

REALIZAREA MODELULUI CINEMATIC PENTRU UN CENTRU DE PRELUCRARE PRIN FREZARE CNC CU CINCI AXE

Prof.dr.ing. Radu-Eugen BREAZ¹, Prof.dr.ing. Sever-Gabriel RACZ¹,
Prof.dr.ing. Valentin OLEKSIK¹, Prof.dr.ing. Octavian BOLOGA¹, Prof.dr.ing. Paul-Dan BRÎNDAȘU¹

¹ Universitatea “Lucian Blaga” din Sibiu, Sibiu, România

REZUMAT. Prelucrarea prin aşchiere a pieselor din industrie necesită utilizarea unor centre de prelucrare prin frezare CNC cu cinematică din ce în ce mai complexă. Astfel, maşinile-unelte CNC cu cinci axe comandate numeric se întâlnesc din ce în ce mai frecvent. Utilizarea tehnicilor CAD/CAM pentru programarea acestor maşini presupune unele particularităţi, faţă de cazul maşinilor-unelte CNC cu trei axe. Una dintre acestea este necesitatea utilizării unui model cinematic al maşinii, pentru a putea simula cât mai realist procesul de prelucrare şi a evita coliziunile între elementele mobile ale maşinii.

Cuvinte cheie: CNC, CAD/CAM, cinci axe, model cinematic, simulare.

ABSTRACT. Machining of parts in the industry requires the use of a CNC milling machine with increasingly complex kinematic. Thus, the use of CNC machine tools with five-axis numerical control becomes more and more common. Using CAD / CAM techniques for programming these machines involves some particularities, compared to the case of three-axis CNC machine tools. One of these is the need to use a machine-tool kinematic model to simulate realistic processing and to avoid collisions between mobile elements of the machine.

Keywords: CNC, CAD/CAM, five axis, kinematic model, simulation.

1. INTRODUCERE

Maşinile-unelte cu comandă numerică reprezintă la ora actuală echipamentele tehnologice cele mai performante în industria prelucrătoare. În consecinţă, utilizarea tehnicilor CAD/CAM pentru programare este necesară pentru o exploatare optimă a acestor echipamente, în contextul în care cerinţele legate de complexitatea şi precizia pieselor prelucrate sunt tot mai restrictive.

Prelucrarea unei piese complexe pe o maşină unealtă cu comandă numerică (CNC) presupune generarea codului NC care conţine, într-o formă codificată numeric, comenzile pentru deplasarea săniilor maşinii şi/sau a sculelor pe traiectoriile necesare pentru obţinere formei piesei finite.

Centrele de prelucrare cu trei axe comandate numeric (de obicei axele de translaţie X, Y şi Z) încep să fie considerate din ce în ce mai mult echipamente “clasice”, fiind înlocuite din ce în ce mai mult în practica industrială cu centrele de prelucrare în cinci axe [1-3]. În figurile 1.1 şi 1.2 sunt prezentate modele simplificate ale celor două tipuri de echipamente.

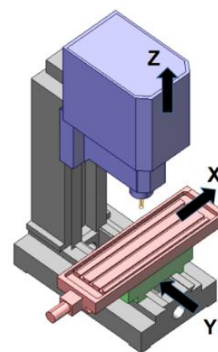


Fig. 1.1. Centru de prelucrare cu trei axe.

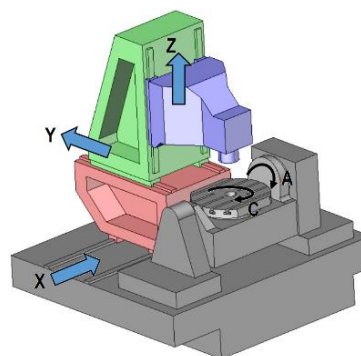


Fig. 1.2. Centru de prelucrare cu cinci axe.

Prelucrările prin frezare realizate pe mașinile-unelte CNC în trei axe se individualizează prin următoarele aspecte:

- sunt caracteristice pieselor volumice de formă complexă, la care pereții nu sunt drepecți;
- în operațiile intermediare, de degroșare, prelucrările la un anumit nivel al axei Z se pot realiza într-un singur plan (2D), dar traiectoriile nu sunt identice la trecerea în plane paralele succesive;
- în cazul prelucrărilor realizate într-un singur plan, traiectoriile nu reprezintă echidistante ale unei curbe caracteristice, ci sunt orientate după mai multe curbe alese convenabil în planul respectiv;
- în operațiile finale (fînisare) apar deplasări spațiale cu avans de lucru, în care apar în aceeași frază toate cele trei adrese geometrice de translație, X, Y, Z.

În cazul utilizării centrelor de prelucrare cu cinci axe comandate numeric, putem avea două situații: realizarea unor prelucrări continue în cinci axe (cazul I) sau realizarea unor prelucrări indexate în 3+1 sau 3+2 axe (cazul II).

Prelucrările prin frezare în cinci axe continue se individualizează prin:

- pe lângă axele de translație, în timpul mișcărilor cu avans de lucru sunt implicate în mișcare și două axe de rotație.

Prelucrările indexate în 3+1 sau 3+2 axe se individualizează prin:

- sunt prelucrări 3D, dar între operații au loc deplasări pe axele de rotație (rotiri ale piesei), pentru a se putea prelucra 3D alte zone ale piesei;
- aceste rotiri poartă numele de indexări și se realizează exclusiv în afara procesului de prelucrare;
- în funcție de numărul de axe de rotație care indexează, procedeul poartă numele de prelucrare indexată 3+1 sau 3+2;
- astfel, piesa poate fi prelucrată dintr-o singură prindere, ceea ce reduce mult timpii auxiliari, crescând productivitatea prelucrării;
- prelucrarea unei astfel de piese poate fi realizată și pe o mașină CNC cu numai 3 axe comandate numeric (X, Y, Z), dar sunt necesare mai multe prinderi, iar productivitatea este redusă.

Figura 1.3 ilustrează conceptul prelucrărilor indexate 3+2.

Astfel, prelucrare fețelor unui cub poate fi făcută dintr-o singură prindere, dacă se utilizează ca echipament tehnologic un centru de prelucrare prin frezare cu cinci axe comandate numeric.

Se observă modul în care variază poziția unghiulară a axelor de rotație B și C, pentru aducerea în poziție de lucru a fiecărei fețe (din cele cinci accesibile) ale cubului.

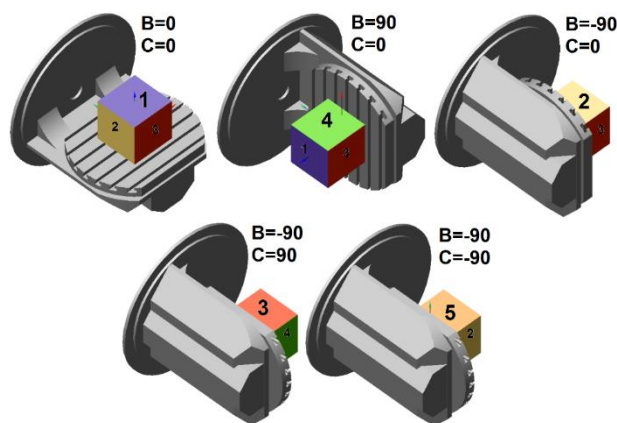


Fig. 1.3. Prelucrarea indexată 3+2 a fețelor unui cub.

În concluzie, mașinile-unelte CNC cu cinci axe comandate numeric, nu sunt utile doar pentru prelucrarea unor piese de mare complexitate (de exemplu palete de turbină), ci și pentru prelucrare unor piese simple, care ar necesita mai multe prinderi, dintr-o singură prindere.

Complexitatea prelucrărilor, atât pe centrele de prelucrare prin frezare cu trei axe, cât și pe cele cinci axe, face utilizarea tehnicilor de proiectare și fabricație asistată de calculator (CAD/CAM) obligatorie [4, 5]. Programarea manuală a acestor echipamente tehnologice, deși teoretic posibilă, este mult prea dificilă în contextul actual, în care complexitatea pieselor prelucrate (atât din punct de vedere al formei, cât și al preciziei dimensionale) este din ce în ce mai mare.

Programarea asistată de calculator presupune parcurgerea unor etape, care includ realizarea modelului geometric 3D al piesei de prelucrat, calculul parametrilor geometrici și tehnologici ai traiectoriilor relative sculă-piesă (pre-procesarea), generarea comenzilor pentru execuția piesei, frază cu frază, în fișierul Cutter Locations Data (procesarea) și generarea codului NC specific echipamentului CNC și a comenzilor către axele mașinii și sistemele de control (post-procesarea).

Faza de procesare include de cele mai multe ori simularea prelucrării. În funcție de complexitatea și performanțele pachetului software utilizat, simularea poate ilustra numai traiectoriile deplasărilor relative sculă-piesă, sau, în cazul unor sisteme CAM performante, poate reprezenta suplimentar și modul în care este îndepărtat materialul dintre semifabricat și piesa finită. Această din urmă variantă este din ce în ce mai des întâlnită.

Concluzionând, se poate afirma că simularea prelucrării, în cazul pachetelor software CAM moderne permit reprezentarea mișcărilor relative dintre scule și semifabricat, cu ilustrarea îndepărtării adaosului de prelucrare și verificarea potențialelor coliziuni dintre scule și semifabricat.

2. MODELUL CINEMATIC

Simularea prelucrărilor pe mașini-unelte cu comandă numerică, bazată pe reprezentarea deplasărilor relative dintre scule și semifabricat, cu verificarea existenței unor potențiale coliziuni între acestea, este eficientă (și suficientă) în cazul centrelor de prelucrare cu trei axe comandate numeric. În cazul centrelor de prelucrare cu cinci axe, situație este mai complicată, pentru că, datorită structurii cinematische mult mai complexe ale acestora (apar suplimentar și axele de rotație), coliziunile pot apărea nu doar între scule și semifabricat, ci și între elementele mobile ale mașinii (săni-ghidaje, ca suport al axelor de translație și platouri rotative, ca suport al axelor de translație). Consecințele acestor coliziuni sunt mult mai grave decât a coliziunilor sculă-piesă (care pot duce la ruperea unor scule sau deteriorare unor semifabricate), în acest caz putem vorbi despre chiar despre distrugerea unor elemente constructive ale mașinii, sau chiar a întregii mașini

Rezolvarea acestei probleme poate fi făcută prin utilizarea unui model geometric și cinematic al mașinii-unelte, care să fie utilizat în simulare [6-9]. Astfel, simularea va include și reprezentarea mișcărilor elementelor mobile ale mașinii și verificarea suplimentară a coliziunilor dintre scule, semifabricat și acestea, precum și verificarea coliziunilor dintre aceste elemente mobile.

Multe dintre pachetele software CAM pun la dispoziția utilizatorilor biblioteci de astfel de modele geometrice și cinematische, pentru principalele tipuri de centre de prelucrare prin frezare cu cinci axe.

Numărul mare de fabricanți de mașini-unelte cu comandă numerică prezenți pe plan mondial, precum și evoluția rapidă a tipurilor de mașini din portofoliul unui anumit producător, face necesară introducerea în pachetele software CAM a unor module care să permită utilizatorului să-și construiască singur modelul cinematic pentru un centru de prelucrare în cinci axe.

În cadrul companiei S.C. COMPA S.A., o echipă mixtă, formată din autorii prezentei lucrări și specialiști din cadrul firmei au încercat dezvoltarea unui astfel de model cinematic pentru centrul de prelucrare prin frezare CNC cu cinci axe, prezentat în figura 2.1.

Echipamentul prezintă o structură cinematică cu trei axe de translație (X, Y și Z) și două axe de rotație, una în jurul axei de translație Y (B) și una în jurul axei de translație Z (C).

Limitele deplasărilor liniare (pe axele de translație) și ale celor unghiulare (pe axele de rotație) ale echipamentului considerat sunt prezentate în tabelul 1.



Fig. 2.1. Centrul de prelucrare cu cinci axe pentru care s-a construit modelul cinematic.

Tabelul 1. Limitele deplasărilor pe axele mașinii

Axă	Valoare maximă	Valoare minimă
X	+261 mm	- 361 mm
Y	+261 mm	-261 mm
Z	0 mm	-462 mm
B	+111°	-51°
C	+360°	-360°

Etapile construcției modelului cinematic sunt prezentate în figura 2.2. Se observă că este necesară utilizarea atât a unui pachet software CAD (pentru realizarea modelului 3D al mașinii), cât și al unui pachet software CAM, care trebuie să includă, de asemenea un modul specializat pentru definirea cinematicii mașinii.

În urma parcurgerii etapelor din figura 2.2 se obține un fișier xml, care include toate informațiile geometrice și cinematische necesare pentru simularea mișcării elementelor mobile ale mașinii-unelte.

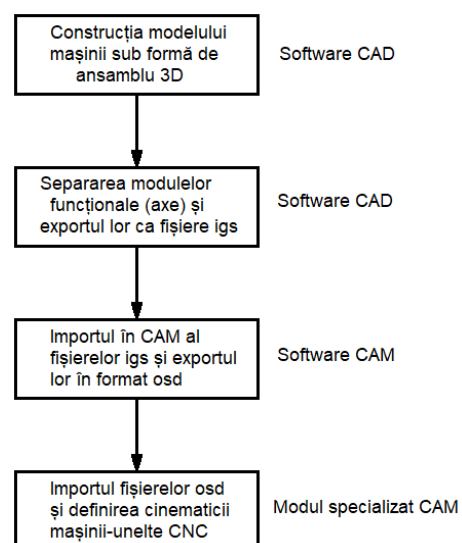


Fig. 2.2. Etapele construcției modelului cinematic.

Trebuie menționat faptul că nivelul de detaliere al modelului 3D al mașini-unelte nu trebuie să fie ridicat, dar trebuie să respecte dimensiunile reale ale elementelor componente ale mașinii. Este necesară realizarea unui compromis între reprezentarea cât mai precisă a mașinii (care va conduce la realizarea unui model de dimensiuni foarte mare, greu de manipulat) pe de o parte și selectarea doar a elementelor constructive cele mai reprezentative și cu cel mai mare potențial de coliziune (care va duce la realizarea unui model suplă, dar cu riscul de a nu identifica toate coliziunile între elementele mobile ale mașinii). În acest caz este foarte importantă utilizarea expertizei unor specialiști cu experiență în utilizarea centrelor de prelucrare prin frezare CNC cu cinci axe, în general, sau, dacă există, a unor specialiști în utilizarea mașinii-unelte pentru care se realizează modelul.

Modulele componente identificate și utilizate pentru construcția modelului cinematic al mașinii sunt prezentate în figurile 2.3-2.8.

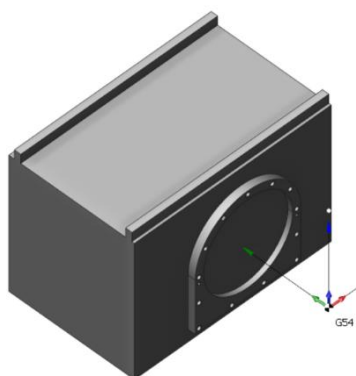


Fig. 2.3. Modulul batiu.

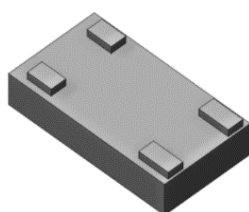


Fig. 2.4. Modulul axa X.

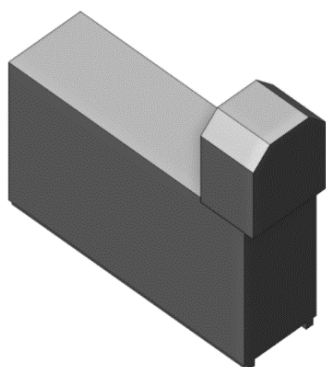


Fig. 2.5. Modulul axa Y.

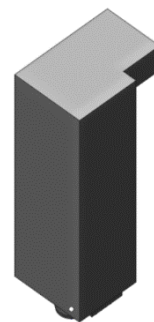


Fig. 2.6. Modulul axa Z.

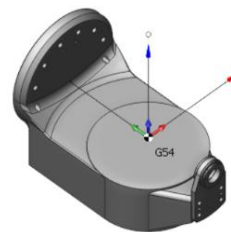


Fig. 2.7. Modulul axa B.

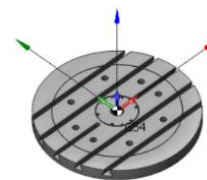


Fig. 2.8. Modulul axa C.

Prin compunerea celor șase module prezentate mai sus se obține modelul geometric al mașinii-unelte. Trebuie precizat însă că această compunere nu se realizează prin simpla înseriere a modulelor, ci ține cont și de ierarhiile dintre acestea. De exemplu, batiul reprezintă nivelul ierarhic 0, deoarece susține toate celelalte module. Axa X face parte din nivelul ierarhic 1, deoarece susține axele Y și Z. Axa Y face parte din nivelul ierarhic 2, susținând la rândul ei axa Z (nivel ierarhic 3). Pe lângă cele șase module amintite mai sus, este necesară definirea unor module de tip semifabricat și sculă.

Structura ierarhică a tuturor modulelor care alcătuiesc modelul cinematic al mașinii este prezentată în figura 2.9.

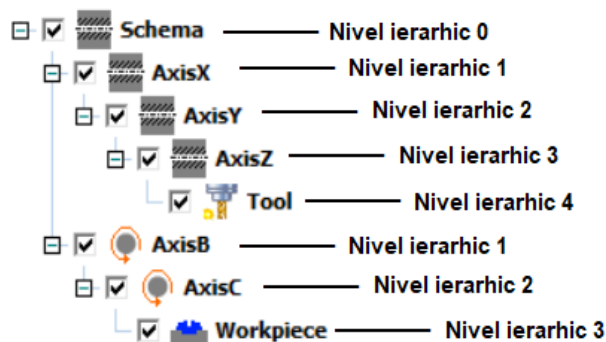


Fig. 2.9. Structura ierarhică a modelului cinematic.

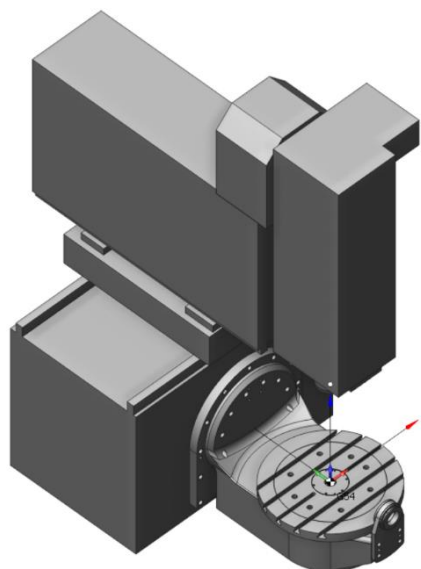


Fig. 2.10. Representarea grafică a modelului cinematic.

Prin compunerea tuturor modulelor amintite mai sus, cu respectarea relațiilor ierarhice dintre acestea, se obține modelul cinematic al centrului de prelucrare prin frezare CNC cu cinci axe prezentat în figura 2.10.

Pentru demonstrarea eficienței modelului realizat în identificarea coliziunilor care pot apărea în timpul realizării operațiilor de frezare pe mașina-unealtă, s-a simulat prelucrarea piesei prezentate în figura 2.11. Piesa este relativ simplă, dar necesită realizarea unor prelucrări indexate pentru a putea fi prelucrată dintr-o singură prindere pe mașină.

A fost de asemenea realizat și modelul 3D al elementului de fixare al piesei pe masa mașinii-unelte (menghină), pentru a putea fi identificate și coliziunile elementelor mobile cu acesta.

În figura 2.12 se observă că simularea procesului de prelucrare al piesei, fără utilizarea modelului cinematic al mașinii-unelte, indică absența coliziunilor dintre scula și semifabricat, respectiv dintre acestea și elementul de fixare (menghină).

În figura 2.13 este reprezentată aceeași poziție din timpul simulării prelucrării, de data aceasta fiind utilizat și modelul cinematic al mașinii. În figură se pot observa coliziunile dintre axa Z și menghină, precum și dintre axa Z și platoul rotativ al axei B.

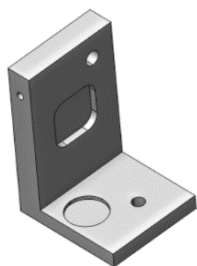


Fig. 2.11. Piesa test luată în considerare la simulare.

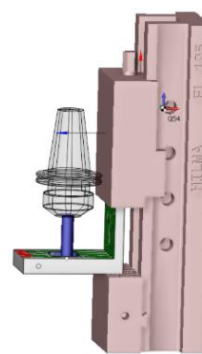


Fig. 2.12. Simulare fără modelul cinematic al mașinii (nu sunt identificate coliziuni)

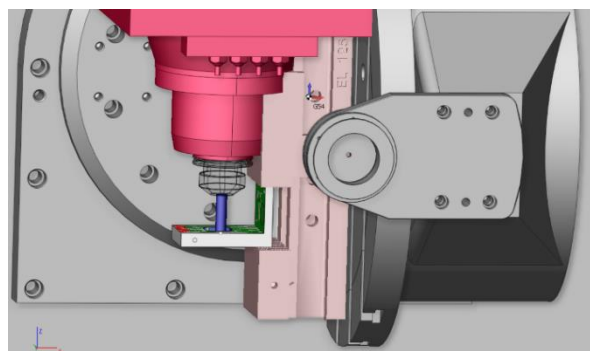


Fig. 2.13. Simulare cu modelul cinematic al mașinii (sunt identificate coliziuni între axa Z și menghină, precum și dintre axa Z și platoul rotativ al axei B)

3. CONCLUZII

Lucrarea prezintă etapele realizării unui model cinematic pentru un centru de prelucrare prin frezare CNC cu cinci axe. Modelul poate fi utilizat pentru simularea realistă a prelucrărilor pe mașina-unealtă, permițând identificarea și eliminarea coliziunilor nu doar între scule și semifabricat, ci și între acestea și elementele mobile ale mașinii (săni și platouri).

FINANȚARE

Cercetările prezentate în această lucrare au fost finanțate prin contractul de cercetare nr. 1/AXA1/1.1.1.A/18.05.2018, Cod SMIS 2014+:121359; ID:P_34_469, „Dezvoltarea departamentului de cercetare al societății COMPA SA și obținerea unor rezultate inovatoare în domeniul industriei auto”

Beneficiar proiect: COMPA SA, Sibiu, str. Henri Coandă 8 - Proiect co-finanțat din Fondul European de Dezvoltare Regională prin Programul Operațional Competitivitate 2014-2020.

Conținutul acestui material nu reprezintă în mod obligatoriu poziția oficială a Uniunii Europene sau a Guvernului României.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Budak, E., Ozturk, E., Tunc, L.T., Modeling and simulation of 5-axis milling processes, *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 58(1), 2009
- [2] Bohez, E. L. J., *Five-axis milling machine tool kinematic chain design and analysis*, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 42(4), 2002.
- [3] Moriwaki, T., *Multi-functional machine tool*, *CIRP Annals*, 57(2), 2008.
- [4] Xu, X.W., He, Q., *Striving for a total integration of CAD, CAPP, CAM and CNC*, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 20(2), 2004
- [5] Xu, X. W., Newman, S. T., *Making CNC machine tools more open, interoperable and intelligent—a review of the technologies*, *Computers in Industry*, 57(2), 2006.
- [6] Dubovska, R., Jambor, J., Majerik, J., *Implementation of CAD/CAM System CATIA V5 in Simulation of CNC Machining, Process*, *Procedia Engineering*, 69, 2014
- [7] Okafor, A.C., Ertekin, Y. M., *Derivation of machine tool error models and error compensation procedure for three axes vertical machining center using rigid body kinematics*, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 40(8), 2000.
- [8] Chicea, A. L., Breaz, R. E., Bologa, O., *Building 3D Geometric and Kinematic Models of Five-Axis Machine-Tools for Manufacturing Prosthetic Devices*, *Applied Mechanics and Materials*, 809-810, 2015.
- [9] Mureșan, G., Morar, L., Breaz, R.E., *Contributions Regarding the Use of a CAM Software Solution In Multi-Axes Machining*, *Acta Technica Napocensis, Series: Applied Mathematics and Mechanics*, 57(I), 2014, Cluj-Napoca, România.

Despre autori

Prof.dr.ing. **Radu-Eugen BREAZ**

Universitatea „Lucian Blaga”, Sibiu, România

Radu-Eugen Breaz este profesor la Universitatea “Lucian Blaga” din Sibiu. Este conducător de doctorat în domeniul Ingineriei Industriale. Domeniile sale de interes includ, printre altele, automatizarea proceselor de producție și mașinile-unelte cu comandă numerică.

Prof.dr.ing. **Sever-Gabriel RACZ**

Universitatea „Lucian Blaga”, Sibiu, România

Sever-Gabriel Racz este profesor la Universitatea “Lucian Blaga” din Sibiu și director al Departamentului de Mașini și Echipamente Industriale. Este conducător de doctorat în domeniul Ingineriei Industriale. Domeniile sale de interes includ, printre altele acționările hidraulice și proiectarea asistată de calculator.

Prof.dr.ing. **Valentin OLEKSIK**

Universitatea „Lucian Blaga”, Sibiu, România

Valentin Oleksik este profesor la Universitatea “Lucian Blaga” din Sibiu și prodecan al Facultății de Inginerie. Este conducător de doctorat în domeniul Ingineriei Industriale. Domeniile sale de interes includ, printre altele, procedeele neconvenționale de deformare plastică, deformarea incrementală și simularea numerică folosind metoda elementului finit.

Prof.dr.ing. **Octavian BOLOGA**

Universitatea „Lucian Blaga”, Sibiu, România

Octavian Bologa, președintele filialei AGIR Sibiu, este membru titular al Academiei de Științe Tehnice din România, președintele secției de Inginerie Mecanică. Este în prezent profesor emerit la Universitatea “Lucian Blaga” din Sibiu. Este conducător de doctorat în domeniul Ingineriei Industriale. Domeniile sale de interes includ, printre altele, deformarea plastică a materialelor, injectarea materialelor nemetalice și istoria tehnicii.

Prof.dr.ing. **Paul-Dan BRÎNDAȘU**

Universitatea „Lucian Blaga”, Sibiu, România

Paul Dan Brîndașu este în prezent profesor emerit la Universitatea Lucian Blaga din Sibiu. A fost șeful Catedrei de Tehnologia Construcțiilor de Mașini. Este conducător de doctorat în domeniul Ingineriei Industriale. Domeniile sale de interes includ, printre altele, proiectarea sculelor așchietoare, generarea suprafețelor complexe și proiectarea ștanțelor și matrițelor.