

SZERSZÁMGÉP STRUKTÚRÁK LEÍRÁSÁRA ALKALMAS MÓDSZEREK VIZSGÁLATA

Kiss Róbert¹, Takács György²

¹hallgató, e-mail: kiss.robort94@indamail.hu

²intézeti tanszékvezető, egyetemi docens, e-mail: takacs.gyorgy@uni-miskolc.hu

Miskolci Egyetem, Szerszámgépezési és Mechatronikai Intézet,

Szerszámgépek Intézeti Tanszéke

3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros

Összefoglalás

Jelen cikk célja a soros és párhuzamos kinematikájú megmunkáló központok leírására alkalmas módszerek elemzése. Ezeknek fontos szerepük van a szerszámgépek vizsgálata során, mivel tervezéskor a struktúra egyenlettel írhatóak le a különféle szerszámgép változatok. További érv ennek a területnek a fontossága mellett, hogy a szerszámgépek legfontosabb részegységeit, a részegységek gyártására szakosodott cégektől meg lehet venni és a szerszámgépeket különböző elvek alkalmazásával össze lehet építeni (pl. építőszekrény elv). Emiatt a tervezési fázis legfontosabb része ma már a struktúra változatok képzése, amihez a struktúra leírási módszerek adják a leghatékonyabb segítséget. Napjainkban a szerszámgéptervezők főként ezzel a területtel foglalkoznak.

Kulcsszavak: szerszámgép, módszeres géptervezés, SKM, PKM, HKM

Abstract

The objective of this paper is to describe suitable methods for the serial and parallel kinematics machining centres. These have an important role in the examination of the machine, since the structure equation of different varieties of machine tools may already be established during the period of design. An additional argument is that, the main components can be purchased from the manufacturers specialized on manufacturing such units which the structures can be built of by certain principles, such as the modular principle. For this reason, the most important part of the design process is now to reveal new varieties of structures with the application of methods of delineation of such structures. Nowadays, the machine tool constructors is mainly engaged in this area.

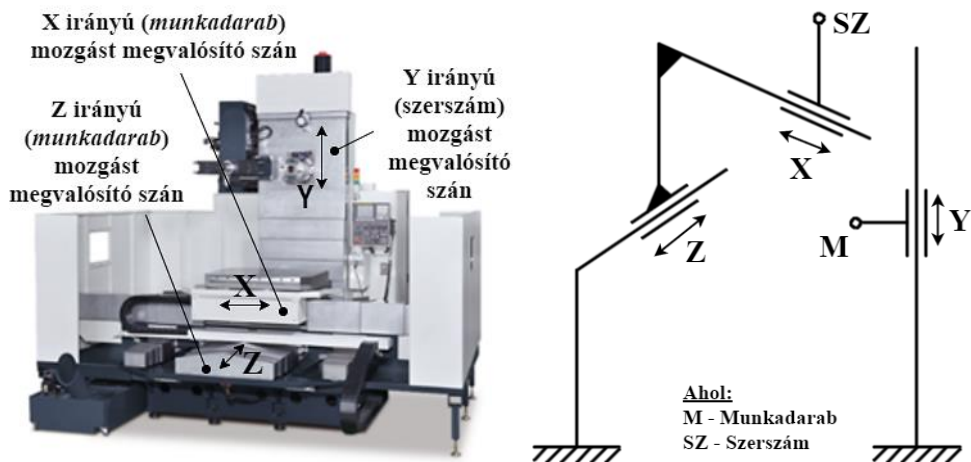
Keywords: machine tool, methodical design, SKM, PKM, HKM

1. Bevezetés

Alapvetően két egymástól eltérő szerszámgép felépítést különböztethetünk meg, ezek a soros-, és párhuzamos gépstruktúrák, de léteznek hibrid felépítésű (*Hybrid Kinematics Machine tools*) szerszámgépek is, amelyek az előbbiekből kombinációjából épülnek fel. Az ilyen jellegű szerszámgépek leírására különféle, struktúra változatok feltárására és leírására alkalmas módszereket dolgoztak ki. A cikkben az ismert módszerek bemutatása található, amely során az [1], [3], [4] és [5] publikációkban található megoldások vizsgálata és értékelése az elsődleges cél.

2. Soros felépítésű szerszámgépek - SKM³

Soros felépítésű megmunkáló központok struktúráját vizsgálva, a gép kinematikája hasonló egy lánc felépítéséhez, azaz a felépítő elemek vagy modulok közvetlenül egymáshoz csatlakoznak, ezáltal soros elrendezésű lesz a felépítés (**1. ábra**). A kinematikai lánc általában két részkinematikai láncból épül fel. Az egyik részkinematikai lánc végén a szerszám, a másikon a munkadarab helyezkedik el. Az egyes építőelemek egymásra épülésének eredményeként kapjuk meg a különböző felépítésű (*struktúrájú*) szerszámgépeket.



1. ábra. Soros felépítésű megmunkáló központ és kinematikai modellje

3. Párhuzamos felépítésű szerszámgépek - PKM⁴

A párhuzamos kinematikájú megmunkáló központok építése viszonylag újszerű alkalmazás a szerszámgépek területén, amelynek jelentősége azért van, mert bizonyos előnyöket képesek kihasználni, a soros felépítéshez képest. Ilyenek például a nagy forgácsolási-, gyorsjárat- és előtoló sebességek, valamint a dinamikus merevségnek köszönhető pontos pályakövetés.

Felépítését nézve, a gépvázhoz csuklókkal rögzített aktuátorok, egy közös platformhoz csatlakoznak, és összehangolt egyidejű mozgásaikkal hozzák létre a szerszám és a munkadarab közötti relatív mozgást.

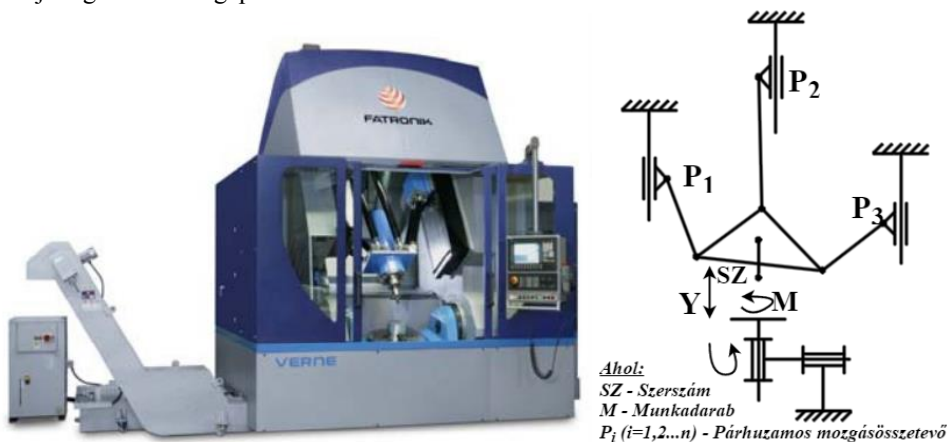
Ennek a felépítésnek a legfőbb hátrányai, hogy a gép alapterületéhez képest kicsi a hasznos munkatér mérete, szingularitások (*önütközések*) és holtterek fordulhatnak elő a munkatérben; a gép kalibrálása összetett; illetve működése bonyolult (*lineáris interpolációhoz is 5-6D*), amihez drága vezérlő berendezés szükséges.

A **2. ábra** szerinti megmunkáló központ leírására alkalmatlan a soros leíráson alapuló módszer, ezért ezeket a struktúrákat gráfokkal vagy kapcsolati mátrix segítségével lehet jól

³ SKM – Soros Kinematikájú Megmunkáló gépek

⁴ PKM – Párhuzamos Kinematikájú Megmunkáló gépek

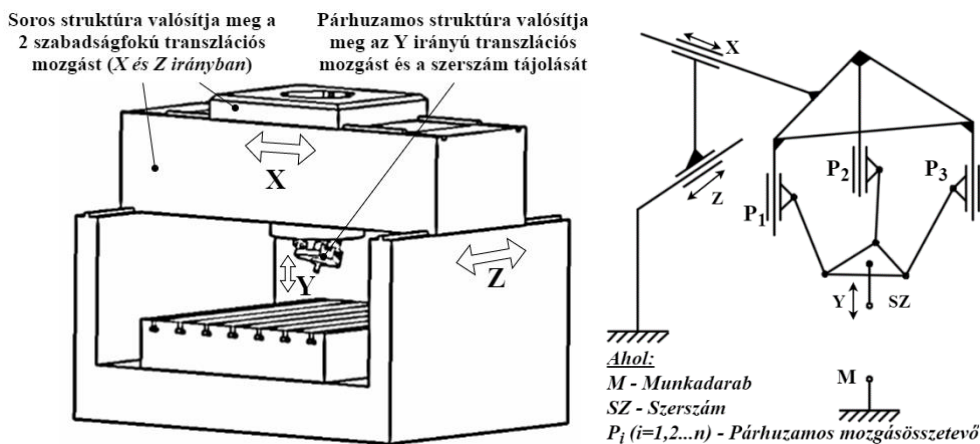
definiálni. A későbbiekben tárgyalt gráffal történő leírási módszer kiválóan alkalmas az ilyen jellegű szerszámgep struktúrák leírására is.



2. ábra. 5-tengelyes PKM-re példa, és kinematikai modellje [2]

4. Hibrid felépítésű szerszámgépek - HKM⁵

A hibrid felépítésű gépek jellegzetessége, hogy a soros-, és párhuzamos struktúrák kombinációjából épülnek fel, abból a célból, hogy kihasználják a két felépítés előnyös tulajdonságait.



3. ábra. Hibrid felépítésű megmunkáló gépek vázlatja és kinematikai modellje [7]

A robottechnikában elterjedt ezeknek a hibrid struktúráknak a használata, de például a szerszámgépek területéről a 3. ábra szemléltet egy többtengelyes megmunkáló rendszert. Ebben az esetben soros struktúra valósítja meg a két szabadságfokú translációs mozgást (X, Z irányban), majd ezt követi a párhuzamos struktúra, ami az Y irányú translációs

⁵ HKM – Hibrid Kinematikájú Megmunkáló gépek

mozgás mellett a szerszám tájolását is végzi a párhuzamos mozgásösszetevőknek köszönhetően.

5. Szerszám gép struktúrák leírására alkalmas módszerek

A fejezet az ismert struktúra leírásokat tartalmazza, melyek a mozgásmegosztás és rendűség szintjén történő leírás [4]; a szomszéd elven alapuló leírás [1], [3] és a gráffal segített leírási módszer [5]. Mind a három alkalmas soros felépítésű szerszám gép struktúra változatok feltárására és leírására, de a párhuzamos vagy esetleg elágazó struktúrájú szerszám gépek vizsgálatára ezek közül, csak a gráffal történő leírás alkalmazható.

Külföldi irodalmak kutatása során a YOSHIMI [6] által kidolgozott módszer volt nagyon hasonló a gráffal történő leírási módszerhez, ezáltal ez is alkalmas az elágazó-, és párhuzamos kinematikájú megmunkáló központok leírására. Jelen cikkben nem kerül tárgyalásra, mivel most a magyar irodalmak kutatása és elemzése a cél.

A továbbiakban, egy kiválasztott megmunkáló-központra, konkrétan egy soros felépítésű szerszám gépre (**1. ábra**) vonatkozóan kerül bemutatásra a struktúra egyenlet a korábban említett három módszer segítségével. Összehasonlító jelleggel láthatóak az egyes struktúra egyenletek, amelyeknél megfigyelhető a kód felépítése, bonyolultsága és a figyelembe vett különféle szerszám gép jellemzők.

Az **1. ábra** egy vízszintes orsójú 3D-s megmunkáló központot ábrázol, amely esetében két irányban a munkadarab, és egy irányban a szerszám végzi a mellékmozgást. A munkaasztal vízszintes síkban mozog.

5.1. Mozgásmegosztás és rendűség módszere

A soros kinematikájú szerszám gépek alapelvét TAJNAFŐI [4] a Miskolci Egyetem Szerszám gépek Tanszékén fogalmazta meg. Minden ilyen jellegű struktúra, céltudatosan egymásra épített, egyenként elemi mozgást megvalósító tagok lánc, ahol az egyik elem a talajon rögzített, továbbá az egyik szélső eleme a szerszámot, a másik pedig a munkadarabot hordozza. Struktúraanalízisekhez hasznos módszer, mely az elméletileg lehetséges gépstruktúrák kombinatorikai úton történő feltárására és elemzésére használható jól. Bármely soros szerszám gép struktúrájának leírására alkalmas univerzális eszköz.

Az egymásra épülő gépépítő elemeket indexelt betűkkel jelöljük, és a koordináta rendszer Z tengelye minden esetben párhuzamos a főorsóval.

Az **1. ábra** szerinti szerszám gépre alkalmazva a módszert, a következő eredményre jutunk:

- A szerszám végzi az Y irányú mozgást, így a rendűsége: 1 (maximális érték), mivel a szerszám részkinematikai láncának hossza: $1 \rightarrow Y_{s1}$.
- A munkadarab először X, majd Z irányban képes elmozdulást végezni, a rendűség meghatározásakor ennek megfelelően az X az első, Z pedig a második, illetve a munkadarab részkinematikai láncának hossza: $2 \rightarrow X_{m1} Z_{m2}$.

A fenti gondolatmenet eredményeként az **1. ábra** szerinti szerszám gép struktúráját leíró egyenlet, ami a következőképpen alakul:

$$X_{m1} Y_{s1} Z_{m2} \quad (1)$$

$$X(m,1) Y(s,1) Z(m,2) \quad (2)$$

5.2. Szomszéd módszer

Ezt a módszert LIPÓTH [1] dolgozta ki. A leíró egyenletben tíz paraméter segítségével képes minőségi szempontokat is figyelembe venni, a változatok feltárása során. Az alfejezet címe is erre utal, mivel a leíráshoz az építőelemek szomszédi kapcsolatát használja fel. Ennél a módszernél a szerszámgépek kinematikája kizárólag négy tag nyílt láncából épülhet fel, ahol a négy tag: F (*főrsó*), FS (*főrsó szomszédja*), AS (*asztal szomszédja*), A (*asztal*). Ezek alapján látható az elemek közötti szomszédi kapcsolat. Továbbá a három szánelmozdulást megvalósító vezeték irányának megadása történhet a következők szerint: FV (*felső vezeték*), KV (*középső vezeték*), AV (*alsó vezeték*).

1. táblázat. A módszer jelölésrendszere

Paraméterek	Értéke lehet				Magyarázat
<i>nem-mozog</i>	F	FS	AS	A	Az a tag, amelyik helyzete rögzített.
<i>orso-tengely</i>	FV	KV	AV		A főrsó tengelye melyik vezetékkel párhuzamos.
<i>fel-le</i>	FV	KV	AV		Függőleges vezetékirány meghatározása.
<i>asztal-norm</i>	FV	KV	AV		A munkasztal normálisa melyik vezetékkel párhuzamos.
<i>fv-norm</i>	KV		AV		A vezeték síkok normálisainak meghatározása.
<i>kv-norm</i>	FV		AV		
<i>av-norm</i>	FV		KV		
<i>fv-rovid</i>	F		FS		Az egyes vezetékelnél melyik elemen van elhelyezve a rövid vezeték fél.
<i>kv-rovid</i>	AS		FS		
<i>av-rovid</i>	AS		A		

A módszer alkalmazása során a feltáráskor vizsgált megmunkáló központok alapgépe nem hordoz szerszám-, illetve paletta cserélőt, és a szerszám a munkadarabhoz képest csak három egyenes vonalú mozgást végez, tehát nem foglalkozik a valóságos gépek nagy részénél alkalmazott forgóasztalokkal és billenő fejekkel.

Az egyenes vonalú mozgásokat vezetékek biztosítják, amelyek két-két tagot kapcsolnak össze. Ezáltal elmondható, hogy a megmunkáló központokat három vezetékkel összekapcsolt, négy tag nyílt lánc építi fel, ahol a lánc egyik végén a szerszámot hordozó főrsó szán, a másikon pedig a munkadarabot hordozó asztal helyezkedik el.

Méréstechnikai okokból a három mozgásirány egymásra merőleges, és az egyik irány függőleges. Mozgásirányokhoz illesztett derékszögű koordináta rendszerhez kapcsolható a megmunkáló központ minden fontos iránya. A főrsó forgástengelye mindig párhuzamos, míg az asztalsík normálisa merőleges valamelyik mozgásiránnyal.

Az 1. táblázat alapján a fenti szerszám gép (1. ábra) struktúra egyenlete a következő:

$$FS KV FV FV KV FV FV F AS A \quad (3)$$

5.3. Gráffal történő leírási módszer

Ezt a leírási módszert TAKÁCS [5] dolgozta ki. A módszer újszerűsége, hogy párhuzamos vagy elágazó struktúra leírására is alkalmazható a soros felépítés mellett. A használat során törekedni kell arra, hogy a struktúrán belüli funkciójuktól független tagok alkalmasak legyenek az egységek kölcsönös térbeli helyük leírására. Ennek érdekében a kód kiterjesztésére volt szükség, pontosabban a számítógépes automatizálhatóság elősegítésére, az elemek kapcsolódásának megadására, az adott elemstruktúrán belüli szerepétől függetlenül.

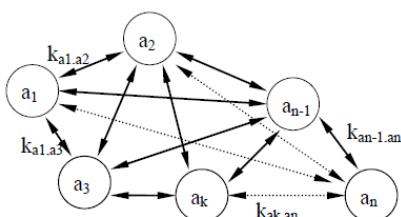
Kódrendszer ismertetése:

$$O_{m,s,i,\vec{k}} \quad (4)$$

Ahol: O – rendszeren belüli funkcióját meghatározó kifejezés első betűje az objektumnak
 i – rendűség
 m, s – munkadarab vagy a szerszám kinematikai láncában szerepel az objektum
 \vec{k} – objektum kapcsolatait leíró lista vektor

Gépstruktúrák gráffal történő leírása

Ha a gépstruktúrákat előre definiált elemekből kívánjuk megvalósítani, rögzítenünk kell azon halmaz elemeit, amelyeket figyelembe kívánunk venni a változatok képzése során. És definiálni kell, hogyan kapcsolódnak ez egyes elemek (*atomok*), a halmaz többi elemeivel (*atomjával*).



4. ábra. Gépstruktúrát leíró gráf

Így eljuthatunk egy teljes gráfhoz, amelyet a **4. ábra** szemléltet, és a hozzátartozó jelölések:
 a_i ($i=1, 2, \dots, n$) – a gráf szögpontjai, a szerszámgép építőelemeinek feleltethetőek meg
 $k_{ak, an}$ – két szögpontot (*indexben meghatározott*) összekötő éle a gráfnak, amely a két építőelem közötti kölcsönös kapcsolatot adja meg

Az egyes gépváltozatok a teljes gráf részgráfjaiból jönnek létre.

Egy n szögpontú gráf éleinek száma (*maximálisan*), ha:

- nem lehet párhuzamos él két szögpont között
- mindegyik össze van kötve egymással

$$m = \frac{n \cdot (n - 3)}{2} + n \quad (5)$$

Az atomok közötti kapcsolódás az adjacencia-mátrix segítségével írható le:

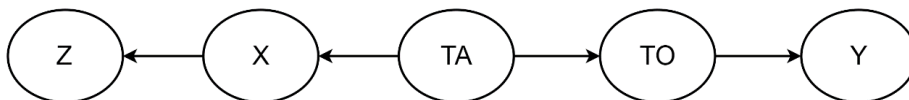
A mátrix jellemzője, hogy az elemek értéke 0 vagy 1, attól függően, hogy létezik-e az adott elem. Főátlóban nincsenek elemek, nem is lenne értelme, hiszen ezek az elemek az egyes részegységek saját magukkal való kapcsolatát írják le. A mátrix szimmetrikus a főátlóra, mivel az egyes elemek között a kapcsolat kölcsönös és kétirányú. A K gráfnak sok adjacencia mátrixa lehet, mivel K sorainak és oszlopainak permutációja mindig más mátrixot határoz meg, de tartalmát tekintve nem változtat semmin.

$$K = \begin{bmatrix} 0 & k_{a_1, a_2} & \cdot & \cdot & k_{a_1, a_n} \\ k_{a_2, a_1} & 0 & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & 0 & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & 0 & \cdot \\ k_{a_n, a_1} & \cdot & \cdot & \cdot & 0 \end{bmatrix}$$

5. ábra. Kapcsolódási mátrix

A 1. ábra szerinti szerszámgép leírása ezzel a módszerrel:

TA tartóelem kapcsolódásának definiálása: $[0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1] = 34 \Rightarrow TA(m, 0, 34)$
 TO főorsó tartóelem kapcsolódásának definiálása: $[0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0] = 4 \Rightarrow TO(s, 0, 4)$
 X szán kapcsolódásának definiálása: $[0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0] = 16 \Rightarrow X(m, 1, 16)$
 Y szán kapcsolódásának definiálása: $[0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1] = 32 \Rightarrow Y(s, 1, 32)$
 Z szán kapcsolódásának definiálása: $[0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0] = 16 \Rightarrow Z(m, 2, 16)$



6. ábra. Az 1. ábra szerinti szerszámgépet leíró gráf

A következő táblázat tartalmazza az adjacencia (leíró) mátrixot, amely szemlélteti az építőelemek, modulok közötti kapcsolatokat.

2. táblázat. Adjacencia mátrix

	TA	TO	X	Y	Z
TA	-	1	1	0	0
TO	1	-	0	1	0
X	1	0	-	0	1
Y	0	1	0	-	0
Z	0	0	1	0	-

A fentiek segítségével felírható az 1. ábra szerinti szerszámgép struktúráját leíró egyenlet:

$$TA(m, 0, 34) \ X(m, 1, 16) \ Z(m, 2, 16) \ TO(s, 0, 4) \ Y(s, 1, 32) \quad (6)$$

6. Leíró módszerek értékelése

3. táblázat. Módszerek jellemzőinek összefoglalása

Mozgásmegosztás és rendűség módszere	Szomszéd módszer	Gráffal történő leírási módszer
2 paramétert vesz figyelembe, koordináta irányokhoz rendelt paraméterek (<i>indexben</i>).	10 paramétert vesz figyelembe, amelyek egyenrangúak és nincs rögzített paraméter.	Tajnafoi által használt kódrendszer kibővítése egy \vec{k} vektorral, amely az objektum kapcsolatait leíró lista vektor.
Minőségi szempontokat nem vesz figyelembe (<i>mozgásmegosztás és rendűség szintje</i>).	Minőségi szempontokat képes figyelembe venni (<i>pl. munkatérre vonatkozó korlátozások</i>).	Programozott szabálykészlet segítségével válogatja ki a rossz megoldásokat, a soros és párhuzamos struktúra leírásra kapcsolati mátrixot és gráfot használ.
Összes változat száma 48 db (<i>megmunkáló központok esetén</i>).	Összes változat száma 6912 db (<i>megmunkáló központok esetén</i>).	Összes változat száma 342 darab (<i>köszörűgép család vizsgálata esetén</i>).
Számítógéppel nem automatizált.	Számítógéppel segített (<i>AutoCAD+AutoLISP</i>).	Számítógéppel segített vizsgálat (<i>AutoCAD + Visual Basic</i>).
Soros kinematikai lánc.	Soros kinematikai lánc.	Soros + elágazó (<i>párhuzamos</i>) kinematikai lánc.

A mozgásmegosztás és rendűség módszerénél látható, hogy két paraméter figyelembevételével, a megmunkáló központokat, a mozgásmegosztás és rendűség szintjén vizsgálja. Csak soros kinematikai láncú struktúrák leírására alkalmas. 3 tengelyes megmunkáló központok esetén, vízszintes és függőleges orsóelrendezést figyelembe véve 48 darab változat képezhető.

A szomszéd módszer már több szempontot képes figyelembe venni, a leíró egyenlet jóval bonyolultabb (*tíz paraméter*), ezáltal képes minőségi szempontokat is figyelembe venni a változatok feltárása során. Az egyes paraméterek egyenrangúak, a változatok nincsenek koordináta irányokhoz rendelve. 3 tengelyes megmunkáló központok vizsgálata során 6912 darab változat képezhető.

A gráffal történő leírási módszer soros, elágazó vagy párhuzamos struktúrájú szerszámgépekre is használható, a soros struktúrájú szerszámgépek mellett. A többihez képest a módszer újszerűsége a leíró gráfban, és a kapcsolati mátrixban mutatkozik meg. A gyakorlatban köszörűgép család kidolgozására lett alkalmazva a módszer, ami esetében 342 darab változat képezhető, de ilyen formában nem hasonlítható össze az előbbi módszerekkel, mert azok megmunkáló központokra lettek kidolgozva.

7. Összefoglalás

A cikk a különböző szerszám gép struktúrákról, és azok leírására szolgáló módszerek vizsgálatáról szól. Egy 3 tengelyes megmunkáló központ esetében bemutatásra kerültek a különféle leíró módszerek jellemzői, jelölésrendszerük és a vizsgált módszerek alkalmazásával definiáltuk az **1. ábra** szerinti szerszám gép struktúra egyenletét. Az egyes módszerek között eltéréseket a **3. táblázat** foglalja össze.

A struktúra leírási módszerek elemzése rávilágított arra, hogy a mai korszerű szerszám gépek esetében a gráffal történő leírási módszer a legalkalmasabb, mert ez a módszer képes kezelni a soros-, a párhuzamos- és a hibrid szerszám gépstruktúrákat is.

8. Köszönetnyilvánítás

A bemutatott kutatómunka a Miskolci Egyetem stratégiai kutatási területén működő, Mechatronikai és Logisztikai Kiválósági Központ keretében, a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként, az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

9. Irodalom

- [1] Lipóth, A.: *Megmunkáló központ konstrukciós változatok módszeres előállítás és értékelése*, Kandidátusi értekezés, Budapest, 1993.
- [2] L. N. Lipóz de Lacalle, A. Lamikiz: *Machine Tools for High Performance Machining*, Springer, 2009.
- [3] Németh, I.: *Conceptual design of 3-axis machine tools*
- [4] Tajnafői, J.: *Mechanizmusok származtatás elméletének alapjai és hatása a kreatív gondolkodásra*, Akadémiai Doktori értekezés, Miskolc, 1991.
- [5] Takács, Gy.: *Szerszám gépek strukturális tervezése grafikus adatbázisokkal*, Egyetemi doktori értekezés, Miskolc, 1996.
- [6] Yoshimi, I.: *Modular Design for Machine Tools*, The McGraw – Hill Companies, Tokyo, 2008.
- [7] *Tsann-Huei Chang, Kuan-Wen Chen, Chao-An Kang*: Gantry type hybrid parallel five-axis machine tool, US Patent, US6719506 B2, publikálva: 2004. 04. 13.