

UDK 532.53:519.63:004.414.23:004.272:004.773(043)

## ANALIZA UČINKOVITOSTI NUMERIČKIH SHEMA ZA PLITKE VODE EFFICIENCY ANALYSIS OF SHALLOW WATER NUMERICAL SCHEMES

Lado KRANJČEVIĆ

**Sažetak:** Analizirana su fizikalna svojstva strujanja sa slobodnom površinom i pripadni jednodimenzijски i dvodimenzijски modeli plitkih voda, na osnovu čega su definirani jednodimenzijски i dvodimenzijски numerički modeli. Predložen je niz poboljšanja u smislu povećanja efikasnosti provođenja numeričkih simulacija strujanja sa slobodnom površinom. U završnom poglavlju rada detaljno se opisuje postupak paralelizacije numeričkih simulacija plitkih voda te se opisuje način efikasne raspodjele proračunskog opterećenja. Razvijeni su i testirani serijski i paralelni računalni kodovi za provođenje jednodimenzijских i dvodimenzijских simulacija strujanja sa slobodnom površinom.

**Ključne riječi:**

- strujanje sa slobodnom površinom
- matematički model plitkih voda
- implicitne numeričke sheme za plitke vode
- modeliranje poplavlivanja po suhom
- paralelno računanje

**Summary:** Free surface flow problems and corresponding one-dimensional and two-dimensional shallow water models are analyzed and on that basis, effective one-dimensional and two-dimensional numerical models are defined. Some improvements concerning efficient free surface flow numerical simulations are introduced. In final chapter of the thesis parallelization strategy of shallow water numerical simulations is elaborated in detail, and also ways to conduct efficient load balance among processors are presented. Parallel and serial computer codes for one-dimensional and two-dimensional simulations are developed, documented and tested.

**Key words:**

- free surface flows
- shallow water mathematical model
- shallow water implicit numerical schemes
- modeling of dry terrain flooding
- parallel computing

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

Datum obrane / Presentation: 11. travnja 2006. / April 11, 2006.

UDK 624.072.33:624.014:539.374:519.6(043)

# NUMERIČKA ANALIZA IZVIJANJA GREDNIH NOSAČA U PROCESU PUZANJA

## NUMERICAL CREEP BUCKLING ANALYSIS OF BEAM-TYPE STRUCTURES

Domagoj LANC

**Sažetak:** U radu je prikazan numerički pristup rješavanju problema stabilnosti materijalno nelinearnih grednih okvirnih konstrukcija. Numerički algoritam razvijen je uporabom jednodimenzionalnog prostornog gredni konačnog elementa. Gredni je element pretpostavljen pravocrtan i prizmatičan. Uključeni su efekti velikih prostornih pomaka i prostornih rotacija, dok su deformacije smatrane malima. Inkrementalne ravnotežne jednačbe grednog konačnog elementa izvedene su primjenom Eulerove (korotacijske) formulacije, korištenjem principa virtualnih radova. Pretpostavljeno je da vrijedi Saint-Venantova teorija uvijanja i Euler-Bernoullijeva teorija savijanja. Za razliku od uobičajene Eulerove formulacije koja je u lokalnom koordinatnom sustavu konačnog elementa linearna, u cilju modeliranja Wagnerova efekta izvedena je dodatna nelinearna matrica krutosti. Problem je rješavan u dvije faze. U predkritičnoj fazi za narinuto opterećenje tražen je odgovarajući odziv konstrukcije u nultome vremenskom trenutku, dok se u drugoj fazi vremenskim integriranjem prema eksplicitnoj vremenskoj integracijskoj shemi prati deformiranje konstrukcije do konačnog kritičnog vremena izvijanja. Modeliranje elastoplastičnog ponašanja materijala pretpostavlja izotropni model očvršćivanja, dok je puzanje modelirano prema Nortonovom i Nuttingovom zakonu puzanja. Izrađen je izvorni računalni program BMCA, primjena kojega je demonstrirana na nekoliko test primjera.

**Ključne riječi:**

- stabilnost
- gredne konstrukcije
- velike rotacije
- materijalna nelinearnost
- puzanje

**Summary:** In this work a numerical stability analysis of materially nonlinear beam framed structures is presented. An numerical algorithm using one dimensional spatial beam finite element is developed. Beam members are suppose to be straight and prismatic and of rectangular cross section. Spatial displacements and rotations are allowed to be large but strains are assumed to be small. The corresponding equilibrium equations are formulated in the framework of Eulerian description, using the virtual work principle. Euler-Bernoulli beam theory for flexure is assumed as well as Saint-Venant theory for torsion. In contrast to conventional Eulerian formulation, which is linear on element level, and unable to model Wagner effect in this paper an additional nonlinear part of stiffness matrix is evaluated and added to standard elastic stiffness.

Problem is approached through two phases. In first phase a pre-buckling behavior is modeled through load deflection manner to reach appropriate instantaneous response of structure for applied load at zero moment while in second phase an explicit time integration scheme is used to reach critical buckling time. Plastic material behavior is modeled supposing isotropic hardening law while for modeling creep material behavior Norton and Nutting laws have been applied. Isothermal conditions during creep are supposed. An own computer program BMCA is developed and his implementation is demonstrated on some test examples.

**Keywords:**

- stability
- beam-type structures
- large rotations
- material non-linearity
- creep

Mentor: Izv. prof. dr. sc. Goran Turkalj / Assoc. Prof. D. Sc. Goran Turkalj  
Datum obrane / Presentation: 12. svibnja 2006. / May 12, 2006.

UDK 519.6:531.395:534.1:531.46:534.83:004.42(043)

## ANALIZA DINAMIKE ROTORA PRI DODIRU ROTORA I STATORA ANALYSIS OF THE ROTOR-STATOR CONTACT DYNAMICS

Sanjin BRAUT

**Sažetak:** U radu je prikazan numerički pristup rješavanju problema dodira (kontakta) rotora i statora pomoću jednostavnih modela, Runge-Kutta metodom, te kompleksnijih konačnoelementnih modela sa posebno razvijenom aplikacijom nazvanom RotorDyn. U radu je prikazan novi pristup rješavanju problema kontakta rotora i statora uvođenjem torzijskih stupnjeva slobode gibanja. U programski paket RotorDyn implementirani su linearni i nelinearni modeli normalne sile dodira te različiti modeli trenja dobiveni proširenjem osnovnog Coulombovog modela. Nelinearna analiza dinamike rotora ostvarena je primjenom metoda direktne integracije; HHT  $\alpha$  metode i generalizirane  $\alpha$  metode. Izvedena je detaljna parametarska analiza pojedinih utjecaja na pojavu kontakta između rotora i statora. Dobiveni rezultati uspoređeni su sa eksperimentalnim i numeričkim rezultatima drugih autora dostupnim iz literature, te vlastitim eksperimentalnim rezultatima dobivenim osam-kanalnom mjernom opremom na posebno konstruiranom eksperimentalnom uređaju.

**Ključne riječi:**

- dinamika rotora
- dodir rotora i statora
- fleksijske i torzijske vibracije
- trenje klizanja i kotrljanja
- metoda konačnih elemenata
- numeričko modeliranje
- mjerenje vibracija

**Summary:** In this thesis, numerical approach for solving the contact phenomena between rotor and stator is shown. As well as simple contact models, complex FEM models are analyzed too. For simple models Runge-Kutta method were used but for complex model special application, called RotorDyn, was programmed. In this thesis, a new approach in solving the contact phenomena was presented by introducing a torsional degrees of freedom. In program package RotorDyn linear and also nonlinear normal force model are implemented as well as different friction force models based on Coulomb friction model. In RotorDyn program package different integration scheme are implemented like HHT  $\alpha$  method and Generalized  $\alpha$  method. Detailed parameter studies were performed with analysis of a numerous effects on rotor – stator contact. Obtained results are compared with experimental and numerical results found in literature, also with own experimental results obtained by eight-channel measuring equipment on specially designed test rig and presented in a form of time and frequency plots, orbits and spectral maps.

**Keywords:**

- rotor dynamics
- rotor-stator contact
- flexural and torsional vibrations
- sliding and rolling friction
- finite element method
- numerical modeling
- vibration measurement

Mentor: Red. prof. dr. sc. Mirko Butković, / Prof. D. Sc. Mirko Butković

Komentor: Izv. prof. dr. sc. Roberto Žigulić / Assoc. Prof. D. Sc. Roberto Žigulić

Datum obrane / Presentation: 09. lipnja 2006. / June 9, 2006.

UDK 536.2:621.565.93:621.565.3:519.63(043)

**ANALIZA IZMJENE TOPLINE I TVARI PRI STVARANJU LEDA NA  
LAMELNIM IZMJENJIVAČIMA TOPLINE  
ANALYSIS OF HEAT AND MASS TRANSFER DURING FROST  
FORMATION ON  
FIN-AND-TUBE HEAT EXCHANGERS**

**Kristian LENIĆ**

***Sažetak:** U radu je provedena numerička i eksperimentalna analiza izmjene topline i tvari pri stvaranju ledenog sloja na lamelnim izmjenjivačima topline. Razvijen je matematički model i računalni program za nestacionarno dvodimenzijско rješavanje navedenog problema. Numeričkim proračunom dobivena je brzina rasta ledenog sloja te su proračunate raspodjele temperatura, sadržaja vlage i brzina u subdomeni zraka kao i raspodjele temperatura i gustoća u subdomeni ledenog sloja. Postavljena je mjerna linija i izvršena su eksperimentalna ispitivanja u svrhu provjere valjanosti matematičkog modela i računalnog programa. Provedena je analiza utjecaja nastanka ledenog sloja na uvjete prijenosa topline i utjecaja povećanog otpora provođenju topline na izmijenjeni toplinski tok u izmjenjivaču. Dana su praktična rješenja i algoritam za optimalno upravljanje radom uređaja u vidu optimalnog trajanja ciklusa i adaptivnog određivanja trenutka početka razleživanja u ovisnosti o stanju zaleđenosti izmjenjivača topline.*

**Ključne riječi:** - nastanak ledenog sloja  
- lamelni izmjenjivač topline  
- izmjena topline i tvari

***Summary:** In the dissertation a numerical and experimental heat and mass transfer analysis of frost layer formation on fin-and-tube heat exchangers have been presented. A mathematical model and computer program for transient two-dimensional numerical solving of mentioned physical problem have been developed. As numerical solving results the frost growth rates, temperatures, humidity and velocity distributions in the air sub-domain, as well as temperatures and density distributions in the frost sub-domain have been gained. For the purpose of mathematical model and computer program validation, the experimental line has been set up on which experimental investigations have been performed. An analysis of frost formation impact on heat transfer conditions and impact of increased thermal resistance on heat exchanger performance has been carried out. Practical solutions and algorithm for optimal control of appliances have been given. The developed algorithm enables the determination of optimal cycle duration and adaptive determination of defrost cycle initiation time depending on frosting conditions of the heat exchanger.*

**Keywords:** - frost layer formation  
- fin-and-tube heat exchanger  
- heat and mass transfer

Mentor: Red. prof. dr. sc. Bernard Franković / Prof. D. Sc. Bernard Franković  
Komentorica: Doc. dr. sc. Anica Trp / Assist. D. Sc. Anica Trp

Datum obrane / Presentation: 6. srpnja, 2006. / July 6, 2006.