

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Мастер академске студије

Модул: Енергетика и процесна техника

Предмет: Хидропреносници снаге

Број индекса: 313/2014

Миладин Љ. Радомировић
Примена и пројектовање
хидропреносника код трактора
Мастер рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. **Др Вања Шуштершич-ментор**

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог мастер рада кандидат треба да да опште напомене о хидропреносницима снаге (хидростатичким и хидродинамичким), прикаже примере примене оба типа хидропреносника код трактора, а затим изврши прорачун хидростатичког и хидродинамичког преносника који се користе код трактора. На крају треба да прикаже 3Д модел једног од прорачунатих преносника снаге.

Препоручена литература:

- [1] В. Келић: Хидропреносници снаге, Научна књига , Београд, 1989.
- [2] Д. Јаношевић: Пројектовање мобилних машина, МФ Ниш, 2006.
- [3] Д. Симић, Р. Радоњић, В. Келић: Моторна возила – Хидропреносници у трансмисијама моторних возила, Машински факултет, Крагујевац, 1976.

Крагујевац, 18.02.2016.

Ментор:

Др Вања Шуштершич

САДРЖАЈ

САДРЖАЈ	1
Резиме рада	2
1.0 УВОД	3
2.0 Подела и карактеристике преносника.....	5
3.0 Хидростатичка трансмисија.....	6
5.0 Примена преносника снаге код трактора	19
5.1 Тракторске трансмисије	19
5.2 Примена хидростатичког преноса код трактора.....	27
5.3 Континуално варијабилна трансмисија- ЦВТ.....	31
5.4 Хабање клипно аксијалних пумпи	35
5.5 Употреба хидростатичке трансмисије за управљање и додатне операције на трактору.....	37
6.0 Прорачун хидростатичког преносника код трактора точкаша.....	39
7.0 Примена хидродинамичког преноса код трактора	46
7.1 Прорачун хидродинамичке нерегулационе турбоспојнице.....	52
8. 3Д Модел хидродинамичке нерегулационе турбоспојнице	54
9. ЗАКЉУЧАК	58
10. ЛИТЕРАТУРА.....	61

Резиме рада

У раду су објашњене основне предности и недостаци хидрауличног преноса снаге, са примерима примене оба типа - хидростатичког и хидродинамичког преноса снаге код трактора. Урађен је и прорачун оба типа хидрауличних преносника снаге код трактора, са 3Д приказом модела на основу прорачунатих величина.

Кључне речи: трактор, хидростатичка трансмисија, хидродинамичка трансмисија, 3Д модел.

Summary

In this paper are explained the basic advantages and disadvantages of hydraulic power transmission, with examples of application of both types - hydrostatic and hydrodynamic power transmission for tractors. It was made calculation of both types of hydraulic power transmission for tractors with a 3D image of the model based on the calculated size.

Key words: tractor, hydrostatic transmissions, hydrodynamic transmission, 3D model.

1.0 УВОД

Рад на градилишту, њиви или експлоатацији материјала из површинских и подземних копова је, данас, готово незамислив без машина. Посматрано уже, примена машина је један од најбитнијих фактора за реализацију било ког инвестиционог пројекта. Да би се бележио стални напредак, неопходан је бржи развој и усавршавање радних карактеристика машина, брзина кретања, величина радних органа, маневарске способности).

Преносници снаге су уређаји који су намењени да снагу, добијену од погонског мотора пренесу на радни орган гоњене машине. Они морају да испуне следеће задатке:

- да регулишу обртни момент, број обртаја, смер обртања, итд. у зависности од врсте спољашњег оптерећења,
- да регулишу радне карактеристике (проток, напор) пумпи, компресора, итд.
- да изврше сумирање потребне снаге мотора при групном погону више различитих уређаја,
- да обезбеде миран старт и заштиту од преоптерећења погонског мотора.

Код групног и код индивидуалног погона преносници снаге морају да обезбеде оптималну дистрибуцију снаге уз минималне губитке. Они такође морају да буду:

- поуздани у раду,
- лаки за управљање, транспорт, одржавање, опслуживање, итд.

Системи преноса снаге и трансформације обртног момента код моторних возила имају основни задатак да пренесу снагу погонског агрегата до погонских точкова или ланчаника гусенице, уз одговарајућу трансформацију обртног момента.

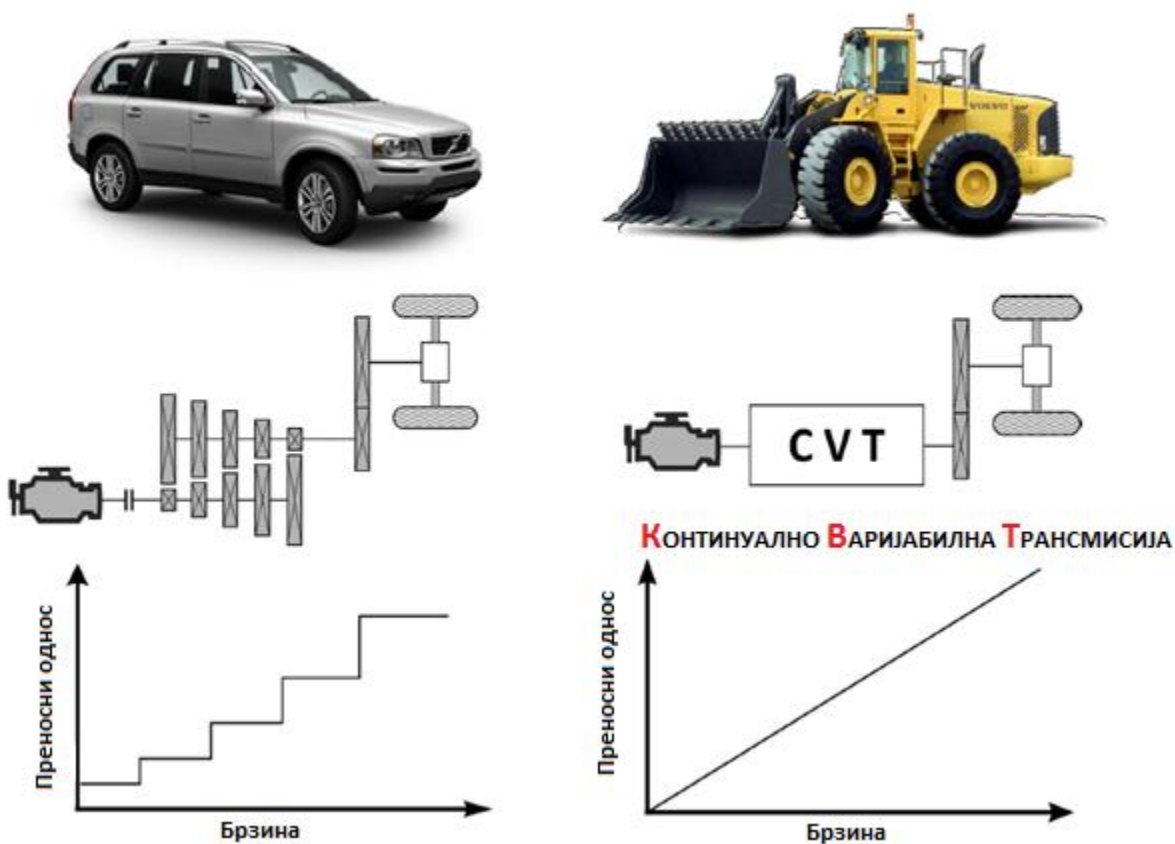
Задатак система за пренос снаге (трансмисије) је да пренесе снагу од мотора до погонских точкова и да изврши трансформацију параметара снаге (број обртаја и обртни момент). Мотор СУС има ограничен радни опсег брзине обртаја и обртног момента који не одговарају потребама погонских точкова. Јасно је да мотор самостално није у стању да изврши трансформацију силе вуче и брзине у широкој области употребе, каква је на путу потребна. Ово утолико пре што се захтева да погон буде економичан.

Стога је неопходно да се у систем трансмисије угради један уређај који ће да изврши трансформисање силе вуче и брзине, према захтеву идеалне хиперболе вуче. Овај задатак са више или мање успеха испуњава мењач, мењајући однос силе вуче и брзине према условима пута. Због тога се број обртаја редукује, док се обртни момент пропорционално повећава. Систем за пренос снаге преноси снагу од мотора до погонских точкова, али се један део снаге троши и на савлађивање губитака у систему за пренос снаге (претвара се у топлоту).

Последњих година постигнут је велики напредак у развоју и практичној примени хидростатичких и хидродинамичких погона и управљања у свим гранама привреде. Посебно се широко примењују у области мобилних машина у грађевинарству, рударству,

пољопривреди и шумарству и то, како за покретање радних органа (манипулатора) који изводе технолошке операције, тако и за погоне кретања.

МЕХАНИЧКИ против ХИДРАУЛИЧНОГ ПРЕНОСА СНАГЕ



Слика 1- Упоредње механичког и континуално управљаног хидропреносника [6]

2.0 Подела и карактеристике преносника

Према принципу рада, преносници снаге се деле на:

- механичке,
- електричне,
- хидрауличке, и
- пнеуматске.

Механички преносници (зупчасти, пужни, ланчани, каишни, фрикциони) спадају у класичне преноснике и као нерегулисани преносници су економични, сигурни у погону и лаки за одржавање. Међутим, ако је потребно регулисати пренос снаге, даљински га управљати или аутоматизовати, механички преносници постају непогодни због компликоване конструкције. Код зупчастих преносника, најраспрострањенијих из групе механичких преносника, није могућа континуална регулација излазне брзине.

Електричним преносницима је лако управљати и остварити аутоматизам укључивања, регулисања и искључивања. Сигурни су у погону и лаки за одржавање, али овакви преносници изискују велике почетне инвестиције.

Хидраулички пренос снаге се врши посредством течности најчешће минералног хидрауличног уља или незапаљивих течности за хидраулику. Основне компоненте ових преносника су претварачи енергије, у којима се механичка енергија трансформише у енергију струје радне течности, и обрнуто. Предност хидрауличног преноса снаге у односу на остале је у малим габаритима и малој специфичног тежини у односу на снагу, као и малом моменту инерције покретних делова. Тако на пр., поређење авионских хидропреносника са електричним преносницима аналогне намене показују да запремина хидромотора и пумпе износи негде око 12% (а тежина 10-20%) од запремине (тежине) електромотора и генератора (претварачи енергије у електричном преноснику).

У зависности од принципа рада претварача енергије, разликују се хидростатички и хидродинамички преносници снаге. Код *хидростатичких преносника* претварачи енергије су запреминска пумпа на улазу и запремински хидромотор или хидроцилиндар на излазу. Рад ових претварача карактерише релативно мали проток течности, па пренесена снага углавном зависи од притиска течности (теоријски, снага је једнака производу запреминског протока и притиска). Због малог протока радне течности, овакви преносници се називају хидростатичким. Да би се у систему одржао висок притисак, хидростатички пренос захтева херметичку везу пумпа-хидромотор (цилиндар). Једна од основних предности оваквог преноса је и то што се пренос снаге може остварити и на релативно већој удаљености простим хидрауличким компонентама (цевоводима и цевоводима).

Пнеуматски преносници немају ширу примену у системима преноса снаге. Пнеуматика има ширу примену у управљачким системима, регулацији и мерној техници.

3.0 Хидростатичка трансмисија

Примарна функција сваке хидростатичке трансмисије (ХСТ) је пренос енергије од стране примарног покретача (обично мотора СУС), који има своје специфичне радне карактеристике, до оптерећења. У току рада хидростатичка трансмисија углавном мора да регулише брзину, обртни момент, снагу или, у неким случајевима, смер обртања. У зависности од своје конструкције хидростатичка трансмисија може да преноси оптерећење од максималне брзине у једном смеру до максималне брзине у другом смеру, са бесконачним бројем варијација брзина између два максимума – при чему за све варијације брзина примарни покретач ради са константном брзином.

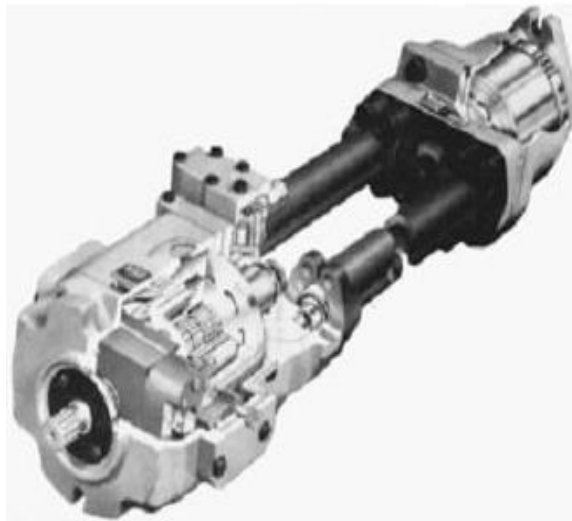
Принцип рада хидростатичке трансмисије је једноставан: она се састоји од хидрауличне пумпе, која је повезана са примарним покретачем и ствара проток који служи за покретање хидрауличног мотора, који је, пак повезан са оптерећењем. Ако су радне запремине регулационе пумпе и регулационог мотора константне, хидростатичка трансмисија се једноставно понаша као мењач који преноси снагу од примарног покретача ка оптерећењу. Главна предност хидростатичких преносника снаге је коришћење регулационе пумпе променљиве запремине, регулационог мотора или оба уређаја заједно, тако да се брзина, обртни момент или снага могу регулисати.

Хидростатичке трансмисије нуде низ предности у односу на друге типове преносника снаге. У зависности од своје конструкције хидростатичке трансмисије:

- могу да преносе велику снагу,
- изложене су малој инерцији,
- раде ефикасно у широком опсегу односа обртни момент – брзина,
- одржавају контролисану брзину без обзира на оптерећење у оквиру конструкционих лимита,
- одржавају тренутну брзину тачном насупрот возним или кочионим оптерећењима,
- могу да преносе снагу од једног примарног покретача до више локација, чак иако се позиције и оријентације локација мењају,
- могу да остану непокретне и неоштећене под пуним оптерећењем при малим губицима снаге,
- не клизе при брзини 0,
- обезбеђују бржи одговор у односу на механичке и електромеханичке трансмисије,
- могу да обезбеде динамичко кочење.

Оба типа конструкција, и интегрална и неинтегрална, користе се у хидростатичким трансмисијама. Најчешће коришћена до сад је неинтегрална конструкција, због тога што се снага може пренети до једног или више оптерећења, у областима где би то на други начин било тешко оствариво. У овој техници регулациона пумпа је повезана са примарним покретачем, регулациони мотор је повезан са оптерећењем, а они су међусобно повезани

помоћу цеви и цевастих склопова (слика 2.). Интегрална конструкција комбинује регулациону пумпу, регулациони мотор и све остале хидрауличне компоненте у једном кућишту (слика 3.). Предност оваквог извођења је економично, компактно кућиште које може да се састоји од осовина, монтираних површина и осталих компонената као додатака хидростатичкој трансмисији.



Слика 2- Типична хидростатичка трансмисија која се састоји од регулационе пумпе променљиве радне запремине и регулационог мотора константне радне запремине, а који су повезани помоћу металног цевовода, цевастих склопова или помоћу обе компоненте [3]



Слика 3- Комбинована хидростатичка трансмисија која спаја регулациону пумпу, регулациони мотор, систем управљања и све остале помоћне компоненте у једно кућиште. Комбинована хидростатичка трансмисија је доступна у различитим варијантама, при чему су многе од њих директно спојене на мотор [3]

Без обзира шта је њен задатак, хидростатичка трансмисија мора бити пројектована као оптимална веза између мотора и оптерећења. То дозвољава мотору да ради при оптималном броју обртаја и ХСТ тада врши подешавања у зависности од радних услова. Што је боља веза између улазних и излазних карактеристика, већа је ефикасност целокупног система преноса снаге. [3]

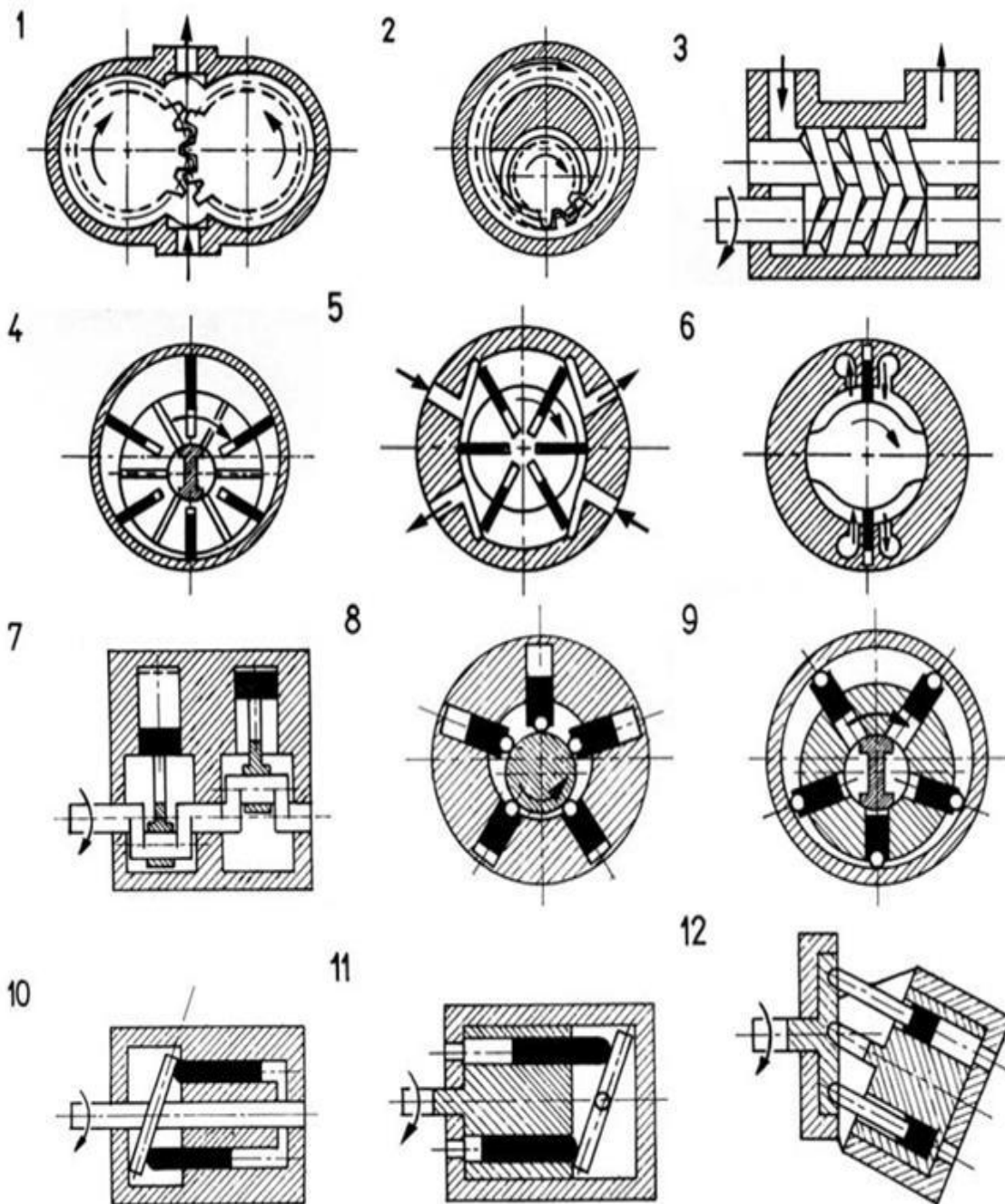
3.1 Запреминске пумпе и хидромотори

У запреминским пумпама претварање механичког рада у струјну енергију радне течности остварује се путем периодичне промене њихових радних запремина. Радни органи који врше промене радних запремина ових пумпи дејствују на принципу клипног механизма, а могу бити конструкцијски изведени као клипови, покретне обртне плоче, зупчаници и мембране. Под радном запремином запреминске пумпе подразумевају се ограничени, изоловани, простори које образују радни органи пумпе са осталим њеним непокретним конструкцијским деловима, а који се током рада пумпе периодично повећавају и смањују, омогућавајући радној течности да при том долази у контакт са усисним, односно потисним, каналима пумпе.

Запреминске пумпе се могу поделити на:

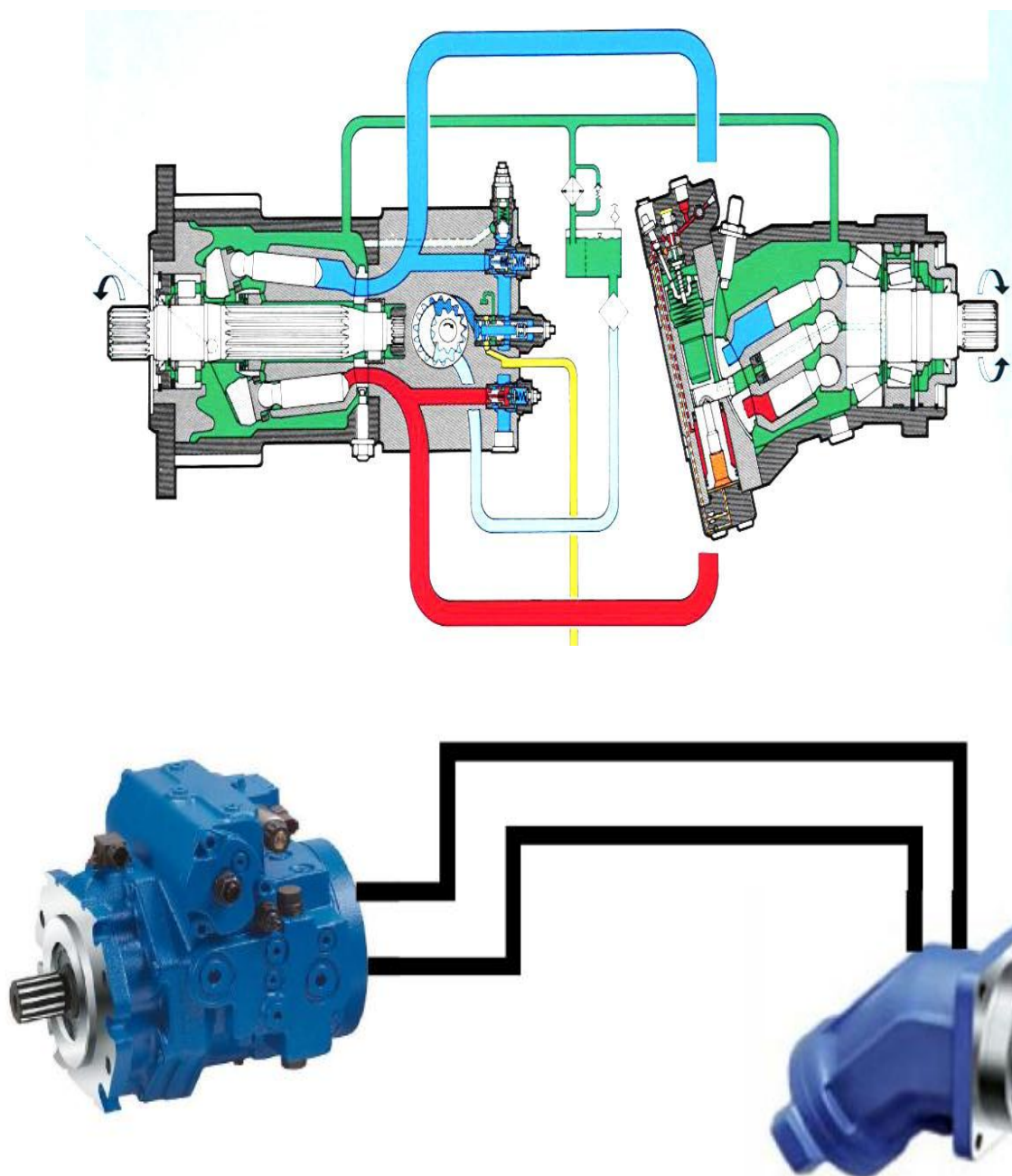
- Зупчасте пумпе,
- Кричне,
- Радијалне клипне пумпе,
- Аксијалне клипне пумпе,
- Завојне пумпе.

Запремински хидромотори представљају енергетске машине за претварање струјне енергије радне течности у механички рад ротационог кретања свог вратила. Као и код запреминских пумпи, и у запреминским хидромоторима претварање струјне енергије радне течности у механички рад врши се на рачун периодичне промене њихових радних запремина, само што је смер енергијских трансформација инверзан. По својој конструкцији запремински хидромотори су, готово, идентични, или веома слични, запреминским пумпама, па су им, самим тим, идентични и типови и класификација. Значајно је још напоменути да, најчешће, једна запреминска пумпа може радити као хидромотор, или, пак, обрнуто.



Слика 4 – Најчешће конструктивне изведбе пумпи (мотора) при грађењу хидростатичких преносника, шематски приказ

1- зупчаста пумпа са спољашњим озубљењем, 2 – зупчаста пумпа са унутрашњим озубљењем, 3 – завојна пумпа, 4,5,6 – крилне пумпе, 7 – редна клипна пумпа, 8,9 – радијалне клипне пумпе, 10,11,12 – аксијалне клипне пумпе [3]



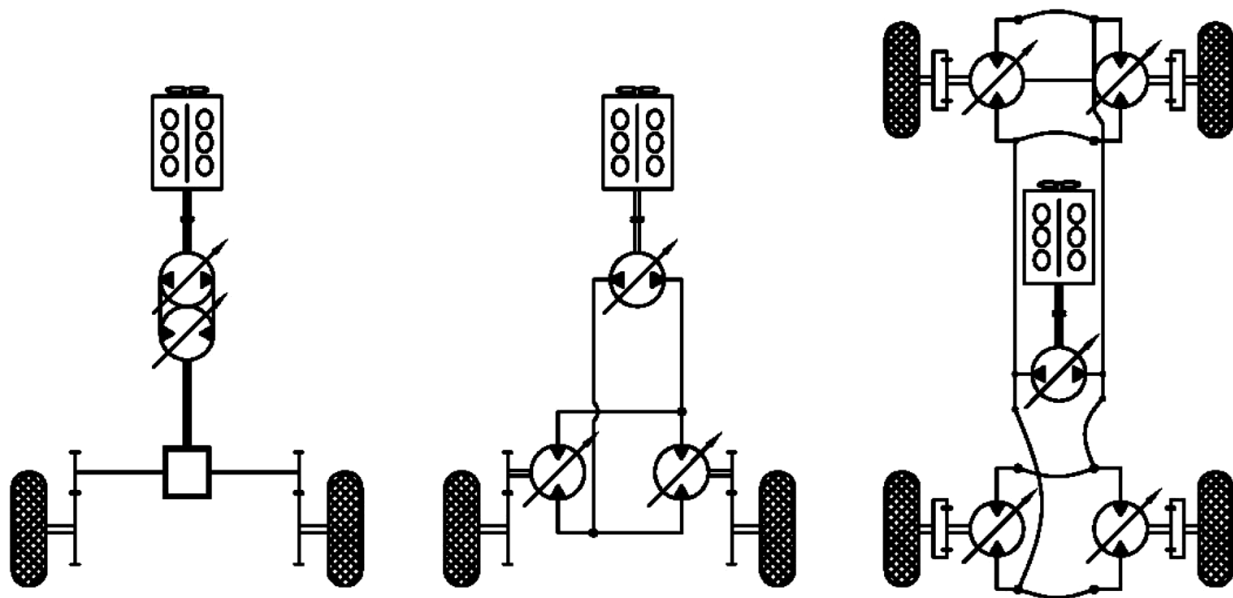
Слика 5- Хидростатичка трансмисија [4]

Хидростатички преносници се користе код мобилних, индустријских и авионских система где је потребно остварити велике снаге са уређајима малих димензија. Овакви системи су једноставни, имају поуздану контролу, флексибилност, изврсне динамичке карактеристике и добру продуктивност и могућност линеарног/ротационог кретања са великим силама/моментима. Из овог је видљива предност у односу на друге врсте преноса као што су механички или електрични. Као трансмисија на возилима хидростатички преносник има бројне предности. Промена брзине је континуална, једноставна је за управљање, има

једноставну промену смера кретања, брзина је за оба два смера кретања иста, а елементи се подмазују помоћу радне течности. Надаље, постоји конструкцијска слобода код слагања хидрауличких елемената у простору, јер се веза између пумпе и хидромотора у точковима остварује помоћу крутих или еластичних цеви, без обзира на њихов релативни положај. Такође је могуће остварити континуално варијабилну трансмисију унутар целог радног опсега при чему се остварују оптимални преносни односи између погонског мотора и точка, што смањује потрошњу горива и повећава динамичке перформансе. Хидростатички преносник снаге се може дефинисати као скуп хидрауличких компонената чији је задатак да снагу, односно кретање пренесу са улазног (погонског), на излазно (гоњено) вратило, уз задате услове трансформације и регулације. Поред претварача енергије (пумпе и хидромотора-хидроцилиндра) и везивних органа (цевовода, цевовода и прикључака), у састав овог преносника улазе још и компоненте контролно-регулационих органа (разводници и вентили) и компоненте тзв. прибора (резервоари, филтери итд.).

Недостаци свих хидростатичких система су компресибилност радне течности, промена вискозности радне течности са променом температуре и притиска. Из наведених недостатака се може закључити да је већина негативних карактеристика хидростатичких система везана уз радну течност (уље). Хидростатичка трансмисија се као и сви остали хидростатички системи темеље на Паскаловом закону. Код трансмисије возила најчешће се користи затворено извођење хидростатичког система (хидростатички мењач). Хидростатичка трансмисија се углавном изводи са пумпом и хидромотором променљивог протока који имају могућност промене запремине радних комора, а што директно утиче на проток радне течности. Из тога следи и неколико начина регулације брзине обртања хидромотора. Прва је са променом запремине пумпе, друга са променом запремине хидромотора, а трећа са променом запремине и пумпе и хидромотора. Код регулације брзине обртања хидромотора са променом запремине пумпе и хидромотора, брзина се прво повећава, повећањем протока кроз пумпу, а онда смањењем протока кроз хидромотор.

Погон точкова возила са хидростатичком трансмисијом конструкцијски се може извести на неколико начина. Први начин, а уједно и најједноставнији је конструкција пумпе и хидромотора у истом кућишту (слика 6а) при чему се погонски момент доводи на точкове преко диференцијала са додатном редукцијом у точковима. Други начин је са пумпом која покреће два хидромотора везана за редукторе точкова (погон возила на два точка), (слика 6б) а трећи начин је онај који се користи за погон возила на сва четири точка при чему пумпа покреће хидромоторе уграђене у точковима возила са планетарним редуктором (слика 6ц). [3]



Слика 6 - Варијанте погона точкова возила са хидростатичком трансмисијом:
 а) конструкција пумпе и хидромотора у истом кућишту, б) погон возила на два точка,
 ц) погон возила на сва четири точка [6]

Примена хидростатичке трансмисије код возила омогућује постизање великих снага и момената са уређајима малих димензија. Такође се остварује континуална варијабилна трансмисија унутар целог радног подручја, при чему дају најбољи преносни однос између погонског мотора и точка што повећава динамичке перформансе и смањује потрошњу горива.

Хидростатичком трансмисијом се могу остварити велики моменти при малим брзинама обртаја што утиче на смањење проклизавања точка.

У зависности од своје конструкције хидростатичка трансмисија може да преноси оптерећење од максималне брзине у једном смеру до максималне брзине у другом смеру, са бесконачним бројем варијација брзина између два максимума, при чему за све варијације брзина примарни покретач ради са константном брзином.

Принцип рада хидростатичке трансмисије се састоји од хидрауличне пумпе, која је повезана са примарним покретачем и ствара проток који служи за покретање хидрауличног мотора, који је повезан са оптерећењем. Ако су радне запремине регулационе пумпе и регулационог мотора константне, хидростатичка трансмисија се једноставно понаша као мењач који преноси снагу од примарног покретача ка оптерећењу.

Хидростатичка трансмисија обухвата две основне групе:

- примарне хидростатичке компоненте (хидропумпе),
- секундарне хидростатичке компоненте (хидромотори, хидроцилиндри).

3.2 Подела хидростатичке трансмисије

Конфигурација хидростатичке трансмисије, без обзира да ли има регулациону пумпу са константном или променљивом радном запремином, регулациони мотор или оба уређаја – одређује њене радне карактеристике. На слици 7. су приказане комбинације и радне карактеристике сваке од ових конфигурација.

Најједноставнији облик хидростатичке трансмисије користи регулациону пумпу са константном радном запремином за покретање регулационог мотора, који је такође са константном радном запремином (слика 7.а). Иако је ова трансмисија јефтина, њена примена је ограничена, највише због тога што су други типови преносника снаге ефикаснији. Због константне радне запремине регулационе пумпе, она мора бити димензионисана тако да може да покрене регулациони мотор са константном брзином под пуним оптерећењем. Када није потребна пуна брзина, флуид излази из регулационе пумпе помоћу вентила за растерећење. Овај губитак енергије је у облику топлоте. Коришћењем регулационе пумпе са променљивом радном запремином, уместо регулационе пумпе са константном радном запремином, обезбеђује се константан пренос обртног момента (слика 7.б). Излазни обртни момент је константан при свакој брзини због тога што обртни момент зависи од притиска флуида и радне запремине регулационог мотора. Повећавањем и смањивањем радне запремине регулационе пумпе повећава се и смањује се брзина регулационог мотора у одређеном односу, док обртни момент остаје релативно константан. Због тога се снага повећава са повећањем радне запремине регулационе пумпе.

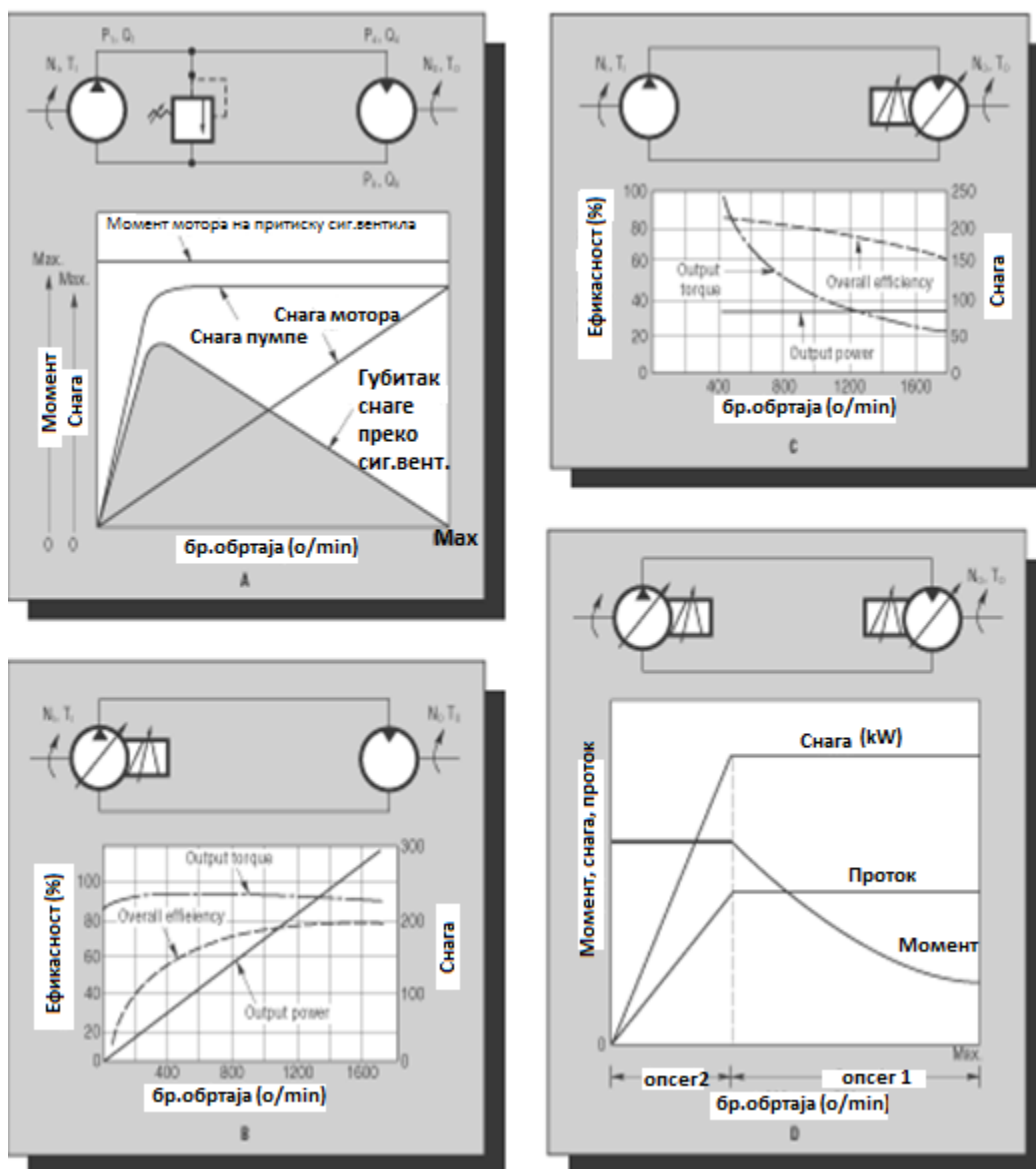
Коришћењем регулационог мотора са променљивом радном запремином који ради у спрези са регулационом пумпом са константном радном запремином, реализује се трансмисија која преноси константну снагу (слика 7.в). Ако је проток ка регулационом мотору константан и ако се радна запремина регулационог мотора мења како би се одржали константним брзина и обртни момент, онда је пренета снага константна. Смањивањем радне запремине регулационог мотора повећава се његова брзина, али се истовремено смањује обртни момент, што представља комбинацију која одржава снагу константном.

Најраспрострањенија конфигурација хидростатичке трансмисије састоји се од регулационе пумпе и регулационог мотора са променљивом радном запремином (слика 7.г). Теоретски гледано, овакав распоред обезбеђује бесконачан број односа обртних момената и брзина. Са регулационим мотором при максималној радној запремини, променљива излазна запремина регулационе пумпе директно мења брзину и излазну снагу, док обртни момент остаје константан. Смањивањем радне запремине мотора при пуној радној запремини регулационе пумпе, повећава се брзина регулационог мотора до њене максималне вредности, обртни момент се инверзно мења са брзином, а снага остаје константна.

Криве на слици 8 представљају две зоне подешавања. У првој зони подешавања, радна запремина регулационог мотора је константна на максимуму, а радна запремина

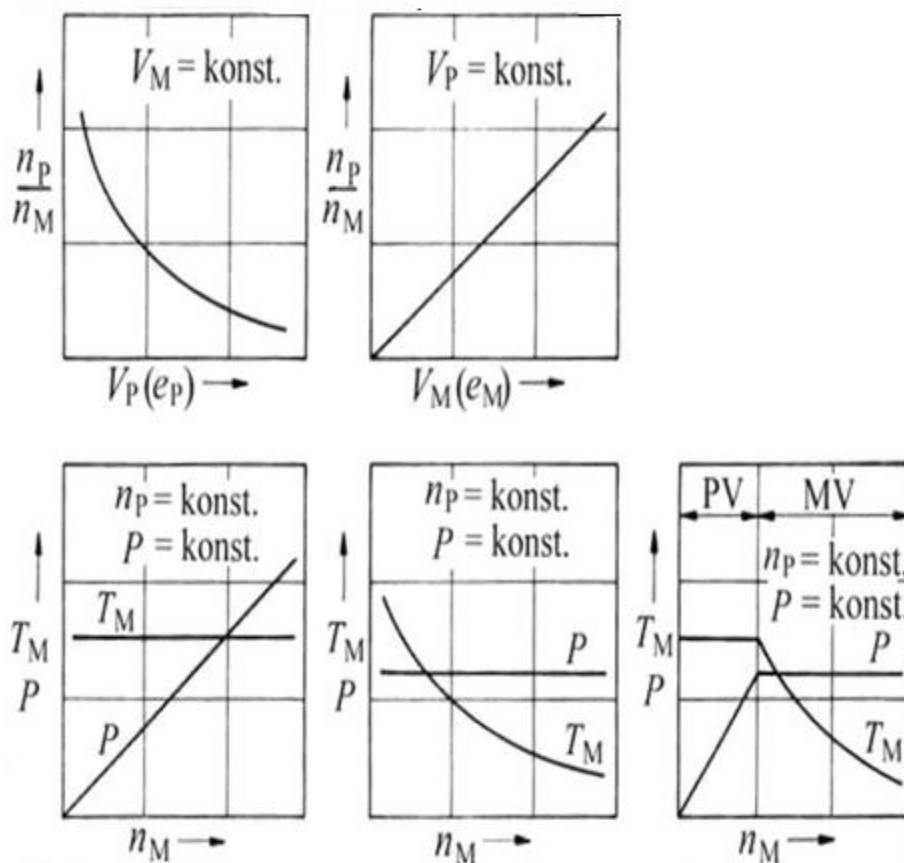
регулационе пумпе се повећава од нуле до максимума. Обртни момент остаје константан како се радна запремина регулационе пумпе повећава, али се упоредо са тим повећавају снага и брзина.

Друга зона подешавања почиње када регулациона пумпа достигне максималну радну запремину, што се постиже док се радна запремина регулационог мотора смањује. У току ове зоне подешавања обртни момент се смањује како се брзина повећава, али снага остаје константна.



Слика 7-Функционална шема хидростатичке трансмисије

- а) са регулационом пумпом и регулационим мотором константне радне запремине;
- б) са регулационом пумпом променљиве радне запремине и регулационим мотором константне радне запремине;
- в) са регулационом пумпом константне радне запремине и регулационим мотором променљиве радне запремине;
- г) са регулационом пумпом и регулационим мотором променљиве радне запремине [3]



Слика 8- Основне карактеристике хидростатичких преносника: PV- регулација пумпом, MV - регулација мотором а) $V_M = \text{konst.}$ б) $V_P = \text{konst.}$ ц) укупна карактеристика [3]

Предност хидростатичке у односу на остале трансмисије је то што је елиминисано степенасто мењање брзина, што може погодовати управљању на путу, а рад у пољу учинити много лакшим. Практични успех се у великој мери односи се на чињеницу да максималан степен искоришћења трансмисије добијамо аутоматским усклађивањем броја обртаја мотора и преносног односа трансмисије, што омогућује да се при великим транспортним брзинама смањује број обртаја мотора, у области константне снаге, а тиме се смањује потрошња горива и повећава степен искоришћења трансмисије. На основу приложене материје и детаљне анализе долази се до закључка да хидростатичка трансмисија има бројне предности у односу на хидродинамичку трансмисију.

Предност хидростатичке у односу на остале трансмисије је:

- континуална регулација брзине,
- теоретски неограничен преносни однос,
- једноставност управљања,
- сигурност у раду погонског мотора и компоненти од преоптерећења,

- стабилност и бешумност у раду.

Недостаци хидростатичке у односу на остале трансмисије су:

- већа цена,
- промена вискозности радног флуида са температуром,
- низак η услед трења,
- проблем заптивања спојева.

Континуално варијабилне трансмисије (Continuously Variable Transmissions - CVT) су трансмисије које омогућавају постизање било ког преносног односа унутар неког датог дијапазона. Хидростатички преносници се састоје од најмање једне хидрауличне пумпе и најмање једног хидрауличног мотора, повезаних у јединствени систем. Код трактора се претежно користе пумпе и мотори клипно-аксијалног типа са нагибном плочом. Даљи развој континуално варијабилних трансмисија тече у правцу коришћења фрикционих и електричних континуалних преносника снаге, али и хибридног погона помоћу дизел мотора и електромотора напајаног из електричних батерија и електрогенератора.

Због могућности континуалне промене преносног односа изводе се пумпе или хидромотори са променљивим протоком. Чешћи је случај да је мотор са константним протоком, а пумпа са променљивим. Континуално променљиви трансмисиони систем има две предности које механички мењач не може да пружи:

- Машина са континуално променљивим мењачем ради ближе максимуму излазне снаге и одговара на свако повећање или смањење оптерећења, без мењања брзина или степена преноса.
- Машина са континуално променљивом трансмисијом може мекше и осетљивије да одговори на промене оптерећења, него било која упоредива машина са механичком трансмисијом.

4.0 Историјски развој трактора

Трактор је возило специјално дизајнирано да пружи високу вучну силу при мањим брзинама, за потребе вучне приколице или машине које се користе у пољопривреди. Реч трактор је преузета из латинског језика, као заступник именице „трахере“ – да се повуче. Прва забележена употреба речи која значи „мотор или возило за вучу кола или плугови“ догодила се 1901. године. Данас у свету постоји велики број произвођача како пољопривредних машина, тако и трактора.

Трактор се, током друге половине XIX века и прве половине XX века, развио у данашњу, конвенционалну форму. Ова форма великим делом дугује историји, као и чињеници да је то веома логично уређење. Трактор, од парних локомотива, а посебно од тренутка појаве првих трактора погоњених моторима са унутрашњим сагоревањем, представља централно место у оквиру пољопривредне механизације [17]. Сматра се да је увођење трактора у пољопривреду највише допринело развоју механизовања пољопривредних радова, ослобађању човека од мукотрпног рада, па тако и развоју цивилизације. Конструктори су као идеју водилу користили ранија конструкторска решења трактора који су били једноставна замена за вучне животиње. Сама конструкција трактора се користи предностима распореда тежине на задње погонске точкове, што доводи до повећања вучне силе. Овако конструисано возило је веома стабилно у хоризонталној равни, због тога што прикључна машина прати путању трактора, а својим отпором кретању доводи цео агрегат у праву линију. Према ОЕЦД (*Organisation for Economic Cooperation and Development*) пољопривредни трактор дефинише се као самоходно возило са точковима или гусеницама, са основном применом у пољопривреди и шумарству који је пројектован и изведен тако да може да задовољи следеће операције:

- да вуче приколице;
- да носи, вуче или покреће пољопривредна и шумарска оруђа и машине.

Прикључне машине које се прикључују на трактор на његовој задњој страни изазивају минимално премештање оптерећења и реактивног момента у хоризонталној равни (за разлику од прикључних машина које се каче са стране). Као резултат свега наведеног било је веома малих или скоро никаквих промена саме концепције трактора као возила кроз дужи временски период, док је са друге стране било великих побољшања у сфери мотора, трансмисије, пнеуматика, контролних система и управљања. Трактор репрезентује најважнију машину у пољопривреди, конструисану да вуче и погони варијанте разних прикључних машина и додатака примењених у комплексним технолошким операцијама пољопривредне производње. У многим земљама око 40 до 50% од укупне величине инвестиција у пољопривредну механизацију отпада на тракторе. Конструкционе карактеристике трактора који се користе у високо-развијеним земљама у задњих 30 година су се значајно промениле. Западноевропски и северноамерички земљорадници захтевају модерне, тзв. “high-tech” тракторе, опремљене најновијим техничким достигнућима која омогућавају високу продуктивност и ефективност. Све више и више пажње се поклања ергономским карактеристикама трактора, као и утицају трактора на околину.

Трактори су се у почетку правили са малом снагом мотора и малим бројем степени преноса, али са развојем пољопривреде и развојем великих пољопривредних газдинстава указала се потреба за већим и јачим машинама које су поседовале већи број степени преноса мењача и већу снагу мотора. Посматрањем етапа развоја тракторских трансмисија запажа се да су се средином осамдесетих година двадесетог века појавили трактори чија је максимална брзина кретања превазилазила стандардних 30 km/h, док је деведесетих брзина од 40 km/h постала стандард за тракторе веће снаге. На почетку XXI века су се појавили трактори са максималном брзином кретања од 50 km/h и чини се да ће то бити нови стандард. Неки произвођачи чак нуде специјалне моделе трактора са максималном брзином преко 60 km/h. Повећање укупног опсега брзина, као и захтев за већим бројем брзина у главном радном опсегу (4-12 km/h) и већи број пузајућих брзина (испод 1 km/h) је довело до драстичног повећања броја степени преноса са 4-5 у шездесетим годинама, на преко 40 степени преноса на крају XX века. Поред повећаног броја степени преноса, мењач је морао да постане комплетно синхронизован ради могућности промене степени преноса под пуним оптерећењем. Намена трактора одређује његове вучне карактеристике. Основни захтев је да у експлоатационом дијапазону постоји већи број степени преноса који ће обезбедити различите вучне силе при различитим брзинама, а да ове брзине буду у оквиру технолошких брзина за одређене операције. При томе, клизање и коефицијент корисног дејства трактора морају бити у границама предвиђеним за одређени тип трактора. [11]

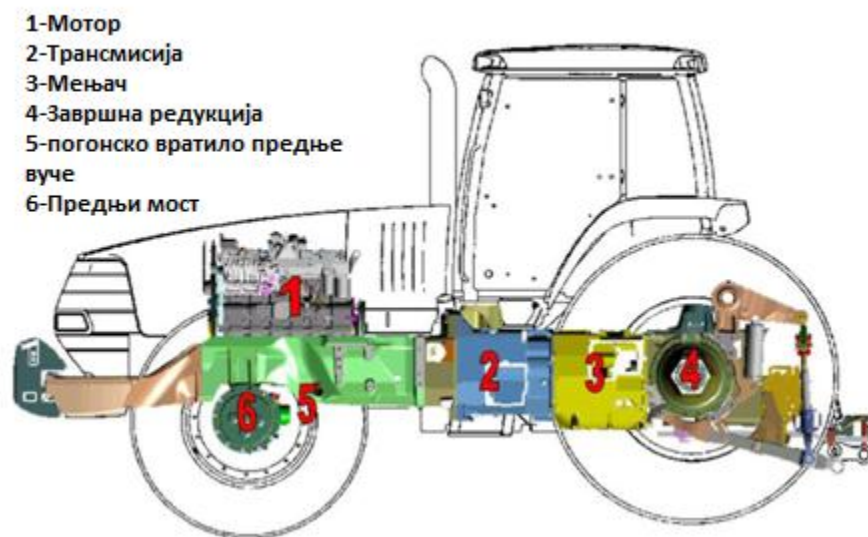


Слика 9- Први трактор на бензин/дизел 1892.год. [15]

5.0 Примена преносника снаге код трактора

5.1 Тракторске трансмисије

Мењачки преносник представља основни и најзначајнији склоп преносника снаге. Основни задатак мењача је да при преносу снаге са мотора на погонске точкове изврши промену његових параметара: обртног момента и броја обртаја, односно угаоне брзине. Осим основног задатка мењач омогућава кретање возила уназад као и прекид тока снаге.



Слика 10- Позиција мењачког склопа у систему преноса снаге трактора [7]

Трактор је возило на моторни погон конструисано да вуче, потискује или носи измењива оруђа за разне привредне радове, односно да служи за покретање таквих оруђа или за вучу прикључних возила. Трактор је возило специјално дизајнирано да пружи високу вучну силу при мањим брзинама, за потребе вучне приколице или машине које се користе у пољопривреди. Трактор репрезентује најважнију машину у пољопривреди, конструисану да вуче и погони варијанте разних прикључних машина и додатака примењених у комплексним технолошким операцијама пољопривредне производње. Данас се на многим поседима индивидуалних произвођача употребљава трактор са прикључцима у обради земљишта, ђубрењу, сетви, неги, заштити од биљних болести и штеточина, берби и транспорту пољопривредних производа као и за многе радове у сточарству.

Трактор се, током друге половине XIX века и прве половине XX века, развио у данашњу, конвенционалну форму. Сама конструкција трактора се користи преднос-

тима распореда тежине на задње погонске тачкове, што доводи до повећања вучне силе. Овако конструисано возило је веома стабилно у хоризонталној равни због тога што прикључна машина прати путању трактора, а својим отпором кретању доводи цео агрегат у праву линију.

Пољопривредни трактори се могу поделити према својим конструктивним карактеристикама и намени. Према врсти употребних мотора деле се на:

- тракторе са ото мотором (Otto-мотор - бензиски мотор)
- тракторе са дизел-мотором (Diesel-мотор).

По врсти уређаја за вожњу, односно типу ходног система трактори се деле на:

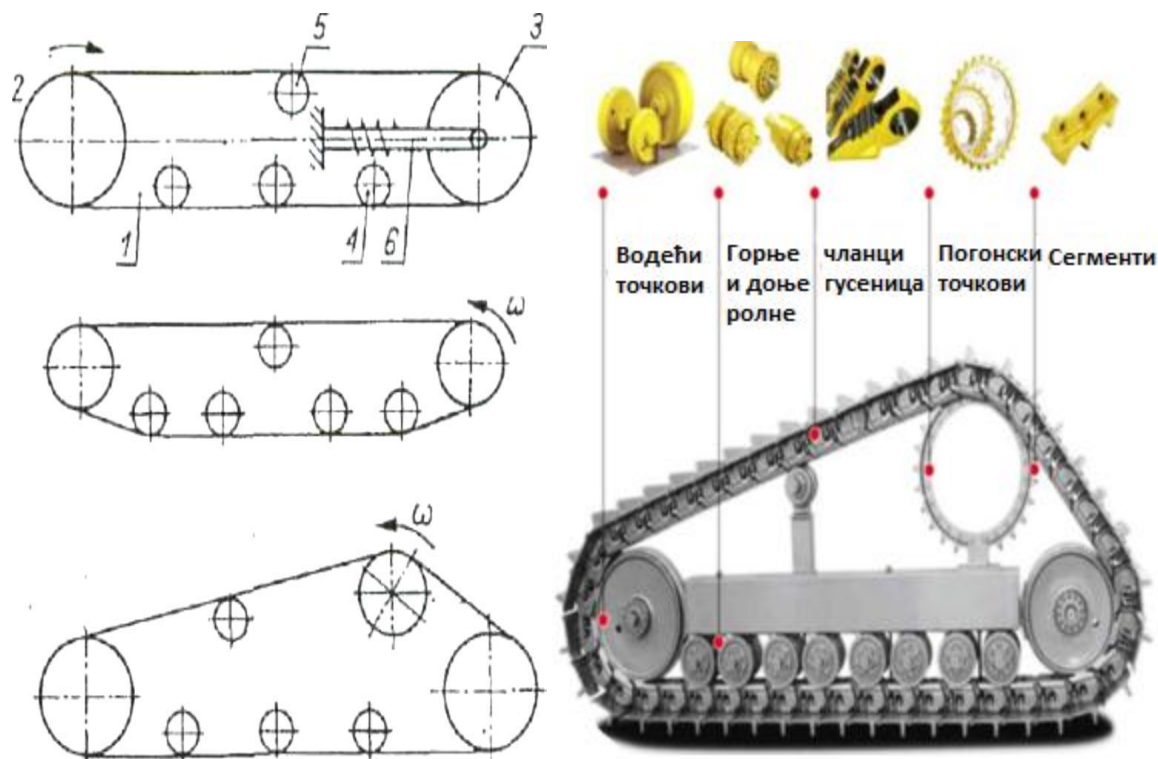
- тракторе са точковима,
- тракторе гусеничаре,
- тракторе са точковима и гусеницама.

Гусенична возила примењују се за услове кретања по беспућу, мекој подлози и насутим путевима. Разлог томе је, што осим нагиба које возило мора да савлада, постоји неравна површинска структура тла с удубљењима, избочинама и препрекама. Због тога се јавља различит момент оптерећења на точковима, што директно утиче на различито оптерећење хидростатичке трансмисије.

Гусенични транспортни уређај се одликује релативно малим специфичним притиском на ослону површину. Брзине кретања машина на гусеничном транспортном уређају се крећу од 10 до 15 km/h, за мање машине и до 6-10 m/min за веће машине. Специфични притисак на тло машина са гусеничним транспортним уређајем знатно је нижи него код машина на пнеуматичима, јер је ослона површина гусеница на тло знатно већа и ако је по правилу маса гусеничних машина исте снаге далеко већа него код машина на пнеуматичима исте снаге.

Ширина и дужина гусеница је различита, а одређује се у зависности од инсталисане снаге, врсте и намене машине и носивости тла на којем машина треба да ради. У слабо носивом или блатњавом тлу, користе се машине са широким гусеницама, док се за рад машина по чврстој подлози по правилу користе уже гусенице.

Гусенични систем чини склоп: гусеница, погонски и водећи тачкови, носећа и потпорна ролна и механизам за регулисање затезања гусенице. Разликујемо гусенични равни, коси и троугласти систем.



Слика 11 - Гусенични систем: равни, коси, троугласти 1) гусенични ланац, 2) погонски точак, 3) водећи точак, 4) носећи точак, 5) потпирни точак, 6) склоп за затезање гусенице [17]

Од стандардних трактора користе се једноосовински или двоосовински точкаши (или гусеничари) са дво- или четворотактним дизел или бензинским мотором, који може да има 1 - 4 цилиндра.

Једноосовински трактори имају предност за мање површине и за земљишта лакшег механичког састава. Вучна снага им је до 10 kW. Обично имају два точка (ређе само један), полуге са рукохватима уз помоћ којих се управља, бензински или дизел мотор, рам за прикључке и контратегове са предње стране (код једноосовинских трактора веће снаге) због повећања учинка вучне силе трактора при тежим радним операцијама (дубоко орање).

Двоосовински трактори могу бити са погоном на задњим точковима или на сва четири точка уз могућност блокирања диференцијала. Зглобна конструкција омогућава маневрисање на мањим површинама. Вучна снага им је обично од 10 - 50 kW (али и до 480 kW) што је довољно за већину радних операција.



Слика 12.- Трактор са точковима [13]

Код трактора гусеничара ходни систем су посебно конструисане гусенице. Нова техничка решења и посебна прилагођеност електричне трансмисије и ходног система, чине трактор гусеничар знатно конкурентнијим у односу на тракторе са точковима.

Задатак трансмисионих уређаја трактора је да расположиву снагу мотора пренесу на погонске точкове који могу бити задњи (4 x 2) или задњи и предњи (4 x 4). У трансмисији се велики број обртаја мотора редукује на мали број обртаја погонских точкова чиме се постиже одговарајућа брзина потребна за рад у пољу. Пренос снаге од мотора до погонских точкова иде преко спојнице, мењача брзина са редуктором, конусно-тањирастог преносника, диференцијала, полуосовина и завршних преносника.



Слика 13.- Трактор гусеничар [14]

Прикључна оруђа на тракторима представљају основни радни орган сваког трактора како за обављање пољопривредних, тако и воћарских и других радова. Сама њихова конструкција није се много мењала од времена када су измишљена. Прикључна оруђа која се користе на тракторима за обављање пољопривредних радова су:

- Машине за ратарство (раоник),
- Оруђа за предсетвену обраду земљишта (тањираче, култиватори, ваљци),
- Машине за сетву (сејалице за стрна жита, сејалице за окопавање),
- Машине за убирање стрних жита (берач кукуруза),
- Машине за вађење шећерне репе,
- Машине за заштиту ратарских услова,
- Машине за убирање поврћа,
- Машине за спремање сена (косачице, грабуље, пресе за сено).

Раоник, како му сам назив каже, служи за орање земљишта. У односу на облик и конструкцију постоје амерички, европски и прелазни тип раоника. Амерички има продужен врх и шиљак с кривом оштрицом, док је европски правилног трапезастог облика и оштрица му је равна. Раоници се углавном израђују од челика, с доњим задебљањем које служи као резерва за искивање. Међутим, у новије време многе фабрике производе самооштреће раонике. Они су израђени од ливеног гвожђа, али тако да је једна страна раоника различите тврдоће у односу на другу.



Слика 14.- Раоник [16]

Тањирача се састоји од уређаја за прикопчавање за трактор, рама, батерије са дисковима уређаја за промену угла батерије и сандука за стављање терета. Тањире или дискови могу бити по ободу назубљени или глатки. На сваком диску постоји чистач који спречава лепљење земље за диск.



Слика 15.- Тањирача [16]

Култиватори се користе за предсетвену припрему и уместо плуга за основну обраду земљишта за пшеницу, затим за култивирање ливада и пашњака.



Слика 16.- Ваљци [16]

Задатак сејалице је да обезбеде жељени број исејаних семенки по јединици површине и правилан распоред.



Слика 17.- Сејалица [16]

Савремена пољопривреда у развијеним земљама суочена је са следећим захтевима:

- да се оствари што виши квалитет,
- да се производи по што нижим ценама и
- да буде што мање утицаја на животну средину.

Развојем електротехнике, хидраулике, електронике, сензора и информатичких технологија нагло се повећао број функција на самоходним, погонским и прикључним пољопривредним машинама које је могуће контролисати и самим тим прецизније одговарати горе наведеним захтевима. У исто време, развијају се и поступци за контролу, као и управљање радом пољопривредних машина. Ово је нова и савремена област са великом перспективом, о чему сведочи и то да је највећи број иновација у домену пољопривреде заснован на примени мехатронике и ИЦТ (информационо-комуникационих технологија). [11]

Хидростатички преносници се користе на свим оним местима где је потребно реализовати велики обртни момент уз мале габарите погонског уређаја као и на свим оним местима где се јавља потреба за променом броја обртаја у опсегу до 40:1, код пумпе, односно 4:1, код мотора.

Пумпа (једна или неколико њих), која добија погон од мотора, потискује под притиском течност кроз цевоводе у хидраулични мотор. Захваљујући практичној нестишљивости течности при овоме се успоставља чврста кинематска веза између хидрауличног мотора и пумпе.

Хидростатички преносници према карактеру кретања деле се на хидропреноснике са:

- обртним кретањем,
- трансляторним кретањем и
- осцилаторно обртним односно осцилаторно трансляторним кретањем.

У првом случају кретање изводи хидромотор, а у другом и трећем хидроцилиндар.

Према конфигурацији хидрауличног круга пумпе и моторе могу се поделити на оне намењене раду у отворном кругу (*open-loop hydraulic system*), и оне намењене раду у

затвореном кругу (*closed-loop hydraulic system*). У отвореном кругу флуид из актуатора одлази у резервоар, док пумпа усисава флуид из резервоара. У затвореном кругу флуид који излази из актуатора директно улази у пумпу. Теоретски, никакав резервоар није потребан. Ипак, сваки затворени хидраулички круг има резервоар (мали у односу на отворени круг), те има мању пумпу која служи за напајање главне пумпе (тј. напаја хидрауличку линију у којој је мањи притисак). Начелне предности затвореног круга су нека боља својства (динамички одзиви, прецизност, компактност), док су недостаци слабија могућност хлађења, те сложеније управљање системом.

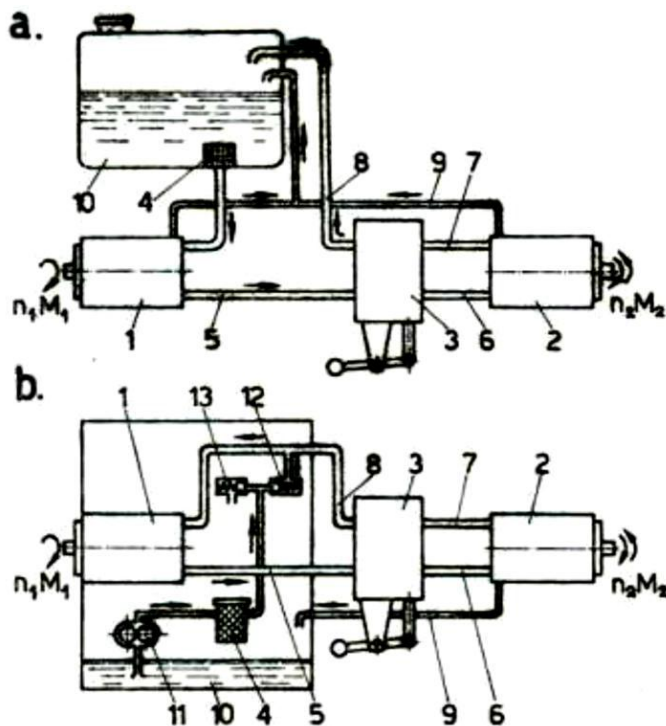
Код хидрауличних трансмисија отвореног типа (сл 18.а) при обртању вратила пумпе течност се из резервоара 10, кроз филтер 4 усисава у пумпу 1 и потискује кроз разводник 3 у хидраулични мотор 2, а затим се течност кроз цевовод 8 враћа назад у резервоар. За време рада настају неизбежни губици течности кроз зазоре између тарних површина радних елемената пумпе и хидрауличних мотора. За одвод ове течности у резервоар предвиђени су дренажни цевоводи 9.

Хидростатичка трансмисија обухвата две основне групе:

- примарне хидростатичке компоненте (хидропумпе),
- секундарне хидростатичке компоненте (хидромотори, хидроцилиндри).

Најчешће врсте хидропумпи и мотора су:

- клипно-радијалне ,
- клипно-аксијалне,
- зупчасте.



Слика 18– Хидростатички преносник
а) отвореног и б) затвореног типа [10]

5.2 Примена хидростатичког преноса код трактора

Хидростатички погон и трансмисија отклањају проблем крутости, јер се губи потреба за механичком везом појединих целина конструкције. Пошто хидростатичко решење трансмисије омогућава велико растојање и укидање сваке механичке везе за пренос кретања, између пумпе, као генератора, и мотора, као пријемника пружа се могућност да се мотор постави директно у точак. Дакле, могуће је уклонити појам механичког моста или положаја погонских точкова. Основни интерес за уклањање погонског моста лежи у томе да се добије више простора између точкова што омогућује спуштање тежишта машине и повећање њене стабилности. Ово је омогућено конструисањем хидрауличког точака (слика 19), који представља један од четири основна хидростатичка модула, поред модула погонског блока, модула напојног блока и модула управљачког блока. [11]



Слика 19- Хидраулични модул мотор – точак [11]

Хидраулични точак се састоје од хидромотора уграђеног у главчину точака који прима на себе радијално оптерећење и предаје снагу точку саопштавајући му кретање. Мотор је погоњен пумпом одређене радне запремине чији се број обртаја налази у границама од 1.000 – 3.000 o/min. Савремени хидромотори могу да развију излазни број обртаја у истим границама. Према подацима из праксе, хидраулички точкови се могу сматрати веома погодним за мале брзине.

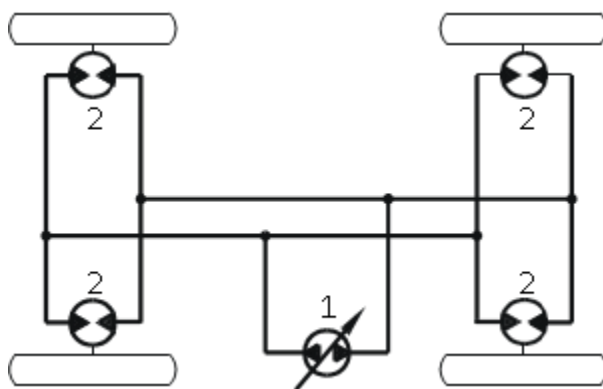
Сви се хидраулички точкови могу сврстати у две категорије:

- са зупчастим редуктором између хидромотора и точака, којима за погон служе брзоходни конвенционални хидромотори,
- директно гоњене хидромоторима мале брзине, а великог момента - спороходни, који су веће радне запремине и раде у подручју од 0 до 100 o/min.

Ови мотори имају веома повољан степен корисности, а по конструкцијском извођењу могу бити крилни, обртни, и најчешће клипно-радијални, јер су они најпогоднији за хидрауличке точкове, а својом тежином доприносе стабилности машине. Код брзоходних хидромотора је гушћи низ називних момената због комбинације хидромотора са редукторима различитих карактеристика, тако да имају одређену предност при одабирању адекватног мотора за уградњу. Са друге стране спороходни хидромотори имају стационаран момент на бројевима обртаја који су веома блиски нули, за разлику од брзоходних код којих се стационарни момент добија тек на бројевима обртаја, који се крећу од 5 до 12 o/min. За уређаје код којих је важан стационаран момент у тренутку поласка (полазни момент) погоднији су спороходни мотори. У принципу точкови опремљени спороходним хидромоторима су једноставнији, а и одржавање им је лакше, јер нема преносног редуктора и неприлика са зупчаницама.

Пренос снаге на погонске точкове са хидростатичком трансмисијом се изводи на један од следећих начина:

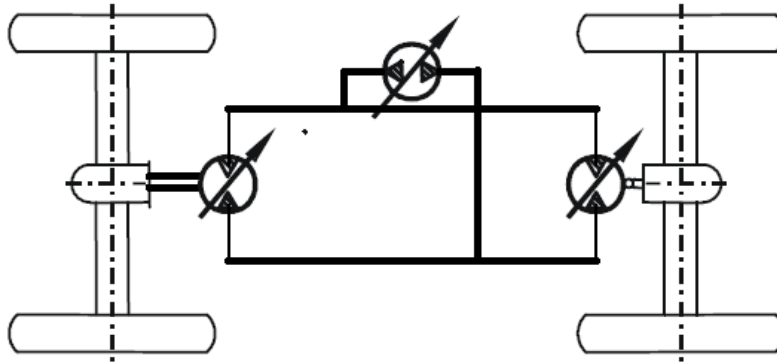
1. На слици 20 приказана је функционална шема хидростатичке трансмисије са хидромоторима постављеним у сва четири точка. Овде је најчешће пумпа променљиве радне запремине. Хидропумпа напаја хидромоторе постављене директно у сва четири точка, са или без бочних редуктора. Поставља се аксијално – клипна пумпа променљивог протока која напаја четири хидромотора. Задње точкове погоне два мотора константе запремине и укључују се само у време жетве. Погон предњих точкова остварен је моторима променљиве запремине. Ако раде сва четири мотора, предњи се подесе на исту радну запремину на којој су и задњи. При транспорту, мотори константне запремине се искључују, па се за погон користе само мотори на предњим точковима са две могуће брзине, што зависи од стања пута. Овде пумпа преузима функцију континуалног мењача и функцију кочења трансмисијом, пошто је променљивог протока, а хидромотори, који су паралелно везани преузимају функцију диференцијала.



Слика 20 - Функционална шема хидростатичке трансмисије са хидромоторима постављеним у сва 4 точка [10]

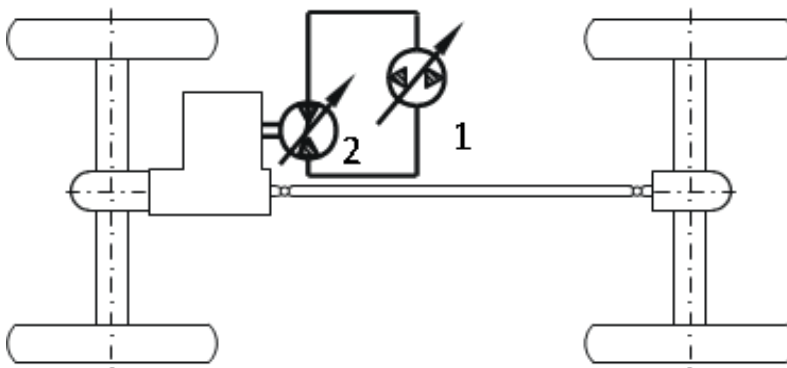
2. Решење које представља комбинацију хидростатичке и механичке трансмисије приказано је на слици 21. Хидропумпа напаја хидромоторе који су постављени на улазе погонских мостова. Могућа је варијанта са пумпом и/или хидромотором

променљиве радне запремине. Искључивањем једног хидромотора из кола, други хидромотор се може напајати двоструко већим протоком, чиме се добија додатни опсег високих брзина кретања.



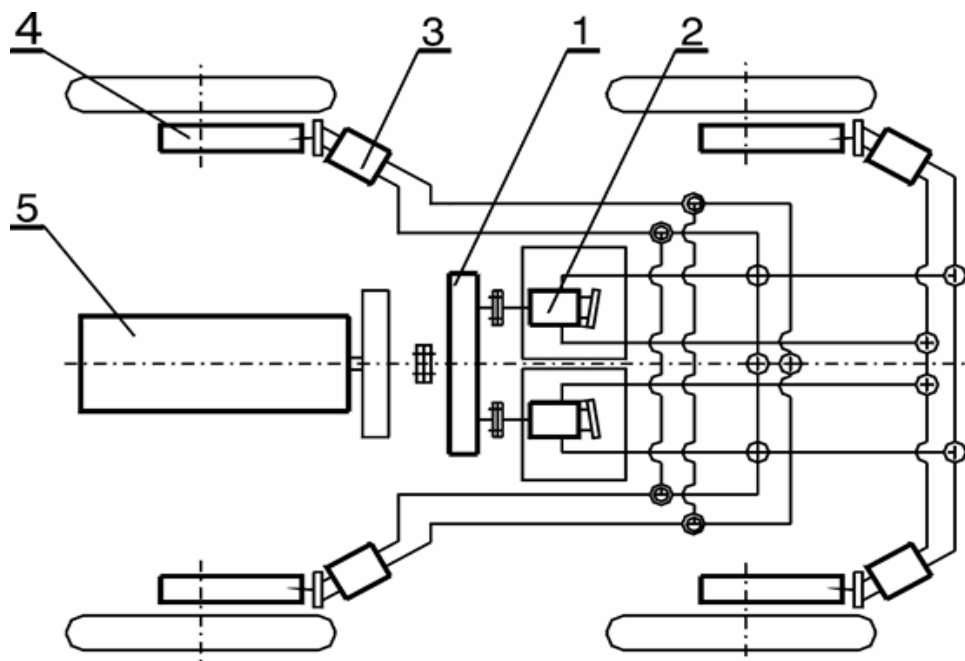
Слика 21- Функционална шема хидростатичке трансмисије са хидромоторима постављеним на погонске мостове [10]

3. Решење трансмисије кретног система по коме хидропумпа напаја хидромотор са којег се снага одводи помоћу разводника погона на погонске мостове приказано је на слици 22. Овде хидропумпа и хидромотор преузимају улогу главног и помоћних мењача код механичке трансмисије. Хидропумпа и/или хидромотор су променљиве радне запремине. Овај концепт трансмисије такође спада у групу комбинованих.



Слика 22- Функционална шема хидростатичке трансмисије, [10]

На слици 23. приказано је једно од интересантнијих решења хидростатичке трансмисије трактора предвиђеног за рад на нагнутим теренима, која се састоји од редуктора (1) постављеног иза мотора (5), две хидропумпе променљиве запремине (2), четири хидромотора са аксијалним клиповима (3) и четири двостепена редуктора (4).



Слика 23: Функционална шема хидростатичке трансмисије 4x4, са две пумпе, [10]:

1 - једноступени редуктор, 2 – пумпа, 3 – хидромотор,
4 - двоступени редуктор, 5 - дизел мотор [11]

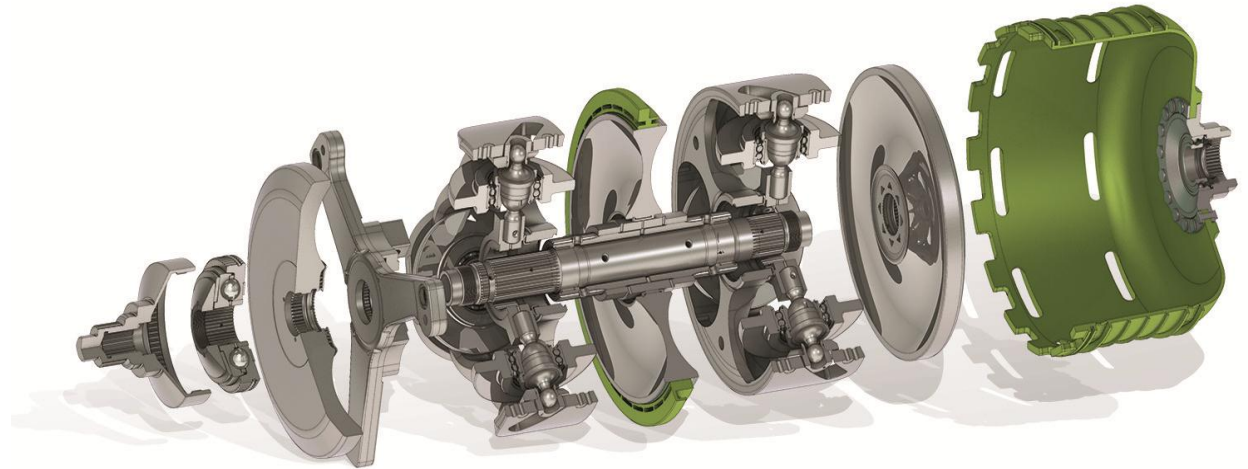
Према приказаној шеми спајања хидропумпи са хидромоторима (слика 20), могуће је остварити различите варијанте погона точкова:

- искључити из погона хидромоторе предњих точкова и укључити хидромоторе задњих точкова на једну или обе хидропумпе,
- паралелан погон, односно спојити сва четири хидромотора на обе хидропумпе,
- одвојено спајање хидромотора левих и десних точкова,
- искључивањем хидромотора предњих точкова и спајањем обе хидропумпе са хидромоторима задњих точкова, максимална брзина кретања трактора ће се удвојити,
- паралелно спајање сва четири хидромотора идентично је покретању свих погонских точкова преко диференцијала, а одвојено спајање предњих и задњих точкова са било којом пумпом одговара блокирању диференцијала.

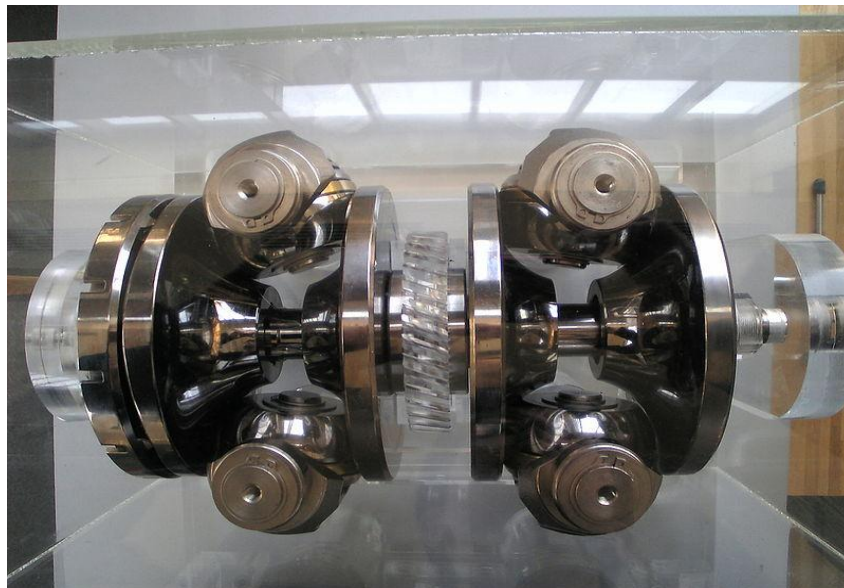
Управљање трансмисијом постиже се једном ручицом преко разводника и система полуга. Померањем ручице напред или назад мења се смер обртања и проток хидропумпе, чиме се постиже континуална промена брзине и реверсно кретање трактора. Померањем ручице у неутрални положај, посебан прекидач искључује све хидромоторе.

5.3 Континуално варијабилна трансмисија- ЦВТ

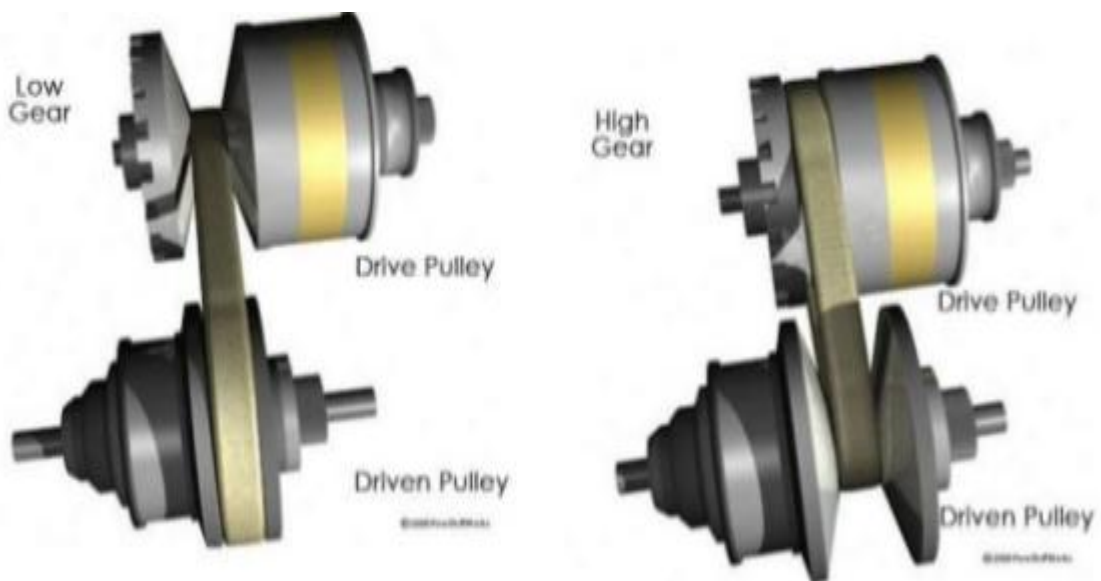
ЦВТ скраћеница се односи на све континуално варијабилне трансмисије, али принципи рада различитих решења често немају никакве везе једни са другим. ЦВТ (*Continual Variable Transmission*) или Континуално Варијабилна Трансмисија у принципу подразумева механички пренос са фрикционим паровима (ланцима или дисковима).



Слика 24 - Континуално варијабилна трансмисија са дисковима [6]



Слика 25 - Континуално варијабилна трансмисија са дисковима [6]

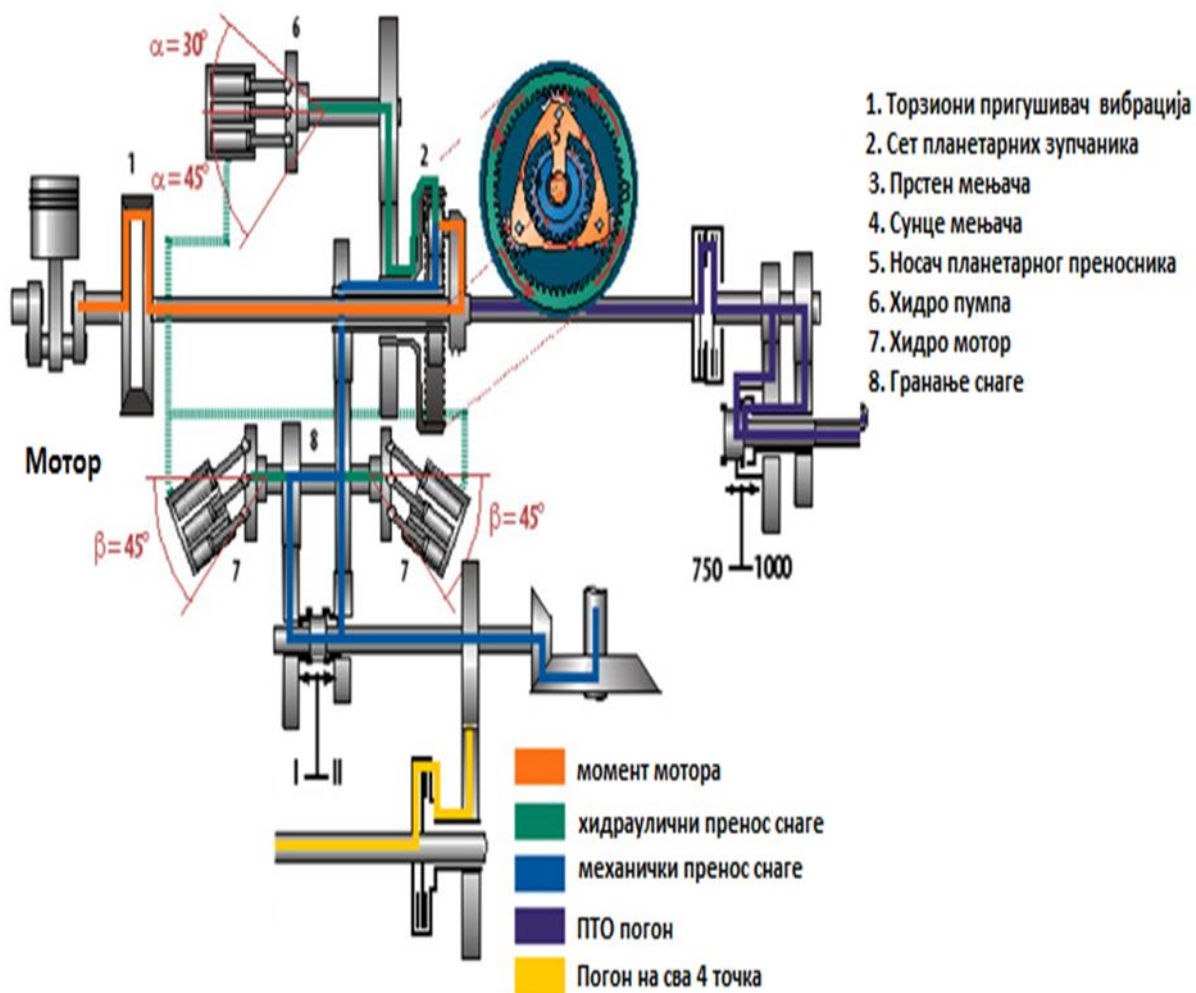


Слика 26 – Континуално варијабилна трансмисија са фрикционим ланцем или каишем [9]

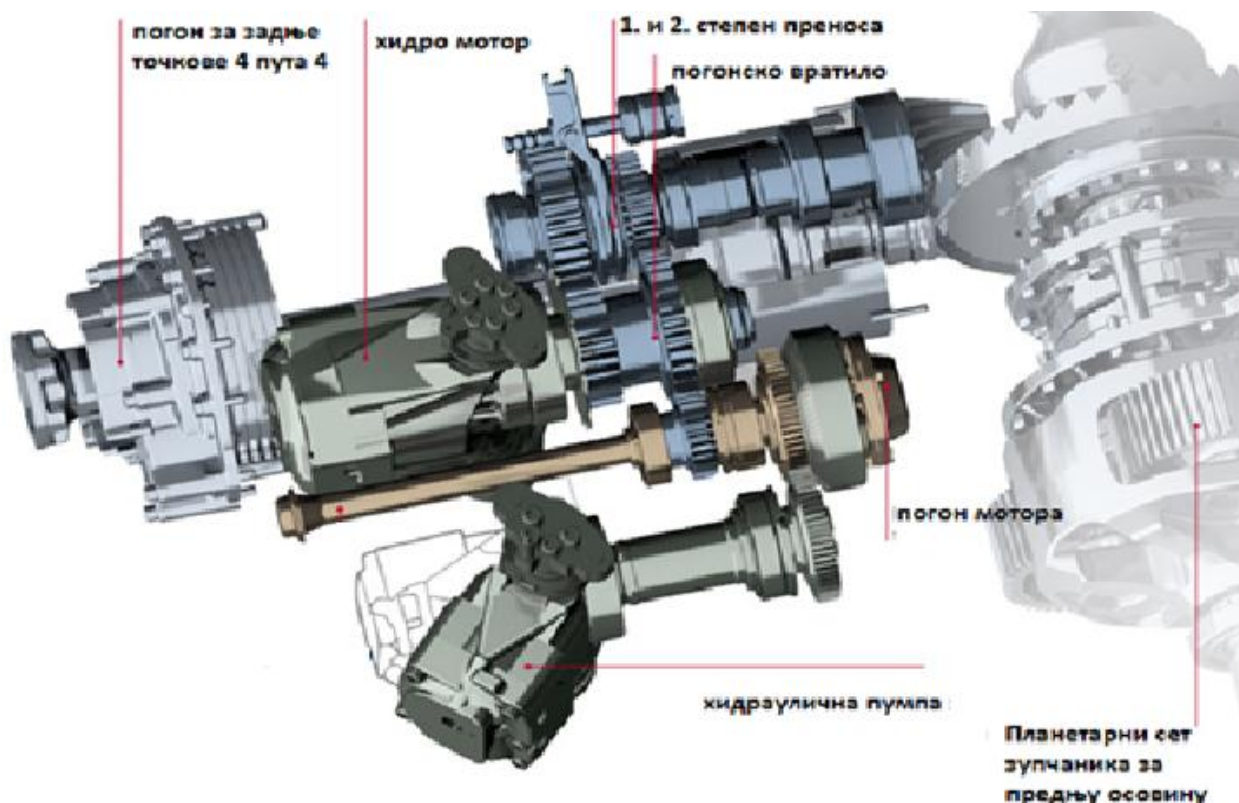
Мотор преко спојнице погони хидрауличну пумпу. Пошто се ради о клипној аксијалној пумпи са закретном плочом, промене протока се врше веома лако, закошењем статора или ротора пумпе. Са друге стране, имамо хидрауличне моторе, такође клипно аксијалне са закретном плочом. Њихов рад се регулише њиховим закошењем. Када стоје равно, они мирују и нема кретања. Како се угао закошења повећава, они се врте све брже и са већим моментом. На исти начин ради и пумпа - када стоји равно, она уопште не пумпа уље, када стоји максимално закошена, она пумпа са максималним капацитетом. Мењањем угла пумпе и мотора могуће је варирати брзину и обртни момент који се преноси даље на трансмисију у неограничено много корака. Проблем хидростатичких трансмисија је то што нису погодне за рад при великим брзинама (трактор иде 50-60 km/h у транспорту) због екстремног загревања уља. Због тога ЦВТ трансмисија има механички део који преузима погон при већим брзинама, док хидростатички део прелази у стање мировања тј. и пумпе и мотори су исправљени.

Све варијабилне трансмисије у принципу спадају у ЦВТ. Могу бити механичке, хидростатичке, па чак и електричне какве користе дизел-локомотиве, дампер камиони, па и један прототип Беларус трактора (Беларус трактори су први који су се сетили да то пробају у трактору). ЦВТ трансмисије са фрикционим ланцем које погоне електромотори од 750 kW као и дизел-електрични агрегати на дампер камионима омогућавају да се врло лако убрзавају и коче огромни терети са континуалним убрзањима, што је немогуће извести класичним трансмисијама. Постоје и друге варијације на тему ЦВТ, а које укључују разне комбинације фрикционих, зупчастих и хидростатичких, па и хидродинамичких елемената који су овде наведени.

На слици 27. је приказана ЦВТ хидростатичка трансмисија код трактора Fendt VARIO.



Слика 27 - Шема Fendt-ове CVT хидростатичке трансмисије (ИВТ трансмисија)- варијација брзине врши се мењањем брзине протока уља [21]

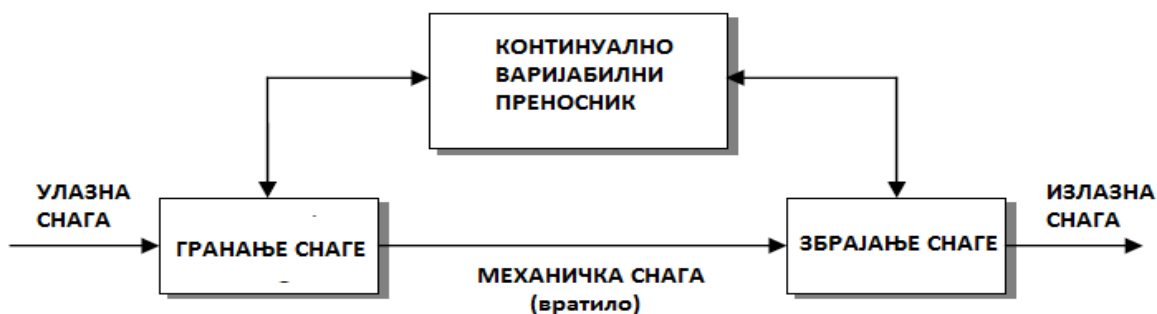


Слика 28 – Хидростатичка ЦВТ трансмисија код трактора марке Fendt VARIO [21]

Хидростатички пренос се јако дуго користи код великог броја машина, код разних багера, али и код мањих машина као што су утоваривачи, машине у рудницима, комбајни за кукуруз итд. Иако ВАРИО спада у ЦВТ мењаче, он је ипак категорија за себе јер има једну веома важну особину - ВАРИО наима омогућава мировање иако је трансмисија активна. Хидростатичке трансмисије немају потребу за спојницом јер се пренос снаге и момента врло лако прекида једноставним постављањем пумпе, мотора или обоје у положај мировања и тада нема кретања уља. Пошто је уље нестишљиво, аутоматски се остварује и кочење (у реалности то ипак није тако идеално и потребан је бар веома мали угао код хидромотора како би се надокнадили губици у систему - ипак није могуће у потпуности уклонити цурење). Због тога ВАРИО (не све варијабилне хидростатичке трансмисије) спадају у тзв. ИВТ трансмисије или *Infinite Variable Transmission* тј. Бесконечно Варијабилна Трансмисија. ВАРИО такође садржи и механички преносник, управо у циљу смањења губитака. При великим брзинама рада, код хидростатичких система долази до великог загревања уља, а услед тога му пада вискозитет тј. уље постаје "ретко". Због тога губици драстично расту јер се "ретко" уље лако провлачи поред заптивки. Због тога се при већим брзинама кретања прелази на чисто механички пренос јер он има, у том случају, мање губитке. Из мировања ће се покренути уз помоћ хидростатичког преноса. За мотор је то веома лако због великог преносног односа који таква трансмисија омогућава, а поред тога, ту је и готово идеално континуално убрзавање. При некој брзини (нпр. од 30 km/h)

пренос преузима механички део и трактор наставља да убрзава на класичан начин. При кочењу поступак се понавља али унатраг.

Повећање укупног степена корисности трансмисије, остварује се помоћу гранања снаге (момента) кроз хидростатички и механички преносник. При нижим бројевима обртаја снага се преноси преко хидростатичког преносника због његове добре управљивости, а код виших бројева обртаја користи се механички преносник због његовог великог степена искоришћења. Идеални пренос снаге кроз хидростатички и механички део, приказан је у дијаграму.



Слика 29- Гранање снаге хидростатског и механичког преносника [6]

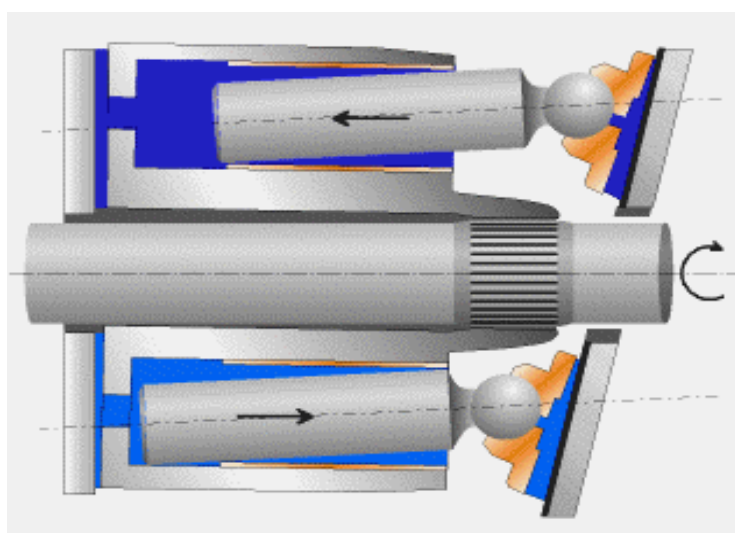
Основна идеја је гранање улазне снаге у два дела, при чему се један део преноси помоћу варијабилног хидростатичког преносника, а остали део снаге помоћу механичког преносника с константним преносним односом који има већи степен корисности. Након гранања, делови снаге се збрајају у диференцијалном или планетарном преноснику. За улазну брзину на планетарном преноснику се јављају две брзине, једна је константна, а друга је варијабилна из чега произлази варијабилна излазна брзина. У складу с конструкцијом само се део снаге претвара у хидростатичком преноснику, па је укупан степен корисности већи од степена корисности самог хидростатичког преносника. Претпостави ли се да је проценат гранања снаге 70% кроз механички преносник и 30% кроз хидростатички преносник са искоришћењем механичког преносника од 95% и искоришћењем хидростатичког преносника од 80%, произилази да је укупни степен корисности $0,7 \cdot 0,95 + 0,3 \cdot 0,8 = 0,905 = 90,5\%$. Трансмисија са гранањем снаге се почиње користити деведесетих година прошлог века код пољопривредних трактора. Коришћењем се смањује проклизавање точкова због континуалне промене преносног односа, а уједно се постиже и већи степен корисности. Године 1995. произвођач трактора "Fendt" представља први велики трактор с оваквом трансмисијом и то модел 926 Варио. Осим Fendt Varіо, данас на тржишту постоје још два конструкцијска решења за стандардне пољопривредне тракторе. То су "S-Matic" CVT/CVX преносник фабрике "Steyr" и "Eccom" произвођача "ZF". Ове трансмисије тренутно се уграђују у тракторе "Case-IH" и "Case-Steyr" као и у тракторе "John Deere" и "Deutz-Fahr". [6]

5.4 Хабање клипно аксијалних пумпи



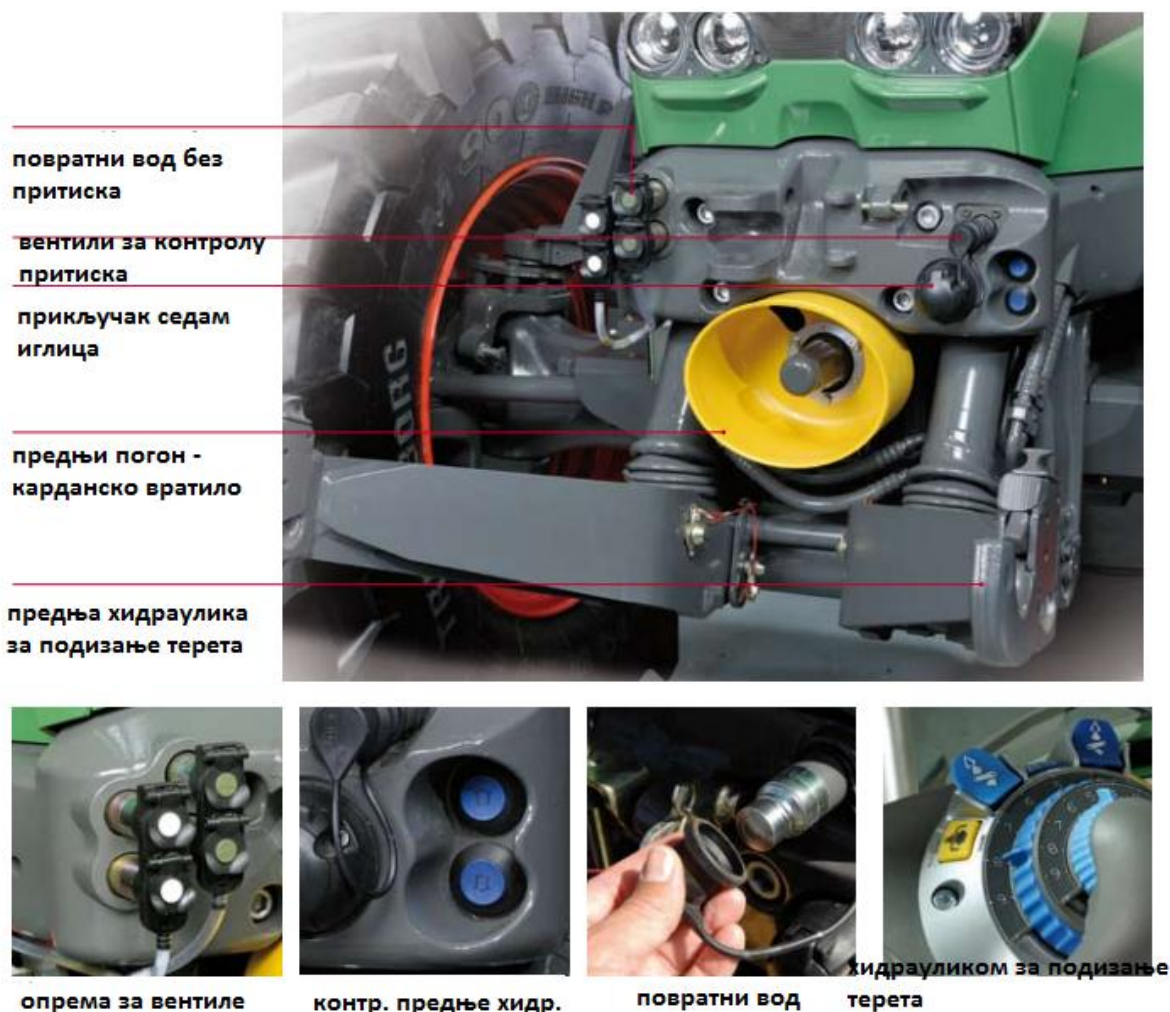
Слика 30 - Похабани клипови клипно аксијалне пумпе [11]

Клипно аксијалне пумпе су јако подложне хабању, што је уједно и највећа мана поред загревања уља при великим брзинама радних машина. Клипови оваквих пумпи, као што се види, немају никаквих заптивки - заптивање се врши контактом метал на метал. Јасно је да се цилиндри у статору облажу посебним материјалима тако да немамо контакт челик-челик, али хабање је ипак велико, највише због немогућности да се сви елементи учине савршеним.



Слика 31 – Хабање клипноаксијалних пумпи [11]

5.5 Употреба хидростатичке трансмисије за управљање и додатне операције на трактору



Слика 32 – Предња страна трактора са различитим прикључцима [21]

Свака радна машина (трактор) може обављати различите операције на терену. Под тракторима се често називају и радне машине које се не користе само на пољу и њиви, а и сами трактори често преузимају улогу других радних машина, као што су утоваривачи, виљушкари и слично. У том случају, потребно је да имају одговарајуће прикључке, како за хидраулику, тако и механичке операције. Овакви прикључци могу бити како са предње, тако и са задње стране трактора. Хидраулика данас обавезно покреће серво управљач трактора тако да је управљање трактора олакшано, нарочито ако се ради о већим тракторима. Прикључне машине често захтевају и прикључке за ваздух под притиском.



Слика 33 – Коришћење хидраулике за управљање и подизање терета на трактору са задње стране [21]



Слика 34 - Употреба различитих прикључних машина на савременим тракторима [21]

6.0 Прорачун хидростатичког преносника код трактора точкаша

У наредном делу приказан је прорачун хидростатичке трансмисије која се примењује код трактора точкаша марке Fendt 313 Vario [21]. Усвојени параметри су:

Укупна маса трактора:

$$m_o = 10000 \text{ kg}$$

Маса терета који оптерећује трактор:

$$m_t = 3500 \text{ kg}$$

Димензије гума 20,5-25 (16 платна):

$$r_d = 0,685 \text{ m}$$

Снага погонског мотора:

$$N = 90 \text{ kW}$$

Максимални улазни број обртаја (називни број обртаја пумпе):

$$n_p = 4500 \text{ min}^{-1}$$

Максимална радна брзина:

$$v_{R\max} = 11 \text{ km/h}$$

Максимална транспортна брзина:

$$v_{T\max} = 45 \text{ km/h}$$

Коефицијент адхезије:

$$\phi = 0,8$$

Коефицијент отпора кретања:

$$f = 0,03$$

Преносни однос моста:

$$i_G = 18,79$$

- Избор параметара хидростатичке трансмисије:

Према максимално усвојеној транспортној и радној брзини одређује се степен редукције:

$$i_R = \frac{v_{T\max}}{v_{t\min}} = \frac{45}{11} = 4,091$$

Усвајају се преносни односи:

$i_R = 4,091$ за радно подручје,

$i_T = 1$ за транспортно подручје.

Максимална вучна сила зависи од тежине оптерећеног трактора и коефицијента адхезије:

$$F_{\max} = m \cdot g \cdot \phi = 13500 \cdot 9,81 \cdot 0,8 = 105948 N$$

Вучна сила при транспортним брзинама може се изразити према:

$$F_{\min} = m_o \cdot g \cdot f_r = 10000 \cdot 9,81 \cdot 0,1 = 9810 N$$

где је:

m_o - маса пуног трактора (kg),

f_r - коефицијент отпора котрљања,

$f_r = 0,1$ - за земљани пут,

$f_r = 0,03$ - за пут од асфалта и бетона,

Укупан степен трансформације хидростатичког преносника снаге:

$$i_n = i_{hp} \cdot i_{hm} = \frac{q_{p\max}}{q_p \cdot \phi_{\min}} \cdot \frac{q_{m\max}}{q_m \cdot \phi_{\min}}$$

односно:

$$i_h = \frac{v_{\max} \cdot F_{\max}}{3600 \cdot \eta \cdot \eta_R \cdot \eta_G \cdot N_1} = \frac{\text{привидна снага}}{\text{реална снага}} = \frac{11 \cdot 105948}{3600 \cdot 0,8 \cdot 0,87 \cdot 0,92 \cdot 82,8} = 6,1$$

где је:

$$N_1 = N - N_N = 90 - 7,2 = 82,8 kW$$

$N_N = 0,08N = 0,08 \cdot 90 = 7,2 kW$ -обухвата губитак снаге која је апсорбована на погон неоптерећене пумпе радног уређаја и управљача,

$\phi = 0,8$ - степен искоришћења хидростатичког претварача,

$\eta_R = 0,087$ - степен искоришћења мењача,

$\eta_G = 0,92$ - степен искоришћења мостова,

Може се усвојити за хидропумпу да је $i_{hp} = 2,4$ и за хидромотор $i_{hm} = 2,5$

Специфични проток пумпе одређен је привидном снагом, односно:

$$\frac{v_{\max} \cdot F_{\max}}{3600} = \frac{q_{p\max} \cdot \Delta p_{\max} \cdot n_p \cdot i_{hm} \cdot \eta \cdot \eta_R \cdot \eta_G}{600 \cdot 10^3}$$

па следи да је:

$$q_{p \max} = \frac{167 \cdot v_{\max} \cdot F_{\max}}{p_{\max} \cdot n_p \cdot i_{hm} \cdot \eta \cdot \eta_R \cdot \eta_G} = \frac{167 \cdot 11 \cdot 105948}{400 \cdot 4500 \cdot 2,5 \cdot 0,8 \cdot 0,87 \cdot 0,92} = 67,5 \text{ cm}^3 / \text{obrt}$$

Усваја се клипно-аксијална хидропумпа марке Parker тип PV080R11TN [19] са следећим карактеристикама:

- специфични проток:

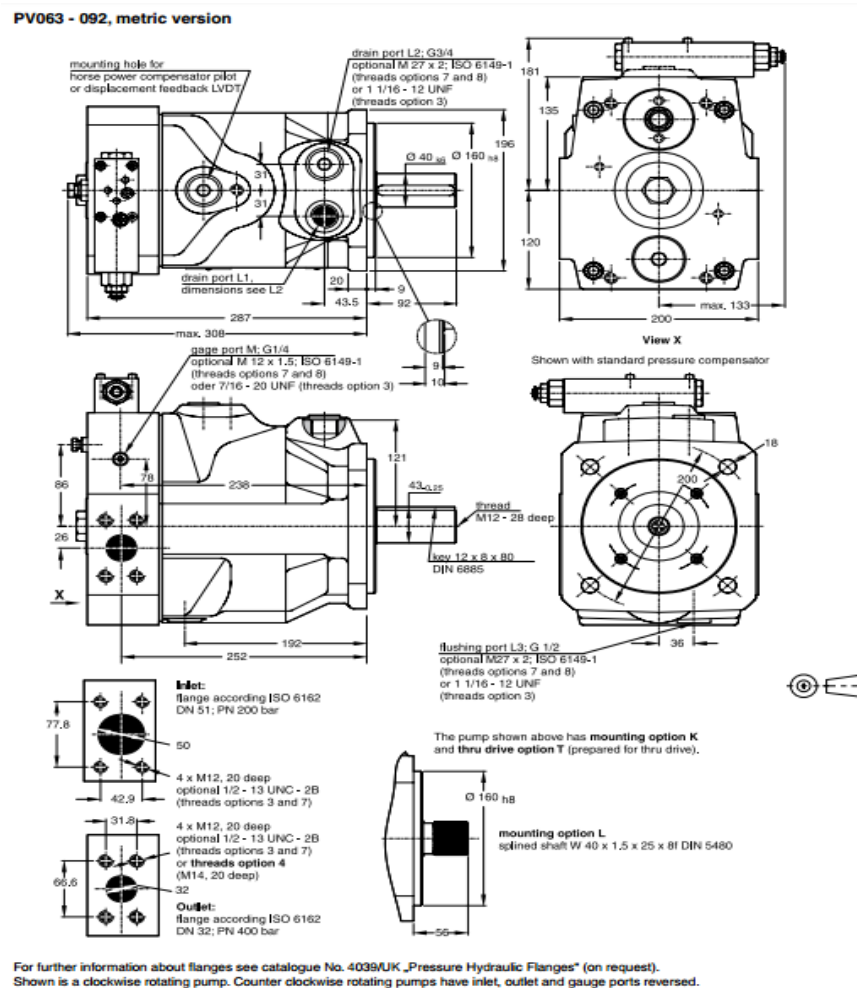
$$q_{\max} = 80 \text{ cm}^3 / \text{obrt}$$

- максимални радни притисак:

$$p_{\max} = 400 \text{ bara}$$

- номинални број обртаја:

$$n_{op} = 2500 \text{ o} / \text{min}$$



Слика 35 - Каталог (део) клипно-аксијалних пумпи фирме Parker из Немачке [19]

- максимална специфична запремина хидромотора:

$$q_{m\max} = \frac{167 \cdot v_{\max} \cdot F_{\max}}{n_{m\max} \cdot \Delta p_{\max} \cdot \eta_m \cdot \eta_G \cdot \eta_R}$$

- максимални број обртаја хидромотора:

$$n_{n\max} = \frac{2,65 \cdot v_{\max} \cdot i_G \cdot i_R}{r_d} = \frac{2,65 \cdot 11 \cdot 18,79 \cdot 4,091}{0,685} = 3271 \text{ o/min}$$

па следи:

$$q_{m\max} = \frac{167 \cdot 11 \cdot 105948}{3271 \cdot 400 \cdot 0,9 \cdot 0,92 \cdot 0,87} = 306 \text{ cm}^3 / \text{obrt}$$

Пошто су хидромотори специфичне запремине преко $300 \text{ cm}^3/\text{obrt}$ ограничени максималним бројем обртаја, усвајају се два клипно-аксијална хидромотора марке Parker тип PV180R11TN [20] са следећим карактеристикама:

- специфични проток:

$$q_{m\max} = 160 \text{ cm}^3 / \text{obrt}$$

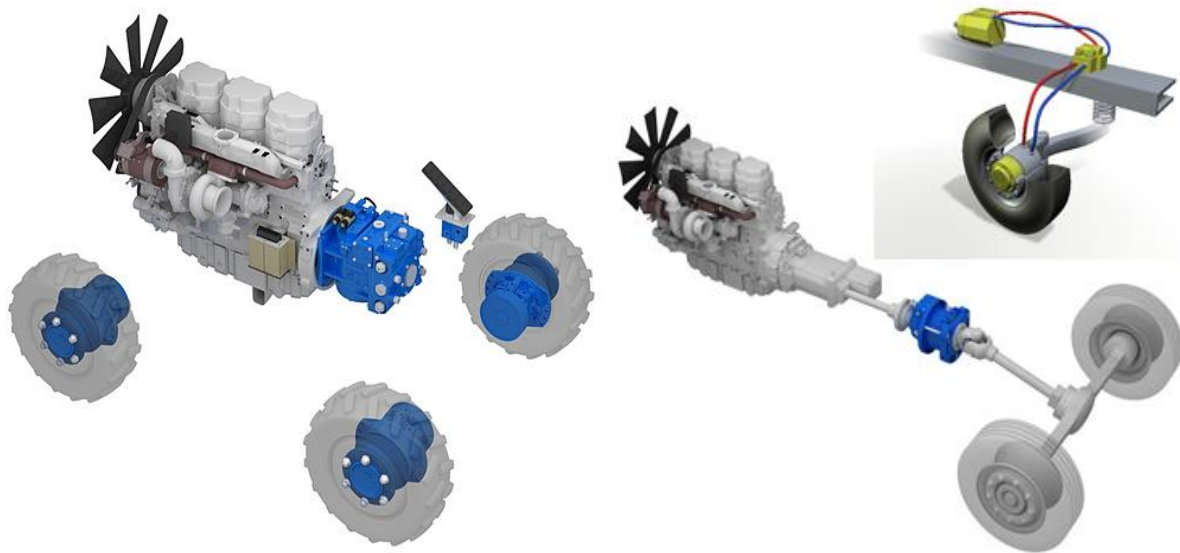
- максимални радни притисак:

$$p_{\max} = 400 \text{ bara}$$

- номинални број обртаја:

$$n_{om} = 2200 \text{ o/min}$$

На слици 36. су дати неки од могућих начина преноса снаге трактора са хидростатичком трансмисијом.



Слика 36 – 3Д модел хидростатичке трансмисије код трактора [18]

Одређивање вучног дијаграма $F_o = f(v)$

Момент хидромотора одређен је релацијом: $M_m = 0,0159 \cdot \Delta p \cdot \eta_m \cdot q_m$

Број обртаја се рачуна као:

$$n_m = \frac{Q_p \cdot \eta_{vm} \cdot 10^3}{q_m}$$

где је:

η_{vm} - запремински степен корисности хидромотора.

Сагласно одређеним моментима и бројевима обртаја, дефинисане су вучне силе и брзине у радној области, односно:

$$F_o = \frac{M_m \cdot i_R \cdot i_G \cdot \eta_R \cdot \eta_G}{r_d} = \frac{M_m \cdot 4,091 \cdot 18,79 \cdot 0,87 \cdot 0,92}{0,658} = 89,8 \cdot M_m$$

$$v = \frac{0,337 \cdot n_m \cdot r_d}{i_R \cdot i_G} = \frac{0,337 \cdot n_m \cdot 0,658}{4,091 \cdot 18,79}$$

$$v = 0,00288 \cdot n_m$$

Претпоставља се да хидропумпа има за радну тачку у $p-Q$ дијаграму тачку „1“, а хидромотор је подешен на максимални специфични проток ($q_{m\max}$).

$$\Delta p = \Delta p_{\max} = 400 \text{ bara}; \quad Q_p = 105 \text{ l/min}$$

$$q'_m = q_{m\max} = 320 \text{ cm}^3 / \text{obrt}$$

$$M_{m1} = 0,0159 \cdot 320 \cdot 400 \cdot 0,9 = 1831 \text{ Nm}$$

$$F_{o1R} = 89,8 \cdot 1831 = 164423 \text{ N}$$

Ова сила је много већа од рачунске због тога што је усвојена већа радна запремина хидромотора од рачунске вредности:

$$n_{m1} = \frac{105 \cdot 0,95 \cdot 10^3}{320} = 312 \text{ o/min}$$

$$v_{1R} = 0,00288 \cdot 312 = 0,898 \text{ km/h}$$

Пумпа ради у тачки „2“ (p-Q дијаграм), а мотор ради при максималној радној запремини:

$$Q_p = Q_{p\max} = 500l / \min, p = 120bara$$

$$q_m = q_{m\max} = 320cm^3 / obrt$$

$$M_{m2} = 0,0159 \cdot 320 \cdot 120 \cdot 0,9 = 550 Nm$$

$$F_{o2R} = 89,8 \cdot 550 = 49390N$$

$$n_{m2} = \frac{500 \cdot 0,95 \cdot 10^3}{320} = 1484 o / \min$$

$$v_{2R} = 0,00288 \cdot 1484 = 4,27 km/h$$

$$\text{Поступак се понавља: } q_m = q_{m\min} = \frac{q_{m\max}}{i_{hm}} = \frac{320}{2,5} = 128 cm^3 / obrt$$

Пумпа ради у тачки „1“ (p-Q дијаграм)

$$M_{m1} = 0,0159 \cdot 128 \cdot 400 \cdot 0,9 = 732Nm$$

$$F_{o3R} = 89,8 \cdot 732 = 65733N$$

$$n_{m1} = \frac{105 \cdot 0,95 \cdot 10^3}{128} = 780 o / \min$$

$$v_{3R} = 0,00288 \cdot 780 = 2,25 km/h$$

Пумпа ради у тачки „2“ (p-Q dijagram)

$$q_m = q_{m\min}$$

$$M_{m2} = 0,0159 \cdot 128 \cdot 128 \cdot 120 \cdot 0,9 = 22Nm$$

$$F_{o4R} = 89,8 \cdot 22 = 1975N$$

$$n_{m2} = \frac{500 \cdot 0,95 \cdot 10^3}{128} = 3710 o / \min$$

$$v_{4R} = 0,00288 \cdot 3710 = 10,68 km/h$$

Вучне силе и брзине трактора при раду у транспортном подручју:

$$F_{oT} = \frac{F_{oR}}{i_R} = \frac{F_{oR}}{4,091}$$

$$v_T = v_R \cdot i_R = 4,091 \cdot v_R$$

$$F_{o1T} = \frac{F_{o1R}}{i_R} = \frac{164423}{4,091} = 40191N$$

$$v_{1T} = v_{1R} \cdot 4,091 = 0,898 \cdot 4,091 = 3,67 km/h$$

$$F_{o2T} = \frac{49390}{4,091} = 12072N$$

$$v_{2T} = v_{2R} \cdot 4,091 = 4,27 \cdot 4,091 = 17,46 km/h$$

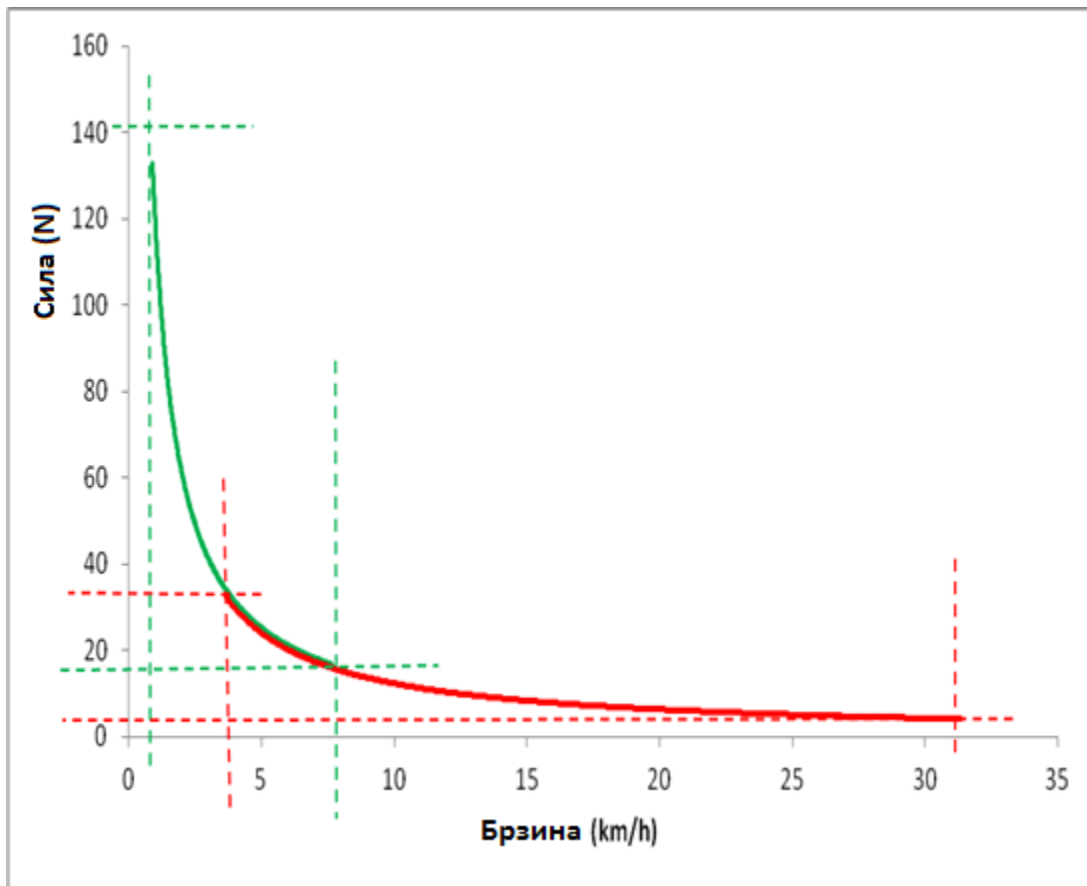
$$F_{o3T} = \frac{F_{o3R}}{4,091} = \frac{65733}{4,091} = 16067N$$

$$v_{3T} = 2,25 \cdot 4,091 = 9,2 \text{ km/h}$$

$$F_{o4T} = \frac{1975}{4,091} = 482 \text{ N}$$

$$v_{4T} = 10,68 \cdot 4,091 = 43,69 \text{ km/h}$$

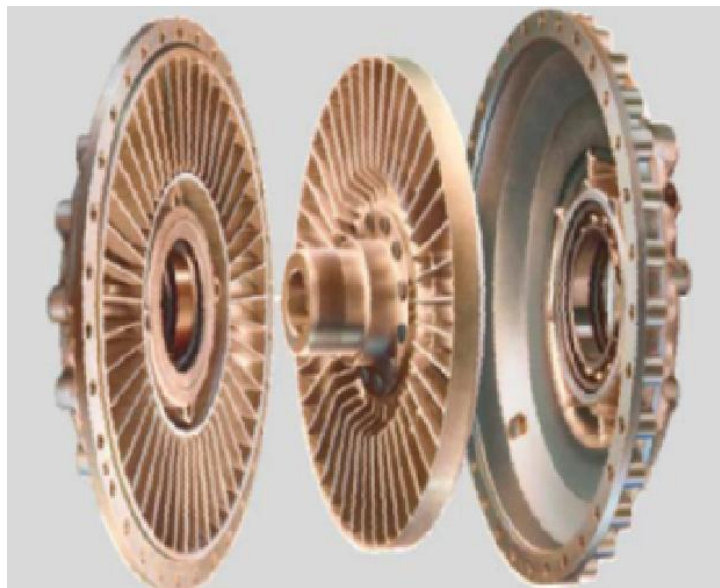
За прорачунате вредности вучне силе F_o и брзине кретања v нацртан је дијаграм зависности $F_o = f(v)$ за цело подручје рада трактора.[2]



Слика 37- Графикон зависности брзина-сила [2]

7.0 Примена хидродинамичког преноса код трактора

Хидродинамички пренос снаге се код трактора јавља искључиво у комбинацији са механичким или хидростатичким компонентама преносника. Основу хидродинамичког преноса чине хидродинамичка спојница (слика 38) и хидродинамички претварач обртног момента.



Слика 38- Склопови хидродинамичке спојнице: пумпно радно коло (лево), турбинско радно коло (у средини) и спољни омотач (десно) [11]

Спојница се састоји од пумпног и турбинског кола. Претварач има још, најчешће, једно или два реакторска кола. Спојница само преноси обртни момент, а претварач га у одређеном режиму рада и повећава. Хидродинамичка спојница и хидродинамички претварач обртног момента (хидродинамички мењач) смањују ударна - динамичка оптерећења трансмисије, али уносе клизање, па трансмисија постаје „прозрачна“.

Показало се да трактори са хидродинамичком спојницом имају већу продуктивност од трактора без ње, за 12 до 20%, али хидродинамички претварач обртног момента на тракторима нема примену због високе цене, сложености конструкције и релативно лоших излазних параметара. Највећу примену има на америчком тржишту, за разлику од Европе где се мање користи.

Без обзира на проблеме који се у овој области морају решавати и чија је природа сасвим другачија од оних са механичком трансмисијом, у будућности треба очекивати још већу примену хидропреносника на пољопривредним машинама и уређајима свих врста, јер хидростатички пренос снаге на тачкове елиминише постојање паразитске снаге, олакшано је заокретање и управљање машине у пољу, омогућена континуална промена брзине, смањена тежина пољопривредних машина и постигнута велика сигурност у раду.

Код хидродинамичких преносника снаге претварачи енергије раде по принципу турбомашине, центрифугалне пумпе и турбине. Због тога се овакви преносници називају и турбопреносницима снаге. Механички рад улазног (погонског) вратила, посредством радног кола пумпе изазива струјање радне течности и повећање њене енергије, и то пре свега кинетичке (убрзавање флуида). Успоравањем струје флуида у обртном колу турбине, струјна енергија се трансформише у механички рад обртања излазног (гоњеног) вратила. Струјање течности у хидродинамичком преноснику снаге карактерише релативно низак притисак, па се пренос снаге углавном врши на рачун протока. [1]



Слика 39- Приказ кретања струјног делића у турбомењачу [9]

Због суштинске разлике у принципу дејства и својствима, хидростатички и хидродинамички преносници се одвојено изучавају, међутим, могуће је извршити нека основна упоређења:

а) Чињеница да се хидростатички пренос снаге у основи врши притиском радне течности условљава потпуну херметичност ових преносника, што захтева добро заптивање и висок квалитет обраде. Имајући у виду да се пренос великих снага хидростатичким преносницима ефикасно може извршити само високим притисцима (250-300 bar), проблем заптивања и тражени квалитет обраде представљају велике недостатке хидростатичког преноса. Код хидродинамичког преносника квалитет обраде није најважнији услов квалитетног преноса снаге, а како су притисци код ових преносника ниски, заптивање се једноставно решава. Снага коју може да пренесе хидродинамички преносник практично је ограничена једино издржљивошћу материјала (обзиром на присутне центрифугалне силе које делују на обртне делове ових преносника). [9]

б) Поређење на бази габарита даје предност хидростатичком преносу, нарочито при преносу малих снага.

ц) Што се тиче степена корисности, његова промена је повољнија код хидростатичких преносника, али на страни хидродинамичких је предност што се момент и број обртаја аутоматски прилагођавају радним условима (оптерећењу излазног вратила). Код хидростатичких преносника регулација се врши спољашњим импулсима.

д) Елементи хидродинамичког преносника не захтевају посебно одржавање, док је то код хидростатичких преносника од суштинске важности. [1]

Предност преноса снаге флуидом огледа се у следећем:

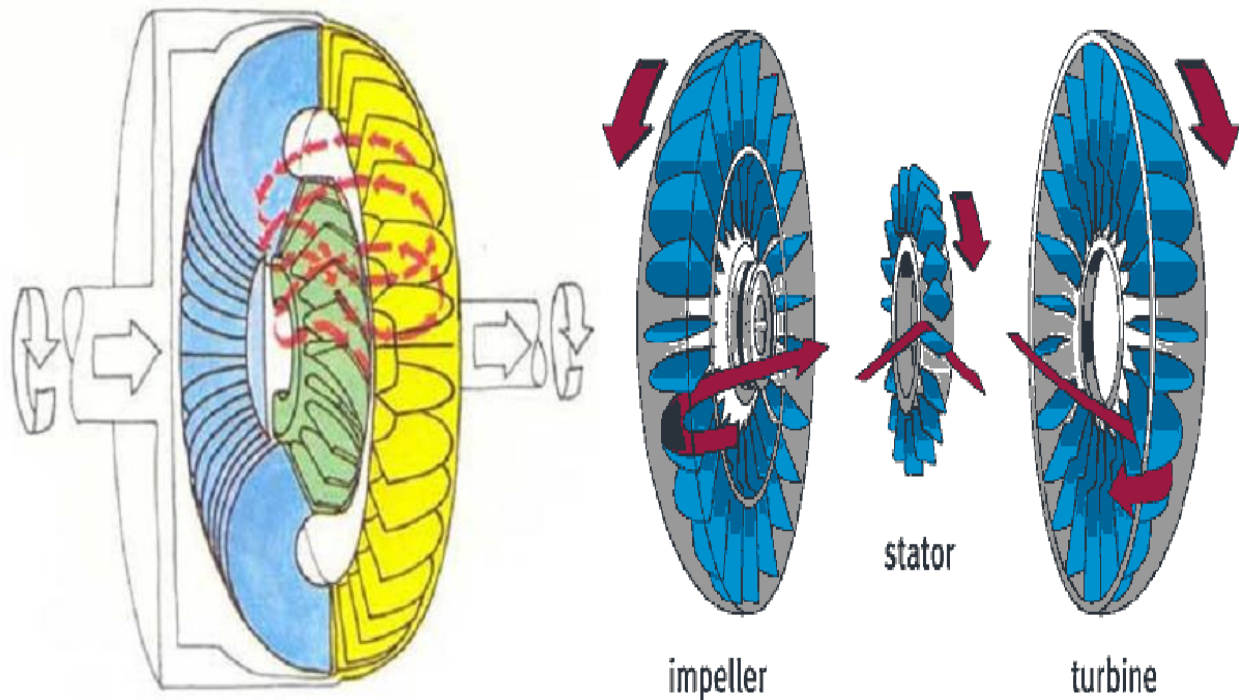
- промена излазног момента и броја обртаја врши се континуално и потпуно аутоматски зависно од оптерећења излазног вратила,
- остварује се безударни пренос снаге са мотора на машину уз истовремено пригушење осцилација,
- побољшање вучних карактеристика возила и радних карактеристика машина,
- олакшано управљање и одржавање рада мотора и машина,
- повећање укупног века трајања свих машина и склопова.



Слика 40 – Приказ делова турбомењача [9]

Хидродинамички мењачи, за разлику од хидродинамичких спојница, поред пумпног и турбинског кола имају и непокретно лопатично коло спроводног апарата (реакторско коло). Пумпно кола су по правилу центрифугална (са излазним пречником већим од улазног). Турбинска кола могу бити центрифугална, центрипетална или осна док непокретна спроводна кола могу бити центрипетална или осна.

Што се тиче редоследа протицања, постоје две основне шеме циркулације кроз мењач. Према једној течност струји смером пумпа, турбина, спроводни апарат (ПТС), а према другој шеми, циркулација је смера пумпа, спроводни апарат, турбина. Због промене момента количине кретања струје течности у спроводном апарату, момент кола турбине разликује се од момента кола пумпе. Да ли ће момент кола турбине бити већи или мањи од кола пумпе зависи од тога да ли се у спроводном апарату, услед скретања струје (промена вектора брзине), момент количине кретања струје течности повећава или смањује.

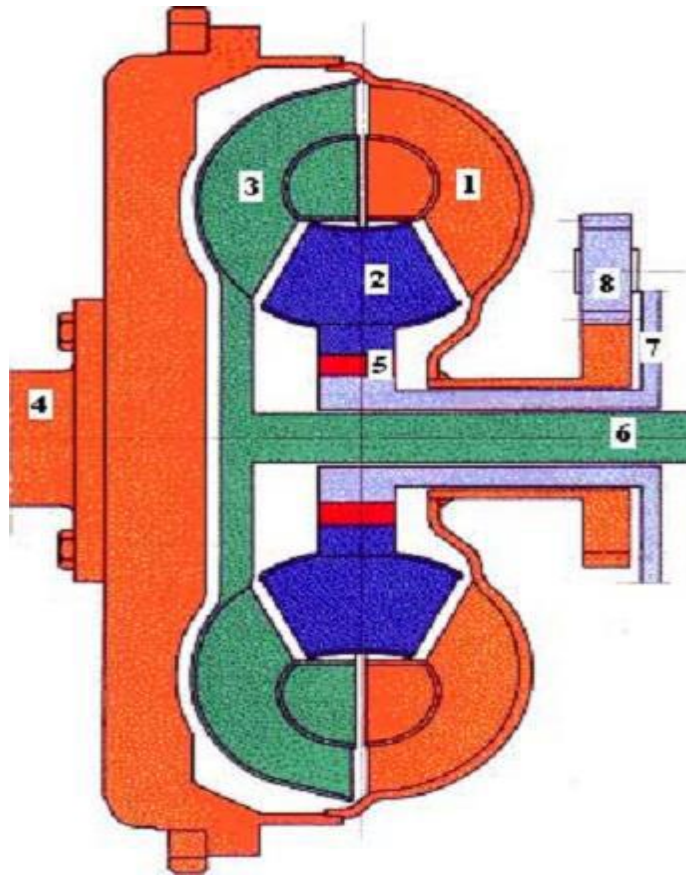


Слика 41 - Струјање флуида кроз радна кола [9]

Вишестепени мењачи имају више турбинских и спроводних кола и по правилу једно пумпно коло. Турбинска кола су међусобно повезана и чине једно вишестепено турбинско коло. Занемарујући трење у лежиштима и заптивачима, момент на излазном вратилу вишестепеног хидродинамичког мењача разликује се од момента на улазном вратилу за величину збира активних момената свих спроводних апарата у мењачу. Код сложених (комплексних) хидродинамичких мењача коло спроводног апарата је преко једносмерне спојнице повезано са кућиштем мењача и непокретна је само када момент реакције тежи да га обрне у смеру супротном од смера обртања пумпног и турбинског кола, односно када је активни момент позитиван. Како спроводно коло може слободно да се обрће у смеру обртања пумпног и турбинског кола, оно не може изазвати негативни активни момент (када је момент пумпног кола већи од момента турбинског кола). Због могућности слободног обртања спроводног кола, сложени мењачи у једном радном подручју раде као мењачи, а у другом као спојнице.

Главни делови турбомењача су лопатична радна кола:

- Пумпно (1),
- Турбинско (3),
- Спроводно или реакторско (2).



Слика 42- Шема пресека хидродинамичког мењача [9]

Међулопатични простор радних кола међусобно су постављена тако да чине затворени систем који представља циркулациони радни простор мењача и има облик торуса. Пумпно радно коло прима снагу од мотора и предаје је уљу, кога прихвата из спроводног радног кола и потискује у турбинско радно коло. Радно уље пролази кроз турбинско радно коло и предаје му примљену снагу. По изласку из турбинског, радно уље пролази кроз реакторско коло и враћа се поново на улаз пумпног кола.

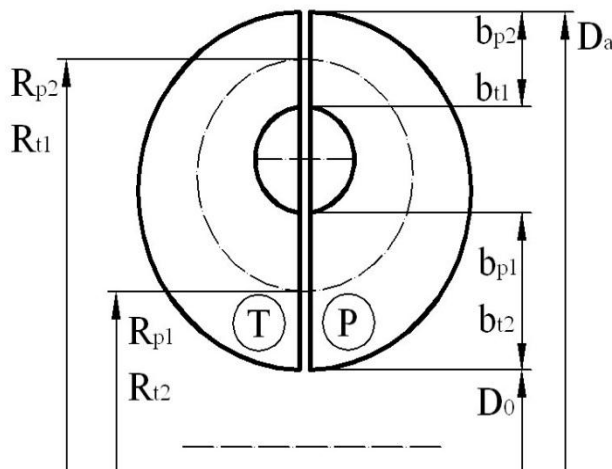
Предности примене хидродинамичких преносника су следеће:

- Хидродинамички преносници обезбеђују коришћење максималне снаге у целом интервалу броја обртаја (од нуле до максимума), уз варирање обртног момента, такозвана „дубока“ регулација броја обртаја што је јако битно код грађевинских машина, друмских возила и других мобилних машина,
- Хидродинамички преносници побољшавају стартна својства возила (машине), јер омогућавају њихово стартовање под знатно већим оптерећењем него механички преносници снаге. Односно, при режиму стартовања омогућавају коришћење максималног обртног момента,
- Хидродинамички преносници врше заштиту мотора од преоптерећења, при чему, радни режим мотора не мора да зависи од радног режима гоњеног вратила,
- Хидродинамички преносници снаге врше заштиту од механизма трансмисије и извршних органа радне машине и на тај начин искључују ломове делова трансмисије као последице преоптерећења,
- Захваљујући еластичном преносу снаге хидропреносници снаге пригушују торзионе осцилације од мотора и смањују динамичка оптерећења, чиме се продужује радни век трансмисије,
- Уклањањем механичког дела трансмисије и примена аутоматског мењача доводи до смањења укупне масе возила (машине),
- Примена аутоматског мењача побољшава управљивост возила. Уградњом аутоматског мењача олакшава се руковање и управљање возилом и смањује се активност возача што имплицира већу сигурност у саобраћају,
- Примена хидродинамичког мењача побољшава вучне карактеристике возила и радне карактеристике радних машина. Моторно возило опремљено хидродинамичким мењачем остварује бољу вучу 15-20%, са истом снагом мотора, у односу на возила са класичним механичким мењачем,
- Применом хидродинамичког мењача на возилима је олакшано кочење, јер је искључена употреба спојнице (квачила), довољно је само притиснути педалу кочнице да би се возило зауставило, док мотор остаје у раду.

Основни недостатак хидродинамичког мењача је нешто нижи степен корисности у односу на механичке преноснике снаге. Међутим, њиховим усавршавањем сваким даном се њихов степен корисности повећава. Уградња хидромеханичких мењача у трансмисије кретања мобилних машина и возила почела је тридесетих година прошлог века и задржала се и данас на гредерима, тракторима, дизалицама, гусеничарима, аутомобилима и другим већим машинама. Велика примена хидродинамичких мењача довела је до појаве специјализованих светских, а и домаћих произвођача (ZF, Clark, Voith, ИМК, 14 октобар,...) [2].

7.1 Прорачун хидродинамичке нерегулационе турбоспојнице

У наредном делу приказан је прорачун хидродинамичке трансмисије која се примењује код трактора точкаша марке JOHN DEER 7310R [21] . Улазни подаци за трактор JOHN DEER 7310R [21] су:



Слика 43- Шема нерегулационе турбоспојнице [9]

Снага погона : $P_p = 250.8 \text{ kW}$

Број обртаја погона: $n = 1900 \text{ min}^{-1}$

Број обртаја пумпног кола: $n_p = 1900 \text{ min}^{-1}$

Хидраулично уље: 8500 N/m^3 , при $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$, радна температура $t = 55 \text{ }^\circ\text{C}$ - стр. 516 [1]

1. Специфични број обртаја:

$n_{sp} = 50 \dots 70 \text{ o/min}$ *препоручен*

$n_{sp} = 60 \text{ o/min}$ усвојено (стр. 516 [1])

2. Напор пумпног кола:

$$n_{sp} = \frac{n_p \sqrt{P_p}}{H_p^{5/4}} \rightarrow H_p = \left[\frac{n_p}{n_{sp}} \cdot (P_p \cdot \eta)^{1/2} \right]^{4/5} = \left[\frac{1900}{60} \cdot (250.8 \cdot 0.965)^{1/2} \right]^{4/5}$$

$$= 142.5 \text{ m}$$

η - степен корисности турбоспојнице при $s = 0.035$

3. Запремински проток:

$$P_p = \frac{\rho \cdot \dot{V} \cdot g \cdot H_p}{\eta} \rightarrow \dot{V} = \frac{P_p \cdot \eta}{\rho \cdot g \cdot H_p} = \frac{250.8 \cdot 10^3 \cdot 0.965}{850 \cdot 9.81 \cdot 142.5} = 0.204 \text{ m}^3/\text{s}$$

4. Најмањи пречник радних кола:

$$D_0 = 1.5 \cdot d_{vr} = 1.5 \cdot 80 = 120 \text{ mm}$$

$$d_{vr} = 0.145 \cdot \sqrt[3]{\frac{P_p}{n_p}} = 0.145 \cdot \sqrt[3]{\frac{250.8}{1900}} = 0.073 \text{ mm, усвојено } d_{vr} = 80 \text{ mm}$$

d_{vr} - пречник вратила

5. Средња меридијанска брзина флуида:

$$c_m = \alpha \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_p} = 0.06 \cdot \sqrt{2 \cdot 9.81 \cdot 142.5} = 3.17 \text{ m/s}$$

$\alpha = f(\alpha, i, \varepsilon) = 0.06$ — α - коефицијент улазне брзине- дијаграм по Кукулевском стр.517 [1]

6. Проточна површина радних кола на улазу и излазу:

$$A_u = A_i = \frac{\dot{V}}{c_m} = \frac{0.204}{3.17} = 0.0643 \text{ m}^2$$

7. Средњи полупречници на улазу и излазу пумпног и турбинског кола:

$$R_{p2} = R_{t1} = \left[\frac{g \cdot H_p}{\omega_p \cdot (1 - i \cdot a^2)} \right]^{1/2} = \left[\frac{9.81 \cdot 142.5}{199^2 \cdot (1 - 0.965 \cdot 0.4^2)} \right]^{1/2} = 0.204 \text{ m}$$

$$\omega_p = \frac{\pi \cdot n_p}{30} = \frac{\pi \cdot 1900}{30} = 199 \text{ rad/s}$$

$$R_{p1} = R_{t2} = a \cdot R_{p2} = 0.4 \cdot 0.204 = 0.082 \text{ m}$$

8. Средње ширине на улазу и излазу пумпног и турбинског кола:

$$b_{p2} = \frac{\dot{V}}{2 \cdot \pi \cdot R_{p2} \cdot c_m} = \frac{0.204}{2 \cdot \pi \cdot 0.204 \cdot 3.17} = 0.0502 \text{ m, усвојено } b_{p2} = 50 \text{ mm}$$

$$\frac{b_{p2}}{b_{p1}} \approx 0.6 \rightarrow b_{p1} = \frac{b_{p2}}{0.6} = \frac{50}{0.6} = 83.33 \text{ mm, усвојено } b_{p1} = 83 \text{ mm}$$

9. Највећи пречник радних кола:

$$D_a = 2 \cdot R_{p2} + b_{p2} = 2 \cdot 204 + 50 = 458 \text{ mm, усвојено } D_a = 458 \text{ mm}$$

10. Број лопатица пумпног кола:

$$z_p = 8.65 \cdot D_a^{0.279} = 8.65 \cdot 458^{0.279} = 47.79 \text{ } mm, \quad \text{усвојено } z_p = 48$$

11. Број лопатица турбинског кола:

$$z_t = z_p + 2 = 48 + 2 = 50, \quad \text{усвојено } z_t = 50$$

12. Прорачун хлађења:

$$P_{gub} = 0.2 \cdot P_m = 0.2 \cdot 250.8 = 50.16 \text{ } kW$$

$$\dot{V}_{np} = \frac{P_{gub}}{c_p \cdot \Delta t \cdot \rho} = \frac{50.16}{2 \cdot 40 \cdot 850} = 0.000737 \text{ } m^3/s$$

$$Y_{np} = \frac{p}{\rho} = \frac{2.3 \cdot 10^5}{850} = 271 \text{ } J/kg$$

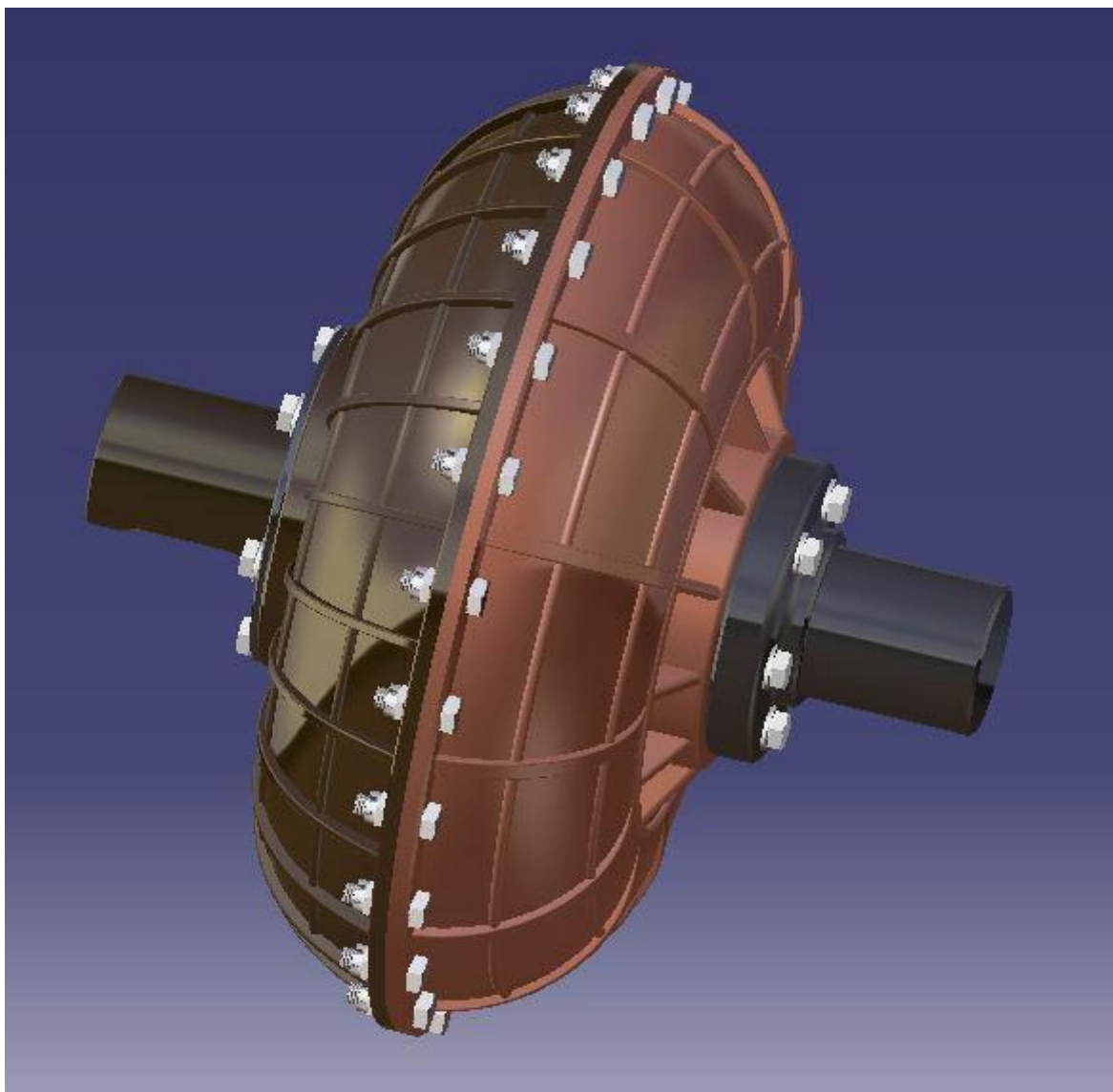
$$P_{np} = \frac{\rho \cdot \dot{V}_{np} \cdot Y_{np}}{\eta_{np}} = \frac{850 \cdot 0.000737 \cdot 271}{0.3} = 565.893 \text{ } W = 0.565 \text{ } kW$$



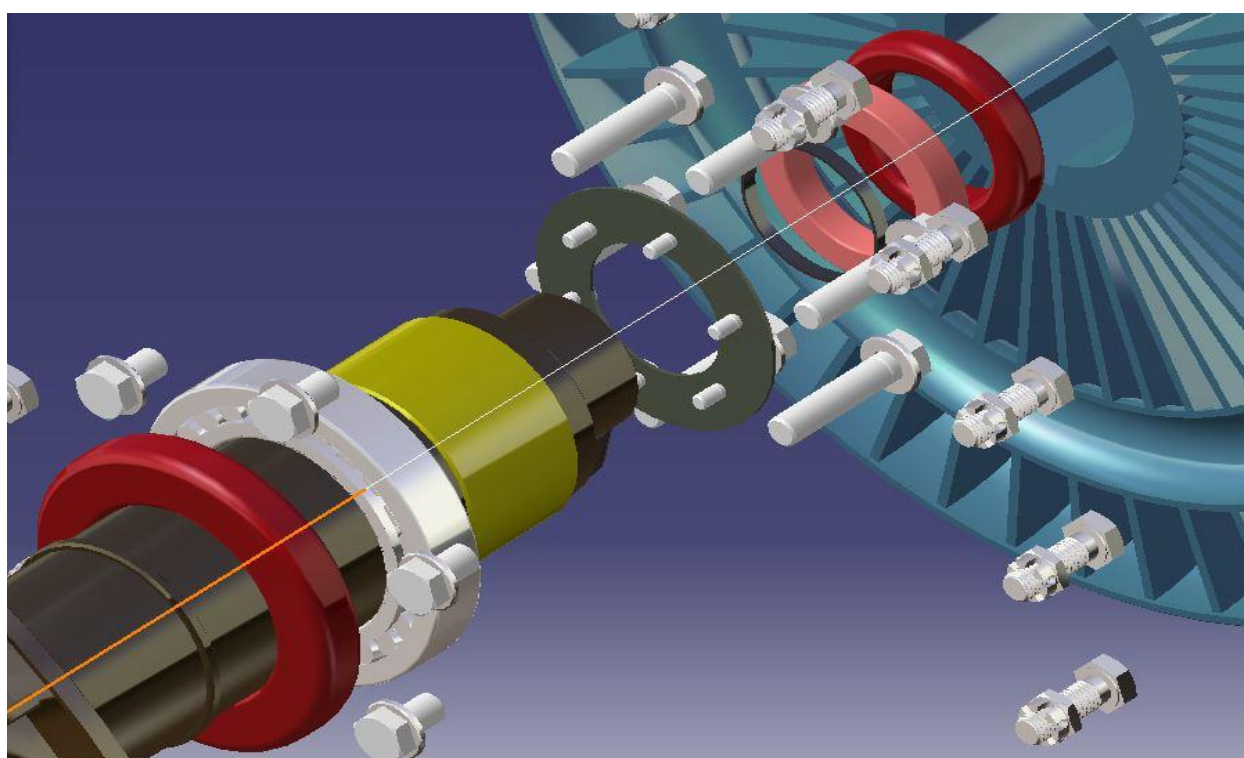
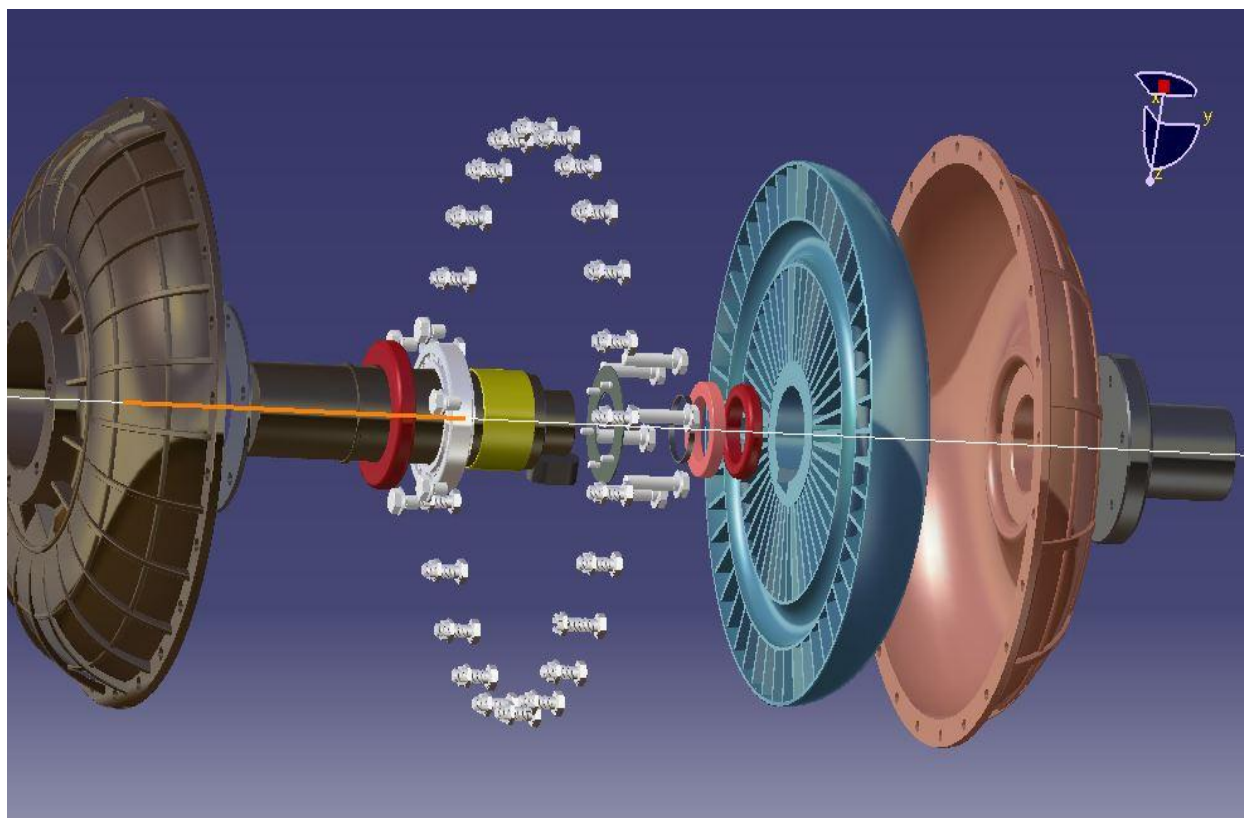
Слика 44-Трактор са хидродинамичком спојницом са константним пуњењем [9]

8. 3Д Модел хидродинамичке нерегулационе турбоспојнице

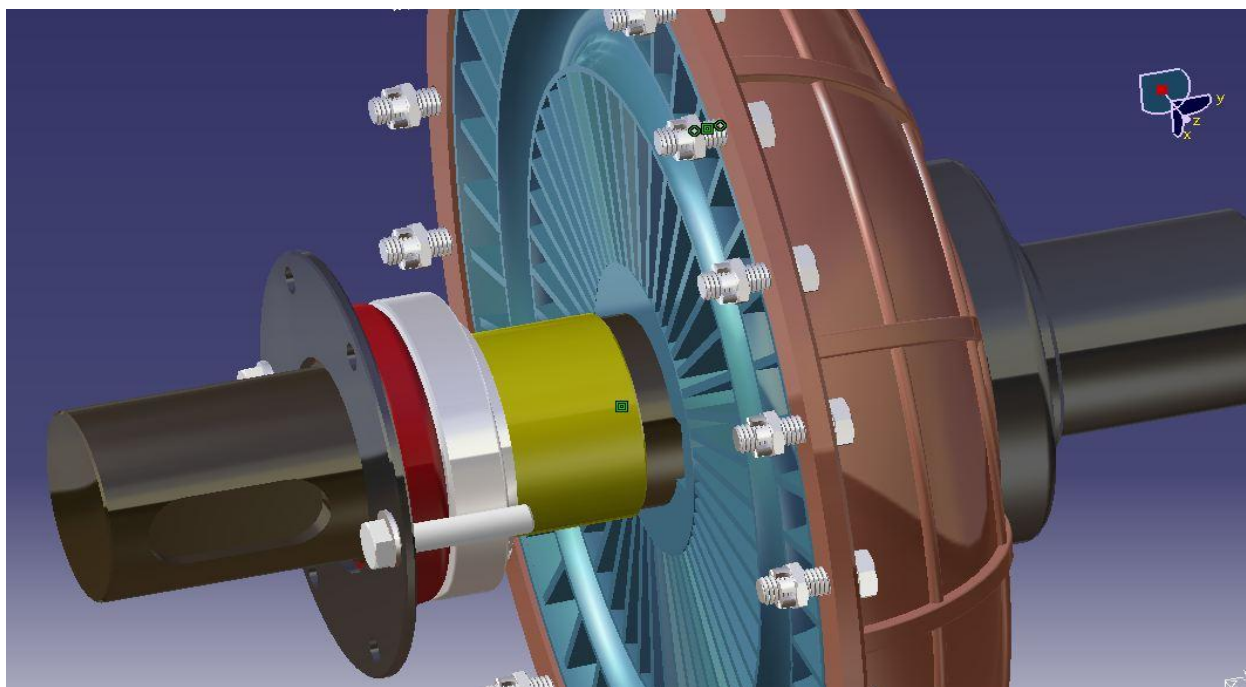
Према претходном прорачуну, поштујући добијене вредности урађен је 3Д модел у програмском пакету CATIA V5R18.



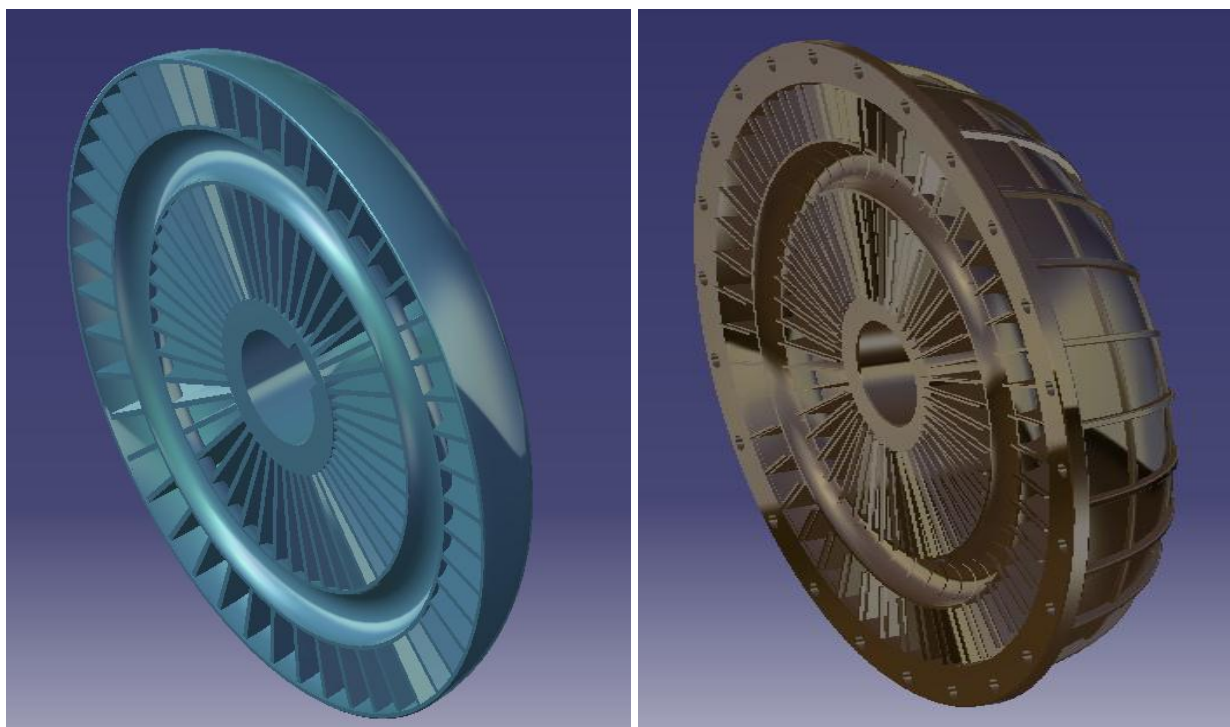
Слика 45– Изометријски приказ хидродинамичке нерегулационе турбоспојнице



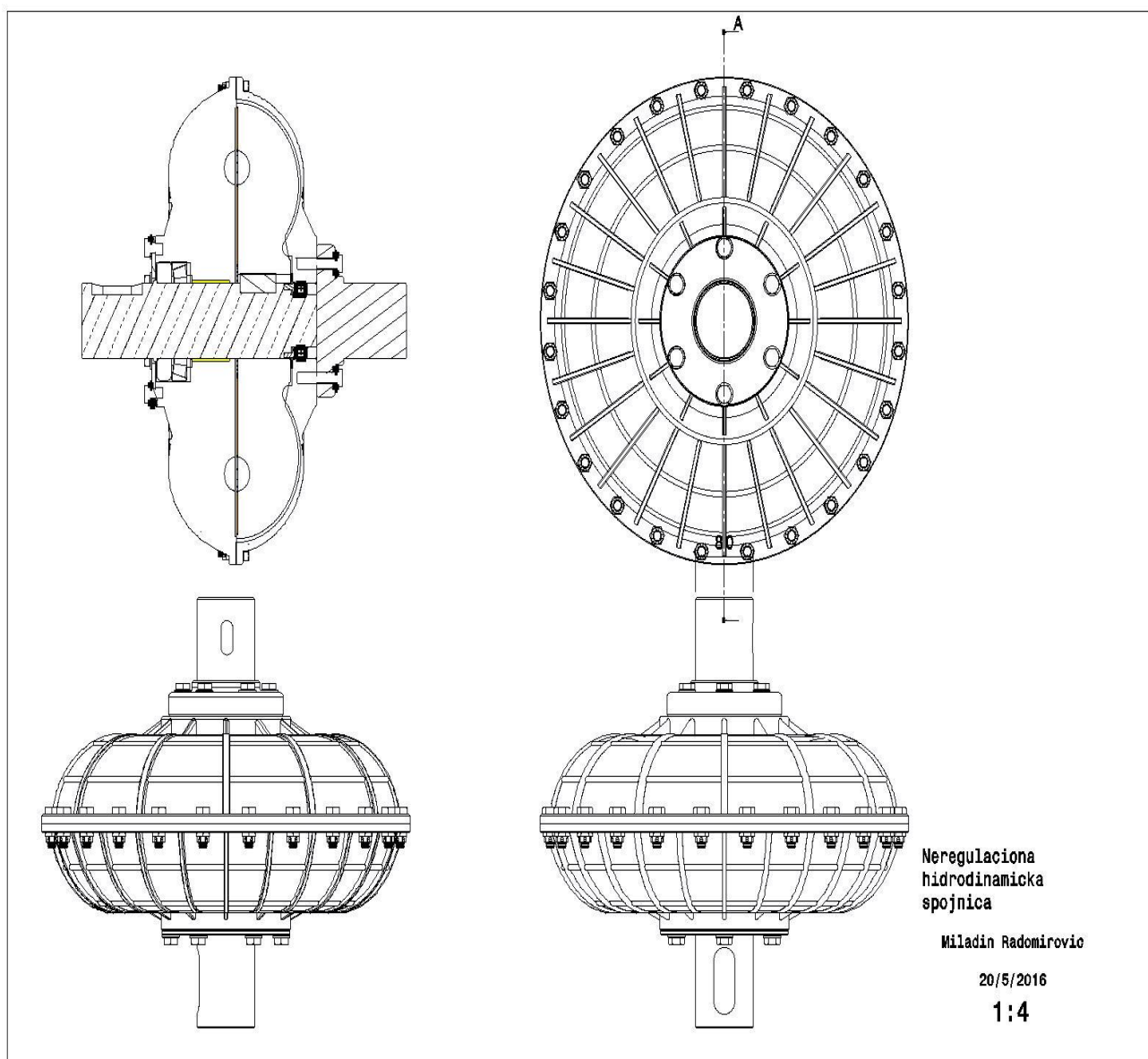
Слика 46 – Изометријски приказ склопа хидродинамичке нерегулационе турбоспојнице



Слика 47 – Изометријски приказ склопа хидродинамичке нерегулационе турбоспојнице (детал)



Слика 48 – 3Д модел пумпног и турбинског кола



Слика 49- Поглед одозго, са стране и пресек урађени у CATIA Drafting моду на основу 3Д модела

9. ЗАКЉУЧАК

Концепт развоја трансмисије пољопривредних трактора кроз скоро стогодишњу традицију временом се усклађивао са снагом мотора, масом трактора, брзином кретања и другим захтевима, у циљу изналажења перманентних побољшања вучно-динамичких карактеристика, а све у циљу оптимирања агротехничких услова и повећања степена рационализације производње. У првим фазама развоја тракторских трансмисија снага од мотора се преносила преко степенастог мењача и главног преносника до погонских точкова. У даљим деценијама развоја трансмисионих система, све већа пажња се посвећивала развоју мењачких преносника, пре свега у повећању броја степена преноса. На тај начин све више се прилазило оптималном решењу, односно приближавало идеалној хиперболи вуче. У данашњем тренду развоја трансмисија трактора све већу примену имају ткз. аутоматске трансмисије које обезбеђују континуални пренос снаге у зависности од услова експлоатације. Трактори опремљени са таквим типовима трансмисија имају знатно већи степен искоришћења снаге, односно повољнију потенцијалну вучну карактеристику. Значај енергије и хране немерљив је како у локалним, тако и у глобалним оквирима за целокупан развој цивилизације и човечанства. Перманентан пораст укупне популације на планети условљава потребу за сталним обнављањем енергетских извора и повећањем расположиве храниве материје, што је, пак, у директој супротности са ограниченошћу ових ресурса. Лимитираност енергетских извора, огледа се, пре свега, у њиховој ограниченој издашности, док су лимитирајући фактори у производњи хране, пре свих, ограниченост расположивих обрадивих површина, несавршеност и ограниченост механизације и разни еколошки фактори међу којима се посебно истичу контаминација тла и ваздуха, поремећени климатски фактори и нарушавање природне равнотеже у биљном и животињском свету. На основу изложеног можемо закључити да се сама намена трактора није много променила у односу на период када је направљен, али да су се са развојем пољопривреде и њених грана саме техничке и конструктивне карактеристике доживеле велике промене. Анализом трактора који се налазе на тржишту може се закључити да су сви трактори који се данас производе савремени, а једина разлика међу њима је техничко технолошка усавршеност. Потребно је не само имати трактор, већ га знати користити. Задатак машинства је да подржи развој пољопривреде у оквирима њеног постојећег мултидисциплинарног развоја и напретка идући у корак са осталим наукама, пре свих агротехничким дисциплинама, биологијом, хемијом, економијом, електроником и телекомуникацијама, односно да преузме најсавременија достигнућа ради сопственог развоја и истовремено другим дисциплинама омогући примену њихових практичних достигнућа, пошто су управо машине најнепосреднији извршиоци агротехничких захвата на земљишту и самим културама и управо саме машине представљају последњу инстанцу на путу спровођења у дело достигнућа из свих других дисциплина везаних за пољопривредну производњу. Такође, савремени захтеви производње уопште, па и пољопривредне, наметнути од стране ергономије и економије, налажу максимално могуће замењивање радне снаге адекватним машинама. Наравно, никако није спорно да је развој пољопривреде очигледан кроз векове, да није везан само за савремено доба, али важно је напоменути да је апсолутни носиоц напретка у пољопривреди развој машина, као и да је тај развој енормно увећан последњих деценија, и посебно увођењем електронике, аутоматског управљања и најзад телекомуникација у машинске системе везане за пољопривредну производњу. При томе, треба прецизно разграничити да радни и процесни

делови машина замењују физичку снагу човека, док аутоматски системи машина замењују, пре свега, његову умну делатност.

С једне стране, треба познавати услове у којима ће трактор радити и захтеве агротехнике и с друге стране, експлоатационе и техничко-технолошке карактеристике трактора. Циљ је остварити максималну производност и минималну потрошњу горива. Важна напомена за одабир трактора коју треба имати у виду је потреба коју треба да задовољи, тј.у којим условима треба да ради (величина парцеле, њена удаљеност), и с којим прикључним машинама треба да буде агрегатиран (плуг, сетвоспремач, приколица), а и на којим пословима у пољу треба да ради (тешка обрада земљишта, лака, транспорт).

Употреба хидростатичке и хидродинамичке трансмисије увек ће наћи примену при преносу обртног кретања где је потребан сигуран, тачан и поуздан рад преносника снаге. Грађевинска, енергетска, пољопривредна, саобраћајна и друге гране увелико користе бенефите оваквих преносника снаге. Свакодневним усавршавањем и повећањем укупног степена корисности као и комбиновањем са другим преносницима снаге, отварају широко поље примене оваквих преносника снаге са нагласком да се примењују композитни материјали велике издржљивости, а уједно се смањује тежина оваквих преносника. [6]

Сама уградња хидропреносника, као и континуално варијабилне трансмисије није циљ за себе, већ и остале компоненте на утоваривачу, пре свега мотор, који мора одговарати оваквом режиму рада који је аутоматски и флексибилан. Континуално променљиви мењачи за разлику од стандардних мењача захтевају посебно руковање и одржавање, као и специјално обучене и квалификоване механичаре за то. Ако трансмисија трактора ради у највишем рангу брзине, ефикасност хидростатичког елемента система значајно опада, па је важно тежити да се ради у средњем или нижем рангу брзине, да би се редуковали губици снаге. Што је мањи удео рада хидрауличког мотора (све до нивоа где он престаје да ради и снага се преноси механички), мањи ће бити губици снаге у мање ефикасној хидростатичкој секцији. Код послова који траже чешће мењање брзина, као што су послови са пуно операција, континуално променљива трансмисија, у односу на друге трансмисије, може представљати много бољи избор.

Тренд произвођача савремене механизације и њихов циљ за што бољим и револуционарнијим решењем, у области тракторских трансмисија, јасно указује на пораст хидромеханичких (ЦВТ) трансмисија. Од 2013. године патентиран је нови систем контроле трансмисије, где је контролна јединица трансмисије повезана са GPS пријемником. На тај начин врши се предикција степена преноса на основу профила пута испред возила. Још сложенија контрола, која нас очекује у блиској будућности у широким размерама, укључиће примену вештачке интелигенције у системе управљања возилима.

10. ЛИТЕРАТУРА

- [1] В. Келић: Хидропреносници снаге, Научна књига, Београд, 1989.
- [2] Д. Јаношевић: Пројектовање мобилних машина, МФ Ниш, 2006.
- [3] Шуштершич В.: Хидростатички преносници снаге, ФИН Крагујевац, скрипта, 2010.
- [4] Дубравка С.: Прорачун аксијално-клипних машина, Технички факултет, Ријека, скрипта, 2006.
- [5] Karl Erik Rydberg: Hydrostatic drives in heavy mobile machinery - New concepts and development trends, Linkoping University, 1997.
- [6] Г. Греггов: Прилог истраживању моделирања хидростатске трансмисије на шумском возилу, Технички факултет, Ријека, 2012.
- [7] Игор Маховац: Тракторски мењачи без прекида тока снаге, семинарски рад, 2005.
- [8] Д. Игњатовић, Рударске Машине, Универзитет у Београду Рударско-геолошки факултет, Београд 2010.
- [9] Шуштершич В.: Пренос снаге флуидом, ФИН Крагујевац, скрипта, 2011.
- [10] Савић, В.: Уљна хидраулика 2, Дом штампе, Зеница, 1990.
- [11] Војислав Д. Симоновић, Мерни уређаји и аутоматизација код комбајна, мастер рад, Машински факултет Београд 2006.

Интернет странице :

- [12] poljoinfo.com, приступљено 18.03.2016.год.
- [13] <http://www.fwi.co.uk/Articles/09/10/2007/107344/New-John-Deere-7430-and-7530-tractors-provide-a-bit-of-spark-with-on-board-generators.htm>, приступљено 15.04.2016.год.
- [14] <http://www.traktorfinder.de/ad/10260/case-ih-quadtrac-535-stx>, приступљено 2.04.2016.год.
- [15] <http://tractorphoto.blogspot.com/2010/06/history-of-tractors.html>, приступљено 7.04.2016.год.
- [16] <http://www.uzelagri.com/oprema.htm>, приступљено 23.03.2016.год.
- [17] http://www.balavto.com.hr/donji_postroji, приступљено 30.03.2016.год.
- [18] <http://articles.sae.org/>, приступљено 5.05.2016.год.
- [19] <http://www.parker.com/>, приступљено 3.05.2016.год.
- [19] <http://pdf.directindustry.com/>, приступљено 6.05.2016.год.
- [20] <https://iaa.voith.com/>, приступљено 8.05.2016.год.
- [21] <http://www.fendt.com/>, приступљено, 13.05.2016.год.