

Domán László

Katonai helikopterek önvédelmi elektronikai hadviselési rendszereinek értékelési szempontjaival összefüggő súlyszámok meghatározása a fuzzy AHP módszer felhasználásával

Absztrakt

A cikkben bemutatom a több szempontú döntési modelleket. Rávilágítok a katonai helikopterek önvédelmi elektronikai hadviselési eszközök értékeléséhez felállított szempontrendszerre. Ismertetem ezen eszközök összehasonlításának preferencia-összefüggéseit reprezentáló súlyszámok megállapításához, a klasszikus (Analytic Hierarchy Process – AHP) és a fuzzy analitikus hierarchikus eljárás (Fuzzy Analytic Hierarchy Process – Fuzzy AHP) módszerek alkalmazását. Meghatározom egy kezdeti kérdőíves felmérés, az AHP és a fuzzy AHP súlyszámait. Ezek összehasonlítását követően megvizsgálom, hogy alkalmas-e a fuzzy AHP módszerhez kapcsolódó páros kikérdezés a kezdeti online kérdőíves kikérdezés továbbfejlesztésére. Végezetül összefoglalom a kapott az eredményeket.

Kulcsszavak: eljárás, fuzzy logika, összehasonlítás, elemzés, súlyozási szám

Determination of Weight Numbers Related to Evaluation Aspects of Self-defence Electronic Warfare Systems for Military Helicopters Using the Fuzzy AHP Method

In this article, I present several aspects of the Multi Criteria Decision-Making. I highlight the system of criteria set up for the evaluation of electronic warfare (self-defence) systems in military helicopters. I describe the application of the classical (Analytical Hierarchy Process – AHP) and the Fuzzy Analytical Hierarchy Process (Fuzzy AHP) methods to determine the weighting number representing the preference relationships of the comparison of these tools. I determine the weights of an initial questionnaire survey, the AHP, and the Fuzzy AHP. After comparing these, I examine whether the pairwise comparison methods related to the Fuzzy AHP method is suitable for further development of the initial online questionnaire survey. Finally, I summarise the results obtained.

Keywords: method, Fuzzy logic, comparison, analysis, weighting number

Bevezetés

A haditechnikai eszközök rendelkeznek néhány sajátos, a kiválasztásban el nem hanyagolható szemponttal. A több évtizedig is eltartó használatuk során a bekövetkező politikai, gazdasági és technológiai változások előtérbe helyezik a bővíthető és fejleszthető

eszközök rendszerbe állítását, illetve rendszerben tartását. A haditechnikai eszköz, jelen esetben a katonai helikopter, hatékony önvédelmi elektronikai hadviselési eszközeinek összehasonlítása és a számunkra megfelelő rendszer kiválasztása egyébként sem egyszerű, és nem is rövid előkészítési és tudományos munkát kíván meg. A probléma megoldása a vonatkozó szakirodalom¹ szerint egy több szempontú döntés alkalmazása, ilyenkor az egyik lényeges elem az értékelési szempontok kialakítása és ezek fontossági sorrendjének minél pontosabb meghatározása, vagy másképpen fogalmazva, a fontossági sorrend súlyozása. Emellett a szempontrendszer kialakításakor a hozzá tartozó konzisztencia meghatározása is nagyon fontos feladat.²

Korábbi kutatásaim során meghatároztam a katonai helikopterek önvédelmi elektronikai hadviselési rendszereinek értékelési szempontrendszerét, az értékelési modellt, és a súlyszámok meghatározására mutattam egy példát, ahol a súlyszámokat a közvetlen becsléssel egy online kérdőíves felmérés keretében határoztam meg.³

Ebben a tanulmányban – egy konkrét példán keresztül – bemutatom a klasszikus és a fuzzy analitikus hierarchikus eljárást, azért, hogy láthatóvá váljon ezen módszerek felhasználhatósága a katonai helikopterek önvédelmi elektronikai hadviselési rendszereinek értékelésében a súlyszámok meghatározására. A publikáció fő célkitűzése a különböző döntéshozatali lehetőségek biztosítása, valamint a több szempontú döntési modell (*Multi Criteria Decision Making – MCDM*) bemutatása az AHP- és a fuzzy AHP módszerek használatával és összehasonlításával – a katonai helikopterek – már említett – legmegfelelőbb önvédelmi elektronikai hadviselési eszközeinek kiválasztása érdekében.

Az AHP alapváltozatáról már számos publikáció készült. Ezekben a tanulmányokban a konkrét haditechnikai eszközök értékelésén és összehasonlításán keresztül mutatták be a módszer alkalmazhatóságát.⁴

¹ Turcsányi Károly – Kende György – Gyarmati József: *Haditechnikai eszközök összehasonlításának korszerű módszerei és azok alkalmazása*. Budapest, HM Oktatási és Tudományszervező Főosztály, 2002; Gyarmati József: *Több szempontú döntéshozatal alkalmazása a haditechnikai eszközök összehasonlításában*. PhD-értekezés. Budapest, ZMNE, 2003; Kavas László: *Harcászati repülőgépek kiválasztásának módszere gazdasági-hatékonyági mutatók alapján, kis létszámú haderő légierejének korszerűsítésére*. PhD-értekezés. Budapest, ZMNE, 2009; Gyarmati József: A többszpontú döntési modellek alkalmazásának lehetőségei és korlátai a haditechnikai K+F folyamatokban. *Hadtudományi Szemle*, 9. (2016), 2. 377–387.; Gyarmati József: *Haditechnikai eszközök összehasonlítása (útmutató)*. Budapest, ZMNE, 2011; Gyarmati József: Döntési modell kialakítása közbeszerzési eljárás során. *Hadmérnök*, 2. (2007), 3. 36–52.

² Kavas László: A súlyszámok problematikája komplex rendszerek értékelése során. *Repüléstudományi Közlemények*, (2007), ksz. 1

³ Domán László: A katonai helikopterek komplex elektronikai hadviselési önvédelmi rendszereinek értékelése. *Repüléstudományi Közlemények*, 33. (2021), 2. 1–19.

⁴ Bimbó István: Mesterlövész fegyverek összehasonlítása AHP döntési modell felhasználásával. *Katonai Logisztika*, 21. (2013), 2. 1–14.; Fekete Róbert: Kézi lőfegyver kiválasztása a honvéd koronaőrseg részére. *Katonai Logisztika*, 20. (2021), 1. 1–13.

Azonban ennek a módszernek is vannak a hiányosságai. Például nagyon sok esetben nehézkes a felhasználók preferenciájához pontos számértékeket hozzárendelni, ezért erre megoldást jelenhet a Hepu Deng által alkalmazott *fuzzy eljárás*.⁵ Ezen módszer által generált értékek határai nem olyan élesek, így ez biztosíthatja – jelen esetben – a súlyszámok finomabb meghatározását.

A fuzzy AHP módszert eddig számos probléma megoldására használták, azonban katonai helikopterek önvédelmi elektronikai hadviselési eszközeinek értékelése során még nem. A cikkben a Da-Yong Chang által kidolgozott elveket vettem alapul,⁶ amely eljárást Esztergár-Kiss Domokos és Csiszár Csaba is alkalmazta a multimodális utazástervező rendszerek értékelése során a súlyszámok kialakítására.⁷

A kutatás alapkérdése az volt, hogy a fuzzy módszer alkalmazásával *kisimíthatók-e* egy katonai helikopter önvédelmi elektronikai hadviselési rendszer képességeit meghatározó szempontrendszer fontosságát pontozó szakértők preferenciáira vonatkozó eredmények, azaz meghatározhatók-e egy online kikérdezéses módszerhez hasonló súlyszámok.

Több szempontú döntési modellek bemutatása

Általában az irodalmak az alábbi főbb eljárásokat, módszereket tartalmazzák:

- Pontozásos eljárások – Scoring methods (Simple additive weighting [SAW], Complex proportional assessment [COPRAS]);
- Távolságalapú eljárások – Distance-based methods (Goal programming [GP], Compromise programming [CP], Technique for order of preference by similarity to ideal solution [TOPSIS], Multicriteria optimization and compromise solution [VIKOR], Data envelopment analysis [DEA]);
- Páros összehasonlításos eljárások – Pairwise comparison methods (Analytic hierarchy process [AHP], Analytic network process [ANP], Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique [MACBETH]);
- Elsőbbségi eljárások – Outranking methods (Preference ranking organization method for enrichment of evaluations [PROMETHEE], Elimination and choice expressing reality [ELECTRE]);
- Hasznosság/értékelés eljárások – Utility/Valuate methods (Multi-attribute utility theory [MAUT], Multi-attribute value theory [MAVT]);
- Egyéb – Other (Quality function development [QFD]).⁸

⁵ Hepu Deng: Multicriteria Analysis with Fuzzy Pairwise Comparisons. *International Journal of Approximate Reasoning*, 21. (1999), 3. 215–231.

⁶ Da-Yong Chang: Applications of the Extent Analysis Method on Fuzzy AHP. *European Journal of Operational Research*, 95. (1996), 3. 649–655.

⁷ Esztergár-Kiss Domokos – Csiszár Csaba: Utazástervező rendszerek értékelési szempontjaihoz tartozó súlyszámok meghatározása Fuzzy AHP alapú módszerrel. *Közlekedéstudományi Szemle*, (2016), 6. 35–44.

⁸ Vicent Penadés-Plá et al.: A Review of Multi-Criteria Decision-Making Methods Applied to the Sustainable Bridge Design. *Sustainability*, 8. (2016), 12. 1–21.

A feladat megoldásához számos lépést kell elvégezni.

Elsőként elő kell készíteni a döntési feladatot: itt kell megfogalmazni, hogy mi az elérendő célunk a vizsgálattal, és itt kell kiválasztani a döntésben részt vevő szakértői csoportokat. Ezután következik az alternatívák kiválasztása, az összehasonlítani kívánt haditechnikai eszközök meghatározása. Ezt követően ki kell alakítani a szempontrendszert, meg kell határozni az értékelési tényezőket, amelyek megfelelnek az adott haditechnikai eszközzel szemben támasztott követelményeknek.

A második fő lépés a döntési feladat megoldása, ennél a szakasznál szempontonként kell kiértékelni az alternatívákat, és meg kell határozni a szempontokhoz tartozó súlyszámokat. Ezt nagyban befolyásolja az alszempontok száma és a rendelkezésre álló szakértelem. Számos cikk foglalkozik súlyszámok kiválasztásának módszertanával. Általában a közvetlen becslést, a Churchmann–Ackoff-, a Guilford- vagy az AHP-eljárást alkalmazzák. A Saaty⁹ által kifejlesztett analitikus hierarchikus módszer (AHP) az egyik legismertebb és legelterjedtebb a korábban említett módszerek között, s az értékelő preferenciáinak páros összehasonlításain alapul.

A közvetlen becsléshez képest a Churchmann–Ackoff-eljárás alkalmazása mindenképpen pontosabb lenne, de jóval bonyolultabb a használata is. Abban az esetben, ha egyetlen döntéshozó súlyozna, akkor lenne célszerű használni, de általában a haditechnikai eszközök értékelésénél ez nem jellemző. Sok szempont miatt leginkább a Guilford-féle eljárást használják. Azonban több döntéshozó esetén ez a módszer is csak akkor használható, ha a szakértők között nincs teljes egyetértés. Ellenkező esetben az értékelési tényezőkre teljesen egyenletes léptékű intervallumskálát kapunk, ezáltal a preferenciák azonosnak minősülnek, ez viszont az eljárás torzítását okozza.¹⁰ Az arányskálaszintű eredményeket szolgáltató AHP-eljárás lényegesen nagyobb következetességet követel meg a szakértőktől, de kevesebb szempont egyidejű összehasonlítására lehet használni, mint az intervallumszintű eredményeket adó Guilford-féle eljárást.

Végezetül el kell végezni az összegzést és az azt követő értékelést.¹¹

A szakirodalmak szerint a több szempontú döntési modell kiválasztására általános, egyértelmű szabály nem található (hiszen ez is döntési feladat). A tényleges probléma és feladat ismeretében lehetséges a legmegfelelőbb módszer meghatározása. Azonban a számítások bonyolultsága miatt ezek közül a legnépszerűbbek azok, amelyek rendelkeznek valamilyen szoftveres támogatással.¹²

⁹ Thomas L. Saaty: *The Analytic Hierarchy Process*. New York, McGraw-Hill, 1980; Rozann W. Saaty: *The Analytic Hierarchy Process – What It Is and How It Is Used. Mathematical Modelling*, 9. (1987), 3–5. 161–176.

¹⁰ Kavas (2007): i. m. 2.

¹¹ Gyarmati (2007): i. m. 36–52.

¹² Alessio Ishizaka – Philippe Nemery: *Multy-Criteria Decision Analysis Methods and Software*. London, John Wiley & Sons, 2013.

Ezek közül a ritkábban használt *TOPSIS*-¹³ és a *VIKTOR-eljárások*¹⁴ felhasználását bemutató példák jól szemléltetik a különféle haditechnikai eszközök értékelésének módszertanát.

A katonai helikopter elektronikai hadviselési eszközeinek értékelési szempontjai

Kutatásaim során kidolgoztam a katonai helikopter önvédelmi elektronikai hadviselési eszközeinek értékelésére egy kritérium-keretrendszert, amely tartalmazza az összes fontos szempontot és alszempontot. Az értékelési módszer bemutatása és az eredmények a már említett cikkemben jelentek meg.¹⁵

A szempontokat négy fő csoportba soroltam, amelyek a következők: harcászati tulajdonságok (képessegek), műszaki (technikai) tulajdonságok, üzemeltethetőségi (földi és légi) mutatók, pénzügyi mutatók.

A döntésben részt vevő szakértőket pedig hat csoportba osztottam:

- logisztika (fenntartás, üzemben tartás);
- repülő műszaki (üzemeltetés, hatósági, oktatói);
- hadműveleti;
- helikopter személyzete (hajózó);
- elektronikai hadviselés;
- pénzügy (beszerzés, gazdálkodás).

A katonai helikopter önvédelmi elektronikai hadviselési eszközének értékeléséhez minden fő szemponthoz súlyszámokat rendeltem, amelyeket egy online kérdőíves felmérés segítségével a szakértői csoportok preferenciái alapján határoztam meg. A súlyozott fő szempontok segítségével a katonai helikopter önvédelmi elektronikai hadviselési rendszereket rangsoroltam.

Jelen publikációban a súlyszámok meghatározására adok újszerű megoldást, amely leegyszerűsítheti a kérdőívek kitöltését, és ezáltal biztosíthatja az esetlegesen konzisztensebb válaszok értékelését és feldolgozását.

Az AHP- és a fuzzy AHP módszer

Ahogy korábban is említettem, az AHP-módszer hatékony megoldást nyújt komplex döntési problémák kvantitatív kezelésére; segítségével rangsorolni lehet különböző

¹³ Gyarmati József: Többszempontú döntési probléma megoldása TOPSIS módszerrel. *Hadmérnök*, 11. (2016), 3. 243–251.

¹⁴ Gyarmati József: Többszempontú döntési modell alkalmazása a haditechnikai eszközök fejlesztésének és korszerűsítésének folyamatában. *Hadmérnök*, 13. (2018), 4. 59–66.

¹⁵ Domán (2021): i. m. 1–19.

alternatívákat. A fuzzy AHP módszer az AHP továbbfejlesztett változata, ami a súlyszámok előállításához alkalmazott finomabb skálázásának köszönhetően valósághűbb eredményeket ad. A kutatás során az AHP- és a fuzzy AHP módszerrel is kiszámoltam a súlyszámokat.

Kérdőíves felmérés

Egy kvantitatív kutatási módszert választottam a súlyszámok meghatározásához, és online kérdőíves felmérést végeztem. Abban a felmérésben 40 résztvevő egy 2 hetes intervallumban adta meg a válaszokat a katonai helikopterek elektronikai hadviselési rendszereinek fő- és alszempontjaira (jellemzőire) vonatkozóan. A szakértői csoportok közötti megoszlást tekintve a legtöbb kitöltő repülőműszaki és repülőszemélyzet, a többi csoport aránya pedig nagyon hasonló volt. Az eredmények a szerző már tárgyalt korábbi cikkében jelentek meg, és ezt ebben a tanulmányban kezdeti módszernek, a benne lévő adatokat pedig kezdeti adatoknak neveztem el.¹⁶

Az AHP-módszer alkalmazása

Az AHP-módszer alapja a páros összehasonlítás és értékelés, amit jelen esetben a szakértők végeztek el a fő szempontok minden lehetséges párosítása alapján. Ez egy hierarchikus és rugalmas döntési metódus, ami egy páronkénti összehasonlító mátrixot használ, ami a szempontok közötti fontossági viszonyt írja le.

A módszer elvégzése során az „m” számú és $X_1, X_2 \dots X_m$ értékű fő szempontok egy $A_{m \times m}$ -es összehasonlító mátrixba kerülnek, ahol a_{ij} elem az X_i és X_j fő szempontok fontosságának aránya, tehát a páros összehasonlítása alapján képzett AHP-értékek. Amennyiben $a_{ij} > 1$, akkor X_i szempont fontosabb, mint X_j . Emellett

$$a_{ji} = \frac{1}{a_{ij}}, \text{ ahol } (i = 1, 2, 3, \dots, m; j = 1, 2, 3, \dots, m) \quad (1)$$

Ezek miatt az egyes szintek minden n elemű csoportjára $\frac{m^2-m}{2}$ összehasonlítás szükséges. Az összehasonlító mátrix így egy diagonális mátrixként írható le, csökkentve a számítási bonyolultságot. Az egyes csoportok tényezőire vonatkozó összehasonlító mátrixokban a főátló elemeinek értéke természetesen 1, hiszen ilyenkor önmagával hasonlítjuk össze a tényezőt.¹⁷ A mátrix elemeit az AHP-módszer lépéseit alkalmazva normalizáljuk (oszlopösszegekkel osztunk).

¹⁶ Domán (2021): i. m. 1–19.

¹⁷ Tóthné Laufer Edit: *Mamdani-típusú következtetési rendszeren alapuló kockázatiértékelő módszerek optimalizálása*. PhD-értekezés. Budapest, Óbudai Egyetem, 2014.

$$\overline{a_{ji}} = \frac{a_{ji}}{\sum_{k=1}^m a_{ki}} \quad (2)$$

A fő szempontok súlyszámai (w_j) pedig a sorokban szereplő értékek átlagolásával számíthatók.

$$w_j = \frac{\sum_{k=1}^m \overline{a_{jk}}}{m} \quad (3)$$

A kérdőíves kikérdezés során az összes szempontot egyszerre kellett figyelembe venni és értékelni, ezáltal lehetséges olyan eset, hogy az adott szakértő a kérdőív kitöltése után már máshogy pontozna, mint ahogy az elején tette, amikor már csak két szempontra kellene fókuszálnia. A páros összehasonlítási módszer felhasználásával egyszerűsödik a kérdések megválaszolása, emiatt hatékonyabban vizsgálható a konzisztencia, ezért szinte biztosan belső ellentmondásoktól mentes eredményeket kapunk. Habár az egyes összehasonlítások elvégzése gyorsnak és egyszerűnek tűnhet, sok szempont esetén nagyon sok összehasonlítást kíván. Ebben a kutatásban a válaszok konzisztensek voltak, hiszen a szempontokat önállóan értékelték a válaszadó szakértők. Így az AHP-értékeket, az online kérdőíves módszer válaszai alapján, konzisztens módon kaptam. Azonban egy páros összehasonlító kérdőív esetében előfordulhatnak nem konzisztens válaszok is, amelyeket ki kellett szűrni, és az így megmaradt válaszokkal lehetett meghatározni az új eredményeket, amelyeket – példaként a saját pontozásomat figyelembe véve – az 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat: Példa a fő szempontok páros összehasonlítására

Összehasonlítandó szempontok				Fontosság szintje				
	Fontosabb?		Fontosabb?	Ugyanaz a fő szempont	Egyformán fontos szempont	Kismértékben fontosabb	Közepes mértékben fontosabb	Sokkal fontosabb
Egyik fő szempont		Másik fő szempont						
Harcászati tulajdonságok	X	Műszaki (technikai) tulajdonságok					X	
Harcászati tulajdonságok	X	Üzemeltethetőségi (földi és légi) mutatók					X	
Harcászati tulajdonságok	X	Pénzügyi mutatók						X
Műszaki (technikai) tulajdonságok	X	Üzemeltethetőségi (földi és légi) mutatók				X		
Műszaki (technikai) tulajdonságok	X	Pénzügyi mutatók				X		
Üzemeltethetőségi (földi és légi) mutatók	X	Pénzügyi mutatók				X		

Forrás: a szerző szerkesztése

AHP-értékek és súlyszámok számolása

A páros összehasonlítást egy hatos fokozatú skálán végeztem el, ahol a preferenciák erőssége a következőképpen vehető figyelembe:

- 1: ugyanaz a fő szempont;
- 2: egyformán fontos szempont;
- 3: kismértékben fontosabb;
- 4: közepes mértékben fontosabb;
- 5: sokkal fontosabb;
- 6: rendkívüli mértékben fontosabb, tehát kimagaslóan nagy különbséget mutat.

A módszer kidolgozása, amellyel döntéshozáskor bármelyik, a hierarchia azonos szintjén lévő két tényező összehasonlítható egymással, Saaty nevéhez fűződik,¹⁸ aki 1 és 9 közötti értékeket javasol. L. Mikhailov pedig olyan módszert dolgozott ki, amely prioritásokat határoz meg páros összehasonlítások alapján, emellett más értékeket is használ.¹⁹

Ebben a tanulmányban azért választottam csak a hatfokozatú skálát, mert az online kérdőív (nem páros összehasonlítással, hanem pontozással történt) kitöltésekor is csak négyes fokozatú skálát használtam az online rendszer egyszerűbb, átláthatóbb használata és az egyértelműbb válaszadások érdekében.

Az AHP-érték egy táblázat alapján számolható ki, ahol a fő szempontok egymáshoz viszonyított arányai szerepelnek. Az értékek megadását minden szakértői csoport esetén külön kellett elvégezni, ami azért fontos, mert így pontosabb információval fogunk rendelkezni az adott szakértői csoport preferenciaszempontjairól.

2. táblázat: Szakértői csoportok válaszaikhoz tartozó értékek átlaga

Szempontok átlaga / Szakértői csoportok	Harcászati tulajdonságok	Műszaki (technikai) tulajdonságok	Üzemeltethetőségi (földi és légi) mutatók	Pénzügyi mutatók
Repülőszemélyzet	3,75	2,625	2,625	1
Repülőműszaki (például üzemeltetés, hatóság, oktatás)	3,1	2,5	2,9	1,5
Pénzügyi, gazdasági (például beszerzés, gazdálkodás)	2,4	2	1,6	4
Logisztika (például légijármű-fenntartás, üzemen tartás)	3,3333	2,6666	3	1,1666
Hadművelési	3,8	1,8	2,4	2
Elektronikai hadviselés (például oktatás, üzemeltetés)	3,6	3,2	1,8	1,4

Forrás: a szerző szerkesztése

¹⁸ Saaty (1980): i. m.

¹⁹ L. Mikhailov: Deriving Priorities from Fuzzy Pairwise Comparison Judgements. *Fuzzy Sets and Systems*, 134. (2003), 3. 365–385.

Az online kérdőív kitöltése után a kapott értékeket át kellett konvertálni. A szakértői csoportok válaszaihoz tartozó értékek átlaga (2. táblázat) alapján párosával meghatároztam – minden egyes szakértői csoportnál külön-külön – a fő szempontok egymáshoz viszonyított arányait, azaz elosztottam egymással adott két fő szempont (x és y) átlagértékét. A 3. táblázat az elektronikai hadviselés csoport által a fő szempontokra adott válaszok egymáshoz viszonyított arányait tartalmazza. A következő néhány táblázatban az elektronikai hadviselés szakértői csoport adatait felhasználva kívánom bemutatni a módszer lépéseit.

3. táblázat: Elektronikai hadviselés válaszok egymáshoz viszonyított arányai

	Harcászati tulajdonságok	Műszaki (technikai) tulajdonságok	Üzemeltethetőségi (földi és légi) mutatók	Pénzügyi mutatók
Harcászati tulajdonságok	1	1,125	2	2,57143
Műszaki (technikai) tulajdonságok	0,888889	1	1,77778	2,28571
Üzemeltethetőségi (földi és légi) mutatók	0,5	0,5625	1	1,28571
Pénzügyi mutatók	0,388889	0,4375	0,77778	1
Összegezve	2,777778	3,125	5,55556	7,14286

Forrás: a szerző szerkesztése

A kapott arányokból kiszámoltam az AHP-értékeket a 4. táblázatban látható módszer felhasználásával. A létrejövő arány értékkészlete – attól függően, hogy a fontosabb fő szempont a számlálóra vagy a nevezőbe kerül – 1 és végtelen, illetve 0 és 1 közötti folytonos érték. Az arányokhoz tartozó AHP-értékeket a katonai-műszaki terminológia megfontolásai alapján adtam meg.

4. táblázat: Az AHP-értékek meghatározási módszere

AHP-érték	Arány	Megjegyzés	AHP-érték	Arány	Megjegyzés
1	1	x és y ugyanaz a szempont	1	1	y és x ugyanaz a szempont
2	1–1,5	x és y ugyanannyira fontos szempont	1/2	0,6667–1	y és x ugyanannyira fontos szempont
3	1,5–2	y kicsit fontosabb, mint x	1/3	0,5–0,6667	x kicsit fontosabb, mint y
4	2–2,5	y közepes mértékben fontosabb, mint x	1/4	0,4–0,5	x közepes mértékben fontosabb, mint y
5	2,5–3	y sokkal fontosabb, mint x	1/5	0,3333–0,4	x sokkal fontosabb, mint y
6	3 vagy annál nagyobb	y rendkívüli mértékben fontosabb, mint x	1/6	0,3333 vagy annál kisebb	x rendkívüli mértékben fontosabb, mint y

Forrás: a szerző szerkesztése

Ezekből az adatokból egy 4×4 -es mátrixot állítottam elő, amelynek sorai és oszlopai a fő szempontokat tartalmazzák, elemei pedig az adott fő szempontok páros összehasonlítása alapján képzett AHP-értékek. A mátrix elemeinek értékeit az AHP-módszert követve

normalizáltam, azaz az oszlopösszegekkel osztottam őket. Az adatokat az 5. táblázat tartalmazza.

5. táblázat: Elektronikai hadviselés AHP-értékek, példa

	Harcászati tulajdonságok	Műszaki (technikai) tulajdonságok	Üzemeltethetőségi (földi és légi) mutatók	Pénzügyi mutatók
Harcászati tulajdonságok	1	2	4	5
Műszaki (technikai) tulajdonságok	1/2	1	3	4
Üzemeltethetőségi (földi és légi) mutatók	1/4	1/3	1	2
Pénzügyi mutatók	1/5	1/4	1/2	1
Összegezve	1,95	3,583333	8,5	12

Forrás: a szerző szerkesztése

Végezetül a fő szempontok súlyszámait (w_i) a sorokban szereplő értékek átlagolásával kaptam meg, ami a 6. táblázatban látható.

6. táblázat: Elektronikai hadviselés AHP w_i súlyszámok, példa

	Harcászati tulajdonságok	Műszaki (technikai) tulajdonságok	Üzemeltethetőségi (földi és légi) mutatók	Pénzügyi mutatók	w_i
Harcászati tulajdonságok	0,512821	0,558140	0,470588	0,416667	0,489554
Műszaki (technikai) tulajdonságok	0,256410	0,279070	0,352941	0,333333	0,305439
Üzemeltethetőségi (földi és légi) mutatók	0,128205	0,093023	0,117647	0,166667	0,126386
Pénzügyi mutatók	0,102564	0,069767	0,058824	0,083333	0,078622

Forrás: a szerző szerkesztése

A már említett többi szakértői csoport tekintetében is elvégeztem az AHP-módszert. Az összesített eredményeket *Az eredmények értelmezése és összehasonlítása* című fejezetben mutatom be.

Fuzzy elmélet

A fuzzy elméletet és logikát alapvetően azért találta ki Lotfi Aliasker Zadeh, hogy a pontatlan vagy bizonytalan információkat, ismereteket vagy a rugalmasan kezelhető határfeltételeket is matematikai formába lehessen önteni, azokat kvantitatíve (mennyiségileg) kezelni lehessen.

A fuzzy logika alapja az úgynevezett fuzzy, tehát életlen vagy elmosódott halmazok. A tradicionális halmazokkal szemben (a fuzzy logika összefüggésében éles halmazoknak

is nevezhetjük), amelyekben egy elem vagy a halmazhoz tartozik, vagy nem, a fuzzy halmaznál az elem részben is tartozhat a halmazhoz. A hozzátartozás mértékét a μ hozzátartozási függvény (fuzzy függvény) határozza meg, amely a fuzzy halmaz elemeihez egy 0 és 1 közötti valós számot rendel hozzá.

Bármilyen elmélet során felhasználható a fuzzy logika, ha az elméleten belül egy halmaz fogalmát egy fuzzy halmaz fogalmára általánosítjuk. Ez amiatt van, hogy mind az elmélet általánossága, mind a valós problémákra való alkalmazhatósága jelentősen javul, ha a halmaz fogalmát egy fuzzy halmazéval helyettesítjük.²⁰

Ahogy már említettem, az AHP-módszert széles körben használják a több szempontú döntési problémák megoldására, azonban az értékelésekben található bizonytalanság miatt a klasszikus AHP-vel történő páronkénti összehasonlítás nem képes pontosan képviselni a döntéshozók elképzeléseit.

Annak ellenére, hogy az AHP diszkrét skálájának előnyei pont az egyszerűség és a könnyű használat, nem elegendő, hogy csak egy adott véleménynek egy konkrét számhoz való hozzárendelésével kapcsolatos bizonytalanságát vesszük figyelembe.

Ezért a fuzzy logikát is elkezdtek alkalmazni a páronkénti összehasonlítások során, hogy így kezelhetővé váljon a klasszikus AHP hiányossága. A fuzzy analitikus hierarchikus eljárás (*Fuzzy Analytic Hierarchy Process – FAHP*) hatékony eszköz a különböző döntési változók preferenciáit meghatározó adatok bizonytalanságának kezelésére.²¹

Az összehasonlításokat háromszög alakú fuzzy számhármassok (*Triangular Fuzzy Number – TFN*) formájában ábrázolják, hogy fuzzy páros összehasonlító mátrixokat hozzanak létre,²² lásd a 4. egyenletet:

$$a_{Fji} = (l_{ji}, m_{ji}, u_{ji}) \quad (4)$$

Jelen tanulmányban a fuzzy AHP módszer alkalmazásakor ugyanazokat az AHP-értékeket vettem alapul, amelyeket az *AHP értékek és súlyszámok számolása* című fejezetben már bemutatam. Először az AHP-értékek (a_{ij}) fuzzifikálását végeztem el. Az így fuzzifikált értékek megadják, hogy az érték mennyire tartozik az adott kategóriába. A hozzátartozás mértéke egy tagsági függvény (μ) segítségével állapítható meg.²³

A tagsági függvény értékkészlete 0-tól 1-ig terjed, az értelmezési tartományát pedig a függvény alakja határozza meg.

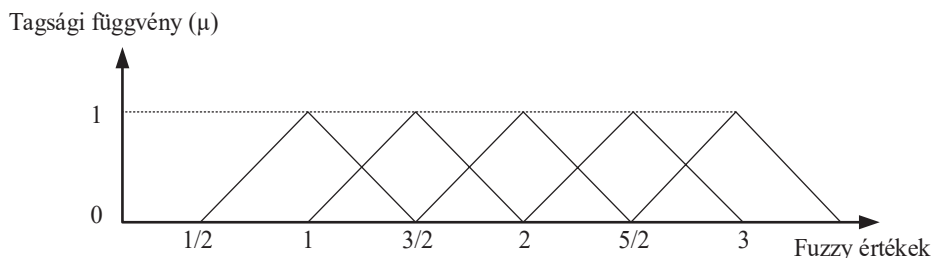
Az 1. ábrán látható (μ) = 1 háromszög tagsági függvényt meghatározza az alsó határa (l_{ij}), a középső eleme (m_{ij}) és a felső határa (u_{ij}). A fuzzy értéket (a_{Fij}) pedig az említett tagsági függvény három eleme adja meg.

²⁰ Lotfi Aliasker Zadeh: Fuzzy Logic = Computing with Words. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 4. (1996), 2. 103–111.

²¹ Amir Saeed Nooramin et al.: Comparison of AHP and FAHP for Selecting Yard Gantry in Marine Container Terminals. *Journal of the Persian Gulf*, 3. (2012), 7. 59–70.

²² Zeki Ayağ: Fuzzy AHP-based Simulation Approach to Concept Evaluation in an NPD Environment. *IIE Transaction*, 37. (2005), 9. 827–842.

²³ Lotfi Aliasker Zadeh: Fuzzy Sets. *Information and Control*, 8. (1965), 3. 338–353.



1. ábra: Fuzzifikáció ábrázolása

Forrás: a szerző szerkesztése

A fuzzifikáció során a fuzzy értékek meghatározásához ugyanazt az értékkészletet (3. táblázat) használtam fel, amit az AHP-érték kiszámítása során is alkalmaztam. A fuzzy értékek meghatározási módszerét a 7. táblázat alapján alakítottam ki.²⁴

7. táblázat: Fuzzy számhármias értékek meghatározási módszere

Fuzzy számhármias értékek	Arány	Leírás	Reciprok, fuzzy számhármias értékek	Arány	Leírás
(1, 1, 1)	1	x és y ugyanaz a szempont	(1, 1, 1)	1	y és x ugyanaz a szempont
(1/2, 1, 3/2)	1–1,5	x és y ugyanannyira fontos szempont	(2/3, 1, 2)	0,6666–1	y és x ugyanannyira fontos szempont
(1, 3/2, 2)	1,5–2	y kicsit fontosabb, mint x	(1/2, 2/3, 1)	0,5–0,6666	x kicsit fontosabb, mint y
(3/2, 2, 5/2)	2–2,5	y közepes mértékben fontosabb, mint x	(2/5, 1/2, 2/3)	0,4–0,5	x közepes mértékben fontosabb, mint y
(2, 5/2, 3)	2,5–3	y sokkal fontosabb, mint x	(1/3, 2/5, 1/2)	0,3333–0,4	x sokkal fontosabb, mint y
(5/2, 3, 7/2)	3 vagy annál nagyobb	y rendkívüli mértékben fontosabb, mint x	(2/7, 1/3, 2/5)	0,3333 vagy annál kisebb	x rendkívüli mértékben fontosabb, mint y

Forrás: a szerző szerkesztése

A fuzzy AHP módszer alkalmazása során a következő lépéseket kellett elvégezni:

Az alap hierarchikus fastruktúra felépítést követően meg kell határozni a páronkénti összehasonlítási mátrixot.

Az S_i fuzzy függvény értéke az i -edik elemre vonatkozóan a következőképpen számolható:

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_i^j \times \frac{1}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_i^j} = \quad (5)$$

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_i^j = \sum_{j=1}^m l_j \sum_{j=1}^m m_j \sum_{j=1}^m u_j \quad (6)$$

Meg kell határozni a vektorértéket (V) és a defuzzifikációs ordinátát (d’):

²⁴ Chang (1996): i. m. 649–655.

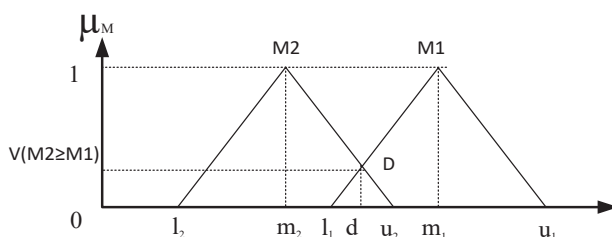
$$M_2 = (l_2, m_2, u_2) \text{ és } M_1 = (l_1, m_1, u_1)$$

A $M_2 \geq M_1$ lehetőségének mértéke a következő:

$$V(M_2 \geq M_1) = hgt(M_1 \cap M_2) = \mu_{M_2}(d) == \sup [\min(\mu_{M_1}(x), \min(\mu_{M_2}(y)))] \quad (7)$$

Ezt a következőképpen lehet kifejezni (2. ábra):

$$V(M_2 \geq M_1) = \begin{cases} 1, \text{ ha } m_2 \geq m_1 \\ 0, \text{ ha } l_1 \geq u_2 \\ \text{egyébként } \frac{l_1 - u_1}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)} \end{cases} \quad (8)$$



2. ábra: V vektorérték számításának grafikus ábrázolása

Forrás: Masoud Dadkhah: *Fuzzy Analytical Hierarchy Process (FAHP)*. 2021. június.

Annak a lehetősége, hogy egy konvex fuzzy szám nagyobb, mint a „ k ” konvex fuzzy szám, a következőképpen határozható meg:

$$\begin{aligned} &M_i \ (i = 1, 2, \dots, k) \\ &V(M \geq M_1, M_2, \dots, M_k) = \\ &= V[(M \geq M_1) \text{ és } (M \geq M_2) \text{ és } \dots \text{ és } (M \geq M_k)] = \\ &= \min V(M \geq M_i) \end{aligned} \quad (9)$$

Feltételezve, hogy:

$$d'(A_i) = \min V(S_i \geq S_k), \text{ ahol } k = 1, 2, \dots, n; k \neq i \quad (10)$$

A súlyszám a következőképpen adható meg:

$$W' = (d'(A_1), d'(A_2), \dots, d'(A_n))^T \quad (11)$$

El kell végezni a fuzzy vektor súlyértékének normalizálását. A normalizálás révén a normalizált súlyvektorok a következők lesznek:

$$W = (d(A_1), d(A_2), \dots, d(A_n))^T \quad (12)$$

Fuzzy értékek és súlyszámok számolása

Jelen tanulmányban a fuzzy analitikus hierarchikus eljárás lépéseit követve, a 3. (válaszok egymáshoz viszonyított arányai) és 7. táblázat (fuzzy számhármass értékek meghatározási módszere) adatait felhasználva megalkottam a páronkénti összehasonlítási mátrixot a fuzzy számhármassok értékeivel: $a_{Fji} = (l_{ji}, m_{ji}, u_{ji})$, amit a 8. táblázat mutat be. Ahol a C1= Harcászati tulajdonságok, C2 = Műszaki (technikai) tulajdonságok, C3 = Üzemeltethetőségi (földi és légi) mutatók, C4 = Pénzügyi mutatók.

8. táblázat: Elektronikai hadviselés, fuzzy számhármass értékek, példa

	C1	C2	C3	C4
C1	(1, 1, 1)	(1/2, 1, 3/2)	(3/2, 2, 5/2)	(2, 5/2, 3)
C2	(2/3, 1, 2)	(1, 1, 1)	(1, 3/2, 2)	(3/2, 2, 5/2)
C3	(2/5, 1/2, 2/3)	(1/2, 2/3, 1)	(1, 1, 1)	(1/2, 1, 3/2)
C4	(1/3, 2/5, 1/2)	(2/5, 1/2, 2/3)	(2/3, 1, 2)	(1, 1, 1)

Forrás: a szerző szerkesztése

A S_i fuzzy függvény értékeiket a (5) egyenlet alapján számítottam ki a 8. táblázat elemzésének felhasználásával:

$$\begin{aligned}
 \sum_{j=1}^4 M_1^j &= \left(\sum_{j=1}^4 l_j, \sum_{j=1}^4 m_j, \sum_{j=1}^4 u_j \right) = \\
 &= \left(1 + \frac{1}{2} + \frac{3}{2} + 2; 1 + 1 + 2 + \frac{5}{2}; 1 + \frac{3}{2} + \frac{5}{2} + 3 \right) = (5; 6,5; 8) \\
 \sum_{j=1}^4 M_2^j &= \left(\sum_{j=1}^4 l_j, \sum_{j=1}^4 m_j, \sum_{j=1}^4 u_j \right) = \\
 &= \left(\frac{2}{3} + 1 + 1 + \frac{3}{2}; 1 + 1 + \frac{3}{2} + 2; 2 + 1 + 2 + \frac{5}{2} \right) = (4,1667; 5,5; 7,5) \\
 \sum_{j=1}^4 M_3^j &= \left(\sum_{j=1}^4 l_j, \sum_{j=1}^4 m_j, \sum_{j=1}^4 u_j \right) = \\
 &= \left(\frac{2}{5} + \frac{1}{2} + 1 + \frac{1}{2}; \frac{1}{2} + \frac{2}{3} + 1 + 1; \frac{2}{3} + 1 + 1 + \frac{3}{2} \right) = (2,4; 3,1667; 4,1667)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \sum_{j=1}^4 M_4^j &= \left(\sum_{j=1}^4 l_j, \sum_{j=1}^4 m_j, \sum_{j=1}^4 u_j \right) = \\
 &= \left(\frac{1}{3} + \frac{2}{5} + \frac{2}{3} + 1; \frac{2}{5} + \frac{1}{2} + 1 + 1; \frac{1}{2} + \frac{2}{3} + 2 + 1 \right) = (2,4; 2,9; 4,1667) \\
 \left[\sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^4 M_i^j \right]^{-1} &= \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^4 u_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^4 m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^4 l_i} \right) = \\
 &= \left(\frac{1}{8 + 7,5 + 4,1667 + 4,1667}; \frac{1}{6,5 + 5,5 + 3,1667 + 2,9}; \frac{1}{5 + 4,1667 + 2,4 + 2,4} \right) = \\
 &= \left(\frac{1}{23,8334}; \frac{1}{18,0667}; \frac{1}{13,9667} \right)
 \end{aligned}$$

Tehát az S_i fuzzy függvények a következők:

$$\begin{aligned}
 S_{C1} &= (5; 6,5; 8) \otimes \left(\frac{1}{23,8334}; \frac{1}{18,0667}; \frac{1}{13,9667} \right) = 0,20978; 0,35977; 0,57279 \\
 S_{C2} &= (4,1667; 5,5; 7,5) \otimes \left(\frac{1}{23,8334}; \frac{1}{18,0667}; \frac{1}{13,9667} \right) = 0,17482; 0,30442; 0,53699 \\
 S_{C3} &= (2,4; 3,1667; 4,1667) \otimes \left(\frac{1}{23,8334}; \frac{1}{18,0667}; \frac{1}{13,9667} \right) = 0,10069; 0,17527; 0,2983 \\
 S_{C4} &= (2,4; 2,9; 4,1667) \otimes \left(\frac{1}{23,8334}; \frac{1}{18,0667}; \frac{1}{13,9667} \right) = 0,10069; 0,1605; 0,2983
 \end{aligned}$$

Ezeket a fuzzy értékeket a (7) és (8) egyenlet segítségével hasonlítottam össze:

$$\begin{aligned}
 V(S_{C1} \geq S_{C2}) &= 1, \text{ mert } m_1 \geq m_2, \\
 V(S_{C1} \geq S_{C3}) &= 1, \text{ mert } m_1 \geq m_3, \\
 V(S_{C1} \geq S_{C4}) &= 1, \text{ mert } m_1 \geq m_4, \\
 V(S_{C2} \geq S_{C1}) &= 0,85531, \text{ mert } \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)} = \frac{0,20978 - 0,53699}{(0,30442 - 0,53699) - (0,35977 - 0,20978)} \\
 &= \frac{-0,32721}{-0,38256} = 0,85531 \\
 V(S_{C2} \geq S_{C3}) &= 1, \text{ mert } m_2 \geq m_3 \\
 V(S_{C2} \geq S_{C4}) &= 1, \text{ mert } m_2 \geq m_4 \\
 V(S_{C3} \geq S_{C1}) &= 0,32429, \text{ mert } \frac{l_1 - u_3}{(m_3 - u_3) - (m_1 - l_1)} = \frac{0,20978 - 0,29833}{(0,17527 - 0,29833) - (0,35977 - 0,20978)} \\
 &= \frac{-0,08855}{-0,27305} = 0,32429
 \end{aligned}$$

$$V(S_{C3} \geq S_{C2}) = 0,48883, \text{ mert } \frac{l_2 - u_3}{(m_3 - u_3) - (m_2 - l_2)} == \frac{0,17482 - 0,29833}{(0,17527 - 0,29833) - (0,30442 - 0,17482)} \\ = \frac{-0,12351}{-0,25266} = 0,48883$$

$$V(S_{C3} \geq S_{C4}) = 1, \text{ mert } m_3 \geq m_4, \\ V(S_{C4} \geq S_{C1}) = 0,30766, \text{ mert } \frac{l_1 - u_4}{(m_4 - u_4) - (m_1 - l_1)} == \frac{0,20978 - 0,29833}{(0,16051 - 0,29833) - (0,35977 - 0,20978)} \\ = \frac{-0,08855}{-0,28781} = 0,30766$$

$$V(S_{C4} \geq S_{C2}) = 0,46185, \text{ mert } \frac{l_2 - u_4}{(m_4 - u_4) - (m_2 - l_2)} == \frac{0,17482 - 0,29833}{(0,16051 - 0,29833) - (0,30442 - 0,17482)} \\ = \frac{-0,12351}{-0,26742} = 0,46185$$

$$V(S_{C4} \geq S_{C3}) = 0,9305, \text{ mert } \frac{l_3 - u_4}{(m_4 - u_4) - (m_3 - l_3)} == \frac{0,10069 - 0,29833}{(0,16051 - 0,29833) - (0,17527 - 0,10069)} \\ = \frac{-0,19764}{-0,2124} = 0,9305$$

Ezután a prioritási súlyozást a (9) és (10) egyenlet szerint a fenti eredmények alapján számoltam ki:

$$d'(C1) = \min V(S_1 \geq S_k) = \min (1; 1; 1) = 1, \text{ ahol } k = 2, 3, 4$$

$$d'(C2) = \min V(S_2 \geq S_k) = \min (0,85531; 1; 1) = 0,85531, \text{ ahol } k = 1, 3, 4$$

$$d'(C3) = \min V(S_3 \geq S_k) = \min (0,32429; 0,48883; 1) = 0,32429, \text{ ahol } k = 1, 2, 4$$

$$d'(C4) = \min V(S_4 \geq S_k) = \min (0,30766; 0,46185; 0,9305) = 0,30766, \text{ ahol } k = 1, 2, 3$$

Ebből a (11) egyenlet alapján a W' :

$$W' = (d'(C1), d'(C2), d'(C3), d'(C4))^T = (1; 0,85531; 0,32429; 0,30766)^T$$

A (12) egyenlet szerint, a normalizálás után a fuzzy súlyfüggvény a következő lett:²⁵

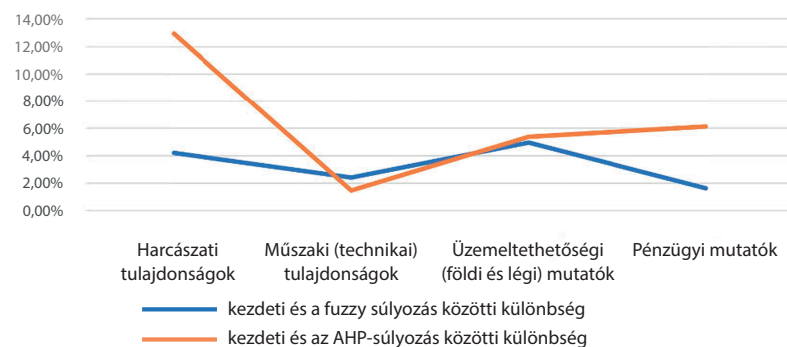
$$W_{iF} = (d(C1), d(C2), d(C3), d(C4))^T = (0,40204; 0,34387; 0,13038; 0,12369)^T$$

²⁵ Fahrul Agus – Sholeh Rahmat – Heliza Rahmania Hatta: *Fuzzy Analytical Hierarchy Process for Land Suitability Analysis Compared to Analytical Hierarchy Process*. 1st International Conference on Science and Technology for Sustainability, Conference Paper, 2014. 18–21.

Az eredmények értelmezése és összehasonlítása

A kapott AHP- és fuzzy AHP súlyszámokat összehasonlítottam a kezdeti súlyszámok értékével. A 3. ábrán példaként az elektronikai hadviselés, a 4. ábrán pedig az átlagos eltérések a kezdeti súlyszámoktól abszolút értékei láthatók. Példaként az elektronikai hadviselés csoportot vizsgálva a 3. ábrán jól látható, hogy míg a kezdeti és a fuzzy súlyszámok közötti eltérések átlaga körülbelül 3,2%, addig a kezdeti és AHP-súlyszámok között ezen szám lényegesen nagyobb, azaz körülbelül 6,4%. Láthatók kiugró értékek is. A harcászati tulajdonságoknál például 13% az eltérés a kezdeti és az AHP-értékek között.

Eltérések a kezdeti súlyszámoktól a fuzzy és AHP súlyszámok esetében az elektronikai hadviselésnél

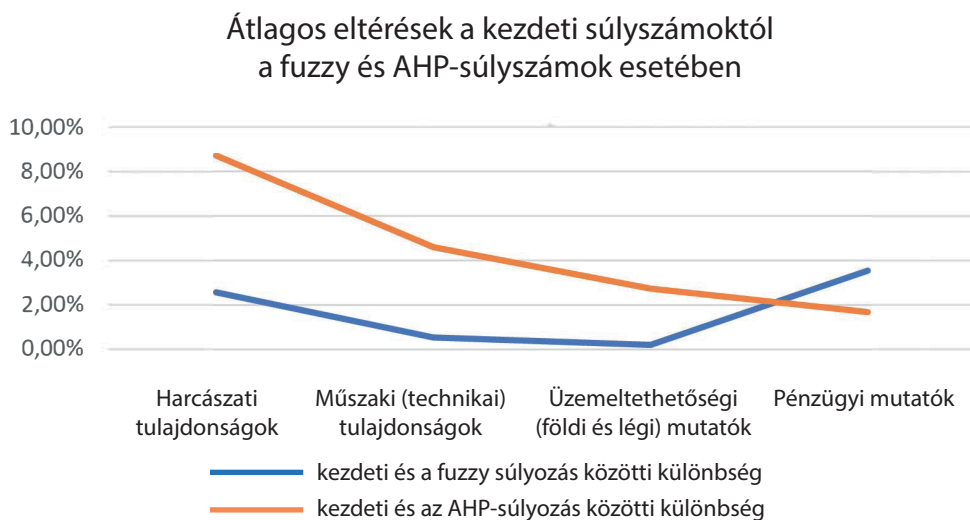


3. ábra: Eltérések a kezdi súlyszámoktól a fuzzy és AHP-súlyszámok esetében az elektronikai hadviselésnél, példa

Forrás: a szerző szerkesztése

Amennyiben átlagoljuk az összes szakértői csoportra kapott súlyszámokat a 4. ábrán látható módon, akkor ezt elemezve kijelenthetjük, hogy AHP-súlyszámoknál a legnagyobb különbség körülbelül 9% a harcászati tulajdonságoknál, körülbelül 4,6% a műszaki (technikai) tulajdonságoknál, átlagosan pedig körülbelül 4,5% volt, ami elég magas érték.

Ezzel szemben a fuzzy súlyszámok sokkal jobban közelítik a kezdeti súlyszámokat, a legnagyobb különbség, körülbelül 3,5%, a pénzügyi mutatók tekintetében látható, de a többi mutatónál lényegesen alacsonyabb (átlagosan körülbelül 1,7%), emellett lényegesen egyenletesebb volt.

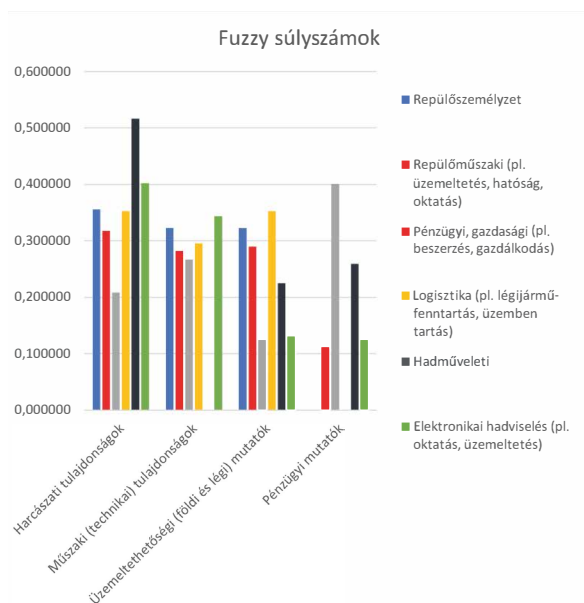


4. ábra: Átlagos eltérések a kezdi súlyszámoktól a fuzzy és AHP-súlyszámok esetében

Forrás: a szerző szerkesztése

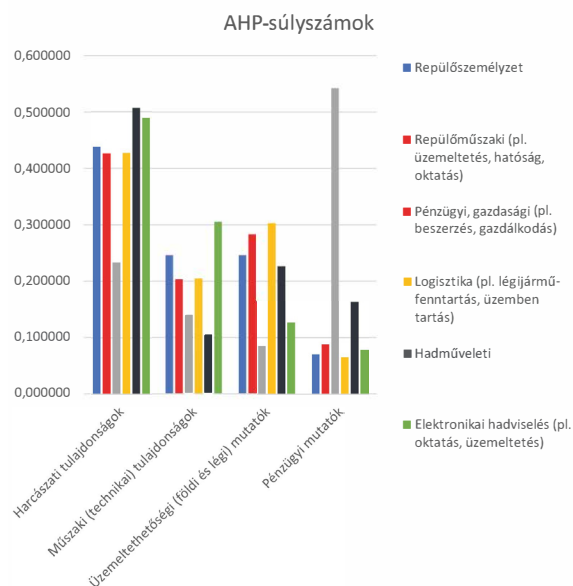
A szakértői csoportok válaszainak összesített eredményei az 5., 6. és 7. ábrákon láthatók. Ezekből megállapítottam, hogy sem a fuzzy, sem az AHP-súlyozás nem befolyásolta érdemben a fő szempontok kezdeti fontossági sorrendjét. A legnagyobb különbségek a harcászati tulajdonságoknál és pénzügyi mutatóknál voltak. A legkisebb eltérések pedig az üzemeltethetőségi (földi és légi) mutatók esetében láthatók. A műszaki (technikai) tulajdonságoknál kisebb eltérések találhatók. Az eredményeket megvizsgálva látható, hogy a fuzzy súlyozás eredményei jól közelítik a kezdeti súlyozás eredményeit. Emiatt célszerű páros összehasonlítással elvégzett kikérdezéseket alkalmazni a fő szempontok súlyainak meghatározása során. Habár több kérdésre kell válaszolni, mint a kezdeti online kérdőíves felmérésnél, ez számos előnnyel járhat. A páros összehasonlításon alapuló kikérdezés esetén lehetséges a válaszadók konzisztenciájának vizsgálata. A nem konzisztens válaszokat adó kitöltők kiszűrhetők, és így az elemzés már a szűkített, de konzisztens eredményeket tartalmazó válaszokkal végezhető el.

Az adatokból megállapítottam, hogy a fuzzy AHP módszerrel elvégzett vizsgálat ugyanazt az eredményt adta, mint a kezdeti módszer, és a felmérésben részt vevő nem komplexen gondolkodók inkonzisztens válaszai kiszűrhetők voltak.



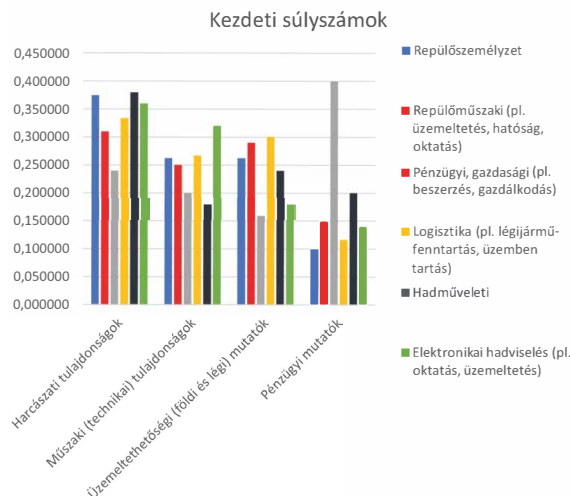
5. ábra: Fuzzy súlyszámok

Forrás: a szerző szerkesztése



6. ábra: AHP-súlyszámok

Forrás: a szerző szerkesztése



7. ábra: Kezdeti súlys számok

Forrás: a szerző szerkesztése

Következtetések

Napjainkban a haditechnikai rendszerek üzemeltetése során kiemelt jelentősége van a költséghatékonyságnak. Természetesen az alapkövetelményt továbbra is a harcászati paraméterek megfogalmazása jelenti, de csak és kizárólag ezen szempontok kiemelése és szem előtt tartása nem vezethet eredményre. Annak érdekében, hogy egy hatékony és gazdaságos rendszer jöjjön létre, a több szempontú döntéshozatali módszer alkalmazása elengedhetetlen.

Vannak publikációk, amelyek a haditechnikai képesség fejlesztése érdekében tervezett beszerzések során az AHP-módszer alkalmazását javasolják²⁶ mint elsődlegesen elvégzendő eljárást, azonban annak a módszernek is megvannak a hiányosságai. A katonai helikopterek önvédelmi elektronikai hadviselési eszközeit egy komplex rendszerként kell kezelni, amelyben a rendszert meghatározó főbb tényezők (harcászati tulajdonságok, műszaki tulajdonságok, üzemeltethetőségi mutatók, értékelő szakértői csoportok) is már összetett rendszerek, ezért ezek kiválasztása is fontos feladat.

Jelen cikkben a kutatási célkitűzésemnek megfelelően elemzést végeztem a katonai helikopter önvédelmi elektronikai hadviselési eszközei értékelési szempontjaival összefüggő súlys számok meghatározására az AHP- és a fuzzy AHP módszer felhasználásával.

Nagyon fontos és kritikus lépés volt az arányokhoz tartozó AHP-értékeket meghatározása, amit a katonai-műszaki terminológia megfontolásai alapján adtam meg. Természetesen ezen

²⁶ Nagy László János: A haditechnikai eszközök összehasonlításának lehetőségei a helikopter képesség fejlesztés tükrében. *Repüléstudományi Közlemények*, 30. (2018), 3. 77–100.

arányok megadása nagyban befolyásolja a kezdeti módszerhez képest a kapott végeredményeket. A kutatás egyik legnehezebb része a fuzzy módszer megismerése és alkalmazása volt, amit a más – főként idegen nyelvű – területen már alkalmazott konkrét példák mutattak be.

A kutatás során megállapítottam, hogy a fuzzy AHP módszer ezen rendszerek értékelési súlyszámainak számítására alkalmas és megfelelően felhasználható eljárás. A kezdeti súlyszámokat kérdőíves kikérdezés alapján határoztam meg, amelyeket összehasonlítottam az AHP- és fuzzy AHP módszerek eredményeivel. Ez alapján a kezdeti és a fuzzy AHP módszer által kapott súlyszámok hasonló eredményeket mutattak. A fuzzy AHP módszer használatával a kérdőíves kikérdezés egyszerűsíthető, azaz a megfelelő páros összehasonlító kérdések feltevésével kiszűrhetők a válaszadók preferenciái. Megállapítottam, hogy a fuzzy AHP módszer alkalmazásával *kisimíthatók*, tehát a kezdeti online kikérdezéses módszerhez hasonló súlyszámok generálhatók.

Természetesen a megadott szempontrendszer általánosságban is használható, ezért ez a módszertan bármilyen katonai vagy egyéb rendszerre is értelmezhető. Azonban fontos szempont lehet az arányok és a hozzájuk tartozó AHP- és a fuzzy számhármassértékek – adott területnek leginkább – megfelelő meghatározása.

Felhasznált irodalom

- Agus, Fahrul – Sholeh Rahmat – Heliza Rahman Hatta: *Fuzzy Analytical Hierarchy Process for Land Suitability Analysis Compared to Analytical Hierarchy Process*. 1st International Conference on Science and Technology for Sustainability, Conference Paper, 2014. 18–21. Online: www.researchgate.net/publication/272165694_Fuzzy_Analytical_Hierarchy_Process_for_Land_Suitability_Analysis_Compared_to_Analytical_Hierarchy_Process
- Ayağ, Zeki: Fuzzy AHP-based Simulation Approach to Concept Evaluation in an NPD Environment. *IIE Transaction*, 37. (2005), 9. 827–842. Online: <https://doi.org/10.1080/07408170590969852>
- Bimbó István: Mesterlövész fegyverek összehasonlítása AHP döntési modell felhasználásával. *Katonai Logisztika*, 21. (2013), 2. 1–14. Online: http://epa.niif.hu/02700/02735/00076/pdf/EPA02735_katonai_logisztika_2013_2_102-115.pdf
- Chang, Da-Yong: Applications of the Extent Analysis Method on Fuzzy AHP. *European Journal of Operational Research*, 95. (1996), 3. 649–655. Online: [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(95\)00300-2](https://doi.org/10.1016/0377-2217(95)00300-2)
- Dadkhah, Masoud: *Fuzzy Analytical Hierarchy Process (FAHP)*. 2021. június. Online: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.36164.14722>
- Deng, Hepu: Multicriteria Analysis with Fuzzy Pairwise Comparisons. *International Journal of Approximate Reasoning*, 21. (1999), 3. 215–231. Online: <https://doi.org/10.1109/FUZZY.1999.793038>
- Domán László: A katonai helikopterek komplex elektronikai hadviselés önvédelmi rendszereinek értékelése. *Repüléstudományi Közlemények*, 33. (2021), 2. 1–19.
- Esztergár-Kiss Domokos – Csiszár Csaba: Utazástervező rendszerek értékelési szempontjaihoz tartozó súlyszámok meghatározása Fuzzy AHP alapú módszerrel. *Közlekedéstudományi Szemle*, (2016), 6. 35–44. Online: http://real.mtak.hu/49323/1/5_37_u.pdf
- Fekete Róbert: Kézi lőfegyver kiválasztása a honvéd koronaőrseg részére. *Katonai Logisztika*, 20. (2021), 1. 1–13. Online: http://epa.oszk.hu/02700/02735/00071/pdf/EPA02735_katonai_logisztika_2021_1_102-114.pdf

- Gyarmati József: *Több szempontos döntésmélet alkalmazása a haditechnikai eszközök összehasonlításában*. PhD-értekezés. Budapest, ZMNE, 2003.
- Gyarmati József: Döntési modell kialakítása közbeszerzési eljárás során. *Hadmérnök*, 2. (2007), 3. 36–52. Online: http://hadmernok.hu/archivum/2007/3/2007_3_gyarmati.pdf
- Gyarmati József: *Haditechnikai eszközök összehasonlítása (útmutató)*. Budapest, ZMNE, 2011.
- Gyarmati József: A többszempontú döntési modellek alkalmazásának lehetőségei és korlátai a haditechnikai K+F folyamatokban. *Hadtudományi Szemle*, 9. (2016), 2. 377–387. Online: www.epa.uz.ua/02400/02463/00031/pdf/EPA02463_hadtudomanyi_szemle_2016_02_377-387.pdf
- Gyarmati József: Többszempontú döntési probléma megoldása TOPSIS módszerrel. *Hadmérnök*, 11. (2016), 3. 243–251. Online: http://hadmernok.hu/163_19_gyarmati.pdf
- Gyarmati József: Többszempontú döntési modell alkalmazása a haditechnikai eszközök fejlesztésének és korszerűsítésének folyamatában. *Hadmérnök*, 13. (2018), 4. 59–66. Online: http://hadmernok.hu/184_03_gyarmati.pdf
- Ishizaka, Alessio – Philippe Nemery: *Multy-Criteria Decision Analysis Methods and Software*. London, John Wiley & Sons, 2013. Online: <https://doi.org/10.1002/9781118644898>
- Kavas László: A súlyszámok problematikája komplex rendszerek értékelése során. *Repüléstudományi Közlemények*, (2007), ksz. Online: www.repulestudomany.hu/kulonszamok/2007_cikkek/kavas_laszlo.pdf
- Kavas László: *Harcászati repülőgépek kiválasztásának módszere gazdasági-hatékonysági mutatók alapján, kis létszámú haderő légierőjének korszerűsítésére*. PhD-értekezés. Budapest, ZMNE, 2009.
- Mikhailov, L.: Deriving Priorities from Fuzzy Pairwise Comparison Judgements. *Fuzzy Sets and Systems*, 134. (2003), 3. 365–385. Online: [https://doi.org/10.1016/S0165-0114\(02\)00383-4](https://doi.org/10.1016/S0165-0114(02)00383-4)
- Nagy László János: A haditechnikai eszközök összehasonlításának lehetőségei a helikopter képesség fejlesztés tükrében. *Repüléstudományi Közlemények*, 30. (2018), 3. 77–100. Online: www.repulestudomany.hu/folyoirat/2018_3/2018-3-06-0064-Nagy_Laszlo.pdf
- Nooramin, Amir Saeed – Mansoor Kiani Moghadam – Ali Reza Moazen Jahromi – Jafar Sayareh: Comparison of AHP and FAHP for Selecting Yard Gantry in Marine Container Terminals. *Journal of the Persian Gulf*, 3. (2012), 7. 59–70.
- Penadés-Plá, Vicent – Tatiana García-Segura – José V. Martí – Víctor Yepes: A Review of Multi-Criteria Decision-Making Methods Applied to the Sustainable Bridge Design. *Sustainability*, 8. (2016), 12. 1–21. Online: <https://doi.org/10.3390/su8121295>
- Saaty, Thomas L.: *The Analytic Hierarchy Process*. New York, McGraw-Hill, 1980.
- Saaty, Rozann W.: The Analytic Hierarchy Process – What It Is and How It Is Used. *Mathematical Modelling*, 9. (1987), 3–5. 161–176. Online: [https://doi.org/10.1016/0270-0255\(87\)90473-8](https://doi.org/10.1016/0270-0255(87)90473-8)
- Tóthné Laufer Edit: *Mamdani-típusú következtetési rendszeren alapuló kockázatiértékelő módszerek optimalizálása*. PhD-értekezés. Budapest, Óbudai Egyetem, 2014.
- Turcsányi Károly – Kende György – Gyarmati József: *Haditechnikai eszközök összehasonlításának korszerű módszerei és azok alkalmazása*. Budapest, HM Oktatási és Tudományszervező Főosztály, 2002.
- Zadeh, Lotfi Aliasker: Fuzzy Logic = Computing with Words. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 4. (1996), 2. 103–111. Online: <https://doi.org/10.1109/91.493904>
- Zadeh, Lotfi Aliasker: Fuzzy Sets. *Information and Control*, 8. (1965), 3. 338–353. Online: [https://doi.org/10.1016/S0019-9958\(65\)90241-X](https://doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X)