

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Мастер академске студије

Модул: Друмски саобраћај

Предмет: Структура и конструкција МВ

Број индекса: 308/2012

Милица Д. Ивановић

**Управљачки механизам са променљивим
преносним односом
мастер рад**

Комисија за преглед и одбрану:

1. Др Јасна Глишовић - ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог мастер рада кандидат треба да:

- Истакне основне задатке управљачких механизма у системима за управљање,
- Објасни критеријуме поделе управљачких механизма,
- Објасни разлику између механизма са константним и променљивим преносним односом и објаснити шта је предност ових других,
- Изврши упоредну анализу више механизма са променљивим преносним односом,
- Прикаже елементе прорачуна управљачког механизма зупчаник – зупчасту летву,
- Направи CAD модел зупчаник – зупчаста летва,
- Да укратко изврши кинематску анализу за овај тип управљачког механизма.

Препоручена литература:

[1] Демид М., Лукић Ј.: Теорија кретања моторних возила, Машински факултет у Крагујевцу, 2011

[2] Стефановић А.: Друмска возила - основи конструкције -Центар за моторе и моторна возила Машинског факултета у Нишу и Центар за безбедност Машинског факултета у Крагујевцу, 2010.

[3] Јанићијевић, Н., Јанковић, Д., Тодоровић, Ј.: Конструкција моторних возила, Машински факултет Београд, 1987 година

[4] Филиповић, И. : Мотори и моторна возила, Машински факултет Универзитета у Тузли Тузла, 2006.

Крагујевац, 01.06.2014.

Ментор:

Др Јасна Глишовић, доцент

Садржај

Резиме	4
1. Увод	5
2. Управљачки механизам	8
2.1. Пужни преносник	9
2.2. Управљачки механизам са завојницом и навртком	11
2.3. Управљачки механизам са куглицама	13
2.4. Управљачки кулисни механизам	15
2.5. Управљачки механизам Зупчаник – зупчаста летва	16
3. Серво - управљачи	23
3.1. Хидраулички серво уређаји	23
3.1.1. Хидромеханички серво уређаји	24
3.1.2. Хидраулички серво уређаји	25
3.1.3. Електро - хидраулички серво уређаји	28
3.2. Пнеуматски серво уређаји	29
3.3. Електрични серво уређаји	30
4. Упоредни приказ закона промене преносних односа по углу различитих извођења управљачких механизма	32
4.1. Управљачки механизми са кулисом	32
4.2. Управљачки механизми типа завојница – навртка	33
4.2.1. Завојница-навртка-обртна виљушка	33
4.2.2. Завојница - навртка – кулиса	34
4.2.3. Клатећа завојница – навртка	35
4.2.4. Завојница-покретна навртка	35
4.2.5. Завојница-навртка-зупчасти сектор	36
4.3. Управљачки механизам са зупчастом летвом	37
5. Прорачун елемената управљачког механизма Зупчаник – зупчаста летва	38
6. Конструисање (формирање) делова механизма	49
6.1. Формирање склопа са ограничењима	56
7. Кинематика механизма Зупчаник – зупчаста летва	58
7.1. Конструисање (формирање) делова механизма	59
7.2. Формирање склопа са ограничењима	65
7.3. Формирање механизма	67
8. Закључак	75
Литература	76

Резиме

У овом раду су објашњени основни задаци управљачких механизма у системима за управљање, као и принцип функционисања система за управљање моторних возила. Дат је детаљан приказ о основним захтевима управљања, приказани су и описани механизми са константним и променљивим преносним односом и извршена упоредна анализа овог механизма. Сprovedен је прорачун основних елемената управљачког механизма зупчаник – зупчаста летва за изабрано путничко возило. Моделиран је механизам зупчаник-зупчаста летва у 3D софтверу и извршена кинематска анализа за овај тип управљачког механизма.

Кључне речи: систем за управљање, управљачки механизам, променљив преносни однос, зупчаник – зупчаста летва.

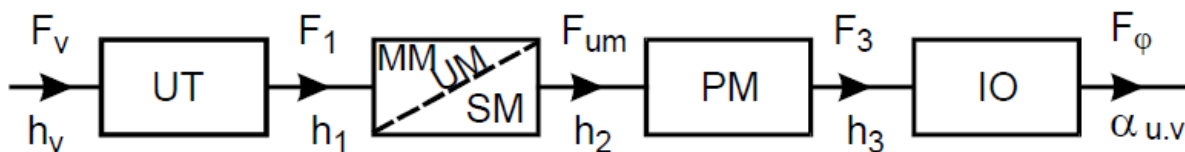
Abstract

Basic tasks of steering mechanisms in steering systems, as well as the operation principle of steering systems for motor vehicles are explained in this paper. A detailed overview of the basic requirements related to steering is shown and steering mechanisms with constant and variable gear ratio are described, and a comparative analysis of these mechanisms is done. The calculation of the basic elements of the steering mechanism rack and pinion for one passenger vehicle is conducted. The mechanism rack and pinion is modelled in 3D software and kinematic analysis of this type of steering mechanism is performed.

Keywords: steering system, steering mechanism, variable steering ratio, rack and pinion.

1. Увод

Понашање моторног возила на путу обухвата целокупну ангажованост возача и моторног возила у току вожње у односу на окружење. Основни задатак система за управљање на моторним возилима је да обезбеди кретање возила у одређеном правцу.



Слика 1. Елементи управљачког система – структурна шема [4]

UT – точак управљача, UM – управљачки механизам (MM – механички механизам, SM – серво механизам), PM – преносни механизам, IO – извршни орган (точкови, гусенице), F_v – сила на управљачком точку (h_v – одговарајући помак управљачког точка), F_ϕ – сила на точку возила ($\alpha_{u.v}$ – угао заокретања возила)

Код возила на точковима систем за управљање, поред свог основног задатка мора да обезбеди и следеће:

- велике маневарске способности,
- лако управљање возилом, односно мале вредности сила на волану при релативно малим угловима закретања,
- стабилно кретање у правцу, враћање управљачких точкова по изласку из заокрета у њихов праволинијски положај под дејством стабилизирајућег момента,
- правилну кинематику закретања точкова,
- што мање преношење удара са управљачких точкова на точак управљача,
- пропорционалан однос силе на управљачком точку и момента закретања управљачких точкова,
- заштита возача од стуба управљача у случају судара.

Управљачки механизам је окарактерисан:

- Угаоним преносним односом који представља однос угла заокретања управљачког точка и излазне полуге управљачког механизма. У циљу остварења управљања и добре заокретљивости потребно је остварити већу вредност угаоног преносног односа у средњем положају и мању при повећању угла заокретања точка управљача.

- Степену корисног дејства. За лако управљање повољно је да степен корисног дејства буде што већи, док је за ублажавање ударних оптерећења на точку управљача захтев сасвим супротан. Управљачки механизми се конструишу тако да им степен корисности при преношењу силе од точка управљача до управљачких точкова буде већи него у случају када се сила са точкова преноси у обртном правцу.

Подела система управљања може се извршити на следеће начине:

1) Класификација по карактеру управљања:

- управљање точковима,
- управљање осовинама,
- комбиновано управљање,
- гусенична возила.

2) Према положају возачког места:

- управљање са леве стране возила,
- управљање са десне стране возила.

3) Класификација према карактеру функционисања:

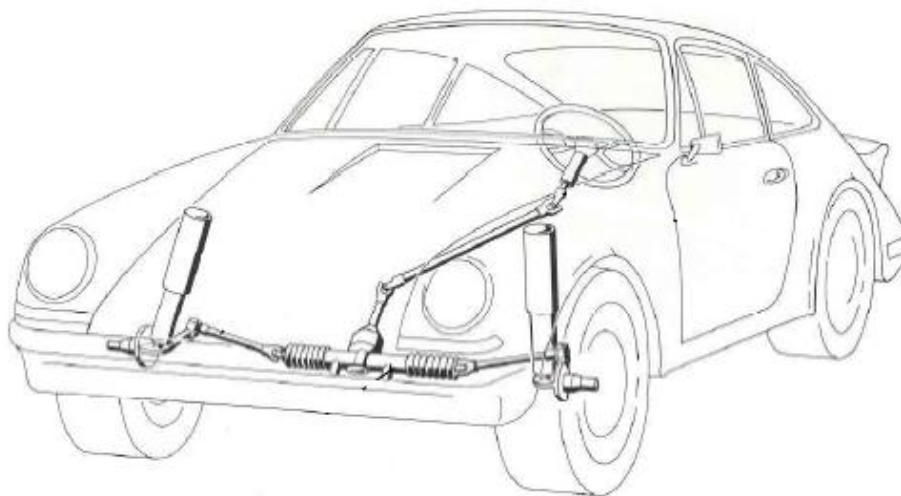
- механички механизми,
- серво-механички механизам.

4) Код возила са точковима систем за управљање има два основна механизма:

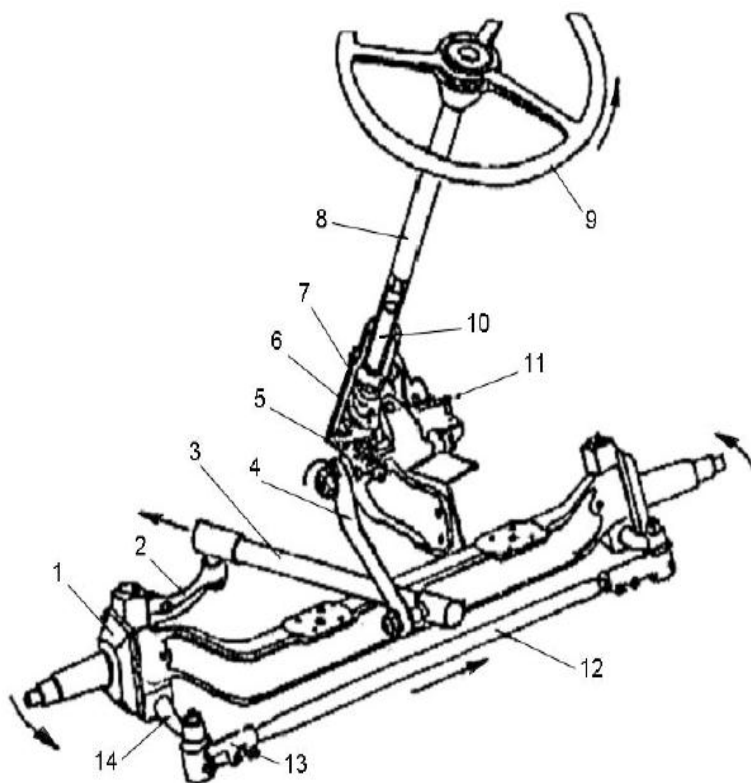
- управљачки механизам,
- преносни механизам.

Елементи управљачког система налазе се између управљачких точкова, који су код возила точкаша по правилу предњи точкови и точка управљача који се налази код возача (слика 2).

На слици 3 је приказано једно од решења система управљања који се састоји од следећих делова: округли рукавац (1), горња полука окретног рукавца (2), уздужна спона (3), висића спона (4), осовина лактастог потискивача (5), кућиште управљачког механизма (6), пуж (7), цев (8), точка управљача (9), осовина управљача (10), пужни точка (11), спона (12), наглавак (13), доња полука окретног рукавца (14).



Слика 2. Систем управљања на једном аутомобилу [7]



Слика 3. Систем за управљање [4]

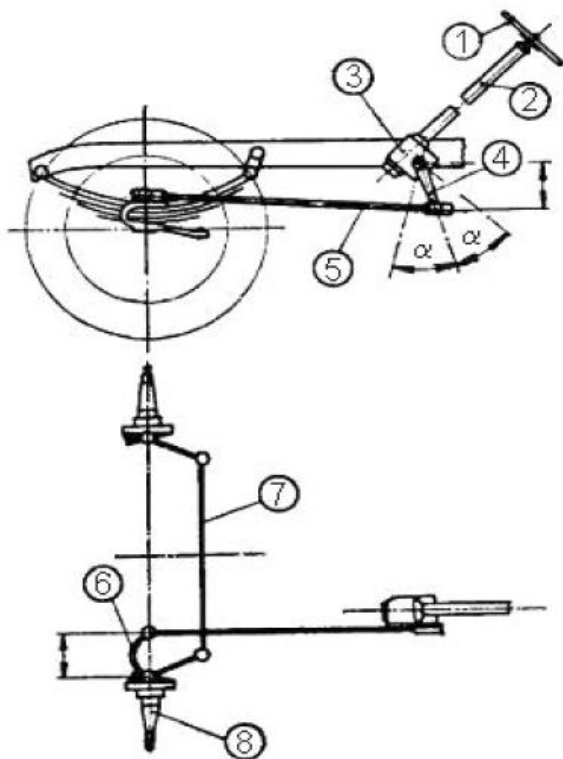
Данас се све више на возилима користи један посебан механизам појачавач (серво – механизам), који има задатак да олакша управљање односно смањи потребну силу на волану за кретање управљачких точкова.

2. Управљачки механизам

Под управљачким механизмом једног возила подразумевају се сви елементи механизма који учествују у остваривању жељене путање кретања возила. Управљачки механизам се дели на механизме управљања возила са точковима и механизме чије се управљање врши гусеницама. Ова два механизма су у потпуности различита самим тим јер им је и концепција управљања различита.

Управљачки механизам служи као редуктор који омогућава повећање обртног момента којим возач делује на точак управљача да би извршио заокретање точкова којима се управља. Преносни однос у управљачком преноснику мора да буде такав да сила на управљачком точку не пређе вредност од 250 N. Преносни однос код путничких моторних возила се креће у границама од 10 : 1 до 25 : 1. Према начину конструкцијског решења, управљачки механизми могу бити са:

- пужним преносником,
- завојницом и навртком,
- куглицама,
- кулисом,
- комбинованим преносником,
- зупчастим преносом (односно са зупчастом летвом).



Слика 4. Елементи система за управљање [4]

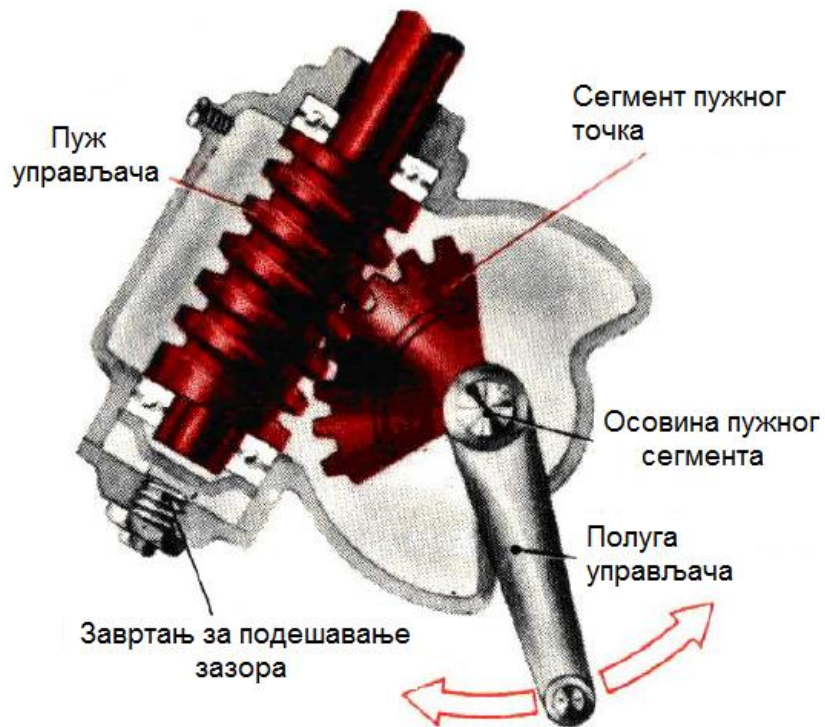
- 1 - точак управљача (волан),
- 2 – стуб управљача,
- 3 – управљачки механизам,
- 4 – полуга управљача,
- 5 – уздужна спона,
- 6 – полуга рукавца,
- 7 – трапез управљања
- 8 – рукавац точка.

2.1. Пужни преносник

Пужни преносник може бити са:

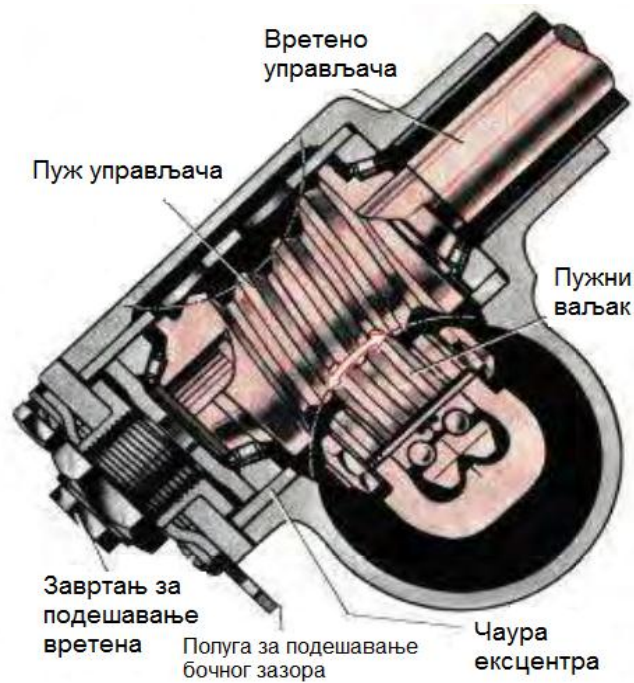
- пужним елементима,
- ваљком.

Пужни преносник са пужним елементима је приказан на слици 5. Састоји се од пужа који је чврсто везан за вратило управљача и пужног точка или пужног сегмента. Пужни пар је смештен у кућиште управљача у коме се налази уље за подмазивање пужног пара. Пужни преносник је једноставне конструкције а главни недостатак је велики отпор трења клизања при окретању.

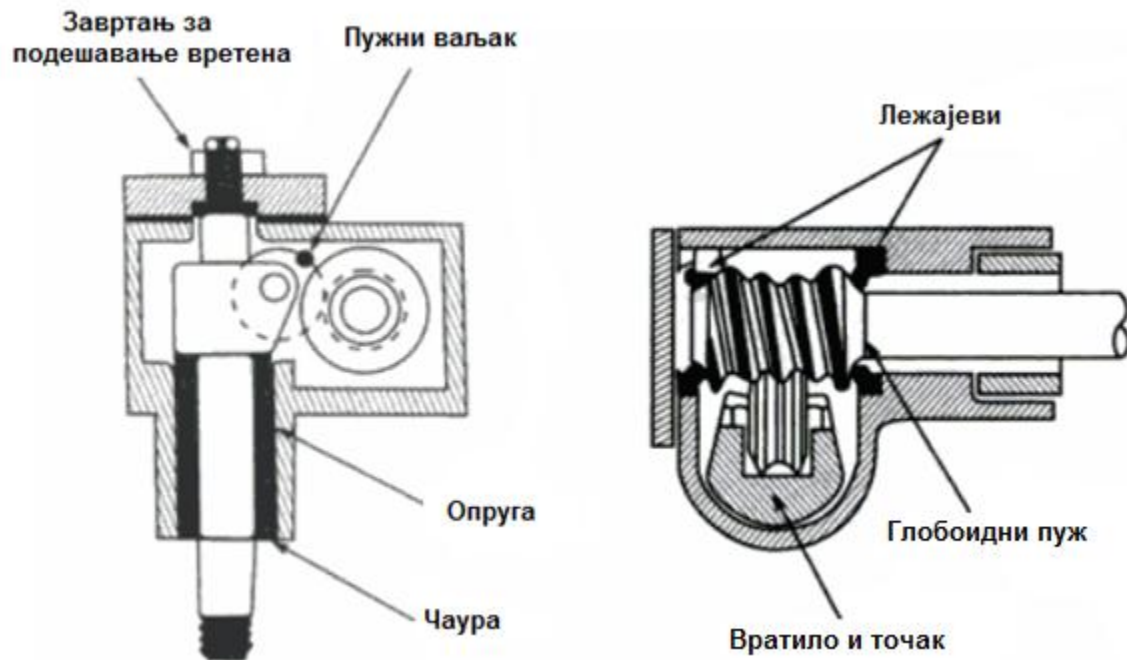


Слика 5. Управљачки преносник са пужним елементима [2]

Пужни преносник са ваљком сличан је претходној конструкцији само уместо сегмента пужног точка има ваљак за управљање. Пуж такође није цилиндричан, већ му се врхови зубаца налазе на једној полукружној линији. Окретањем пужа ваљак управљача се покреће по кружној путањи а тиме други крај полуге, која је чврсто повезана са носачем ваљка транслаторно заокреће.



Слика 6. Пужни преносник са ваљком [2]



Слика 7. Глобoидни пужни преносник [11]

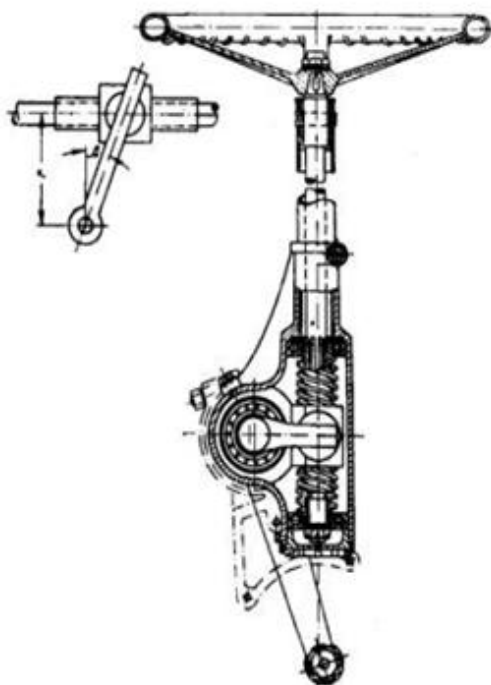
2.2. Управљачки механизми са завојницом и навртком

Многе конструкције управљачких механизма заснивају се на коришћењу завојница и навртка. Најчешће комбинације су:

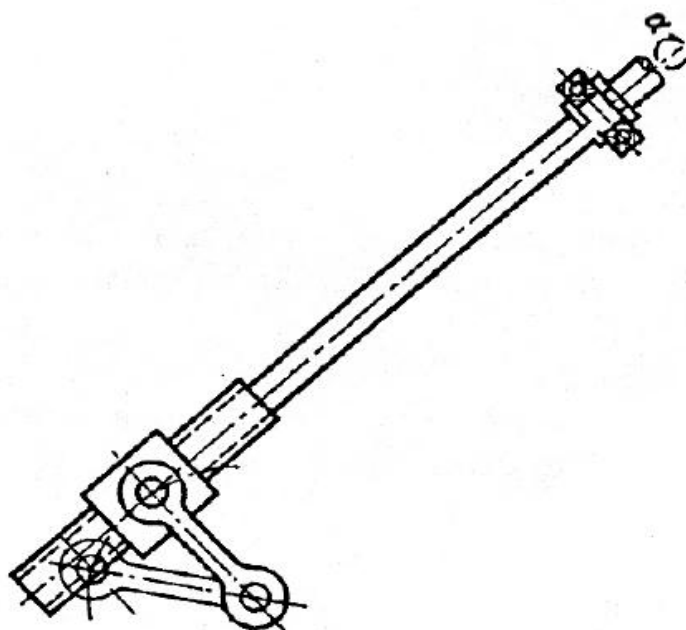
- завојница – навртка – кулиса (слика 8) код које се остварује променљиви преносни однос, са ниским степеном корисности услед трења клизања између навртке и завојнице,
- клатећа завојница – навртка (слика 9) код које се остварује променљиви преносни однос, који се смањује при померању навртке у крајње положаје,
- завојница – покретна навртка (слика 10) код које се остварује променљиви преносни однос. Ова комбинација механизма има малу тежину и повољне мале габаритне димензије што омогућава примену код лаких путничких возила. [3]

Карактеристике овог механизма су:

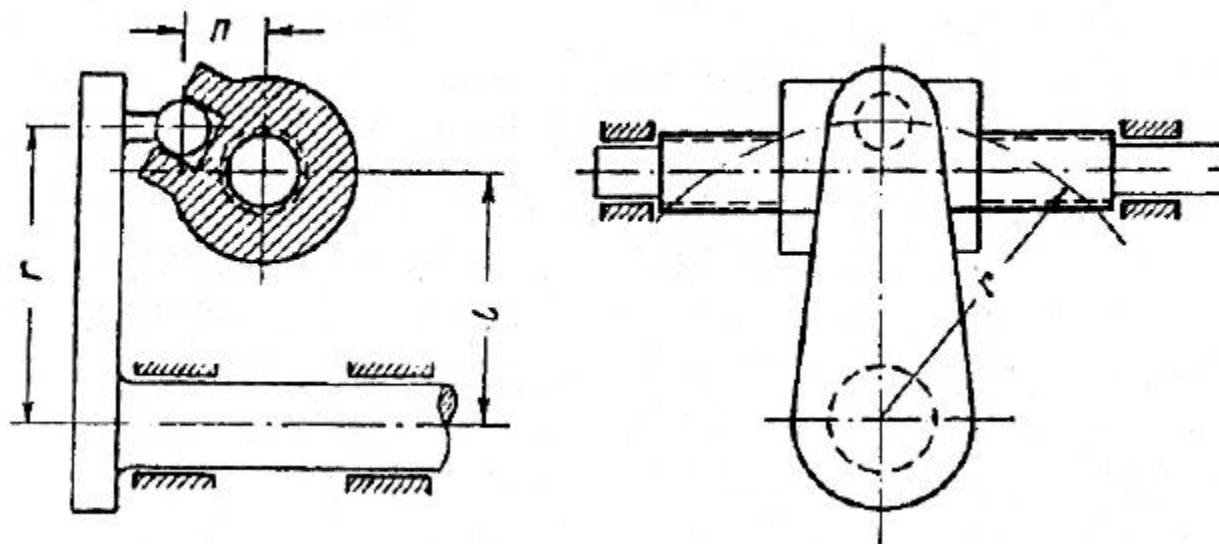
- једноставност,
- мала тежина,
- променљив преносни однос,
- нижи степен корисног дејства.



Слика 8. Завојница–навртка-кулиса [5]



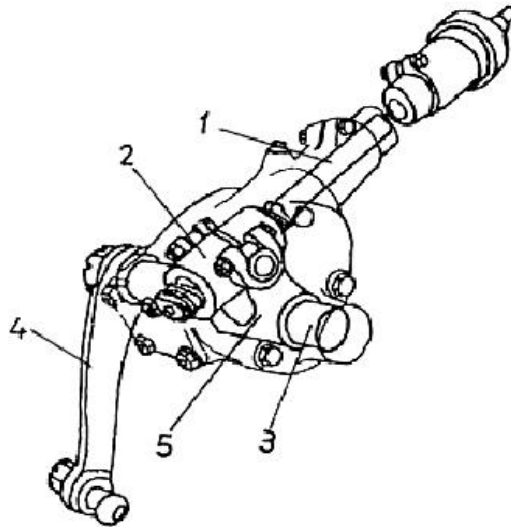
Слика 9. Завојница-навртка-клатећа полука [8]



Слика 10. Завојница – покретна навртка [8]

Завојни преносник управљачког механизма има изглед као на слици 11. Окретањем осовине управљача (1) која је на доњем делу израђена у облику завојнице, на осовини долази до покретања навртке (2) уздуж завојнице на осовини управљача. Навртка је зглобно везана преко једне клацкалице (5) за осовиницу (3) лактастог потискивача (4). При кретању навртке (2) уздуж завојнице, долази до окретања осовинице

(3) пошто је доњи део клацкалице (5) чврсто везан за осовиницу (3). На тај начин долази до померања лактастог потискивача (4) у његовој уздужној равни. [4]

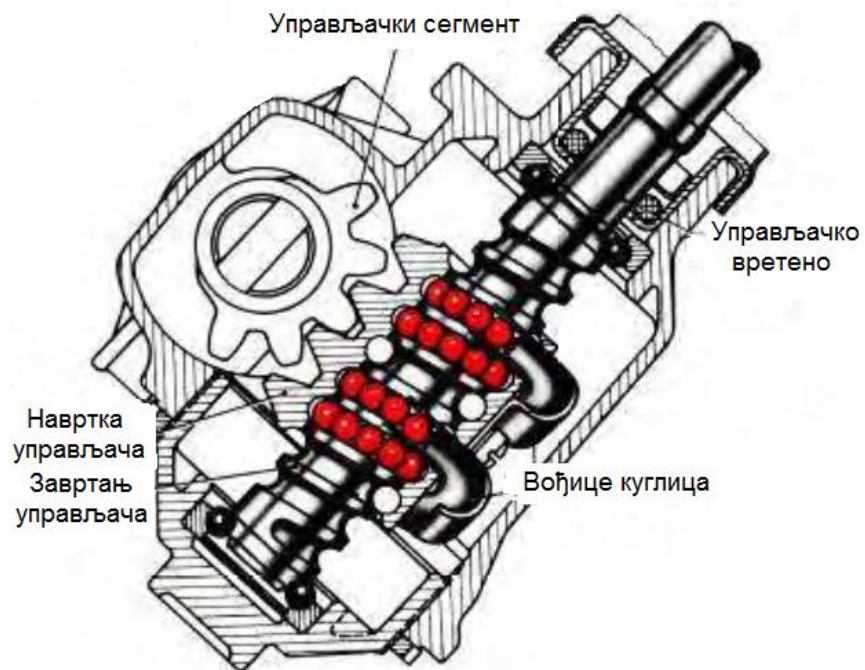


Слика 11. Шема завојног преносника [4]

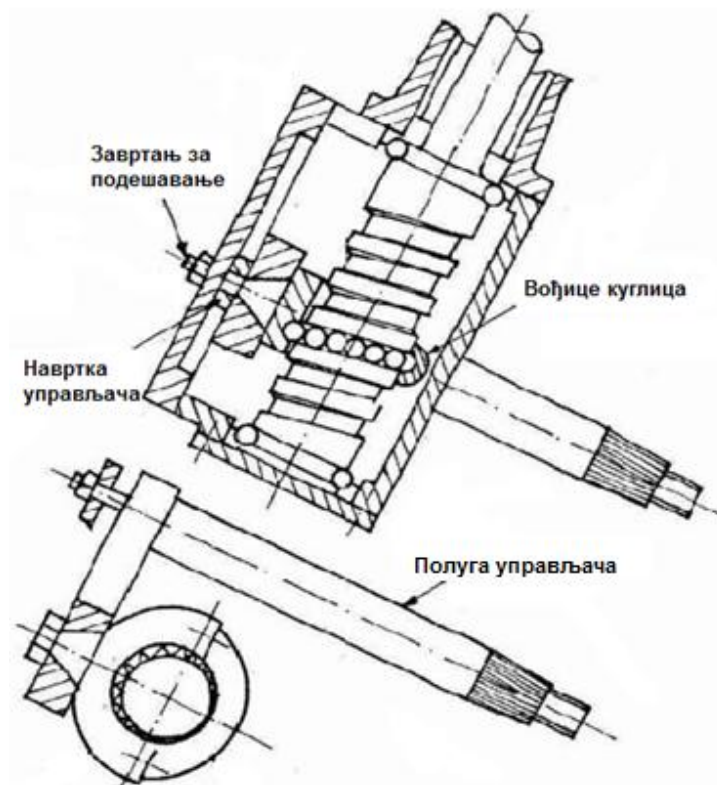
2.3. Управљачки механизам са куглицама

Преносник управљача са куглицама је преносник са завојним вретеном посебне изведбе (слика 12). Осовина управљача је са кугластом спољном завојницом, док је у навртки управљача смештена унутрашња кугласта завојница. Обе завојнице чине у ствари лежиште куглица које се смештају по завојници. [2]

Окретањем осовине управљача почињу да се померају куглице по завојници, које своје померање преносе на навртку у аксијалном правцу осовине управљача. Навртка управљача заокреће управљачки сегмент који је спојен са полугом управљача. Дакле цевасте вођице на завојном вретену и навртки обезбеђују кружно вођење куглица. Оваквом конструкцијом вретено управљача не покреће навртку клизним трењем већ котрљајућим, чиме се смањује потребна сила за заокретање управљачких точкова. Оваква конструкција је углавном примењена на теретним возилима.[2]



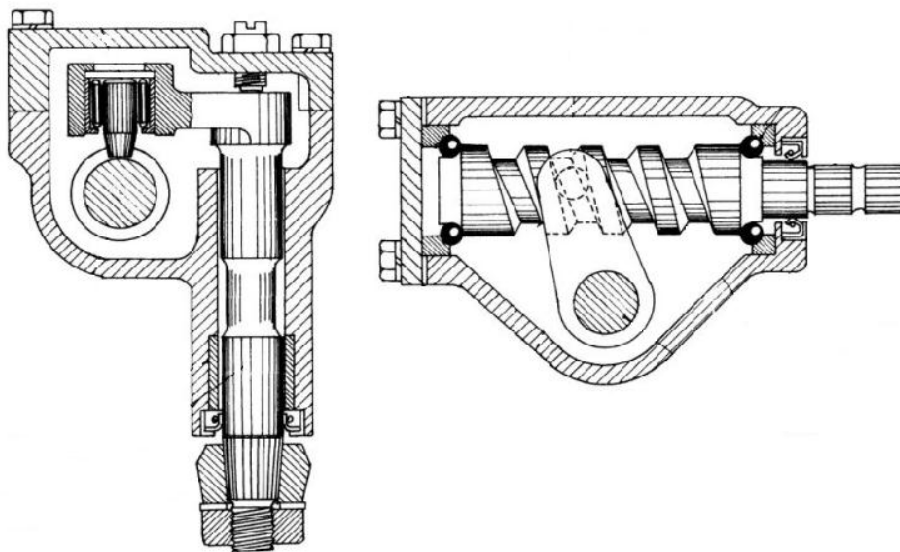
Слика 12. Управљачки преносник са куглицама [2]



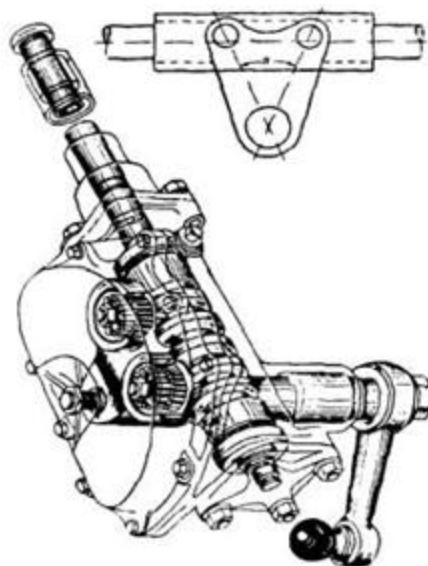
Слика 13. Управљачки преносник са куглицама – пресек [11]

2.4. Управљачки кулисни механизам

Кулисни управљачки механизам може да се изводи са једним (слика 14) или два прста (слика 15) (обртним или клизним). Кулисни механизми са једним прстом су јако оптерећени и кратког су века па се зато више примењују механизми са два прста. Повољна карактеристика кулисног управљачког механизма огледа се у могућности остварења жељеног преносног односа. Степени носивости су једнаки у оба смера. Користе се претежно на тешким возилима и аутобусима, а посебно на возилима која су намењена кретању по тешким теренима. [3]



Слика 14. Кулисни управљачки механизам са једним прстом [11]



Слика 15. Кулисни механизам са два прста [5]

2.5. Управљачки механизам Зупчаник – зупчаста летва

Од управљачких зупчастих механизма данас се углавном користе механизми са зупчастом летвом. Механизми са зупчастом летвом се врло добро уклапају са попречном споном и све више се користе не само код лаких путничких возила већ и код тежих и бржих возила.

Зупчасти управљачки механизам треба да обезбеди:

- стабилно кретање у правцу. Управљачки точак у положају праволинијског кретања треба да има минимални слободан ход,
- малу силу на точку управљача,
- пропорционалан однос силе на точку управљача и момента за заокретање управљачких точкова,
- враћање управљачких точкова по изласку из криволинијског у положај праволинијског кретања под дејством стабилизационог момента.

Управљачки механизам окарактерисан је:

- угаоним преносним односом који представља однос угла заокретања точка управљача и излазне полуге управљачког механизма (раме). У циљу остварења управљања и добре заокретљивости потребно је остварити већу вредност угаоног преносног односа у средњем положају и мању при повећању угла заокретања точка управљача.
- степеном корисног дејства. За лако управљање потребно је да степен корисног дејства буде што већи, док је за ублажавање ударних оптерећења на точку управљача захтев сасвим супротан. Из овог следи да се управљачки механизми контролишу тако да им степен корисности при преношењу од точка управљача на точак буде што већи него у случају када се сила са точка преноси у обрнутом правцу. У вези са претходним разликује се директан и повратни степен преноса. [6]

Управљачки механизам са зупчастом летвом има низ добрих особина:

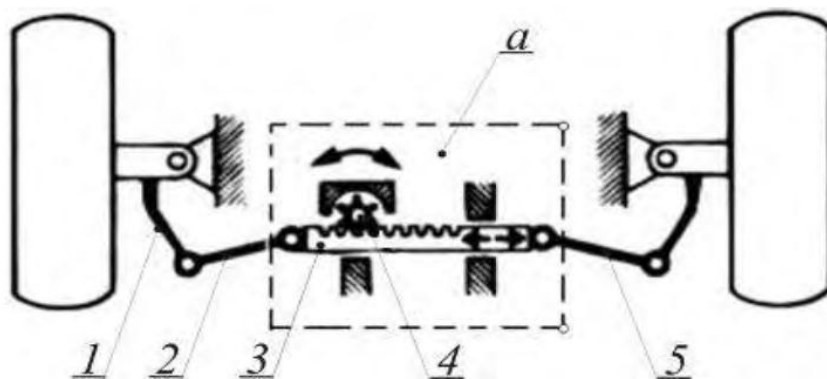
- једноставност конструкције,
- погодност и једноставност производње,
- повољан и висок степен корисности,
- аутоматско поништавање зазора између зупчасте летве и зубаца зупчаника,
- непосредан спој зупчасте летве и спона,

- мање габаритне димензије,
- искључење спона и међуполуга из конструкције.

Основни недостаци овог начина извођења управљачког механизма су:

- осетљивост на ударе,
- ограничена дужина спона,
- мали век трајања.

Управљачки преносник са зупчастом летвом се састоји од зупчасте летве постављене попреко у односу на уздужну осу возила и зупчаника који је наглављен на вретено. Окретањем вретена а тиме и зупчаника, транслаторно се помера зупчаста летва у својим вођицама и своје кретање директно преноси на споне трапеза управљачког система. (слика 16). [2]



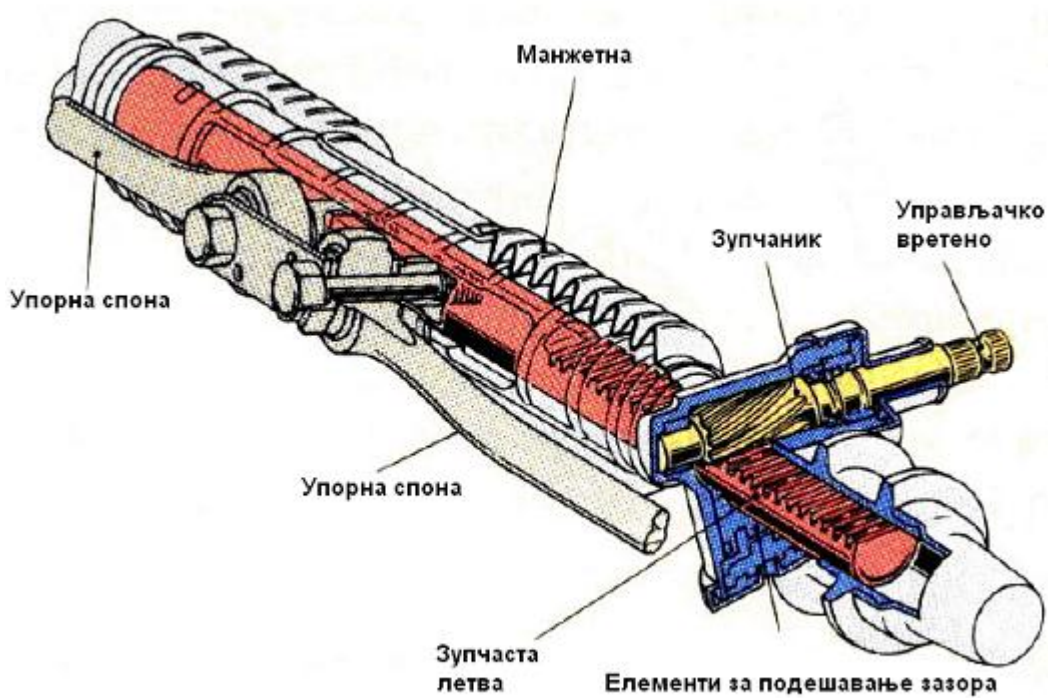
Слика 16. Управљачки механизам са зупчастом летвом [2]

1- Полука рукавца точка, 2 - десна спона, 3 – зупчаста летва, 4 – зупчаник,
5 – лева спона, а – управљачки механизам

Управљачки механизам са зупчастом летвом се све више користи не само код лаких путничких, већ код тежих и бржих возила, као што су Форд Гранада, Алфа Ромео, Порше 911 итд. Управљачки механизам са зупчастом летвом приказан је на следећим сликама (17 и 18):

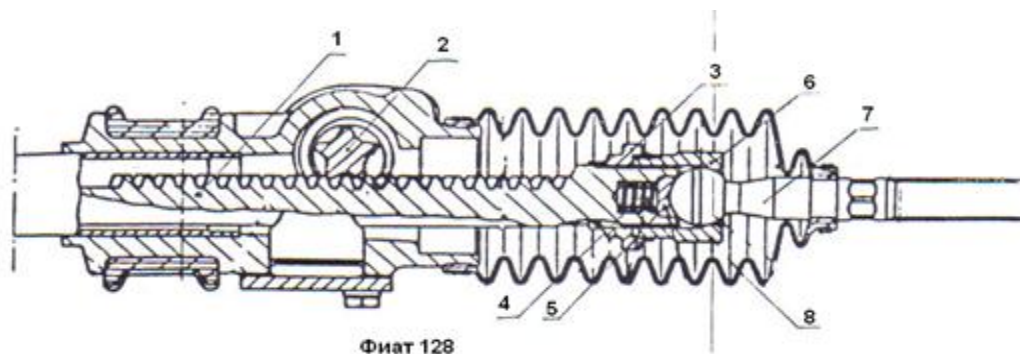


Слика 17. Управљачки механизам са зупчастом летвом



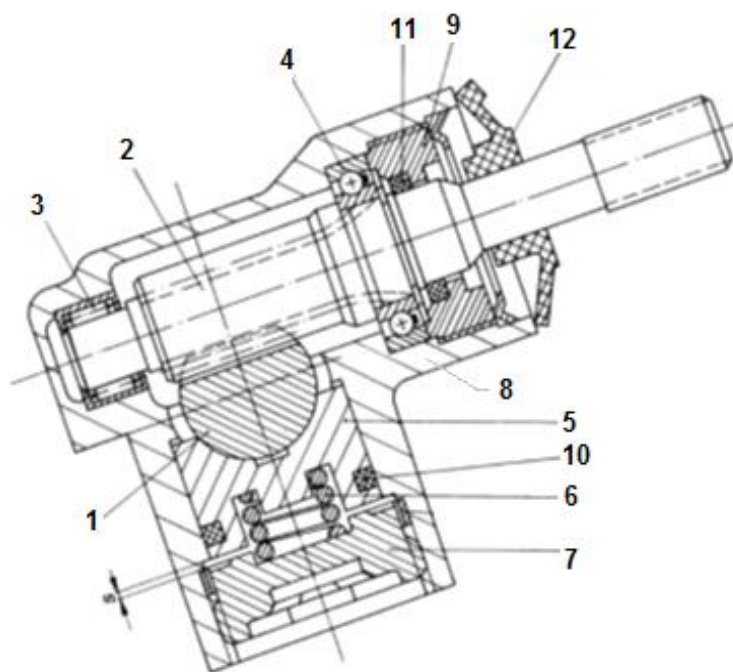
Слика 18. Управљачки механизам са зупчастом летвом [2]

На слици 19 налази се приказ механизма са зупчастом летвом на возилу ФИАТ 128. Делови на сликама су следећи:



Слика 19. Детаљи управљачког механизма са зупчастом летвом

1 - Зупчаста летва, 2 - Зупчаник, 3 - Навртка за подешавање, 4 - Торзиона опруга, 5 – Подметач,
6 - Седиште сферног наставка, 7 - Комплет сферног наставка, 8 - Гумени елемент за заштиту

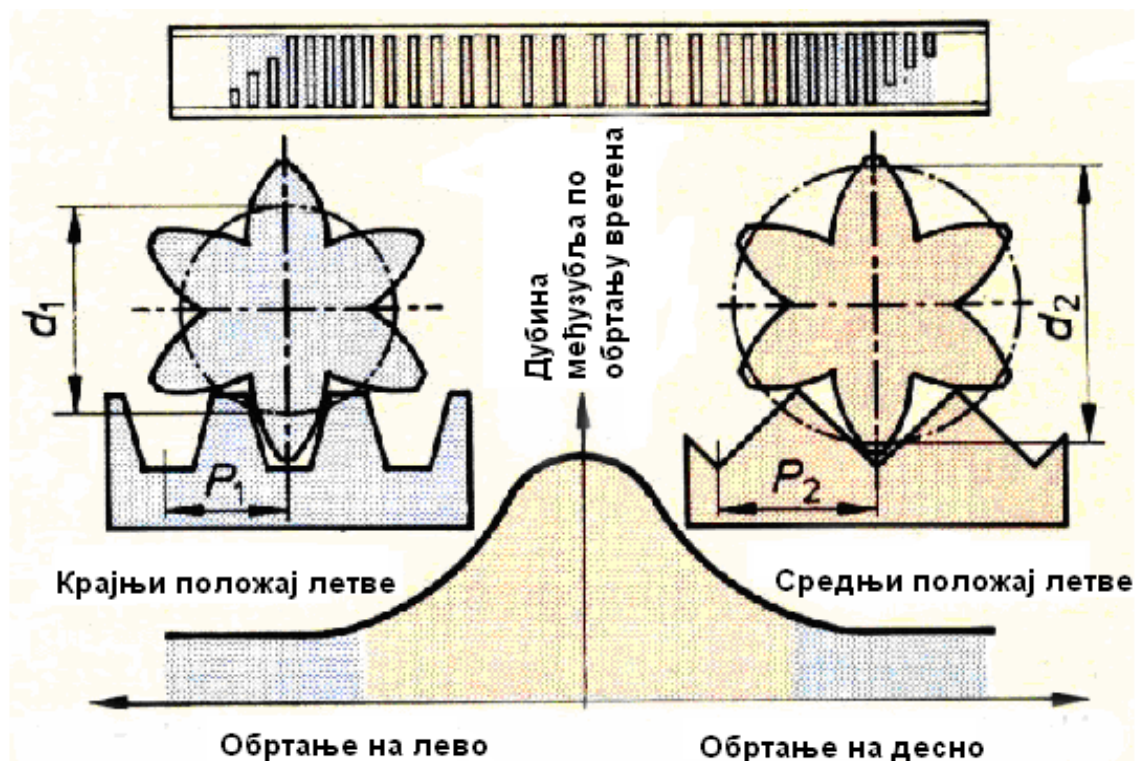


Слика 20. Пресек склопа зупчаник – зупчаста летва [15]

1 - Зупчаста летва, 2 - Зупчаник, 3 – игличаст лежај, 4 – котрљајни лежај, 5 – подметач зупчaste летве, 6 – торзиона опруга, 7 – навртка, 8 – кућиште преносника, 9 – навртка за подешавање лежаја 4, 10 и 11 – заптивачи, 12 – гумени поклопац

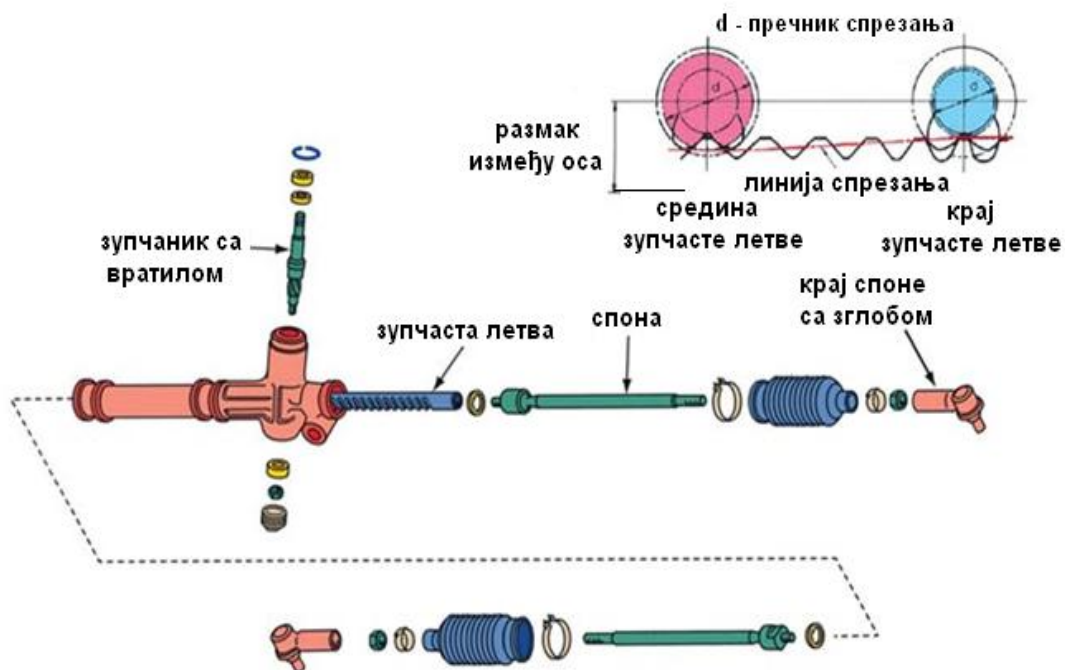
Слика 20 показује како се на свим механизмима типа зупчаник - зупчаста летва може лако елиминисати зазор између зупчаника и летве, може се и аутоматски вршити подешавање да би се добило жељено пригушење. Услед дејства радијалних сила у зупчастој вези постоји тенденција удаљавања између зупчаника и зупчасте летве. Како би се ова појава онемогућила (што би довело до смањења површине контакта на зубима), испод зупчасте летве се налази навртка 5 коју претходно сабијена опруга 6 потискује у правцу зупчаника. У тренутку дејства високих вредности момента на точку управљача долази до сабијања опруге 6, навртка 5 може да се помери за величину $s \leq 0,12 \text{ mm}$ пре него што налегне на навртку 7. Тиме се одржава стални контакт зупчаника и зупчасте летве преко бокова зубаца и компензују истрошења зуба.

Код механичког преноса без серво појачања силе управљања може да се преносни однос зупчасте летве изведе варијабилно, са такозваним директним и индиректним преносом. Предност оваквог извођења је у томе, што се код вожње на правцу или са малим углом закретања, када је зупчаста летва у средњем положају, преносни однос је директан, односно са већом међузубном поделом зупчаника (већи модул) на зупчастој летви. У области крајњег положаја зупчасте летве, односно при великим угловима закретања, преносни однос је индиректан, односно са мањом међузубном поделом (мањи модул) зупчаника на зупчастој летви (слика 21). [2]

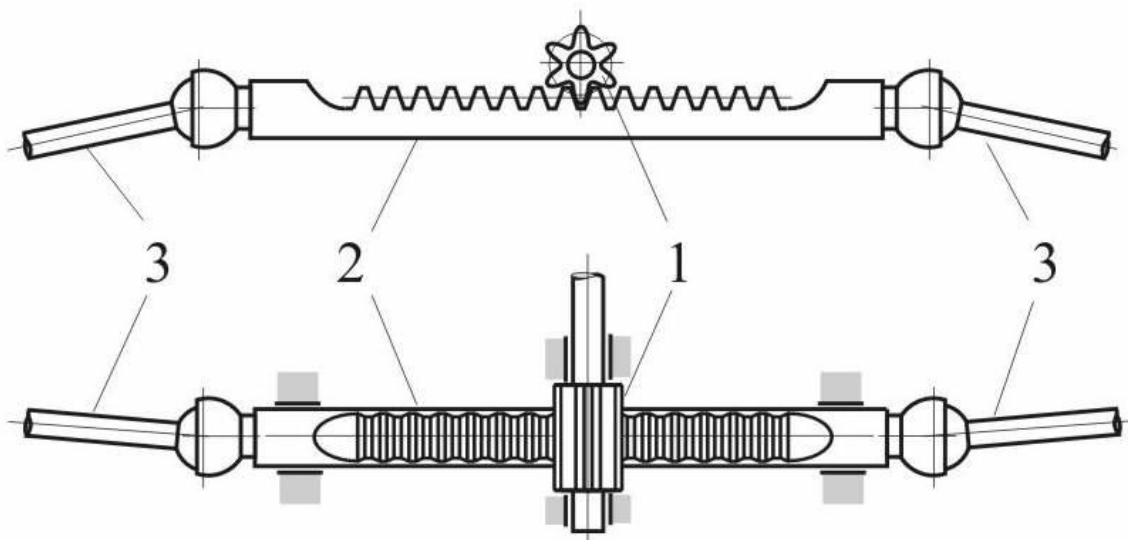


Слика 21. Зупчаник зупчасте летве са варијабилним преносом [2]

Зупчаник и зупчаста летва израђују се од челика за побољшање или легираног челика. На слици 22 приказан је развијен склоп зупчаник – зупчаста летва:



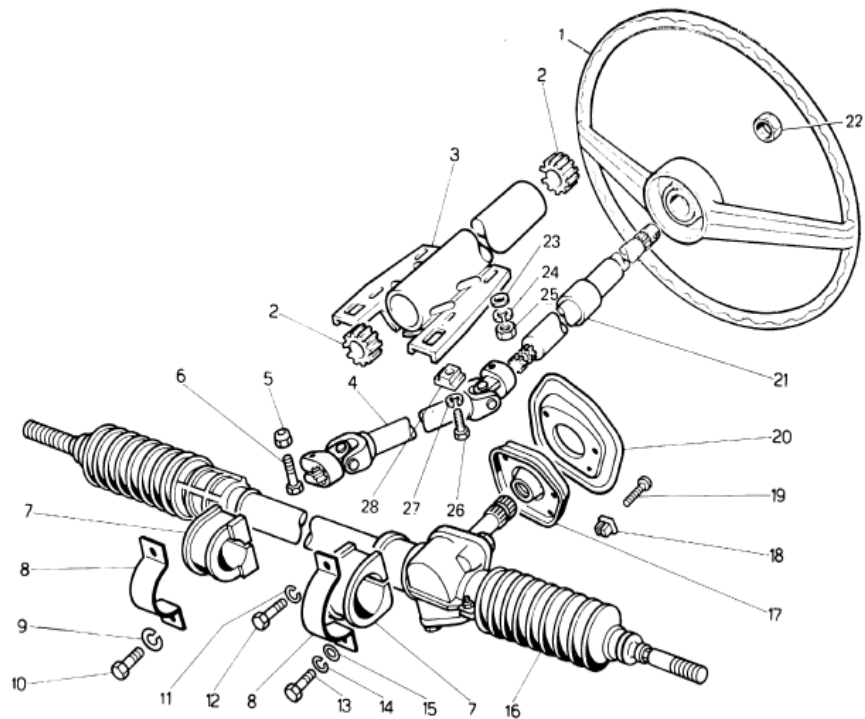
Слика 22. Развијен механизам зупчаник – зупчаста летва



Слика 23. Управљачки преносник са зупчастом летвом [7]

1 – зупчаник са погонским вратилом, 2 – зупчаста летва, 3 – полуге (споне) трапеца управљања

На слици 24 приказано је како изгледају сви делови механизма са зупчастом летвом монтирани на возилу.



Слика 24. Делови управљачког механизма са зупчастом летвом

1- Точак управљача, 2 - Чаура, 3 - Носач, 4 - Доње карданско вратило, 5 – Навртка, 6 – Вијак, 7 - Еластична подлошка, 8 - Носач кућишта, 9 - Еластична подлошка, 10 – Вијак, 11 - Еластична подлошка, 12 – Вијак, 13 – Вијак, 14 - Еластична подлошка, 15 - Равна подлошка, 16 - Кућиште управљача, 17 – Заптивач, 18 - Пластична подлошка, 19 – Вијак, 20 – Носач, 21 - Горње карданско вратило, 22 – Навртка, 22 - Равна подлошка, 23 - Еластична подлошка, 24 – Навртка, 25 – Вијак, 27 - Еластична подлошка, 28 – Подлошка.



Слика 25. Спољашњи изглед зупчаник – зупчаста летва

3. Серво – управљачи

Управљање возилима велике носивости захтева велики физички напор од возача. Нарочито је тешко управљати оваквим возилом при кретању по лошим путевима. Да би се омогућило лако управљање возила, у систем за управљање се укључују специјални серво – механизми чији је основни задатак да се смањи потребна сила на точку управљача, а самим тим повећа маневарска способност возила. У данашње време се серво – механизам уграђује серијски у свим путничким возилима, чиме је знатно смањена сила возача на точак управљача и евидентно повећан комфор вожње. Необично је важно да се нагласи да се са серво уређајем може доста лако задржати возило на путу и у случају када при већим брзинама изненада дође до испуштања ваздуха из једног од пнеуматика, што је у другим случајевима врло тешко.

Конструкција серво – уређаја у систему за управљање мора да испуни следеће захтеве:

- у случају кvara серво – механизма не сме се нарушити нормално функционисање система управљања,
- немогућност укључења серво – уређаја услед утицаја неравнина пута при праволинијском кретању,
- да је померање управљачких точкова пропорционално угаоном померању точка управљача.

Серво – механизам може да буде:

- хидраулички,
- пнеуматски,
- електрични.

Без обзира на начин извођења серво уређај који се користи у системима за управљање има следеће основне елементе: напојни агрегат (хидрауличка пумпа, компресор са резервоаром или акумулатор), сервоуређај и разводник са инсталацијом. [5]

3.1. Хидраулички серво уређаји

Хидрауличке серво уређаје могуће је извести на два начина:

- серво дејство се остварује на управљачком уређају,
- серво дејство се остварује директно на преносном механизму.

Серво уређаји са деловањем на управљачки уређај користи се на путним моторним возила и називају се хидромеханички серво уређаји. Серво уређаји са

директним дејством на преносни механизам се ређе примењују јер је врло тешко остварити осећај возача за управљање, називају се хидраулички серво уређаји. [5]

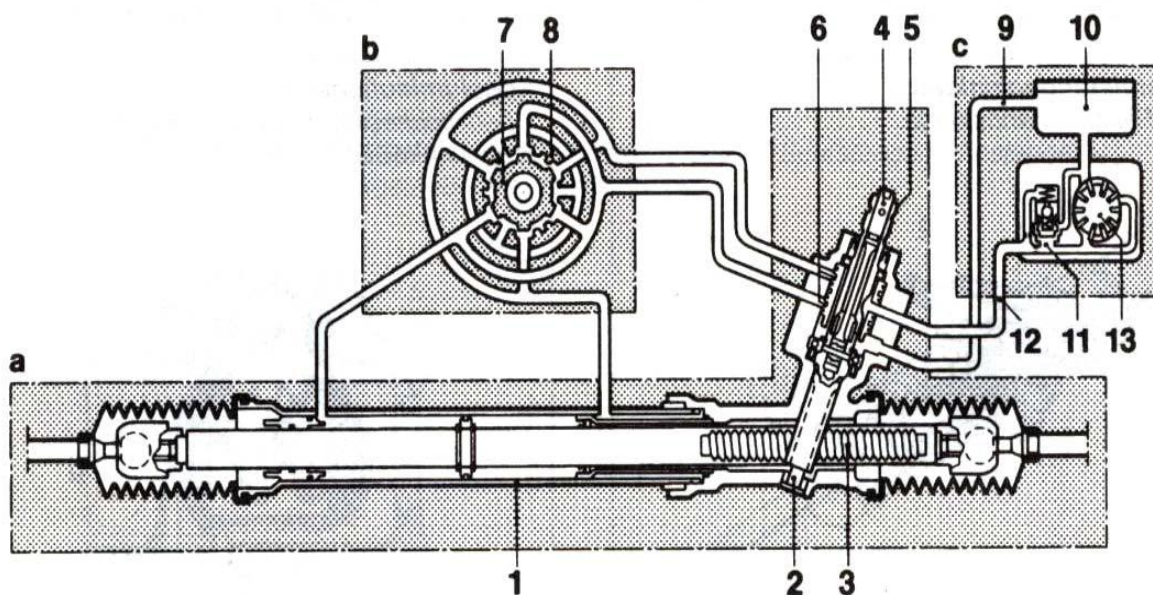
3.1.1. Хидромеханички серво уређаји

Хидромеханички серво уређаји се састоје од следећих компоненти:

- хидропумпа са акумулатором притиска. На тешким возилима се обавезно постављају две пумпе, од којих је помоћна погоњена од точкова,
- управљачки вентил,
- хидроцилиндр повезан са вретеном механичког управљача.

Хидромеханички управљачи изводе се код особних возила са зупчастом летвом (слика 26) или навојним вретеном код привредних, због великих сила на вретену као навојни:

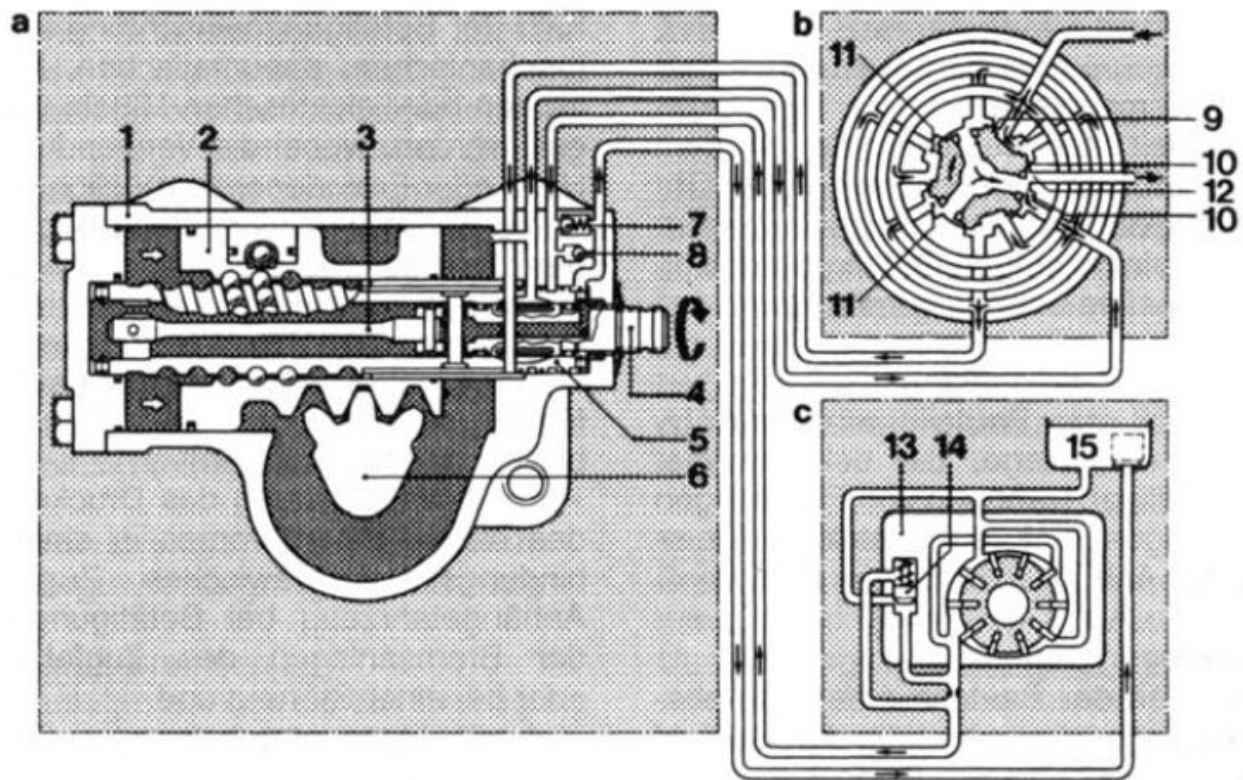
- са навртком са путујућим куглицама (слика 27),
- са навојним вретеном.



Слика 26. Серво управљачки преносник са зупчастом летвом [2]

а) Управљачки преносник б) Хидро разделник ц) Хидропумпа

- 1 – Радни цилиндар, 2 – Зупчаник управљача, 3 – Зупчаста летва, 4 – Управљачко вретено, 5 – Доње вретено, 6 – Жљеб управљача, 7 – Обртни шибер, 8 – Чаура управљача, 9 – Канал за повратно уље, 10 – Резервоар уља, 11 – Вентил за ограничавање протока и притиска, 12 – Потисни вод, 13 – Крилна пумпа.



Слика 27. Серво управљачки преносник са куглицама [2]

а) Управљачки преносник б) Хидро разделник ц) Хидропумпа

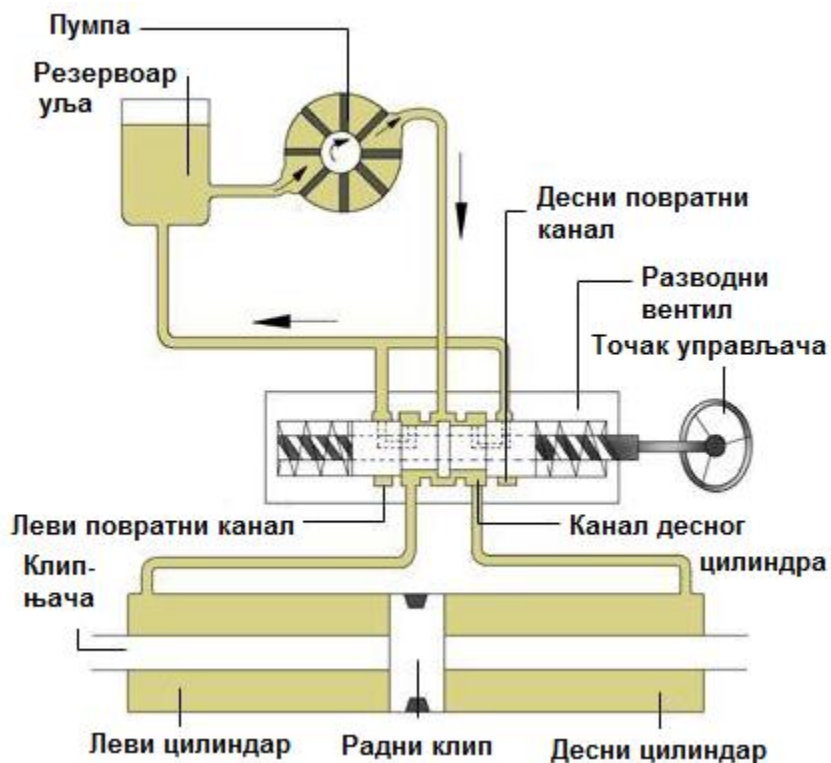
1 – Кућиште, 2 – Клип, 3 – Обртна полука, 4 – Управљачко вретено, 5 – Управљачка пужна чаура, 6 – Пужни сегмент, 7 – Вентил за ограничавање притиска, 8 – Усисни вентил, 9 – Улазни отвор, 10 – Отвор за повратно уље, 11 – Аксијлни жљеб, 12 – Аксијални жљеб за повратно уље, 13 – Крилна пумпа, 14 – Вентил за ограничавање протока, 15 – Резервоар уља.

3.1.2. Хидраулички серво уређаји

Хидраулички серво уређаји примењују се како је већ речено на спороходним и тешким возилима, посебно оним који су зглобне конструкције.

Хидраулички серво уређаји састоје се од следећих компоненти:

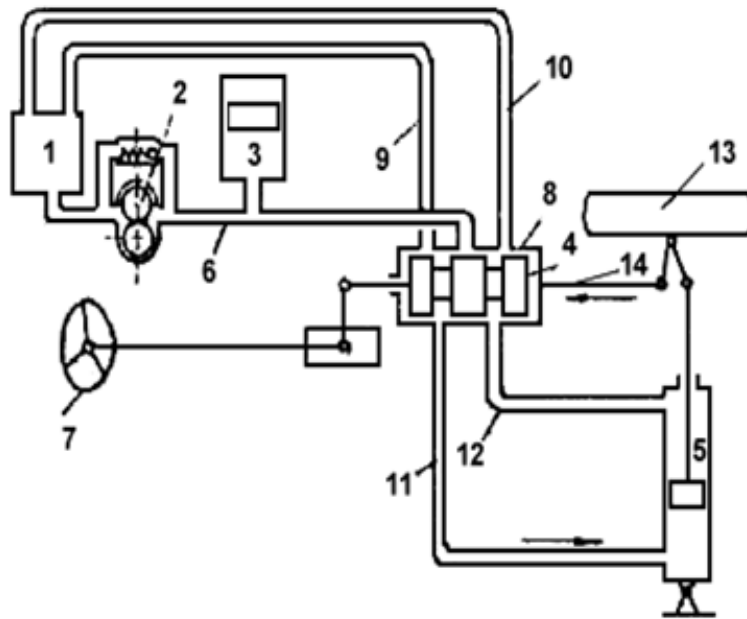
- хидропумпа са акумулатором притиска,
- механички управљач који контролише управљачки вентил,
- хидроцилиндар повезан са трапезом управљања.



Слика 28. Шема хидрауличког серво уређаја [5]

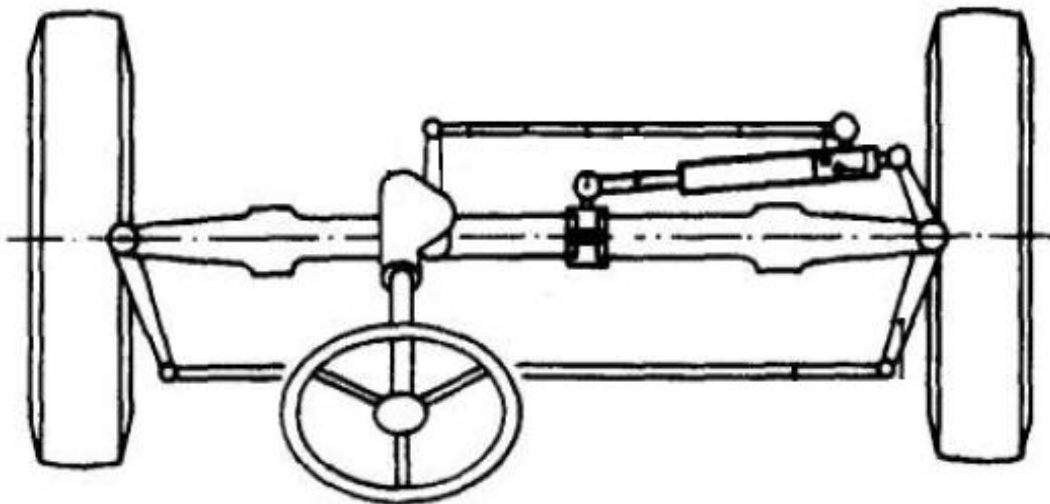
На слици 29 приказана је шема најчешће коришћеног хидрауличног серво – уређаја. Пумпа (2) – извор енергије остварује одређени притисак уља у магистрали (6) и акумулатору (3). Ако притисак нарасте изнад дозвољених граница преко сигурносног вентила се успоставља празан ход пумпе. Притисак у уљној магистрали достиже 60 – 150 bar. [4]

Приликом окретања точка управљача (7), диференцијални клип (4), разводника (8) се помера и открива канал уљне магистрале (6) а затвара преливни канал (9). Сада уље под притиском из канала (6) кроз канал (11) долази до радног цилиндра (5) који преко клипа и клипњаче помера управљајући точак (13). Пошто је управљајући точак преко полуге (14) везан за кућиште разводника у правцу померања диференцијалног клипа (4) те клип разводника долази у неутралан положај, па се довод уља у радни цилиндар прекида. Полуга (14) остварује у овом случају повратну спрегу. Да би се точак (13) заокренуо за већи угао потребно је продужити окретање точка управљача (7). Приликом враћања точка (13) у неутралани положај процес се одиграва обрнуто.



Слика 29. Шема хидрауличког серво – уређаја [4]

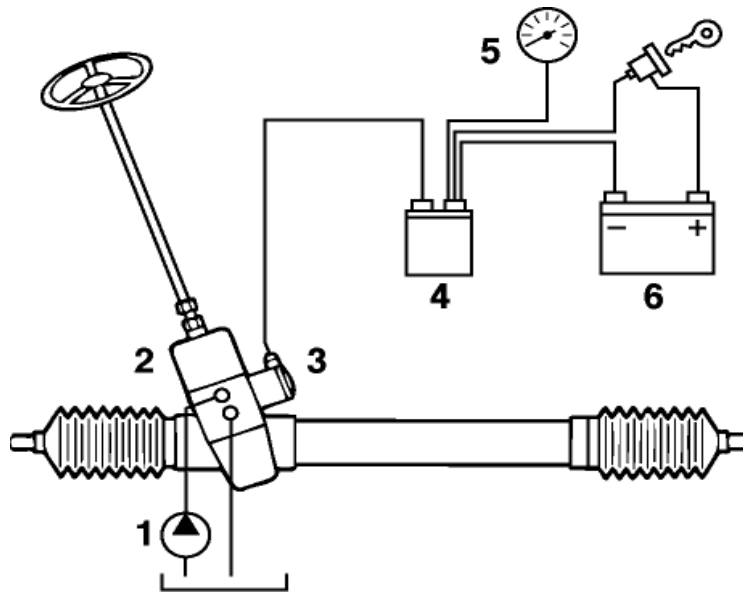
1 – резервоар уља, 2 – пумпа, 3 – акумулатор притиска, 4 – клип разводника, 5 – радни цилиндар, 6 – уљна магистрала, 7 – точак управљача, 8 – разводник, 9,10 – преливни вентил, 11,12 – водови радног цилиндра, 13 – точак, 14 – веза точка са кућиштем разводника.



Слика 30. Шема уградње хидрауличког серво управљача [5]

3.1.3. Електро - хидраулички серво уређаји

Данас се на савременим возилима користи електрични серво систем који уместо хидрауличке пумпе користи електромотор. Овај систем је мањих димензија и мање масе и не захтева коришћење мотора аутомобила тако да не утиче на потрошњу горива. У почетку су електрични серво управљачки системи били резервисани само за скупља возила, а у ширу употребу их је први увео Fiat, 2000. године (слика 31). Главна карактеристика овог система је његова прогресивност, односно прилагођавање понашања серво уређаја у складу са брзином кретања возила. Овај систем ради само када је потребно, то јест када возач окреће управљач стартује се електромотор који покреће пумпу, чиме се штеди и сам систем али и енергија. [14]



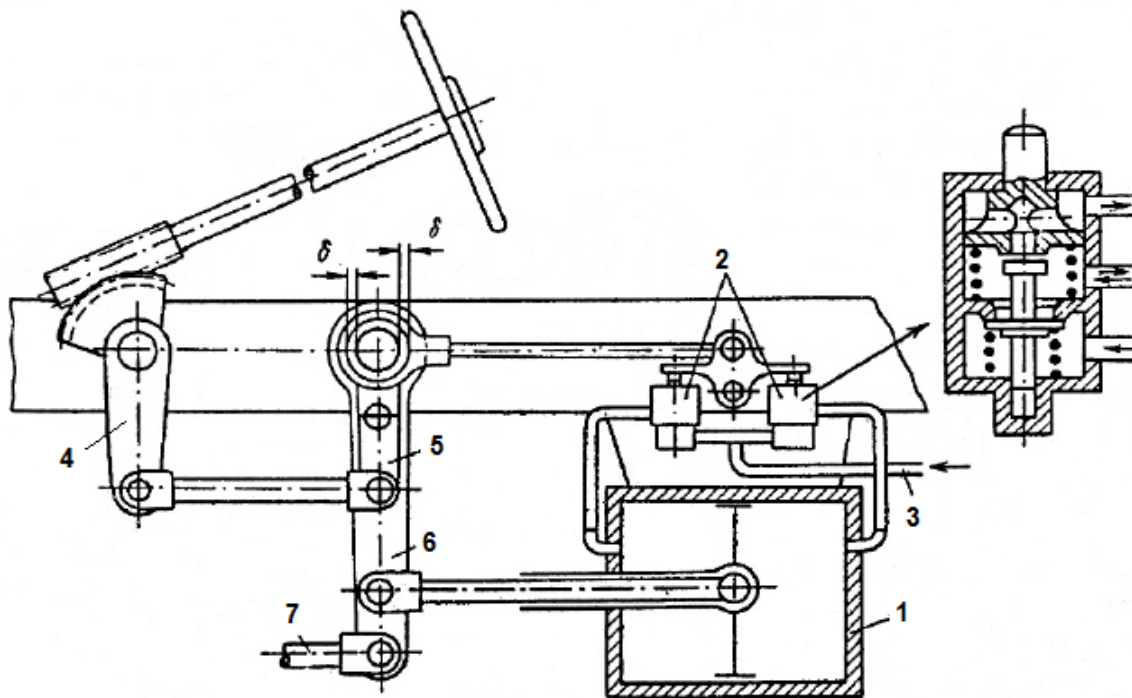
Слика 31. Електро-хидраулички серво-управљачки уређај [14]

1 - Уљана пумпа под притиском, 2 - Вентил на управљачком систему, 3 - Електро-хидраулички конвертер, 4 - Управљачка јединица (ЕЦУ), 5 - Електронски мерач брзине, 6 – Батерија.

Основа овог система је електронска јединица која регулише рад електромотора задуженог за рад серво уређаја. Електронска јединица смањује или повећава снагу електромотора а самим тим точак управљача се заокреће лакше, односно теже. На дужим релацијама компјутер потпуно гаси електромотор и тако продужава његов радни век. Код Fiat-а, на централној конзоли постоји тастер "City". Притиском на њега електромотор ради пуним капацитетом и тако смањује потребну силу заокретања на само један килограм што је одлично за маневрисање у градској гужви и на паркингу. Даља упутства о динамици вожње рачунар добија од сензора који мери обртни моменат мотора серво уређаја. Електронска јединица добија и информацију о тренутној брзини кретања возила па усклађује асистенцију серво уређаја у складу с тим. Карактеристика овог система је и та што возач не мора да се оптерећује тиме да ли је угасио "City" мод. Рачунар сам прелази у нормалан мод чим се возило креће брже од 70 km/h. [14]

3.2. Пнеуматски серво уређаји

Пнеуматски појачавачи су нашли широку примену 50 година на теретним возилима са пнеуматским инсталацијама. Ови појачавачи у поређењу са хидрауличким имају читав низ недостатака. Хидраулички појачавачи су у односу на пнеуматске бешумни у раду, мањих су димензија, бољи су амортизери удара, омогућавају одржавање жељеног правца кретања при интензивнијем бочном дејству сила као и у случају изненадног прскања предњег пнеуматика, брже реагују од пнеуматских за 50 пута тј. имају знатно мање време одзива и захтевају двоструко мању снагу од пнеуматских. Притисак ваздуха у пнеуматском систему је прилично низак од 6 до 9 bar – а и из тог разлога имају већи мотор. [3]



Слика 32. Шема пнеуматског серво уређаја [8]

Код пнеуматског серво механизма (слика 32) који се обично уграђује на возила која пнеуматску инсталацију користе и у друге сврхе, такође постоји радни цилиндар (1), разводник (2) у који се доводи компримовани ваздух кроз вод (3). Заокретањем управљачког точка преко рамена (4) делује се на полу (5) преко које се делује на разводник. Ваздух се доводи у одговарајућу страну цилиндра, те се преко клипа и клипаче делује директно на полу (6) а преко ње на подужну спону (7). [3]

3.3. Електрични серво уређаји

Први серијски електрични серво - управљач развијен је у фирми Lucas Industries. Електрични серво-управљач, "EPAS" ("Electric Power Assisted Steering") (слика36), садржи четири главне компоненте:

- електронску управљачку јединицу,
- опто-електрични давач обртног момента,
- електромотор,
- преносник са спојницом.

Све компоненте су склопљене у компактну целину која се монтира на произвољно место на стубу управљача. Електронска управљачка јединица "EPAS"-а може се повезати са другим електронским системима возила. Брзина вожње и број обртаја мотора могу се, такође, преко веза или директно увести у "EPAS". Опто-електрични давач прецизно одређује силу коју развија возач на точку управљача и преноси вредност ка електронској управљачкој јединици. Електронска управљачка јединица израчунава, на основу унапред датих параметара, укупну потребну силу на управљачу и регулише снагу електромотора.

У односу на хидрауличке серво-уређаје, велика је разлика у броју делова: док се електрични серво-управљач састоји из 4 компоненте, хидраулички се састоји из 40-50 делова који се монтирају у различитим тачкама моторског простора. То има велики утицај на време трајања монтаже. Fiat и Renault су тестовима дошли до резултата да је време монтаже електричног серво-уређаја само 4-6 минута, што је неколико пута краће од времена потребног за монтажу хидрауличног серво-уређаја. И у погледу тежине, електрична варијанта се показала бољом. На пример, хидраулички серво- уређај возила Fiat Punto има масу од 13,14 kg, док електрични има масу од 10,3 kg. ECE 15 тестови показали су за 4 % већи утрошак горива при употреби хидрауличног у односу на електрични серво-управљач. Осим тога, електрични серво-уређај ради без употребе течности штетних по околину, које се могу излити из водова и резервоара при саобраћајној незгоди или током експлоатације. [14]

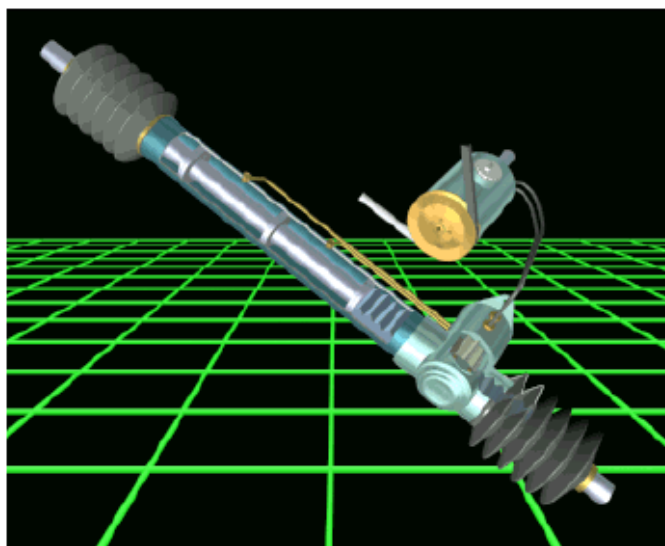
У односу на електричне серво-уређаје, електро-хидраулички серво-уређаји доводе до већег утрошка горива (око 2 % код возила компакт класе). Време монтаже и одржавања електро - хидрауличких система је дужи. Такође, они су 30 % скупљи од хидрауличких серво - уређаја.

Од три актуелна техничка концепта серво-управљача, електрични показује највише предности. По утрощу горива, комфору, тежини, комплексности и времену уградње, као и флексибилности у употреби, електрична варијанта превазилази сва остала решења. По питању поузданости и робусности, она држи корак са другим решењима. Најважнији аргумент против електричних серво-управљача је, до сада, само цена. Међутим, при

сличном броју комада у серији, електрични серво-уређај се може произвести најмање са истим трошковима као код хидрауличног решења, вероватно и повољније. Системи за управљање са електричним серво - уређајем тренутно се користе на неколико модела мањих аутомобила, укључујући Fiat Punto и Nissan NSX. Готово сви водећи светски произвођачи раде на развоју и увођењу електричних серво уређаја, а већ се могу наћи у серијској примени код модела BMW-а и Hyundai-а. [14]



Слика 33. Зупчаста летва са електричним серво погоном [2]

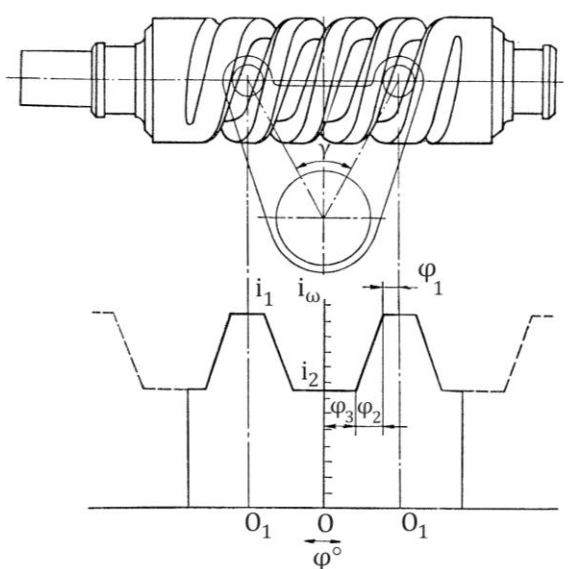


Слика 34. Електрични серво управљачки уређај [5]

4. Упоредни приказ закона промене преносних односа по углу различитих извођења управљачких механизма

Како би се силе које возач мора да развије током закретања точка управљача смањиле, између точка управљача и преносног механизма мора да постоји редукција преноса. Преносни однос сила је дефинисан силом коју возач мора да развије на точку управљача да би заокренуо точкове и силе на управљајућим точковима (што је преносни однос већи, окретање точка управљача је лакше). Преносни однос по углу је однос угла заокретања точка управљача у односу на угао заокретања управљајућих точкова (што је преносни однос већи потребно је више обртаја точка управљача за исти отклон точкова). Да би се овај проблем решио, код управљачких система без серво дејства се користе управљачки механизми са варијабилним преносним односом. Код система са сталним преносним односом закретање точка управљача постаје све теже што се управљачки точкови више закрећу од позиције за праволинијско кретање. Да би се кориговала ова појава користе се зупчасте летве са променљивим преносним односом. Да би се постигао већи преносни однос, корак зупчастог пара се смањује, а тиме и лакше закретање волана, али је потребно више обртаја волана да би се стигло до крајњих позиција.

4.1. Управљачки механизми са кулисом



Слика 35. Управљачки механизми са кулисом [16]

У средњем положају прста, кулисе у тачкама O_1 , преносни однос је једнак i_1 и остаје константан до угла заокретања φ_1 у оба смера. При даљем заокретању за угао φ_2 , долази до наглог пада преносног односа до i_2 . У том опсегу, преносни однос је променљив и може да се мења по линеарном или нелинеарном закону.

Од угла заокретања $\varphi_1 + \varphi_2$ надаље, преносни однос је опет константан и једнак је i_2 . Та вредност преносног односа може се задржати до угла заокретања $\varphi_4 = 2\varphi_3$, после чега преносни однос се поново мења од i_2 до i_1 , при даљем заокретању за угао φ_2 .

Угао између оса прстију криваје:

$$\gamma = 2(\beta_1 + \beta_2 + \beta_3) \quad \beta_1 = \frac{\varphi_1}{i_1} \quad \beta_2 = \frac{\varphi_2}{i_x} \quad \beta_3 = \frac{\varphi_3}{i_2} \quad (1)$$

i_x - средња вредност преносног односа при заокретању управљачких вратила за угао φ_2 .

$$\gamma = 2\left(\frac{\varphi_1}{i_1} + \frac{\varphi_2}{i_x} + \frac{\varphi_3}{i_2}\right) \quad (2)$$

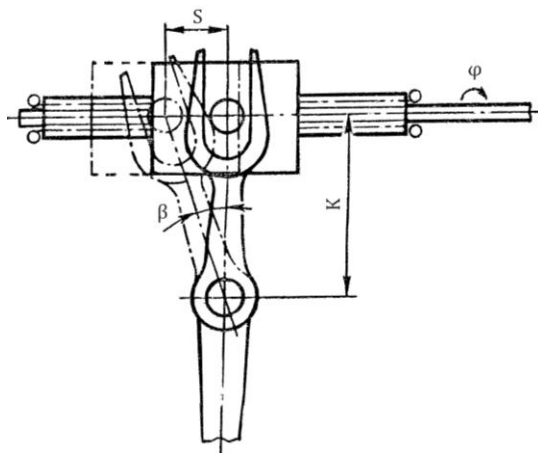
Угао β_2 се налази преко закона линеарне промене преносног односа:

$$\beta_2 = \frac{\varphi_2}{i_1 - i_2} (\ln i_1 - \ln i_2) \quad (3)$$

4.2. Управљачки механизми типа завојница – навртка

Преносни односи управљачких механизма са завојницом и навртком могу бити константни и променљиви. Величина преносног односа зависи од конструктивних односа преносника, а карактер његове промене зависи од принципа рада преносног пара.

4.2.1. Завојница-навртка-обртна виљушка



Слика 36. Управљачки механизам (завојница-навртка-обртна виљушка) [16]

Улазни елемент је завојница, а излазни елемент је обртна виљушка (слика 36).

$$\varphi = \frac{2\pi \cdot k}{t} \cdot \operatorname{tg} \beta \quad S = \frac{t}{2\pi} \cdot \varphi \quad (4)$$

где је:

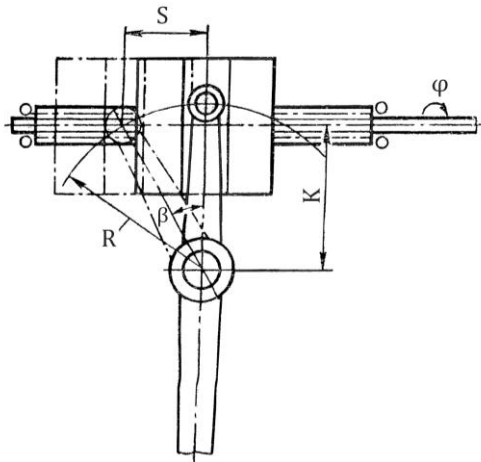
φ - угао заокретања завојнице,

t - корак завојнице,

S - ход навртке.

$$i_{\omega} = \frac{2\pi \cdot k}{t} + \frac{t \cdot \varphi^2}{2\pi \cdot k} \quad (5)$$

4.2.2. Завојница - навртка – кулиса



Слика 37. Управљачки механизам (завојница-навртка-кулиса) [16]

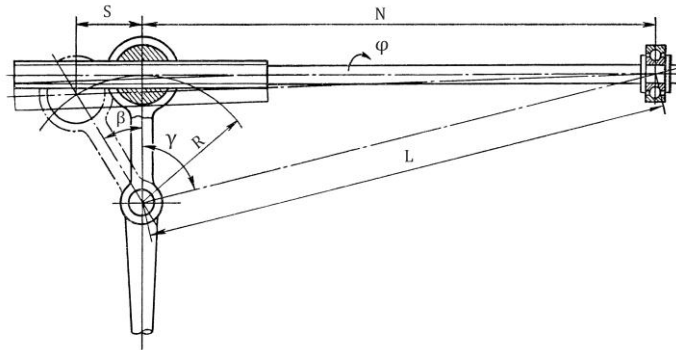
Управљачки механизам завојница-навртка-кулиса је приказан на слици 37.

$$\varphi = \frac{2\pi \cdot R}{t} \cdot \sin \beta \quad \frac{d\varphi}{d\beta} = i_{\omega} = \frac{2\pi \cdot R}{t} \cdot \cos \beta \quad (6)$$

$$\cos \beta = \sqrt{1 - \sin^2 \beta} = \sqrt{1 - \frac{t^2 \varphi^2}{4\pi^2 R^2}} \quad (7)$$

$$i_{\omega} = \sqrt{\left(\frac{2\pi \cdot R}{t}\right)^2 - \varphi^2} \quad (8)$$

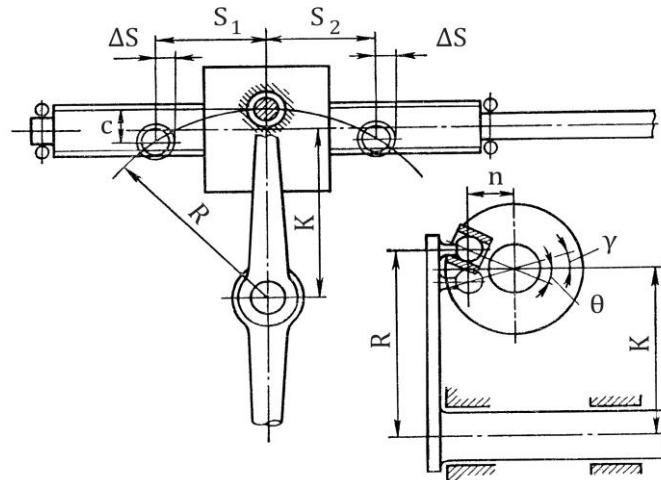
4.2.3. Клатећа завојница – навртка



Слика 38. Управљачки механизам (клатећа завојница – навртка) [16]

$$S = \frac{t}{2\pi} \cdot \varphi \quad \cos(\gamma \pm \beta) = \frac{2R^2 \pm \frac{t\varphi}{\pi} \sqrt{L^2 - R^2} - \left(\frac{t\varphi}{2\pi}\right)^2}{2RL} \quad (9)$$

4.2.4. Завојница-покретна навртка



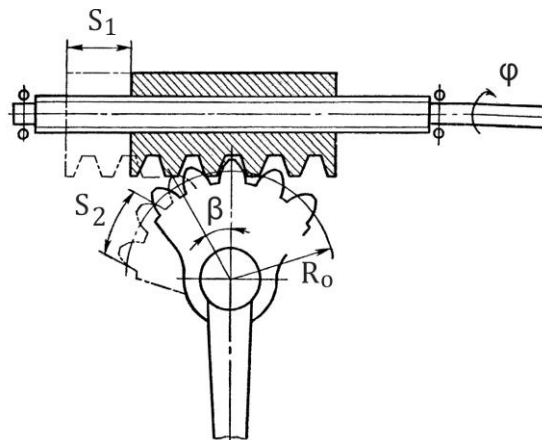
Слика 39. Управљачки механизам (завојница-покретна навртка) [16]

Зглобно за прст криваје је везана навртка. Када се прст помера по кругу полупречника R , он са собом повлачи и навртку. Навртка се креће транслаторно дуж завојнице и обртно око њене осе за угао α од средњег положаја, повећавајући и смањујући ход s за Δs .

$$R \sin \beta = \frac{t}{2\pi} (\varphi \pm \alpha) \quad (10)$$

$$i_{\omega} = \frac{2\pi \cdot R}{t} \cdot \cos \beta \pm \frac{nR \sin \beta}{n^2 + (R \cos \beta - K)^2} \quad (11)$$

4.2.5 Завојница-навртка-зупчасти сектор

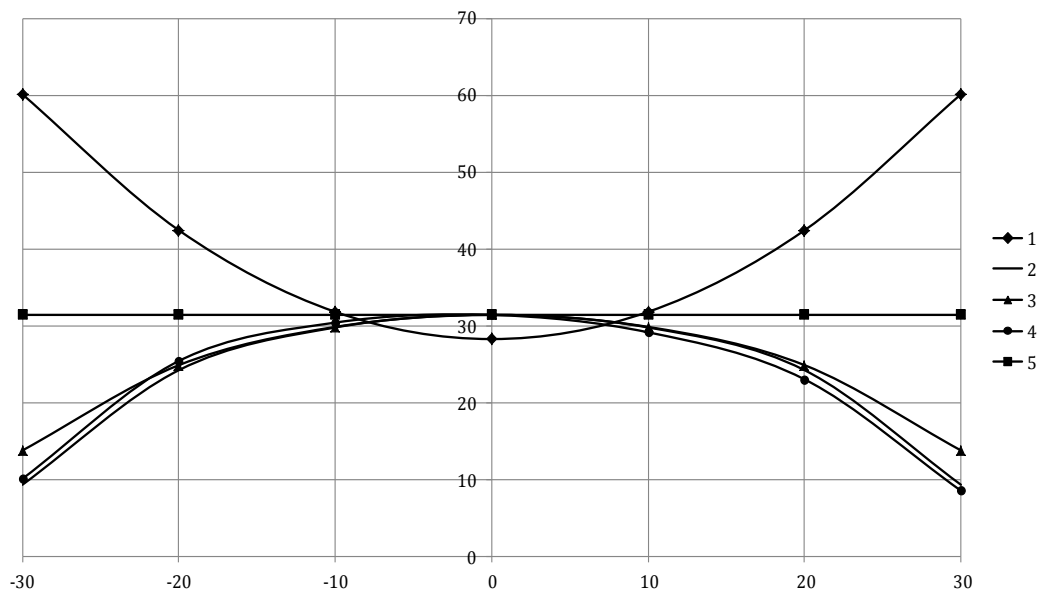


Слика 40. Управљачки механизам (завојница-навртка-зупчасти сектор) [16]

За исти ход премештају се све тачке навртке, па и зуби смештени на једној њеној страни.

$$i_{\omega} = 2\pi \frac{R_0}{t} \quad (12)$$

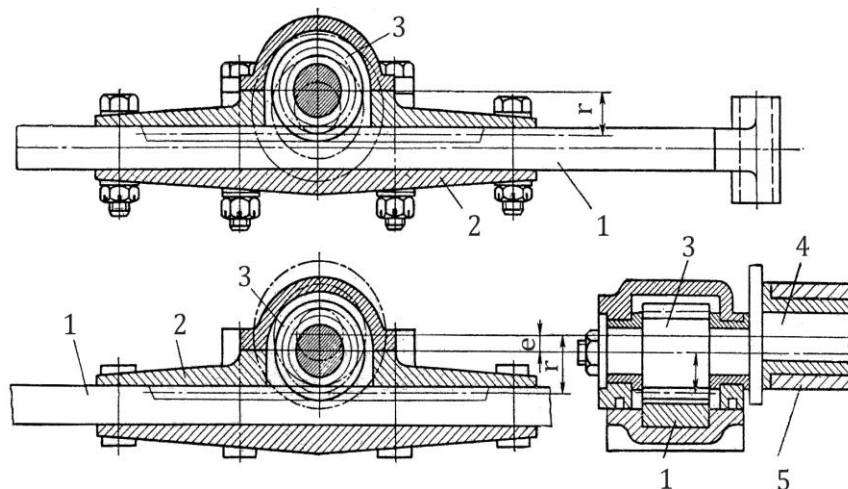
На слици 41 је приказано поређење преносних односа различитих управљачких механизма типа завојница – навртка



Слика 41. Преносни односи различитих управљачких механизма типа завојница – навртка

4.3. Управљачки механизам са зупчастом летвом

Променљив преносни однос постиже се уз помоћ зупчаника ексцентрично постављеног у односу на управљачко вратило (слика 42).



Слика 42. Ексцентрично постављени зупчаници у односу на управљачко вратило [16]

Осе зупчаника 2 и управљачко вратило 3 смештене су на растојању e једна од друге. На тај начин се оса зупчаника креће по кругу радијуса e у односу на осу управљачког вратила, услед чега радијус спрезања са зупчастом летвом p , мења се од $r_1 - e$ до $r_1 + e$ где је r_1 радијус подеоног круга зупчаника. Ако је преносни однос овог преносника у случају саосности зупчаника и управљачког вратила једнак i_w при ексцентричном положају осе он се мења од:

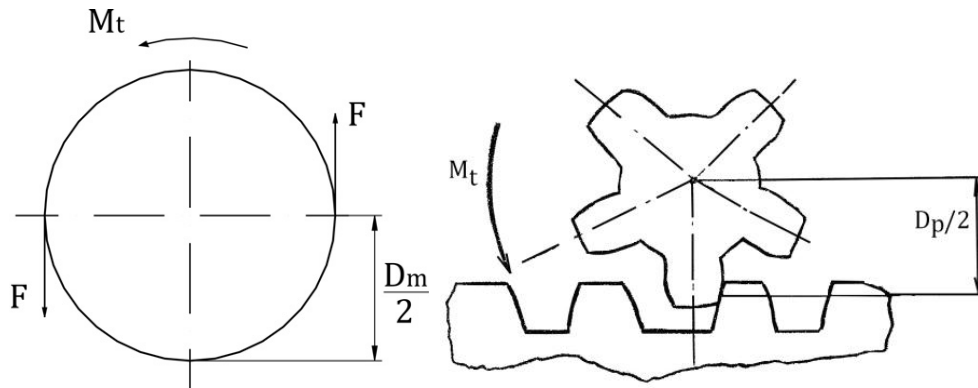
$$i_{\omega 1} = i_w \frac{r_1}{r_1 - e} \quad \text{до} \quad i_{\omega 2} = i_w \frac{r_1}{r_1 + e} \quad (13)$$

Дакле у зависности од тога како стоји ексцентрицитет зупчаника у односу на осу управљачког вратила, преносни однос ће се или повећавати или смањивати [16].

5. Прорачун елемената управљачког механизма зупчаник – зупчаста летва

Подаци:

- средњи пречник точка управљача: $D_m = 350 \text{ mm}$,
- сила којом возач делује на точак управљача: $F = 10 \text{ daN}$,
- максимални момент на управљачу: $M_t = 3500 \text{ daNmm}$,
- пречник подеоног круга зупчаника: $D_p = 14,576 \text{ mm}$,
- сила коју предаје зупчаник: $F_z = 480,24 \text{ daN}$.



Слика 43. Приказ познатих података

Прорачун основних команди управљача

а) Осовина горњег дела команде управљача:

За материјал ове осовине се усваја: $\check{C}1330$.

Затезна чврстоћа: $R_m = 500 - 630 \text{ MPa}$,

Граница развлачња: $R_{eH} = 300 \text{ MPa}$.

За неколико пречника осовине врши се провера момента увијања и за најмањи се усваја пречник осовине. Провера је дата табеларно:

Табела 1.

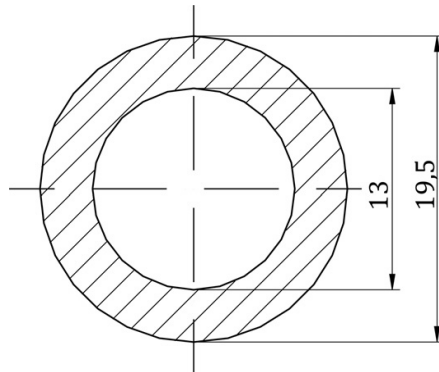
d [mm]	$W_t [\text{mm}^3]$	$M_t [\text{daNmm}]$	$\tau [\text{MPa}]$
14	538,738	3500	64,96
16,5	882,026	3500	39,68
18,5	1243,211	3500	28,16
19,5	1455,906	3500	24,04

б) Осовина (цеваста) доњег дела команде управљача:

За материјал ове осовине се усваја: Č0270.

Затезна чврстоћа: $R_m = 340 - 420 \text{ MPa}$,

Граница развлачња: $R_{eH} = 200 \text{ MPa}$.



$$W_t = \frac{\pi}{16} \frac{D^4 - d^4}{D} = \frac{\pi}{16} \frac{19,5^4 - 13^4}{19,5} = 1168,321 \text{ mm}^3 \quad (14)$$

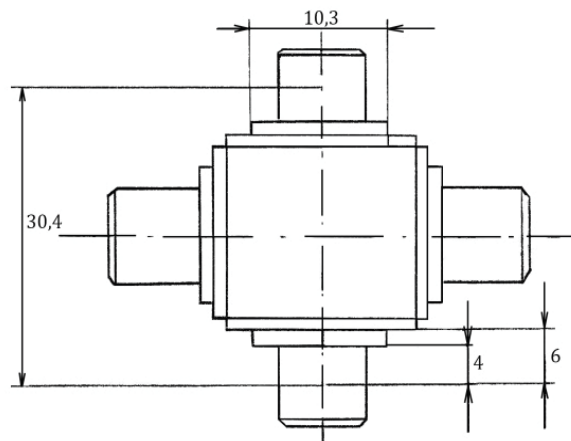
$$\tau = \frac{M_t}{W_t} = \frac{35000}{1168,321} = 29,963 \text{ MPa} \quad (15)$$

в) Кардански зглоб који везује горњу и доњу осовину команде управљача:

За материјал овог зглоба се усваја: Č1730.

Затезна чврстоћа: $R_m = 800 - 950 \text{ MPa}$,

Граница развлачња: $R_{eH} = 520 \text{ MPa}$.



$$W_1 = \frac{\pi \cdot 10,3^3}{32} = 107,28 \text{ mm}^3 \quad (16)$$

$$W_2 = \frac{\pi \cdot 10,0^3}{32} = 98,17 \text{ mm}^3 \quad (17)$$

Тангенцијална сила на крацима крста:

$$T = \frac{M_t}{d} = \frac{3500}{30,4} = 115,132 \text{ daN} \quad (18)$$

Напони савијања:

$$\sigma_1 = \frac{6 \cdot T}{W_1} = \frac{6 \cdot 115,132}{107,28} = 64,391 \text{ MPa} \quad (19)$$

$$\sigma_2 = \frac{6 \cdot T}{W_2} = \frac{6 \cdot 115,132}{98,17} = 70,367 \text{ MPa} \quad (20)$$

г) Лежишта карданског зглоба:

- Унутрашњи пречник лежаја: $D=10 \text{ mm}$,
- Дужина наслона ваљка (ширина): $l=6,3 \text{ mm}$,
- Пречник ваљчића: $d=2,248 \text{ mm}$,
- Број ваљчића: $z=17$,
- Модул еластичности за челик: $E=21000 \text{ MPa}$.

Највећа сила која делује на један ваљчић:

$$P = \frac{4,6 \cdot T}{z} = \frac{4,6 \cdot 115,132}{17} = 31,155 \text{ daN} \quad (21)$$

Коефицијент средњег притиска на подлошку (прстен лежаја):

$$c = \frac{\pi \cdot 0,419 \cdot 2}{4} \sqrt{\frac{D+d}{D}} E = 0,4654 \sqrt{\frac{10+2,248}{10}} 21000 = 74,23 \text{ MPa} \quad (22)$$

Средњи специфични притисак:

$$P_s = c \sqrt{\frac{P}{l \cdot d}} = 74,23 \sqrt{\frac{31,155}{6,3 \cdot 2,248}} = 110,704 \text{ MPa} \quad (23)$$

Максимални специфични притисак:

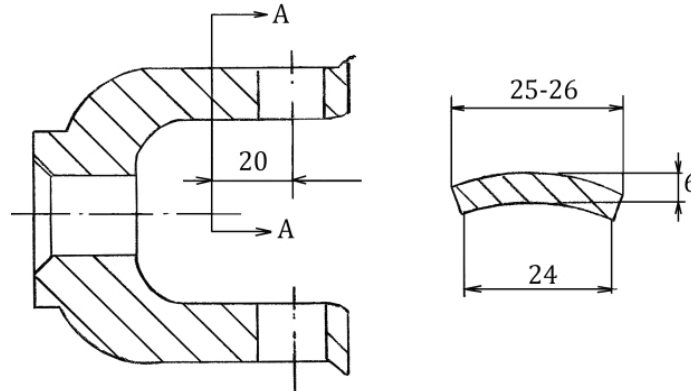
$$P_{max} = \frac{4}{\pi} P_s = \frac{4}{\pi} 110,704 = 140,953 \text{ MPa} \quad (24)$$

д) Реакција карданског зглоба:

За материјал овог зглоба се усваја: Č0370.

Затезна чврстоћа: $R_m = 370 - 450 \text{ MPa}$,

Граница развлачња: $R_{eH} = 230 \text{ MPa}$.



За дати пресек отпорни момент је:

$$W = \frac{6 \cdot 24^2}{6} = 576 \text{ mm}^3 \quad (25)$$

Напон на савијање:

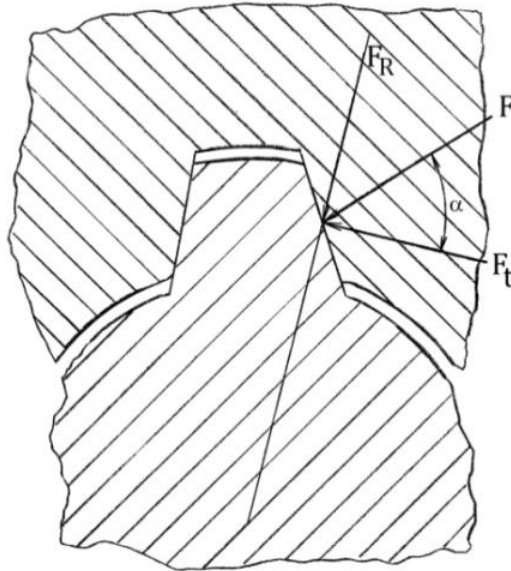
$$\sigma = \frac{20 \cdot T}{W} = \frac{20 \cdot 1151,32}{576} = 39,976 \text{ MPa} \quad (26)$$

Озубљење горње осовине управљача и главчине карданског зглоба

За материјал осовине се усваја: Č1330.

- Затезна чврстоћа: $R_m = 500 - 630 \text{ MPa}$,
- Граница развлачња: $R_{eH} = 300 \text{ MPa}$,
- Еволвентни профил зупца: "ASA" 32/64,
- Унутрашњи пречник главчине: $d=18,13 \text{ mm}$,
- Спољашњи пречник главчине: $D=19,15 \text{ mm}$,
- Дужина контакта главчине са осовином: $l=14 \text{ mm}$,
- Ширина подножја зуба на главчини: $s=3 \text{ mm}$,
- Ширина подножја зуба на осовини: $s=3,2 \text{ mm}$,

- Број зубаца: $z=21$,
- Модул зупчаника: $m=0,7937 \text{ mm}$,
- Нападни угао силе притиска: $\alpha=35^\circ$,
- Коефицијент искоришћења бока зуба на осовини и на главчини: $\xi=0,75$.



Са слике се одређује укупна тангенцијална сила која делује на зуб:

$$F_t = \frac{4 \cdot M_t}{D + d} = \frac{4 \cdot 3500}{19,15 + 18,13} = 375,536 \text{ daN} \quad (27)$$

Површина контакта:

$$A = \frac{D - d}{2} l \cdot z = \frac{19,15 - 18,13}{2} 14 \cdot 21 = 201,39 \text{ mm}^2 \quad (28)$$

Површина стварног контакта:

$$A = \frac{A}{\cos \alpha} = \frac{201,39}{\cos 35} = 245,852 \text{ mm}^2 \quad (29)$$

Притисак на површини контакта:

$$P = \frac{F_t}{\xi A_s} = \frac{3755,36}{0,75 \cdot 245,852} = 20,366 \text{ MPa} \quad (30)$$

Напон корена зуба осовине:

$$\tau = \frac{2 \cdot c}{\xi \cdot l \cdot s \cdot z \cdot d} = \frac{2 \cdot 3500}{0,75 \cdot 14 \cdot 3,2 \cdot 21 \cdot 18,3} = 0,5421 \text{ MPa} \quad (31)$$

За материјал главчине се усваја: Č1530.

Затезна чврстоћа: $R_m = 650 - 800 \text{ MPa}$,

Граница развлачња: $R_{eH} = 430 \text{ MPa}$.

Напон корена зуба главчине:

$$\tau = \frac{2 \cdot c}{\xi \cdot l \cdot s \cdot z \cdot d} = \frac{2 \cdot 3500}{0,75 \cdot 14 \cdot 3 \cdot 21 \cdot 18,3} = 0,5782 \text{ MPa} \quad (32)$$

Озубљење друге главчине и вретена зупчаника (на доњем делу друге цевасте осовине)

За материјал осовине се усваја: Č1330.

- Затезна чврстоћа: $R_m = 500 - 630 \text{ MPa}$,
- Граница развлачња: $R_{eH} = 300 \text{ MPa}$.

За материјал главчине се усваја: Č0270.

- Затезна чврстоћа: $R_m = 340 - 420 \text{ MPa}$,
- Граница развлачња: $R_{eH} = 200 \text{ MPa}$,
- Унутрашњи пречник главчине: $d=15,18 \text{ mm}$,
- Спољашњи пречник главчине: $D=16,14 \text{ mm}$,
- Дужина контакта главчине са осовином: $l=12 \text{ mm}$,
- Ширина подножја зуба на главчини: $s=3 \text{ mm}$,
- Ширина подножја зуба на осовини: $s=3,2 \text{ mm}$,
- Број зубаца: $z=14$,
- Модул зупчаника: $m=0,7937 \text{ mm}$,
- Нападни угао силе притиска: $\alpha=45^\circ$,
- Коефицијент искоришћења бока зуба на осовини и на главчини: $\xi=0,75$.

Укупна тангенцијална сила која делује на зуб:

$$F_t = \frac{4 \cdot M_t}{D + d} = \frac{4 \cdot 3500}{15,18 + 16,14} = 446,999 \text{ daN} \quad (33)$$

Површина привидног додира:

$$A = \frac{D - d}{2} l \cdot z = \frac{16,14 - 15,18}{2} 12 \cdot 17 = 97,92 \text{ mm}^2 \quad (34)$$

Површина стварног додира:

$$A = \frac{A}{\cos \alpha} = \frac{97,92}{\cos 45} = 138,48 \text{ mm}^2 \quad (35)$$

Притисак на површини контакта:

$$P = \frac{\frac{F_t}{\cos \alpha}}{\xi \cdot A_s} = \frac{F_t}{\xi \cdot \frac{A}{\cos \alpha}} = \frac{4469,99}{0,75 \cdot 97,92} = 60,866 \text{ MPa} \quad (36)$$

Зупчаник (цилиндрични) команде управљача - узупчује се са зупчастом летвом

За материјал овог зупчаника се усваја: Č3135.

- Затезна чврстоћа: $R_m = 690 - 840 \text{ MPa}$,
- Граница развлачња: $R_{eH} = 490 \text{ MPa}$,
- Пречник основног круга: $D_o = 15,13 \text{ mm}$,
- Пречник подеоног круга: $D_p = 15,314 \text{ mm}$,
- Пречник теменог круга: $D_t = 22,18 \text{ mm}$,
- Број зуба: $z = 5$,
- Нормални модул: $m = 2,116 \text{ mm}$,
- Кружни модул: $m_k = 2,557 \text{ mm}$,
- Аксијални корак: $a_k = 60,12 \text{ mm}$,
- Ширина зупчаника: $b = 20 \text{ mm}$,
- Тетивни додатак: $a_c = 3,71 \text{ mm}$,
- Угао нагиба зупчaste летве: $\alpha = 20^\circ$,
- Угао нагиба бочних линија: $\beta = 36,10^\circ$,
- Угао нагиба бочних линија основне зупчaste летве: $\beta_b = 33,93^\circ$,
- Угао нагиба додирнице: $\alpha_c = 25,75^\circ$.

Тангенцијална сила на зупцу:

$$F_t = \frac{2 \cdot M_t}{D_p} = \frac{2 \cdot 3500}{15,314} = 457,098 \text{ daN} \quad (37)$$

Радијална сила на зупцу:

$$F_R = \frac{F_t \cdot \operatorname{tg} \alpha}{\cos \beta} = \frac{457,098 \cdot \operatorname{tg} 20}{\cos 36,10} = 205,906 \text{ daN} \quad (38)$$

Аксијална сила на зупцу:

$$F_A = F_t \cdot \operatorname{tg} \beta = 457,098 \cdot \operatorname{tg} 36,10 = 333,321 \text{ daN} \quad (39)$$

Резултантна сила на зубу:

$$F = \sqrt{F_t^2 + F_R^2 + F_A^2} = 602,03 \text{ daN} \quad (40)$$

Радијус кинематског круга са апроксимацијом специфичног притиска на зубу зупчаника у захвату:

$$r_{c1} = \frac{D_0}{2} \cos(90 - \alpha) = \frac{15,13}{2} \cos(90 - 20) = 2,59 \text{ mm} \quad (41)$$

Радијус кинематског круга зупчасте летве:

$$r_{c2} = \infty \text{ па је } r_c = \frac{1}{\frac{1}{r_{c1}} + \frac{1}{r_{c2}}} = \frac{1}{\frac{1}{2,59} + \frac{1}{\infty}} = 2,59 \text{ mm} \quad (42)$$

За апроксимирани зуб у захвату рачуна се отпорни момент:

$$W_f = \frac{b \cdot a^2}{6} = \frac{20 \cdot 4,51^2}{6} = 67,80 \text{ mm}^3 \quad (43)$$

Укупна сила која делује:

$$F = \sqrt{F_t^2 + F_A^2} = \sqrt{457,098^2 + 333,321^2} = 565,722 \text{ daN} \quad (44)$$

Апроксимативна вредност прекорачења специфичног притиска по зуба:

$$p = \frac{F}{2 \cdot r_c \cdot b} = \frac{5657,22}{2 \cdot 2,59 \cdot 20} = 54,606 \text{ MPa} \quad (45)$$

Момент савијања:

$$M_f = 1,865 \cdot F = 1,865 \cdot 565,722 = 1055,072 \text{ daNmm} \quad (46)$$

Напон савијања:

$$\sigma_f = \frac{M_f}{W_f} = \frac{10550,72}{67,80} = 155,615 \text{ MPa} \quad (47)$$

Зупчаста летва

За материјал овог зупчаника се усваја: Č1530.

- Затезна чврстоћа: $R_m = 650 - 800 \text{ MPa}$,
- Граница развлачња: $R_{eH} = 430 \text{ MPa}$.

Провера минималног пресека летве:

$$r = \frac{d}{2} = \frac{23}{2} = 11,5 \text{ mm} \quad (48)$$

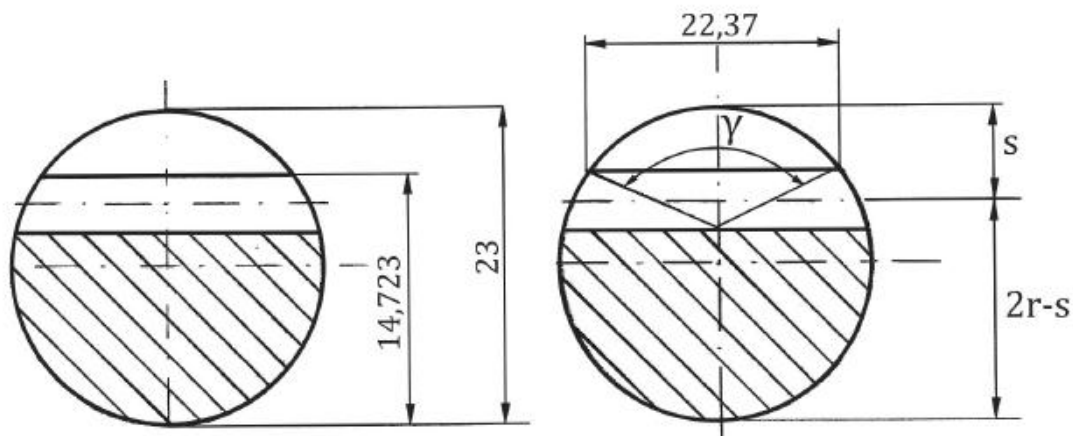
$$s = d - 14,17 = 8,83 \text{ mm} \quad (49)$$

$$c = 2 \cdot s(2 \cdot r - s) = 2 \cdot 14,17(23 - 14,17) = 22,37 \text{ mm} \quad (50)$$

$$\gamma = 2 \cdot \arcsin \frac{c}{2 \cdot r} = 2 \cdot \arcsin \frac{22,37}{2 \cdot 11,5} = 153,117^\circ \quad (51)$$

$$A' = \frac{r^2}{2} (\gamma - \sin \gamma) = \frac{11,5^2}{2} (2,6723 - \sin 153,117) = 146,806 \text{ mm}^2 \quad (52)$$

$$A = \frac{d^2 \pi}{4} - A' = \frac{23^2 \pi}{4} - 146,806 = 268,669 \text{ mm}^2 \quad (53)$$



За најмањи попречни пресек биће највеће напрезање и то:

$$\sigma = \frac{F_t}{A} = \frac{4570,98}{268,669} = 17,01 \text{ MPa} \quad (54)$$

Сферни наставка споне

За материјал се усваја: Č4130.

- Затезна чврстоћа: $R_m = 800 - 950 \text{ MPa}$,
- Граница развлачња: $R_{eH} = 590 \text{ MPa}$.

Провера минималног пресека наставка споне:

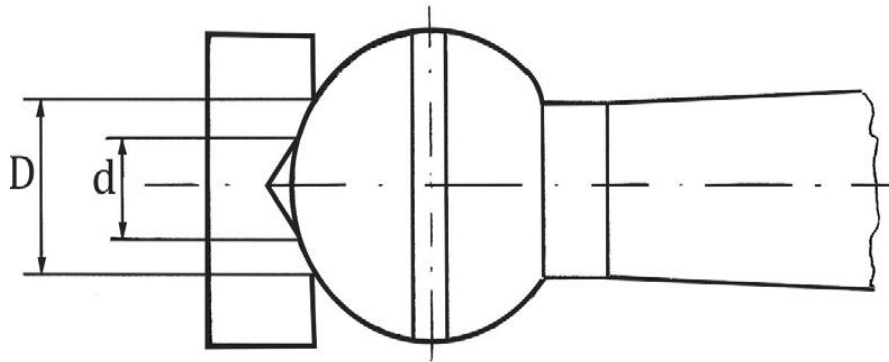
$$A = \frac{d^2 \pi}{4} = \frac{12,5^2 \pi}{4} = 122,718 \text{ mm}^2 \quad (55)$$

$$\sigma = \frac{600 \div 651}{A} = \frac{600 \div 651}{122,718} = 48,892 \div 53,048 \text{ MPa} \quad (56)$$

а) Максимални специфични притисак на подметак сферичног наставка споне:

$$D = 14,7 \text{ mm},$$

$$d = 7 \text{ mm}.$$



$$A = \frac{(D^2 - d^2) \pi}{4} = \frac{(14,7^2 - 7^2) \pi}{4} = 131,2322 \text{ mm}^2 \quad (57)$$

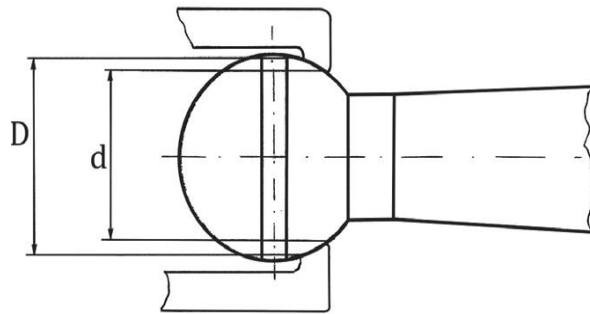
Притисак на површини:

$$p = \frac{600}{131,2322} = 45,720 \text{ MPa} \quad (58)$$

б) Максимални специфични притисак на седишту сферичног наставка споне:

$$D = 21,3 \text{ mm},$$

$d = 19,2 \text{ mm}$.



$$A = \frac{(D^2 - d^2)\pi}{4} = \frac{(21,3^2 - 19,2^2)\pi}{4} = 66,798 \text{ mm}^2 \quad (59)$$

Притисак на површини:

$$p = \frac{6000}{66,798} = 89,84 \text{ MPa} \quad (60)$$

в) Специфични притисак сферичног зглоба у сферичном рукавцу који је уграђен у бочну спону:

- Пречник сферичног зглоба: $d = 23 \text{ mm}$,
- Површина критичног пресека: $A = 15 \cdot 20 = 300 \text{ mm}^2$.

Притисак у критичном пресеку:

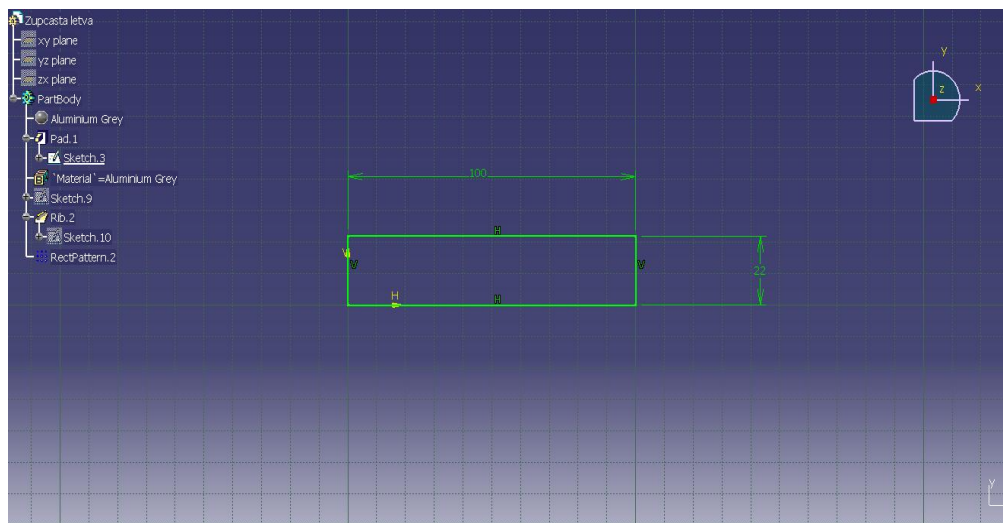
$$p = \frac{6000 \div 6510}{A} = \frac{6000 \div 6510}{300} = 20 \div 21,7 \text{ MPa} \quad (61)$$



6. Конструисање (формирање) делова механизма

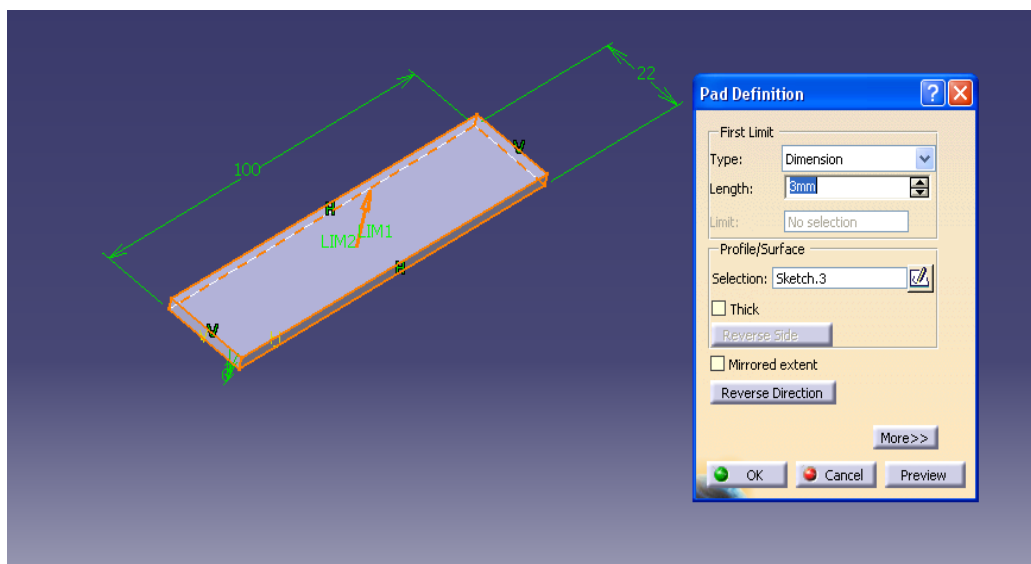
Креирање дела под називом Зупчаста летва:

У модулу **Part Design** изабрати раван XZ и прећи у **Sketcher** радно окружење и у изабраној равни креирати профил приказан на слици 44.



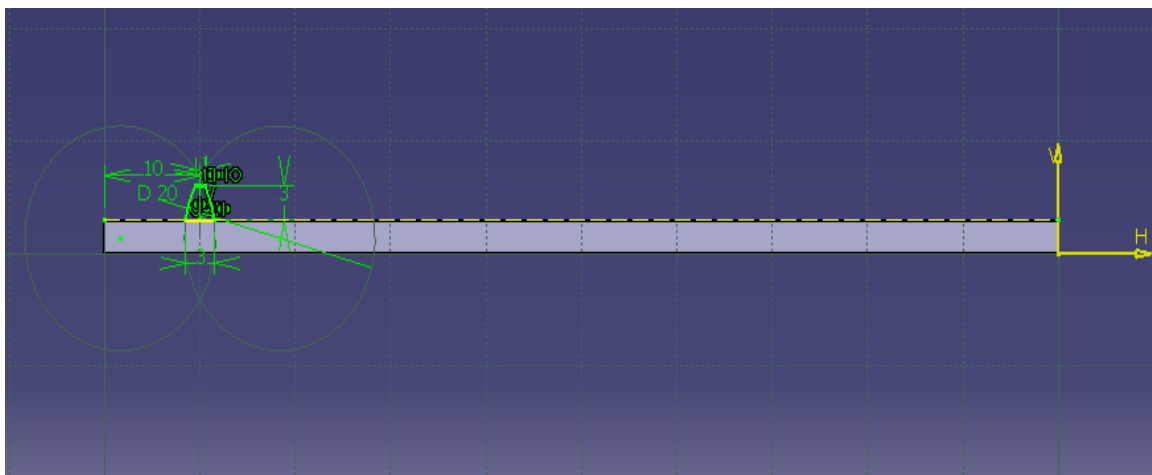
Слика 44. Креирање скице Зупчасте летве

Кликом на икону  прећи у **Part Design** радно окружење, а затим активирати команду **Pad**  и екструдирати профил за 3 mm (слика 45).



Слика 45. Извлачење профила

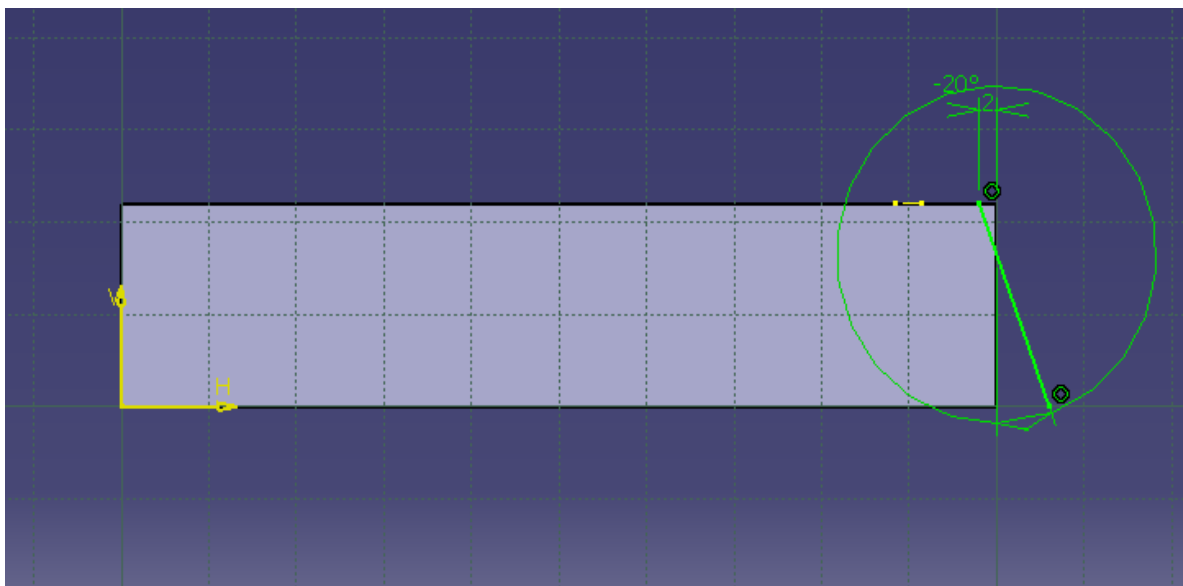
Селектовати бочну страну дела, прећи у **Sketcher** радно окружење и у њему креирати зуб као на слици 46.



Слика 46. Креирање зуба

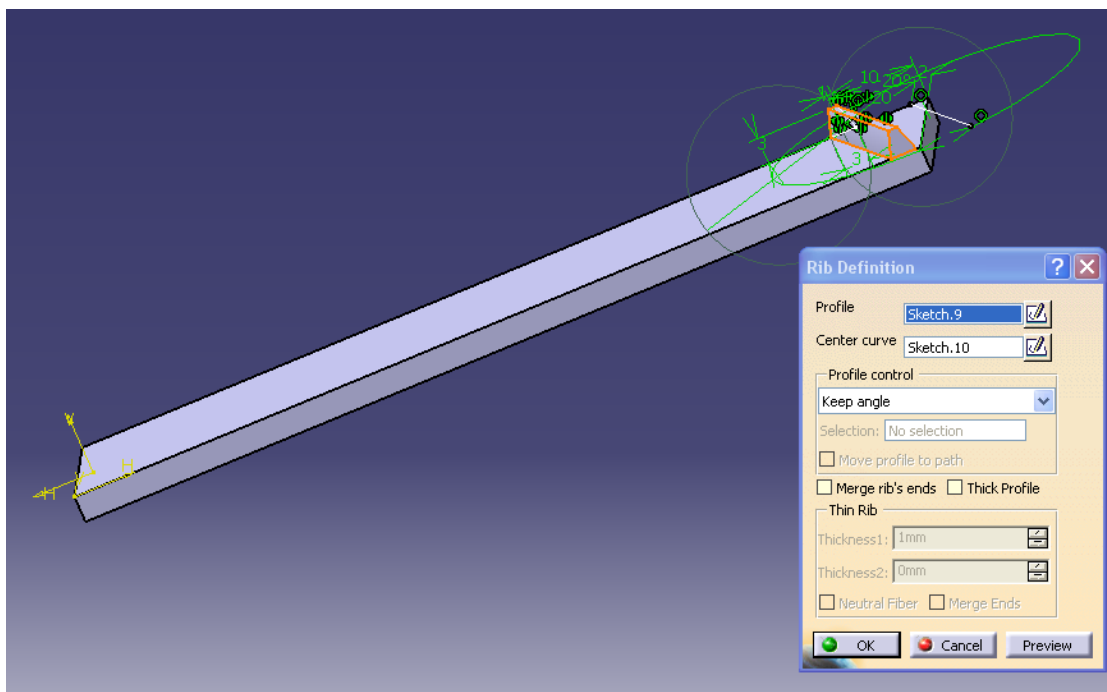
Кликом на икону  прећи из радног окружења **Sketcher** у радно окружење **Part Design**.

Селектовати чеону страну дела, прећи у **Sketcher** радно окружење и у њему нацртати профил као на слици 47.



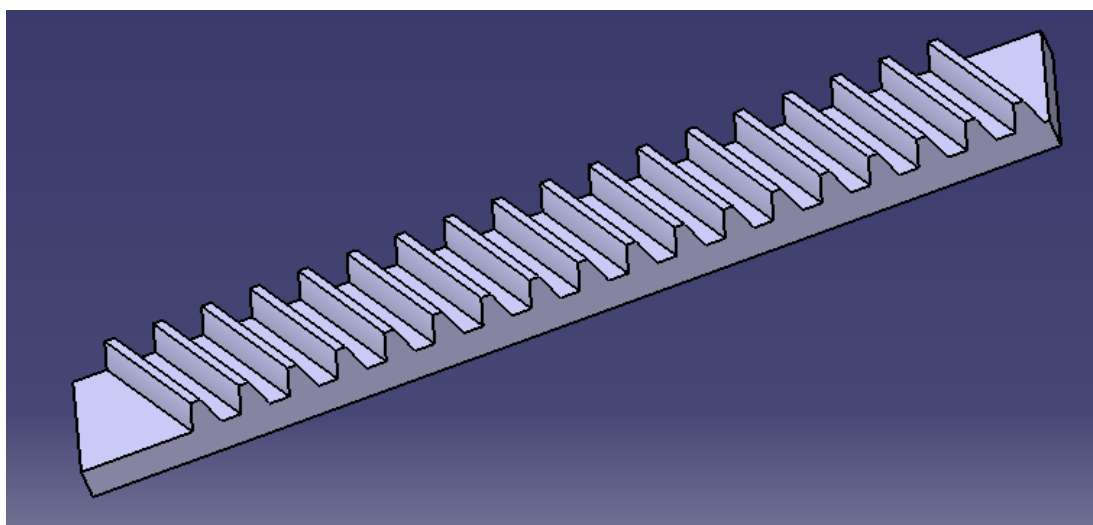
Слика 47. Креирање скице за жлеб

Кликом на икону  прећи из радног окружења **Sketcher** у радно окружење **Part Design**. Кликом на икону **Rib** за додавање материјала отвара се прозор(приказан на сл.29) у коме треба у пољу *Profile* селектовати *Sketch.9* а у оквиру *Center Curve* селектовати *Sketch.10* као на слици 48.



Слика 48. Извлачење зубца

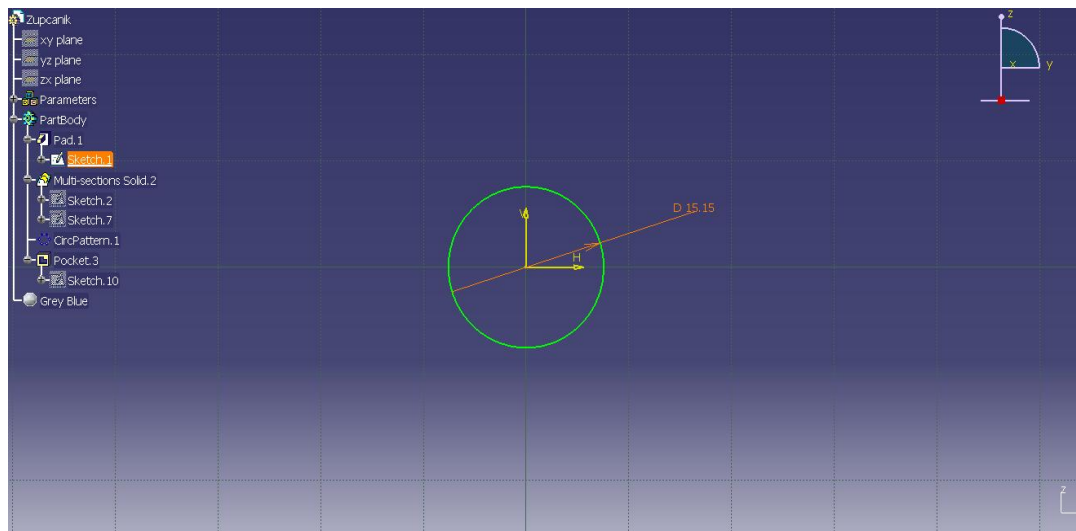
Уз помоћ команде **Rectangular Pattern Definition** врши се умножавање зубаца и добија се завршни изглед Зупчасте летве (слика 49).



Слика 49. Завршни изглед Зупчасте летве

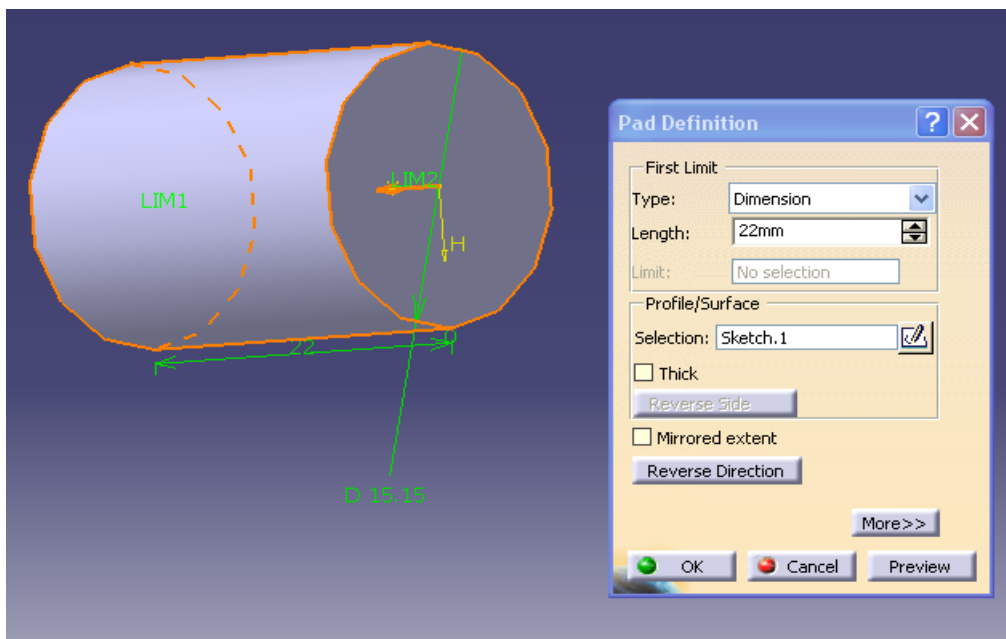
Креирање дела под називом Зупчаник:

У модулу **Part Design** изабрати раван XZ и прећи у **Sketcher**  радно окружење и у изабраној равни креирати профил приказан на слици 50.



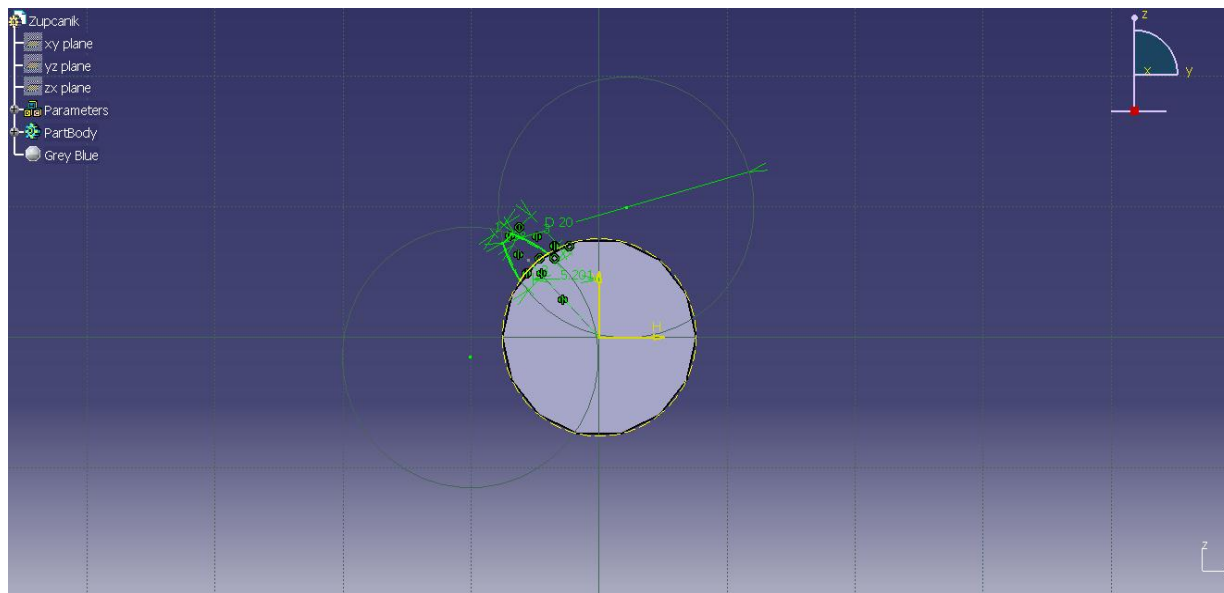
Слика 50. Креирање скице основе зупчаника

Кликом на икону  прећи у **Part Design** радно окружење, а затим активирати команду **Pad**  и екструдирати профил за 22 mm (слика 51).



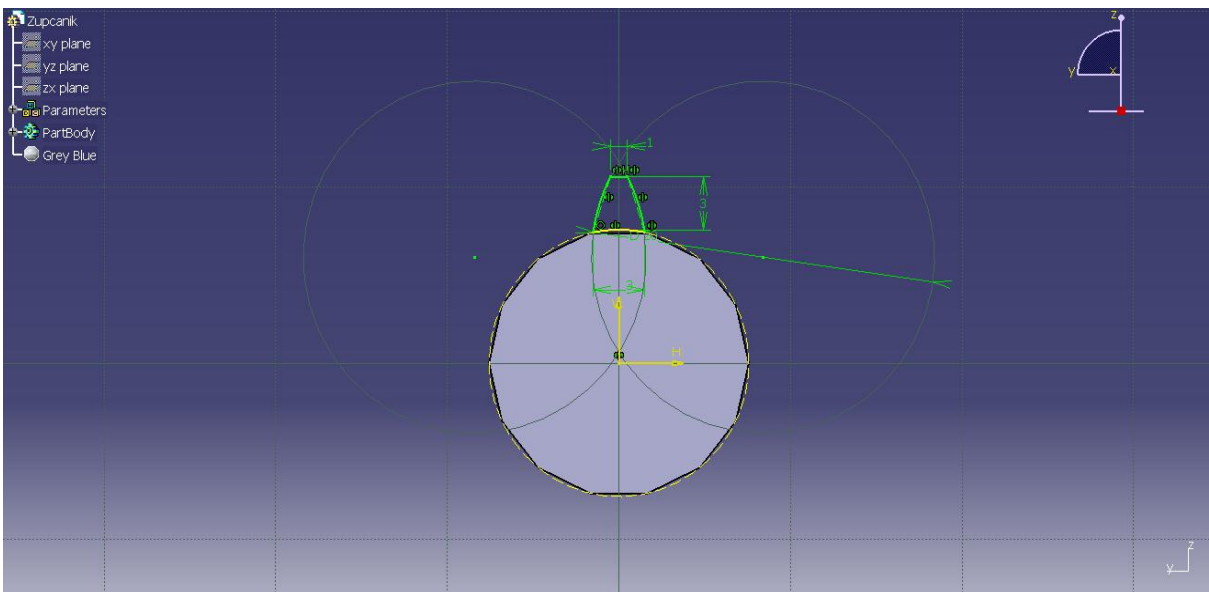
Слика 51. Извлачење профила

Селектовати основу (круг) прећи у **Sketcher** радно окружење и у њему креирати зуб као на слици 52.



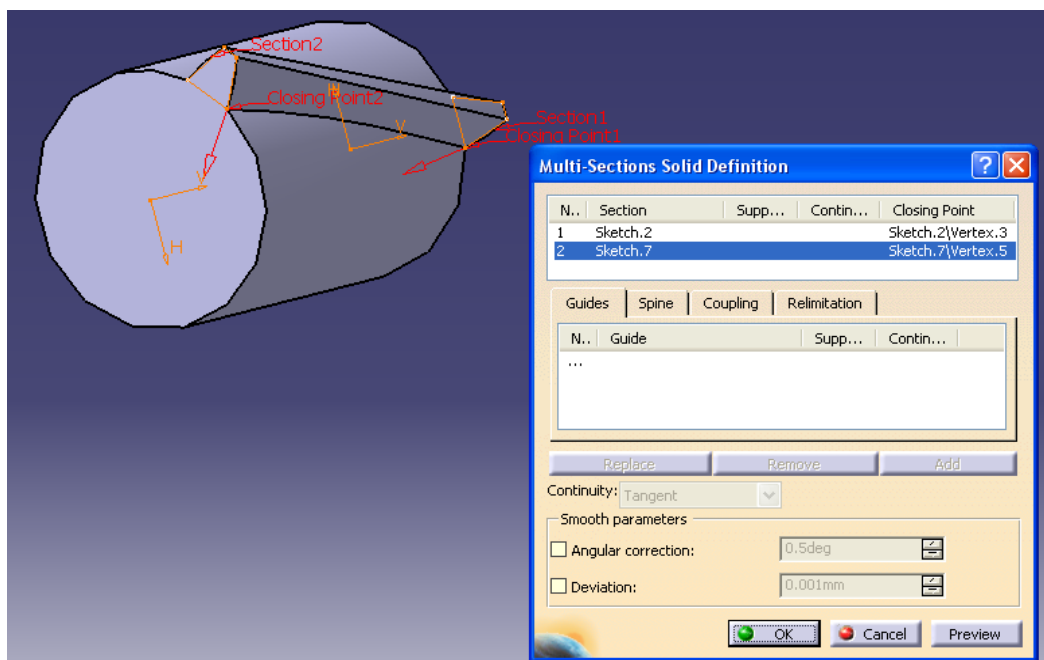
Слика 52. Креирање зуба 1

Кликом на икону  прећи из радног окружења **Sketcher** у радно окружење **Part Design**. Селектовати суседну основу (други круг) и прећи у **Sketcher** радно окружење и нацртати профил као на слици 53.



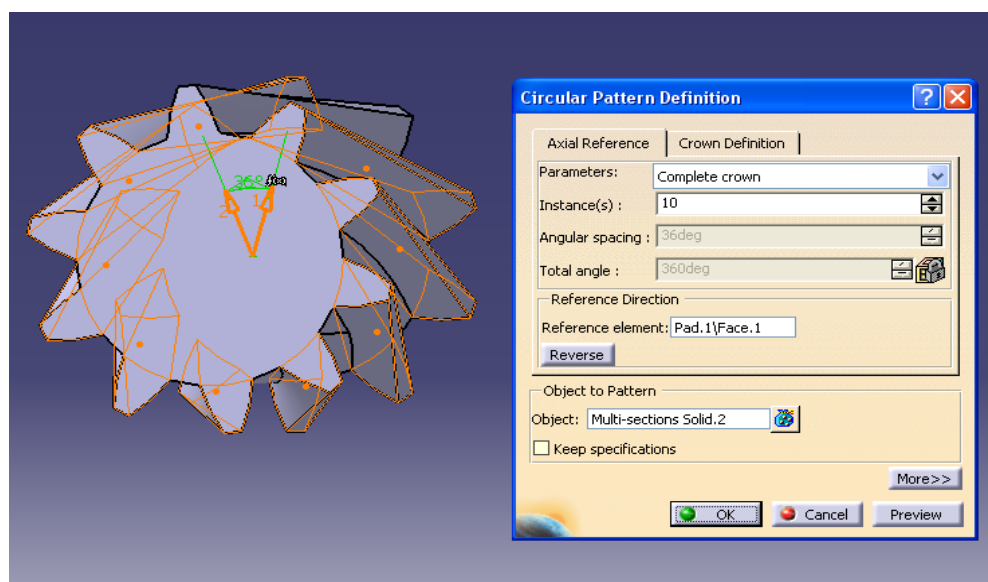
Слика 53. Креирање зуба 2

Кликом на икону  прећи из радног окружења **Sketcher** у радно окружење **Part Design**. Уз помоћ команде **Multi – Sections Solid Definition** извршити повезивање ова два зуба као на слици 54.



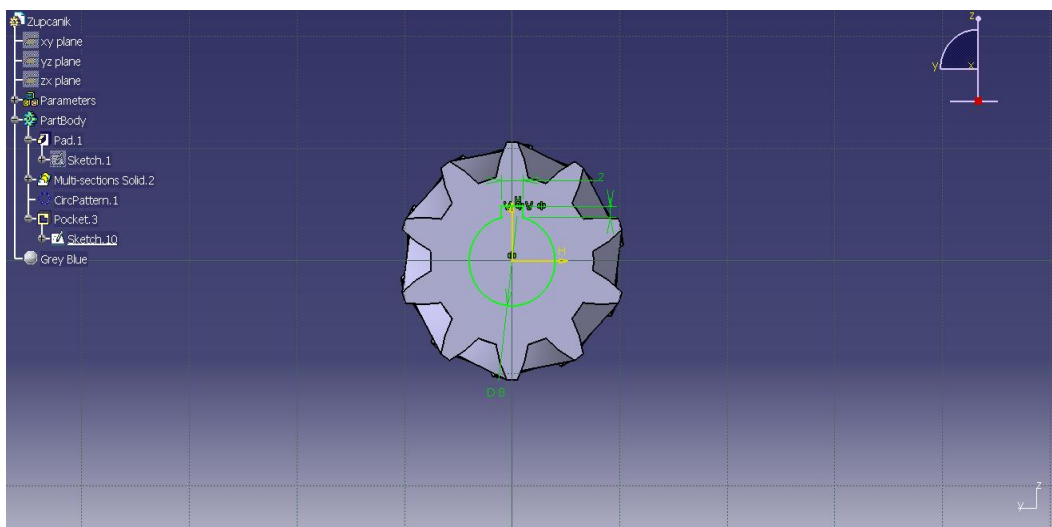
Слика 54. Спајање зуба

Уз помоћ команде **Circular Pattern Definition** врши се умножавање зубаца и добија се будући изглед као на слици 55.



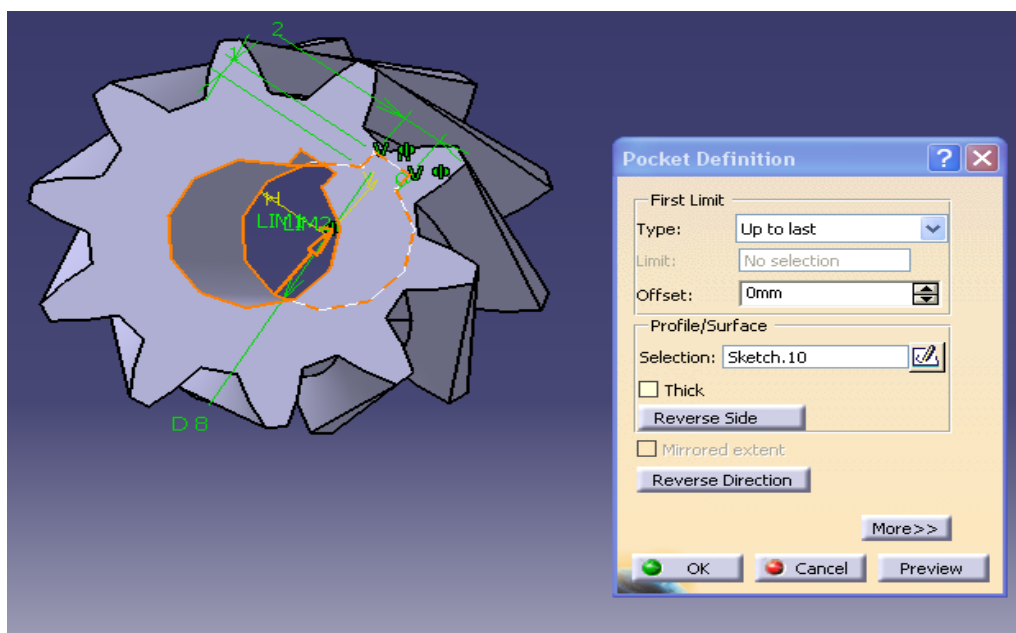
Слика 55. Умножавање зуба

Селектовати основу(круг), прећи у **Sketcher** радно окружење и у њему нацртати профил као на слици 56.



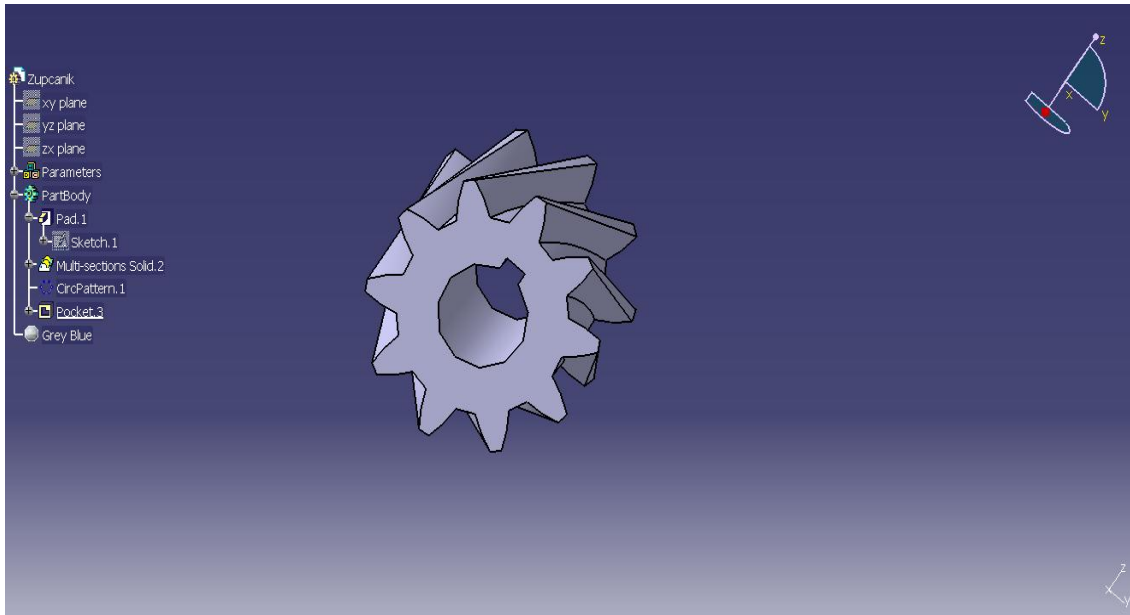
Слика 56. Креирање скице за одузимање материјала

Кликом на икону  прећи из радног окружења **Sketcher** у радно окружење **Part Design**. Активирати команду **Pocket**  која се користи за одузимање материјала. У новоотвореном прозору у падајућем менију *Type* изабрати опцију *Up to last* а затим потврдити. На слици 57 је приказан будући изглед дела.



Слика 57. Одузимање материјала

Завршни изглед зупчаника је као на слици 58.



Слика 58. Завршни изглед зупчаника

6.1. Формирање склопа са ограничењима

Да би се формирао склоп неопходно је покренути модул **Assembly Design**. Покретање овог модула се врши на следећи начин:

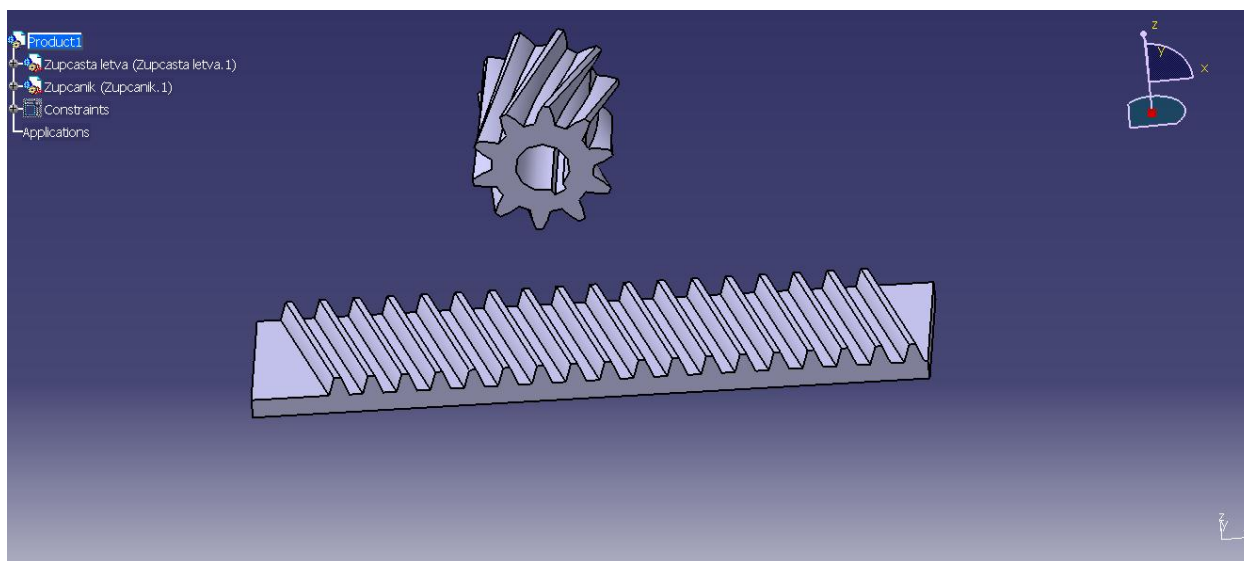
Start → **Mechanical Design** → **Assembly Design**

Делови се у спецификационо стабло убацују помоћу стандардне опције

Insert → **Existing Component**

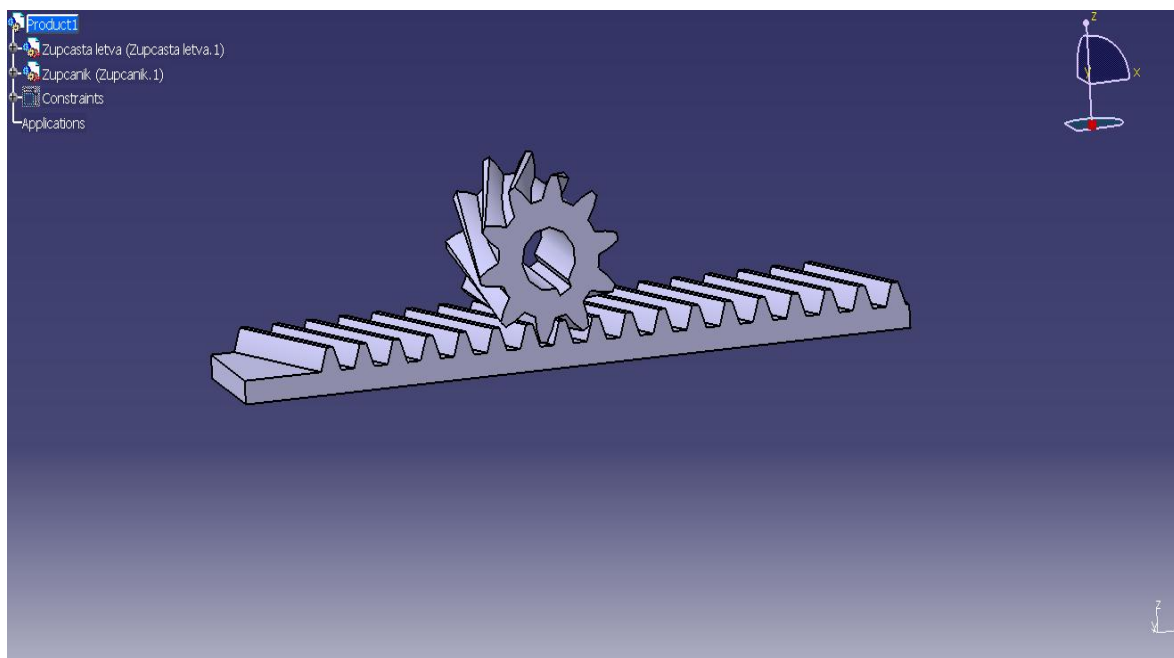
Одабиром команде **Existing Component** отвара се прозор преко којег се делови са хард-диска убацују у овај модул. У случају преклапања делова као и ради боље прегледности могуће је померити их помоћу опције **Manipulate** .

Изглед сегмената механизма у модулу **Assembly Design** је приказан на слици 59.



Слика 59. Изглед сегмената механизма у модулу **Assembly Design**

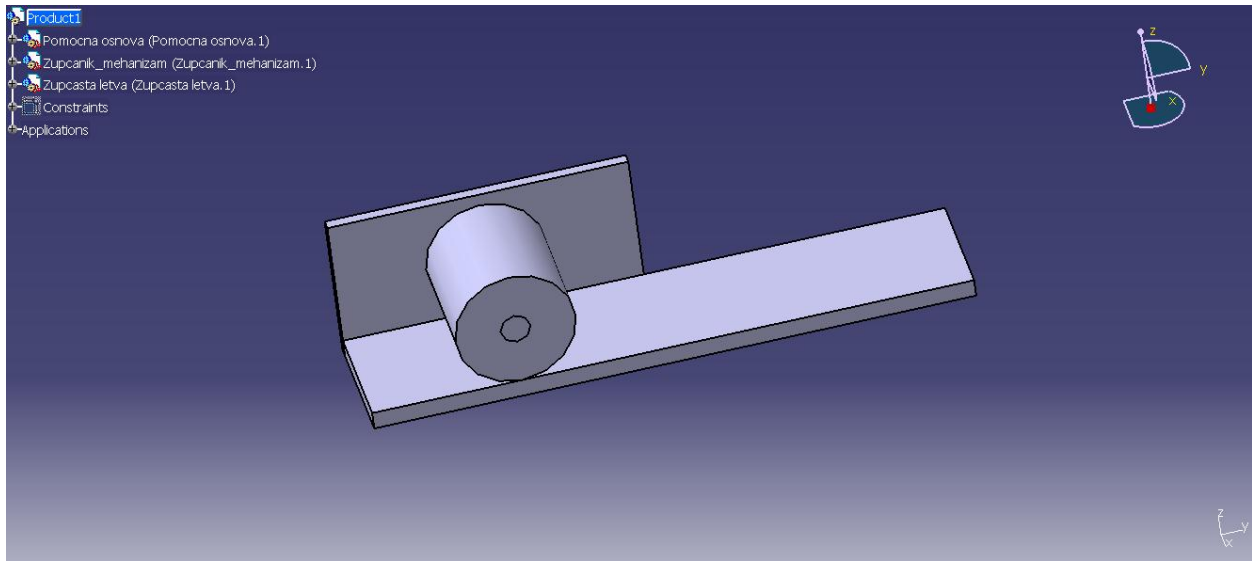
Након формирања ограничења, користећи палету алата **Constraints** склоп ће изгледати као на слици 60.



Слика 60. Изглед склопа

7. Кинематика механизма зупчаник – зупчаста летва

Склоп приказан на слици 61 садржи три дела: зупчаник, зупчасту летву и основу. Зупчasti елементи неће бити моделирани са зупцима, али се подразумева да се ради о зупчанику са правим зупцима и зупчастој летви. Зупчаник ће се једноставно моделирати као кружна секција са пречником који је једнак пуном пречнику правога зупчаника. Зупчаста летва ће ради једноставности бити моделована као правилно четвороугаono тело. Циљ је да се симулира кретање елемената система описано кинематским величинама, у коме се погонски зупчаник креће константном угаоном брзином и да се креира дијаграм померање/време за резултујуће кретање зупчасте летве.



Слика 61. Изглед склопа

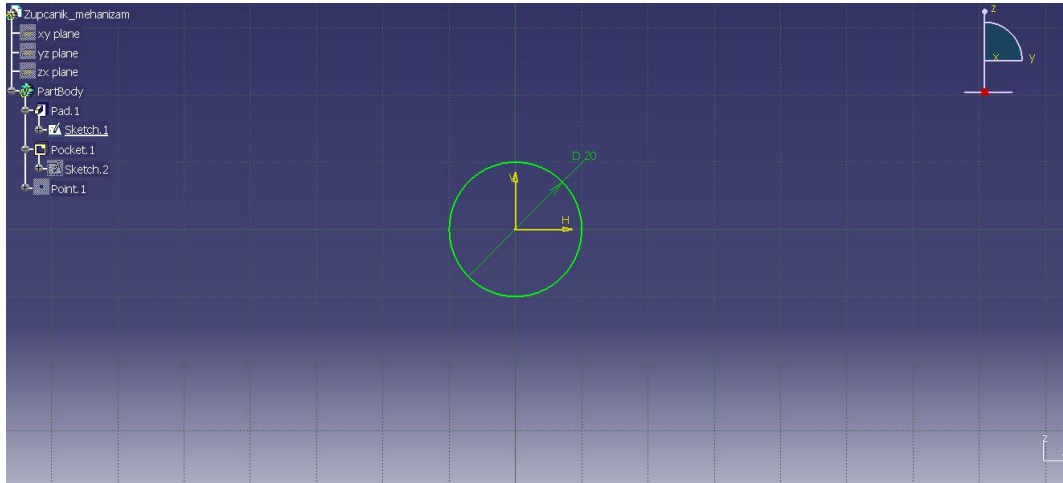
Преглед задатка:

1. Моделовати три неопходна CATIA дела.
2. Креирати склоп (CATIA Product) од тих делова
3. Дефинисати ограничења на нивоу склопа, којима ћемо уклонити непотребне степене слободе пре уласка у DMU окружење.
4. Прећи у DMU окружење, у коме ће се аутоматски конвертовати ограничења склопа.
5. Симулирати кретање механизма без утицаја параметра време.
6. Додати једначину која имплементира временски зависну кинематику у вези са константном брзином зупчаника.
7. Симулирати жељено кретање и генерисати дијаграм зупчасте летве у времену.

7.1. Конструисање (формирање) делова механизма

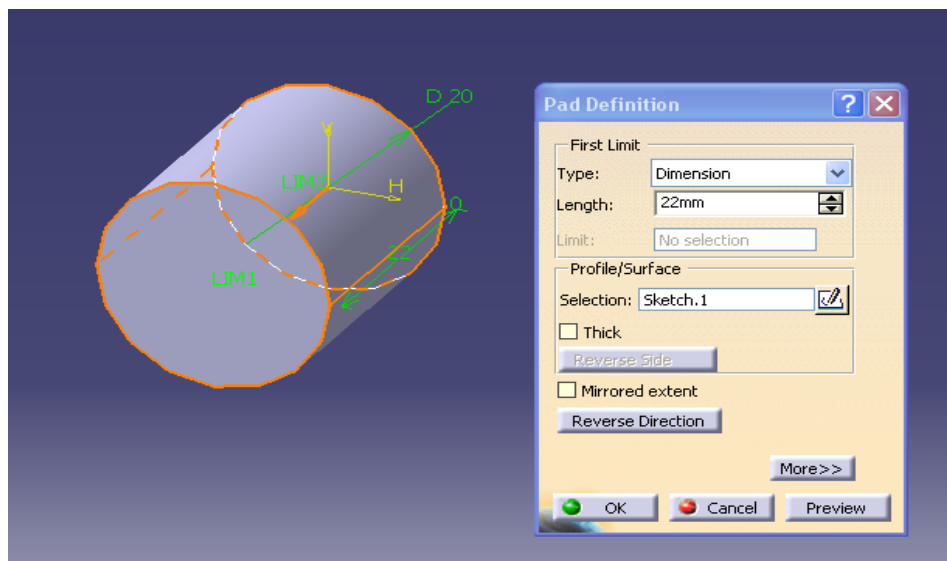
Креирање дела под називом Зупчаник:

У модулу **Part Design** изабрати раван XZ и прећи у **Sketcher** радно окружење и у изабраној равни креирати профил приказан на слици 62.



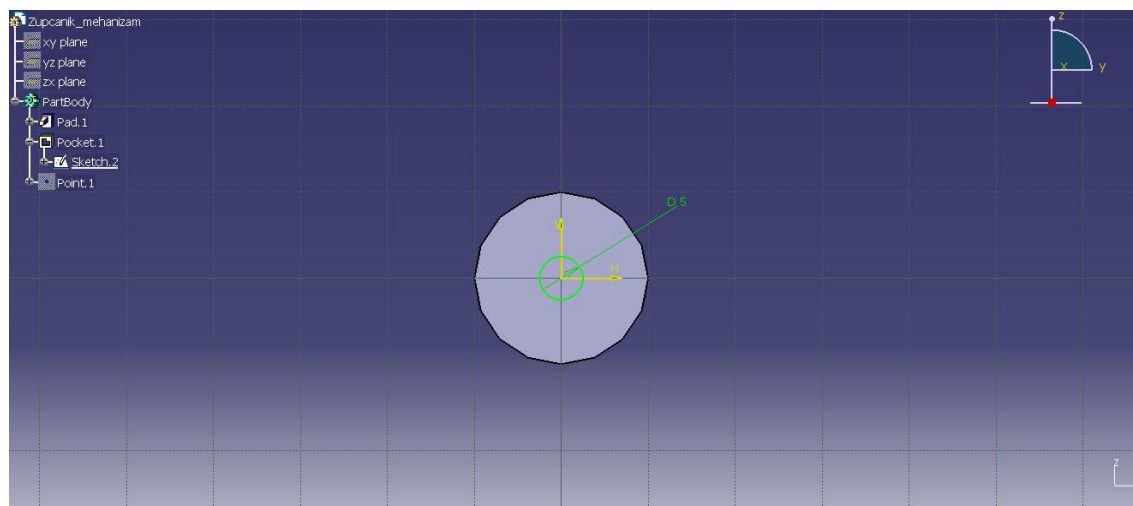
Слика 62. Креирање скице зупчаника

Кликом на икону  прећи у **Part Design** радно окружење, а затим активирати команду **Pad**  и екструдирати профил за 22 mm (слика 63).



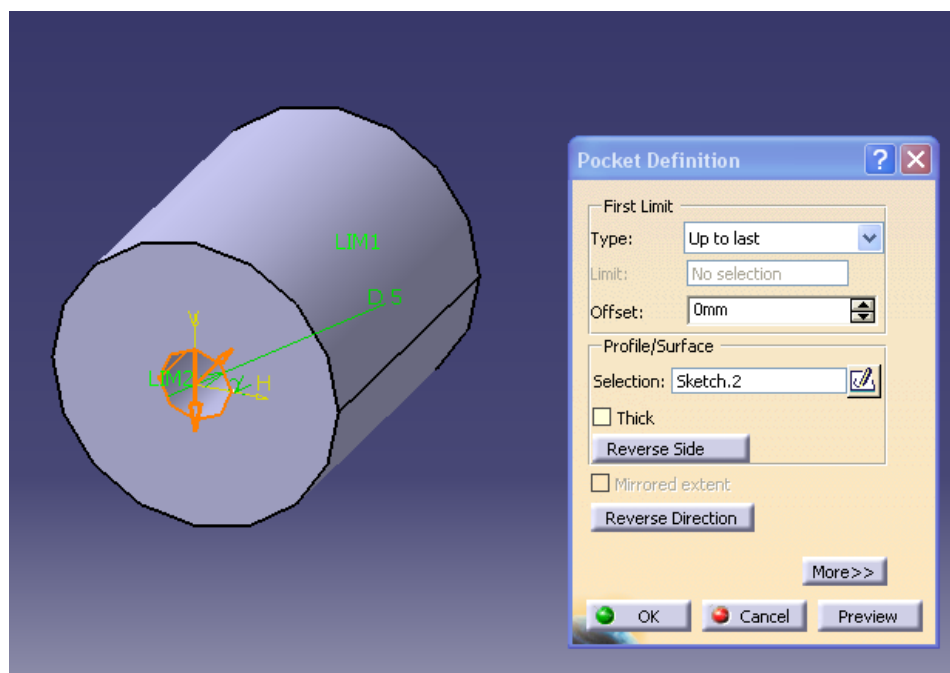
Слика 63. Извлачење профила

Селектовати основу(круг), прећи у **Sketcher** радно окружење и у њему нацртати профил као на слици 64.



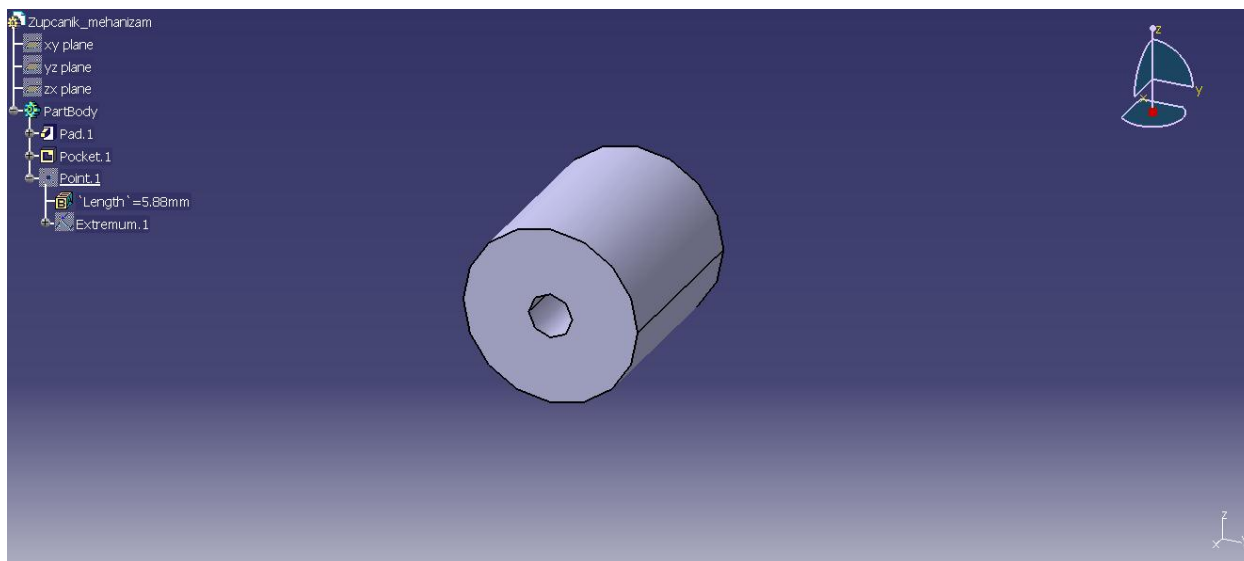
Слика 64. Креирање скице за одузимање материјала

Кликом на икону  прећи из радног окружења **Sketcher** у радно окружење **Part Design**. Активирати команду **Pocket**  која се користи за одузимање материјала. У новоотвореном прозору у падајућем менију *Type* изабрати опцију *Up to last* а затим потврдити. На слици 65 је приказан будући изглед дела.



Слика 65. Одузимање материјала

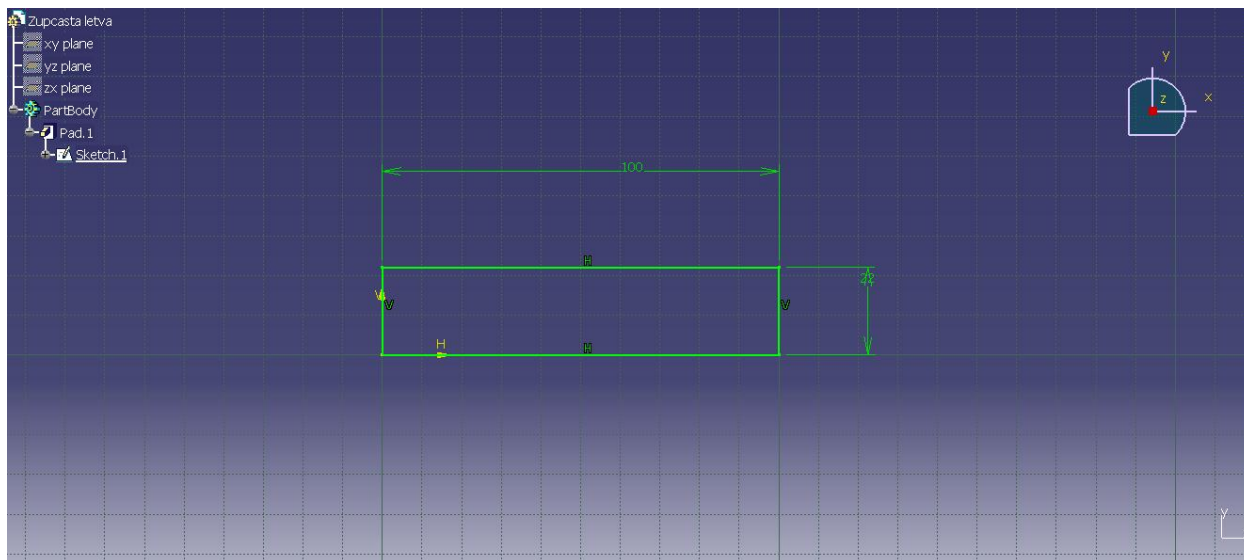
На слици 66 је приказан завршни изглед зупчаника.



Слика 66. Завршни изглед зупчаника

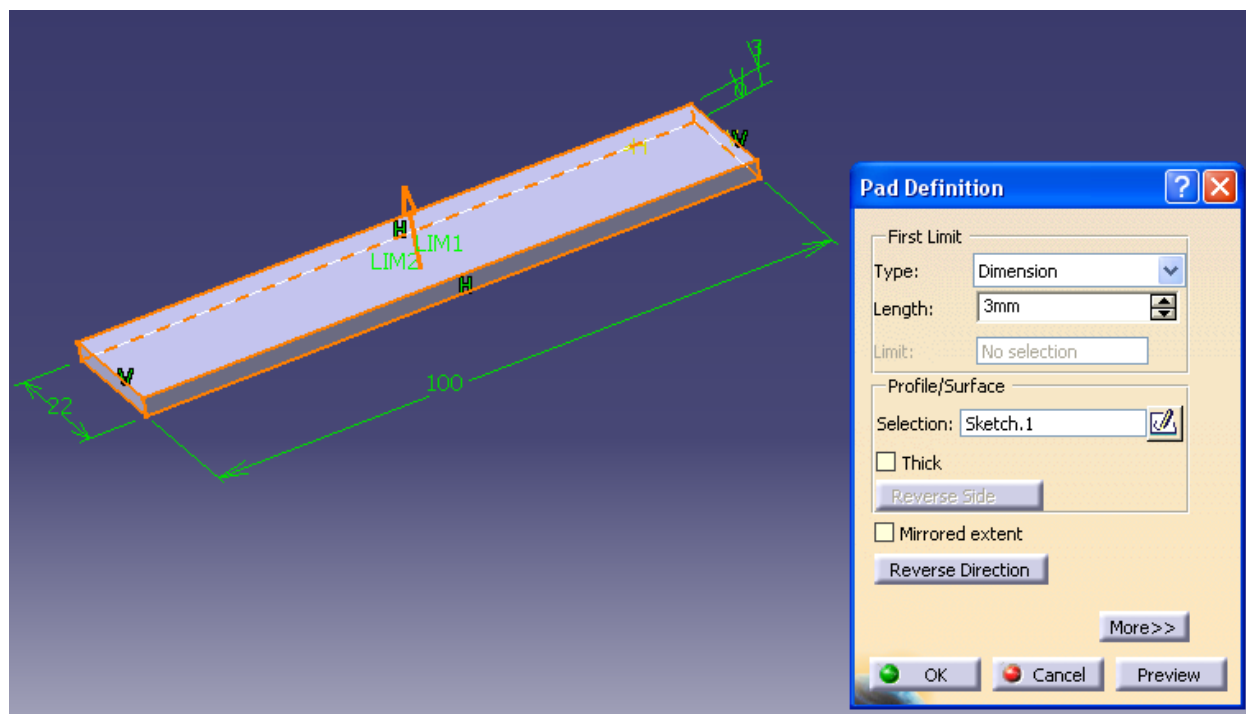
Креирање дела под називом Зупчаста летва:

У модулу **Part Design** изабрати раван XZ и прећи у **Sketcher**  радно окружење и у изабраној равни креирати профил приказан на слици 67.



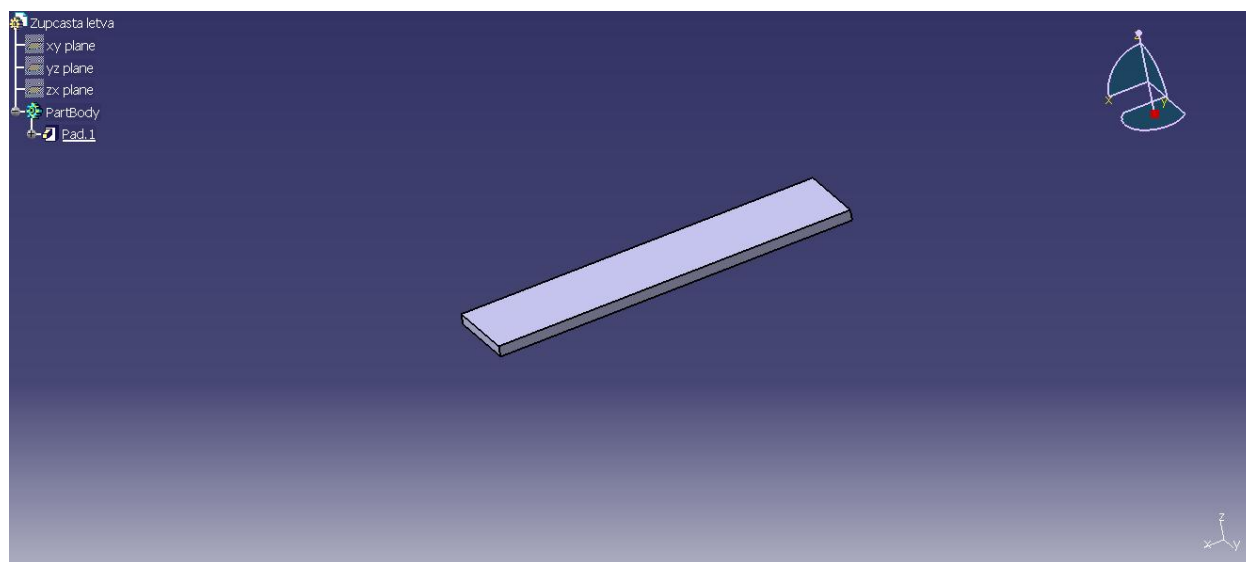
Слика 67. Креирање скице зупчасте летве

Кликом на икону  прећи у **Part Design** радно окружење, а затим активирати команду **Pad**  и екструдирати профил за 22 mm (слика 68).



Слика 68. Извлачење профила

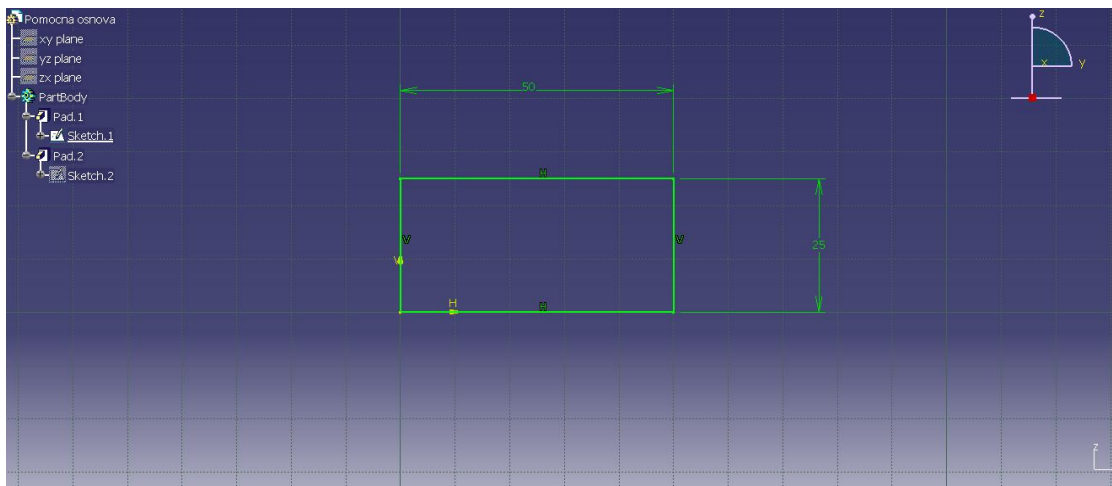
На слици 69 је приказан завршни изглед зупчасте летве.



Слика 69. Завршни изглед зупчасте летве

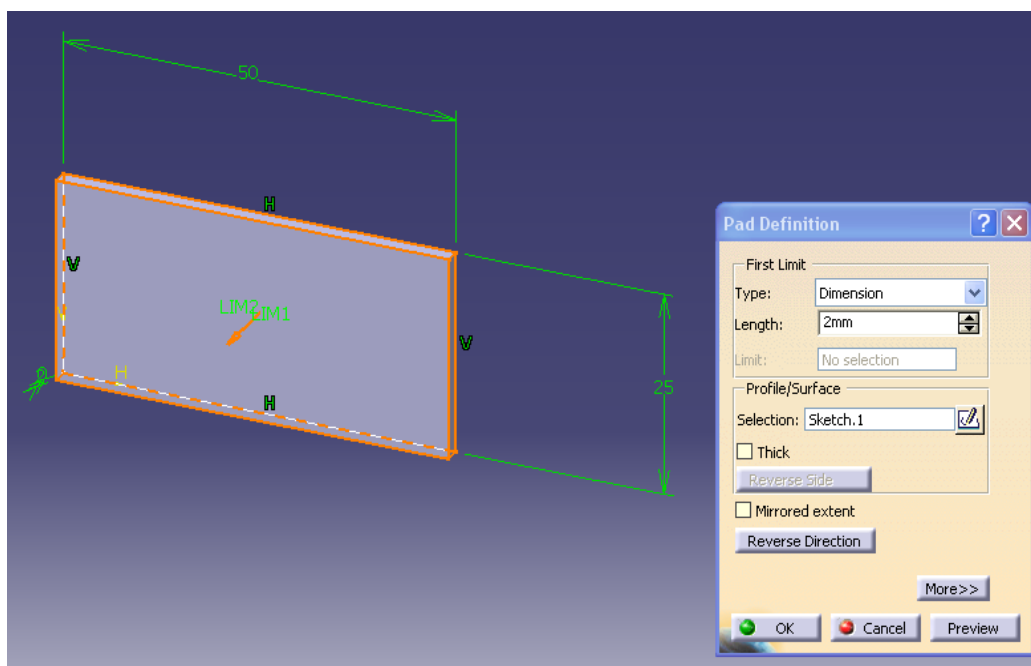
Креирање дела под називом Основа:

У модулу **Part Design** изабрати раван XZ и прећи у **Sketcher** радно окружење и у изабраној равни креирати профил приказан на слици 70.



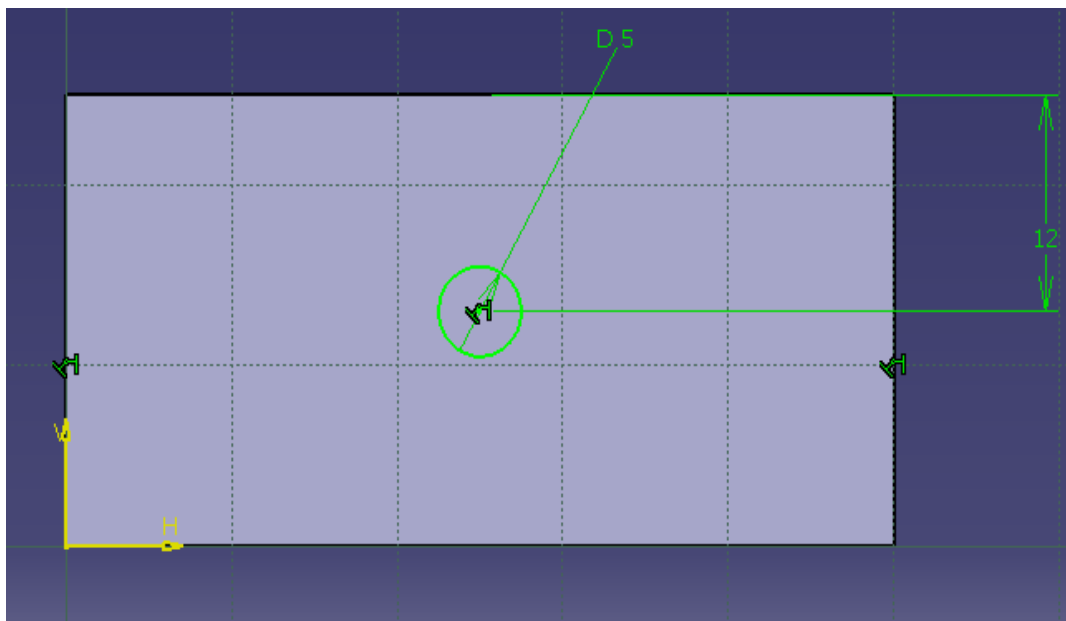
Слика 70. Креирање скице основе

Кликом на икону  прећи у **Part Design** радно окружење, а затим активирати команду **Pad**  и екструдирати профил за 2 mm (слика 71).



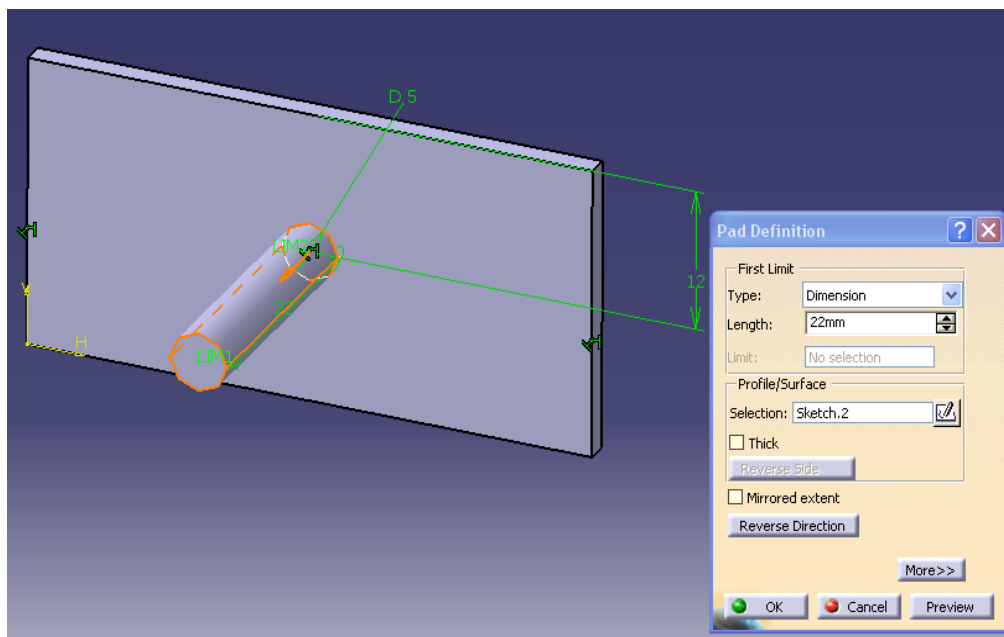
Слика 71. Извлачење профила

Селектовати основу(већи правоугаоник), прећи у **Sketcher** радно окружење и у њему нацртати профил као на слици 72.



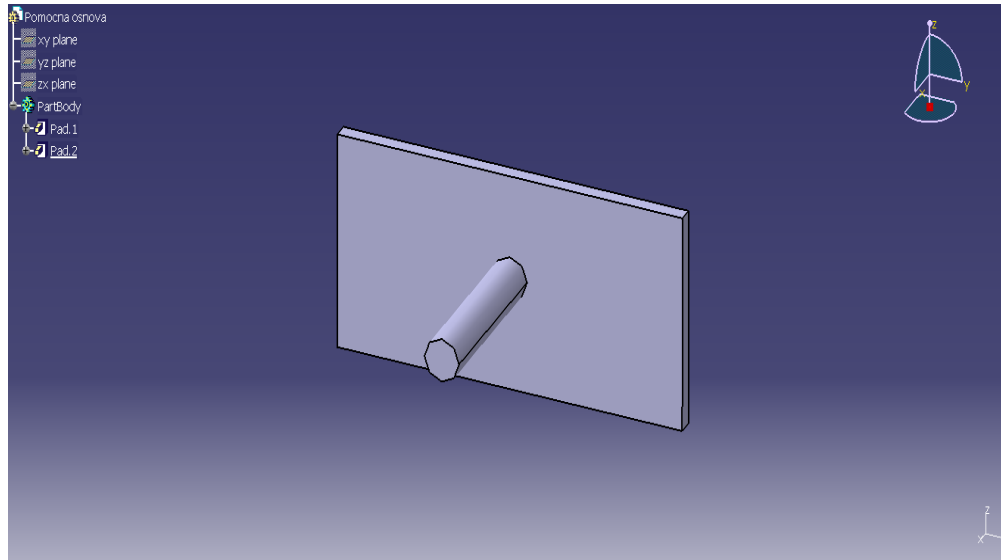
Слика 72. Креирање скице за додавање материјала

Кликом на икону  прећи у **Part Design** радно окружење, а затим активирати команду **Pad**  и екструдирати профил за 22 mm (слика 73).



Слика 73. Извлачење профила

На слици 74 је приказан завршни изглед основе.



Слика 74. Завршни изглед основе

7.2. Формирање склопа са ограничењима

Да би се саставио модел неопходно је покренути модул **Assembly Design**. Покретање овог модула се врши на следећи начин:

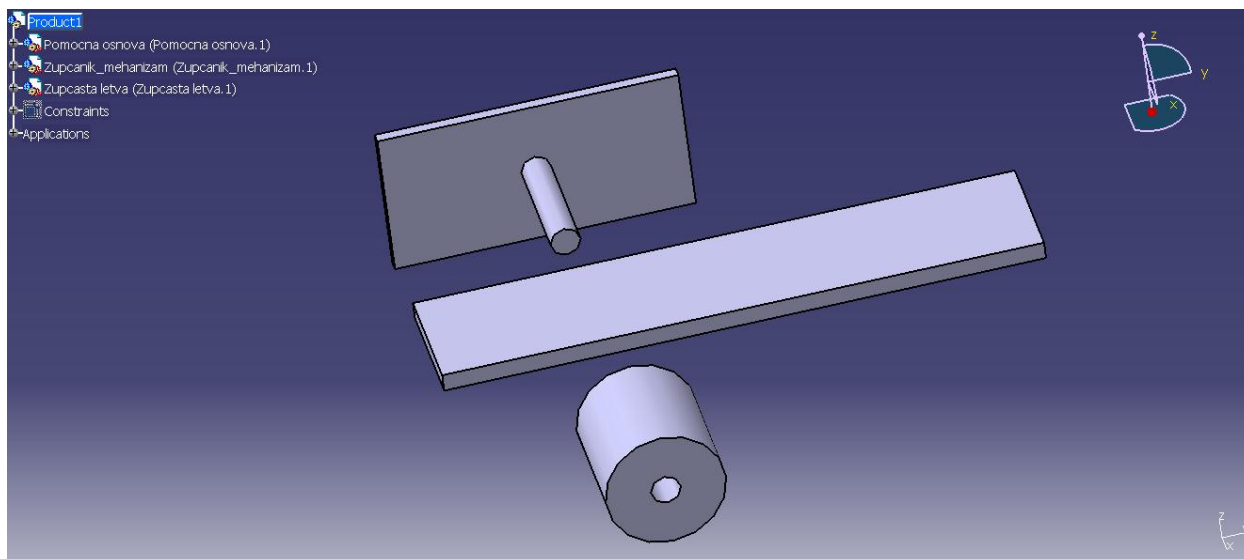
Start → Mechanical Design → Assembly Design

Делови се у спецификационо стабло убацују помоћу стандардне опције

Insert → Existing Component

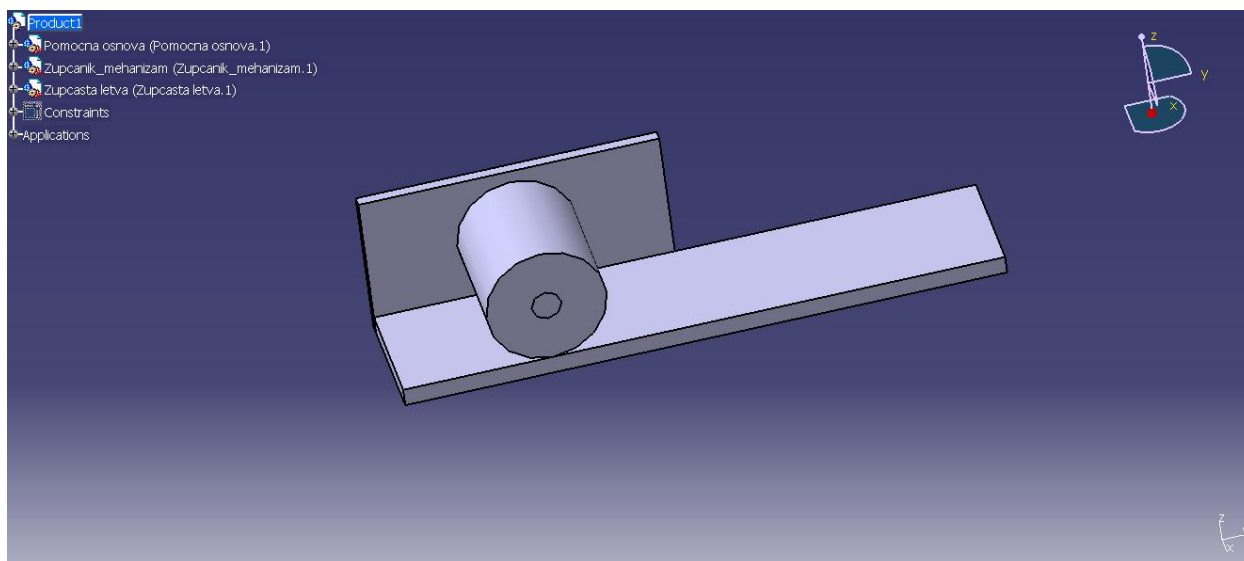
Одабиром команде **Existing Component** отвара се прозор преко којег се делови са хард-диска убацују у овај модул. У случају преклапања делова као и ради боље прегледности могуће је померити их помоћу опције **Manipulate** .

Изглед сегмената механизма у модулу **Assembly Design** је приказан на слици 75.



Слика 75. Изглед сегмената механизма у модулу *Assembly Design*

Након формирања ограничења, користећи палету алата **Constrains** склоп ће изгледати као на слици 76.



Слика 76. Изглед склопа

7.3. Формирање механизма

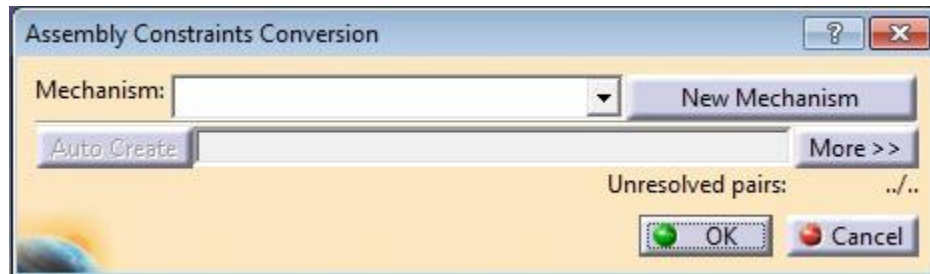
Кинематски механизам се формира тако што се склопна ограничења преводе у кинематске везе. Модул у коме се формира механизам и проучава његова кинематика кретања је **DMU Kinematics**.

Активирање модула: **Start Digital Mockup DMU Kinematics**

Конвертовање везе:

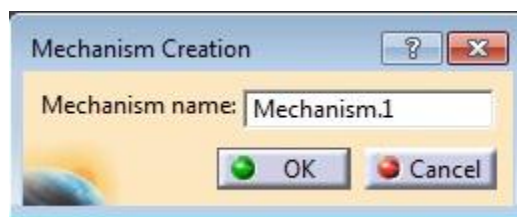
Конвертовање веза се врши избором иконе **Assembly Constraints Conversion** 

Активирањем ове команде могуће је остварити аутоматско конвертовање склопних ограничења у кинематске везе и тиме се појављује дијалог у коме је потребно кликнути на опцију *New Mechanism* (слика 77).



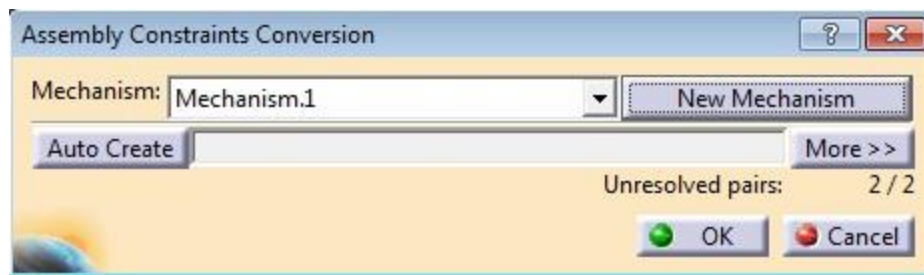
Слика 77. Конвертовање склопних ограничења

Активирањем овог поља појавиће се нови дијалог у који је потребно унети назив кинематског механизма (слика 78).



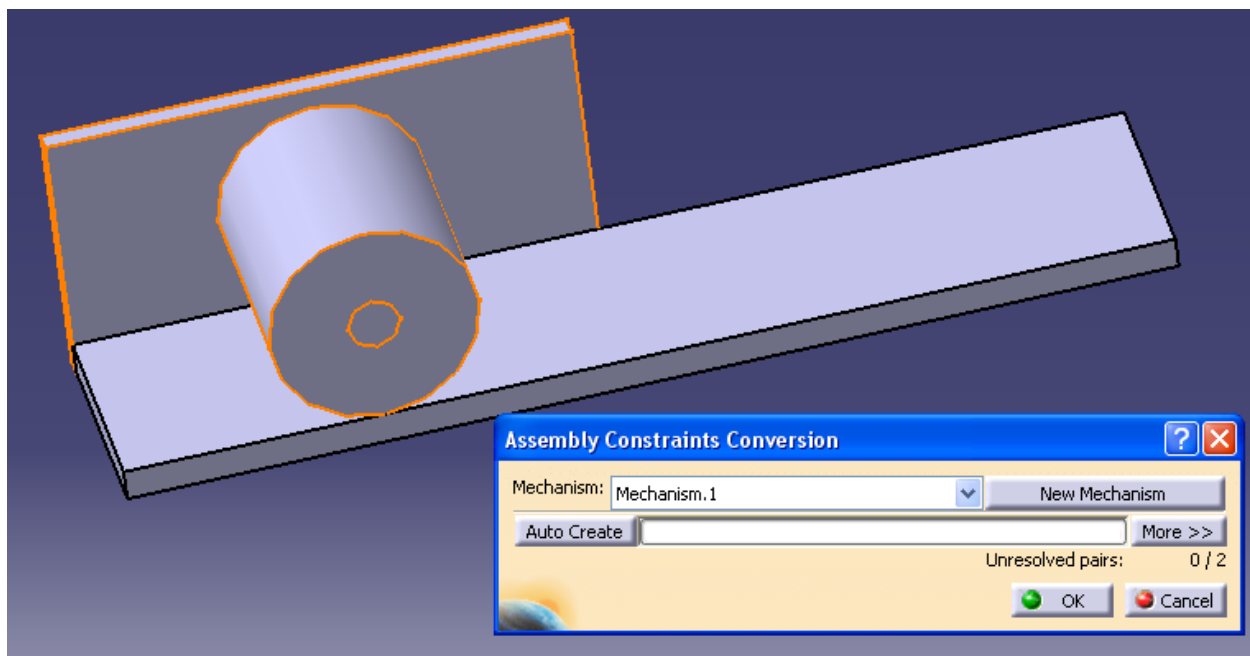
Слика 78. Додељивање назива механизму

Након прихватања назива механизма неопходно је обратити пажњу на коментар типа *Unresolved pairs: 2/2* који указује да постоје 2 неконвертоване везе (слика 79).



Слика 79. Приказ да постоје 2 неконвертоване везе

Кликом на опцију *Auto Create* активира се аутоматско конвертовање ограничења у кинематске везе што се може видети из добијене поруке на слици 80.

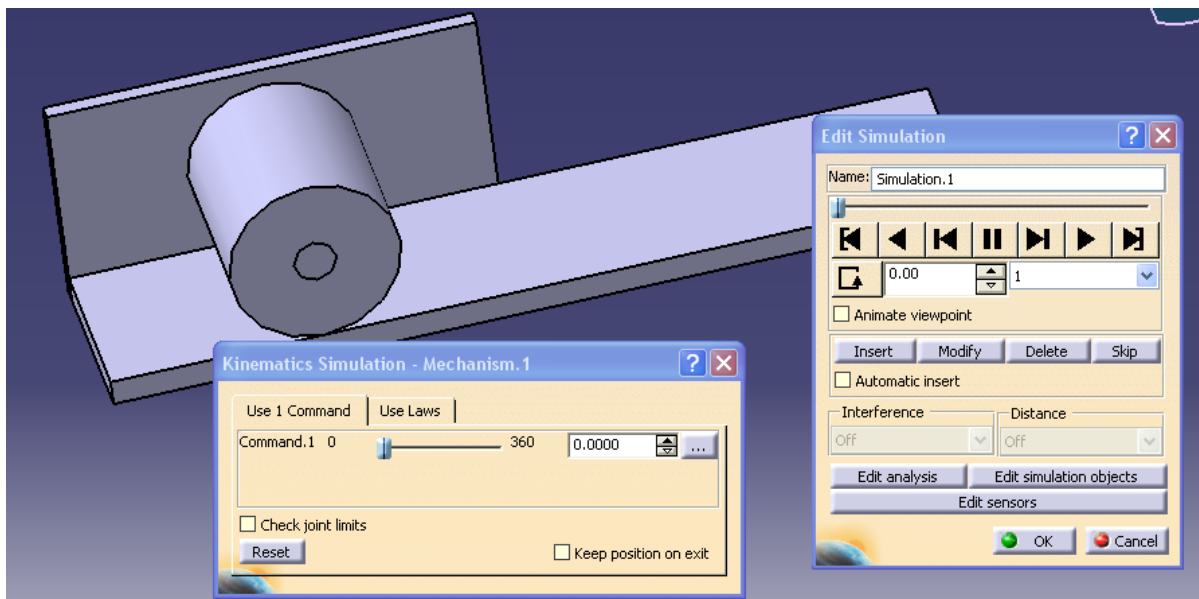


Слика 80. Приказ да су 2 везе конвертоване

Након конвертовања склопа у механизам, спецификационо стабло се аутоматски увећава за грану **Applications**.

Симулирање кретања:

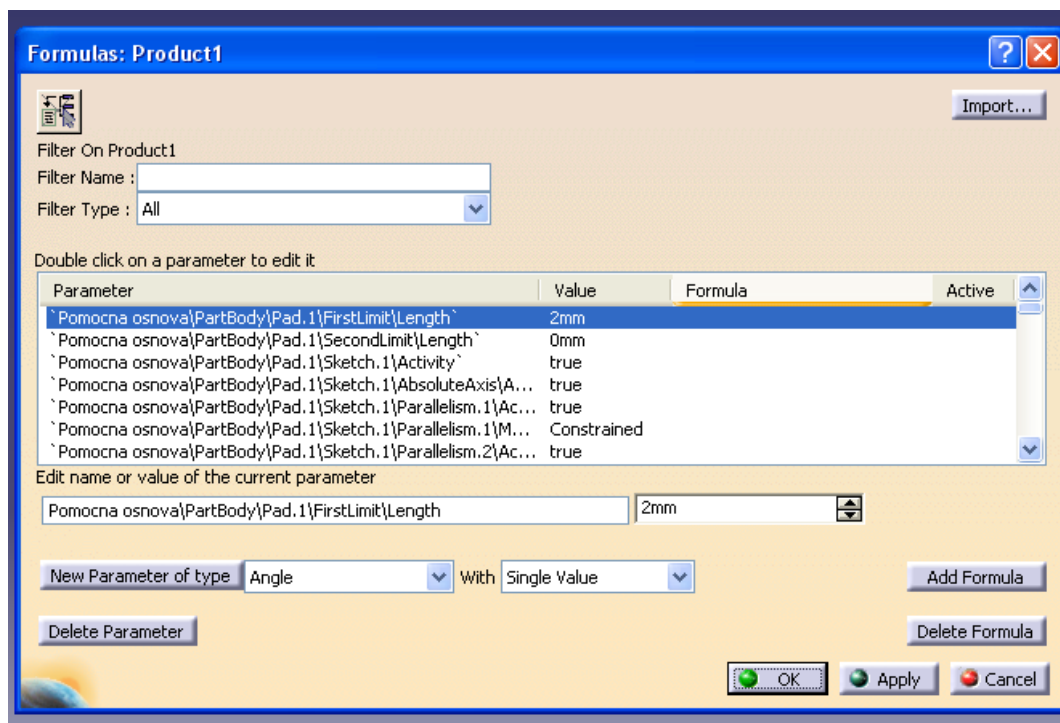
Активирањем команде **Simulation with Laws**  отвара се дијалог за формирање симулације (слика 81). Стабло ће се увећати за грану **Simulation**.



Слика 81. Симулирање кретања

Дефинисање закона кретања:

Затим се активира команда **Formula $f(x)$** . На екрану ће се појавити дијалог ка на слици 82.

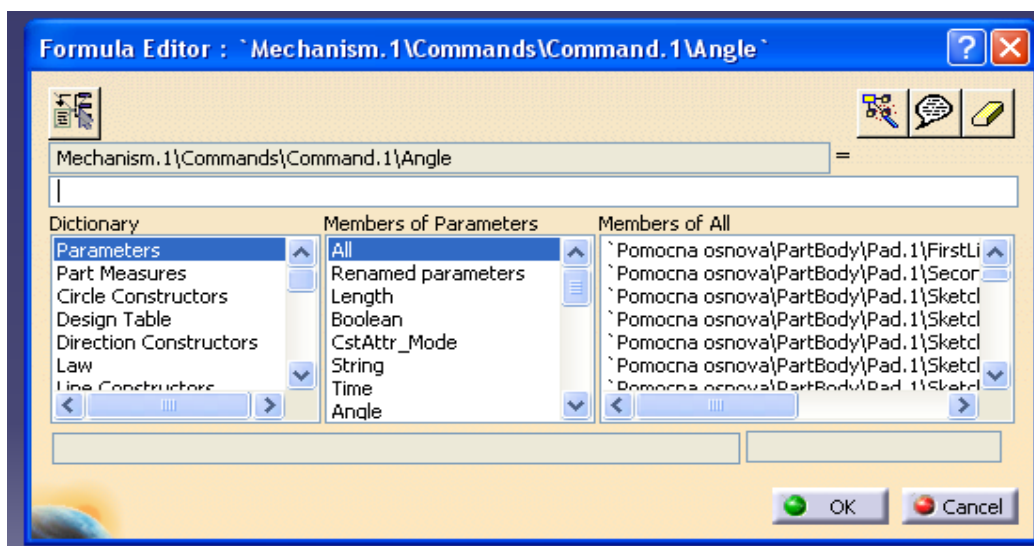


Слика 82. Активирање команде **Formula $f(x)$**

Кликом на грану **Mechanism.1, DOF=0** у стаблу биће приказани само они параметри који су везани за овај механизам.

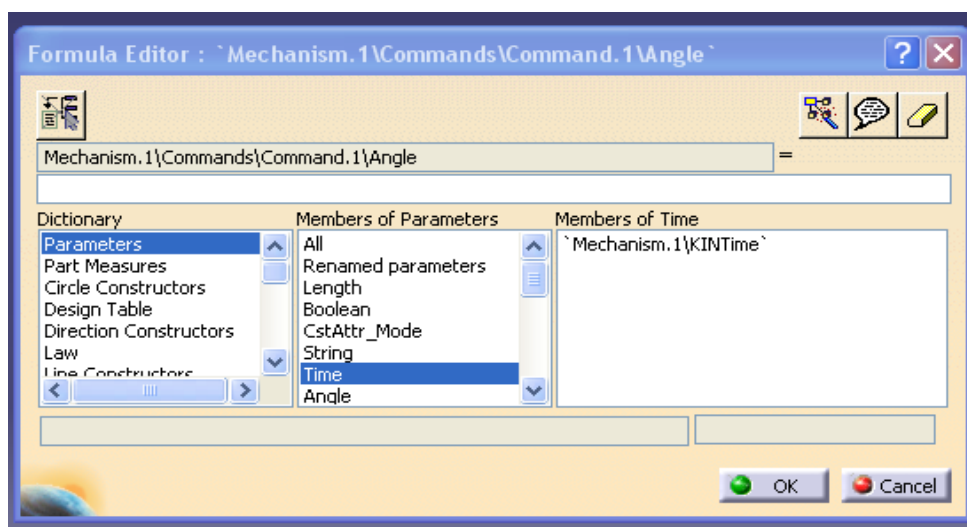
Селектовати *Mechanism.1/Commands/Command.1/Angle* а затим кликнути на дугме *Add Formula*.

Кликом на дугме за уношење нове формуле отвориће се прозор приказан на слици 83.



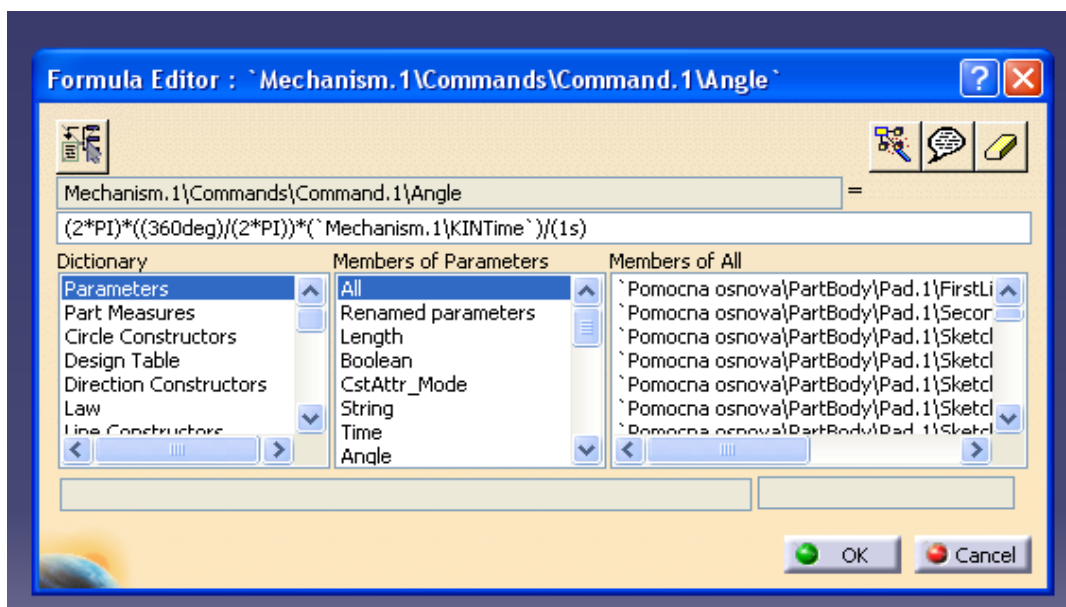
Слика 83. Уношење нове формуле

У пољу *Members of Parameters* селекује се време (*Time*) да би се оно појавило као аргумент функције. При селектовању времена аутоматски ће се у пољу *Members of Time* појавити само једна ставка (слика 84).



Слика 84. Активирање поља *Members of Time*

Формула која се уноси има облик приказан на слици 85.

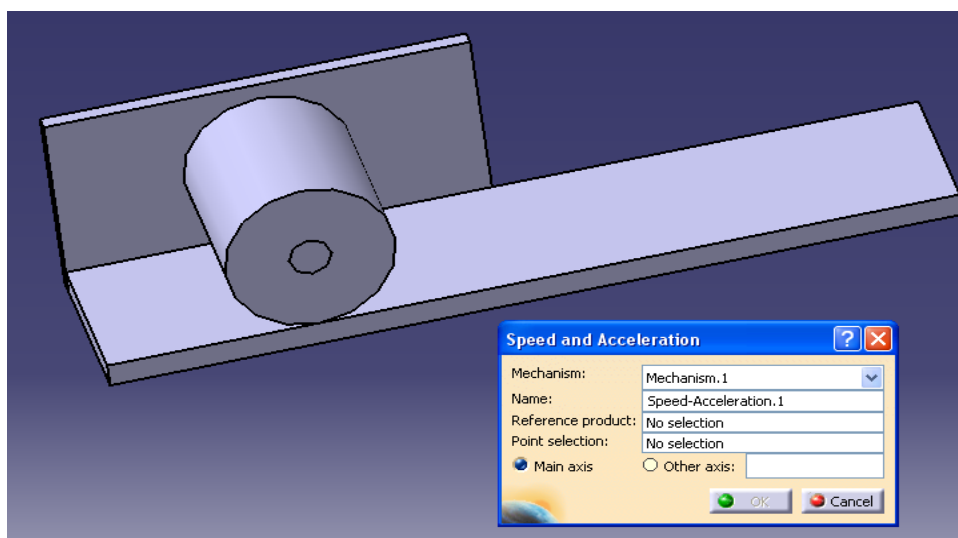


Слика 85. Изглед формуле

Након активирања дугмета **OK**, аутоматски се у стаблу модела генерише грана **Laws** која садржи претходно унету формулу.

Снимање дијаграма:

Приказ зависности угаоних брзина, угаоних убрзања, положаја у функцији времена је крајњи циљ симулације. Да би се то остварило неопходно је изабрати опцију **Speed and Acceleration** чиме се отвара дијалог приказан на слици 86.

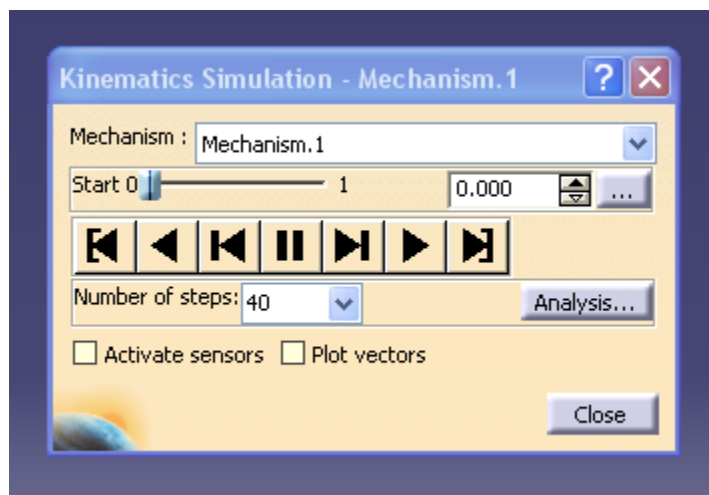


Слика 86. Активирање команде **Speed and Acceleration**

У овом дијалогу је неопходно пре свега изабрати механизам у пољу *Mechanism*. Означити поље *Reference product* и селектовати Основу. За референтну тачку у пољу *Point Selection* треба изабрати тема на делу под називом Зупчаста летва.

Кликом на дугме *OK* у спецификационом стаблу ће се појавити нова грана под називом **Speed -Acceleration** која садржи претходно дефинисану кинематику кретања ова два сегмента под задатим називом **Speed- Acceleration.1**.

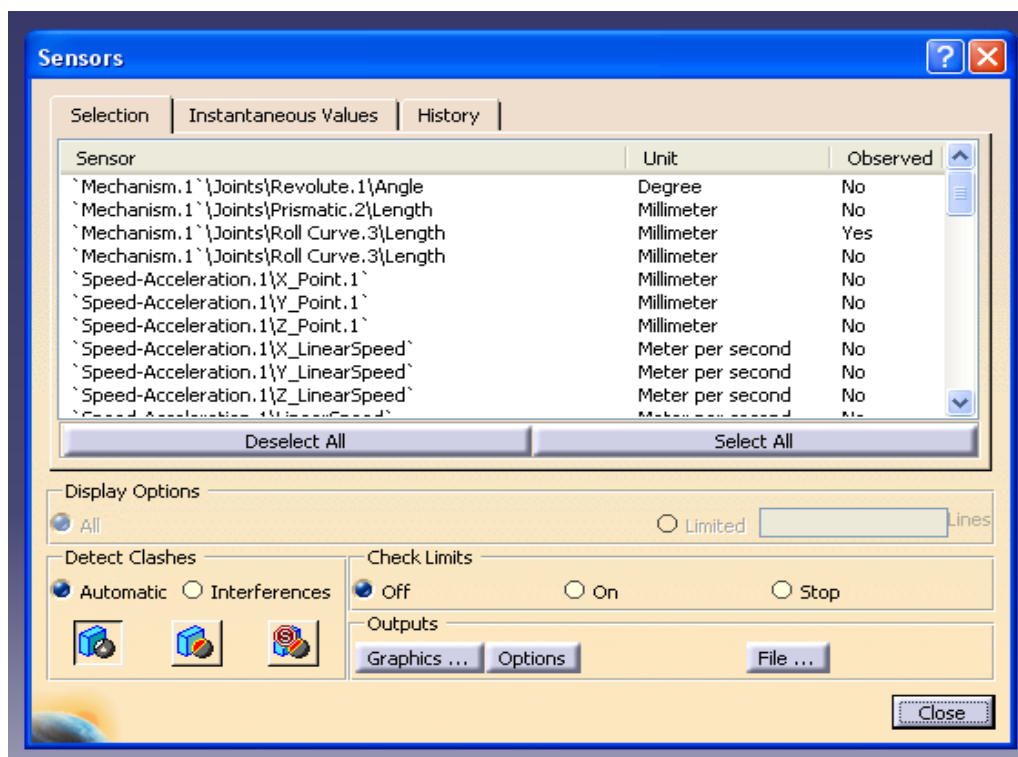
Следећи корак је активирање гране **Speed-Acceleration** или кликом на икону  чиме се отвара дијалог за симулацију са активним дугмадима видео плејера приказаног на слици 87.



Слика 87. Активирање команде *Speed – Acceleration*

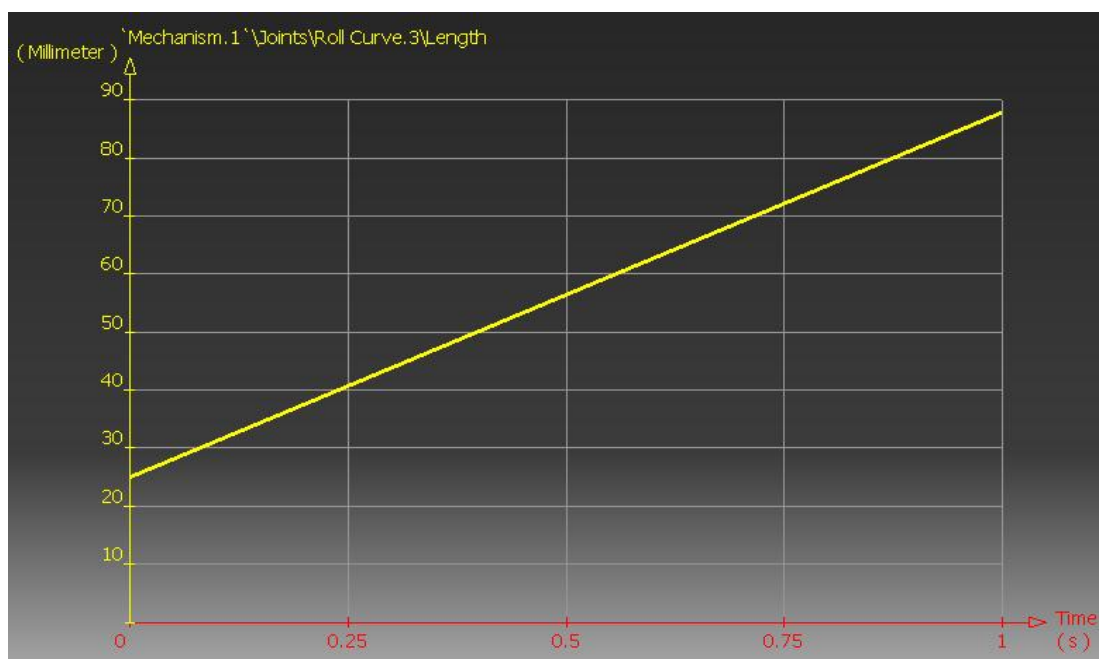
У дијаграму за трајање симулације *Simulation Duration* може се унети време трајања симулације од 1s. Да би се приказали дијаграми зависности кинематских величина од времена неопходно је активирати дугме *Activate sensors*.

Активацијом овог дугмета отвара се дијалог као на слици 88. Овај дијалог садржи више опција за рад са дијаграмима а најбитније су три картице при врху дијалога које ћемо разматрати. У картици *Selection* налазе се све претходно дефинисане кинематске величине појединих сегмената механизма. Потребно је селектовати величине за које желимо дијаграмски приказ. У овом случају је селектована угаона брзина и угаоно убрзање сегмента 2. Да би резултати били приказани неопходно је плејер поставити у почетни положај затим кликнути на *Clear* у картици *History* (како би резултати претходног снимања били обрисани) и пустити симулацију. Када се симулација заврши активира се дугме *Grafics* у дијалогу *Sensors*.



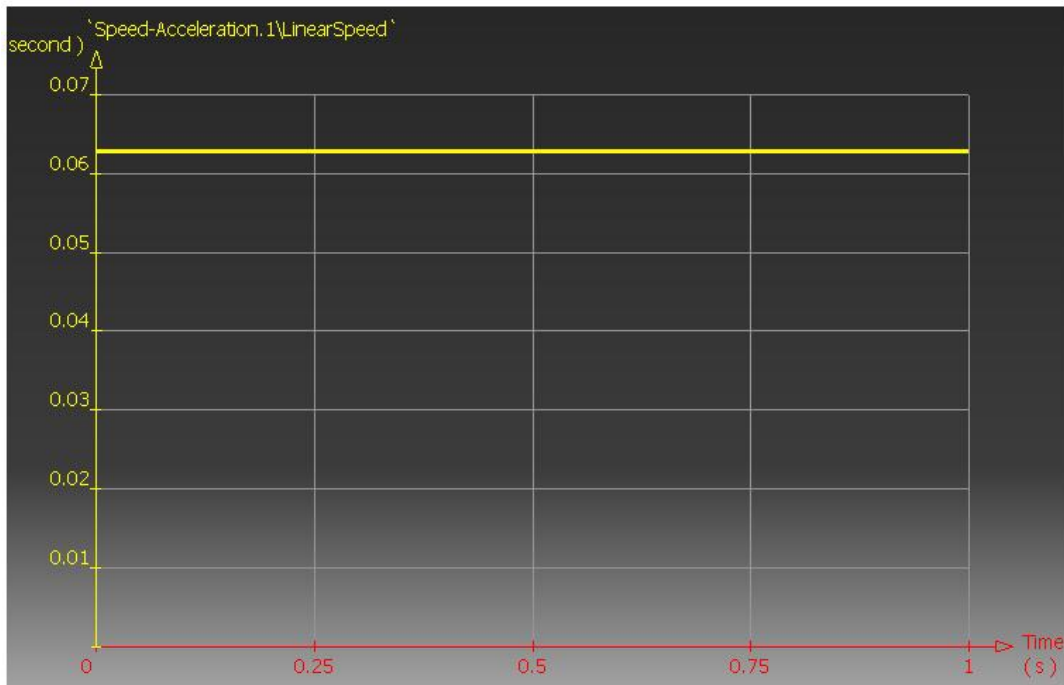
Слика 88. Активирање дугмета *Activate sensors*

Добијени резултати приказани дијаграмом на чијој се ординати налази вредност померања зупчaste летве, док је на апсциси приказано време (слика 89).

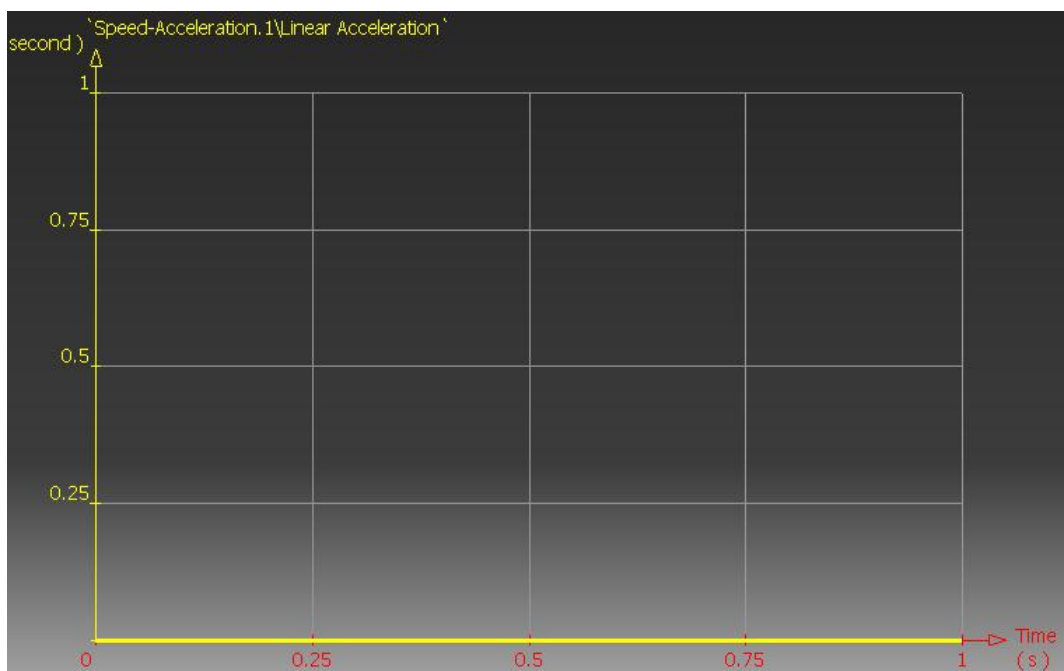


Слика 89. Добијени дијаграм

На слици 90 је приказан дијаграм брзине на коме видимо да је задата угаона брзина зупчаника константна, па тако и зупчаста летва има константну брзину, а убрзање је једнако 0 (слика 91).



Слика 90. Дијаграм брзине



Слика 91. Дијаграм убрзања

8. Закључак

Циљ мастер рада било је упознавање са управљачким механизмима на моторним возилима са точковима. У оквиру њега су поменуте и обрађене све значајне изведбе управљачких система, као и њихови саставни делови. Из свега изнетог, закључује се да будућност управљачких система лежи у широј примени савремених компоненти које ће омогућити унапређење на пољима економичности и безбедности, као и лакшег одржавања. Будућност дефинитивно припада електричним серво - појачавачима. Они ће комбиновани са многобројним електронским системима активног управљања олакшавати процес управљања уз повећање безбедности.

Са становишта безбедности саобраћаја управљачки механизми спадају у најважније уређаје на моторном возилу. Управљачки механизам има задатак да обезбеди усмеравање управљачких точкова и одржавања правца у време кретања возила. Управљачки механизам по правилу делује на предње точкове возила. Код возила са зависним системом ослањања (теретна возила и аутобуси) управљачки механизам делује на точкове преко једноделне попречне споне, док код возила са независним ослањањем делује на точкове преко вишеделне попречне споне.

Разне неисправности које се јављају код ових система су: повећање празног хода точка управљача, као и смањено обртање точка управљача.

Управљачки механизам спада у врло осетљиве склопове возила с обзиром да од његове прецизности и поузданости зависи сигурност целог возила како са аспекта кретања тако и безбедности у саобраћају. Развојем возила непрестано се усавршавала конструкција управљачког преносника, тако да се данас у употреби налази већи број различитих конструкција, али су сви са истом функцијом. Проналаском серво – система у многоме је повећана ефикасност, а и сами знамо да аутомобил са серво – уређајем има "лакши" волан и да се њиме лакше управља.

Серво уређаји су веома распросрањени у данашњој индустрији и оно што је битно је да не бисмо могли да замислимо један модеран аутомобил без серво уређаја. Стварањем и применом серво уређаја на возилима дошло је до великог пораста степена сигурности, као и до смањења броја саобраћајних незгода.

Код система са константним преносним односом закретање точка управљача постаје све теже што се управљачки точкови више закрећу од позиције за праволинијско кретање. Преносни однос је компромис између силе коју возач мора да развије на точку управљача да би заокренуо точкове (што је преносни однос већи – окретање волана је лакше) и броја обртаја волана у односу на степен закретања управљачких точкова (што је преносни однос већи потребно је више обртаја волана за исти отклон точкова). Да би се кориговала ова појава користе се зупчасте летве са варијабилним преносним односом. Да би се постигао већи преносни однос, корак зупчастог пара се смањује, а тиме и лакше закретање точка управљача, али је потребно више обртаја точка управљача да би се стигло до крајњих позиција.

Литература

- [1] М.Демић, Ј.Лукић: Теорија кретања моторних возила, Машински факултет у Крагујевцу, 2011.
- [2] А.Стефановић: Друмска возила - основи конструкције - Центар за моторе и моторна возила Машинског факултета у Нишу и Центар за безбедност Машинског факултета у Крагујевцу, 2010.
- [3] Н.Јанићијевић, Д.Јанковић, Ј.Тодоровић: Конструкција моторних возила, Машински факултет Београд, 1987 година.
- [4] И. Филиповић: Мотори и моторна возила, Машински факултет Универзитета у Тузли, Тузла 2006 година.
- [5] П. Кнор: Пројектовање и конструкција моторних возила, Машински факултет Сарајево, Сарајево 2005/2006 година.
- [6] Ј. Глишовић, Предавања и вежбе из предмета Структура и конструкција моторних возила, Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу, Крагујевац, 2013
- [7] Д.Ружић, Н. Познановић, Ф.Часњи: Основи моторних возила, Факултет техничких наука Нови Сад, 2010. година.
- [8] Д.Данев: Конструкција моторних возила, Машински факултет Скопље, Скопље 2000 година.
- [9] Д.Јаношевић: Пројектовање мобилних машина, Машински факултет Ниш Универзитета у Нишу, Ниш 2006. година.
- [10] З.Живановић, Н.Јанићијевић: Аутоматске трансмисије моторних возила, Институт "Винча", Центар за моторе и возила Београд.
- [11] <http://waystoworld.com/2014/01/steering-system-gear-box-design/>, приступљено 15.09.2014.
- [12] <http://www.vrelegume.rs/test/sistem-upravljanja/>, приступљено 20.06. 2014.
- [13] http://nikolavujic.weebly.com/uploads/3/4/8/0/3480733/upravljacki_mehanizmi.pdf, приступљено 06.06.2014.
- [14] Н.Живановић: Системи за управљање путничких моторних возила – завршни рад, Машински факултет Крагујевац, Крагујевац 2011. година.
- [15] D. A. Crolla, Automotive engineering, Powertrain, chassis system and vehicle body, Elsevier, 2009
- [16] Лысов, М. И., Рулевые управления автомобилей, Москва „МАШИНОСТРОЕНИЕ“, 1972