

NUMERIČNE METODE V DINAMIKI FLUIDOV

UČNI NAČRT PREDMETA/COURSE SYLLABUS

Predmet:	NUMERIČNE METODE V DINAMIKI FLUIDOV
Course title:	COMPUTATIONAL METHODS FOR FLUID DYNAMICS
Članica nosilka/UL Member:	UL FS

Študijski programi in stopnja	Študijska smer	Letnik	Semestri	Izbirnost
Strojništvo, tretja stopnja, doktorski	Ni členitve (študijski program)		Celoletni	izbirni

Univerzitetna koda predmeta/University course code: 0033419

Koda učne enote na članici/UL Member course code: 7011

Predavanja /Lectures	Seminar /Seminar	Vaje /Tutorials	Klinične vaje /Clinical tutorials	Druge oblike študija /Other forms of study	Samostojno delo /Individual student work	ECTS
90					160	10

Nosilec predmeta/Lecturer: Božidar Šarler

Izvajalci predavanj: Božidar Šarler

Izvajalci seminarjev:

Izvajalci vaj:

Izvajalci kliničnih vaj:

Izvajalci drugih oblik:

Izvajalci praktičnega usposabljanja:

Vrsta predmeta/Course type:

Izbirni predmet /Elective course

Jeziki/Languages:

Predavanja/Lectures:

Angleščina, Slovenščina

Vaje/Tutorial:

Angleščina, Slovenščina

Pogoji za vključitev v delo oz. za opravljanje študijskih obveznosti:

Prerequisites:

Veljajo splošni pogoji za doktorski študij.

General prerequisites for the third level studies.

Vsebina:

Content (Syllabus outline):

Uvod: Namen predmeta in njegove zahteve. Kratka zgodovina računskih metod za izračun toka tekočine. Sodobni primeri uporabe.

Matematični opis fizikalnih pojavov, povezanih s tokom tekočine in pripadajoče parcialne diferencialne enačbe (PDE). Predpostavke in fizikalne omejitve Navier-Stokesove (NS) enačbe. Tipi PDE in metoda karakteristik; narava koordinat.

Diskretizacijske metode: metoda končnih razlik in metoda končnih volumnov. Primerjava z drugimi metodami diskretizacije. Časovna diskretizacija: implicitne in eksplisitne metode. Omejitve numeričnega reševanja PDE: red natančnosti, zaokrožitvena napaka, konvergenca, numerična stabilnost (von Neumannova analiza stabilnosti), numerična difuzija in disperzija. Implementacija robnih in začetnih pogojev.

Geometrijski problemi diskretizacije; različni tipi računskih mrež: strukturirane in nestrukturirane mreže.

Reševanje NS enačbe: sklopitev tlačnega in hitrostnega polja. Premaknjene in nepremaknjene (kolocirane) računske mreže. Razlike pri obravnavi nestisljive in stisljive tekočine.

Modeliranje turbulence: izvedljivost direktne numerične simulacije (DNS).

Introduction: Objectives of the course and requirements. Brief history of computational methods for fluid flow simulations. Examples of CFD cases of today.

Mathematical description of physical phenomena related to fluid flow with corresponding partial differential equations (PDE). Assumptions and limitations of the Navier-Stokes (NS) equation. The classification of PDE, the method of characteristics; the nature of coordinates.

Discretization methods. The finite difference and the finite volume methods; comparison with other discretization methods. Discretization of time: implicit and explicit methods. Limitations of discretization: order of accuracy, round-off error, convergence, numerical stability (von Neumann analysis), numerical diffusion and dispersion. The implementation of boundary and initial conditions.

Geometrical problems of discretization. Different types of computational grids: structured and unstructured grids.

Solving the NS equation: coupling of pressure and velocity field. Staggered and collocated grids. Differences when dealing with compressible and incompressible fluid.

Modelling the turbulence: feasibility of

<p>Reynoldsovo povprečevanje in Reynoldsov napetostni tenzor. Modeliranje turbulentne viskoznosti (Bousinesqov približek). Algebrajski, enoenačbni in dvoenačbni modeli. Model k-ε. Robni pogoji pri turbulentnih modelih, ki sledijo iz teorije robne plasti. Turbulentni modeli za nižje vrednosti Reynoldsovega števila. Principi bolj naprednih modelov (npr. RSM in LES).</p> <p>Validacija in verifikacija izračunanih rezultatov.</p> <p>Predlogi in pogovor o seminarskih nalogah, ki jih bodo izdelali slušatelji.</p>	<p>the direct numerical simulation (DNS). Reynolds averaging and Reynolds stress tensor. Modelling of eddy viscosity (Boussinesq approximation). Algebraic, one-equation and two-equation models. The k-ε model. Boundary conditions for turbulent models based on the boundary layer theory. Low Reynolds number (LRN) models. Principles of more advanced turbulent models (e.g. RSM and LES).</p> <p>Validation and verification of calculated results.</p> <p>Discussion of student's individual work.</p>
---	--

Temeljna literatura in viri/Readings:

- [1] J.H. Ferziger, M. Perić: Computational Methods for Fluid Dynamics, 3rd Edition, Springer-Verlag, 2002.
- [2] S.V. Patankar: Numerical heat transfer and fluid flow, Hemisphere Publishing Corp., 1980.
- [3] H.K. Versteeg, W. Malalasekera: An introduction to computational fluid dynamics: The finite volume method, Longman Scientific & Technical, 1995
- [4] C.A.J. Fletcher, Computational Techniques for Fluid Dynamics 1, Fundamental and General Techniques, Springer-Verlag, 1988. (izbrana poglavja)
- [5] C.A.J. Fletcher, Computational Techniques for Fluid Dynamics 2, Specific Techniques for Different Flow Categories, Springer-Verlag, 1988. (izbrana poglavja)

Cilji in kompetence:

Cilji:

Študentu prikazati princip delovanja računalniških programov za simulacijo toka tekočine (kapljev in plinov) in spremljajočih transportnih pojavov, opisanih s parcialnimi diferencialnimi enačbami (PDE). Študent naj pozna različne načine diskretizacije PDE s poudarkom na metodi končnih volumnov, ki prevladuje v trenutno razširjenih (komercialnih) programih. Razumeti mora probleme diskretizacije: konsistentnost, stabilnost, konvergenca, red natančnosti, numerično difuzijo in disperzijo. Spozna specifično reševanje Navier-Stoksove enačbe in probleme povezane z modeliranjem turbulentnega

Objectives and competences:

Goals:

The course should show the basic principles of the computer codes for the simulation of fluid flow (liquids, and gases) accompanied by different transport phenomena, described with the corresponding partial differential equations (PDE). Students should be familiar with different methods of PDE discretization; the emphasis is on the finite volume method which prevails in popular (commercial) CFD codes. An aim is the understanding of the problems of discretization: consistency, stability, convergence, order of discretization, numerical diffusion and dispersion. Students should be aware of

<p>toka. Sposoben naj bo izbrati obravnavanemu fizikalnemu problemu ustrezen model in verificirati izračunane rezultate.</p> <p>Kompetence:</p> <p>Pridobljeno razumevanje delovanja računalniških programov za simulacijo toka tekočine omogoča smiselno uporabo le-teh in kritično ovrednotenje izračunanih rezultatov.</p>	<p>the particularities when solving the Navier-Stokes equation and the problems of modelling turbulent flow. They should be capable to select the relevant model for the considered physical problem and also to verify the obtained results.</p> <p>Competences:</p> <p>A participant acquires understanding of the basic principles of CFD codes. Therefore she/he should be capable to efficiently use such codes as well as critical assessment of the calculated results.</p>
--	---

Predvideni študijski rezultati:	Intended learning outcomes:
<p>Pridobljeno razumevanje delovanja računalniških programov za simulacijo toka tekočine omogoča smiselno uporabo le-teh in kritično ovrednotenje izračunanih rezultatov.</p>	<p>A participant acquires understanding of the basic principles of CFD codes. Therefore she/he should be capable to efficiently use such codes as well as critical assessment of the calculated results.</p>

Metode poučevanja in učenja:	Learning and teaching methods:
<p>Predavanja, laboratorijske vaje, seminarsko delo, e-izobraževanje, konzultacije. Seminarsko delo v čim večji meri navezuje se na področje doktorskega raziskovanja. Študij z uporabo priporočene literature.</p>	<p>Lectures, laboratory practice & seminar work, e-education, consulting. The seminar work is related, as much as possible, to the student's doctoral research field. Study on a recommended literature basis.</p>

Načini ocenjevanja:	Delež/ Weight	Assessment:
<p>Ustni izpit, poročilo o seminarskem delu. Pogoji za opravljanje ustnega izpita je uspešno izdelano in pozitivno ocenjeno seminarsko delo. Način (ustno izpraševanje, projekt): • projekt (seminarska naloga) (70%) • ustno izpraševanje (30%)</p>		<p>Oral exam, report on seminar work. The condition for admission to oral exam is successful completion of seminar work, rewarded with a passing grade. Method (oral examination, project): • project (seminar assignment) (70%) • oral examination (30%)</p>

Reference nosilca/Lecturer's references:

prof. dr. Božidar ŠARLER

ŠARLER, Božidar. A radial basis function collocation approach in computational fluid dynamics. Computer modeling in engineering & sciences, ISSN 1526-1492. Tiskana izd., 2005, vol. 7, no. 2, str. 185-193. [COBISS.SI-ID 395771], [JCR, SNIP, WoS do 12. 2. 2017: št. citatov (TC): 54, čistih citatov (CI): 39, čistih citatov na avtorja (CIAu): 39.00, Scopus do 9. 4. 2017: št. citatov (TC): 66, čistih citatov (CI): 46, čistih citatov na avtorja (CIAu): 46.00]kategorija: 1A1 (Z, A', A1/2); uvrstitev: SCI, Scopus, MBP; tipologijo je verificiral OSICN

HON, Yiu-Chung, ŠARLER, Božidar, YUN, Dong-fang. Local radial basis function collocation method for solving thermo-driven fluid-flow problems with free surface. Engineering analysis with boundary elements, ISSN 0955-7997. [Print ed.], Aug. 2015, vol. 57, str. 2-8, ilustr., doi: 10.1016/j.enganabound.2014.11.006. [COBISS.SI-ID 3715835], [JCR, SNIP, WoS do 2. 7. 2016: št. citatov (TC): 4, čistih citatov (CI): 3, čistih citatov na avtorja (CIAu): 1.00, Scopus do 28. 1. 2017: št. citatov (TC): 7, čistih citatov (CI): 6, čistih citatov na avtorja (CIAu): 2.00]kategorija: 1A1 (Z, A', A1/2); uvrstitev: SCI, Scopus, MBP; tipologijo je verificiral OSICN

ISLAM, Siraj-ul-, ŠARLER, Božidar, VERTNIK, Robert, KOSEC, Gregor. Radial basis function collocation method for the numerical solution of the two-dimensional transient nonlinear coupled Burgers' equations. Applied mathematical modelling, ISSN 0307-904X. [Print ed.], 2012, vol. 36, issue 3, str. 1148-1160, doi: 10.1016/j.apm.2011.07.050. [COBISS.SI-ID 24965415], [JCR, SNIP, WoS do 19. 4. 2017: št. citatov (TC): 11, čistih citatov (CI): 11, čistih citatov na avtorja (CIAu): 2.75, Scopus do 9. 4. 2017: št. citatov (TC): 19, čistih citatov (CI): 18, čistih citatov na avtorja (CIAu): 4.50]kategorija: 1A1 (Z, A', A1/2); uvrstitev: SCI, Scopus, MBP; tipologijo je verificiral OSICN