

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Машинске конструкције и механизација

Предмет: Техничко цртање са компјутерском графиком

Број индекса: 127/2017

Драгана Н. Трукић

**Израда конструкционе документације карданског
преносника**

завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Др Лозица Ивановић - ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да:

- изврши преглед и опис елемената карданског преносника,
- моделира кардански преносник,
- генерише његову техничку документацију.

Препоручена литература:

1. Блажа Стојановић, Мирко Благојевић „Механички преносници“, Крагујевац, 2015.
2. Зоран Милојевић, Милан Рацков, Синиша Кузмановић, Иван Кнежевић, Слободан Навалушић, Лозица Ивановић, Мирослав Вереш, Биљана Марковић „Израда конструкционе документације“, Нови Сад, 2015.

Крагујевац _____

Ментор:

Проф. др Лозица Ивановић

Изјављујем да сам овај рад самостално радила уз помоћ литературе и већ стеченог знања.

Трукић Драгана 127/2017

Резиме

У овом раду је описан кардански преносник који најчешће служи за пренос обртног момента са једног вратила на друго. Описан је његов склоп као и сви елементи у њему. У уводном делу је дат историјски развој карданског преносника. Приказан је и део прорачуна оптерећења карданског преносника. Дат је начин извођења модела у програму SolidWorks, а такође у истом софтверу и генерисање његове техничке документације. Уз примену карданског преносника знатно је олакшан рад машина.

Кључне речи: кардански преносник, документација, софтвер.

Summary

This paper describes a cardan gear that is most often used to transfer torque from one shaft to another. Its assembly is described as well as all the elements in it. In the introductory part, the historical development of the cardan gear is given. Part of the load calculation is shown. The method of running the model in Solidworks is given, also in the same software generating its technical documentation. With the use of a cardan transmission, the operation of the machines is significantly easier.

Keywords: cardan gear, documentation, software.

Садржај:

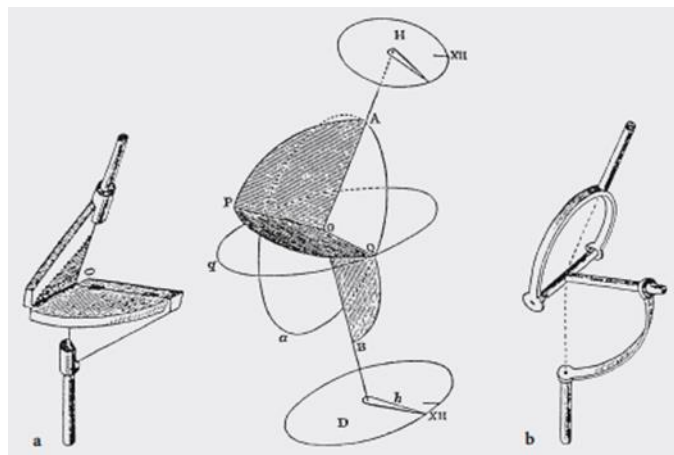
1. Увод	6
1.1 Историјски развој карданских преносника	7
1.2 Примена и задаци карданских преносника	8
1.3 Подела карданских преносника	9
1.3.1 Карданова (зглобна) спојница	12
1.3.2 Крстава осовина	15
1.3.3. Виљушке карданског преносника	16
1.3.4 Централни део (цев)	18
1.4 Удвојени кардански преносник	19
1.5 Критичан број обртаја карданског преносника	20
1.6 Степен искоришћења карданског преносника	20
1.7 Материјал за карданске преноснике	21
2. Оптерећења код карданских преносника	22
3. Моделирање карданског преносника	25
3.1 CAD/CAM/CAE технологије	25
3.2. Моделирање делова	25
3.3 Моделирање склопова	27
3.4 Моделирање карданског преносника применом софтвера SolidWorks	27
3.4.1 Покретање програма и приступ модулу Part	27
3.4.2 Приступ модулу Assembly	30
3.5 Израда техничке документације	31
3.5.1 Приступ модулу Drawing	32
3.5.2 Стандардни елементи	33
3.6 Избор материјала	34
4. Закључак	36
5. Литература	37

1. Увод

Прво описивање механизма за пренос снаге потиче још из 13. века, од када су се многи научници водили том идејом и усавршавали је све до данас. Прва примена карданског преносника налази се у компасу. Зглобови унутар компаса су служили да казаљке држе у хоризонталном положају упркос померању. Италијански научник Цироламо Кардан, по коме овај механизам и носи име, је детаљно описао ове механизме и усадио идеју да обични зглобови могу преносити обртне моменте са једног вратила на друго, али није конструисао овај механизам. Самим тим долази се до тога да кардански преносник спада у механичке преноснике снаге и има задатак да пренесе обртни момент и кретање између вратила чије се осе налазе под одређеним углом који може бити сталан или променљив, дозвољавајући при томе и њихово релативно померање угаоно и транслаторно. Уз развој машиноградње и кардански преносник се такође развијао кроз историју,[1].

Његова примена се знатно повећала од аутомобилске индустрије, до примене у авио индустрији. Развој карданских механизма поред осталих достигнућа на пољима машинства остварио је тежњу човека да се што више ослободи физичког посла и то замени машинама. Кардански преносник се са аспекта кинематских карактеристика упоређује са Хуковим зглобом (слика 1.1). Роберт Хук је енглески научник који је примену карданског преносника нашао у сунчаном сату и он је патентирао кардански механизам.

Рад је конципиран тако да је у првом делу образложен развој карданског преносника кроз историју. У наставку је представљен настанак више врста карданских преносника у зависности од примене, а затим је дат опис свих машинских делова од којих се састоји склоп карданског преносника.



Слика 1.1 Хуков зглоб, [1].

1.1 Историјски развој карданских преносника

Као што је већ речено прва примена карданског преносника се налази у компасу, који су Кинези, иако без елементарног знања везаних за елементе универзалних зглобова, изумели. Кардански преносници су у компасима имали облик прстена који су држали казаљке. Рани извештаји о првим зглобовима били су опште познати у Европи кроз извештаје Циролама Кардана, који је у својој књизи „De subtilitate libri XXI“ описао столицу цара Карла V која се ослањала на зглобове, [1].

Тада је дошло до значајног напретка у развоју карданских преносника, уз детаљан опис механизма за пренос обртног момента са једног вратила на друго. Као резултат тога данас је универзални зглоб познатији као кардански зглоб (слика 1.2).



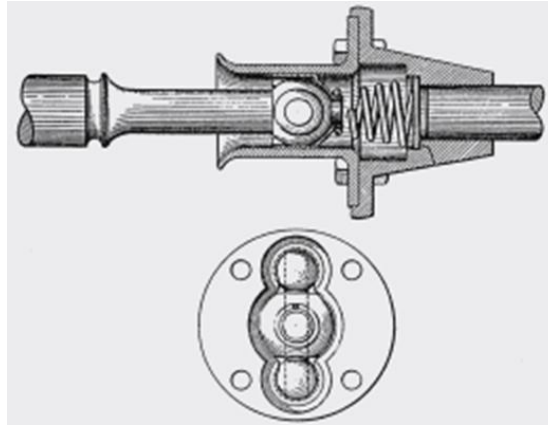
Слика 1.2 Универзални зглоб, [1].

На слици 1.2 је приказан универзални зглоб чији су краци смештени у рупе које су на крајевима виљушке, а саме виљушке су монтиране у фиксне прстенове.

Шведски научник Кристофер Палхем је овај изум назвао „универзални зглоб“ који је касније 1664. године описао немачки научник Гаспер Шот у својој књизи, назвавши га „paradoxum“, и тврдећи да зглоб нема константну брзину. Енглески научник у области механике Роберт Хук је 1664. године патентирао механизам за пренос обртног момента између два вратила под углом, а механизам је добио назив „Хуков зглоб“. Кардански преносник и Хуков зглоб су еквивалентни без конкретних разлика. Следећи значајан напредак карданског преносника десио се између 1667. и 1675. када је Роберт Хук дошао до идеје да усаврши зглоб свог хелиоскопа. Уз анализу свог зглоба долази до открића да је брзина обртања неравномерна. Једначином којом узима у обзир време Хук математички прорачунава универзални зглоб. Прва званична употреба термина карданског зглоба забележена је 1667. године у његовој књизи „Helioscops“.

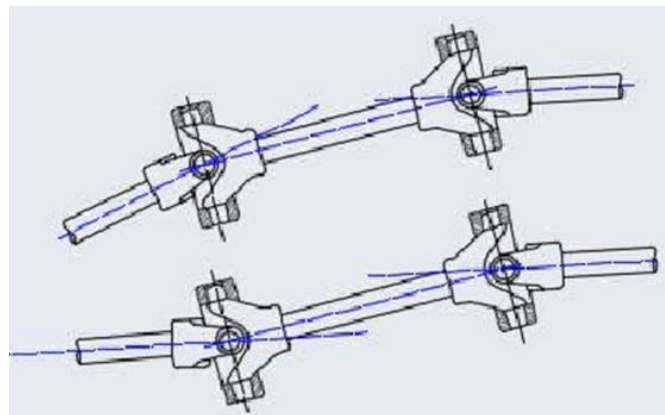
1884. године Едмунд Морвуд (Edmund Morewood) је патентирао први челични универзални зглоб, да би ускладио мале грешке између мотора и челичних вратила. Термин кардански зглоб се веома касно почео употребљавати у енглеском језику, због тадашње ситуације и јаког утицаја Француске, зато што су у 19. веку бројни документи преводјени на француски језик.

1903. године младом инжењеру Кларенс В. Спајсеру (Clarence W. Spicer) док је студирао на Cornell универзитету, је прихваћен патент карданског зглоба. Он је тај патент применио у свом аутомобилу, а затим је 1904. године основао своју фабрику за производњу универзалних зглобова и преносних вратила [1]. На слици 1.3 приказан је погон на точковима аутомобила.



Слика 1.3 Погон точкова, [1].

Нагли развој карданских преносника настаје развојем пољопривредних и транспортних машина, за машине које су при раду изложене динамичким оптерећењима као и промени оса појединих вратила. На слици 1.4 приказано је новије решење карданског преносника.



Слика 1.4 Кардански преносник, [2].

1.2 Примена и задаци карданских преносника

Кардански преносници поред примене код пољопривредних и транспортних машина имају и велику примену у машинској индустрији. Најпознатије коришћење карданског преносника је у аутомобилима за пренос снаге између мотора и погонског моста. Примењују се још и код машина алатки, управљачких механизма авиона и хеликоптера, у дрвној и текстилној индустрији и др., [2].

Када су у питању моторна возила, у општњм случају, кардански преносници се користе за остваривање везе између:

- мењача степена преноса и погонског моста,
- мењача степена преноса и разделника погона,
- разделника погона и погонског моста,
- погонског моста и погонских точкова (ако је примењено независно вешање точкова),
- погонског моста и управљачких точкова.

Основни задаци карданског преносника су:

- пренос обртног момента без стварања додатних оптерећења у току рада,
- могућност преноса обртног момента уз једнакост угаоних брзина погонског и гоњеног вратила,
- могућност основног померања између вратила,
- висок степен искоришћења,
- тих начин рада,
- минимално присуство трења и др.

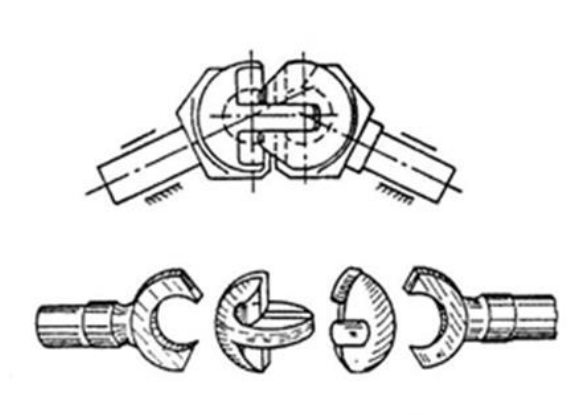
1.3 Подела карданских преносника

У зависности од конструкције, начина преноса, кинематских параметара и начина израде, кардански преносници се могу поделити на више врста и подврста.

На основу основних кинематских параметара могу се поделити на:

- синхроне,
- асинхроне.

Синхрони кардански преносник је преносник са константним преносним односом, тачније погонско и гоњено вратило имају једнаке угаоне брзине без обзира на угао нагиба између њих. Овај тип преносника се такође назива и индустријским карданом због велике примене у машиноградњи (слика 1.5).



Слика 1.5 Синхрони кардански преносник, [1].

Асинхрони кардански преносник је преносник са променљивим преносним односом, односно при константној угаоној брзини погонског вратила гоњено вратило се обрће наизменично променљивим бројем обртаја. При преносу обртног момента под неким углом између погонског и гоњеног вратила, гоњено вратило производи периодично равномерну угаону брзину без обзира на то што је угаона брзина погонског вратила равномерна. Због тога долази до присуства динамичког напрезања елемената. Услед ротирајућих инерцијалних сила, гоњено вратило се обрће неједнако и његова брзина ротирања варира у току једног окрета. Они се састоје од погонског вратила, крстасте осовине и гоњеног вратила, [2].

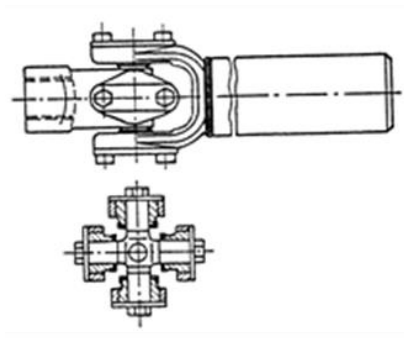
У зависности од величине угла између погонског и гоњеног вратила разликују се пуни кардани и полукардани.

Пуни кардани имају две осе осциловања и обезбеђују пренос обртног момента и при великим угловима између везаних вратила. У зависности од тога деле се на:

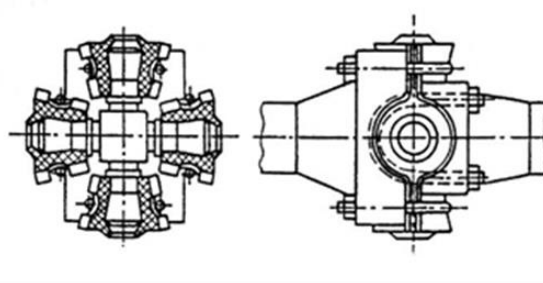
- просте и
- универзалне.

Универзални кардански преносник омогућава осно померање које се остварује у самом зглобу механизма. Ако преносник не омогућава овај вид померања онда спада у просте карданске преноснике који обезбеђује само релативну промену угла између оса вратила.

Полукардани немају физичку осу осциловања и допуштају узајамно одступање вратила само под веома малим углом. На сликама 1.6 и 1.7 приказани су крути и еластични полукардан.



Слика 1.6 Крути кардански преносник



Слика 1.7 Еластични карданског преносник

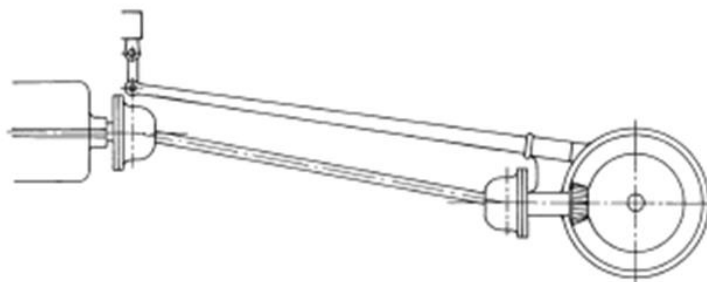
Када су у питању крути полукардани њихова конструкција је таква да омогућавају само угаона померања оса вратила при преносу обртног момента, док су еластични полукардани такви да поседују способност осних премештања у току рада.

Код транспортних моторних возила кардански преносници се изводе као:

- затворени и
- отворени.

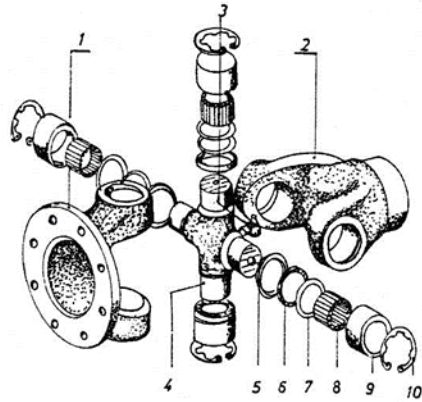
Затворени кардански преносници поред вратила и спојница садрже и облогу карданског преносника, служе за пренос обртног момента са мењача степена преноса на погонски мост возила. Такође омогућавају преношење реактивних сила са погонског моста на каросерију, [2].

Отворени кардански преносници се састоје из међувратила променљиве дужине и две карданове спојнице (слика 1.8).



Слика 1.8 Отворени кардански преносник, [2].

Кардански преносник који се највише примењује је кардански преносник са крстастом осовином. На слици 1.9 приказан је кардански преносник са крстастом осовином.



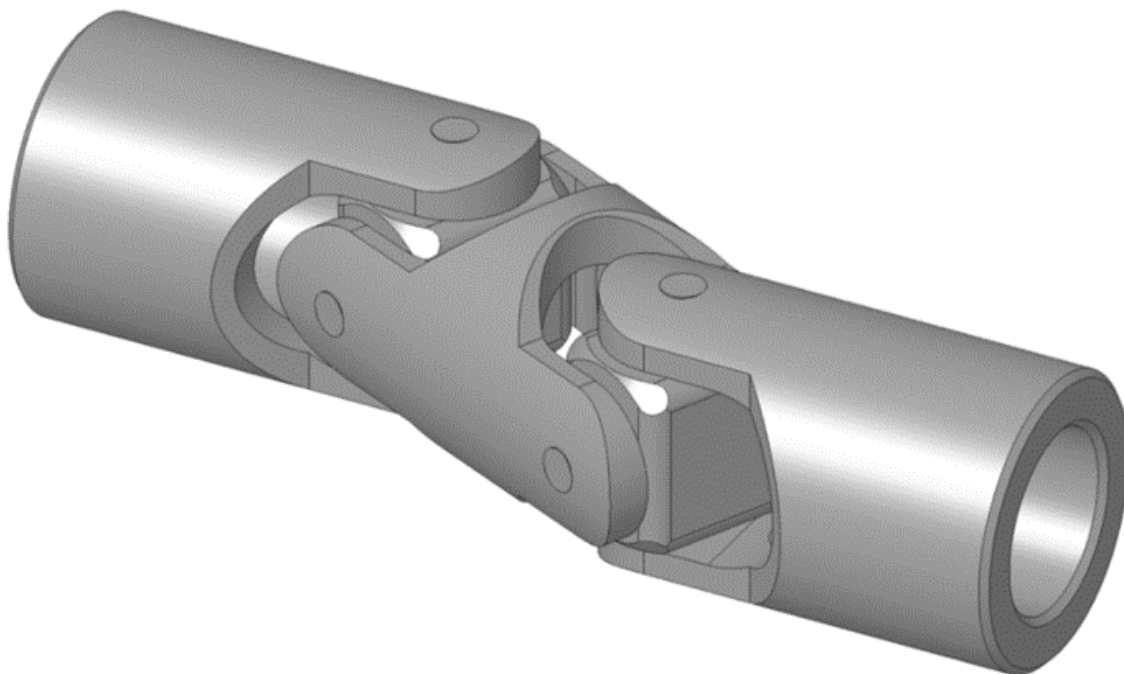
Слика 1.9. Кардански преносник са крстастом осовином

На слици 1.9 је приказан преносник који се састоји од виљушака погонског (1) и гоњеног вратила (2), крстасте осовине (4) са лежајевима (8). Крстаста осовина има четири рукавца који належу на игличасте лежајеве. Иглице игличастих лежајева смештене су у шољице (9), а оне у виљушке вратила осигуране ускачком (10).

1.3.1 Карданова (зглобна) спојница

Најједноставнији кардански преносник се састоји од два карданска зглоба и вратила. Кардански зглоб односно карданова спојница омогућава спајање вратила чије се осе секу под неким углом, који се креће у интервалу од 5 до 30 степени. Ова спојница се састоји од два зглоба међусобно постављена под углом од 90 степени (слика 1.10). Сваки од ових зглобова појединачно може да се помера у једној равни. Основни делови кардановог зглоба су ушице виљушки зглобова и карданов крст. Ушице су са кардановим крстом повезане преко рукаваца, а виљушке су спојене са вратилима преко одговарајућих главчина, [2].

Карданове спојнице захтевају велику тачност израде и монтаже као и добро подмазивање ради избегавања прекомерног хабања.

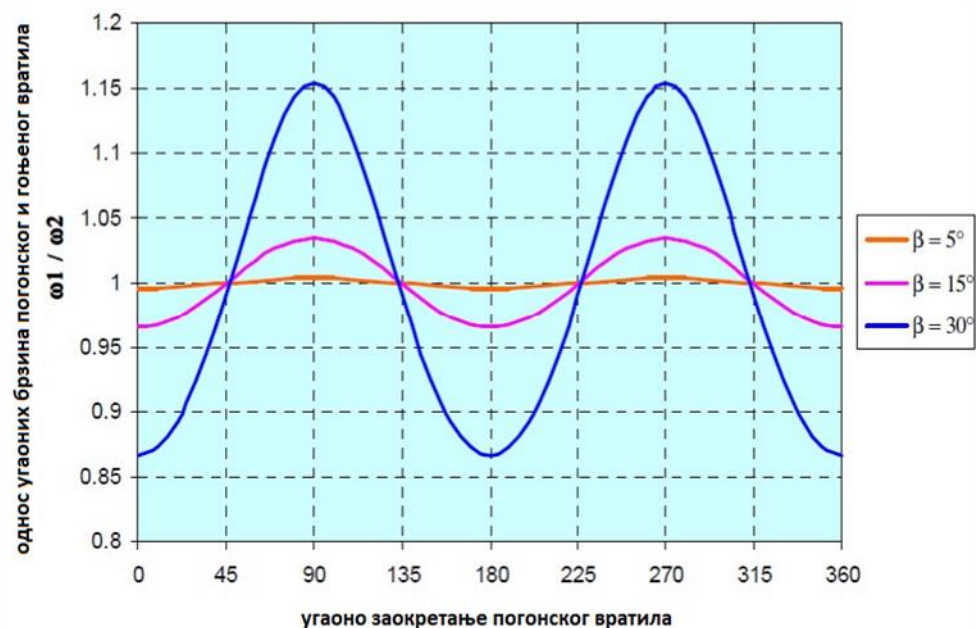


Слика 1.10 Карданова (зглобна) спојница, [3].

Недостатак кардановог зглоба се огледа у неравномерности преноса угаоне брзине и обртног момента.

Неравномерно обртање гоњеног вратила изазива додатно динамичко оптерећење преносног система. Из тог разлога се ове спојнице примењују код преноса мањих обртних момената при нижим бројевима обртаја и за мање вредности углова преламања (β). На слици 1.11 приказан је дијаграм неравномерности преноса код карданове спојнице.

Карданова спојница припада групи асинхроних спојница. Са повећањем угла преламања повећава се и неравномерност у преносу угаоне брзине и обртног момента.



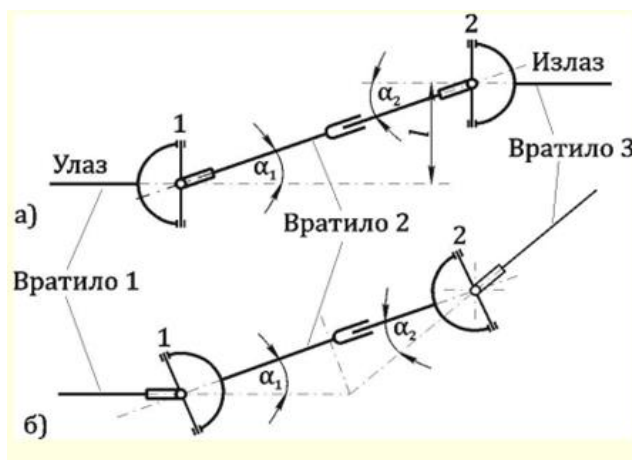
Слика 1.11 Дијаграм односа угаоних брзина и угла заокретања

Начин за решавање овог вида неравномерности у преносу се може решити применом две врсте распореда вратила, тачније:

- „Z“ распоредом вратила и

- „W“ распоредом вратила.

Применом „W“ распореда вратила се повећава угао нагиба између вратила са 15 на 30 степени. Применом „Z“ распореда вратила могуће је преносити обртни момент између два паралелна вратила, чије су осе радијално померене (слика 1.12).



Слика 1.12 а) „Z“ извођење, б) „W“ извођење, [2].

На слици 1.13 дате су карактеристичне врсте карданских зглобних спојница.

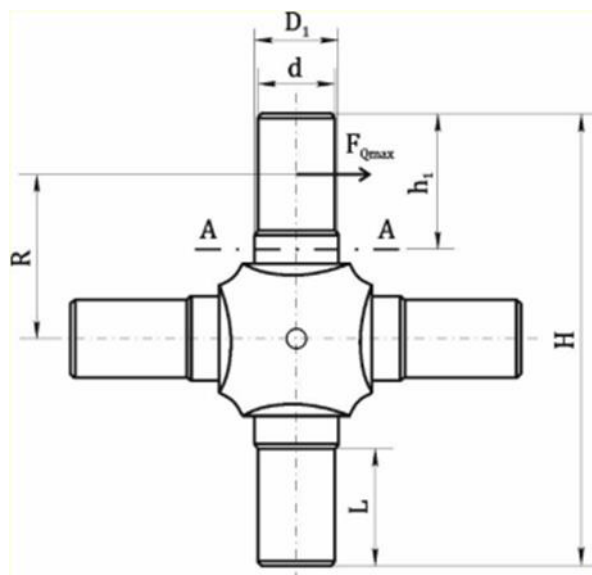


Слика 1.13 Карданске зглобне спојнице „C Line“, [3].

„C Line“ врста карданских преносника разликују се од стандардних кардана по начину извођења облика и величине како цеви тако и осталих делова склопа.

1.3.2 Крстава осовина

Крстава осовина спада у један од најважнијих делова карданског преносника, у зависности од ње одређује се радни век преносника. Она је оптерећена пре свега на савијање и увијање, у неким случајевима и на површински притисак. Делови који су највише оптерећени јесу рукавци (слика 1.14), [4].



1.14 Крстава осовина, [2].

Параметри крстасте осовине су:

D_1 - пречник рукавца крстасте осовине

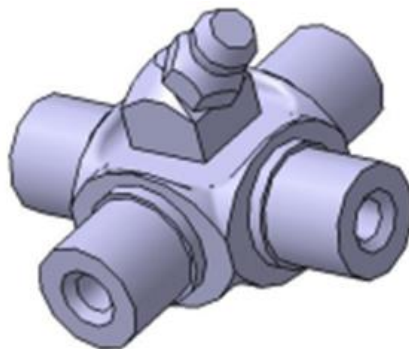
H - висина крстасте осовине

h_1 - растојање од чела рукавца до пресека „А-А“

L - висина рукавца

R - растојање центра крстасте осовине од деловања силе

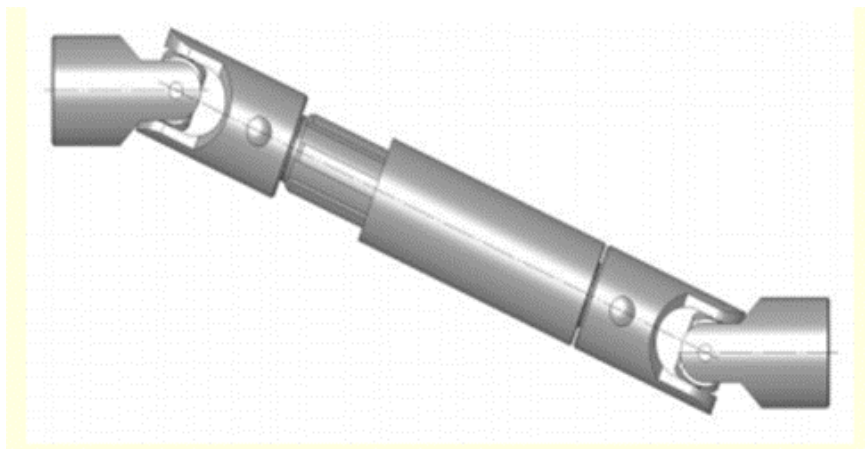
У зависности од врсте карданског преносника тј. механизма користе се различите врсте крстастих осовина (слика 1.15).



Слика 1.15 Крстаста осовина, [3].

1.3.3. Виљушке карданског преносника

Виљушке карданског преносника могу бити изведене тако да на крајевима могу имати чауру или прирубницу, приказано на сликама 1.16 и 1.17, све у зависности од начина спајања са вратилом. Виљушка са прирубницом везује се за спојницу вратила док се чаура везује помоћу жлеба, заваривања и слично.



Слика 1.16 Виљушка са чауром

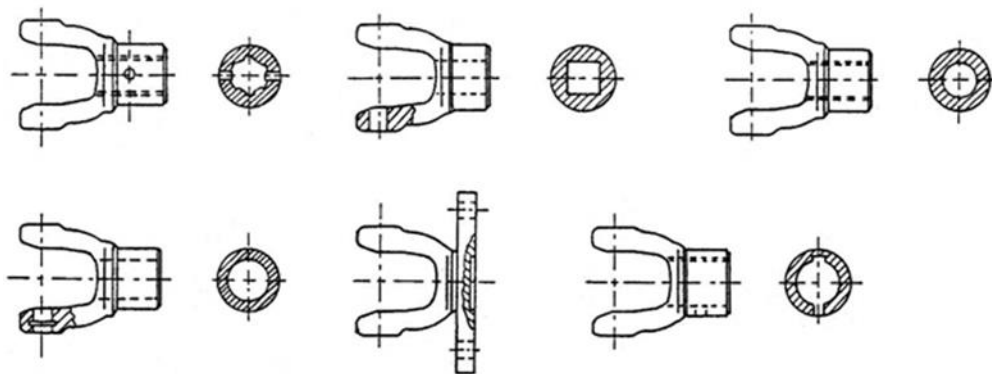


Слика 1.17 Виљушка са прирубницом

Краци виљушке кардана оптерећени су на савијање и увијање, затим у равни укљештења јављају се силе смицања. Такође јавља се и притисак услед пресованог склопа, који делује на цилиндричан део површи.

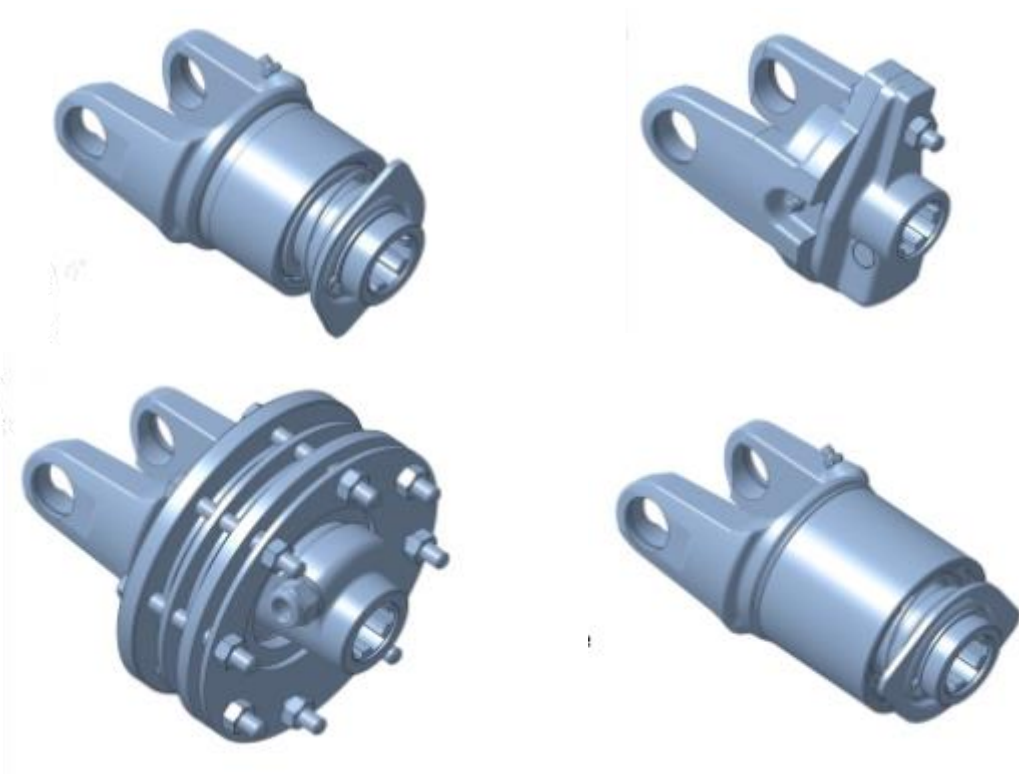
На основу максималног момента и максималних сила које се преносе путем вратила може се израчунати критичан напон у виљушкама.

На слици 1.16 приказано је неколико начина извођења везивања кардана и виљушки са вратилима.



Слика 1.18 Различите конструкције виљушки кардана, [2].

На слици 1.19 приказане су неке врсте „С Line“ виљушки карданског преносника. У пракси су се показале као најквалитетнији избор за кардански склоп, због свог карактеристичног облика и у зависности од облика могу бити оптерећене и до 3000N.



Слика 1.19. Карданске виљушке „C Line“, [3].

„C Line“ карданске виљушке су препознатљиве по свом карактеристичном облику, патентираном прикључном механизму као и флексибилној заштитној капи односно цео механизам је обложен пластиком ради боље заштите од корозије.

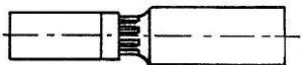
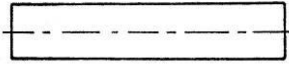
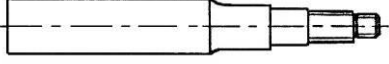
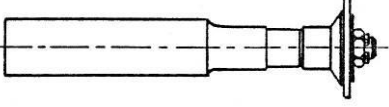
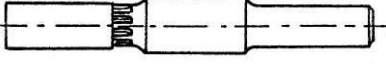
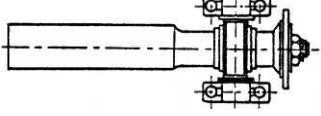
1.3.4 Централни део (цев)

Централни део карданског вратила односно цев може бити пун или шупаљ. Шупље цеви имају већу примену у пракси због мање тежине и једноставније израде, а преносе исти обртни момент. Од великог броја врста централног дела односно вратила, највећу примену код аутомобила, транспортних и пољопривредних машина има телескопско карданско вратило, приказано у табели 1.

Телескопски део вратила се састоји од два међусобно жлебно спојена дела који омогућују издужење или скраћење вратила у раду, у одређеним границама. Оно се примењује за пренос великих обртних момената. Жљебови код телескопског дела могу бити са квадратним, правоугаоним или троугластим профилем зубаца. Велике силе трења које делују на жљебове и утичу на њихово хабање доводе до повећања неуравнотежености карданског вратила и пораста оптерећења на осталим деловима карданског преносника, [2].

Карданов крст је преко игличастих лежајева спојен са прирубницом вратила и међувратила. Прирубнице карданског вратила се завртњима спајају са прирубницама погонског и гоњеног вратила, уз редовно подмазивање продужава се радни век целог склопа.

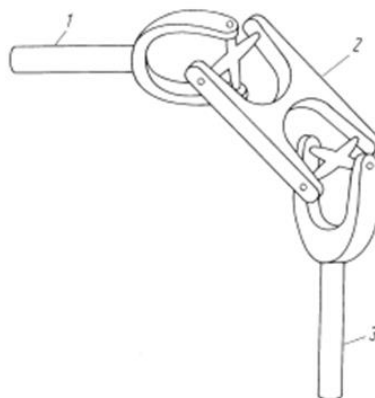
Табела 1. Конструкције цевног дела вратила, [2].

<u>Скица извођења</u>	<u>Цевно вратило</u>
	Са телескопом
	Без телескопа
	Са ступенастим завршетком
	Са прирубницом
	Са глатким завршетком
	Са лежајем

1.4 Удвојени кардански преносник

На слици 1.20 је приказан удвојени кардански преносник, који се састоји од погонског вратила (1), међувратила (2), гоњеног вратила (3) и два карданска зглоба.

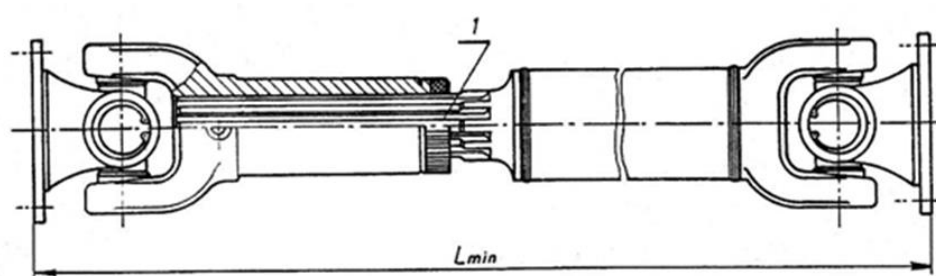
Удвојени кардански преносници се најчешће користе из разлога да би се избегла неравномерност обртног момента, такође и да би се добио константни преносни однос.



Слика 1.20 Удвојени кардански преносник, [1].

Као што је претходно указано, постоје два основна извођења удвојеног карданског преносника, „W“ извођење и „Z“ извођење. Основна разлика између ова два извођења је у дужини вратила и нагибу угла. Код „Z“ извођења због велике дужине међувратила може доћи до знатних оптерећења на савијање такође та дужина доводи до великог угла између вратила и великог броја обртаја што доприноси стварању динамичких оптерећења.

Ако су углови између вратила 1 и 3 једнаки, вратила ће се окретати константном угаоном брзином док ће се међувратило обртати неравномерно. То доводи до појаве инерцијалних момената међувратила, али они су малог интензитета и не утичу на стабилност карданског механизма. Удвојени кардански механизам се такође назива и карданским вратилом које може бити класично или са телескопом (слика 1.18).



Слика 1.18. Карданско вратило са телескопом, [2].

1.5 Критичан број обртаја карданског преносника

Уравнотеженост карданског вратила је неопходна за дужи радни век целокупног механизма. На карданско вратило, које представља најслабију карику у склопу, делују центрифугална и еластична сила. Центрифугална сила се јавља услед неуравнотежености обртних маса и ексцентричности положаја оса вратила. Ове силе изазивају попречне осцилације које у крајњем случају доводе до лома вратила. Еластичне силе теже ка томе да средиште вратила врате у осу лежаја вратила, [2].

Под критичним бројем обртаја сматрају се бројеви обртаја који доводе до губитка стабилности праволинијске форме осе вратила. Они зависе од величине вратила, његове конструкције и начина учвршћења.

1.6 Степен искоришћења карданског преносника

Степен искоришћења је показатељ тачности карданског механизма и променљива је величина која зависи од бројних фактора, нпр. услова рада, конструкционог решења итд., [2].

Услед дејства трења јављају се губици и то у ослонцима вратила, игличастим лежајевима, елементима за заптивање. У прорачуну се за степен искоришћења узима приближна вредност 0,98. Приближна вредност се може израчунати помоћу израза:

$$\eta = 1 - 4 \cdot \mu \cdot \frac{d}{2 \cdot R} \cdot \frac{\alpha}{\pi}$$

где су:

μ - коефицијент трења,

d - пречник рукавца крстасте осовине,

$2 \cdot R$ - растојање између центра ослонца крстасте осовине и

α - угао преламања.

Степен искоришћења зависи од величине угла преламања, са повећањем угла долази до смањења степена искоришћења.

1.7 Материјал за карданске преноснике

Материјал за израду елемената карданског преносника је обично конструкциони или легирани челик. За израду виљушки се користи челик за побољшање (С35, С45), након обраде се врши каљење са отпуштањем. Материјал за израду крстасте осовине је најчешће нискоугљенични легирани челик (16MnCr5, 20MnCr5 итд.) док се рукавци цементирају, кале и отпуштају. Карданска вратила се израђују углавном од нискоугљеничног челика због своје способности за добро заваривање (С10, С15).

Ради повећања отпорности на хабање, смањења коефицијента трења данас се ожљебљени део вратила пластифицира. Кардански преносници чији рад захтева мању масу, израђују се од алуминијумских легура, [2].

2.Оптерећења код карданских преносника

За прорачун оптерећења узимамо кардански преносник за спајање возила са прикључним машинама:

Снага: $P=5 \text{ kW}$

Број обртаја: $n=1000 \text{ min}^{-1}$

Угао нагиба: $\alpha = 20^\circ$

Обртни момент погонског и гоњеног вратила се израчунава помоћу образаца:

$$T_1 = \frac{9550 \cdot P}{n} = \frac{9590 \cdot 5}{1000} = 47,75 \text{ Nm}$$

$$T_2 = \frac{T_1}{\cos \alpha} = \frac{47,75}{\cos 20^\circ} = 50,81 \text{ Nm}$$

Где су:

T_1 -обртни момент погонског вратила

T_2 -обртни момент гоњеног вратила

Усваја се карданско вратило без телескопа: ST-02.100x238

$R=64 \text{ mm}$ $\alpha=20^\circ$ $d=18,064 \text{ mm}$

Осим момента увијања, на крстасту осовину делује и момент савијања преко виљушки вратила M_1 и M_2 који се могу израчунати помоћу израза:

$$M_1 = T_1 \cdot \sin \varphi_1 \cdot \operatorname{tg} \alpha, \text{ Nm}$$

$$M_2 = T_1 \cdot \cos \varphi_1 \cdot \sin \alpha \cdot \sqrt{1 + \sin^2 \varphi_1 \cdot \operatorname{tg}^2 2\alpha}, \text{ Nm}$$

Где је: φ_1 -угао обртања вратила

Вредности момената савијања у зависности од промене угла окретања је приказано у табели 2.

Табела 2. Вредности момената савијања

φ_1	M_1	M_2
$0 (2\pi)$	0	16,33
$\frac{\pi}{2}$	17,37	0
π	0	16,33
$\frac{3\pi}{2}$	17,37	0

За углове $\varphi = 0(2\pi)$, $\varphi = \pi/2$, $\varphi = \pi$, $\varphi = 3\pi/2$

$$M_1(2\pi) = 0$$

$$M_2(2\pi) = 47,75 \cdot \sin 20^\circ = 16,33 \text{ Nm}$$

$$M_1\left(\frac{\pi}{2}\right) = 47,75 \cdot \text{tg } 20^\circ = 17,37 \text{ Nm}$$

$$M_2\left(\frac{\pi}{2}\right) = 0$$

$$M_1(\pi) = 0$$

$$M_2(\pi) = M_2(2\pi) = 16,33 \text{ Nm}$$

$$M_1\left(\frac{3\pi}{2}\right) = M_1\left(\frac{\pi}{2}\right) = 17,37 \text{ Nm}$$

$$M_2\left(\frac{3\pi}{2}\right) = 0$$

Поред момента савијања и момента увијања на елементе карданског преносника делују и обимне силе.

Обимна сила на виљушци погонског вратила:

$$F_{t_1} = \frac{T_1}{2 \cdot R}, N$$

Обимна сила на виљушци гоњеног вратила:

$$F_{t_2} = \frac{T_1}{2 \cdot R} \cdot \frac{\sin^2 \varphi_1 + \cos^2 \varphi_1 \cdot \cos^2 \alpha}{\cos \alpha}, N$$

Где је: $2R$ - растојање између оса лежишта виљушке

У равни крстасте осовине делује сила F_Q :

$$F_Q = \frac{T_1}{2 \cdot R} \cdot \sqrt{1 + \sin^2 \varphi_1 \cdot \text{tg}^2 \alpha}, N$$

На елементе делују и силе F_{T_1} и F_{T_2} :

$$F_{T_1} = \frac{T_1}{2 \cdot R} \cdot \sin \varphi_1 \cdot \text{tg} \alpha, N$$

$$F_{T_2} = \frac{T_1}{2 \cdot R} \cdot \cos \varphi_1 \cdot \sin \alpha \cdot \sqrt{1 + \sin^2 \varphi_1 \cdot \text{tg}^2 \alpha}, N$$

У табели 3 дате су вредности сила F_{t1} , F_{t2} , F_Q , F_{T1} и F_{T2} у зависности од положаја виљушки погонског вратила φ_1 :

Табела 3. Силе на елементима карданског преносника

φ_1	F_{t1}	F_{t2}	F_Q	F_{T1}	F_{T2}
$0 (2\pi)$	373,046	350,55	373,046	0	127,59
$\frac{\pi}{2}$	373,046	396,98	396,98	135,77	0
π	373,046	350,68	49,49	7,44	127,42
$\frac{3\pi}{2}$	373,046	350,86	373,21	11,15	127,21

За углове $\varphi = 0(2\pi)$, $\varphi = \pi/2$, $\varphi = \pi$, $\varphi = 3\pi/2$

$$F_{t1}(0) = F_{t1}\left(\frac{\pi}{2}\right) = F_{t1}(\pi) = F_{t1}\left(\frac{3\pi}{2}\right) = \frac{T_1}{2R} = 373,046\text{N}$$

$$F_{t2}(0) = \frac{T_1}{2R} \cdot \cos \alpha = 350,55\text{N}$$

$$F_Q(0) = F_{t1}(0) = 373,046\text{N}$$

$$F_{T1}(0) = 0\text{ N}$$

$$F_{T2}(0) = \frac{T_1}{2R} \cdot \sin \alpha = 127,59\text{N}$$

$$F_{t2}\left(\frac{\pi}{2}\right) = F_Q\left(\frac{\pi}{2}\right) = 396,98\text{N}$$

$$F_{T1}\left(\frac{\pi}{2}\right) = 135,77\text{N}$$

$$F_{T2}\left(\frac{\pi}{2}\right) = 0\text{ N}$$

$$F_{t2}(\pi) = 350,68\text{N}$$

$$F_{t2}\left(\frac{3\pi}{2}\right) = 350,86\text{N}$$

$$F_Q(\pi) = 49,49\text{N}$$

$$F_Q\left(\frac{3\pi}{2}\right) = 373,21\text{N}$$

$$F_{T1}(\pi) = 7,44\text{N}$$

$$F_{T1}\left(\frac{3\pi}{2}\right) = 11,15\text{N}$$

$$F_{T2}(\pi) = 127,42\text{N}$$

$$F_{T2}\left(\frac{3\pi}{2}\right) = 127,21\text{ N}$$

3. Моделирање карданског преносника

3.1 CAD/CAM/CAE технологије

CAD/CAM/CAE технологије спадају у PLM („Product Lifecycle Management“-управљање животним циклусом производа) системе и представљају скуп савремених техничких, научних и информационих дисциплина које изучавају и примењују методе брзог развоја производа и процеса, [6].

Остваривање развоја производа подразумева примену разних софтверских алата и технологија међу којима су алати и технологије за аутоматизацију, анализе, пројектовање и тестирање. PLM системи означавају свеукупност технологија и алата за аутоматизацију пројектовања машинских конструкција и њихову израду.

PLM системе чине софтверски алати који се везују за поједине фазе развојног циклуса:

- CAD- пројектовање помоћу рачунара (енгл. „*Computer Aided Design*“)
- CAM- рачунаром подржану производњу (енгл. „*Computer Aided Manufacturing*“)
- CAE- рачунаром подржан инжењеринг (енгл. „*Computer Aided Engineerin*“)

CAD системи представљају скуп софтверских алата и технологија које омогућавају инжењерима велики број погодности током рада. Ове погодности се односе на аутоматско извођење конструкционих операција, као што су: исцртавање линија, формирање тела, рад са базама стандардних елемената, израде цртежа и просторних модела.

CAM системи односно системи за рачунаром подржану производњу односе се на пројектовање и симулацију обрадног поступка и генерисање програма за нумеричко управљање машина алатки.

CAE системи се користе за неопходне анализе и симулације понашања производа у експлоатационим условима. Они се састоје од низа алата за анализу и симулацију физичких карактеристика производа (напонске, термичке и кинематске), [6].

Рад PLM система заснива се на:

- креирању модела,
- примени моделских форми,
- параметарском дефинисању моделских форми и модела,
- примени релација,
- асоцијативности модела и
- визуелној комуникацији.

3.2. Моделирање делова

Процес моделирања заснива се на моделским формама, започиње креирањем базне моделске форме која је неопходна за даљи ток моделирања. У зависности од модела разликују се следеће врсте моделских форми:

- геометријске,
- инжењерске,
- технолошке,
- производне,
- моделске форме знања.

Свака наредна моделска форма у вези је са неком претходном, не мора увек бити запреминска већ и нека друга из категорије базних моделских форми. Моделске форме обезбеђују креирање веома сложених модела на лак начин, без обзира на сложеност геометрије машинског елемента и категорију конструкције којој припада поступак моделирања, има више или мање универзални ток. Ток моделирања се састоји од следећих корака:

- формирања скице,
- креирања моделских форми и
- компоновање моделских форми у део.

Формирање скице започиње избором равни скицирања, затим оријентисање равни скицирања за које постоје две могућности: изабрати подразумевану оријентацију равни скицирања или експлицитно оријентисати раван сходно потребама процеса моделирања. Скица моделске форме састоји се од параметара, ограничења и скупа геометријских ентитета као што су дужи, кружнице, правоугаоници, елипсе, кружни лукови, заобљења, тачке, координатни систем и осе, [6].

Креирање моделских форми настаје применом одговарајуће моделске операције над скицом. Основне моделске операције су:

- извлачење,
- ротација,
- израда отвора,
- обарање ивица,
- креирање ребара,
- креирање нагиба,
- извлачење по путањи,
- умножавање и др.

Компоновање геометријских моделских форми се изводи додавањем допунских (конструкционих, корисничких) моделских форми базној, тако настају појединачни машински елементи. Када се део креира у целости наставља се са моделирањем што се односи на генерисање техничке документације, инжењерску анализу, технолошки процес и др.

3.3 Моделирање склопова

У већем броју машинских конструкција постоји више од једне компоненте тј. више од једног машинског елемента, такве конструкције се називају склопом. Склопови се могу састојати од појединачних елемената или пак и подсклопова, подсклопови су такође склопови компонената али на nižем хијерархијском нивоу. Поједине компоненте могу бити креиране као стандардни елементи у оквиру специфичних графичких база података. Ти елементи су завртњи, навртке, прирубнице, лежајеви, спојнице и др.

Моделирање склопова садржи две важне карактеристике:

- склопови поседују хијерархијску структуру,
- компоненте склопа су просторно и међусобно позиционо ограничене.

Прва карактеристика истиче значај редоследа убацивања компоненти које чине склоп. Индивидуални делови као и подсклопови морају се склопу додати у исправном редоследу да би монтажа била изводљива.

Друга карактеристика односи се на одређивање просторног и међусобног положаја у простору сваке компоненте склопа што се изводи увођењем ограничења односно везама и релацијама које се успостављају између компоненти склопа.

Хијерархијска структура склопа се може представити и као стабло модела склопа:

- корен (који представља склоп у целини),
- грана (као веза међу компонентама),
- чворови (облик индивидуалних целина склопа),
- лишће (компоненте тј поједини делови или подсклопови).

Планирање креирања модела склопа обухвата:

- идентификацију међузависности компонената склопова,
- идентификацију међузависности моделских форми компонентних делова,
- анализу редоследа креирања модела склопа.

3.4 Моделирање карданског преносника применом софтвера SolidWorks

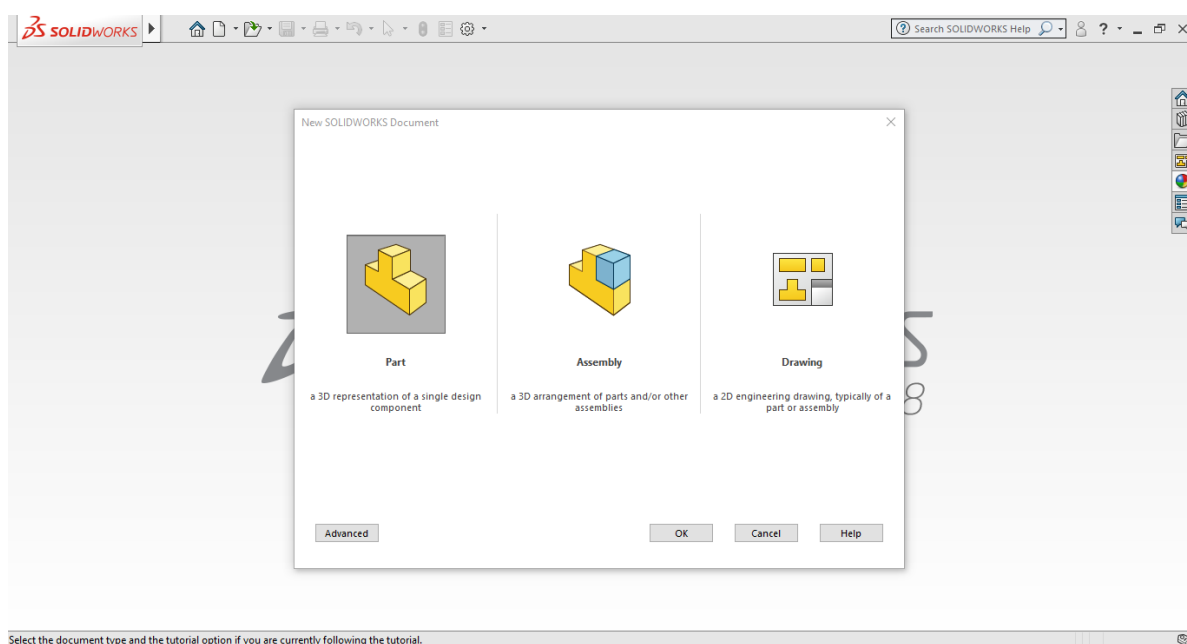
3.4.1 Покретање програма и приступ модулу за моделирање делова (Part)

SolidWorks је софтвер за машинско пројектовање и аутоматизацију процеса помоћу параметарског моделовања пуних тела. Омогућава да основну 2D скицу претворите у пуно тело, [7].

Покретање програма се врши кликом на иконицу програма, затим се отвара поздравни прозор (слика 3.1) након које се отвара радно окружење (слика 3.2) са понуђеним модулима *Part*, *Assembly* и *Drawing*.

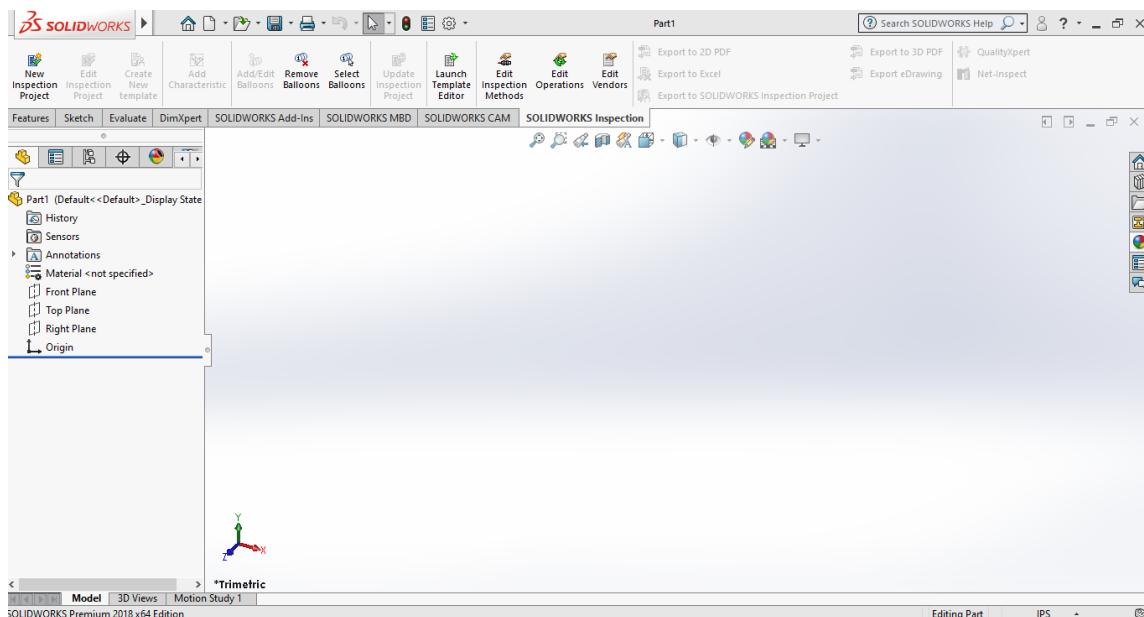


Слика 3.1 Почетни прозор



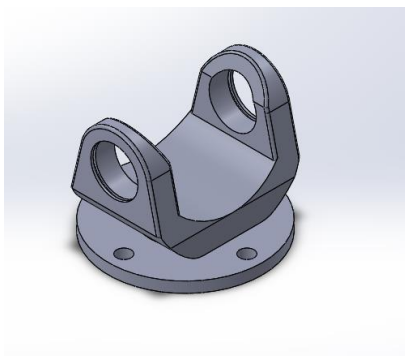
Слика 3.2 Радно окружење

Режим *Part* је параметарско окружење засновано на типским облицима у коме се могу радити модели пуних тела (слика 3.3). На располагању су нам подразумеване равни означене са *Front Plane* (предња раван), *Top Plane* (горња раван) и *Right Plane* (десна раван). Након изабране равни прелази се у окружење за скицирање у којем се уз помоћ алатки црта скица, [7].

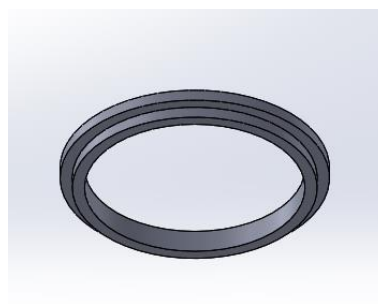


Слика 3.4 Радно окружење режима Part

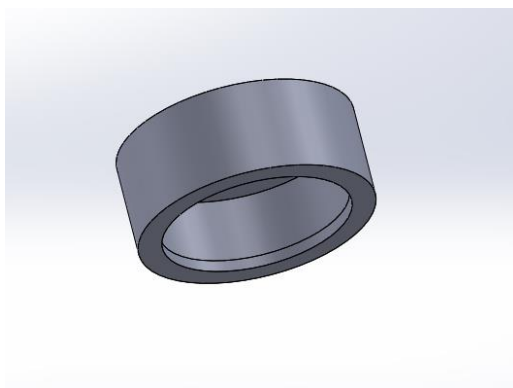
На сликама од 3.5 до 3.12 приказани су коначни модели елемента карданског преносника урађени у софтверу SolidWorks.



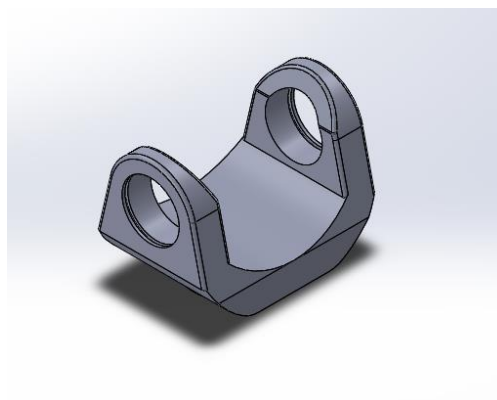
Слика 3.5 Виљушка 1



Слика 3.6 Подлошка



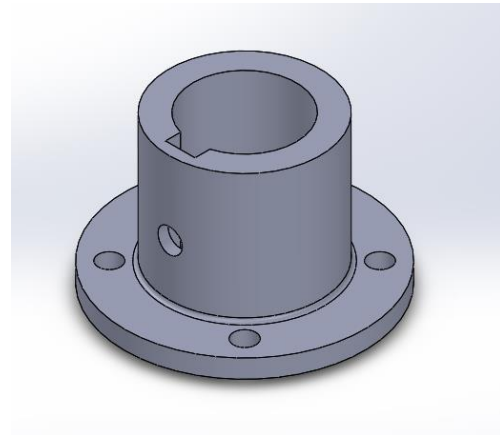
Слика 3.9 Шољица са лежајем



Слика 3.10 Виљушка 2



Слика 3.11 Крстаста осовина

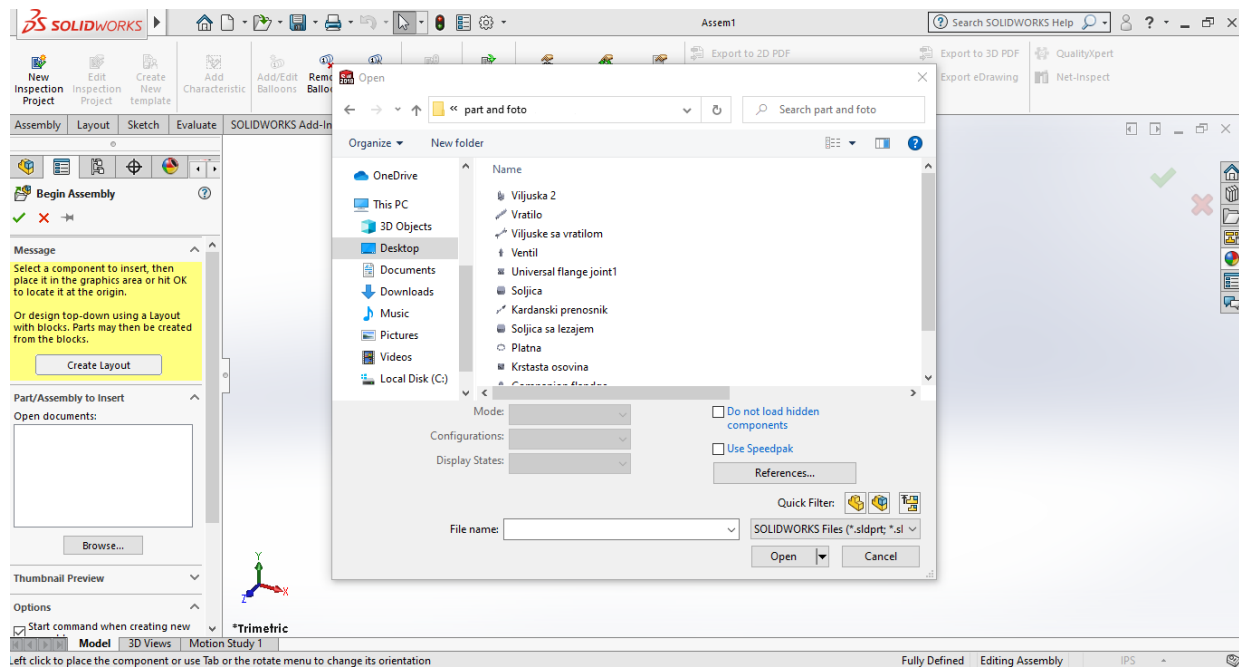


Слика 3.12 Прирубница

3.4.2 Приступ модулу за моделирање склопова (Assembly)

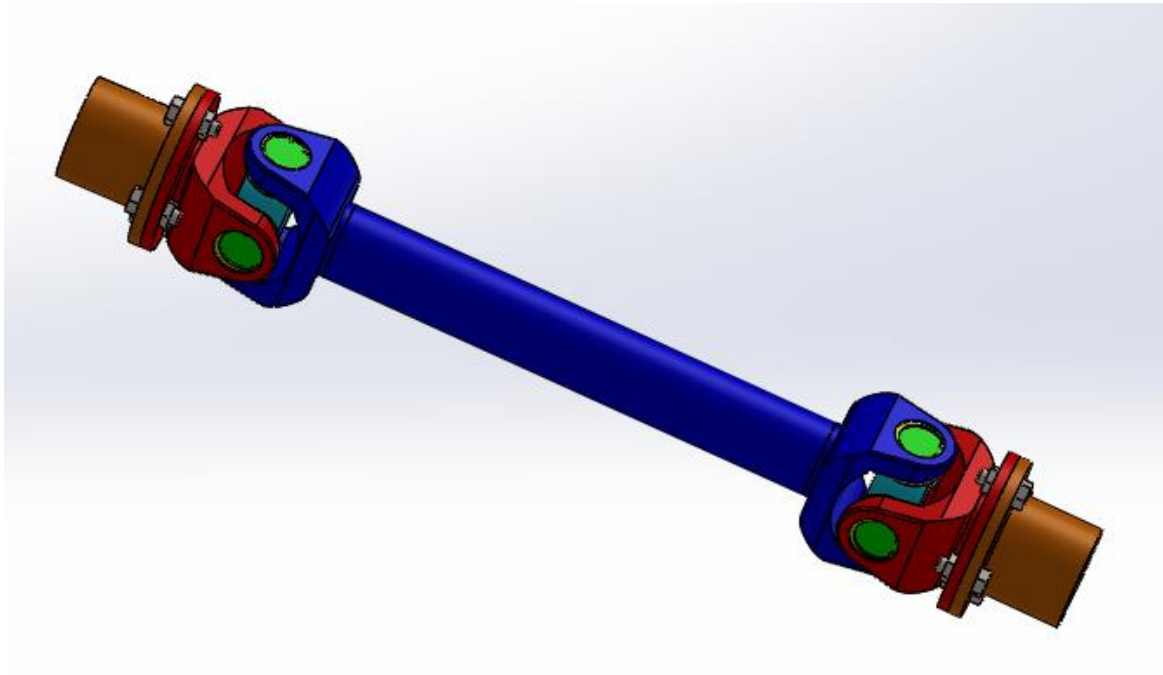
У режиму *Assembly* састављају се компоненте склопа помоћу одговарајућих алатки. Постоје два начина склапања елемената у овом режиму, први начин је да већ направљене делове склапамо, а други начин је да се компоненте потребне за склоп моделирају у овом режиму. Може се почети од готових елемената а затим направити остале компоненте потребне за склоп. Док се склапају компоненте може се и анимирати склоп, може се проверити и функционалност склопа. Главна алатка за склапање склопа је „*Mate*“.

Након уласка у режим *Assembly* отвара се прозор за избор машинских елемената од којих ће се састојати склоп (слика 3.13).



Слика 3.13 Радно окружење режима *Assembly*

На слици 3.14 приказан је склоп карданског преносника:



Слика 3.14 Склоп карданског преносника

3.5 Израда техничке документације

Основни задатак машинских инжењера је израда документације, при чему се разликују две врсте документације, прва која је везана за изградњу објекта у грађевинарству и друга која је везана за израду производа у машинској индустрији, [8].

У оквиру техничке документације израђује се пројектна, конструкциона и технолошка документација као и упутства и инструкције за испитивање, паковање, транспорт, складиштење, уградњу, употребу, пуштање у погон.

Технички цртеж је језик споразумевања између стручних лица. Под техничким цртежом се сматра прецизно израђен цртеж неког дела са свим његовим техничким карактеристикама, [9]. Технички цртежи се могу израдити слободном руком уз помоћ прибора за цртање и помоћу рачунара што је данас много примеренији начин израде.

Конструисање се врши при:

- састављању техничког предлога,
- израда идејног пројекта,
- израда техничког пројекта,
- израда радничке документације за прототип,
- израда радничке документације за „нулту“ серију,

- израда радничке документације за пробну серију и
- израда радничке документације за главну серију.

Конструкциона документација се састоји од:

- цртежа дела,
- цртежа склопа,
- саставнице,
- цртеж општег изгледа,
- теоретски цртеж,
- габаритни цртеж,
- електро-монтажни цртеж,
- цртеж уградње,
- експанзиони цртеж и др.

Цртеж дела је документ на коме је дат графички приказ дела, његов облик, карактеристичне димензије, толеранције, материјал и остале битне компоненте везане за део. На цртежу склопа је приказан изглед склопа и сви други подаци неопходни за његово склапање и контролу. Као главни део цртежа склопа убраја се саставница у којој је дат списак свих делова од кога је начињен склоп.

Формирање техничке документације је дефинисано стандардом ИСО 128 који садржи 12 делова. Овај стандард прописује опште принципе формирања техничког цртежа.

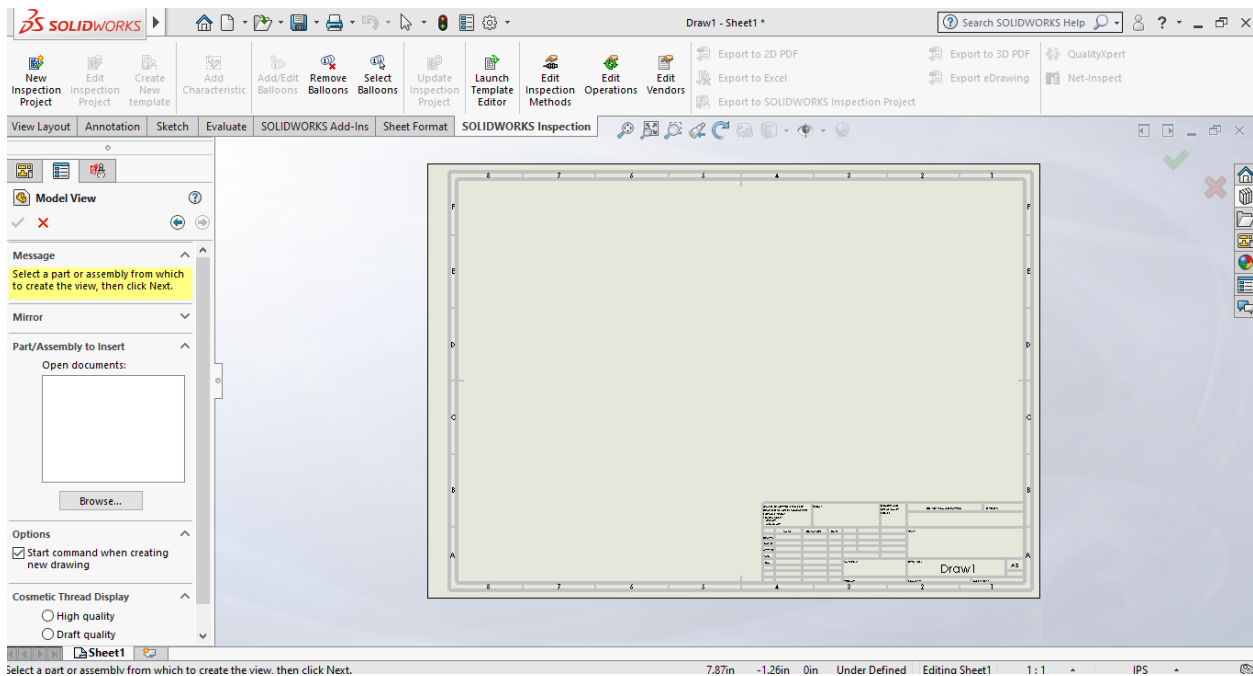
3.5.1 Приступ модулу за израду цртежа (Drawing)

Режим *Drawing* се користи за документовање раније направљених делова или склопова и то тако што се генеришу или праве технички цртежи. У *SolidWorksu* постоје два начина цртања:

- 1.генеративно цртање и
- 2.интерактивно цртање.

Генеративно цртање је процес генерисања техничке документације претходно направљеног дела или склопа. При интерактивном цртању технички цртеж се израђује помоћу алатки за скицирање па се затим додају мере.

На слици 3.15 је приказано радно окружење режима *Drawing* са усвојеним папиром по ИСО стандарду.



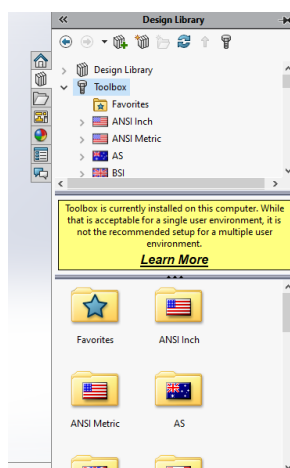
Слика 3.15 Радно окружење режима *Drawing*

3.5.2 Стандардни елементи

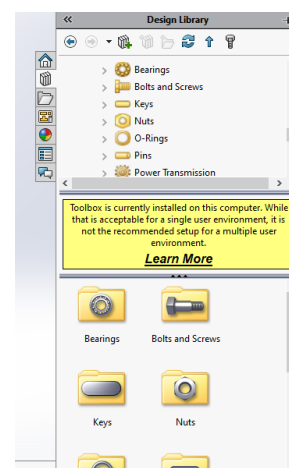
Сваки од програма за моделирање има велику базу стандардних делова која олакшава израду самог склопа. У моделирању карданског преносника као стандардни делови су узети: игличасти лежај, еластични прстен, завртњи и навртке.

За пример користиће се поступак добијања стандардног завртња, [8].

Уласком у режим *Part* са десне стране се налази икона за *Desing Librari* (библиотека), кликом на икону отвориће се прозор са понуђеним стандардима (слика 3.16) одабиром стандарда, што је у нашем случају ИСО, отвориће се прозор са понуђеним стандардним елементима (слика 3.17).

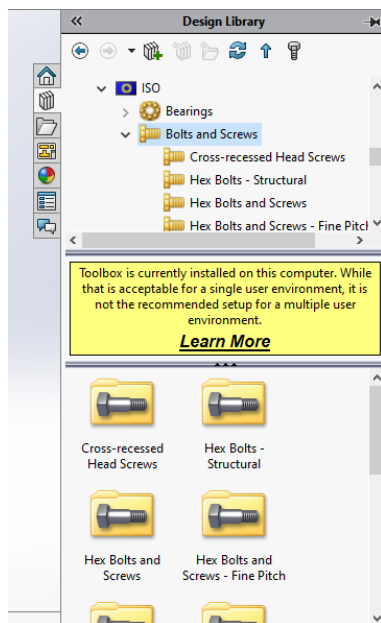


Слика 3.16 Приступ библиотеци



Слика 3.17 Стандардни елементи

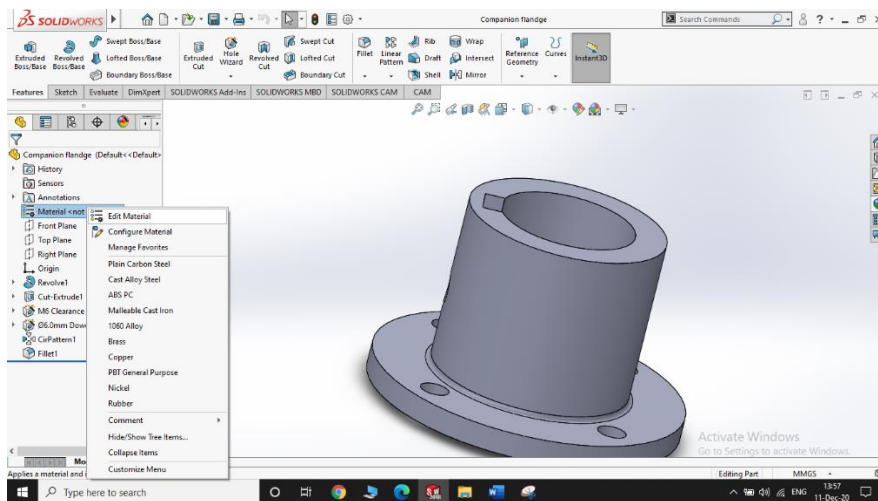
Активирањем једног од понуђених елемената отвориће се прозор са понуђеним елементима по изабраном стандарду (слика 3.18). Усвајањем елемента он ће се аутоматски из библиотеке пребацити на радно окружење режима *Part*.



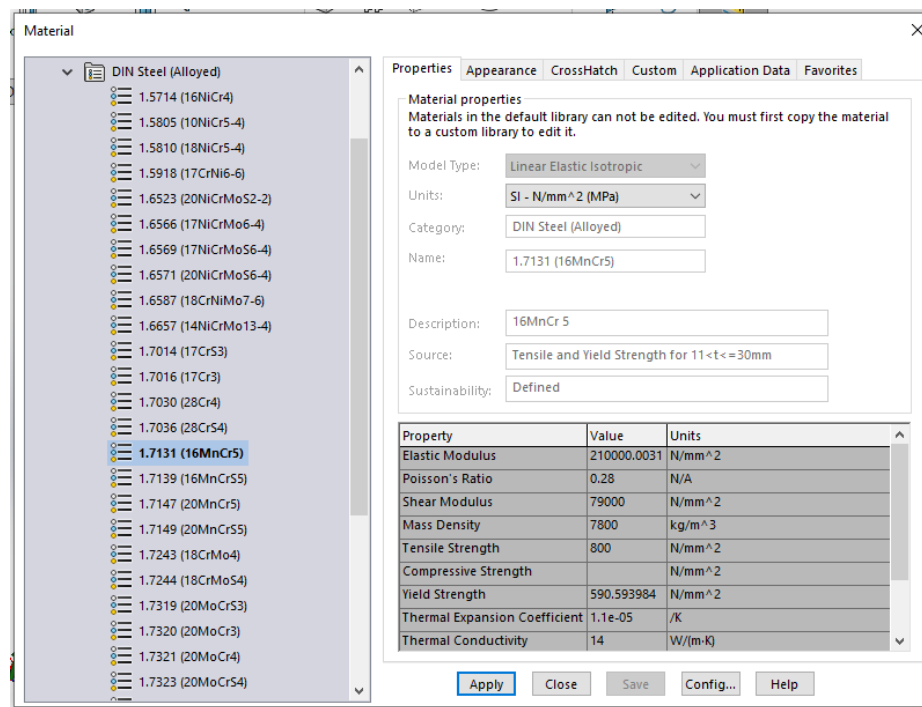
Слика 3.18 Листа понуђених стандардних елемената

3.6 Избор материјала

Значајна карактеристика при моделирању елемената је избор материјала, програм *SolidWorks* има своју базу стандардних материјала. У режиму *Assembly* бирамо алат *Bill of Materials*. Затим у стаблу тако што левим кликом клинемо на *Materials* (слика 3.19) добијамо падајући облак у коме клинемо на *Edit Materials* и бирамо стандардни материјал за елемент (слика 3.20).



Слика 3.19 Активирање опције за избор материјала



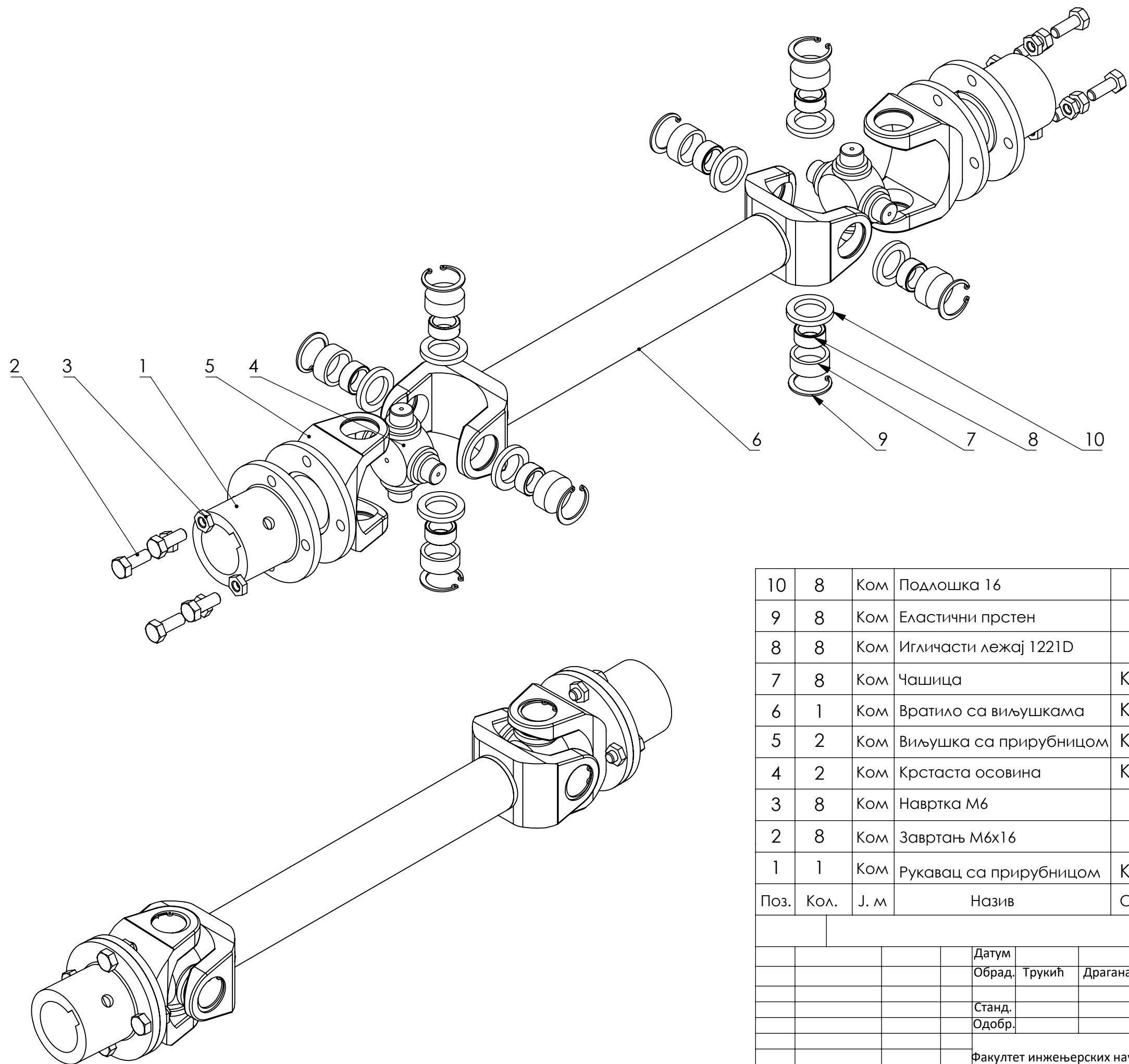
Слика 3.20 Избор материјала и њихове карактеристике

4. Закључак

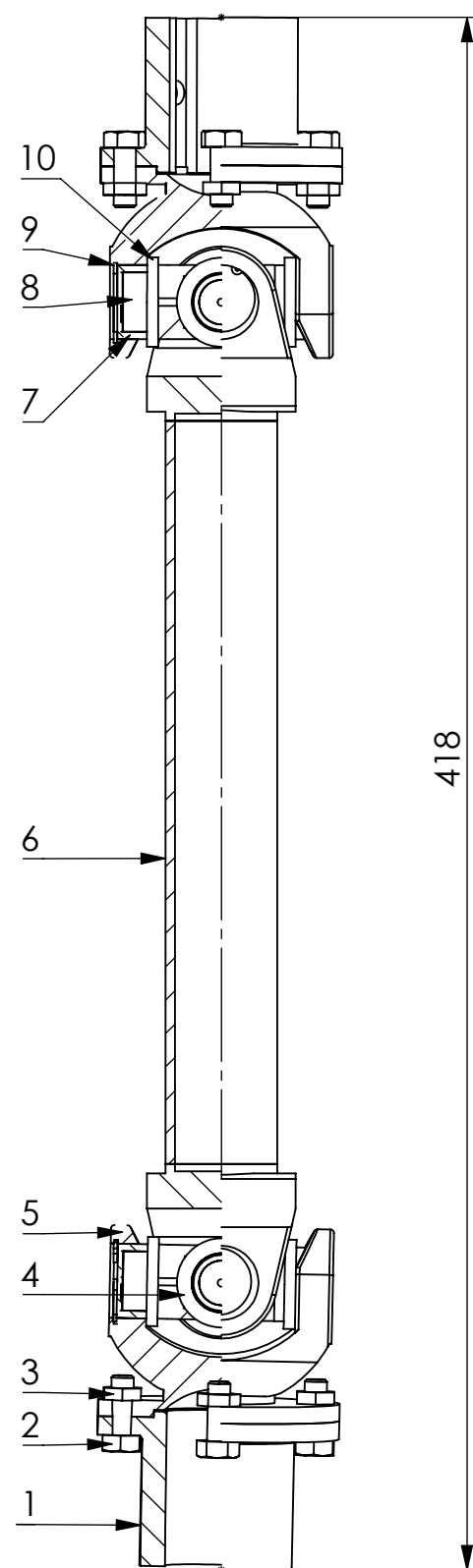
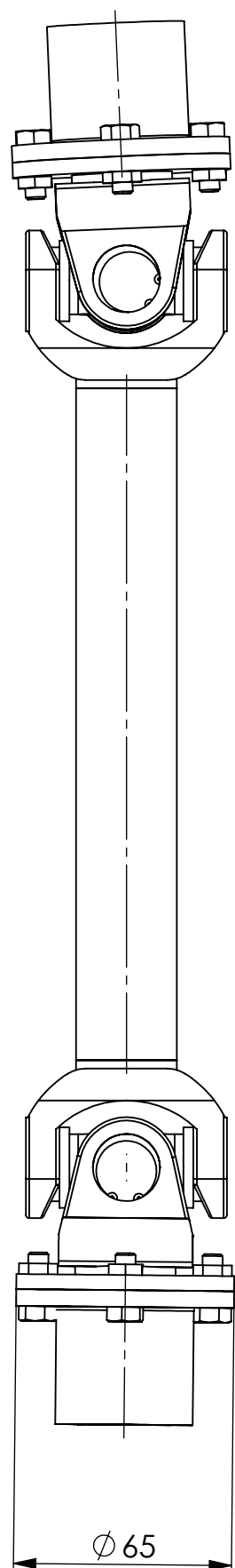
Развојем машинске индустрије и жеље човека да олакша рад долазимо до открића многих техничких достигнућа. Захваљујући знатним истраживањима светских научника данас имамо могућност великог избора механичких преносника, један од истакнутијих је кардански преносник. Прва употреба карданског преносника се налазила у компасу, даљим током кроз историју се развијао. Многи научници попут Џиролама Кардана и Роберта Хука су радили на побољшању идеје преноса снаге и обртног момента, због захтева прецизнијег преноса механичке енергије са погонских машина на радне. Кардански преносник је доста олакшао тај пренос, зато је нашао широку примену у свим областима индустрије због његове једноставне конструкције и врлоког избора самог конструктивног извођења. Прорачуном оптерећења карданског преносника долази се до максималне вредности напона коју преносник може да поднесе, од момента увијања, момента савијања, обимних сила на свим елементима склопа до сила трења на додирним површима елемената, самим тим се олакшава његова израда и избор материјала који је доста битан фактор за избегавање хабања и пуцања у току рада. Израда карданских преносника се врши помоћу CNC машина, елементи морају бити прецизно израђени због тачности која је у току рада од њега очекује. У зависности од примене бира се и материјал за израду најчешћи материјали су конструкциони челик, легирани челик и челик за побољшање. Са развојем индустрије захтевао се сложенији кардански преносник, а израду таквих преносника омогућила је примена CAD/ CAM/ CAE технологија, односно примена софтвера за моделирање, самим тим је омогућена и прецизнија израда. Софтвери омогућавају поред моделирања елемената, односно самог склопа и израду његове целокупне техничке документације. Теничка документација склопа састоји се од цртежа појединачних делова и цртежа целокупног склопа. У саставници цртежа дате су основне информације о машинском елементу материјал, начин обраде, маса и др. Савремени софтвери имају широк спектар избора материјала по различитим стандардима, као и стандардних елемената. Поред већ поменутих опција програм омогућава и избор начина обраде, симулацију напона на склопу као и опцију писања команди по којима се део израђује на CNC машинама.

Литература

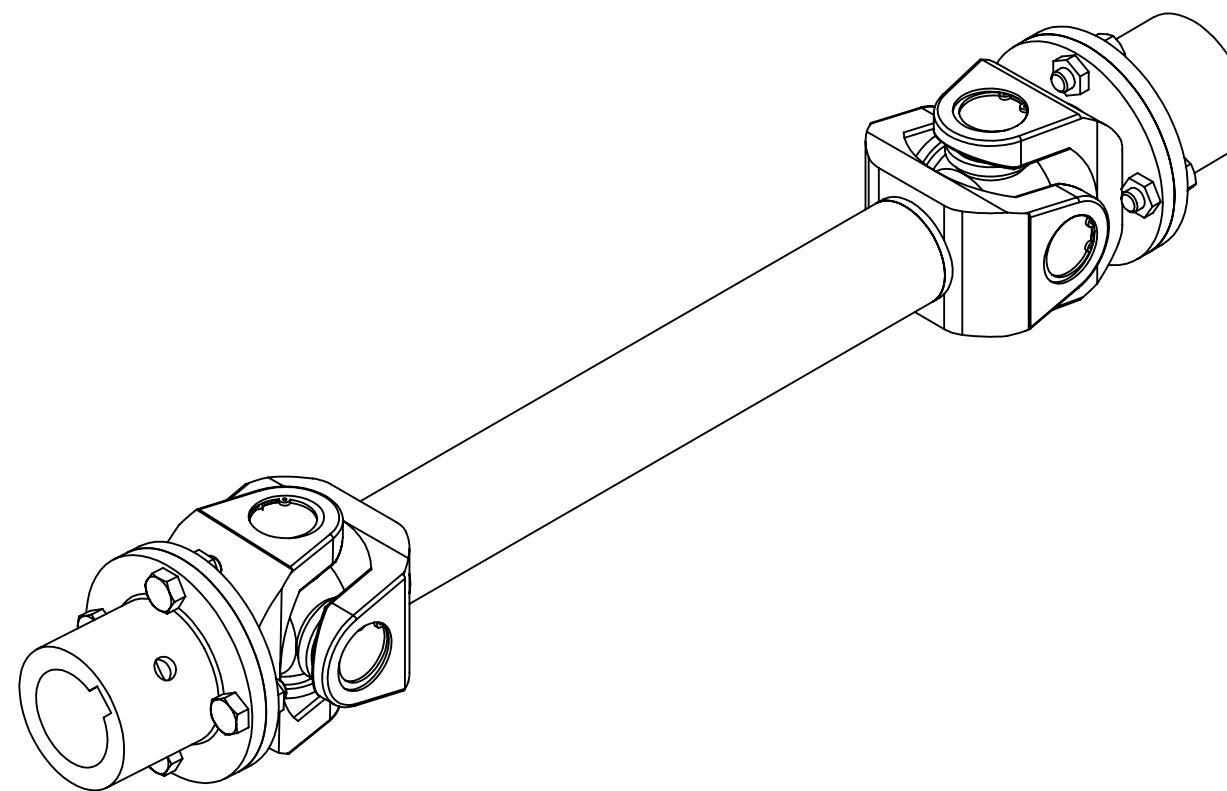
- [1] Hans Christoph Seherr-Thoss, Friedrich Schmelz, Erich Aucktor, Universal Joints and Driveshafts: Analysis, Design, Applications, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2006.
- [2] Блажа Стојановић, Мирко Благојевић „Механички преносници“, Крагујевац 2015.
- [3] „Serjak C line“ каталог карданских осовина, 2015.
- [4] http://is.fink.rs/podaci/Blaza_Stojanovic/59/15.pdf
- [5] Вера Николић, „Машински елементи“, Крагујевац 2004.
- [6] Горан Даведић „CAD/CAM технологије“, Крагујевац 2006.
- [7] http://www.mikroknjiga.rs/Knjige/SW15/01_SW15.pdf
- [8] Зоран Милојевић, Милан Рацков, Синиша Кузмановић, Иван Кнежевић, Слободан Навалушић, Лозица Ивановић, Мирослав Вереш, Биљана Марковић „Израда конструкционе документације“, Нови Сад 2015
- [9] Лозица Ивановић, Милан Ерић „Техничко цртање са компјутерком графиком“ (практикум), Факултет инжењерских наука, Крагујевац, 2015.
- [10]. <https://centrenergomash.com.ua/pdf/ml-tuning/PRODUCT%20CATALOG.pdf>



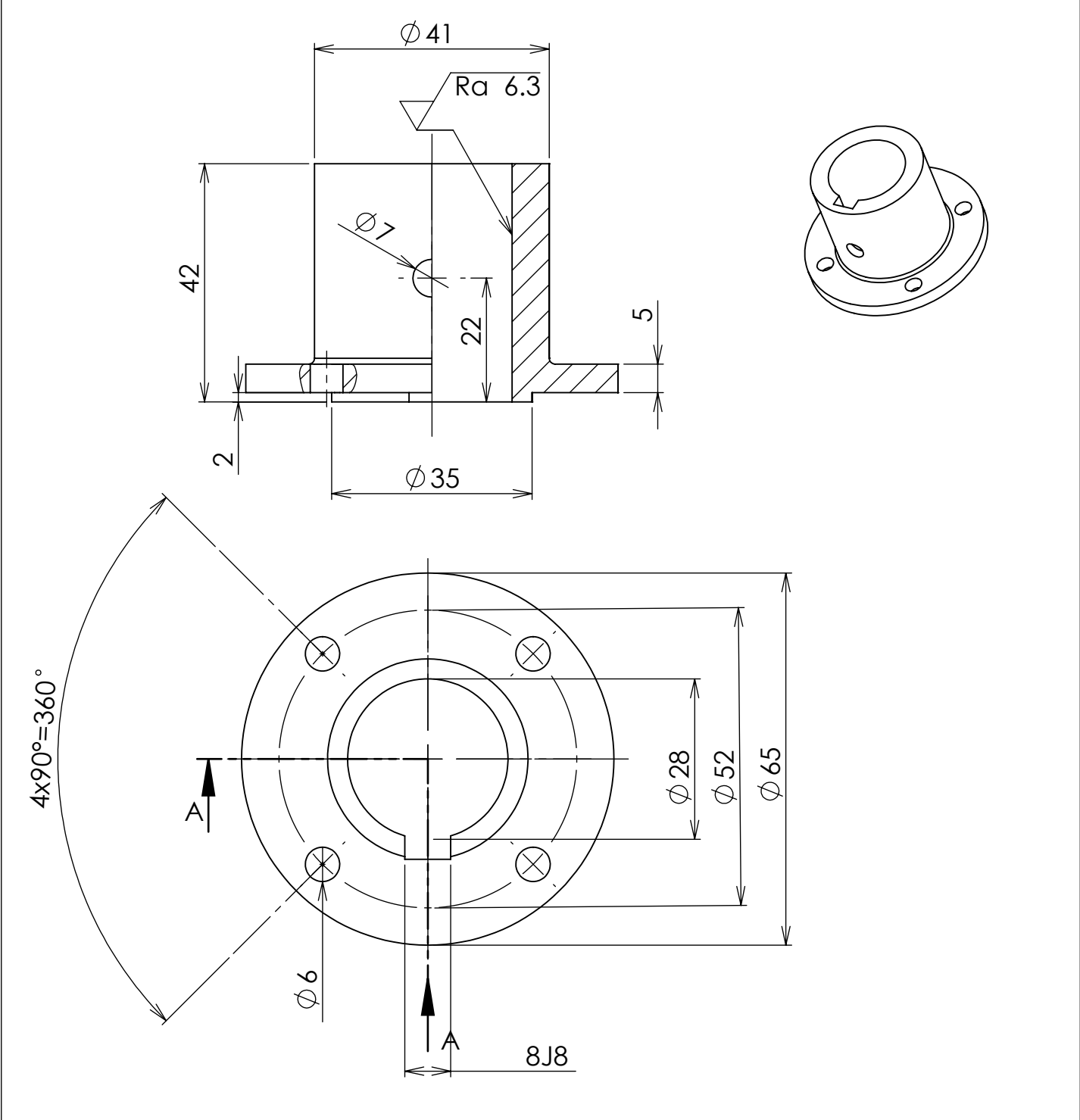
10	8	Ком	Подлошка 16		
9	8	Ком	Еластични прстен		
8	8	Ком	Игличасти лежај 1221D		
7	8	Ком	Чашица	КП.А4.05	
6	1	Ком	Вратило са виљушкама	КП.А3.04	
5	2	Ком	Виљушка са прирубницом	КП.А3.03	
4	2	Ком	Крстаста осовина	КП.А3.02	
3	8	Ком	Навртка М6		
2	8	Ком	Завртањ М6х16		
1	1	Ком	Рукавац са прирубницом	КП.А4.01	
Поз.	Кол.	Ј. м	Назив	Стандард-изабране каракт.	Примедба
				А3	Маса 3 кг
				Размера 1:2	
				Назив:	
				Кардански преносник	
				Ознака:	
				КП.А3.00	
				Лист: 1	
				Л 7	
Ст. и	Измене	Датум	Име	Изд. под.	
				Замена за:	



ПРЕСЕК А-А

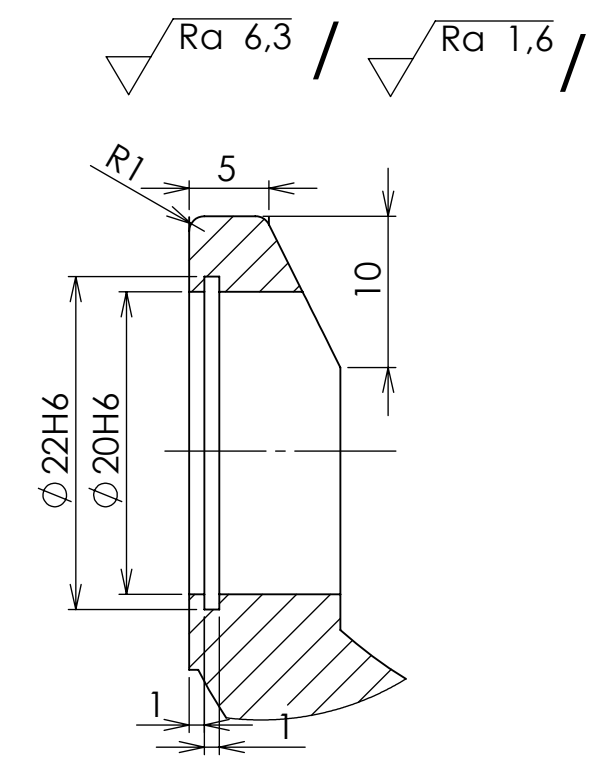
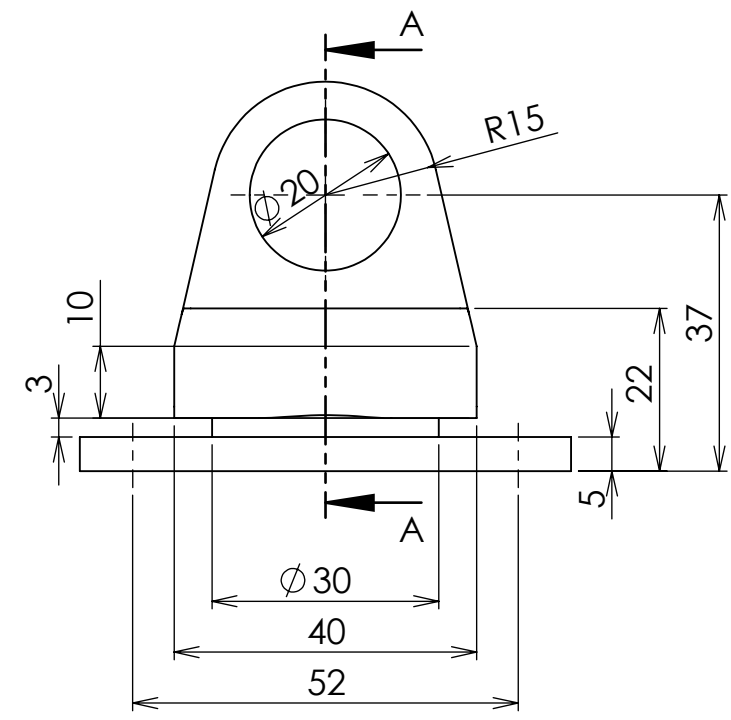
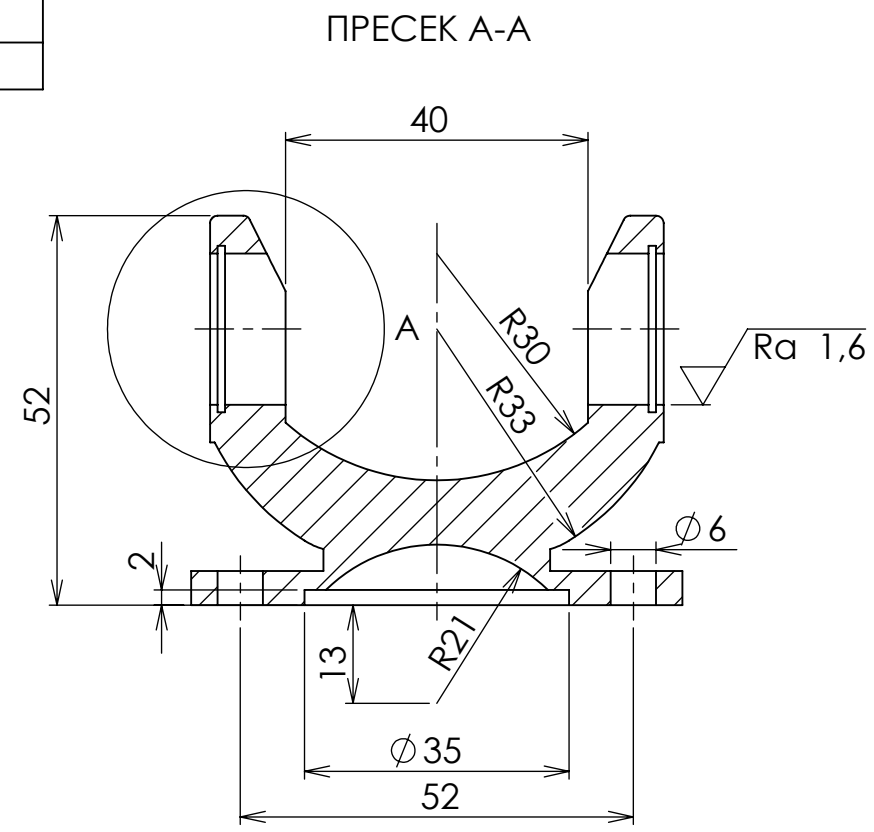


10	8	ком	Подлошка 16		
9	8	ком	Еластични прстен		
8	8	ком	Игличасти лежај 1221D		
7	8	ком	Чашица	КП.А4.05	
6	1	ком	Вратило са виљушкама	КП.А3.04	
5	2	ком	Виљушка са прирубн.	КП.А3.03	
4	2	ком	Крстаста осовина	КП.А3.02	
3	8	ком	Навртка М6		
2	8	ком	Завртањ М6х16		
1	2	ком	Рукавац са прирубниц.	КП.А4.01	
Поз.	Кол.	Ј. м.	Назив	Стандард-изабране карак.	Примедба
				А3	Маса 3 кг
				Назив:	Размера 1:2
				Кардански преносник	
				Ознака:	Лист: 2
				КП.А3.00	л 7
Ст. и	Измене	Датум	Име	Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу	Изм. под. Замена за:

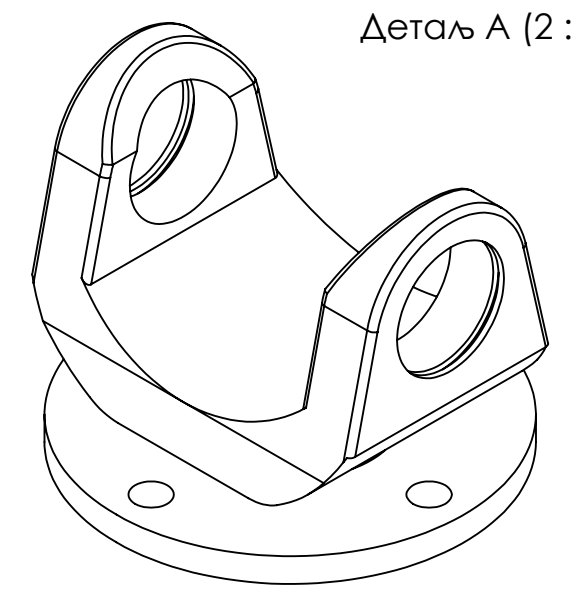
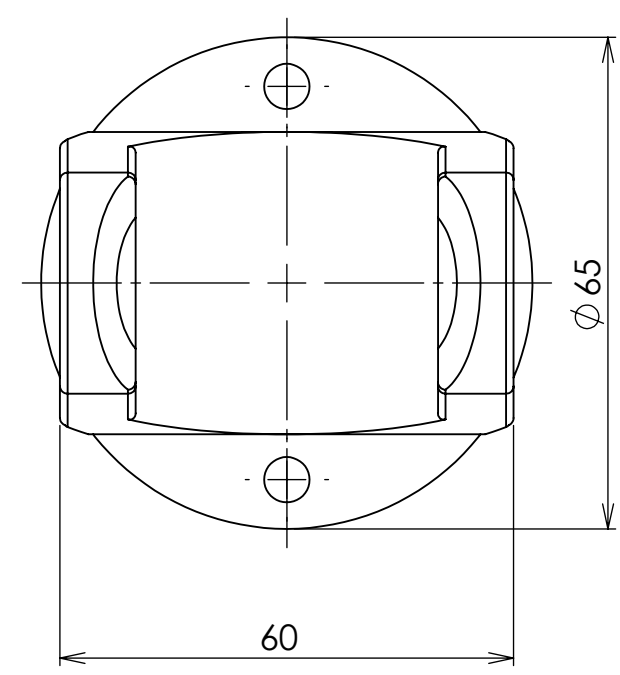


Толеранције слободних мера			Повешинска храпавост			Површинска заштита		
Материјал			C35			Термичка обрада		
			A4			Маса	0.3 кг	Размера 1:2
			Датум			Назив		
			Обрад.	Драгана	Трукић			
			Станд.					
			Одобр.					
			Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу			Ознака:		Лист 3
						КП.А4.01		Λ 7
Ст. и	Измене	Датум	Име	Изв. под: КП.А3.00			Замена за:	

22H6	0
	-0,013
20H6	0
	-0,013

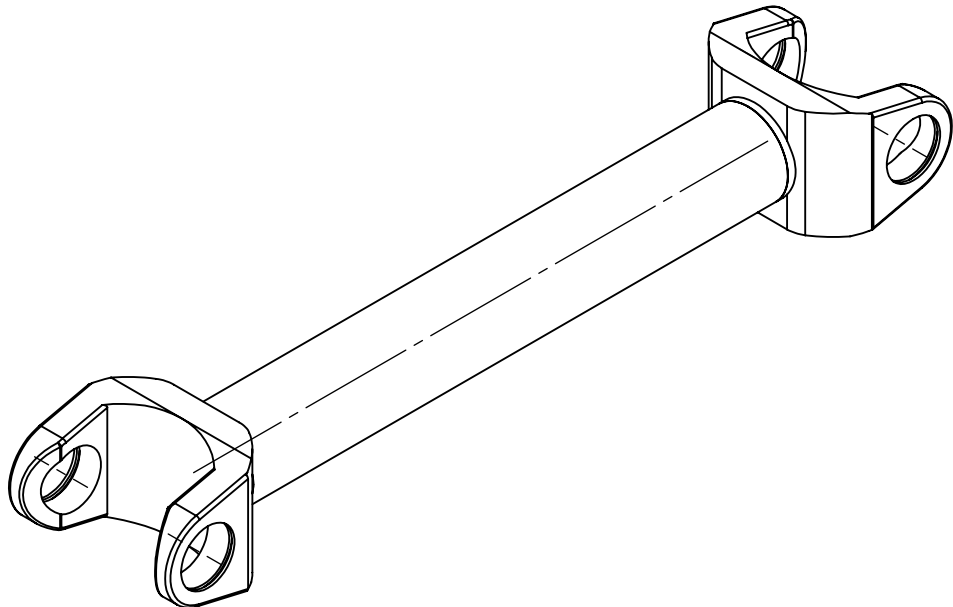
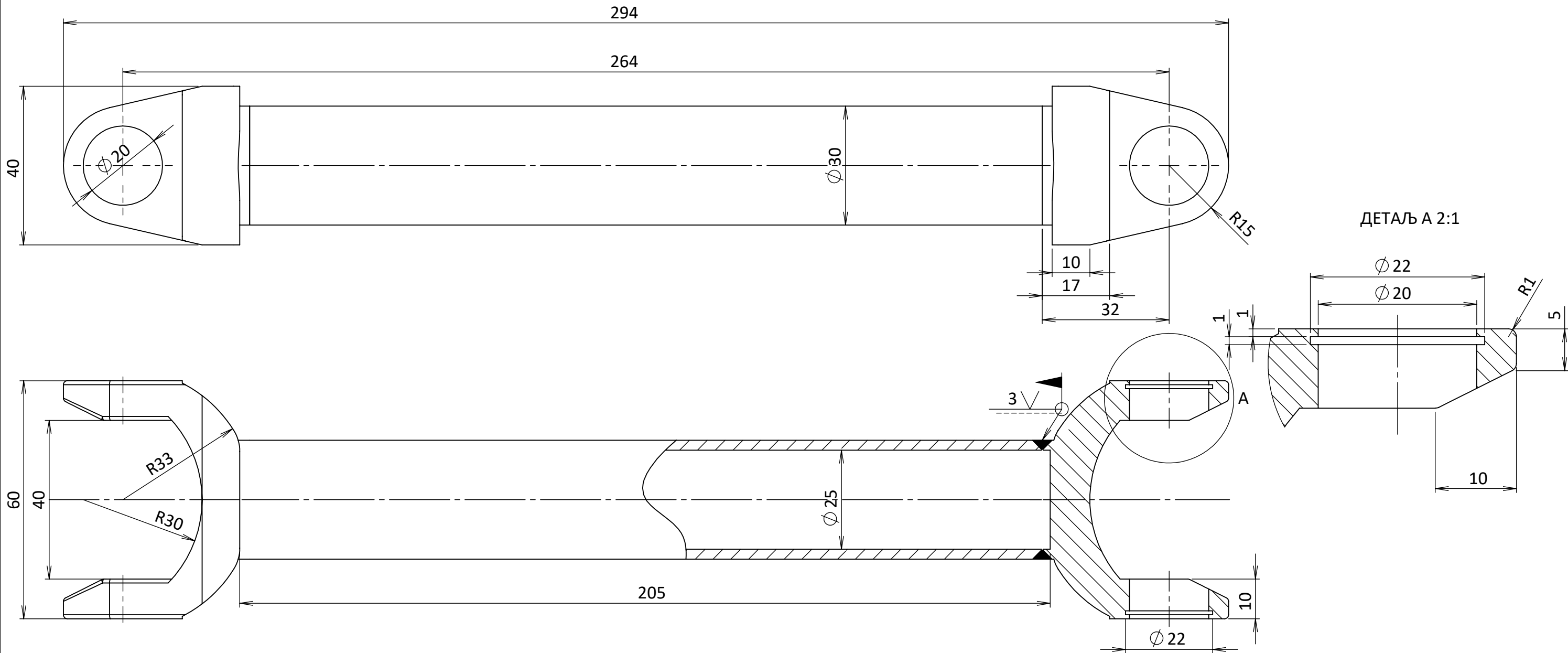


Детаљ А (2 : 1)



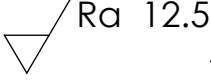
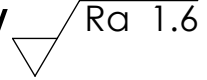
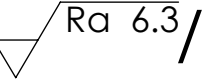
НАПОМЕНА: Све заобљене ивице су R1

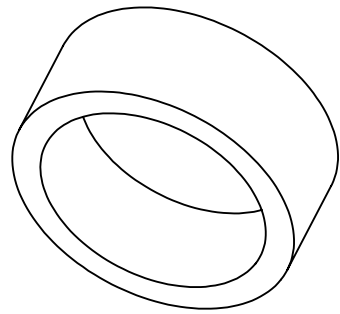
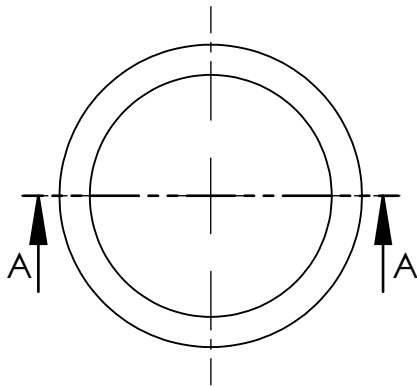
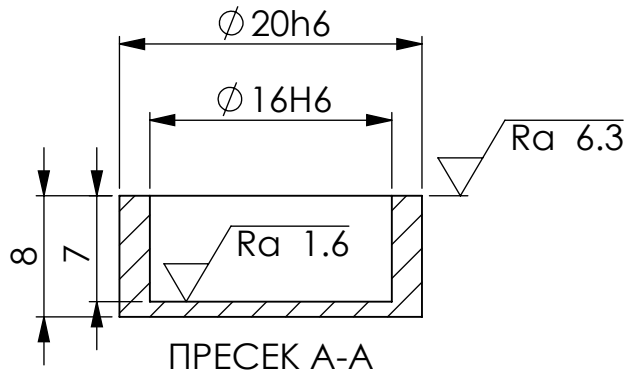
Толеранције слободних мера				Површинска храпавост			Површинска заштита		
Материјал				C35			Термичка обрада		
							A3	Маса 0,5 кг	Размера 1:1
							Назив:		
							Виљушка са прирубницом		
							Ознака:		
							КП.А3.03		
							Лист: 5		
							Л 7		
							Изм. под. КП.А3.00		
							Замена за:		



Толеранције слободних мера				Површинска храпавост			Површинска заштита		
Материјал				С10			Термичка обрада		
							А3	Маса 1,9 кг	Размера 1:1
				Датум			Назив: Вратило са виљушкама		
				Обрад.	Трукић	Драгана			
				Станд.					
				Одобр.					
				Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу			Ознака: КП.А3.04		Лист: 6
Ст. и	Измене	Датум	Име						Л 7
				Изд. под. КП.А3.00				Замена за:	

20h6	0
	-0,013
16H6	0,011
	0



Толеранције слободних мера				Повешинска храпавост				Површинска заштита											
Материјал								Термичка обрада											
16MnCr5												А4		Маса		Размера		2:1	
																			
					Датум			Назив											
					Обрад.	Драгана	Трукић												
					Станд.														
					Одобр.														
					Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу			Ознака:								Лист		7	
																Λ		7	
Ст. и	Измене	Датум		Име					Изм. под:				КП.А3.00		Замена за:				