

# Modulárisan felépülő CNC szerszámgépek parametrikus modellezése

## Parametric modeling of modular CNC machine tools

*Dr. BOLERACZKI Miklós*

Pannon Egyetem, Mémöki Kar, Géptan Intézeti Tanszék, H-8200 Veszprém, Egyetem utca 10.  
tel.: +36 88 624 461, [boleraczki.miklos@mk.uni-pannon.hu](mailto:boleraczki.miklos@mk.uni-pannon.hu), <https://uni-pannon.hu>

### Abstract

*For manufacturers, the ability to respond efficiently to rapidly changing market demands is connected, for example, to the efficiency of their design processes. If a company can quickly adapt its existing designs to meet current customer requirements, it can achieve a competitive advantage. In industry, modular machine tools form a widely used design family, either in the form of conventional or CNC machines. Our research combines the advantages of modular design with parametric design, thus combining the benefits of both technologies. This study presents a case study of a modular, multi-purpose CNC machine tool using parametric modeling methods. The research presented in this article is part of a two-year comprehensive research and development partnership.*

**Keywords:** CNC machine, modularity, parametric model, machine architecture, case study

### Kivonat

*Az ipari szereplők számára a piaci igények gyors változására való gazdaságos reagálás többek között a tervezés gazdaságosságával is összefügg. Amennyiben egy cég gyorsan tud a meglévő terveiből az aktuális vevői igényekre adaptált berendezést tervezni, versenyelőnyhöz juthat. Az iparban a moduláris felépítésű szerszámgépek egy jól bevált konstrukciós családot alkotnak, legyen szó hagyományos vagy CNC gépekről. Kutatásunkban a moduláris felépítés előnyei kerülnek kombinálásra a parametrikus tervezéssel, egyesítve ezzel a két technológia előnyeit. Jelen tanulmányban a parametrikus modellezés módszereit is felhasználó modulárisan felépülő többcélú CNC szerszámgép esettanulmánya kerül bemutatásra. A cikkben szereplő kutatás egy kétéves átfogó kutatásfejlesztési együttműködés része.*

**Kulcsszavak:** CNC szerszámgép, modularitás, parametrikus modell, gép architektúra, esettanulmány

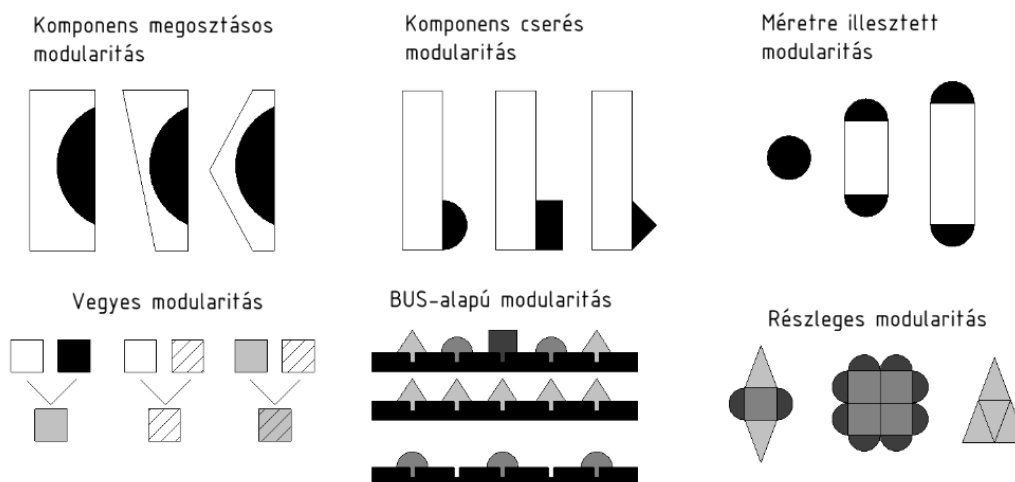
## 1. BEVEZETÉS

A változó igényekhez való gyors alkalmazkodás a mai gazdasági helyzetben létkérdés. Az egyedi igényekhez alkalmazkodó gyártás egyedi gépeket is igényel, amely követelmények a gépgyártókat is kihívások elé állítják. A gépgyártás válasza erre az egyedi gépek előállítására jellemző gyorsasággal és gazdaságossággal. Ennek többféle megoldása lehet, akár a különféle klasszikus gépcsaládok összevonása, vagy a méretsorozatok csökkentése, esetleg a géphez különféle kiegészítő, gépkiszolgáló rendszerek társítása. Jelen tanulmányban egy klasszikus CNC gép vevői igényekre adaptálása és a méretváltozásokból adódó tervezési kihívásokra adott válasz kerül bemutatásra.

## 2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

A szakirodalomban a géptervezés módszertana régóta ismert, és elemzett témája a kutatásoknak. Az egyik alapműnek számító Pahl-Beitz könyv szerint a módszeres tervezés lépésekre bontható, amelyek követésével az optimális terv előállítható, akár korábbi tervek felhasználásával, akár más területekről származó ötletek adaptálásával [1]. Olyan fogalmak, mint az alapterv és származtatott terv, valamint a gyártmánysorozatok felépítése szorosan összefügg jelen cikk témájával. Egy gyártmánysorozat méreteinek meghatározásánál hasonlósági számokat lehet definiálni, amelyek segítségével a sorozat tagjai előállíthatóak. Így beszélhetünk például geometriai hasonlóságról, ahol a sorozat származtatott tagjai és az alaptag közötti megfelelő méretek aránya állandó, vagyis ezek hányadosával megkapjuk a hossza vonatkozó invariánst.

Schmid és társai 2016-os cikkében a modularitást többféle aspektusban is értelmezi és felvázol egy moduláris szerszámgép architektúrát is [2]. Így a cikk ismerteti: komponens megosztásos modularitást, komponens cserés modularitást, méretre illesztett modularitást, vegyes modularitást, BUS-alapú modularitást és részleges modularitást. Ezek könnyebb értelmezéséhez a cikkben lévő ábra alapján egy saját ábra is készült, amivel a különféle modularitások közötti különbség kerül szemléltetésre, ahogy ez az 1. ábrán látható.



1. ábra. Különböző modularitások értelmezése

Jelen cikk szerzője korábbi kutatásában már foglalkozott a moduláris géprendszerekhez készített tervezési segédesszközök fejlesztésével. Az egyik aspektusban a korábbi tervek felhasználását és azok illesztését helyezve a kutatás fókuszába készített egy szakértői rendszer prototípust [3]. A másik oldalról a parametrikus modellezést előtérbe helyezve olyan eszközt fejlesztésében vett részt, amelyben úszóházakat lehetett a vevői igényekre illeszteni, oly módon, hogy a vevő által felállított követelményeket pl.: hol legyen és mekkora ablak, egy automatikus tervezőeszköz generálta paraméterek alapján [4].

Számos kutatás foglalkozik a moduláris gépek koncepciójával és az iparban is megjelenik egyes esetekben „opcióként” megvásárolható kiegészítőként pl.: esztergagépnél hajtott ellenorsó, és Y tengely, míg másoknál a teljes szerszámgépre vonatkozó méretsorozatokban [5,6]. Más gyártók a szerszámgépek kiszolgálására szakosodtak, így gyártanak moduláris portálorobotokat kifejezetten gyártócellák kiszolgálására, amelyeknél konfigurálható paraméter többek között a függőleges mozgást végző egységek száma, és lökete, a megfogók száma, valamint a teljes rendszer hossza [7]. Vannak kutatások, amelyek a szoftverek szerszámgépekhez való illesztésével foglalkoznak [8], míg mások a teljesítményt helyezik előtérbe moduláris fűrőgépeknél [9].

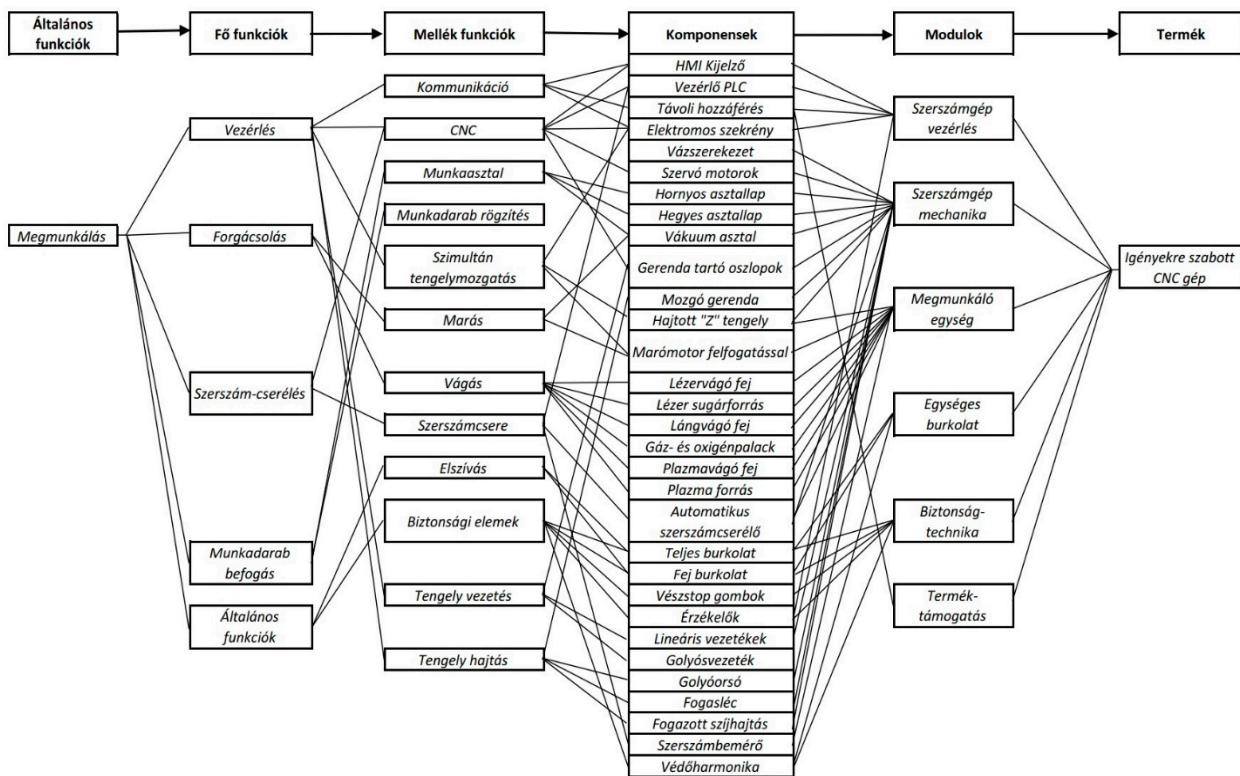
### 3. A TERVEZETT SZERSZÁMGÉP FELÉPÍTÉSE

A kutatás célja olyan többcélú szerszámgép kifejlesztése, amelyet a vevői igények maximális kielégítésére modulárisan lehet felépíteni. A vázszerkezetre felépül a hajtáslánc, amin a gerenda helyezkedik el, ami a szerszám egységet hordozza. Ez a szerszám egység lehet egy marómotor, vagy plazmavágó is. A szerszám egység képes a függőleges „z” tengely mentén mozogni, míg a munkadarab áll az asztallapon. A „x” irányú mozgást a gerenda valósítja meg, a vázszerkezet két oldalán kialakított vezetésnek és hajtásnak köszönhetően. Az „y” irányú mozgást a szerszámegység végzi a gerendán. Vagyis a felépítés egy klasszikus „Gantry” jellegű szerszámgép képét idézi. Az újdonságtartalom két aspektusban figyelhető meg. Az első a moduláris felépítésű szerszámgép váz, a másik a szintén modulárisan felszerelhető megmunkáló fej, amelyből akár kettő is elhelyezhető lesz ugyanarra a gépre. Így egy gépen meg tud valósulni a plazmavágás és a marás, ami lehetővé teszi a vevőknek, hogy két külön berendezés helyett egyet vásároljanak. Mivel a moduláris kialakítás azt is lehetővé teszi, hogy az egyes vázelemekre különféle asztallapok kerüljenek, ezért akár két külön felfogatóval is rendelkezhet ugyanazon munkatér. A berendezéstől elvárjuk a lemezvágást többféle technológiával, valamint a vastag lapok és szekrényes alkatrészek fúrását és marását alumíniumból és fából. A berendezés vállalt pontossága:  $\pm 0,1$  mm lesz.

A tervezést a vázszerkezettel kezdtük, annak teherbíró képességét, minimális deformációját, gyárthatóságát és megjelenését is figyelembe véve. A többszöri iteráció után kapott vázszerkezeti alapmodul

végeselemmel számolt deformációja 0,05mm, ami figyelembe véve a vevői célközönséget és azt, hogy a maximális terheléssel végeztük a számítást, egy elfogadható érték. Ugyanakkor a plazmavágó kialakítás esetén ezen terhelésnek csak a töredéke várható a berendezés vázszerkezetére, így felmerül a vázszerkezet kialakításának módosítása, vagyis a szerszám gép fajtájának függvényében lehet merevbb és könnyebb vázszerkezetet is beépíteni. Így maga a váz is a „komponens cserés modularitás” kategóriájába fog tartozni. A modularitás 2. fejezetben említett megjelenési formáit úgy adaptáljuk erre a berendezésre, hogy az egyes vázmodulok méretre illesztett modulként lesznek megtervezve, ugyanígy az asztallapok is. Ezeket komponens cserés modulokként lehet a terhelési igénynek megfelelően kiválasztani. A teljes berendezés méretre illesztett modularitását a váz, a vezetés és hajtás méretre illesztett modularitása adja. A megmunkálófejek a BUS-alapú modularitást és a komponens megosztásos modularitást idézik. Végül a berendezés burkolatával szemben elvárt igények rugalmas kielégítése miatt a vegyes és a részleges modularitás és meg fog jelenni abban, hogy pl.: hova kerüljön és mekkora ajtó vagy ablak. Összegezve az előző fejezetben részletezett modularitási modellek nem egymást kizáróan épülnek be a szerszám gép modellbe, hanem egymás támogatva és erősítve. Ez a koncepció jóval túlmutat a hasonlóság alapú gyártmánysorozatokon és az alaptervről készített származtatott terv jellegű dokumentáción.

A 2. ábrán látható a tervezett szerszám gép általános felépítése, a modulós rendszer egyszerűsített architektúrája.

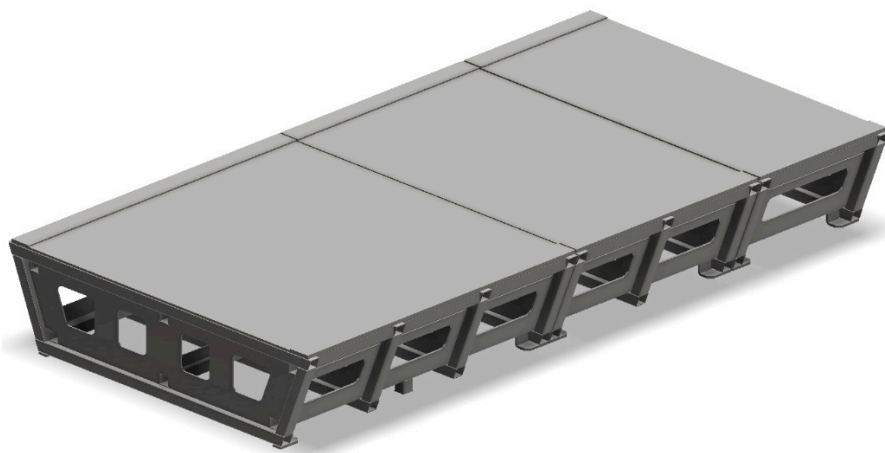


2. ábra. Egyszerűsített szerszám gép architektúra

#### 4. AZ ELKÉSZÍTETT ÖSSZEÁLLÍTÁSI MODELL BEMUTATÁSA

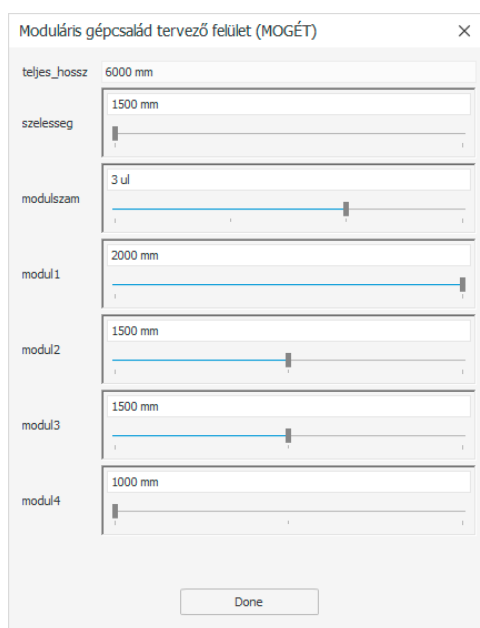
A megvalósított moduláris váz felépítésére mutat egy példát a 3. ábra. Ebben látható három darab vázmodul egymás mögé helyezve, ami által a berendezés fő erőssége is egyértelműen látszódik. A könnyű szállíthatóság és bonthatóság érdekében a vázszerkezet moduljait egymáshoz csavarozzuk. A felső sík jelenti a bázist, vagyis az asztal síkja fogja megadni az egyes modulok egymáshoz viszonyított helyzetét.

A modularitás tervezéséhez az Autodesk Inventor programot használjuk, és első lépésben egy egyszerűsített modellben került felépítésre a parametrikus tervezői környezet. A beépített iLogic tervező eszközökkel a modellben lehetséges un. szabályok definiálása, amelyekkel a modell vezérelhető, amivel pl.: egyes elemek mérete növelhető, a kiosztások száma változtatható, vagy az egyes elemek a modellben ki- és bekapcsolhatóak.



3. ábra. Három modulból összeállított váz

A 4. ábrán a modulós rendszerhez készített vezérlőpanel látható. Ebben választható a modul szélessége: 1500 vagy 2000mm. Beállítható a modulok száma, amely maximálisan 4 lehet. Majd az egyes modulok mérete is kiválasztható: 1000, 1500 vagy 2000mm hosszúságban. A legkisebb konfigurálható gép: 1500 x 1500mm, ehhez adhatóak újabb modulok. Így a legnagyobb kikonfigurálható berendezés: 8000mm hosszú és 2000mm széles lehet. Ezek a megadott számok minden esetben a munkatérre vonatkoznak és nem magára a modul méretére! A panelben a szerszámgép teljes hossza is kijelzésre kerül a legelső sorban.



4. ábra. A moduláris gépcsálád tervezőfelületének első verziója

Miután elindítottuk a konfigurációs ablakot a modell valós időben követi le a változtatásokat, így az eredmények azonnal láthatóak. Ezt felhasználva megtehetjük azt is, hogy többféle konfigurációt hasonlítunk össze. Egyes méretek többféle konfigurációval is előállíthatók. Így pl.: a 6m-es vázhossz összeállhat három darab 2m-esből, vagy négy darab 1,5m-esből is. Alapvetően célszerű a lehető legkevesebb modulból összeállítani a kívánt hosszt, mert így kevesebb váz szerkezetet kell egymáshoz illeszteni, és ezáltal nő a pontosság.

A szoftverben a vezérlőpanelen az ún. *Form-on*, keresztül megadott paramétereket egy elágazási ciklusrendszeren keresztül vizsgálva valósul meg az egyes komponensek kiválasztása, amelyek az adott berendezés konfigurációjában szerepelnek. A *Component.IsActive()* paranccsal lehet az egyes elemeket ki- és bekapcsolni. Az egyes elemek adott, aktuális konfigurációban szereplő méreteit az összeállítási modelltől közvetlenül tudjuk átírni az alacsonyabb szintű összeállításokon keresztül egészen az alkatrész modellekig. Ez egy komoly modell szervezési és strukturálási kihívást jelent az összeállítási, részösszeállítási és alkatrész modellek szintjén is.

## 5. JÖVŐBENI LEHETŐSÉGEK ÉS KIHÍVÁSOK

A tervezett szerszámgép tervezési költségeit a vázolt parametrikus tervezői eszközökkel és a moduláris felépítésével optimalizálni tudjuk. Az elkészült gépek alapján szerzett tanulságok a következő modulokba már beépíthető, ezáltal egy rugalmasan adaptálódó szerszámgépcsaládot hozva létre, amelyben az egyes modulokat könnyen lehet cserélni, vagy fejleszteni. Ugyanakkor kockázatot jelent az egyes modulok egymásra hatása és azok hatása a tervezési időre és költségekre. Egy-egy új modul tervezésénél az összes többi modult figyelembe kell venni, amennyiben a teljes kompatibilitást szem előtt akarjuk tartani. Másik lehetőségként egymást kizáró modulokat is lehet definiálni, amellyel az esetek egy része kizárható, ugyanakkor a vevői igények kielégítése ebben az esetben kárt szenvedhet. További kritikus elem lesz a berendezésre tervezendő burkolat, amelynek rugalmasan adaptálhatónak kell lennie minden egyes esetre. Összességében a parametrikus modelleket felhasználó moduláris CNC gép megvalósításában a kihívás jelentős, a kapott univerzális tervező eszköz viszont hosszabb távon is versenyképes alternatíva lesz.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

2024-1.1.1-KKV\_FÓKUSZ-2024-00063 azonosítószámú projekt az NKFI Hivatal és a Nemzeti Innovációs Ügynökség konzorciumában, a Magyar Állam támogatásával, társfinanszírozásával valósul meg.

## IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] G. Pahl – W. Beitz: *A géptervezés elmélete és gyakorlata*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1981
- [2] A. Schmid, M. Löwer, T. Katzwinkel, W. Schmidt, J. Siebracht, J. Feldhusen, C. Brecher, F. du Bois-Reymond, J. Rey, *Life Cycle of Multi Technology Machine Tools – Modularization and Integral Design*, Prodecia CIRP 50 (2016), 26th CIRP Design Conference, 719-726.
- [3] Boleraczki M., Sik-Lányi C., Zsák Z., Papp T., *Developing The Support Framework System of Special Purpose Machines Designing*, IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 448 012029, 2018.
- [4] Simon I. A., Boleraczki M., Gyurika I. G. *Development of a Highly Automated Construction and Production Plannin Framework for The Production of Floating Houses*. Proceedings, Expres 2024, 14th International Symposium on Exploitation of Renewable Energy Sourcec and Efficiency, 43-47.
- [5] \*\*\* Haas szerszámgép kereskedelem, A2-5 Ellenorsó, <https://www.haascnc.com/hu/productivity/spindles/sub-spindle-a2-5.html#gsc.tab=0>
- [6] \*\*\* HSG Lézerológó gép – C sorozat, <https://www.hsglaser.com/product/laser-cutting-machine-c.html>
- [7] \*\*\* Promot Moduláris portárobotok minden méretben, <https://www.promot-automation.com/portalroboter-lp/>
- [8] G. E. Engert, M. Weigold, *Architectural Design and Integration of a Customizable, Manufacturer-Indeendent User Interface for CNC Machine Tool Operation in Production*, Prodecia CIRP 139 (2026), 13th CIRP Global Web Conference (CIRPe 2025), 418-424. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2025.08.196>
- [9] J. Miah, Md M. R. Milon, M. A. S. Prophan, M. Al Sium, *Advanced Modular Machine Tools: A Comperehensive Approach to High-Performance Boring Machine Design*, North American Academic Research, 7(7), 109-139.