

Számel Bence, Szabó Géza

OPTIMÁLIS ATC¹ SEKTORKONFIGURÁCIÓ KOMPLEXITÁS ALAPÚ BECSLÉSÉT VÉGZŐ DÖNTÉSTÁMOGATÓ ESZKÖZ FEJLESZTÉSE

A légiforgalmi irányítási rendszerek biztonságát (és hatékonyságát) nagymértékben befolyásolja az irányítók munkaterhelése. A munkaterhelés optimális szinten tartásához a légtér szektorainak számát és a szektorhatárokat (azaz a szektorkonfigurációt) dinamikusan változtatni kell az akutális forgalmi helyzet jellemzőinek megfelelően. A szektorkonfigurációval kapcsolatos döntéshozás rendkívül komplex feladat, ami indokoltá teszi az automatizált döntéstámogatást. Egy erre a célra fejlesztett eszköz létrehozása az automatizált döntési folyamat összetettsége miatt számos probléma megoldását igényli. Ebben a cikkben azt mutatjuk be, milyen követelményeknek kell egy, a szektorkonfiguráció automatizált meghatározását lehetővé tevő eszköznek megfelelnie, milyen fontosabb feladatokat kell az eszköz tervezése során megoldani és milyen további funkciók megvalósítására lehet alkalmas az eszköz a szektorkonfiguráció számítása mellett.

Kulcsszavak: légiforgalmi irányítás, szektorizáció, komplexitás, döntéstámogatás

1. BEVEZETÉS

A légiforgalmi irányítási (ATC) rendszerek biztonságának egyik legfontosabb jellemzője a légiforgalmi irányítók hibáinak gyakorisága és súlyossága, mivel ezen hibák vezethetnek légiforgalmi események (például a légi járművek közti előírt elkülönítés sérülése) kialakulásához vagy szélsőséges esetben balesetekhez. Az irányítói hibák gyakorisága szoros összefüggést mutat az irányítók mentális- és fizikai terhelésével [2], ami azt jelenti, hogy a terhelés optimalizálása egyike a lehetséges módszereknek az irányítói hibák kockázatának minimalizálására. A biztonságkritikus rendszerek operátorainak terhelése általában több tényezőtől tevődik össze, amelyek között megtalálható a feladat-, információ-, munka- és mentális terhelés [3]. A továbbiakban az egyszerűbb fogalmazás kedvéért ezek együttes hatására munkaterhelésként hivatkozunk.

Az ATC területén a munkaterhelés optimalizálása a gyakorlatban a légtér szektorokra bontásával valósítható meg, feltéve, hogy az adott forgalmi szituáció fennállása esetén a szektorizációval kapcsolatos döntés meghozása során tudjuk, hogy milyen szektorszám és szektorhatárok (a továbbiakban szektorkonfiguráció) mellett lesz az egyes szektorok irányítóinak munkaterhelése az optimum közelében. Az említett döntést a légiforgalmi irányítók munkáját koordináló supervisor feladata meghozni, aki az optimálisnak tekintett szektorkonfigurációt részben előírások (például az egy irányító által kezelhető maximális légi járműszám), részben pedig saját tapasztalata és problémamegoldó képessége alapján határozza meg, figyelembe véve a várható forgalmi helyzet és a légtér különféle jellemzőit, valamint olyan további tényezőket, mint az időjárás vagy a műszaki rendszerek állapota.

Kutatásunk célja olyan döntéstámogató eszköz kifejlesztése, amely segíti a supervisorokat a fenti döntés meghozásában azáltal, hogy javaslatot tesz arra vonatkozóan, hogy a közeljövőben

¹ Air Traffic Control, Légiforgalmi irányítás

várhatóan kialakuló légiforgalmi szituációkhoz milyen szektorkonfiguráció lenne ideális. Ideális szektorkonfiguráció alatt azt a konfigurációt kell érteni, amelynek használata esetén az irányítók munkaterhelésének szintje a legközelebb esik az optimális szinthez. Más szavakkal kifejezve, az eszköz arra tenne javaslatot, hogy a várhatóan kialakuló forgalmi szituációkat hány irányítópár kezelje és az egyes irányítók mely szektorokért feleljenek.

Egy ilyen eszköz használata azért lenne előnyös, mert lehetővé tenné az olyan időszakok elkerülését a légiforgalmi irányításban, amikor egy (vagy több) irányító túlzottan magas vagy túlzottan alacsony munkaterhelésnek van kitéve. Ahogyan már utaltunk rá, a túlzottan magas és a túlzottan alacsony munkaterhelést azért kell elkerülni, mert mindkettő növeli az irányítói hibák gyakoriságát és súlyosságát, ezáltal veszélyeztetve a légi közlekedés biztonságát. Az alacsony munkaterheléssel járó időszakok emellett azért sem előnyösek, mert rontják a légiforgalmi irányítás hatékonyságát, mivel az ilyen helyzetekben általában kevesebb irányítóval is megoldható lenne a forgalom kezelése.

Az eszköz annyiban nyújtana többet a HungaroControl Zrt.-nél (és általában az ATC központoknál) jelenleg is használt hasonló célú eszközöknél, hogy amíg azok csak a légi járművek várható száma alapján jelzik előre, hogy mikor kell új szektort nyitni, illetve mikor lehet két szektort összevonni, addig a tervezett eszköz a forgalom számos különböző, a munkaterhelés szempontjából releváns jellemzőjét (komplexitását) is figyelembe veszi, hasonlóan a supervisorokhoz.

Azt, hogy egy, a felvázolt célt megvalósító döntéstámogató eszköz milyen követelményeknek kell, hogy megfeleljen, a 2. fejezetben foglaljuk össze. Mivel ezen követelmények megvalósítása többféleképpen történhet (például azért, mert a komplexitási tényezőknek többféle halmaza is figyelembe vehető, a komplexitás és a munkaterhelés kapcsolata pedig többféle módon is felírható), ezért a 3. fejezetben bemutatjuk, milyen döntéseket kell meghozni és milyen előzetes vizsgálatokat érdemes elvégezni az eszköz tényleges implementációja előtt. A 4. fejezetben azzal foglalkozunk, hogy az optimális szektorkonfiguráció becslésén felül milyen további funkciók ellátására lehet alkalmas a döntéstámogató eszköz. Az 5. fejezetben összefoglaljuk az eszköz fejlesztésével kapcsolatos eddigi eredményeket és felvázoljuk a fejlesztés közeljövőben várható további lépéseit.

2. A DÖNTÉSTÁMOGATÓ ESZKÖZZEL KAPCSOLATOS KÖVETELMÉNYEK

A szóban forgó döntéstámogató eszköz elsődleges funkciója tehát az optimális szektorkonfiguráció becslése, aminek megvalósítása érdekében röviden összefoglalva a következő feladatokat kell végrehajtania:

1. a várható légiforgalmi helyzet előrebecslése megadott időtávra vonatkozóan;
2. az előrebecsült forgalmi helyzet komplexitásának számítása;
3. a számított komplexitás alapján az optimális szektorkonfiguráció meghatározása a megfelelő algoritmus használatával;
4. a meghatározott optimális szektorkonfigurációra vonatkozó információ megjelenítése.

A szektorkonfiguráció változtatása (pontosabban az azzal kapcsolatos döntéshozás) napjaink ATC rendszereiben nem valós időben történik, hanem mindig a közeljövőben várható légiforgalmi helyzet alapján. Ennek megfelelően a döntéstámogató eszköznek is a jövőben várható forgalmi szituá-

ciókra vonatkozóan kell számításokat végeznie, aminek megvalósításához saját forgalom előrebecslő funkcióval kell rendelkeznie. A forgalom előrebecslésére vonatkozó követelmények meghatározásához fontos tisztázni, hogy milyen időtávra vonatkozóan kell a becslést elvégezni.

A becslés időtávatával kapcsolatban azt mondhatjuk el, hogy minél hosszabb távra próbálunk becslést készíteni, annak a pontossága annál kisebb lesz (azaz annál nagyobb mértékben fognak eltérni a ténylegesen megvalósuló forgalmi helyzet jellemzői a becsült forgalmi helyzet jellemzőitől). Mivel a légiforgalmi irányítás területén dolgozó szakemberekkel folytatott konzultáció alapján az említett eltérés már 1–2 órás becslés esetén is elfogadhatatlanul nagy lenne, ezért ennél mindenképpen rövidebb időtávban érdemes gondolkodni.

A rövidebb időtáv kiválasztásakor ugyanazokat a tényezőket kell figyelembe venni, amelyeket a supervisornak is, amikor a szektorkonfiguráció megváltoztatásával kapcsolatos döntését meghozza. A döntés meghozását követően értesíteni kell a változás által érintett irányítókat, ami igénybe vehet néhány percnyi időt, különösen új szektor nyitása előtt, ha az új szektort később kezelő irányító nem tartózkodik a munkateremben. Emellett azt is figyelembe kell venni, hogy minden konfiguráció-változásnál van legalább egy olyan irányító, akinek az új konfigurációban a forgalomnak olyan részét kell irányítania, amely addig nem az ő felelőssége alá tartozott. Emiatt fontos, hogy a szektor irányításának tényleges átvétele előtt az irányító megismerkedjen az átvenni készült forgalommal, ami szintén időt vesz igénybe. Az előrebecslés időtávját tehát nem érdemes rövidebbre választani az értesítés és a felkészülés együttes időszükségleténél, ami körülbelül 15–20 perc. Azzal, hogy erre az időtávra vonatkozóan milyen adatok alapján és milyen módon lehetséges a forgalom előrebecslése, a 3. fejezetben foglalkozunk.

Ha rendelkezésre áll az előrebecsült forgalmi helyzet – azaz a légi járművek várható pozíciója, magassága, haladási iránya és sebessége (és ezek változása), valamint a légtér egyes részeire vonatkozó esetleges korlátozások – akkor lehetséges a forgalom különböző munkaterhelés növelő tényezőinek (komplexitási tényezőinek) kiszámítása, amit szintén automatizáltan kell, hogy elvégezzen az eszköz. Ilyen tényezők lehetnek többek között az emelkedő vagy süllyedő légi járművek száma, a forgalom összetartó vagy széttartó jellege, a konfliktusban lévő légi járműpárok száma, a szektorok kiterjedése vagy a zivatargócok száma. A komplexitási tényezőkre további példák láthatóak [1]-ben.

Azt, hogy a forgalomnak pontosan mely jellemzői és milyen mértékben járulnak hozzá a komplexitáshoz és ezáltal a munkaterheléshez, nehéz egyértelműen meghatározni. Az eszköz megbízható működéséhez ugyanakkor nem is fontos, hogy meghatározzuk a komplexitási tényezőknek valamilyen univerzális halmazát. Ehelyett elég egy olyan (kezdeti) tényezőhalmazt létrehozni, amelyről valamilyen előzetes becslés alapján úgy gondoljuk, hogy a segítségével jól kifejezhető az, hogy a különböző forgalmi szituációk mekkora munkaterhelést idéznek elő. Arról, hogy egy ilyen tényezőhalmazt milyen módszerrel lehetséges előállítani, szintén a 3. fejezetben lesz szó. Az eszköznek a működése során ezen tényezőhalmaz elemeinek értékeit kell tehát kiszámítania az adott időpillanathoz képest 15–20 perccel később várható légiforgalmi helyzetre vonatkozóan, lehetőleg valós időben. Fontos, hogy az eszköznek az említett kezdeti tényezőhalmaz használata mellett előállított eredményeinek megbízhatóságát vizsgálni kell az eszköz validálása során és ennek tükrében szükség esetén módosítani kell a tényezők halmazát.

Ha az eszköz megalkotta az előrebecsült forgalmi szituációt és kiszámította ahhoz a komplexitási tényezők értékeit, akkor a következő feladata a szektorkonfiguráció számítása a komplexitási értékek alapján. A komplexitási tényezők értékei és a szektorkonfiguráció közötti összefüggés matematikai leírására talán még annyira sem kínálkozik egyértelmű megoldás, mint a komplexitási tényezők halmazának meghatározására. Ennek részben az az oka, hogy az emberi munkaterhelés leírása önmagában is nehéz feladat, részben pedig az, hogy a szóban forgó összefüggés ATC központként eltérő lehet. Mindezek ellenére van lehetőség arra, hogy megbecsüljük azt, hogy a különböző komplexitási tényezők milyen mértékben hatnak a munkaterhelésre, ha adatokat gyűjtünk olyan forgalmi szituációkról, amelyek esetében megbízható információink vannak mind a komplexitás, mind a munkaterhelés értékére vonatkozóan. Ezen információk birtokában – különösen nagyszámú forgalmi szituáció mellett – következtethetünk a komplexitás és a munkaterhelés között fennálló összefüggés jellegére, valamint az egyes komplexitási tényezőkhez rendelhető súlyozó tényezők értékére. Ezek alapján pedig lehetségessé válik a munkaterhelés (és az ezzel szorosan összefüggő szektorkonfiguráció) becslése ismert komplexitású szituációkra.

Az eszköz implementációját megelőzően tehát meg kell alkotni és alkalmazni kell azt az algoritmust, amellyel a fenti összefüggés megállapítható. Ennek végrehajtására az egyik lehetséges módszert a 3. fejezetben ismertetjük. Ha az összefüggés és a komplexitási tényezőkhez tartozó súlyszámok rendelkezésre állnak, akkor meg kell oldani, hogy az eszköz ezek segítségével képes legyen automatizált módon számítani az optimális szektorkonfigurációt a komplexitás alapján. Ennek megvalósításával kapcsolatban ugyanazt mondhatjuk el, amit a figyelembe vett komplexitási tényezők halmazának megalkotása kapcsán: a szektorkonfiguráció számításához alkalmazott logikát szintén módosítani kell szükség esetén, a validálás során megfigyelhető megbízhatóság függvényében.

A szektorkonfiguráció számításának követelményeivel kapcsolatban érdemes azt is megemlíteni, hogy elméletben lehetőség van arra, hogy az eszköz – a megfelelő intelligenciával ellátva – képes legyen ellenőrizni saját eredményeinek megbízhatóságát, például az alapján, hogy a supervisor az eseteknek mekkora hányadában fogadja el az eszköz által javasolt konfigurációt és mekkora hányadában bírálja felül azt. Egy ilyen önvalidáló mechanizmus (ha megadjuk számára az optimálisnak tekintett szektorkonfigurációkat a felülbírált javaslatokhoz) lehetőséget biztosítana arra, hogy az eszköz automatikusan módosítsa a komplexitási tényezőkhez rendelt súlyszámokat vagy akár a figyelembe vett tényezők halmazát, ezáltal külső beavatkozás nélkül javítva saját eredményeinek megbízhatóságát.

Amellett, hogy az eszköz megbízható eredményeket szolgáltatson az optimális szektorkonfigurációra vonatkozóan, az is fontos követelmény, hogy ezen eredményeket a supervisor számára kellően informatív módon jelenítse meg. Ehhez az szükséges, hogy az eszköz kijelző egységén a konfigurációt alkotó szektorok általánosan használt azonosítói jelenjenek meg (pl. EL, EMUH, ET, WLM, WUHT) vagy a légtérnek valamilyen grafikus reprezentációja, amiben megjelennek az alkalmazandó szektorhatárok. Az eszköznek a szektorkonfiguráció előállításáért felelős modulja ugyanakkor a tervek szerint nem szolgáltat ehhez hasonló információt, hanem – ahogyan a 3. fejezetben látni fogjuk – például azt adhatja meg, hogy egy-egy lehetséges szektort az adott szituációban osztani kell, össze kell vonni vagy önállóan kell használni. Emiatt szükség van az eszközön belül egy olyan egységre is, amely ezen nehezen értelmezhető adatokat átalakítja a felvázolt informatív formátumok valamelyikére.

3. AZ ESZKÖZ TERVEZÉSE

3.1. Forgalom előrebecslése

Ahogy az előző fejezetből kiderült, a döntéstámogató eszköznek a forgalmat 15-20 perces időtávra kell automatikusan előrebecsülnie. Ahhoz, hogy ez a funkció megvalósulhasson, először meg kell határoznunk, hogy milyen adatok használhatóak fel a forgalom becsléséhez és ezek alapján hogyan végezhető el a tényleges forgalombecslés. Mivel a döntéstámogató eszköz feladata a supervisorok intelligenciájának kiegészítése, ezért fontos, hogy az eszköz intelligenciája a supervisorok gondolkodásmódját tükrözze. A fenti két kérdésre tehát ennek a célnak a szem előtt tartásával érdemes keresni a választ.

A forgalom előrebecslését az itt felsorolt adatok alapján lehetséges elvégezni, tekintve, hogy a supervisorok is ezekre az adatokra támaszkodnak, amikor megbecsülik a közeljövőben várható forgalmi szituáció jellemzőit:

- radaradatok az aktuális légiforgalmi helyzetről;
- repülési terv adatok a járatok várható útvonaláról;
- időjárési adatok;
- légtérgazdálkodási adatok.

A légi jármű-adatok (vagyis a radaradatok és a repülési terv adatok) egyebek mellett a légi járművek földrajzi pozíciójáról, sebességéről, haladási irányáról és repülési magasságáról szolgáltatnak valós idejűnek tekinthető információt. A radaradatok az aktuális forgalmi szituációról megbízható adatokat biztosítanak, de a forgalmi helyzet becslésére csak nagyon rövid (maximum 1–2 perces) időtáv esetén alkalmasak, mivel nem hordoznak információt a légi járművek felsorolt tulajdonságainak várható megváltozásáról. A jövőben várható irány-, sebesség- és magasság változásokról a repülési terv adatok szolgáltatnak információt, így azokat az előrebecslés során együtt érdemes használni a radaradatokkal.

Annak eldöntéséhez, hogy mindezt hogyan végezze az eszköz, ismét meg kell vizsgálnunk, hogy hogyan becslük előre a forgalmat a supervisorok a radar- és repülési terv adatok alapján. Ahogy említettük, a repülési terv adatok alkalmasabbak a forgalom jövőben várható állapotának előrejelzésére, ugyanakkor rendelkeznek azzal a hátránnyal, hogy csak a légtérben tartózkodó vagy oda rövid időn belül belépő repülőgépek esetében állnak rendelkezésre. Ennek oka az, hogy a repülési terv adatokat csak akkor lehet egy, a radar által észlelt járathoz hozzárendelni, ha azt sikerült azonosítani az előrebecsült útvonala alapján. Vannak tehát olyan repülőgépek, amelyekhez nem állnak rendelkezésre repülési terv adatok, így ezek esetében a supervisor (és ennek megfelelően a döntéstámogató eszköz is) a radaradatok alapján következtet a jövőbeli állapotra. A légtérben és annak közvetlen közelségében elhelyezkedő járművek esetében ugyanakkor a repülési terv adatok szolgáltatják a becslés elsődleges adatforrását, kivéve, ha a repülőgép útvonala valószínűsíthetően el fog térni a repülési tervben megadott útvonaltól (például irányítói utasítás következményeként). Utóbbi esetekben a radaradatok, illetve az adott járműnek adott utasítások ismerete szolgálhat a becslés alapjául.

Az időjárással és a légtérgazdálkodással kapcsolatos tényezők azáltal befolyásolhatják a légiforgalom alakulását, hogy a légtér egy részét a forgalom számára korlátozottá teszik. Az előidézett korlátozás tervezett (légtérgazdálkodáshoz kapcsolódó) esetben jelent kisebb problémát. Ennek

oka, hogy a kereskedelmi forgalom számára korlátozott légtérrészek általában jól definiált határokkal rendelkeznek, valamint az, hogy az ilyen jellegű korlátozások általában hosszú időre (legalább 24 óra) előre tervezettek. Ennek köszönhetően nem csak a supervisorok szereznek időben tudomást a várható korlátozásokról, hanem a repülési tervekben is figyelembe lehet venni azokat, ráadásul a forgalomra gyakorolt hatásuk (pl. kerülési utak alakulása) is jól tervezhető.

Nagyobb problémát jelentenek a légtér egy részét használhatatlanná tevő időjárás jelenségek (pl. zivatar), mivel ezek által érintett légtértartomány az időben folyamatosan változik és gyakran csak a légi járművek és az irányítás között zajló kommunikációból derül ki, hogy a járművek milyen módon tervezik az érintett tartományt elkerülni. További probléma, hogy ezekkel kapcsolatosan nem állnak közvetlenül a supervisor rendelkezésére valós idejű, illetve a közeljövőre vonatkozó adatok, hanem csak azokra a meteorológiai szolgálattól kapott adatokra támaszkodhat, amelyek a légtér időjárásának néhány perccel korábbi állapotát jellemzik. Emiatt a supervisornak a várható időjárásra vonatkozóan is becslést kell készítenie, amit csak az időjárás jelenségeknek a döntés pillanatát megelőző percekben megfigyelt változásai alapján végezhet el. Ennek megfelelően az automatizált eszközt is ehhez hasonló becslések elvégzésére kell felkészíteni, vagy a becslést végző logikának néhány korábbi időpontban érvényes időjárás adathalmaz eltérése alapján kell kiszámítania a 15–20 perc múlva várható időjárás helyzetet. Ha tehát például a légtérben jelen lévő zivatargócok kiterjedése csökkenő tendenciát mutat vagy a zivatargócok mozgása alapján arra lehet számítani, hogy azok hamarosan elhagyják a légtérrel, akkor az eszköz feltételezheti, hogy a légtérnek a jelenleginél kisebb tartománya lesz az időjárás miatt korlátozott. Más esetekben azonban (ha a zivatar által érintett légtértartományok kiterjedése növekedett vagy nem változott az elmúlt időszakban) fontos, hogy az eszköz pesszimista becslést készítsen a korlátozott légtértartományokkal kapcsolatban és a biztonság érdekében inkább több szektort javasoljon annál, mint ami a végül kialakuló szituációban valóban szükséges lenne. Az időjárás automatizált becslésének nehézsége miatt érdemes az eszközt olyan funkcióval is ellátni, amely lehetővé teszi, hogy a supervisor szükség esetén manuálisan adhassa meg a várható időjárásra vonatkozó adatokat.

Akár az időjárás miatt, akár tervezett légtérkorlátozás miatt válik használhatatlanná a légtér egy része, a döntéstámogató eszköznek módosítania kell az előrebecsült repülési útvonalakat azon légi járművek esetében, amelyek útvonala érintené a korlátozott légtértartományt, valamint szükség esetén más légi járműveket is, ha azok konfliktusba kerülnének a módosított útvonalú járművekkel. Az eszköz létrehozása előtt tehát meg kell alkotni egy olyan algoritmust is, amellyel lehetségessé válik a módosított útvonalak meghatározása. Fontos ugyanakkor megjegyezni, hogy a légtérkorlátozások miatti módosított útvonalszámításra nem feltétlenül van szükség, ha a légtérkorlátozásokat és az időjárást is a komplexitási tényezők egyikeként kezeljük. Arról, hogy ez milyen módszerrel valósítható meg, a következő alfejezetben lesz szó.

Az eddigieket összefoglalva azt mondhatjuk, hogy a forgalom előrebecslésének automatizálása 15–20 perces időtávra vonatkozóan megvalósítható lehet úgy, hogy a becslés bizonytalansága nem lesz nagyobb, mint a supervisorok saját becsléseiben rejlő bizonytalanság. A becslés alapjául a repülési terv adatok (azon repülőgépek esetén, amelyekhez rendelkezésre állnak) és a radaradatok (ismeretlen repülési tervvel rendelkező repülőgépek esetén) szolgálnak. Az ezek

alapján becsült forgalmi helyzetet módosítani kell aszerint, hogy milyen hatást gyakorolnak várhatóan a forgalomra a tervezetten vagy az időjárás miatt nem használható légtérrészek.

3.2. Komplexitási tényezők számítása

Ahogy arra a 2. fejezetben utaltunk, a figyelembe vett komplexitási tényezők halmazának meghatározása során alkotnunk kell egy kezdeti tényezőhalmazt, amelyről feltételezzük, hogy jól reprezentálja a forgalmi helyzetek munkaterhelés generáló hatását. A tényezők kezdeti halmazát egy korábbi – az eszköz megvalósíthatóságának vizsgálatát célzó – kutatás során háromlépéses folyamat keretében határoztuk meg. Az első lépésben beszélgetést folytattunk néhány, a légiforgalmi irányítás szervezésének területén komoly tapasztalattal rendelkező szakemberrel, akik elmondták, hogy a magyarországi légtérben jellemzően milyen tényezők befolyásolják az irányítói munkaterhelést. A beszélgetés során sok tényezőt gyűjtöttünk össze, ezek azonban csak néhány szakember véleményét tükrözték, így a komplexitási tényezőkről történő információgyűjtést indokoltnak tűnt kiterjeszteni.

Az információgyűjtés második lépése a szakemberek szélesebb körének megkérdezése volt egy kérdőív segítségével, amely az első lépésben összegyűjtött tényezőket tartalmazta. A kérdőív kitöltőinek (légiforgalmi irányítóknak és supervisoroknak) azt kellett értékelniük, hogy a felsorolt tényezők mennyire vannak hatással a munkaterhelésükre. A kérdőív eredményeinek összefoglalását az 1. táblázat szemlélteti, az összeállítással és az eredményekkel kapcsolatosan pedig [5]-ben olvashatók további részletek.

Tényező	Átlag
Időjárás (pl. zivatartevékenység)	4,57
Érkező, induló és átrepülő járatok aránya	3,86
Forgalom térbeli eloszlása ("sűrűsödési" helyek száma)	3,71
Emelkedő járatok száma	3,71
Frekvencia terheltsége	3,71
Összetartó útvonalon haladó járatpárok száma	3,57
Süllyedő járatok száma	3,57
Nyitva lévő különleges légterek száma	3,57
Útvonalak keresztezési pontjainak száma	3,43
Használható magassági szintek száma	3,29
Műszaki berendezések állapota	3,14
Pilóták kéréseinek száma (pl. magasság, irány)	2,86
Járatok sebességének változatossága	2,57
Járatok egymáshoz viszonyított haladási iránya	2,29

1. táblázat A komplexitási tényezők munkaterhelés növelő hatásának átlagos értékei

A harmadik lépésben azt kellett eldönteni, hogy a kérdőívben szereplő tényezők közül melyek azok, amelyek a munkaterhelés növelő hatás szempontjából fontosnak tekinthetők, illetve amelyeket (aránylag csekély ráfordítással) ki lehet fejezni számszerű értékekkel. Utóbbi szempontnak volt köszönhető, hogy az említett korábbi kutatás során az időjárást kihagytuk a komplexitási tényezők vizsgált halmazából. Ez az elhanyagolás elfogadható volt az előzetes felmérés végrehajtása során, a döntéstámogató eszköz végleges verziójának tervezése során azonban

nem hagyható figyelmen kívül az időjárás, mivel a kérdőív eredményei alapján ez tekinthető a munkaterhelésre legnagyobb hatást gyakorló tényezőnek. Az eszköz implementálása előtt tehát meg kell oldani az időjárás számszerűsíthetőségének problémáját, vagyis találnunk kell valamilyen módszert arra, hogy olyan számértékekkel jellemezzük a légtérben uralkodó időjárást, hogy ezek alakulása arányos legyen a munkaterheléssel.

Mivel a döntéstámogató eszköz elsősorban a körzeti irányításban nyújtana segítséget a supervisoroknak és ezen a területen a zivatar jelenti a légiforgalmat elsődlegesen befolyásoló időjárási tényezőt, ezért az időjárás számszerűsítése során is a zivatark jellemzőinek számszerű leírására helyezzük a hangsúlyt. Hasonlóan a légiforgalomhoz, a légtérben (vagy annak valamely szektorában) jelen lévő zivatargócok is többféle számértékkel jellemezhetőek. Ezek közé sorolható többek között a zivatargócok száma, azok földrajzi- és magassági kiterjedése, maximális- és átlagos intenzitása vagy a szektorhatároktól és egymástól mért távolsága. Nem tudjuk ugyanakkor azt, hogy ezen tényezők közül melyik milyen mértékben járul hozzá az irányítók munkaterheléséhez, ezért ezt érdemes egy ezzel a céllal elvégzett felmérés keretein belül kideríteni. Ennek egyik lehetséges módja például, ha aktív légiforgalmi irányítókat kérdezzük meg arról, hogy szerintük mekkora munkaterhelést generálnak a különböző jellemzőkkel rendelkező zivatargócok. Ezután valamilyen algoritmus (például neurális háló) segítségével következtetünk a zivatargócokat leíró különböző számértékek és a munkaterhelés közötti kapcsolatra, majd ez alapján megállapítjuk melyek a zivatargócok jellemzői közül a leginkább kritikusak és ezeket vesszük figyelembe a döntéstámogató eszköz fejlesztése során komplexitási tényezőként.

Az időjáráshoz hasonlóan az irányítás és a légi járművek közötti kommunikáció számszerűsítése is problémát jelent. A kommunikációs szükséglet szintén számszerűsíthető lehet, például az üzenetváltások száma vagy azok összesített időtartama alapján. Felmerül ugyanakkor a kérdés, hogy érdemes-e a kommunikáció mennyiségét figyelembe venni, tekintve, hogy az üzenetváltásokat a legtöbb esetben olyan tényezők váltják ki, amelyek valamilyen módon maguk is hozzájárulnak a komplexitáshoz – például magasság, irány vagy sebességváltoztatás, szektorhatár átlépése, zivatarkerülés stb.

3.3. Az optimális szektorállapotok számítása

A szektorkonfiguráció komplexitás alapján történő számításának a gyakorlatban az egyik lehetséges módja a neurális hálós algoritmus használata, ahogyan az [1]-ben is látható. Szintén neurális háló alkalmazásával történt az optimálisnak tekintett szektorkonfigurációk számítása a korábban említett előzetes kutatás során. Ennek részletes eredményei [4]-ben és [6]-ban olvashatóak, a döntéstámogató eszköz működésének könnyebb megértése érdekében azonban itt is összefoglaljuk a neurális hálós módszeren alapuló szektorkonfiguráció becslés folyamatát.

A neurális háló működési elve hasonló az egyszerű függvény regresszióhoz. A háló funkciója általános esetben az, hogy megadott számú bemeneti tényező értékei alapján megadja meghatározott számú kimeneti tényező értékét. Ehhez természetesen meg kell határozni, hogy a bemeneti tényezők értékeiből milyen módon állíthatók elő a kimeneti értékek, ami a háló tanításával lehetséges. A tanítás során meg kell adni, hogy a különböző bemeneti értékek esetén milyen értékeknek kell a kimeneten megjelenni, a háló pedig a megfelelő algoritmus használatával képes

kiszámítani, hogy milyen módon kell a bemeneti tényezőket súlyozni ahhoz, hogy az adott kimenetek (pontosabban az azokat minimális hibával közelítő értékek) előálljanak. A tanítást követően a háló tetszőleges bementi értékek alapján képes becslést adni a kimeneti értékekre vonatkozóan.

Az általunk vizsgált esetben a bementi tényezők az összegyűjtött komplexitási tényezők voltak. Mivel ezeknek terveztük a munkaterhelésre gyakorolt hatását vizsgálni, ezért a kimeneten munkaterhelés értékeket lett volna érdemes megjeleníteni. A munkaterhelés számszerűsítése ugyanakkor nehézkes, ezért célszerűbbnek tűnt inkább valamilyen, a munkaterheléshez szorosan kapcsolódó mennyiséget használni kimeneti tényezőként. Mivel a döntéstámogató eszköz feladata az, hogy az optimális szektorkonfigurációra tegyen javaslatot, ezért kézenfekvőnek tűnik kimenetként magát a szektorkonfigurációt használni. A szektorkonfiguráció természetesen nem tekinthető mennyiségnek, a szektorok állapota egy-egy forgalmi szituációban azonban igen.

Egy általános szektor háromféle állapotot vehet fel, aszerint, hogy összevonják-e más szektorral („merged” állapot), felosztják-e több szektorra („split” állapot) vagy önállóan használják („armed” állapot). Az állapotok már szolgálhatnak kimeneti tényezőkként, amelyek értéke 0 vagy 1 lehet attól függően, hogy az adott szektor az adott állapotban van-e. Tételezzük fel például, hogy egy adott forgalmi szituáció esetében az ideális szektorkonfigurációban a W, az ELMU és az EHT szektorok vannak nyitva. Ebben a helyzetben a teljes légtér és az E szektor állapota is „split”, vagyis ezek állapota az 1 0 0 értékhármassal írható le (feltételezve, hogy a három érték a „split”, „armed” és „merged” állapotot jelöli, ebben a sorrendben). A W, az ELMU és az EHT szektor állapota „armed”, vagyis ezek a 0 1 0 értékkel jellemezhetőek, míg például az EL és az ET elemi szektor vagy W bármely elemi szektora „merged”, ezért 0 0 1 értékhármassal tartozik hozzá.

Ahogy korábban utaltunk rá, a szektorkonfiguráció neurális hálóval történő becsléséhez a hálót tanítani kell, aminek az alapja ismert összetartozó bemeneti és kimeneti értékek egymáshoz rendelése. A tanításhoz szükség van tehát olyan forgalmi szituációkra, amelyeknek nem csak a komplexitását tudjuk leírni, de ismerjük a hozzájuk rendelhető optimális szektorkonfigurációt is. Az egyes forgalmi szituációkhoz az optimális szektorkonfiguráció meghatározásának egyik módja (amit az előzetes kutatás során is használtunk) a szituációk bemutatása aktív supervisoroknak és az ő szubjektív véleményük megkérdezése az optimális konfigurációval kapcsolatban. A vélemények beszerzése a gyakorlatban úgy történt, hogy a supervisoroknak megmutattuk a vizsgált forgalmi szituációk radarképét és megkérdeztük, hogy ha a bemutatotthoz hasonló szituáció kialakulására számítanának és nekik kellene dönteniük arról, hogy hány irányító kezelje a forgalmat és milyen szektorhatárokat alkalmazzanak, akkor milyen döntést hoznának.

A tanításhoz használt forgalmi szituációk kiválasztása és az ezekkel kapcsolatos konzultáció a supervisorokkal a döntéstámogató eszköz tervezésének egyik legfontosabb lépése. A feladat megfelelő végrehajtása azért fontos, mert az eszköz működésének alapjául szolgáló logika csak olyan forgalmi szituációkra vonatkozóan fog várhatóan megbízható eredményt adni, amelyek jellemzői nem térnek el nagyban a tanításhoz használt szituációk jellemzőitől. Más szóval, ha a lehetséges szituációk egy-egy jellegzetes csoportját (pl. olyan szituációk, amelyek során korlátozott légterek vannak nyitva vagy zivatargócok vannak a légtérben) kihagyjuk a tanításhoz használt szituációk köréből, akkor az ilyen szituációk esetében nem várhatunk megbízható döntési javaslatokat az eszköztől. A tervezési folyamat ezen lépésében tehát el kell dönteni, hogy

milyen forgalmi szituációk kialakulása esetén lehet leginkább hasznát venni az eszköznek és ezekhez hasonló szituációk munkaterhelés generáló hatásáról kérdezni a supervisorokat.

A légiforgalmi szituációkat, amelyekkel a supervisorok munkájuk során találkozhatnak, és amelyekhez az eszköznek javaslatot kell tennie a szektorkonfigurációra, két kategóriába sorolhatjuk aszerint, hogy „hétköznapi” vagy „rendkívüli” szituációkról van szó. Hétköznapiak azokat a szituációkat tekintjük, amelyekben a légi járművek száma és azok jellemzői nem térnek el nagymértékben az átlagosnak tekintett értékektől, nincs a légtérben különleges kezelést igénylő légi jármű (pl. rádiókapcsolat megszakadása miatt), nincsenek használatban különleges légterek (vagy csak olyanok vannak nyitva, amelyek jelenléte megszokottnak számít) és nincsenek a forgalmat korlátozó időjárási tényezők. A rendkívüli szituációk értelemszerűen azok, amelyekre valamelyik felsorolt feltétel nem teljesül. A hétköznapi szituációkról feltételezhetjük, hogy fennállásuk esetén a supervisor viszonylag könnyen, rutinszerűen képes döntést hozni a szektorkonfigurációról, míg rendkívüli szituációk esetén ehhez több gondolkodásra van szükség és a döntés eredményeként előálló szektorkonfiguráció is kisebb valószínűséggel lesz a munkaterhelés szempontjából optimális. Ennek következtében tehát egy, a szektorkonfigurációra javaslatot tenni képes döntéstámogató eszköznek elsősorban rendkívüli szituációk esetében lehet hasznát venni, ami azt jelenti, hogy a tervezés során a neurális háló tanításához használt szituációk között is fontos, hogy legyen megfelelő számú rendkívülinek tekinthető szituáció is a hétköznapiak mellett. Ez egyúttal azt is jelenti, hogy nem elég a valóságban korábban megvalósult légiforgalmi szituációkat bevonni az eszköz tervezésébe, hanem mesterséges szituációkat is létre kell hozni, mivel a rendkívüli szituációk előkeresése a történeti radaradatok halmazából hosszadalmas feladat lenne, ráadásul nem biztos, hogy az igényeinknek megfelelő rendkívüli szituációkat adna eredményül. A neurális háló tanításához tehát érdemes mesterséges szituációkat is felhasználni, ezek megalkotása során pedig célszerű légiforgalmi irányítási szakemberek segítségét kérni, hogy biztosíthassuk, hogy az eszköz valóban azokban a helyzetekben nyújt segítséget, amelyekben az azt felhasználó supervisoroknak erre szükségük van.

A supervisorokkal folytatott beszélgetések során beszerzett szektorkonfigurációkat tekinthetjük optimálisnak a vizsgált szituációkhoz, így a továbbiakban ezekre fogunk optimális szektorkonfigurációként hivatkozni. Miután az optimális szektorkonfigurációk alapján meghatároztuk a különböző szektorok optimális állapotát, lehetségessé válik a háló tanítása, a tanított háló segítségével pedig az optimális szektorállapotok becslése a tanításba be nem vont forgalmi szituációkra vonatkozóan. A döntéstámogató eszköznek tehát az itt röviden bemutatott neurális hálós algoritmust kellene alkalmaznia a szektorállapotok meghatározására, miután kiszámította az előrebecsült forgalmi szituáció komplexitási tényezőinek értékeit.

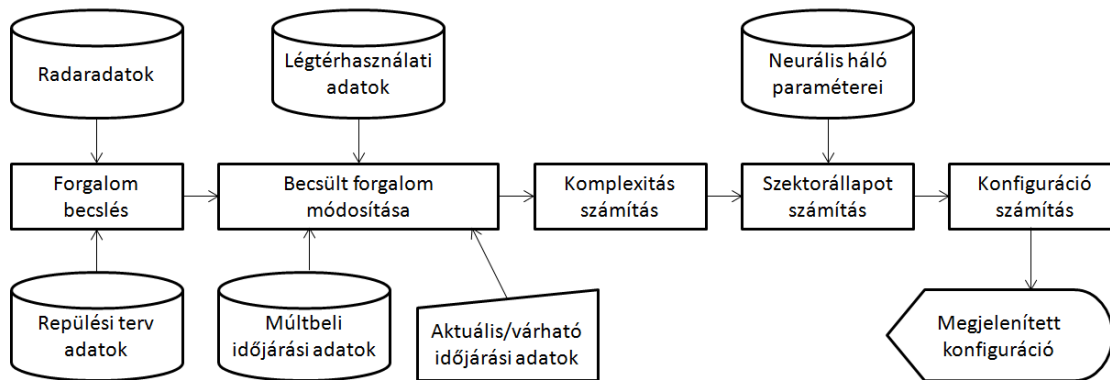
3.4. A szektorkonfiguráció előállítása

A szektorállapotok ugyanakkor önmagukban még nem tekinthetőek elég informatívnak ahhoz, hogy az eszköz kimeneti adataként szolgáljanak. Ha a supervisor csak arról kapna információt, hogy a várható forgalmi helyzet megfelelő kezeléséhez melyik lehetséges szektornak milyen állapotba kellene kerülnie, akkor saját intelligenciáját kellene használnia, hogy megkeresse azt a konfigurációt, amely mellett a kívánt szektorállapotok megvalósulhatnak. Ez nem csak időigényes feladat, de a hibázás lehetőségét is magában hordozza, ezért érdemes a döntéstámogató eszközt olyan funkcióval is ellátni, amely lehetővé teszi a szektorkonfiguráció előállítását az optimális szektorállapotokból.

Ha az eszköz által előállított optimális szektorállapotok megbízhatósága 100 % lenne, akkor a szektorkonfiguráció előállítása egyszerű lenne, mivel csak fel kellene sorolni azokat a szektorokat, amelyeket az eszköz szerint önállóan kell használni. A megbízhatóság ugyanakkor várhatóan soha nem éri el a 100%-os szintet, ami azt jelenti, hogy előfordulhatnak ellentmondások a szektorok optimális állapotai között. Tételezzük fel például, hogy egy adott szituáció esetében az eszköz azt számítja ki, hogy két egymást részben átfedő szektor (pl. EMUH és EUHT) számára is az lenne az ideális állapot, ha azokat önállóan használnák vagy azt, hogy egy két elemi szektorból előálló szektor (pl. EHT) optimális állapota az, ha kettéosztják, míg az azt alkotó elemi szektorok optimális állapota az, ha összevonják őket. Az eszköznek az ehhez hasonló esetekben is szolgáltatnia kell valamilyen információt a szektorkonfigurációról, ezért ennek meghatározására olyan algoritmust kell kidolgozni, amely képes az ellentmondásokat bizonyos szabályok alapján feloldani. Az ezt megvalósító algoritmusra [7]-ben látható példa.

Ha az eszköz előállította a szektorkonfigurációt a szektorállapotokból, akkor ezt valamilyen módon meg kell jelenítenie a supervisor számára, ami – ahogyan a 2. fejezetben is felvázoltuk – történhet szövegesen (például az önállóan használandó szektorok felsorolásával) és/vagy a szektorhatárok grafikus megjelenítésével. A megjelenítés mellett az is fontos, hogy az eszköz lehetőséget adjon a supervisoroknak arra, hogy az visszajelzést adhasson az előállított szektorkonfigurációval kapcsolatban, azaz jelezhesse, hogy elfogadja-e optimálisnak az adott konfigurációt vagy nem, illetve utóbbi esetben azt is megadhatta, hogy milyen más konfigurációt tartana optimálisnak.

Az 1. ábra összefoglalva szemlélteti, hogy az itt felsorolt követelmények megvalósításához milyen modulokkal kell a döntéstámogató eszköznek rendelkeznie.



1. ábra A döntéstámogató eszköz felépítése

4. AZ ESZKÖZ TOVÁBBI FELHASZNÁLÁSI LEHETŐSÉGEI

Az eddigiekben bemutatott döntéstámogató eszköz elsődleges funkciója az optimális szektorkonfiguráció meghatározása a várható forgalom jellemzői alapján. Ez azonban nem jelenti, hogy a szektorkonfiguráció-számítás lehet az eszköz egyetlen felhasználása, mivel az a belső logika módosításával vagy újabb modulok hozzáadásával alkalmassá tehető további feladatok ellátására, amelyeket az alábbiakban foglalunk össze.

Ahogy arról az előző fejezetben is szó volt, az eszköz szektorkonfiguráció számításért felelős moduljának tanítása során lehetőség van arra, hogy az eszközt alkalmassá tegyük tetszőleges

légiforgalmi szituációk kezelésére, feltéve, hogy ezeket valamilyen módon (például szimulációval) elő tudjuk állítani. Ez azt is jelenti, hogy az eszközt nem csak olyan szituációk kezelésére készíthetjük fel, amilyenek jelenleg előfordulhatnak a gyakorlatban, hanem olyanokra is, amelyek megjelenésére a jövőben lehet számítani, például az ATC területén érvényes előírások vagy eljárások változása miatt. Ilyen változásra szolgáltat példát napjainkban az UAV²-k várható megjelenésének problémája az ellenőrzött légtérekben, amivel részletesen [8] foglalkozik. Más szavakkal, az eszköz már az ATC rendszerben bekövetkező – a supervisorok döntéseit nagyban érintő – változások tényleges megvalósulása előtt alkalmassá tehető azok kezelésére. Ebből az következik, hogy az eszköz adott esetben felhasználható lehet a biztonsági vagy hatékonysági célú elemzés támogatására az ATC rendszert érintő tervezett változtatások előtt (például azáltal, hogy megmutatja, hogyan alakulna a szükséges szektorszám egy átlagos forgalmúnak tekintett nap folyamán a változás előtt és azt követően).

Az eszköz nem csak a tervezett változtatások hatásainak elemzését segítheti elő, hanem az aktuálisan alkalmazott rendszer paramétereinek validálását is. Ahogyan a bevezetésben utaltunk rá, napjaink ATC központjainak többségében (köztük a budapestiben is) a szektorok osztásával és összevonásával kapcsolatos egyetlen előírás az egy szektorban, egy időben maximálisan kezelhető légi járművek száma, más szóval a szektorkapacitás. Az, hogy más tényezők is szerepet kapnak-e a szektorkonfigurációval kapcsolatos döntésben, kizárólag a supervisoron múlik, vagyis az előírások önmagukban nem garantálják, hogy ezen tényezők is érvényesülni fognak. Emiatt fontos, hogy a légi járművek maximális számára vonatkozó előírásokat úgy alkossák meg, hogy ha a supervisor kizárólag ezekre alapozva hoz döntést, akkor se sérülhessenek az ATC rendszer biztonságával kapcsolatos követelmények. Az eszköz lehetőséget nyújthat arra, hogy segítségével ellenőrizzük, hogy az előírások megfelelnek-e a fenti követelményeknek. Ha például az eszköz által javasolt szektorszámok (amelyek közvetetten az aktív supervisorok véleményét tükrözik) rendre nagyobbak, mint az előírások alapján minimálisan használandó szektorszám, akkor feltételezhetjük, hogy az előírások önmagukban (a supervisor által hozzáadott intelligencia nélkül) nem garantálják a biztonságot.

Az eszköz segítségével nem csak az aktuális szektorkapacitás értékek validálhatóak, hanem a légtér aktuális szerkezete is. Elképzelhető például, hogy vannak a légtérben olyan szektorok, amelyekben rendszeresen alacsony az irányítók munkaterhelése, de nincs lehetőség ezek összevonására más szektorral, mert az összevont szektorban túl magas lenne a munkaterhelés. Ezzel párhuzamosan az is előfordulhat, hogy egy tovább nem osztható szektorban túl magas munkaterheléssel dolgoznak az irányítók. Az ilyen jellegű problémákra a szektorhatárok módosítása lehet a megoldás, ehhez azonban előbb ki kell deríteni, pontosan mely szektorokban figyelhetőek meg rendszeresen a fenti jelenségek. Ebben nyújthat segítséget az eszköz, ha kiegészítjük egy olyan egységgel, amely a szektorkonfigurációnak a szektorállapotokból történő előállításánál jelzi, ha valamelyik szektor nem az optimális állapotában került be a javasolt konfigurációba.

Fontos, hogy az előbbi kiegészítéssel az eszköz csak jelezni tudja a problémát, a szektorhatár módosítására nem tesz javaslatot. Ugyanakkor az sem megoldhatatlan, hogy az eszköz alkalmas

² Unmanned Aerial Vehicle, Személyzet nélküli légi jármű

legyen a szektorhatárok módosítására (pontosabban az ezzel kapcsolatos javaslatra) is. Ehhez egy olyan modullal kellene kiegészíteni, amely adott forgalomhoz képes kiszámítani, hogy hol kellene a szektorhatároknak elhelyezkedni ahhoz, hogy az egyes szektorok komplexitása (és ezáltal a munkaterhelése) az optimális tartományba essen és szektoronként csak minimálisan térjen el. Egy ilyen funkció megvalósítása azért is fontos, mert a légiforgalmi irányítási rendszerekben a közeljövőben várható a dinamikus szektorizáció bevezetése, azaz a munkaterhelés optimalizálása már nem csak szektorok nyitásával és zárásával lesz elérhető, hanem a szektorhatárok módosításával is. Emiatt egy szektorizációval foglalkozó döntéstámogató eszközzel kapcsolatban a jövőben várhatóan alapvető elvárás lesz, hogy képes legyen optimális szektorkonfiguráció mellett optimális szektorhatárokat is számítani.

A tervek szerint a döntéstámogató eszköz kezdetben a korábban felsorolt tényezőket, azaz a légijárművek jellemzőit, a légtér jellemzőit (ideértve az időjárási körülményeket is) és a műszaki eszközök állapotát venné figyelembe a szektorkonfiguráció meghatározása során. Ezek mellett ugyanakkor fontos tényező lehet a légiforgalmi irányítók állapota is. A szektorbontási lehetőségek korlátai – vagyis az állandó szektorhatárok – miatt elkerülhetetlen, hogy bizonyos forgalmi helyzetek mellett egyes irányítók magasabb munka- és stressz terheléssel dolgozzanak, mint mások. Annak érdekében, hogy ez az állapot ne maradjon fenn hosszabb ideig, törekedni kell arra, hogy a szektorkonfiguráció változtatását követően az addig magas terheléssel dolgozó irányítók a korábbinál alacsonyabb, míg az alacsony terhelés mellett dolgozók a korábbinál magasabb terhelésnek legyenek kitéve az új konfigurációban rájuk bízott szektor irányítása során. Ennek a megvalósítása szintén a supervisor feladata, ezért érdemes lehet erre szolgáló funkciókkal is ellátni a döntéstámogató eszközt. A gyakorlatban ez úgy valósulhat meg, hogy az eszköz valamilyen módon figyeli az irányítók stressz állapotát és olyan esetekben, amikor egy adott szituációhoz többféle szektorkonfiguráció is alkalmazható lenne (a biztonsági és hatékonysági követelmények azonos szintű teljesítése mellett), akkor ezek közül azt választja optimálisnak, amely mellett a fenti követelmény is teljesül.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

A légiforgalmi irányítók munkáját koordináló supervisoroknak a szektorkonfigurációval – és ezáltal a forgalmat kezelő irányítók számával – kapcsolatos döntéseit célszerű automatizált döntéstámogató eszközzel támogatni, annak érdekében, hogy a döntések eredményeként az irányítók munkaterhelése optimális legyen. Egy ilyen eszköz működésének alapjául a légiforgalmi szituációk számszerű értékekkel kifejezett komplexitása szolgálhat, ami alapján például a korábban röviden ismertetett neurális hálós logika segítségével meghatározható az optimális munkaterhelést eredményező szektorszám és a szektorok határai. Az eszköz elméletben megvalósítható, a gyakorlati alkalmazásához azonban meg kell oldani néhány, a korábbi fejezetekben felvázolt problémát, ami általában a központi logika különféle algoritmusokkal történő kiegészítésével történhet.

Az eszköz tervezéséhez kapcsolódóan elvégzett előzetes felmérés eredményei alapján a neurális hálós logika segítségével az eszköz alkalmas lehet arra, hogy ellássa elsődleges funkcióját (az optimális szektorkonfiguráció meghatározását), ezért a jövőben érdemes elvégezni a fejlesztési folyamat további lépéseit. Ezek közé tartozik az említett kiegészítő algoritmusok megtervezése például a forgalom előrebecslése, az időjárási tényezők számszerű kifejezése vagy a

javasolt szektoroknak a szektorállapotokból történő meghatározása céljából. Szintén meg kell tervezni a logikáját azoknak a moduloknak, amelyek az eszközt olyan kiegészítő funkciókkal látják el, mint a szektorhatárok módosítása vagy az irányítók stressz állapotának figyelemmel kísérése. Ezt követően (vagy ezzel párhuzamosan) azt is meg kell vizsgálni, hogyan lenne beépíthető egy ilyen eszköz az olyan integrált automatizált légiforgalmi irányítási rendszerekbe, mint a HungaroControl Zrt. által használt MATIAS (vagyis például milyen formátumú adatokhoz juthat hozzá az eszköz és milyen interfészekkel kell rendelkeznie ezek kezeléséhez).

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] GIANAZZA, D., GUITTET, K.: Evaluation of air traffic complexity metrics using neural networks and sector status. Proceedings of the 2nd International Conference on Research in Air Transportation, ICRAAT 2006, Belgrád, 2006
- [2] RODGERS, M. D., MOGFORD, R. H., MOGFORD, L. S.: The relationship of sector characteristics to operational errors. FAA Aviation Medicine Report, 98/14, 1998
- [3] ROHÁCS JÓZSEF, ROHÁCS DÁNIEL, JANKOVICS ISTVÁN: Járművezetők szubjektív döntéseinek vizsgálata. Innováció és fenntartható felszíni közlekedés, IFFK 2015, Budapest, pp. 14-22., 2015
- [4] SZÁMEL BENEC DOMONKOS, MUDRA ISTVÁN, SZABÓ GÉZA: Applying Airspace Capacity Estimation Models to the Airspace of Hungary. Periodica Polytechnica: Transportation Engineering 43:(3) pp. 120-128., 2015
- [5] SZÁMEL BENEC, SZABÓ GÉZA: Towards safer air traffic: Optimizing ATC controller workload by simulation with reduced set of parameters. Safety and Reliability: Methodology and Applications: ESREL2014, Wroclaw, pp. 979-987., 2014
- [6] SZÁMEL BENEC DOMONKOS, SZABÓ GÉZA: Légtérkapacitás számítás elméleti modellek alapján. Repüléstudományi Közlemények, 26(2), pp. 296-318., 2014
- [7] SZÁMEL BENEC DOMONKOS, SZABÓ GÉZA: Tapasztalati úton meghatározott légi járműszám alapú és komplexitás alapján matematikai módszerrel számított szektorkapacitás értékek korrelációjának vizsgálata. Innováció és fenntartható felszíni közlekedés, IFFK 2014, Budapest, pp. 231-240., 2014
- [8] VAS TÍMEA, FEKETE CSABA: UAV az ellenőrzött repülőtér forgalmában, avagy egy szimuláció tapasztalatai. Repüléstudományi Közlemények, 25(2), pp. 371-383., 2013

DEVELOPING A DECISION SUPPORT TOOL FOR COMPLEXITY BASED ESTIMATION OF OPTIMAL ATC SECTORCONFIGURATION

The safety (and efficiency) of Air Traffic Control systems is largely influenced by controller workload. In order to keep the workload at an optimum level, the number and borders of sectors in the airspace (i.e. sector configuration) has to be changed dynamically in accordance with the characteristics of the actual traffic situation. Making a decision regarding sector configuration is a highly complex task which makes automated decision support reasonable. Implementing a tool developed for this purpose requires to solve numerous problems owing to the complexity of the automated decision process. In this paper, we will present the requirements to be satisfied by a tool that enables automated estimation of sector configuration, the objectives to complete in the design phase of such a tool and the functions that can be fulfilled by the tool beside calculating sector configuration.

Keywords: *air traffic control, sectorization, complexity, decision support*



http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2015_3/2015-3-04-0237_Szamel_B-Szabo_G.pdf