

5-tengelyes marógépek strukturális felépítésének leírása

Structural description of 5-axis milling machines

PÜSPÖKI János, Mesteroktató¹; Dr. NÉMETH István, Egyetemi docens²

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Gyártástudomány és -technológia Tanszék
1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3., T épület 4. emelet, Tel.: +36 (1) 463-2512, Fax: +36 (1) 463-3176, e-mail:

¹puspoki.janos@gpk.bme.hu, ²nemeth.istvan@gpk.bme.hu, web: www.manuf.bme.hu

Kivonat

A módszeres géptervezés és a moduláris tervezés nagy múltra tekint vissza a szerszámgépek tervezésénél is. A megoldási lehetőségek létrehozásának egyik fontos eleme a tervezendő berendezés megfelelően absztrakt leírása, amely a szerszámgépek esetén lehetnek strukturális felépítési, funkcionális és egyéb leírások. A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen korábban kidolgozásra került egy módszer a 3 lineáris tengellyel rendelkező marógépek strukturális leírására és parametrikus modellezésére. Ez a cikk ezen módszer forgó tengelyt is tartalmazó marógépek felépítésének a leírására történő kiterjesztését ismerteti példákkal szemlélítve. Az ismertetésre kerülő leíró paraméterek alapját képezhetik a későbbiekben 5-tengelyes marógépek, megmunkáló központok vagy akár lineáris és forgó tengelyeket tartalmazó célgépek tervezését támogató CAD/CAE alkalmazások fejlesztésének, de megfelelő komponenskönyvtárak alkalmazása esetén az Ipar4.0 különböző területein fontos szerepet betöltő digitális ikrek létrehozásának is.

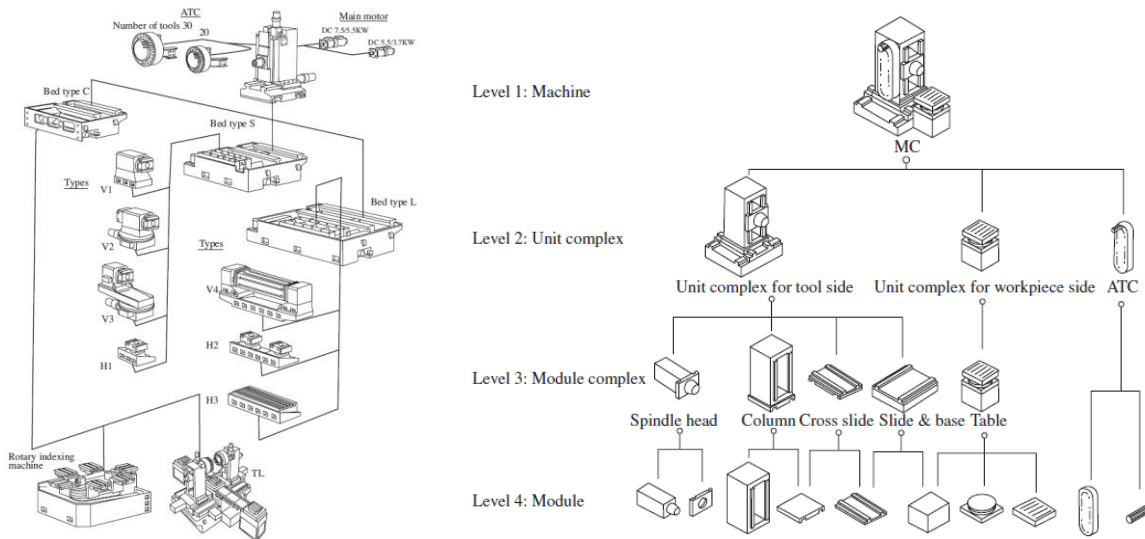
Kulcsszavak: Szerszámgépek, marógépek, megmunkálóközpontok, strukturális felépítési leírás, moduláris tervezés

Abstract

In the design of machine tools, systematic machine design and modular design have a long history. In systematic design procedures, one of the important elements for creating solution options is a properly abstract description of the equipment or product to be designed, which in the case of machine tools can be structural, functional and other descriptions. At the Budapest University of Technology and Economics, a method for describing the structural layout and parametric structural modelling of milling machines with 3 linear axes was developed. The paper describes the extension of this method to the description of the structural layout of milling machines with rotating axis, illustrated with examples. The descriptive parameters presented in the paper can form the basis for the development of CAD/CAE tools and applications supporting the design of 5-axis milling machines, machining centres, or even special purpose machines containing linear and rotary axes; moreover, if appropriate component libraries are available, they can also be used to create digital twins that play an important role in various areas of Industry 4.0.

1. BEVEZETÉS

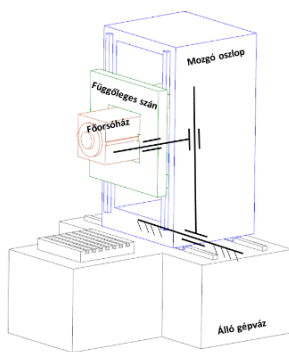
A módszeres géptervezésnek régóta egyik fontos módszere a moduláris vagy építőszekrény elv alapján történő tervezés. A mai felgyorsult világunkban ez a tervezési módszer egyre nagyobb hangsúlyt kap, amikor rövid fejlesztési határidők mellett, egyre több módosítást, termékváltozatot kell létrehozni minél kisebb költségek mellett, a növekvő ügyféligényeket kielégítve. Nincs ez másképpen a szerszámgépek tervezése, fejlesztése során sem (1. ábra) [1]. A szerszámgépek fejlesztése során is fontos, hogy a végső megoldást minél több megoldási változat megvizsgálásával válasszuk ki, lehetőleg a vevői igényeknek legjobban megfelelően. A termékváltozatok módszeres létrehozása ezt jól szolgálja, amihez nélkülözhetetlen a termék, esetünkben a szerszámgép különböző szempontok (funkcionális, strukturális, mechanikai, irányítástechnikai) szerinti leírása. A cikk az 5-tengelyes marógépek strukturális leírásának egy lehetséges módszerét ismerteti.



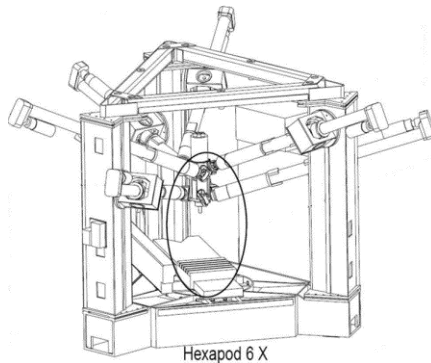
1. ábra Megmunkáló központ felépítési változatok létrehozása építőszekevény elv alapján [1]

2. MARÓGÉPEK STRUKTURÁLIS FELÉPÍTÉSE

Bár a forgácsoló szerszámgépek, így a marógépek felépítése is már viszonylag régen kialakult, de mindig van, egy-egy akár úttörőnek számító új felépítési változat, ami a hagyományos felépítésű szerszámgépek valamilyen korlátjának az átlépését célozza meg. A marógépek felépítését különböző szempontok szerint csoportosíthatjuk. A felépítési struktúrákat kinematikai szempontból három fő csoportba sorolhatjuk: (1) vannak az úgynevezett hagyományos, soros kinematikai felépítésű marógépek (2./a ábra); (2) az 1990-es évek közepén megjelenő párhuzamos kinematikai felépítésű marógépek (2./b ábra); (3) és a vegyes vagy hibrid kinematikai felépítésű marógépek (2./c ábra). A cikk a különböző szerszámgépek egy szűkebb csoportjának, a hagyományos soros kinematikai felépítésű marógépeknek a strukturális felépítésével és leírásával foglalkozik a következő fejezetekben.



a)



b) [15]

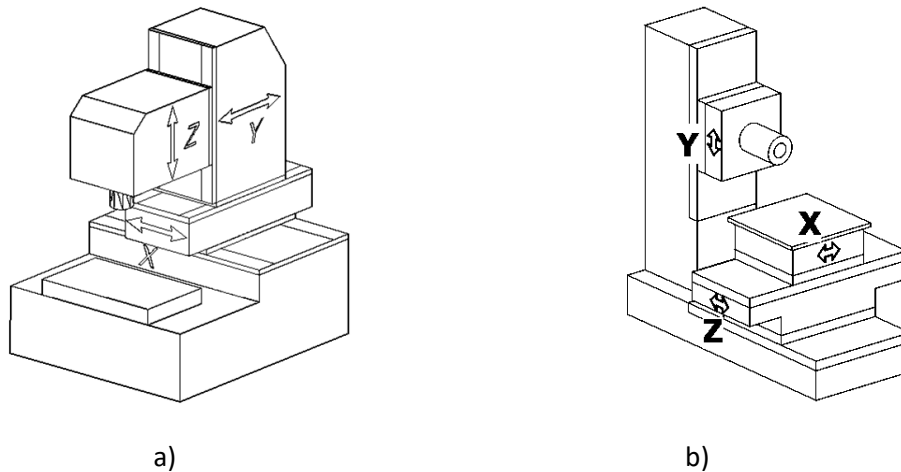


c) [14]

2. ábra Különböző kinematikai felépítésű marógépek

A hagyományos, soros kinematikai felépítésű marógépek felépítése elég jól ismert és legtöbbször jól bevált felépítési változatokat alkalmaznak a fejlesztők. Jellemző felépítési változat az álló asztalos kialakítás nagyméretű munkadarabokhoz (3.ábra/a), a kisebb méretű munkadarabok esetén a koordináta asztalos kialakítás (3.ábra/b), valamint lényeges, hogy vízszintes (3.ábra/b) vagy függőleges (3.ábra/a) főorsó elrendezése is lehet a marógép.

Egy-egy új, szokatlan kialakítás viszonylag ritkán lát napvilágot. Az újdonságokat a piaci szereplők mindig nagy érdeklődéssel, ugyanakkor először visszafogott gyakorlati alkalmazással fogadják. Ennek oka érthető, mert egy jó döntés jelentős piaci előnyökkel is járhat, viszont a szerszámgépek magas ára miatt egy elhamarkodott, rossz beruházási döntés esetén súlyos terheket eredményezhet.



3. ábra Álló asztalos és koordináta asztalos megmunkáló központ felépítési változatok

A marógépek felépítését, műszaki jellemzőit és ennél fogva felhasználhatóságukat lényegesen meghatározza a főbb szerkezeti elemek, mint a gépváz, állvány és szánok (együttesen nagyöntvények), geometriai kialakítása és elrendezése, a lineáris és körvezetékek, a hajtások fajtái és beépítésük, a marógép asztalának és főorsójának elhelyezése és iránya. Ha a marógépből megmunkáló központot szeretnénk építeni, akkor a szerszámcsereelő, forgácskihordó, munkadarab cserélő rendszerek is fontos részrendszerek, amelyek meghatározó szerepet töltenek be a marógép felépítésénél.

3. MARÓGÉPEK STRUKTURÁLIS FELÉPÍTÉSÉNEK LEÍRÁSI MÓDJAI

A különböző felépítésű forgácsoló szerszámgépek rendszerezésével, felépítési változatok leírásával, jellemzésével több hazai és külföldi szakirodalom és publikáció is foglalkozik [1],[3],[4],[5],[6],[7],[8],[9],[10]. Magyarországon széles körben három leíró módszer ismert a szerszámgépek strukturális felépítésének leírására [3],[5],[6],[9],[10],[11], amelyeket a [11] publikáció *mozgásmegosztás és rendűség szintjén történő leírásként* [8], [9], *a szomszéd elven alapuló leírásként* [3], [4], [5], [6] és *gráffal segített leírásként* [10] ismerteti. Nemzetközi szakirodalmak közül a [2] szakirodalom több gyakorlatban is használt és példákkal alátámasztott, nem csak strukturális leírásmódokat is tartalmaz.

A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Gyártástudomány és -technológia Tanszékén által kidolgozott 3 lineáris tengelyt tartalmazó marógépek felépítését leíró módszer a nagyöntvényeket (főorsóház/-szán, gépasztal, köztes szán és gépváz), mint a struktúra tagjait, a tagokat összekapcsoló vezetékeket, a marógép főorsóját és asztalát veszi figyelembe. Az egyes szánok különböző egymásra épülése, vezetékek különböző elrendezése és beépítése, valamint a főorsó és a szerszámgép asztal állása alapján nagy számosságú változatot különböztethetünk meg. Ezek között vannak gyakran alkalmazott felépítések és egyedi különleges kialakítások is. Ez a cikk ennek a leíró és modellező módszernek forgó tengelyt is tartalmazó 4- és 5-tengelyes marógép felépítési struktúrák leírására történő kibővítését ismerteti.

3.1. 3-tengelyes marógépek strukturális leírása

Hagyományos soros kinematikai felépítésű szerszámgépek esetén a szerszámgép egyes szánjai a gépvázra és egymásra épülve egy soros kinematikai láncként alkotják a szerszámgép felépítését. A tagok közül egy szerkezeti elem, az úgynevezett gépváz áll (rögzített a földhöz), amely a soros kinematikai láncban különböző helyen lehet. A nyitott soros kinematikai lánc egyik végén a munkadarab, a másik végén a szerszám található, amelyek között szükséges a relatív elmozdulást létrehozni. Ezt az elmozdulást a vezetékekkel összekapcsolt, egy szabadságfokú elemi mozgást végző tagok együttes mozgása valósítja meg. Három lineáris tengelyt tartalmazó marógépek esetén a kinematikai lánc 4 tagból épül fel, amelyeket egy-egy lineáris vezetékpár kapcsol össze. A négy tag a szerszámot hordozó főorsószán (F), a főorsó szánt hordozó szomszédja (FS), a munkadarabot hordozó asztal (A) és az asztalt hordozó szomszédja (AS). Ezeket összekapcsoló lineáris vezetékek a főorsószán vezetéke (FV), az asztalszán vezetéke (AV) és a kettő közötti köztes vezeték (KV), ahogyan a 4.ábra is szemlélteti. A kidolgozott leíró rendszer a 3-tengelyes marógépek ezen strukturális felépítésének leírására 10 hely- és irányparamétert használ, melyek a következők [3],[4]:

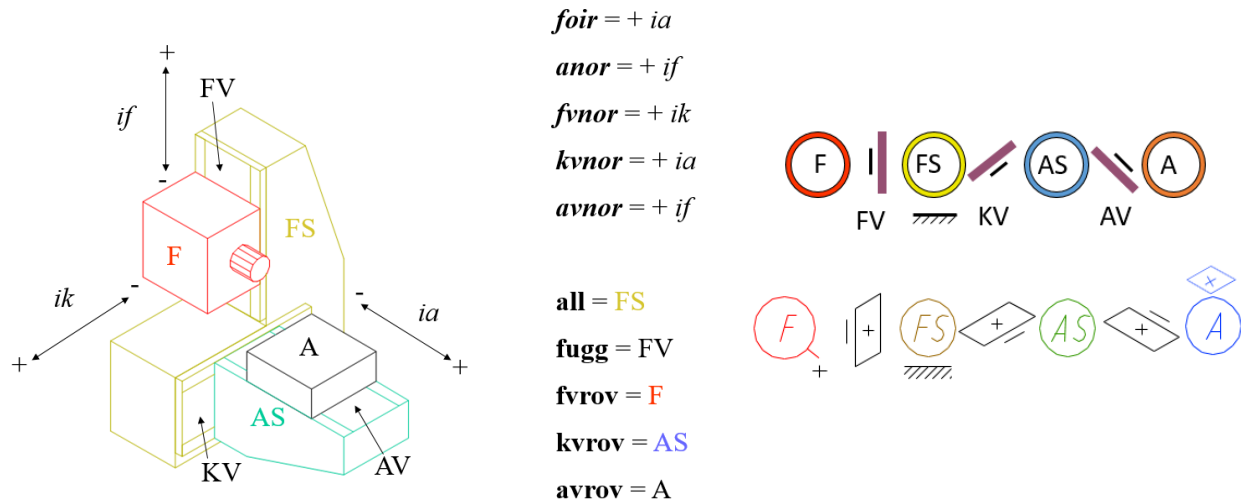
Helyparaméterek:

- álló tag helye (*all*)
- függőleges vezeték helye (*fugg*)
- főorsóvezeték rövid tagjának a helye (*fvrov*)
- középső vezeték rövid tagjának a helye (*kvrov*)
- asztal vezeték rövid tagjának a helye (*avrov*)

Írány paraméterek:

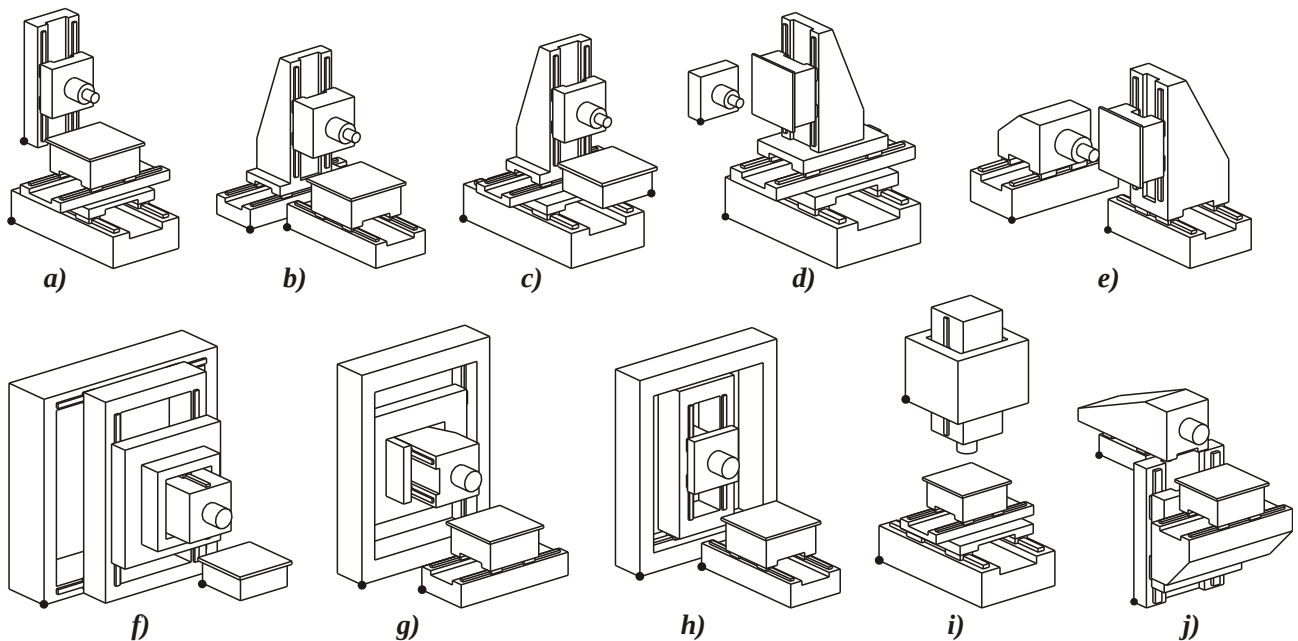
- főorsó irány (*foir*)
- asztalsík normális iránya (*anor*)
- főorsó vezeték síkjának iránya (*fynor*)
- középső vezeték síkjának iránya (*kvnor*)
- asztal vezeték síkjának iránya (*avnor*)

Ezeket a leíró paramétereket és azok egy sematikus ábrázolását szemlélteti a következő ábra (4.ábra) egy elméleti felépítési változathoz kapcsolódóan.



4. ábra 3-tengelyes marógépek strukturális felépítését leíró paraméterek szemléltetése

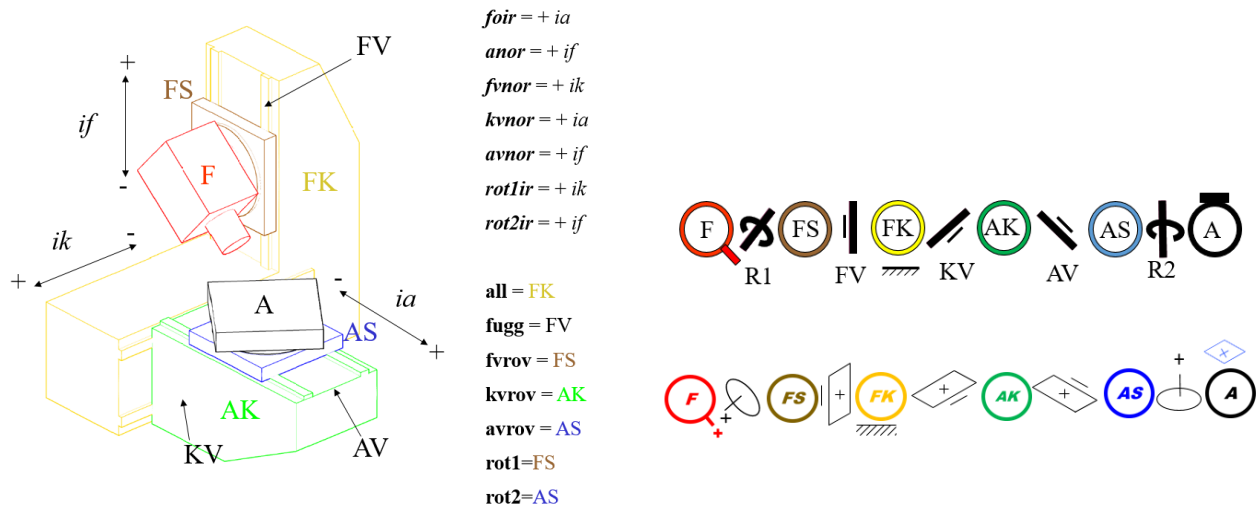
A hely- és irányparaméterekhez kifejlesztésre került egy építőelem könyvtár és egy szintetizáló eljárás, amelyek segítségével az absztrakt és látványos szemléltetés mellett a felépítések 3D modelljei is előállíthatók (5. ábra). Az elméletileg létrehozható több százezer felépítési változat közül bizonyos elvárásoknak (pl.: irányparaméterek, szimmetrikus kialakítás, nem billenő kialakítás) megfelelő változatok kiválasztásához különböző szűrési feltételek is kidolgozásra kerültek. Különböző szűrési feltételek alapján előállított modelleket szemléltet a következő ábra (5. ábra).



5. ábra Néhány kinematikai felépítésű marógép szemléltető 3D modellje [6]

3.2. Forgótengelyt is tartalmazó 5-tengelyes marógépek strukturális leírása

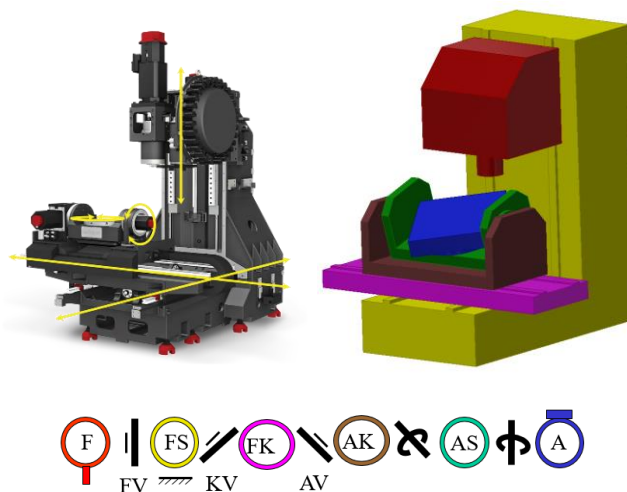
Az 5-tengelyes, két forgótengelyt is tartalmazó marógép struktúráknak a 3-tengelyes marógépek felépítésétől való eltérései miatt ki kell egészíteni a strukturális felépítés leírását. A kinematikai lánc 5-tengelyes marógépek esetén 2 taggal bővül (4-tengelyes esetben eggyel), amik az egyenesvonalú mozgást végző tagok mellett a forgó/elforduló mozgást végzik, valamint ezeknél a tagoknál az eddigi lineáris vezetékek mellett két forgó (4-tengelyes marógép esetén egy forgó) körvezeték is be kell építeni. Ennek megfelelően a leírást és jelképi jelölést két további taggal (FK – Főorsó felőli Köztes tag, AK – Asztal felőli Köztes tag) és két-két irány- (*rot1ir* és *rot2ir*) és helyparaméterrel (*rot1* és *rot2*) kell bővíteni (6. ábra).



6. ábra 5-tengelyes marógépek strukturális felépítését leíró paraméterek szemléltetése

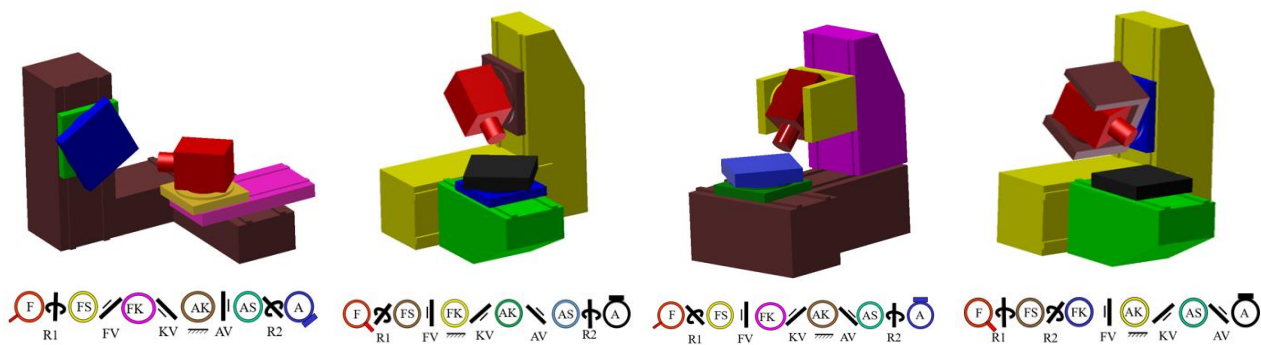
Az új irányparaméterek az egyes forgó tengelyek forgástengelyének az irányát adják meg. Mivel ezeknek a forgástengelyeknek az iránya alaphelyzetben valamelyik lineáris vezeték irányával párhuzamos vagy merőleges, így a lineáris vezetékek irányparamétereinél alkalmazott értékeket vehetik fel. A forgó tengelyek esetén a helyparaméterek azt adják meg, hogy melyik tagra vannak felszerelve, melyik taghoz képest végzik az elfordulást, így az eddigi helyparamétereknél használt értéket vehetik fel ezek is.

Az eddig használt 3D CAD komponens könyvtárát kiegészítve a forgótengelyek modellezéséhez szükséges elemekkel, a különböző strukturális felépítésű 5-tengelyes marógépek modelljei is előállíthatók. A 7. ábra egy általánosan használt forgó-billenő asztalos 5-tengelyes marógép vázát és annak 3D CAD modelljét szemlélteti a kibővített elemkönyvtár elemeit felhasználva, valamint a felépítési struktúra szimbolikus leírását.



7. ábra Forgó-billenő asztalos 5-tengelyes marógép [13] felépítése és szimbolikus leírása

A következő ábra (8. ábra) a továbbfejlesztett leírás alkalmazását szemlélteti néhány felépítési változat esetén a 3D CAD modell alatt a leíró paraméterek sematikus ábrázolásával.



8. ábra Különböző felépítésű 5-tengelyes marógépek és sematikus leírásuk

4. ÖSSZEGZÉS

A 3-tengelyes marógépek strukturális leírásának és szintézises eljárással történő parametrikus 3D-s CAD modelljeik előállításának az 5-tengelyes marógépekre történő kiterjesztése az egyre jobban terjedő 5-tengelyes megmunkáló központok fejlesztésén túl az ipar számos területén egyre jobban megjelenő rugalmas gyártást biztosító elektromechanikus aktuátorokból (lineáris egységek és forgó tengelyek) épített célgépek esetén még jelentősebbnek ígérkezik. A módszer további bővítéssel akár több kinematikai láncot is tartalmazó célgépek esetén is használható lehet. Elektromechanikus aktuátorokat tartalmazó megfelelő komponens könyvtárakat fejlesztve [12] akár a célgépek digitális ikermmodelljeit létrehozó alkalmazások fejlesztésénél is nagy gyakorlati használhatósága várható a bemutatott leíró módszernek.

IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] YOSIMI ITO: Modular Design for Machine Tools, Mc Graw Hill, New York, 2008 (ISBN 978-0-07-149660-5)
- [2] G.Pahl, W. Beitz: A géptervezés elmélete és gyakorlata, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1981 (ISBN 963 10 3796 7)
- [3] Lipóth A.: Megmunkáló központ konstrukciós változatok módszeres előállítása és értékelése (Kandidátusi értekezés), Budapest, 1993
- [4] I. Németh: A CAD Tool for the Preliminary Design of 3-axis Machine Tools: Synthesis, Analysis and Optimisation, PhD disszertáció, Katholieke Universiteit Leuven, 2003.
- [5] István Németh, Paul Fiset, Hendrik Van Brussel: Conceptual design of 3-axis machine tools, CIRP Journal of Manufacturing Systems, Vol. 30, No. 3, pp. 62-71., 2000
- [6] István Németh, András Lipóth, Hendrik Van Brussel: Preliminary design of 3-axes machine tools: synthesis, analysis and optimisation, Proc. 6th Int. Conf. on Computer-Aided Industrial Design & Conceptual Design – CAID&CD' 2005 , pp. 454-459. May 29 – June 1, 2005, Delft, 2005
- [7] Németh I., Püspöki J.: Szerszámgépek felépítési változatainak tervezése mechatronikai tervező rendszer keretében, GÉP LIV.(10-11), 2003.
- [8] Dr. Tajnaőfi J.: Mechanizmusok származtatás elméletének alapjai és hatása a kreatív gondolkodásra, Akadémiai Doktori értekezés, Miskolc, 1991.
- [9] Dr. Tajnaőfi J.: Szerszámgéptervezés II. (Strukturaképzések), Nemzeti Tankönyvkiadó, 1993.
- [10] Takács Gy.: Szerszámgépek strukturális tervezése grafikus adatbázisokkal, Egyetemi doktori értekezés, Miskolc, 1996.
- [11] Kiss R., Takács Gy.: Szerszámgép struktúrák leírására alkalmas módszerekvizsgálata, Multidiszciplináris tudományok, 6. kötet, 2016., Miskolc, pp. 67-75., ISSN 2062-9737
- [12] Püspöki J., Zsóka L., Dr. Németh I.: Virtuális beüzemelés támogatása komponens könyvtárak és modell konfigurátor alkalmazásával, XXVIII. Nemzetközi Gépészeti Konferencia – OGÉT 2020, p.166-169., ISSN 2668-9685, 2020.
- [13] <https://grintech.hu/kf3500-5-tengelyes-fuggoleges-megmunkalo-kozpont/>
- [14] M.Weck, D. Staimer: Parallel Kinematic Machine Tools – Current State and Future Potentials, CIRP Annals - Manufacturing Technology, Volume 51, Issue 2, 2002, Pages 671-683
- [15] R. Neugebauer, F. Wieland, M. Schwaar, C. Hochmuth : Experiences with a Hexapod-Based Machine Tool, Parallel Kinematic Machines (C. R. BoërL. Molinari-TosattiK. S. Smith, Springer,-Verlag London, 1999.), pp 313-326