

HADOBÁCS KATALIN sz. hadnagy<sup>1</sup>

### ÚJ, REPÜLÉSBIZTONSÁGOT NÖVELŐ PROGNOZTIKAI ELJÁRÁSOK KIDOLGOZÁSA ÉS ALKALMAZHATÓSÁGÁNAK FELTÉTELEI A HAZAI, KATONAI REPÜLÉSMETEOROLÓGIAI SZOLGÁLATOKNÁL

### DEVELOPMENT OF NEW PROGNOSTIC PROCEDURES ENHANCING FLIGHT SAFETY AND THE TERMS OF ITS ADAPTIBILITY AT MILITARY AIRCRAFT METEOROLOGICAL SERVICES OF THE HOME LAND

#### Absztrakt

A légi közlekedés területén az utóbbi évtizedekben megfigyelhető robbanásszerű fejlődésnek köszönhetően a korábban szárazföldi feladatok jelentős része áthelyeződött a levegőbe mind civil, mind a katonai szférában. Az egyes légi műveletek sikeressége nagymértékben függ az időjárástól, így a hajózó személyzet felől egyre több és speciálisabb igény érkezik a meteorológus szakemberek felé. Ezért szükségessé vált egy, a hazai katonameteorológiai gyakorlatból hiányzó komplex meteorológiai támogatás kialakítása, olyan hatékony értékelő és előrejelzési módszerek kidolgozásán, adaptálásán keresztül, melyek a nemzetközi gyakorlatban sikeresen alkalmazhatónak mutatkoztak.

#### Abstract

Due to the drastic progress in the field of air transport in the last decades a significant part of the tasks of main lands has been shifted into the air in both civilian and military spheres. The success of each air operations are highly dependent from the actual weather, so more and more special needs are coming from the flight crew towards the meteorologist professionals. Therefore, designing a complex meteorological support which is missing from the national meteorological military exercises became necessary through effective methods of evaluating and forecasting development and adaptation, which were applied successfully in the international practice.

**Kulcsszavak:** repülésmeteorológia, meteorológiai támogatás, fuzzy logika, neurális hálózatok ~ aviation meteorology, meteorological support, fuzzy logic, neural network

## BEVEZETÉS

Ahogy a mindennapi életünkre, úgy a katonai feladatokra is nagy befolyással bír az időjárás. Kiemelten igaz ez a repülőeszközökkel végzett műveletekre. A repülés az időjárási tényezőkre legérzékenyebb közlekedési ág. Kimondottan igaz ez a speciális területeken és különleges körülmények között végrehajtott repülésre, melyek között a katonai repülések nagy része történik. Mivel a légkör jelenlegi állapota megfigyelhető és mérhető, jövőbeli állapota pedig előrejelezhető, ezért a légköri folyamatok hatásai és azok következményei számításba vehetők. A megfelelően gondos tervezés, a várható bekövetkező eseményekre történő felkészülés mérsékelheti, vagy akár elkerülhetővé teszi az időjárás által okozott káros hatásokat. A hazai katonameteorológiai gyakorlatban a repülési feladatok tervezéséért felelős

---

<sup>1</sup> MH Geoinformációs Szolgálat, meteorológus főtitest, E-mail: katalin.hadobacs@gmail.com, ORCID: 0000-0003-1200-5098

döntéshozók csak korlátozottan használnak meteorológiai információt a tervezés során. Ennek egyik oka lehet, hogy jelenleg a meteorológiai támogatás kizárólag olyan eseti vagy operatív előrejelzési produktumokkal tud jelen lenni, amelyek a műveletek végrehajtása előtti közvetlen előkészítést jelenti. Ugyanis a numerikus előrejelzések előrejelzési időtartományán kívül nem állnak rendelkezésre olyan egyértelmű, a döntéshozatalt elősegítő eljárások, statisztikai feldolgozások, amelyek segítségével a tervezett feladat sikeres végrehajtása nagyobb valószínűséggel garantálható. Az egyes feladatok végrehajtása során pedig sok esetben olyan ultrarövidtávú, úgynevezett nowcasting előrejelzési módszerekre van szükség, amelyek a numerikus modellek által objektív okok miatt nem előrejelezhető vagy sikertelenül előrejelzett, elsősorban kis skálájú, repülésre veszélyes jelenségeket hivatottak prognosztizálni. A döntéshozók részéről azonban egyre inkább felmerül az igény, hogy a hadműveleti és stratégiai döntéshozatalhoz is megfelelő információkat tudjuk szolgáltatni.

A kutatásom fő célja a hazai katonameteorológiai gyakorlatból hiányzó komplex meteorológiai támogatás kialakítása, olyan hatékony értékelő és előrejelzési módszerek, eljárások kidolgozásán, adaptálásán keresztül, melyek a nemzetközi gyakorlatban sikeresen alkalmazhatónak mutatkoztak. Mindez az egyre magasabb szintű katonai támogatási elvárásoknak való megfeleléshez nagymértékben hozzájárulhatna mind stratégiai, mind hadműveleti szinten. Azonban a Kárpát-medence sok esetben sajátos, speciális klimatikus adottságai miatt a modellek transzformációra és fejlesztésre szorulnak. E fejlesztéseket a ma már egyre szélesebb körben alkalmazott neurális-hálók alkalmazásával tervezem elkészíteni, ezzel alátámasztva ezen információ feldolgozó rendszer relevanciáját a meteorológia területén is.

## JELENLEG ALKALMAZOTT MEGFIGYELŐ ÉS ELŐREJELZŐ RENDSZEREK A MAGYAR HONVÉDSÉGNÉL

A repülés már az első repülőeszközök megjelenésétől veszélyes üzemnek számított. Ennek köszönhetően a repülési és a hozzá tartozó üzemeltetési, technológiai, kiszolgálási és biztonsági eljárások kidolgozására mindig nagy hangsúlyt fektettek a szakemberek, és még ma is folyamatosan fejlődik az ág. A repülés kiszolgálásához tartozik a meteorológiai támogatás is, mely a feladatok mindazon összessége, melyek maradéktalan végrehajtása lehetővé teszi a felhasználók adekvált meteorológiai tájékoztatását. Katonai oldalról nézve a harci támogatás része, a különböző katonai műveletek szempontjából nélkülözhetetlen meteorológiai információ biztosítás a döntéshozók számára a tevékenység tervezésének és végrehajtásának elősegítése, a hatékonyság fokozása, valamint az élet- és vagyonbiztonság növelése céljából. E támogatás tartalmát, formáját minden esetben a felhasználó határozza meg.

A meteorológiai támogatás nemzetközi együttműködéssel valósul meg, nemzetközi szervezetek ajánlásaihoz és vonatkozó szakutasításokban, rendeletekben, törvényekben meghatározott keretekhez igazítják.

A Magyar Honvédség (MH) feladatainak meteorológiai támogatását az MH Geoinformációs Szolgálat (továbbiakban: MH GEOSZ) és az MH Összhaderőnemi Parancsnokság alárendeltségébe tartozó meteorológiai szakállomány, azaz a katonai meteorológiai szolgálat

HADOBÁCS KATALIN: Új, repülésbiztonságot növelő prognosztikai eljárások kidolgozása és alkalmazhatóságának feltételei a hazai, katonai repülésmeteorológiai szolgálatoknál

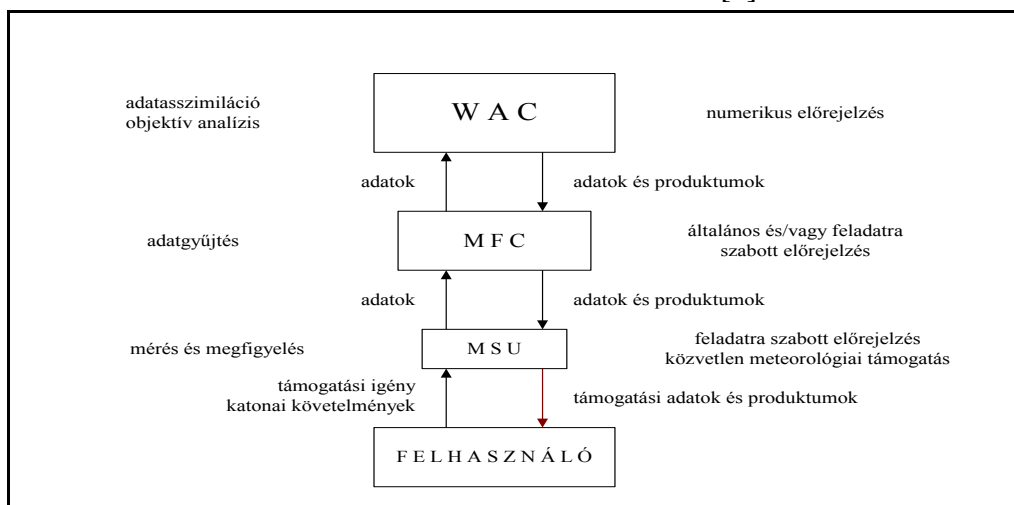
végzi. A Magyarországon alkalmazott támogatás alapelvei összhangban vannak az MH Összhaderőnemi Doktrínával, valamint a NATO (North Atlantic Treaty Organisation – Észak-atlanti Szerződés Szervezete) és a nemzetközi meteorológiai szervezetek által lefektetett meteorológiai támogatási alapelvekkel.

A meteorológiai támogatás alapelvei a következőképpen foglalhatók össze [1]:

- időszerűség (timeliness)
- megbízhatóság, pontosság (accuracy)
- fontosságra törekvés (relevance)
- az erőfeszítések egysége és konzisztencia (= egy hadszíntér, egy előrejelzés; unity of efforts and consistency)
- megfelelő készenlét (readiness)
- hatékonyság (effectiveness)

Amennyiben a meteorológiai támogatás alapelvei nem teljesülnek vagy bárhol zavar lép fel, akkor a támogató képesség részlegesen vagy akár tartósan is elveszhet.

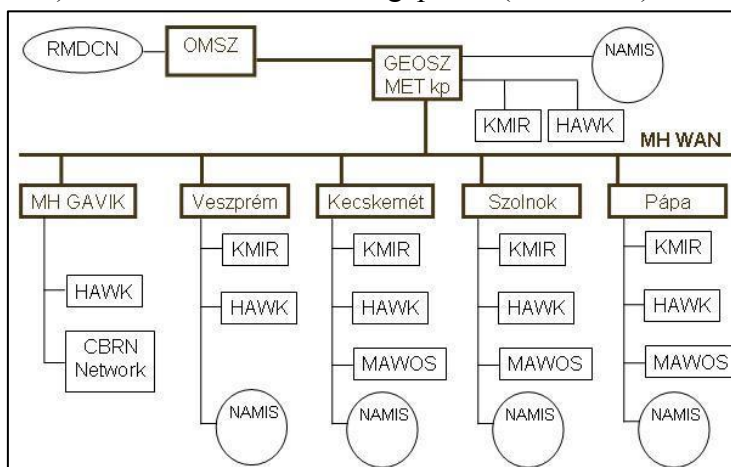
A támogató struktúra fő feladatai (1. sz. ábra) közé tartozik a mérések és megfigyelések kezelése, az adatgyűjtés, az adatfeldolgozás, a meteorológiai mezők numerikus előrejelzése és a produktumok terjesztése, valamint az utófeldolgozás és megjelenítés. Ehhez működtetni kell a mérő- és megfigyelőrendszereket az állandó és kitelepülő mérőállomásokkal, valamint hozzáférést kell biztosítani a távérzékelő rendszerek adataihoz [2].



**1. sz. ábra: A meteorológiai támogatási rendszere és folyamata (WAC: Weather Analysis Centre – Időjárás-elemző Központ; MFC: Military Forecast Centre – Katonai Előrejelző Központ; MSU: Meteorological Support Unit – Meteorológiai Támogató Csoport) [2]**

A meteorológiai csoportok munkáját egy egységes számítógépes rendszer, valamint saját fejlesztésű meteorológiai programok támogatják, melyeket együttesen Katonai Meteorológiai Információs Rendszernek (KMIR) nevezünk. E rendszer elemei a MH gerinchálózat intranetes hálózatán kapcsolódnak egymáshoz. Így az egyes meteorológiai csoportok hozzáférnek a központi adatbankhoz, mely hazai és külföldi adatokat is tartalmaz. E rendszeren keresztül történik a reptéri meteorológiai mérések és megfigyelések továbbítása is.

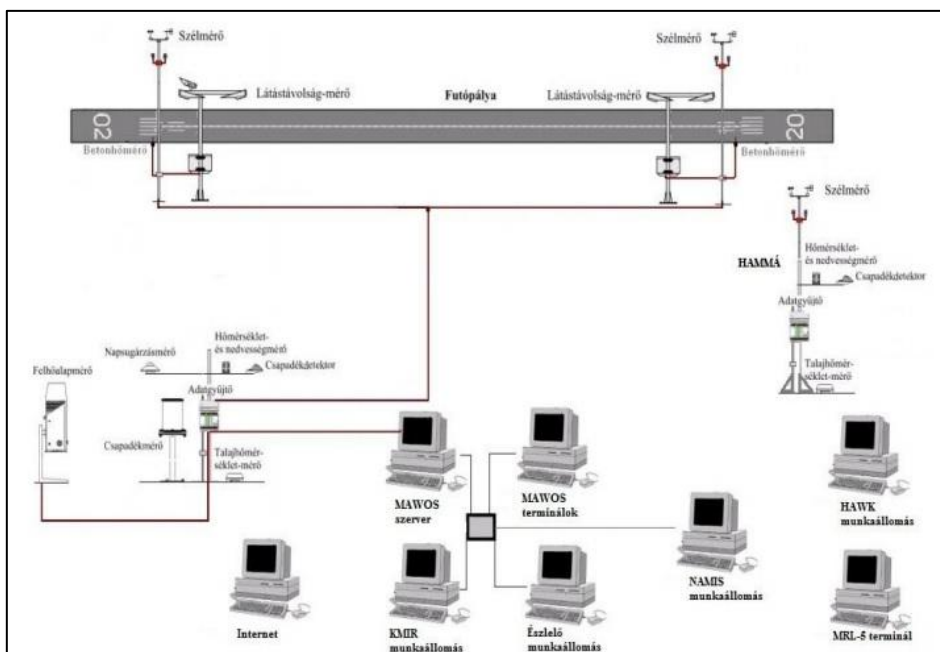
A központi szerver védett hálózaton kapcsolódik az Országos Meteorológiai Szolgálat (továbbiakban: OMSZ) kommunikációs számítógépéhez (2. sz. ábra) [2].



2. sz. ábra: A KMIR egyszerűsített hálózati topológiája

(RMDCN: Regionális Meteorológiai Adatátviteli Hálózat; HAWK: Hungarian Advanced Workstation; NAMIS: NATO Meteorológiai Információs Rendszer; MAWOS: Felszíni időjárás megfigyelő és mérőrendszer) [2]

A meteorológiai feladatokban részt vállaló egyes rendszerelemek a repülésmeteorológiai biztosításban szerves egészet alkotnak (3. sz. ábra) [3].



3. sz. ábra: Egy repülőtéri meteorológiai eszközpark sematikus ábrája [3]

Az elemek nagy része a rendszerbe integráltan van jelen, a különálló munkaállomások, eszközök hálózatbiztonsági okok vagy az alkalmazott rendszerelem egyedisége miatt vannak különállóan.

HADOBÁCS KATALIN: Új, repülésbiztonságot növelő prognosztikai eljárások kidolgozása és alkalmazhatóságának feltételei a hazai, katonai repülésmeteorológiai szolgálatoknál

## **Mérő és megfigyelőrendszerek**

### **Földfelszíni Időjárás Megfigyelő és Mérőrendszer (MAWOS)**

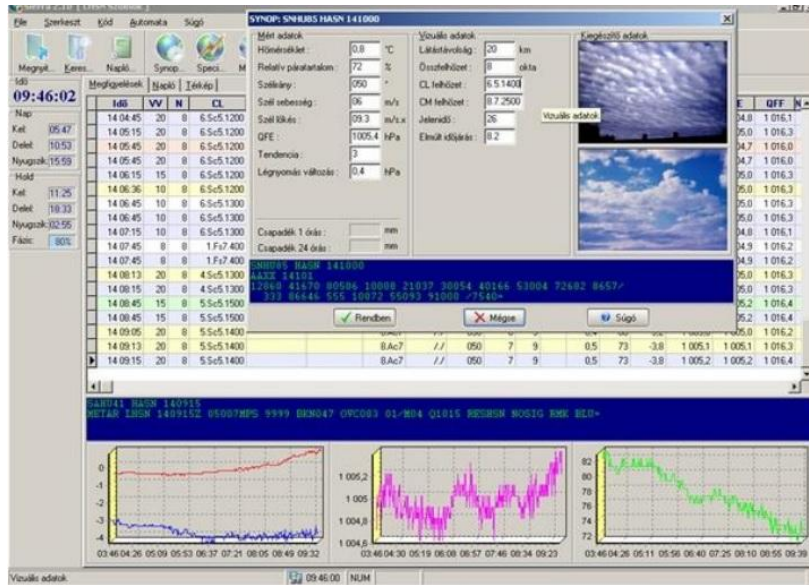
A meteorológiai támogatás első és alappillére a mérés és adatgyűjtés. Elengedhetetlen a követelményeknek megfelelő pontosságú mért adatok biztosítása. A katonai repülőtereken az időjárási elemek mérésére és megfigyelésére alkalmazott eszköz a MAWOS (Military Airfield Weather Observation System) földfelszíni és mérőrendszer, melynek kialakítása az ICAO (International Civil Aviation Organization – Nemzetközi Polgári Repülési Szervezet) ajánlások alapján történt [4]. A mérőrendszer fő részei [3]:

- Érzékelők
  - szélmérő
  - látástávolság-mérő
  - felhőalpmérő
  - háttér-megvilágításmérő
  - nyomásmérő
  - hőmérséklet- és nedvességmérő
  - talajhőmérséklet-mérő
  - betonmérő
  - radiációs minimum hőmérő
  - talajfelszín hőmérő
  - csapadékstátusz detektor
  - csapadékmennyiség-mérő
  - napsugárzásmérő.
- Adatgyűjtők
- Aktív hálózati elemek
- Adatfeldolgozó munkaállomás (METEOLUX)
- Észlelői munkaállomás (SIERRA)
- MAWOS terminál

Az érzékelők folyamatos illetve rövid intervallumokon belül mérik az egyes meteorológiai paraméter értékeit, melyek a helyi adatgyűjtőkbe kerülnek, és innen wifi hálózaton keresztül érkezik az adat a METEOLUX munkaállomásra, mely automatikusan gyűjti és tárolja azokat. A program feladata emellett az adatok megjelenítése, feldolgozása és ábrázolása is [5].

### **Észlelői munkaállomás (SIERRA)**

A munkaállomás legfőbb feladata a meteorológiai táviratok előállítás, tárolása és továbbítása a KMIR rendszeren keresztül a nemzetközi forgalomba és a helyi adatbázisba. A program előkészíti a nyers táviratokat, melyek a mért adatokon alapulnak, és az észlelő feladata az általa vizuálisan észlelt paraméterek manuális bevitele. Ezt követően a program szintaktikailag ellenőrzi az elkészített táviratot (4. sz. ábra). Ha helyes a távirat, akkor szöveges formátumban tárolásra illetve továbbításra kerül a KMIR felé [6].



4. sz. ábra: SIERRA program (Szerkesztette: Hadobács Katalin)

### Numerikus előrejelző modellek

Napjainkban a korszerű időjárás-előrejelzés nehezen képzelhető el a számszerű vagy más néven numerikus időjárás-előrejelzési modellek használata nélkül. Ezek olyan matematikai algoritmusok és számítógépi programjaik, melyek az alapvető fizikai törvényszerűségek (megmaradási törvények) alapján írják le a légkörben lejátszódó áramlási és hőtani folyamatokat. Az MH meteorológus szakemberei számára jelenleg 3 numerikus modell futtatásból származó adatok elérhetőek. Ezek közül a legrelevánsabb az Európai Középtávú Előrejelző Központ (ECMWF) determinisztikus modellje, amely a hagyományos felszíni és magas légköri megfigyelések mellett felhasználja a tengeri úszóbóják, repülőgépes megfigyelések és a műholdas mérések adatait is [7]. Számos fizikai kölcsönhatást vesz figyelembe, így például az óceán és a légkör, a talajnedvesség és a légkör, a hótakaró és a légkör közötti kölcsönhatást [8]. A modell naponta 00 és 12 UTC-s kezdeti meteorológiai mezőkből kiindulva 10 napos determinisztikus és 15 napos, 51 tagú ensemble előrejelzést készít az egész Földre vonatkozóan [9]. A determinisztikus modell jelenlegi horizontális felbontása  $0,125^{\circ} \times 0,125^{\circ}$  ( $16 \text{ km} \times 16 \text{ km}$ ), s a felszín és a 0.1 hPa nyomási szint között 136 réteget tartalmaz [10].

Másik rendelkezésre álló modell a WRF modell (Weather Research and Forecasting Model), mely egy új, rendkívül hatékony, folyamatosan fejlődő univerzális eszköz, amely hasonlóan az ECMWF modellhez alkalmas a légköri folyamatok széles skálájának numerikus prognosztizálására. Méterestől az 1000 km-es karakterisztikus méretű folyamatok modellezésére alkalmas [11]. Az OMSZ által alkalmazott operatív WRF modell nagy felbontású (2.6 km), nem hidrosztatikus konfigurációval fut a Szolgálat szuperszámítógépén naponta négyszer [10].

A fent említett modellek inkább rövid és középtávú előrejelzések készítésére alkalmazhatók. Azonban gyakran egy-egy katonai művelet, rendezvény meteorológiai biztosítása során felmerül az igény ultrarövid távú (0-3 óra) prognózisokra. Ehhez az AROME (Application of Research to Operations at Mesoscale) modell nyújt megfelelő produktumokat. A modell



HADOBÁCS KATALIN: Új, repülésbiztonságot növelő prognosztikai eljárások kidolgozása és alkalmazhatóságának feltételei a hazai, katonai repülésmeteorológiai szolgálatoknál

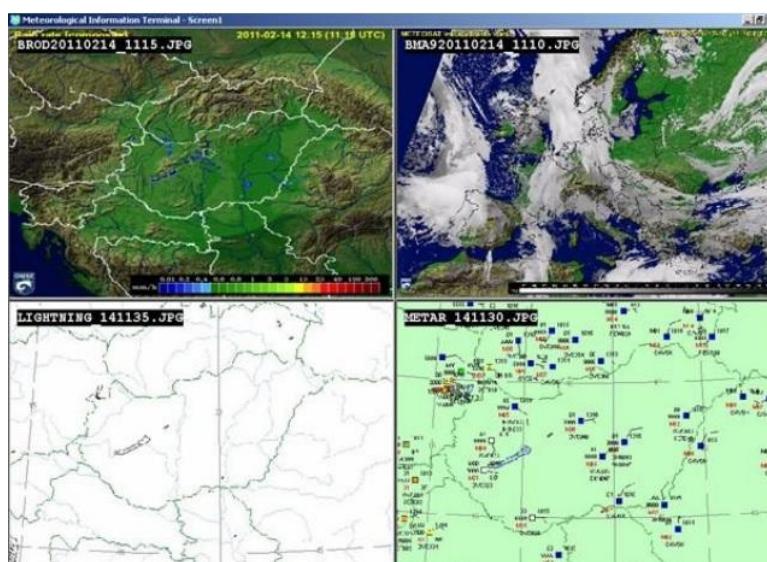
naponta négyszer fut az OMSZ szuperszámítógépein. A felszín és a 2,7 hPA nyomási szint között 59 réteget tartalmaz, horizontális felbontása 2,5 km [10].

Magyar Honvédség szolgálatainak biztosított numerikus modell adatokat a HAWK (Hungarian Advanced Workstation) munkaállomás segítségével jelenítik meg.

## Megjelenítő szoftverek

### Meteorológiai Információs Terminál (MIT) és a SynopViewer

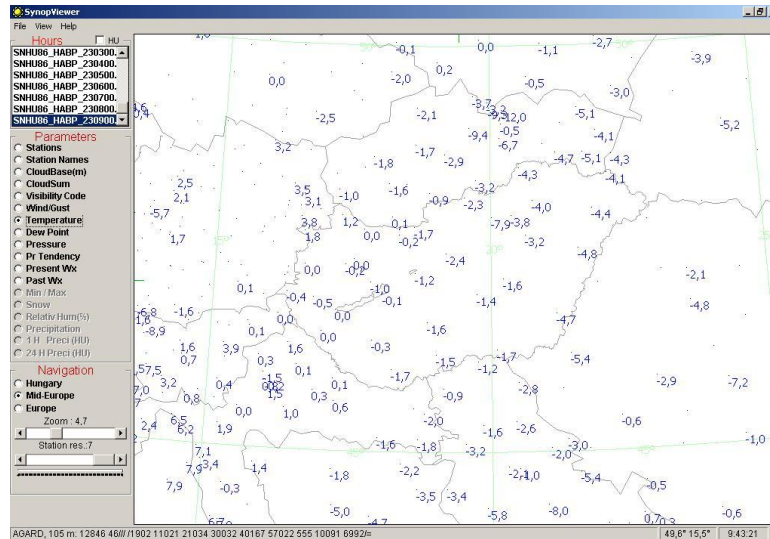
Mindkét program a KMIR fontos része, mely elsősorban az adatok megjelenítéséért felelős. A MIT egy közvetlen támogatást segítő alkalmazás, mely a meteorológiai adatfeldolgozó rendszerek által előállított térképek, grafikonok és táblázatok megjelenítésére alkalmas (5. sz. ábra). A Magyar Honvédség gerinchálózatába kötött számítógépek bármelyikén elérhető bármely jogosult felhasználó részére, így lehetőséget biztosít az időjárás állandó nyomon követésére a repülésben résztvevő állomány részére [2].



**5. sz. ábra: MIT munkaállomás megjelenítője (radar-, műhold-, villámkép. aktuális repülőtéri mérések)**

A földfelszíni mérések vizuális megjelenítésére lett kifejlesztve a SynopViewer, melyben nemcsak a magyar, de a külföldi szolgálatok adatai is elérhetők (6. sz. ábra). A KMIR rendszer adatbankjába érkező bonyolult SYNOP (surface synoptic observations) táviratokban szereplő paramétereket individuálisan lehet megjeleníteni [2].

## HADOBÁCS KATALIN: Új, repülésbiztonságot növelő prognosztikai eljárások kidolgozása és alkalmazhatóságának feltételei a hazai, katonai repülésmeteorológiai szolgálatoknál



6. sz. ábra: SynopViewer megjelenítője

### HAWK (Hungarian Advanced WorkStation) munkaállomás

Az OMSZ több éves fejlesztő munkájának eredményeképpen előállított meteorológiai adatok, információk feldolgozására és megjelenítésére korszerűen, interaktív módon használható hardver és szoftver rendszert. LINUX operációs rendszert alkalmazva ablakrendszerrel, tetszőleges térkép kivágatokkal, különböző háttér felrajzolási lehetőségekkel, színezéssel, nagyításokkal, ún. hurokfilmezéssel, stb. segíti a meteorológus munkáját. A program az adatokat térképeken és speciális meteorológiai diagramokon is képes ábrázolni és különleges megjelenítési funkciói révén hatékony eszköz az időjárás folyamatok és az előrejelzési produktumok áttekintéséhez [12].

A HAWK elnevezés alatt futó számítógépes adatfeldolgozó és megjelenítő rendszer folyamatos fejlesztés alatt áll.

### NAMIS (NATO Meteorological Information System; NATO Meteorológiai Információs Rendszer)

A Magyar Honvédség megkülönböztetett figyelmet fordít a NATO tagságunkból eredő a Magyar Honvédségre és ezen belül a honvédség meteorológiai szolgálataira háruló feladatok minél magasabb szintű végrehajtására. A meteorológiai támogatási feladatoknál a NATO szabványok, előírások, ajánlások, a meglévő rendszereink, adataink mellett évek óta, egy igen jelentős információs rendszert, a NAMIS-t (NATO Automated Meteorological Information System) alkalmazzák a meteorológiai csoportok, mely egy kizárólag meteorológiai célokra fejlesztett programcsomag, a hadszíntéri meteorológiai támogatás fontos része [2].

A NAMIS műholdas adatátvitelen alapuló meteorológiai információs, számítógépes megjelenítő rendszer. Németországból (BGIO) a Deutsche Telekom segítségével egyre nagyobb mennyiségű meteorológiai adat, információ jut el a felhasználóhoz. Olyan megfigyelési és előrejelzési produktumokat is tartalmaz, melyek csak megfelelő jogosultsággal rendelkező felhasználók számára elérhetőek [13].



## KOMPLEX METEOROLÓGIAI ELŐREJELZŐ RENDSZER

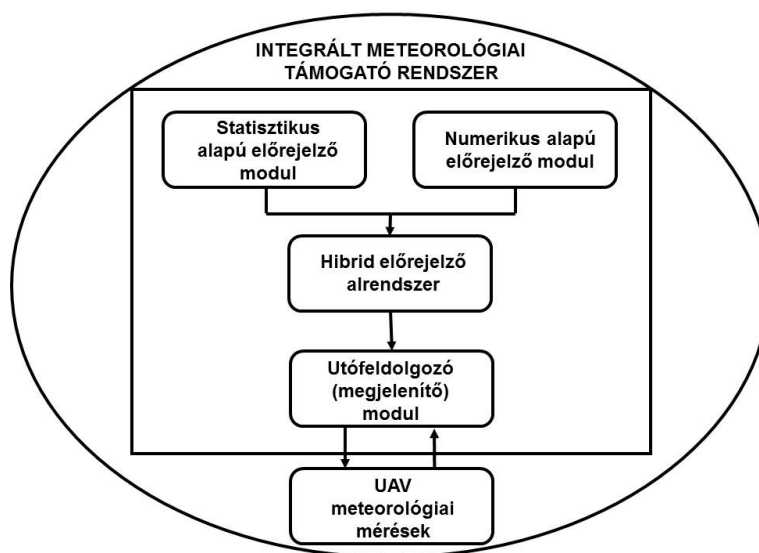
Jelenleg a szakemberek által biztosított meteorológiai információk csak korlátozottan tudják kiszolgálni a felhasználók igényeit. Ennek egyik fő oka, hogy napjainkban, hazánkban a meteorológiai támogatás kizárólag numerikus modellekre alapuló produktumokkal tud jelen lenni, melyek az előrejelzési időtartományon kívül nem állnak rendelkezésre, így például ultrarövid távon (0-3 óra). Azonban a döntéshozók felől egyre nagyobb igény érkezik a pontosabb, ultrarövid távú előrejelzésekre meteorológus szakemberek felé.

Ezért egyértelművé vált, hogy új módszereken alapuló előrejelző rendszerek kidolgozására van szükség, a minél korrektebb prognózisok elkészítéséhez. Ehhez a numerikus eljárások mellett a hazánkban még nem, de külföldön már sikeresen alkalmazott, mérési adatbázison nyugvó statisztikai megközelítéseken alapuló elemző és előrejelző módszerek kidolgozására, és adaptálására van szükség.

Számos szakirodalom áttekintése után egy olyan szoftver-rendszer kialakítását tűztük ki célul, melynek outputjaiban ötvözésre kerülne a dinamikus modellek és a statisztikus alapokon nyugvó modellek által előállított előrejelzés [14; pp.193-214.].

A kidolgozásra kerülő Meteorológiai Támogató Rendszer egy előfeldolgozó és utófeldolgozó szoftver is, melyben 4 almodul található (7. sz. ábra) [15]:

- statisztikus alapú előrejelző modul
- numerikus alapú előrejelző modul
- hibrid előrejelző modul
- megjelenítő rendszer



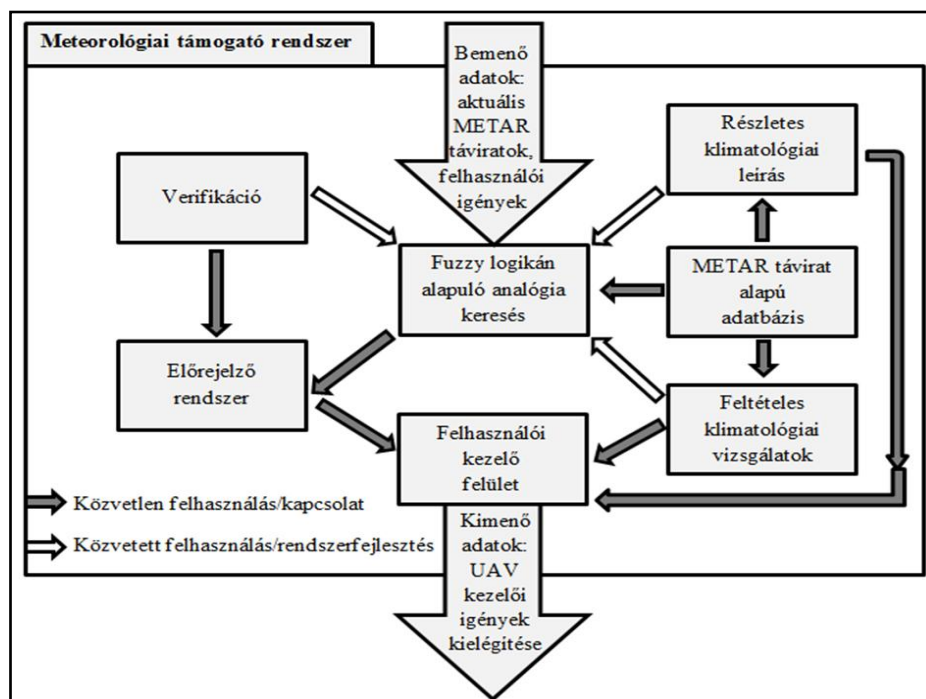
7. sz. ábra Integrált meteorológiai támogató rendszer sematikus ábrája [16]

### Statisztikus modul

Az előrejelző rendszer kialakítása előtt, elengedhetetlen volt valamilyen adattár kijelölése. Lehetőségeinket megvizsgálva, úgy véltük, hogy a legalkalmasabb adatokat a szabadon elérhető METAR táviratok tartalmazzák, amelyek célzottan az időjárás repülésmeteorológiai leírását szolgálják. Ezért a táviratok összegyűjtése után, kialakítottuk az igényeinknek

megfelelő adatbázist, mely az analógiás eljáráson alapuló előrejelző modul kezdeti feltételeit jelenti [17] [18].

Ezután már megkezdhattuk egy fuzzy logikán alapuló analógia-kereső eljárás kialakítását, mely egy konkrét időponthoz tartozó meteorológiai paraméterek kombinációjához (aktuális METAR távirathoz) keresi ki a felhasználó igényeinek megfelelően (elemek fontossági sorrendje) az adatbázis felhasználásával, a leginkább hasonló eseteket [19] [20] [21] [22]. Majd az eredmények egy ún. előrejelző rendszerbe továbbítódnak, ahol meghatározott statisztikai módszerek alapján, mely lehet például a hasonló esetek súlyozott átlaga, a program az egyes meteorológiai paraméterek lehetséges változásait jelzi előre, figyelembe véve az adott időpontokat megelőző „n” óra során elkezdődött tendenciákat (8. sz. ábra) [14; pp.193-214.][15][16].



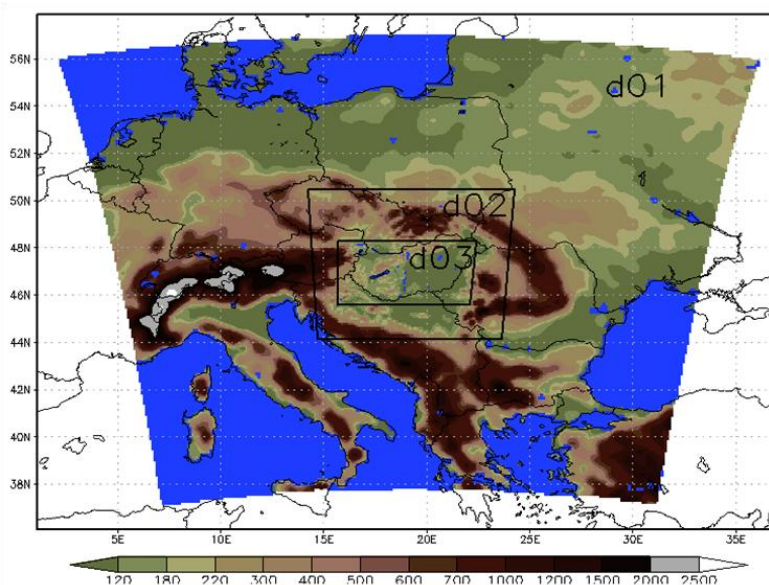
8. sz. ábra Meteorológiai Támogató Rendszer statisztikus alapokon nyugvó moduljának felépítése [15]

Az alkalmazhatóságra elvégzett vizsgálatok alapján az előrejelzett első nyolc órás időtartamban az eredmények jól korrelálnak a valóban bekövetkezett látástávolságokkal, azonban 8. óra után a görbék széttartása figyelhető meg, ami valószínűleg az eltérő dinamikai folyamatoknak köszönhető. Más országok is hasonló kutatási eredményeket kaptak. A WMO kiadványokban általában 6 órás előrejelzési intervallum az, amire a klasszikus módszereket alkalmazzák [15] [23]. A modell hátránya, hogy az adatbázis igény miatt, melyek csak adott földrajzi pontra elérhetőek, területi alkalmazhatósága korlátozott. De emellett ki kell emelni, hogy amennyiben az adott területre vonatkozóan rendelkezésre áll adatbázis, akkor inkorrekt előrejelzés esetén, rövid idő alatt elvégezhető a prognózis korrekciója. Ez nagyban elősegíti a meteorológiai támogatást.

## Numerikus modul

Az időjárási rendszer rendkívül érzékeny minden folyamatra, annak előrejelzése csak globálisan, azaz a teljes légkörre vonatkozóan hajtható végre. A Föld teljes légkörének összes folyamatát viszont nem áll módunkban nagy részletességgel modellezni, erre még a legkorszerűbb szuperszámítógépek is csak a repülésmeteorológia igényeitől jóval elmaradó felbontásban képesek. Ezért a globális előrejelzéseket szükséges leskálázni, azaz a vizsgált tartományra pontosítani nagyobb felbontásban, olyan folyamatok figyelembevételére, melyeket a globális modell nem volt képes megfogni. Erre a célra a közepes léptékű (mezoskálájú) időjárási modellek a megfelelő szoftverek, melyeket mintegy virtuális nagyítóként alkalmazhatunk a feladatra.

Numerikus előrejelző alrendszerünk egy ilyen széles körben alkalmazott, mezoléptékű időjárási modellre, a WRF (Weather Research and Forecasting Model) numerikus modellre épül. A WRF modell egy olyan nyílt forráskódú, szabadon hozzáférhető szoftver, mely kellően flexibilis, skálázható és alkalmazható a meteorológiai vizsgálatok széles tartományán [24]. A modell által közvetlenül nem vizsgálható folyamatok közvetett figyelembevételére számos úgynevezett, „parametrizációs séma” áll rendelkezésre [25], melyek segítségével több millió modell beállítási kombinációs lehetőség adódik a felhasználók számára. Két dinamikai alrendszerrel rendelkezik. Az első az NCAR által kifejlesztett Advanced Research WRF (ARW), amelyet elsősorban kutatási célokra használunk [26]. Kutatásaink során ARW alrendszer 3.5 verzióját alkalmaztuk [27], melyet a Kárpát-medencére optimalizáltuk. A modellben légköri folyamatokat leíró egyenletrendszer determinisztikus, ezért kezdeti feltétel szükséges ahhoz, hogy a rendszer egy későbbi állapotát meghatározzuk. A differenciálegyenlet megoldáshoz a kezdeti feltételek mellett peremfeltételeket is meg kell határozni. A Komplex Támogató Rendszer numerikus moduljának kezdeti feltételekként a GFS (Global Forecast Model) modell  $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ -os felbontású előrejelzett mezőit használtuk. Az ARW modell lehetőséget ad horizontálisan beágyazott (esetünkben teleszkopikus-domain) tartományok készítésére (9. sz. ábra).



9. sz. ábra Az alkalmazott domain rendszer földrajzi elhelyezkedése [27]

A WRF jelenlegi verziója a parametrizációs lehetőségek tekintetében igen tág teret enged a felhasználóknak, ezzel is alkalmassá téve modellünket a céljainknak leginkább megfelelő felhasználásra. Olyan WRF parametrizáció együttest kellett választani, amely kellő pontossággal közelíti, illetve figyelembe veszi a különböző mikrofizikai folyamatokat (felhőképződés, határreteg dinamika...).

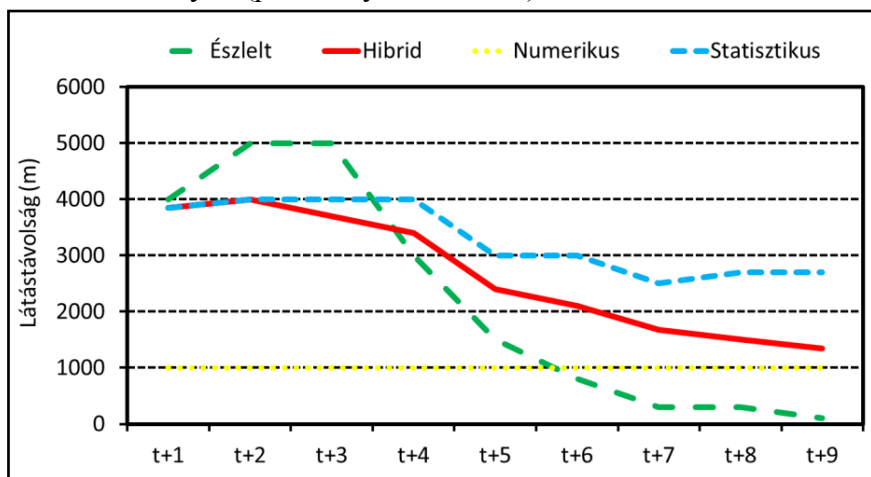
A modell futtatási eredményei között vannak direkt módon előálló és az ezekből kalkulált (utófeldolgozással) származtatott produktumok. Ez utóbbiak közé tartozik a látástávolság, felhőalap, turbulencia stb. is.

A numerikus előrejelzések előnye, hogy a modell domain földrajzi tartományán belül nincsenek területi korlátai, a prognózisok mindenhol előállíthatók. Azonban futtatás viszonylag ritkán 12 óránként történik. Ennek következménye, hogy olykor jóval korábbról származó futtatási eredmények állnak csak rendelkezésre. Így ha a modell előrejelzése sikertelen, akkor a prognózis korrekciójára csak a következő futtatás eredményei alapján van lehetőség.

### Hibrid előrejelző rendszer

A kialakításra kerülő szoftver jelentősége abban rejlik, hogy a statisztikus és numerikus outputok előnyeit és hátrányait szem előtt tartva ötvöztük őket, és így előállítottunk egy ún. hibrid prognózist, amely az előrejelzés sikertelensége esetén rövid időn belül korrigálható, hosszabb távon pedig megőrzi a numerikus modell azon előnyét, hogy képes a dinamikus változások előrejelzésére.

E hibrid modell alkalmazhatóságát, valamint szükségességére megfelelő magyarázatot nyújt a 10. sz. ábra, melyről egyértelműen látszik, hogy a valósággal (zöld szaggatott vonal) a legjobban a hibrid eredmények (piros folytonos vonal) korrelálnak [28].



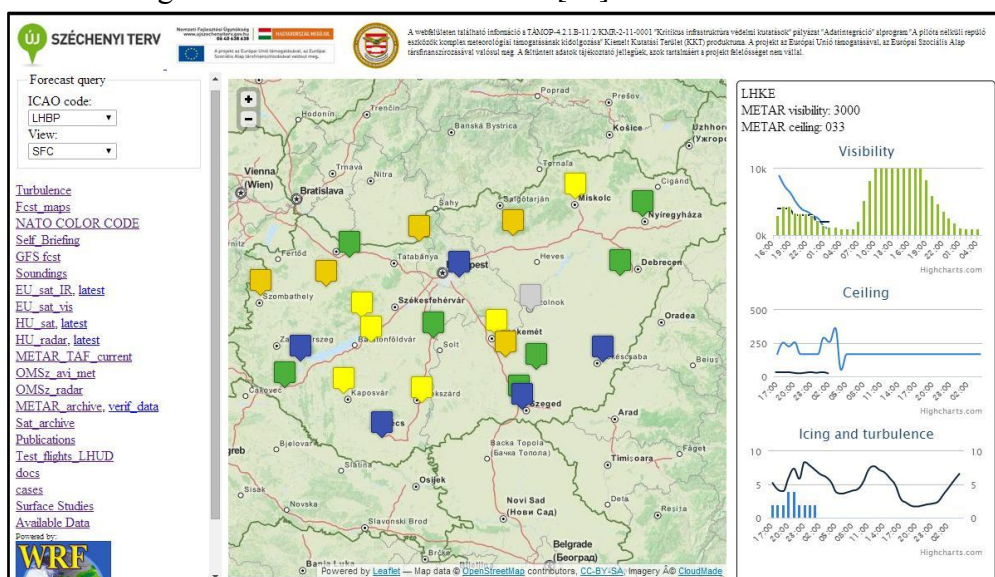
10. sz. ábra. Az észlelt és az egyes módszerek által előrejelzett látástávolság értékek [28]

### Utófeldolgozó (megjelenítő rendszer)

A meteorológiai modell kimenő adatok utófeldolgozási és megjelenítési eljárást igényelnek. A kimenő alapadatokból repülésmeteorológiai mennyiségeket kell származtatni, majd azokat oly módon megjeleníteni, kódolni, hogy a felhasználó, aki korlátozott informatikai lehetőségekkel rendelkezik, és a modell adatok olvasásában kevésbé jártas is hatékonyan tudja használni,

HADOBÁCS KATALIN: Új, repülésbiztonságot növelő prognosztikai eljárások kidolgozása és alkalmazhatóságának feltételei a hazai, katonai repülésmeteorológiai szolgálatoknál

értelmezni. Ennek érdekében egy publikus webfelületre kerülnek ki az utőfeldolgozást követően az adatok grafikusan és kódolt formában [16].



11. sz. ábra. A Komplex Meteorológiai Támogató Rendszer web felülete [29]

Természetesen a weboldalon keresztül elérhetőek a modell eredmények mellett műhold és radarképek, rádiószonda adatok is, melyek egy megfelelő prognózis elkészítéséhez nélkülözhetetlenek.

Összességében e webes megjelenítő rendszerről elmondható, hogy teljes mértékben alkalmas egy teljes körű repülésmeteorológiai prognózis elkészítéséhez.

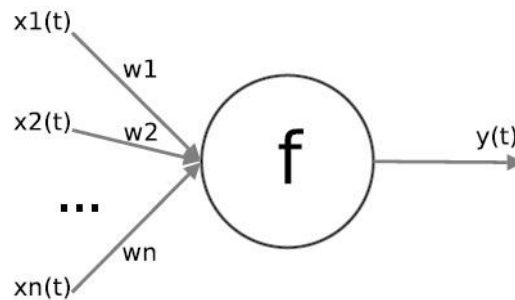
## NEURÁLIS HÁLÓZATOK

Az eddig bemutatott rendszer csak az első lépések egyike, melyek lehetőséget nyújtanak számunkra a meteorológiai előrejelzésében történő fejlődéshez. Az eddigi egyszerűbb statisztikai megközelítések mellett az informatika gyors fejlődésének köszönhetően olyan módszerek implementálása válik elérhetővé a kutatók számára, melyek még realisabb, bonyolultabb folyamatokat is tudnak kezelni, mint például a repülésre veszélyes időjárási jelenségek, melyeket sem az egyszerűbb statisztikai, sem a numerikus modellek nem tudnak megfelelően prognosztizálni. Egy ilyen hatékony, hazánkban még nem alkalmazott, de külföldön is gyerek cipőben levő eljárás a neurális hálókon alapuló szoftverek alkalmazása. Nagyjából 50 éve merült fel az az elmélet, hogy a természetes, "biológiai" neurális hálózatok mintájára is létrehozhatók 'számító' rendszerek. Azonban a számítástechnikai fejlettség akkor még nem volt megfelelő e rendszerek felépítésére. Az első tényleges kísérletek csak 20-25 éve következtek be, amikor már megfelelő informatikai fejlettség is rendelkezésre állt. A neurális számítástechnika mára önálló tudománnyá vált, amely szilárd elméleti alapokkal, egyre szélesebb alkalmazási körrel és egyre több alkalmazási tapasztalattal rendelkezik [30]. Az "új" számítási paradigma a természetből ellesett módon mintákból nyert tapasztalatok felhasználásával, tanulás útján alakítják ki feladatmegoldó képességüket. A felismerési feladatokon kívül azonban sok egyéb olyan probléma megoldásában is alkalmazhatók, ahol



jelenleg nem ismert algoritmikus megoldás, vagy ha van is ilyen, az annyira bonyolult vagy olyan sok műveletet igényel, hogy reálisan elfogadható idő alatt a mai legnagyobb teljesítményű számítógépekkel sem oldható meg. E "mesterséges" neurális rendszerek sok, egymással nagymértékben összekötött elemi műveletvégző egységből állnak, melyek párhuzamos működésük révén bonyolult feladatok igen gyors megoldására is képesek lehetnek [31].

A mesterséges neurális hálók az agyműködés legkisebb önálló egységei, a neuronok modellezése révén létrejött összetett hálózatokat szimulálva látnak el elemzési és feldolgozási feladatokat. Egy mesterséges neurális háló egyszerű számítási egységekből, mesterséges neuronokból áll, melyek jelekkel kommunikálnak egymás között [32][33].



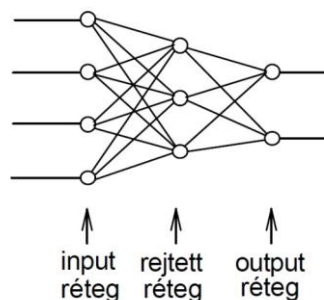
12. sz. ábra Általános neuronmodell. [34]

Az 12. sz. ábrán jól látszik, hogy a neuronmodellek mindegyike rendelkezik a következő tulajdonságokkal [34]:

- $n$  darab, időtől függő bemenet  $x_i(t)$ ,  $i=1, \dots, n$
- egyetlen időtől függő kimenet  $y(t)$
- a bemenetek súlyozásra kerülnek a kimenetre gyakorolt hatásuk alapján.  $w_i$  ( $w_i < 0$  esetén gátló,  $w_i > 0$  esetén serkentő)
- $y(t)$  valamilyen függvénykapcsolatban van a bemenetekkel, figyelembe véve a súlyokat  $y=f(x_1, x_2, \dots, x_n, w_1, w_2, \dots, w_n)$

Az egyes neuronmodellek összekapcsolva, azaz az egyik neuron kimenete egy másik neuron bemelete, neurális hálózatokat alkotnak. Két fő csoportot különítünk el [35]:

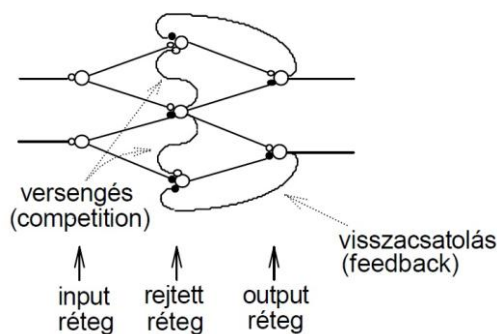
1. előreccsatol (hurokmentes) (13. sz. ábra):



13. sz. ábra Előreccsatolt neurális hálózat sematikus ábrája [35]



2. visszacsatolt hálózat (14. sz. ábra):



14. sz. ábra Visszacsatolt neurális hálózat sematikus ábrája [35]

A neuronok ugyanolyan vagy hasonló típusú műveleteket végeznek. Az azonos műveleti elemek alkotnak egy réteget. Meteorológiai alkalmazás során a szakirodalom szerint jellemzően egy rejtett réteget szoktak alkalmazni, mivel az adott feladatok megoldásánál így is megfelelően pontos információkhoz jutunk [36] [37].

Egy neurális hálózat felépítéséhez elengedhetetlen egy bemeneti (input) réteg, ahol az input jelek rendszer felé, a rejtett számítást végző rétegekbe való továbbítása történik. Valamint szükséges egy kimeneti réteg is, mely a felhasználó felé továbbítja az eredményeket [38].

A neurális hálózatok alkalmazását egy adott probléma megoldására mindig egy tanulási folyamat előzi meg, ugyanis pont ez az előnye az eddig operatíván alkalmazott módszerekkel szemben, hogy a múltbeli folyamatok ismeretében kerülnek módosításra a kezdetben véletlenszerűen kijelölt hálózati súlyok [39].

Több tanulási típus létezik annak függvényében, hogy ismert-e a kimeneti minta. Mivel a meteorológia területén általában adatbázisokon nyugvó futtatásokat végzünk, ezért ebben az esetben rendelkezésünkre állnak a kimeneti értékek, azaz egy adott bemenet esetén tudjuk, hogy mit szeretnénk eredményül kapni. Cél, hogy a kapott értékek és a várt eredmények között kicsi legyen a különbség. A két válasz közti különbséget használja fel a hálózat a tanulásához, azaz megindul a különbség minimalizálási folyamat. A tanulási és validálási folyamat befejezését követően a neurális hálózat alkalmazható a kutatások, vizsgálatok megkezdéséhez. Érdeemes megjegyezni, hogy ugyan jó gyakorlati eredményeket adhat a modell, de az esetek nagy részében nehezen kideríthető, hogy milyen fizikai kapcsolatokat is tárt fel illetve mit is tanult meg valójában [31][32].

Ennek ellenére a meteorológiai vizsgálatok [40][41][42] során kiemelkedő jelentőséggel bír az egyéb statisztikai eljárásokkal szemben, hogy a lineáris számítási elemek mellett megjelennek a nemlineáris, numerikus számítási folyamatok. Valamint másik fontos előnye, hogy adott problémáról mindig véges számú adat áll a rendelkezésünkre, továbbá az adatok által hordozott tudás sohasem teljes. Mégis neurális hálózatok képesek az adatokból nyert ismeretek általánosítására, mely azt jelenti, hogy hiányos, esetleg pontatlan ismereteket hordozó, legtöbbször zajos adatokból is kinyerhető alkalmazásukkal általános tudás. Ez a tudás azonban a feladat "tökéletes" megoldását rendszerint nem teszi lehetővé, viszont "jó" megoldás elérését biztosítja.

## TOVÁBBI KUTATÁSI CÉLKITŰZÉSEK

A hazai (katonai) repülésmeteorológiai gyakorlatban szinte teljesen hiányoznak a repülésre veszélyes időjárási jelenségekre vonatkozó előrejelzési produktumok. A cikkben bemutatott Meteorológiai Támogató Rendszer sem alkalmas még e jelenségek pontos, korrekt előrejelzésére. Ezért legfőbb célom olyan statisztikai eljárások kidolgozása, vagy már külföldön bevált módszerek Kárpát-medencére való adaptálása, melyek kimondottan e problémára jelenthetnek megoldást. Mindezt a neurális-hálók alkalmazásával tervezem elkészíteni. Így elsőként a legfontosabb feladat a meteorológia tudományágának megfelelő neurális háló típus, illetve annak beállításait kialakítani. Ehhez a MATLAB Neural Network Toolbox grafikus neurális hálózatok kezelő eszközét alkalmazom. [43].

Ezt követően a kidolgozott módszerek független statisztikai adatbázis és kísérleti mérési adatok felhasználásával tesztelésre kerülnek, majd az eredményeket széleskörű verifikációs vizsgálatoknak vetem alá, melyek várhatóan alátámasztják az új előrejelző eljárások alkalmazhatóságát.

## ÖSSZEGRZÉS

A repülésmeteorológiai előrejelzés az általános meteorológiai előrejelzésekhez képest lényegesen nagyobb pontosságú és részletesebb prognózist kell hogy szolgáltatson a felhasználók számára. A cikkben bemutatásra került eszközök, melyek jelenleg a Magyar Honvédség meteorológus szakembereinek rendelkezésére állnak egyre megbízhatóbb adatokat szolgáltatnak az általános időjárásra vonatkozóan, de a veszélyes jelenségek kielégítő prognózisához, valamint az ultrarövidtávú előrejelzések készítéséhez speciális modellek, módszerek szükségesek. A nemzetközi szakirodalom áttekintésével egyértelművé vált, hogy a modern kori kihívások teljesítéséhez a numerikus modellek mellett, a statisztikus alapokon nyugvó módszerek is elengedhetetlenek. Jelenleg hazánkban még ilyen eljárásokat nem alkalmaznak operatívan, ezért kutatásaink során kizárólag a nemzetközi gyakorlatra tudunk támaszkodni. A statisztikus, analógiás eljárásokon alapuló szoftver kialakítása, majd tesztelése során láthatóvá vált, hogy az előrejelzések pontosságát tovább növelhetjük, ha a numerikus modell adataival összefűzzük az analógiás előrejelzési outputokat. Kutatásaink, munkánk eredménye egy elő és utófeldolgozást is elvégző Repülésmeteorológiai Támogató Rendszer lett, mely a tesztfuttatások és verifikációjuk után bizonyította alkalmazhatóságát.

Az utóbbi évtizedek számítástechnikai és matematikai fejlesztései révén újabb és újabb, egyre fejlettebb módszerek, eszközök váltak elérhetővel a meteorológus szakembereknek is, így az egyszerűbb statisztikai megközelítések mellett, mint amelyen a kialakított Meteorológiai Támogató Rendszer is alapul egyre bonyolultabb algoritmusokat tudnak alkalmazni az összetettebb időjárási jelenségek még pontosabb leírásához. Egy ilyen új fejlesztés a neurális hálózat. E módszer óriási áttörést jelenthet a természettudományok területén, és a következő évtizedek meghatározó eszközévé válhat a meteorológiai kutatásokban.

## IRODALOMJEGYZÉK

- [1] METOC Effects Smart Book, – Homepage of the Federation of American Scientist, 2002. <http://www.fas.org> (2011.12.10.)
- [2] Czender Csilla (szerk.): *Kézikönyv meteorológiai asszisztensek részére*. MH GEOSZ, Budapest, 2009.
- [3] Tuba Zoltán és Kovács Edina: A katonameteorológus eszközei a repülés meteorológiai biztosításban az MH 86. Szolnok Helikopter Bázison, *Repüléstudományi Közlemények, Különszám*, 2011. [http://www.repulestudomany.hu/kulonszamok/2011\\_cikkek/Tuba\\_Zoltan\\_Kovacs\\_Edina.pdf](http://www.repulestudomany.hu/kulonszamok/2011_cikkek/Tuba_Zoltan_Kovacs_Edina.pdf) (2016.09.11.)
- [4] ICAO: *Meteorological Service for International Air Navigation, Annex 3 to the Convention on International Civil Aviation, 2007* <http://www.icao.int/> [2014-10-20]
- [5] Meteolux 4.5 felhasználói kézikönyv. Boreas Kft., Érd, 2004.
- [6] Virág József: *Sierra 2.5 felhasználói kézikönyv*. Veszprém, 2004
- [7] Götz, G.: *Káosz és prognosztika*. Országos Meteorológiai Szolgálat, Budapest, 2001.
- [8] A. Persson and F. Grazzini: *User Guide to ECMWF forecasts products: Meteorological Bulletin, 3.2 (version 4.0)*. ECMWF Reading, UK, 2007.
- [9] Ihász I.: *Operatív középtávú időjárás előrejelző modellezés az ECMWF-ben*. 29. Meteorológiai Tudományos Napok kiadványa, 2003. pp. 119-128.
- [10] *Országos Meteorológiai Szolgálat*. <http://www.met.hu/idojaras/elorejelzes/modellek/> (2016.09.05.)
- [11] W. C. Skamarock, J. B. Klemp, J. Dudhia, D. O. Gill, D. M. Barker, W. Wang, J. G. Powers: A Description of the Advanced Research WRF Version 2., NCAR Mesoscale and Microscale Meteorology Division, NCAR Technical Note. 2003. [http://www.mmm.ucar.edu/wrf/users/docs/arw\\_v2.pdf](http://www.mmm.ucar.edu/wrf/users/docs/arw_v2.pdf) (2015.08.03.)
- [12] *Hawk-3 felhasználói kézikönyv*, OMSZ, Budapest, 2015.
- [13] *NAMIS X Premium User Training Guide*, Met Office, 2012.
- [14] Dr. Békési B., Dr. Bottyán Zs., Dr. Dunai P., Halászné dr. Tóthy A., Dr. Makkay I., Dr. Palik M., Dr. Restás Á., Dr. Wühl T.: *Pilóta nélküli repülés profiknak és amatőröknek.*, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, 2013. p. 321.
- [15] Hadobács K., Tuba Z. Wantuch F., Bottyán Zs., Vidnyánszky Z.: A pilóta nélküli légi járművek meteorológiai támogató rendszerének kialakítása és alkalmazhatóságának bemutatása esettanulmányokon keresztül., *Repüléstudományi Közlemények, XXV. évfolyam, 2. szám, 2013. pp. 405-421.* [http://www.repulestudomany.hu/kulonszamok/2013\\_cikkek/2013-2-31-Hadobacs\\_Katalin\\_es\\_a\\_tobbiek.pdf](http://www.repulestudomany.hu/kulonszamok/2013_cikkek/2013-2-31-Hadobacs_Katalin_es_a_tobbiek.pdf) (2014.02.17.)
- [16] Bottyán Zs., Gyöngyösi A.Z., Wantuch F., Tuba Z., Kurunczi R., Kardos P., Istenes Z., Weidinger T., Hadobács K., Szabó Z., Balócz M., Varga Á., Biróné K. A., and Horváth Gy.: Measuring and modeling of hazardous weather phenomena to aviation using the

Hungarian Unmanned Meteorological Aircraft System (HUMAS), *IDŐJÁRÁS*, Vol. 119, No. 3., 2015. pp. 307-335.

Bottyán Z., Wantuch F., Tuba Z., Hadobács K., Jámbor K.: Repülésmeteorológiai klíma adatbázis kialakítása az UAV-k komplex meteorológiai támogató rendszeréhez. *Repüléstudományi Közlemények*, XXIV. évfolyam, 3. szám, 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)  
(2014-10-20)

[17] Tuba Z., Wantuch F., Bottyán Z., Hadobács K., Jámbor K: Repülésmeteorológiai klíma adatok felhasználásának lehetséges aspektusai pilóta nélküli repülőeszközök (UAV-k) meteorológiai támogatásában, *Szolnoki Tudományos Közlemények*, 16. évfolyam, 2012. pp 192-197.

[18] B. K. Hansen: A Fuzzy Logic-Based Analog Forecasting System for Ceiling and Visibility. *Weather Forecasting*, 22, 2007. pp. 1319-1330.

[19] D. Riordan, B. K. Hansen: A fuzzy case-based system for weather prediction, *Engineering Intelligent Systems*, 10, 3, 2002. pp139-146.

B. K. Hansen, D. Riordan: Weather Prediction Using Case-Based Reasoning and Fuzzy Set Theory.  
[http://collaboration.cmc.ec.gc.ca/science/arma/bjarne/papers/paper\\_2001.pdf](http://collaboration.cmc.ec.gc.ca/science/arma/bjarne/papers/paper_2001.pdf)  
(2012-10-24)

[20] L. A. Zadeh: Fuzzy sets. *Information and Control*, 8, 1965. pp. 338-353.

[21] WMO CAeM Working Group: Methods of interpreting numerical weather prediction output for aeronautical meteorology. WMO- No.770 Technical NOTE 195

[22] W. Wang, C. Bruyère, M. G. Duda, J. Dudhia, D. Gill, H-C. Lin, J. Michalakes, S. Rizvi. and X. Zhang: ARW Version 3 Modeling System User's Guide, July 2009, NCAR MMM Tech. Note. 2009.

[23] D. J. Stensrud: 2007: Parametrization Schemes, Key to Understanding Numerical Weather Prediction Models. Cambridge

[24] W. C. Skamarock, J. B. Klemp, J. Dudhia: Prototypes for the WRF (Weather Research and Forecasting) model. 2001.  
[http://www.mmm.ucar.edu/individual/skamarock/meso2001pp\\_wcs.pdf](http://www.mmm.ucar.edu/individual/skamarock/meso2001pp_wcs.pdf) (2015.04.02.)

[25] Gyöngyösi A. Z., Kardos P., Kurunczi R. and Bottyán Z.: Development of a complex dynamical modeling system for the meteorological support of unmanned aerial operation in Hungary. Proceedings of International Conference on 28 – 31 May 2013, Atlanta, GA, USA, 2013.

Tuba Z.: Pilóta nélküli repülőeszközök (UAV-k) és a látástávolság egyes kérdései. *Repüléstudományi Közlemények*. XXVI. évfolyam, 2. szám, 2004.  
[http://www.repulestudomany.hu/kulonszamok/2014\\_cikkek/2014-2-09-0158\\_Tuba\\_Zoltan.pdf](http://www.repulestudomany.hu/kulonszamok/2014_cikkek/2014-2-09-0158_Tuba_Zoltan.pdf) (2015.05.02.)

[26] <http://meteor24.elte.hu/wrf/>

HADOBÁCS KATALIN: Új, repülésbiztonságot növelő prognosztikai eljárások kidolgozása és alkalmazhatóságának feltételei a hazai, katonai repülésmeteorológiai szolgálatoknál

- [27] Horváth Gábor: Neurális hálók és műszaki alkalmazásaik. Műszaki Egyetem, 2006
- [28] Fazekas István: Neurális hálózatok. Debrecen, 2013. url: [http://w1.inf.unideb.hu/documents/19512/90610/Neurális\\_halozatok\\_v8.pdf/821f6e89-40f9-4ec6-8f2d-61de3e6d4bf8](http://w1.inf.unideb.hu/documents/19512/90610/Neurális_halozatok_v8.pdf/821f6e89-40f9-4ec6-8f2d-61de3e6d4bf8)
- [29] Anil K. Jain, Jianchang Mao: Artificial Neural Networks: A Tutorial. *Computer*, 29, 3, 1996, pp. 31-41.
- [30] Horváth Gábor: *Neurális hálók és műszaki alkalmazásaik*. Műszaki Egyetem, 2006
- [31] Bérci Norbert: *A neurális hálózatok alapjai*. 2005. [http://virt.uni-pannon.hu/index.php/component/docman/doc\\_download/55-neuralishalozatok](http://virt.uni-pannon.hu/index.php/component/docman/doc_download/55-neuralishalozatok) (2016.02.11.)
- [32] Dr Dudás László: *Mesterséges intelligencia*. <http://ait.iit.unimiskolc.hu/~dudas/MIEAok/MIEa1.PDF> (2015.02.23.)
- [33] I. Kaastra, M. Boyd: Designing a neural network for forecasting financial and economic time series. *Neurocomputing*, 10, 1996.
- [34] J. O. Katz: Developing neural network forecasters for trading. *Technical Analysis of Stocks and Commodities*, 8, 1992, pp 58-70.
- [35] B. Kröse, P. van der Smagt: An introduction to neural network. University of Amsterdam, 1996
- [36] Jeanett Lawrence: Introduction to Neural Networks. California Scientific Software, *Grass Valley*, 1991, p 203.
- [37] D. W. McCann: NNICE – A neural network aircraft icing algorithm. *Environmental Modelling & Software*, 20, 2005, pp 1335-1342.
- [38] J. B. Brenners, S. Michaelides: Probabilistic forecasts of rare visibility events using neural networks, Short range forecasting methods of fog, visibility and low clouds. Workshop Proceedings, 2005.
- [39] D. Fabbian, R. De Dear, S. Lellyett: Application of Artificial Neural Network Forecasts to Predict Fog at Camberra International Airport , *Weather and Forecasting*, 22, 2007, pp. 372-381.
- [40] Stoyan Disbert (szerk.): *MATLAB*, Typotex, Budapest, 2011.