

UDK 621.224 \* 519.863 \* 004.021 \* 519.63 \* 532.5(043)

## OPTIMIZACIJA OBLIKA HIDRAULIČKIH DIJELOVA FRANCISOVE TURBINE FRANCIS TURBINE HYDRAULIC PARTS SHAPE OPTIMIZATION

Zoran ČARIJA

**Sažetak:** U ovoj doktorskoj disertaciji se predlože učinkoviti postupak revitalizacije Francisove vodne turbine. Rad započinje matematičkim modelom turbulentnog strujanja fluida te pripadajućim numeričkim modelom zasnovanim na metodi konačnih volumena. Slijedi pregled postupaka opisa geometrije lopatice rotora i rotorskog kanala te optimizacijskih metoda potrebnih za odabir optimalnih oblika rotora. Validacija primjenjenog matematičkog i numeričkog trodimenzionalnog modela strujanja fluida izvršena je usporedbom izračunatih energetske značajki s in-situ izmjerenim podacima u pojedinačnom i paralelnom radu turbina. Povećanjem nazivnog protoka turbine, predložena revitalizacija zahtjeva modifikaciju hidrauličkog oblika predprivodećih lopatica te proširenje izlaznog presjeka rotora. . - Novi oblik rotorskog kanala u meridionalnoj ravnini te oblik lopatice rotora dobiveni su optimizacijom združivanjem genetskog algoritma, predprocesora i programa za simulaciju strujanja fluida. Optimizacije oblika su provedene za više radnih uvjeta turbine. Odabrana varijanta revitalizirane turbine u usporedbi s postojećom ima značajno bolje energetske karakteristike u području viših protoka fluida omogućujući dodatno iskorištenje vodnog potencijala koji se tijekom vodnih valova, radi nemogućnosti značajnijeg akumuliranja, gubi prelijevanjem. Sve simulacije strujanja fluida su izvođene na višeprocorskim računalima čime je višestruko smanjeno vrijeme računanja. U zaključku je dana ocjena uspješnosti istraživanja te smjernice daljnjeg istraživanja.

**Cljučne riječi:** - Francisova turbina - genetski algoritam  
- rotor turbine - računalna dinamika fluida  
- optimizacija oblika - metoda konačnih volumena

**Summary:** This doctoral dissertation suggests an efficient procedure for the revitalization of a Francis type hydro turbine. The first part contains a mathematical model of the turbulent fluid flow and the associated numerical model based on the finite volume method. It is followed by an overview of procedures for defining the runner blade geometry and the runner meridian channel as well as the optimization methods required for selecting the optimum runner shape. The validation of the applied mathematical and numeric 3D model of fluid flow was performed by comparing computed turbine characteristics with in-situ measurements in single and parallel turbine operation. By increasing the nominal turbine flow, the suggested revitalization requires a guide vanes hydraulic shape modification and increasing of the runner outlet diameter. . - The new shape of the runner meridian channel and the runner blade shape were determined by optimization coupling genetic algorithm, pre-processor and software for the fluid flow simulation, Fluent. The blade shape optimization was performed for multiple turbine operating conditions. The chosen variant of the revitalized turbine, as compared to the existing one, has significantly better characteristics in areas of higher flow rates enabling additional harnessing of the water potential that is otherwise lost due to overflow spillage caused by low accumulation potential. All fluid flow simulation were performed on multiprocessor computers significantly reducing the necessary computation time. Conclusion assesses how successful the research has been and proposes guidelines for future research.

**Key words:** - Francis turbine - turbine runner  
- shape optimization - genetic algorithm  
- computational fluid dynamics - finite volume method

Mentor: Prof. dr. sc. Zoran Mrša / Prof. D. Sc. Zoran Mrša

Datum obrane / Presentation: 07. rujna 2007. / September 07, 2007

UDK 532.542 \* 519.63 \* 621.311.21 \* 519.876.5(043)

**NUMERIČKE SIMULACIJE STRUJANJA HIDRAULIČKIH  
TRANZIJENATA U CJEVODIMA S PRIMJENOM U  
HIDROELEKTRANAMA**  
**NUMERICAL SIMULATIONS OF HYDRAULIC TRANSIENTS IN  
PIPELINES WITH APPLICATION TO HYDROELECTRIC POWER  
PLANTS**

**Jerko ŠKIFIĆ**

**Sažetak:** U radu je opisano nestacionarno strujanje fluida u cijevima s fizikalnog matematičkog i numeričkog gledišta, te primjena modela nekompresibilnog strujanja fluida. U prvom dijelu rada izložene su fizikalne osnove strujanja fluida u cijevima s fizikalnog, matematičkog i numeričkog gledišta, te primjena modela nekompresibilnog strujanja fluida. U prvom dijelu rada izložene su fizikalne osnove strujanja fluida u cijevima. Definirani su matematički modeli strujanja tekućine u cijevima, tj. Allievijev model strujanja tekućine proširen s K modelom nestacionarnog trenja. . - U središnjem dijelu rada opisane su upwind numeričke metode, s naglaskom na Q-scheme, fluks limitirane i esencijalno neoscilirajuće ENO i WENO numeričke sheme, kao i implementacija navedenih numeričkih metoda na opisane matematičke modele nestacionarnog strujanja tekućine u cijevima što predstavlja proširenje na dosad opisanu primjenu numeričkog modela tog tipa. Konačno, provjera matematičkog i numeričkog modela za jednodimenzionalno strujanje tekućine je izvršena rezultatima dobivenim iz laboratorijskih testova kao i na realnim primjerima nestacionarnog strujanja hidroelektrani Jordan i HE Rijeka.

**Ključne riječi:** - nestacionarno strujanje u cijevima                      - strujanje tekućine  
- hiperbolički zakoni očuvanja    - nestacionarno trenje  
- hidroelektrane

**Summary:** In this work unsteady fluid in pipes considering physical, mathematical and numerical approach, noncompressible fluid flow model application in describe. First part consist of fluid pipe flow physical foundations. Mathematical models of liquid pipe flow are defined, i.e. Allievi's liquid flow model extended with unsteady friction model, known as K model. Second part consist of description of upwind numerical schemes with spatial treatment of Q-schemes, flux limited schemes and essentially non-oscillatory schemes such as ENO and WENO schemes. . - Furthermore, implementation of aforementioned numerical schemes was conducted on mathematical models for unsteady pipe fluid flow, which represents extension to hitherto implementation of such mathematical model. Finally, one-dimensional mathematical and numerical liquid fluid flow models are tested by using data of laboratory experiments and measurement data from the hydropower systems.

**Key words:** - nonstationary pipe flow    - liquid flow  
- hyperbolic conservation laws    - nonstationary friction  
- hydroelectric power plants

Mentor: Prof. dr. sc. Senka Maćešić / Prof. D. Sc. Senka Maćešić

Datum obrane / Presentation: 07. rujna 2007. / September 07, 2007

UDK 532.529 \* 532.543 \* 519.63 \* 627.512(043)

## NUMERIČKE SIMULACIJE STRUJANJA U VODOTOCIMA SA SLOBODNOM POVRŠINOM INUMERICAL SIMULATIONS OF FREE SURFACE FLOW

Siniša DRUŽETA

**Sažetak:** Numeričke simulacije strujanja sa slobodnom površinom, uz razvoj numeričkih metoda i stalan porast mogućnosti računala, postaju dominantni alat za istraživanje i primjenu na problemima strujanja u otvorenim vodotocima. Jednodimenzionalni, dvodimenzionalni i trodimenzionalni numerički modeli strujanja sa slobodnom površinom opisani su, testirani i uspoređeni na dva test-primjra, od kojih je jedan temeljen na laboratorijskom eksperimentu. Dodatno su opisani postupci napredne praktične primjene na zahtjevnim realnim problemima propagacije poplavnog vala nastalog uslijed pucanja brane, određivanje poplavnih linija, analiza mogućih regulacija riječnog korita te optimalnog pokretanja crpke. Time je pokazana praktična upotrebljivost 1D i 2D modela plitkih vod. . - Saznanja dobivena ovako provedenom analizom i ocjenom korištenih numeričkih modela olakšavaju izbor primjerenog numeričkog modela strujanja sa slobodnom površinom i njegovu ispravnu upotrebu na zadanom inženjerskom ili istraživačkom problemu.

**Ključne riječi:** - strujanje sa slobodnom površinom - matematički model plitkih voda  
- računarska dinamika fluida - poplavljanje  
- pucanje brane

**Summary:** With recent development of numerical methods and increasing computational power numerical simulations of free surface flow are becoming the main tool for open channel flow research and application. Numerical models of 1D, 2D and 3D free surface flow are described, tested and compared in two test-cases, one of which was based on a laboratory experiment designed precisely for the testing of the open channel flow models. Furthermore, advanced practical applications on difficult real problems of dam break wave propagation, river flood lines prediction, watercourse reconstruction effects analysis and optimal pump start up are demonstrated. With these examples the practical usability of 1D and 2D shallow water flow models is illustrated. . - The performed analysis and validation of the used numerical models make easier the selection of the most suitable numerical model for the free surface flow modeling and its proper employment on a given engineering or research problem.

**Key words:** - free surface flow - shallow water model  
- computational fluid dynamics - flooding  
- dam break

Mentor: Doc. dr. sc. Nelida Črnjarić - Žic / Doc. D. Sc. Nelida Črnjarić - Žic

Datum obrane / Presentation: 07. rujna 2007. / September 07, 2007-12-12

UDK 621.941 \* 621.7.01 \* 519.24 \* 004.89(043)

**MODELIRANJE I OPTIMIZACIJA PARAMETARA OBRADNE PRIMJENOM  
EVOLUCIJSKIH ALGORITAMA KOD INTELIGENTNIH OBRADNIH  
SUSTAVA**

**MODELING AND OPTIMIZATION OF THE CUTTING PARAMETERS  
USING EVOLUTIONARY ALGORITHMS AT THE INTELLIGENT  
MACHINING SYSTEMS**

**Zoran JURKOVIĆ**

**Sažetak:** Modeliranje i optimizacija metode su implementiranja znanja pri projektiranju obradnih procesa s ciljem njihove analize, poboljšanja i dosezanja više tehnološke razine. U radu se analizira proces uzdužnog tokarenja (gruba i fina obrada) temeljem podataka prikupljenih eksperimentalnim istraživanjem za tri izlazne veličine procesa: glavnu silu rezanja ( $F_c$ ), hrapavost obrađene površine ( $R_a$ ) i postojanost alata ( $T$ ). Dobiveni eksperimentalni podaci koriste se za razvoj matematičkih modela uporabom evolucijskih algoritama (genetski algoritam i genetsko programiranje) i matematičko-statističke metode. Optimalne vrijednosti parametara obrade tj. brzine rezanja ( $v_c$ ), posmaka ( $f$ ) i dubine rezanja ( $A_p$ ), dobivene su primjenom Taguchijeve metode i uporabom genetskog algoritma. . - Temeljem postavljenih funkcija cilja i ograničenja razvijen je program za modeliranje i optimizaciju procesa uzdužnog tokarenja (ModOpT). Optimizacija tehnoloških pokazatelja procesa izvršena je primjenom sljedećih kriterija: minimalnog jediničnog vremena, minimalnog jediničnog troška, maksimalnog jediničnog profita i obradivosti materijala kao temelja višekriterijske optimizacije. Dobiveni matematički modeli i optimalni rezultati procesa, prezentirane različite metode modeliranja i optimizacije, kao i uporaba višekriterijskih modela optimizacije potpomognuti razvijenim programom daju cjelovito rješenje za industrijsku primjenu.

**Ključne riječi:** - modeliranje - višekriterijska optimizacija  
- evolucijski algoritam - taguchi metoda  
- tokarenje u više prolaza

**Summary:** Modeling and optimization are methods of knowledge implementation during the design of machining processes with the purpose of the process analysis, improvement and achievement of higher technological level and cost efficiency. A longitudinal turning process (multi-pass rough and finish) was analyzed using an experimentally obtained data for three output process parameters: the cutting force ( $F_c$ ), the surface roughness ( $R_a$ ) and the tool life ( $T$ ). Experimentally acquire data were used for development of mathematical models by evolutionary algorithms (genetic algorithm and genetic programming) and mathematical-statistical method. The optimal values of cutting parameters, namely the cutting speed  $v_c$ , the feed  $f$  and the depth of cut  $A_p$ , were obtained with Taguchi method and genetic algorithm. . - On the basis of proposed objective and constraint functions the software for modeling and optimization of the longitudinal turning process (ModOpT) was developed. Optimization of technological and economical indicators of machining process was achieved by using the following criteria: minimum production time per unit, minimum production costs per unit, maximum profit rate and machinability of materials as fundamental for the multi-objective optimization. Obtained mathematical models and optimal process parameters, presented different methods of modeling and optimization as well as an application of the multiobjective optimization models along with the developed software provide a complete solution for industrial application. .

**Ključne riječi:** - modeling - multi-objective optimization  
- evolutionary algorithms - Taguchi method  
- multi-pass turning

Mentor: Izv. prof. dr. sc. Miran Brezočnik / Assoc. Prof. D. Sc. Miran Brezočnik

Datum obrane / Presentation: 09. listopada 2007. / October 09, 2007