

BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
Gépészmérnöki kar
Gép- és Terméktervezés Tanszék



PhD téziszfüzet

**Fuzzy alapú kiértékelő módszer alkalmazása
a konstrukciós tervezésben**

Készítette: **Piros Attila**
okl. gépészmérnök

Témavezető: **Dr. Bercsey Tibor**
egyetemi tanár

Budapest, 2012.

1. Bevezetés

Napjaink konstrukciós tervezése megkívánja az egyre több és sokrétűbb követelményrendszernek megfelelő növekvő bonyolultságú tervváltozat létrehozását. Mindezen igen részletes és jellemzően 3-dimenziós tervváltozatoknak az elkészítésére és értékelésére egyre kevesebb idő áll rendelkezésükre a tervezőmérnököknek. Ma már általánosnak tekinthető a virtuális termékek (DMU - Digital Mock-Up) alkalmazása a tervezésben, amiken végzett számítógépes szimulációkkal próbálják kiváltani a termékek fizikai tesztelését ezzel is lerövidítve a termék életciklusának tervezésre fordított szakaszát. Habár a számítógépes tervezési technológiák széles körű elterjedése számos területen segít a tervezőmérnököknek, de az így létrehozott komplex tervváltozatok elemzése, több szempontú értékelése egyre nehezebben tekinthető át és végezhető el a hagyományos manuális módszerekkel.

Amint az a következő fejezetben is látható, modern tervezés-kiértékelési eljárások esetében egyre többször tűnik fel a fuzzy logika alkalmazása. A fuzzy logika alapjait Zadeh fektette le még 1965-ben. Ezzel a matematikai módszerrel kezelhetők olyan esetek is, amikor a hagyományos bináris logika már nem nyújt megfelelő megoldást. Emellett a fuzzy logika alkalmazása leegyszerűsítheti a konstrukciós tervezésben résztvevő szakemberek dolgát, azért mert ezen logika szerinti megközelítés nagyon közel áll az emberi gondolkodáshoz.

2. A szakirodalom rövid áttekintése

A tervezés módszertanának a fejlődése egyértelműen az algoritmizálható, számítógépes feldolgozásra is alkalmas módszerek felé halad. Jellemzően az emberi tényező csökkentésére irányulnak törekvések [1][2][3][4]. Az egyik ilyen fejlesztési irány az emberi intuíció szerepének a csökkentésére különböző megoldásképző algoritmikus módszerek alkalmazásával [5][6][7][8]. Ide sorolhatók a sztochasztikus és az autogenetikus megoldások előállítására alkalmas módszerek [9][10]. Mindegyik módszer közös jellemzője, hogy csak korlátozott megoldástér előállítására képes, hiszen a módszerek kiinduló értékkészlete is korlátozott. Ezért kritikaként fogalmazható meg, hogy még a modern módszerek sem aknázzák ki a mai számítógépekben rejlő számítási potenciált, ami a megoldástér előállításának a korlátoltságán mérhető legjobban.

Bármilyen módszerrel próbáljuk javítani a legjobb megoldások előállítására és megkeresésére irányuló eljárásokat, mindezek nem garantálják az összes jó megoldás megtalálását. A lokális keresési eljárások könnyen elakadhatnak egy lokális extrémumban [11]. A modern globális optimumkereső módszerek, úgymint a heurisztikus optimalizációs eljárások (Genetikus algoritmusok, Particle Swarm, Ant Colony, stb.) vagy a multiágens rendszerek sem garantálják a globális optimum teljes bizonyossággal történő megtalálását [12][13]. Erre a problémára jelenthet megoldást a teljes megoldástér átfogó vizsgálata, minden egyes megoldás automatizált kiértékelésével [14][15]. Az eredmények kiértékelésénél külön problémát jelent, hogy egyszerre több kritériumnak is meg kell felelnie a tervezett terméknek és még a modern, multikritériális módszerek alkalmazásával sem lehet minden esetben matematikailag is egzakt módon kezelni bizonyos paramétereket és azok egymáshoz viszonyított fontosságát [16].

A szakirodalom áttekintéséből levonható az a következtetés is, hogy a modern tervezés-kiértékelési módszerekben egyre nagyobb szerepet kap a fuzzy logika, hiszen ezen a módon lehet az egyik megoldási lehetőségként az emberi gondolkodási sémát átültetni a teljesen algoritmizált kiértékelési folyamatba [17][18][19]. Ezzel kapcsolatban azt lehet elsősorban kritizálni, hogy a fuzzy módszert jellemzően csak a nyelvi kifejezések matematikai feldolgozására használják, holott

a műszaki életben számos paraméter kezelését tehetné a fuzzy logika könnyebbé. A fuzzy módszer lehetőséget ad minőségi és mennyiségi kritériumok értékelésére, minősítésének a kezelésére. Emellett tekintetbe kell venni a fuzzy módszerek teljesítményét, hiszen a teljes megoldástér vizsgálata gyors algoritmust igényel.

A szakirodalomban számos alkalmazási területen fedezhető fel a fuzzy logika alkalmazásának nyoma. A fuzzy kiértékelés első alkalmazásának számító jelfeldolgozástól kezdve [20] a geodéziai alkalmazáson [21] keresztül az esztétikai szempontok matematikai kezeléséig [22] számos gépészeti területen is megtalálható a fuzzy logika. A konstrukciós tervezéshez kapcsolódóan is találhatunk példákat a fuzzy módszerek alkalmazására, jellemzően a különböző tervezési változatokat kiértékelő módszerekben [23]. Megjegyzendő, hogy a szakirodalomban szinte kizárólag csak háromszög, vagy trapéz alakú tagsági függvényeket alkalmazó publikációk találhatók [24][25], pedig a modern informatikának köszönhetően nincs semmilyen akadálya, illetve hátránya más típusú függvények alkalmazásának sem. Habár ezekben a döntéstámogató és kiértékelő rendszerekben a fuzzy logika alkalmazása indokoltan már helyet talált magának, azonban további fejlődést igényel a fuzzy módszer ilyen irányú alkalmazása két szempontból is. Az egyik oldalról jelenleg még túl sok, az humán közreműködésből adódó, szubjektivitást lehet felfedezni a fuzzy módszer ilyen irányú alkalmazásában, melynek a kiszűrése fontos feladatnak kell lennie a jövőbeni fejlesztésekben [26][27]. Másrészt a jelenlegi fuzzy módszerek már jól algoritmizálhatók, de mindenképp szükséges ezek olyan irányú továbbfejlesztése, hogy az értékelő algoritmusok egyszerűbbé tételével még jobban ki lehessen használni a rendelkezésre álló számítási kapacitást, mert csak így lehet a teljes megoldástér lefedésekor előálló hatalmas adatmennyiséget hatékonyan feldolgozni [28][29][30].

3. A kutatás célkitűzései

A szakirodalom áttekintése és elemzése után hiányosságként állapítható meg, hogy a konstrukciós tervezés folyamatában előforduló bizonytalanságok kiküszöbölésére alkalmazott módszerek között a fuzzy logika még nem terjedt el széles körűen. Ennek az egyik fontos oka, hogy a fuzzy módszer alkalmazásának a körülményei nem megfelelően tisztázták a konstrukciós tervezés bizonyos eseteiben. A kutatásaim kezdetén feltételeztem, hogy nemcsak a szakirodalomban széles körűen megtalálható háromszög és trapéz alakú fuzzy tagsági függvények alkalmasak az egyes konstrukciós kiértékelési kritériumok leírására, hanem megfelelő indokoltság mellett más matematikai függvények is alkalmazhatók. A kiértékelésen kívül is további bizonytalanságot jelent a tervezési információk hiányossága, az egyes tervezési paraméterek közötti kapcsolat tisztázatlansága. Hajtásrendszerek tervezése esetén a komponensek illesztésekor problémát okozhat a megfelelő működési paraméterek meghatározása, mivel több esetben a tervezőmérnök nem rendelkezik pontos információval az adott komponens működéséről, paramétereinek egymástól való függéséről. Ez megnehezíti a megfelelő komponensek kiválasztását, valamint az optimális működési paraméterek megtalálását. A kutatások másik tárgya volt azon feltételezés igazolása, hogy nagyszámú tervezési kombináció előállításával és azok megfelelően beállított fuzzy kiértékelő rendszerrel történő értékelésével a konstrukciós tervezés bizonyos eseteiben kiváltható a közvetlen emberi közreműködés az adott feltételeknek megfelelő konstrukció létrehozásában. Mindezen feltételezések igazolására a következő kutatási célok kerültek kijelölésre:

- A fuzzy módszer alkalmazásának a kiterjesztése a konstrukciós tervezés kiértékelési fázisára, különös tekintettel a számszerűsített, alapkövetelmények kiértékelésére.
-
- Ehhez kapcsolódóan a kiértékelésben alkalmazott fuzzy tagsági függvények alakjának feladat- és probléma orientált vizsgálata és fejlesztése.
- A megoldási változatok kiértékelését gyorsító, a hagyományos fuzzy kiértékelő rendszerek többlépcsős működését egyszerűsítő módszer kidolgozása.
- Fuzzy alapú kiértékelésen nyugvó tervezési módszer kidolgozása a konfiguratív konstrukciós tervezés automatizálásának az elősegítésére.
- A módszer kiterjesztésének megvizsgálása a konstrukciós tervezés parametrikus esetére is.
- A kutatási eredmények és alkalmazhatóságuk igazolása konkrét műszaki feladatok megoldása kapcsán.

4. Az értekezésben alkalmazott módszerek

Az értekezésben ismertetett kutatások első lépésében ipari projektek elemzésével vizsgáltam a konstrukciós tervezésben előforduló követelményeket és az ebből származtatott tervezési kritériumokat. A kritériumok csoportosítása után meghatároztam az egyes kategóriák leírására alkalmas fuzzy tagsági függvényeket.

A konstrukciós tervezés kiértékelésére alkalmazott fuzzy tagsági függvények értékeinek az összegzése céljából több lehetőséget is megvizsgáltam. A mértani közép, illetve a hagyományos fuzzy kiértékelés alkalmazásával kapott eredményeket összehasonlítottam az általam bevezetett korrigált fuzzy átlaggal.

A kutatómunka utolsó fázisában konstrukciós tervezési projektek kiértékelésén keresztül igazoltam a korrigált fuzzy átlagon alapuló tervezési módszer alkalmazhatóságát a legjobb konstrukciós megoldások megtalálására. Az általam alkalmazott módszer keretében a korrigált fuzzy átlag használatával kiértékelt eredményeket összevettem a projektek megvalósítása során, a résztvevő mérnökök által létrehozott konstrukciós megoldásokkal.

5. Az elvégzett kutatómunka és eredményei

5.1. Tervezési kritériumok vizsgálata komplex ipari projektekben

A konstrukciós tervezésre jellemző multikritériális döntések támogatására jól alkalmazható a fuzzy logikán alapuló kiértékelési eljárás. A fuzzy logika lehetővé teszi bizonytalan követelmények, illetve határozatlan célok kezelését, mindamelllett maga a módszer jól illeszkedik a tervezői gondolkodás sémájába. Az előzőleg megfogalmazott kutatási célkitűzések igazolására a kutatások első szakaszában komplex ipari projektek (ITER - fúziós erőmű, elektromos kisautó és automatizált szerszám gép kiszolgáló rendszerek gépészeti tervezése) elemzésével megvizsgáltam a projektekben megkövetelt tervezési kritériumokat, majd csoportosítottam azokat és az egyes csoportok esetén külön elemeztem a fuzzy logika alkalmazhatóságát.

A tervezési kritériumok központi szerepet töltenek be a teljes tervezési folyamatban. Ezen követelmények formalizálása már a tervezési folyamat korai szakaszában elkezdődik. A kritériumok meghatározása után azokat kategorizálni kell és meghatározni a közöttük fennálló kapcsolatokat (modellezés). Az így generált hálózat jól mutatja a kritériumok közötti interakciókat, hatásokat és a konfliktusokat is. A termék követelmények különböző szempontok alapján csoportosíthatók. Amennyiben a kritériumok megfogalmazásának a pontosságát állítjuk a középpontba, akkor ez a fajta csoportosítás jól mutatja a kritériumok matematikai formulává konvertálásának az igazi nehézségét. Ilyen elven három fő és több alkategóriába lehet besorolni a követelményeket:

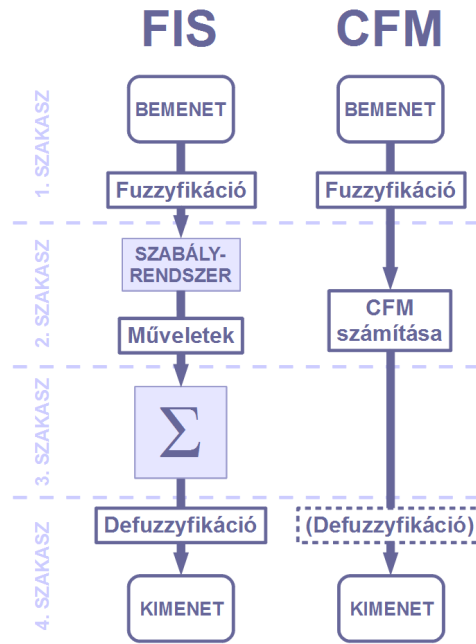
- Tisztán kvantitatív:
 - Pontos numerikus követelmény: egy adott számmal vagy szám tartománnyal megadható kritérium.
 - Pontosan megadott jellemző: olyan nyelvi kifejezés, amely pontosan leírja a megkívánt kritériumot.
- Kevert kvantitatív/szubjektív:
 - Referencia alapú: létezik egy olyan referencia, amely egyértelművé teszi a kritérium értelmezését.
 - Relatív: összehasonlítható más kritériummal és ezáltal válik értelmezhetővé.
- Tisztán szubjektív:
 - Szubjektív: csak a követelményt megfogalmazó személy vagy csoport ismeretében értelmezhető a kritérium.
 - Nem specifikálható: magának a követelménynek a transzformálása a tervezési folyamatba a jelenlegi ismeretek és eszközök segítségével még nem lehetséges.

Az értekezésemben definiáltam a fenti kategóriák esetén alkalmazható fuzzy tagsági függvények típusát, illetve javaslatokat tettem az alkalmazás körülményeire.

5.2. Korrigált fuzzy átlagon alapuló kiértékelési módszer

Kutatásaim során, tervezési kritériumok vizsgálata után, magának a fuzzy alapú kiértékelésnek a fejlesztése volt a következő lépés. Célom a hagyományos fuzzy kiértékelés többlépcsős folyamatának az egyszerűsítése volt. Ez a kutatás vezetett egy olyan számítási eljárás kidolgozásra amely egy jól algoritmizálható fuzzy kiértékelési módszerrel, a korrigált fuzzy átlag ([CFM](#) - Corrected Fuzzy Mean) meghatározásán alapul. Ezt a számítási módszert pontossági és algoritmizálási szempontokból összevettem a hagyományos fuzzy kiértékelési rendszerekkel ([FIS](#) - Fuzzy Inference System). Az általam kifejlesztett kiértékelési módszer csak olyan

paraméterek kiértékelésére alkalmazható, amikor az összes paraméternek az adott értékelési kritérium szerint legalább egy minimális szinten történő megfelelése szükséges az adott konstrukció elfogadásához. Az ilyen kiértékelési kritériumok egymással logikai ÉS kapcsolatban állnak. Habár ez leszűkíti a módszer alkalmazási területét, de a konstrukciós tervezésben még így is jól használható a konstrukciós alapkövetelmények kiértékelésére. A fuzzy módszerek fuzzyfikációra, majd ezután a fuzzyfikált értékeken végzett műveletekre és az eredmények összegzésére, végül pedig az összegzés eredményének a defuzzyfikációjára épülnek. Maga a fuzzyfikáció viszonylag gyors és egyszerű művelet, de a fuzzy módszer többi szakasza már jelentősen több matematikai műveletet, azaz számítási kapacitást igényel. Ez a tény mindenképp indokolja egy egyszerűbb számítási eljárás bevezetését a fuzzy módszer 2. 3. és 4. szakaszára. A CFM módszer bevezetésével a hagyományos FIS kiértékelés egy szakasszal rövidül ([1. ábra](#)).



1. ábra: FIS és CFM alapú kiértékelés folyamatának összevetése

5.2.1. A korrigált fuzzy átlag (CFM) számítása

A korrigált fuzzy átlag (CFM - Corrected Fuzzy Mean) bevezetésével a célok egy olyan gyorsan számítható és egyszerűen algoritmizálható módszer kifejlesztése, amivel a fuzzy értékek (azaz a fuzzyfikált paraméter értékek) összegzése egyszerűbben lenne elvégezhető az általánosan használt fuzzy logikai összegzésnél. A korrigált fuzzy átlagot (R_{FZ}) súlyozás nélkül a következő módon lehet számítani:

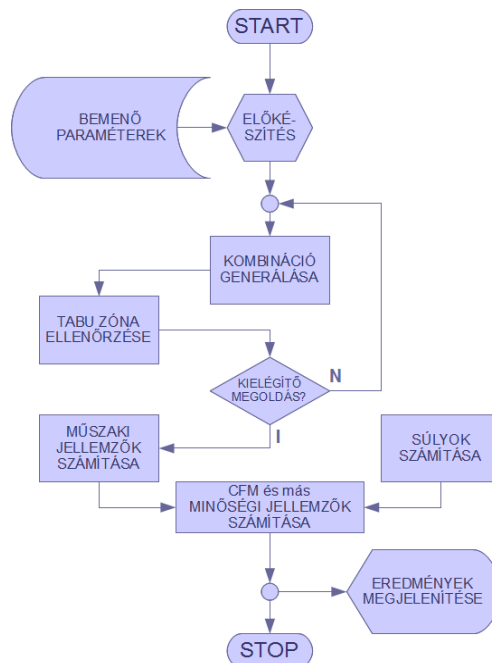
$$R_{FZ} = \frac{u_{VAR 1} \cdot u_{VAR 2} \cdot \dots \cdot u_{VAR n}}{\sum_{i=1}^n u_{VAR i}} \quad (1)$$

A korrigált fuzzy átlag (R_{FZ}) súlyozással számított képlete a következő módon írható fel:

$$R_{FZ} = \frac{u_{VAR 1}^{W'_{VAR 1}} \cdot u_{VAR 2}^{W'_{VAR 2}} \cdot \dots \cdot u_{VAR n}^{W'_{VAR n}}}{\sum_{i=1}^n u_{VAR i}} \quad (2)$$

5.3. Konfiguratív konstrukciós tervezés kiértékelése

Amennyiben a konstrukciós tervezés tárgya egy olyan termék megtervezése, amely ismert paraméterekkel jellemezhető komponensekből épül fel, akkor konfiguratív tervezésről beszélhetünk. Javaslatom szerint az ilyen tervezési folyamatot a következő folyamatmodellben lehet leírni (2. ábra).



2. ábra: Konfiguratív tervezés folyamatábrája

Maga a folyamat az általánosan elfogadott tervezés-kiértékelési folyamatok közé jól illeszkedik, viszont néhány elemében eltérést mutat a hasonló folyamatoktól. A következőkben ezekre az eltérésekre szeretnék részletesebben kitérni, úgymint a megoldási változatok generálására, tabu zónák kijelölésére, a kiértékelési kritériumok felállítására keretében elvégzett paraméter súlyozásra, valamint a minősítési jellemzők fuzzy alapú számítására.

5.3.1. Megoldási változatok generálása

A kutatásom során végzett tervezési projektjeimben a teljes kombináció módszerét alkalmaztam a megoldástér lefedésére. Az így előállított kombinációk száma a néhány tízezertől a több tízmillióig terjedt. A megoldástér előállítását a MATLAB szoftverrendszer felhasználásával végeztem. Habár a MATLAB meglehetősen általános célú szoftver lévén sebességben nem veszi fel a versenyt az adott célra optimalizált egyedi programkódokkal, de még így sem jelentett különösebb akadályt a nagyszámú kombináció előállítása és további kezelése. A sokszor több millió elemet tartalmazó mátrixok előállítása a számítógép processzorának a beépített kódkészlet segítségével jellemzően csak másodpercekkel mérhető időt vett igénybe. A jövőbe tekintve látható, hogy a hardverek fejlődése egyre gyorsítja a számításokat, ezzel együtt a kombinációk automatikus, teljes körű előállítása és ellenőrzése is gyorsul. Az autogenerikus módszerek elterjedését támogatja az informatikában elterjedten használt párhuzamosított számítási sémák egyre jobb hardveres támogatása is. Habár az általam elemzett konstrukciók esetén még kezelhető maradt a teljes megoldástér minden megoldást tartalmazó kimerítő képzése, de összetettebb konstrukciók esetén szembesülhetünk a kombinatorikus robbanás problémájával, ami azokban az esetekben külön kezelést igényel (becslések, vágások alkalmazása; többszintű kombináció képzés köztes ellenőrzéssel; stb.).

Ezzel a módszerrel minden megoldás legenerálásra került és a megoldástér tartalmazta a legjobb megoldásokat is. Esetemben ezek a megoldások csak az adott gépegységek paramétereit tartalmazták és a kiértékelési folyamat elindításához szükség volt egyéb származtatott paraméterek kiszámítására is. Ezeknek a kapcsolt számítások már sokkal nagyobb számítási kapacitást igényeltek, ezért még a kiértékelés előtt célszerű volt a nyilvánvalóan rossz megoldásokat kiszűrni. A heurisztika alapelvei közül a megoldások kizárásának a módszerét alkalmaztam erre a célra.

5.3.2. Tabu zónák kijelölése a megoldástérben

A konfiguratív tervezés folyamatának keretében a szoftver előállítja a komponensek összes kombinációját. A megoldások kizárásának a módszerét alkalmazva a további számítások lerövidítésére a szoftver kompatibilitási ellenőrzést végez az egyes komponensek között kizárva ezzel a fizikailag megvalósíthatatlan, inkompatibilis kombinációkat. A tabu zóna előállításának ezen módja az előzetes vizsgálatok gyors elvégzésére irányul. Ilyenkor csak egyszerű logikai függvényekkel paraméterek páros összehasonlítása történik. Csak olyan esetben alkalmazható a tabu zónák páronkénti összehasonlításra alapuló definiálása, amikor bármely vizsgált paraméter esetén az elfogadhatatlan érték az egész kombináció elvetését eredményezi. Mivel a fuzzy tagsági függvények lehetőséget adnak preferencia alapú vágás kezelésére is, ezért a nagyobb számítási kapacitást igénylő származtatott műszaki paraméterek szűrése már a fuzzy alapú kiértékelés fázisában történik.

A kompatibilitás vizsgálatát az egyes megoldás komponensek között kompatibilitási függvény segítségével lehet elvégezni. Egy adott kompatibilitási függvény ($CP_i(a_i, b_i)$) két kiválasztott komponens összeférhetőségét vizsgálja a megadott paraméterek (a_i, b_i) összevetésével. Ez egy logikai függvény, amely csak 0 vagy 1 kompatibilitási értéket vehet fel.

$$CP_i(a_i, b_i) = f(a_i, b_i) \quad CP_i \in [0, 1] \quad (3)$$

A tabu zóna előzetes meghatározása jelentős számítási kapacitást szabadít fel, mivel ezen részén a megoldástérnek nem kell további vizsgálatokat végezni.

5.3.3. Paraméterek súlyozása a kiértékeléshez

A fuzzy tagsági függvények meghatározása előtt meg kell vizsgálni, majd súlyozni kell a különböző tervezési paramétereket. A súlyozó tényezők kiszámításánál próbáltam az humán befolyást a lehető legkisebbre csökkenteni. A szakirodalomban bemutatott példák zömében a legtöbb súlyozó tényezőt szakértőkkel készült interjúk alapján veszik fel a kiértékelő rendszerek inicializálásakor. Több szakcikk is kihangsúlyozza, hogy az értékelési eljárások objektivitását súlyosan befolyásolja a kiválasztott szakértők személye, illetve az általuk képviselt szubjektív vélemény. Az általam kifejlesztett súlyozó eljárásban csak egyetlen ponton, a más paraméterektől függő tervezési jellemzők esetén kell a tervező mérnöknek eldönteni, hogy melyik ilyen típusú paramétert milyen súllyal szeretné szerepeltetni a kiértékelésben. Amennyiben a tervezés közben vizsgált jellemzőket tekintjük, alapvetően ezeket két fő csoportra oszthatjuk. Vannak más tervezési paraméterektől függő jellemzők és vannak tervezési paraméterektől független mennyiségek. A kiértékelési eljárás előtt a súlyok beállítását a tervezőnek kell megtenni az adott jellemző súlyának ($W_{VAR\ i}$) egy 1 és 10 között terjedő skálán. Ezután ez a manuálisan beállított súlyozó tényező kerül áttranszformálásra egy ($RW_{min} - RW_{max}$) tartományra. Az általam elvégzett vizsgálatok tapasztalatai szerint a kiértékelés eredményeinek a legjobb eloszlását a tartomány ($0.5-1$) értékek közé történő felvétele eredményezte. Így egy ($0-10$) közötti skálán besorolt tervezési jellemző ($W_{VAR\ i}$) súlyozó tényezője a következő ($W_{VAR\ i} \rightarrow W'_{VAR\ i}$) transzformációval számítható át az ($RW_{min} - RW_{max}$) tartományra:

$$W'_{VAR i} = RW_{max} - \frac{RW_{max} - RW_{min}}{10} \cdot W_{VAR i}$$

$$RW_{max} = 1 \quad RW_{min} = 0.5 \quad (4)$$

$$1 \leq W_{VAR i} \leq 10 \quad 0 < W'_{VAR i} \leq 1$$

Az általunk számított tervezési paramétereiktől független jellemzők mintapéldája lehet például egy beszerzett részegység tömege vagy beszerzési ára, hiszen erre nincs befolyással más egyéb tervezési változó. Ezek a jellemzők normalizálva a $(P_{IV min} - P_{IV max})$ tartományon kerülnek automatikusan elosztásra. A $(P_{IV min}=1)$ érték jelöli az alkalmazott komponensek közül a legrosszabb értéket (például a legnagyobb tömeget vagy a legmagasabb beszerzési árat), míg a $(P_{IV max}=10)$ mutatja a komponensek közötti legjobb értéket (például a legkisebb tömeget vagy a legalacsonyabb beszerzési árat).

$$W_{IV j} = \frac{\left(\frac{P_{IV max} - P_{IV j} + 1}{P_{IV max} - P_{IV min}} \cdot 9 \right)}{10} \quad (5)$$

$$0.1 \leq W_{IV j} \leq 1 \quad [P_{IV max}, P_{IV min}] \in \mathbb{Z} \quad \mathbb{Z}: \text{egész számok halmaza}$$

5.3.4. A minősítési jellemzők fuzzy alapú számítás

Amennyiben a kiértékelési eljárást egy adott kombináció minősítésének tekintjük, akkor a paramétereiktől függő jellemzők kiértékelésével kapott minősítési mutatót ($Q_{VAR i}$) a következő módon számíthatjuk:

$$Q_{VAR i} = R_{FZ}(u_{VAR i}) \quad (6)$$

A kiértékelési eljárás záró lépéseként az előbbi minőségi mutatót a beszorozzuk az adott konfigurációra számított ($W_{IV i}$) súlyértékkel, akkor megkapjuk a végső minősítési mutatót ($Q_{UT i}$).

$$Q_{UT i} = W_{IV i} \cdot Q_{VAR i} \quad (7)$$

Ezzel az értékkel lehet a különböző konfigurációkat a kiértékelésben szerepeltetett összes jellemző szerint összehasonlítani. A ($Q_{UT i}$) mutató legmagasabb értéke jelzi az adott körülmények között fennálló legjobb kombinációját a komponenseknek.

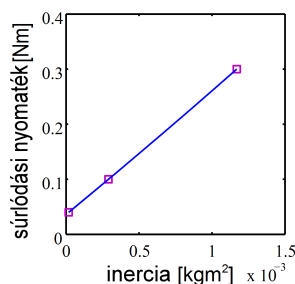
5.4. Parametrikus konstrukciós tervezés kiértékelése

Míg a konfiguratív tervezés célja ismert paraméterű komponensekből kiválasztani azokat, melyekből egy adott célú termék konfigurációja megvalósítható lesz; addig a parametrikus tervezés esetén maguknak a termékparamétereknek az értékét kell meghatározni. Kutatásaim során a parametrikus tervezést a konfiguratív tervezéshez hasonlóan kezeltem, mivel ebben az esetben a számítási és a kiértékelési eljárás is változatlanul végezhető el, így az elkészült programkódon sem kell e tekintetben változtatni.

5.4.1. Az általánosított mechanikai funkció fogalmának bevezetése

Ahhoz, hogy a már létező komponensekhez kötött paramétereiktől el lehessen szakadni, ezért bevezettem az általánosított mechanikai funkció fogalmát, amely a létező komponensek (mechanikai funkciók) statisztikai elemzés útján történő kiterjesztésén alapul. Definícióm szerint az általánosított mechanikai funkciót létező mechanikai funkciók ismert paraméterei alapján lehet létrehozni, az ismert paraméterértékeknek interpoláció alkalmazásával történő kiterjesztésével. Az általánosított mechanikai funkció segítségével lehetőség nyílik különböző gépegységek

matematikai modelljeinek statisztikai alapon történő létrehozására anélkül, hogy magának a gépegység működéséről minden ismerettel rendelkezni. Az általánosítás egy kiválasztott paraméter mentén történik, amely az adott gépegységre jellemző (pl. méret, teljesítmény, inercia, stb.). Ennek a paraméternek a megválasztására általános szabály nem adható, csak az adott gépegység/funkció ismeretében lehet kiválasztani. Egy komponens már megvalósított példányainak az elemzésével lehetőség van az egyes paraméterek konkrét összefüggéseinek az ismerete nélkül egy olyan általánosított modell létrehozására, amely a további tervezési lépésekben is megbízhatóan használható. Bizonyos megkötések figyelembe tartásával arra is van lehetőség, hogy a létező, valós paraméterek tartományát extrapolációval, kismértékben kiterjesszük, ezzel irányt adva a konkrét fejlesztéseknek. Amennyiben egy egyszerű számértékkel jellemezhető paraméterről van szó, akkor ezt tekinthetjük egy 1-dimenziós változónak is, amelynek a 2-dimenziós kiterjesztésével érhetjük el annak az általánosítását (3. ábra).

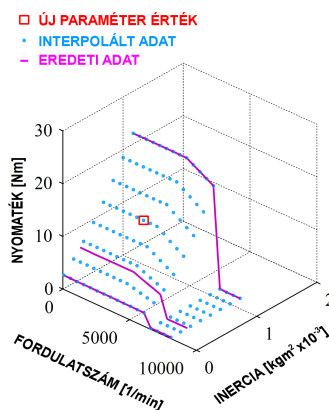


3. ábra: Általánosított 1-dimenziós paraméter

Az interpolációt polinominális illesztéssel valósítottam meg.

$$y = p_1 x^n + p_2 x^{n-1} + \dots + p_n x + p_{n+1} \quad (8)$$

Természetesen vannak olyan paraméterek is, melyeket csak 2-dimenzióban lehet csak ábrázolni. Ebben az esetben a karakterisztika 3-dimenziósra történő kiterjesztése ad lehetőséget ennek a paraméternek az általánosítására. Mindezek után már az általánosított diagramból egy új paraméter érték kiválasztása meglehetősen egyszerűvé válik (4. ábra).



4. ábra: Általánosított 2-dimenziós paraméter

A továbbiakban már ezzel a generált értékkel teljesen azonos módon lehet számolni, mint a konfiguratív tervezés esetében. Emellett még lehetőség van az extrapoláció segítségével a létező paramétertartomány kiterjesztésére, amivel szimulálni lehet egy olyan komponenst, ami még nem került kifejlesztésre, de valószínűleg megvalósítható lenne a már létező komponensek továbbfejlesztésével.

5.5. A fuzzy alapú kiértékelés tervezési alkalmazásai

A kidolgozott tervezői döntést támogató módszer alkalmazhatóságát három megvalósított tervezési projekten keresztül igazoltam. Ezen projektek ismertetésében nem térek ki részletesen a folyamat összes elemének az bemutatására, inkább az adott projekt specialitásait tartalmazó részfeladatokra helyezem a hangsúlyt. Viszont a projektek összevethetősége végett az adott projekt kiértékelését bemutató fejezetben egységesített formában szerepeltetem a projektet jellemző paramétereket.

Az első projekt egy robot hajtásrendszer tervezése volt. A tervezési feladat folyamán problémát jelentett a felhasználható komponensekkel létrehozható konstrukciós kombinációk nagy száma, melyeket már manuális módszerekkel nem lehetett kezelni ezért indokolt volt az értekezésben bemutatott automatizált számítógépes módszer alkalmazása. A feladatmegoldás első lépésében megvizsgáltam a hajtásrendszer beépítési környezetét, valamint az üzemeltetés feltételeit. Mindezek figyelembe vételével kiválasztottam a kiértékelésben szereplő paramétereket és meghatároztam a kiértékelésre használt fuzzy tagsági függvények típusát és konkrét paramétereit. Ezután konfiguratív tervezés keretében megkerestem az adott hajtásrendszer komponenseinek legjobb kombinációit. Végezetül a komponensek parametrikus tervezését is elvégeztem az általam kidolgozott általánosított mechanikai funkciókra alapozva. A tervezési folyamat lezárásaként a konfiguratív és a parametrikus tervezés eredményeit összevettem egymással.

A második projekt egy adott mezőgazdasági erőgép hajtásrendszerének a kiértékelése volt. A jelenleg még csak kutatási fázisban található, a két komplex egység illesztésére vonatkozó, vizsgálatokat jól kiegészítette az értekezésben bemutatott fuzzy alapú kiértékelési módszer alkalmazása. Ebben a projektben egy korszerű dízelmotor és az azzal párosított fokozatmentes hajtómű együttműködésének a minőségét vizsgáltam fuzzy alapokon. A vizsgálat célja azon paramétertartomány megkeresése volt, ahol a kapcsolt gépegységek a legjobb mutatók mellett tudnak együttműködni. Ezen paramétertartományok kijelölése segítheti az integrált elektronikus vezérlés programozását.

A harmadik tervezési projektben a fúziós erőmű (ITER) egyik moduljában található különböző részegységek elrendezését vizsgáltam a karbantarthatóságot előtérbe helyezve. A jelenlegi tervezési és kiértékelési módszerek alkalmazásakor problémát jelent magának az ergonómikus karbantartásra vonatkozó kritériumoknak a matematikai megfogalmazása, illetve a nagyméretű részegységek megfelelő elrendezésének a megtervezése is. Ebben a konfiguratív tervezési feladatban az ergonómiai szempontok figyelembe vétele mellett fontos szerepet kapott a részegységeket összekötő csővezeték rendszer automatizált tervezése is. A kiértékelési eljárás eredményét összevettem az azt megelőző manuális tervezéssel kapott elrendezésekkel.

6. Új tudományos eredmények

1. Tézis

[P-2008][BKNPR-2008][P-2009][P-2010-B][PB-2012]

A konstrukciós tervezési folyamatban a követelményekben és az értékelési kritériumok meghatározásakor jelentkező bizonytalansági tényezők kiküszöbölésére, illetve kezelésére alkalmazható a megoldástér teljes körű előállítására kombinálva a fuzzy halmazok logikájának alkalmazásával. Viszont a fuzzy módszer alkalmazása a konstrukciós tervezés kiértékelése esetén megköveteli a megfelelő tagsági függvények alkalmazását. Értekezésemben kategorizáltam a konstrukciós kiértékelésben előforduló kritériumokat és definiáltam a tisztán kvantitatív, kevert kvantitatív/szubjektív és a tisztán szubjektív kritériumok esetén alkalmazható fuzzy tagsági függvényeket.

2. Tézis

[P-2010-A][PB-2010-B][PB-2011-B]

Kidolgoztam egy módszert, amellyel különböző fuzzy tagsági függvények értékeit lehet kis számítási igény mellett összegezni. Módszerem az olyan konstrukciós alapkövetelmények kiértékelésére alkalmas, melyeknek legalább elfogadható szintű teljesülése szükséges az adott konstrukció elfogadásához így a vizsgált kritériumok között logikai ÉS kapcsolat áll fenn. Bevezettem a „Korrigált fuzzy átlag (CFM)” fogalmát és az ezzel a módszerrel kiértékelt eredményeket összevettem a tervezési gyakorlatban elterjedten alkalmazott mértani középpel, illetve a hagyományosnak mondható fuzzy kiértékelési rendszerben (FIS) számított eredményekkel is. Az összevetés igazolta a számítási módszerem helyességét a legjobb paraméterekkel rendelkező konstrukciók kiértékelésekor.

3. Tézis

[PB-2010-A][PB-2010-C][PB-2011-A][FPBJ-2012][PF-2012]

Kidolgoztam egy fuzzy alapú kiértékelést alkalmazó tervezési módszert konfiguratív és parametrikus konstrukciós tervezés támogatására. A módszernek a konfiguratív, majd a parametrikus tervezésnek ugyanazon konstrukcióra történő alkalmazásával kapott eredményeket összehasonlítottam és megállapítottam, hogy az eredmények jól egyeznek és a módszer alkalmas új, kedvező paraméterértékek megkeresésére is.

- 3.a) A konfiguratív tervezésben történő alkalmazáskor az ismertett módszer keretében a teljes megoldástér lefedése mellett a komponensek összes lehetséges variációja kerül kiértékelésre igazolva, hogy a létező komponenseknek más módszerrel kiválasztott legjobb kombinációit az általam definiált módszer automatikusan képes kiválasztani.
- 3.b) Bevezettem, a több már megvalósított, azonos funkciójú komponens elemzésén alapuló, általánosított mechanikai funkciót, melyet létező mechanikai funkciók ismert paraméterei alapján lehet létrehozni az ismert paraméterértékeknek interpoláció alkalmazásával történő kiterjesztésével. Módszeremben létező komponensek adatainak feldolgozásával olyan elméleti mechanikai modelleket hoztam létre, ahol diszkrét lépésközzel elvégezhető egy kiterjesztett kombinációs vizsgálat.
- 3.c) Az általánosított mechanikai funkció segítségével az adott hajtásrendszer konfiguratív tervezési megoldását kiterjesztettem parametrikus tervezésre is. A vizsgálatban interpoláció alkalmazásával lehetséges még nem megvalósított köztes paraméterértékek használata, illetve indokolható, kis mértékű extrapolációval az általánosított mechanikai funkció alkalmazható a létező mechanikus komponensek paraméter tartományának kiterjesztésére is.

7. Hivatkozott szakirodalom

- [1] ROOZENBURG, N. F. M. (2002): **Defining synthesis: on the sense and the logic of design synthesis** in: CHAKRABARTI, A. Ed.: *Engineering design synthesis: understanding approaches and tools*, Springer, ISBN: 10:1852334924
- [2] TAKEDA, H.; VEERKAMP, P.; TOMIYAMA, T.; YOSHIKAWA, H. (1990): **Modelling Design Process** *AI Magazine*, Vol. 11 No. 4. Association for the Advancement of Artificial Intelligence, pp.:37-48, ISSN: 0738-4602
- [3] ROSENMAN, M.; GERO, J. (1998): **Purpose and function in design: from the socio-cultural to the techno-physical** *Design Studies*, 19, Issue 2 April, pp.:161-186, ISSN: 0142-694X
- [4] EEKELS, J. (2002): **On the Logic and Methodology of Engineering Design** *Chemical Engineering Research and Design*, 80, Issue 6 Elsevier, pp.:615-624, ISSN: 0263-8762
- [5] EHRENSPIEL, K. (2009): **Integrierte Produktentwicklung** Hanser Fachbuchverlag, München, ISBN: 3446420134
- [6] LOTZ, M.; HÖHNE, G.; HACKEL, T.; FRANK, T.; THESKA, R. (2007): **Design method for functional components of ultra high precision machines** *ICED'07* 28-31 August 2007, Paris, FR, pp.:198.
- [7] BRUNO, F.; CARUSO, F.; FALBO, L.; MUZZUPAPPA, M. (2007): **A co-simulation based design methodology for mechatronic products** *ICED'07* 28-31 August 2007, Paris, FR, pp.:306.
- [8] CAMELO, D.; MULET, E.; VIDAL, R. (2007): **Function and behaviour representation for supporting flexible exploration and generation in a functional model for conceptual design** *ICED'07* 28-31 August 2007, Paris, FR, pp.:468.
- [9] KIESSLING, D.; NIEDERMEIER, M.; STETTER, R. (2007): **Development of an airship using the design principles of bionics** *ICED'07* 28-31 August 2007, Paris, FR, pp.:346.
- [10] VAJNA, S.; KITTEL, K.; BERCSEY, T. (2011): **Designing the solution space for the autogenetic design theory (ADT)** in: BIRKHOFER, H. Ed.: *Future of design methodology*, Springer, ISBN: 10: 0857296140
- [11] VÁNCZA, J. (1999): **Artificial intelligence support in design: a survey** *1999 CIRP international design seminar* Enschede, pp.:57-68.
- [12] RENNER, G.; EKÁRT, A. (2003): **Genetic algorithms in computer aided design** *Computer-Aided Design*, 35, Issue 8 Elsevier, pp.:709-726, ISSN: 0010-4485
- [13] RAISZ, D.; DIVÉNYI, D. (2011): **Hat MI alkalmazás a villamosenergia-rendszerben** *Fuzzy Day* 2011. november 10. BME, Budapest, HU, pp.:.
- [14] IVANOV, J.; KARABUNARLIEV, S.; MEKENYAN, O. (1994): **3DGEN - A system for exhaustive 3d molecular design proceeding from molecular topology** *JOURNAL OF CHEMICAL INFORMATION AND COMPUTER SCIENCES*, 34 Issue: 2 AMER CHEMICAL SOC., pp.:234-243, ISSN: 0095-2338
- [15] FIRTH-CLARK, S.; TODOROV, N.; ALBERTS, I.; WILLIAMS, A.; JAMES, T.; DEAN, P. (2006): **Exhaustive de novo design of low-molecular-weight fragments against the ATP-binding site of DNA-gyrase** *JOURNAL OF CHEMICAL INFORMATION AND MODELING*, 46 Issue: 3 AMER CHEMICAL SOC., pp.:1168-1173, ISSN: 1549-9596

-
- [16] OPRICOVIC, S.; TZENG, G.-H. (2004): **Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS** *European Journal of Operational Research*, 156 ELSEVIER, pp.:445–455, ISSN: 0377-2217
- [17] EHRENSPIEL, K.; KIEWERT, A.; LINDEMANN, U. (2005): **Kostengünstig Entwickeln und Konstruieren** Springer, Berlin Heidelberg, ISBN: 10 3540251650
- [18] BREIING, A.; KNOSALA, R. (1997): **Bewerten technischer Systeme** Springer Berlin Heidelberg, ISBN: 978-3540610861
- [19] KÓCZY, T. L.; TIKK, D. (2000): **Fuzzy rendszerek** Typotex Kiadó, Budapest, ISBN: 963-9132-55-1
- [20] QINGHUA, H.; SHUANG, A.; DAREN, Y. (2010): **Soft fuzzy rough sets for robust feature evaluation and selection** *Information Sciences*, 180 ELSEVIER, pp.:4384-4400, ISSN: 0020-0255
- [21] MALCZEWSKI, J. (2006): **Ordered weighted averaging with fuzzy quantifiers: GIS-based multicriteria evaluation for land-use suitability analysis** *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 8 ELSEVIER, pp.:270-277, ISSN: 0303-2434
- [22] YAN, H.-B.; HUYNH, V.-N.; MURAI, T.; NAKAMOR, Y. (2008): **Kansei evaluation based on prioritized multi-attribute fuzzy target-oriented decision analysis** *Information Sciences*, 178 ELSEVIER, pp.:4080-4093, ISSN: 0020-0255
- [23] DECIU, E. R.; OSTROSI, E.; FERNEY, M.; GHEORGHE, M. (2005): **Configurable product design using multiple fuzzy models** *Journal of Engineering Design*, Vol.16 No.2 Taylor & Francis, pp.:209-233, ISSN: 0954-4828
- [24] TIKK, D.; JOHANYÁK, Z. C.; KOVÁCS, S.; WONG, K. W. (2011): **Fuzzy Rule Interpolation and Extrapolation Techniques: Criteria and Evaluation Guidelines** *Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics*, Vol.15, No.3 Fuji Technology Press, pp.: 254-263, ISSN: 1343-0130
- [25] BÜYÜKÖZKAN, G.; RUAN, D. (2008): **Evaluation of software development projects using a fuzzy multi-criteria decision approach** *Mathematics and Computers in Simulation*, 77 ELSEVIER, pp.:464-475, ISSN: 0378-4754
- [26] YU, V. F.; HU, K.-J. (2010): **An integrated fuzzy multi-criteria approach for the performance evaluation of multiple manufacturing plants** *Computers & Industrial Engineering*, 58 ELSEVIER, pp.:269-277, ISSN: 0360-8352
- [27] CHAMODRAKAS, I.; ALEXOPOULOU, N.; MARTAKOS, D. (2009): **Customer evaluation for order acceptance using a novel class of fuzzy methods based on TOPSIS** *Expert Systems with Applications*, 36 ELSEVIER, pp.:7409-7415, ISSN: 0957-4174
- [28] BALAZS, K.; BOTZHEIM, J.; KOCZY, L. T. (2010): **Comparative Analysis of Interpolative and Non-interpolative Fuzzy Rule Based Machine Learning Systems Applying Various Numerical Optimization Methods** *2010 IEEE World Congress on Computational Intelligence* JUL 18-23, 2010, Barcelona, SPAIN, pp.:.
- [29] BARANYI, P.; VÁRKONYI-KÓCZY, A. R.; YAM, Y.; PATTON, R. J. (2005): **Adaptation of TS Fuzzy Models Without Complexity Expansion: HOSVD-Based Approach** *IEEE transactions on instrumentation and measurement*, 54 No. 1 IEEE, pp.:52-60, ISSN: 0018-9456
- [30] BARANYI, P.; KORONDI, P.; J.PATTON, R.; HASHIMOTO, H. (2004): **Trade-off between approximation accuracy and complexity for ts fuzzy models** *Asian Journal of Control*, 6, No. 1 Wiley, pp.:21-33, ISSN: 1934-6093
-

8. Saját publikációk

- [BKNR-2008] **BEDE, O.; KISS, I.; NEUBERGER, H.; PIROS, A.; RECSKI, J. (2008): Test blanket module maintenance operations between port plug and ancillary equipment unit in ITER *Fusion Engineering and Design*, 83 ELSEVIER, pp.:1865-1869, ISSN: 0920-3796**
- [P-2008] **PIROS, A. (2008): Application of Digital MockUp in mechanical design *GÉPÉSZET 2008* Budapest, 2008. máj. 29-30., HU, pp.:**
- [P-2009] **PIROS, A. (2009): Digital MockUp felhasználása a gépészeti tervezésben *GépGyártás*, 2 GTE, pp.:28-31, ISSN: 0016-8580**
- [P-2010-A] **PIROS, A. (2010): Fuzzy evaluation in configurable product design *ICDES 2010* Tokyo, 2010. nov. 17-19., JAPAN, pp.:37-41.**
- [P-2010-B] **PIROS, A. (2010): Application of conceptual design in complex mechanical projects *GÉPÉSZET 2010* Budapest, 2010. máj. 25-26., HU, pp.:**
- [PB-2010-A] **PIROS, A.; BERCSEY, T. (2010): Fuzzy evaluation of statistically based generalized mechanical functions *Periodica Politechnica*, 1 Budapest University of Technology and Economics, pp.:41-48, ISSN: 0324-6051**
- [PB-2010-B] **PIROS, A.; BERCSEY, T. (2010): Comparison of the fuzzy evaluation methods in selecting mechanical components *GÉP*, 9-10 GTE, pp.:83-86, ISSN: 0016-8572**
- [PB-2010-C] **PIROS, A.; BERCSEY, T. (2010): Application of fuzzy evaluation in the design of linear drives *AGTEDU 2010* Kecskemét, 2010. nov. 4-5., HU, pp.:455-460.**
- [PB-2011-A] **PIROS, A.; BERCSEY, T. (2011): Finding optimal parameters with fuzzy evaluation of generalized mechanical functions 9. *Gemeinsames Kolloquium Konstruktionstechnik* 06.10. - 07.10. 2011 in Rostock, Germany, pp.: oral presentation**
- [PB-2011-B] **PIROS, A.; BERCSEY, T. (2011): Evaluation of linear drives with different fuzzy methods 22. *DfX-Symposium* 11. und 12. Oktober 2011 in Tutzing, Germany, pp.: oral presentation**
- [PBSZ-2011] **PIROS, A.; BERCSEY, T.; SZEGHŐ, K. (2011): Supporting multi-criterial design decisions with fuzzy methods *Annals of Faculty Engineering Hunedoara - International Journal of Engineering*, 2 University Politehnica Timisoara, pp.:159-164, ISSN: 1584-2665**
- [FPBJ-2012] **FARKAS, Z.; PIROS, A.; BERCSEY, T.; JÓRI, I. J. (2012): Mathematical modelling and fuzzy based evaluation of a specific engine-CVT transmission combination *CVT 2012 Commercial Vehicle Technology Symposium* March 13-15, 2012, Kaiserslautern, Germany, pp.: oral presentation**
- [PB-2012] **PIROS, A.; BERCSEY, T. (2012): Handling of uncertainty in mechanical design *GÉPÉSZET 2012* Budapest, 2012. máj. 24-25., HU, pp.:**
- [PF-2012] **PIROS, A.; FARKAS, Z. (2012): Fuzzy based evaluation of a specific drive train *Advances in Mechanical Engineering*, Hindawi Publishing Corporation, pp.:, ISSN: 1687-8132**
- [PV-2012] **PIROS, A.; VERES, G. (2012): Fuzzy based method for project planning of the infrastructure design for the diagnostic in ITER *27th Symposium on Fusion Technology (SOFT 2012)* 24-28 September 2012, Liege, Belgium, pp.:poster**