

Számel Bence Domonkos, Szabó Géza

IDŐJÁRÁSI JELENSÉGEK LÉGIFORGALMI IRÁNYÍTÓI MUNKATERHELÉSRE GYAKOROLT HATÁSÁNAK FELMÉRÉSE

A légiforgalmi irányítói munkaterhelésnek a légiforgalmi szituációk különböző jellemzői (komplexitása) alapján, matematikai úton történő meghatározása során fontos figyelembe venni a légtérben fennálló időjárási viszonyokat, elsősorban a zivatartevékenységet. A zivatartevékenység hatásának leírásához a zivatargócoknak számos szám-szerűen kifejezhető paraméterét használhatjuk, az azonban nem egyértelmű, hogy ezek közül melyik milyen mértékben járul hozzá a munkaterheléshez. Ennek kiderítésére az egyik lehetséges módszer az, ha megvizsgáljuk az összefüggést különféle időjárási szituációk paramétereinek értékei és a hozzájuk rendelhető – szakemberek véleménye alapján megállapított – munkaterhelés növelő hatás között. Cikkünkben azt mutatjuk be, hogyan érdemes előkészíteni egy, a fenti összefüggés feltárását célzó felmérést a légiforgalmi irányítási szakemberek körében, elsősorban az időjárási szituációk tervezésére és grafikus megjelenítésére fókuszálva.

Kulcsszavak: Légiforgalmi irányítás, Munkaterhelés, Időjárás, Zivatar, Döntéstámogatás, Neurális háló

1. BEVEZETÉS

A légiforgalmi irányítási (ATC¹) rendszerek biztonságát és hatékonyságát számos műszaki, szervezeti és humán tényező befolyásolja. Utóbbiak közül az egyik legfontosabb a légiforgalmi irányítók munkaterhelése, amit az előírt biztonsági követelmények betartása, valamint az ATC szolgáltatás lehető legjobb minőségű ellátása érdekében érdemes az üzemidő nagy részében az optimálisnak tekintett szint közelében tartani. Ennek magyarázata az, hogy a túlzottan magas munkaterheléssel dolgozó irányítók – ahogyan az [1]-ből is kiderül – az időegység alatt gyakrabban elvégzett információfeldolgozási- és kommunikációs tevékenység miatt nagyobb gyakorisággal hibáznak, mint akkor, amikor a munkaterhelés a közepes tartományba esik. A túlzottan alacsony munkaterhelést szintén érdemes elkerülni, mivel alacsony terhelés mellett nagyobb valószínűséggel terelik el az irányító figyelmét olyan tényezők, amelyekkel más körülmények között nem foglalkozna (pl. zaj, lelkiállapot stb.), ez pedig szintén a hibák gyakoriságának és súlyosságának növekedéséhez vezethet.

A munkaterhelés optimalizálását a légtér szektorokra bontásával és ezáltal a légiforgalom több irányító között történő elosztásával lehet megoldani. Az ezzel kapcsolatos legfontosabb döntéseket (szektorok nyitásának és zárásának időpontja, szektornyitás során alkalmazandó szektorhatár) a légiforgalmi irányítók munkáját koordináló supervisor hozza meg a forgalomnak a közeljövőben (az adott pillanattól számítva 15–20 percen belül) várható jellemzőire alapozva. Mivel ezek a döntések a biztonság szempontjából nagy fontossággal bírnak, érdemes olyan automatizált döntéstámogató eszközt létrehozni, amely képes a supervisorok számára is rendelkezésre álló adatok alapján javaslatot tenni a várható forgalomhoz tartozó optimális szektorkonfigurációra.

¹ Air Traffic Control

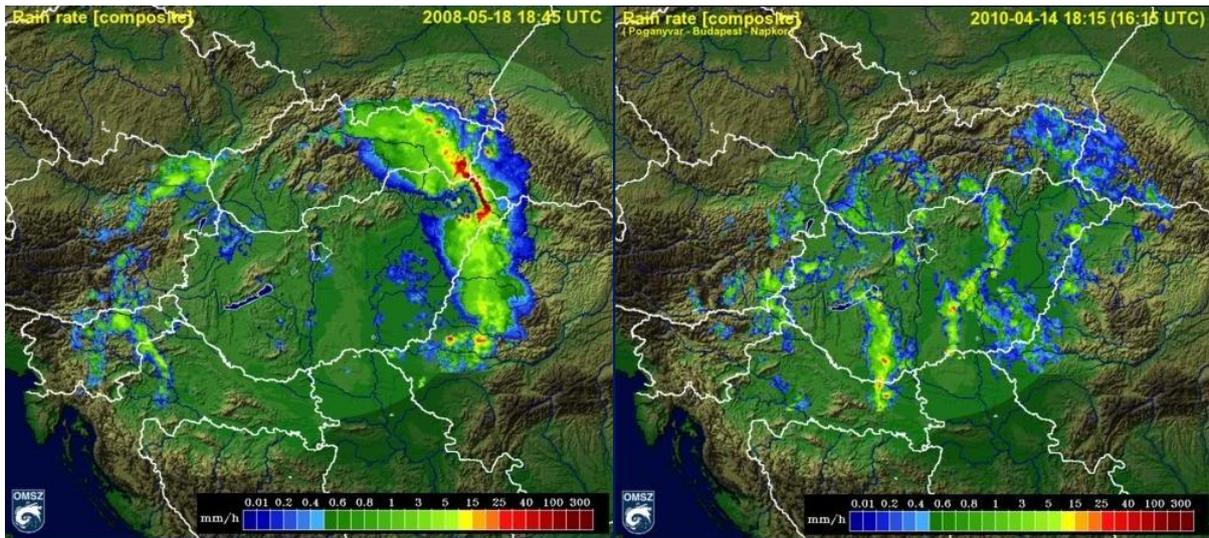
Ahogy az [2]-ben is látható, a fenti funkciót ellátó döntéstámogató eszköz fejlesztésében kulcsszerepet játszik a légiforgalmi helyzetek várható jellemzőinek számszerű leírása, mivel az ezáltal előállított számértékek szolgálnak bemeneti adatként az eszköz központi logikáját (légiforgalmi szituációk várható jellemzői alapján optimális szektorállapotok meghatározását) megvalósító modul számára. A légiforgalmi szituációkat leíró tényezők közül érdemes kiemelni a légtérben uralkodó időjárási viszonyokat, részben azért, mert aktív légiforgalmi irányítók és supervisorok véleményei alapján [3] ez tekinthető a munkaterhelés szempontjából az egyik legfontosabb tényezőnek, részben pedig azért, mert ennek a számszerű leírása kevésbé kézenfekvő, mint más tényezőké. Cikkünkben arra mutatunk be egy lehetséges módszert, hogy hogyan lehetséges az időjárási tényezőket számszerű értékekkel leírni, majd ezeket figyelembe venni a korábban említett döntéstámogató eszköz fejlesztési folyamata és később működése során. A 2. fejezetben összefoglaljuk, milyen hatással lehet az időjárás a légiforgalomra és ezáltal a légiforgalmi irányítók munkájára. A 3. fejezetben bemutatjuk a számszerű értékek időjárási tényezőkhöz történő rendelésének egy lehetséges módszerét, majd a 4. fejezetben felvázoljuk a módszer gyakorlati alkalmazásának első lépéseit.

2. AZ IDŐJÁRÁS HATÁSA A LÉGIFORGALOMRA ÉS A LÉGIFORGALMI IRÁNYÍTÁSRA

Ahogy az [4]-ből is kiderül, a légi közlekedést leginkább befolyásolni képes időjárási tényezők közé sorolhatjuk a látási viszonyokat rontó tényezőket (pl. köd, eső, havazás stb.), a szelet és az olyan rendkívüli jelenségeket, mint a zivatar. Ezek közül a látási viszonyokat rontó tényezők és a szél elsősorban a repülőtéri irányítás és a bevezető irányítás területén dolgozó irányítók munkájára van hatással, míg a zivatar a körzeti irányítás (ACC²) területén is befolyásolja az irányítói munkaterhelést. Ennek megfelelően, mivel az optimális szektorkonfiguráció becslésére szolgáló módszert ACC szektorkonfiguráció (és munkaterhelés) optimalizálására tervezzük használni, ezért az időjárás munkaterhelésre gyakorolt hatásának elemzése során elsődlegesen a zivatartevékenység hatásaival foglalkozunk. A módszer későbbi, a bevezető irányítás területére történő kiterjesztése során érdemes lehet továbbá figyelembe venni a szél irányát és sebességét is, mivel ez nagy hatással van a használatban lévő futópálya irányokra és ezen keresztül az érkező és induló forgalom szerkezetére.

Ahogy az [5]-ben bemutatott felmérés eredményéből is látszik, a bevezető- és körzeti irányítás szempontjából leginkább jelentős időjárási tényező a zivatar. A zivatar által érintett légtértartományokban számos olyan jelenség figyelhető meg, amelyek külön-külön is veszélyt jelentenek a repülésre. Ezek közé sorolható a turbulencia, a repülőgép-szerkezet- és a hajtóművek jegesedése, a villámlás, a szélnyírás vagy a függőleges légáramlatok. Az áramlatok nem tehetnek kárt a repülőgépek szerkezetében, de a váratlan mozgás sérülésekhez vezethet a fedélzeten. A zivatar közelsége ezen felül a rádiókommunikációt is megnehezítheti. Ezen tényezők miatt a zivatarokat minden esetben el kell, hogy kerüljék a légijárművek, amiben a légiforgalmi irányításnak értelemszerűen segítséget kell nyújtania.

² Area Control Center



1. ábra Zivatartevékenység vizuális megjelenítése [8]

A zivatar elhelyezkedésére vonatkozóan a pilótáknak és a légiforgalmi irányításnak is vannak információi, ezek megbízhatósága azonban eltérő. A budapesti ATC központ esetében a légiforgalmi irányítók számára közvetlenül rendelkezésre álló időjárási adatokat az Országos Meteorológiai Szolgálat biztosítja és minden irányítói (valamint supervisor) munkállomáson megjelennek (az 1. ábrán láthatóhoz hasonló formában). Ezek azonban nem előrejelzett adatok, hanem a megjelenítés időpontjához képest néhány perccel korábban megvalósult időjárási helyzetet tükröző történeti adatok. Mivel a légtér zivatarok által érintett része azok mozgása és méretbeli változása miatt rövid idő alatt is megváltozhat, ezért a megjelenített történeti időjárási adatok önmagukban nem teszik lehetővé az irányító számára, hogy pontos terveket készítsen a légi járművek esetlegesen módosított útvonalaira vonatkozóan. Arra ugyanakkor elegendőek, hogy segítségükkel az irányító felkészülhessen arra, hogy a repülési tervük alapján a zivatar által érintett légtértartományon át, vagy annak közelében repülő légi járművek várhatóan útvonal módosításra vonatkozó kérésekkel fognak előállni.

A pilóták ezzel szemben általában valós időben tájékozódhatnak a repülőgép környezetében megfigyelhető különböző időjárási jelenségekről fejlett fedélzeti időjárási radarok segítségével. Ennek köszönhetően elképzelhető, hogy zivatar esetén hatékonyabb elkerülési tervet tudnak kidolgozni saját repülőgépeikre vonatkozóan, mint a légiforgalmi irányító, ennek során azonban nem tudják figyelembe venni a környezetükben lévő további forgalmat és az esetleges (nem időjárás miatt) korlátozott légtereket.

A zivatarkerülés végrehajtása tehát még más légiforgalmi irányítást érintő tevékenységeknél is több együttműködést igényel a légi jármű személyzete és az irányító között, mivel mindkét fél rendelkezik olyan információkkal, amelyekkel a másik nem. A zivatarkerülést a pontosabb rendelkezésre álló adatok miatt általában a pilóta kezdeményezi azzal, hogy a haladási irány és/vagy a magasság változtatására vonatkozó kérést intéz az irányítás felé az időjárásra hivatkozva. Az irányító ilyen esetben általában törekszik arra, hogy engedélyezze a kért változtatást, mivel feltételeznie kell, hogy a pilóta jobban ismeri a repülőgép útvonala mentén várható időjárást. Ugyanakkor az irányító elsődleges feladata az előírt vízszintes és függőleges elkülönítés biztosítása a légi járművek között, ezért csak akkor adhat bármilyen irány- vagy magasságváltoztatási engedélyt, ha ez várhatóan nem vezet az elkülönítési előírások megsértéséhez.

A légiforgalmi irányítónak tehát zivatarkerülés miatti kérés esetén frissítenie kell a forgalmi helyzetről alkotott mentális képét részben a kérést leadó légi járműtől kapott időjárási információval (hol van zivatartevékenység az adott pillanatban), részben pedig azzal az útvonallal, amit a légi jármű a kérés engedélyezése esetén követni fog. Ezen felül, ha a légi jármű letérni kényszerül a repülési terv szerint tervezett útvonaláról, akkor az arra való visszatérés elősegítése az irányító feladata a megfelelő irányra, magasságra és sebességre vonatkozó utasítások segítségével. Más szóval a zivatarkerülés miatt útvonalat módosító repülőgépre kiemelt figyelmet kell fordítania az irányítónak egészen a kerülés sikeres befejezéséig. Mindez értelemszerűen növeli az irányító kognitív terhelését.

Természetesen ritkán fordul elő olyan szituáció, amikor a zivatar hatására csak egy légi jármű kényszerül útvonalának megváltoztatására. Jellemzőbbek az olyan helyzetek, amikor közel egy időben több repülőgép személyzete is zivatarkerülési kéréssel fordul az irányítás felé, aminek következtében az irányítónak több különböző módosított útvonaltervet kell összehangolnia. Ez gyakran csak úgy valósítható meg, hogy egy vagy több légi jármű nem a kérésében szereplő irány- vagy magasságmódosításra kap engedélyt. Az ilyen repülőgépek esetében arra is kiemelten kell figyelni, hogy valóban az irányító által adott utasítást hajtják-e végre. További probléma lehet, hogy mivel mind a zivatarkerülési tervek kidolgozása, mind pedig a kerülésre vonatkozó kérések feldolgozása időt igényel az irányító részéről, ezért előfordulhat, hogy egy kérésben szereplő irány- vagy magasságváltoztatási érték a kérés időpontjában még elég lett volna a zivatar tényleges elkerüléséhez, az engedély kiadásakor azonban már nem. Ilyen esetben az érintett légi jármű valószínűleg újabb kéréssel áll elő, ezért az irányítónak továbbra is foglalkoznia kell vele.

Ahogy az az eddigiekből is kiderült, ha egy szektorban sok a zivatart kerülő repülőgép, akkor megnő az irányító és a pilóták közti üzenetváltások mennyisége. Ez a kommunikációs frekvencia túlterheltségéhez vezethet, ami miatt egyes kérések vagy utasítások nem juthatnak el időben az irányítóhoz vagy a személyzetekhez és emiatt érvényüket veszíthetik. Az ilyen esetekben értelemszerűen új kérésekre vagy új utasításokra van szükség, ezek pedig új tervek kidolgozását igénylik az irányító részéről, tovább növelve annak munkaterhelését. Szintén a megnövekedett kommunikációs forgalom következményeként állhat elő az a probléma, hogy az irányító az időegység alatt hozzá érkező nagyobb információmennyiség miatt figyelmen kívül hagy, félreért vagy rosszul értelmez egy kérést vagy egy utasítás visszaolvasását, aminek a későbbi korrekciója szintén munkaterhelés növekedést jelent.

Tovább nehezítheti a légiforgalmi irányítók feladatát, ha a zivatar által érintett légtér tartomány szektorhatár közelében helyezkedik el, mivel ebben az esetben egyszerre több szektor forgalmát is befolyásolhatja. Ilyen szituációban az érintett szektorok irányítóinak az általuk kezelt repülőgépek biztonságos zivatarkerülésének felügyelete mellett koordinálniuk kell a szomszédos szektor irányítójával is, hogy a kerülési terveiket összehangolhassák. A koordinációs tevékenység minden esetben hozzájárul az irányító munkaterheléséhez, mivel pedig a frekvencia magas terhelése miatt zivatar idején nehezebb végrehajtani, ezért ilyenkor az átlagosnál is nagyobb problémát okoz munkaterhelési szempontból.

3. A ZIVATARTEVÉKENYSÉG FIGYELEMBE VÉTELE A SEKTOR-KONFIGURÁCIÓ BECSLÉSE SORÁN

Az előző fejezet alapján érthető, hogy az optimális szektorkonfiguráció meghatározása során miért jut kiemelt szerep a zivatarnak, mint munkaterhelést növelő tényezőnek. Ugyanakkor – sok más tényezővel ellentétben – a zivartevékenység esetében problémát jelent, hogy milyen módon lehet figyelembe venni a hatását a szektorkonfiguráció automatizált számítása során. A probléma egyik lehetséges megoldása (amelyre vonatkozóan [6]-ban olvashatók további részletek) az, hogy nem közvetlenül a zivatarra vonatkozó adatok számszerű értékeit vesszük figyelembe a számítások során, hanem a forgalmi helyzetet leíró egyéb tényezők értékeit (például konfliktusok száma, forgalom összetartó jellegének mértéke) módosítjuk a zivatarnak a légi járművek útvonalaira gyakorolt várható hatása alapján.

Egy másik módszer a probléma megoldására az, hogy olyan számértékeket rendelünk a légtérben (vagy annak egy adott szektorában) jelen lévő zivatargócokhoz, amelyek a rendelkezésre álló időjárási adathalmazból közvetlenül vagy egyszerű számítások elvégzését követően előálíthatók. Az ilyen számértékek közé a következőket sorolhatjuk:

- 0 vagy 1 aszerint, hogy megfigyelhető-e zivartevékenység a szektorban vagy nem;
- a zivatargócok száma;
- a zivatargócok átlagos intenzitása;
- a legnagyobb intenzitású zivatargóc intenzitása;
- a zivatargócok által lefedett földrajzi terület nagysága;
- a zivatargócok által lefedett földrajzi területek köré írható körök (vagy más síkidomok) összesített területe;
- a zivatargócok által érintett szabványos magassági szintek száma;
- a zivatargócok által érintett légtértartomány nagysága (a lefedett földrajzi terület és az érintett magassági szintek szorzata);
- a lefedett földrajzi terület nagyságának aránya a szektor alapterületéhez viszonyítva;
- az érintett magassági szintek aránya az összes magassági szinthez viszonyítva;
- a zivatargócok legkisebb távolsága a szektorhatártól;
- a zivatargócok átlagos távolsága a szektorhatártól;
- a zivatargócok legkisebb távolsága egymástól;
- a zivatargócok átlagos távolsága egymástól.

A számértékek bármelyike kiszámítható az időjárásra vonatkozó adatokból, az azonban nem egyértelmű, hogy melyik számérték milyen összefüggést mutat az irányítói munkaterhelés növekedésével. Elképzelhető például, hogy az irányítók többsége számára nagyobb munkaterhelést jelent az, ha sok kisméretű, elszórtan elhelyezkedő zivatargóc van jelen a szektorban, mint az, ha egy nagy zivatargóc figyelhető meg, de elképzelhető ennek az ellenkezője is.

Annak meghatározása, hogy melyik zivataraokra vonatkozó mérőszám milyen hatással van a munkaterhelésre, hasonló probléma, mint megállapítani azt, hogy a különböző légiforgalmi szituációk összes (nem csak időjáráshoz kapcsolódó) komplexitási tényezője hogyan befolyásolja az optimális szektorkonfigurációt (azaz a munkaterhelést). A két probléma hasonlósága miatt a

megoldáshoz is célszerű hasonló módszert alkalmazni. A komplexitás és az optimális szektor-konfiguráció közötti összefüggés feltárásának egyik lehetséges módszere [7]-ben látható, a módszer alkalmazása a magyarországi légtérre pedig [3]-ban. A módszer alapja a neurális háló, amelynek bemenetén komplexitási tényezők aktuális értékei, kimenetén pedig szektorkonfigurációk jelennek meg. A háló tanítása során olyan forgalmi szituációkat használnak, amelyekhez ismertnek tekinthető az optimális szektorkonfiguráció (pl. ATC területén dolgozó szakemberek szubjektív véleménye alapján), a tanított hálót pedig az optimális konfiguráció becslésére lehet használni tetszőleges komplexitású szituációk esetében (feltéve, hogy azok nem térnek el jelentősen a tanításhoz használt szituációktól).

A feladat a zivatartevékenységet leíró tényezők és a munkaterhelés növelő hatás összefüggésének meghatározása esetében is hasonló, azzal a különbséggel, hogy itt nincs szükség arra, hogy a tényezők tetszőleges értékei mellett becslést adjunk a munkaterhelés várható növekedésére, hanem elég csak azt megállapítani, hogy melyik tényezők befolyásolják legnagyobb mértékben a munkaterhelést. Ehhez ebben az esetben is érdemes lehet neurális hálót használni vagy más olyan algoritmust, amellyel ismert összetartozó bemeneti és kimeneti értékhalmozok alapján megállapítható a bemeneti tényezők „fontossága” – például a hozzájuk rendelhető súlyszámok alapján.

Neurális háló alkalmazása esetén a háló bemeneti rétegét annyi neuron alkotja, ahány zivatart leíró tényezőt azonosítottunk a korábbi felsorolásban. A kimeneti rétegben egy neuron található, amely a zivatartevékenység munkaterhelés növelő hatását szimbolizálja. A kimeneti neuronhoz tartozó lehetséges értékek:

- 1 – Alacsony munkaterhelés-növekedés;
- 2 – Közepes munkaterhelés-növekedés;
- 3 – Magas munkaterhelés-növekedés.

A neurális háló tanításához itt is szükség van összetartozó bemeneti- és kimeneti értékhalmozokra. Ezek előállításához olyan légiforgalmi szituációk kellene, amelyekre vonatkozóan ismerjük a légtérben jelen lévő zivatargócok elhelyezkedését és intenzitását, valamint a zivatargócok jelenléte által előidézett munkaterhelés-többletet. Utóbbival kapcsolatban úgy szerezhettünk információt, hogy aktív és tapasztalt légiforgalmi irányítókat és supervisorokat kérdezzük arról, hogy szerintük az adott forgalmi szituációban az adott időjárási körülmények milyen mértékben növelik a munkaterhelést. A megkérdezettek az általuk feltételezett munkaterhelés növekedés alapján hozzárendelik a korábban ismertetett 1-es, 2-es vagy 3-as értéket a forgalmi szituációkhoz (amelyeket célszerű zivatargócokat is tartalmazó radarkép formájában grafikusán megjeleníteni számukra). Az így előállt értékek segítségével lehetőségessé válik a neurális háló tanítása, a tanítást követően pedig a háló által kiszámított súlyozó tényezők értékei alapján megállapítható, hogy a zivatartevékenységet leíró tényezők közül melyek a legfontosabbak, ezeket pedig figyelembe lehet venni a légiforgalmi helyzetek komplexitását leíró tényezőként.

A felvázolt módszer gyakorlatban történő alkalmazásához a következő lépések végrehajtására van szükség:

1. zivatargócokat is tartalmazó légiforgalmi szituációk tervezése;
2. az 1. pontban előállított szituációk grafikus megjelenítése;
3. munkaterhelés növekedésre vonatkozó értékek beszerzése atc szakemberek véleménye alapján;

4. neurális háló tanítása és súlyszámok megállapítása;
5. legfontosabb tényezők kiválasztása.

Az egyes lépések – különösen az első kettő – tényleges megvalósítása további problémák megoldását igényli, amelyekről részletesen a következő fejezetben lesz szó.

4. ZIVATARGÓCOKAT TARTALMAZÓ LÉGIFORGALMI SZITUÁCIÓK ELŐÁLLÍTÁSA

Ahhoz, hogy vizsgálni tudjuk a zivatartevékenység hatását a munkaterhelésre, szükség van olyan, mesterségesen előállított légiforgalmi szituációkra, amelyekben megfigyelhetőek különböző jellemzőkkel rendelkező zivatargócok. A szituációk előállítása során a két legfontosabb szempont az, hogy a szituációknak jól kell reprezentálniuk a zivatar különböző jellemzőinek lehetséges értékeit valamint az, hogy a megtervezett szituációkat úgy kell grafikusán megjeleníteni, hogy a megkérdezett szakemberek számára könnyen értelmezhetőek legyenek.

4.1. Forgalmi- és időjárási szituációk tervezése

A forgalmi szituációk tervezése során azt kell figyelembe venni, hogy milyen tényezők határozzák meg a munkaterhelés növelő hatást. Az, hogy egy adott légiforgalmi szituáció esetében, egy adott légiforgalmi irányító véleménye alapján mekkora a zivatar által előidézett munkaterhelés növekedés, elsősorban a következő három tényezőtől függ:

- az alapszituáció jellegzetességei;
- az időjárási szituáció (zivatargócok) jellegzetességei;
- a megkérdezett személye;

4.1.1. Alapszituációk tervezése

Alapszituációk alatt azokat a légiforgalmi szituációkat értjük, amelyeket fel tervezünk használni az időjárás munkaterhelés-befolyásoló hatásának számszerűsítéséhez, és amelyekben még nem szerepelnek zivatargócok. Az alapszituációk használatára két okból van szükség. Az egyik ok a légiforgalom, illetve a légiforgalmi irányítási rendszer komplex jellege, ami miatt nem tekinthetnénk megbízhatónak a módszer használatával nyert eredményeket, ha azokat az időjárási jelenségeknek más munkaterhelést befolyásoló tényezőktől független vizsgálatával állítanánk elő. A másik ok az, hogy a módszer használata során az időjárás pontos hatását a munkaterhelésre légiforgalmi irányítók szubjektív véleménye alapján tervezzük meghatározni. Ahhoz, hogy ezek a vélemények a lehető legmegbízhatóbbak legyenek, fontos, hogy az irányítóknak megmutatott szituációk közel álljanak a valóságban – a megkérdezettek mindennapi munkája során is – megfigyelhető és kezelendő szituációkhoz. Mivel pedig a gyakorlatban az irányítók az időjárás hatásait mindig az aktuális légiforgalmi helyzet (alapszituáció) kontextusában tapasztalják meg, ezért a felmérés során is akkor tudunk a valósághoz közeli állapotot létrehozni, ha az időjárási helyzet (zivatargócok elhelyezkedése és intenzitása) mellett a légijárművek és a légtér aktuális jellemzőit is szemléltetjük.

A megfelelő alapszituációk előállítása azért fontos a felmérés eredménye szempontjából, mert ugyanazok az időjárási körülmények más módon hathatnak munkaterhelés szempontjából az irányítókra attól függően, hogy milyen a forgalmi helyzet az időjárástól eltekintve. Ha kevés a

légijármű és alacsony a forgalmi helyzet komplexitása, miközben a légtérben több kisebb zivatargóc van jelen elszórta, akkor előfordulhat, hogy egy légijármű útvonala sem keresztez egy zivatargócot sem, így az irányítókra jutó többletterhelés elhanyagolható lesz. Egy nagy forgalmú szituációban ugyanakkor az várható, hogy sok lesz a zivatar miatt kerülésre kényszerülő jármű és ezáltal a munkaterhelés is nagyobb mértékben növekszik. Emiatt fontos, hogy a felmérés során felhasznált alapszituációk között egyaránt legyenek alacsony, közepes és magas komplexitású szituációk.

Azt, hogy egy-egy alapszituáció komplexitását melyikbe soroljuk a felsorolt három tartomány közül, a szituációk komplexitásának munkaterhelés növelő hatására vonatkozó (időjárési tényezőket még nem tartalmazó) kutatás eredményei alapján határozzuk meg [3]. Az, hogy egy szituáció melyik tartományba esik, attól függ, hogy az említett kutatás során használt módszer alkalmazása alapján hány szektornak kell nyitva lenni a szituációhoz tartozó optimálisnak tekintett szektorkonfigurációban. Ennek alapján a tartományok jelentése a következő:

- alacsony komplexitás – 1–2 nyitott szektor;
- közepes komplexitás – 3–5 nyitott szektor;
- magas komplexitás – 6 vagy több nyitott szektor.

A felmérés során közel azonos számú szituációt használunk fel mindhárom tartományból, függetlenül az egyes szituációkhoz rendelt zivatargócok jellemzőitől.

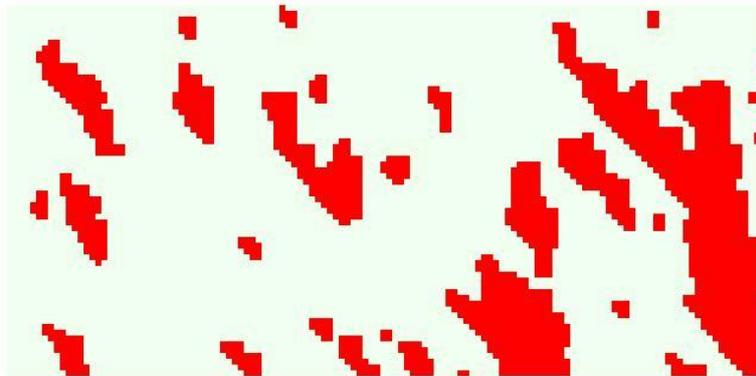
4.1.2. Időjárési szituációk tervezése

A felmérés eredményeinek megbízhatósága értelemszerűen függ attól is, hogy hogyan választjuk meg (illetve tervezzük meg) a zivatargócokat, amelyeket a légiforgalmi irányítóknak megmutatunk. Ahhoz, hogy a zivatargócok korábban felsorolt különféle lehetséges jellemzőinek (amelyekre a továbbiakban időjárési tényezőkként hivatkozunk) egymástól független hatását a lehető legnagyobb megbízhatósággal tudjuk vizsgálni, arra van szükség, hogy a tervezett időjárési szituációk bármelyikéhez hozzá lehessen rendelni legalább egy olyan másik szituációt, amelyiktől az adott szituáció pontosan egy paraméterben tér el számottevően. Emellett az is fontos, hogy lehetőleg ne legyenek olyan időjárési szituációk, amelyekre a megfelelő időjárési tényező értékek (közelítőleg) megegyeznek.

Annak érdekében, hogy teljesüljön a korábban megfogalmazott feltétel a szituációk egymástól való eltéréseivel kapcsolatban, célszerű először tervezni néhány kiindulási szituációt, majd a továbbiakat ezekből származtatni úgy, hogy minden származtatott szituáció pontosan egy paraméter értékében térjen el attól a szituációtól, amelyikből származtattuk. Mind a kiindulási, mind pedig a származtatott időjárési szituációk tervezése történhet determinisztikus módszerrel és véletlen szituációk generálásával vagy a kétféle módszer vegyes használatával.

A kiindulási szituációk véletlenszerű létrehozásának egyik módja az, ha (meghatározott határokon belül) véletlenszerű értékeket generálunk minden egyes időjárési tényezőhöz, majd valamilyen algoritmussal (illetve ezt felhasználó szoftverrel) olyan időjárési szituációt hozunk létre, amelyben a zivatargócok számszerű jellemzői a lehető legjobban közelítik a véletlenszerűen előállított értékeket. Egy másik lehetséges módszer a légtér modelljének felosztása kis kiterjedésű elemi cellákra, amelyek mindegyikéhez hozzárendelhető egy bináris érték aszerint,

hogyan az adott cella része-e zivatargóknak vagy nem. Ebben az esetben a bináris értékek rendelkeznek véletlenszerűen egy-egy cellához bizonyos, a generálás előtt meghatározott szabályok (például: egy zivatargóhoz tartozó cella szomszédos celláiban legyen nagyobb a zivatargóhoz tartozás valószínűsége, mint a zivatargóhoz nem tartozó cellák szomszédosságában) alapján. Az utóbbi módszerrel előállítható időjárési szituációra a 2. ábrán látható példa.



2. ábra Példa automatikusan generált véletlenszerű időjárési szituációra (a zivatargócokat piros tartományok jelölik)

A 2. ábrán látható időjárési szituáció olyan szituációgeneráló szoftver segítségével jött létre, amely a légtér elemi cellákra való felosztását követően két paraméter alapján képes zivatargócokat szimbolizáló alakzatokat létrehozni. A szoftver működésének alapja a következő algoritmus:

1. véletlenszerű cella kiválasztása a cellák teljes halmazának zivatargóhoz való tartozást jelző értékkel (a továbbiakban színnel) még nem rendelkező részhalmazából;
2. szín rendelése a cellához a zivatargóhoz való tartozás kiindulási valószínűsége (1. paraméter) alapján;
3. ha a 2. lépésben a cellához rendelt szín nem a zivatargóhoz való tartozást szimbolizáló szín, akkor a színnel rendelkező szomszédos cellák színének vizsgálata;
4. ha a szomszédos cellák között van, amelyik zivatargóhoz tartozik, akkor a cella színének módosítása egy kiegészítő valószínűségi érték alapján (2. paraméter);
5. 1–4. lépések ismétlése, amíg nem rendelkezik minden cella színnel;
6. eltérő színű cellák által teljesen körülvett cellák színének megváltoztatása a szomszédos cellák színére.

Az algoritmus akkor is használható, ha előre meghatározott paraméterértékekkel rendelkező időjárési szituációt kell előállítani. Ilyen esetben nagy mennyiségű szituációt kell generáltatni, majd a kívánt értéket jobban közelítő szituációk kiválasztásával és módosításával (például genetikus algoritmust alkalmazva), valamint a szoftver bemenő paramétereinek változtatásával lehet előállítani a paraméterek célértékeivel bizonyos határokon belül megegyező értékekkel rendelkező szituációig.

Determinisztikus szituációgenerálás esetén a zivatargócok paramétereinek értékét tudatos döntések eredményeként állítjuk elő, amelyek alapjául különböző információk szolgálhatnak. Ilyen információ lehet az, hogy milyen jellegzetes időjárési szituációkkal szoktak a gyakorlatban szembesülni a légiforgalmi irányítók. Elképzelhető például, hogy a légtér bizonyos tartományában gyakrabban figyelhető meg zivatartevékenység, mint máshol, ezt pedig figyelembe kell

venni a szituációtervezés során. Ennek oka az, hogy az ilyen szituációkra várhatóan megbízhatóbbak lesznek a szubjektív véleményekre alapozott eredmények, ugyanakkor a módszer validálása során az ilyenektől eltérő (nem szokványos) szituációk esetében is meg kell vizsgálni az előállított munkaterhelés növelő értékeit.

A determinisztikus úton létrehozott szituációk tervezése során figyelembe vehetjük az előzőleg, véletlenszerűen generált szituációk jellemzőit is. Ha vannak bizonyos időjárási jellegzetességek, amelyeket mindenképpen szerepeltetni tervezünk a felmérésben, és amelyek nem figyelhetőek meg a véletlenszerűen létrehozott szituációkban, akkor ezeket a jellegzetességeket a determinisztikus szituációkban kell szerepeltetni. Előfordulhat például, hogy a véletlenszerű szituációkban jellemzően elszórtan elhelyezkedő vagy konvex geometriai alakzatokkal leírható zivatargócok jelennek meg. A determinisztikus szituációk tervezése során előbbi esetben központi gócba rendeződő zivatartevékenységet, utóbbiban pedig konkáv alaprajzú zivatargócokat kell modellezni.

A kiindulási szituációkból származtatott szituációk létrehozásakor érdemes ötvözni a véletlenszerű és a determinisztikus módszert. Azt, hogy az adott kiindulási szituációnak melyik paraméterértékét kell megváltoztatni, el lehet dönteni véletlenszerű kiválasztással. Ezt követően az érték tényleges megváltoztatását és az így előállt új követelményeknek megfelelő szituáció tervezését azonban már érdemes tudatosan végrehajtani, mivel gyakran előfordul, hogy egy paraméter értékét csak úgy lehet nagymértékben módosítani, ha kisebb mértékben egy vagy több másik paraméter is módosul. Ha például megváltoztatjuk néhány zivatargóc esetében a földrajzi terület köré írható síkidom méretét, miközben arra törekszünk, hogy a zivatargócok egymástól mért távolsága ne változzon, akkor várhatóan változni fog a zivatargóc földrajzi területe.

4.1.3. Megkérdezettek halmazának kiválasztása

Ahogy többször utaltunk rá, az időjárás és a munkaterhelés kapcsolatát feltáró módszer alapját egyéni tapasztalaton és tudáson alapuló légiforgalmi irányítói vélemények alkotják, vagyis az előállított eredmények megbízhatósága függ a megkérdezettektől. Az egyéni véleményekkel együtt járó szubjektivitásból fakadó bizonytalanság csökkentése érdekében értelemszerűen arra kell törekedni, hogy a légiforgalmi irányítóknak a lehető legnagyobb halmazát vonjuk be a felmérésbe úgy, hogy közben arra is ügyelünk, hogy a megkérdezettek kellően tapasztaltak legyenek. Egy-egy zivatarral terhelt szituációra vonatkozóan az irányítói vélemények alapján kiszámított munkaterhelés növekedést leíró értéket csak akkor tekintjük megbízhatónak, ha az alábbi három irányító véleménye alapján állt elő.

A szubjektív vélemények megbízhatóságához kapcsolódóan azt is érdemes figyelembe venni, hogy a megkérdezettek véleményét befolyásolhatják más (például tapasztaltabb vagy véleményüket határozottabban hangoztató) légiforgalmi irányítók. Ennek kiküszöbölése érdekében a felmérést érdemes egyéni, személyes interjúk formájában elvégezni, még ha ez nagyobb időráfordítást is igényel, mint például egy kérdőív alkalmazása. A személyes beszélgetés további előnye, hogy általa nem csak a munkaterhelés növelő hatás értékéről szerezhetünk információt, hanem arról is, hogy milyen megfontolásból rendelte a megkérdezett az adott szituációhoz az adott értéket. Az ezáltal nyert adatok hasznosak lehetnek későbbi, hasonló témájú kutatás vagy az itt ismertetett módszer továbbfejlesztése (például az időjárási tényezők halmazának módosítása) során.

Az eddigieket összefoglalva az alábbi feladatokat kell végrehajtani a szituációtervezés fázisában:

1. létre kell hozni 5–10 időjárási szituációt, amelyek között egyaránt vannak véletlenszerűen generált és determinisztikusan létrehozott szituációk;
2. minden, az 1. lépésben létrehozott szituációhoz származtatással létre kell hozni az azonosított időjárási tényezők számának megfelelő számú további szituációt;
3. tervezni kell (vagy történeti adatok alapján ki kell választani) és minden egyes időjárási szituációhoz hozzá kell rendelni három-három alapszituációt, amelyek közül az egyik alacsony, a másik közepes, a harmadik pedig magas komplexitású;
4. ki kell választani a légiforgalmi irányítók és supervisorok azon csoportját, akik segítségével a felmérést elvégezzük úgy, hogy minden szituációra vonatkozóan beszerezhessük legalább három szakember véleményét és egyiküknek se kelljen 20–30 szituációnál többről véleményt mondania.

4.2. Szituációk megjelenítése

Ha rendelkezésre állnak az összetartozó alapszituációk és időjárási szituációk, akkor gondoskodni kell azok grafikus megjelenítéséről, mivel a megkérdezett szakemberek várhatóan ilyen módon tudják a legkönnyebben értelmezni azokat. A megjelenítéssel kapcsolatban az egyik legfontosabb szempont, hogy a megjelenített kép a lehető legjobban hasonlítson arra, amivel a légiforgalmi irányítók a munkájuk során is találkoznak.

A budapesti ANS³ központban dolgozó légiforgalmi irányítók külön monitoron látják a forgalmat leíró radaradatokat és az időjárásra vonatkozó adatokat. Ennek megfelelően a felmérés végrehajtása során is célszerű egy-egy külön képen bemutatni a megkérdezettnek az alapszituációt és az időjárási szituációt. Ezáltal azért válik egyszerűbbé a felmérés végrehajtása, mert nincs szükség olyan eszközre, amely egyaránt lehetővé teszi radaradatokat és időjárási adatok megjelenítését, ebből pedig az következik, hogy a radaradatokat megjeleníthetjük akár olyan eszközzel is, amelyet a megkérdezettek is ismernek (ilyen lehet például a HungaroControl által fejlesztett és használt LanRadar alkalmazás). Mindez azonban csak az alapszituációk megjelenítését könnyíti meg, az időjárási adatok megjelenítésére ettől függetlenül ki kell dolgozni valamilyen módszert.

Mivel a zivatargócsok tulajdonképpen háromdimenziós légtértartományokként értelmezhetőek, ezért a megjelenítésük során egyaránt foglalkozni kell a földrajzi alapterületük és a magassági kiterjedésük megjelenítésével. A földrajzi alapterület megjelenítése esetében a kézenfekvő módszer az, hogy a légtér vagy egy-egy földrajzi szektor határainak megjelenítését követően azokon belül (illetve egy meghatározott tartományban azokon kívül is) megjelenítjük a zivatargócsok alapterületének határait szimbolizáló síkidomokat. Ha a zivatarok geometriai tulajdonságai mellett azok intenzitását is megjelenítjük, akkor a szóban forgó síkidomok belsejében további kisebb alakzatokat is meg kell jeleníteni, amelyek egy-egy azonos intenzitású tartományt szimbolizálnak. Az ilyen tartományokat érdemes különböző színekkel ábrázolni, a színek megválasztásakor pedig – szem előtt tartva a már említett törekvést a gyakorlatban hasz-

³ Air Navigation Service, Légiforgalmi Szolgáltató

nálthoz hasonlító megjelenítésre – célszerű az OMSZ által szolgáltatott zivatartérképek színeire alkalmazkodni, azaz késsel és zölddel jelölni az alacsony intenzitású tartományokat, sárgával és pirossal pedig a magas intenzitásúakat.

Figyelembe véve, hogy az időjárási helyzetről a légiforgalmi irányítóknak a gyakorlatban is csak kétdimenziós kép áll rendelkezésre, a felmérés során sem fontos, hogy a magassági kiterjedések szemléltetése érdekében három dimenziót megjelenítő képeket használjunk. Ehelyett elég az ábrázolt földrajzi tartomány mellett megjelenített szám segítségével feltüntetni a zivatargóc által érintett légtértartomány felső határát.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

A légiforgalmi irányítók körében korábban végzett felmérés alapján a légtérben uralkodó időjárási körülmények – elsősorban a zivatartevékenység – jelentik az egyik legfontosabb befolyásoló tényezőt az irányítók munkaterhelésére nézve. Ennek megfelelően elengedhetetlen, hogy ezek hatását figyelembe vegyük, ha olyan döntéstámogató eszközt kívánunk fejleszteni, amely a légiforgalom és a légtér várható állapota alapján képes becslést adni a várható munkaterhelésre. A zivatartevékenységnek valamilyen automatizált eszköz bemeneti adataként történő figyelembe vételéhez azonban fontos, hogy a légtérben megfigyelhető zivatartevékenységet le tudjuk írni a munkaterheléssel összefüggést mutató számszerű paraméterekkel.

A zivatartevékenységet leíró különböző paraméterek fontosságát a munkaterhelés szempontjából célszerű aktív légiforgalmi irányítási szakemberek szubjektív véleményére alapozni, aminek megismeréséhez a megfelelő szempontok figyelembe vételével felmérést kell végrehajtani. A felmérés elvégzéséhez többek között ki kell választani az abba bevont légiforgalmi alapszituációkat, meg kell tervezni a különféle időjárási szituációkat generáló algoritmusokat és ezek segítségével létre kell hozni azokat. Ki kell választani továbbá a megkérdezett szakemberek halmazát úgy, hogy minimálisra csökkentsük a szubjektív véleményekből eredő megbízhatatlanságot. Mivel az algoritmusok egy része már rendelkezésre áll, a következő lépés ezek működésének elemzése, valamint az időjárási szituációk tényleges létrehozása. A szituációk rendelkezésre állását követően el kell végezni a tényleges felmérést, majd annak eredményei alapján neurális hálós logika használatával kiválasztani a zivatartevékenységet leíró tényezők közül a legfontosabbakat. Az így előállított tényezők segítségével ezután lehetségessé válik az irányító munkaterhelés automatizált becslése úgy, hogy abban az időjárási tényezők is szerepet játszanak.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A szerzők köszönetet mondanak a HungaroControl Magyar Légiforgalmi Szolgálat Zrt.-nek a szakmai munka támogatásáért.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] RODGERS, M.D., MOGFORD, R.H., MOGFORD, L.S.: The relationship of sector characteristics to operational errors. FAA Aviation Medicine Report, 98/14., 1998
- [2] SZÁMEL BENCE, DR. SZABÓ GÉZA: Optimális ATC szektorkonfiguráció komplexitás alapú becslését végző döntéstámogató eszköz fejlesztése. Repüléstudományi Közlemények, Szolnok, 2015/3, pp. 51–64., 2015

- [3] SZÁMEL BENCE, DR. SZABÓ GÉZA: Towards safer air traffic: Optimizing ATC controller workload by simulation with reduced set of parameters. Nowakowski et al. (szerk.), Safety and Reliability: Methodology and Applications: (ESREL2014.), CRC Press, 2014. pp. 979-987.
- [4] STEIERLEIN ÁKOS, KARDOS PÉTER: A leszállási előrejelzés verifikációja. Repüléstudományi Közlemények, Szolnok, 2015/2, pp. 70–89., 2015
- [5] AHLSTROM, U.: Work domain analysis for air traffic controller weather displays. Journal of Safety Research, 36, pp. 159-169., 2005
- [6] SZÁMEL BENCE, DR. SZABÓ GÉZA: Az időjárás körülmények figyelembe vétele a légiforgalmi szektor kapacitás irányítói munkaterhelés alapú számítása során, Innováció és fenntartható felszíni közlekedés, IFFK 2015, Budapest, pp. 27-33., 2015
- [7] GIANAZZA, D., GUITTET, K.: Evaluation of air traffic complexity metrics using neural networks and sector status, 2nd International Conference on Research in Air Transportation, 2006
- [8] Országos Meteorológiai Szolgálat, archív adatok (<http://www.met.hu/>)

SURVEYING THE EFFECT OF WEATHER PHENOMENA ON AIR TRAFFIC CONTROLLER WORKLOAD

When using mathematical methods for the determination of air traffic controller workload based on the different characteristics (complexity) of air traffic situations, it is important to consider the weather phenomena (especially thunderstorm) present in the airspace. Various numerical parameters can be used to describe the effect of thunderstorm on controller workload but it is unclear which of these has the highest impact. One possible method to find this out would be analysing the correspondence between the parameter values of different weather situations and the related increase in workload based on the opinions of experts. In this paper we present a method to prepare a survey among air traffic control experts aimed at unraveling the above mentioned correspondence, focusing primarily on the design and graphical visualization of weather situations.

Keywords: Air Traffic Control, Workload, Weather, Thunderstorm, Decision Support, Neural Network

SZÁMEL Bence Domonkos (MSc)
PhD hallgató
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar
Közlekedés- és Járműirányítási Tanszék

szamel.bence@mail.bme.hu
orcid.org/0000-0002-2844-184X

Dr. SZABÓ Géza, PhD
egyetemi docens
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar
Közlekedés- és Járműirányítási Tanszék

szabo.geza@mail.bme.hu
orcid.org/0000-0002-5956-0868

SZÁMEL Bence Domonkos (MSc)
PhD student
Budapest University of Technology and Economics
Faculty of Transportation Engineering and Vehicle
Engineering Department of Control for Transportation
and Vehicle Systems

szamel.bence@mail.bme.hu
orcid.org/0000-0002-2844-184X

Dr. SZABÓ Géza, PhD
Associate Professor
Budapest University of Technology and Economics
Faculty of Transportation Engineering and Vehicle
Engineering Department of Control for Transportation
and Vehicle Systems

szabo.geza@mail.bme.hu
orcid.org/0000-0002-5956-0868



http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2016_1/2016-1-12-0326_Szamel_Bence-Szabo_Geza.pdf

