

**Факултет инжењерских наука Универзитета у
Крагујевцу**



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Енергетика и процесна техника

Предмет: Пренос снаге флуидом

Број индекса: 65/2015

Лазар К. Плавшић

**Могућност коришћења воде као радног
флуида у хидродинамичким спојницама**

завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. **Др Вања Шуштершич - ментор**

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да дâ основне напомене о карактеристикама и принципу рада хидродинамичких спојница, затим да опише који се радни флуиди користе код ових спојница, са посебним освртом на могућност примене воде као радног флуида. На крају је неопходно да се уради прорачун једне спојнице која користи воду као радни флуид и да се прикаже техничка документација дате спојнице.

Препоручена литература:

- [1] Nitesh Jain, Aceem Tiwari: „Comparative Study of Fluid Coupling for Oil and water as working fluid“, *International Journal of Engineering Research and Development*, Volume 9, Issue 6, December 2013
- [2] Voith: “Voith water-operated turbo couplings –innovative and reliable technology”, www.voithturbo.com
- [3] Каталоги произвођача: Voith, Transfluid, Nara Corporation, Chain Drivers, Kraft Power

Крагујевац, октобар 2018.

Ментор:
Др Вања Шуштершич, ред. проф.

Резиме: Хидродинамички систем се заснива на принципу преноса енергије посредством кинетичке енергије струјања радне течности. Хидродинамичка спојница се састоји из турбинског и пумпног кола и кућишта које је чврсто везано са пумпним колом и обрће се заједно са њим. 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 обртањем излазног (гоњеног) вратила.

У оквиру овог рада извршен је прорачун хидродинамичке спојнице која користи воду као радни флуид и описан је принцип рада. Приказана је могућност примене различитих врсти радних течности у хидродинамичким спојницама. Посебна пажња посвећена је води као радној течности у радном простору, где су објашњене препоруке за конструисање хидродинамичке спојнице и област примене.

Кључне речи: *радна течност, вода, хидродинамичка спојница.*

Abstract: The hydrodynamic system is based on the principles of energy transfer through the kinetic energy of the working fluid flow. The hydrodynamic coupling consists of two blade wheels - the pump impeller and the turbine wheel. The housing is connected to the pump wheel and rotates together. The mechanical energy provided by the impeller is converted into kinetic energy of the operating fluid. This kinetic energy, by slowing down the fluid flow in the turbine, is transformed into mechanical energy.

In this paper it was done the calculation of fluid coupling which use the water as a working fluid, and it was described the principle of operation. It is displayed how to use different types of working fluids in the fluid coupling. Special attention is paid to water as a working fluid in the work area, where are explained the recommendations for constructing the fluid coupling and the scope of application.

Key words: *working fluid, water, fluid coupling.*

Садржај

1. Увод.....	6
1.1 Врсте преносника снаге.....	8
1.2 Хидраулички преносници снаге	9
2. Основни напомене о принципу рада и основни појмови хидродинамичких спојница	13
2.1 Подела хидродинамичких спојница.....	13
2.2 Принцип рада хидродинамичких спојница	15
2.3 Теоријске основе хидродинамичких спојница.....	17
2.4 Теорија сличности.....	19
2.5 Радне криве спојнице.....	20
2.6 Контрола температуре	21
2.7 Избор материјала	24
3. Радне течности који се користе у турбоспојницама.....	26
3.1 Хидраулично уље.....	26
3.2 Примена воде као радне течности у хидродинамичким спојницама.....	27
3.3 Мласти.....	28
4. Могућност примене воде као радног флуида.....	29
5. Прорачун хидродинамичке спојнице која користи воду	32
6. Конструктивни цртеж /3D модел хидродинамичке спојнице.....	37
7. Закључак	40
8. Литература.....	41

1. Увод

Са почетком прве једноставне машине у древној историји, постојала је потреба за адаптацијом у процесу преноса снаге између погонске и радне машине.

Посматрано са историјске стране развој хидродинамичких преносника снаге заснива се на проналаску који је пронашао тада млади електроинжењер др Херман Фотингер (енг. *Hermann Föttinger*), сада већ давне 1905. године.

Запослен на бродоградилишту (*Stettiner Vulkan*), добио је задатак да осмисли пренос снаге са брзоходне парне турбине на спороходно вратило бродског пропелера. Примена првих хидродинамичких преносника била је у бродоградњи, за покретање бродског пропелера.

Тада је сама хидраулична спојница заузимаала знатно мање простора од спојнице са парним клипом.

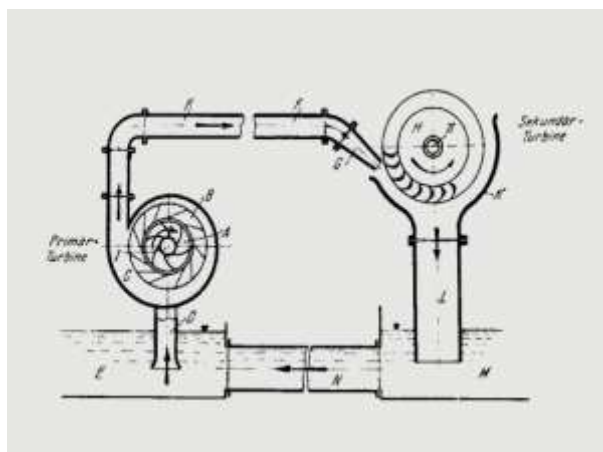


Сл. 1.1 Херман Фотингер [7]

У самом раду, Фотингер је морао да реши два проблема:

1. Промену обртног момента (M) и угаоне брзине (ω)
2. Промену смера обртања пропелера при кретању напред и назад.

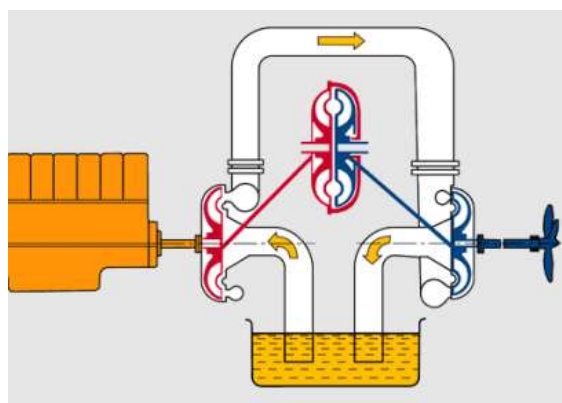
Фотингерова прва идеја била је директна конверзија, односно преношење обртног момента са једног вратила на друго помоћу тзв. везе обликом, користећи зупчасти преносник. Приликом преноса снаге зупчаницима, долази до спреге зубаца погонског и гоњеног зупчаника. Ова идеја је брзо одбачена јер су тада били у употреби искључиво зупчаници који су могли да пренесу релативно малу снагу (до 500 hp; око 373 kW). Друга идеја је била индиректно електрично конвертовање, коришћењем ротирајућег диференцијалног трансформатора. Међутим ова идеја је за собом повлачила велику масу, па самим тим ово решење није било прихватљиво [7].



Сл. 1.2 Фотингера скица идеје о хидродинамичком преноснику снаге [7]

Систематско и чисто теоријско решавање проблема приликом његових студија, коначно га је навело на примену хидродинамичког принципа.

Фотингер је развио тзв. хидродинамички конвертер обртног момента (Фотингер-ов конвертер), који представља у то време прави инжењерски подвиг. Хидродинамичка спојница је изведена спрегом пумпе и турбине стандардне конструкције (сл. 1.3). Решење је било концепцијски једноставно, а конструктивно лако изводљиво, али није задовољавало енергетске захтеве.



Сл. 1.3 Шема хидродинамичког преносника снаге [7]

Наиме, пумпе за течности тога времена (око 1900. године) ретко су имале степен корисности већи од 0,85, а турбине од 0,88. Када се томе додају још губици у цевоводу од пумпе ка турбини и за њен повратак, укупни степен корисности уређаја ретко је достигао вредност од 0,70, те је најмање 30% енергије погонског мотора утрошено на претварање у топлотну.

Да би поправио карактеристике преносника Фотингер је ставио у заједничко кућиште пумпно и турбинско коло, а изоставио спирале и цевоводе, и на тај начин добијена је компактна конструкција. Овакав преносник имао је добар степен корисности, а обзиром да су брзине обртања пумпног и турбинског вратила готово исте,

и како овакав преносник практично није трансформисао обртни момент, назван је хидродинамичком спојницом. [4]



Сл. 1.4 Приказ примене различитих погонских агрегата у спрези са различитим врстама преноса снаге и њихова примена [7]

Данашњи индустријски погонски системи практично су незамисливи без елемената за пренос снаге, који су саставни део ових система. Системи за пренос снаге од погонске машине ка радној машини углавном су механички или хидраулични што зависи од захтева при раду, а од тога зависи и њихова примена. Приликом одређивања врсте преносника снаге главну улогу има машински инжењер, који ће на прави начин схватити проблеме који могу да се јаве при одређеним условима рада.

1.1 Врсте преносника снаге

Под преносником снаге у најширем смислу подразумева се машинска група или цела група машина чији је задатак преношења механичке енергије од погонске машине (електромотор, СУС мотор, парна турбина...) ка радној машини. Помоћу њих се такође може извршити промена параметара снаге (снага је размењена енергија у јединици времена), величине обртних момената и угаоних брзина или силе и брзине, правца и врсте кретања.

Према принципу рада, преносници снаге се деле на [5]:

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

Механички преносници спадају у класичне преноснике и као нерегулисани преносници су економични, сигурни у погону и лаки за одржавање. Међутим уколико је неопходно регулисање преноса снаге, даљински га управљати или аутоматизовати,

механички преносници постају непогодни због компликоване конструкције. Најраспрострањенији механички преносници су зупчасти преносници, који преносе обртни момент помоћу тзв. везе обликом.

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.

Постоје две врсте хидрауличног преноса снаге: хидростатички (запремински) и хидродинамички (турбопреносници). Хидраулички пренос снаге се врши посредством течности, најчешће минералног хидрауличног уља или незапаљивих течности за хидраулику.

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

1.2 Хидраулички преносници снаге

Основне компоненте ових преносника су претварачи енергије, у којима се механичка енергија трансформише у енергију струјања радне течности, и обрнуто. Под хидрауличким системом, у општем случају, подразумевамо скуп уређаја способних да врше пренос енергије помоћу хидрауличке течности. У хидрауличним преносницима кинематска и динамичка веза између вратила погонске машине и вратила радне машине успоставља се циркулацијом флуида. Циркулација се остварује пумпом спрегнутом са вратилом погонске машине и хидрауличним мотором спојеним са вратилом радне машине.

Медијум за претварање и преношење енергије у хидрауличким системима је флуид. У хидрауличким системима користе се течности код којих се запремина не сме значајно да мења под деловањем спољне силе (нестисљиви флуиди).

Хидрауличним преносницима се проширује дијапазон регулисања брзине чиме се смањује или искључује потреба за упоредном применом зупчастог преноса, побољшава се економичност процеса и производње енергије, а код већих снага се постиже компактнија конструкција и јефтиније решење. Применом хидрауличких преносника олакшава се аутоматизовање радног процеса и даљинско командовање.

Хидраулички системи могу се поделити у две велике групе, на [3]:

- хидродинамичке системе и
- хидростатичке системе.

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). Хидростатички систем преноси енергију посредством потенцијалне енергије радне течности (енергија притиска). Учешће кинетичке енергије је врло мало (испод 0,5%) [5].

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 великим даљинама простим хидрауличким компонентама (цревоводима и цевоводима).

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.

Хидростатички погони су погодни за регулацију, па се веома често примењују у регулационим системима.

Код **хидродинамичких преносника снаге** претвараачи енергије раде по принципу турбомашине, центрифугалне пумпе и турбине. Због тога се овакви преносници називају и турбопреносницима снаге. Хидродинамички систем преноси енергију посредством кинетичке енергије струјања радне течности. 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 обртањем излазног (гоњеног) вратила. [5]

Струјање течности у хидродинамичком преноснику снаге карактерише релативно низак притисак (учешће енергије притиска је занемариво мало), па се пренос снаге углавном врши на рачун протока.

Зависно од намене хидродинамички преносници се деле на две групе:

- хидродинамички трансформатори обртног момента и
- хидродинамичке спојнице.

Разлика између хидростатичких и хидродинамичких преносника снаге је у [5]:

- Чињеници да се хидростатички пренос снаге у основи врши притиском радне течности што условљава потпуну херметичност ових преносника, 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-a), 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).

- Поређење на бази габарита даје предност хидростатичком преносу, нарочито при преносу малих снага.
- 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.
- Елементи хидродинамичког преносника не захтевају посебно одржавање, док је то код хидростатичких преносника од суштинске важности.

Као последица утицаја инерције, данас се уобичајно при преносу већих снага предност даје хидродинамичком преносу, док се у области мањих снага предност даје хидростатичким преносницима. Утицај инерције често је пресудан у опредељењу који ће тип хидрауличног преноса снаге бити примењен.

Широка примена хидрауличких уређаја у готово свим областима технике условљена је великим бројем предности у односу на остале погоне [9].

Предности су следеће:

- Заштита од преоптерећења мотора и мотора погоњене машине.
- Прекомерно димезионисање мотора није неопходно.
- Ограничење обртног момента током старта.
- Ефективно пригушење вибрација и удара.
- Висока поузданост и доступност.
- Коришћење стандардних асинхроних мотора.
- Олакшано стартовање мотора.
- Лагано убрзање великих маса.

Недостаци су:

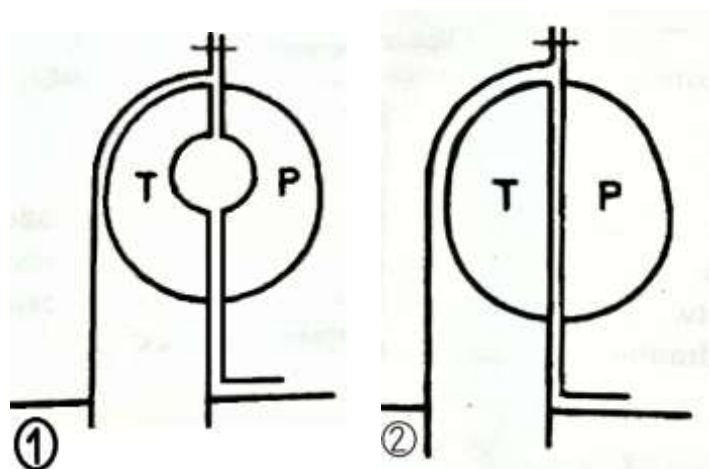
- Појава клизања.
- Постоји разлика броја између броја обртаја пумпног и турбинског кола.
- Течност која се налази у кућишту мора бити компатибилна са спојницом, она директно утиче на понашање преноса снаге.
- Хидродинамичка спојница не може пренети обртни момент када је број обртаја пумпног и турбинског вратила исти.

Главна примена хидродинамичких спојница је у [1]:

- Индустији: Хидродинамичке спојнице се генерално користе код меког стартовања и код променљивих оптерећења. Овакве врсте хидродинамичких спојница налазе примену рада у електранама, рафинеријама, рудницима угља, индустрији целулозе итд.
- Електранама: У електранама постоји различита опрема која захтева спајање уз помоћ хидродинамичких спојница.
- Вентилаторима: Вентилатори су саставни део свих електрана, захтев при раду је промена брзине обртања за производњу електричне енергије.
- Пумпама: Котао је важан део електране и ради под високим притиском. За пуњење свежег водом котла користи се неопходне пумпе високог притиска, које захтевају висок обртни моменат за стартовање. Због овога се користе хидродинамичке спојнице.
- Рудницима: Хидродинамичка спојница користи се за транспортере или такозване транспортне траке у рудницима за транспортовање руде.
- Рафинеријама: Течна нафта поседује високу вискозност, вискозност варира са променом температуре. За транспорт течне нафте користе се специјалне пумпе које могу да раде са радним флуидима променљиве вискозности.
- Аутомобилској индустрији: Хидродинамичка спојница се користи у аутомобилима као “квачило”. Уједно се користи и у тешким возилима као што су тегљачи, а тада има улогу ретардера.
- Железници: У возу хидродинамичка спојница се користе за пренос снаге за променљиво оптерећење и висок обртни момент потребан за покретање воза.
- Ваздухопловству.

2. Основни напомене о принципу рада и основни појмови хидродинамичких спојница

Хидродинамичка спојница припада групи хидрауличких преносника снаге. Хидродинамичка спојница се састоји из турбинског и пумпног кола и кућишта које је чврсто везано са пумпним колом и обрће се заједно са њим. Једна од подела хидродинамичких спојница је на, спојнице са унутрашњим торусом и без унутрашњег торуса. На слици 2.1 приказане су шематски две конструктивне варијанте: једна са колима са унутрашњим диском за усмеравање течности (шема 1), а друга (шема 2) без усмеривача. Улога унутрашњег торуса је да образује струјно поље према унапред дефинисаној путањи циркулације.



Сл. 2.1 Шеме хидродинамичких спојница [3]

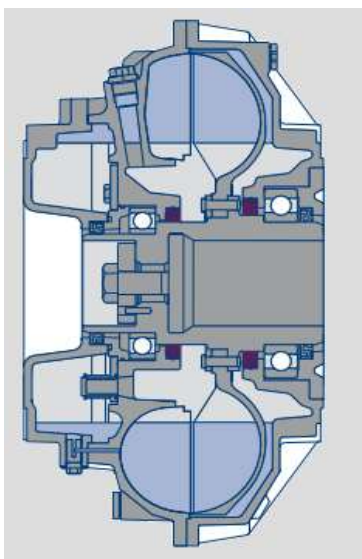
Пумпна и турбинска кола хидродинамичких спојница изводе се најчешће са радијалним правим лопатицама. Ова кола одликује велики број лопатица. Код спојница пречника $D = 200 \text{ mm}$, што одговара најмањим величинама хидродинамичких спојница, пумпно и турбинско коло имају по 25-30 лопатица, док кола пречника $D = 1000 \text{ mm}$, имају 50-60 лопатица. Коло са великим бројем лопатица није добро решење, јер са повећањем броја лопатица повећава се и површина трења флуида о зидове, па расту губици енергије у колу. Због наведеног се број лопатица бира тако да се оствари жељено струјно кретање уз минимални губитак енергије услед трења. Губици услед трења у колу зависе од интензитета релативних брзина и карактера промена тих брзина [5].

2.1 Подела хидродинамичких спојница

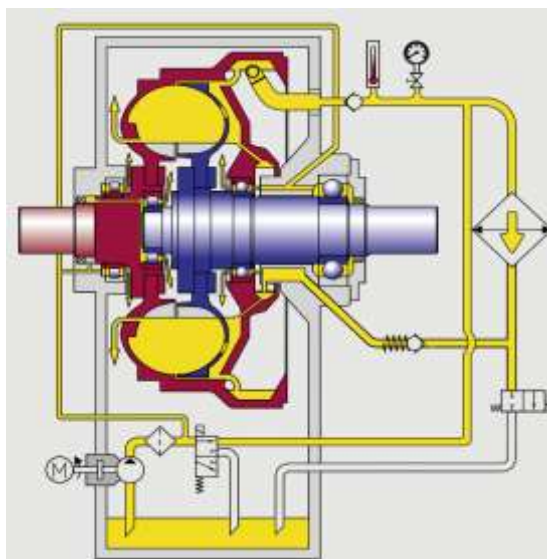
Подела хидродинамичких спојница према могућности промене броја обртаја је на спојнице са константним пуњењем (са приближно симетричним радним колима) и на спојнице са променљивим пуњењем. У случају када је потребни интервал промена преносног односа узак, а погонски мотор има сталну угаону брзину, брзина обртања излазног вратила регулише се хидродинамичком спојницом.

Код спојнице са константним пуњењем приказаној на слици 2.2, како им и само име говори, не може се мењати пуњење у току рада, чиме је онемогућена промена излазних параметара, будући да су како број обртаја излазног вратила, тако и пренети обртни момент, функције хидродинамичких услова у радном простору спојнице, које су, у случају константне количине радног флуида, непроменљиви.

Код спојница са променљивим пуњењем приказаној на слици 2.3, могуће је у току рада мењати ниво испуњености радне течности. Спојнице константног пуњења се називају још и симетричним, односно имају приближно симетрична кола пумпе и турбине.



Сл. 2.2 *Нерегулациона спојница [12]*



Сл 2.3 *Регулациона спојница [6]*

Регулационе спојнице су своју примену нашле у погону тешко оптерећених машина и уређаја, какве се налазе у индустрији грађевинске механизације, рударства, код погона железничких машина, у бродоградњи и у индустрији моторних возила. Проблем који намећу тешки услови рада и велика оптерећења којима су изложене погонске машине које се користе у грађевинској индустрији једино је и могуће решити применом хидродинамичког преноса снаге.

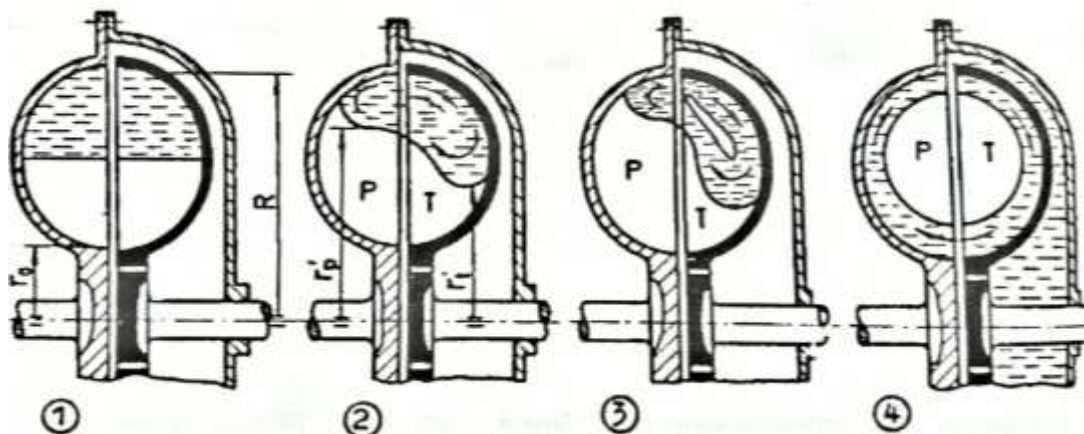
Да би се постигла промена обртног момента, примењују се решења којима је могуће да обртни момент који се преноси спојницом зависи не само од преносног односа (при сталној угаоној брзини пумпног кола) него и од параметара на чију вредност се делује споља.

Допунски утицај на промену обртног момента остварује се променљивим пуњењем радног простора спојнице, закретањем лопатица пумпног или турбинског кола, као и померањем пригушног елемента којим се мења проток кроз спојницу.

Високу заступљеност хидродинамичких спојница у рударској индустрији условила је веома корисна могућност да се, за њен погон користе електромотори са кратко спојеним ротором. На овај начин се, уградњом хидродинамичке спојнице у преносни

систем, постиже, поред добијања јефтиног и сигурног погонског агрегата, остваривање високог степена заштите од лома или преоптерећења скупог погоњеног уређаја.

Своју примену регулационе хидродинамичке спојнице налазе у процесној индустрији, рударству, бродоградњи и аутомобилској индустрији, код тешких возила.



Сл. 2.4 Облик струјног простора при делимично пуњењу спојнице и разним преносним односима [4]

Облик простора испуњеног радним флуидом, зависи од степена пуњења и преносног односа. На слици 2.4 приказани су облици за различите режиме, при истом пуњењу. На слици 1 приказано је стање релативне равнотеже флуида када се при истој брзини обртања оба кола ($i=1$) прекида протицање. Сlike (2) и (3) се односе на режиме са преносним односима већим од критичне вредности. При пролазу кроз критични режим, облик простора испуњеног флуидом скоковито се мења. При режимима са преносним односима нижим од критичног, формира се струјање према слици 2.4 [4].

2.2 Принцип рада хидродинамичких спојница

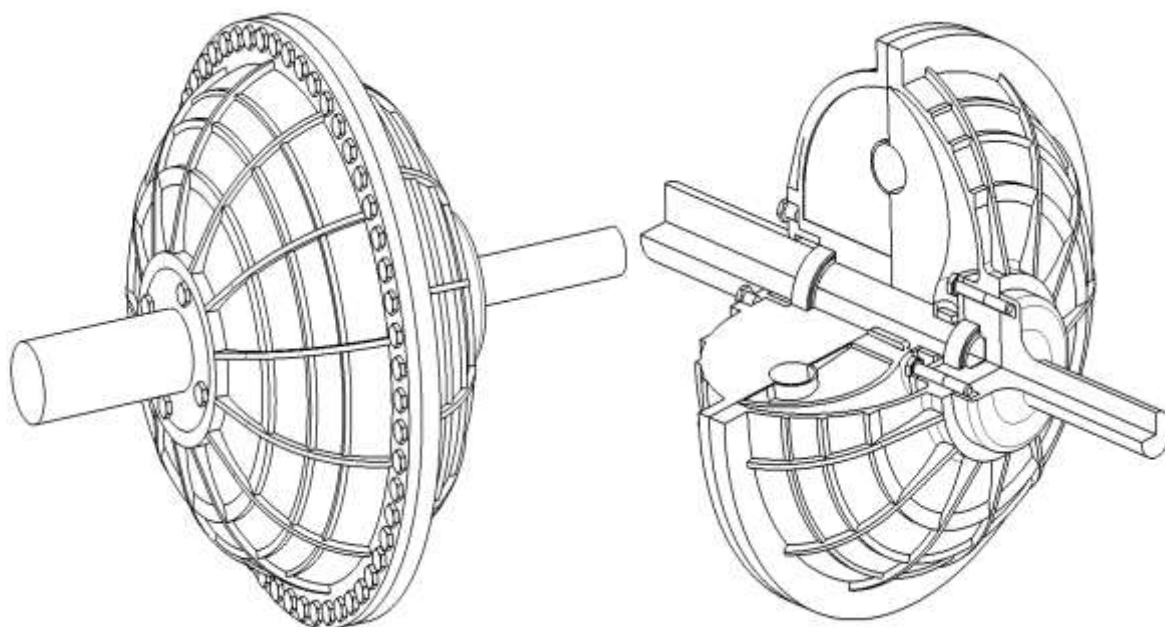
Сам принцип рада спојнице заснива се на следећем [5]:

Вратило пумпног кола хидродинамичке спојнице везано је за погонски агрегат, док је вратило турбинског кола директно или преко механичке трансмисије у вези са погоњеним агрегатом. Оно што је карактеристика спојнице је да не постоји механички контакт између пумпног и турбинског кола, а самим тим се елиминише било какво хабање и потрошња материјала између турбинског и пумпног кола.

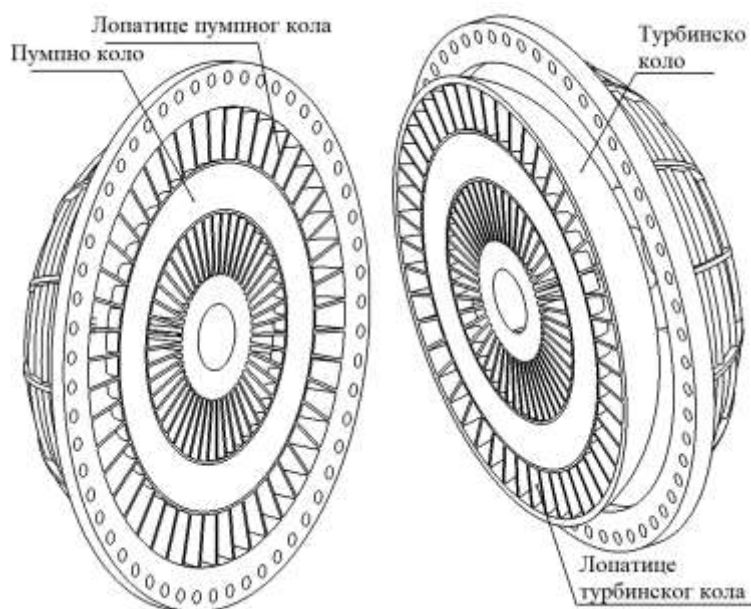
Преношење или размена енергије у пумпном и у турбинском колу хидродинамичких преносника снаге остварује се у условима динамичког деловања лопатица кола на течност и течности на лопатице.

Механички рад се са вратила пумпног кола преноси на вратило турбинског кола посредством радне течности која циркулише у радном простору (пумпном и турбинском колу, слика 2.5 и 2.6). Циркулацију радне течности изазива пумпно коло које потискује радну течност ка периферији пумпног кола услед дејства центрифугалне силе. На овај

начин се повећава струјна енергија радне течности. У турбинском колу, са смером струјања од периферије ка центру, радној течности се смањује брзина струјања, односно долази до пада енергије струјања услед предаје механичког рада турбинском колу, односно његовом вратилу. На овај начин је остварена еластична веза, као што је претходно напоменуто, без механичке везе је остварена веза погонског и гоњеног вратила.



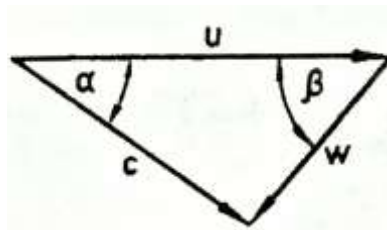
Сл. 2.5 Приказ хидродинамичке спојнице



Сл. 2.6 Приказ пумпног и турбинског кола

2.3 Теоријске основе хидродинамичких спојница

У свакој тачки радног простора могу се дефинисати три брзине: брзина ротације кола $\vec{u}$, апсолутна брзина флуидне честице $\vec{c}$ (брзина у односу на непокретни координатни систем везан, на пример, за оклоп машине) и релативна брзина те исте флуидне честице $\vec{w}$ (брзина у односу на коло) (слика 2.7).

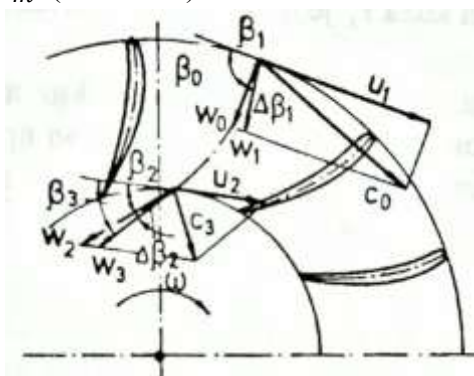


Сл. 2.7 Троугао брзина радијалне турбине [4]

Међусобни однос ових брзина одређени су законом релативног кретања, по коме апсолутна брзина је једнака збиру преносне и релативне брзине:

$$\vec{c} = \vec{u} + \vec{w},$$

Брзине $\vec{c}$ и $\vec{u}$ заклапају угао α , брзине $\vec{w}$ и $-\vec{u}$ угао β . Пројекција брзине $\vec{c}$ на правац $\vec{u}$ даје обимску компоненту брзине која се обележава са $\vec{c}_u$. Пројекција брзине $\vec{c}$ на меридијанску раван кола одређује проточну компоненту брзине. То је меридијанска брзина и обележава се са $\vec{c}_m$ (слика 2.8).



Сл. 2.8 Троуглови брзина на улазу и излазу из турбинског кола [4]

Вектор преносне брзине се рачуна као векторски производ $\vec{r} \times \vec{\omega}$, где је ω угаона брзина радног кола, а r радијус одговарајућег кола. Вектор $\vec{w}$ означава релативну брзину флуидног делића.

Производ полупречника и обимских компонента апсолутне брзине исте је за излаз из кола пумпе и улаз у коло турбине, као и за излаз из кола турбине и улаз у коло пумпе, из чега произлазе следећи обрасци:

$$(r \cdot c_u)_p = (r \cdot c_u)_t$$

На основу претходне релације следи да су у хидродинамичкој спојници моменти кола пумпе и турбине једнаки:

$$M_{th}^p = M_{th}^t$$

Занемарујући отпоре ваздуха при обртању спојнице и трење у лежиштима, моменти на улазном (пумпном) и излазном (турбинском) вратилу се могу сматрати једнаким:

$$M_1 = M_2 = M$$

Снаге на улазном и излазном вратилу су:

$$P_1 = M \cdot \omega_1$$

$$P_2 = M \cdot \omega_2.$$

На основу добијених образаца за снагу можемо дефинисати степен корисности спојнице на следећи начин:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{n_2}{n_1} = i,$$

при чему је са (i) означен преносни однос броја обртаја на излазном и улазном вратилу.

Термин клизање хидродинамичке спојнице дефинише се односом:

$$s = \frac{\omega_1 - \omega_2}{\omega_1} = \frac{n_1 - n_2}{n_1} = 1 - i$$

или у проценти:

$$s[\%] = \frac{\omega_1 - \omega_2}{\omega_1} \cdot 100 = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \cdot 100 = (1 - i) \cdot 100$$

Степен клизања је последица која се јавља услед неједнакости броја обртаја пумпног и турбинског кола. Сама разлика броја обртаја пумпног и турбинског кола је последица губитака струјне енергије радне течности која циркулише кроз радни простор. Чак и да замислимо да нема губитака струјне енергије, немогућ је пренос снаге при једнаком броју обртаја пумпног и турбинског кола, јер би се због једнаких распореда притисака у пумпном и турбинском колу прекинула циркулација течности у спојници (течност би у овом случају релативно мировала у односу на радна кола). Из овога можемо закључити да хидродинамичка спојница не може да ради без клизања, односно не може се остварити пренос обртног момента без клизања.

У номиналном режиму рада (рад са највећим степеном корисности), спојнице раде са клизањем од 2-3%, односно степеном корисности од 0,97-0,98 [5].

Табела 2.1 Основне једначине које важе код хидродинамичких спојница

Карактеристика	Однос	
Степен клизања	$s = \frac{\omega_1 - \omega_2}{\omega_1} = \frac{n_1 - n_2}{n_1} = 1 - i$	ω_1 - угаона брзина пумпе ω_2 - угаона брзина турбине
Степен корисности	$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{n_2}{n_1} = i$	n_1 - број обртаја пумпног кола n_2 - број обртаја турбинског кола
Снага	$P_1 = M \cdot \omega_1$ $P_2 = M \cdot \omega_2$	P_1 - снага на вратилу пумпног кола P_2 - снага на вратилу турбинског кола
Момент	$M_1 = M_2 = M$	M_1 - момент на вратилу пумпног кола M_2 - момент вратилу турбинског кола
Преносни однос	$i = \frac{P_2}{P_1} = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{n_2}{n_1}$	

2.4 Теорија сличности

Процес размене енергије у хидродинамичкој спојници зависи од облика простора и поља брзина које се у њему формирају. Егзатно проучавање ове појаве веома је сложено, па се због тога примењује експериментално испитивање модела, применом закона сличности при чему се одређују параметри радног процеса преносника [4].

Сличност рада две машине укључује [4]:

1. Сличност облика или геометријску сличност, а то подразумева исти однос ма које две коресподентне димензије мерене на машини и њеном моделу. Стога услов сличности захтева и сличност површинске храпавости, као и сличност ширине зазора, а ова два услова је тешко или немогуће остварити.

2. Кинематску сличност, дефинисану сталном размером брзина у коресподентним тачкама и једнакост углова коју дефинишу векторе брзина. Овим је изражен и услов сличности троуглова брзина у једној и другој машини.

3. Динамичку сличност изражену размером сила и момената који делују на коресподентне елементе машина.

Услови сличности се дефинишу бездимензијским изразима који се формирају од више разнородних физичких величина, које карактеришу посматрану појаву. Бројне вредности оваквих израза су исте за све сличне појаве и зато се они називају значајцама. Дефинисано је више значајца (карактеристика) као што су, на пример:

- Рејнолдсов (*Reynolds*) број

$$Re = \rho \cdot c \cdot d / \eta = c \cdot d / \nu$$

који карактерише однос инерцијских сила и сила трења.

- Фрудов (*Froude*) број

$$Fr = c^2 / (g \cdot d)$$

дат односом сила инерције и гравитационих сила.

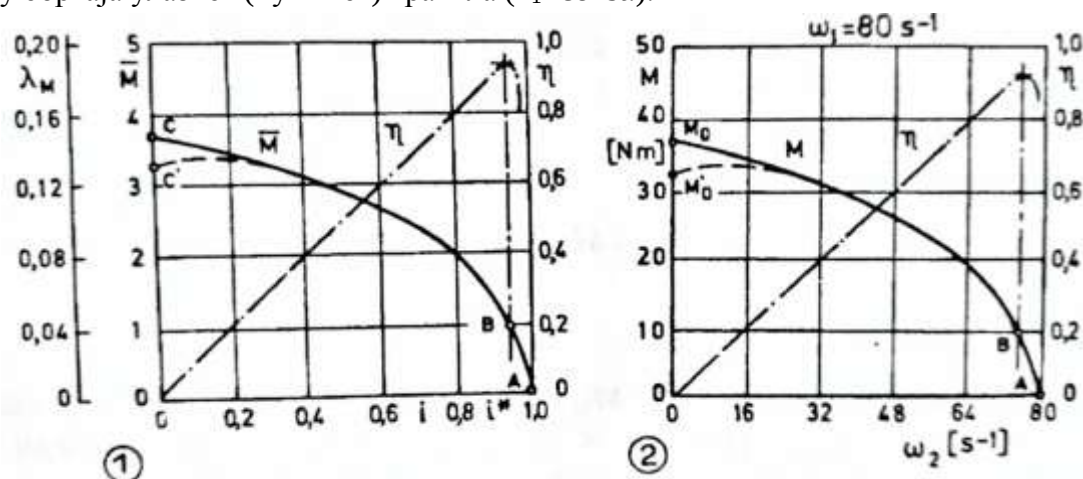
- Струхалов (*Strouhal*) број

$$Sh = f \cdot d / u$$

Ознаке у наведеним изразима су: c , u - брзине, d - дужина, η - динамичка вискозност, ν - кинематска вискозност, g - убрзање земљине теже, f - учестаност, ρ - густина.

2.5 Радне криве спојнице

Спољне карактеристике хидродинамичке спојнице су зависности обртног момента (M) и степена корисности (η) од преносног односа (i) или клизања (s), при константном броју обртаја улазног (пумпног) вратила ($n_1 = \text{const.}$).



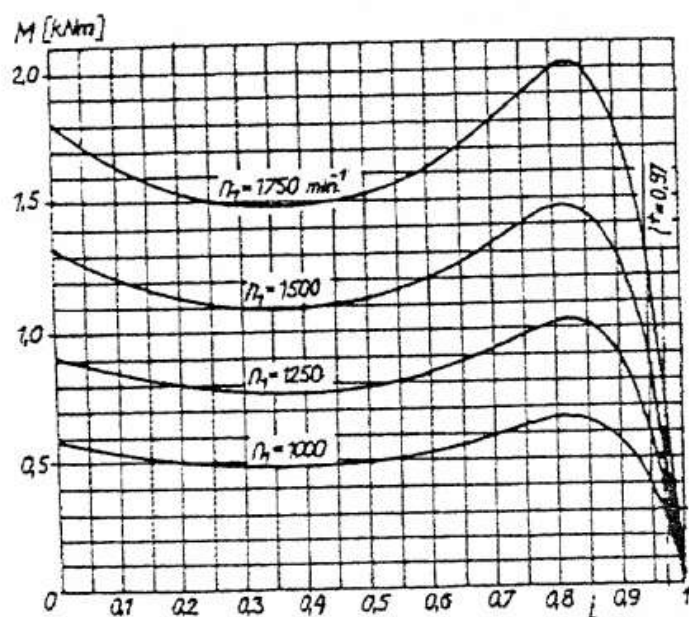
Сл 2.9 Радне криве спојнице у вучном режиму: 1. бездимензијске криве, 2-крива момента за одређену спојницу [5]

Разликују се два основна радна режима спојнице и то: нормални или вучни режим и режим кочења.

При нормалном или вучном режиму хидродинамичке спојнице енергија се преноси од улазног вратила, преко пумпног кола на турбинско и излазно вратило. Турбинско коло спојнице обрће се угаоном брзином ω_2 која не може да буде већа од угаоне брзине пумпног кола. Биће дакле:

$$0 \leq \omega_2 \leq \omega_{2\max} \text{ и } \omega_{2\max} \leq \omega_1$$

Код вучног режима при сталној угаоној брзини пумпног кола (ω_1), угаона брзина на турбинском колу се мења са оптерећењем. Снаге на пумпном и турбинском колу одређене су једначинама из табеле 2.1, а степени корисности такође из табеле.



Сл 2.10 Спољна карактеристика спојнице при различитим бројевима обртаја пумпног кола [5]

2.6 Контрола температуре

Основна заштита спојнице од температуре изнад дозвољене је пражњење радне течности из радног простора, при чему се прекида пренос снаге и погонски мотор се растеређује. На овај начин спојница се штити од трајног оштећења. Пражњење радне течности се обавља помоћу топлотног осигурача са лакотопљивом легуром.

До повећања температуре долази услед високог степена клизања у дужем временском периоду, што проузрокује пораст температуре у радном простору и у самој радној течности. Уколико је излаз спојнице блокиран, улазна енергија се у потпуности претвара у топлотну, па у таквој ситуацији долази до отапања топлотног осигурача и истицања радне течности из радног простора [10].

Термички прекидачи MTS i BTS [13] могу се користити за праћење температуре, односно заштите од потенцијалне експлозије. Сигнали служе као превентивно упозорење. MTS и BTS сензори не ограничавају максималну температуру средине.

Да би се избегао губитак радне течности у хидродинамичкој спојници због температуре изнад дозвољене, може се додати механички прекидач MTS. На овај начин MTS прекидач утиче на очување животне средине јер онемогућава истицање радног флуида у окружење, док је примарни задатак извршен, а то је очување спојнице од трајног оштећења.

BTS-EX се користи као сигурносни уређај, са задатком да ограничи максималну температуру средине, и они се могу користити као термички прекидачи. Термички прекидачи су саставни део хидродинамичких спојница и утичу на њихову заштиту.

Температура у хидродинамичким спојницама може се пратити помоћу граничног прекидача или температурног уређаја:

Следећи системи су доступни као гранични прекидачи:

- Механички MTS систем
- Електронски BTS систем

Ови гранични прекидачи имају задатак да прате максималне дозвољене температуре у систему, да би се елиминисало преоптерећење у систему. У наредном делу ће бити описан принцип рада ових прекидача.

MTS- механички термички прекидач за упозорење

Да би се избегао губитак радне течности у хидродинамичкој спојници због превелике температуре изнад дозвољене, у систем се може додати механички прекидач MTS (слика 2.11). Када температура довољно порасте, и уколико је изнад дозвољене, елемент прекидача избацује пин који управља контактом прекидача. У зависности од одабраног кола, сигнал прекидача може се користити за искључивање погонског мотора или активирање аларма. Елемент мора бити замењен након активације.



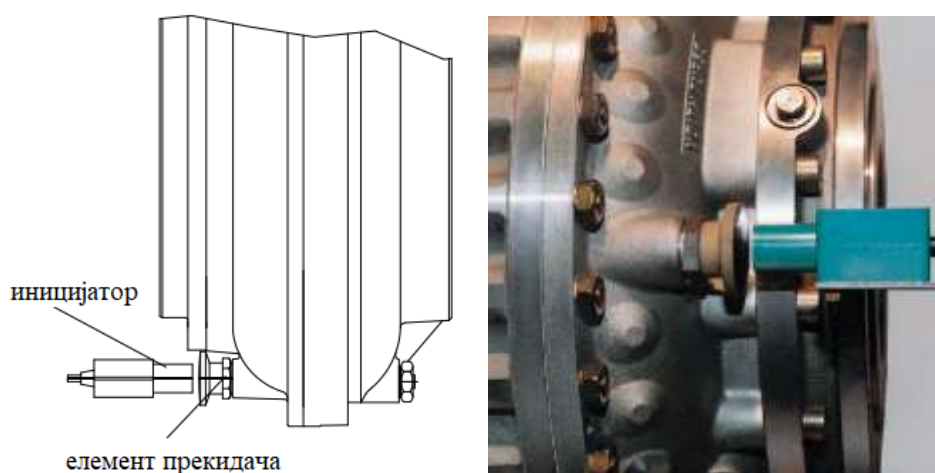
Сл. 2.11 MTS прекидач и место његовог постављања [13]

BTS- безконтактни термички прекидач за упозорење

На повишеним температурама, елемент прекидача шаље сигнал ка иницијатору. Овај сигнал може на пример да:

- Покрене аларм или
- искључи погонски мотор.

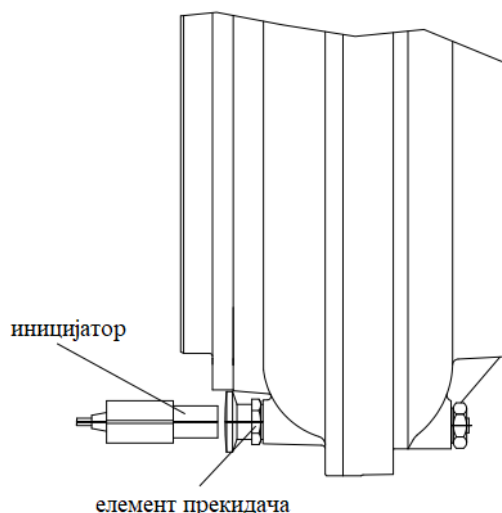
Након што се хидродинамичка спојница охлади, елемент прекидача је поново спреман те не мора бити замењен као што је то случај код MTS прекидача. Елемент прекидача и иницијатор су смештени у пластичном кућишту, неосетљиви су на прашину, погодни су за употребу у потенцијално експлозивним срединама.



Сл. 2.12 *BTS безконтактни термички прекидач [13]*

BTS-EX - безконтактни термички прекидач за ограничавање максималне температуре

На повишеним температурама, елемент прекидача шаље специфичан сигнал ка иницијатору. Овај сигнал се шаље ка прекидачу за искључивање који има задатак да изврши прекид рада погонског мотора. Након што се хидродинамичка спојница охлади елемент прекидача је поново спреман и не мора бити замењен.



Сл. 2.13 *BTS-EX безконтактни термички прекидач за ограничавање максималне температуре [7]*

Изгубљена енергија у хидродинамичкој спојници се може третирати као топлота настала услед трења. Да би се омогућило хлађење загрејане течности изводе се различита конструктивна решења. Једно од једноставнијих је израда пумпног кола са ребрима за хлађење. На сл. 2.7 је приказано конструктивно решење израде ребара за хлађење. На овај начин повећава се површина одавања топлоте спољашњој околини. Услед ширења радне течности у радном простору и услед загревања хидродинамичка спојница није у потпуности испуњена радном течношћу [5].

2.7 Избор материјала

Основни параметри хидродинамичке спојнице су однос обртног момента, брзина и особине радне течности. Табела 2.2 приказује најважније критеријуме приликом одабира материјала. Приликом избора материјала за израду нерегулационих спојница (спојнице константног пуњења), препоручују се делови од ливеног алумунијума за главне компоненте наведених спојница, који нису изложени великом напору. Разлог за избор ливеног алуминијума је у томе што сама конструкција има малу масу, добар однос тврдоће и густине, као и добру способност обраде [7].

За спојнице које раде у отежаним условима избор материјала се своди на каљени челик, или на челик који је обрађен неком другом термичком обрадом како би се добиле побољшане механичке особине. Бакарна брзна има добру отпорност на корозију, па се из тог разлога користи за израду спојница, код којих је радни флуид вода.

Табела 2.2 Критеријум за избор материјала који се користи за израду спојнице [7]

Избор материјала	
Функција	Геометрија профила, облик лопатица, густина, маса
Фактор оптерећења	Центрифугална сила, притисак течности, обртни момент, силе која настају услед промене температуре
Производња	Трошкови сировина, начин обраде
Погодност процеса	Трошкови одржавања, отпорност на корозију, отпорност на хабање, склоност варницама

3. Радне течности који се користе у турбоспојницама

Функције радне течности у системима хидрауличног преноса снаге су да [2]:

- врше пренос снаге (енергије),
- врше подмазивање покретних делова,
- штите систем од корозије,
- врше заптивање зазора између покретних делова,
- врше преузимање и расподелу топлотне енергије која настаје због трења.

Као радни флуиди најчешће се користе две, по начину добијања, различите врсте течности:

- минерална уља,
- синтетичке течности,

а у последње време примену имају и:

- биљна уља и вода.

3.1 Хидраулично уље

HLP (хидраулично уље): Хидраулична уља у оквиру класе вискозности ISO VG 32 су стандардне радне течности који се користе у хидрауличним спојницама. Вискозност уља има значајан задатак у преносу снаге, јер сила трења у проточном каналу зависи од вискозности. Данас се често комбинују хидраулична уља са водом у хидродинамичким спојницама. Неопходно је да се користе радни флуиди који су назначени као једини који могу да се користи, у супротном могуће је трајно оштећење хидродинамичке спојнице уколико се користи непрописана радна течност [8].

Смањењем брзине и величине вискозности, смањују се губици масеног протока у проточном каналу. Утицај вискозности на карактеристике је често занемарљив уколико се радна температура креће у дозвољеним вредностима. Тада вискозност не утиче знатно на промену карактеристика.

Табела 3.1 Класификација радних течности према вискозности

Радна течност	Густина течности [kg/m ³] на [40° C]	Средња вредност кинематске вискозности $\frac{mm^2}{s}$ на [40 °C]	Границе кинематске вискозности [$\frac{mm^2}{s}$ на 40 °C]		Специфична топлота c_p [$\frac{kJ}{kgK}$] на температури [40° C]
			најмање	највише	
HLP [ISO VG 32]	857	32	28,8	35,2	2,15
Вода	992,24	0.6579	/	/	4,1785
HFA	≈ 1	≈ 1	1	40	4,19

3.2 Примена воде као радне течности у хидродинамичким спојницама

Све већи захтеви који се постављају пред индустрију, а у вези безбедности и заштите животне средине испуњава и примењује компанија Voith. Компанија Voith је доминантна компанија за производњу хидродинамичких спојница и има водећу позицију у даљем развоју и примени флексибилне спојнице која користи воду као радни флуид за тракасте транспортере и AFC¹ [енг. *Armored face conveyor*] погоне [9].

Предност примене чисте воде као радне течности лежи у својој широкој распрострањености, а и еколошки је прихватљива.

Загађење животне средине услед на пр. испуштања радне течности је могуће уколико радна течност доспе у земљу или воду, па је неопходно на прави начин одлагати радну течност и то на начин који је прописан законом о одлагању опасног отпада.

Као што је речено минерална уља честа су опција приликом избора радне течности за хидродинамичке спојнице. Уља која се користе у одређеним хидродинамичким спојницама имају особину лаке запаљивости и токсични су уколико доспеју у спољашњу средину. Из наведених разлога све више се ради на проналажењу радних флуида који су отпорни на лаку запаљивост и еколошки су прихватљивији од минералних уља, а своју примену налазе како у регулационим тако и у нерегулационим хидродинамичким спојницама.

Вода као радна течност испуњавају захтеве употребе у рудницима. Вода која се користи у хидродинамичким спојницама не сме да садржи високу количину соли, и мора да има малу концентрацију других адитива. При високим температурама може настати кавитација (појава испаравања воде и стварање мехурова водене паре), што смањује снагу хидродинамичке спојнице и доводи до оштећења радних кола.

Слика 2.2 показује мере пројектовања које допушта употребу воде или HFA течности у хидродинамичкој спојници. HFA представљају тешко запаљиве течности, које се састоје од уљно-водене емулзије (обично 1-5% емулзионог уља).

Посебно треба водити рачуна приликом конструкције на [7]:

- Заптивање вратила за заштиту лежаја,
- Подмазивање лежаја са мастима ниске вискозности (обезбеђује дужи период подмазивања),
- Нерђајуће челике,
- Ниско температурни осигураче,
- Оксидисане делове од ливеног алуминијума.

Такође често се у воду додаје гликол. Разлог за додавања гликола је добра отпорност на запаљивост и промена тачке смрзавања воде. Смеша воде-гликола обично садржи 38-45% воде. Приликом додавања гликола постиже се добра заштита од хабања на ниским температурама, као и елиминисање појаве кавитације. Још једна од добрих карактеристика воде са адитивом гликола је добра отпорност на појаву корозије и добра

¹ AFC- оклопни транспортери

термичка проводност. Приликом рада неопходно је да радна температура буде у границама до 65 °C [13].

Даљи развој ватроотпорних течности развио је HFD-U течности (без воде, синтетичка течност). Наведена радна течност не захтева додатне мере пројектовања за спајање течности. Паралелно овом развоју извршено је увођење биоразградиве радне течности на бази синтетичких естара (HEES). Температура примене се креће у границама од -30 °C до 90 °C. Обе радне течности су испитане и показале су веома успешне резултате [7].

Радна течност не сме да садржи чврсте материје у себи, односно нечистоће, јер нечистоћа узрокује веће хабање спојнице и лежајева.

3.3 Мласти

За хидродинамичке спојнице са центрифугалним вентилом неопходно је додати одређену количину масти радном флуиду, који је у овом случају вода. Мласти гарантују стално функционисање центрифугалног вентила [8].

Табела 3. 2 Веза између димензија спојнице и количине масти када се дода у воду

Величина спојнице	366	422	487	562	650	750	866
Количина масти	80g	100g	120g	150g	180g	210g	240g

Мласти су полутечна или получврста мазива (триболошка средства) која се користе за подмазивање делова механичких система где уља, као течна мазива, из техничких или економских разлога, не задовољавају. Због своје конзистенције и адхезивних особина, масти се боље и дуже задржавају на површинама елемената механичких система. Производе се од базних уља, угушћивача и адитива.

Мазиве масти морају да задовоље следеће функције: подмазивање, заштиту од корозије, заптивање ради спречавања уласка нечистоћа и воде и компатибилност са заптивкама и другим конструкционим материјалима. Разлог зашто се користе угушћивачи као што су литијумов сапун и калцијумов сапун је одлична отпорност на воду [14].

Захтеви које масти треба да испуне су дате у табели 3.3.

Табела 3.3 Захтеви које масти морају испунити

Захтев за	
Класа конзистенције	NLGI 2
Угушћивачи	Литијумов сапун , Калцијумов сапун
Радна температура	-20 °C ... 120 °C
Компатибилност материјала	NBR (Nitril-Butadien caoutchouc) FPM / FKM (fluor-caoutchouc)

4. Могућност примене воде као радног флуида

У хидродинамичким спојницама, течност током циркулације кроз радна кола преноси снагу из пумпног у турбинско коло. Радна течност је важан елемент у систему. Величине које карактеришу радну течност су **густина, вискозност, специфична топлота, подмазивање и термално ширење.**

Густина течности има важну улогу у функционисању хидродинамичке спојнице. Она представља однос њене масе и запремине $[\frac{kg}{m^3}]$. Ова физичка величина зависи од притиска и температуре. Како кинетичка енергија зависи од густине течности, из ове зависности произилази да и излазна снага хидродинамичке спојнице зависи од густине радне течности.

Вискозност је својство радне течности да при кретању пружа отпор релативном померању (клизању) својих делића. Вискозност хидрауличке радне течности је најважнија физичка особина код избора за одређени хидраулички систем. Уколико вискозност неког хидрауличног уља не одговара прописима произвођача опреме, пумпа за уље неће исправно радити. Уколико је вискозност нижа од прописане, може доћи до цурења уља унутар система, као и до превеликог хабања материјала. Велика вискозност онемогућује исправан рад при ниским температурама.

Постоје динамичка и кинематска вискозност. За радне течности код хидродинамичких спојница углавном се примењују течности са мањом вискозношћу.

Динамичка вискозност зависи од притиска и температуре, али не постоји интегрисана аналитичка релација која изражава ову зависност. Динамичка вискозност радне течности значајно варира са променом температуре [2]:

$$\eta = \eta_0 \times e^{\alpha_{\eta T} \times (T - T_0)}$$

η [Pa·s] - динамичка вискозност на температури T [K],

η_0 [Pa·s] - динамичка вискозност на температури T_0 [K],

$\alpha_{\eta T}$ [K⁻¹] - коефицијент зависности вискозности од температуре.

У пракси, честу употребу има кинематска вискозност ν $[\frac{m^2}{s}]$, која представља однос динамичке вискозности и густине: $\nu = \frac{\eta}{\rho}$

Специфична топлота c_p $[\frac{J}{kgK}]$ представља енергију потребну за подизање температуре јединице масе тела за једну јединицу температуре. За многе супстанце специфична топлота c_p је практично константна у ширем интервалу температура. Приликом рада спојнице ствара се топлота која се генерише унутар спојнице.

Топлотно ширење је ширење радне течности повећањем температуре за 1°C . У радним условима спојнице ствара се топлота и температура расте, стога топлотно ширење радне течности треба да буде што мање за радну течност.

Подмазивање је неопходно код машинских делова који су покретни. На тај начин се спречава њихово хабање (смањује се коефицијент трења), продужава се радни век опреме и врши се уштеда новца и времена на њихово одржавање. Радна течност која се користи мора имати и способност подмазивања покретних делова.

Примарни задатак радне течности у хидродинамичкој спојници је преношење кинетичке енергије у радном простору између пумпног и турбинског кола. Посматрано са хидродинамичке тачке гледишта вода је врло погодна за ову сврху. У ранијим хидродинамичким спојницама, вода се користила као радна течност. Ипак корозивне особине воде ускоро су потиснуле воду као радни флуид и лака уља су избиле у први план као главне радне течности. Мана ових уља је лака запаљивост, стога је постојала ограничена примена хидродинамичких спојница код којих је радни флуид уље.

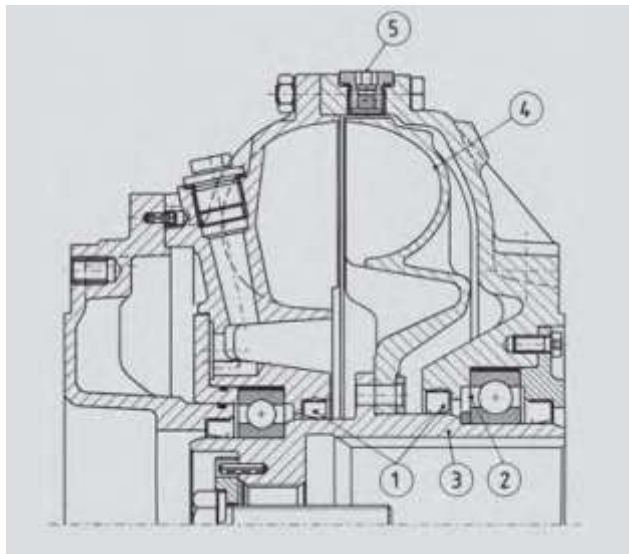
Приликом пројектовања хидродинамичке спојнице која користи воду као радни флуид, неопходно је водити рачуна о [6]:

- механичкој отпорности на кавитацију и корозију,
- подмазивању лежајева,
- ниској тачки кључања воде,
- понашању у раду на температури испод тачке смрзавања,

Највећи развојни изазов је појава корозије ливене легуре алуминијума услед примене не третиране воде.

Приликом конструкције хидродинамичке спојнице са константним пуњењем која користи воду као радни флуид важно је херметички изоловати радни простор од спољашње средине, и на тај начин спречити размену гасова и течности са околином. Услед затвореног радног простора неопходно је ограничити притисак у радном простору. Из овог разлога посебна пажња обраћа се на степен пуњења спојнице, степен пуњења се креће максимално од 85-90% од запремине која би могла да се испуни радном течношћу. Степен пуњења утиче на радне карактеристике спојнице, и поред броја обртаја пумпног кола и преносног односа, представља важан фактор. Степен пуњења спојнице (q) дефинише се као однос између запремине радне течности у спојници и укупне запремине шупљине у унутрашњости спојнице, односно укупне запремине течности коју би спојница могла да прими.

Као што је напомењено степен пуњења утиче на радне карактеристике спојнице, а разлог томе је да при промени степена пуњења, долази до промене пречника циркулације радне течности.



Сл. 4.1 Пресек хидродинамичке спојнице која користи воду [13]

Данас се спојнице које као радни флуид користе воду користе у индустрији код:

- тракастих транспортера
- оклопних транспортера
- вентилатора, центрифуга
- дрвној индустрији,
- млинова
- пумпи...

5. Прорачун хидродинамичке спојнице која користи воду

Хидродинамички прорачун геометријских параметара радног простора хидродинамичке спојнице базиран је на једнодимензијском моделу струјања и на теорији сличности. Његов основни задатак је да обезбеди могућност пројектовања хидродинамичке спојнице која задовољава услове пројектног задатка. Другим речима, спојнице која поседује унапред дефинисане радне карактеристике [5].

Једнодимензијска метода описивања струјања у хидродинамичкој спојници, међутим, не омогућава егзактно израчунавање геометријских параметара спојнице, већ се њени резултати морају поправљати емпиријски одређеним коефицијентима и обрасцима. Чак и са овим ограничењима, једнодимензијски модел је ефикасан само у случају спојница са малим клизањима, односно великим степенима корисности.

Пројектним задатком дефинисани су полазни подаци који ће послужити за прорачун геометријских параметара радних простора спојнице. Ови параметри обавезно укључују:

P - снага коју погонска машина предаје улазном вратилу спојнице

n_p - број обртаја погонског вратила

η – жељени степен корисности у номиналном режиму рада

ρ - густина радне течности

p - радни притисак спојнице.

Наведени параметри омогућавају одређивање једне тачке на радној карактеристици спојнице радне тачке у номиналном радном систему. Друга тачка радне криве одређена је радним режимом празног хода.

Коефицијент брзоходности одговара еталон спојници чији је напор пумпног кола $H_p=1\text{m}$ и снага $P=1\text{kW}$. Његова вредност креће се у границама $n_{sp}=(50 \div 70) \text{ o/min}$.

Приликом рачуњања меридијанске апсолутне брзине c_m примењује се коефицијент α који се усваја са графика проф. Кукуљевског у зависности од броја обртаја погонског вратила, док је аналитички могуће одредити у функцији преносног односа бројева обртаја и укупног коефицијента трења:

$$\alpha = \alpha(i, \xi)$$

Не постоји теоријски разрађен и опште прихваћен поступак за одређивање броја лопатица пумпног и турбинског кола, па се то решава емпиријски. Често се примењује образац:

$$z_p = 8.65 \cdot D_a^{0.279}$$

$$z_t = z_p + 2$$

У наредном делу рада је приказан прорачун хидродинамичке спојнице која користи воду као радни флуид који је урађен у софтверском пакету MathCAD v.15.

Максимална снага мотора:

$$P_{\text{emax}} = 30 \cdot \text{kW}$$

Број обртаја при максималној снази мотора:

$$n_{\text{emax}} = 450 \cdot \text{min}^{-1}$$

Специфична густина течности:

$$\rho = 992.24 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Степен клизања:

$$s = 0.03$$

Специфична топлота:

$$c = 4.1785 \cdot 10^3 \cdot \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

Промена радне температуре:

$$\Delta t = 50$$

Притисак у турбоспојници:

$$p = 3 \text{bar}$$

Степен искоришћења електромотора који служи за хлађење:

$$\eta_{\text{np}} = 0.03$$

Однос полупречника на улазу и излазу:

$$a = 0.4$$

1. Број обртаја:

Коефицијент брзоходности:
Усваја се:

$$n_{\text{sp}} = 60 \text{min}^{-1}$$

$$P_p = P_{\text{emax}}$$

$$n_p = n_{\text{emax}}$$

$$\eta = 1 - s$$

$$\eta = 0.97$$

$$i = \eta$$

2. Напор пумпног кола

$$H_p = \left[\frac{n_p}{n_{\text{sp}}} \sqrt{P_p \cdot \eta} \right]^{\frac{4}{5}}$$

$$H_p = 19.302 \text{ m}$$

$$Y_p = g \cdot H_p$$

$$Y_p = 189.288 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

3. Запремински проток:

$$Q = \frac{P_p \cdot \eta}{\rho \cdot g \cdot H_p}$$

$$Q = 0.15494 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

4. Пречник вратила:

$$d_v = 0.145 \sqrt[3]{\frac{P_p}{\eta_p}}$$

Усвајам:

$$d_v = 60 \text{ mm}$$

5. Најмањи пречник циркулације:

$$D_0 = 1.5 \cdot d_v$$

$$D_0 = 0.9 \text{ m}$$

6. Меридијанска брзина апсолутне брзине:

$$\alpha = 0.055$$

$$c_m = \alpha \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_p}$$

$$c_m = 1.07 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

7. Рачунање проточне површине на улазу и излазу:

$$A_i = \frac{Q}{c_m}$$

$$A_i = 0.145 \text{ m}^2$$

8. Димензије турбоспојнице:

$$\omega_p = \frac{\pi \cdot n_p}{30}$$

$$\omega_p = 47.123 \cdot \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$R_{p2} = \left[\frac{Y_p}{\omega_p^2 \cdot (1 - i \cdot a^2)} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$R_{p2} = 0.308 \text{ m}$$

$$R_{p1} = a \cdot R_{p2}$$

$$R_{p1} = 0.123 \text{ m}$$

9. Дебљина лопатике:

$$b_{p2} = \frac{Q}{c_m^2 \cdot R_{p2} \cdot \pi}$$

$$b_{p2} = 0.075 \text{ m}$$

**10. Највећи пречник циркулације
(активни пречник циркулације):**

$$D_a = 2 \cdot R_{p2} + b_{p2}$$

$$D_a = 690.814 \text{ mm}$$

усвојено: $D_a = 692 \text{ mm}$

11. Број лопатица пумпног кола:

$$z_p = 8.65 \cdot D_a^{0.279}$$

Усвојено: $z_p = 54$

12. Број лопатица турбинског кола:

$$z_t = z_p + 2$$

$$z_p = 56$$

13. Губици у спојници

$$P_{\text{gub}} = 0.5 \cdot P_{\text{emax}}$$

$$P_{\text{gub}} = 15 \text{ kW}$$

14. Проток за напојну пумпу:

$$Q_{\text{np}} = \frac{P_{\text{gub}}}{c \cdot \Delta t \cdot \rho}$$

$$Q_{\text{np}} = 7.236 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

15. Напор напојне пумпе:

$$Y_{\text{np}} = \frac{p}{\rho}$$

$$Y_{\text{np}} = 302.346 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

16. Снага напојне пумпе:

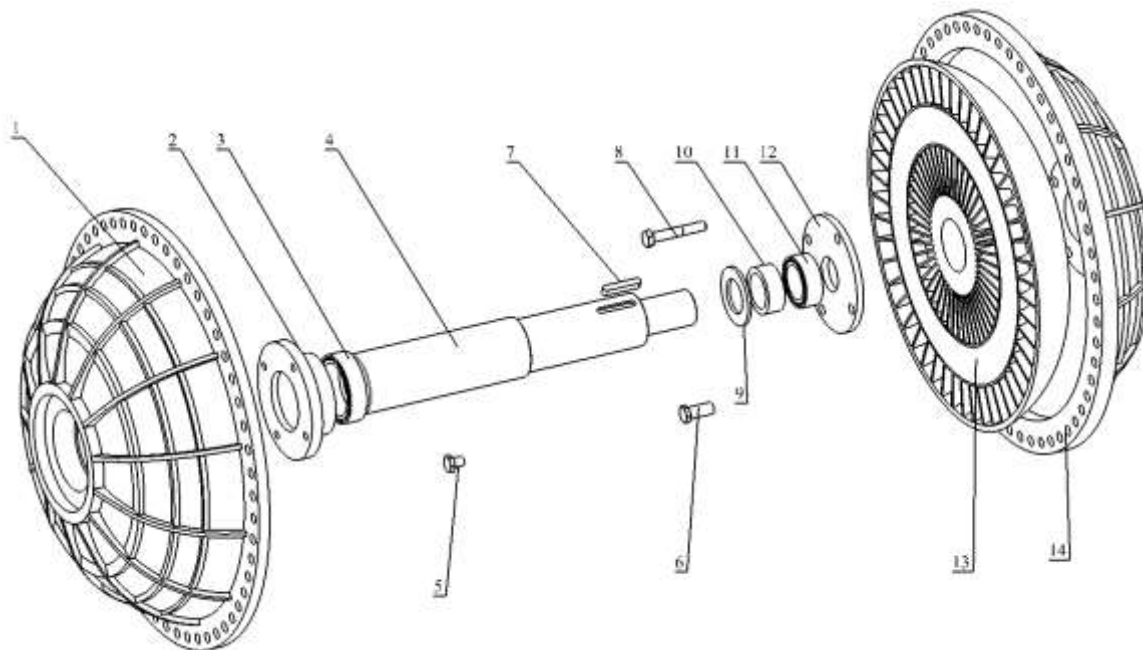
$$P_{\text{np}} = \frac{\rho \cdot Q_{\text{np}} \cdot Y_{\text{np}}}{\eta_{\text{np}}}$$

$$P_{\text{np}} = 72.358 \text{ W}$$

6. Конструктивни цртеж /3D модел хидродинамичке спојнице

На основу димензија које су добијени прорачуном уарђена је комплетна документација хидродинамичке спојнице у софтверском пакету CATIA.

Сви делови хидродинамичке спојнице су израђени у Part Design-у коришћењем одговарајућих команди и алата.



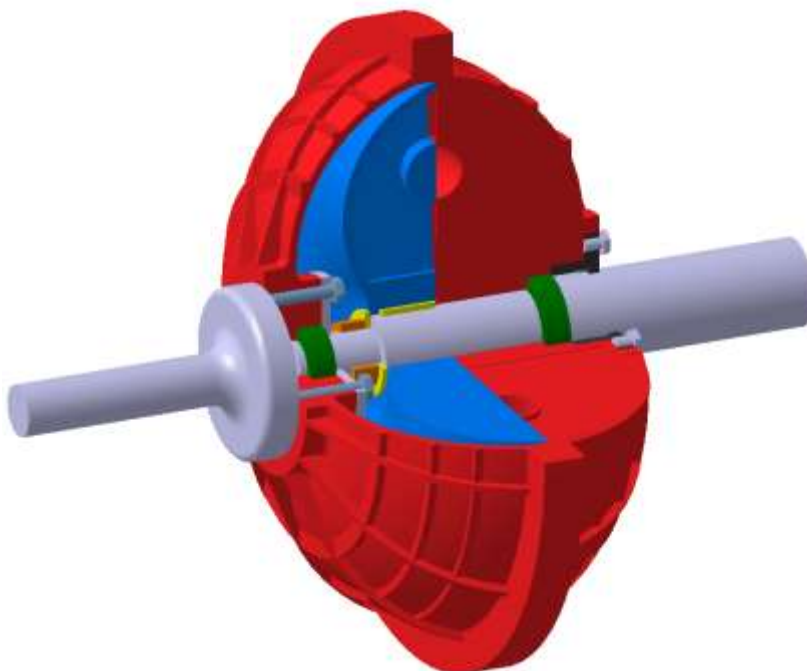
Сл.6.1 Приказ елемената склопа хидродинамичке спојнице

Табела 6.1 Приказ основних елемената хидродинамичке спојнице

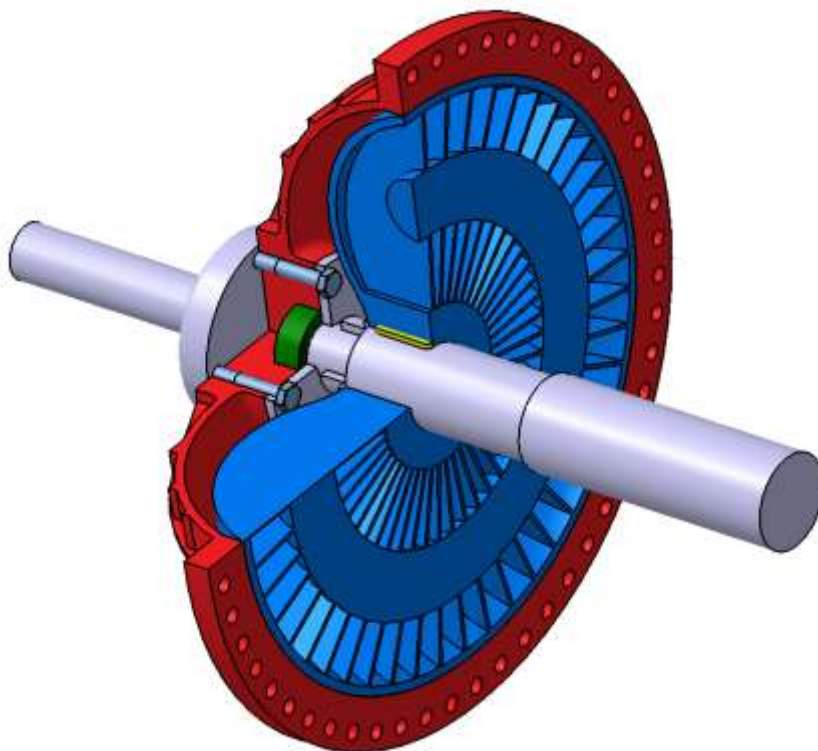
Број елемента	Назив елемента
01	Пумпно коло
02	Носач вратила пумпе
03	Куглични лежај на пумпном колу
04	Вратило
05	Завртањ
06	Клин
07	Завртањ за осигурање другог дела кућишта
08	Завртањ
09	Подлошка
10	Чаура
11	Куглични лежај на турбинском колу
12	Носач вратила турбине
13	Турбинско коло
14	Други део пумпног кола



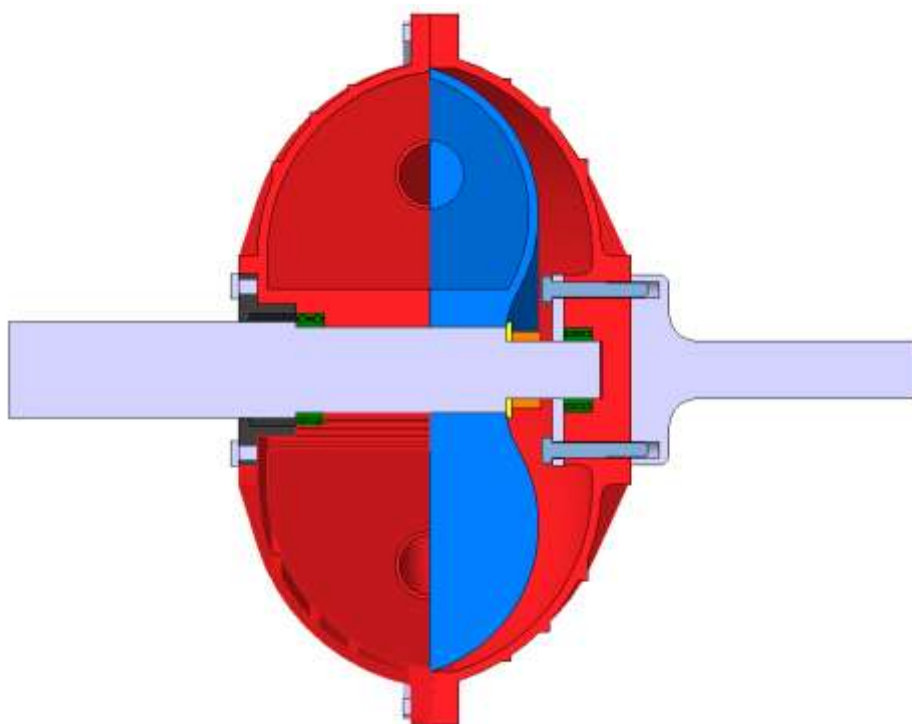
Сл. 6.2 *Склоп хидродинамичке спојнице*



Сл. 6.3 *Меридијански пресек хидродинамичке спојнице*



Сл. 6.4 *Изглед турбинског кола*



Сл. 6.5 *Изглед турбинског кола (меридијански пресек)*

7. Закључак

У хидрауличним системима пренос енергије врши течност под притиском. Притисак течности се правилно распростире на све стране у затвореном систему. Као течност по правилу се користи хидраулично уље. Основна функција хидрауличног уља је да делује као медијум за преношење силе из једне тачке у другу. Поред тога хидраулично уље мора да:

- обезбеди адекватно подмазивање,
- обезбеди одговарајуће заптивање,
- штити систем од рђања и корозије,
- поседује могућност брзог таложења и издвајања нерастворних честица које уђу у систем,
- добро одводи топлоту.

Избор хидрауличног уља врши се на основу препоруке произвођача хидрауличног система или на основу захтева као што су:

- Захтев у односу на температуру околине,
- Захтев пумпе у односу на вискозност уља,
- Радне температуре хидрауличних система,
- Захтев система у односу на филтрабилност уља,
- Захтев за биолошком разградњом хидрауличних уља због еколошких аспеката,
- Тешкозапаљиви хидраулични флуиди.

У оквиру овог завршног рада основни задатак је био да прикаже могућност примене воде као радног флуида у хидродинамичким спојницама, као и да се на основу задатих вредности изврши прорачун и да се покажу конструктивна решења код хидродинамичких спојница која користе воду као радни флуид.

Један од основних разлога примене хидродинамичких спојница које користе воду као радни флуид, јесте увођење све већих захтева у погледу очувања животне средине и смањење употребе фосилних горива, односно уља. Поред очувања животне средине, примена воде као радног флуида у системима за пренос снаге је и широка примена таквих спојница, јер им није ограничена употреба у срединама у којима постоји опасност од пожара.

8. Литература

- [1] Богдановић Б., Никодијевић Д., Вучић А., Хидраулички и хидродинамички преносници снаге, Машински факултет, Ниш 1998.
- [2] Гордић, Д., Пренос снаге флуидом-Хидраулика, Машински факултет, Крагујевац, 2007.
- [3] Мирковић, Р., Бродски хидраулички и пнеуматски системи - скрипта, Војна академија, Београд, 2003
- [4] Крсмановић, Љ., Гајић, А., Турбомашине - Хидродинамички преносници снаге, Машински факултет, Београд 2006.
- [5] Шуштершич В., Хидропреносници снаге - скрипта, Факултет инжењерских наука у Крагујевцу, 2015.
- [6] <https://pdfs.semanticscholar.org/71f0/52ac0bc6319349de142e92a50dd8b494ca52.pdf>, приступљено 16.07.2018.
- [7] <http://torrox.ca/pdfs/hydrodynamic-coupling.pdf>, приступљено 19.07.2018.
- [8] http://voith.com/corp-en/3626-011000_en_Rev.11.pdf, приступљено 16.07.2018.
- [9] <http://www.infomine.com/suppliers/PublicDoc/Voith/wateroperated.pdf>, приступљено 19.07.2018.
- [10] http://www.transfluid.eu/wp-content/uploads/2018/05/145_gb_1805_lq.pdf, приступљено 19.07.2018.
- [11] http://tepgroup.com/images/Adobe/PDF/Voith/Voith_coupling_eng.pdf, приступљено 16.07.2018.
- [12] https://voith.com/ita-it/374_e_cr128en_vtcr_screen.pdf, приступљено 16.07.2018.
- [13] <https://www.machinerylubrication.com/Read/332/water-glycol>, приступљено 5.08.2018.
- [14] <https://www.nisotec.eu/sr-lat/mazive-mast>, приступљено 5.08.2018.