

PRIKAZ NOVE METODE ZA PRORAČUN I PROJEKTOVANJE MALIH VISOKOUČINSKIH HIDROELEKTRANA

M. Babić¹, K. Darijević, D. Končalović, D. Jelić, D. Milovanović, D. Gordić, N. Jovičić, M. Despotović, V. Šušteršić

Rezime

U okviru Katedre za energetiku i procesnu tehniku i Regionalnog evro centra za energetska efikasnost Mašinskog fakulteta u Kragujevcu od početka osamdesetih godina prošlog veka realizuju se istraživanja vezana za korišćenje obnovljivih izvora energije, sa posebnim naglaskom na male hidroelektrane (MHE). Rezultati su brojni, a o uspešnosti istraživanja govore brojna domaća i međunarodna priznanja i tehničke izvedbe. Istraživanja su sledila tehničko-tehnološke mogućnosti istraživačke opreme, privrede i korisnika, i dovela su do toga da su do danas razvijeni softveri za direktni i inverzni proračun turbinskih delova MHE i izradu konstrukcijske dokumentacije.

U želji da se javnosti saopšte mogućnosti nekih naših softvera, u ovom radu je ukratko opisan matematički model i procedura proračuna i projektovanja turbinskih delova MHE za unapred precizirane energetske mogućnosti konkretnе lokacije na kojoj je planirana gradnja MHE. Kao argument za ocenu validnosti i potencijala naših istraživačkih rezultata izlaganja u radu je prikazana izgrađena MHE „Bosna 1“, snage 2x100 kW.

1. Uvod

Više godina, sa manje ili više uspeha, na domaćoj sceni pokušava se da se problematika masovnog korišćenja energije svih istraženih i neistraženih hidropotencijala stavi u prvi plan, da dobije status razvojnog prioriteta i, s pravom, insistira da na tzv. male vodotokove treba obratiti posebnu pažnju, jer energija koja, uz pomoć MHE, može da se dobije iz njih nije zanemarljiva.

Mnoge strane i domaće firme i preduzetnici u toku dužeg perioda, bez medijske pompe, gotovo kradimice, stopu po stopu, istražuju najisplativije lokacije za gradnju MHE, kupuju zemljište, pripremaju terene i grade. Od 2002. godine do danas izgrađeno je oko dvadesetak MHE nepoznate ukupne snage i ostalih radnih karakteristika. Najčešće se radi o MHE nastalim u procesu samogradnje ili nabavljenim u inostranstvu, pri čemu, uglavnom, nisu projektovane i izvedene tako da na energetski optimalan način iskoriste svu raspoloživu hidroenergiju. Razlog za takvu situaciju je nedovoljno prisustvo inspekcijskih organa na terenu, nedovoljna stručnost projektanata i primitivne tehnologije gradnje MHE, ili logika – u pitanju su male snage, pa zašto insistirati na visokim stepenima korisnosti i poskupljavanju investicije. I sve bi to bilo podnošljivo kada bi u pitanju bio mali broj MHE. Ali u uslovima masovnog korišćenja svih raspoloživih hidroenergetskih potencijala malih vodotokova, neinsistiranje na visokim performansama novoizgrađenih MHE, znači, dugoročno gledano, velike gubitke dragocene energije. Zato i insistiramo na uvođenju posebnih propisa kojima bi investitori u gradnju MHE bili prinuđeni da, pred do sada propisanih uslova, grade MHE tako da one ostvaruju optimalni stepen iskorišćenja raspoloživog hidropotencijala na svakoj konkretnoj lokaciji, kao i minimalni dopušteni stepen korisnosti MHE.

Da bi pomogli uvođenje reda u gradnju MHE, podizanju njihovog energetskog učinka i uticali na smanjivanje ukupnih investicionih troškova vezanih za projektovanje MHE, autori ovog rada su razvili veoma sofisticiran i relativno jeftin postupak projektovanja MHE za svaku konkretnu lokaciju,

¹ Prof. dr Milun J. Babić, šef katedre za energetiku i procesnu tehniku i direktor Regionalnog evro centra za energetska efikasnost Mašinskog fakulteta u Kragujevcu, E - mail: nastasija@nadlanu.com

koji garantuje visoke energetske i ostale tehničko-tehnološke kvalitete MHE, i o njemu će u narednom tekstu biti reči.

2. Kratak osvrt na metodologiju proračuna turbinskog dela MHE

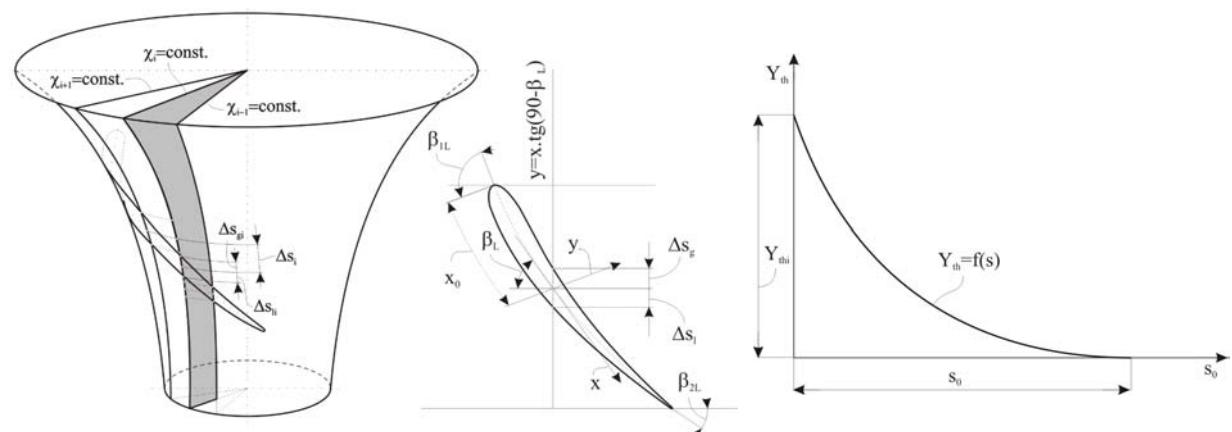
Na duži rok nije energetski, a ni ekonomski, celishodno lokaciju za gradnju MHE prilagođavati nekoj, u datom trenutku ekonomski najjeftinijoj, ili najlakše dostupnoj, konstrukcijskoj izvedbi MHE. Svakom lokalitetu za gradnju MHE, ako se želi da se na njemu proizvede optimalna količina energije i da se na taj način zaštiti državni interes, odgovara jedna nominalna snaga, jedan i samo jedan tip turbine, generatora, prateće opreme i ostalih infrastrukturnih podsistema MHE.

Zbog ograničenog prostora, ovde će biti reči samo o postupku projektovanja turbinskog dela MHE koji najviše odgovara konkretnoj lokaciji i, opet, iz istih razloga - za samo jedan tip turbine. Biće reči o projektovanju turbinu Francisovog tipa za MHE, jer je metodologija njihovog proračuna i projektovanja najkompleksnija, ali i za sve ostale tipove postoje razvijena i više puta proverena metodologija.

2.1 Metodologija proračuna i određivanja optimalnog oblika modelskih preseka lopatica radnog kola i spiralnog kućišta turbinskog dela MHE

Ne potcenjujući ni jedan korak u projektovanju turbinskog dela MHE, jer na osnovu višegodišnjeg iskustva znamo da su svaki detalj i podstruktura turbine bitni za konačan kvalitet proizvoda, ipak mislimo da su za kvalitet energetskih performansi turbine najodgovornija dva podsklopa: radno kolo - kao „korisnik“ raspoložive hidroenergije, i spiralno kućište turbine – kao „distributer“ i usmerivač te energije prema obimu i ulazu radnog kola. Dobro je poznato da i najbolje projektovano radno kolo neće funkcionisati na optimalan način ako hidroenergetski i konstrukcijski nije usaglašeno sa spiralnim kućištem, i obrnuto.

U nastavku su izložene osnove originalne kompjuterske metode koja omogućava proračun i 3D projektovanje radnih kola i spiralnih Francisovih turbin za MHE, čiji smo kvalitet u praksi do danas više puta proverili.



Sl. 1. Proizvoljna osnosimetrična strujna površ unutar radnog kola Francisove turbine i prodor jedne njegove lopatice kroz tu zamišljenu površ

Sl. 2. Najpovoljniji oblik krive koji definiše kako tzv. parcijalna radna kola „konzumiraju“ raspoloživu hidroeneriju prilikom proticanja vode kroz njihove međulopatične prostore

Nakon što se na „malom“ vodotoku, utvrdi optimalna lokaciju za gradnju, a zatim definiše broj MHE i tip njihovih turbinskih delova, pristupa se, ukoliko se želi da se sva raspoloživa hidroenergija u najvećem mogućem procentu iskoristi, proračunu, a zatim i projektovanju njihovih radnih kola i spiralnih kućišta. Proračun je zasnovan na tzv. kvazitrodimenzijskom pristupu i podeljen je u četiri simultano spregnute faze.

Prva faza podrazumeva pripremu i definisanje optimalnog oblika meridijanskog preseka radnog kola i proračun meridijanske strujne slike u radnom kolu metodom konačnih elemenata uz pomoć potprograma koji definiše raspodelu meridijanskih brzina i proizvoljan broj tzv. parcijalnih radnih kola turbine (sl. 4.), čije se granice, gledano u meridijanskoj ravni, poklapaju sa presecima odgovarajućih osnosimetričnih strujnih površi (sl. 1.) sa meridijanskom ravninom.

Druga faza obuhvata proračun energetski optimalnih oblika profilnih rešetki u „parcijalnim“ radnim kolima definisanim u okviru prve faze. Da bi radno kolo imalo najbolje energetske i kavitacijske karakteristike, kriva po kojoj će njemu pripadajuća „parcijalna“ radna kola „konzumirati“ raspoloživu hidroenergiju prilikom proticanja vode kroz njihove međulopatične prostore treba da ima oblik prikazan na sl. 2., pri čemu njena matematička interpretacija treba da glasi:

$$Y_{th} = Y_{th0} \cdot \left(1 - \frac{s}{s_0}\right)^{\left(\frac{s}{s_0}\right)^k \cdot x}. \quad (1)$$

a ε i $c_{u\infty}$ od izlaza do ulaza iz svakog „parcijalnog“ radnog kola, da se računaju iz izraza:

$$c_{u\infty} = \frac{1}{r \cdot \omega} \left(Y_{th0} - \frac{\Delta Y_{th}}{\varepsilon} \right), \quad (2)$$

$$\varepsilon = \frac{1}{1 + 0,8 \cdot (1 + \cos \beta_L) \cdot \left(1 - \frac{60}{n_{sp} + 30}\right) \cdot \frac{r^2}{z \cdot S}}. \quad (3)$$

Veličine koje figurišu u izrazima (1), (2) i (3), i ostale relevantne veličine, određene su sledećim relacijama:

$$S = \int_{\eta}^{r_2} r \cdot dS, \quad (3)$$

$$\beta_L = \arctan \frac{c_m}{u - c_{u\infty}}, \quad (4)$$

$$c_m^\infty = \frac{\dot{\Delta V}_k}{2 \cdot \pi \cdot r \cdot b}, \quad (5)$$

$$c_m = \frac{c_m^\infty}{1 - \frac{z \cdot \delta}{2 \cdot \pi \cdot r \cdot \sin \beta_L}}, \quad (6)$$

$$\delta = \delta_{\max} \cdot \left[A \cdot \left(\frac{l}{l_{\max}} \right)^3 + B \cdot \left(\frac{l}{l_{\max}} \right)^2 + C \cdot \left(\frac{l}{l_{\max}} \right) + D \right], \quad (7)$$

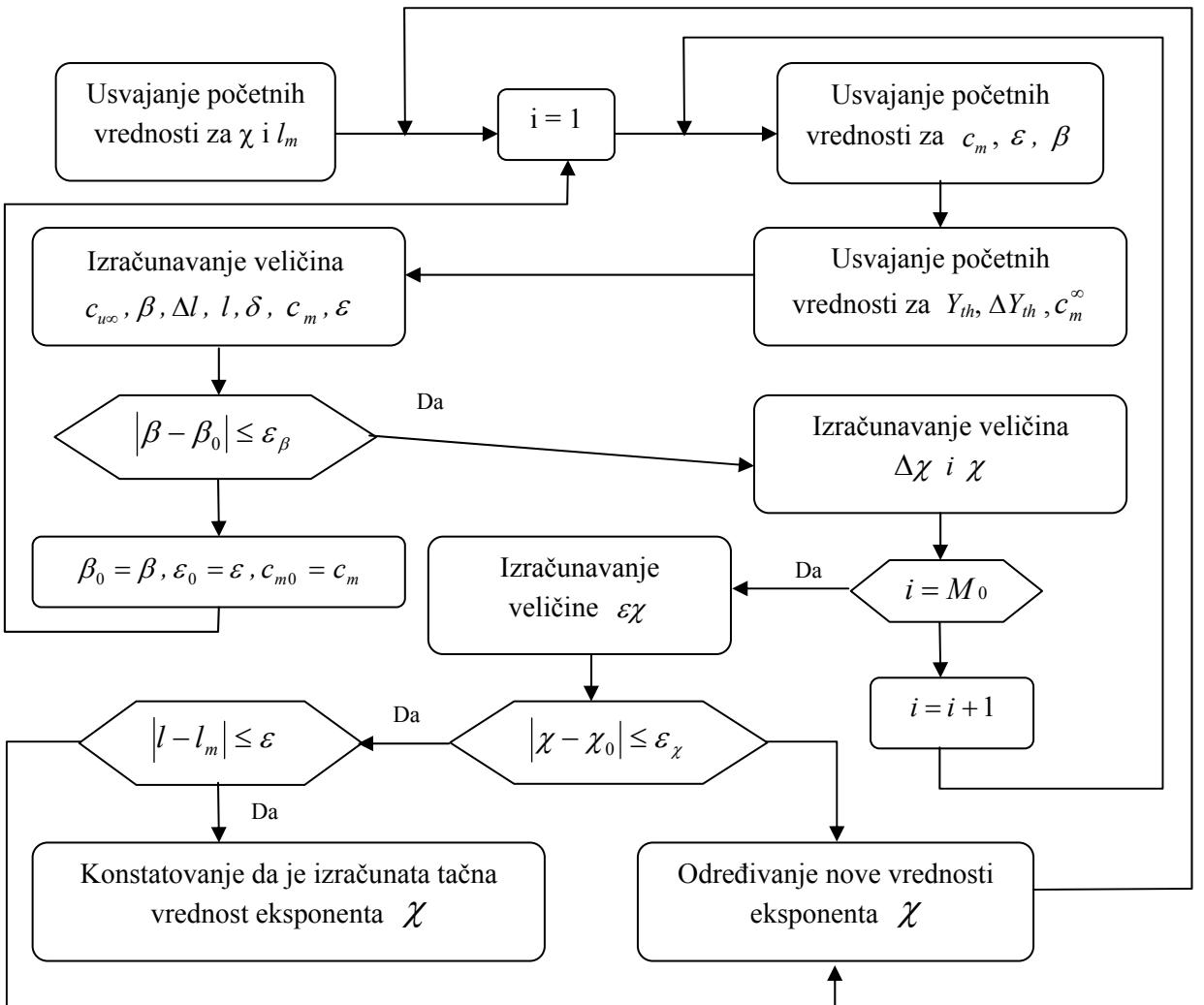
$$l = \sum_{k=1}^i \frac{\Delta s}{\sin \beta_L}. \quad (8)$$

Zbog međusobne uzajamne zavisnosti veličina u izrazima (1) – (8), njihovo izračunavanje se vrši iterativno saglasno algoritmu prikazanom na sl. 3.

U okviru iterativnog postupka prikazanog na sl. 3. određuje se i ugao lopatice u cirkularnoj ravnini radnog kola (sl. 4. i sl. 5) korišćenjem relacija (9) i (10):

$$\Delta \chi = \frac{r \cdot \omega - c_u}{r \cdot c_m} \cdot \Delta s, \quad (9)$$

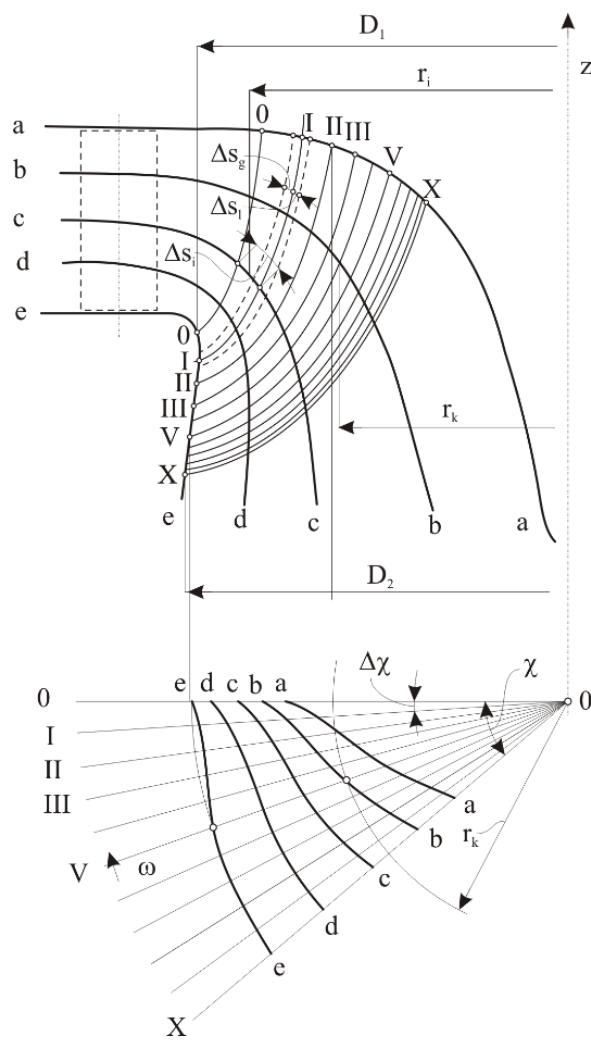
$$\Delta \chi = \sum_{k=1}^n \Delta \chi. \quad (8)$$



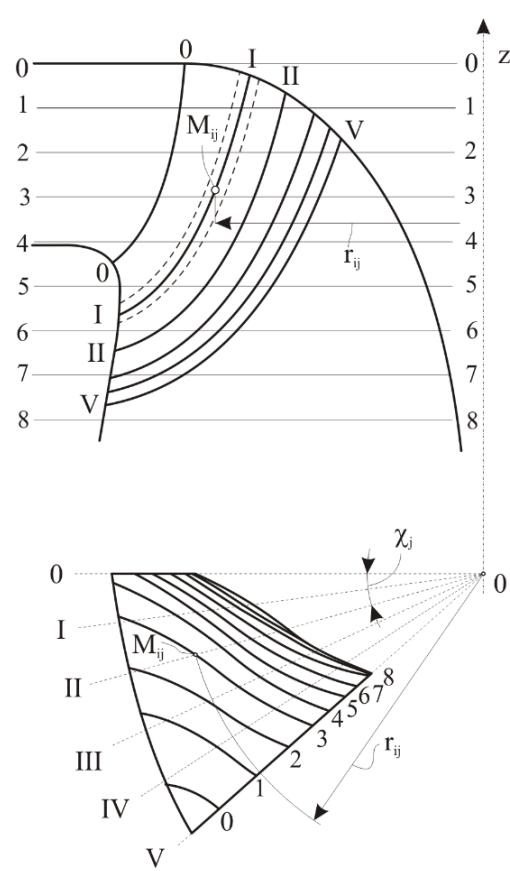
Sl. 3. Algoritam za izračunavanje ugla lopatice u cirkularnoj ravnini radnog kola

Treća faza obuhvata proračun i dobijanje koordinata radikalnih preseka radnog kola turbinskog dela MHE (sl. 4. i sl. 5.), koje služe kao osnova na osnovu kojih se mogu na CNC mašinama, ili izradom livačkih kalupa, ili alata za presovanje, izraditi lopatice radnog kola, ili radno kolo u celosti. Sam postupak dobijanja koordinata r i z modelskih preseka prikazanih na sl. 4. i sl. 5., zasnovan je na postulatima nacrte geometrije i predstavlja sastavni deo programskog modula za proračun i projektovanje radnog kola.

Cetvrta faza obuhvata proračun i dobijanje koordinata modelskih preseka protočnog prostora spiralnog kućišta turbinskog dela MHE. Postupak je, takođe, algoritmizovan, a zasnovan je na teorijskim i eksperimentalnim rezultatima čija je primena u praksi davana najkvalitetnija spiralna kućišta hidrauličnih turbina. Programski modul, sačinjen na osnovu ovog algoritma, omoguće dobijanje koordinata protočnog trakta spiralnog kućišta, čime je stvorena šansa da se uz pomoć CNC mašina, ili precizno izrađenih livačkih kalupa, ili pripreme odgovarajućih podstruktura za zavarivanje, ostvari njegovo verno „preslikavanje“ sa proračunskog u stvarni oblik.



Sl. 4. Prikaz parcijalnih radnih kola male turbine i radikalnih preseka njegovih lopatica u meridijanskoj i cirkularnoj ravni



Sl. 5. Prikaz modelskih preseka lopatice male turbine u meridijanskoj i cirkularnoj ravni

Za proračun optimalnih radnih kola i protočnog prostora usmernih i sprovodnih organa turbinskog dela MHE, u skladu sa prethodno iznetom procedurom, razvili smo originalne module u

FORTRAN programskom okruženju, a za formiranje njihovih CAD modela koristimo CATIA programsko okruženje.

3. Formiranje CAD modela spirale i radnog kola u CATIA programskom okruženju i koristi koje se ostvaruju takvim pristupom

U nastavku će, u nekoliko koraka, biti prikazan pristup koji se koristi prilikom formiranja CAD modela spirale i radnog kola MHE u CATIA programskom okruženju i o koristima koje se ostvaruju takvim pristupom. I za formiranje CAD modela ostalih podsklopova MHE koristi se slična procedura.

Radno kolo i spirano kućište turbinskog dela MHE karakteriše vrlo složena geometrija, pa je njihovo 3D modeliranje preduslov za uspešno i brzo projektovanje i proizvodnju visokoučinskih MHE. Napominjemo da je ovakav pristup, zbog relativno visokih troškova izrade ovih podsklopova, isplativ i slučaju pojedinačne proizvodnje MHE, a pri tom pruža i sledeće pogodnosti:

- kvalitetno sagledavanje radnog kola u fazi projektovanja (mogućnost „merenja“ pojedinih rastojanja, protočnih površina i sl., što je veoma teško sagledati na osnovu 2D modela);
- kvalitetno sagledavanje sklopa MHE, a posebno odnosa između radnog kola, spiralnog kućišta i ostalih podstruktura MHE, i, posebno
- mogućnost da se metodama teorije sličnosti, i jednostavnom promenom ključnih konstruktivnih parametara ostvari veoma brzo projektovanje novih MHE.

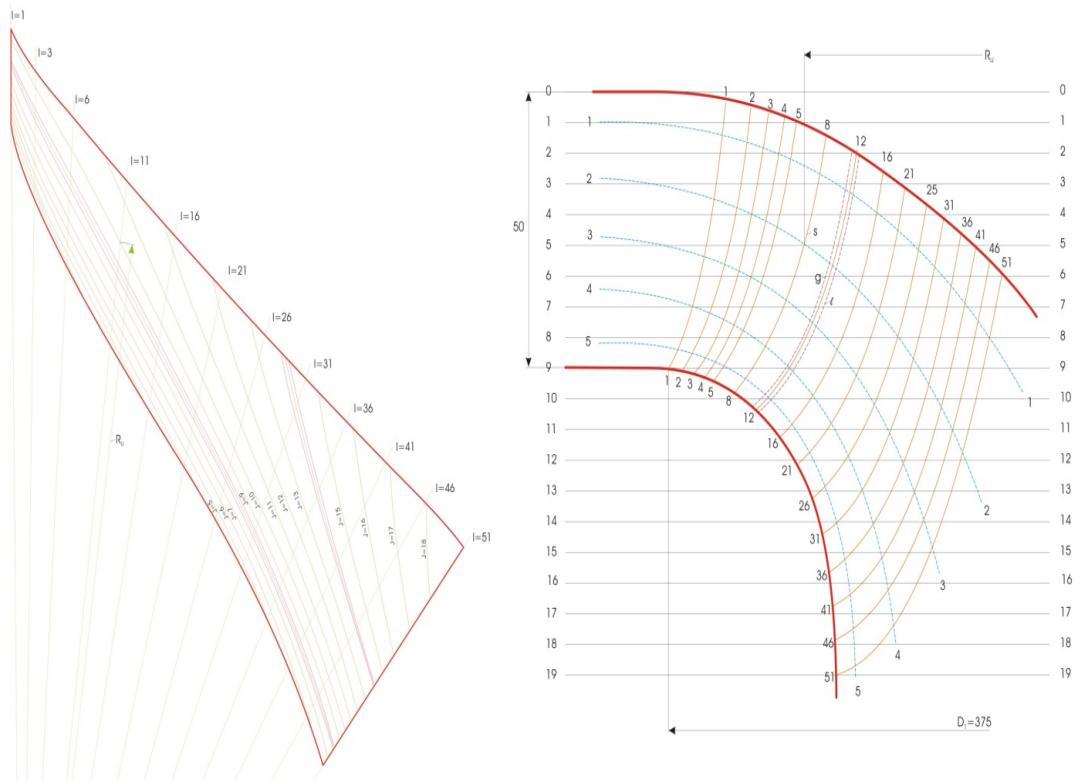
U nastavku je prikazan pristup koji je korišćen, a koji je interesantan zbog racionalnog angažovanja 3D projektovanja u pojedinačnoj ili maloserijskoj proizvodnji.

3.1 Razvoj CAD modela radnog kola

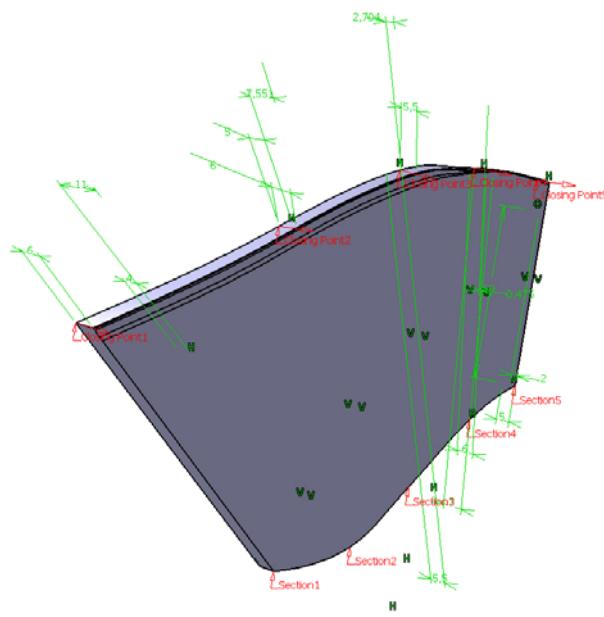
Pošto je u dogovoru sa proizvodačem odlučeno da se konkretno radno kolo MHE, koje će poslužiti za ilustraciju mogućnosti predloženog postupka proračuna i 3D modeliranja, proizvede livenjem, proračunate dimenzije modela automatski su povećane za tzv. dodatke za naknadnu mašinsku obradu. Pri tome su dodaci za naknadnu mašinsku obradu lopatica radnog kola minimalni, gotovo zanemarljivi.

Ocenili smo da bi bilo nesvrshodno da detaljno prikazujemo kompletну proceduru projektovanja u CATIA okruženju. Zbog toga smo, radi ilustracije mogućnosti i kvaliteta opisanog postupka proračuna i projektovanja turbinskih delova MHE, odabrali smo samo one korake koji su, po našem mišljenju, najsvrshodniji za ciljeve ovoga rada i prikazali ih na sl. 6. – sl. 14. Te slike predstavljaju segmente projektne dokumentacije izrađene u okviru posla koji je bio vezan za gradnju, danas već izvedene, MHE „Bosna 1“ koja ima nominalnu snagu 2 x 100 kW.

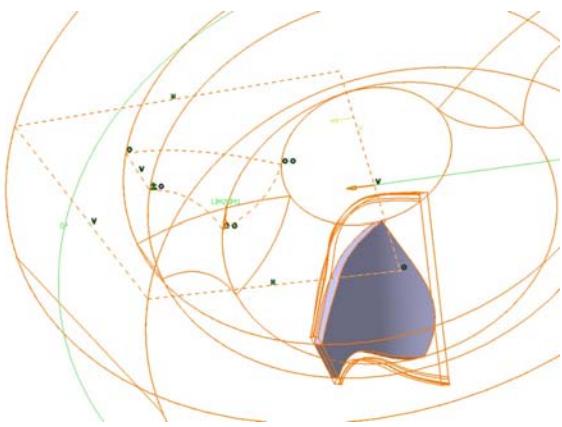
Puno korišćenje potencijala CAD projektovanja bi, tek, došlo do izražaja ako bi CAD model radnog kola bio „odštampan“ na 3D „štampaču“ i rezultat „štampanja“ bio upotrebljen kao jezgro za dobijanje kalupa. Prilikom projektovanja radnih kola za MHE „Bosna 1“ nije korišćen 3D „štampač“ zbog visoke cene takvog „štampanja“.



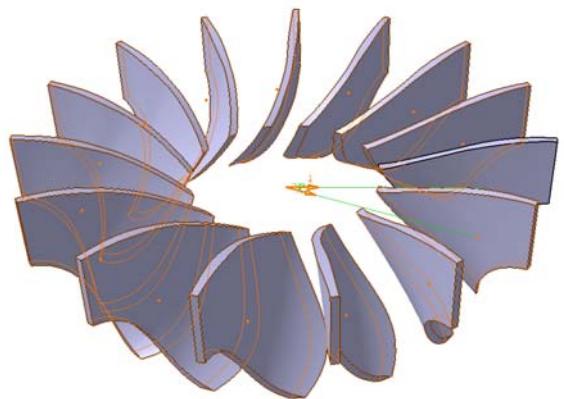
Sl. 6. Modelske presece lopatica radnih kola turbinskih delova MHE „Bosna 1“ dobijeni korišćenjem naših originalnih programskih modula koji, zajedno sa pratećim koordinatama, predstavljaju polaznu tačku pri projektovanju 3D modela radnog kola (cirkularna projekcija – levo, meridijanski presek –desno)



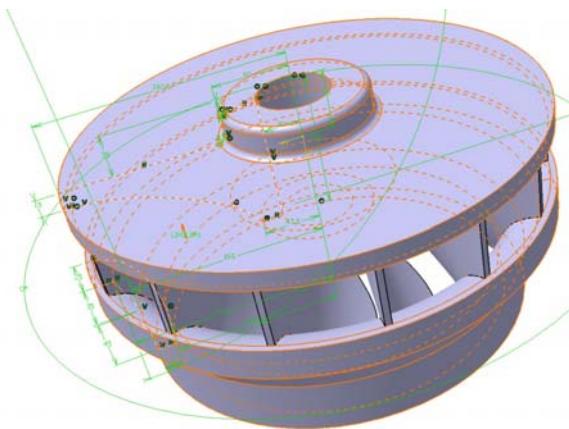
Sl. 7. Lopatica radnih kola turbinskih delova MHE „Bosna 1“ definisana prema proračunskim vrednostima



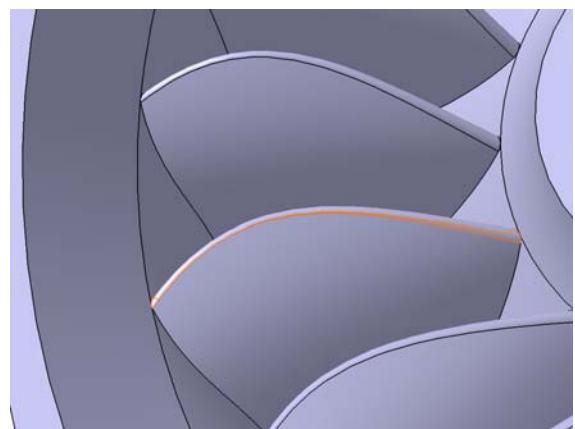
Sl. 8. Definisanje profila za „odsecanje“ (isprekidana linija) i oblikovanje ulazne i izlazne ivice lopatice



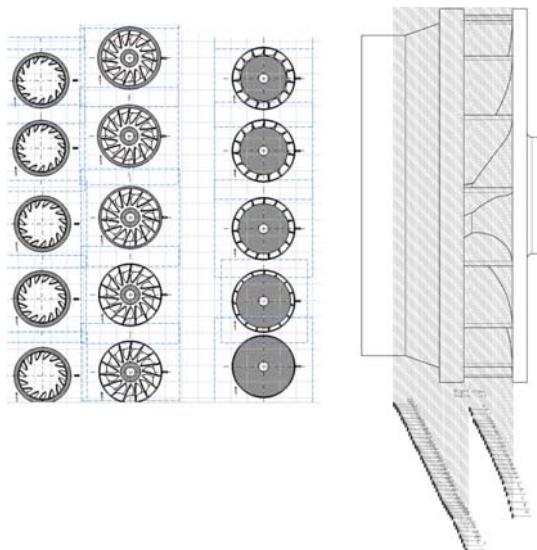
Sl. 9. Radno kolo sa 15 lopatica dobijenih upotrebom komande „Circular pattern“



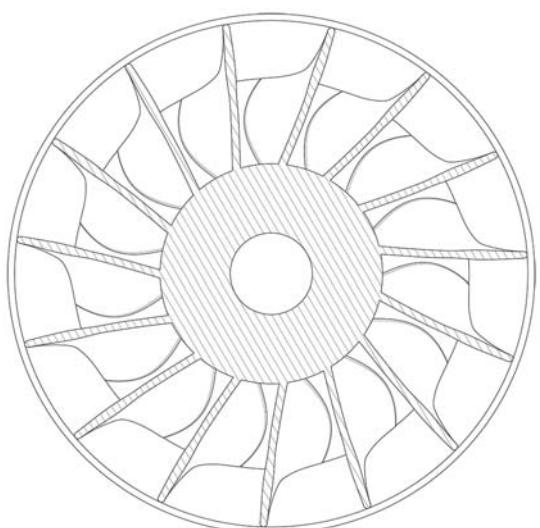
Sl. 10. Dodavanje „tela“ radnom kolu



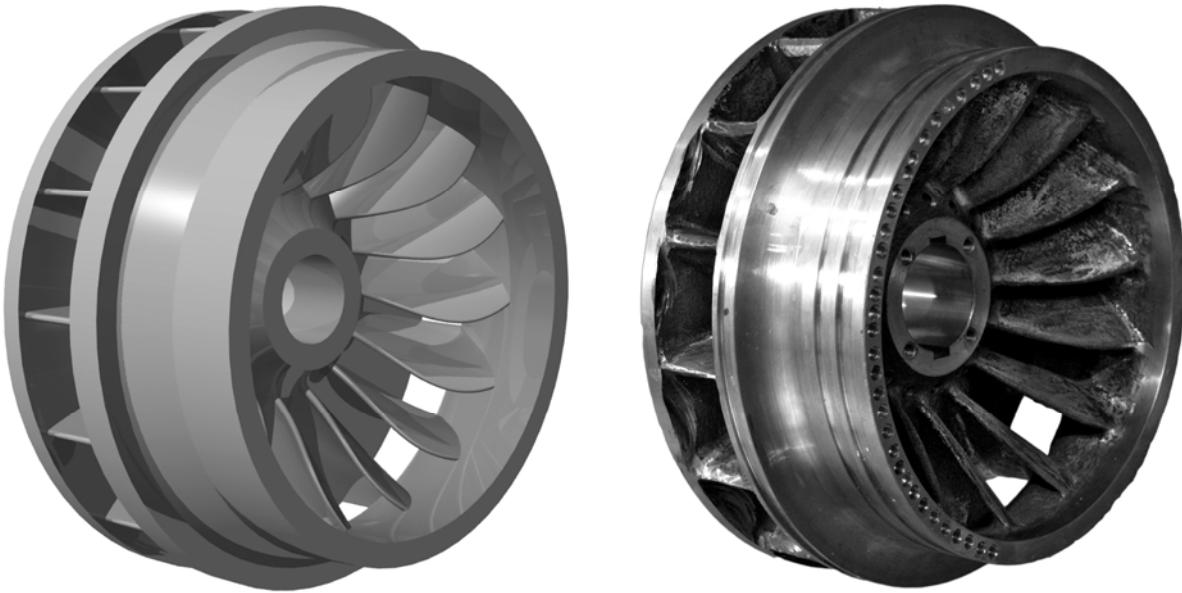
Sl. 11. Upotreba komande „Tritangent fillet“ (označena površina) za konačno oblikovanje ulaza u radno kolo i izlaza iz međulopatičnog prostora



Sl. 12. Postavljanje presečnih ravnih na rastojanju od 2mm i generisanje preseka (sa leve strane je dato nekoliko umanjenih preseka radi ilustracije)



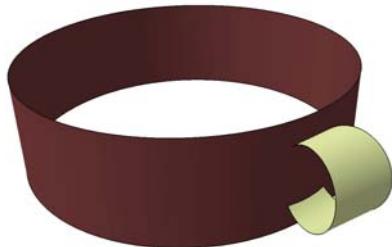
Sl. 13. Modelske presek na primeru preseka S - S



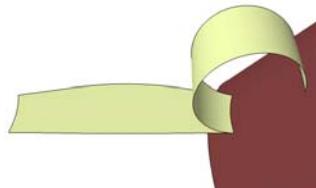
Sl. 14. Prikaz CAD modela (levo) i fotografija izlivenog radnog kola (desno) MHE „Bosna 1“

3.1.2 Razvoj CAD modela spiralnog kućišta

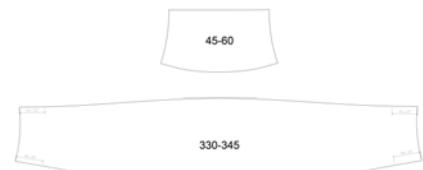
U dogovoru sa proizvođačem MHE „Bosna 1“, odlučeno je da se njeno kućište izrađuje korišćenjem livačkih i zavarivačkih tehnologija. Livenjem su dobijane podstrukture kućišta koje su zbog svoje namene morale imati veću masu, a savijanjem i zavarivanjem limova - sama spirala spiralnog kućišta.



Sl. 15. Primer segmenta spirale u nerazvijenom stanju ($120^{\circ} – 135^{\circ}$)



Sl. 16. Segment $120^{\circ} – 135^{\circ}$ u razvijenom stanju



Sl. 17. Razvijeno stanje na primeru dva segmenta (gore – $45^{\circ} – 60^{\circ}$ - eliptična protočna površina, dole – $330^{\circ} – 345^{\circ}$ - kružna protočna površina)

„Krojenje“ komada lima za izradu spirale i dobijanje njihovih razvijenih stanja vršeno je u CATIA okruženju (sl. 15 i sl. 16.). Zbog toga je spirala izdeljena na 24 segmenta sa obimskim korakom od po 15° .

Razvijena stanja su odštampana (Sl. 17.) i prema njima su iskrojeni segmenti od lima. Prvih 13 segmenata imaju kružne poprečne protočne preseka, a ostalih 9 - eliptične. Eliptični su definisani poluosama elipse i rastojanjem centra elipse od ose radnog kola, a segmenti koji čine kružnu protočnu površinu se definišu radijusom i rastojanjem centra kružnice od ose radnog kola.

Treba pomenuti da je ceo proces urađen za „srednju“ površinu (na proračunske dimenzije treba dodati pola od debljine lima) da bi se, nakon savijanja, spirala pravilno uklopila.

Na sl. 18., prikazana je fotografija spiralnog kućišta turbinskog dela MHE „Bosna 1“, koja je proizvedena po napred opisanoj tehnologiji projektovanja.



Sl. 18. Fotografija završenog spiralnog kućišta MHE „Bosna 1“

4. Kratak opis MHE „Bosna 1“

MHE „Bosna 1“ se sastoји од dva agregata i prikazana na sl. 19. Locirana je u gradevinskom objektu koji je specijalno za tu redizajniran. Oba agregata su opremljena svojom lokalnom automatikom za regulaciju osnovnih hidroenergetskih parametara uz pomoć lopatičnog pretkola. Primjenjeni izvršni aktuatori su električno-mehaničkog tipa, sa procesorima za vođenje kompletног procesa i upravljanje radom automatskih podstruktura koje obezbeđuju: stabilnost rada, frekvenciju i napon proizvedene električne struje, priključenje na elektroenergetsku mrežu, merenje, bilansiranje i obračun proizvedene električne energije, zaštitu od pobega itd. Generatori i transformator su domaće proizvodnje, a MHE se napaja vodom preko dovodnog cevovoda koji se pre ulaska u MHE grana da bi doveo vodu na „usta“ svakog od agregata. Procesori u komandnom ormanu prate protok prema MHE i odlučuju kada je optimalno da bude u funkciji samo jedan, a kada oba agregata.



Sl. 19. Fotografija izvedenog stanja MHE „Bosna 1“ snage $2 \times 100kW$



Sl. 20. Fotografija izvedenog stanja dela komandnog ormana MHE „Bosna 1“ snage $2 \times 100kW$

Broj uvoznih komponenti ugrađenih u ovu MHE je minimalan, a kao kuriozitet, navodimo da su svi delovi turbina oba agregata izrađeni od nerđajućeg čelika i da je proizvođač. Isporučilac ove MHE, po principu „ključ u ruke“ je preduzeće „Kragujelektrane“, d.o.o. iz Kragujevca.

5. Korišćene oznake

β_L - ugao lopatice u proračunskom preseku „parcijalnog“ radnog kola,

$c_{u\infty}$ - obimska komponenta apsolutne brzine vode u fiktivnom „parcijalnom“ radnom kolu sa beskonačno mnogo neizmerno tankih lopatica u proračunskom preseku,

c_m - meridijanska komponenta apsolutne brzine vode u proračunskom preseku „parcijalnog“ radnog kola,

c_m^∞ - meridijanska komponenta apsolutne brzine vode sa beskonačno mnogo neizmerno tankih lopatica u proračunskom preseku,

b - širina „parcijalnog“ radnog kola u proračunskom preseku,

δ - debljina profila lopatice u proračunskom preseku „parcijalnog“ radnog kola,

δ_{\max} - maksimalna debljina profila lopatice u proračunskom preseku „parcijalnog“ radnog kola,

ε - stepen umanjenja napora u „parcijalnom“ radnom kolu,

i - oznaka tekućeg proračunskog preseka u „parcijalnom“ radnom kolu,

k - eksponent koji određuje tip krive $Y_{th} = f(s)$,

l - dužina profila lopatice od ulaza u parcijalno radno kolo do proračunskog preseka,

l_{\max} - ukupna dužina profila lopatice u „parcijalnom“ radnom kolu,

M_0 - broj proračunskih preseka „parcijalnog“ radnog kola,

n_{sp} - specifični broj obrtaja turbinskog kola računat prema snazi turbine,

r - radijus središta proračunskog preseka u „parcijalnom“ radnom kolu,

r - osa cilindričnog koordinatnog sistema,

s - odstojanje aktuelnog proračunskog od ulaza u „parcijalno“ radno kolo, mereno duž srednje meridijanske strujnice preseka,

S - statički moment srednje meridijanske linije u „parcijalnom“ radnom kolu računat za njen deo između ulaza i proračunskog preseka,

s_0 - ukupna dužina srednje meridijanske strujnice preseka u „parcijalnom“ radnom kolu,

ΔS - dužina srednje linije u meridijanskom preseku „parcijalnog“ radnog kola između dva susedna proračunska preseka,

u - obimska brzina radnog kola sa u proračunskom preseku,

$\dot{\Delta V}_k$ - protok kroz „parcijalno“ radno kolo,

Y_{th} - napor „parcijalnog“ radnog kola hidraulične turbine koji se razmeni od ulaza u kolo do aktuelnog nizstrujnog proračunskog preseka,

Y_{th0} - napor radnog kola koji treba da se razmeni u svakom „parcijalnom“ radnom kolu,

ΔY_{th} - napor radnog kola koji se razmeni između dva susedna proračunska preseka u „parcijalnom“ radnom kolu,

x - eksponent koji se iterativno određuje u toku proračuna,

χ - ugao koji u cirkularnoj ravni radnog kola definiše međusobne položaje ulaznih i izlaznih ivica lopatica,

$\Delta\chi$ - ugao koji u cirkularnoj ravni radnog kola definiše međusobne položaje dva uzastopna proračunska preseka parcijalnog radnog kola,

z - broj lopatica radnog kola,

z - osa cilindričnog koordinatnog sistema,

ω - ugaona brzina radnog kola.

5. Literatura

1. M. Babić, S. Stojković: "Osnove turbomašina - principi dejstva i matematičkog modeliranja", Prosveta, Beograd, 1997.
2. Babić, M., Milovanović, D.: "Prilog modeliranju lopatičnih organa automatskih turbozupčastih menjača za automobile", str. 171-188, Zbornik radova, IV Međunarodni simpozijum "Motori i motorna vozila", Kragujevac, 1990.

3. Babić, M., Milovanović, D., Jovičić, N.: "Metode proračuna brzohodih centrifugalnih turbopumpi sa povećanim antikavitacijskim svojstvima", Zbornik radova, Mašinski fakultet, Kragujevac, 1991.
4. Babić, M., Milovanović, D., Jovičić, N., Despotović, M.: "Osvrt na konstruktivne i proračunske aspekte visokoučinskih ventilatora namenjenih radu sa eksplozivnim mešavinama gasova", Zbornik radova, Mašinski fakultet, Kragujevac, 1991.
5. M. Babić, S. Stojković, B. Krstić: "Određivanje uglova zanošenja struje na izlazu radnih kola turbospojnice", Zbornik radova sa naučne konferencije "Motori i vozila 92", Kragujevac, 1992.
6. M. Babić: "O projektovanju i razvoju mikro hidrocentrala", Prvo savetovanje o energetici Republike Srpske i Republike Srpske Krajine, Banja Luka, 1993.
7. M. Babić, D. Milovanović: "Prilog rešavanju potencijalnog strujanja nestišljivog fluida u pravim pokretnim profilnim rešetkama primenom metode konačnih elemenata", XX jugoslovenski kongres teorijske i primenjene mehanike, Kragujevac, 1993.
8. M. Babić, D. Milovanović: "The Tree-Dimensional Method for Calculation of the Inviscid and Incompressible Flow Field in Turbo Impeller", pp11., Ninth International Conference on Numerical Methods in Laminar and Turbulent Flow", Atlanta, USA, 1995.
9. D. Milovanović, M. Babić: "The Investigation of Flow Coefficient Influence on the Pressure Distribution Along Blade Profile Contour on Surfaces of Revolution in Turbomachinery", pp. 8, IV Greek Congress on Mechanics, Xanthi, Greece, 1995.
10. D. Milovanović, M. Babić, M. Bojić: "Design principles and methods: design method for centrifugal flow pumps", 12th International Congress of Chemical and Process Engineering, CHISA 96, Praha, Czech Republic, 1996.
11. Babić, M., Milovanović, D.: "Application of collocation method in threedimensional fluid flow solution in hydraulic turbomachine impellers", Proceedings of II International Symposium "Contemporary problems of Fluid Mechanics", pp. 225-232, Belgrade, 1996.
12. Soulis, J. V., Jovičić, N., Milovanović, D., Babić, M., Despotović, M.: "Numerical Modeling of Incompressible Turbulent Flow in Turbomachinery", Journal of Computational Fluid Dynamics, Vol 11, pp. 259-265, 1998.
13. Babić M., Darijević K., Milovanović D., Jovičić N., Despotović N., Gordić D.: "Prikaz novog proizvoda - mikrohidrocentrala "Brestovac""", Dokumenti Katedre za energetiku i procesnu tehniku 98 Broj 1, Mašinski fakultet, Kragujevac 1998.
14. Jovičić, N., Milovanović, D., Babić, M., Soulis, J. V.: "A multigrid Algoritam For Three-Dimensional Incompressible Turbulent Flows Part I: Numerical Method", Theoretical and Applied Mechaniccs , ISNN 0350-2708, Beograd
15. Despotović, M., Babić, M., Milovanović, D., Jovičić, N.: „Convergence acceleration of compressible Navier-Stokes equations by means of multigrid method“, Proceedings of the XXIII Yugoslav Congress of Theoretical and Applied Mechanics, pp.125-128, Beograd, 2001
16. Jovicic N., Jovicic G., Babic M., Milovanovic D.: „Computational Efficiency of Artificial Dissipation Models for Three-Dimensional Incompressible Flow Solutions“, Proceedings of the XXIII Yugoslav Congress of Theoretical and Applied Mechanics, pp.167-170, Beograd, 2001
17. Jovicic N., Milovanovic D., Babic M., Soulis J.V.: „A Multigrid Algorithm for Three-Dimensional Incompressible Turbulent Flows - part I: Numerical Method“, Proceedings of the XXIII Yugoslav Congress of Theoretical and Applied Mechanics, pp.171-174, Beograd, 2001.
18. Jovicic N., Milovanovic D., Babic M., Soulis J.V.: „Hydraulic Turbomachinery Performance Prediciton Using Numerical Simulation“, ECCOMAS Computational Fluid Dynamics Conference 2001, Swansea, Wales, UK, 4-7 September, 2001.
19. Milovanović D., Jovičić N., Babić M., Soulis J.V.: „A Multigrid Algorithm for Three-Dimensional Incompressible Turbulent Flows - part II: Application“, Proceedings of the XXIII Yugoslav Congress of Theoretical and Applied Mechanics, pp.265-268, Beograd, 2001

20. Jovičić N., Despotović M., Radivojević D., Milovanović D., Babić M.: „An Efficient Numerical Method for Simulation of 3D Turbulent Flow“, 28. NSS HIPNEF 2002, 2-4. 10 2002, Vrnjačka Banja, 2002
21. Jovičić N., Despotović M., Babić M., Milovanović D.: „Numerical Simulation of Turbomachinery Fluid Flow“, 6th International Research/Expert Conference “Trends in the Development of Machinery and Associated Technology”, TMT 2002, Neum, B&H, 18-22 September, 2002
22. M. Babić, K. Darijević, D. Končalović: Projektna dokumentacija MHE „Bosna 1“, Mašinski fakultet u Kragujevcu, „Kragujelektrane“ d.o.o., Kragujevac, 2007.