

VIII. Évfolyam 3. szám - 2013. szeptember

Tuba Zoltán – Bottyán Zsolt – Wantuch Ferenc – Vidnyánszky Zoltán –  
Hadobács Katalin

[tubazoltan.met@gmail.com](mailto:tubazoltan.met@gmail.com) – [bottyán.zsolt@uni-nke.hu](mailto:bottyán.zsolt@uni-nke.hu) – [wantuch.f@gmail.com](mailto:wantuch.f@gmail.com) –  
[vidnyanszkyz@gmail.com](mailto:vidnyanszkyz@gmail.com) – [katalin.hadobacs@gmail.com](mailto:katalin.hadobacs@gmail.com)

## JAVASLAT KATONAI MŰVELETEK TERVEZÉSÉNEK METEOROLÓGIAI TÁMOGATÁSI MODELLJÉRE

### *Absztrakt*

*Jelen cikkünk célja egy olyan meteorológiai támogatási modell bemutatása, amely a katonai műveletek tervezésének hadműveleti és stratégiai szintjén nyújthat hatékony meteorológiai, klimatológiai támogatást a döntéshozók számára. A javasolt modell az Analytic Hierarchy Process (AHP) és a fuzzy logika eszközrendszerének felhasználásával segít a felhasználóknak kiválasztani a műveletek végrehajtásához optimális időszakot. A bemeneti paraméterek alapján a kívánt végrehajtási helyre vonatkozó, származtatott klimatikus adatokat tartalmazó adatbázis felhasználásával a modell meghatározza az év megfelelő időszakát. A klíma adatbázis a modelltől függetlenül kezelhető, így annak cseréjével a modell tetszőleges műveleti területre alkalmazható, amennyiben az alap klíma adatok rendelkezésre állnak. Cikkünkben egy rövid esettanulmányt is bemutatunk, amely jól szemlélteti a támogató modell képességeit.*

*This article aims to present a meteorological support model, which is able to provide effective meteorological, climatological support to decision makers in military mission planning on the operational and strategic level. The recommended model uses the tools of Analytic Hierarchy Process (AHP) and fuzzy logic to help users choosing the optimal period of year for mission execution. Based on the input parameters the model marks the appropriate time of the year out for the desired place of execution by using a database with derived climatic parameters. This climatic database is independent from the model. So the model can be applied for any operational area if the necessary climatic data are available. We present a case study in this article to demonstrate the detailed capabilities of the model.*

**Kulcsszavak:** *meteorológiai támogatás, műveleti tervezés, fuzzy logika, AHP ~ meteorological support, mission planning, fuzzy logic, AHP*

## BEVEZETÉS

A katonai műveletek, gyakorlatok végrehajtása során a meteorológiai támogatásnak gyakran fontos szerep jut. Kiemelten igaz ez a repülések meteorológiai biztosításában, ahol a felhasználók jelentősen érzékenyebbek az időjárási paraméterek egyes értékeire illetve azok megváltozására. Kijelenthetjük, hogy az egyes feladatok végrehajtási fázisában a meteorológiai támogatás felhasználói oldalról is a folyamat szerves részét képezi. Az időjárási adatok felhasználása azonban jellemzően az operatív előrejelzői produktumokra, mérési, megfigyelési valamint távérzékelési adatokra (műhold, radar, stb.) korlátozódik, statisztikai megközelítéseket nem alkalmaz [1]. A tervezési fázisban a meteorológiai támogatás kizárólag az olyan operatív vagy eseti előrejelzési produktumokkal van jelen, amelyek a műveletek végrehajtás előtti közvetlen előkészítést segítik. A stratégiai vagy hadműveleti tervezés eszköztárából teljes mértékben hiányzik a származtatott klimatológiai adatokra támaszkodó döntéstámogató biztosítás, amely a tervezett feladatok eredményesebb végrehajthatóságát jelezheti előre.

Jelen cikk egy olyan tesztüzemben már működőképes modellt mutat be, amelynek segítségével a katonai műveletek hosszabb távú tervezési fázisában is hatékony meteorológiai támogatás nyújtható a döntéshozó számára. A felhasználói igények pontos megfogalmazása valamint a kiválasztott változókkal szemben támasztott preferenciák meghatározása esetén a modell képes az AHP (Analytic Hierarchy Process) módszer és a fuzzy logika eszköztárára segítségével a kitűzött feltételeknek megfelelő optimális időszak kijelölésére, ha a létrehozott adatbázisban a feladat szempontjából releváns információk rendelkezésre állnak. Az alkalmazott módszerek alkalmazásának részletei az alábbiakban egy esettanulmánnyal szemléltetve kerülnek bemutatásra.

## A MODELL

A modern repülésmeteorológiai támogatásban a statisztikai alapú megközelítések egyre szélesebb körben kerülnek alkalmazásra. A hagyományos dinamikus megközelítésekkel ellentétben, amelyek az egyes időjárási jelenségek fizikai alapú leírására épülnek, ezek az eljárások egy adekvát klimatológiai adatbázis adatainak feldolgozásával közelítik az időjárás várható alakulását. A módszer lényege, hogy az aktuális időjárási helyzethez meghatározott logika alapján, az arra alkalmas adatbázisban hasonló helyzeteket keresnek, majd ezek feldolgozásával állítanak elő egy többnyire ultrarövid távra szóló előrejelzést. A nemzetközi tapasztalatok azt mutatják, hogy ezek az előrejelzések megfelelő pontosságúak a repülésmeteorológiai biztosítás számára is [2]. Az említett módszerek hazai adaptálása megkezdődött [3] és ez adta az ötletet a bemutatásra kerülő modell kialakításához is.

A modell kitűzött célja, hogy a műveletek tervezése során olyan származtatott klimatológiai adatokon alapuló támogatást nyújtson, amelynek segítségével az adott művelet végrehajtási időszaka pontosan kijelölhető. A módszer kiinduló pontját a felhasználói igények pontos megfogalmazása jelenti. Ennek keretében a felhasználóknak meg kell határozniuk, hogy melyek azok a műveletek, amelyekre az alkalmazott eszközökön vagy akár az élőrön keresztül az időjárás meghatározó hatást gyakorolhat. Ezután ki kell választaniuk azokat a meteorológiai paramétereket, amelyek a feladatok végrehajtását befolyásoló tényezőket megfelelően jellemzik, azaz rajtuk keresztül meghatározható a műveletek végrehajtásának hatékonysága. Minden egyes kiválasztott paraméter esetében meg kell határozni a működést részben befolyásoló vagy teljes mértékben korlátozó határértékeket, esetleg a felhasználó által megszabott művelet végrehajtási határokat. Ezek alapján a változók értelmezési tartománya három részre osztható:

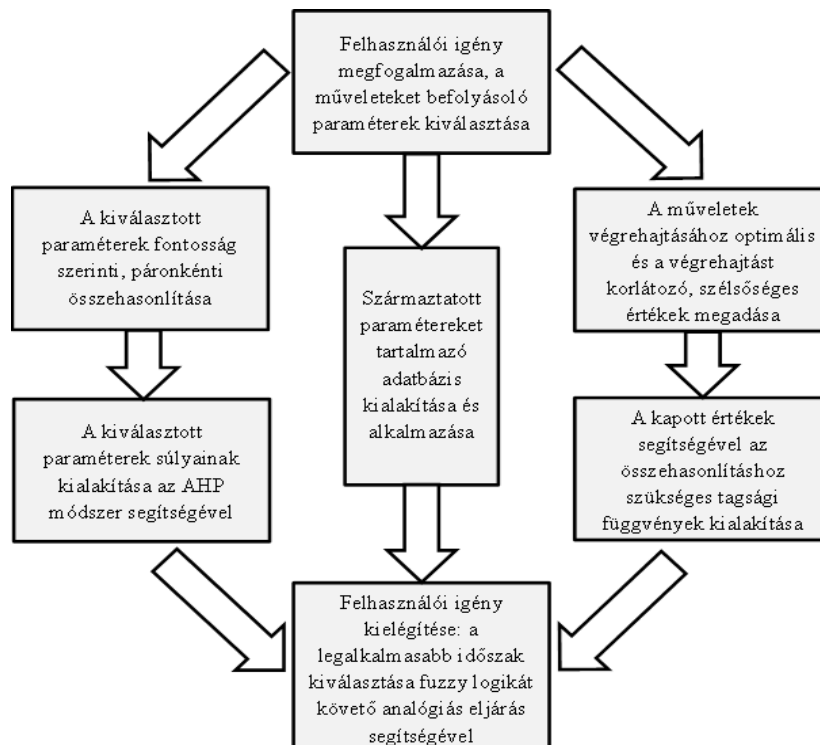
- alkalmas: az alkalmazott eszköz vagy élőerő korlátozás nélkül, hatékonyan vethető be, az időjárás kockázat nem számottevő;
- elfogadható: az alkalmazott eszköz vagy élőerő csak korlátozásokkal és/vagy kiegészítő eszközökkel és/vagy csökkenő hatékonysággal vethető be, az időjárás kockázat növekszik;
- alkalmatlan: az alkalmazott eszköz vagy élőerő korlátozásokkal és/vagy kiegészítő eszközökkel sem vethető be, az időjárás kockázat nagy.

A megszabott határértékek segítségével kialakíthatók az ún. tagsági függvények, amelyek a fuzzy logikán alapuló analógia kereső eljárás alapját képezik. Ezeknek a segítségével kerül meghatározásra az egyes naptári napok jellemzőinek és a felhasználó által felállított határértékeknek a hasonlósága. A gyakorlati alkalmazásban ez azt jelenti, hogy a felhasználó által kijelölt optimális körülményekhez tartozó paraméter értékek és a vizsgált naptári nap jellemzői milyen mértékben hasonlítanak vagy fordítva megfogalmazva: azoktól milyen mértékben térnek el. Ez a módszer a későbbiekben kerül részletesebb bemutatásra.

A felhasználónak lehetősége van az általa meghatározott szempontok fontosság szerinti páronkénti összehasonlítására, amely alapján a későbbiekben részletesebben bemutatásra kerülő AHP módszer eszközrendszerével meghatározhatók az egyes paraméterek súlyai. A gyakorlatban ez azt jelenti, hogy a kevésbé fontos, azaz kisebb súllyal rendelkező paraméterek esetében a modell megengedőbb lesz az elfogadható kategóriát képviselő értékekkel.

A származtatott paramétereket tartalmazó adatbázist is a felhasználói igényekhez kell igazítani és akár ad hoc jelleggel új változókkal kell kiegészíteni, amelyek a speciális, feladatra szabott elvárásoknak is megfelelnek.

A modell alapvető lépéseinek áttekintését az 1. ábra foglalja össze.



**1. ábra.** A modell működésének alapvető lépései

Az alábbiakban a modell működéséhez alkalmazott eljárások, módszerek részletes bemutatása következik.

## FUZZY LOGIKÁN ALAPULÓ ANALÓGIA KERESŐ ELJÁRÁS ALKALMAZÁSA

A fuzzy halmazelmélet első elméleti leírását Zadeh adta a hatvanas években [4]. Azóta elméletét rengeteg tudományterületen, például a meteorológiában is [5], de elsősorban irányítási, automatizálási problémák megoldására alkalmazták. Lehetőséget ad ugyanis olyan nem egzakt, többnyire empirikus úton szerzett ismeret matematikai alkalmazására, amelyet korábban tudományos módon nem vagy csak kompromisszumokkal tudtak modellekbe illeszteni. A fuzzy logika alkalmazása során akár olyan kifejezések is pontos matematikai jelentéssel láthatók el, mint például a „többnyire hasonló”, „kevésbé hasonló”, stb. Ezt a lehetőséget használtuk fel jelen cikkünkben mi is. A kialakított adatbázisunkban a felhasználó által meghatározott optimális körülményekhez keresünk hasonló szituációkat. Ehhez a hasonlóság kereséséhez pedig a felhasználó tapasztalatai alapján megadott vagy előírásokban megkövetelt határértékek segítségével meghatározott tagsági függvények szükségesek. Ezek a tagsági függvények adják meg a gyakorlati tapasztalatok matematikai leírását. A tagsági függvények értelmezési tartománya bármi lehet, az értékkészletük viszont 0 és 1 közé esik. A modellben felhasznált tagsági függvény általános alakja azokban az esetekben, amikor a vizsgált paraméter optimális értékétől vett eltérés a vizsgálat tárgya:

$$f(x) = \begin{cases} 1, & \text{ha } |x| < k_1 \\ \frac{k_2 - |x|}{k_2 - k_1}, & \text{ha } k_1 \leq |x| \leq k_2 \\ 0, & \text{ha } |x| > k_2 \end{cases}$$

ahol  $k_1$  és  $k_2$  ( $> k_1$ ) a felhasználó által megadott optimális értéktől való eltérés határértékeit jelenti. A tagsági függvény általános alakja azokban az esetekben, amikor a vizsgált paraméter származtatott relatív gyakorisági értékei képezik a vizsgálat tárgyát:

$$f(x) = \begin{cases} 1, & \text{ha } x < h_1 \\ \frac{x - h_1}{h_2 - h_1}, & \text{ha } h_1 \leq x \leq h_2 \\ 0, & \text{ha } x > h_2 \end{cases}$$

ahol  $h_1$  és  $h_2$  ( $> h_1$ ) a felhasználó által megadott alkalmassági kategóriák határértékeit jelentik. A megadott határértékek a felhasználói oldalról azokat az értékeket jelölik, amelyeket a felhasználó a „teljes mértékben alkalmas” és „teljes mértékben alkalmatlan” ún. fuzzy szavakkal limitként jellemez. A bemutatott tagsági függvények segítségével ezután paraméterenként meghatározható a hasonlóság mértéke egy 0 és 1 közé eső számmal. Esetünkben tehát a 0 érték jelentése minden egyes paraméterre az, hogy a paraméter értékei az alkalmatlan kategóriába sorolhatók. Az 1 érték pedig ennek ellenkezőjét jelenti: a paraméter értékei az alkalmas kategóriába tartoznak. A két érték között pedig egy lineáris függvény adja meg az alkalmas/alkalmatlan kategóriától való távolságot. Amennyiben több paraméter együttes vizsgálatáról van szó, akkor az egyedi hasonlósági értékek minimuma adja az összesített hasonlóság értékét. Ez biztosítja azt, hogy bármely paraméter alkalmatlansága esetén az eredmény alkalmatlan lesz illetve csak abban az esetben lesz a végeredmény alkalmas, ha mindegyik paraméter értéke az alkalmas kategóriába esik.

Amennyiben a felhasználó a vizsgált paramétereket fontosságuk szerint súlyozza, akkor az egyes paraméterek hasonlósági értékeihez hozzáadjuk a később bemutatásra kerülő módon meghatározott súlyok 1-ből kivont értékét. Ezzel tulajdonképpen a nagyobb súllyal rendelkező változók hasonlósági értékét csökkentjük virtuálisan, azaz a minimumfüggvény alkalmazása nagyobb eséllyel érinti a fontosabb paramétereket. Könnyen belátható, hogy a hasonlósági értékek minimumának meghatározása után a hasonlóság maximális értéke a maximális súly 1-ből kivont értékével haladja meg az 1-et. Annak érdekében, hogy a paraméterek alkalmatlan kategóriába eső értékei a hasonlóság során 0 értéként jelenjenek meg az előbbieknél kapott új hasonlósági értéket egységesen csökkentettük a minimális súly 1-ből kivont értékével. Ezután a negatív értékeket 0-nak vettük. Ahhoz, hogy a hasonlósági érték a későbbiekben összevethető legyen a súlyok alkalmazása nélküli eljárás eredményeivel, a kapott értékeket lehetséges maximumuk szerint normáltuk. A könnyebb áttekinthetőség kedvéért a későbbiekben a hasonlósági értékek százalékos formában kerülnek feltüntetésre.

## AZ AHP MÓDSZER ALKALMAZÁSA

Az Analytic Hierarchy Process (AHP) módszerének első leírását Thomas L. Saaty adta 1977-ben [6]. Az eljárás a többszemponútú döntési problémák egy lehetséges megoldását adja, melyet hazai szerzők is részletesen kifejtenek [7][8]. A többszemponútú döntési probléma lényege, hogy valamely cél elérése érdekében adott alternatívák közül kell választanunk, véges számú szempont figyelembe vételével. A módszer minden olyan esetben jól alkalmazható, amelyben egyértelműen meghatározható a döntés célja és beazonosíthatók a választható alternatívák illetve a kiválasztás során felhasznált szempontok. Nyilvánvalóan ez sok döntési probléma esetében a katonai szakterületen is applikálhatóvá teszi a módszert. Ahogyan például Gyarmati [9] és Gyarmati és társai [10] is megmutatták, az AHP metodikája hatékonyan alkalmazható haditechnikai eszközök összehasonlító elemzése, kiválasztása során. Munkáikban rámutatnak, hogy a haditechnikai terület többszemponútú döntési problémáira milyen korlátokkal és konkrétan hogyan alkalmazható a szóban forgó eljárás.

Esetünkben a többszemponútú döntési probléma meghatározása során a kitűzött célt a műveletek végrehajtásához megfelelő időszak kiválasztása jelenti. A kiválasztandó alternatívákat az időszak jellemzésére alkalmas legkisebb egységek, azaz a naptári napok adják. A kiválasztás során figyelembe vett szempontokat pedig a felhasználó által megadott, az adatbázis részét képező származtatott jellemzők képezik. Az alternatívák nagy száma miatt, az AHP módszerből csak a szempontok páronkénti összehasonlításával nyert szempont súlyokat használjuk fel, amelyeket a szempontok páronkénti összehasonlításával nyert mátrix sajátvektor problémájának megoldásaként nyerünk. Ennek meghatározását a következőkben ismertetjük.

Jelentse  $n$  azoknak a kiválasztott szempontoknak (esetünkben a származtatott klimatikus jellemzők) a számát, amelyek esetében szeretnénk meghatározni a  $w_i$  súlyokat ahol  $i = 1, \dots, n$  és a  $w_i$  az  $i$ -edik szempont fontosságát mutatja. Kiindulásként a felhasználó értékelése alapján minden egyes  $i, j$  szempontpárra meghatározott, az  $i$ -edik és  $j$ -edik szempont fontosságának arányát mutató becslések állnak rendelkezésre. Jelöljük ezeket  $a_{ij}$ -vel ahol  $i, j = 1, \dots, n$ . Természetesen  $a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}}$ .

Meg kell jegyeznünk, hogy például az  $a_{ij}a_{jk} = a_{ik}$  egyenlőség nem feltétlenül igaz. Példának okáért tegyük fel, hogy az első szempont kétszer fontosabb, mint a második, és a második szempont kétszer fontosabb, mint a harmadik. Ennek ellenére az első szempont csak háromszor fontosabb, mint a harmadik. Ilyen helyzetekben nem is elvárható, hogy a súlyok

tökéletesen visszaadják az eredetileg megadott fontossági arányokat. A cél az, hogy olyan  $w_i$  súlyokat találjunk, amelyek minimalizálják az  $a_{ij}$  és  $\frac{w_i}{w_j}$  arányok különbségét.

Jelölje  $A$  a fontossági arányok  $n \times n$  mátrixát. Ha ez a pozitív reciprok mátrix konzisztens, azaz az  $a_{ij}a_{jk} = a_{ik}$  egyenlőség teljesül, akkor a keresett  $w = (w_1, \dots, w_n)$  súlyvektor az  $A$  mátrix az  $n$  sajátértékhez tartozó sajátvektora. Más szavakkal:  $Aw = nw$  és ebben az esetben  $n$  a maximális sajátérték. Saaty bebizonyította, hogy egy  $A$  pozitív reciprok mátrix akkor és csak akkor, konzisztens, ha  $\lambda_{\max} = n$  ahol  $\lambda_{\max}$  a mátrix maximális sajátértékét jelöli. Továbbá azt is bizonyította, hogy a páronkénti összehasonlítás mátrix inkonzisztenciája esetén a  $\lambda_{\max}$  maximális sajátértékhez tartozó sajátvektor adja a súlyvektor legjobb becslését, mivel ez minimalizálja az  $a_{ij}$  és  $\frac{w_i}{w_j}$  arányok különbségét [6].

A fentieket felhasználva az alábbi eljárást követtük:

- a felhasználó által meghatározott  $a_{ij}$  ahol  $i, j = 1, \dots, n$  fontossági arányokból létrehoztuk az  $A$  mátrixot;
- iterációs módszerrel meghatároztuk a  $\lambda_{\max}$  maximális sajátértékhez tartozó  $w_{\max}$  sajátvektort;
- $w_{\max}$  normálásával megkaptuk a keresett  $w = (w_1, \dots, w_n)$  súlyvektort, ahol  $w_i$  az  $i$ -edik szempont súlyát adta meg.

A való életben a felhasználó szubjektív ítéletén alapuló fontossági arányok a legtöbb esetben inkonzisztenciára vezetnek. Amennyiben ennek mértéke az elfogadott mértéket meghaladná, akkor a felhasználó a páros összehasonlítás korrekciójára kérhető.

Az egyes szempontokhoz kapott súlyokat a korábban ismertetett módon alkalmaztuk modellünkben.

## AZ ADATBÁZIS

Az adatbázis létrehozásához egy repülésmeteorológiai jelentő táviratokra (METAR) épülő, korábban létrehozott adatbázist használtunk fel. Az anyaadatbázist a jelentő táviratokból kinyert nyers adatok és származtatott paraméterek kombinációja alkotja [11]. Mivel az abban fellelhető adatok elemi bontásban is megjelennek, ezért az új adatbázis származtatott jellemzőinek előállítása összetettebb előkészítést nem tett szükségessé. Az új paraméterek előállításánál az volt a célunk, hogy egy adott naptári napot minél jobban jellemző, egyszerűen értelmezhető és a katonai műveletekre esetlegesen hatást gyakorló változókat hozzunk létre. Az előállított tizenegy paraméter képezi az adatbázis kiindulási állapotát, amely tetszőlegesen bővíthető a felhasználói igények szerint, amennyiben az anyaadatbázisban a kiszámításhoz szükséges paraméterek rendelkezésre állnak. Az adatbázis hőmérséklettel kapcsolatos elemei esetében az adott naptári napra vonatkozóan számítottuk ki a kívánt mennyiségeket, majd az így kapott adatsort tizenöt napos mozgóátlaggal simítottuk. A jelenlegi adatbázis viszonylagos rövidege miatt ugyanis így egy adott időszak jellemzői a hasonlóság keresés során lényegesen kisebb fluktuációt mutatnak, ami a felhasználó számára az eredményeket könnyebben értékelhetővé teszi. A relatív gyakorisági elemek esetében először adott év naptári napjaira számítottuk ki az adott feltételnek megfelelő észlelések relatív gyakoriságát, majd ezek naptári nap szerinti átlagát képeztük. A hőmérsékleti elemekhez hasonlóan a simítást itt is elvégeztük. Annak érdekében, hogy a relatív gyakoriság fogalma a felhasználó számára is könnyebben értelmezhető legyen, klimatológiai előtanulmányok és az adott hely éghajlati jellemzőinek ismerete nélkül, az így kapott értékeket a naptári nap szerinti maximális érték szerint normáltuk. Így a végső jellemző nem egy olyan számot rejt, aminek az értelmezéséhez ismernünk kell annak viszonyítási rendszerét, hanem azt mutatja meg, hogy az év egy adott feltétel előfordulása szempontjából

maximális relatív gyakoriságú napjához mérten egy másik nap hány százalékban teljesíti ugyanazt a feltételt. Az egyszerűség kedvéért a továbbiakban ezeket a paramétereket adott kategória relatív gyakoriságainak nevezzük. A látástávolság és a felhőalap vonatkozásában a relatív gyakoriságok tetszőleges határértékekre kiszámíthatók a felhasználói igényeknek megfelelően.

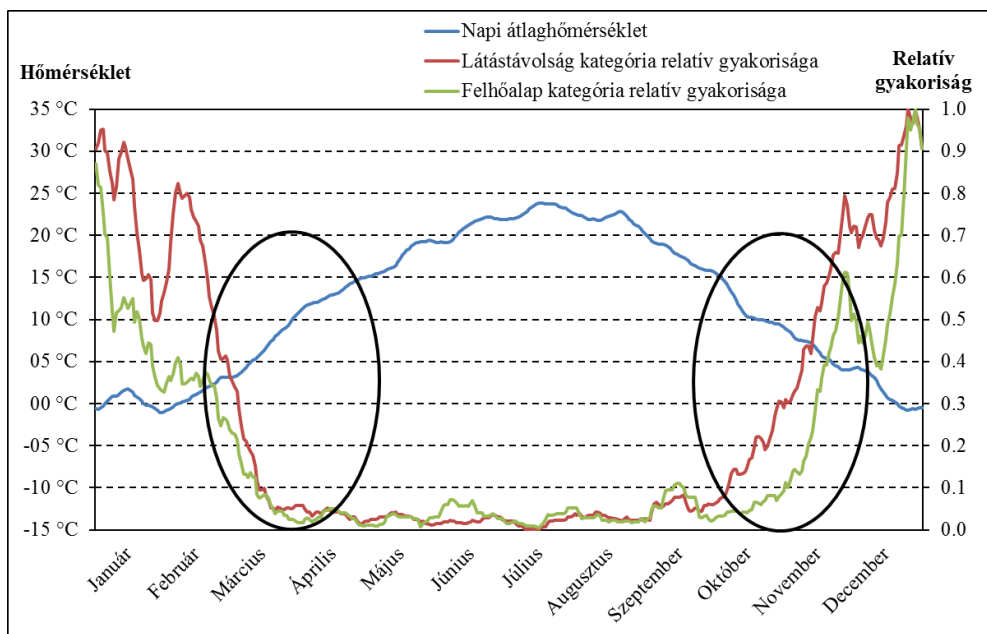
A rendelkezésre álló tizenegy kiszámított paraméter a következő:

1. Naptári nap átlaghőmérséklete
2. Naptári nap átlagos minimumhőmérséklete
3. Naptári nap abszolút minimumhőmérséklete
4. Naptári nap átlagos maximumhőmérséklete
5. Naptári nap abszolút maximumhőmérséklete
6. Adott kategóriának megfelelő látástávolság relatív gyakorisága
7. Adott kategóriának megfelelő felhőalap relatív gyakorisága
8. Zivatar előfordulásának relatív gyakorisága
9. Köd előfordulásának relatív gyakorisága
10. Havazás előfordulásának relatív gyakorisága
11. Ónos csapadék vagy zúzmarás köd előfordulásának relatív gyakorisága

Az adatbázis a modelltől teljesen függetlenül van, a modell bemeneti paramétereinek kiolvasása történik innen. Nyilvánvaló, hogy az adatbázis cseréjével az adott földrajzi helyre vonatkozó klimatikus viszonyok figyelembe vétele egyszerűen megvalósítható. Ennek segítségével a szükséges adatok birtokában akár missziós műveleti területre vonatkozóan is tervezhető a haditechnikai eszközök és az élőerő alkalmazhatósága. Ez az alkalmazási lehetőség azért lehet kiemelten fontos, mert a döntéshozók ismeretei a vonatkozó területek éghajlati környezetéről esetenként fokozottan korlátozottak.

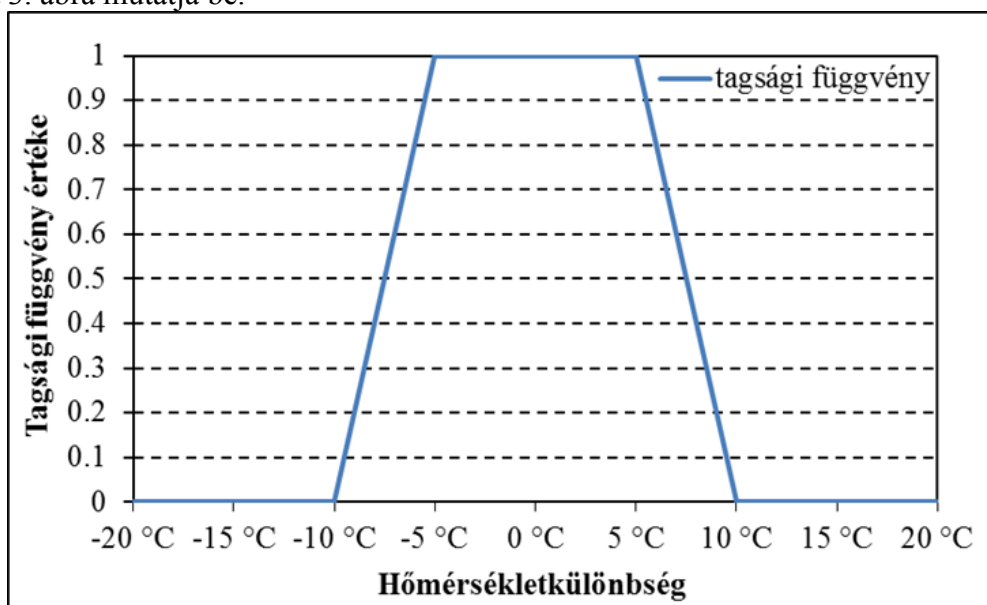
## **ESETTANULMÁNY**

Az esettanulmány kiválasztása irányítottan történt. Ehhez az adatbázisban található, a szolnoki repülőtérről vonatkozó származtatott mennyiségek éves menetét mutató grafikonok kerültek felhasználásra. Az esettanulmány során felhasznált paraméterek esetében ezt a 2. ábra szemlélteti. A kiválasztás alapját az éves menetekben tapasztalható leggyorsabb változások adták, amelyeket a 2. ábrán látható fekete ellipszisek mutatnak. A vizsgált paraméterek kijelölt értékeit ez alapján határoztuk meg. A megadott határértékek fiktívek, nem kötődnek konkrét katonai művelet korlátozó tényezőihez, ugyanakkor a valóságtól nem elrugaszkodottak. Az alkalmazott értékek esetében arra törekedtünk, hogy a modell képességei minél jobban bemutathatóak legyenek.



2. ábra. Az esettanulmány során felhasznált paraméterek éves menete

A tervezett műveletek végrehajtását tehát az adatbázisban található három származtatott paraméter befolyásolhatja. A napi átlaghőmérséklet esetében az optimális értéket az 5°C-os hőmérséklet jelenti. Az ettől  $\pm 5^\circ\text{C}$ -kal eltérő értéktartomány a műveletek végrehajtására az alkalmazott eszköz vagy élőerő korlátozása nélkül alkalmas. Amennyiben az eltérés 10°C-nál nagyobb, akkor a művelet végrehajtására a körülmények alkalmatlanok. A két érték közötti tartományban a művelet korlátozottan és/vagy csak kisebb hatékonysággal és/vagy kiegészítő eszközök alkalmazásával hajtható végre. Az ismertetett értékekkel és a korábbiakban bemutatott vonatkozó tagsági függvény általános alakja alapján a tagsági függvény konkrét alakját a 3. ábra mutatja be.

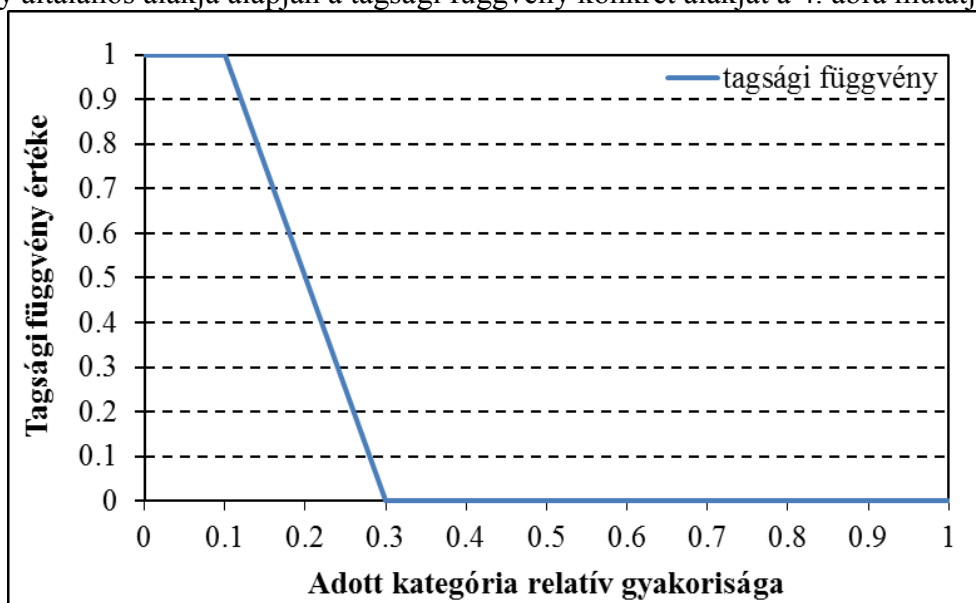


3. ábra. A tagsági függvény alakja a napi átlaghőmérséklet esetében

A 3000 m-es és az alatti látástávolság valamint a 300 m-es és az alatti felhőalap maximum szerint normált relatív gyakoriságának esetében az optimális értéket az 10% alatti értékek jelentik. Ez az értéktartomány a műveletek végrehajtására az alkalmazott eszköz vagy élőerő korlátozása nélkül alkalmas. Amennyiben ez az érték 30%-nál nagyobb, akkor a művelet



végrehajtására a körülmények nem alkalmasak, pontosabban túl nagy a kockázata annak, hogy a körülmények alkalmatlanok lesznek a vizsgált nap adott részében. A két érték közötti tartományban a művelet korlátozottan és/vagy csak kisebb hatékonysággal és/vagy kiegészítő eszközök alkalmazásával hajtható végre az esetlegesen alkalmatlan körülmények elfogadható kockázata mellett. Az ismertetett értékekkel és a korábbiakban bemutatott vonatkozó tagsági függvény általános alakja alapján a tagsági függvény konkrét alakját a 4. ábra mutatja be.



4. ábra. A tagsági függvény alakja adott kategória relatív gyakorisága esetében

A fentiek figyelembe vételével a modell futtatását két különböző módon végeztük el. Az első esetben a kiválasztott paraméterek azonos súllyal szerepelnek, azaz felhasználói szempontból azonos fontosságúak. A második esetben pedig a paraméterek felhasználó általi páronkénti összehasonlítását követően az AHP módszerrel kalkulált súlyok kerültek alkalmazásra (látástávolság: 0,58; felhőalap: 0,31; napi átlaghőmérséklet: 0,11). A páronkénti összehasonlító értékelést az 1. táblázat szemlélteti.

1	3						5						7						9
egyformán fontos	mérsékelten fontosabb						sokkal fontosabb						nagyon sokkal fontosabb						rendkívüli mértékben fontosabb
Látástávolság	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Felhőalap	
Látástávolság	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Napi átlaghőmérséklet	
Felhőalap	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Napi átlaghőmérséklet	

1. táblázat. A páronkénti összehasonlítás eredménye és értékelése

Az 5. és 6. ábra mutatja be a két futtatás eredményét. A legmarkánsabb különbséget a fontossági preferencia esetében az adja, hogy a műveletek végrehajtására tervezett időszak nagy biztonsággal kiterjeszhető április első felére is, illetve az októberi időszak értékei egyértelmű csökkenést mutatnak. Az első esetben a 100%-ot csak azok az esetek jelentik, amikor mindegyik paraméter értékei az alkalmas tartományban találhatóak. A súlyok alkalmazása esetében 100%-ot jelentenek azok az esetek is, amikor a legfontosabb paraméter értéke van csak az alkalmas tartományban, de a többi paraméter értéke nem tér el jelentősen az alkalmas értéktartománytól. Jelentős eltérésről akkor beszélünk, ha ebben az esetben a kevésbé fontos paraméter hasonlóságának mértéke az AHP módszerrel meghatározott súlyok különbségének 1-ből kivont értéke alá csökken. Tehát minél nagyobb a fontosságbeli különbség, az eljárás annál megengedőbb lesz a kevésbé fontos paraméter értékeinek esetében az elfogadható tartományon belül.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
Január																																
Február																																
Március																																
Április	84%	74%	69%	65%	63%	26%	42%	45%	51%	56%	62%	75%	82%	88%	93%	95%	96%	97%	98%	99%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	
Május																																
Június																																
Július																																
Augusztus																																
Szeptember																																
Október																																
November																																
December																																

5. ábra: A modell által a művelet végrehajtására kijelölt időszakok a paraméterek fontosság szerinti értékelése nélkül

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
Január																																
Február																																
Március																																
Április																																
Május																																
Június																																
Július																																
Augusztus																																
Szeptember																																
Október																																
November																																
December																																

6. ábra: A modell által a művelet végrehajtására kijelölt időszakok a paraméterek fontosság szerinti értékelésével

## ÖSSZEGZÉS, TOVÁBBI TERVEK, FEJLESZTÉSI LEHETŐSÉGEK

Cikkünkben a katonai műveletek tervezésének meteorológiai támogatási modelljére tettünk javaslatot. A javasolt modell a fuzzy logika és az AHP eljárás eszközrendszerét felhasználva segít a tervezett műveletek végrehajtási időszakának kijelölésében az adatbázisban rendelkezésre álló származtatott klimatológiai paraméterek figyelembe vételével valamint lehetővé teszi a felhasználó számára a kiválasztott paraméterek fontosság szerinti prioritizálását. Emellett lehetőséget ad tervezett haditechnikai eszközök bevezetése előtt, azok adott éghajlati környezetben történő alkalmazhatóságának vizsgálatára is.

Fejlesztési terveink között szerepel az adatbázis SYNOP táviratokból származtatott mennyiségekkel való bővítése, amely a jelenleg használt paraméterek minőségének javítását illetve új mennyiségek bevezetését tenné lehetővé. Meg kívánjuk továbbá vizsgálni egyéb, nem meteorológiai paraméterek bevezetésének lehetőségét, hiszen a modell ebből a szempontból nyitott, alkalmazható egyéb jellemzők vizsgálatára is. Végül szeretnénk kidolgozni egy olyan felhasználói felületet, amely felhasználóbarát módon teszi lehetővé a modell használatát.



**A PUBLIKÁCIÓ A TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMP-2011-00010 „KRITIKUS INFRASTRUKTÚRA VÉDELMI KUTATÁSOK” PÁLYÁZAT KERETÉBEN KÉSZÜLT. A PROJEKT AZ EURÓPAI UNIÓ TÁMOGATÁSÁVAL, AZ EURÓPAI SZOCIÁLIS ALAP TÁRSFINANSZÍROZÁSÁVAL VALÓSUL MEG.**

## Felhasznált irodalom

- [1] Tuba Zoltán – Wantuch Ferenc – Bottyán Zsolt – Hadobács Katalin – Jámbor Krisztián: Repülésmeteorológiai klíma adatok felhasználásának lehetséges aspektusai pilóta nélküli repülőeszközök (UAV-k) meteorológiai támogatásában. Szolnoki Tudományos Közlemények, XVI., 2012,  
[http://www.szolnok.mtesz.hu/sztk/kulonszamok/2012/cikkek/2012-17-Tuba\\_Zoltan\\_es\\_a\\_tobbiek.pdf](http://www.szolnok.mtesz.hu/sztk/kulonszamok/2012/cikkek/2012-17-Tuba_Zoltan_es_a_tobbiek.pdf)
- [2] B. K. Hansen: A Fuzzy Logic–Based Analog Forecasting System for Ceiling and Visibility. Weather and Forecasting, Vol. 22, 1319–1330., 2007
- [3] Hadobács Katalin – Tuba Zoltán – Wantuch Ferenc – Bottyán Zsolt – Vidnyánszky Zoltán: A pilóta nélküli légi járművek meteorológiai támogató rendszerének kialakítása és alkalmazhatóságának bemutatása esettanulmányokon keresztül. Repüléstudományi Közlemények, 25, 2, 405-421., 2013,  
[http://www.szrfk.hu/rtk/kulonszamok/2013\\_cikkek/2013-2-31-Hadobacs\\_Katalin\\_es\\_a\\_tobbiek.pdf](http://www.szrfk.hu/rtk/kulonszamok/2013_cikkek/2013-2-31-Hadobacs_Katalin_es_a_tobbiek.pdf)
- [4] L. A. Zadeh: Fuzzy sets. Information and Control, 8, 338-353., 1965
- [5] B. K. Hansen – D. Riordan: A fuzzy case-based system for weather prediction. Engineering Intelligent Systems, 3, 139–146., 2002
- [6] T. Saaty: A scaling method for priorities in hierarchical structures, Journal of mathematical psychology 15(3), 234-281., 1977
- [7] Temesi József: A döntéelmélet alapjai. Aula, 2002
- [8] Rapcsák Tamás: Több szempontú döntési problémák. MTA Sztaki, 2007
- [9] Gyarmati József: Döntési modell kialakítása közbeszerzési eljárás során. Hadmérnök, 3, 36-52., 2007
- [10] Gyarmati József – Felházi Sándor – Kende György: Choosing the Optimal Mortar for an Infantry Battalion's Mortar Battery with Analytic Hierarchy Process using Multivariate Statistics. In: Gyarmati József – Felházi Sándor – Kende György: Decision Support Methodologies for Acquisition of Military Equipment, Konferencia helye, ideje: Brüsszel, Belgium, 2009.10.22-2009.10.23. Brüsszel: NATO RTO, 2009. pp. 1-12. (ISBN:978-92-837-0101-9)
- [11] Bottyán Zsolt – Wantuch Ferenc – Tuba Zoltán – Hadobács Katalin – Jámbor Krisztián: Repülésmeteorológiai klíma adatbázis kialakítása az UAV-k komplex meteorológiai támogató rendszeréhez. Repüléstudományi Közlemények, 24, (3), 2012, pp. 11-18.,  
[http://www.szrfk.hu/rtk/folyoirat/2012\\_3/2012-3-02-Bottyán\\_Zs\\_es\\_a\\_tobbiek.pdf](http://www.szrfk.hu/rtk/folyoirat/2012_3/2012-3-02-Bottyán_Zs_es_a_tobbiek.pdf)