Edit Simulation**.

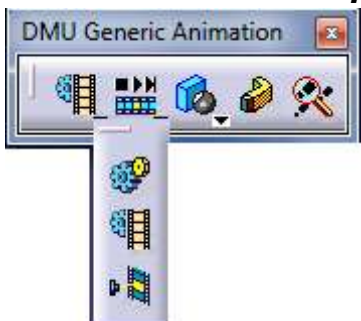


Pokrenimo naredbu **Compile Simulation** . Nakon pritiska na dugme **File name** možemo odabrati lokaciju i naziv animacione datoteke koja će biti generisana. Nakon što odaberemo željenu putanju i naziv datoteke, trebamo da izmjenimo vrijednost parametra **Time step** na 0.04 kako bi dobili polaganu animaciju pokretnog bloka u obliku AVI datoteke.



Ukoliko nam AVI datoteka nije potrebna, već želimo da prikazemo animaciju više puta, moramo kreirati **Replay**. Da bi to uradili, u dijalogu **Compile Simulation** ovjerimo polje **Generate a replay**. Kada ovjerimo to polje, većina ranije dostupnih opcija u dijalogu postaje neaktivna. Osim toga, stablu će biti dodata grana pod nazivom **Replay.1**.


Pokrenemo naredbu **Replay** sa palete **DMU Generic Animation**.

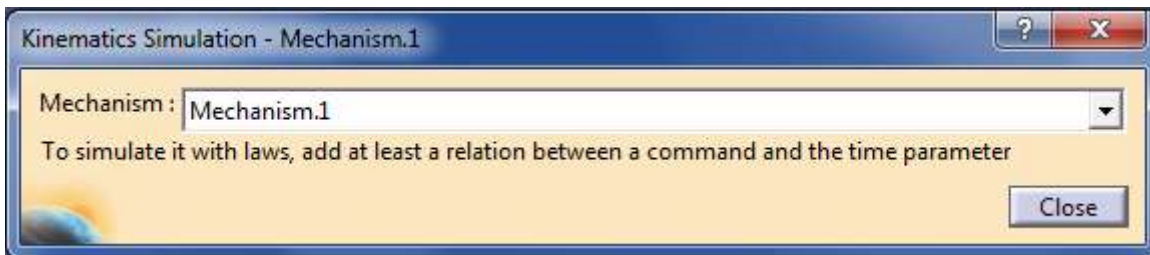



Kliknemo dva puta mišem na granu **Replay.1** u stablu, čime se otvara dijalog **Replay**.

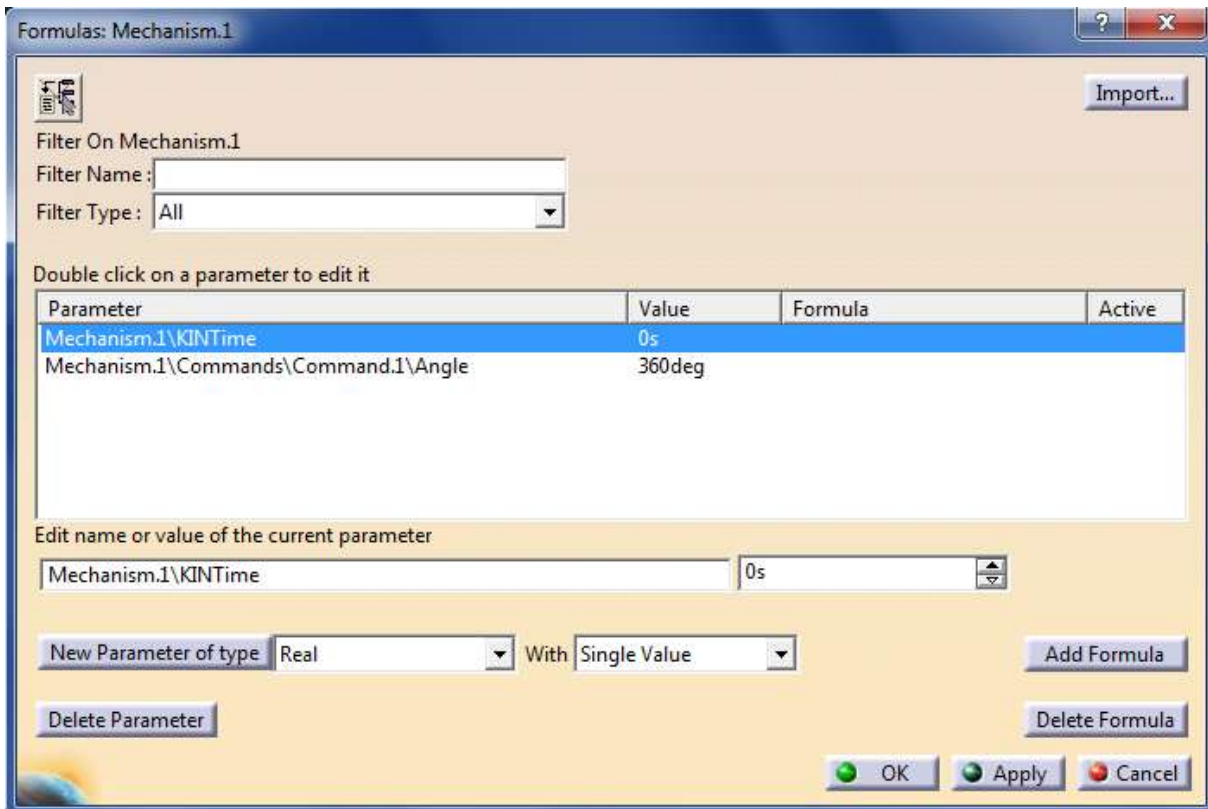
### Definisanje zakona kretanja i simulacija željene kinematike

Animacije kretanja koje smo kreirali do sada nisu bile vezane za parametar vrijeme, niti za ugaonu brzinu, kako je to bilo navedeno u definiciji problema. Sada ćemo u čitav problem ubaciti nešto vremenski zavisne fizike. Želimo da definišemo konstantnu ugaonu brzinu čija je vrijednost  $\omega = 2\pi \text{ rad/s}$ .

Pokrenemo naredbu **Simulation with Laws**  sa palete **DMU Kinematics**. Otvoriće se dijalog u kome se nalazi obavještenje da moramo dodati barem jednu jednačinu koja povezuje naredbu i vrijeme.

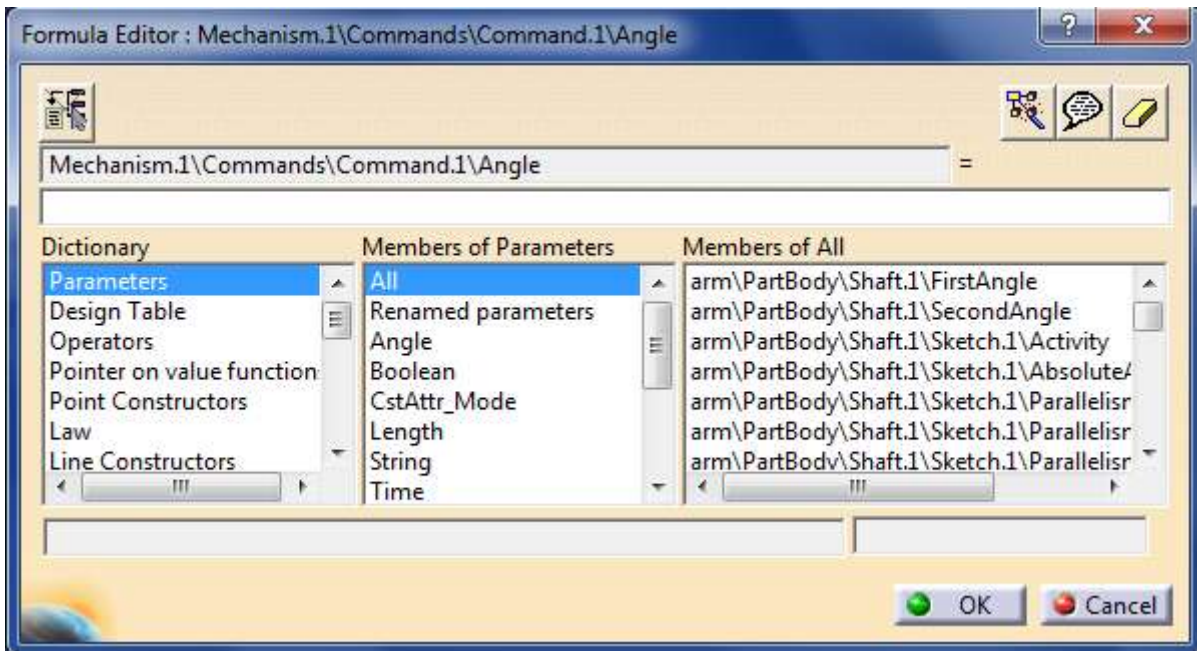


Pokrenimo naredbu **Formula**  i pojaviće se dijalog **Formulas: Mechanism.1**.

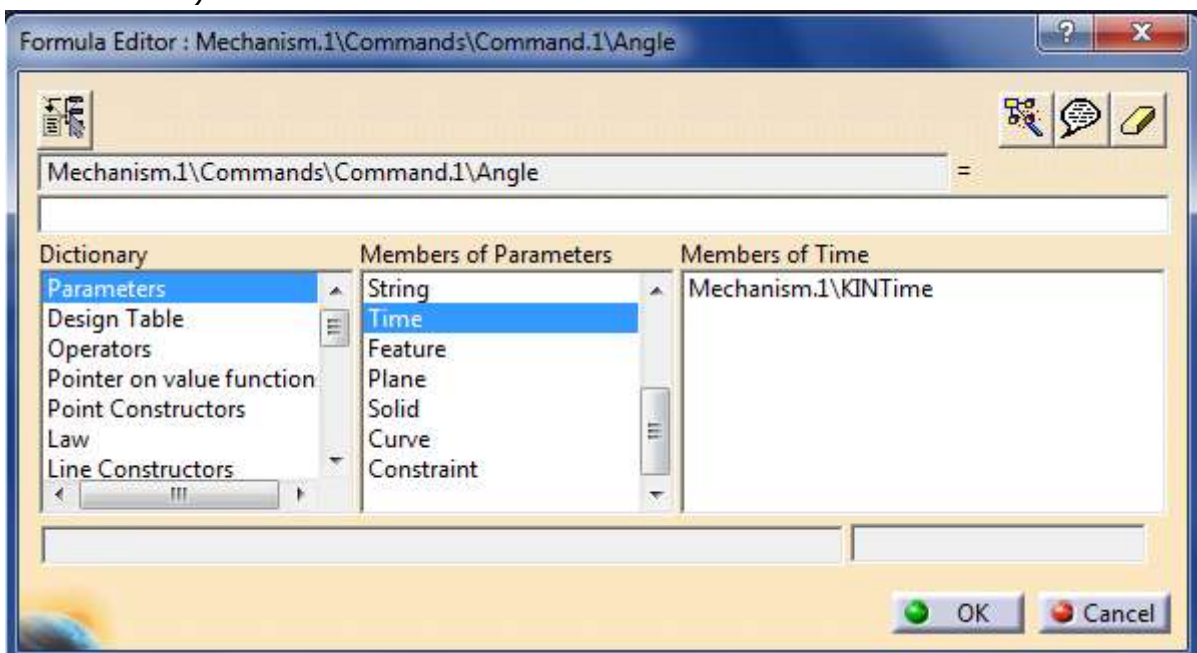


Postavimo kursor iznad grane **Mechanism. 1, DOF=0** u stablu i kliknimo mišem na nju. Program će nakon toga prikazati jedini parametar koji je pridružen mehanizmu u dijalogu **Formulas**.

Selektujemo stavku Mechanism.1\Commands\Command.1\Angle i kliknimo na dugme **Add Formula** . Otvara se dijalog **Formula Editor**.

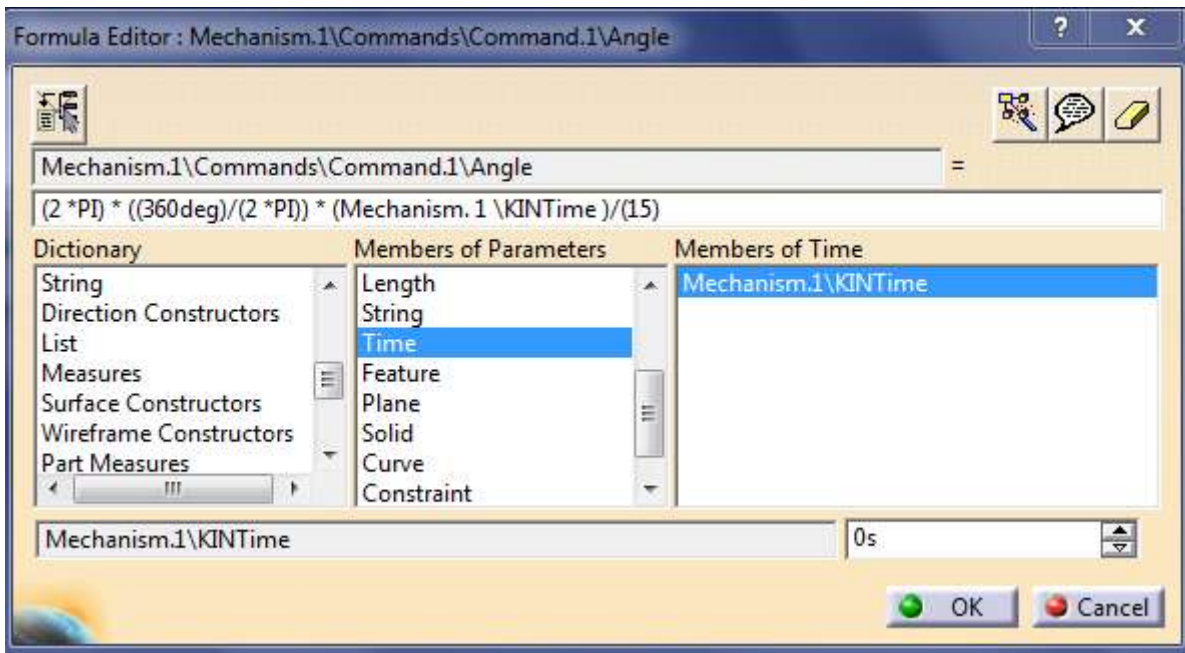


Selektujemo stavku **Time** u srednjoj koloni (u koloni **Members of Parameters**).



Desna strana jednačine će dobiti takav izgled da čitava jednačina postane  
*Mechanism. 1 \ Commands\ Command. 1 \Angle =*  
 $(2 *PI) * ((360deg)/(2 *PI)) * (Mechanism. 1 \KINTime)/(15)$   
 Dijalog Formula Editor dobija sljedeći izgled





Gornja jednačina zahtjeva dodatno objašnjenje. Lijeva strana sadrži parametar **Angle**, tako da i desnu stranu moramo svesti na dimenzije ugla, odnosno na stepene. Zbog toga su članu (*Mechanism.1\KINTime*) oduzete dimenzije djeljenjem sa (1s). Slovo "s" u jednačini označava sekunde. Konačno, uveden je i član  $(360\text{deg})/(2*\text{PI})$  kako bi se ugaona brzina izražena u radijanima u sekundi pretvorila u stepene u sekundi.

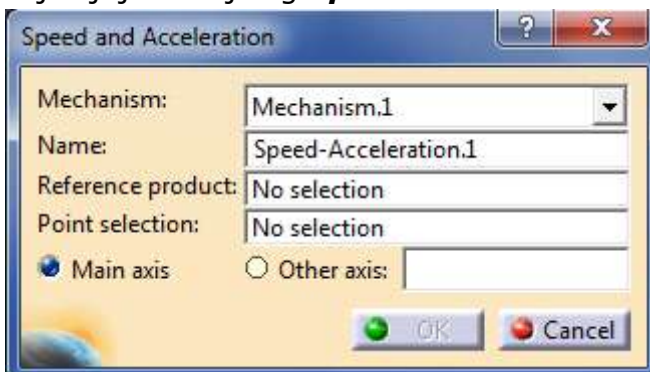
Ukoliko su strane jednačine izražene u različitim jedinicama, program će prikazati poruku *upozorenja*.

Namjera nam je da kreiramo dijagrame brzine i ubrzanja vrha poluge u sklopu ovog kretanja.

Kliknemo na dugme **Speed and Acceleration**  u paleti **DMU Kinematics**.



Pojavljuje se dijalog **Speed and Acceleration**.



Za **Reference product** izaberemo dio **base** (na ekranu ili u stablu). Za **Point selection** kliknemo mišem na tjemenu (verteksu) na dijelu **block**, kao što je prikazano na sljedećoj slici.

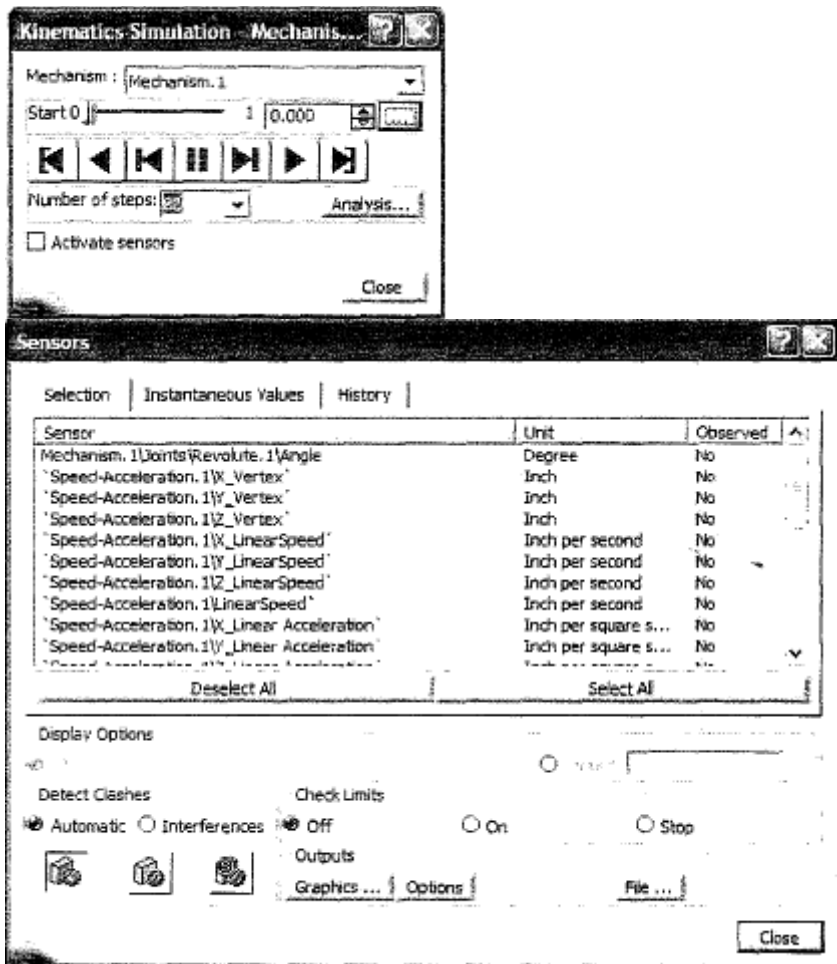


Kliknimo na ikonu **Simulation with Laws**.

Otvora se dijalog **Kinematic Simulation**. Primjećujemo da je podrazumijevano trajanje simulacije 10 sekundi. To vrijeme možemo promjeniti.

Overimo polje **Activate sensors** u donjem lijevom uglu.

U nastavku ćemo morati da izvršimo određene izbore u dijalogu **Sensors**, kako bismo odredili kinematičke parametre koje želimo da izračunamo i sačuvamo.



Kliknimo na sljedeće stavke:

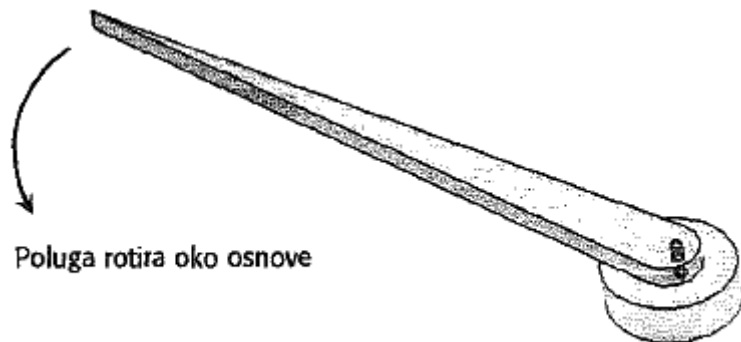
Speed-Acceleration. 1 \X\_LinearSpeed

Speed-Acceleration. 1 \X\_LinearAcceleration

Nakon te selekcije zadnja kolona u dijalogu **Sensors** dobija vrijednost **Yes** za svaku izabranu stavku.



Sada prevučemo klizač u dijalogu **Kinematics Simulation**. Sa prevlačenjem klizača i poluga će vršiti rotaciju oko osnove. Kada klizač dođe do krajnje desne tačke, poluga će načiniti jedan puni krug. To odgovara vremenu od 1s i uglu od  $360^{\circ}$ .



Poluga rotira oko osnove

Kada poluga pređe pun krug, kliknemo na dugme **Graphic**. Time dobijamo dijagram koji prikazuje brzinu i ubrzanje duž iste ose.

Dobijeni dijagrami su u potpunosti usklađeni sa teoretskim rezultatima. Oni, međutim, mogu zavarati zato što imaju različite razmjere. Dijagrame možemo posmatrati i odvojeno, tako što ćemo postaviti kursor na neki od njih, kliknuti desnom tipkom miša i isključiti njegov prikaz. Tek onda se oni mogu uporediti sa analitičkim izrazima.

### **VJEŽBA-3**

#### **Mehanizam koljenastog vratila**

U ovoj vježbi ćemo kreirati mehanizam koljenastog vratila (engl. slider crank mechanism) kombinacijom revolucionih i cilindričnih spojeva. Pored toga, upoznaćemo neke dodatne rutine za generisanje dijagrama u okviru programa CATIA.

#### **Definicija problema**

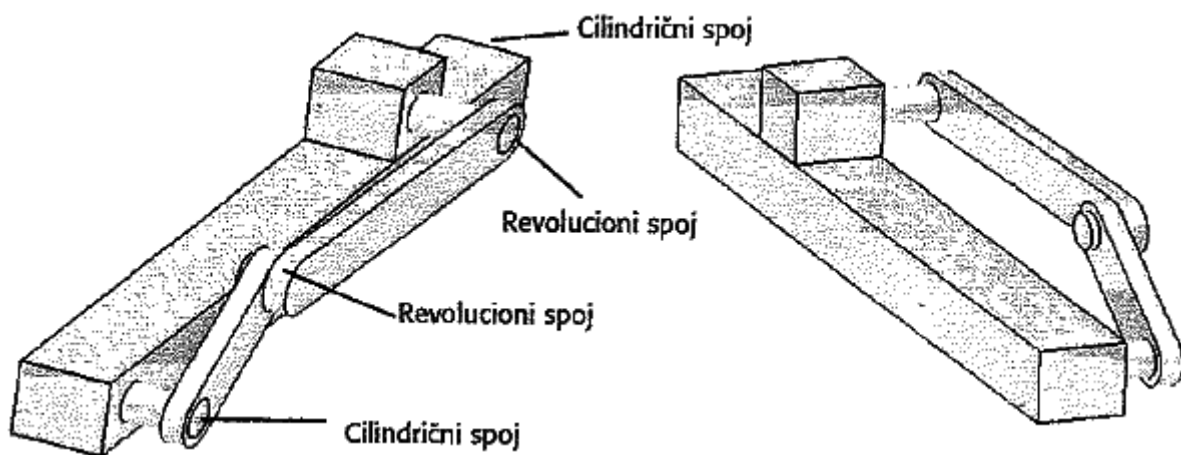
Mehanizam koljenastog vratila, koji se često naziva i spoj tri poluge (three-bar-linkage), možemo zamisliti kao vezu četiri poluge, pri čemu jedna veza ima beskonačnu dužinu. Takav mehanizam je primjenjen na klipovima motora sa unutrašnjim sagorijevanjem.

U ovoj vježbi ćemo simulirati mehanizam koljenastog vratila (prikazan ispod) sa neprekidnom rotacijom, pri čemu ćemo generisati dijagrame pojedinih rezultata simulacije, uključujući poziciju, brzinu i ubrzanje vratila. Mehanizam ćemo konstruisati spajanjem četiri dijela. Broj i vrsta spojeva u programu CATIA zavisi od prirode primjenjenih ograničenja na nivou sklopa. Postoji nekoliko različitih kombinacija spojeva koje mogu dati kinematički ispravnu simulaciju koljenastog vratila. Najbolja je kombinacija tri revolucionarna i jednog

prizmatičnog spoja. Sa stanovišta broja stepeni slobode, kombinacija tri revoluciona i jednog prizmatičnog spoja ograničava sistem.

U ovoj vježbi ćemo izabrati alternativnu kombinaciju spojeva, kako bismo upoznali cilindrični spoj i istovremeno prikazali da se uklanjanje nepotrebnih stepena slobode i generisanje željenog kretanja može obaviti različitim kombinacijama spojeva. Ograničenja na nivou sklopa će u našem pristupu biti primjenjena tako da ćemo pomoću dva revoluciona i dva cilindrična spoja zadržati samo jedan stepen slobode. Taj preostali stepen ćemo naknadno ukloniti tako što ćemo upravljanje jednim od cilindričnih spojeva (spoj radilice) vezati za uglove.

Pomoću CATIA opcije **Multiplot** ćemo na kraju kreirati takve dijagrame rezultata simulacije u kojima na apscisi ne mora uvijek biti prikazano vrijeme.



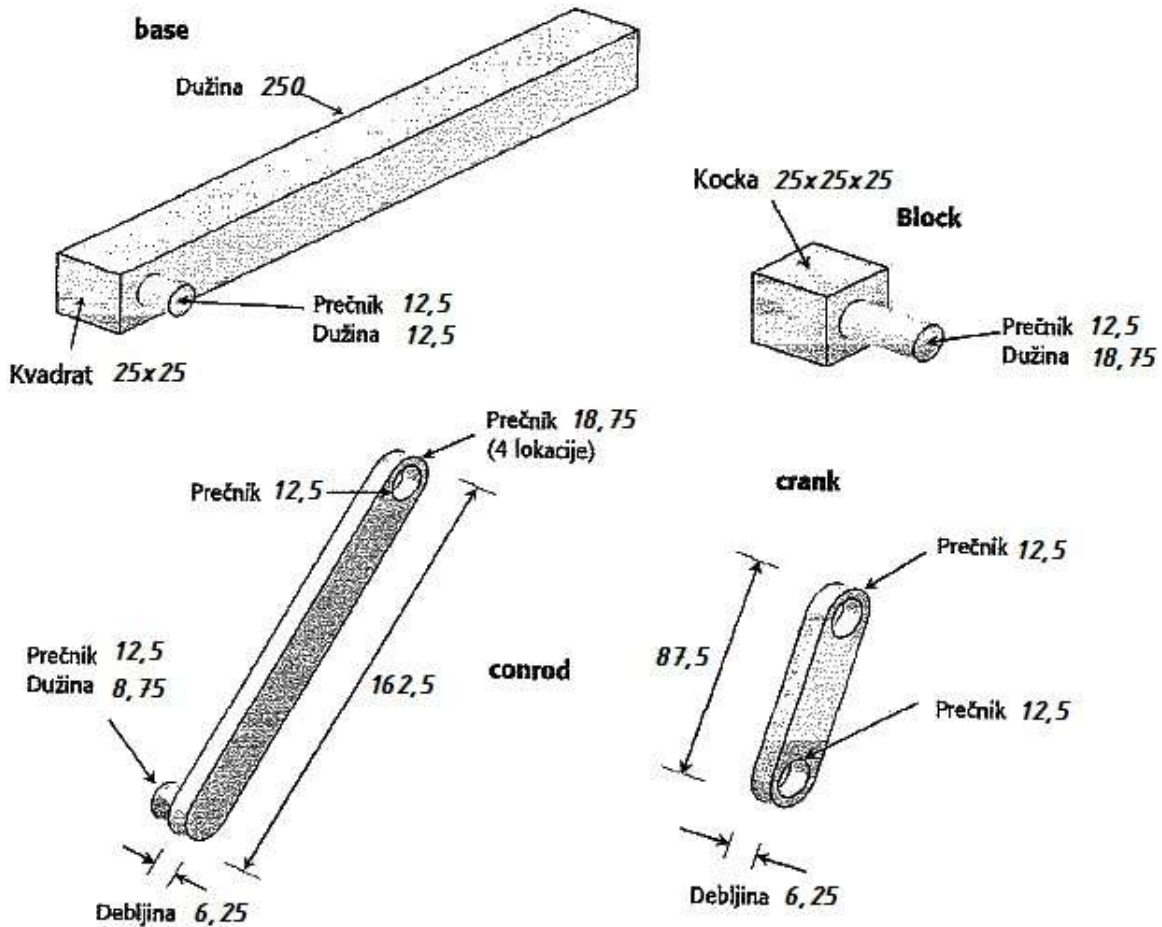
### Kratak pregled vježbe

U ovoj vježbi ćemo uraditi sljedeće:

1. Kreirati modele četiri CATIA dijela od kojih je sačinjen mehanizam.
2. Kreirati sklop (CATIA Product) koji je sastavljen od tih dijelova.
3. Definirati ograničenja na nivou sklopa tako da preostane samo jedan stepen slobode. Preostali stepen slobode će biti rotaciono kretanje koljenastog vratila.
4. Pretvoriti ograničenja na nivou sklopa u dva revoluciona i dva cilindrična spoja u radnom okruženju Digital Mockup.
5. Simulirati relativno kretanje poluge bez razmatranja vremena (drugim riječima, bez implementacije ugaone brzine zavisne od vremena, koja je data u definiciji problema).
6. Definirati jednačine koje implementiraju vremenski zavisnu kinematiku i konstantnu ugaonu brzinu koljenastog vratila.
7. Simulirati kretanje željenom konstantnom ugaonom brzinom i generisati dijagrame kinematičkih rezultata.

## Kreiranje sklopa u modulu Mechanical Design Solutions

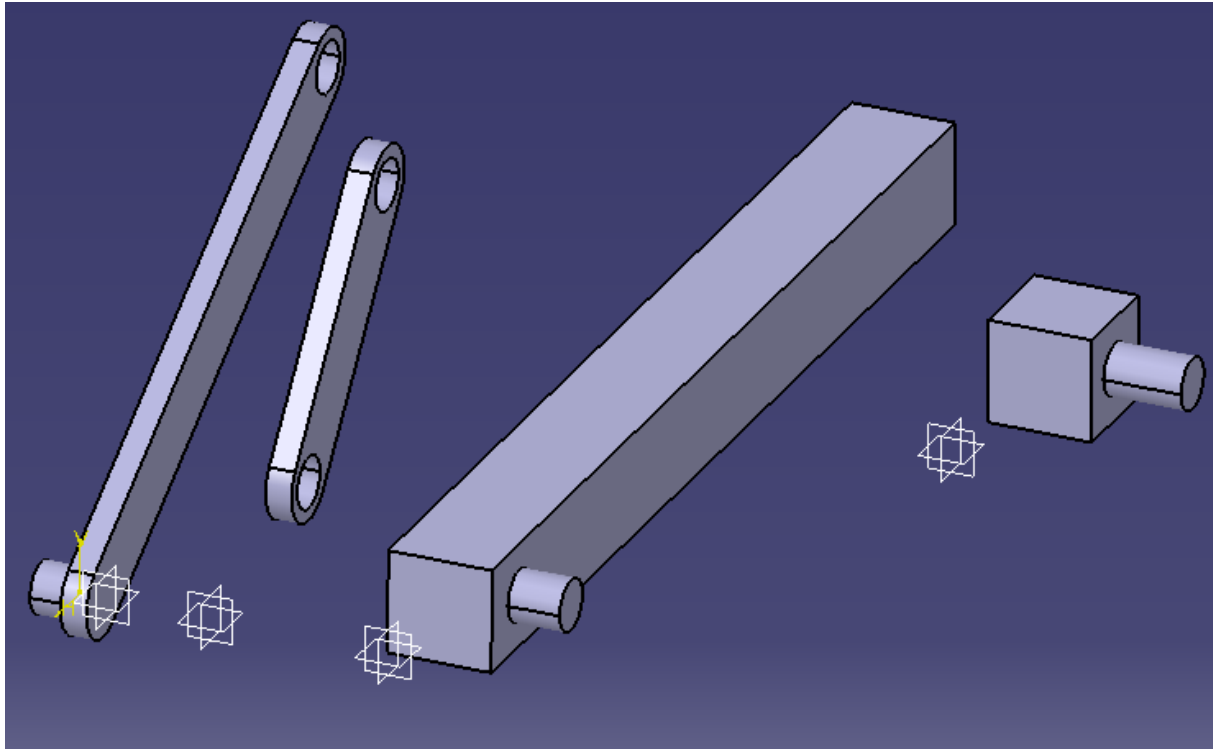
U programu CATIA napravimo modele četiri dijela: **base**, **crank**, **conrod** i **block**, kao što je prikazano na sljedećoj slici.




Aktiviramo radno okruženje **Assembly Design**, što možemo uraditi na više načina, u zavisnosti od konfiguracije programa CATIA. Iz standardne Windows palete možemo izabrati **File-New**.

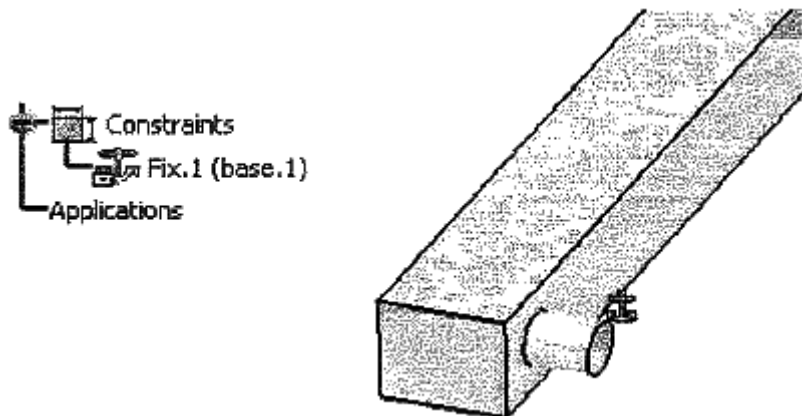
Iz dijaloga koji se otvori selektujemo opciju **Product**. Time ćemo preći u okruženje **Assembly Design**, gdje ćemo kreirati sklop sa podrazumijevanim imenom **Product. 1**.

U zavisnosti od načina kreiranja dijelova, može se desiti da su sva četiri dijela na ekranu smještena oko koordinatnog početka. U tom slučaju, možemo iskoristiti ikonu **Manipulation** u paleti alata **Move** kako bismo pomjerali dijelove na pogodnije lokacije.



U nastavku ćemo definisati potrebna ograničenja na nivou sklopa.

Kliknemo na ikonu **Fix Component**  u paleti alata **Constraints** i selektujemo dio pod nazivom **base** (na ekranu ili u stablu). Na taj način uklanjamo svih šest stepeni slobode ovoga dijela.

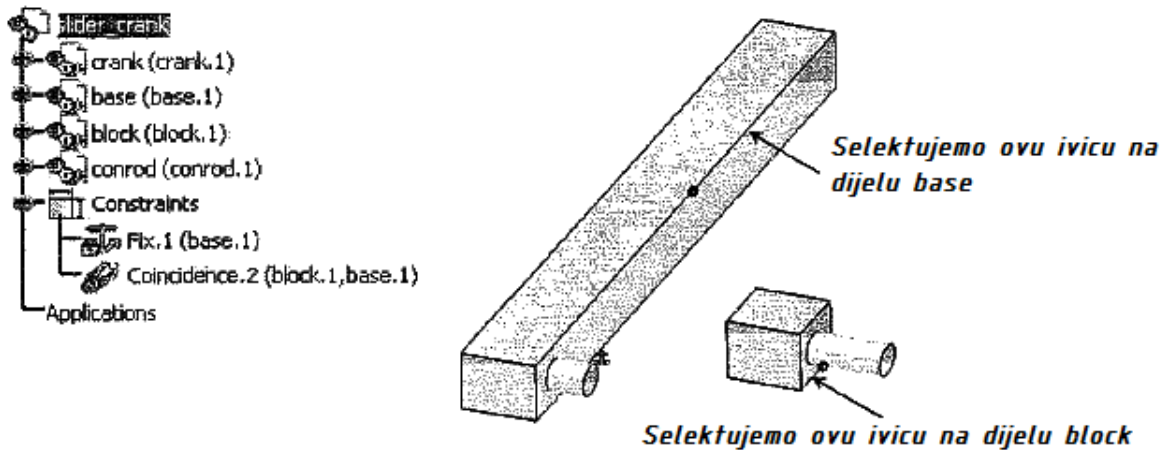


U sljedećem koraku ćemo definisati ograničenje, tako što ćemo poravnati ivice dijelova pod nazivom **base** i **block**. Na taj način uklanjamo sve stepene slobode, osim translacije duž poravnate ivice i rotacije oko te ivice. Ta dva preostala stepena slobode su u skladu sa našom namjerom da kreiramo cilindrični spoj između dijelova **block** i **base**.

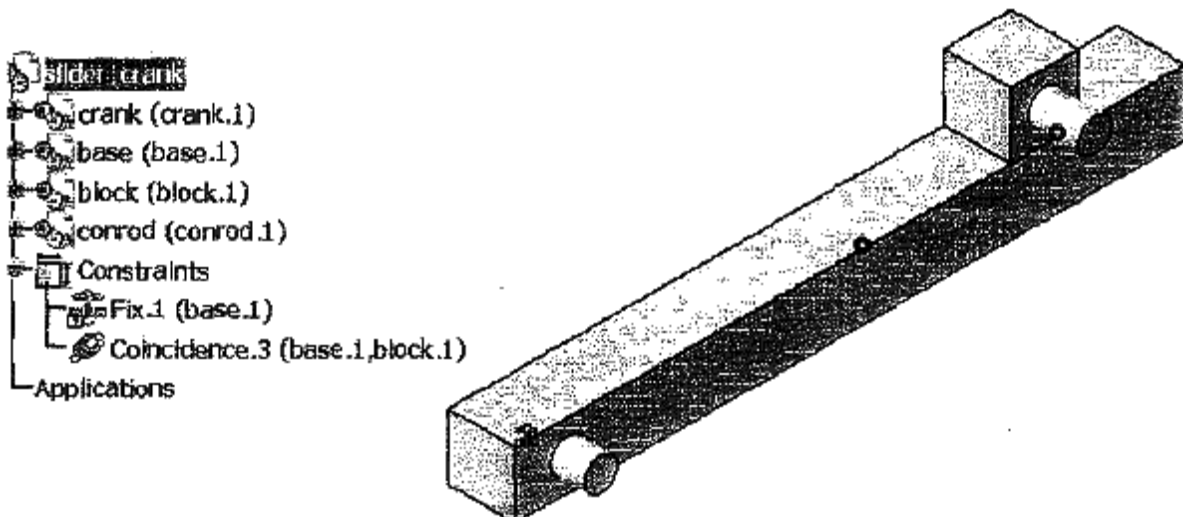
Ograničenje ćemo definisati tako što ćemo kliknuti na ikonu **Coincidence**

**Constraint**  u paleti alata **Constraints**.

Selektujemo ivice na dijelovima **base** i **block**, kao što je prikazano na sljedećoj slici. Novodefinisano ograničenje će biti prikazano i u odgovarajućoj grani u stablu.



U zavisnosti od toga kako smo kreirali svoje dijelove, može se desiti da dio pod nazivom **block** završi na sasvim drugoj lokaciji od one koja je prikazana na slici ispod. U tom slučaju možemo iskoristiti ikonu **Manipulate** kako bismo postavili dio na željenu lokaciju, nakon čega moramo ažurirati model (**Update**), ukoliko je to potrebno.



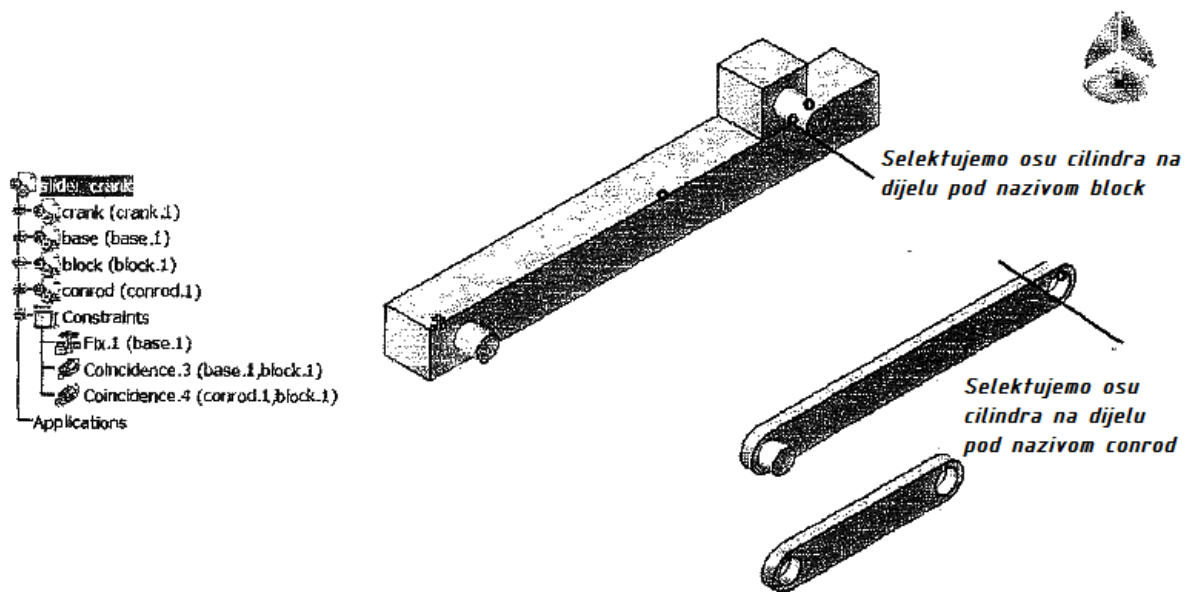
U narednom koraku ćemo definisati ograničenje između dijelova pod nazivom **conrod** i **block**. Naš je krajnji cilj da kreiramo revolucionarni spoj između ova dva dijela, tako da naše ograničenje na nivou sklopa mora ukloniti sve stepene slobode, osim rotacije oko ose.

Kliknimo na ikonu **Coincidence Constraint** u paleti alata **Constraints**.

Selektujemo ose dvije cilindrične površine koje su prikazane na slici ispod.

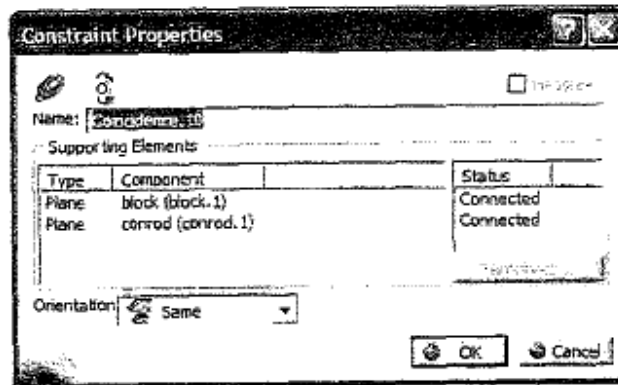
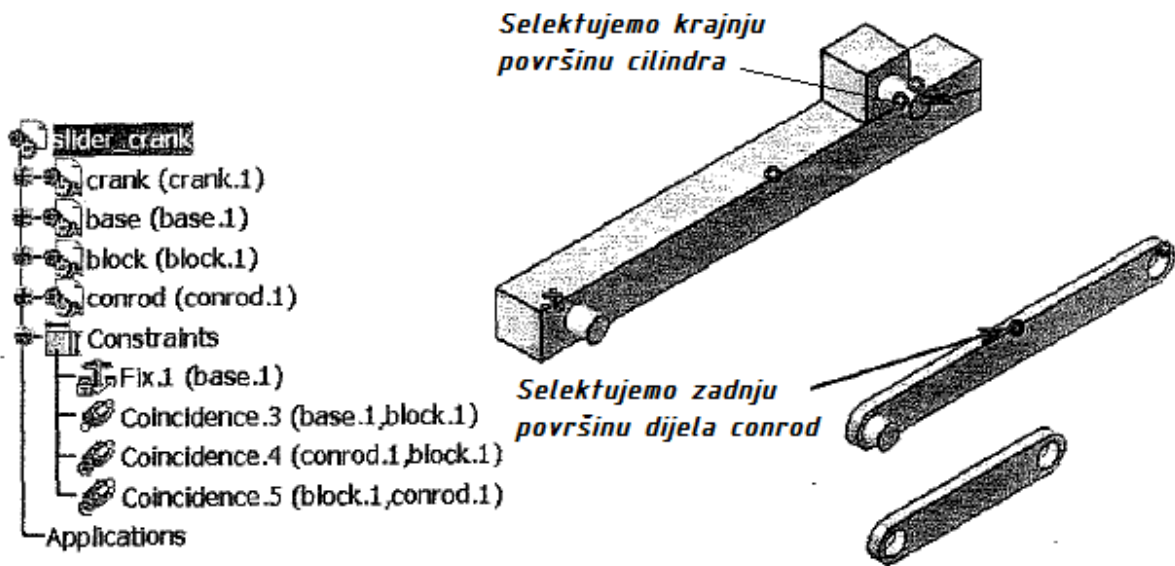
Treba imati na umu da je osu najlakše locirati tako što ćemo postaviti kursor iznad zakrivljene površine.





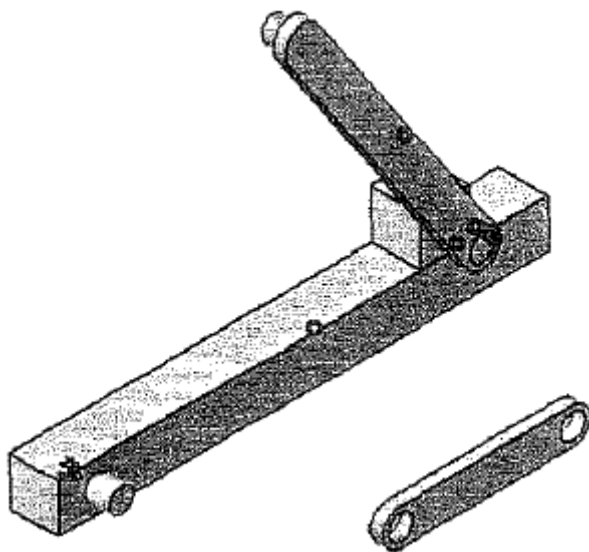


Upravo kreirano ograničenje koje poravnava ose zadržava samo dva stepena slobode između dijelova **conrad** i **base**. To su rotacija oko ose (željeni stepen slobode) i translacija duž ose (stepen slobode koji moramo da uklonimo kako bismo dobili željeni revolucioni spoj). Da bismo uklonili translaciju, kliknemo na ikonu **Coincidence Constraint** u paleti alata **Constraints** i selektujemo površine prikazane na narednoj slici.

Ukoliko su dijelovi približno orijentisani kao na slici, moramo izabrati opciju **Same** za parametar **Orientation** u dijalogu **Constraints Definition**, kako bi dio pod nazivom **conrad** dobio željenu orijentaciju nakon ažuriranja. U skladu sa novim ograničenjem biće izmjenjeno i stablo.

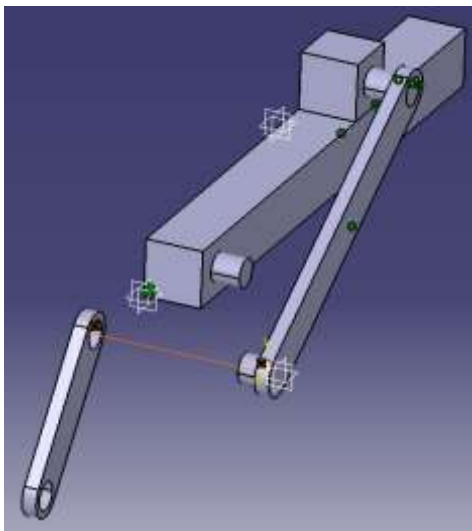
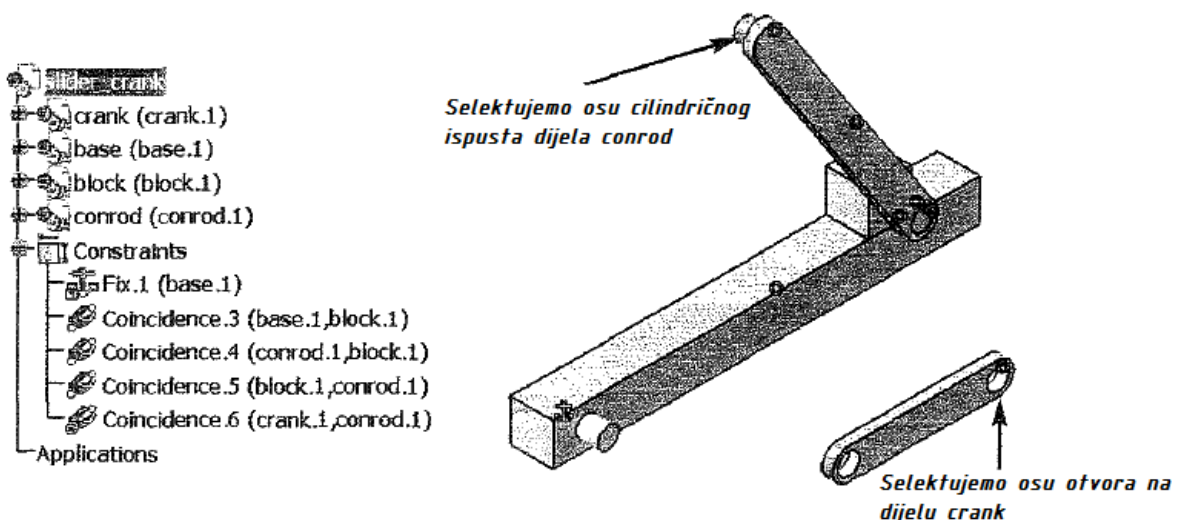


Pomoću ikone **Update**  parcijalno pozicioniram dva dijela kao što je prikazano na sljedećoj slici. Nakon ažuriranja prikaza, dio pod nazivom **conrod** može završiti na lokaciji koja ne odgovara ostatku sklopa. U tom slučaju kliknemo na ikonu **Manipulation**  i izmjenimo orijentaciju tog dijela.



Do sada smo kreirali ograničenja na nivou sklopa koja su ostavljala stepene slobode konzistentne sa cilindričnim spojem između dijelova **block** i **base** i sa revolucionim spojem između dijelova **block** i **conrod**. U nastavku ćemo definisati ograničenja koja su konzistentna sa revolucionim spojem između dijelova **conrod** i **crank**. To ćemo uraditi poravnanjem centralnih linija cilindričnog ispusta na dijelu **conrod** i gornjeg otvora na dijelu **base**, zajedno sa ograničenjem tipa površinskog kontakta, čime će dijelovi biti postavljeni duž koincidentne ose.

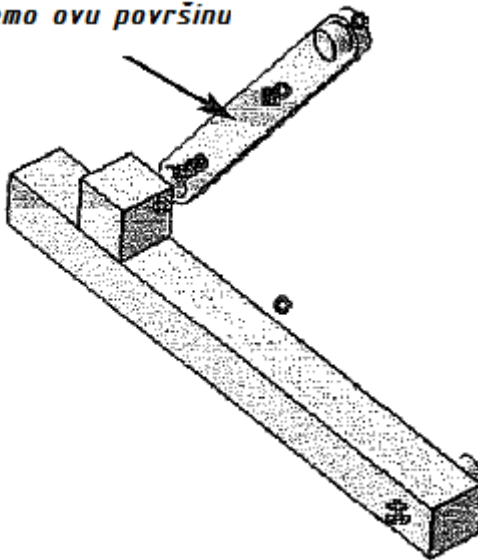
Čitav proces ćemo započeti klikom na ikonu **Coincidence Constraint** u paleti alata **Constraints**. Selektujemo osu cilindrične površine i osu otvora, kao što je prikazano na sljedećoj slici.



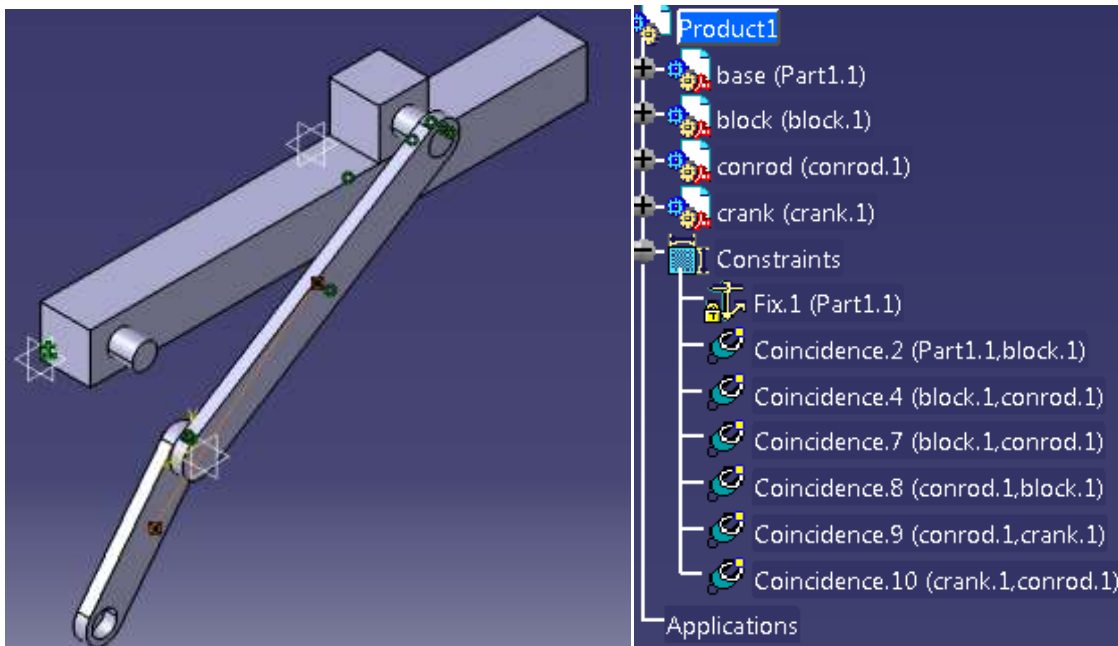
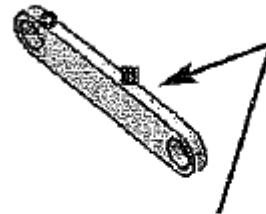
Upravo kreirano ograničenje tipa poravnanja uklanja sve stepene slobode između dijelova **conrod** i **crank**, osim rotacije oko koincidentne ose i translacije duž te ose. Da bismo uklonili neželjenu translaciju, primjenićemo ograničenje tipa površinskog kontakta (možemo da primjenimo i ograničenje tipa poravnanja, ali smo odlučili da ovde prikažemo ograničenje tipa površinskog kontakta).

Da bismo kreirali ograničenje, kliknimo na ikonu **Contact Constraint** u paleti alata **Constraints** i selektujemo površine prikazane na narednoj slici. Novo ograničenje će biti prikazano i u stablu.

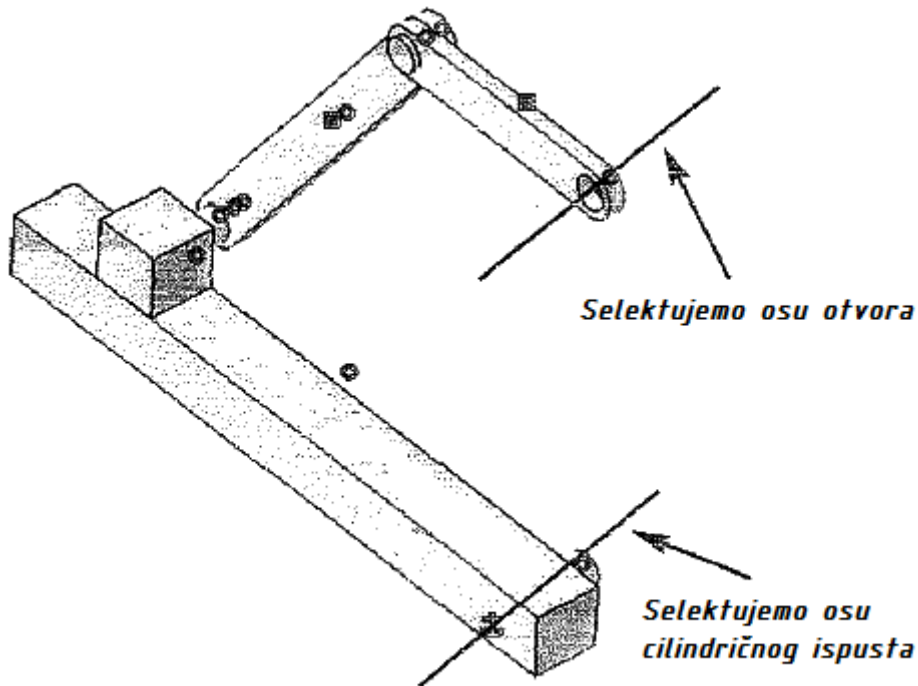
*Selektujemo ovu površinu na dijelu conrod*



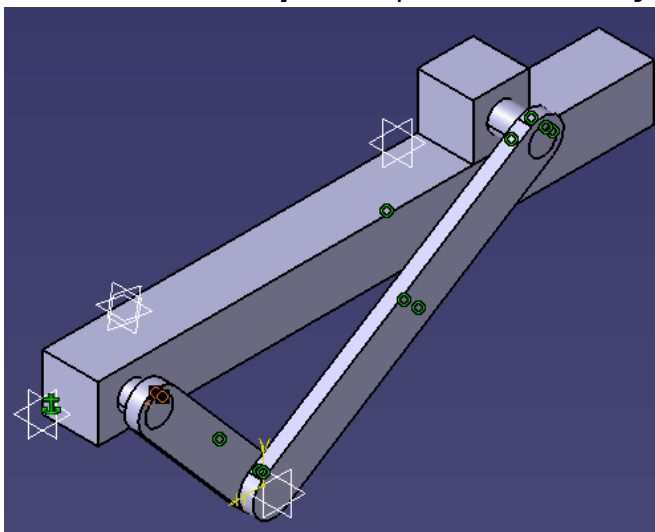
*Selektujemo zadnju površinu na dijelu crank (površinu koja nije vidljiva na ovoj projekciji)*



Potrebno nam je još jedno ograničenje kako bismo donji kraj dijela **crank** postavili na cilindrični ispust na dijelu **base**. Kliknemo na ikonu **Coincidence Constraint** u paleti alata **Constraints**. Selektujemo ose cilindrične površine i otvora, kao što je prikazano na narednoj slici.



Pomoću naredbe **Update** pozicioniramo dijelove.



Pošto smo odlučili da kreiramo cilindrični spoj između dijelova **base** i **crank**, nema potrebe da definišemo novo ograničenje kojim bismo uklonili translato kretanje duž koincidentne ose; takvo kretanje će biti uklonjeno preostalim ograničenjima u sklopu.

Sklop je završen tako da možemo preći u okruženje **Digital Mockup**.

### Kreiranje spojeva u radnom okruženju Digital Mockup

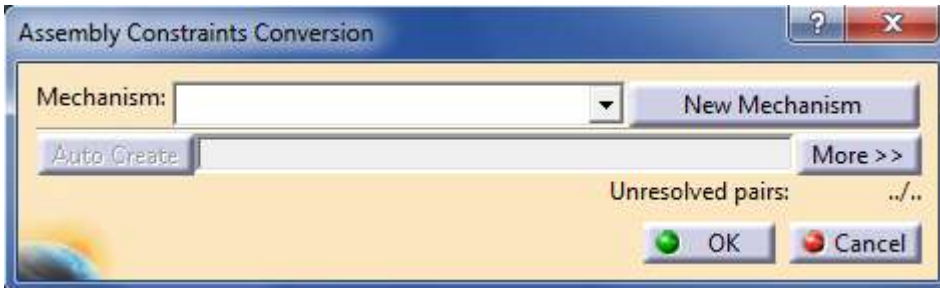
Kada pokrenemo ovaj modul na jedan od poznatih načina kliknemo na ikonu

**Assembly Constraints Conversion**  u paleti alata **DMU Kinematics**.



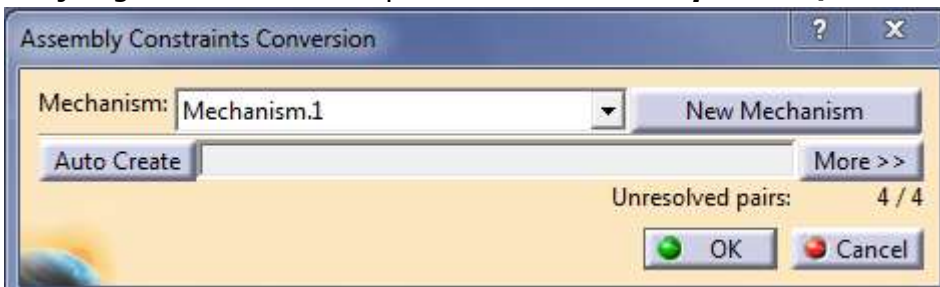


Pomoću te ikone možemo automatski kreirati najčešće korištene spojeve na osnovu postojećih ograničenja na nivou sklopa. Pojaviće se sljedeći dijalog.

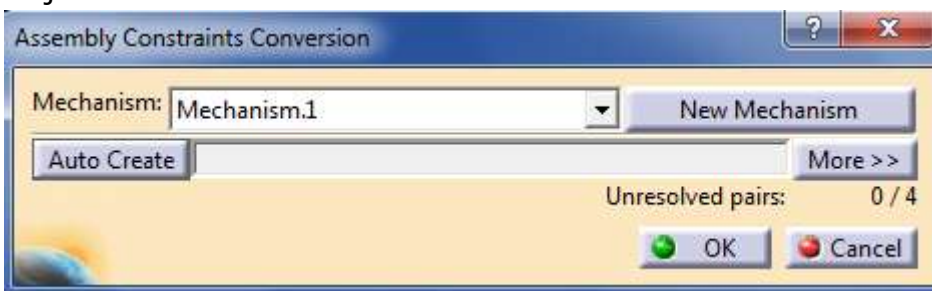


Kliknemo na dugme **New Mechanism**. Na taj način prelazimo u drugi dijalog, u kome možemo dodijeliti naziv svom mehanizmu. Podrazumjevani naziv je **Mechanism.1**. Prihvatimo ponuđeni naziv tako što kliknemo na **OK**.

U dijalogu možemo uočiti poruku **Unresolved pairs: 4/4**.



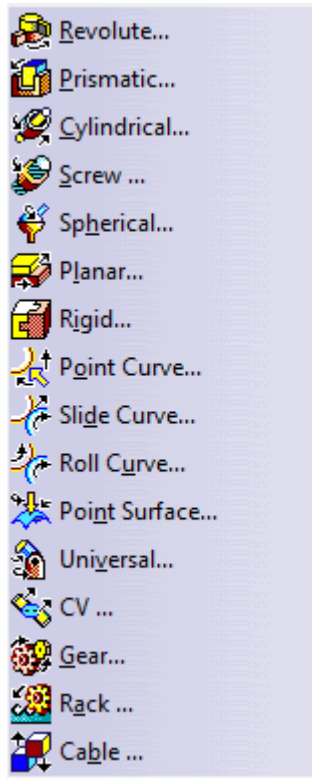
Kliknemo zatim na dugme **Auto Create**. Ukoliko nakon toga poruka dobije oblik **Unresolved pairs: 0/4**, možemo zaključiti da se stvari odvijaju u ispravnom smjeru.



Stablo aplikacije će postati duže zbog ubacivanja grane pod nazivom **Application**.

Parametar **DOF** (broj preostalih stepena slobode) ima vrijednost 1 (ukoliko je vrijednost drugačija, još jednom provjerimo ograničenja na nivou sklopa kako bismo utvrdili da li su ona konzistentna sa ograničenjima prikazanim u dosadašnjem toku vježbe, izbrisemo mehanizam i krenemo sa čitavom vježbom iz početka). Preostali stepen slobode možemo posmatrati kao poziciju bloka (**block**) duž osnove (**base**), ili kao rotaciju dijela pod nazivom **crank** oko osnove. Pošto nam je namjera da dio **crank** zarotiramo konstantnom ugaonom brzinom, druga interpretacija nam je bliža.

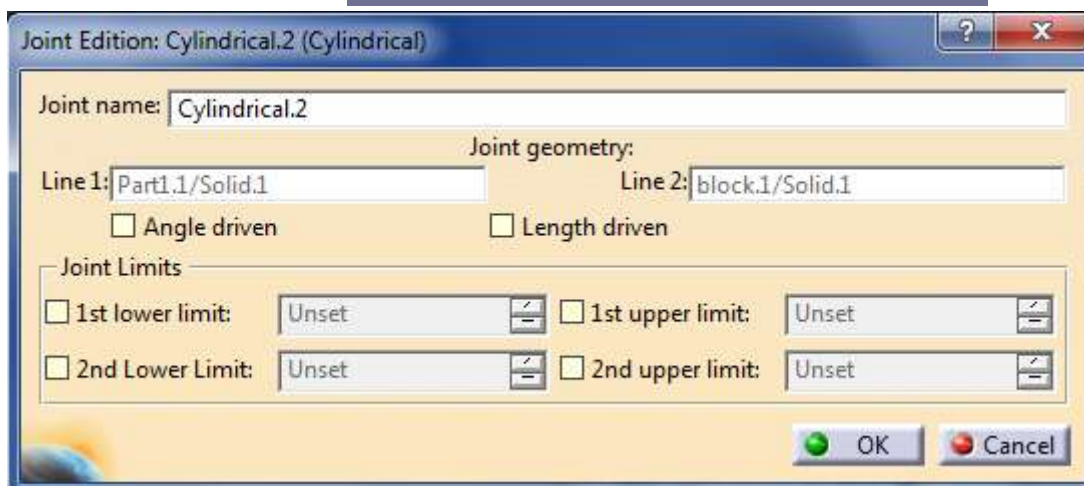
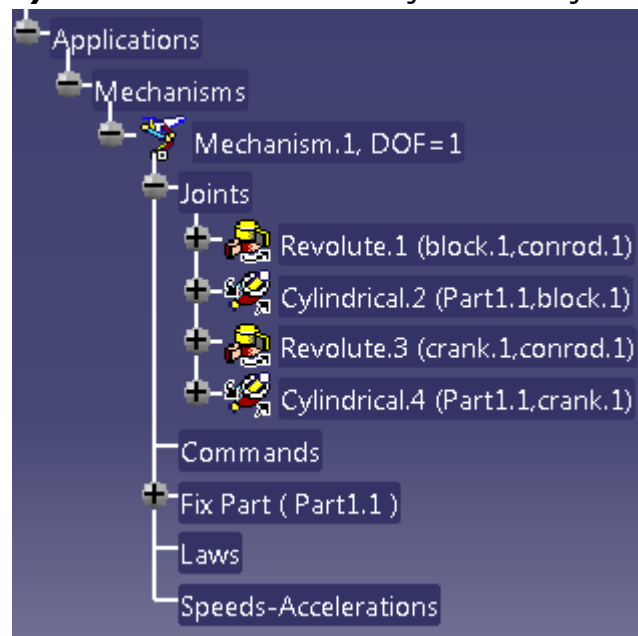
Sve te spojeve smo mogli da kreiramo i ručno pomoću ikona u paleti alata **Kinematics Joints** (ili idemo na **Insret-New Joint**).



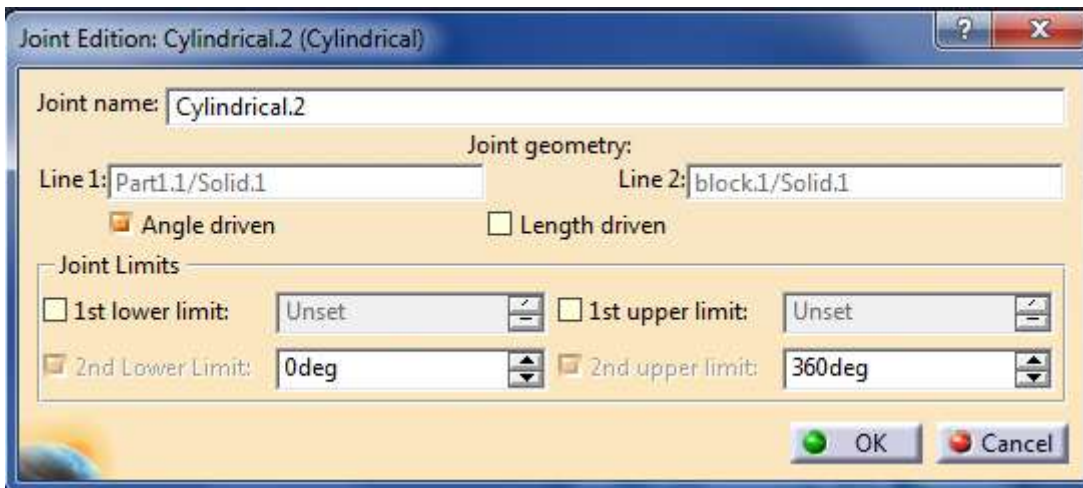
Da bismo animirali dobijeni mehanizam, moramo ukloniti i jedini preostali stepen slobode.

To ćemo postići tako što ćemo spoj **Cylindrical.2** (spoj između dijelova **base-crank**) pretvoriti u spoj **Angle driven**.

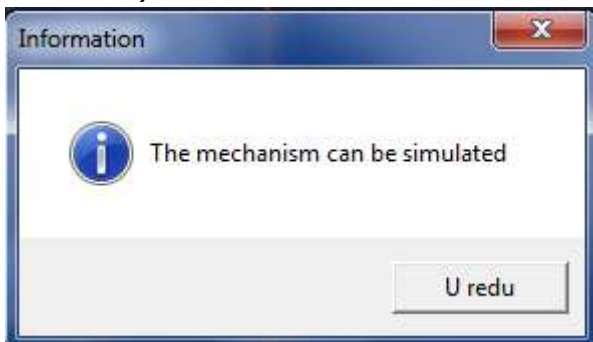
Dodjeljivanje istih naziva instancama dijelova i samim dijelovima znatno olakšava identifikaciju spojeva između bilo koja dva dijela. Kliknemo dva puta mišem na spoj **Cylindrical.2** u stablu. Pojaviće se sljedeći dijalog.




Ovjerimo polje **Angle driven** nakon čega možemo da mjenjamo ograničenja. Postavimo vrijednost parametra **2nd Lower Limit na 0**.

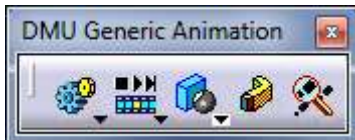


Nakon zatvaranja gornjeg dijaloga i pod pretpostavkom da je sve ostalo urađeno korektno, na ekranu će se pojaviti sljedeća poruka (Mehanizam se može simulirati).

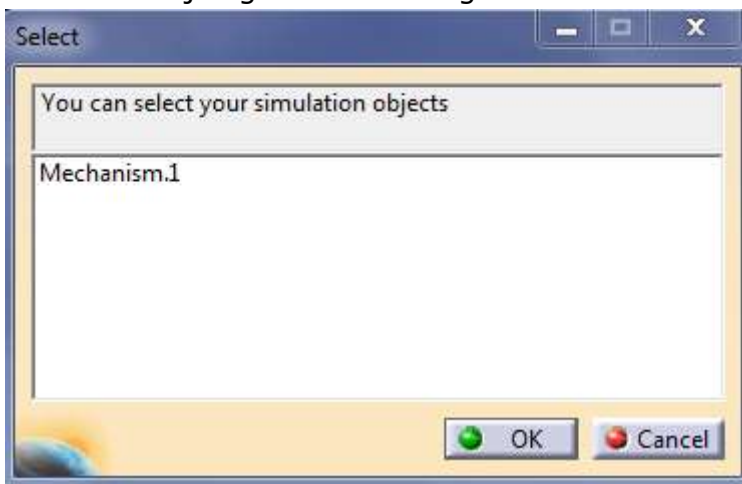


Sada možemo simulirati kretanje ne uzimajući u obzir vrijeme niti ugaonu brzinu.

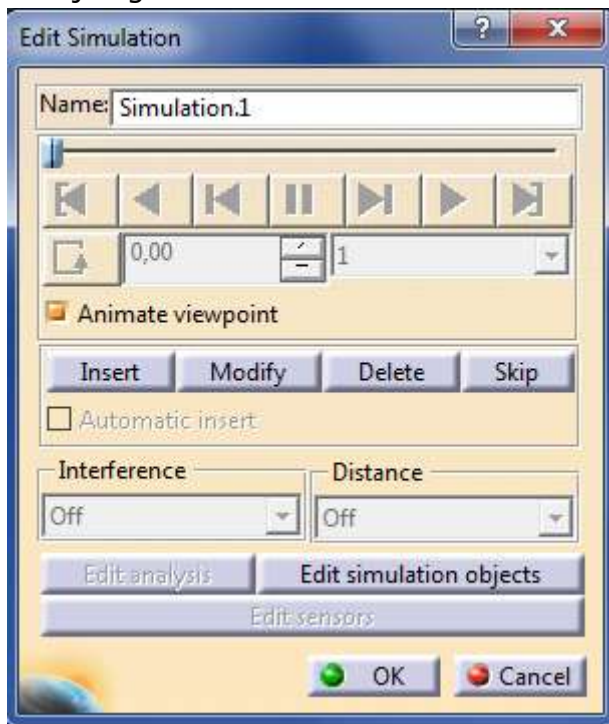
Kliknemo na ikonu **Simulation**  u paleti alata **DMU Generic Animation**.




Nakon toga, možemo izabrati mehanizam koji želimo da animiramo (ukoliko postoji više mehanizama). U našem primjeru selektujemo **Mechanism. 1** i zatvorimo dijalog klikom na dugme **OK**.

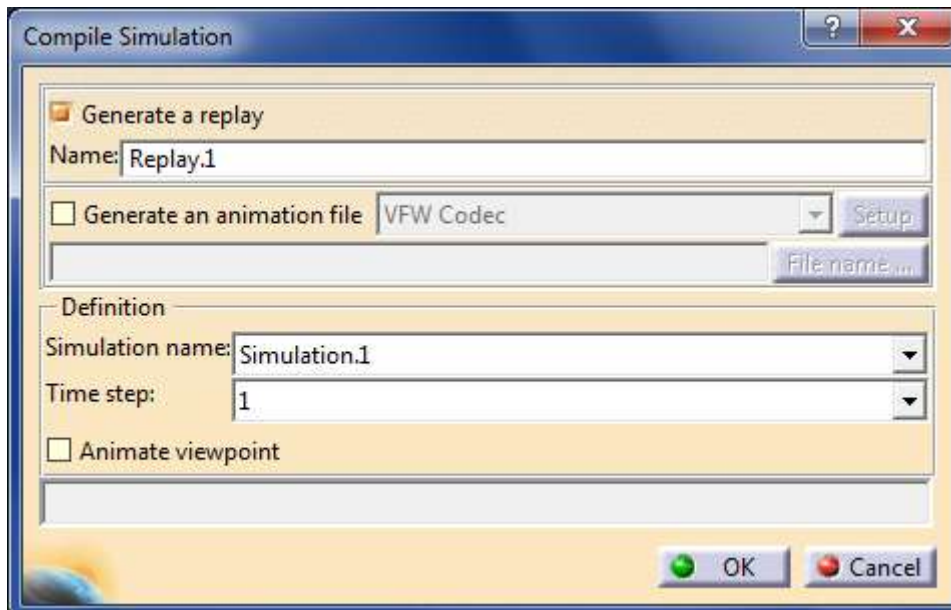


U stablu se pojavljuje nova grana pod nazivom **Simulation**. Pored toga pojaviće se dijalog **Edit Simulation**.



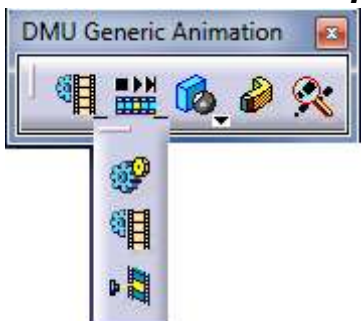
Pomjeranjem klizača u dijalogu, sa lijeve u desnu stranu, počinje i rotacija dijela pod nazivom **crank**, koji će napraviti okret od punih 360 stepeni. Pozicija nula odgovara početnom položaju sklopa u vrijeme kreiranja spoja. Ukoliko želimo određenu poziciju za početnu, moramo ranije da kreiramo privremeno ograničenje sklopa koje bi postavilo mehanizam u željenu početnu poziciju. Takvo privremeno ograničenje se mora ukloniti prije nego što se izvrši konverzija u spojeve mehanizma.

Pokrenimo naredbu **Compile Simulation** . Nakon pritiska na dugme **File name** možemo odabrati lokaciju i naziv animacione datoteke koja će biti generisana. Nakon što odaberemo željenu putanju i naziv datoteke, trebamo da izmjenimo vrijednost parametra **Time step** na 0.04 kako bi dobili polaganu animaciju pokretnog bloka u obliku AVI datoteke.



Ukoliko nam AVI datoteka nije potrebna, već želimo da prikazemo animaciju više puta, moramo kreirati **Replay**. Da bi to uradili, u dijalogu **Compile Simulation** ovjerimo polje **Generate a replay**. Kada ovjerimo to polje, većina ranije dostupnih opcija u dijalogu postaje neaktivna. Osim toga, stablu će biti dodata grana pod nazivom **Replay.1**.

Pokrenemo naredbu **Replay** sa palete **DMU Generic Animation**.



Kliknemo dva puta mišem na granu **Replay.1** u stablu, čime se otvara dijalog **Replay**.

## VJEŽBA-4

### Klizeće merdevine

U ovoj vježbi ćemo modelovati kinematiku merdevina koje klize niz zid. Merdevine će biti modelovane kao čvrsto tijelo prikazano na donjoj slici. Dobijeni rezultati se mogu uporediti sa teoretskim rješenjem odgovarajućeg analitičkog problema.

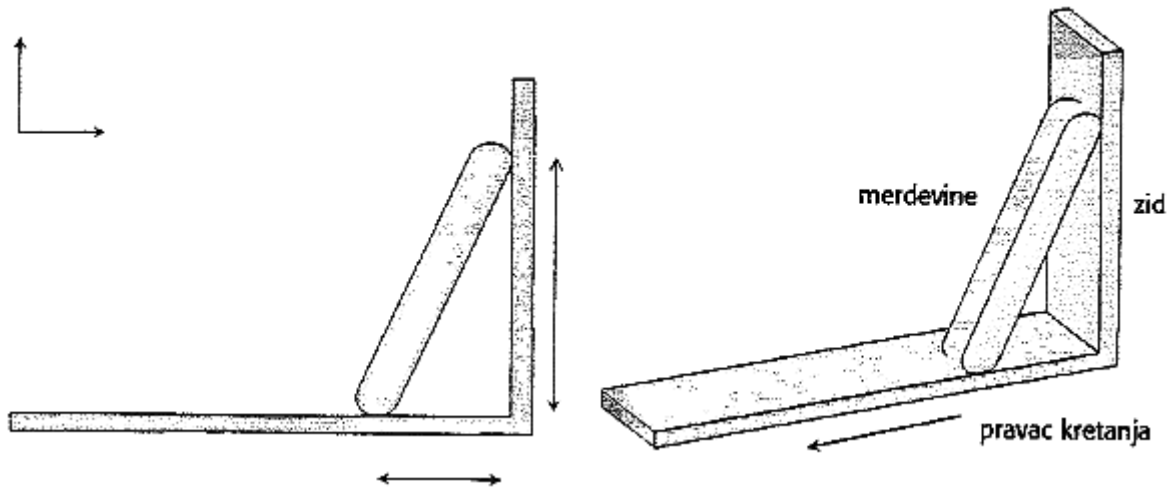
U ovaj mehanizam je ugrađen tačkasti spoj duž krive linije i klizajući spoj krivih. Pored toga, umjesto konverzije ograničenja na nivou sklopa, ove spojeve ćemo kreirati ručno u DMU okruženju kako bismo ilustrovali i direktan način izrade spojeva.



### Definicija problema

Prikazane merdevine klize niz zid održavajući neprekidan kontakt sa zidom i podom.

Simulacija polazi od pretpostavke da je vertikalna brzina gornje dodirne tačke merdevina i zida  $v_0 = 25 \text{ mm/s}$ .



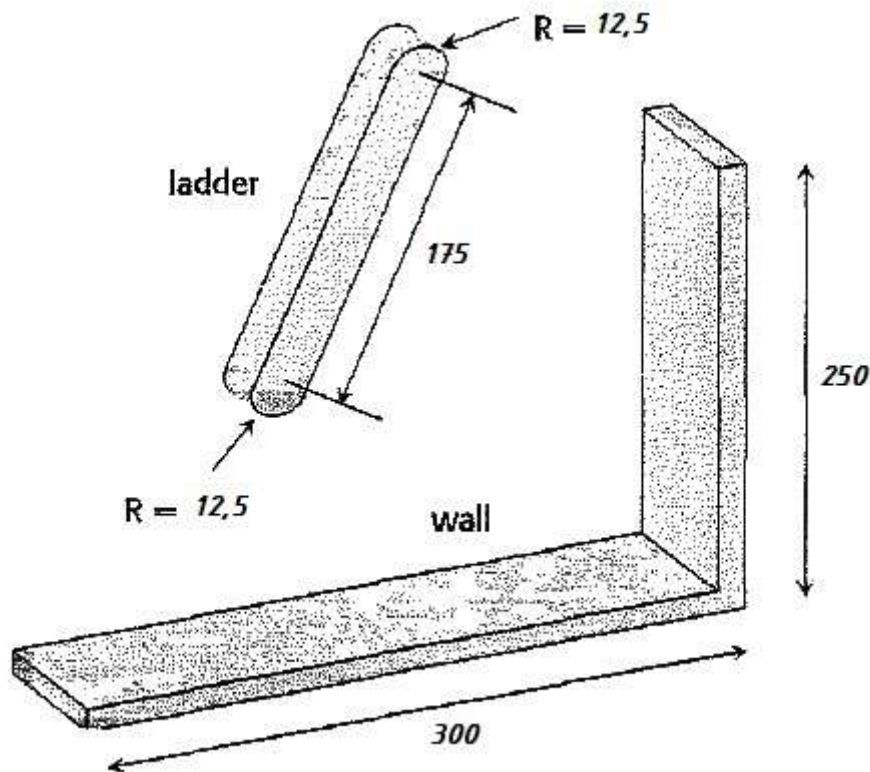
### Kratak pregled vježbe

U ovoj vježbi ćemo uraditi sljedeće:

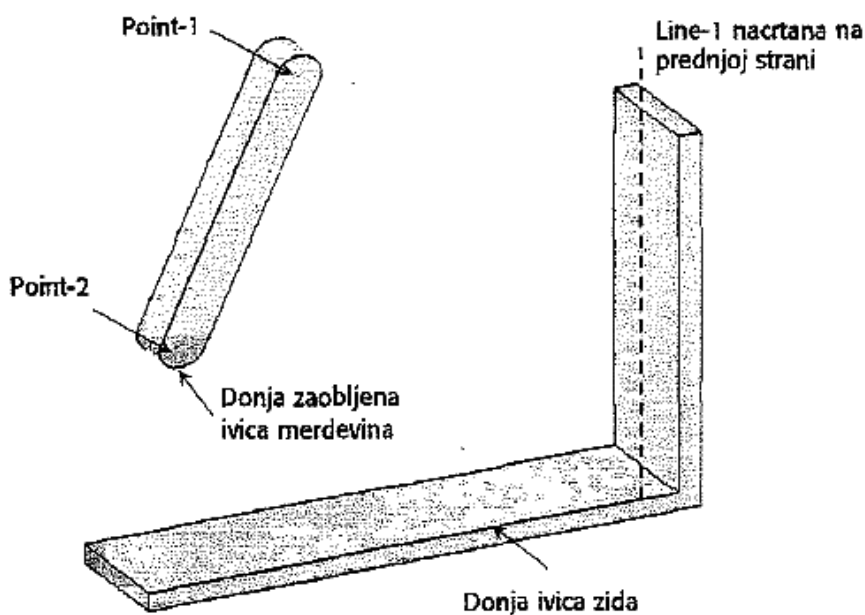
1. Modelovati dva CATIA dijela koji su neophodni za mehanizam. Dodaćemo nekoliko referentnih geometrijskih elemenata da bismo olakšali modelovanje željene kinematike.
2. Kreirati sklop (CATIA. Product) koji je sastavljen od prethodno kreiranih dijelova.
3. Definirati ograničenja na nivou sklopa, tako da postavimo merdevine na željenu početnu poziciju.
4. Otvoriti radno okruženje Digital Mockup, u kome ćemo ručno kreirati tačkasti spoj duž krive linije i klizajući spoj krivih.
5. Simulirati kretanje merdevina (klizanje niz zid) bez razmatranja parametra vremena .

### Kreiranje sklopa u modulu Mechanical Design Solutions


Za početak ćemo kreirati dva dijela merdevina pod nazivom **ladder** i **wall** kako je prikazano na sljedećoj slici.



Prije nego što dijelove povežemo u sklop, kreiraćemo i dvije referentne tačke na merdevinama, kao što je prikazano na sljedećoj slici. Moraćemo da kreiramo i referentnu liniju na bočnoj strani zida, koja je udaljena od ravni zida za 12,5 mm. Ovi elementi, Point-1 i Line-1, će biti upotrebljeni za kreiranje tačkastog spoja duž krive linije u našem mehanizmu. Pored toga, donja zaobljena ivica merdevina i gornja ivica zida će biti upotrebljene za klizajući spoj krivih. Tačka Point-2 olakšava mjerenje brzine i ubrzanja merdevina u toj lokaciji i njihovo prikazivanje na dijagramu.

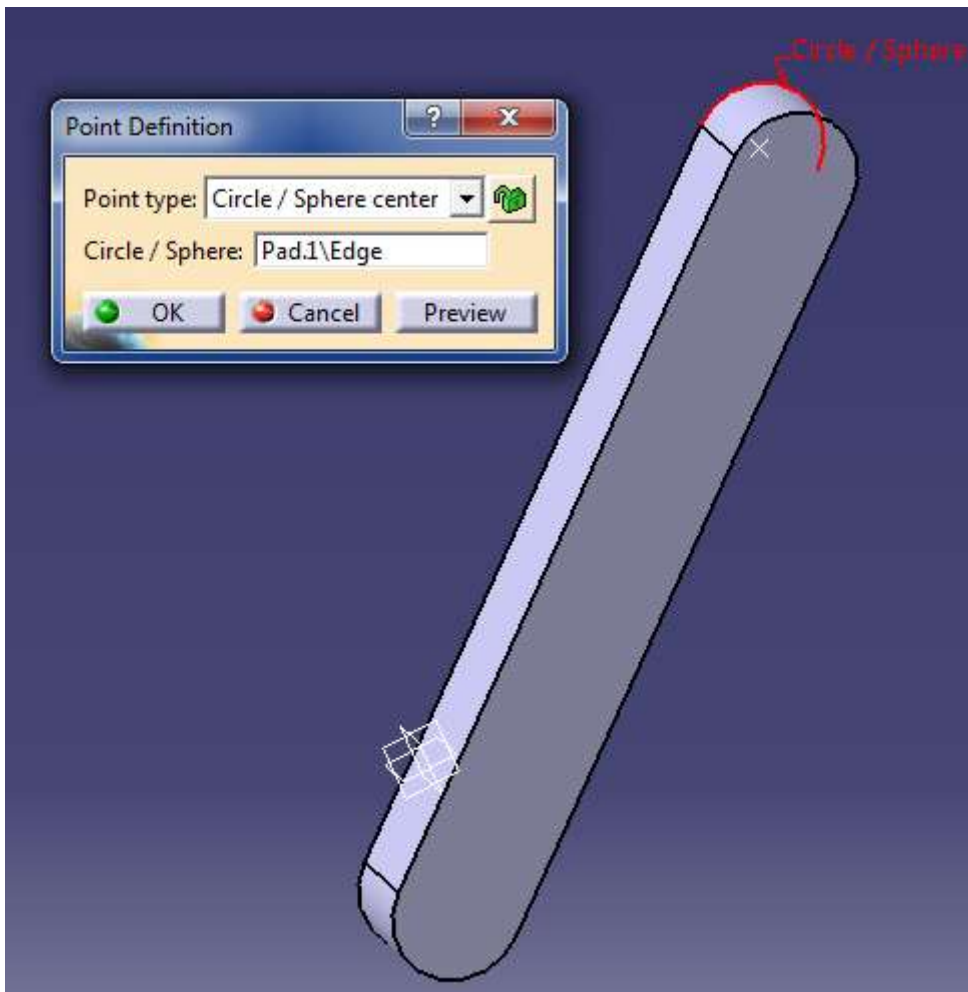


Učitamo dio pod nazivom **ladder** u CATIA i aktiviramo radno okruženje Part Design.

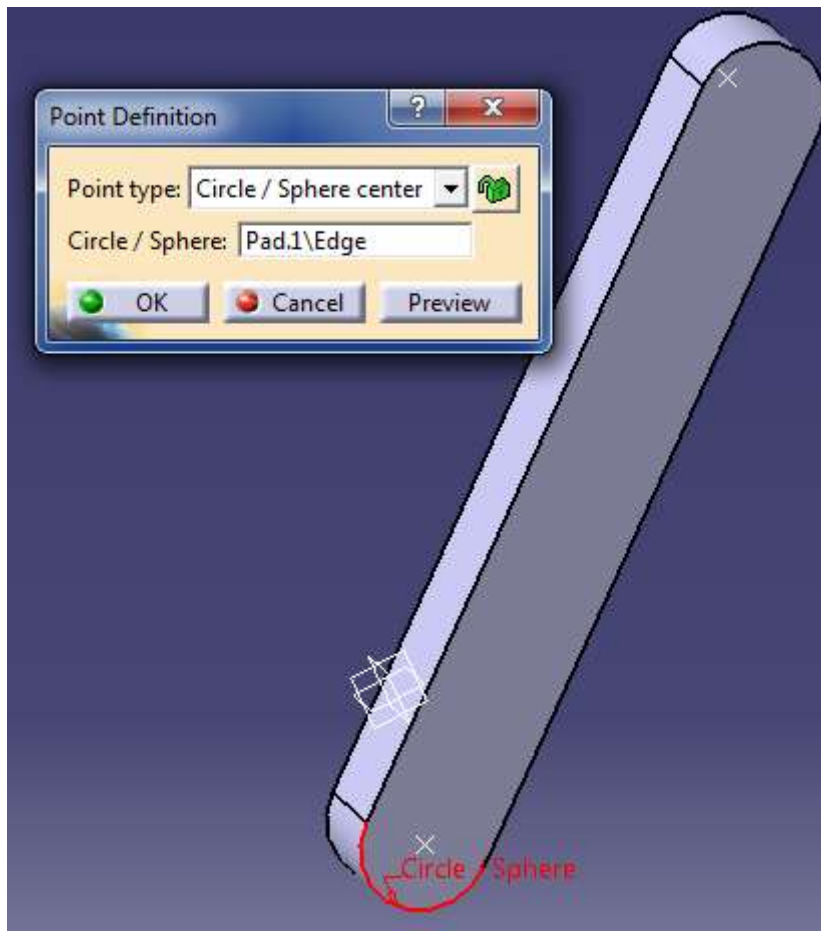
Kliknemo na ikonu **Point**  u paleti alata **Reference Element**



U novootvorenom dijalogu za vrstu tačke (**Point type**) izaberemo **Circle/sphere center**. Za **Circle/Sphere** selektujemo gornji kružni luk merdevina, kao što je i prikazano na slici. Na taj način ćemo kreirati tačku Point-1.




Isto to uradimo i na drugoj strani merdevina.



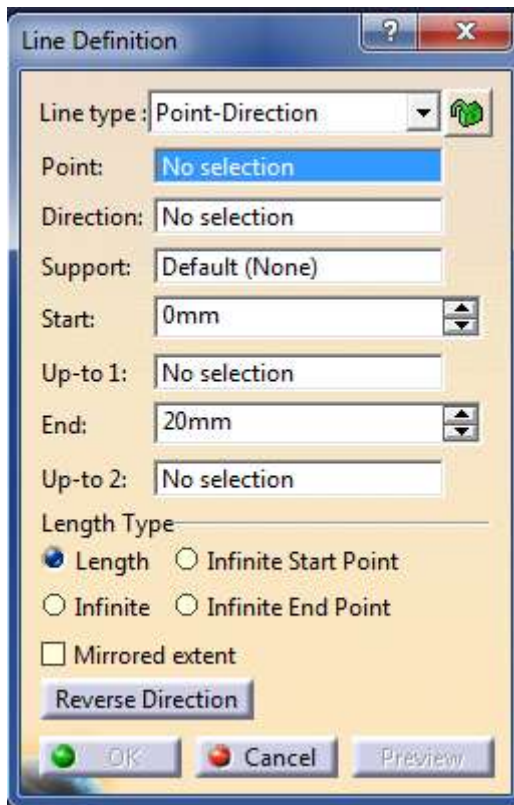
Na taj način smo kreirali dvije nove tačke, koje su ubačene i u specifikaciono stablo.

Učitajmo dio pod nazivom **wall** u CATIA i aktivirajmo radno okruženje **Part Design**.

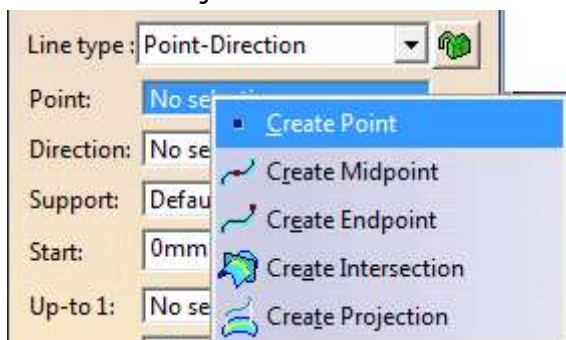
Kliknimo na ikonu **Line**  u paleti alata **Reference Element**



U dijalogu **Line Definition** za tip linije (**Line type**) izaberimo **Point-Direction**.

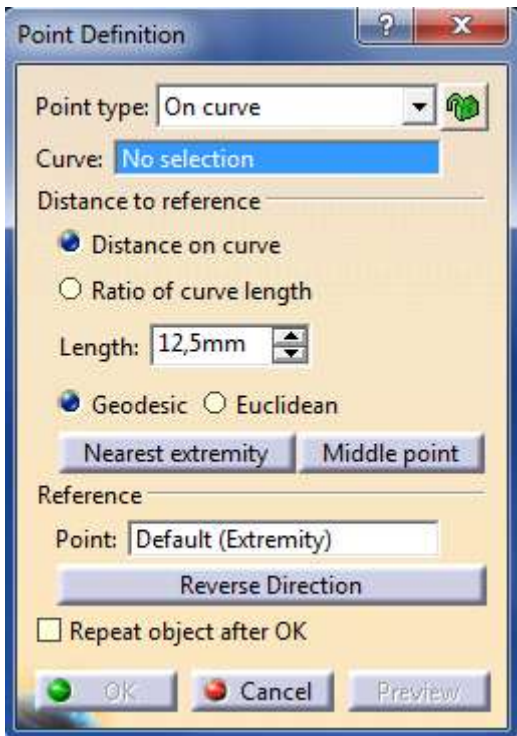


Kliknemo desnom tikom miša na polje **Point** u dijalogu **Line Definition**, a zatim selektujemo **Create Point**.

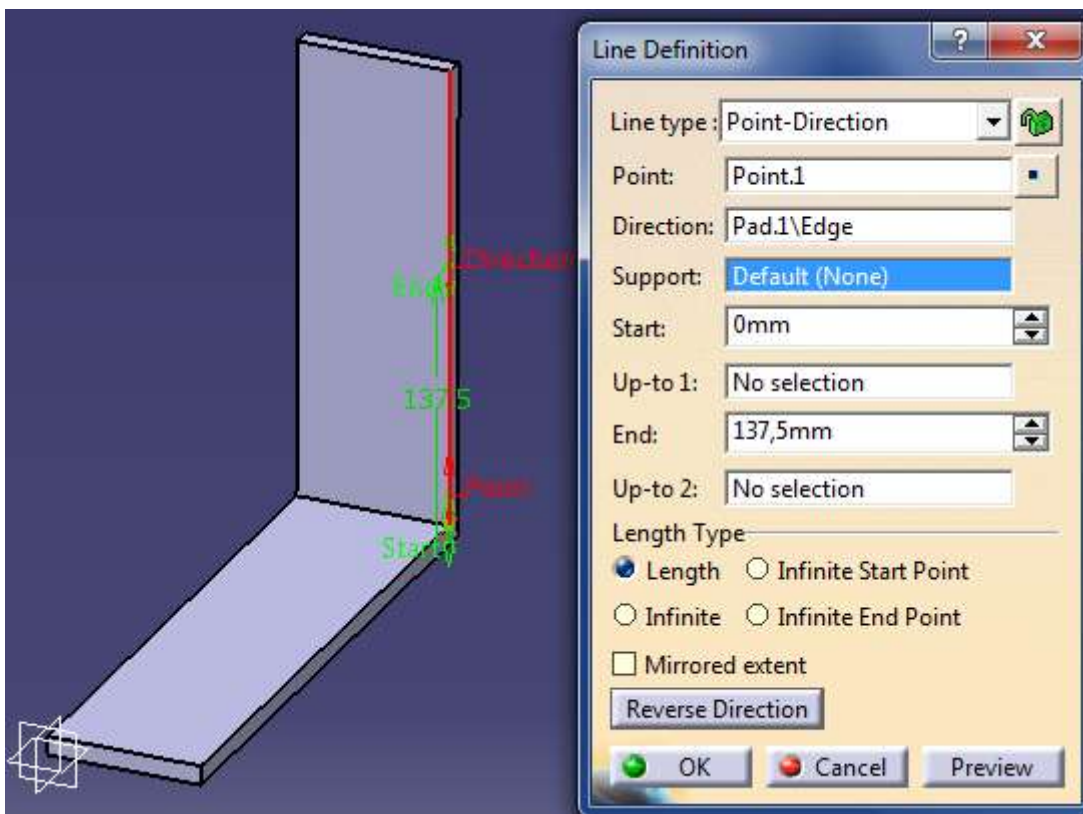


U okviru dijaloga **Point definition** za vrstu tačke (**Point type**) selektujemo opciju **On curve**. Ostatak dijaloga popunimo kao što je prikazano na sljedećoj slici kako bismo kreirali tačku udaljenu 12,5 mm od zida duž krive koja predstavlja spoljašnju ivicu tla. Dimenzija od 12,5 mm nije proizvoljna već se poklapa sa poluprečnikom zaobljenog kraja merdevina. Na taj način će tačka Point- 1 na merdevinama pratiti liniju koju ćemo ovde kreirati, tako da će izgledati kao da merdevine glatko klize niz zid.





Kada kliknemo na dugme **OK** u dijalogu **Point Definition**, vraćamo se u dijalog **Line Definition**. Pravac definišemo tako da bude poravnat sa ivicom, kao što je prikazano na slici ispod, rastojanje **End** neka bude 137,5 mm i u slučaju potrebe izaberemo suprotan smjer kako bismo dobili isti rezultat kao i na slici. Tačka **Point 1** na merdevinama će kasnije biti podešena tako da slijedi liniju koja je kreirana na zidu.




Nakon kreiranja neophodnih referentnih geometrijskih elemenata, možemo pristupiti sastavljanju modela.


Aktivirajmo radno okruženje **Assembly Design**.

Ovaj sklop ćemo nazvati **sliding ladder**.

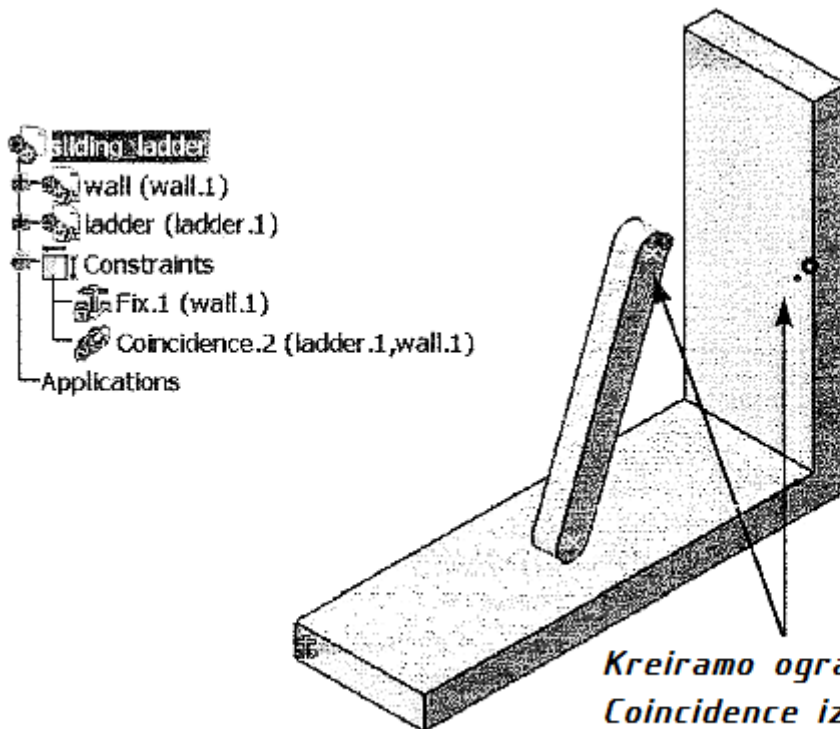
Koristimo i naredbu **Manipulate** kako bismo doveli dijelove u poziciju za dalje korake.

Definisanje ograničenja ćemo započeti fiksiranjem zida, tako što ćemo kliknuti na

ikonu **Fix Component** , u paleti alata **Constraints**, nakon čega ćemo iz stabla ili sa ekrana selektovati dio pod nazivom **wall**.

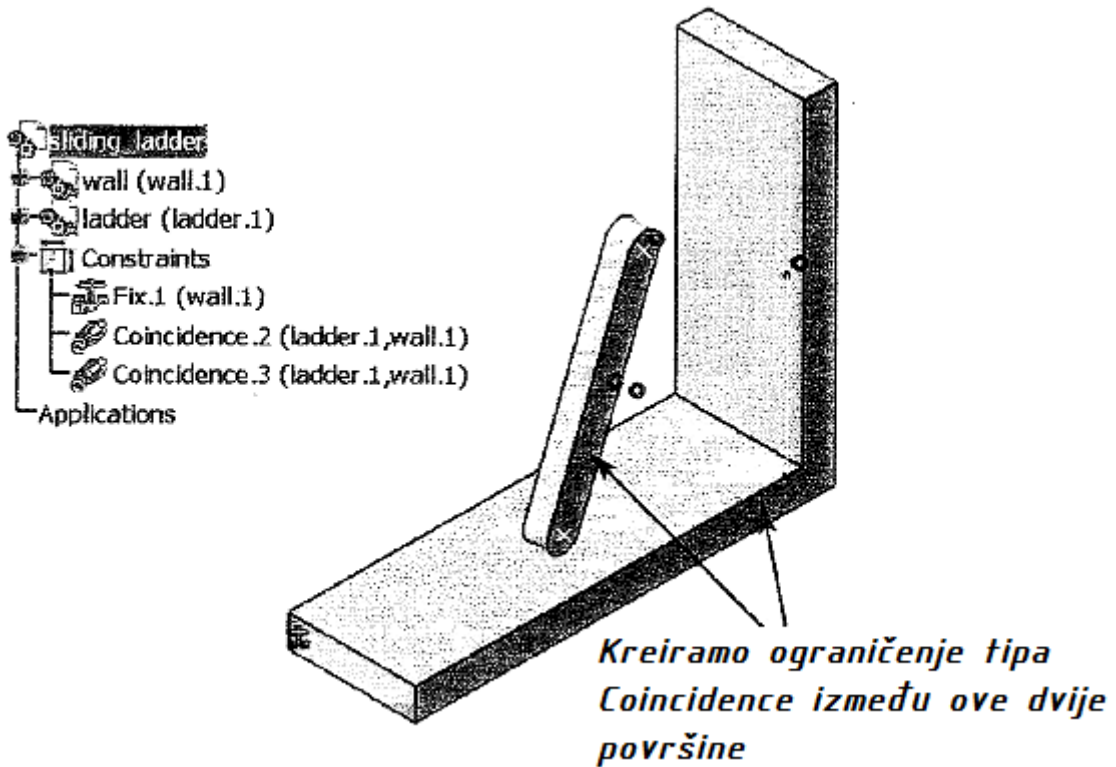
U narednom koraku ćemo pokrenuti naredbu **Coincident Constraint**  u paleti alata **Constraints**, a zatim selektovati tačku **Point. 1** i gornju krajnju tačku linije **Line 1**.

Za sada nećemo ažurirati sadržaj ekrana.




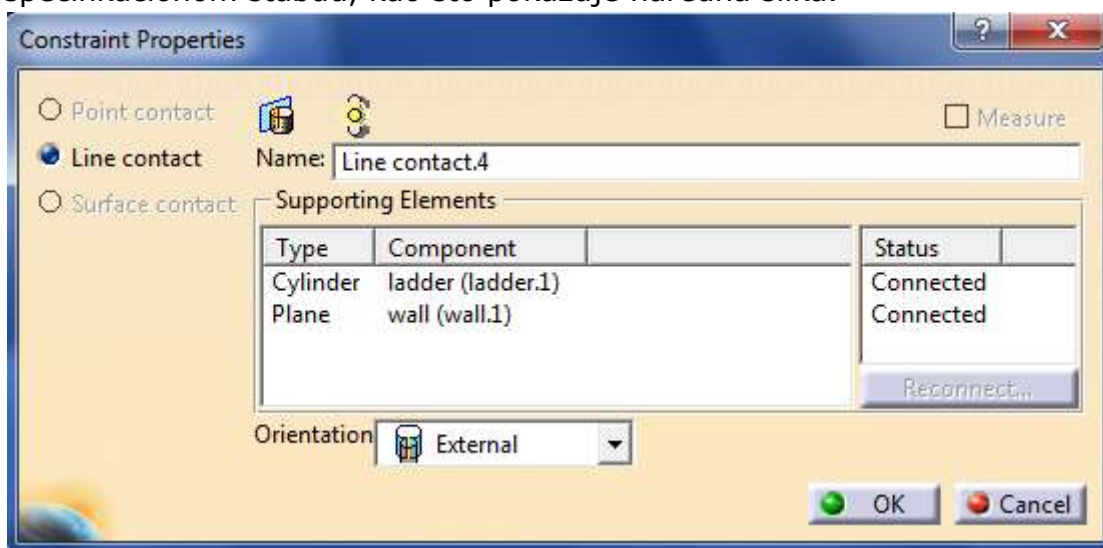
*Kreiramo ograničenje tipa  
Coincidence između ove  
dvije tačke*

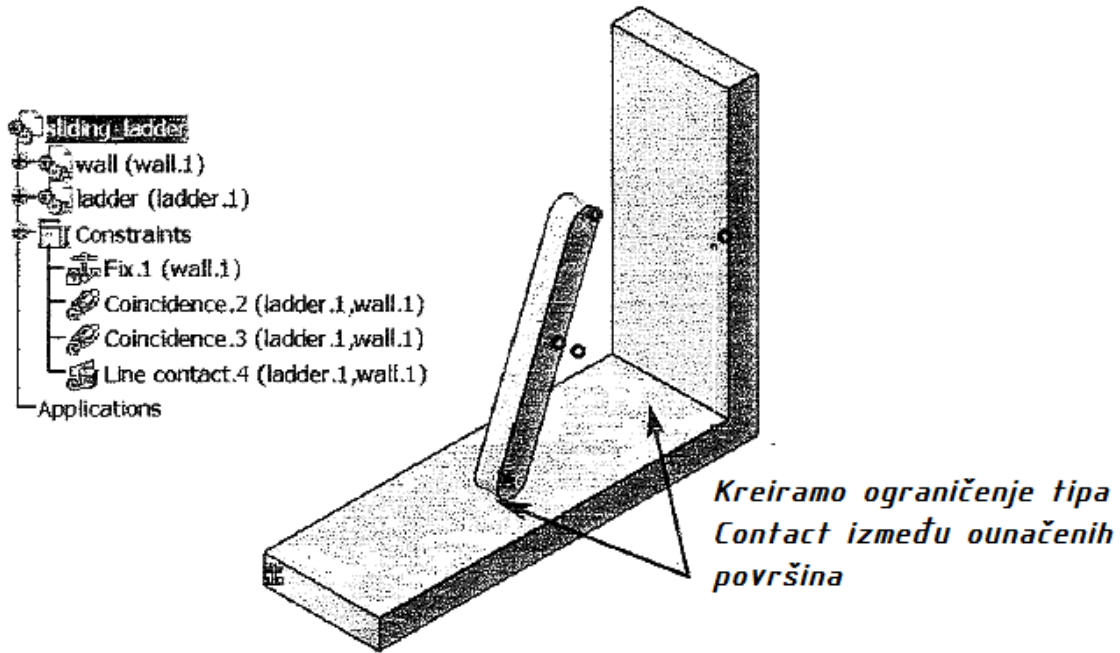
U nastavku ćemo kreirati još jedno ograničenje tipa poravnanja (coincident), kako bismo bočnu stranu merdevina učinili koplanarnom sa bočnom stranom zida. Kliknemo na ikonu **Coincidence Constraint** u paleti alata **Constraint**. Selektujemo dvije ravne površine na ekranu, kao što je prikazano na slici ispod. Prilikom definisanja ovog ograničenja prihvatimo ponuđenu orijentaciju **Same**. Još nećemo ažurirati sadržaj ekrana.




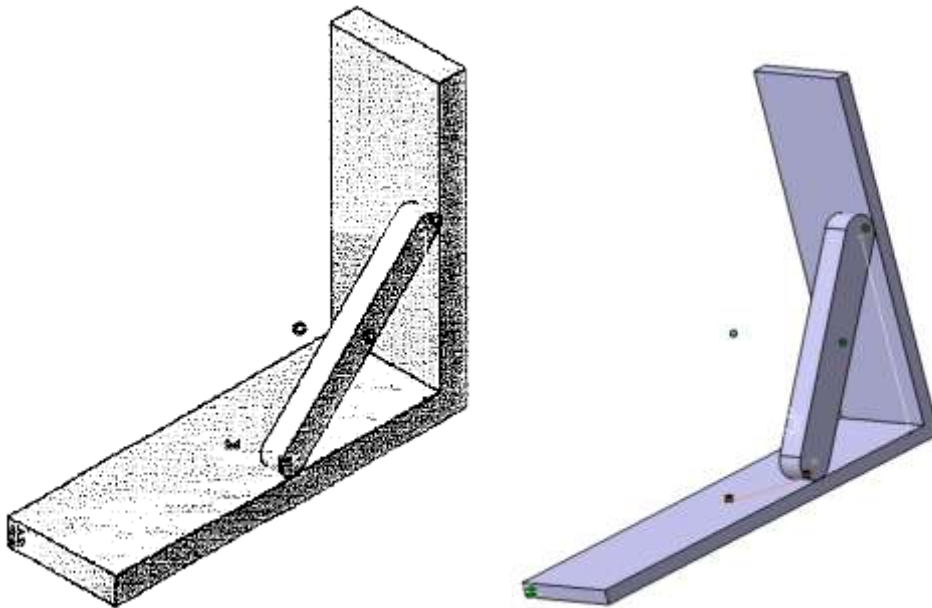
Na kraju ćemo kreirati još jedno kontaktno ograničenje da bismo tangentu na donji dio merdevina poravnali sa horizontalnom površinom dijela pod nazivom **wall** (tačnije, sa tлом na koje se merdevine oslanjaju).

Kliknimo na ikonu **Contact Constraint**  u paleti alata **Constraints**. Na ekranu selektujemo donju cilindričnu površinu merdevina i gornju ravnu površinu horizontalnog dijela zida, kao što je prikazano na slici dole. Da bismo dobili željeni rezultat, prilikom kreiranja ovog ograničenja moramo izmijeniti i orijentaciju u **External**. Sva tri novokreirana ograničenja se pojavljuju i u specifikacionom stabuu, kao što pokazuje naredna slika.





Pomoću ikone **Update**  rearanžirajmo dva dijela, tako da budu postavljeni na željene startne pozicije, kao što je prikazano na narednoj slici.



Pošto spojeve mehanizama nećemo kreirati automatskom konverzijom ograničenja na nivou sklopa, već ćemo to uraditi ručno, okruženje DMU će ignorisati ova ograničenja. Ona su namjenjena isključivo za postavljanje dijelova na željene startne pozicije.

### Kreiranje spojeva u radnom okruženju Digital Mockup


Ovaj modul pokrenemo preko poznate procedure **Start-Digital Mockup-DMU Kinematics**.

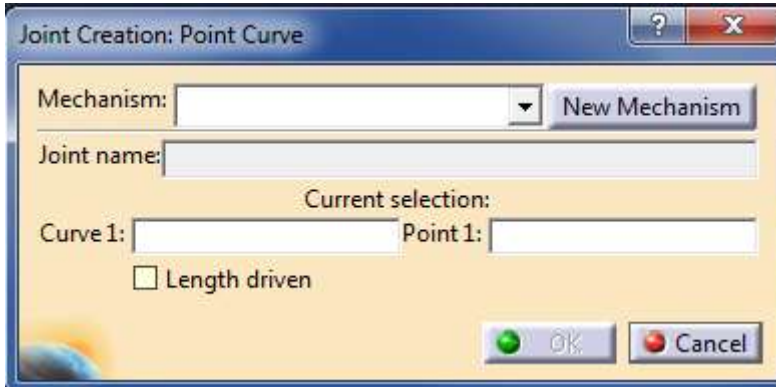
Sve spojeve u ovoj vježbi ćemo kreirati direktno u okruženju **Digital Mockup**.



Kliknimo na ikonu **Point Curve Joint**  u paleti alata **Kinematic Joint**.

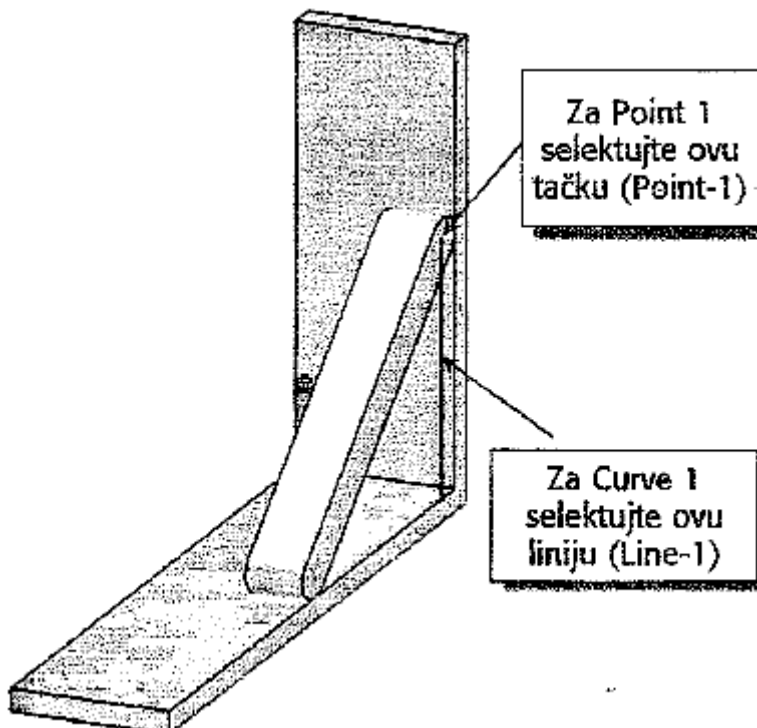



(ovo dobijemo kada kliknemo na strelicu pored ikone **Revolute Joint** )  
U novootvorenom dijalogu kliknemo na dugme **New Mechanism**



Zatvorimo dijalog **Mechanism Creation**, tako što ćemo prihvatiti ponuđeni naziv **Mechanism. 1**.

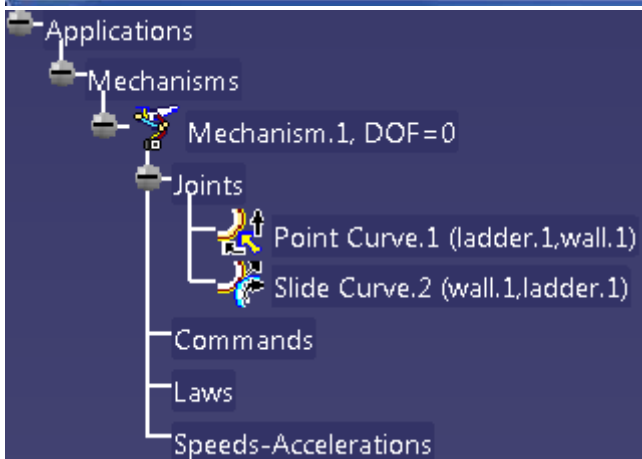
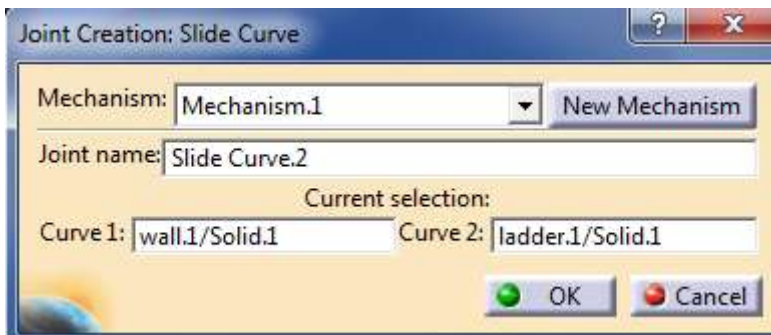
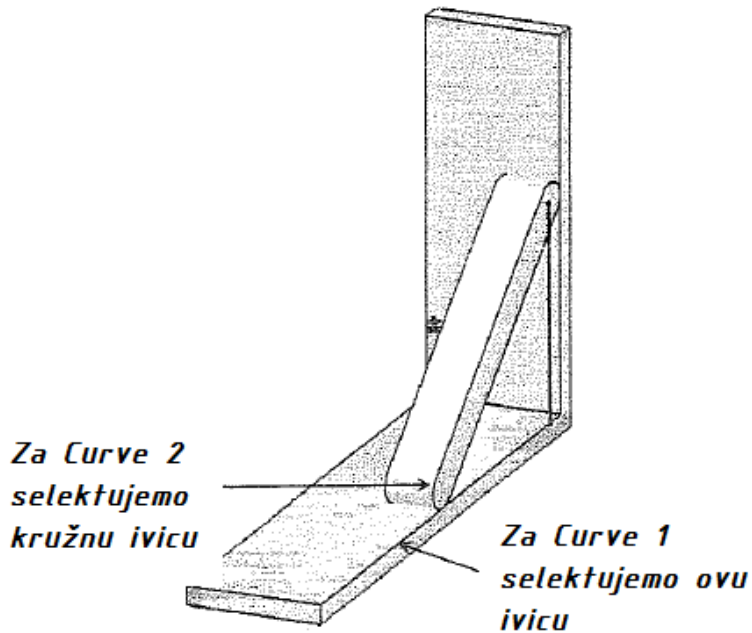
Za **Curve 1** selektujemo **Line-1** na ekranu, a za **Point 1** selektujemo **Point-1**, kao što je i prikazano na narednoj slici. Zatvorimo dijalog tako što ćemo kliknuti na **OK**. Ovo ograničenje primorava tačku **Point 1** da se kreće isključivo duž (beskonačne) linije **Line 1**.



Klizajući spoj krivih ćemo kreirati između donje cilindrične površine merdevina i ravne površine dijela zida koji predstavlja tlo. Kliknemo **Slide Curve Joint**  u paleti **Kinematics Joints**.



Za **Curve 1** selektujemo donju ivicu zida, a za **Curve 2** kružnu ivicu donjeg dijela merdevina.

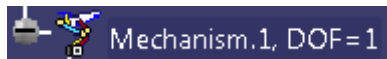


Primjećujemo da ograničenje tipa **Anchor**, koje je upotrebljeno u okruženju **Assembly Design**, nema nikakvog uticaja na mehanizam (pošto nismo izvršili konverziju ograničenja sklopa).

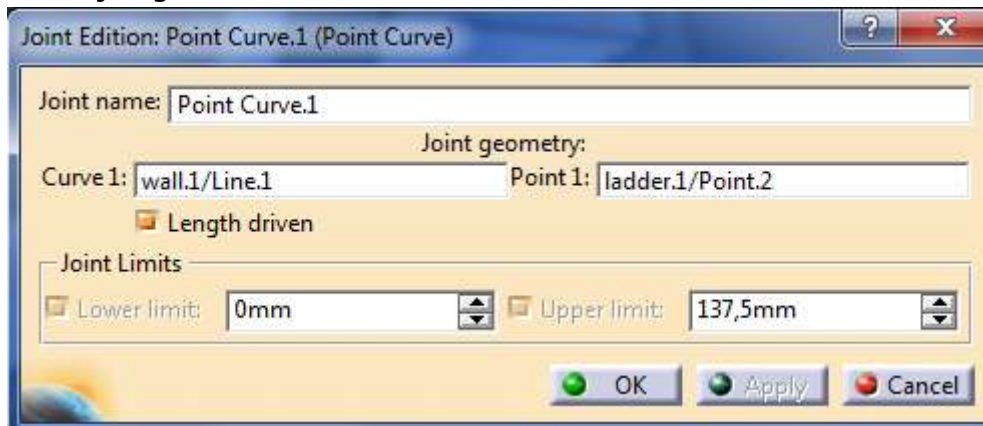
Simulacija mehanizma zahtjeva da jedan njegov dio bude fiksiran. Naravno, u ovom primjeru ćemo fiksirati zid. Da bismo to učinili, kliknemo na ikonu **Fixed**

**Part**  u paleti alata **DMU Kinematics** i selektujemo zid na ekranu. Nakon

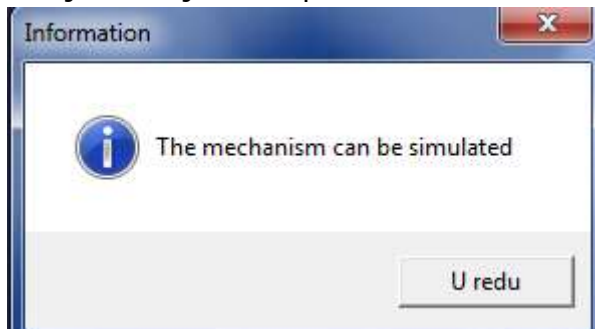
zatvaranja prozora broj stepeni slobode je smanjen na 1. To možemo uočiti i po elementu stabla DOF=1.




Da bismo obezbjedili željenu konstantnu brzinu merdevina niz zid, moramo vezati spoj **Point Curve** za dužinu (to smo mogli da uradimo i prilikom samog kreiranja mehanizma). Kliknemo dva puta mišem na granu **Point Curve. 1** kako bismo otvorili dijalog prikazan na slici ispod. Izmjenimo opciju **Length Driven** u tom dijalogu.



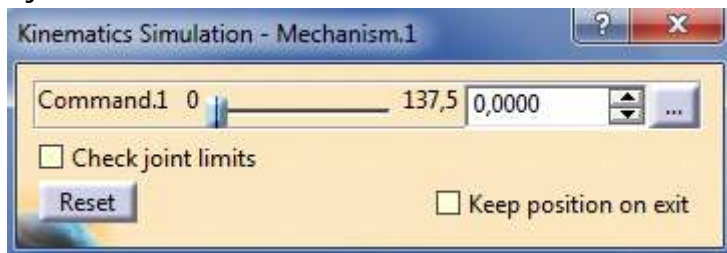
Nakon zatvaranja gornjeg dijaloga, pod uslovom da smo sve uradili korektno, dobijemo sljedeću poruku na ekranu.

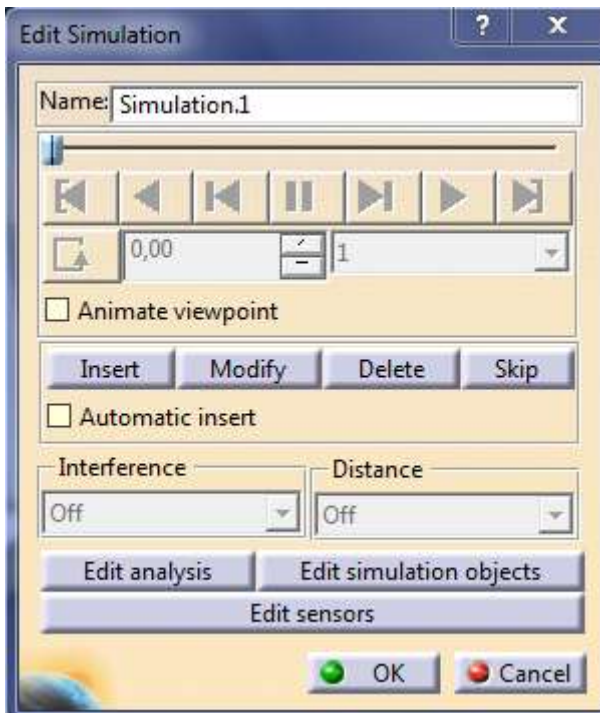


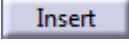
Mehanizam možemo da simuliramo.

Pokrenemo ikonu **Simulation** . Odmah nako zatvaranja dijaloga možwmo u stablu vidjeti novu granu pod nazivom **Simulation**.


Osim ove grane na ekranu će se pojaviti i dva dijaloga koja su prikazana na sljedećim slikama.



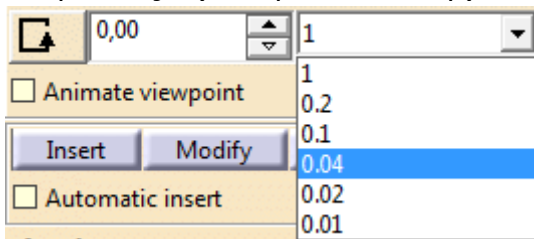


Kada klizač u dijalogu **Kinematics Simulation** dostigne krajnji desni položaj, kliknemo na dugme **Insert**  u dijalogu **Edit Simulation**, koji je prikazan na slici iznad. Time se aktiviraju komandna dugmad video plejera.



Vratimo merdevine na početnu poziciju tako što kliknemo na dugme **Jump to Start** .

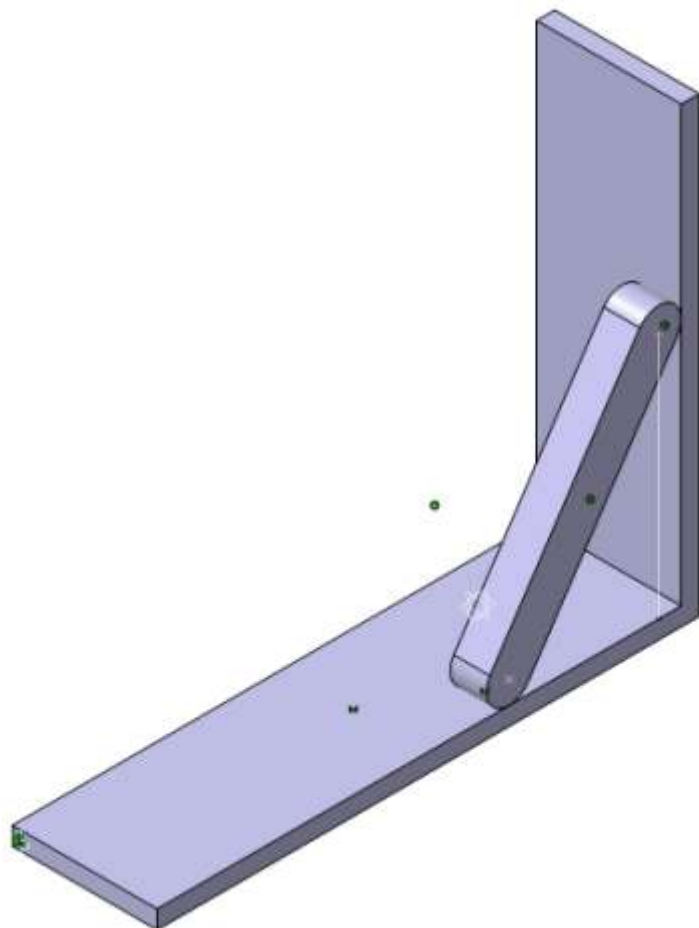
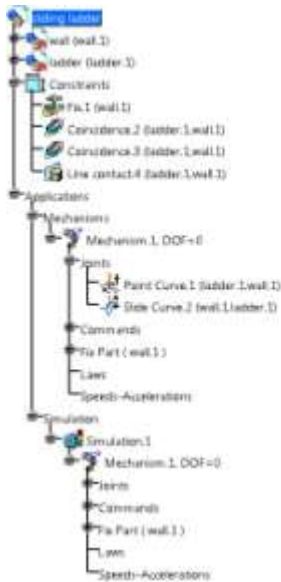
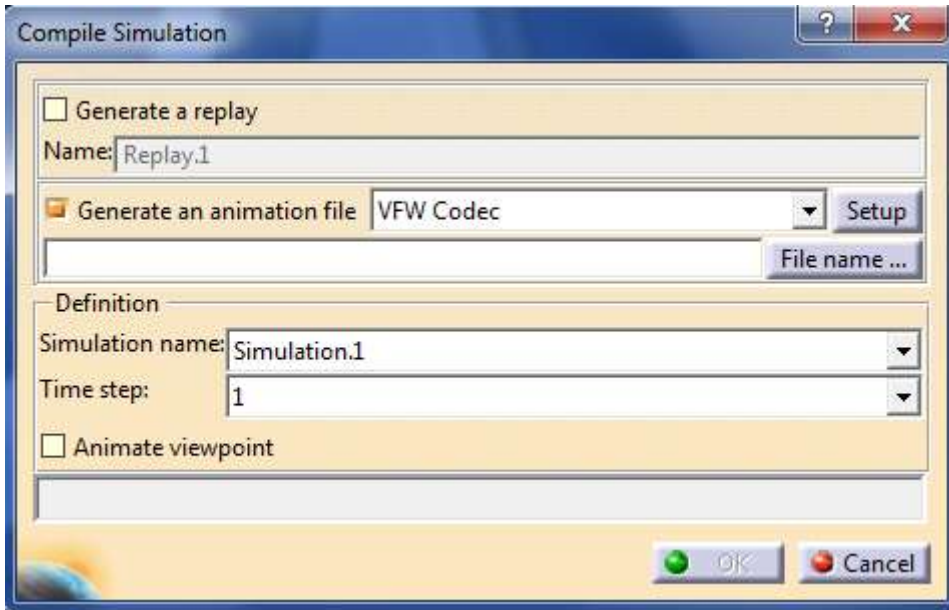
Da bismo usporili kretanje merdevina, promjenimo vrijednost koraka interpolacije (interpolation step) na 0.04, na primjer.



Kliknimo na dugme **Compile Simulation** .

Nakon pritiska na dugme **File name**  možemo izabrati lokaciju i naziv animacione datoteke koja će biti generisana.

Izaberemo odgovarajuću putanju i naziv datoteke, a parametar **Time step** postavimo na **0.04**, kako bismo dobili dovoljno usporeno kretanje merdevina u AVI datoteci.



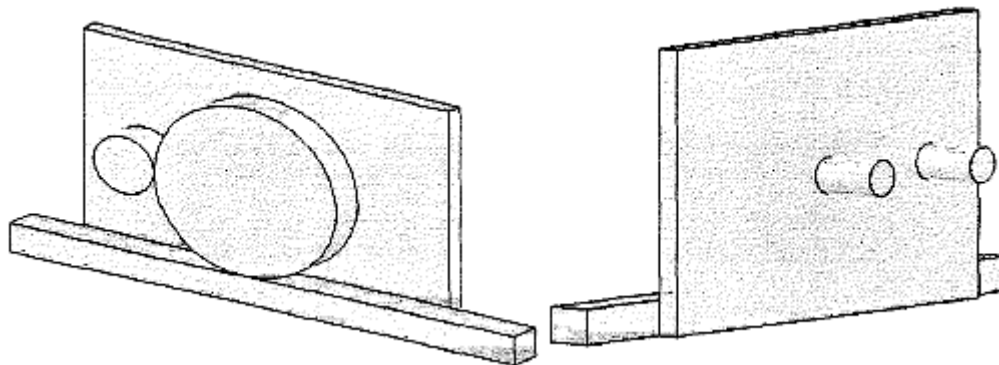
**VJEŽBA-5****Zupčasti mehanizam**

U ovoj vježbi ćemo kreirati mehanizam zupčanika u kome jedan manji pogonski zupčanik okreće drugi, veći, a ovaj pogoni zupčastu letvu. Neophodne spojeve, zupčasti i spoj zupčaste letve, ćemo kreirati ručno u okruženju **Digital Mockup**.

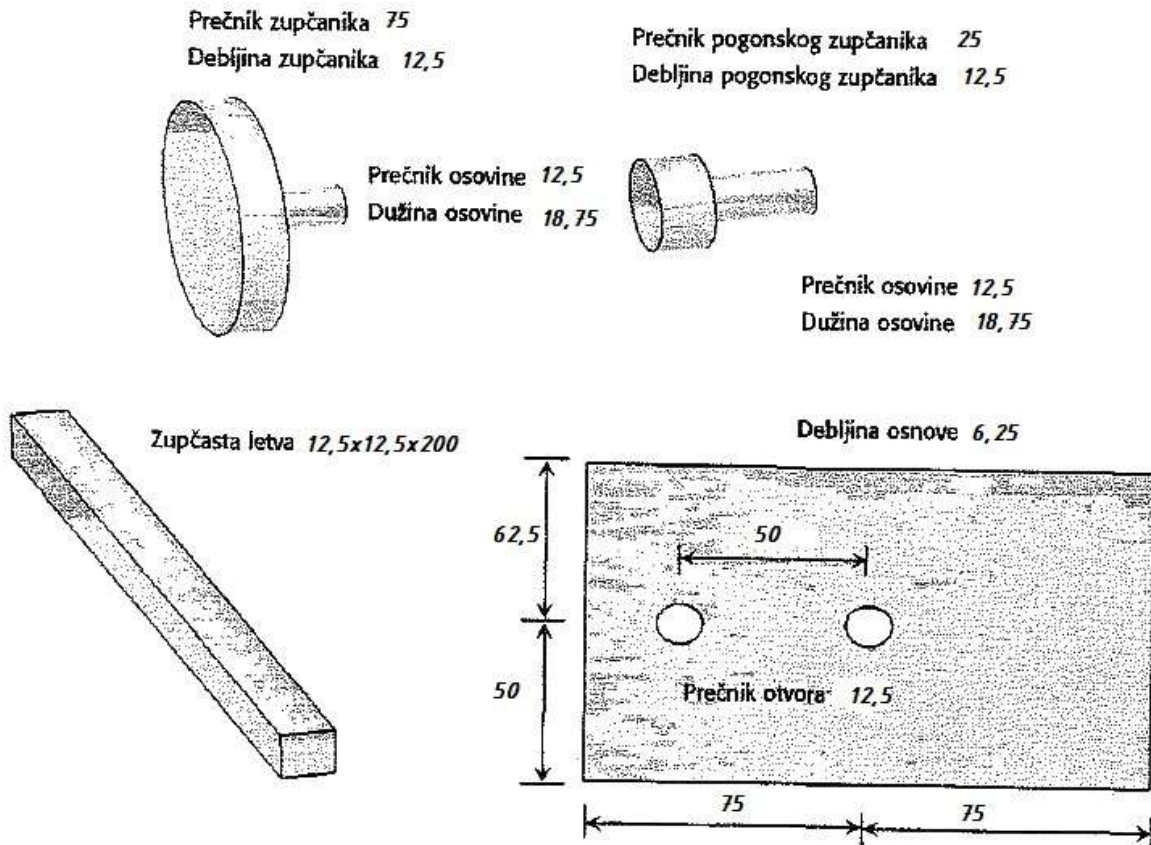
**Definicija problema**

Sklop prikazan na narednoj slici sadrži četiri dijela: zupčanik, pogonski zupčanik, zupčastu letvu i osnovu. Bez obzira što nećemo modelovati zupce, podrazumijeva se da radimo sa pravim zupčanicima i zupčastom letvom, koji ih posjeduju; zupčanike ćemo jednostavno modelovati kao kružne sekcije sa prečnikom koji je jednak punom prečniku pravih zupčanika. Zupčasta letva će radi jednostavnosti biti modelovana kao pravilno četvorougao tijelo. Naš cilj je da modelujemo kinematičko kretanje sistema, u kome se pogonski zupčanik kreće konstantnom ugaonom brzinom. To ćemo postići kreiranjem revolucionog spoja za pogonski zupčanik, revolucionog spoja za drugi zupčanik, prizmatičnog spoja za zupčastu letvu i zupčastog spoja između većeg zupčanika i zupčaste letve.

Ograničenja koja ćemo definisati u okruženju **Assembly Design** omogućuju automatsko kreiranje dva revolucionarna i jednog prizmatičnog spoja. Nakon kreiranja zupčastog spoja, međutim, revolucionarni spojevi su već utrošeni, tako da nam nedostaje jedan revolucionarni spoj za zupčastu letvu.







### Kratak pregled vježbe

U ovoj vježbi ćemo uraditi sljedeće:

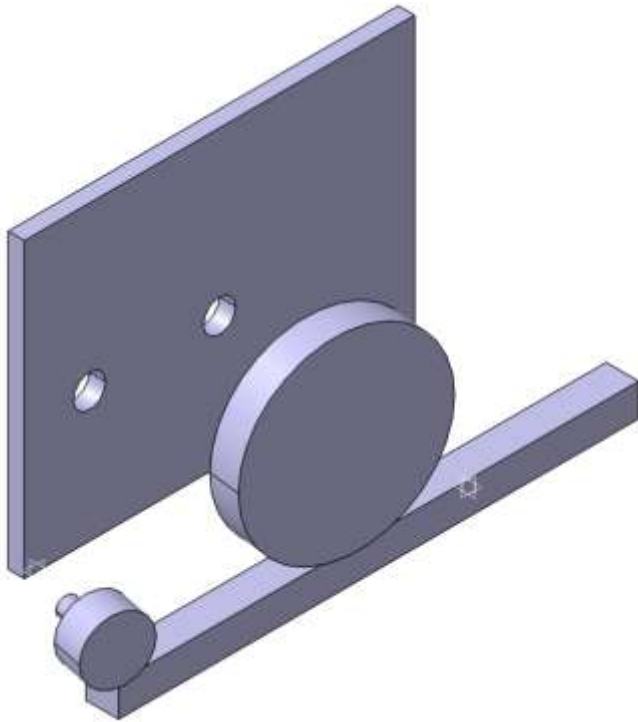
1. Modelovati četiri neophodna CATIA dijela.
2. Kreirati sklop (CATIA Product) od tih dijelova.
3. Definirati ograničenja na nivou sklopa, kojima ćemo ukloniti nepotrebne stepene slobode prije ulaska u DMU okruženje.
4. Preći u okruženje Digital Mockup, u kome ćemo automatski konvertovati ograničenja sklopa u dva revolucionarna i jedan prizmatični spoj.
5. Kreirati zupčasti spoj između dva zupčanika, koji će "utrošiti" dva revolucionarna spoja kreirana u prethodnom koraku.
6. Kreirati dodatni revolucionarni spoj za zupčanik, koji ćemo iskoristiti u kreiranju spoja zupčaste letve između zupčanika i letve.
7. Simulirati kretanje mehanizma bez uticaja parametra vrijeme (drugim riječima, bez implementacije konstantne ugaone brzine koja je navedena u definiciji problema).

### Kreiranje sklopa u modulu Mechanical Design Solutions

Nakon modelovanja dijelova počecemo sa njihovim ugrađivanjem u sklop.

Aktiviramo modul **Assembly Design** i u njega ubacimo modelirane dijelove na jedan od mogućih načina.


Kada smo ubacili sve dijelove u ovaj modul imamo situaciju kao na sljedećoj slici.



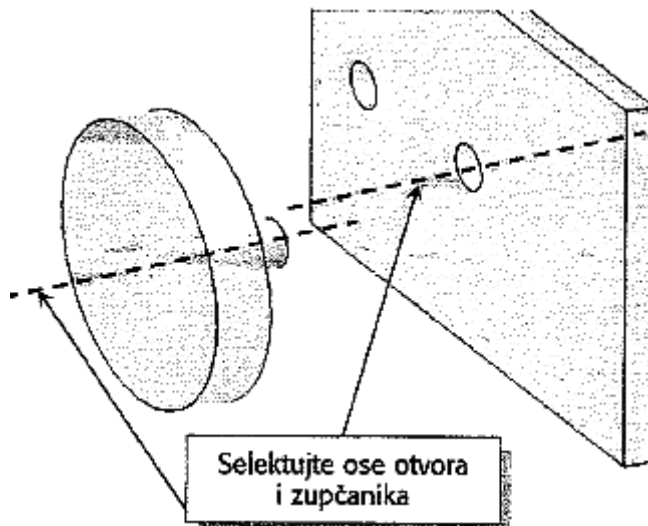
U zavisnosti od načina kreiranja dijelova oni se mogu pojaviti razbacani na ekranu. U tom slučaju možemo kliknuti na ikonu **Manipulation** u paleti alata **Move**, kako bismo promijenili njihov raspored i izbjegli eventualno preklapanje. Na taj način možemo olakšati kreiranje sklopovskih ograničenja. Definisanje sklopovskih ograničenja predstavlja naš naredni zadatak. Počecemo sa fiksiranjem baznog dijela, čime ćemo ukloniti svih šest njegovih stepena slobode (dof) kretanja.

Pokrenimo naredbu **Fix Component**  a u stablu ili na ekranu selektujemo dio pod nazivom **base (osnova)**.


U nastavku ćemo postaviti veći zupčanik tako da mu uklonimo sve stepene

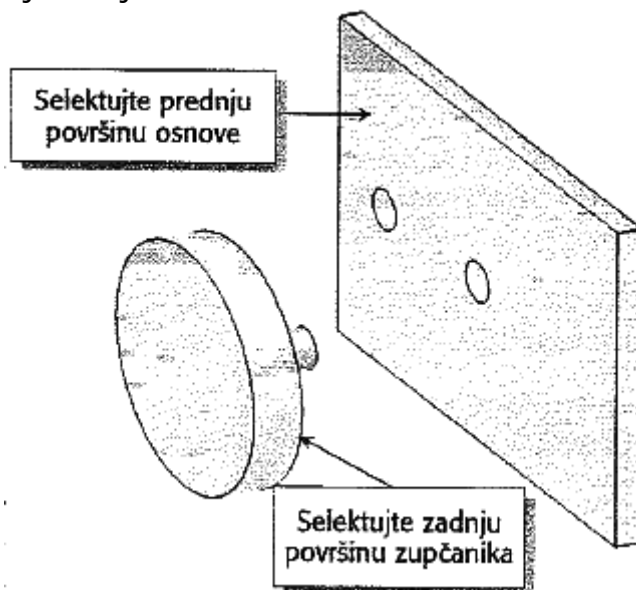
slobode, izuzev rotacije oko ose osovine. Kliknemo na ikonu **Coincidence**  u paleti alata **Constraint**. Selektujemo dvije ose koje su prikazane na sljedećoj slici.

Na taj način smo uklonili sve stepene slobode zupčanika, osim translacije oko ose osovine i rotacije oko te ose.



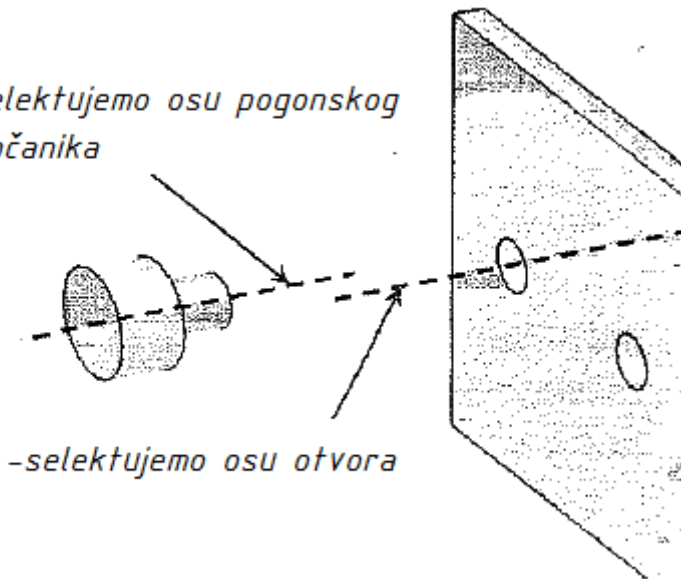
Preostali translacioni stepen slobode ćemo ukloniti kontaktnim ograničenjem.

Kliknemo na ikonu **Contact**  u paleti alata **Constraints** i selektujemo *prednju površinu osnove* i *zadnju površinu zupčanika*, kao što je prikazano na sljedećoj slici.



Time smo završili definisanje ograničenja za zupčanik. U nastavku ćemo slična ograničenja primjeniti i na pogonski zupčanik. Selektujemo dvije ose kako je prikazano na slici ispod.

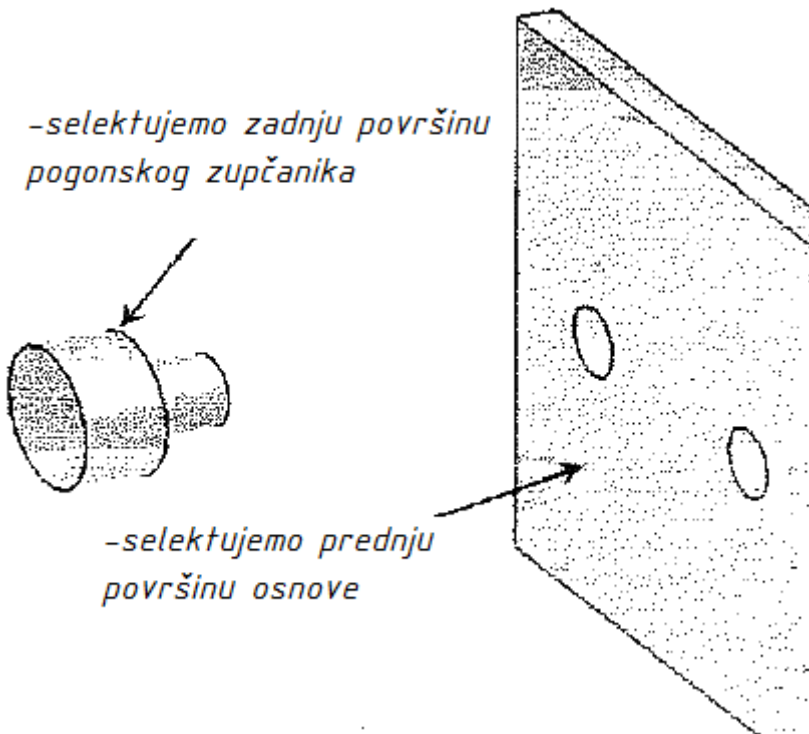
-selektujemo osu pogonskog zupčanika



-selektujemo osu otvora

Kliknemo na ikonu **Contact**  u paleti alata **Constraints** i selektujemo prednju površinu osnove i zadnju površinu pogonskog zupčanika, kao što je prikazano na sljedećoj slici.

-selektujemo zadnju površinu pogonskog zupčanika



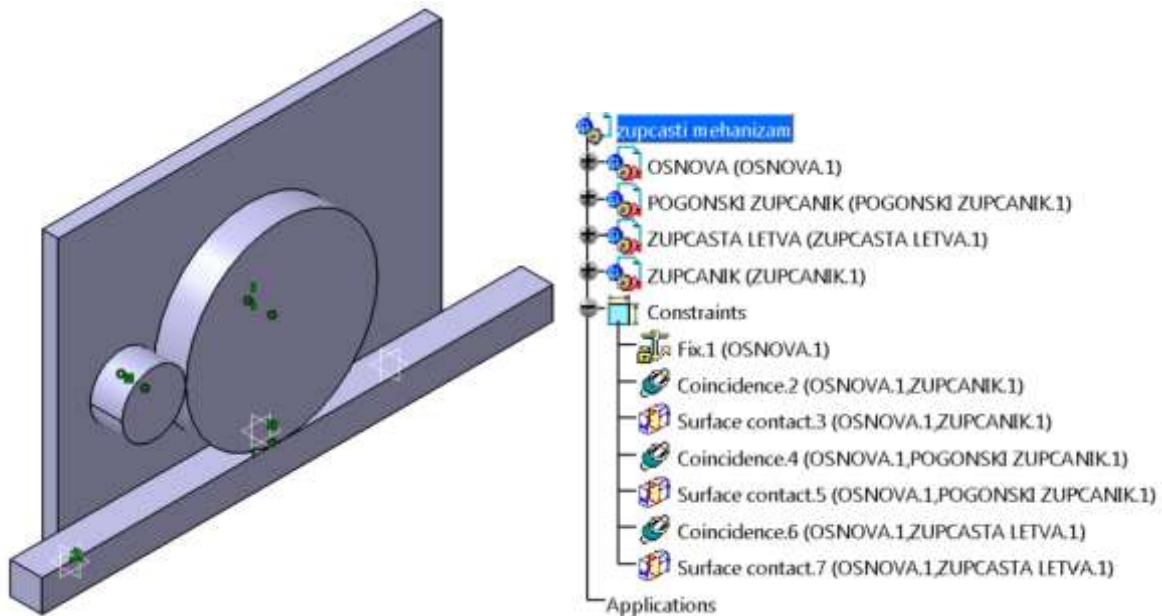
-selektujemo prednju površinu osnove

U nastavku ćemo kreirati ograničenja koja su neophodna za formiranje prizmatičnog spoja zupčaste letve. Odgovarajući skup sklopovskih ograničenja će ukloniti sve stepene slobode letve, osim translacionog kretanja po sopstvenoj dužini.

Pokrenemo naredbu **Coincidence Constraint** i selektujemo ivice osnove i zupčaste letve.

Time se uklanjaju svi stepeni slobode, izuzev translacije duž podudarnih ivica i rotacije oko tih ivica.

Neželjeni rotacioni stepen slobode možemo ukloniti tako što ćemo kliknuti na ikonu **Contact** i selektovati prednju površinu osnove i zadnju površinu letve.



Sklop je time završen, tako da možemo preći u okruženje **Digital Mockup**.

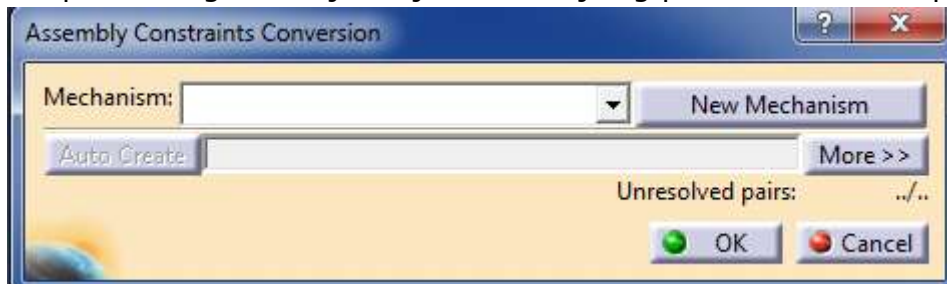
### Kreiranje spojeva u okruženju Digital Mockup

Nakon ulaska u okruženje **Digital Mockup-DMU Kinematics** kliknemo na

ikonu **Assembly Constraints Conversion**



Pomoću nje možemo kreirati najčešće korištene spojeve na osnovu postojećih sklopovskih ograničenja. Pojaviće se dijalog prikazan na slici ispod.



Kliknemo na dugme **New Mechanism**. Time se otvara novi dijalog u kome možemo dodijeliti naziv svom mehanizmu. Podrazumijevani naziv je **Mechanism.1**. Prihvatimo ga klikom na dugme **OK**.

U dijalogu stoji natpis **Unresolved pairs: 3/3**.

Unresolved pairs: 3 / 3

Kliknemo na dugme **Auto Create**. Nakon toga **Unresolved pairs** dobija vrijednost 0/3, što znači da se stvari odvijaju u pravom smjeru.



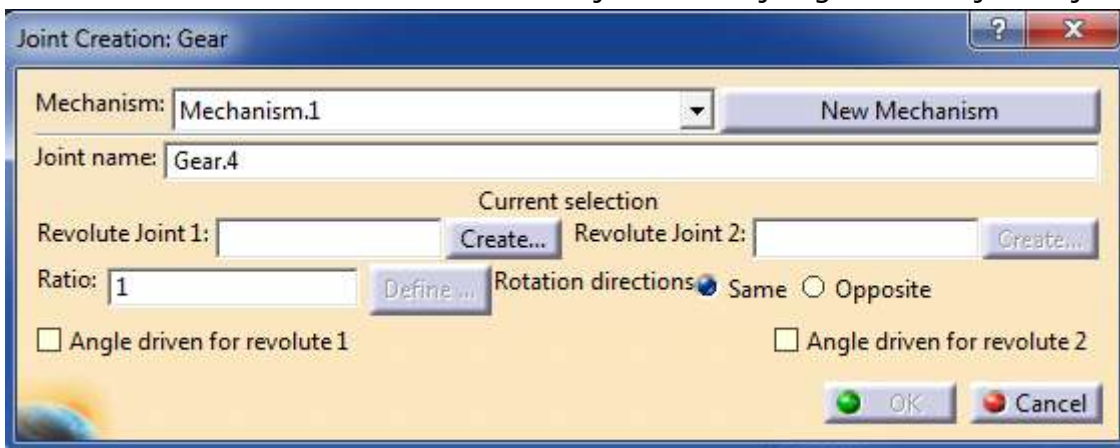


Ako pogledamo u stablo vidimo da su kreirana tri spoja (dva revoluciona i jedan prizmatični). Zupčasti spoj i spoj zupčaste letve moramo kreirati ručno.

Da bi se kreirao zupčasti spoj, moraju postojati dva revoluciona spoja. Spoj zupčaste letve, međutim, zahtjeva revolucioni i prizmatični spoj.

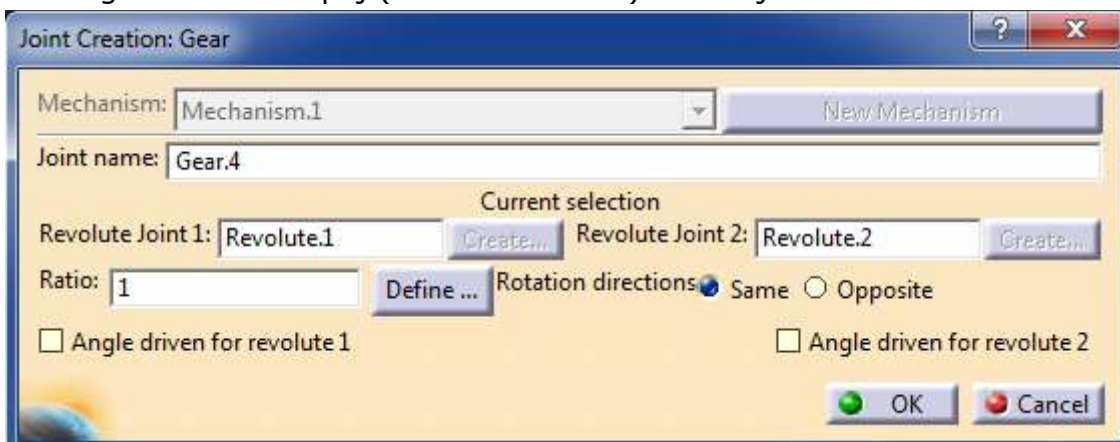
Prije nego što pređemo na sljedeći zadatak poželjno je da pomoću naredbe **Manipulate** privremeno odvojimo zupčanik od osnove. Da bismo to uradili, moramo se vratiti u okruženje **Assembly Design**, a zatim možemo ponovo preći u **DMU Kinematics**.

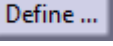
Kliknemo na ikonu **Gear Joint** . Pojaviće se dijalog kao na sljedećoj slici.

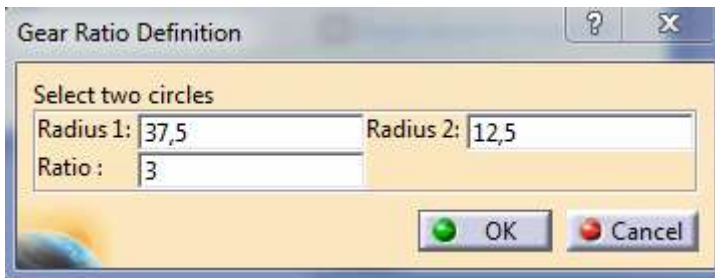


Za prvi revolucioni spoj (Revolute Joint 1) selektujemo **Revolute.1** iz stabla.

Za drugi revolucioni spoj (Revolute Joint 2) selektujemo **Revolute.2** iz stabla.



Stepen prenosa (prenosni odnos) biramo klikom na dugme **Define...** . Selektujemo veći pa manji zupčanik i dobijemo prenosni odnos.



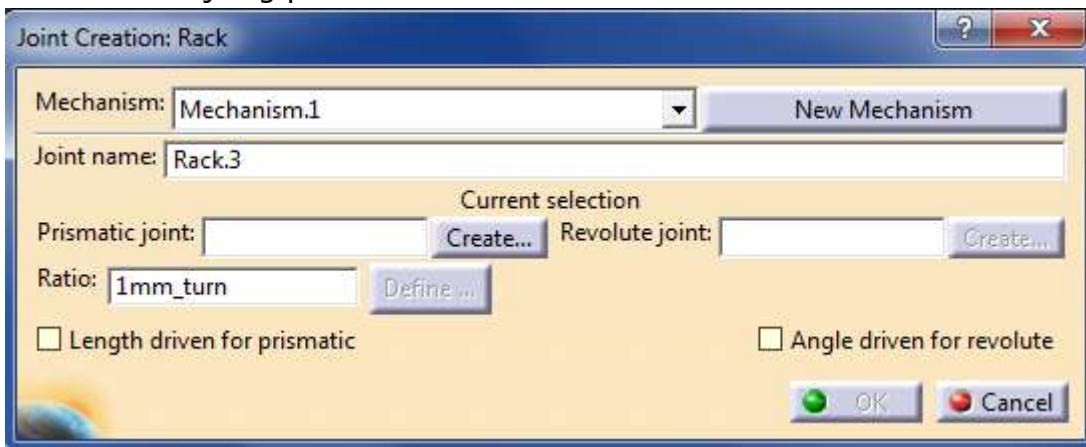
Pošto se radi o spoljašnjim zupčanicima koji imaju suprotne smjerove obrtanja to je potrebno aktivirati opciju **Opposite** nakon čega možemo zatvoriti dijalog.

Stablo specifikacije sada sadrži i granu Gear.4, koja odgovara upravo kreiranom spoju.

Za njega smo, međutim, utrošili oba revolucionarna spoja.


Kliknemo na ikonu **Rack Joint**  u paleti alata **Kinematics Joint**.

Otvoriće se dijalog pod nazivom **Joint Creation: Rack**.

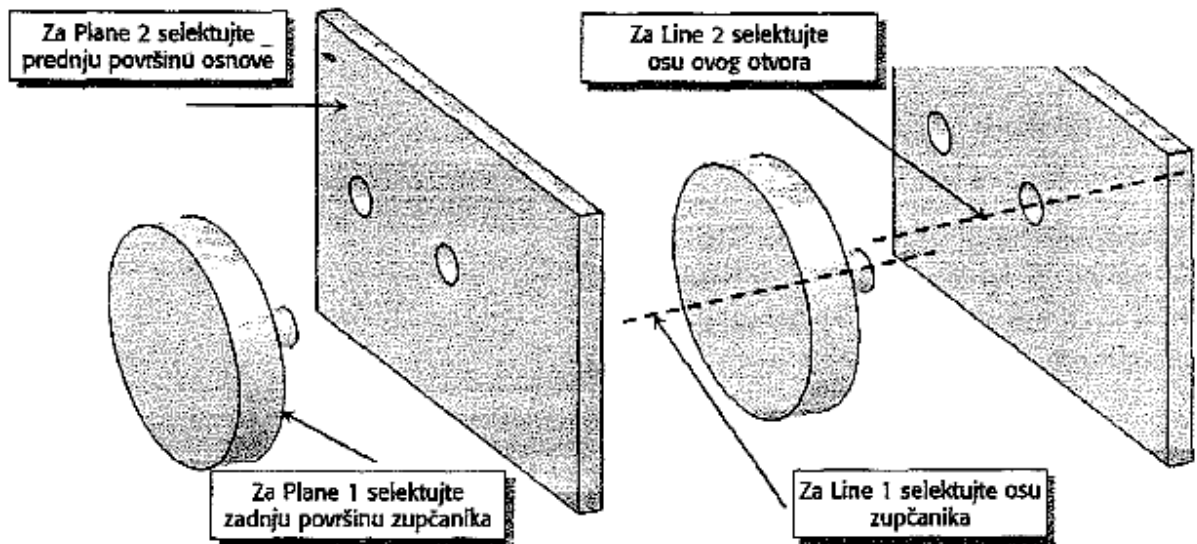


Dijalog zahtjeva selekciju jednog prizmatičnog spoja (Prismatic joint)-mi izaberemo spoj **Prismatic.3** iz specifikacionog stabla.

Dijalog zahtjeva i selekciju jednog revolucionarnog spoja, ali problem je u tome što nije preostao ni jedan takav spoj. Njega, međutim, možemo kreirati klikom na

dugme **Revolute Joint**. 

Revolucionarni spoj ćemo kreirati između dijelova **gear** i **base**. Parametre **Line 1**, **Line 2**, **Plane 1** i **Plane 2** odaberemo u skladu sa slikom ispod.



Treba imati na umu da se selekcija mora obaviti na konzistentan način. Line 1 i Plane 1 moraju pripadati istom dijelu, dok Line 2 i Plane 2, samim tim, moraju pripadati drugom dijelu. Naredna slika prikazuje popunjen dijalog, koji ćemo zatvoriti klikom na OK.

