



Universitatea Tehnică a Moldovei

Analiza și optimizarea curgerii în pompe centrifugale

Teză de master

Ingineria Produsului și a procesului în Construcții de Mașini

Student: CROITOR Dmitrii

Coordonator: PETCO Andrei, dr.

Chișinău, 2026

Cuprins

ADNOTARE	4
LISTA ABREVIERILOR.....	6
INTRODUCERE	7
1. Analiza teoretică și contextul industrial al producerii, fabricării, proiectării și procesul de dezvoltare al pompelor centrifuge.....	9
1.1. Starea actuală a industriei constructoare de pompe din Republica Moldova.....	9
1.1.1. Evoluția istorică industrială și structura pieții și produsele producătorilor autohtoni.....	9
1.1.2. Căi de modernizare: oportunități de optimizare a randamentului și a rezistenței la cavitație	11
1.2. Clasificarea și specificul pompelor centrifuge	12
1.2.1. Particularitățile constructive	12
1.2.2. Domenii de utilizare privilegiate și cerințe de fiabilitate.....	15
1.2.3. Identificarea parametrilor critici pentru optimizare	16
1.3. Bazele fizice ale funcționării pompelor centrifuge	18
1.3.1. Cinematica Fluxului în canalele rotorului: triunghiul de viteză	18
1.3.2. Transferul de energie și ecuația fundamentală a pompelor centrifuge	19
1.3.3. Fenomenele de pierdere a energiei: pierderi hidraulice, volumetrice și mecanice	20
1.3.4. Cavitația: mecanism de apariție și efectele asupra performanței.....	21
1.3.5 Analizați factorii influenți și metodele de prevenire.....	23
1.4. Metodologii moderne pentru analiză și optimizare.....	25
1.4.1. Evoluția de la Metodele Empirice la Simulările Numerice CFD	25
1.4.2. Analiza interacțiunilor FSI.....	25
1.4.3. Optimizarea bazată pe metode stocastice și rolul platformei ANSYS	26
1.5. Concluzii la capitolul 1	27
2. Proiectarea parametrică și optimizarea sistematică a rotorului.....	28
2.1. Alegerea și configurarea mediului de lucru în Ansys Workbench.....	28
2.1.1. Selecția și justificarea modulelor Ansys pentru analiză	28
2.1.2. Setarea fluxului de lucru integrat și a transferului de date între module	29
2.2. Definirea geometriilor CAD de bază a pompei centrifuge	29
2.3. Generarea metodei de discretizare	31
2.4. Etapa de procesare și postprocesare	35
2.5. Analiza rezultatelor simulării inițiate în CFD	37
2.5.1. Evaluarea performanței hidrodinamice globale	37
2.5.2. Interpretarea câmpurilor simulate din post-procesor CFD	38
2.5.3. Identificarea punctelor critice și a potențialului de îmbunătățire.....	39

2.6. Concluzii la capitolul 2	40
3. Optimizarea sistematică a parametrilor rotorici și analiza performanței finale.....	42
3.1. Configurarea optimizării parametrice	42
3.1.1. Alegerea parametrilor geometrici pentru optimizare.....	42
3.1.2. Stabilirea intervalelor și constrângerilor	44
3.1.3. Setarea algoritmului genetic în Ansys optiSLang.....	44
3.2. Procesul de optimizare și selecția soluției.....	46
3.2.1. Analiza preliminară a sensibilității parametrilor	46
3.2.2. Procesul de optimizare evolutivă și rezultatele frontului Pareto	48
3.3. Concluzii la capitolul 3:	50
4. Analiza CFD-FSI de la optimizarea hidrodinamică la validarea integrității structurale	52
4.1. Aspecte teoretice și practice a interacțiunii FSI.....	52
4.1.1. Importanța cuplajului FSI în pompele centrifuge de înaltă performanță.....	52
4.1.2. Domeniul de analiză și necesitatea unei predicții robuste a integrității structurale.....	52
4.2. Abordări metodologice integrate pentru proiectarea și validarea rotorului optimizat.....	54
4.2.1. Integrarea optimizării parametrice CFD cu EA și analiza FSI și tendințe actuale în fluxul de proiectare.	54
4.2.2. Integrarea fabricației aditive în fluxul de validare a proiectării.....	55
4.3. Studiul de caz: aplicarea analizei FSI asupra configurației rotorice optime.	56
4.4. Concluzii la capitolul 4	58
5. CONCLUZII GENERALE ȘI RECOMANDĂRI.....	59
BIBLIOGRAFIE	62

Adnotare

la teza de master cu tema „ *Analiza și optimizarea curgerii în pompe centrifugale*” prezentată de **Croitor Dmitrii**. Universitatea Tehnică a Moldovei, Facultatea de Inginerie Mecanică, Industrială și Transporturi; Departamentul Ingineria Fabricației. Teză de master cuprinde introducerea, patru capitole, concluzii și recomandări, bibliografia din 68 de denumiri. Volumul tezei conține 24 de figuri și 5 tabele.

Această teză prezintă o metodologie integrată modernă pentru optimizarea și validarea structurală a rotorului unei pompe centrifuge hermetice de tip CH, aliniată nevoilor industriei constructoare din Republica Moldova. Lucrarea urmărește îmbunătățirea competitivității produselor autohtone prin abordarea simultană a unui obiectiv și a unei constrângeri obiectivul fiind maximizarea randamentului hidraulic, iar constrângerea fiind vizată de sarcina totală ($H \geq 32.5$ m).

Cercetarea se desfășoară într-un flux de lucru sistematic, începând cu o analiză amănunțită a contextului industrial autohton și a principiilor de funcționare. Este propusă și implementată o strategie de optimizare parametrică avansată în platforma ANSYS. Geometria rotorului este definită prin 17 parametri geometrici cheie. Performanța hidrodinamică (randament, NPSHr, sarcină) este evaluată prin simulări CFD. Un algoritm evolutiv configurat în modulul optiSLang explorează automat spațiul de proiectare, identificând configurații optime care echilibrează obiectivele concurente.

O analiză de sensibilitate preliminară relevă că, în condițiile specificate numărul de pale (z) și diametrul exterior (d_2) sunt cei mai influenți pentru randament. Această constatare permite concentrarea efortului de optimizare. Rezultatul procesului este un front Pareto de soluții, dintre care este selectat designul cu randamentul hidraulic maxim ($\eta=95.65\%$), care îndeplinește și constrângerile privind sarcina și absența cavitației.

Pentru a valida fezabilitatea structurală a soluției hidrodinamice optime, teza avansează către o analiză FSI. Încărcările hidrodinamice și forțele centrifuge sunt aplicate pe un model cu elemente finite al rotorului. Simularea FSI confirmă că tensiunile și deformațiile maxime în materialul ales se încadrează în limite de siguranță acceptabile, justificând trecerea la fabricație. În final, metodologia este consolidată printr-un studiu de caz aplicativ care detaliază fabricarea aditivă SLS a prototipului, scanarea 3D pentru validare geometrică și testarea experimentală. Rezultatele validează integral predicțiile numerice, închizând ciclul virtuos de proiectare asistată de calculator.

Cuvinte cheie: *pompă; simulare; optimizare; CFD; FSI.*

ABSTRACT

of the Master's thesis on the topic "*Analysis and Optimization of Flow in Centrifugal Pumps*" presented by Croitor Dmitrii. Technical University of Moldova, Faculty of Mechanical, Industrial and Transport Engineering; Department of Manufacturing Engineering. The master's thesis comprises an introduction, four chapters, conclusions and recommendations, as well as a bibliography consisting of 68 references. The thesis includes 20 figures and 5 tables.

This thesis presents a modern integrated methodology for the optimization and structural validation of the impeller of a CH-type hermetic centrifugal pump, aligned with the needs of the manufacturing industry in the Republic of Moldova. The work aims to improve the competitiveness of domestic products by simultaneously addressing one objective and one constraint: the objective being the maximization of hydraulic efficiency, and the constraint being the maintenance of the total head ($H \geq 32.5$ m).

The research is conducted within a systematic workflow, starting with a detailed analysis of the local industrial context and operational principles. An advanced parametric optimization strategy is proposed and implemented within the ANSYS platform. The impeller geometry is defined by 17 key geometric parameters. Hydrodynamic performance (efficiency, NPSHr, head) is evaluated through CFD simulations. An evolutionary algorithm configured in the optiSLang module automatically explores the design space, identifying optimal configurations that balance the competing objectives.

A preliminary sensitivity analysis reveals that, under the specified conditions, the number of blades (z) and the outer diameter (d_2) are the most influential for efficiency. This finding allows for a focused optimization effort. The process results in a Pareto front of solutions, from which the design with maximum hydraulic efficiency ($\eta=95.65\%$) is selected, also meeting the constraints on head and cavitation avoidance.

To validate the structural feasibility of the optimal hydrodynamic solution, the thesis advances to an FSI analysis. Hydrodynamic loads and centrifugal forces are applied to a finite element model of the impeller. The FSI simulation confirms that the maximum stresses and deformations in the chosen material fall within acceptable safety limits, justifying the transition to manufacturing. Finally, the methodology is consolidated through an applied case study detailing the SLS additive manufacturing of the prototype, 3D scanning for geometric validation, and experimental testing. The results fully validate the numerical predictions, closing the virtuous cycle of computer-aided design.

Keywords: *pump; simulation; optimization; CFD; FSI.*

Introducere

Încadrarea lucrării în domeniul tematic: Teza de master face parte din sfera ingineriei hidromecanice și domeniul proiectării asistate de calculator- CAD/CAE, având aplicații anumite în proiectarea și optimizarea turbomașinilor. Aceasta se încadrează în domenii precum: CFD pentru simularea curgerii fluidului, FSI.

În contextul tendinței economice care se bazează pe sustenabilitate și eficiența energetică, industria pompelor este un domeniu care are un potențial enorm de optimizare. Se constată că, sistemele de pompare sunt responsabile pentru consumul global al energiei electrice în domeniul industrial cu indicii de 20% , iar în aplicațiile municipale și utilitățile specifice, depășesc acest indice. Micșorarea doar a câtorva procente a consumului sistemelor date, prin maximizarea randamentului posedă un impact ecologic și economic major.

În același timp, solicitările către durata de viață și fiabilitatea echipamentelor s-au mărit semnificativ, inclusiv în acele sectoare critice cum ar fi petrochimia, sistemele de alimentare cu apă, energia nucleară, în care defecțiunile au costuri excesive și implicații de siguranță. În detaliu, datorită simplității constructive a pompelor centrifuge, fiabilității și variațiilor lor, ele rămân a fi principalul pilon al industriilor date. Însă, geometria lor tradițională, fundamentată pe prototipare fizice iterative și relații empirice necesită optimizări în fața solicitărilor contemporane ale performanței acestora. Deci, analiza și optimizarea asistată de calculator, care se bazează pe CFD și pe metodele optimizării stochastice, au fost impuse ca standard în dezvoltarea turbomașinilor cu o performanță înaltă în domeniile aerospațial și automotive. Este important de specificat că transferul metodologiilor date spre domeniul pompelor centrifuge industriale este un îmbold activ pentru cercetare. Tema prezentei lucrări este plasată în centrul inovației, abordând nu numai optimizarea energetică izolată, dar și integrarea acesteia în procesul proiectării robuste, care cuprinde evaluarea expresă a răspunsului structural prin analiza interacțiunii FSI. Abordarea respectivă răspunde necesităților reale ale industriei constructive atât autohtone, cât și internaționale pentru a modifica produsele în unele competitive prin fiabilitate, eficiență, cost redus.

Obiectivele și scopul lucrării: **Obiectivul** lucrării date îl constituie dezvoltarea, implementarea și aprobarea metodologiei sistematice a optimizării rotorului unei pompe-centrifuge, care ar avea ca scop integrarea analizei hidrodinamice avansate cu evaluarea structurală și mecanică pentru a optimiza performanța globală a prototipului. Pentru a atinge scopul, lucrării își este necesar de rezolvat o serie de obiective.

Bibliografie

1. BOSTAN, V., PETCO, A. Design and optimization of the centrifugal pump impeller for wastewater. În: *Innovative Manufacturing Engineering and Energy – ImanEE 2024*. Materials Research Proceedings, vol. 46. Online, 2024, p. 361–368. ISSN: 2474-3941. Disponibil: <https://doi.org/10.21741/9781644903377-47>. Citat: 20 decembrie 2025.
2. WU, D., REN, Y., MOU, J. *et al.* Unsteady Flow and Structural Behaviors of Centrifugal Pump under Cavitation Conditions. *Chin. J. Mech. Eng.* **32**, 17 (2019) Disponibil: <https://doi.org/10.1186/s10033-019-0328-8> Citat: 5 octombrie 2025.
3. RESEARCH AND MARKETS. *Centrifugal Pump Market in CIS Countries 2022 [online]*. Dublin: Research and Markets, 2022. Disponibil: <https://www.researchandmarkets.com/reports/5570165/centrifugal-pump-market-in-cis-countries-2022>. Citat: 15 septembrie 2025.
4. INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). *Energy Efficiency 2016*. Paris: OECD/IEA, 2016. Disponibil: <https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2016>. Citat: 5 septembrie 2025.
5. GÜLICH, J. F. *Centrifugal Pumps*. Ed. a 2-a. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2010. ISBN 978-3-642-12823-3.
6. BIRoul Național de Statistică al Republicii Moldova (BNS). *Activitatea industriei în anul 2023 [Comunicat de presă online]*. Chișinău: Biroul Național de Statistică, 2024. Disponibil: https://statistica.gov.md/ro/activitatea-industriei-in-anul-2023-9503_61415.html. Citat: 5 septembrie 2025
7. CRIS Hermetic Pumps. *Production Range*. [online]. [n.l.]: CRIS Hermetic Pumps, 2023. Disponibil: <https://crispumps.com/en/production>. Citat: 10 decembrie 2025.
8. Hidropompa S.A. *Produse*. [Chișinău]: Hidropompa S.A., 2023. Disponibil: <https://4649-md.all.biz/> Citat: 10 decembrie 2025.
9. EUROPUMP. *Industry Profile* [site web]. Brussels: Europump, [n.d.]. Disponibil: <https://www.europump.net/industry-profile>. Citat: 20 septembrie 2025.
10. SOBIN, A. J., BISSEL, W. R. *Turbopump Systems for Liquid Rocket Engines*. Washington, D.C.: NASA, 1970. NASA SP-8107. Disponibil: <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/19750012398/downloads/19750012398.pdf> Citat: 5 septembrie 2025
11. NAKAYAMA, Y. *Introduction to Fluid Mechanics*. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2000. ISBN 978-0750650939.

- Disponibil: https://www.academia.edu/36590503/Introduction_to_Fluid_Mechanics Citat: 20 septembrie 2025
12. BRENNEN, C. E. *Hydrodynamics of Pumps*. Oxford: Oxford University Press, 1994. ISBN 978-0198564429.
 13. D'AGOSTINO, L., TORRE, L., CERVONE, A., PACE, G., VALENTINI, D., PASINI, A. An Introduction to Cavitation in Inducers and Turbopumps. În: D'AGOSTINO, L., SALVETTI, M. (ed.). *Cavitation Instabilities and Rotordynamic Effects in Turbopumps and Hydroturbines*. CISM International Centre for Mechanical Sciences, vol. 575. Cham: Springer, 2017,. ISBN 978-3-319-49717-4. Disponibil: https://doi.org/10.1007/978-3-319-49719-8_1 Citat: 20 septembrie 2025
 14. CAVAZZINI, G., PAVESI, G., SANTOLIN, A., ARDIZZON, G., LORENZI, R. Using splitter blades to improve suction performance of centrifugal impeller pumps. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy*. 2014, vol. 229, nr. 3, p. 267–279. ISSN: 0957-6509. Disponibil: <https://doi.org/10.1177/0957650914563364>. Citat: 27 septembrie 2025.
 15. ACOSTA, A. J. An Experimental Study of Cavitating Inducers. *Journal of Ship Research*. 1958, vol. 2, nr. 2, p. 10–22. Disponibil: <https://authors.library.caltech.edu/records/8bw81-cbn71> Citat: 27 septembrie 2025
 16. RAO, S. S. *Engineering Optimization: Theory and Practice*. Ed. a 4-a. Hoboken, N.J.: John Wiley & Sons, 2009. ISBN 978-0470183526.
Disponibil: https://books.google.md/books?id=YNt34dvnQLEc&printsec=frontcover&hl=ro&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false Citat: 27 septembrie 2025
 17. WESTRA, R. W. *Inverse-design and optimization methods for centrifugal pump impellers* Delft: Delft University of Technology, 2008. ISBN 978-90-365-2702-6
Disponibil: <https://ro.scribd.com/document/249316529/Inverse-design-and-optimization-methods-for-centrifugal-pump-impellers> Citat: 28 septembrie 2025
 18. DIXON, S. L., HALL, C. A. *Fluid Mechanics and Thermodynamics of Turbomachinery*. Ed. a 7-a. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2013. ISBN 978-0124159549.
 19. KARASSIK, I. J., et al. (ed.). *Pump Handbook*. Ed. a 4-a. New York: McGraw-Hill Education, 2008. ISBN 978-0071460446.
 20. JAPIKSE, D., MARX, W. D., FISCHER, K. E. *Centrifugal Pump Design and Performance*. Wilder, Vt.: Concepts ETI, Inc., 1997. ISBN 978-0933283149.
 21. PETCO, A. Dezvoltarea constructiv-funcțională a pompelor centrifuge prin optimizarea multiparametrică și simulările CFD. În: *Conferința Științifică a Studenților, Masteranzilor*

- și *Doctoranzilor*. Chișinău: Universitatea Tehnică a Moldovei, 2019. Disponibil: https://www.researchgate.net/publication/371760957_DEZVOLTAREA_CONSTRUCTIV-FUNCTIONALA_A_POMPELOR_CENTRIFUGE_PRIN_OPTIMIZAREA_MULTIPAR_AMETRICA_SI_SIMULARILE_CFD Citat: 2 octombrie 2025
22. BOSTAN V., PETCO A., Șaragov I. Empirical Models' Applicability for Calculating the Centrifugal Pump's Impellers Geometric Parameters. *Journal of Engineering Sciences*. 2023, vol. 30, nr. 3, p. 32–40. ISSN: 2587-3474. Disponibil: [https://doi.org/10.52326/jes.utm.2023.30\(4\).01](https://doi.org/10.52326/jes.utm.2023.30(4).01) Citat: 2 octombrie 2025.
23. FRANC, J.-P., MICHEL, J.-M. *Fundamentals of Cavitation*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2005. ISBN 978-1402022326.
24. STEPANOFF, A. J. *Centrifugal and Axial Flow Pumps: Theory, Design, and Application*. Ed. a 2-a. New York: John Wiley & Sons, 1948.
Disponibil: <https://archive.org/details/dli.ernet.19276/page/n7/mode/2up> Citat: 3 octombrie 2025
25. MENTER, F. R. Best Practice: Scale-Resolving Simulations in ANSYS CFD. *ANSYS CFX Technical Brief*. Canonsburg, Pa.: ANSYS, Inc., 2018, TB-02-1802. Disponibil: <https://www.ansys.com/resource-center/technical-paper/best-practice-scale-resolving-simulations-in-ansys-cfd> Citat: 3 octombrie 2025
26. BASHIRI, M., DERAKHSHAN, S., SHAHRABI, J. Design Optimization of a Centrifugal Pump Using Particle Swarm Optimization Algorithm. *International Journal of Fluid Machinery and Systems*. 2019, vol. 12, nr. 4, p. 322–331. ISSN: 1882-9554. Disponibil: <https://doi.org/10.5293/IJFMS.2019.12.4.322>. Citat: 25 noiembrie 2025.
27. VERSTEEG, H. K., MALALASEKERA, W. *An Introduction to Computational Fluid Dynamics: The Finite Volume Method*. Ed. a 2-a. Harlow: Pearson Education Ltd, 2007. ISBN 978-0131274983.
28. LEVEQUE, R. J. *Finite Volume Methods for Hyperbolic Problems*. Cambridge: Cambridge University Press, 2002. ISBN 978-0521009249.
29. TORO, E. F. *Riemann Solvers and Numerical Methods for Fluid Dynamics: A Practical Introduction*. Ed. a 3-a. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2009. ISBN 978-3540252023. Disponibil: https://books.google.md/books?id=SqEjX0um8o0C&printsec=frontcover&hl=ro&source=gs_b_s_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false Citat: 3 octombrie 2025

30. MOUKALLED, F., MANGANI, L., DARWISH, M. *The Finite Volume Method in Computational Fluid Dynamics: An Advanced Introduction with OpenFOAM and Matlab*. Cham: Springer International Publishing, 2016. ISBN 978-3319168746.
31. POPE, S. B. *Turbulent Flows*. Cambridge: Cambridge University Press, 2000. ISBN 978-0521591252. Disponibil: https://books.google.md/books?id=HZsTw9SMx-0C&printsec=frontcover&hl=ro&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false Citat: 5 octombrie 2025
32. FERZIGER, J. H., PERIĆ, M. *Computational Methods for Fluid Dynamics*. Ed. a 3-a. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2002. ISBN 978-3540420743. Disponibil: https://books.google.md/books?id=BZnvCAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=ro&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false Citat: 5 octombrie 2025
33. WHITE, F. M. *Fluid Mechanics*. Ed. a 7-a. New York: McGraw-Hill, 2011. ISBN 978-0073529349.
34. WILCOX, D. C. *Turbulence Modeling for CFD*. Ed. a 3-a. La Cañada, Calif.: DCW Industries, 2006. ISBN 978-1928729082.
35. FERZIGER, J. H., PERIĆ, M., STREET, R. L. *Computational Methods for Fluid Dynamics*. Ed. a 4-a. Cham: Springer, 2020. ISBN 978-3-319-99691-2.
36. LAKSHMINARAYANA, B. *Fluid Dynamics and Heat Transfer of Turbomachinery*. New York: John Wiley & Sons, 1996. ISBN 9780471855460. Disponibil: https://books.google.md/books/about/Fluid_Dynamics_and_Heat_Transfer_of_Turb.html?id=v6EvNjtOJcoC&redir_esc=y Citat: 11 octombrie 2025
37. MENTER, F. R. Two-equation eddy-viscosity turbulence models for engineering applications. *AIAA Journal*. 1994, vol. 32, nr. 8, p. 1598–1605. ISSN: 0001-1452. Disponibil: <https://doi.org/10.2514/3.12149>. Citat: 12 octombrie 2025.
38. ANSYS, Inc. *ANSYS CFX-Solver User's Guide*. Release 2025 R1. Canonsburg, Pa.: ANSYS, Inc., 2025.
Disponibil: https://ansyshelp.ansys.com/public/Views/Secured/corp/v251/en/pdf/Ansys_CFX-Solver_Manager_Users_Guide.pdf Citat: 12 octombrie 2025
39. ANSYS, Inc. *optiSLang Tutorials* [PDF]. Canonsburg, PA: ANSYS, Inc., 2026. Disponibil: https://ansyshelp.ansys.com/public/Views/Secured/corp/v251/en/pdf/optiSLang_Tutorials.pdf. Citat: 2 ianuarie 2025
40. FORRESTER, A. I. J., SOBESTER, A., KEANE, A. J. *Engineering Design via Surrogate Modelling: A Practical Guide*. Chichester: John Wiley & Sons, 2008. ISBN 978-

0470060681.

Disponibil:https://books.google.md/books?id=ulMHmeMnRCcC&printsec=frontcover&hl=ro&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false Citat: 12 octombrie 2025

41. BRENNEN, C. E. *Hydrodynamics of Pumps*. Cambridge: Cambridge University Press, 2011. ISBN 978-110700237.
42. Ma, C., Yang, Z., Jiao, K., Liu, Z., & Du, Q. Multi-objective optimization of the centrifugal compressor impeller in 130 kW PEMFC through coupling SVM with NSGA -III algorithms. *International Journal of Green Energy*, 18(13), 1383–1395. Disponibil: <https://doi.org/10.1080/15435075.2021.1904942> Citat 12 octombrie 2025
43. MARTINS, J. R. R. A., NING, A. *Engineering Design Optimization*. Cambridge: Cambridge University Press, 2021. ISBN 978-1108833417.
44. MIRJALILI, S., DONG, J. S., LEWIS, A. *Nature-inspired optimizers: Theories, literature reviews and applications*. Cham: Springer, 2020. ISBN 978-3030121273. Disponibil: https://www.researchgate.net/publication/347096197_Nature-Inspired_Optimizers_Theories_Literature_Reviews_and_Applications_Theories_Literature_Reviews_and_Applications#fullTextFileContent Citat: 17 octombrie 2025
45. SALTELI, A., RATTO M., ANDRES T., CAMPOLONGO F., CARIBONI J., GATELLI D., SAISANA M., TARANTOLA S. *Global Sensitivity Analysis: The Primer*. Chichester: John Wiley & Sons, 2008. ISBN 978-0470059975. Disponibil: https://www.andreasaltelli.eu/file/repository/A_Saltelli_Marco_Ratto_Terry_Andres_Francesca_Campolongo_Jessica_Cariboni_Debora_Gatelli_Michaela_Saisana_Stefano_Tarantola_Global_Sensitivity_Analysis_The_Primer_Wiley_Interscience_2008_.pdf Citat: 17 octombrie 2025
46. Y. Wang, L. Zhou and S. Zheng, "Multi-Objective Optimization Design of Low Specific Speed Centrifugal Pumps Based on Genetic Algorithm," in *IEEE Access*, vol. 11, pp. 97896-97908, 2023, Disponibil: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3311893> Citat: 20 decembrie 2025
47. BOSTAN, V., PETCO, A., **CROITOR, D.**, PROCA, N., ZUBAC, V. Design of a Hermetic Centrifugal Pump Impeller Using RSM and Evolutionary Algorithms with Application of SLS Technology. *Processes*. 2026, vol. 14, nr. 1, 152. ISSN: 2227-9717. Disponibil: <https://doi.org/10.3390/pr14010152>. Citat: 2 ianuarie 2026.
48. DEB, K., PRATAP, A., AGARWAL, S., MEYARIVAN, T. A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*. 2002, vol.

- 6, nr. 2, p. 182–197. ISSN: 1089-778X. Disponibil: <https://doi.org/10.1109/4235.996017>.
Citat: 20 noiembrie 2025.
49. DEB, K., JAIN, H. An Evolutionary Many-Objective Optimization Algorithm Using Reference-Point-Based Nondominated Sorting Approach, Part I: Solving Problems With Box Constraints. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*. 2014, vol. 18, nr. 4, p. 577–601. ISSN: 1089-778X. Disponibil: <https://doi.org/10.1109/TEVC.2013.2281535>.
Citat: 20 noiembrie 2025.
50. BUNGARTZ, H.-J., SCHÄFER, M. (ed.). *Fluid-Structure Interaction: Modelling, Simulation, Optimisation*. Lecture Notes in Computational Science and Engineering. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2006. ISBN 978-3-540-34595-4.
51. BAZILEVS, Y., TAKIZAWA, K., TEZDUYAR, T. E. *Computational Fluid–Structure Interaction: Methods and Applications*. Hoboken, N.J.: John Wiley & Sons, 2013. ISBN 978-0470978771.
Disponibil: https://www.researchgate.net/publication/267174431_Computational_Fluid-Structure_Interaction_Methods_and_Applications#fullTextFileContent Citat 2 ianuarie 2026
52. THOMPSON, M. K., et al. Design for Additive Manufacturing: Trends, opportunities, considerations, and constraints. *CIRP Annals*. 2016, vol. 65, nr. 2, p. 737–760. ISSN: 0007-8506. Disponibil: <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2016.05.004>. Citat: 2 decembrie 2025.
53. DIZON, J. R. C., ESPERA, A. H., CHEN, Q., ADVINCULA, R. C. Mechanical characterization of 3D-printed polymers. *Additive Manufacturing*. 2018, vol. 20, p. 44–67. ISSN: 2214-8604. Disponibil: <https://doi.org/10.1016/j.addma.2017.12.002>. Citat: 10 decembrie 2025.
54. BOSTAN, V., PETCO, A., ODAINÎI, D., **CROITOR, D.**, ZUBAC, V., PROCA, N. Application of FSI simulations in the optimisation cycle of centrifugal pump impellers. *JOURNAL OF ENGINEERING SCIENCE*, ISSN 2587-3474.
55. BOSTAN, V., PETCO, A., **CROITOR, D.**, PROCA, N. Design optimisation of a centrifugal pump inducer. *ACTA TECHNICA NAPOCENSIS - Series: Applied mathematics, mechanics, and engineering* 2025, ISSN 2393–2988
56. BOSTAN, I., TOCA, A., DULGHERU, V., BOBOC, V., STRONCEA, A., PEREU, I., VACULENCO, M., MOCREAC, S. *Proiectarea asistată de calculator în construcția de mașini*. Chișinău, Tehnica-Info, 2001, 205 p. ISBN 9975-63-065-0.
57. **CROITOR, D.**, CALCULUL NUMERIC AL CURGERII FLUIDULUI ÎNTR-O POMPĂ CENTRIFUGALĂ. CONFERINȚA TEHNICO-ȘTIINȚIFICĂ A STUDENȚILOR, MASTERANZILOR ȘI DOCTORANZILOR, 14-16 mai 2025 VOL. II, ISBN 978-9975-

64-614-7 pag. 633-637. Disponibil: https://csmd.utm.md/wp-content/uploads/2026/01/Conference-SMD-UTM-2025-vII_compressed.pdf Citat: 2 ianuarie 2026 .

58. Volodymyr KUKHAR, Elena BALALAYEVA, Hlib KHLIESTOV, Olha KHLIESTOVA. Analysis of technological regimes of open-die forging with model development for digital systems of metallurgical production. U.P.B. Sci. Bull., Series D, Vol. 88, Iss. 2, 2026. Pp. 227-240. ISSN 1454-2358.
59. Volodymyr V. Kukhar, Khrystyna V. Malii, Natalia S. Hrudkina and Eleonora O. Butenko. Identification of Early Degradation Mechanisms in Zinc Coating on Cold-Formed Steel Sections Through Analysis of the Production–Storage Chain. The International Conference on Advanced Mechanical and Power Engineering (CAMPE 2025), October 20–21, 2025, Kharkiv, Ukraine. pp. 179-189. ISSN 2195-4364. <https://doi.org/10.1007/978-3-032-16381-3>.
60. Volodymyr Kukhar, Andrii Kostryzhev, Oleksandr Dykha, Oleg Makovkin, Ihor Kuziev, Roman Vakulenko, Viktoriia Kulynych, Khrystyna Malii, Eleonora Butenko, Natalia Hrudkina, Oleksandr Shapoval, and Oleksandr Hrushko. Technological and Chemical Drivers of Zinc Coating Degradation in DX51d+Z140 Cold-Formed Steel Sections. Journals Metals. Volume 16 issue 2, 37 p., 2026. <https://doi.org/10.3390/met16020146>.
61. Mihail BÎCIOC, Sergiu MAZURU. Practical aspects regarding optimization of three axis CNC machining. Materials Research Proceedings. Volume 61. Pages 58-66. <https://doi.org/10.21741/9781644903995-8>.
62. Valeriu Dulgheru, Radu Ciobanu, Oleg Ciobanu, Iulian Malcoci, Sergiu Mazuru, Nicolae Trifan, Dumitru Vengher. Planetary Precessional Transmission: Geometry and Contact Bearing Capacity. Jurnal Countering Hybrid Threats Against Critical Infrastructures. 2025.
63. Ion Bostan, Viorel Bostan, Maxim Vaculenco, Ion Bodnariuc, Sergiu Mazuru, Valeriu Dulgheru, Radu Ciobanu, Oleg Ciobanu, Iulian Malcoci, Nicolae Trifan, Dumitru Vengher, Alina Bregnova. Planetary precessional transmission: geometry and contact bearing capacity, kinematics and profile generation. Book The International Conference on Strategic Innovative Marketing and Tourism. Springer Netherlands. Pp. 275-355.. 2024.
64. Mazuru Sergiu. Metode și procedee de fabricare aditivă. Editura Tehnica-UTM, ISBN: 978-9975-45-741-5, 2021, 144 p.

65. BOSTAN Viorel, BOSTAN Ion, MAZURU Sergiu, VACULENCO Maxim, LEALIN Stanislav, BREGNOVA Alina. Precessional planetary transmissions. Brevet de invenție B.I. 4910. BOPI nr. 12/2024.
66. BOSTAN Viorel, BOSTAN Ion, MAZURU Sergiu, VACULENCO Maxim. Precessional planetary transmissions. Brevet de invenție B.I. 4911. BOPI nr. 12/2024.
67. JAVGUREANU, Vasile, GORDELENCO, Pavel. Some elastoplastically deformation and failure composite iron - nickel coatings. In: Meridian Ingineresc. 2013, nr. 4, pp. 78-81. ISSN 1683-853X. https://ibn.idsi.md/vizualizare_articol/29743
68. JAVGUREANU, Vasile, GORDELENCO, Pavel. Study of physical and mechanical properties of iron-nickel composite coatings macro indentation. In: Meridian Ingineresc. 2013, nr. 4, pp. 41-45. ISSN 1683-853X. https://ibn.idsi.md/vizualizare_articol/29745 .