

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Gépészmérnöki kar

Gép- és Terméktervezés Tanszék

PhD értekezés tézisei

**Moduláris felépítésű gyártósorok tervezésének
elmélete és gyakorlata**

Gotthard Viktor
okleveles gépészmérnök

Budapest
2008

1. Bevezetés, az értekezés célja

Napjainkban a gépépítési piacon a versenyképesség megtartása és javítása a fejlesztő és kivitelező vállalatok hatékonyságán, rugalmasságán és folyamat-képességein múlik. Ezen tényezők minősége döntően a kialakult folyamatokon, kifejlesztett termelés-támogató eszközökön és a vállalati filozófián múlik. Egyedi gépek fejlesztése esetén a gépfejlesztő és kivitelező vállalatok két eltérő módszer közül választhatnak. Az egyik út a tradicionális géptervezés, amely során minden esetben célirányosan megtervezik az éppen adott igények szerinti berendezést. A másik út az, amikor vagy meglévő építő-kocka-elvű elemcsaládból építkeznek, vagy – meglévő rendszer hiányában – a saját tervezésű (és folyamatosan bővített) moduláris elemcsaládot fejlesztenek, és ennek elemeiből válogatnak az aktuálisan megoldandó működési funkciók szerint. Természetesen számos esetben a kettő kombinációja is előfordulhat, de a kulcs minden esetben a kidolgozott berendezések és alegységek konstrukciónak egyértelmű azonosítása, rendszerezett adatbázisban történő tárolása, gyors és egyszerű keresése, a különböző időpontokban kidolgozott esetek kombinálhatósága és a kidolgozott rendszerekkel kapcsolatos tapasztalatok összegyűjtése.

A tömegtermelés igényei szerint, megjelentek a piacon a moduláris termékek, azaz a termelő vállalatok egyre nagyobb arányban építik termékeiket tipizált és moduláris elemekből [ShGr94], [Gr98]. A moduláris termékek készítése a modulárisan összekapcsolható gyártástechnológiai lépésekhez vezetett [CFK90]. A moduláris gyártástechnológiai lépések pedig mintegy indikálták az azokat realizáló berendezések moduláris felépítését [RoBo97]. Így a termelő berendezések több irányból is a moduláris szerkezeti felépítés felé lettek kényszerítve [Ge99], [We98]. Lényeges szempont továbbá, hogy a korábbi klasszikus géptervezés és kivitelezés jelentősen elmozdult az elemekből építkezés irányába. Természetesen továbbra is vannak olyan speciális gépelemek, géprészek, amelyeket a gépgyártó vállalatok maguk fejlesztenek és kiviteleznek, ám kétségtelenül lecsökkent ezek aránya a készen megvásárolt elemekhez képest. Mindez egy más jellegű megközelítés, a gépelemek klasszikus fejlesztése és kivitelezése helyett a készen megkapható elemekből történő építkezés elterjedéséhez vezetett.

Napjainkig több tervezési elmélet és megoldás került kidolgozásra, ám ez idáig nem történt meg az egyedi berendezések tervezését és kivitelezését támogató moduláris elven alapuló módszertan és eszköztár kifejlesztése. A gépcsaládok és az egyedi gépcsoportok fejlesztése esetén jelenleg nincs olyan kifejlesztett eszköz-rendszer, amely a moduláris felépítésű gyártósorok tervezését napjaink számítástechnikai lehetőségeivel együtt kombinálva lehetővé tenné, majd hatékonyan támogatná a kifejlesztett moduláris rendszer alkalmazását.

A dolgozat célkitűzései

A kutatásom elsődleges célja egy olyan és módszertan kidolgozása volt, amely egyszerűen és gyorsan teszi lehetővé egyedi gyártósorok és azok egységeinek moduláris elven alapuló építőelemekből történő vario-generatív összeválogatását, majd az elemek kombinációi által az adott piaci igények kielégítéséhez szükséges, költség és átfutási idő alapján optimalizált megoldás automatizált generálását. A másodlagos célom a kidolgozott eszközrendszer és tervezési módszertan alkalmazásával moduláris berendezések és gyártósorok gyakorlati megvalósítása, egyrészt a fejlesztési lépések finomítása, másrészt a kutatás eredményeinek igazolása céljából.

2. Kutatási módszerek

A kitűzött célok megvalósításához szükséges volt a tervezéstudomány, a tervezésmódszertan, a módszeres géptervezés és az integrált terméktervezés eszközeinek és módszereinek áttekintése. Moduláris gyártósorok fejlesztése során elengedhetetlen a gyártmánysorozatok, az építőszekrény-elv, az alkatrész-tipizálás és a csoporttechnológiák alapelveinek ismerete, valamint a napjainkig kidolgozott gyártórendszerek és szerszámgépek elemeinek és szerkezetének áttekintése, illetve a megvalósított gépek tervezési folyamatának és szerkezeti felépítésének feldolgozása.

Mindezek alapján kidolgoztam a moduláris rendszerek elméleti modelljét, majd a moduláris felépítésű gyártósorok fejlesztési módszertanát, részletesen kitérve mind a fejlesztési lépésekre, mind az azokat támogató rendszertechnikai eszközökre. A kifejlesztett módszertan és elmélet gyakorlati működését számos moduláris berendezés kivitelezésével, majd a tapasztalatok elemzésével igazoltam.

3. Kutatómunka ismertetése

A géptervezés során elsődleges cél minden esetben az adott műszaki igényeknek megfelelő berendezés megtervezése majd kivitelezése. A tervezés nem minden esetben új létrehozását jelenti, sokkal logikusabb a korábbi hasonló esetek közül a legmegfelelőbbet kiválasztani, a tapasztalt gyenge pontjait áttervezni, az eltérések miatt módosítani és kiegészíteni, azaz a megváltozott követelményekhez és peremfeltételekhez illeszteni. Az így létrejött új megoldás a későbbiekben szintén újra felhasználható lesz.

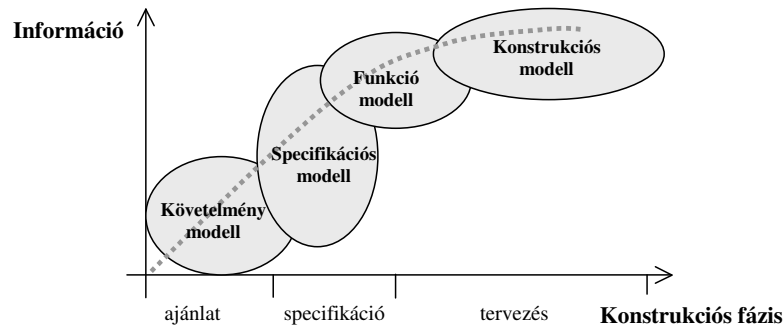
A meglévő konstrukciók alkalmazásának alapvetően két eltérő módja van. Az egyik az *esetalapú géptervezés* alapelve a korábban megtervezett és kivitelezett meglévő esetek (berendezés-felépítések) ismételt alkalmazása a konstrukció aktuális piaci igényekhez alakításával. Ez esetben minden új piaci igény esetén először meg kell keresni a már meglévő megoldások közül a leghasonlóbbat, majd át kell hidalni a meglévő és a kialakítandó konstrukció közötti eltéréseket. A másik a *moduláris felépítési elv* alkalmazása, amelynek első lépése egy saját szabványosított elemekből álló gépcsalád fejlesztése, majd az elemeknek a konstrukciós alapelvek szerinti kombinálása. Az elsődleges cél az igényeket legjobban kielégítő kombináció képezése, amely ideális esetben csupán a meglévő moduláris elemekkel megvalósítható. A tapasztalat azonban ezzel szemben az, hogy bármilyen egyedi igénynek csak egy bizonyos része fedhető le a moduláris elemkészlettel, a fennmaradó részt az aktuális speciális igények szerinti egyedi konstrukcióval kell megoldani.

A moduláris felépítésű rendszerek alapja az építőszekrény-elv, amely napjainkra a műszaki élet minden területén megtalálható. Az építőelemek az építőszekrények alegységei, a gépipar területén az építőszekrény egy alegységet jelent, míg az építőelem egy alkatrészt [Kr63]. Az építőelemek egymással összeilleszthetők, szétszedhetők és felcserélhetők – ennek érdekében az illeszkedési felületnek az építőelem-családon belül azonos kialakításúnak (szabványosított) kell lennie [Tr64].

Az építőszekrény-rendszer gépipari alkalmazásához tehát célszerűen rendelkezniünk kell egy meglévő építőszekrényekből és építőelemekből álló cserélhető elemkészlettel, azaz olyan szabványosított elemekből álló rendszer kiépítése szükséges, amely alkalmazásával képesek vagyunk egy meghatározott alkalmazási terület igényeinek kielégítésére, az elemek lehetséges kombinációja révén. Ehhez mindenképpen szükséges egy az építőszekrény-rendszer elemeit tartalmazó elemkönyvtár-katalógus, az építőszekrény-rendszer elemeinek kiválasztási és kombinálási lépéseit és módszerét leíró, előre kidolgozott építési-folyamat (módszertan), és mindezek intelligens kezelését támogató célprogram.

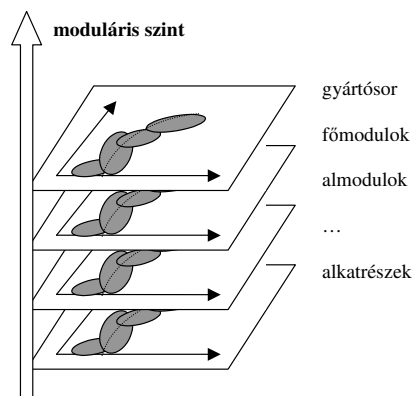
A moduláris rendszer modellje

A moduláris felépítésű automata gyártósorok az azokat kifejlesztő és kivitelező vállalatok aspektusából maguk is termékek éppúgy, mint az általuk termelt tömegcikkék. Kézenfekvő, hogy mint moduláris termék, két alapelv kombinációjával juthatunk el a moduláris gyártósorok termékmodelljéhez. Az egyik a *parciális termékmodellek* alkalmazása (1. ábra), amely először a tervezési folyamat fázisainak megfelelő részmodellekre bontja a terméket, azután kidolgozza, majd végül egyesíti azokat [Ru98]. A négy parciális termékmodell reprezentálja a tervezési folyamat négy fázisát, amelyek között nem lehet éles határt húzni - így nem lehet egyértelműen definiálni az egyes modell-típusok kezdetét és végét sem.



1. ábra. A parciális termékmodellek alkalmazása a tervezési folyamatban

A másik az *építőszekrény-elv* [Kr63], amely gyakorlatilag a moduláris felépítésű gépcsaládok tervezésének módszertani alapja, alkalmazásának első lépése a funkciók besorolása majd az azokat megvalósító szerkezeti egységek csoportosítása, azaz a besorolásuk alap-, segéd-, speciális-, illesztő- és egyedi építőelemekre [PaBe99]. A két elméleti modell kombinációjával és kiegészítésével létrehoztam a moduláris rendszer modelljét, amely a moduláris felépítésű gyártósorok struktúrájának funkcionális alapja. A kapott modell szerkezetét a 2. ábra mutatja.

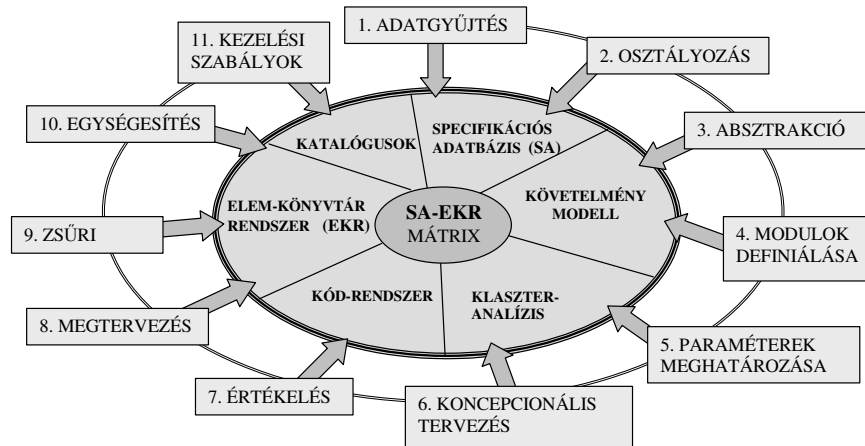


2. ábra. A moduláris rendszer modellje

Gyártósorok esetén a legmagasabb szint maga a gyártósor, a következő a főmodulok (például a célgépek és a konvektorok ezen a szinten helyezkednek el), míg ezeket követik az almodulok (a célgép almoduljai például a gépváz a hajtásrendszer és a burkolat) végül a legalsó szinten találjuk a moduláris rendszer legalacsonyabb szintű építőköveit, az alkatrészeket (ezek tovább már nem bonthatóak).

Moduláris felépítésű gyártósor fejlesztése

A moduláris felépítésű gyártósorok tervezési módszertanának kidolgozása alapvetően két fő részre osztható. Az egyik a fejlesztési módszertan folyamata és lépései, a másik pedig a fejlesztést és később a kidolgozott moduláris rendszer kezelését támogató rendszertechnikai eszközök. A 3. ábra a mindezek együttes áttekintését segíti.



3. ábra. Moduláris felépítésű rendszer fejlesztési lépései és eszközei

Az ábrában a moduláris elvet támogató eszközök az ellipszisen belül, míg a moduláris rendszer fejlesztési lépései az ellipszisen kívül helyezkednek el.

Moduláris gyártósor fejlesztési lépései

A moduláris rendszer fejlesztésének első lépése az *adatgyűjtés*, amely számos korábbi ajánlat és specifikáció valamint egységesítendő gépek és részegységek felmérése alapján történhet meg. Az adatgyűjtés, majd az adatkezelés magas fokú támogatását lehet elérni egy egységes, alkalmasan kialakított elektronikus adatgyűjtő-ív alkalmazásával. A kutatásom alapjaként 12 gyártósor-alaptípust (összesen 117 gyártósort) és 65 célgép-alaptípust (összesen 585 célgépet) mértem fel.

A korábbi esetek felmérése után következik az adatok *osztályozása*, amely tulajdonképpen az összegyűjtött adatok elemzése és rendezése, a későbbi egyszerűbb és gyorsabb alkalmazás érdekében. Az adatok osztályozásához először meg kell határozni az adatgyűjtő ívek segítségével összegyűjtött egységek legfontosabb paramétereit, utána következik a valamennyi felmért eset e paraméter szerinti osztályozása, majd az eredmények összesítése.

A harmadik lépés a specifikus adatok általánosítása, azaz az *absztrakció*. Ez a lépés azért szükséges, mivel a moduláris egységek fejlesztése illetve azok hierarchikus struktúrájának kialakítása kizárólag a korábbi esetek leglényegesebb paraméterein alapul. Ehhez nyújt segítséget a legfontosabb paramétereken alapuló absztrakció. Ha a felmért eseteket az előfordulás gyakorisága szerint sorba rendezzük, alkalmazhatjuk a Pareto-elv alapján azt a szűrést, hogy kiválasztjuk az előforduló esetek 90%-át lefedő elemeket és ezt követően kizárólag ezek moduláris megfelelőjének kidolgozásával foglalkozunk. A módszert *Pareto-moduluszűrésnek* neveztem el, alkalmazásával egyrészt megtörtént az absztrakció is, hiszen az osztályozott egységek főbb paraméterei már nem árulják el, hogy az adott paraméter hogyan lett megvalósítva, csupán rangsorolja azokat az előfordulásuk szerint. Másrészt meghatározásra kerültek a kiválasztott részegység-típus azon leglényegesebb elemei, amelyek moduláris változatának kidolgozása szükséges (hiszen ezekkel a korábban előfordult igények igen nagy része kielégíthető).

A moduláris rendszer fejlesztésének negyedik lépése a szükséges *moduláris elemek meghatározása*. Ezek az elemek alkotják majd a moduláris rendszert. E lépés során jön létre az elemkönyvtár-rendszer (EKR), amely azt a logikát követve alakítható ki, hogy valamennyi modul-típus esetén meghatározzuk azokat a megvalósítandó elemeket, amelyek képesek lefedni a korábban előforduló esetek döntő részét. Ez tulajdonképpen a Pareto-modulszűrés alkalmazása valamennyi főmodulra.

Kód	Moduláris elem	Elemtípus	Főbb paraméterek	Példák
MFC	Célgép	Összeválogatható elemcsoport	Sebesség, fejszám	Szerelőgép, hegesztőgép, üvegalakító gép
MFS	Szállító	Illesztőelem, segéd-elem	Sebesség, felépítés	Hevederes konvektor, szállító-lánc, csúszda
MFT	Tároló	Speciális elem	Kapacitás, felépítés	Anakonda lánc, palettás tárolórendszer, puffer
MFM	Mérő- és ellenőrző	Speciális elem	Pontosság, sebesség	Optikai mérőrendszer, tapintó mérőrendszer
MFV	Vezérlő	Alapelem, speciális elem	Adatkezelés	Adatgyűjtő, adatfeldolgozó, adattároló
MFK	Kiegészítő	Nem építőelem	Specifikus (egyedi igények szerint)	Biztonsági burkolat, selejtgűjtő, szünetmentes táp

I. táblázat. A moduláris felépítésű gyártósorok moduljai és azok jellemzői

Az I. táblázat a gyártósorok főbb alkotóelemei szerinti osztályozást tartalmazza, amelyben feltüntettem a javasolt kódrendszer alapját is, amely a későbbiekben a rajzszámok kiosztásánál, a darabjegyzékek összeállításánál, illetve a kész modulok későbbi felhasználása során nyújt segítséget a moduláris rendszer hierarchikus hálójában történő egyértelmű eligazodáshoz.

A fejlesztés ötödik lépése a kiválasztott modulok lényeges jellemzőinek eldöntése, azaz a *paraméterek meghatározása*. Ez a lépés gyakorlatilag két fő feladatot foglal magában. Az egyik a lényeges paraméter meghatározása, amely a korábbi esetek figyelembe vételével, az egységek legfontosabb üzemi paramétereinek kiemelésével, illetve a leírásukhoz szükséges specifikációk tanulmányozásával végezhető el. A másik az így meghatározásra került paraméterek értéktartományainak meghatározása.

A hatodik lépés a *modulok koncepcionális megtervezése*, a módszeres géptervezés szabályai szerint. Először el kell dönteni, hogy az adott moduláris egység jellegéből és paraméter-értéktartományaiból adódóan milyen elvi megoldások jöhetnek szóba. Ezután ki kell dolgozni koncepcionális szinten a felmerült ötleteket, majd célszerű kidolgozni egy egységes formalapot a megoldás elvi alapjának, vázlatos rajzának és főbb jellemzőinek bemutatására. Az ötlet-formalap szerkezetének kialakításakor két lényeges tulajdonságra kell ügyelni. Az egyik az áttekinthetőség, a másik az egyértelműség, hogy célirányosan és hatékonyan dönteni lehessen az ötlet részletesebb kidolgozásáról vagy elvetéséről. Amint ez elkészült egy modul-típus összes megvalósítási ötletére, következik a megoldások összevetése és értékelése.

A hetedik lépés a javasolt *megoldások értékelése*, amelyet célszerű két fázisban elvégezni. Az első fázis egyfajta előszűrés, ahol a javaslatok értékelése a moduláris elv leglényegesebb feltételei szerint történik. A második fázis a megmaradt javaslatok valamennyi értékelési szempontok szerinti értékelése és összevetése. Erre a részletes értékelésre jól használható a módszeres géptervezés bármelyik ismert módszere, mint például a súlyozásos értékelés, a Pugh-mátrix alapján történő összevetés vagy akár a Pahl-

Beitz által javasolt kiválasztási jegyzék használata [PaBe99]. A cél, hogy végezetül az optimális megoldás kerüljön kiválasztásra.

A nyolcadik lépés a kiválasztott modul-típusok végleges *megtervezése*. Ez a lépés szintén a módszeres géptervezés alapelvei szerint zajlik, ám mindenképpen szem előtt kell tartani a moduláris rendszerbe illesztés követelményeit is. Ezek közül a legfontosabbak a változtathatóság, a flexibilitás, az egységesített csatlakozási módok és hogy bármelyik elem bármelyik szomszédos elemmel összekombinálható legyen. Ezzel lehet biztosítani a megalkotott moduláris elemek nagy számú kombinációjával előállítható egyedi rendszerek variációját, és ezzel egyben a rendszert alkalmazóknak a tervezési és alkotási szabadságot. Emellett nagyon lényeges a megtervezett modulok optimalítása, hiszen a jövőben számtalanszor felhasználásra kerülnek majd, így nagyon fontos a maximális műszaki és gazdaságossági megfelelés biztosítása.

A kilencedik lépés a *zsúrik* megtartása, amelyek során a kidolgozott és megtervezett moduláris egységek közül a megfelelőnek bizonyulók azonnal, vagy kisebb módosítások után végleg elfogadásra, míg a nem megfelelők elvetésre kerülnek.

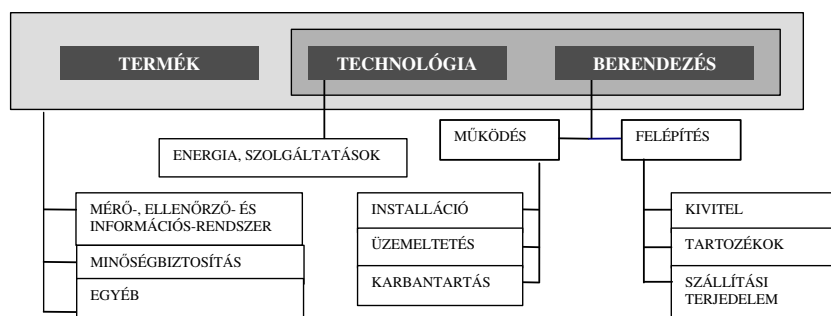
A tizedik lépés az elfogadott moduláris egységek véglegesítése, azaz a *szabványosítás*. Ennek során történhet meg az egységek tesztelése és próbaüzeme, majd ez alapján a tapasztalatok visszacsatolása után az egységek végleges lefixálása. A jövőben ezután a véglegesített modulok változtatása kizárólag nagyon indokolt esetben, a fejlesztők külön engedélyével történhet meg. Ez a szabványosított elemekből történő építkezés alapkritériuma [Kr63], [PaBe99].

A tizenegyedik lépés a *kezelési szabályok kidolgozása*. Ezek a kezelési szabályok vonatkoznak a moduláris rendszerrel kapcsolatos valamennyi tevékenységre. Minden tevékenység során egyértelműen szabályozni kell a résztvevők szintjétől függően (fejlesztő, karbantartó, tervező, felhasználó) az egyes tevékenységeket (új elem felvétele, meglévő módosítása vagy törlése) a hozzáférési jogokat és a kidolgozott rendszer-támogató eszközök és a moduláris elemek alkalmazási feltételeit.

Moduláris gyártósor fejlesztésnek rendszerteknikai eszközei

A következőkben a moduláris elvű tervezést támogató eszközöket mutatom be, ezek a 3. ábra „belső ellipszisében” láthatóak. A kutatásom során kidolgozott eszközök részben a moduláris rendszer kifejlesztéséhez, részben alkalmazásához, esetenként pedig mindkettőhöz szükségesek.

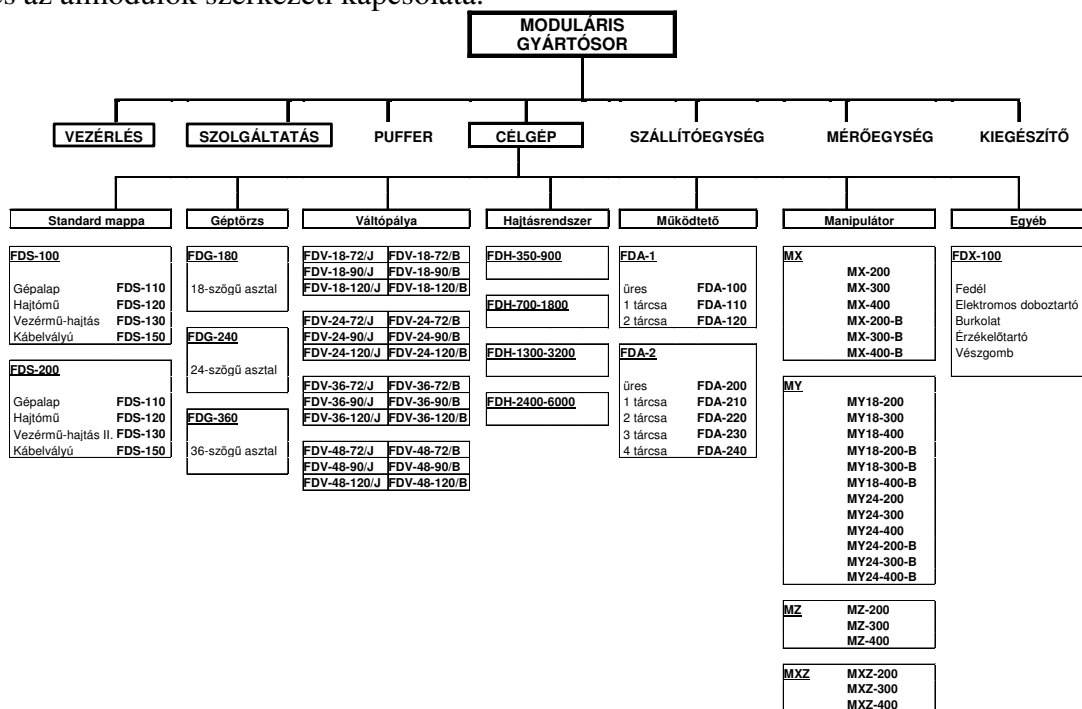
Az első eszköz a *követelmény-modell*, amely a moduláris rendszer által támasztott igények gyűjteménye és rendszerezése. A követelmény-modellben összegyűjtött igények a rendszer fejlesztése során irányadóak. A követelmény-modell azért is fontos eszköz, mivel a moduláris igények gyakran ütköznek más lényeges követelményekkel, emiatt a fejlesztési folyamat során el kell dönteni, hogy az adott termék-környezet esetében melyik jellemző magasabb prioritású.



4. ábra. A specifikációs adatbázis szerkezete

A második eszköz a *specifikációs adatbázis (SA)*, amely több-száz specifikáció elemzésének eredményeképpen jön létre, és magas-szintű segítséget nyújt a moduláris felépítésű rendszerek fejlesztése és később az alkalmazása során [Go04-III]. Elsődleges szerepe az új összeállítandó moduláris berendezés a műszaki specifikációjának elkészítésében van. A műszaki specifikáció elkészüléséhez számos lépés vezet, mivel több tervezési fázison keresztül, számos egyeztetés során alakul ki a végső verzió. Elméletileg a „műszaki specifikáció” egy olyan követelmény-modellt jelent, amelyben rögzítésre kerültek mind a megrendelő elvárásai, mind pedig a kivitelező kötelezettségei, a teljesség és a részletesség lehető legnagyobb igénye mellett, ám ez általában a rövid határidők miatt nehézségekbe ütközik. Ezen ellentmondás feloldására dolgoztam ki a SA-t, amelynek szerkezete és főbb elemei a 4. ábrán láthatóak. Ennek létrehozásához több-száz korábbi gépspecifikációt, előzetes specifikációt, elő-specifikációt és specifikációs űrlapot dolgoztam fel.

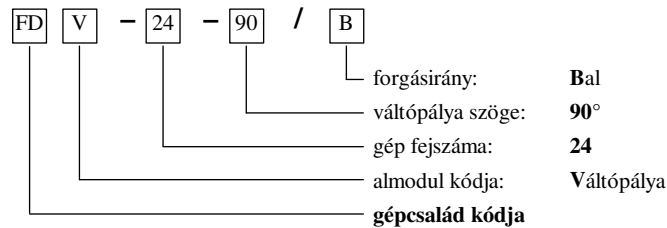
A harmadik eszköz az *elemkönyvtár-rendszer (EKR)*, amely hierarchikus formában fogja össze a moduláris rendszer építőelemeit. A modulok osztályozásának eredményeképpen kapott szerkezetet illusztrálja az 5. ábra, amelyben jól megfigyelhető a főmodulok és az almodulok szerkezeti kapcsolata.



5. ábra. Az elemkönyvtár-rendszer szerkezete

Az ábra felső részén a moduláris rendszer legfelső szintjén elhelyezkedő gyártósor, alatta pedig a főmodulok, majd azok almoduljai találhatóak. A bontást egészen a legalsó szinten található alkatrészekig elvégeztem valamennyi főmodul esetén, ám az ábrában részletes kibontásra csupán az alapgép-főmodul került, amelynek valamennyi almodulja esetén feltüntettem annak legfőbb jellemzőit és azok alapján az összes előforduló esetet. A negyedik eszköz a modulok kidolgozott *kód-rendszere*. Ez nyújt segítséget mind az egyes modulok típusának és főbb jellemzőinek egyértelmű azonosításához, mind pedig a kiválasztott modulok alkotta kombináció egyszerű és gyors áttekintéséhez. A kód-rendszer kialakításának legfontosabb alapelve, hogy egy rövid betűszó egyértelműen azonosítsa az adott modulnak a rendszerben elfoglalt szintjét, illetve a típusát, utána pedig néhány kódszám utaljon az adott típusú modult a többi azonos típusú modultól meg-

különböztető jellemzőkre. Erre mutat egy példát a 6. ábra, amely az 5. ábrán szereplő váltópálya-modulok egyik elemének kódolását mutatja be.



6. ábra. Egy azonosító kód értelmezése

Az ötödik eszköz az SA-EKR mátrix, amely a két korábban ismertetett eszköz, a specifikációs adatbázis (SA) és az elemkönyvtár-rendszer (EKR) kombinációjával létrehozott korrelációs mátrix (7. ábra). Ez a mátrix kapcsolja össze egyértelműen a modulok jellemző paramétereit és a specifikációs tevékenységeket, mindkét irányban. Az egyik irány, amikor keressük azokat a paramétereket, amelyeket az adott egység kiválasztásához szükséges specifikálni (sor menti olvasás). Ennek során lépésről-lépésre felmerülnek az adott egység lényeges paraméterei, minden paraméternek ki kell választani a pontos értékét.

		SPECIFIKÁCIÓS ADATBÁZIS																
		TERMÉK			TECHNOLÓGIA				BERENDEZÉS			...	ENERGIA					
		méret	típus	anyag	...	elv	leírás	előírás	jellemzők	...	fejszám	sebesség	felépítés	...	villamos	gáz	hűtés	...
ELEMKÖNYVTÁR-RENDSZER	TÁROLÓ	paraméterek																
		egységek																
		aktuátor																
		manipulátor																
		...																
	SZÁLLÍTÓ	anakonda																
		lejtő																
		...																
		lánc																
		szalag																
...																		

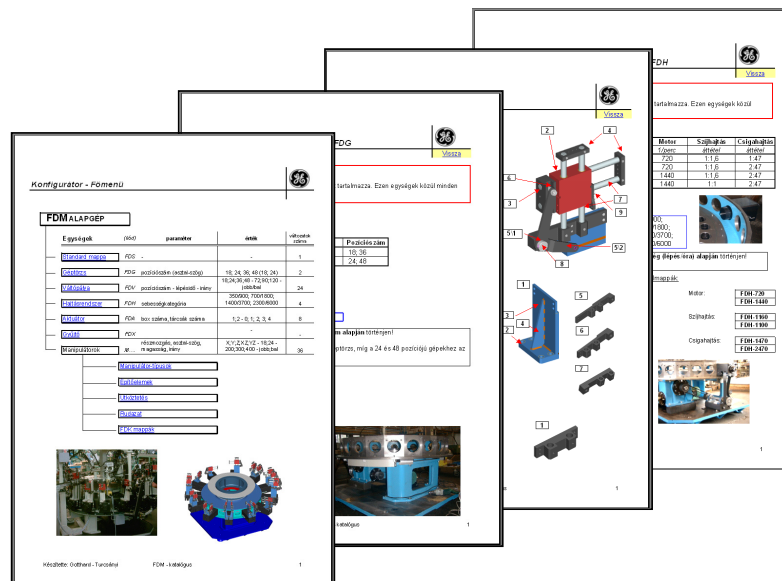
7. ábra. Az SA-EKR mátrix felépítése

A mátrix másik irányú használatára akkor van szükség, amikor arra vagyunk kíváncsiak, hogy mely moduláris elemek melyik jellemzői függnek egy elvárt (specifikált) paraméter-értéktől (oszlop menti olvasás). A mátrix kezeléséhez VisualBasic-ben kidolgoztam egy segédprogramot. A program nemcsak interaktív és az SA adatbázisból dolgozik, de a kimenete egy kész dokumentum (a specifikáció), a kezelése egyszerű, a kitöltése pedig gyors. További előnye, hogy alkalmazható valamennyi hierarchiai szinten (gépsor, gép vagy akár részegység).

A hatodik eszköz a *klaszter-analízis* [JaLe83], amely abban nyújt segítséget, hogy összhangot teremtsünk a létrehozott specifikáció és az elérhető modul-készlet között, a mátrix alkalmazásával. A módszer lényege, hogy a meglévő két halmazunk (az aktuálisan

igényelt jellemzők és az EKR által megvalósítható jellemzők) minél jobban lefedje egymást. Az első lépés a transzformáció, amely során a specifikált adatok és a rendelkezésre álló moduláris elemrendszer által biztosítható jellemzők különbözetét (azaz eltérést) kell meghatározni. A második lépés a klaszterezés, amely a különbözeti halmaz több iterációs lépésben történő szűkítése, azaz a legkisebb eltérések azonosítása, míg végül eljutunk az igényeket legjobban kielégítő konfiguráció kialakításához.

A hetedik eszköz a moduláris elemkönyvtár három-típusú katalógust tartalmazó *katalógus-rendszer*. Az első katalógus-típus a moduláris egység-család *fejlesztési katalógusa*, ez tartalmazza a fejlesztés valamennyi lépését és fázisát a lehető legteljesebb formában [Ro89]. A további két katalógus tulajdonképpen ennek a katalógusnak a kivonata, vagy más szóval az ehhez a katalógushoz való korlátozott hozzáférés platformja. A második katalógus-típus a kifejlesztett moduláris rendszer alkalmazását támogató *tervezői segédlet* (8. ábra).



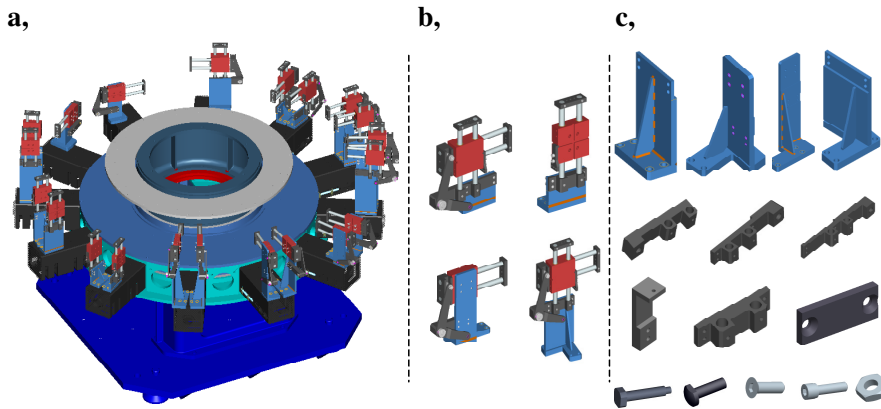
8. ábra. A moduláris egységcsalád elemkatalógusának néhány oldala

Ezt a segédletet használják azok a tervezőmérnökök, akik a kifejlesztett moduláris elemkészletből kívánnak építkezni. A katalógus interaktív, folytonosan változtatható módon segít konfigurálni a szükséges moduláris felépítésű szerkezetet. Ennek érdekében először végigvezeti a tervezőt egy folyamaton, ahol sorra döntenie kell az igények alapján a választandó paraméterekkel és azok értékeivel kapcsolatban, míg végül összeáll a javasolt szerkezet anyagjegyzéke (BOM-ja) és 3D-s modellje. A harmadik katalógus-típus a *kereskedelmi katalógus*, amely szabványos, kereskedelmi áruként beszerezhető és rendszerbe illeszthető elemként mutatja be a kidolgozott moduláris egységeket. Ez a katalógus elsősorban olyan gépépítő illetve gépgyártó vállalatok számára készül, akik egyszerűen megrendelik a készre-gyártott moduláris egységeket, majd utána saját céljaik szerint használják fel azokat.

A kifejlesztett moduláris rendszer

A moduláris rendszer egy olyan elemkészlet, amely moduláris egységeket, alegységeket és az ezek kezelésére kifejlesztett segédsoftvert és speciális adatbázis-rendszert tartalmaz. Ez az elemkészlet alkalmas arra, hogy felhasználásukkal (és az aktuális igényeket kielégítő egyedi alkatrészek megtervezésével és illesztésével) a gépfejlesztők és -

tervezők olyan egyedi gépet vagy gyártósort építsenek, amely gyártástechnológiai és szerelési műveletek kombinálásával új termék előállítására képes.

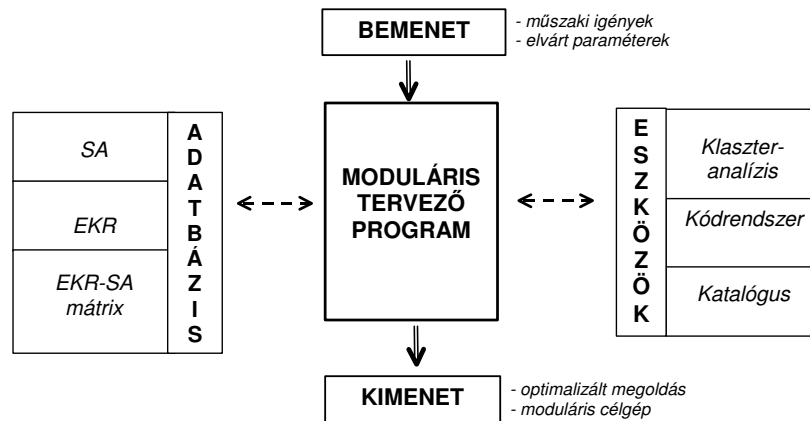


9. ábra. A kifejlesztett moduláris gépcsalád néhány eleme

A moduláris gépcsalád hierarchikus elem-rendszere főmodulokra és segédmodulokra osztható, ezekre látható példa a 9. ábrán (a, - főmodul: alapgép; b, - almodulok: manipulatorok; c, - építőelemek: alkatrészek).

A moduláris tervező program (MTP)

Az egyedileg fejlesztett számítógépes eszközök a moduláris rendszer alkalmazása és felhasználása során szükségesek. Esetünkben ezek az eszközök interaktív módon kötik össze a kifejlesztett módszertani eszközöket, a felhasználásra kész moduláris elemeket és a felhasználói követelményeket. Valamennyi ilyen számítógépes eszközt és segédprogramot összefoglaltam egy szoftvercsomagba, így született meg a Moduláris Tervező Program (MTP), amelynek felépítése a 10. ábrán látható.



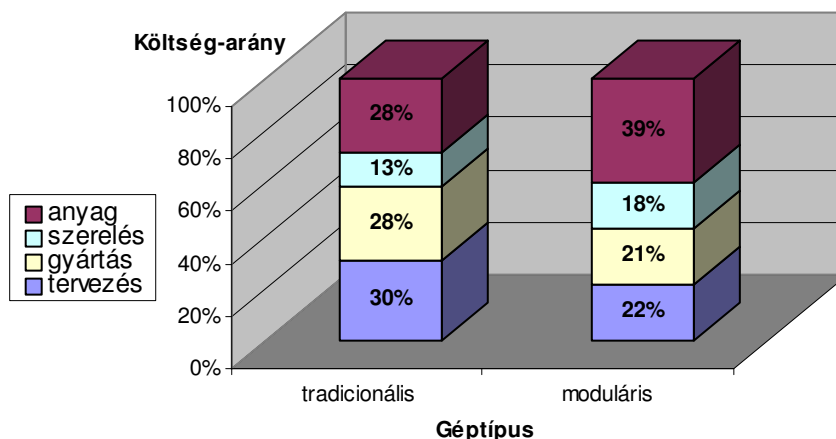
10. ábra. Az MTP szerkezeti felépítése

Az MTP létrehozásához két alapvető funkciót kombináltam a moduláris rendszer kiszolgálása érdekében. Az egyik a feldolgozott és rendszerezett adatok kezelése, ezt szolgálja az ábra baloldalán lévő adatbázis-kezelő modul. A másik pedig a moduláris rendszer alkalmazásához szükséges eszközök integrálása, ezt hivatott megoldani a moduláris rendszer algoritmizált eszközeit kezelő jobboldalon elhelyezkedő moduláris eszköz-kezelő modul. Az MTP ezen két fő modulja segítségével alkalmas a bemenetek (igények) alapján a legmegfelelőbb kimenet (megoldás) generálására. Az MTP fejlesztése során kézenfekvő volt az integrált vállalatirányítási rendszerébe illesztése, amely jól

használható a kivitelezett berendezések tapasztalati adatainak folyamatos nyomonkövetésére és a moduláris rendszerrel kapcsolatos lényeges információk MTP-be (és ez által az EKR-be és az SA-ba) való visszacsatolására.

Költség- és időigény elemzése

A megvalósult tíz moduláris és számos tradicionális célgép tapasztalati jellemzőinek feldolgozása és elemzése alapján az alábbi megállapítások tehetőek azonos funkciójú moduláris és tradicionális célgépek esetén. A moduláris célgépek összköltsége átlagosan 10%-kal alacsonyabb, kivitelezésének átfutási ideje 11%-kal rövidebb. A moduláris célgépek tervezési költsége az összköltség 22%-a, míg a tradicionális célgépek esetén ez az érték 30%. A kétféle géptípus költségtényezőinek arányát a 12. ábra mutatja.



11. ábra. Moduláris és tradicionális berendezések költségeinek aránya

Moduláris felépítésű gyártósorok esetén az összköltségen belül az alapanyag-költség részaránya 28%-ról 39%-ra növekszik, amely a kereskedelmi forgalomban készen kapható elemek nagyobb arányú felhasználásából ered.

Elvégeztem egy vizsgálatot a tervezés hatékonyság-változásának mérésére (II. táblázat), amely során a berendezések ráfordításainak egy óra tervezésre eső hányadát számítottam ki.

berendezés típusa	gyártás / tervezés	szerelés / tervezés	összköltség / tervezés
	óra / óra	óra / óra	eFt / óra
tradicionális	1,75	0,71	14,84
moduláris	1,87	1,33	20,89
mod / trad (%)	107%	189%	141%

II. táblázat. Berendezések ráfordításainak tervezéshez viszonyított aránya

A táblázatban látható, hogy egy óra tervezéssel mennyi óra gyártás és szerelés, illetve a gépek összköltségére vetítve hány „ezer-forintnyi” berendezés állítható elő. Ezt a mutató-számot kiszámolva tradicionális és moduláris berendezések esetére, egyértelműen kimutatható a tervezés hatékonyságának növekedése moduláris rendszer esetén – amelynek százalékos értéke az utolsó sorban látható.

4. Az eredmények hasznosulása

Az elvégzett kutatómunka alapján kidolgoztam a moduláris felépítésű gyártósorok tervezésének elméleti és módszertani modelljét és a tervezés hatékonyságát biztosító esz-

köz-rendszerét. A módszer alkalmazásával felépítettem egy komplett moduláris elemkönyvtár-rendszert, és kifejlesztettem az annak kezeléséhez szükséges számítástechnikai eszközöket. A kifejlesztett eszközök (moduláris EKR, komplex SA, SA-EKR korrelációs mátrix, MTP célszoftver, interaktív katalógusok) gyakorlati alkalmazása során bizonyítottam létjogosultságukat. A kifejlesztett eszközök kisebb módosítással a kidolgozott moduláris elvű gépcsaládtól lényegesen eltérő egyéb moduláris rendszerek támogatására is alkalmassá tehetőek.

A kidolgozott elméletet számos moduláris berendezés gyakorlati megvalósításával sikerült folyamatosan finomítanom és egyben igazolnom. A fejlesztési folyamat és a kidolgozott módszer alkalmas egyedi gyártósor költség- és átfutási idő-igényének gyors és nagy pontosságú becslésére, illetve automatikus specifikálására. Hatékonyan támogatja a moduláris gyártósor megtervezését a szükséges moduláris elemek kiválasztásával, azok kombinációinak generálásával és az optimális verzió kiválasztásával. Automatikusan generálja a 3D-s összeállítási modellt és az anyagjegyzéket, illetve segít a kivitelezés koordinálásában és pontos követésében.

5. Új tudományos eredmények

A dolgozatomban ismertetett kutatások új tudományos eredményeit az alábbiakban foglalom össze.

1. tézis

Az egyedi gyártósorok tervezésének és fejlesztésének hatékony eszköze a moduláris elvet alkalmazó tipizált elemekből álló rendszer kifejlesztése és alkalmazása. Ennek megfelelően *kidolgoztam a moduláris felépítésű gyártósorok fejlesztési folyamatának a modelljét*, részletesen kitérve a folyamat valamennyi lépésére és az azokat támogató rendszer-eszközökre [Go04-I]. A kidolgozott modellt számos korábbi gyártósor jellemzőinek összegyűjtésére, az adatok osztályozására és elemzésére alapoztam és segítségével számos moduláris felépítésű berendezés megtervezését és kivitelezését koordináltam – így igazolva, hogy a kidolgozott folyamatmodell alkalmas egyedi gyártósorok moduláris felépítésű változatának kifejlesztésére [Go04-1], [Go04-IV], [GoBe06].

2. tézis

Kidolgoztam a specifikációs adatbázis-rendszert (SA), amely több-száz korábban kivitelezett berendezés specifikációjának tanulmányozása, összesítése és rendszerezése alapján készült el. A SA segítségével minden olyan jellemző egyszerűen és egyértelműen definiálható, amely az éppen tervezendő gyártósor specifikálásához szükséges. Az SA adatbázis-kezelési tevékenységeinek támogatására (adatbevitel, archiválás, összetett keresés és riportok készíttetése) *kifejlesztettem egy célprogramot*, amelyet több berendezés kivitelezése során alkalmaztam [Go04-III].

3. tézis

A moduláris felépítésű gyártósorok elemeinek rendszerezett, azok kapcsolatainak egzakt azonosítása céljából *kidolgoztam az elemkönyvtár-rendszert* (EKR). Az EKR modellje az építőszekrény-elv és a parciális termékmodellek kombinációjával kapott moduláris rendszermodellre épül. Az EKR alkalmas moduláris gyártósorok tervezése során a szükséges modulok kiválasztásának támogatására és kombinálására, amelyet több ipari alkalmazással igazoltam [Go04-II].

4. tézis

Létrehoztam az SA és az EKR adatbázisok korrelációs mátrixát, az SA-EKR mátrixot, amely alkalmas a moduláris rendszer rendelkezésre álló elemkészletének tulajdonságai és a moduláris rendszer alkalmazásakor megvalósítandó műszaki feladat elvárásai közötti *egzakt kapcsolat megteremtésére*. A mátrix segítségével egyszerűen és gyorsan lehetséges nemcsak bármelyik adatbázis (SA és EKR) bármely eleméhez kapcsolódó másik adatbázisban lévő elem azonosítása, hanem a *két adatbázis* ily módon *azonosított kapcsolódó elemeinek tulajdonságai közötti összefüggés meghatározása is*. A mátrixot valamennyi elkészült moduláris berendezés tervezése és kivitelezése során felhasználtam [Go04-IV], [GoBe06].

5. tézis

A moduláris rendszer kidolgozásának lényeges lépése a rendszerhez szükséges moduláris elemek kiválasztása és azok jellemzőinek meghatározása, illetve a szükségtelen esetek kizárása. A módszer kidolgozása során ennek megoldására a Pareto-elvet alkalmaztam és *Pareto-modulszűrésnek neveztem el*. Kutatásaim során a Pareto-modulszűrést valamennyi főmodul esetén elvégeztem, értekezésemben pedig részletesen bemutattam a manipulátorok esetén, *ezzel igazolva a módszer alkalmasságát moduláris elemcsalád fejlesztése esetén a meglévő megoldások absztrakciójára és a kifejlesztendő moduláris elemek kiválasztására* [Go04-II].

6. tézis

A moduláris rendszer kifejlesztése során szükséges a kidolgozott moduláris elemek egyértelmű, kódrendszerrel történő azonosítása. A *kódrendszer kialakítása* során alapul kell venni a korábbi kódolási technikákat és az adott szakterületen kialakult rajzszámozási struktúrát. Az így kialakult kódok egyértelműen azonosítják az általuk jelölt moduláris elemet, annak főbb jellemzőit, illetve belőlük képezve alakíthatóak ki a szükséges rajzszámok. A kódolás a rajzszámrendszer és az EKR közötti kapcsolatok egyértelműségét és a rendszer működését valós ipari körülmények közötti alkalmazással teszteltem és igazoltam [GoBe06].

7. tézis

A kidolgozott moduláris rendszer hatékony kezelése és áttekintése céljából *minden esetben el kell készíteni a katalógus-rendszert*. Ahhoz, hogy a rendszerrel kapcsolatos valamennyi igényt ki tudjuk elégíteni, három katalógus-típusra van szükség [Go04-IV], [GoBe06]. Az első katalógus-típus a *moduláris egység-család fejlesztési katalógusa*, amely rendezett formában tartalmazza a fejlesztés valamennyi lépését, a fejlesztés alatt álló modulok státuszát és jellemzőit, illetve a már kifejlesztett modulok fejlesztésének előzményeit és eredményét. A második katalógus-típus a kidolgozott *moduláris rendszer interaktív tervezési segédlete*, ez segíti a tervezőmérnökök munkáját az építendő berendezéshez szükséges modulok kiválasztásában és illesztésében. A harmadik katalógus-típus a kifejlesztett *moduláris rendszer kereskedelmi katalógusa*, amely kereskedelmi tételként beszerezhető és rendszerbe illeszthető tipizált elemekként mutatja be és kínálja a kidolgozott moduláris egységeket.

A kidolgozott katalógus-rendszer felhasználásával a moduláris rendszer egyértelműen áttekinthető, egyszerűen és gyorsan alkalmazható. A kifejlesztett katalógusok jelenleg is kötelezően alkalmazandóak a kutatásomnak teret adó gépgyárban, ezzel igazolva alkalmazhatóságukat.

8. tézis

A kidolgozott rendszer egyik legmeghatározóbb eszköze a *moduláris tervező program* (MTP), amelynek kifejlesztése során valamennyi valós igényt figyelembe vettem. A program *alapja az SA-EKR mátrix*, amely *kapcsolatot teremt a felhasználói igények és a kidolgozott moduláris elemek adta lehetőségek között*, emellett *interaktív módon összekapcsolja azokat az integrált vállalatirányítási rendszerrel*. Az *MTP program alkalmas a kifejlesztett moduláris elemcsaládok rugalmas és felhasználóbarát kezelésére*, amelyet konkrét ipari alkalmazások sorával igazoltam [GoBe06].

9. tézis

A kidolgozott tervezési-fejlesztési folyamatmodell és módszertan új moduláris gyártósor komplex fejlesztési feladatának megoldása *mellett tradicionális rendszerhez történő illesztésre is alkalmas*. Megvalósításra került olyan gyártósor, amely célgépeinek egy része tradicionális felépítésű, míg a másik része moduláris felépítésű, ezzel sikerült igazolni a moduláris rendszer más (nem moduláris) rendszerhez történő rugalmas integrálásának működését [Go04-V], [GoBe06].

6. Az értekezés témájában megjelent tudományos közlemények

1. **Gotthard Viktor:** Bütykös mechanizmus vezérpálya-optimalása, Gép LIV. évf., 2003/10-11., Géptervezők és Termékfejlesztők XIX. Országos Szemináriuma, Miskolc, 2003. nov. 13-14., pp. 50-55 (ISSN 0016-8572)
2. **Gotthard Viktor:** Moduláris felépítésű gyártósorok fejlesztési lépései, 12th International Conference in Mechanical Engineering – OGÉT 2004, Csíksomlyó, 2004. ápr. 22-25., pp. 103-106 (ISBN 973-86097-9-8)
3. **Gotthard Viktor:** Element-library system of modular build-up production lines, Proceedings of the Fourth Conference on Mechanical Engineering, Budapest, 2004. May 27-28, Vol.2, pp. 524-528 (ISBN 963 214 748 0)
4. Szabó György, **Gotthard Viktor**, Bercsey Tibor: Cam optimizing by genetic algorithm, Proceedings of the Fourth Conference on Mechanical Engineering, Budapest, 2004. May 27-28, Vol. 2, pp. 602-606 (ISBN 963 214 748 0)
5. **Gotthard Viktor:** Specification process of modular built-up production lines, Proceeding of the 11th International Conference on Tools – ICT 2004, Miskolc, 2004. September 9-11., 2004, Miskolc, pp. 265-270 (ISSN 1215-0851)
6. **Gotthard Viktor:** Moduláris felépítésű gépek tervezése, Gép LV. évf., 2004/10-11., Géptervezők és Termékfejlesztők XX. Országos Szemináriuma, Miskolc, 2004. nov. 11-12., pp. 60-63 (ISSN 0016-8572)
7. **Gotthard Viktor:** Design for Flexibility, Beiträge zum 15. Symposium „Design for X”, Neukirchen, 14 und 15. Oktober, 2004., pp. 41-47 (ISBN 3-9808539-2-6)
8. **Gotthard Viktor**, Bercsey Tibor: Development of modular production lines, Periodica Polytechnica / Mechanical Engineering (ISSN 1587-379X), Budapest, 2006. Vol.50 (2)

7. Irodalomjegyzék

- [CFK90] Cherpakov B. I., Designing flexible automatic lines incorporating advanced modular units, Soviet Engineering Research, Vol. Feofanov A. N., Kalinin V. V. 10, No. 2, 1990
- [Ge99] Gerhart S. The road to modular assembly, Electronic Packaging and Production, Vol. 39, No. 5, Cahnrs Publishing, New York, 1999

- [Go03] Gotthard V. Büttykös mechanizmus vezérpálya-optimalása, Gép LIV. évf., 2003/10-11., Géptervezők és Termékfejlesztők XIX. Országos Szemináriuma, Miskolc, 2003
- [Go04-I] Gotthard V. Moduláris felépítésű gyártósorok fejlesztési lépései, 12th International Conference in Mechanical Engineering – OGÉT 2004, Csíksomlyó, 2004
- [Go04-II] Gotthard V. Element-library system of modular build-up production lines, Proceedings of the Fourth Conference on Mechanical Engineering, Budapest, 2004
- [Go04-III] Gotthard V. Specification process of modular built-up production lines, Proceeding of the 11th International Conference on Tools – ICT 2004, Miskolc, 2004
- [Go04-IV] Gotthard V. Moduláris felépítésű gépek tervezése, Gép LV. évf., 2004/10-11., Géptervezők és Termékfejlesztők XX. Országos Szemináriuma, Miskolc, 2004
- [Go04-V] Gotthard V. Design for Flexibility, Beiträge zum 15. Symposium „Design for X”, Neukirchen, 2004
- [GoBe06] Gotthard V., Bercsey T. Development of modular production lines, Periodica Polytechnica / Mechanical Engineering, Budapest, 2006
- [JaLe83] Jambu M., Lebeaux M. O. Cluster analysis and data analysis, North-Holland Publishing, Amsterdam-New York-Oxford, 1983
- [Kr63] Kripács F. Az “építőszekrény”-rendszer alkalmazása a technikában, KGM-MTPI, Budapest, 1963
- [PaBe99] Pahl G., Beitz W. Engineering Design, Springer, London, 1999
- [Ro89] Roth K. Tervezés katalógussal, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1989
- [RoBo97] Rogers G.G., Bottaci L. Modular production systems: a new manufacturing paradigm, Journal of intelligent manufacturing, Vol. 8(2), 1997
- [Ru98] Rude S. Wissensbasiertes konstruieren, Habilitationsschrift, Shaker Verlag, Aachen, 1998
- [ShGr94] Shaker S. M., Greenwald J. Modular evolution, Civil Engineering (New York), Vol. 64, No., ASCE, New York
- [Te62] Terplán Z. Mechanizmusok, Tankönyvkiadó, Budapest, 1962.
- [Tr64] Triznyá J. Építőköcka-elvű konstrukció, OMKDK, Budapest, 1964
- [We98] Weczerek J. Automatisierungsbaukasten für den Anlagen- und Maschinenbau: Schlüssel zum Rationalisierungspotential, Industrie-Elektrik und Elektronik, Vol. 43 (4), 1998

A doktori disszertáció bírálatai és a védésről készített jegyzőkönyv a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Gépészmérnöki Kar Dékáni hivatalában megtekinthető.