

**POVEĆANJE ENERGETSKE EFIKASNOSTI  
POSTROJENJA ZA PREČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA  
UGRADNJOM HIDRODINAMIČKE SPOJNICE**

**INCREASING ENERGY EFFICIENCY OF WASTEWATER  
TREATMENT PLANT BY INSTALLING HYDRODYNAMIC  
COUPLING**

*Despotović M., Šušteršič V., Babić M., Jovičić N.<sup>1</sup>*

**REZIME**

*U postrojenjima za prečišćavanje otpadnih voda, kao rezultat anaerobne stabilizacije mulja, nastaje biogas, koji se najčešće koristi za proizvodnju električne energije. U tom procesu, veoma je važno sinhronizovati rad gasnog motora i generatora, jer u suprotnom nastaju prekidi u procesu proizvodnje električne energije, a moguće su i havarije gasnog motora. U ovom radu je razmatran način za povećanje energetske efikasnosti postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda, zamenom mehaničke spojnice između gasnog motora i generatora, hidrodinamičkom spojnicom.*

*Na osnovu radnih karakteristika spregnutog gasnog motora i generatora, izvršen je proračun hidrodinamičke spojnice, i urađen je njen 3-D model u softverskom paketu CATIA.*

**Ključne reči:** biogas, hidrodinamička spojnica, otpadne vode

**SUMMARY**

*Biogas that is generated as a result of anaerobic stabilization of sludge in the wastewater treatment plant, is commonly used to produce electricity. In this process, it is very important to synchronize the operation of the gas engine and generator, otherwise, the results are disruptions in the production of electricity, and possible damage of the gas engine. This paper discusses the ways to increase energy efficiency of wastewater treatment plant by replacing the mechanical coupling between the gas engines and generator, with hydrodynamic coupling.*

*Based on the performance of coupled gas engines and generator, the calculation of the hydrodynamic coupling is done, so as its 3-D model in the software package CATIA.*

---

*<sup>1</sup> Milan Despotović, vanredni profesor, Mašinski fakultet Kragujevac, Sestre Janjić 6, 34000 Kragujevac, mdespotovic@kg.ac.rs, Vanja Šušteršič, vanredni profesor, Mašinski fakultet Kragujevac, Sestre Janjić 6, 34000 Kragujevac, vanjas@kg.ac.rs, Milun Babić, redovni profesor, Mašinski fakultet Kragujevac, Sestre Janjić 6, 34000 Kragujevac, nastasija@kg.ac.rs, Nebojša Jovičić, vanredni profesor, Mašinski fakultet Kragujevac, Sestre Janjić 6, 34000 Kragujevac, njovicic@kg.ac.rs*

**Key words:** biogas, hydrodynamic coupling, waste water

## UVOD

Postrojenje za proizvodnju električne energije od biogasa koji se dobija preradom otpadnih voda predstavlja složeni tehnički sistem koji se sastoji od gasnog motora, spojnice i generatora. Otkazivanje bilo koje sastavne celine u tom sistemu dovodi do otkaza čitavog sistema. Takodje, u procesu proizvodnje električne energije veoma je važna sinhronizacija rada generatora i gasnog motora, čiji broj obrtaja može da varira u vremenu. Neusaglašenost broja obrtaja gasnog motora kao pogonske mašine i generatora kao pogonjene mašine, dovodi do čestih zastoja u eksploataciji, kao i do smanjenja njihovog veka trajanja.

U ovom radu je razmatran način za povećanje energetske efikasnosti postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda, kroz povećanje vremenskog stepena iskorišćenja i raspoloživosti sistema za proizvodnju električne energije. Ovo povećanje moguće je ostvariti zamenom postojeće mehaničke spojnice, hidrodinamičkom spojnicom, koja obezbeđuje bolju sinhronizaciju rada gasnog motora i generatora i na taj način smanjuje potencijalno vreme zastoja, i uklanja mogućnost havarije gasnog motora uzrokovane ručnom sinhronizacijom. Pri tome, radne karakteristike pogonskog gasnog motora i hidrodinamičke spojnice moraju biti saglasne u celom eksploatacionom području.

Za postojeći sistem za proizvodnju električne energije u postrojenju za prečišćavanje otpadnih voda izvršen je proračun hidrodinamičke spojnice i urađen njen 3-D model.

## OPIS POSTOJENJA

Centralno postrojenje za preradu otpadnih voda (CPPOV) za grad Kragujevac – Cvetojevac (slika 1), projektovano je za prečišćavanje mešanih komunalnih i predtretiranih industrijskih otpadnih voda. Ovo postrojenje locirano je desetak kilometara od grada Kragujevac, na levoj obali korita reke Lepenice. CPPOV Kragujevac je projektovano za 250 000 ES (ekvivalentnih



*Sl. 1. Postrojenje za prečišćavanje otpadnih voda*

*Fig. 1. Wastewater treatment plant*



*Sl. 2. Sprega gasnog motora i generatora*

*Fig. 2. Coupling of the gas engine and generator*

stanovnika), a instalirani kapacitet je 125 000 ES.

Procesi unutar CPPOV Kragujevac se mogu podeliti na preliminarne procese, primarni i sekundarni tretman kao i na niz procesa za kompletan tretman mulja. Tretman mulja obuhvata primarno ugušćivanje, anaerobnu digestiju, sekundarno ugušćivanje i obezvodnjavanje mulja na trakastim filter-presama.

Kao rezultat anaerobne digestije u ovom postrojenju nastaje biogas, koji predstavlja značajan izvor energije. Jedan deo proizvedenog biogasa koristi se za održavanje optimalne temperature mulja u digstorima, a ostatak se koristi za pogon gasnih motora u cilju proizvodnje električne energije. CPPOV Kragujevac opremljeno je sa dva identična gasna motora koji su spregnuti sa generatorima (slika 2).

Karakteristike instaliranih gasnih motora i generatora prikazane su u tabeli 1.

Kako je poznato, u pojedinim fazama tehnološkog rada postrojenja, veoma je teško održavati stabilne vrednosti režima rada izvršnih mašina. Zbog toga se u takvim postrojenjima ugrađuje hidrodinamička spojnica. Hidrodinamička spojnica je savremena hidrodinamička mašina koja eliminiše neminovnu neusklađenost tehnološkog procesa rada izvršnih mašina, i pretvara nerešiv problem u trivijalno regulisanje parametara kretanja pomoću taster prekidača ili u zahtevno automatsko podešavanje rada.

## ZAJEDNIČKI RAD GASNOG MOTORA I HIDRODINAMIČKE SPOJNICE

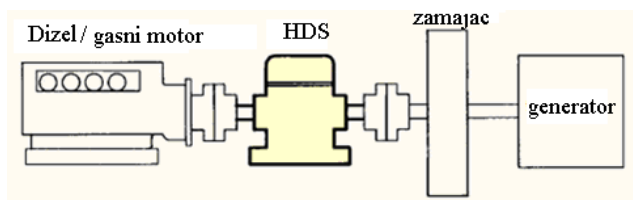
Hidrodinamičke spojnice su jednostavni uređaji. Sastoje se iz pumpnog i turbinskog kola u zajedničkom kućištu. Pumpno kolo pokreće motor, a turbinu radna tečnost koja cirkuliše u spojnici. Na slici 3 je šematski prikazana konstruktivna varijanta postavljanja spojnice u lancu dizel/gasni motor – generator.

Radni režimi hidrodinamičke spojnice, pogonskog gasnog motora i gonjenog uređaja su međuzavisni i uslovljeni mehaničkom ravnotežom dinamičkog lanca koji zajedno formiraju. Promena radnog režima

**Tab. 1. Karakteristike gasnog motora i generatora**

**Tab. 1. Characteristics of the gas engine and generator**

Podaci o motoru:	
Konstruktivne karakteristike	
Tip motora	JW 212 G
Vrsta rada	4-taktni SUS
Konfiguracija cilindara	V 70
Broj cilindara	12
Prečnik cilindara	135 mm
Hod klipa	145 mm
Zapremina	24,906 l
Radne karakteristike	
Nazivna brzina	1500 o/min
Izlazna snaga	220 kW
Podaci o generatoru:	
Proizvođač	Rade Končar
Snaga	250 kVA



*Sl. 3. Šema postavljanja hidrodinamičke spojnice u sprezi dizel/gasni motor – generator*

*Fig. 3. Schematic overview of the hydrodynamic coupling coupled with diesel/gas engine - generator*

bilo kojeg od ova tri elementa direktno izaziva i promene radnih režima ostala dva.

Zbog složenih međuzavisnosti radnih režima ovog dinamičkog lanca, radi pojednostavljenja analize pribegava se metodi dekompozicije. To u stvari znači da se prvo određuju karakteristike zajedničkog rada pogonskog motora i hidrodinamičke spojnice, zatim hidrodinamičke spojnice i gonjenog uređaja, da bi se superponiranjem ovih nalaza odredile karakteristike zajedničkog rada sva tri uređaja.

Prečnik hidrodinamičke spojnice koja radi u sprezi sa gasnim motorom bira se po uslovu da motor i hidrodinamička spojnica rade u režimu pune snage (na osnovu koga se i bira prečnik spjnice). Kako se u razmatranom primeru hidrodinamička spojnica direktno vezuje za motor, broj obrtaja motora jednak je broju obrtaja pumpnog kola, pa se momentne karakteristike motora i spojnice mogu prikazati u istom koordinatnom sistemu (slika 4).

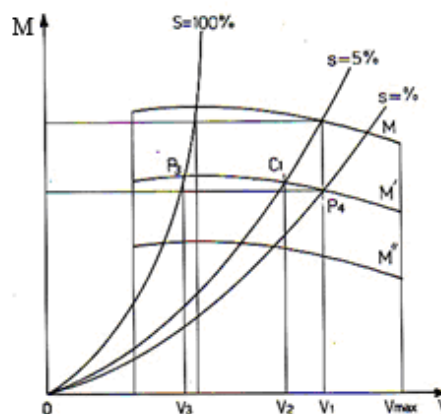
Prednost primene hidrodinamičke spojnice u sprezi sa gasnim motorom umesto mehaničke spojnice, ogleda se pre svega u tome što hidrodinamička spojnica prenosi obrtni moment i pri najmanjim brojevima obrtaja izlaznog vratila, a motor se ne gasi i pri zakočenom izlaznom vratilu. Na ovaj način ugradnjom hidrodinamičke spojnice postiže se olakšano startovanje i nije moguće preoptereti motor i prouzrokovati prestanak njegovog rada [1].

### MATEMATIČKI MODEL HIDRODINAMIČKE SPOJNICE

Proračun geometrijskih parametara hidrodinamičke spojnice (slika 5) je zasnovan na jednodimenzijском modelu strujanja radnog fluida, kao i na teoriji sličnosti. Osnovna uloga ovog proračuna je da se omogući projektovanje hidrodinamičke spojnice koja odgovara definisanim radnim karakteristikama.

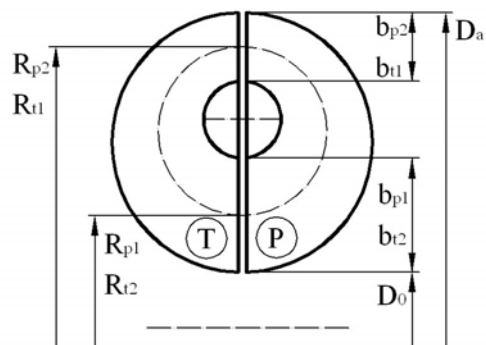
Ulazni podaci koji će se koristiti za određivanje geometrijskih parametara hidrodinamičke spojnice se definišu na osnovu projektnih zahteva. Proračun se može izvršiti u nekom od softverskih paketa kao što su Excel, MathCAD, itd.

Proračun geometrijskih parametara hidrodinamičke spojnice je sproveden po algoritmu prikazanom na slici 6[2].



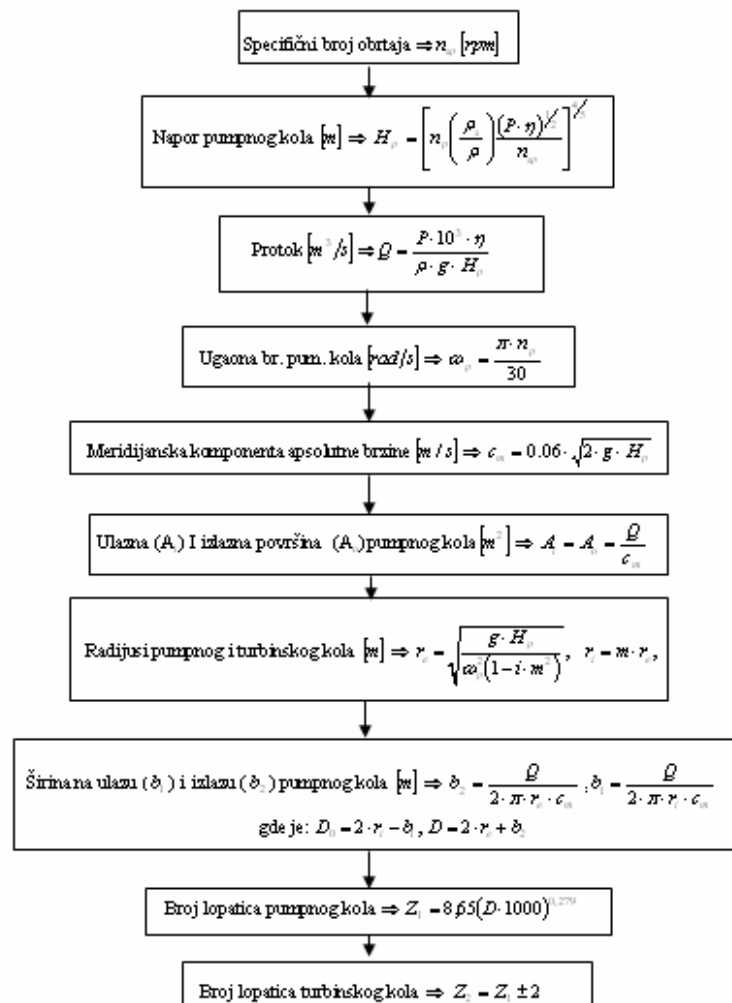
Sl. 4. Određivanje zajedničkog rada motora i hidrodinamičke spojnice

Fig. 4. Determination of the joint operation of the engine and hydrodynamic coupling



Sl. 5. Šema hidrodinamičke spojnice

Fig. 5. Hydrodynamic coupling scheme



Sl. 6. Aloritam proračuna hidrodinamičke spojnice

Fig. 6. Algorithm of calculation of the hydrodynamic coupling

Nakon sprovedenog proračuna dobijene su osnovne konstruktivne dimenzije hidrodinamičke spojnice koje su prikazane u tabeli 2.

### 3D MODEL HIDRODINAMIČKE SPOJNICE

Dobiti kvalitetnu hidrodinamičku spojnicu, znači optimizovati prvenstveno, njen radni prostor, što je osnovni uslov za pravilnu usaglašenost parametara kretanja radne tečnosti iz jednog lopatičnog kola u drugo. Ukoliko se to postigne, moguće je dobiti hidrodinamičku spojnicu sa visokim stepenom korisnog dejstva, u širokom dijapazonu prenosnih odnosa, što je, uz obezbeđenje odgovarajućih karakteristika, po pitanju stabilnosti rada sa odgovarajućim motorom, dinamičnosti i povoljnih karakteristika prigušenja udarnih opterećenja tokom

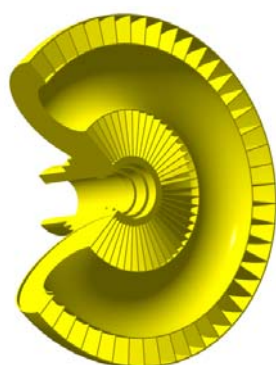
eksploatacije, ključni cilj svih istraživanja i rada u ovoj oblasti.

Nakon izvršenog proračuna pristupilo se crtanju 3D modela hidrodinamičke spojnice. Geometrijsko modeliranje prototipa hidrodinamičke spojnice je sprovedeno u programskom paketu CATIA V5R17 zbog mogućnosti parametarskog povezivanja sa proračunom.

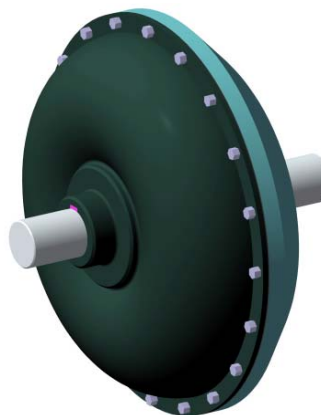
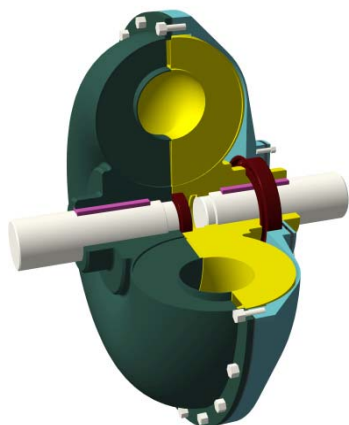
**Tab. 2. Konstruktivne karakteristike hidrodinamičke spojnice**

**Tab. 2. Constructive characteristic of the hydrodynamic coupling**

Konstruktivne karakteristike hidrodinamičke spojnice	
$D_a$	565 mm
$R_{p1}$	121 mm
$R_{p2}$	243 mm
$b_{p1}$	87 mm
$b_{p2}$	52 mm
$D_o$	120 mm
$Z_p$	51
$Z_t$	53



*Sl. 7. 3D model pumpnog i turbinskog dela hidrodinamičke spojnice*  
*Fig. 7. 3D model of the impeler and the turbine of the hydrodynamic coupling*



*Sl. 8. 3D model meridijanskog preseka hidrodinamičke spojnice*  
*Fig. 8. 3D model of the meridian section of the hydrodynamic coupling*

## ZAKLJUČAK

Zahvaljujući prenosu snage posredstvom radne tečnosti bez dodira pogonskog i gonjenog dela hidrodinamičke spojnice se automatski prilagođavaju režimima rada postrojenja, isključena je mogućnost preopterećenja motora i radne mašine, a samim tim i havarije.

Primenom hidrodinamičke spojnice obezbeđeno je startovanje motora bez opterećenja i kontinualno ubrzavanje radne mašine prema potrebi, bez obzira kakva su opterećenja gonjene mašine i kolika je inercija njenih pokretnih delova.

Radni vek hidrodinamičke spojnice je vrlo dug pošto nema habanja radnih kola i drugih pokretnih delova. Mogućnost pojave kavitacije je isključena obezbeđenjem potrebnih vrednosti pritiska radnog fluida u sistemu. Sem toga, hidrodinamička turbospojnica uvek radi u optimalnom režimu što se povoljno odražava na radni vek celog postrojenja.

Zbog odsustva krute mehaničke veze između pogonskog motora i generatora, oscilacije i udari praktično se ne prenose na pogonski motor i druge delove, što obezbeđuje prigušivanje vibracija uz vrlo malu bučnost u odnosu na druge prenosnike.

## ZAHVALNICA

Ovaj rad je nastao kao rezultat istraživanja na projektu „Unapredjenje energetske i ekološke efikasnosti centralnog postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda za grad Kragujevac – Cvetojevac“ (TR18027), koji je finansirao Ministarstvo za nauku i tehnološki razvoj.

## LITERATURA

- [1.] B.Bogdanović, D.Nikodijević, A.Vulić: "Hidraulički ihidromehanički prenosnici snage", Mašinski fakultet Niš, 1998.
- [2.] Šušteršič, V., Jovanović, N., Babić, M., Gordić, D.& Jovičić, N. 2008, "Calculation and 3D model of hydrodynamic coupling for band conveyor drive", Facta universitatis - series: Mechanical Engineering, vol. 6, no. 1, (2008), pp. 67-74.
- [3.] Šostakov, R., Uzelac, D.& Brkljač, N. 2005, "Methodology of surveying a driving mechanism operation with hydrodynamic coupling and calculation of speed-up duration", Tehnika - Mašinstvo, vol. 54, no. 3, (2005), pp. 17-24.
- [4.] Bogdanović, B., Spasić, Ž.& Bogdanović-Jovanović, J. 2005, "Calculation of the starting regime of the power transmission system with a hydrodynamic coupling and a driving motor", Facta universitatis - series: Mechanical Engineering, vol. 3, no. 1, (2005), pp. 59-68.
- [5.] Krstić B., Krstić V., Krstić I. "Dynamic of motor vehicles with built in hydrodynamic gearing", Traktori i pogonske mašine, Vol. 13, Iss. 4, pp. 49-56, 2008.

Rad primljen: 22.10.2011.

Rad prihvaćen: 06.11.2011.