

IDŐJÁRÁS

AZ ORSZÁGOS METEOROLÓGIAI SZOLGÁLAT FOLYÓIRATA

88. ÉVF. ★ 2. SZÁM ★ 1984. MÁRCIUS—ÁPRILIS

TARTALOM

Wirth Endre: Jégesőelhárítás Magyarországon	57
Anand Reddy, K.: Eltérő vetésszerkezetű parcellák evapotranspirációja és összefüggésük néhány éghajlati módszerrel számított értékkel (angolul)	86
Dévényi Dezső—Sallai Márta: Műholdas információk felhasználása a meteorológiai mezők objektív analizisében. I. A műholdas információ bevonásának hatása az interpoláció elméleti hibájára	92
Balog Mihály—Gulyás Ottó—Szentimrey Tamás: Meteorológiai megfigyeléssorozatok szélső értékeinek statisztikája	101
Györe Simon—Sövény Ferenc: Konvektív cellák mozgásának statisztikai elemzése	109
Irodalom	119

CONTENTS

Wirth E.: Hail prevention in Hungary	57
Anand Reddy, K.: Evapotranspiration values obtained from planting patterns and their relationship with empirical estimates based on climatological approach (in English)	86
Dévényi D.—Sallai M.: The use of the satellite information for the objective analysis of the meteorological fields. I. The effect of satellite information on the theoretical error of optimum interpolation	92
Balog, M.—Gulyás O.—Szentimrey T.: Statistical of extrem values of meteorological data-series	101
Györe S.—Sövény F.: A statistical analysis of cell motion	109
Literature	119

JOURNAL OF THE HUNGARIAN METEOROLOGICAL SERVICE

VOL. 88. ★ NO. 2. ★ MARCH—APRIL 1984. ★ BUDAPEST

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata
Journal of the Hungarian Meteorological Service

SZERKESZTŐ BIZOTTSÁG – EDITORIAL BOARD

AMBRÓZY P. (Budapest)
ANTAL E. (Budapest)
BENGTSSON, L. (Reading)
BÖHME, W. (Potsdam)
BUDYKO, M. I. (Leningrad)
FISHER, B. (Leatherhead)
GEORGI, H. – W. (Frankfurt a. M.)
GÖTZ G. (Budapest)
GULYÁS O. (Budapest)
HAMAN, K. (Warsawa)
HUSAR, R. (St. Louis, Missouri)
LOGVINOV, K. (Kijev)
MAJOR GY. (Budapest)
MESINGER, F. (Beograd)

PÉCZELY GY. (Szeged)
PRUPPACHER, H. R. (Mainz)
RÁKÓCZI F. (Budapest)
RENOUX, A. (Paris-Créteil)
ŠAMAJ, F. (Bratislava)
SPÄNKUCH, D. (Potsdam)
STELCZER K. (Budapest)
SZEPESI D. (Budapest)
TAYLOR F. W. (Oxford)
TÄNZER T. (Budapest)
VARGA-HASZONITS Z. (Budapest)
VITEK, V. (Praha)
WHELPLEDALE, D. M. (Downsview, Ont.)
WIRTH E. (Pécs)

Elnök – Chairman of the Editorial Board:

MÉSZÁROS ERNŐ (Budapest)

Szerkesztő – Editor:

LŐRINCZ ANNA (Budapest)

Szerkesztőség: Budapest, Postafiók 38. 1525

Előfizetés: 1 évre 228 Ft. Megrendelhető: Az Országos Meteorológiai Szolgálat Pénzügyi Osztályán
Budapest, Kitaibel Pál utca 1. 1024. Levélcím: Budapest, Pf. 38. 1525. Megjelenik kéthavonként.

Egyes szám ára 38 Ft

Editorial Office: H-1525 Budapest P. O. B. 38 — Hungary. This journal, published bimonthly
can be purchased from the distributor: KULTURA, H-1389 Budapest P.O.B. 149 — Hungary

The actual subscription rate is determined by the distributor

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata. 88. évf. 2. szám, 1984. március – április
Journal of the Hungarian Meteorological Service, Vol. 88. No. 2. March – Apr. 1984. Budapest

Jégesőelhárítás Magyarországon

WIRTH ENDRE, Országos Meteorológiai Szolgálat, Alkalmazott Felhőfizikai Központ,
H-7601 Pécs, Pf. 353

Hail prevention in Hungary. The aim of the paper is to outline the introduction of hail prevention in Hungary, which was necessitated by the serious and frequent losses in crops due to hail, and secured by the possibilities of the physically plausible models of hailfall and hail suppression, elaborated in the Soviet Union, and by the results widely published in that country and at international conferences. First, an historical review is presented of the early method by gun-fire at the turn of the century in Europe and in Hungary; then the ideas of hail formation and prevention are shortly described for the periods before and after 1938, the beginning of modern theories. After a critical examination of the present concepts (and their shortcomings) of hail suppression, a summary is given of Sulakvelidze's model and the principle of his concept of beneficial competition. An enumeration of the most important events preceding the first artificial intervention in 1976 follows, then the target area, the applied method and the theoretical, instrumental, operational and personal problems of the hail suppression are discussed in detail. The last section is dealing with the perspectives of this activity in Hungary, with the serious conclusion that – though the economical analysis seems to demonstrate a 55–63% effectiveness of suppression at the 95% significance level – the gaps in our knowledge of the natural processes of hail formation and those of the physical consequences of the seeding itself compel us to apply a higher level of technical development, that is: to improve the qualitative aspects of this type of weather modification, instead of the fast enlarging of its range.

✱

Jégesőelhárítás Magyarországon. A dolgozat célja a jégeső elleni védekezés magyarországi bevezetésének összefoglaló ismertetése. A bevezetés szükségességét a jelentős és rendszeresen visszatérő jégkárok indokolták, lehetőségét viszont a Szovjetunióban kidolgozott jégesőképződési, ill. az ezen alapuló védekezési modell és a széleskörűen publikált eredmények ígérték. A védekezésre irányuló próbálkozások történeti áttekintése, majd a jégesőképződési elméletek és a védekezési koncepciók 1938 előtti és utáni fejlődésének bemutatása után a korszerű beavatkozási hipotéziseket és a szovjet modelleket ismertetjük. Ezután felsoroljuk a hazai jégesőelhárítást közvetlenül megelőző időszak legfontosabb eseményeit, majd rátérünk a védekezés helyszínének és az alkalmazott módszernek a részletesebb leírására. A következőkben elemezzük a jégesőelhárítás elméleti, műszaki, operatív és személyi nehézségeit, majd – az utolsó részben – e tevékenység hazai perspektíváit igyekszünk felvázolni. Az eddigi tapasztalatokból levonható legfontosabb következtetés az, hogy – bár a gazdasági elemzés 55–63%-os hatékonyságot látszik igazolni – a természetes jégesőképződési folyamatok és a magvasítás fizikai következményeivel kapcsolatos ismereteink hiányosságai miatt a következő időszakban a védekezésnek nem a mennyiségi, hanem feltétlenül a minőségi oldalait kell fejlesztenünk.

✱

”Vivos voco, mortuos plango, fulgura frango”
”(Az élőket hívom, a holtakat siratom, a villámot megtöröm”)
! (Harangfelirat)

Az Országos Meteorológiai Szolgálat a „szovjet módszer” alkalmazásával 1976-ban indította meg a jégeső elleni védekezést Magyarországon, Baranya megye pécsi, mohácsi és siklósi járásaiban.

Az időpont – amikor (1973-ban) a döntés megszületett és a szükséges pénzügyi fedezetet is biztosították – kedvező volt ennek az újszerű szolgál-

tatásnak a bevezetésére. A megvalósításnak ui. nemcsak a szükségessége volt nyilvánvaló, hanem a lehetősége is fennállt, mégpedig a korábbi próbálkozásokhoz képest jóval fejlettebb elvi és műszaki alapon. A védekezés *szükségességét* a jelenleg okozta károk (Wirth et. al., 1984) indokolták, amelyek nagyságrendje Baranyában 100 millió forintos volt. A *lehetőséget* viszont a Szovjetunióban kidolgozott beavatkozási módszer és az ezzel elért, széleskörűen publikált, 70–100% közötti kárscökkenési eredmények ígérték (Szulakvelidze, 1967; Gajvoronszkij et. al., 1967; Karcivadze, 1967 stb.), s amelyeket a szovjet szakirodalomban azóta is többször megerősítettek (pl. Burtsev, 1976; Burtsev, 1980 stb.).

A jégeső okozta károkról megemlíjtük, hogy az *Állami Biztosító (ÁB)* Magyarországon a hatvanas években mintegy 350–500 millió (Bálint és Wirth, 1970), a következő évtizedben viszont már kb. 1,5 milliárd forintnyi kártérítést fizetett évente a mezőgazdasági nagyüzemeknek. Ez az átlagos kártérítési összeg nem tartalmazza az ún. egyéb (a következményes, az 5% alatti, a kistermelőknek okozott stb.) károkat (Bálint et. al., 1969). Igaz ugyan, hogy e látszólag jelentékeny összeg a mezőgazdaság termelési értékének csupán 1–2 %-át teszi ki, a további fejlődés mégis feltételezi és szükségessé teszi a különböző károkozó tényezők (mint pl. a jégeső) hatásának csökkentését. Ez annál is inkább érvényes megállapítás, mert a fajlagos (területegységre jutó) termelési érték növekedésével a jégesők relatív veszélyessége is egyre fokozódik.

A jégeső elleni védekezéstről rendelkező 2006/1976. (II. 4.) számú Minisztertanácsi határozat a kísérleti időszakot három esztendőben jelölte meg. Ennek végén (1969-ben) az ÁB értékelte az eredményeket Baranyára, ill. az ennél kisebb (kb. bruttó 120 000 ha-nyi) *védett területre (VT)* vonatkozó kárstatisztikák alapján. Az előző öt év, mint bázisidőszak átlagkárához képest összesen 200 mFt (a VT-re kb. 140–160 mFt) tiszta megtakarítás volt kimutatható (Földvári és Wirth, 1979).

Az ezután kibocsátott 2008/1979. (IV. 11.) számú Minisztertanácsi határozat – többek között – kimondta, hogy: „... a jégesőelhárító rendszer üzemelését véglegesíteni kell, és növelni kell a védelem alá vont területeket és a védekezés hatékonyságát”.

Ennek keretében ma már befejezett tényként beszélhetünk a baranyai *Rakétás Jégesőelhárító Egység* (az 1. számú *RJE*) 4 új állomással történő megerősítéséről: továbbá a Bács-Kiskun megyei, 2. számú *RJE* beruházásának 1983. évi indulásáról.

A védekezés gazdasági hatásainak pontosabb jellemzésére ma már hétévi adatsorok segítségével nyílik lehetőség. Az ezzel kapcsolatos vizsgálatok eredményeit a következőkben foglalhatjuk össze: az évi *átlagos gazdasági megtakarítás (ÁGM)* mintegy 50 mFt (a megtakarítás hét év alatt összesen: 347 mFt); a *gazdasági hatékonyság (GH)* legvalószínűbb értéke 55–63% között mozog; a *rentabilitás (R)* pedig közel 300%-os volt (Wirth et. al., 1984).

Bár a felsorolt eredmények nem érik el a szovjet szakirodalomban közölt és világszerte gyakran idézett, átlagosan 86%-os kárscökkenést (Burtsev, 1980) gazdaságilag mégis egyértelműen indokolják e tevékenység folytatását és kiterjesztését.

A következtetések szervezeti-szervezési szempontból sem kedvezőtlenek. Úgy tűnik ugyanis, hogy a szovjet-moldáviai modell alapján (Szulakvelidze, 1967; Gajvoronszkij et. al., 1967; Wirth, 1969, stb.) sikerült azokat az alapvető hatósági előírásokat teljesíteni, ill. szakmai és szervezési-személyi követelmé-

nyeket kielégíteni, amelyek együttese a védekezés eredményes végrehajtásának, ha nem is tökéletesen elégséges, de mindenképpen szükséges feltételét alkotja.

Az összkép tehát mind gazdasági, mind technikai-szervezési oldalról kedvezőnek, de legalábbis kielégítőnek látszik. Mégis, legalább három objektív körülmény miatt indokolt az óvatosság, mielőtt a jégesőelhárításról általában, az alkalmazott módszerről pedig konkrétan levonnánk a végleges következtetéseket. Az egyik: a jégesők nagy, természetes változékonysága, ami elméletileg nem zárja ki annak lehetőségét, hogy a fenti eredmények véletlenszerűen alakultak ki; a másik: az egyértelműen megállapított összefüggések hiánya a védekezés fizikai hatásai és gazdasági következményei között (Wirth et. al., 1984); végül a harmadik: a beavatkozások koncepciójában és végrehajtásában rejlő, a zivatarok szerkezetéhez és a jégesőképződés komplex folyamataihoz képest igen jelentős egyszerűsítések tudata (Wirth, 1980). (Bár az egyszerűsítések nem szükségképpen rosszak, jogosságukat célszerű lenne közvetlen fizikai mérésekkel támogatni, erre azonban nincs lehetőségünk; mint ahogyan arra sem, hogy a magvasítás hatásait közvetlenül mutassuk ki.)

Tekintettel arra, hogy az *Időjárás* hasábjain még nem jelent meg átfogó ismertetés a jégeső elleni védekezésről, az alábbiakban igyekszünk e hiányt pótolni. Ezért röviden foglalkozunk a jégesőelhárítás történetével; a védekezés előzményeivel a Meteorológiai Szolgálatnál; a jégesőelhárítás helyszínének, továbbá a módszer kiválasztásának szempontjaival; a beavatkozások fizikai alapjaival, módszerével és technikai lebonyolításával; a szakmai és egyéb (műszaki stb.) nehézségekkel; végül a védekezés hazai perspektíváival.

1. A jégeső képződése és módosítási kísérletei: az 1938 előtti időszak

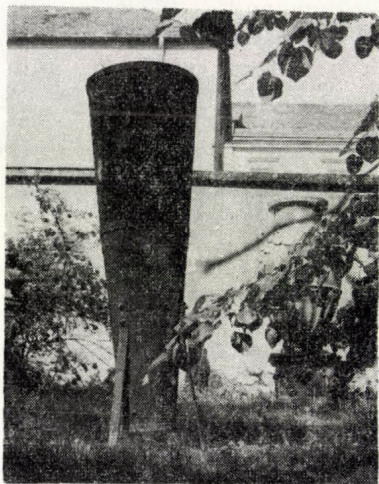
Elmondhatjuk, hogy a jégeső az a természeti jelenség (vagy csapás), amelyről igaz az, hogy előbb próbáltak meg védekezni ellene, mintsem bármit is tudtak volna róla. A jégszemekre vonatkozó első morfológiai ismeretek ugyanis elég újkeletűek: valószínűleg 1908-ból *Volta*-tól származnak (Pruppacher és Klett, 1978), aki úgy találta, hogy a jégrészecskék középpontjában kicsiny, „hóból álló tömeg” van. (Ez megfelel jelenlegi elképzeléseinknek, amelyek szerint a jégeső-embrió ilyen, ún. *graupel*-nek — hógala-csinnak — nevezett kristály-agglomerátum is lehet.) A jégszemek áttetsző és átlátszatlan rétegekből álló szerkezetét elsőként *Walter* és *Hortling* tanulmányozták mikroszkóppal, és ők fedezték fel az átlátszatlan rétegek kialakulását okozó levegőbuborékokat is (Pruppacher és Klett, 1978).

A jégrészecskék kialakulásának minőségi képét — a kor tudományos színvonalát és a felhők megfigyelésének akkori lehetőségeit messze meghaladóan — már a XVIII. században felvázolták. *Marcellin Ducarla Bonifas* 1780-ban meglepő éleslátással a következőket írja: „a levegőoszlopok, amelyek a környező levegőhöz képest erősebben felmelegszenek, hevesen fölemelkedhetnek olyan magasságokig, ahol a hőmérséklet elég alacsony ahhoz, hogy a kondenzációs termékek kicsiny hórészecskékké fagyjanak meg, amelyek azután a párából és a túlhűlt vízcseppekkel való ütközésekkel tovább növekszenek mindaddig, amíg csak elég nehézzé válnak ahhoz, hogy visszahulljanak a földre” (Pruppacher és Klett, 1978). Ezt az elképzelést — amelyhez hasonlót abban az időben és azóta is többen ismételték — lényegében ma is helyesnek fogadhatjuk el. Az a körülmény, hogy a részletekben csak *Schumann* (1938), majd *Langmuir* (1948) számításai után következett be jelentősebb fejlődés, két okkal magyarázható.

Az egyik az, hogy a felhők „mikrofizikai” folyamataival kapcsolatos kutatás irányát hosszú időre meghatározta a *Bergeron-féle* (1935) *elmélet*, amely a csapadék létrejöttét az ún. „szublimációs”, mai szóhasználattal „*depozíciós*” magvakon képződő jégkristályok keletkezéséhez kötötte. Emiatt a jégesőképződésben döntő fontosságú ütközéses növekedési folyamatok tanulmányozása a negyvenes évek végéig erősen háttérbe szorult. A másik, hogy a technikai fejlődés — elsősorban a repülőgép és a radar megjelenése — csak a második világháború folyamán tett lehetővé olyan közvetlen, ill. közvetett meg-

figyeléseket, amelyek bizonyították, hogy a jégkristály-mechanizmus nem kizárólagos módja a csapadék képződésének. („Meleg” — teljes egészükben pozitív hőmérsékletű — felhőkből is tapasztaltak ui. csapadék hullást.) A méréseken alapuló modellek és elméleti munkák arra is rámutattak, hogy a gravitációs koaguláció hatékonysága függ a felhő saját cirkulációs viszonyaitól is (l. pl. Ludlam, 1963; Szulakvelidze, 1967). Mielőtt azonban rátérnénk annak a korszerűbb, szovjet modellnek az ismertetésére, ami a védekezés jelenlegi elméleti alapjával szolgál, felvázoljuk a „jégesőelhárítás” rövid történetét.

A zivatarfelhőt és következményeit: a villámlást, szélrohamokat és a jégesőt már évezredek óta megpróbálják befolyásolni. Pausaniás szerint a hettiták i.e. 1400-ban nyilakat lőttek ki a „zivatarfelhőket hajtó démonok” ellen; Leonardo da Vinci pedig a mocsarak és ágyúk robbantó hatásáról számol be, ami „szétszórja” a zivatarfelhőket



I. ábra -- Fig. 1: „Viharágyú” a század elejéről (Janus Pannonius Múzeum, Pécs) — Cloud-cannou from the turn of the century. (Janus Pannonius Museum, Pécs)

(List, 1979). A „zivatar elé harangozás” talán XV. században kialakuló szokásának háttérben valószínűleg nemcsak az imára való buzdítás, hanem a hanghullámok fizika hatásába vetett hit is fellelhető (lásd a mottót). Bár az egyházi és világi hatalmak egyaránt betiltották, a harangozást ma is sok helyütt gyakorolják. Ennek „továbbfejlesztését” jelentette a „lövöldözés”: ágyúval, puskával, vagy egyéb durranó szerkezetekkel. Meglepő, de tény, hogy ilyesmi még manapság is előfordul, annak ellenére, hogy tilalmi Mária Terézia óta van érvényben, aki szigorúan büntette a lövöldözésen rajtakapott embereket. Franciaországban a múlt század elején pl. némely vidéken évente 4–5 mázsa lőport is elhasználtak az ágyúkkal és mocsarakkal folytatott lövöldözésre. A mocsárágyúzás igazi „új hullámát” azonban Stiger Alfred, az osztrák Windisch-Feistritz polgármestere indította el. Stiger 1896-ban — a régi hagyományokat az „új technika” segítségével felelevenítve — saját birtokán, szőlői védelmére alkalmazta azt a módszert, ami azután rohamosan terjedt el Ausztriában, Olaszországban, Svájcban és hazánkban is. (Ilyen viharágyút az I. ábránk mutat be.) Ezek többnyire lőport, vagy valamilyen robbanóanyagot tartalmaztak. A kúpszerűen táguló csőből elsütés után örvénygyűrű tört elő, amelynek mechanikai erejét és stabilitását vízszintesen elsütött ágyúkkal hatásosan demonstrálták. (A néhány száz méterre felállított kartonpapírt az örvénygyűrű széttépte.) Nyilván ez volt annak a hiedelemnek az alapja, hogy a hatás a jégesőképződési tartományokig terjed föl és a kialakult jégzemeket mechanikailag széttördeli. Ennek ellenére Sávoly (1900), aki könyvecskéjében részletesen beszámol a viharágyúzás kérdéseiről, őszintén bevallja: „...ha a lövések hatásának természetét akarjuk megmagyarázni, úgy szintén előre kell bocsátani, hogy erre vonatkozó ismereteink lehetőleg még hiányosabbak, mint a jégesőképződésre nézve”. Sávoly, aki sokféle külföldi és magyar gyártmányú viharágyút kipróbált, hangsúlyozta: a legjobb az Emmerling-féle magyar, ún. „dörreges” ágyú, amelynek töltete a közelebről nem részletezett összetételű „pyrolith” elnevezésű robbanóanyag.

Felső-Olaszországban 1899-ben már kb. 2000 (!) viharágyú működött (a legtöbb, 443 db, Vicenza térségében, ahol ma egy kereskedelmi felhőmagvasító szervezet, a

„SOREM” tevékenykedik). Ugyanebben az évben kongresszust hívtak egybe Casale Monferrato-ba, amelyen 560 érdeklődő vett részt, és amelynek díszelnöke *Stiger Alfred* volt. A kongresszus egyetértett abban, hogy „...valahányszor az ágyúkkal (a védekezést) kellő időben megkezdtek, a jégeső elhárítása kivétel nélkül mindig sikerült”... „A referensek azonban nem hamarkodtak; ítéletüket oda mérsékeltek, hogy a viharágyúzás első kísérleti éve annyiban reményteljes eredményre vezetett, amennyiben imádkozással föl lehet tételezni, hogy a megkezdett út a jégesveszélynek viharágyúzással való legyőzésére sok biztatót nyújt.”

„A tudós tanárok ítéletének eme elővigyázatos formája azonban nem igen tetszett a praxison keresztülment laikusoknak. Kijelentették, hogy a viharágyúzás eredményeiben tovább kételkedni nem lehet; őket a tények erről meggyőzték és nekik teljesen mindegy a tényekkel szemben, hogy vajon a tudósok meg tudják-e magyarázni a dolgot vagy sem”... „Mégis sikerült a következő enyhített határozatot elfogadtatni:

Azon eredmények figyelembe vételével, amelyeket a stájerországi... stb. lövőkísérletekkel értek, a kongresszus meg van győződve, a) hogy a viharágyúzással jó eredményt ígérő útra léptünk a jégeső elhárítása fontos problémájának megoldásában; b) hogy az ezen évben elért eredmények többet ígérők egyáltalán nem is lehetnek volna; c) óhajtja a kongresszus, hogy azon vidékek, amelyek az első kísérletben részt vettek, utat és módot találjanak, hogy a védekezést a szerzett tapasztalatok alapján tökéletesítsék.”

Sokatmondó megállapítások, amelyek hatása hazánkban sem maradt el. *Darányi Ignác* földművelésügyi miniszter felkérte a Meteorológiai Intézetet, hogy tevékenységét ebbe az irányba is terjessze ki. Az igazgató, *Konkoly Thege Miklós* az állomások felállításával és szervezésével *Raum Oszkár* (1900) intézeti asszisztentst bízta meg, aki még ugyanebben az évben hét „jégeső-fészek” területén szervezett meg védekező hálózatot — Zalában kettőt, Vas, Fehér, Pest, Zemplén és Arad megyékben egyet-egyet — elsősorban a szőlő- és gyümölcskultúrák előtt nyugaton, délnyugaton telepített állomásokkal. Az általa összeállított „Utasítás...”-ban leírja a „viharágyú-állomást”, a „jelzőállomást”, a „lövőtelepet” és a „védekező rajvonalat”; ismerteti a „védekezés” módját a mozaras és a „dörrekes gyorstüzelő” ágyúkkal és részletezi az állomások kezelőinek, továbbá a lövőtelep felügyelőjének kötelességeit. A hivatalos lépésekkel párhuzamosan — igen gyorsan — kisebb ipar jött létre az ágyúk gyártására; 1900 közepére már ezernél is több ágyút készítettek, nagyrészt hazai felhasználásra.

A következő évi, Páduában megtartott kongresszus mintegy 1000 résztvevőjének lelkesedése a határozottabb fogalmazásban is kifejeződött, hiszen: „... a viharágyúknak rendkívüli hatását a jégverés elleni védekezésnél megcáfolhatatlanul bebizonyítottnak ismerté fel...” A meteorológus és fizikus szakemberek közül néhányan mégis kételkedtek és további kísérleteket sürgettek. E figyelmeztetésekkel azonban a gyakorlati emberek nem törődtek, sőt egyesek írásban is „kinyilatkoztatták” véleményüket: „...Ha az összes tudósok(!) bebizonyítanák is tudományos pontossággal, hogy a viharágyúzás nem ér semmit, de ő (történetesen egy *Matolay Etele* nevezetű alispán) látná, hogy használ (?), ő bizony mégis csak lövetne a felhőkre!” (*Sávoly*, 1900).

Az alispán úr követelte bizonyítást Olaszországban végeztek el. A figyelemreméltó körülménnyel (és nagy költséggel) szervezett, évekig tartó kísérletsorozat végkövetkeztetése: a jégeső megelőzésében mind a töleseres viharágyúk, mind a már abban az időben kipróbált robbanó rakéták, — amelyek max. 1 km magasságig hatoltak fölfelé —, teljesen hatástalanok.

A magyar Meteorológiai Intézet hivatalosan 1907-ben nyilvánította értéktelenné a viharágyúzás módszerét. Ennek ellenére — gazdasági érdekből, naiv hitből, vagy „szilárd meggyőződésből” — még a harmincas években is közel félezer viharágyú működött a Dunántúlon. Ennél is megdöbbentőbb azonban, hogy éppen Olaszországban — ahol manapság is évente mintegy százezer (!) kisméretű, robbanóanyaggal (néha ezüstjoddal) töltött rakétát bocsátanak a felhőkbe — napjainkban újból gyártják és árusítják a viharágyúk „korszerű” (elektronizált, „sorozatlövő”) változatát.

A „praktikusok”, vagy „laikusok” és a kételkedő szakemberek közötti vitát nemcsak történeti érdekessége miatt idézzük fel. A szituáció ui. napjainkban is hasonló és a vita — tudományos szempontból — még ma sem dőlt el. Ez a jelenleg legkorszerűbbnek tartott koncepció és védekezési eljárás hatásainak értékelési nehézségeiből adódik, amelyről már említést tettünk. Ezért vélekednek egyesek — mint *Borland* (1977) megfogalmazza — a következőképpen: „Miért foglalkoznánk egy reménytelen technológia föltételezett hatékonyságából származó megmérhetetlen hatások elméleti üzleti következményeivel?” Bár ezt a véleményt több kiváló meteorológus szakember is csztja, mégsem feledkezhünk el arról, hogy a jégeső elleni védekezés napjainkban olyan konkrét gazda-

sági tevékenységgé fejlődött, amelyet legalább 14 országban, mintegy 70 millió hektáron *szolgáltatászerűen* végeznek. Emögött nem egyszerűen csak a „laikusok” meggyőződése áll, hanem az a felismerés is, hogy jobb *megpróbálni tenni* valamit *most*, mint megvárni azt a távoli és bizonytalan időpontot, amíg *mindent* tudni fogunk a jégesőképződés folyamatáról és *csak akkor* elkezdeni a védekezést. Ez annál is inkább igazolható magatartás, mert minden igényesebb operatív „project” hozzájárulhat (és gyakran hozzá is járul) a tudományos megismerés folyamatához, főleg azoknak az anyagi és személyi lehetőségeknek a birtokában, amelyek az alap kutatások céljaira (egy-két kivételen gazdag országot nem tekintve) nem állnak rendelkezésre. Ugyanakkor nyomatékosan kell hangsúlyozni, hogy — a tudomány jelenlegi állásánál — e lehetőségek ki nem használása: azaz az operatív tevékenység mechanikus folytatása megfelelően kidolgozott és párhuzamosan alkalmazott kutatási stratégia nélkül, az ilyen „projecteket” nagymértékben hasonlóvá teszi azokhoz, amelyeket nyolcvan évvel ezelőtt hoztak létre; a különbségek csak a fejlettebb technikában mutatkoznak.

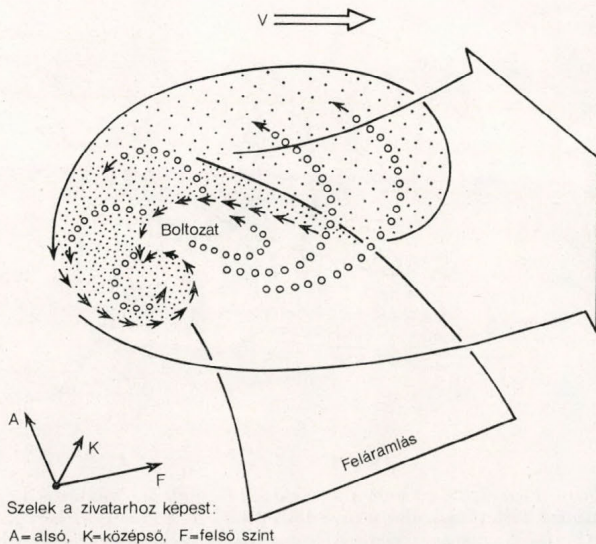
2. Az 1938 utáni időszak: a jégesőképződés korszerű elméletei

Schumann (1938) jég szemnövekedési számításai után egyre nagyobb szerepet kaptak azok a mikrofizikai vizsgálatok, amelyek választ kerestek a talajfelszínen megjelenő jégzemek jellegzetességeinek (méret, forma, belső struktúra stb.) okaira és körülményeire. Felfedezték, hogy a jégzemek réteges szerkezetének kialakulásához nem szükséges a 0 °C-os izotermia körüli „ingázás” (mint egyes régi elméletek tanították). Az opálos megjelenésű „száraz”, ill. az áttetsző rétegeket létrehozó „nedves” növekedés ugyanis döntően attól függ, képes-e eltávozni a környezetbe az a hő, ami a túlhűlt vízcseppeknek a jég szemhez történő ütközések során felszabadul; ez viszont elsősorban a folyékony víz mennyiségétől, ill. magának a jég szemnek egyes fizikai jellemzőitől függ (*Ludlam*, 1950 és 1958). A rákövetkező laboratóriumi vizsgálatok (elsősorban Angliában, Svájcban és Kanadában) igen sok részletet derítettek fel a jég szem növekedési folyamatairól (pl.: hogyan változik a szélcsatornában lassan forgatott mesterséges jégzemek alakja a hőmérséklet és a folyékony víztartalom függvényében (*Macklin*, 1978), ill. milyen aerodinamikai tulajdonságai vannak a leggyakoribbnak tekinthető típusnak: a forgó, három tengellyel jellemezhető ellipszoidoknak és ennek megfelelően milyen a felfogási hatékonyságuk és növekedési sebességük. Ennek a több évtizedes laboratóriumi munkának egyik legújabb eredménye, hogy a száraz növekedés feltételei nem egészen felelnek meg a *Ludlam*-féle elképzeléseknek (*List*, 1977): ez nyomatékosan hangsúlyozza a kísérletezés fontosságát a spekulatív elméletekkel szemben. Ennek a megállapításnak a jogosságát azok a vizsgálatok is hangsúlyozzák, amelyeket *Facy* et al., (1963) már két évtizeddel ezelőtt megkezdték és amelyek lényege az a felfedezés, hogy különböző magasságokban képződő jég szemrétegek izotóp-összetétele különböző (itt a $H_2^{18}O$, HDO és HTO izotópopokról van szó). Bizonyos egyszerűsítésekkel így lehetőség van azon felhőreteg magasságának meghatározására, amelyben a szobanforgó jég szemréteg kialakult — így a jég szem $R(z)$ trajektóriájának leírására is, ahol R a sugár, z a magasság (*Geresdi* et al., 1984).

A felsorolt, legfontosabb mikrofizikai kutatások már átvezetnek a jégesőfelhő struktúrájára és mozgási körülményeinek vizsgálata felé. Egyre világosabbá vált ugyanis, hogy a képződés és a növekedés kisléptékű folyamatait a felhőt létrehozó és arra jellemző cirkuláció döntően befolyásolja; másrészt, hogy ez utóbbiakra a mikrofizikai sajátosságok (elsősorban a növekedési folyamatok révén) ugyancsak visszahatnak — amint ez *Szulakvelidze* (1967) modelljéből kitűnik. Ez volt az első modellek egyike, amelyek sikeresen szimulálták a felhőben uralkodó feláramlás egyszerű lineáris magassági eloszlásának hatását a nagy folyékony víztartalmú zónák kialakulására, majd az utóbbi destruktív következményeit — amelyek a felgyülemlett csapadékmennyiség hirtelen kiesése révén realizálódnak, — a zivatarfelhő további életére. E modell, mint látni fogjuk, nemcsak igen nagy valószínűséggel alkalmazható ma is a zivatarfelhők bizonyos típusaira, hanem egyúttal minden részletében alkalmas alapot is szolgáltat a felhők jégképző magvakkal történő módosítására (*Wirth*, 1969).

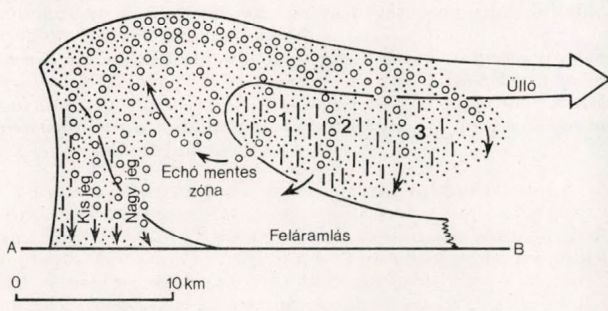
Az utóbbi évtizedek fejlődésének másik vonalát a „minőségi” zivatarfelhő-modellek reprezentálják. Ezeket komplex — repülőgépes és radaros — mérések segítségével szerkesztették és céljuk éppen az e felhőket környező és a bennük uralkodó, ugyancsak összetett mozgási viszonyok reális ábrázolása. Néhány kiemelkedően szervezett megfigyelési programnak, ill. esettanulmánynak köszönhető, hogy az utóbbi két évtizedben e területen is jelentős az előrelépés a *Thunderstorm Project* egyszerű — de alapjaiban még

ma is korszerű — zivatarmodelljéhez képest. E közismert modell szerint (Byers és Braham, 1949) a zivatarfelhők életeciklusát a cumulus, az érett és a feloszlási szakaszok képviselik, amelyek a felhőben uralkodó feláramlások jellege és a csapadékhullás alapján különböztethetők meg egymástól. Az érett szakaszban ui. a csapadék kihullásával kapcsolatban a leáramlások is megjelennek, amelyek a feloszlás stádiumában az egész felhőre uralkodóvá válnak. Bár a korszerű megfigyelések nem cáfolták meg ezt az egyszerűsített képet, rámutattak arra is, hogy e „közönséges” konvekciós cellán kívül, bizonyos légköri feltételek mellett ún. *szupercellás* (SC) zivatarfelhő is előfordulhat, amely az előzőtö méreteiben, intenzitásában és élettartamában is különbözik (Browning és Ludlam, 1962)



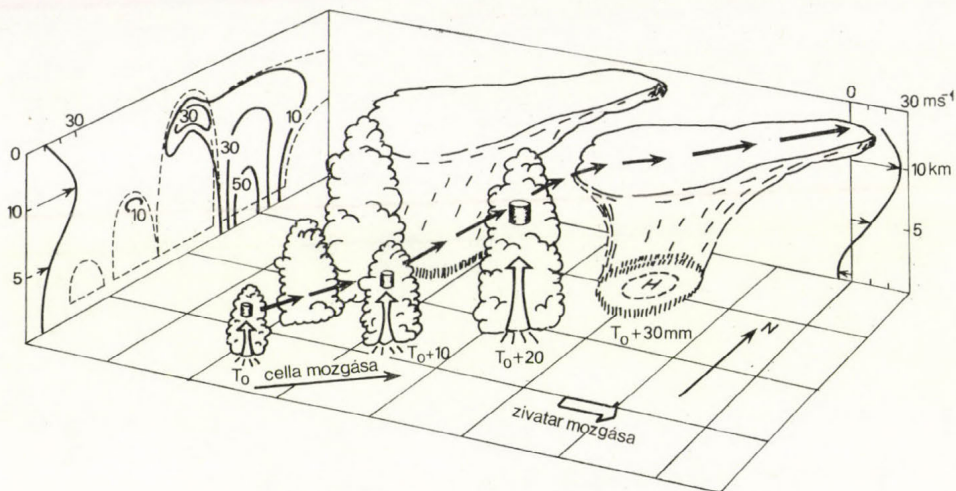
2. ábra — Fig. 2: Áramlások és csapadékrészecsketrajektóriák szupercella vízszintes és függőleges metszetei mentén (Browning, 1964).

Airflow and precipitation particle trajectories in horizontal and vertical sections of a supercell (After Browning, 1964)



Erre a 2. ábrán bemutatott szélprofil (felső kép) ad lehetőséget — *nyírás és szélfordulá a magassággal* — ez biztosítja a fel- és leáramlások hosszú ideig tartó, egyidejű létezését (Browning, 1964). Emellett az USA középső vidékeinek tipikus SC-i esetében gyakran megfigyelték a negatív felhajtóerővel rendelkező felhőalatti réteg kialakulását. Ennek fontossága abban rejlik, hogy meggátolja a konvekciós folyamatok idő előtti megjelenését, továbbá, hogy segíti a feláramlás kvazistacionárius állapotának kialakulását és annak izoláltságát. (Egyidejűleg ui. csak egy-egy SC szokott megjelenni nagy területen.) Az alsó képen a SC függőleges metszete látható a legnagyobb feláramlásban kialakuló echomentes zónával: itt ui. a felhőelemek olyan gyorsan emelkednek fölfelé, hogy nincs idejük csapadékrészecskékké növekedni. A jégszemek közül csak azok növekedhetnek nagyra, amelyeknek trajektóriájára az echomentes boltozat (az ún. *vault*) határán húzódik végig; más részecskék, amelyek túl korán lépnek az intenzív feláramlás zónájába, az üllőbe sodródnak; ismét mások, amelyek túl magasan találkoznak a már kisebb sebességű feláramlással, kisebb jégszemekként esnek ki a felhőből.

Az „egyszerű” és a SC-ás zivatar típusoknál — előfordulási gyakoriságát és emiatt károsító hatását tekintve — számunkra sokkal fontosabb a közöttük (élettartamban és méretekben) mintegy átmenetet képviselő „multicellás” zivatarfajta (MC) (Browning 1962), amelynek időbeli fejlődését a radar-jellemzőkkel együtt a 3. ábrán láthatjuk. (Az ábra interpretálható úgy is, mintha az adott területen egyidejűleg különböző fejlettségi állapotú cellák lennének jelen). A vastag nyilak a növekvő cella egy levegőparcellájának trajektóriáját mutatják; a radar-visszhang vertikális metszete $t=0$ -nál, és a szélprofil szintén látható (Chisholm és Renick, 1972). E zivatarfajta később sokan és részletesen elemezték (Marwitz, 1972; Browning et al., 1976; Absajev és Karcivadze, 1973, stb.)



3. ábra—Fig. 3: Multicellás zivatarfelhő-rendszer vázlatos képe. Kezdetben a rendszer négy különböző fejlettségi állapotú cellából áll. A legdélebbi (legfiatalabb) cella fejlődése az időben követhető. A vastag nyilak a levegőparcella trajektóriáját mutatják a növekvő cellában. A bal oldali skálán a kezdeti radarvisszhang eloszlása, a jobb oldalin a magassági széleloszlás látható (Chisholm and Renick, 1972).

Schematic view of a multicell storm. At the initial time the storm consists of four cells at different stages of development. The development of the youngest (southernmost) cell at successive times is indicated. The heavy dashed arrow is the trajectory of a parcell in the growing cell. A vertical section of the radar echo at the initial time is shown, as well as an indication of the wind profile. (From Chisholm and Renick, 1972).

azzal a fontos eredménnyel, hogy a multicellás zivatarokban a jégeső-embriók már az első radarvisszhang (a first echo) megjelenése előtt kialakulhatnak: ez pedig döntő fontosságú a mesterséges magvasító anyagok bejuttatásával kapcsolatos mindhárom alapkérdést illetően. (E kérdésekre — a jégeső elleni védekezésben elfoglalt gyakorlati fontosságuk miatt — egy későbbi közleményben részletesen is kitérünk.)

A következőkben felvázoljuk azokat a korszerű koncepciókat, amelyek — kiindulva abból, hogy az energetikai beavatkozások nem lehetségesek — mikrofizikai módszerek alkalmazását javasolják a talajfelszínen megjelenő jégesők keletkezési és növekedési körülményeinek módosítására.

3. Jégesőelhárítási koncepciók: kritikai összefoglalás

Az átlagos nyári zivatarfelhő teljes energiája kb. $4,2 \cdot 10^{13}$ Joule ($1,2 \cdot 10^7$ kWh), ami megfelel a Nagasaki-ra 1945-ben ledobott amerikai atombomba energiájának (Battan, 1969). Ez nyilvánvalóvá teszi, hogy azokat az okokat, amelyek a Cb-k, illetve ezek révén a jégesők képződéséhez vezetnek, közvetlen energiabefektetéssel nem tudjuk módosítani. (Ez a művelet, még ha sikerülne is, roppant gazdaságtalan lenne, nem beszélve az elmaradt csapadék okozta kárról.)

Ezért a jégeső elleni védekezésnek gyakorlatilag egyetlen járható irányát az ún. „mikrofizikai” módszerek jelentik: ezek révén a felső saját instabilitási energiáit igyekszünk kiaknázni. A felhő — mint kolloid rendszer — instabilitásának két legfontosabb forrása: a halmazállapotoknak és az alkotóelemek nagyságának különbsége. Mindkét ok a részecskék növekedésére, így csapadékelemek megjelenésére vezethet. A túlhűlt állapotú felhőcseppek instabilitási energiáját magvasító anyagok kis részecskéinek bejuttatásával használhatjuk ki, a „meleg” felhők instabilitását pedig óriás higroszkópos magvak (vagy nagy felhőcseppek) bevezetésével idézhetjük elő. E beavatkozások aránylag csekély anyag-, ill. energiabefektetést igényelnek; hatásukra olyan események zajlanak le, amelyek a csapadékképződés természetes folyamatához hasonlóak.

Az időjárás módosítás ezen korai mikrofizikai koncepciói az ötvenes évek végétől jelentős fejlődésen mentek keresztül. Az első javaslatok szerint (*Weickmann*, 1953), a jégképző magvak koncentrációjának jelentős növelésével a jég szemek növekedéséhez rendelkezésre álló *víz tartalmat* kellene *csökkenteni*. *Ludlam* (1958) a *csapadékfolyamat korai*, mesterséges megindítását ajánlotta, ami a zivatarfelhő érett stádiumának idő előtti, ezért kevésbé intenzív kialakulására vezetne. Ugyancsak *Ludlam* (1958) vetette föl azt a gondolatot, hogy a nagy cseppek számának növelésével a felhő alsó részében olyan mesterséges *jégeső-embriókat* hozhatunk létre, amelyek a természetes részecskékkel versenyezve növekednek; emiatt a jég szemek végső mérete kisebb lesz. *Vittori* (1960) ötlete szerint az ún. „*itáliai rakéták*”-ban alkalmazott robbanóanyag működése során keletkező *akusztikus lökéshullám* a jég szemekben levő *víz hirtelen fagyását*, így azok széttröszölését *idézheti elő*. *Iribarne* és *Pena* (1962) egyszerű, stacionárius felhőmodelljükben már képesek voltak demonstrálni, hogy a természetes körülmények között igen kis számú jégesőembrió fölemelkedés közbeni növekedését erősen korlátozza, ha azok koncentrációját akár csak tízszeresen megnöveljük.

A fenti elképzeléseket többek között *Szulakvelidze* (1967) vette vizsgálat alá. Rámutatott, hogy a *felhőcseppek fázisállapotának megváltoztatásához* — három óra élettartamú Cb-t feltételezve (amelynek feláramlási csöve 5 km sugarú) — kb. négy tonna ezüstjodidra lenne szükség. Az így kialakuló jégkristálykoncentrációk ugyan teljesen meggátolnák a jégesőembriók növekedését, sőt, a korszerű „*direkt injektálási*” technikával az ilyen intenzitású magvasítás nem is elképzelhetetlen (ez ui. kb. 3 db *Oblako*-rakétát jelentene percenként), e beavatkozások (azonban) óránként és cellánként kereken 6 millió forintba kerülnének, ami nem ésszerű védekezési alternatíva. A nagy, $d > 20 \mu\text{m}$ -es cseppek koncentrációjának tízszeres megnövelése ugyancsak hatalmas mennyiségű, kb. 4,5 tonna higroszkópos anyag felhőbe juttatását igényelné (ugyan-ezen idő alatt). Ezenkívül — a *Szulakvelidze* munkatársai által kidolgozott modell szerint — a jégeső csírái semmiképpen sem az óriásmagvakon, a felhő alsó részében keletkező, átlagosnál nagyobb felhőelemek. Az említett kis rakétákban alkalmazott (200 g tömegű) robbanóanyag hatása is csak 5–10 m-es körzetben lehet jelentős; így egy átlagos jégesőben előforduló összes jég szem feláprításához mintegy 100 000 db ilyen rakéta lenne szükséges.

Szulakvelidze (1967) ehelyett fölvezette a jégesőképződés azon modelljét (*Wirth*, 1969), amelyben a jég szemek fő növekedése a zivatarfelhő középső részében, a sajátos feláramlási profil miatt kialakuló, nagy folyékony víztartalmú *akkumulációs zónában* (AZ) játszódik le. A jégeső természetes embrióit e felhőtartomány *legnagyobb* cseppjei reprezentálják, amelyek homogén, vagy

heterogén úton lejátszódó fagyása (Wirth és Bónis, 1971) a leginkább valószínű. Rámutatott arra, hogy (e modell érvényessége esetén) nem szükséges a teljes túlhűlt cseppfrakció átkristályosítása, hanem — Ludlam, valamint Iribarne és Pena elképzeléseinek megfelelően — elegendő, ha a jég szemek embrióinak számát sokszorozzuk meg olyan „konkurrens” részecskéket létrehozva, amelyek egymással versenyezve növekszenek a rendelkezésre álló folyékony víztartalom terhére. Mindez a felhőből kieső jég szemek végső átmérőjét csökkenti, esetenként olyan mértékben, hogy azok esésük folyamán teljesen el is olvadhatnak. (A modell legfontosabb sajátosságait a következő fejezetben foglaljuk össze.)

A hetvenes években többen megkísérelték a legfontosabb koncepciók (az eljégesítés, a cseppspektrum-módosítás és a konkurrens embriók létrehozása) mennyiségi vizsgálatát. English (1973) szerint pl. egy átlagos intenzitású zivatarfelhő feláramlási zónájának teljes eljégesítéséhez 4 kg/perc reagens mennyiség bevezetése elegendő lenne. Young (1977), újraértékelve a számításokat, rámutatott arra, hogy e koncepció alkalmazása függ a felhőmodellétől; pontosabban (mint nyilvánvaló) a modellben felvett folyékony víztartalom és feláramlási sebesség nagyságától. Fontos eredménye, hogy multicellás modelljében is egyértelműen demonstrálta a jégesőelhárítás paradoxonját (Atlas, 1977) — amelyet elsőként valószínűleg Weickmann (1963) vetett fel — nevezetesen, hogy a „helytelenül” végrehajtott magvasítás esetenként meg is növelheti a felhőből kieső jég részecskék számát (össztömegét). (Ugyanilyen következtetésre jutott Browning és Foote [1976] a „szupercellás” zivatarfelhők magvasításának lehetséges hatását illetően.) Young számításai azt is mutatták, hogy a jégesők növekedési tartományában létrehozott nagyszámú, felhőelem méretű ($r > 100 \mu\text{m}$) jégkristályt a feláramlások az üllőbe szállítják: így ezek a csapadékciklusból kiesnek. Az eljégesítési koncepció ezért sem javasolható, hiszen a jégkárok 20%-os csökkenését gazdasági szempontból a május — júniusi csapadéknak már 5%-os csökkenése is túlkompenzálja (Borland, 1977).

A felhőcseppek spektrumának módosítása alapvetően a csapadékelemek korai létrehozására, a felhő „kiesőztetésére” irányul. A legismertebb ilyen koncepció a „trajektória-süllyesztés”. Ez megvalósítható, ha a jégeső növekedési tartományába belépő legnagyobb embriók méretét meg tudjuk növelni (vagy elérjük, hogy ezek alacsonyabb szinteken lépjenek be oda), így az embriók alacsonyabb pályákon haladnak át e tartományokon, ezért kevesebb idejük lesz a növekedésre és arra, hogy az általuk összegyűjtött folyékony víz megfagyjon. Mindez arra vezet, hogy a kialakult jég szemek kisebbek lesznek és ezért valószínűbb, hogy a pozitív hőmérsékletű légrétegeken áthullva elolvadnak. Ugyanakkor az ilyen részecskék hozzájárulnak annak a folyékony vízmennyiségnek a csökkentéséhez is, amely a természetes jég szemek növekedésének forrását képezi. Ezt a célt az embriók képződési régiójába bevezetett higroszkópos magvakkal érhetjük el, feltéve, hogy ismerjük ezt a tartományt és létre tudunk hozni legalább 100 m^{-3} -es cseppkoncentrációt (Young, 1977). Bartisvili et. al. (1970) ezt a koncepciót ezüst-jodid-magvasítással kombinálva alkalmazza a grúz jégesőelhárítási kísérletekben.

A felhőmagvasítás — a fázisváltozások elősegítésével felszabaduló rejtett hő-többlet révén — kétségkívül megnöveli az adott felhőtartományban uralkodó felhajtóerőt, így dinamikai hatást is kifejt. Ez elvileg a „korai kiesőztetés” révén a feláramlás megszüntetéséhez, vagy újabb záporok keltése segítéséhez a szomszédos, intenzívebb zivatarfelhő gyengítéséhez vezethet. A konvektív instabilitás kihasználásának újszerű lehetőségét a Szovjetunióban Vulfson

és Levin (1964) vetették fel. Ennek lényege: a fejlődésben levő gomolyfelhők szétoszlatása mesterségesen indukált leáramlások segítségével. A leáramlások megindítására különböző módszereket (nagy fajsúlyú, szemcsés anyagok szétoszorását, l. pl. *Vulfzon és Cserenkova, 1970*, reaktív repülőgépek közel függőleges felhőnbélüli repülését, pl. *Vulfzon és Levin, 1968*, valamint irányított

I. TÁBLÁZAT

A jégesőelhárítás mikrofizikai koncepciói

Koncepció	Ellenvetés
1. A túlhűlt felhővíz eljegesítése	<ul style="list-style-type: none"> – Nem gazdaságos – Növelheti a természetes jégszemek számát (össztömegét) – Csökkentheti a csapadék mennyiségét
2. Felhőcseppek nagyságeloszlásának módosítása (pl. a trajektória „süllyesztése” céljából, vagy a nagyobb cseppek fagyásának korábbi megindítása érdekében)	<ul style="list-style-type: none"> – Elméleti megalapozottsága hiányos – Nem ismert effektusok léphetnek fel
3. Dinamikai hatások (leáramlások indukálása)	<ul style="list-style-type: none"> – Kevés kísérlet (gyakorlati bizonyítás hiányzik)
4. Konkurens jégeső-embriók létrehozása	<ul style="list-style-type: none"> – Túlegyszerűsített egydimenziós felhőmodell (a feláramlási profil révén rögzített víztartalom) – Újabb jégesőképződési, ill. jégzivatar megjelenése, amelyekben a koncepció nem működik.

és nem irányított lövedékek felrobbantását, pl. *Vulfzon és Levin, 1972*) javasoltak. Az említett eljárások instabil légköri állapot esetén akkor vezethetnek a felhő további növekedésének megakadályozására, sőt esetenként a felhő teljes széteszlására, ha sikerül olyan nagy lefelé irányuló mozgási impulzust kelteni, ami intenzív leáramláshoz vezet. Bár ezeket a dinamikai hatásokat elméletileg meglehetősen jól megalapozottnak tekinthetjük, az utóbbi évtizedben (*Vulfzon és Levin, 1974; Zatsepina et. al., 1980*) alig 200 kísérletet végeztek, elsősorban a növekvő Cu cong felső részébe juttatott cementporral. Az eljárás alkalmazhatóságát nagyobb vertikális kiterjedésű felhők esetére még bizonyítani kell; mindenesetre egyes szakemberek véleménye szerint (*Szerjogin, 1972*) ez a jégeső elleni védekezés perspektívikusan legjobb koncepciója.

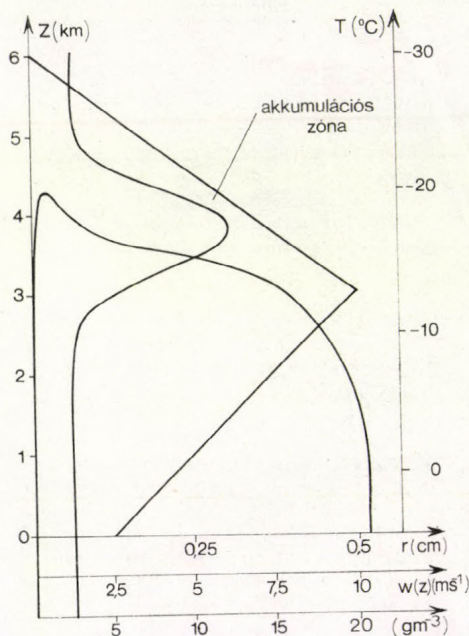
Az *I. táblázatban* összefoglaljuk a jelenlegi koncepciókat és a legfontosabb ellenvetéseket.

A kutatók mindenesetre általában egyetértenek abban, hogy jelenleg a 4. koncepció a fizikailag leginkább elfogadható, kísérletileg széleskörűen alkalmazott, „kipróbált” gondolat: gyakorlatilag mindegyik utóbbi időben szervezett *project* és *experiment* nyilvánosan deklarált mikrofizikai alapja. Mindezek miatt ennek összefoglalása itt is indokoltnak látszik.

4. A szovjet jégesőképződési modell és a védekezési koncepció

A teljesség kedvéért az alábbiakban összefoglaljuk a Szulakvelidze (1967) által kidolgozott jégesőképződési modell és az erre épített beavatkozási eljárás legfontosabb jellemzőit (részletesebben lásd: Wirth, 1969).

A zivatarfelhő-modell alapvető sajátossága a $w(z)$ feláramlási sebesség lineáris növekedése, majd csökkenése a magassággal (lásd: a 4. ábra 1-es görbáját). Az a tény, hogy e modellben $w(z)$ a felhő közepe táján maximumot ér el, döntő fontosságú a záporszerű csapadék, ill. jégeső keletkezése szempontjából.



4. ábra — Fig. 4: A Szulakvelidze-féle felhőmodell a maximális feláramlási sebesség szintje felett kialakuló akkumulációs zónával. 1. görbe: a $w(z)$ feláramlási profil (ms^{-1}), 2. görbe: a q folyékony víztartalom (gm^{-3}), 3. görbe: a jégszem koagulációs növekedése a modell-felhőben (r , cm); $w_m = 10 \text{ ms}^{-1}$.

The cloud model of Sulakvelidze, with the accumulation zone being formed over the level of maximum updraft velocity. 1. Profile of the updraft, $w(z)$, (ms^{-1}), 2. liquid water content, q (gm^{-3}), 3. coagulation growth of the hailstone in the model cloud (r , cm), with $w_m = 10 \text{ ms}^{-1}$.

Az átlagos, $1-2 \text{ gm}^{-3}$ -es folyékony víztartalomnál (2-es görbe) növekvő, $200-400 \mu\text{m}$ sugarú csapadékelemek ui. trajektóriájuk felhő határánál a rajtuk felfelé „átfutó”, kisebb felhőelemekkel történő ütközések hatására lassú növekedésnek indulnak. Ez az esési sebesség növekedéséhez, így magasságvesztéshez vezet. A feláramlási sebesség azonban ebben a tartományban (a z_m fölötti szinteken) lefelé növekszik; a részecske tehát szintről-szintre egyensúlyba, ill. növekedése miatt egyre lejjebb kerül. E növekedésnek a „Lénárd-effektus” szab határt: a cseppeket ugyanis a felületi feszültség $4-6 \text{ mm}$ -es nagyság elérésekor már nem képes tovább összetartani. A legnagyobb cseppek esési sebessége $9-10 \text{ ms}^{-1}$; tehát ebben a rétegben, ahol ilyen a feláramlási sebesség (ami e modellben a felhőalap felett $4,5-5 \text{ km}$ -en található) a cseppek néhány nagyobb és sok kisebb cseppecskére aprózódnak szét. A feláramlás ekkor a részecskéket ismét magasabbra ragadja, ahol a folyamat megismétlődik és végül láncreakció-szerűen az aránylag nagy cseppek felhalmozódására vezet a maximális sebesség szintje felett. Azt a felhőtérfeletet, amelyben a folyékony, túlhűlt víz összegyűlik, nevezik *akkumulációs zónának* (AZ). Ha az AZ olyan hőmérsékleti intervallumban helyezkedik el, hogy ott néhány

(általában a legnagyobb) csepp megfagyhat, e részecskék növekedését a szétaprózódás már nem gátolhatja. Sőt az *AZ*-ban rendelkezésre álló nagy folyékony és túlhűlt víztartalom a növekedéshez igen kedvező föltételeket teremt, ez tehát gyorsan folytatódik mindaddig, míg a jég szem a maximális sebesség szintjéig nem süllyed; innen a gyors kihullás és a magasabb hőmérsékletek miatt lényegében abbamarad. A jég szem (e modellfelhőben) a 3. görbével jelzett trajektórián végighaladva, 1 cm-nél valamivel nagyobb sugárral érkezik a talajfelszínre.

A feláramlási profil ismeretében a zivatarfelhőkben felhalmozódó maximális vízmennyiség és az egyes csapadékelemek legnagyobb átmérője vázlatosan az alábbi gondolatmenettel határozható meg. A kiindulás az a kísérleti eredmény, hogy a különböző R sugarú részecskék határsebessége más-más összefüggésekkel írható le:

$$V(R) = \beta R, \text{ ha } 45 \mu\text{m} < R < 1000 \mu\text{m} \quad (1)$$

ill. $V(R) = \gamma \sqrt{R}, \text{ ha } R > 1000 \mu\text{m},$

ahol β és γ állandók. [Itt jegyzem meg, hogy ez az itt idézett (1) és (3) egyenletünk az *Időjárás* 1969/1. számában hibásan jelent meg. *W. E.*]

A 4. ábra bizonyossága szerint $V(R) < w_m$ esetén (ahol w_m a feláramlási sebesség maximuma) az adott nagyságú részecske két helyen kerülhet egyensúlyba: a felső stabilis, az alsó labilis egyensúlyi helyzet.

Az R sugarú részecske trajektóriájának z_f felső határára, a $V(R) = w(z_f)$ föltétellel, a modellből levezethető a

$$z_f = z_v \left(1 - \frac{V(R)}{w_m} \right) + z_m \quad (2)$$

kifejezés, ahol z_v a felhő vastagsága a w_m felett. Ezután a különböző nagyságú részecskéknek a maximális sebesség szintje feletti növekedését a *Langmuir-féle* koagulációs egyenlet segítségével oldhatjuk meg. Ilyen növekedést ír le pl. a 4. ábra 3. görbéje. (A w_m szintje alatt a részecske már alig növekszik; a folyamat lényegében az *AZ*-ban játszódik le.) A részecske R_m méretét a w_m szintjén a következő egyenlettel határozhatjuk meg:

$$R_m = \frac{w_m^2}{\gamma^2} + \frac{qE}{4\rho_R} (z_f - z_m) \quad (3)$$

ahol q , E és ρ_R rendre a felhő víztartalma, a felfogási hatékonyság és a jég szem sűrűsége.

Látható, hogy a csapadékelem mérete elsősorban a feláramlási sebesség értékétől, továbbá az *AZ* vastagságától és víztartalmától függ (a z_m szint alatti csekély növekedéstől és az olvadástól eltekintünk).

A modellel — $q = 1 \text{ gm}^{-3}$ -es víztartalom alapján (2. görbe) — számított csapadékelemek időtartama néhány száz tíz perc. A „first echo”-ra vonatkozó radarmegfigyelések szerint azonban a koagulációs cseppnövekedés gyakran 5–10 perc alatt lezajlik. Ez, *Szulakvelidze* szerint, akkor lehetséges, ha $q > 10 \text{ gm}^{-3}$ (ilyen magas víztartalom azonban csak az *AZ*-ban fordulhat elő). Az itt kialakuló maximális vízmennyiség meghatározásához az időben állandó sebességprofil mellett azt is föl kell tenni, hogy a w_m szint felett a víztartalom a magasság függvénye. Ebben az esetben, adott légállapotnál, a közepes víztartalom

$$\bar{q} = \frac{w_m^2 - V_{\text{krit}}^2}{2g(z_v - z_{\text{krit}})} \quad (4)$$

$\bar{\rho}$: a levegő átlagos sűrűsége, z_{krit} : az a szint, ahol $w(z_{\text{krit}}) = V_{\text{krit}}$ (a kritikus méretű — $R \approx 2-3$ mm — cseppek esési sebessége) és g a nehézségi gyorsulás. Ebből is látható, hogy AZ csak akkor alakulhat ki a felhőben, ha $w_m > V_{\text{krit}}$.

A (4) egyenletből megkaphatjuk a felületegységre hulló csapadék Q mennyiségét a felhő alsó részében lejátszódó koaguláció és a felhő alatti párolgás elhanyagolásával:

$$Q = \bar{\rho} \frac{w_m^2 - V_{\text{krit}}^2}{2g} < \bar{\rho} w_m^2 \quad (5)$$

A zóna egységnyi térfogatában felgyülemlt és a talaj felületegységére hulló víz vagy jégmennyiség az alábbiak szerint is kifejezhető:

$$Q = \frac{4}{3} \pi h \Sigma N_i R_i^3 \rho_R = \frac{4}{3} \pi N \bar{R}_3^3 h \quad (6)$$

ahol h az AZ magassága a w_m szintje felett, N_i az R_i sugarú cseppek száma egységnyi térfogatban, R_3 a cseppek közepes sugara, ρ_R a víz, ill. jég részecskék sűrűsége.

Az (5) egyenlet szerint az adott felhőben felhalmozódott vízmennyiség lényegében csak a feláramlási sebességtől függ. Mivel ez az érték a felhő érett stádiumában közelítőleg állandó (és az egyenlet többi tagja is konstans) az (5) és (6) egyenletekből következik, hogy

$$N \bar{R}_3^3 = \text{konstans}. \quad (7)$$

A vázolt egyszerű (egydimenziós) ielhő-, ill. részecskenyövekedési model kitűnő lehetőségeket kínál a jégesőelhárítás alapvető feladatainak megoldására. A feladatok a következők: a potenciális *jégesőgóc* kellő időben történő *felfedezése* a sokezer km³-nyi felhőtérfogaton *belül*; majd e *góc* olyan *átalakítása* ami a természetes jég szemek méretének csökkenésére vezet. Az elsöre éppen az átlagosnál jóval nagyobb víztartalmú *AZ* létrehozása ad lehetőséget; a másodikra viszont a mesterséges jégképző magvak létrehozása, amelyek — megfelelő esetben — [a (7) képlet alapján] konkurrens jégeső-embriók kialakítására vezethetnek.

Ezzel ui. becsülhetjük azon járulékos, mesterséges jég részecskék számát, amelyet az ún. „hasznos versengés” érdekében az *AZ*-ban létre kell hoznunk. Sőt, ha ismerjük e magas víztartalmú zónában kialakuló átlagos jég szemkoncentrációt (pl. a talajfelszíni mérések alapján, lásd Wirth, 1976), meghatározhatjuk a mesterséges embriókon kialakuló jég szemek méretét is. Jelöljük ui. a természetes és mesterséges jég szem-kezdemények koncentrációját N , ill. N_m -el, a megfelelő jég szemek közepes köbös sugarát pedig \bar{R}_3 és \bar{R}_m -mel (gömbalakú részecskéket feltételezve), akkor írható, hogy:

$$\bar{R}_m = \bar{R}_3 \sqrt[3]{\frac{N}{N_m}} \quad (8)$$

E képlet szerint a természetes jégeső-embriók koncentrációját százszorosára növelve a közepes (köbös) sugár kerekén egyötödére csökken. Ez — az esetek többségében — teljesen elegendő ahhoz, hogy a felhőből kihulló jég a pozitív hőmérsékletű légrétegekben elolvadjon.

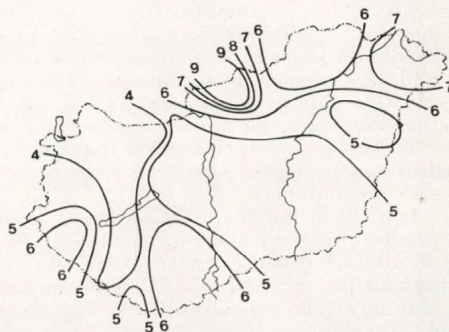
5. A védekezés közvetlen előzményei

Nincs módunk a jégeső elleni védekezés 1976. évi indítását megelőző események részletes kifejtésére. Mivel azonban a fenti dátum ma már szakmánk történetének egy olyan eseményét jelzi, amely egyben új fejezetet, új tevékenységi szférát nyitott meg sok meteorológus – és nem meteorológus – munkatársunk számára, a legfontosabb mozzanatok felsorolása mindenképpen indokolt:

1961–65: Az Aerológiai Observatóriumban (ma: Központi Légekörfizikai Intézet) megalakul a felhőfizikai kutatócsoport. A csoportból – *Mészáros Ernő* vezetésével – rövidesen osztály alakul. A fő célkitűzés: a kondenzációs és jégmagvak tulajdonságainak, illetve a felhő-, és csapadékrészecskék kialakulási és növekedési folyamatainak kutatása. E kutatások szinte törvényszerűen vezetnek át a következő tíz évben olyan gyakorlati kérdések vizsgálatára, mint pl. a levegőszennyeződés és a jégeső okozta károk okai és megelőzésük lehetőségei. Ezek alapozták meg a jelenleg folyó kiterjedt és egyre bővülő operatív tevékenységet az említett területeken.

5. ábra – Fig. 5: Az 1000 km²-es területegységre vonatkoztatott jégesős napok számának országos belüli eloszlása az ÁB kárstatisztikái alapján számolva (*Bálint és Wirth, 1970*).

Distribution of the number of hail days, reduced to 1000 km², „unit” areas for Hungary, calculated from the data of the State Insurance Company. (From *Bálint és Wirth, 1970*).



1966–67: E sorok írója 12 hónapos WMO-ösztöndíj keretében a Szovjetunióban és az USA-ban tanulmányozza az időjárás-módsítást különböző témaköreit. Többek között mintegy két hónapon keresztül vesz részt a kaukázusi jégesőelhárítás operatív munkájában (amely *G. K. Szulakvelidze* professzor vezetésével – és kezdeményezésére – 1962 óta folyik).

1967: A Magyar Meteorológiai Társaság és az Állami Biztosító közös vándorgyűlést rendez Sárospatakon a jégesőelhárítás témakörében [*Ambrózy* (szerk.), 1967]. A vándorgyűlés ajánlása az OMFB-nek, az Állami Biztosítóknak és az illetékes kormányzatszerveknek: szorgalmazzák – koordinálják és támogassák – a jégeső elleni védekezés hazai bevezetését.

1968: Az OMFB munkabizottságot alakít, amelynek feladata: a lehetőségek felmérése az előzetes tervek elkészítése, ajánlások kidolgozása. A munkabizottság a HM (*Csaplak Andor*), az OMSZ (*Wirth Endre*), és az ÁB (*Bálint György és Czako Flórián*) szakembereiből áll.

1969: A munkabizottság írásos jelentésben számol be az OMFB-nek a jégeső okozta károkról és a védekezés lehetőségeiről. Javaslatot tesz a magyarországi jégesőelhárítás módszerére és helyszínére (*Bálint et al., 1969*). A javaslatot 1970-ben az OMSZ is támogatja. (A megvalósítás jelentősen elhúzódik *Kiss Árpád* – az OMFB akkori elnökének – váratlan halála miatt.)

1966–70: Ebben az időszakban jelenik meg több fontos tanulmány, amelyek föltárják a jégeső-, és zivatarjelenségek alapvető klimatológiai jellegzetességeit, valamint a károk eloszlását Magyarországon (*Götz és Mészáros, 1968; Bálint, 1967*). Bár e munkák elég rövid időszakokból származó adatsorokon alapulnak, fő következtetéseiket a hetvenes évekre vonatkozó feldolgozások is megerősítették. Így pl. a jégesőelhárítás kísérleti helyszínét a jégesős napok területegységre (1000 km²-re) vonatkoztatott számának országos eloszlása alapján jelöltük ki (5. ábra); feldolgozásunk alapja az ÁB kárstatisztikái voltak.

1972: A Minisztertanács elnökhelyettese, *Ajtay Miklós*, személyes szovjetunióbeli tapasztalatai alapján nyilatkozatban foglalt állást a megvalósítás mellett.

1973: Döntés születik a jégesőelhárítás bevezetése és finanszírozása kérdéseiben. A szükséges összegekről az OT, ill. a MÉM, az OMFB, az OVH, az AB és az OMSZ gondoskodik. Az OMSZ megrendeli a legfontosabb műszaki berendezéseket (radart, rakétákat, kilövőállványokat).

1974–75: Megérkeznek a műszaki eszközök; kidolgozzák a rakéták honosítási szabályait; folyik a kilövőállomások helyszínének véglegesítése, ill. az objektumok építése; folyamatban van a szakszemélyzet felvétele és kiképzése.

1976: Megjelenik a 2006/1976. (II. 4.) számú Mt. határozat a védekezés megindításáról és a hároméves kísérleti időszakról. Az OMSZ megkapja a védekezés lefolytatásához szükséges hatósági engedélyeket; megtörténik a kilövőszemélyzet felvétele és kiképzése.

1976. július 23. 17²¹: *Az első időjárás módosító beavatkozás Magyarországon.*

6. A helyszín

A védett területet (VT) – az említett nagy jégesőgyakoriság és az átlagosnál nagyobb termelési érték miatt – Baranya megye déli részén, nagyjából a pécsi, siklósi, és mohácsi járásek területén jelöltük ki. E körzetben 11 db *kilövőállomást* telepítettünk. A kilövőállomások és a radar telepítésének előkészítése helyszíni bejárásokkal és vázlat-tervek készítésével tulajdonképpen már 1973-ban megkezdődött. A felmérésekbe, ill. egyes szervezési kérdések megoldásába saját munkatársainkon kívül szovjet szakértők, sőt a Baranya megyei Tanács illetékesei is bekapcsolódtak. Előbbiek korábban a szovjet Hidrometeorológiai Szolgálat Főigazgatóságától, 1976-ban pedig – közvetlenül a védekezés megindulása előtt – a moldáviai Jégesőelhárító Szolgálattól ellenőrizték a rádiólokátor, ill. a kilövőállomások helyének kijelölését. Az állomásokon elhelyezkedő objektumokat (az indítóhelyet, a rakétatárolót, az indítóállást, és az ügyeleti helyiséget) a 6. ábrán láthatjuk. (A körök az *Oblako*-rakéták hatókörzeteit jelzik.) Kezdetől fogva törekedtünk arra, hogy az állomásokat az észleléshez szükséges legalapvetőbb műszerekkel felszereljük (ezeket az ábrán a megfelelő kezdőbetűkkel jelöltük). A jégesőmegfigyelések hiányosságai miatt már 1975-ben elkezdtek a jégesőindikátorok, a jégzemek lenyomatát közelítőleg megőrző, állványra helyezett felfogólemezek készítését. (Wirth és Zoltán, 1979; Székely és Zoltán, 1984). Ezekből – főleg a VT-n – 1977-re közel 300 db-ot telepítettünk le. Az 1-gyel jelzett állomásra (a Tenkeshegy 408 m magas csúcsára) került a 3,2 cm-es hullámhosszon működő MRL-1 típusú rádiólokátor (technikai jellemzői az Appendix-ben) és a Vezetési Pont (VP), ahonnan – a „kihelyezett” radarernyők és az URH-központ segítségével – a beavatkozások irányítása történik.

A kilövőhálózatot 1982-től négy db új állomással sűrítettük, ill. (a nyugati részen) bővítettük. Ezzel a VP nagyságát bruttó 120 000 ha-ról kb. 150 000 ha-ra növeltük. A ténylegesen védett terület ennél 20–30%-kal kisebb; ennek okaira később visszatérünk.

7. A védekezési módszer

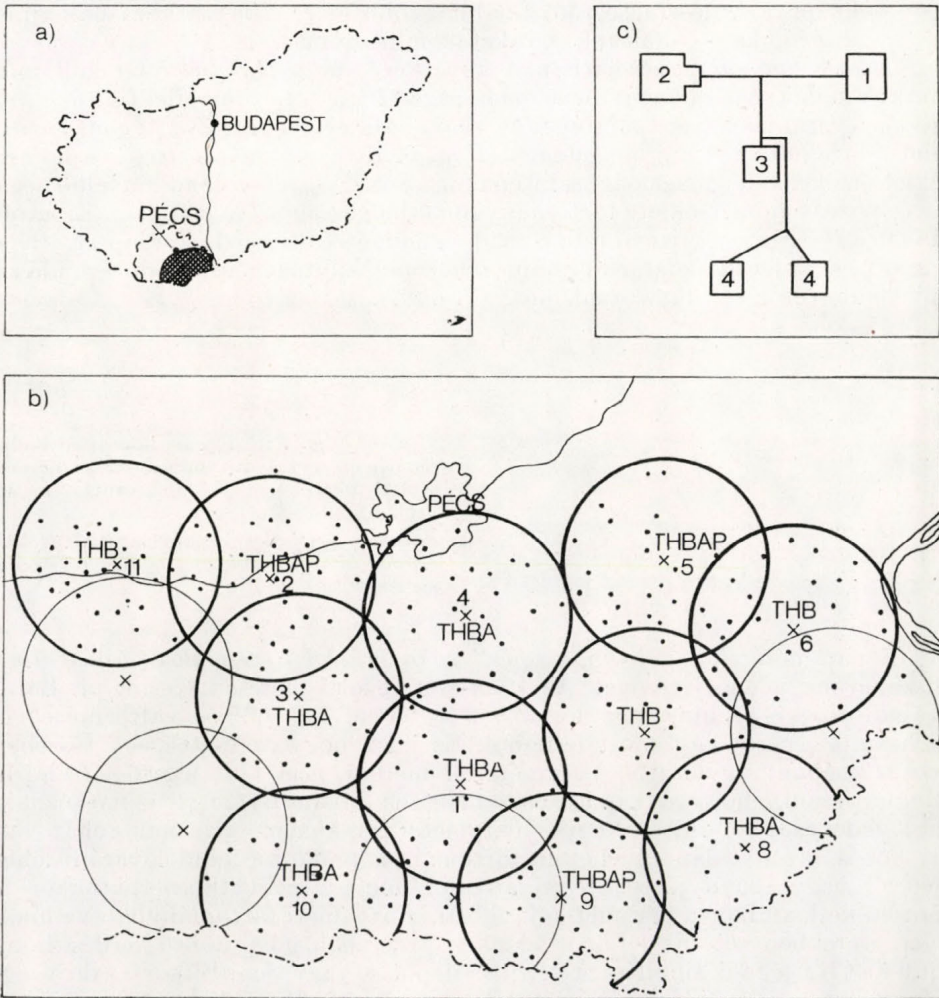
A jégesőelhárítás a *konkurrens embriók* "szükséges" koncentrációjának a kellő időben történő létrehozását jelenti zivatarfelhő akkumulációs (nagy- cseppű) zónájában. Ehhez:

1. a jégképződés korai szakaszában *detektálni* kell a jégzemek fő *növekedését* biztosító *felhőtartományt*, és
2. jégképző magvak bejuttatásával *meg kell növelni* a rendelkezésre álló víztartalom terhére jégzemekké növekvő, nagy fagyott cseppek – a *jégesőembriók* – számát (*Szula* *velidze*, 1967).

Az utóbbi évtizedben igen nagy mennyiségű adat és eredmény gyűlt össze az első feladat megoldásával kapcsolatban. Itt csupán megemlítjük, hogy elvileg többféle (statisztikai, két hullámhosszon végzett mérésekre alapozott, polarizációs, ill. kombinált) módszer alkalmazása lehetséges. A szakértők általában megegyeznek abban, hogy ezek valamelyikével – *ha a módszert a szóbanforgó földrajzi környezetre adaptáljuk* – a jégesőveszélyes felhők elegendően nagy biztonsággal felismerhetők. Tekintettel a földrajzi közelségre és a

nem túlságosan eltérő éghajlati-topográfiai viszonyokra, a Moldáviában alkalmazott eljárást választottuk. Ennek lényege a következő:

– megmérjük a konvektív felhő bizonyos radar-jellemzőit (lásd alább);

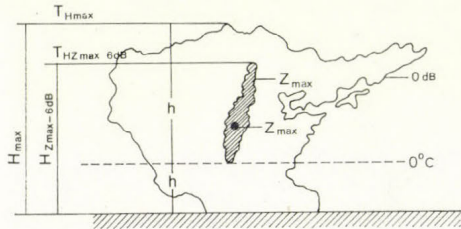


6. ábra – Fig. 6: a) A védett terület (VI) elhelyezkedése Magyarországon. – b) A kilövőállomások hálózata Baranyában. (A számok az állomások sorszámai; a vastagabb körök az Oblako rakéta effektív hatósugarát jelzik; a vékonyabbak az 1983-ban üzembehelyezett új állomások hatókörzeteit; a pontok a jégesőindikátorok helyét jelölik. A betűjelzések: T-termográf, B-barográf, H-higrográf, A-Assmann-féle pszichrometer, P-esetenkénti pilotmérések.) – c) A kilövőállomás szemantik rajza: 1. ügyeleti épület, 2. rakétatároló, 3. indítóbunker, 4. indítóhely (kilövőállványok).

a) The location of "protected" area in Hungary. – b) The network of launching stations in Baranya county. (Figures indicate the serial numbers of stations; the light circles show the effective radius of the Oblako rockets and the new stations established in 1983, respectively; the points represent of the network the hailpads. The meaning of capital letters is: T-thermograph, B-barograph, H-higrograph, A-Assmann-psiychrometer, P-occasional pilot measurements.) c) Schematic view of a launching station: 1. inspection house, 2. depot for the rockets, 3. launching shelter, 4. launcher's site.

- a legközelebbi rádiószonda-felszállásból meghatározzuk az egyes paraméterekhez tartozó hőmérsékleti értékeket;
- ezek alapján meghatározzuk a jégkihullás valószínűségét a kérdéses felhőből, végül
- ha ez a valószínűség 50%-nál nagyobb – és a beavatkozásnak nincs kizáró oka – döntünk a rakéták felbocsátásáról.

A *detektálással* kapcsolatban a következő *radar-paramétereket* kell mérnünk: a felhőcsúcs radarral mért magassága (H_{\max}); a radarreflektivitás (a részecskék által visszavert jelintenzitás) maximális értéke ($\log Z_{\max}$); e maximális jelet adó felhőtartomány magassága ($H_{Z_{\max}}$). Az *egyéb paraméterek*: a hőmérséklet értékei a két magassági szinten ($T_{H_{\max}}$ és $T_{H_{Z_{\max}}}$); valamint a felhő negatív és pozitív hőmérsékletű tartományainak magasság-aránya (h/h^+). Ez utóbbiakat a térséget körülvevő rádiószonda állomások (Szeged, Budapest, Bécs, Zágráb és Belgrád) adatai alapján, a közepes szinteken uralkodó áramlások figyelembevételével határozzuk meg (7. ábra).



7. ábra – Fig. 7: Cb sematikus (vertikális) radar-metszete a mérendő radar és hőmérsékleti paraméterekkel (magyarázat a szövegben)

Schematic vertical radar section of a Cb-cloud together with the radar and temperature parameters to be measured

E paraméterek mindegyike *egyedi valószínűségi kapcsolatban* áll a talajfelszínen megjelenő jégesővel. Az 1978–80 közötti mérések szerint pl. Baranyában $H_{\max} > 11$ km, vagy $\log Z > 4$ esetében. kb 76%-os valószínűséggel várhatunk jégesőt egy adott felhőből. Ez jelzi, hogy az esetek egy részében (itt 24%-ában) ugyanilyen paraméterek mellett *nem hull* jégeső a talajra. (Megjegyezzük, hogy a kapott összefüggések olyan területre vonatkoznak, ahol védekezés folyik.) Az egyes paraméter-értékek eloszlásának tehát van egy közös, bizonytalan kimenetelű tartománya, amikor a felhő egyaránt lehet „jéges” vagy „nem jéges”. Nyilvánvaló, hogy a beavatkozásról akkor is dönteni kell, amikor a paraméterek ebben az átmeneti tartományban vannak. Ilyen esetekben vetődik fel az a védekezés szempontjából döntő kérdés, hogy eljut-e a Cb a jégeső kihullására vezető állapotig, vagy sem. Ekkor – de a jégesőveszélyt *megelőző* időszakban általában is – az a döntő, hogy a paraméter-értékek növekszenek-e, vagy sem. A szovjet kutatók (pl. *Borovikov* et. al., 1967) már régebben rámutattak arra, hogy *egynél több* paraméter mérésével a jégkihullásra vonatkozó előrejelzés pontossága növekszik. Ezért a hatvanas években az operatív munka során egyre több (végül 11) paramétert határoztak meg, ami nem vált be, mert az ezzel járó időveszteség túlkompenzálta az előrejelzés csekély javulását. Így jutottak el a Moldáviában ma is használatos 6 paraméter méréséhez.

Az említett, *i*-edik paraméterrel kapcsolatos, egyedi jégkihullási valószínűséget, P_i -t a

$$P_i = \frac{n_j}{n_j + n_u} \quad (a)$$

összefüggésből határozhatjuk meg. Itt n_j a „jégesős”, n_n pedig a „nem jégesős” esetek száma. A tényleges méréseknél a Cb-ok különböző paraméterei általában *eltérő* jégkihullási valószínűségeket adnak, ezért bevezették a fenti relatív gyakoriságok számtani középértékét, a P -t:

$$\bar{P} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N P_i \cdot 100\%, \quad (b)$$

amit „komplex jégveszélyességi kritériumnak”, K_p -nek is neveznek. Az erre az új valószínűségi változóra vonatkoztatott, hosszabb időtartamú, radarmérésekből és földfelszíni megfigyelésekből származó statisztikákkal már meghatározható a több paramétert tartalmazó „teljes jégkihullási valószínűség”, a P . Mivel ez – a paramétereken keresztül – a 0 °C-os szint magasságával is kapcsolatban áll, a gyakorlatban ez utóbbi magassági eloszlásának megfelelően osztályozzák (táblázatokba foglalják) az egyes paramétereknek megfelelő P_i , ill. K_p (vagy \bar{P}) és P értékeket. (Moldáviában a beavatkozást akkor kezdik, ha $P > 50\%$, és a paraméterek növekvő tendenciát mutatnak.)

Összefoglalva: a védekezésre vonatkozó döntést *fizikai mérések* alapján, de a felhőfejlődés *valószínűségi* (statisztikai) *prognózisára támaszkodva* hozzuk meg.

Baranyában – részint a földrajzi hasonlóság, részint a saját statisztikák hiánya miatt – a kísérleti időszak folyamán a Moldáviában kapott összefüggések szerint, ugyancsak $P > 50\%$ -os jégkihullási valószínűség esetén döntöttünk a rakéták felbocsátásáról. Később, a megfigyelési adatok felhalmozódásával párhuzamosan, megfelelően módosítottuk az eredeti táblázatokat. (A radarparaméterek eloszlását Baranyában a védekezés eddigi adatai alapján egy következő dolgozatban elemezzük.)

Nyilvánvaló, hogy a jégveszélyesség megítélésénél kétféle hibát lehet elkövetni: *nem beavatkozni*, amikor arra szükség van, illetve *beavatkozni*, amikor nem kellene. (Itt eleve fölteszük azt az ideális esetet, – ami a gyakorlatban nem mindig teljesül, – hogy a beavatkozás *időpontját* a beavatkozásvezető (BV) jól határozza meg. Ezen első-, illetve másodfajú hiba közül természetesen az utóbbi jár kisebb kockázattal. Ugyanakkor gazdasági szempontok miatt egyáltalán nem közömbös, hány rakétát bocsátunk fel, hiszen a védekezés költségeinek nagyobb részét éppen a rakéták ára teszi ki. A baranyai jégesők sajátossága abban mutatkozott, hogy az eloszlásgörbék modulusai a moldáviainál *kisebb* paraméterértékek felé tolódtak el. Emiatt – 1979-től kezdve – úgy döntöttünk, hogy a fontosabb, elsőfajú hiba lehetőségének csökkentése céljából már $P > 30\%$ -nál felbocsátjuk a rakétákat.

A gyakorlatban a paraméterek mérése meghatározott sorrendben, és gyorsan történik. A gyorsaság a szubjektív hibák fontos forrása lehet (l. később). Mégis, erre legalább két ok miatt feltétlenül szükség van. Az egyik a felhőfejlődés hevessége: a zápor, ill. jégeső ui. az első radarvisszhang megjelenése után akár 10–15 percen belül is megjelenhet a talajfelszínen. A másik, hogy a VT -en egyidejűleg akár 5–10 jégesőveszélyes góc is kialakulhat és ezek mindegyikének mérését végre kell hajtani. Az operátor a –5 és –10 °C-os szintek között megméri az intenzív célok (zónák) távolságát és formáját; meghatározza a maximális visszaverődés nagyságát és helyét; ezután az antenna függőleges lengetésével megméri a magassági értékeket. Az adatok továbbítása után ugyanezt elvégzi a következő zónákra is, majd – bizonyos, a VT fölött elhelyezkedő gócok számától függő idő után, de lehetőleg 3–5 percen belül, – visszatér az első zónához. A mérési adatokat a rajzoló a megfigyelési időponttal

együtt 1:100 000 méretarányú térképre viszi (továbbá magnetofonszalagra is rögzíti). Az aktuális értékek sorozata segítségével a BV követi a folyamat időbeli menetét, illetve értékeli a változások tendenciáját, végül dönt a védekezés tényéről és körülményeiről. Ez utóbbiak a magvasítás térbeli helyére és a rakéták számára vonatkoznak. A döntési folyamat során a következő egyszerű szabályokat kell betartani: a magvasítást szimmetrikus (szélnyírás-, illetve advekcíómentes) zivatarfelhő esetében a megnövekedett intenzitású zóna alsó részében, mozgó góccok esetében a frontális (elülső) részben kell végrehajtani oly módon, hogy km^2 -enként 60–120 gr reagens-anyag jusson a Z_{max} 12 dB-lel határolt felhőtérfogatnak a -5 és -10 °C izotermaszintek közötti, közel vízszintes rétegébe.

E gyakran bonyolult feladat megoldását mindenesetre megkönnyíti az *Oblako*-rakéta több km hosszú diszpergálási pályaszakasza, amely „áthidalja” a bizonytalanságok tartományát: a magvasító anyag az embrióképződés valamennyi feltételezett tartományába bejut. Ennek különösen a multicellás zivartípusok esetében van jelentősége, nem tudjuk, hol és mikor képződnek a jégeső-embriók.

A magvasítás mindaddig tart, — a rakéták 5–8 percenkénti felbocsátásával, — amíg a kérdéses felhőzóna paraméterei nem mutatnak határozott csökkenést. Gyakran előfordul, hogy az intenzív kristályosodás hatására a felhő radarképében jelentős változás történik: a felhőtető magassága csökken vagy a felhő „kilyukad” (a jelintenzitás visszaesik). Mindezek jelzik a beavatkozások fizikailag is érzékelhető hatásait. (Ennek ellenére jelenleg nincs semmiféle lehetőségünk arra, hogy ezeket a hatásokat mennyiségileg is mérni tudjuk. A védekezés fizikai eredményességének bizonyítása is csak közvetett úton — pl. a radar-jellemzők és a jégesők talajfelszíni fizikai jellegzetességeinek egymásutáni méréséből származó összefüggések felderítése útján — lehetséges.)

8. A jégesőelhárítás folyamatábrája

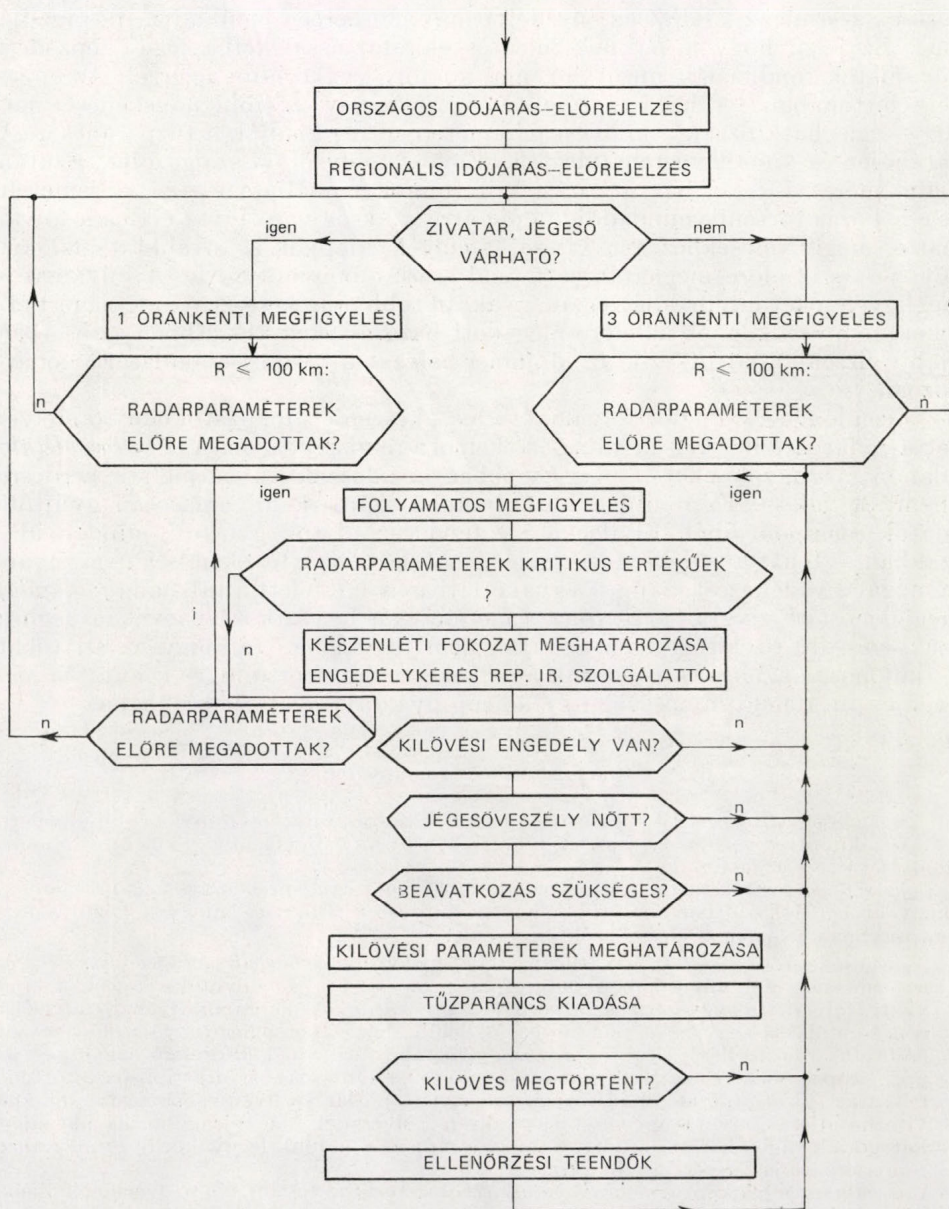
A védekezés ismertett fő mozzanatai beleépülnek egy olyan, pontosan meghatározott és rutinszerűen végzett tevékenységi láncba, amelynek összefüggéseit, ill. áttekintő képét *folyamatábránkon* (8. ábra) mutatjuk be. Itt a szokott módon a téglalapok feltétel nélküli tevékenységeket, a rombuszok pedig objektív, előre meghatározott kritériumok szerinti döntéseket jelölnek (Kőhegyi, 1977.). A gyakorlatban ez úgy történik, hogy minden tevékenységet: a regionális előrejelzést, a radarmegfigyeléseket és ezek regisztrálását, a rakéták felbocsátásának szabályait, vagyis a beavatkozások paramétereinek meghatározását, a parancsok továbbításának és végrehajtásának módját stb. speciális, az adott feladatkörre vonatkozó, általunk készített kötelező érvényű UTASÍTÁS-ok szabályoznak. (Ezek természetesen az előzőkben ismertettnél részletesebben határozzák meg az egyes munkakörökre előírt feladatokat és a döntési feltételeket.)

A folyamatábra lényeges ciklusai a következők:

A Központi Előrejelző Intézetben készülő országos időjárás-előrejelzésen alapuló és speciális módszerekkel kiegészített regionális célprognózis (Wirth et. al., 1977) ad választ a „Zivatar, jégeső várható?” kérdésre. Ez meghatározza, hogy a VP szakemberei milyen időközönként végezzék a radarmegfigyeléseket. „Nem várható” válasz esetén a megfigyeléseket 3 óránként, „igen” esetén 1 óránként kell végrehajtani. A megfigyelések ciklusa a lokátormérések eredményétől függően is megváltozhat. A radarparaméterek bizonyos, előre

megadott értékeinél a háromórás, ill. az egyórás megfigyeléseket a *folyamatos mérések* váltják fel. Ezek a paraméter-értékek tulajdonképpen a 100 km-es körzeten belül észlelt csapadékképződési folyamatok tendenciáira vagy intenzitására (pl. a felhőfejlődés hevésségére, frontok közeledésére stb.) nézve nyújtanak tájékoztatást.

A folyamatos megfigyelések során különös figyelmet fordítanak azokra a



8. ábra – Fig. 8: A jégesőelhárítás folyamatábrája (magyarázat a szövegben)
Flow diagram of the hail prevention (see text for details)

jelhőképződményekre, amelyek a VT-en belül fejlődnek ki (vagy azt megközelítik). Ilyen esetekben a mérés „léptéke” 50 km, ezen a távolságon belül lehetséges ui. a csapadékszónák radar-jellemzőinek a szükséges pontossággal történő meghatározása. A rakéták felbocsátása előtt biztosítani kell a VT légtérét, pontosabban: le kell szállítani (vagy vissza kell irányítani) az abban tartózkodó (vagy azt megközelítő) repülőgépeket. E feladatot – a VP kérésére – a budapesti repülésirányító központ (ERISZ) végzi el. A fennálló rendelkezések szerint az ERISZ az engedélyt max. 30 percen belül adja, ill. tagadja meg. Ez jelzi, hogy a BV-nek jelentős előretartással kell a jégesőképződési folyamatok tendenciáit megítélni, ami komoly gyakorlatot igényel. Az engedély birtokában, – ha a mérések a jégesőveszély további növekedését jelzik –, meghatározzák a kilövési paramétereket és kiadják a tűzparancsot. A parancsot és annak végrehajtását a kilövőszemélyzet visszaigazolja. Ezután újabb mérés és – a beavatkozási kritériumok fennállása esetén – ismételt beavatkozás történik mindaddig, amíg arra szükség van. Így a ciklus a folyamatos megfigyelésekhez tér vissza, amelyek alapján a további teendőket ugyancsak az előre meghatározott rend szerint bonyolítják le. A folyamatos megfigyeléseket mindaddig végzik, gyakran több órán keresztül, míg a mért értékek nem csökkennek az előre megadott határértékek alá. Ebben az esetben újabb vizsgálat következik az időjárás helyzet általános alakulására vonatkozóan.

Igen lényeges, hogy a folyamatábra a „készenléti fokozatokban” (amelyeket a radarparaméterek kritikus értékeinél a rendszer számára *el kell rendelni*) állandó megfigyeléseket ír elő, ha ebben az időszakban bármelyik kérdésre „nem” a válasz. Ez döntő a kutatómunka számára folyamatosan gyűjtött adatok szempontjából. Elvileg a megfigyelési adatok gyűjtése minden időszakban – tehát a védekezés során is – kötelező, ha e tevékenység nem zavarja magát a védekezést. Sajnos, a gyakorlatban a VT felett általában *egyidejűleg* megjelenő több zivatargóc („zóna”) mérése és a beavatkozási tevékenységhez szükséges idő rövidege igen gyakran nem teszi lehetővé, hogy az adatokat – különösen azokról a góccokról, amelyeket módosítottunk – a kutatás igényeinek megfelelő minőségben és főképp gyakorisággal szerezzük be.

9. A védekezés nehézségei

A jégesőelhárítás végrehajtása során legalább háromfajta, úgymint: a) elvi-elméleti, b) műszaki-operatív és c) szubjektív hibaforrás, ill. hiba figyelembe vételére és gondos elemzésére van szükség.

Az a) csoportba tartoznak az ismereteink hiányosságaiból származó problémák, amelyekről a dolgozatban már több helyen említést tettünk, és amelyek közül a legfontosabbnak jelenleg a következők látszanak:

- A jégesőképződést és a beavatkozási koncepciót illető *modell* túlságosan *egyszerűsége* a természetes folyamatok bonyolultságához képest. Ezt a bonyolultságot pl. a konvektív folyamatok egyszerű osztályozásával igyekszünk csökkenteni. Ilyen osztályozást reprezentál az „egycellás” (légtömegben belüli, hőzivatár jellegű), valamint a már említett „multicellás” (frontokhoz, vagy instabilitási vonalakhoz kapcsolódó) és az ún. „szupercellás” (hosszú ideig fennmaradó és igen intenzív) zivatartípusokra történő felosztás (Browning et. al., 1976; Marwitz, 1972). Bár az ilyen csoportosítás haszna vitathatatlan, a valóságos esetek gyakran „elvesznek” a túlságosan is általános kategóriák tágas keretei között. Sajnos, ez éppen a nálunk leggyakoribb, multicellás rendszerekre érvényes megállapítás.
- A mesterséges jégképző *magvak hatásmechanizmusára*, továbbá a reagens felhőben való *szétterjedésének mechanizmusára* vonatkozó *megoldatlan* kérdések.
- A „direkt” *magvasítás* végrehajtásával kapcsolatos alapkérdések: a bejuttatás *időpontjára, helyére* és a *magkoncentrációra* adott válaszok *egzakt* voltának hiánya.

– Azoknak a mérési, ill. megfigyelési módszereknek a hiánya, amelyek segítségével a beavatkozások közvetlen hatásait mérni tudnánk. (Ez annak ellenére érvényes megállapítás, hogy több esetben – bár korántsem általában – a radarjellegzetességek időbeli menete világosan mutat különböző változásokat, amelyek a felhőben magvasítás után következnek be, azonban e változások pontos leírása, ill. a mennyiségi összefüggések feltárása, – ha egyáltalán lehetséges –, mindeddig még nem történt meg.)

A b) csoportba tartozó legegyszerűbb nehézségeket: a meghibásodásokat a II. táblázatban foglaltuk össze; ezek közül természetesen a teljes rendszer kiesését eredményező hibák a legjelentősebbek.

A radar meghibásodása 1982-ig – az MRL-5 típusú lokátor üzembeállításáig – a teljes védekezés azonnali megszűnésével járt. Ma ez a veszély már nem fenyeget; az új RJE-eket – a Bács megyeit is – 100%-os radartartalékkal tervezzük.

Az egy-egy állomás időleges kiesését okozó érdekesebb hibák közül megemlítjük a sikertelen rakétaindítás után előírt 10 perces várakozási időt; a rakéta eltávolítását és újabb rakéta indítását csak ezután lehet kezdeményezni. (Ez a hiba egyébként meglehetősen gyakran előfordul.)

Műszaki jellegű nehézséget képvisel a kb. 5 cm-nél kisebb hullámhosszúságú radrajelek elnyelődése a csapadékrészecskéken. Ez a hullámhossztól függő jelenség lényegében a részecskék energia-abszorpciójának és a sugárzás szórásiának összegéből adódik. Kiszámítása elvileg gömbalakú részecskékre, ill. forgási ellipszoidokra egyaránt lehetséges (pl. Gossard és Strauch, 1983). A 3,2 cm-es hullámhosszon az elnyelődés pl. 16 mm/h-s záporoszerű csapadékban elérheti a 0,3 dB/km értéket. Ez a csapadékszónák valódi képenek torzulását idézi elő a radarernyőn; egyes lehetséges következményeivel a szubjektív hibákról szóló részben foglalkozunk.

Döntően fontos operatív probléma a VT felett egyidejűleg megjelenő 3–6 (esetleg több) jégesőveszélyes góc paramétereinek mérése és a rákövetkező beavatkozások végrehajtása. Mivel mind a mérés, mind az adatrögzítés manuálisan történik, az időigény jelentős (egy-két perc/zóna); ezt esetenként megnövelik a tűzparancsal kapcsolatos tevékenységek. A mérés továbbá bizonyos mértékig függ az operátortól, valamint a felhő sajátosságaitól. Mivel a záporoszerű csapadékok, ill. jégesők képződése az első radarvisszhang megjelenése után 5–15 percen belül lejátszódhat, ez azt jelenti, hogy több cél esetében szelektálást, ill. elhanyagolásokat kell végezni: vagy egy-egy fontosabb zóna a szükségesnél csak ritkábban figyelhető meg. Mindennek következményei egyediek és a szubjektív hibák csoportjával érintkeznek. Ezt a nehézséget csakis műszaki fejlesztéssel, elsősorban számítógépnek a radarhoz történő kapcsolásával, vagyis a mérési-döntési folyamat részleges vagy teljes automatizálásával lehet megoldani.

A védekezés operatív lebonyolításával kapcsolatban csak futólag említjük azokat a gondokat, amelyek az egyes tevékenységi köröket szabályozó felsőbbszintű rendeletek és az ezek alapján, továbbá a szovjet tapasztalatokat figyelembe véve készült belső utasítások végrehajtása során felmerülnek.

A RJE-k szervezésénél általánosságban is számos egyéb operatív probléma jelentkezik: pl. a kilövőállomások helyszínének a rakéták műszaki jellemzőivel kapcsolatban álló kijelölése, a rakéták honosítási eljárása, a tiltott zónák meghatározása, a rakéták alkalmazása stb. Mindezek kihatnak a VT nagyságára és ezen keresztül a gazdasági eredményekre is.

A szubjektív hibák c) csoportjába tartoznak:

- A helyzet nem megfelelő értékeléséből származó első-, és másodfajú hibák (vagyis a védekezés elmulasztása „a jégeső várható” jelzések esetében, ill. a főleges védekezés); az ilyen jellegű hibák gyakran a „veszélyes” esetben gyors döntést hozó BV kényszerhelyzetére vezethetők vissza.
- Az „egyszerű” tévedések, ill. mulasztások, amelyek figyelmetlenségből, fegyelmezetlenségből, vagy egyéb okokból következnek be (és mindig be is következhetnek, lásd: „Murphy törvénye”).

II. TÁBLÁZAT

	Kiesés	
	Teljes rendszer	1-1 lomás
ERISZ engedély	+	.
Radar (1982-ig)	+	.
Központi URH	+	.
URH	.	+
Kilövő állvány	.	+
Rakéta	.	+
Gépkocsi*	.	+

* A gépkocsi meghibásodásának egyéb problémáit pl. a személyzet szállításának akadályoztatása jelentheti stb.

- Végül az első és második típusú elvi, ill. műszaki nehézségekből eredő azon hibák, amelyek a megfigyelési, beavatkozási, döntési folyamat hiányosságaival kapcsolatosak. Emiatt – és gyakorlati tapasztalatai alapján – a *BV* sokszor kényszerül egyéni döntésekre. Az ilyen szituációkat az alábbi példakkal illusztráljuk.

A radarkép interpretálásával (a szinoptikus térkép analíziséhez hasonlóan) lehetőség van különböző magyarázatokra és ennek megfelelően eltérő következtetések levonására is. Ez pl. abban nyilvánulhat meg, hogy a *BV* a magvasítási kritériumot „önkéntesen” megváltoztatja: nevezetesen a kritikusnál kisebb paraméter-értékek esetén is tűzparancsot ad. A magyarázat egyszerű lehet, többek között az, hogy tudja: az elnyelődés deformálja a radarerőnyőn megjelenő csapadékzónák képét, a visszhang intenzitását stb.

Önálló döntést igényel a következő, ugyancsak eljárásbeli határozatlanság is. A szükséges reagens-koncentráció létrehozására vonatkozó „ökölszabály” szerint az adott reflektivitású zóna minden km^2 -ére (a vízszintes síkban) 60 – 120 g hatóanyagot kell bevinni. A zivatarfelhő fejlődése során azonban (eleinte) a zóna paraméterei – így a *Z* reflektivitási tényező, valamint ennek gradiense – is növekszenek. Ez azzal jár, hogy a kritikus echo-kontur mérete (területe) csökken, amit a reagens mennyiségének csökkentésével kellene figyelembe venni. A gyakorlatban ennek az ellenkezője történik: az intenzív fejlődés időszakában lövés-lövést követ, hiszen a jégesőveszély nyilvánvalóan szintén növekszik. A szubjektivitás ilyenkor a rakéták felbocsátási frekvenciájának és trajektóriáinak kiválasztásában mutatkozhat meg. Mivel az így elküldött hibák gazdasági következményei esetenként súlyosak lehetnek, kívánatos lenne, ha a jelenlegi rendszerrel szemben a *BV*-k önálló tevékenységére a szovjet gyakorlathoz hasonlóan csak kétéves tanulási időszak után kerülne sor.

Mindezek mutatják, hogy a szubjektív elemek – amelyek kiküszöbölése még gondos és időben folyamatos ellenőrzés, ill. az ellenőrzés tapasztalatainak állandó elemzése esetén is igen nehéz – legalább kettős negatív következménnyel járnak: egyrészt ronthatják az eredményeket, másrészt ellenőrizhetetlen hibákat vihetnek bele az adatokba, rajtuk keresztül a döntési folyamatba, mindezeket át pedig az eredmények objektív értékelésébe.

Összefoglalásul megjegyezzük, hogy a legfontosabb hibaforrások felsorolása nem azért történik, hogy ezzel igazoljuk a bekövetkezett balsikereket és a védekezés átlagos hatékonyságát. (Bár kétségtelen, hogy konkrét esetekben mindezek reális, vagy realisnak tűnő hivatkozási alapot jelentenek.) Személyes tapasztalatok alapján is úgy véljük, hogy hasonló típusú – bár kisebb mértékű – nehézségek és hibák a sokkal jobban szervezett, műszakilag összehasonlíthatatlanul jobban felszerelt és tegyük hozzá, jóval fegyelmezettebben dolgozó szovjet expedíciókban is előfordulnak. Ha eléünk ez lenne, akkor nem tennénk mást, mint elődeink, akik a viharágyúzás hatásaira esküdvén, a sikert – vagyis a jég elmaradását –, *mindig* a védekezés hatásainak tulajdonították, a jégverést viszont, műszaki vagy egyéb hibákra való hivatkozással, ugyancsak *mindig* meg tudták „magyarázni” (Beck, 1978.).

Ellenkezőleg, az a véleményünk, hogy a hibaforrások felderítése és rangsorolása, továbbá a hibák lehető legrészletesebb elemzése az eredmények javításának nélkülözhetetlen feltétele. Ezt a megállapítást elsősorban az elméleti hiányosságokra tekintjük érvényesnek, ami azt jelenti, hogy:

- mivel ismereteink jelentős fejlődése e „kísérleti meteorológiai” területen csupán a *sokoldalú* megfigyelések adatanyaga alapján várható a közeljövőben (lévén maga a jelenség is rendkívül komplex), és
- mivel ilyen adatananyagot csakis megfelelő, *saját* műszaki bázison lehet beszerezni és elemezni, ezért

a jégeső elleni védekezés témakörében a legfontosabb és hosszabb távon sokszorososan visszatérülő teendő az ismereteink fejlesztését biztosító feltételek megteremtése. Emellett, bár nem elhanyagolható, csak másodlagos jelentőségű (mert igazán döntő javulást nem eredményezhet) a szervezési, vagy szubjektív hibák csökkentésére irányuló törekvés. Ezt a megállapítást a baranyai károknak az utóbbi 6 évben kimutatható viszonylagos állandósága (Wirth et al., 1984) is igazolni látszik. Ugyanakkor meg kell állapítanunk, hogy az operatív tevékenységben is bizonyosan rejlenek még tartalékok. Ezeket pl. olyan típusú vizsgálattal lehetne feltárni, amely a várható kár és a várható megtakarítás optimális kombinációját a rakétákra fordított kiadások figyelembevételével adná meg. Könnyen elképzelhető ui. (és 1983-ban elő is fordult) olyan védekezési séma, amely a túlnagy rakétafelhasználás miatt már nem tekinthető gazdaságnak.

Gondolatmenetünk segítségével a jégesőelhárítás nehézségeinek belső logikai összefüggését is érzékeltetni kívántuk, egyidejűleg rámutatva a döntő kérdésekre. Elfogadása – a gazdasági eredményeket is figyelembe véve (Wirth et. al., 1984) – ugyanakkor fontos következtetésekre vezet a védekezés hazai perspektíváinak kijelölésében.

10. Perspektívák

A több évvel ezelőtt készített középtávú tervek szerint, amelyek a kísérleti időszak sikeres befejezésekor a védekezés megerősítésére és kiterjesztésére vonatkozó minisztertanácsi határozat idején készültek, a kilencvenes évekig legalább 3–4 újabb jégesőelhárító egységet kell megszervezni várhatóan Bács-Kiskun, Heves és Szabolcs-Szatmár megyékben.

A Bács megyei védekezés megindítása ma már eldöntött kérdés: a beruházás 1983-ban megindult. A 2. számú RJE teljes üzembehelyezése 1985-re várható.

A további egységek létrehozásáról kormányzatunk valószínűleg csak az 1985–88 közötti időszakban határoz. Ehhez nyilvánvalóan a felhalmozott tapasztalatok elemzése szükséges. Ezek szakmai és gazdasági összetevőkre bonthatók. Vegyük szemügyre előbb a szakmai oldalt.

A kísérleti és elméleti bizonyítékok alapján kétségtelennek látszik, hogy a túlhűlt, konvektív felhők bizonyos tartományainak magvasítása az időjárás-módosítás (korlátozott tér- és időléptékű) lehetőségét kínálja. A változások azonban – amelyeket a védekezési koncepció alapján a reagens részecskéivel létrehozott járulékos jégeső-embriók révén idézünk elő a csapadékképződés folyamatában – ma még közvetlenül nem mérhetőek. Ezért eljárásunk hasonlít bizonyos gyógyszerek adagolásához, amelyek kedvező hatása ugyan (legalábbis egyes esetekben) nyilvánvalónak tűnik, de amelyek hatásmechanizmusa ma még nem ismeretes. A hasonlat továbbvihető: a túlságosan kevés, vagy rossz időpontban alkalmazott orvosság hatástalan, a túl nagy adagokban alkalmazott pedig mérgező lehet (pl. MC-nál csökkentheti az esetleg égetően fontos csapadék mennyiségét, SC-nál növelheti a kieső jégtömeget!). A jégesőelhárítás e paradoxonjára (Atlas, 1977) korábban már utaltunk.

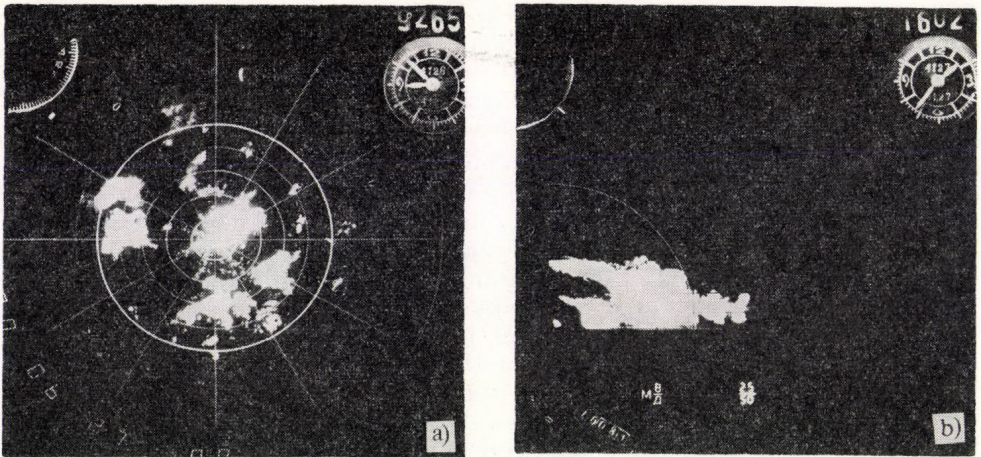
Tekintsük most a gazdasági összetevőt. Itt egy másik, ugyancsak kétségtelen tényt rögzíthetünk. Nevezetesen azt, hogy mind a nagy területen hosszú idő óta folytatott szovjet jégesőelhárítás publikált eredményei, mind pedig saját, hétéves védekezési tevékenységünk elemzése egyaránt a közvetett, vagyis gazdasági hatások „kívánt” irányába: a jégkárok csökkenésének irányába mutatnak. Saját adataink alapján (Wirth et. al., 1984) e csökkenést szignifikánsnak – bár a kiemelkedően jónak mondható szovjet eredményeknél 30–50%-kal gyengébbnek – tekinthetjük. Ez az eredmény azonban új. A gazdasági vezetés tulajdonképpen a hároméves kísérleti időszak egyszerű számításai alapján kényszerült hosszabbtávú következtetések levonására. Mindezeken a jégeső elleni védekezés gyors kiterjesztésének gazdasági kényszerét hangsúlyozzák. Ezenkívül ma már nemcsak a szakmai közvélemény, hanem a tágabb – elsősorban az érdekelt mezőgazdasági és pénzügyi – körök is lényegében problémamentes, egyszerű „termelői” tevékenységnek tekintik a jégeső elleni védekezést. Ez – sajnos – olyan tévedés, amelynek ugyancsak kellemtelen gazdasági kihatásai lehetnek. Az eddigi tapasztalatok szerint ui. a védekezés költségei gyorsabb ütemben nőnek, mint az elért megtakarítás; és ez különösen szembetűnővé válik az újabb jégesőelhárító rendszerek létesítésekor. A helyzet így félelmetesen hasonló a nyolc évtizeddel ezelőttihez, amikor a

gazdasági érdekek a viharagyűzés robbanásszerű elterjedéséhez, majd sokkal kevésbé látványos elmúlásához vezettek. Ennek tanulságait feltétlenül le kell vonnunk és – a szakma és a takarékoság érdekében – nem szabad megengedni, hogy e döntő kérdések háttérbe szoruljanak.

Véleményünk szerint tehát – a jelenlegi helyzet realitásait figyelembe véve – *szakmailag* az a szükséges és egyetlen lehetséges következtetés, hogy a továbbiakban figyelmünket és erőnket elsősorban a *minőségi* és a nem mennyiségi fejlesztésre fordítsuk. Ennek keretében a lehető legjobban ki kell használnunk azokat a technikai és személyi adottságokat, amelyek a két, egymás mellett elhelyezkedő és egymás munkáját támogató RJE-ben rejlenek; továbbá mindent el kell követnünk a megfigyelési-döntési folyamat automatizálásának kialakítására. Ez utóbbi az eljárás tökéletesítését jelenti – az elemző munka megjavítása és a szubjektívítés kiküszöbölése révén – egyben az eredmények javításának feltétele, így alapvető gazdasági érdek is.

✱

Nincs helyünk mindazok nevét felsorolni, akik szolgálatunktól, a mintegy 12 éves szakmai-szervezési, majd a hétéves operatív munkában részt váltak. A külső támogatók száma sem csekély, közülük mégis kiemelésre kívánkozik a védekezést finanszírozó Állami Biztosító; valamint a Baranya megyei Tanács részéről Dr. Földvári János általános elnökhelyettes, akinek 1968 óta tartó sokoldalú támogatását mind az előkészítés, mind a megvalósítás szakaszában folyamatosan érzékelhettük; tevékenységükért ezúton mondunk köszönetet.



9. ábra – Fig. 9: Konvektív felhők vízszintes (a) és függőleges (b) metszetű képe a 3,2 cm-es radar ernyőjén; a) a koncentrikus körök távolsága 10 km; a jobb felső sarokban a fotó sor-száma és az idő, a bal felsőben az antenna magassági szöge, bal oldalt lenn a dátum és a dB-ben mért csillapítás értéke; az ábra sporadikus eloszlású, nagyobb zivatarfelhőket és kisebb, konvektív cellákat mutat; b) a jelölések hasonlóak az a-hoz, az ábra közepén, alul látható a 25/50 a magassági-távolsági lépték, km-ben; az individuális zivatarfelhő vertikális metszetének radarképe szerint közel 10 km magassáig nyúlik föl, a felső szinteken a szőlnyírás hatása, az ábra jobb oldalán az új cellák képződése figyelhető meg

Horizontal (a) and vertical (b) sections of convective clouds on 3.2 cm radar screen

FÜGGELÉK

A fontosabb műszaki berendezések leírása

Az MRL-1E típusú, általános meteorológiai célokra készült radar főbb műszaki jellemzőit *III. táblázatunk* tartalmazza. A beavatkozásoknál alkalmazott 50 km-es távolsági léptéknél a radarparaméterek, még a szükséges pontossággal mérhetőek mind a PPI, mind az RHI üzemmódoknál. A beépített csillapító lehetővé teszi a gyengébb jelek fokozatos elnyomását, egészen 72 dB-ig. A radarantenna kézi és automatikus üzemmódban is vezérelhető (mindkét síkban), kiválasztott oldal-, vagy magassági szögek között is. A radarernyőkön megjelenő kép gombnyomásra lefényképezhető. (9. ábra)

III. TÁBLÁZAT

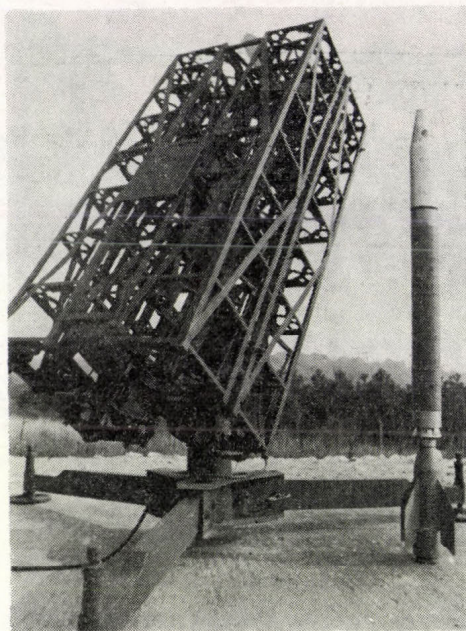
A baranyai jégesőelhárításban alkalmazott radarok (A)
és szovjet rakéták (B) fontosabb műszaki jellemzői (Rukovodsztvo, 1980)

A) Radarok	MRL-1	MRL-5	
		I. csat.	II. csat.
Hullámhossz, cm	3,2	3,2	10,3
Impulzus-teljesítmény, kW	210	250	850
Ismétlődési frekvencia, us	1;2	1;2	1;2
Vevőérzékenység, db/W	128	134	136
Apertúra-felület, m ²	7	16	16
Antenna-átmérő, m	3	4,5	4,5
Íránykategória, °-ban	0,74	0,5	1,5

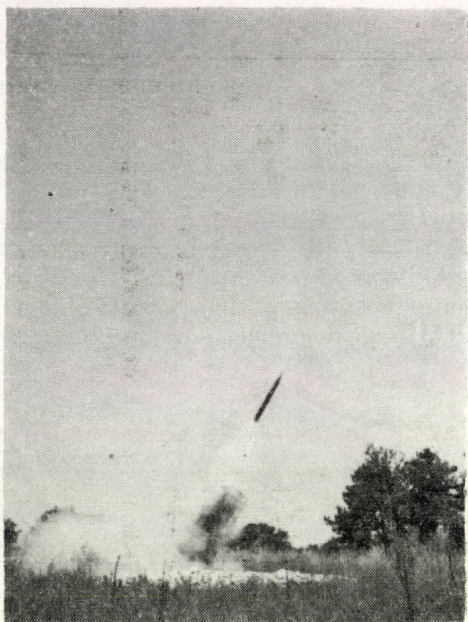
B) Rakéták	OBLAKO	PGI-M
Kaliber, mm	125	82,5
Tömeg, kg	35	3,1
Hosszúság, mm	2163	421
Maximális emelkedési magasság, m	7900	4100
Maximális hatótávolság, m	10200	5100
Effektív hatótávolság, m	8000	1000
Reagens tömeg, g	3770	615
Reagens égési idő, s	max. 45	20

Az ügyeletes rakétakilövőök az indítóhelyen veszik az adatokat, majd beállítják az indítóállványokat, és az utasításnak megfelelően (korábban robbantógéppel, 1980-tól akkumulátoros gyújtással) indítják a rakétákat. Kétféle – *Oblako* és *PGI-M* típusú – rakétákat alkalmazunk (lásd *II. táblázatot*). Szovjet adatok szerint (*Rukovodsztvo*, 1980) a fajlagos jégmaghozam: 10^{13} részecske grammonként, -10 °C-os hőmérsékletnél. A kilövőállomások fölött, vagy közvetlen közelükben levő zivatargócoknál a kisebb (*PGI-M*) rakétát kell használni. Az *Oblako* működése után a farokrészben elhelyezett tehererőnyővel, kb. $6-7$ ms⁻¹ sebességgel ereszkedik le a földfelszínre; a kisebb rakétát a pirotechnikai keverék elégetése után detonátortöltet robbantja szét veszélytelen méretű darabokra. (A kilövőállványt és az *Oblako* rakétát, valamint ennek indítását a *10-11. ábrán* láthatjuk.)

1978-ban üzembe helyeztünk egy URH-rádióval felszerelt mérőkocsit azzal a feladattal, hogy mintát vegyen a kihulló jég szemekből. A kocsiba



10. ábra — Fig. 10 : Oblako rakéta és kilövőállványa — Oblako rocket and its launcher



11. ábra — Fig. 11 : Oblako rakéta indítása
Launching of the Oblako rocket

saját munkatársaink által kifejlesztett szélirány- és sebességmérőt, valamint platina ellenálláshőmérő-egységet építettünk be; a mérési adatokat mágneszalagon, automatikusan rotáltuk. A kocsik berendezéséhez filmfelvevő, fényképezőgép és kazettás magnetofon tartozott (a meteorológiai észlelések rögzítésére). Az 1979-ben szerzett tapasztalatok, majd szervezési nehézségek miatt a kocsit ma már csak az indikátorok szervizelésére, ill. kárfelmérésekre használjuk.

IRODALOM

- Ambrózy, P. (szerk.), 1967: A jégesőelhárítás kérdései Magyarországon. A MMT és az AB XIII. Vándorgyűlésén elhangzott előadások és hozzászólások. Budapest, MTE SZ Nyomda, 119 old.
- Abshaev, M. T., and Kartsvadze A. I., 1973: Radar methods and equipment for hail suppression. Proceedings of the WMO/IAMAP Scientific Conference on Weather Modification, WMO No. 399. 343–352.
- Atlas, D., 1977: The Paradox of Hail Suppression. *Science*, 195, 139–145.
- Bálint, Gy., 1967: Jégkarak a mezőgazdaságban. MMT-AB közös, XIII. Vándorgyűlésén elhangzott előadások. Budapest. 81–91 old.
- Bálint Gy., Csaplak A., Czákó F. és Wirth E., 1969: Tervezet a jégesőelhárítási kísérletek előkészítésére. OMFEB koncepció-tervezet, Budapest, 79. old.
- Bálint Gy. és Wirth E., 1970: Jégesők Magyarországon és a jégesőelhárítás lehetőségei. *Kertgazdaság*, 3. No. 2. 49–67. old.
- Bartisvili, I. T. — Bartisvili, G. Sz. — Gudusauri, S. L. — Lominadze, V. P. — Civeasvili, S. I. — Smerting, I. Sz., 1970: Rezultatü Protivogradovüh Rabot, Provogymüh Po metodu ZakNIGMI. Trudü VIII. Vseszozjuznoj Konferencii Po Fizike Oblakov i. Aktivnüm Vozgveysztijam, Gidrometeoizdat, Leningrad, 500–507.
- Battan, L. J., 1965: A view of cloud physics and weather modification in the Soviet Union. *Bull. Am. Met. Soc.* 46, 309–316.
- Battan, L. J., 1969: Weather Modification in the U.S.S.R. — 1969. *Bull. Am. Met. Soc.* 50, 924–945.
- Battan, L. J., 1977: Weather Modification in the Soviet Union — 1976. *Bull. Am. Met. Soc.* 58, 4–19.
- Battan, L. J., 1979: Fundamentals of Meteorology, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N. J. 322 old.
- Beck, M., 1978: Tudomány-áltudomány. Akadémiai kiadó, Budapest 165. oldal.
- Bergeron, T., 1935: On the physics of cloud and precipitation. Proc. 5th. Assembly U.G.G.I. Lisbon, Vol. 2. p. 156.
- Borland, S. W., 1977: Hail suppression: Progress in Assessing its Costs and Benefits. Hail: A Review of hail Science and Hail Suppression. Eds.: Foot, G. B. and Knight, C. A. Met. Mon. Vol. 16. No. 38., pp 155–175.
- Borovikov, A. M. — Doreuli, R. J. — Kartsvadze, A. I. — Kostarev, V. V. — Lapinskas, B. A. — Salukvadze, T. G., 1967: Radiolokacionnüle karakterisztiki gradovüh oblakov. Fizika oblakov. Izd. Mecniereba, Tbilisi.
- Browning, K. A., 1962: Cellular structure of convective storms. *Met. Mag.* 91, 341–350.
- Browning, K. A., 1964: Airfloun and precipitation trajectories within severe local storms which travel to the right of the wind. *J. Atmos. Sci.* 22. 664–668.
- Browning, K. A. and Foote, G. B., 1976: Air flow and hail growth in supercell storms and some implications

- for hail suppression *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.* 102, 499–533.
- Browning, K. A., Frankhauser, J. C., Chalon, J. P., Eccles, P. S., Strauch, R. C., Herrem, F. H., Musil, D. J., May, E. L., Sand, W. R., 1976: Structure of an evolving hailstorm. Part. V., *Mon. Wea. Rev.* 104, 603–610.
- Burtsev, I. I., 1976: Hail suppression. Papers Presented at the Second WMO Scientific Conference on Weather Modification. Boulder, Colorado, WMO. No. 443, 217–222.
- Burtsev, I. I., 1980: Hail suppression activities in the Soviet Union, Papers Presented at the Third WMO Scientific Conference on Weather Modification. Vol. II, 547–554.
- Byers, H. R. and Braham, R. R., 1949: The thunderstorm: report of the thunderstorm project. U. S. Govt. Printing Office, Washington.
- Changnon, S. A., Jr., 1977: On the Status of Hail Suppression. *Bull. Am. Met. Soc.* 58, 20–28.
- Chisholm, A. J. and Renick, J. H., 1972: The kinematics of multicell and supercell Alberta hailstorms, Alberta Hail Studies, Rep. No. 72–2. 24–31.
- English, M., 1973: Alberta hailstorms. Part II. Growth of large hail in the storm. *Meteor. Monogr.*, No. 36, 37–98.
- Facy, L., L. Meriviat, G. Nief and R. Roth, 1963: The study of formation of hailstones by isotopic analysis, *J. Geophys. Res.* 68, 3841–3848.
- Federer, B., Waldvogel, A., Schmid, W., Hampel, F., Rosini, E., Vento, D., Admirat, P., and Mezeir, J. F., 1978/79: Plan for the Swiss Randomized Hail Suppression Experiment. Design of Grossversuch IV. *Paqroph* 117, 548–571.
- Felszer, B., Waldvogel, A., Schmid, W., Hampel, F., Schueingruber, M., Stahl, W., Mezeir, J. F., Doras, N., and Vento, D., 1982: First result of Grossversuch IV. Előadás a szófiai Nemzetközi Felhőfizikai Konferencián.
- Földvári J., Kozák B. és Wirth E., 1980: A jégesőelhárítás bevezetése Magyarországon. *Agrár tudományi Közlemények* 39, 189–193.
- Földvári J. és Wirth E., 1979: Jégesőelhárítás Magyarországon. *Biranya megyei Tanács házi nyomatja*, Pécs, 99 old.
- Gujronovszkij, I. I. – Leszkov, V. N. – Voronov, G. Sz., 1967: Iszledovanyija gradovŭh processov v Moldavii. Iszledovanyija po fizike oblakov i. aktivnŭm vozvzejstrijam na pagodu. Moszkva. 103–207. old.
- Gujronovszkij, I. I., Szrjogin, J. A., Voronov, G. S., 1968: Investigations of hail processes and their artificial modification in flat regions of the USSR. Proc. of the International Conference on Cloud Physics. Toronto, Canada.
- Geresdi I., Zoltán, Os., Székely, Os., Molnár K. and Stojanov, S., 1984: A numerical model of hailstone growth. Előadás a IV. Nemzetközi Felhőfizikai Konferenciára, Tallin.
- Gossard, E. E., and Strauch, R. G., 1983: Radar Observation of Clear Air and Clouds, Elsevier, Amsterdam 280 old.
- Gözl, G. és Mészáros E., 1968: A jégesők gyakoriságának területi eloszlása a nyári félévben Magyarországon. *Időjárás*, 72, 46–54.
- Iribarnz, J. V. and D. Penz, R. G., 1982: The influence of particle concentration on the evolution of hailstones. Verona.
- Kurcinidze, A. I., 1967: Opiti vozvzejstrijna na gradovŭje javlenija v Alazanszkoj Doline. Fizika oblakov. Izd. Meentereba. Tbilisi, 190–197.
- Lanymuir, I., 1948: The Production of Rain By a Chain Reaction in Cumulus Clouds at Temperatures Above Freezing, *Journal of Meteorology*, Vol. 5, No. 5, 175–192.
- List, R., 1977: Ice accretions on structures, *J. Glaciol.* 18, 375–388.
- List, R., 1977/a: Reponse to “The Characteristics of Natural Hailstones and Their Interpretation”: Laboratory Hail Research A Critical Assesment. *Met. Mon.* Vol. 16, No. 38, 89–91.
- List, R., 1979: Cloud physics and weather modification. PEP-report, No. 13. WMO, Geneva. 17–31 pp.
- Ludlam, F. H., 1950: The composition of coagulation elements in cumulonimbus. *Quart. J. R. Meteor. Soc.*, 76, 52–58.
- Ludlam, F. H., 1958: The hail problem. *Nubila*, Anno I. 12–96.
- Ludlam, F. H., 1963: Severe Local Storms: A Review *Met. Monographs*, Vol. 5, No. 27, 1–30.
- Macklin, W. C., 1978: The characteristics of natural hailstones and their interpretation. *Met. Mon.* No. 38, 65–88.
- Marwitz, J. D., 1972: The structure and motion of severe hailstorms. Part.: Supercell storms. *J. Appl. Meteor.*, 11, 166–179.
- Nubila, Anno V. No. 1, 7–30.
- Pruppacher, H. R., and Klett, J. D., 1978: Microphysics of clouds and precipitation. D. Reidel Publ. Comp. Dordrecht, Holland, pp. 714.
- Ravm Oszkár, 1900: “Casale-Monferrato”. Különnyomat „Az Időjárás” 1900. évi január havi füzetéből.
- Rukovodstvo po primenyeniju radiolokatorov MRL-4, MRL-5 i MRL-6 v sziszteme gradozascitŭ. Hidrometizdat, Leningrad, 230 old.
- Sávoly, X. F., 1900: A viharágúzás. Temesvár, 108 oldal.
- Schumann, T. E. W., 1938: The theory of hail formation. *Q. J.R.M. Soc.* 64, 3.
- Székely Cs. és Zoltán Cs., 1984: A jégesőindikátor és felhasználásának lehetősége. *Időjárás*, 88, 32–45.
- Sztrakalvidze, G. K., 1967: Livnyevŭje oszadki i grad. Hidrometeoizdat, Leningrad, 412 old.
- Vítori, O., 1960: Preliminary note on the effects of pressure waves upon hailstones. *Nubila*, Anno, III. No. 1.
- Vulfson, I. I. – Csereenkova, E. P., 1970: Vozvzejstvijena na konvektivnŭje oblaka iszkusztvenno szodzannŭmi nyiszhodjascsimi dzviszenijam. Trudŭi IPG. vŭp. 12., 17–51 old.
- Vulfson, I. I. – Levin, L. M., 1964: Nyiszhodjascsie konvektivnŭje potoki. *Dokl. Ak. Nauk. T. 158*. No. 6. 1320–1323.
- Vulfson, I. I. – Levin, L. M., 1968: Razrusenyie razvivajusciszsija oblakov iszkusztvenno szodzannŭmi nyiszhodjascsimi potokami. *Dokl. Ak. Nauk, T. 181*, No 4., 855–857.
- Vulfson, I. I. – Levin, L. M., 1972: Razrusenyie razvivajusciszsija kucsuvŭh oblakov sz pomoszaju vzrŭvov. *Izv. AN SszSzR. Fizika atmoszferŭi i okeana*, T. 8. No. 2., 156–166. old.
- Vulfson, I. I. – Levin, L. M., 1974: O forme realizácii szpontannŭh konvektivnŭh dzviszenij v atmoszferŭe. *Űo. T. 10*. No. 4., 344–349. old.
- Weickmann, H. K., 1953: Observational data on the formation of precipitation in Cumulonimbus clouds. *Thunderstorm Electricity*, 66–138.
- Weickmann, H. K., 1963: A Realistic Appraisal of Weather Control. *J. App. Mathematics and Physics*, 14, 523–543.
- Wirth, E., 1969: Jégesőképzdődesi elméletek és megelőzési módszerek a Szovjetunióban. *Időjárás*, 73, 99–108.
- Wirth, E., 1976: Jégesők szerkezetének vizsgálata. *Időjárás*, 80, 202–210.
- Wirth, E., 1980: A jégesőelhárítás kérdései. *MTA X. Oszt. Közl.* 13/2–4, 177–198.
- Wirth E. és Bónis K., 1971: A légköri jégkristályok keletkezése. *Fizikai Szemle*, XXI/5. szám.
- Wirth E., Markó T. és Söner F., 1984: A jégeső elhárítás értékelés: fizikai hatások és gazdasági következmények. *Időjárás*, 88, 3–20
- Wirth E., Polgár E., Szentiványi M. és Győre S., 1977: Szovjet jégesőelőjelzési módszerek magyarországi alkalmazásának tapasztalatai: Előadás a MMT XIV. Vándorgyűlésén, Pécs.
- Wirth, E. – Zoltán, Cs., 1979: Pervűe ekszperimentŭ i rezultati izmrenenij sz pomoszju indikatoru grada v Vengrii. Űszvetszégi felhőfizikai és felhőmódosítási konferencia. Nalesik.
- Young, K. C., 1977: A Numerical Examination of Some Hail Suppression Concepts. *Meteor. Monogr.*, Vol. 16, No. 38, 195–214.
- Zutszpina, L. P., Zontov, L. B., Ivanov, A. A. and Seregin Yu, A., 1930: Use for a dynamic method in modification experiments to quench cumulonimbus activity. Third WMO Scientific Conference on Weather Modification. Clermont-Ferrand Vol. 1. 349–354.

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata. 88. évf. 2. szám, 1984. március – április
Journal of the Hungarian Meteorological Service, Vol. 88. No. 2. March – Apr. 1984. Budapest

Evapotranspiration values obtained from planting patterns and their relationship with empirical estimates based on climatological approach

ANAND REDDY, K., Department of Agronomy, Andhra Pradesh Agricultural University, Hyderabad-500030; and JAIN, T.C. Indian Council of Agricultural Research, New Delhi, India

Eltérő vetésszerkezetű parcellák evapotranspirációja és összefüggésük néhány éghajlati módszerrel számított értékkel. Az evapotranspiráció elfogadhatóan pontos becslése csak viszonylag hosszú időszakokra – rendszerint egy évszakra vagy annak egy részére – lehetséges. A kapott értékek felhasználhatók a növény vízigényének megállapításához, az öntözött növény betakarításának tervezéséhez, öntözési tervek kialakításához stb.; a módszer azonban alkalmatlan speciális öntözési programok kidolgozására. Megállapították, hogy az öntözés mérvének csökkentésével az evapotranspirációs együtthatók is csökkentek. Ez azt jelzi, hogy a növények vízszükségletének klimatológiai módszerekkel végzett becslése csak megfelelő talajnedvesség-szint esetén eredményes. Az ikersoros vetési rendszerben kapott együtthatók feleakkorák voltak, mint a hagyományos vetési módszer esetén kapott értékek. A kád-párolgási módszer egy körüli együtthatókat adott. Öntözési programok kialakításához a legjobb tájékoztatást a – szerzők szerint – a párolgásmérő kád alkalmazása adja.

✱

Evapotranspiration values obtained from planting patterns and their relationship with empirical estimates based on climatological approach. Reasonable estimates of evapotranspiration can be made only over relatively long periods, lasting usually for a season or a part of it. Information thus obtained is useful in assessing crop water requirements, deciding cropping patterns under irrigation, in planning irrigation projects, etc., however, generally it is inadequate for developing specific irrigation schedules. The evapotranspiration coefficients decreased with a decrease in the level of irrigation. This indicates that the climatological approach to estimate the water needs of the crops is effective only at adequate soil moisture levels. The coefficients obtained in the paired-row system were about half as compared with the conventional method. The pan evaporation method gave coefficients of about unity. The pan evaporimeter is the best guide for scheduling irrigations.

✱

Introduction. Evapotranspiration primarily depends on climatic factors. It can be measured directly by the soil moisture depletion method in field experiments. In the absence of data obtained from field experiments, evapotranspiration can be estimated by empirical formulae based on climatological parameters such as temperature, radiation, relative humidity, wind, etc. A systematic procedure for the estimation of crop water requirements by empirical formulae based on a climatological approach was outlined by Doorenbos and Pruitt (1977). Murthy et al. (1972) developed an empirical formula to estimate the daily potential evapotranspiration by a regression equation using maximum temperature, daily temperature range and extra-terrestrial radiation, and reported an excellent fit over different States in India. The regression equation was originally developed by Baier and Robertson (1965) and showed a good fit in many States of Canada. Different empirical formulae have been

developed to estimate the potential evapotranspiration. However, most of them have some limitations when used for predicting the evapotranspiration of a crop. Hence there is a need to establish the relationship between actual evapotranspiration values obtained from field experimentation and the empirical estimates based on climatological approach. *Anand Reddy and Venkatachari* (1978) reported that the estimates obtained by the regression equation method were very close to field estimates for wheat crop in all dates of seedling. However the methods of Blaney-Criddle and Hargreaves gave higher and lower values, respectively.

1. Materials and methods

The present studies were undertaken at the Andhra Pradesh Agricultural University, Hyderabad, India during the 1979–80 and 1980–81 *rabi* (winter–rain-free period–irrigated) season. The farm is situated at an altitude of 542.3 m above mean sea level, with geographical bearing of 17°19'N latitude and 79°23'E longitude. The experimental details are given below.

The experiment was laid out in split-plot design replicated four times with three levels of irrigation (IW/CPE ratios of $I_1=0.60$, $I_2=0.75$ and $I_3=0.90$) as main plot treatments and with six treatments of two crops—maize and sorghum, two planting patterns—conventional and paired, and with and without groundnut intercrop in two crops as sub-plot treatments. The depth of water applied (IW) in each irrigation was 50 mm. The sub-plot treatment details are as follows:

1. M-CMI — Maize, conventional method of planting in ridges and furrows of 60×30 cm with irrigation in all furrows.
2. J-CMI — Sorghum, conventional method of planting in ridges and furrows of 60×10 cm with irrigation in all furrows.
3. M-PPi — Maize, paired planting, 45 cm between planted rows, 75 cm between pairs, and 30 cm between plants, with irrigation in planted furrows.
4. J-PPi — Sorghum, paired planting, 45 cm between planted rows, 75 cm between pairs, and 10 cm between plants, with irrigation in planted furrows.
5. M-PPGi — Maize, paired planting, and 2 rows of groundnut (30×10 cm) between pairs, 45 cm between planted rows, 75 cm between pairs, and 30 cm between plants, with irrigation in planted furrows of maize.
6. J-PPGi — Sorghum, paired planting, and 2 rows of groundnut (30×10 cm) between pairs, 45 cm between planted rows, 75 cm between pairs and 10 cm between plants, with irrigation in planted furrows of sorghum.

Based on the results of the first year (1979–80), two sub-treatments were modified in the second (1980–81), as indicated below:

5. M-PPGi — Maize, paired planting, and 2 rows of groundnut (30×10 cm) between pairs, 45 cm between planted rows, 75 cm between pairs and 30 cm between plants, irrigating both maize- and groundnut-planted furrows.
6. J-PPGi — Sorghum, paired planting, and 2 rows of groundnut (30×10) between pairs, 45 cm between planted rows, 75 cm between pairs and

10 cm between plants, irrigating both sorghum- and groundnut-planted furrows.

Plant population was the same in both planting patterns. The gross and net plot size was 19.8 m² and 9.72 m² respectively. The rainfall received during the crop growth period was deducted in arriving at the required CPE (Cumulative Pan Evaporation, mm) values for irrigation treatments, and no shower could cause runoff. Further, there was no ground water contribution as the water table varied from 3 to 5 m. Results of the physico-chemical analysis of the experimental site are listed in *Table I*.

TABLE I
Physico-chemical characteristics of the experimental site

<i>Textural composition</i>	<i>Rating</i>
Sand	57%
Clay	25%
Silt	18%
Soil type	Sandy clay loam
<i>Single value constants</i>	
Field capacity	13.20%
Wilting coefficient	6.20%
Bulk density	1.65 g cm ⁻³
Hdraulic conductivity	0.92 cm/h
<i>Soil chemical constituents</i>	
Soil pH	7.70 slightly alkaline
Electrical conductivity (1:2 soil water extract)	0.21 m.mho/cm (safe)
Organic carbon	0.46% (low)
Available nitrogen	273 kg/ha (medium)
Available P ₂ O ₅	33 kg/ha (medium)
Available K ₂ O	287 kg/ha (high)

Date of sowing: 31 10 1979; 11 10 1980

Date of harvesting: 22 2 1980; 4 2 1981

The amounts of rainfall received were 28.1 mm and 22.6 mm, and the number of rainy days was 4 and 2 during the 1979 – 80 and 1980 – 81 period, respectively. The mean maximum temperature ranged from 27.9 °C to 34.4 °C and 25.1 °C to 34.0 °C, and the mean minimum temperature was between 11.9 °C and 19.9 °C and from 10.1 °C to 20.7 °C in the two years, respectively, with an increase from 4th standard week onwards. The relative humidity at 14h varied from 23 to 66% and 22 to 58 %, and the hours of sunshine varied from 5.9 to 10.6 and 4.1 to 10.7. The wind velocity ranged from 3.0 to 7.9 km/h and 3.2 to 7.8 km/h. The daily evaporation recorded by means of a USA Class-I Open Pan Evaporimeter ranged from 2.3 to 7.5 mm and 3.6 to 6.3 mm in the two periods, respectively. In 1979 – 80 the lowest (2.3 mm/day) and highest (7.5 mm/day) values were recorded in the 48th and 8th standard weeks, respectively, while in 1980 – 81 the lowest (3.6 mm/day) value was recorded in the 46th, 52nd and 8th standard weeks, and the highest (6.3 mm/day) value in the 41st week.

The seasonal evapotranspiration computed by the gravimetric method (U) was compared with the empirical estimates based on climatological parameters using the pan evaporation method (P), radiation method (R) and Blaney-Criddle method (B), as suggested by *Doorenbos and Pruitt (1977)*, the regression equation method (RE) of *Murthy et al. (1972)*, and the pan evaporation (PE₀).

2. Results and discussion

The seasonal evapotranspiration computed by the gravimetric method and empirical estimates based on climatological parameters are presented in Table II.

The seasonal consumptive use (Table II) computed by the gravimetric method ranged from 257 to 260 mm (I_1), 264 to 267 and 262 to 263 mm (I_2) and 303 to 307 and 304 to 307 mm (I_3) in case of the in conventional method of planting and irrigation (CMI).

TABLE II
Seasonal evapotranspiration and its relationship with values obtained from empirical estimates based on climatological approach. (U) = Gravimetric method, (P) = Pan evaporation method, (RE) = Regression equation, (R) = Radiation method (B) = Blaney-Criddle method, (PE₀) = Pan evaporation

Treatments	1979-1980						1980-1981					
	(P) = 290.7; (RE) = 310.9; (R) = 384.6; (B) = 439.0; (PE ₀) = 570.4						(P) = 262.7; (RE) = 312.8; (R) = 364.1; (B) = 402.7; (PE ₀) = 558.6					
	(U)	U/P	U/RE	U/R	U/B	U/PE ₀	(U)	U/P	U/RE	U/R	U/B	U/PE ₀
I_1												
M-CMI	260.49	0.90	0.84	0.68	0.59	0.46	259.82	0.99	0.83	0.71	0.65	0.47 e
J-CMI	257.40	0.89	0.83	0.67	0.59	0.45	257.47	0.98	0.82	0.71	0.64	0.46 e
M-PPi	140.45	0.48	0.45	0.37	0.32	0.25	141.84	0.54	0.45	0.39	0.35	0.25 e
J-PPi	139.38	0.48	0.36	0.36	0.32	0.24	140.23	0.53	0.45	0.39	0.35	0.25 e
M-PPGi	148.33	0.51	0.48	0.39	0.34	0.26	261.38	0.99	0.84	0.72	0.65	0.47 e
J-PPGi	147.93	0.51	0.48	0.38	0.34	0.26	263.03	1.00	0.84	0.72	0.65	0.47 e
I_2												
M-CMI	267.35	0.92	0.86	0.70	0.61	0.47	263.33	1.00	0.84	0.72	0.65	0.47 e
J-CMI	264.10	0.92	0.85	0.69	0.61	0.46	261.91	1.00	0.84	0.72	0.65	0.47 e
M-PPi	166.25	0.57	0.53	0.43	0.38	0.29	161.85	0.62	0.52	0.44	0.40	0.29 e
J-PPi	163.17	0.56	0.52	0.42	0.37	0.29	160.92	0.61	0.51	0.44	0.40	0.29 e
M-PPGi	167.15	0.57	0.54	0.43	0.38	0.29	262.42	1.00	0.84	0.72	0.65	0.47 e
J-PPGi	167.11	0.57	0.54	0.43	0.38	0.29	269.51	1.03	0.86	0.74	0.67	0.48 e
I_3												
M-CMI	307.21	1.06	0.99	0.80	0.70	0.54	306.53	1.17	0.98	0.84	0.76	0.55 e
J-CMI	302.92	1.04	0.97	0.79	0.69	0.53	304.44	1.16	0.97	0.84	0.76	0.55 e
M-PPi	186.96	0.64	0.60	0.49	0.43	0.33	182.57	0.69	0.58	0.50	0.45	0.33 e
J-PPi	185.34	0.64	0.60	0.48	0.42	0.32	185.08	0.69	0.58	0.50	0.45	0.33 e
M-PPGi	190.47	0.66	0.61	0.50	0.43	0.33	308.13	1.17	0.99	0.85	0.77	0.55 e
J-PPGi	188.31	0.65	0.61	0.49	0.43	0.33	310.85	1.18	0.99	0.85	0.77	0.55 e
Mean												
CMI	276.58	0.95	0.89	0.72	0.63	0.48	275.88	1.05	0.88	0.76	0.69	0.50 e
PPi	163.59	0.56	0.53	0.43	0.37	0.29	161.58	0.62	0.52	0.44	0.40	0.29 e
PPGi	168.22	0.58	0.54	0.38	0.38	0.29	279.22	1.06	0.89	0.77	0.69	0.50 e

In paired planting and irrigating the planted rows of maize and sorghum (PPi), the seasonal consumptive use values ranged from 139 to 140 and 140 to 142 mm (I_1), 163 to 166 and 161 to 162 mm (I_2) and 185 to 187 and 182 to 183 mm (I_3). A similar trend was observed in paired planting and irrigating

the base crop rows (PPGi) with 148, 168, 188 to 190 mm during the first year, which was changed to 261 to 263, 262 to 270 and 308 to 311 mm when the groundnut intercrop also received irrigation (PPGi) along with the base crops. The estimated consumptive use values of CMI ranged from 290.7 to 439.0 mm in the first year, and from 262.7 to 402.7 mm in the second. The first year values were higher, as the pan evaporation value (570.4 mm) was higher, too,

The estimated values obtained by empirical methods at I_3 level of irrigation indicated that the values are approximately the same at adequate moisture level. In paired-rows where restricted irrigation was given to the base crop rows (PPi and PPGi), these methods gave over-estimated values even at I_3 level. These planted rows could take in half the quantity of the water applied in CMI.

The pan evaporation method and regression equation gave better estimated values; this is followed by the radiation method. The Blaney-Criddle method over-estimated the values, and the pan evaporation values were also higher. A similar trend was observed in empirical estimates and pan evaporation at lower levels of moisture (I_1 and I_2).

All empirical methods gave over-estimated evapotranspiration values in the paired-row system with (PPGi) and without (PPi) groundnut intercrop. The planted rows of the base crops (maize and sorghum) alone were irrigated, which could take in half the quantity of water as compared with the conventional method (CMI), resulting in about 40 to 41% decrease in consumptive use values. The values of pan evaporation were also higher. The pan evaporation method and regression equation could give a ratio of 0.60 to 0.66 at a higher level of moisture (I_3). The ratios obtained by other methods were less than 0.50 and that of pan evaporation were 0.33. The evapotranspiration coefficients obtained by the pan evaporation method were around unity in both years, using the conventional methods of planting and irrigation (CMI).

In the paired-row system, irrigating the planted rows of the base crop, the ratios were nearly half (0.48 to 0.66 and 0.53 to 0.69), as these treatments applied nearly half the quantity of water used in the conventional method. The mean ratios in CMI and PPGi decreased in the following order: regression equation (0.88 to 0.89), radiation method (0.72 to 0.77) and Blaney-Criddle method (0.63 to 0.69). The ratio with the pan evaporation value was 0.48 to 0.50. Thus it has been clearly shown that the estimated evapotranspiration values by empirical formulae will hold good at an adequate soil moisture level and where the entire field is irrigated as in the conventional method, but not in the paired-row system where the planted furrows of the base crop alone are irrigated.

All these methods either over-estimated or under-estimated the periodical evapotranspiration values, the pan evaporation method alone seems to be somewhat realistic. Hence, periodical evapotranspiration cannot be estimated properly by these empirical methods. Over a long period of time (normally a crop season) these methods give a reasonable estimate of the consumptive use values of a crop in a particular season. Evaporation from the Open Pan Evaporimeter takes into account the effect of advective energy along with other parameters of climate. It may be inferred that the pan evaporimeter can serve as a better guide for scheduling irrigations, as it was the best suited for the estimation of periodical evapotranspiration over short periods of time.

3. Conclusion

The pan evaporation method and regression equation gave relatively good seasonal evapotranspiration coefficients; the third best was the radiation method. The Blaney-Criddle method over-estimated the values. The coefficient ratios decreased with the decrease of irrigation level and in paired-rows, where the planted rows of the base crops were irrigated. Except for the pan evaporation, all empirical formulae over-estimated the periodical coefficients. Pan evaporation was found to be the best suited for scheduling irrigation.

REFERENCES

- Anand Reddy, K. and Venkatachari, A., 1978: Actual evapotranspiration from wheat crop and its relationship with estimates based on empirical formulae. *Időjárás* 82, 225-229.
- Baier, W. and Robertson, G. W., 1965: Estimation of latent evaporation from simple weather observations. *Can. J. Plant Sci.* 45, 276-284.
- Doorenbos, J. and Pruitt, W. O., 1977: *Guidelines for predicting crop water requirements*. FAO Irrigation and drainage paper 24 (revised). FAO, Rome.
- Murthy, B. S., Banerjee, J. R. and Sing, A., 1972: *An empirical method to estimate potential evapotranspiration*. Indian Meteorological Department, Pre-published Scientific Report No. 183. 13.
-

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata. 88. évf. 2. szám, 1984. március – április
Journal of the Hungarian Meteorological Service, Vol. 88. No. 2. March – Apr. 1984. Budapest

Műholdas információk felhasználása a meteorológiai mezők objektív analizisében

I. A műholdas információ bevonásának hatása az optimális interpoláció elméleti hibájára

DÉVÉNYI DEZSŐ és SALLAI MÁRTA, Országos Meteorológiai Szolgálat,
H—1525, Budapest, Pf. 38

The use of the satellite information for the objective analysis of the meteorological fields.
I. *The effect of satellite information on the theoretical error of optimum interpolation.* In the first part of the paper the authors determine the effect of the satellite information on the error of the interpolation in the case of idealized station-configurations gained by the application of method of generalized optimum interpolation and also for distributions of real aerological and satellite measurement-points. On the basis of the spatial distribution of the error of the interpolation i.e. the rate of improvement the regions can be determined in which the use of the data of the satellite sounding might cause a significant improvement of the objective analysis.

✱

Műholdas információk felhasználása a meteorológiai mezők objektív analizisében. I. A műholdas információ bevonásának hatása az optimális interpoláció elméleti hibájára. A dolgozat első részében a szerzők az általánosított optimális interpoláció módszerének alkalmazásával idealizált állomás-konfigurációkra, ill. reális aerológiai és műholdas mérőpont eloszlásokra meghatározzák a műholdas információk bevonásának az interpoláció hibájára gyakorolt hatását. Az interpoláció hibájának, ill. a javulás mértékének a területi eloszlása alapján meghatározhatók azok a tartományok, amelyekben a műholdas szondázás adatainak felhasználása az objektív analizis szignifikáns javulásához vezethet.

✱

Bevezetés. Az utóbbi években a meteorológiai adatok mennyiségének lényeges növekedése és minőségi tulajdonságainak változása az időjárás numerikus előrejelzésére szolgáló adatfeldolgozó rendszerek új alapokra való helyezését tette szükségessé. Elsősorban a műholdas hőmérsékleti szondázás elterjedése következtében a 60-as évek második felétől ugrásszerűen megnőtt az aszinoptikus megfigyelések jelentősége. Numerikus kísérletek sokaságát végezték el abból a célból, hogy megbecsüljék az aerológiai adatok aszinoptikus információkkal való kiegészítésének, a négydimenziós adat-asszimilációra történő áttérésnek a hatását (Döös, 1970; Bengtsson, 1975).

Az első alkalmazási kísérletekben a műholdas szondázás értékeit nem mért, hanem modell adatokkal helyettesítették. Az első ilyen kísérletben (Charney et al., 1969) a prognózis útján számított értékeket aszinoptikus megfigyelési adatokkal helyettesítették. Eredményeik nagyon biztatók voltak. Ugyanakkor Miyakoda és Talagrand (1971) kimutatták, hogy a modellezett adatokkal végzett kísérleteknél nem nélkülözhető az aszinoptikus és prognosztikus információk együttes alkalmazása. Ebből a célból olyan eljárást dolgoztak ki, amely analóg az előrejelzett mezőtől való eltérés optimális interpolációjával. Bengtsson és Gustavsson (1971, 1972) más módját választotta

a probléma megközelítésének: kutatásaikban négydimenziós modellszerű kísérletek egész sorozatát végezték el. Következtetések kevésbé optimisták, de kétségkívül realisabb becslést adnak az analízis pontosságának javulására.

A gyakorlatban a modellezett értékekről hamarosan áttértek a valódi műholdas adatok felhasználására, ez azonban a várt pozitív eredményt nem hozta meg.

A tényleges aszinoptikus információk bevonása legjobb esetben a prognózis jelentéktelen javulásához, gyakran azonban romlásához vezetett. A kísérletek ellentmondásainak legfőbb okára – a műholdas szondázások mérési hibáinak korrelációjára – viszonylag korán, az operatív szondázások megkezdése előtt mutattak rá (Gandin et al., 1972).

Az adat-asszimilációs rendszerek tesztelésére különösen kedvező lehetőséget teremtett az első globális GARP-kísérlet összetett megfigyelő rendszere által szolgáltatott adatbázis (Götz, 1978). A nagy prognosztikai központokban kísérleti és operatív előrejelzések sokaságát készítették a megfigyelési rendszer összetevőinek értékelése céljából (Bengtsson, 1979; Lyne et al., 1982; Halem et al., 1982). Hasonló típusú kísérletekre került sor regionális méretekben az NDK meteorológiai szolgálatánál (Kluge et al., 1978a, 1978b, 1980). Ezek a kísérletek igazolták azt az előzetes feltevést, hogy a megfigyelési rendszer aszinoptikus összetevőinek, és elsősorban a műholdas szondázási információknak a numerikus prognosztikában történő adekvát figyelembevétele, különösen az adatszegény tartományokban (elsősorban az óceáni területeken) az előrejelzés javulását vonja maga után. A javulás mértéke azonban erősen függ az alkalmazott konkrét analízis, ill. prognózis sémától, ezért célszerű az alkalmazott módszerektől függetlenül, előzetesen meghatározni a (statisztikai értelemben vett) hibaeloszlás mértékét. Erre az optimális interpoláció módszerének kiterjesztése ad lehetőséget.

Dolgozatunkban – az általánosított optimális interpoláció módszerének alkalmazásával – mind idealizált helyzetekre, mind pedig reális aerológiai, ill. műholdas szondázási mérőpont konfigurációkra meghatározzuk a műholdas információk bevonásának az interpoláció hibájára gyakorolt hatását. Az interpoláció hibájának, ill. a javulásnak a területi eloszlása alapján meghatározhatók azok a tartományok, amelyekben a műholdas szondázás adatainak felhasználása az objektív analízis szignifikáns javulásához vezet.

1. Az optimális interpoláció módszerének általánosítása

Az optimális interpoláció módszerét Eliassen (1954) és Gandin (1960) dolgozták ki. Az eljárás kezdeti változata homogén és izotróp sztochasztikus mezők lineáris interpolációjára vonatkozott azzal a feltételezéssel, hogy a mérési hibák „fehér zaj” típusúak. A módszer általánosítását más típusú hibákra, valamint több meteorológiai elem együttes tér- és időbeli interpolációjára Gandin és Kagan (1974) végezték el. Az alábbiakban az optimális interpolációnak a korrelált mérési hibákra általánosított változatát tárgyaljuk.

Legyen $f = F - \bar{F}$ az F meteorológiai elemnek az \bar{F} átlagos értéktől (itt és a továbbiakban a „fölvonás” az átlagos értékeket jelöli) való eltérése és jelölje $\tilde{F} = F + \delta$ ezen elem δ hibával mért értékét. Becsüljük az f eltérés r_0 pontbeli értékét a környező r_1 ($i = 1, \dots, n$) pontbeli mért eltérések lineáris kombinációjával:

$$\widehat{f}_0 = \sum_{i=1}^n a_i \widetilde{f}_i. \quad (1)$$

Itt $\widetilde{f}_i = f_i + \delta_i$ (a „hullám” jel a hibával mért értékeket jelöli) és feltételezzük, hogy a δ_i hibák átlaga zérus, azaz nincs szisztematikus mérési hiba. Az a $(i=1, \dots, n)$ interpolációs súlyokat az

$$E^2 = \overline{(\widehat{f}_0 - f_0)^2} = \min \quad (2)$$

feltétel alapján határozzuk meg. (1) és (2) alapján

$$E^2 = \overline{f_0^2} - 2 \sum_{i=1}^n a_i \overline{f_i f_0} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_i a_j \overline{f_i f_j}. \quad (3)$$

Mivel E^2 minimumának szükséges és elégséges feltétele

$$\frac{\partial E^2}{\partial a_i} = 0 \quad (i=1, \dots, n) \quad (4)$$

teljesülése, ezért (3) alapján az a_i súlyokra a

$$\sum_{j=1}^n a_j \overline{f_i f_j} = \overline{f_i f_0} \quad (i=1, \dots, n) \quad (5)$$

lineáris egyenletrendszert kapjuk. (5) felhasználásával (3) a következőképpen írható fel:

$$E^2 = \overline{f_0^2} - \sum_{i=1}^n a_i \overline{f_i f_0}. \quad (6)$$

A (3), (5) és (6) összefüggéseket célszerű dimenziómentes alakra hozni az f meteorológiai elem \vec{r}_0 pontbeli $\sigma_0^2 = \overline{f_0^2}$ szórásnégyzetének felhasználásával. Ekkor az új b_i ($i=1, \dots, n$) interpolációs súlytényezőkre az

$$a_i = \frac{\sigma_0}{\sigma_i} b_i \quad (i=1, \dots, n) \quad (7)$$

összefüggések teljesülnek (itt σ_i az r_i pontbeli szórást jelöli), amelyek felhasználásával (3), (5) és (6) helyett az

$$\epsilon^2 = 1 - 2 \sum_{i=1}^n b_i \frac{\overline{f_i f_0}}{\sigma_i \sigma_0} + \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n b_i b_j \frac{\overline{f_i f_j}}{\sigma_i \sigma_j}, \quad (8)$$

$$\sum_{j=1}^n b_j \frac{\overline{f_i f_j}}{\sigma_i \sigma_j} = \frac{\overline{f_i f_0}}{\sigma_i \sigma_0}, \quad (i=1, \dots, n) \quad (9)$$

$$\epsilon^2 = 1 - \sum_{i=1}^n b_i \frac{\overline{f_i f_0}}{\sigma_i \sigma_0} \quad (10)$$

összefüggéseket kapjuk. Az $\epsilon = E/\sigma_0$ mennyiség az f elem interpolációs hibájának és az elem szórásának a viszonyát fejezi ki. Négyzetét az interpolációs hiba mértékének nevezzük.

Könnyen belátható, hogy a b_i ($i=1, \dots, n$) interpolációs súlyok a szórással normált eltérések lineáris interpolációjánál lépnek fel:

$$\frac{\hat{f}_0}{\sigma_0} = \sum_{i=1}^n b_i \frac{f_i}{\sigma_i} \quad (11)$$

Azonban az \vec{r}_0 pont azon környezetében, ahol az interpolációt végezzük, a σ mező konstansnak tekinthető (akárcsak az átlagok mezője), így az a_i és b_i súlyok megegyeznek. Abban az esetben, amikor az összes δ_i hiba nullával egyenlő, a (8), (9) és (10) összefüggésekben szereplő

$$\mu_{ij} = \frac{\overline{f_i f_j}}{\sigma_i \sigma_j} \quad (12)$$

típusú mennyiségek az f meteorológiai elem valódi értékeinek i és j pontok közötti korrelációját jelöli. Statisztikai vizsgálatok szerint a meteorológiai elemek többségének statisztikai makroszerkezete homogén és izotróp, azaz a μ függvény csak a két pont távolságától függ: $\mu_{ij} = \mu(\rho_{ij})$, ahol ρ_{ij} az említett távolság.

Mérési hibák esetén a

$$\tilde{\mu}_{ij} = \frac{\tilde{f}_i \tilde{f}_j}{\sigma_i \sigma_j} \quad (13)$$

alakú korrelációs függvény a

$$\tilde{\mu}_{ij} = \mu_{ij} + \eta_j \chi_{ij} + \eta_i \chi_{ji} + \eta_i \eta_j \nu_{ij} \quad (14)$$

alakban állítható elő, ahol

$$\eta_i^2 = \frac{\Delta_i^2}{\sigma_i^2} \quad (15)$$

a megfigyelési hiba mértéke ($\Delta_i^2 = \overline{\delta_i^2}$ a megfigyelési hibaszórás négyzete az i pontban), ν_{ij} az i és j pontokbeli megfigyelési hibák korrelációja, χ_{ij} az i pontbeli valódi érték és a j pontbeli hiba közötti korreláció. Az Aerológiai és aszinoptikus mérések esetén χ_{ij} zérusnak tekinthető és (14) helyett a

$$\tilde{\mu}_{ij} = \mu_{ij} + \eta_i \eta_j \nu_{ij} \quad (16)$$

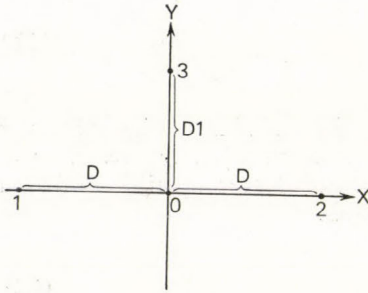
összefüggés alkalmazható.

Mivel a $\tilde{\mu}_{ij}$ függvények előzetesen meghatározhatók, az optimális interpoláció módszerének alkalmazásakor csak a (9) lineáris egyenletrendszer kell megoldani a b_i súlytényezőkre. Ezek ismeretében számolható az (1) lineáris kombináció, illetve

$$\hat{F}_0 = \hat{f}_0 + \bar{F}_0 \quad (17)$$

alapján F -nek az \vec{r}_0 pontbeli értéke. A módszer nagy előnye, hogy az (5), ill. a (10) összefüggések alapján az interpoláció elméleti hibája, ill. annak változása a meteorológiai mezők statisztikai szerkezetének ismeretében meghatározható. Ez a körülmény lehetővé teszi azt is, hogy az eljárást meteorológiai állomáshálózatok tervezésére használjuk fel.

2. Numerikus kísérletek a műholdas információk felhasználására



1. ábra: A két aerológiai (1, 2) és az egy műholdas (3) szondázási pont elhelyezkedése a legegyszerűbb interpolációs feladatban

Az optimális interpoláció módszerének alkalmazásakor az interpolációt lokálisan végezzük, azaz a kívánt pontbeli értéket az adott pont közvetlen környezetéből (ezen környezet sugara pl. geopotenciál adatok esetén maximálisan 1000–1500 km) vett legközelebbi adatok lineáris kombinációjával állítjuk elő (a geopotenciál mező interpolációja esetén 4–6 ilyen adatot szokásos felhasználni). Ezért a módszer általánosított vizsgálatával végzett numerikus kísérletekhez első lépésben célszerű az adott interpolációs pont

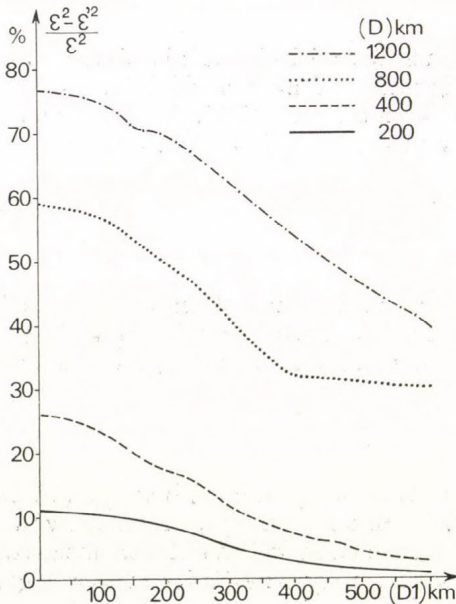
környezetében elhelyezkedő állomáskonfigurációk hatását vizsgálni.

Az 1. ábra az általunk vizsgált legegyszerűbb situációt ábrázolja. Az x, y rendszer origójában helyezkedik el az interpolációs pont, amelyre végzett lineáris becslés elméleti pontosságát az 1 és 2 aerológiai, ill. a 3 műholdas mérési pont elhelyezkedése, ill. a meteorológiai elem és a mérési hibák statisztikai szerkezete határozza meg. A kísérleti számításokban a (16) korrelációs függvényt a következő alakban használtuk fel (Czelnai et al., 1976):

$$\mu(\rho) = (1 + 0,98\rho) \exp(-0,98\rho), \quad (18)$$

ami a 850 mb-os geopotenciálmező korrelációs függvényének felel meg: aerológiai adatok esetén

$$\nu_{ij} = \delta_{ij} = \begin{cases} 0 & \text{ha } i \neq j \\ 1 & \text{ha } i = j \end{cases} \quad (19)$$



$$\eta_i \eta_j = \eta^2 = 0,02,$$

műholdas adatok esetén pedig

$$\nu_{ij} = \mu_{ij}, \quad \eta^2 = 0,1. \quad (20)$$

A számítások során a rádiószondázó állomások távolságát 100 km-enként növeltük $D=1200$ km-ig, míg a műholdas szondázási pont helyét $D1=0$ km-től $D1=600$ km-ig 50 km-enként változtattuk. Az $(\varepsilon^2 - \varepsilon'^2) / \varepsilon^2$ javulás százalékos értékeit $D=1200$ km, 800 km, 400 km és 200 km értékekre $D1$ függvényében a 2. ábra tartalmazza.

Ugyanazt a kísérletet elvégeztük a 3. ábrán látható realisabb állomáskonfiguráció esetére azzal a céllal, hogy egyrészt megvizsgáljuk a több aerológiai, ill. műholdas típusú

2. ábra: Az interpoláció pontosságának százalékos javulása két aerológiai és egy műholdas szondázási pont alkalmazása esetén

információ bevonásának hatását, másrészt a műholdas mérési pontokat egy egyenesen (trajektórián) tartva a gyakorlatban előforduló esetet modellezzük. Az ábrán 1, 2, 3 és 4 jelöli az aerológiai állomásokat. Az $(\varepsilon^2 - \varepsilon'^2)/\varepsilon^2$ javulási tényező $D=1500$ km, 1200 km, 800 km, 400 km és 200 km-hez tartozó százalékos értékeit a 4. ábrán mutatjuk be a $D1$ érték függvényében.

Mindkét kísérlet egyértelműen bizonyította, hogy sűrű aerológiai állomáshálózat esetében a javulás elég csekély, s még abban az esetben sem éri el a 30%-ot, amikor a műholdas szondázási pontok mindegyike közelebb van az origóhoz, mint az aerológiai állomások. Nem sokkal jobb a helyzet a közepesen sűrű rádiószonda hálózat esetében sem. Merőben más a helyzet a ritka aerológiai állomáshálózat esetében ($D \geq 800$ km). Nagyon alacsony sűrűség mellett ($D=1500$ km) a javulás mértéke a 80%-ot is elérheti, bár ez a javulás a műholdas szondázási pontok távolságának növelésével csökken.

A fenti modellszerű kísérletek tapasztalatai alapján kísérleteket végeztünk az északi hemiszféra valódi aerológiai állomáshálózatára vonatkozóan.

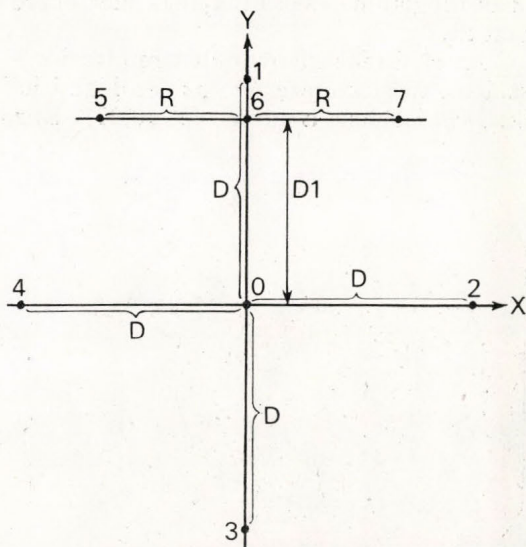
Ehhez összesen 428 aerológiai állomás (5/a ábra) koordinátáinak felhasználásával, 5×5 fokos felbontású rácsra kiszámítottuk az ε^2 eloszlását a 850, az 500 és a 300 mbar-on. Minden rácspont környezetében a hat legközelebbi aerológiai állomást vontuk be a számításba. A

$$\mu_{ij} = (1 + \alpha \rho_{ij}) e^{-\beta \varepsilon_{ij}}$$

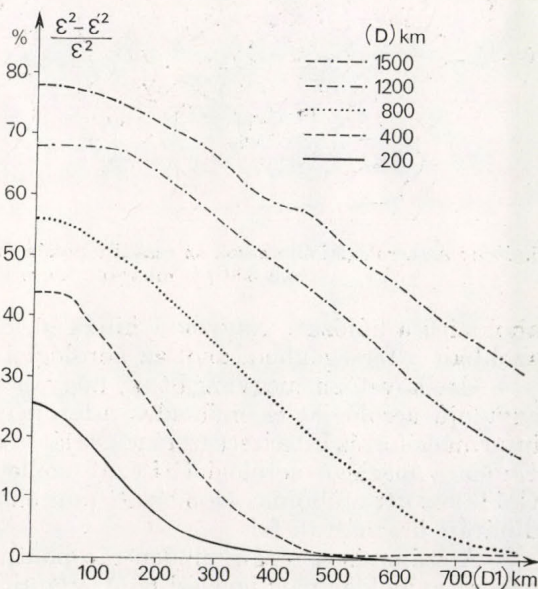
korrelációs függvényt alkalmaztuk az alábbi paraméterekkel (Czelma et al., 1976):

850 mbar-on $\alpha = \beta = 0,98$;
 500 mbar-on $\alpha = 0,98$ és $\beta = 1$;
 300 mbar-on $\alpha = \beta = 0,75$.

4. ábra: Az interpoláció pontosságának százalékos javulása négy aerológiai és három műholdas szondázási pont alkalmazása esetén

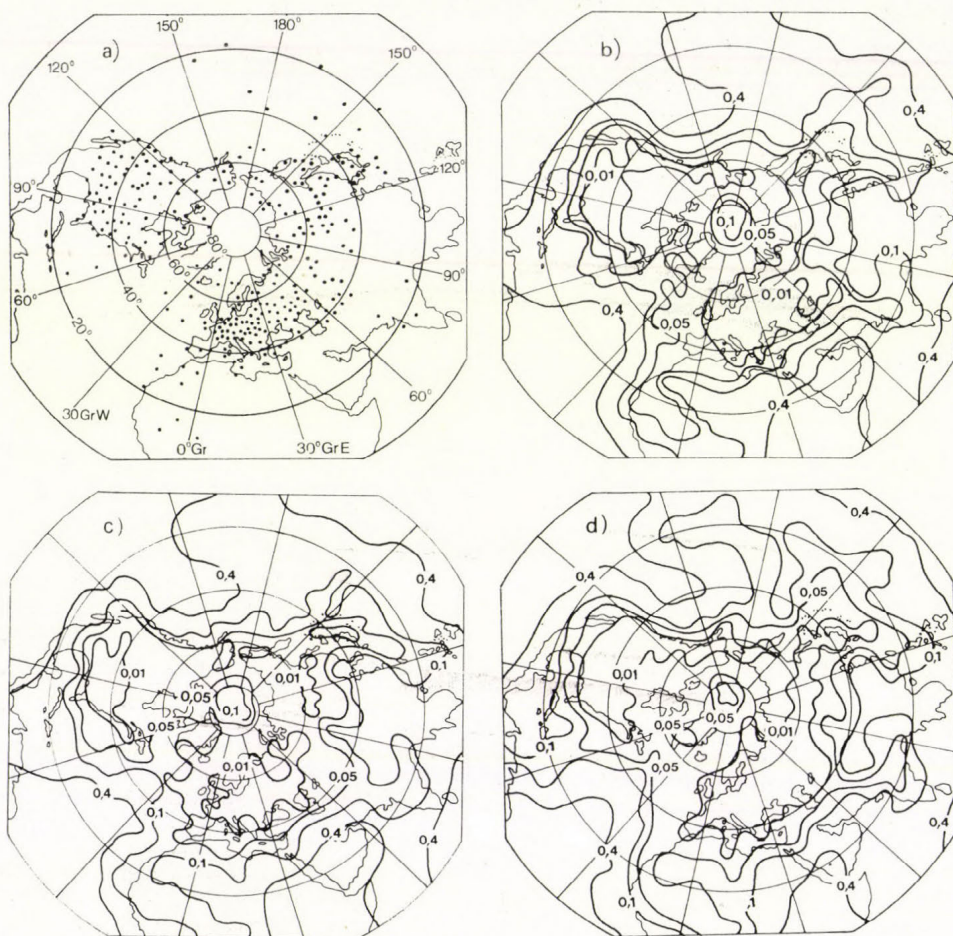


3. ábra: A négy aerológiai (1, 2, 3 és 4) és a három (5, 6, 7) műholdas szondázási pont elhelyezkedése az interpolációs feladatban



Az aerológiai mérések hibájának mértékére az $\eta^2 = 0,02$ standard értéket alkalmaztuk.

Az ε^2 értékek izovonalait rendre az 5/b, c, d ábrán tüntettük fel. Az eloszlások természetesen az aerológiai hálózat sűrűségének eloszlását tükrözik. Legkisebbek a hibák ($\varepsilon^2 \leq 0,01$) Európa és Észak-Amerika térségében,



5. ábra: Az aerológiai állomások az északi féltekén (a); az ε^2 eloszlása a 850 (b); az 500 (c); és a 300 (d) mbar-on, korrelálatlan hibák esetén

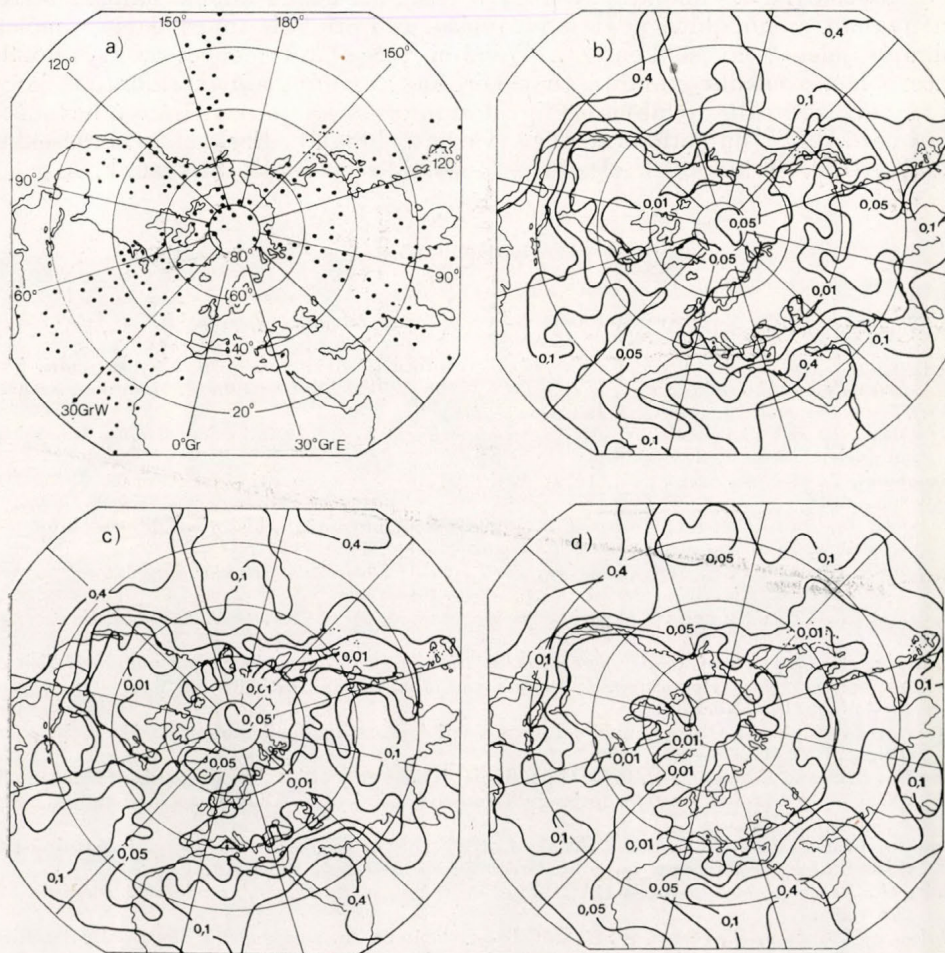
ahol sűrű a hálózat. Nagyok a hibák ($0,4 < \varepsilon^2 < 0,8$) az óceánok felett, tehát azokban a térségekben, ahol az aerológiai hálózat nagyon ritka.

Ezt követően megvizsgáltuk, hogyan alakulnak az interpolációs hibák az egyidejű aerológiai és műholdas adatok együttes felhasználásánál, mindkét információforrás hibaszervezetének sajátosságait megfelelően figyelembe véve. Ehhez a meglévő aerológiai hálózat mellett az 1979. december 6-án 12–24 GMT közötti műholdas szondázási pontok (6/a ábra) (összesen 247 db) koordinátáit használtuk fel.

A számítások során minden rácsponthoz a legközelebbi hat aerológiai és három műholdas megfigyelési pont adatait használtuk fel. A műholdas mérés-

sek hibájának szerkezetét az $\eta^2=0,1$ és a $\mu_{ij}=v_{ij}$ adatokkal jellemeztük. A műholdas, adatok bevonásával számított ε^2 eloszlásokat a 6/b, c, d ábra mutatja be rendre a 850, 500 és 300 mbar-on.

Az 5. és 6/b, c és d ábrákat egybevetve látható, hogy ha az interpolációt az aerológiai és a műholdas adatok együttes alkalmazásával végezzük, akkor



6. ábra: A műholdas szondázás pontjai az északi féltekén (a.); az ε^2 eloszlása hat aerológiai és három műholdas szondázási adat felhasználása esetén a 850 (b); az 500 (c) és a 300 (d) mbar-on

az interpoláció elméleti hibája lényegesen kisebb lesz, mintha a számításokhoz csak a legközelebbi hat aerológiai állomás adatát használjuk föl. Világossá válik az is, hogy annak ellenére, hogy a jó információ-ellátottságot reprezentáló $\varepsilon^2=0,01$ izovonal a rádiószondázó állomásokkal sűrűn ellátott területeken nagyobb részt foglal magába, az ilyen helyeken nem érdemes a műholdas információkat is figyelembe venni. Nagyon nagy hibacsökkenést eredményez viszont a műholdas adatok bevonása az óceánok területén. Ez nemcsak annak tulajdonítható, hogy az óceánok felett rendkívül ritka a rádiószondázó háló-

zat, hanem annak is, hogy az általunk felhasznált műholdas szondázási pontok nagy része ezeken a területeken helyezkedik el, ami megfelel a valódi SATEM jelentések földrajzi eloszlásának. Ábráinkból az is látható, hogy az összevont adatok alkalmazásával az $\varepsilon^2 = 0,4$ -nél nagyobb interpolációs hibákat minimális területre sikerült lokalizálni az északi félgömbön.

Összefoglalva elmondható, hogy a ritka aerológiai állomáshálózat tartományában a műholdas adatok bevonása az optimális interpoláció elméleti hibáját jelentősen csökkentheti. További vizsgálatot igényel az így előálló interpolációs feladat stabilitásának kérdése, valamint annak eldöntése, hogy a rendelkezésre álló további megfigyelési információk milyen arányú bevonása optimalizálja a numerikus analízis várható hibáját. Ezekkel a kérdésekkel dolgozatunk – később közlendő – második részében foglalkozunk.

IRODALOM

- Bengtsson, L., 1975: 4-dimensional assimilation of meteorological observations. *GARP Publication Series No. 15*.
- Bengtsson, L., 1979: Problems of using satellite information in numerical weather prediction. *Proc. Technical Conference on "Use of Data from Meteorological Satellites"*, Lannion, France, 17–21 Sept. 1979. (ESA SP-143, Oct., 1979), 87–100.
- Bengtsson, L. and Gustavsson, N., 1971: An experiment in the assimilation of data dynamical analysis. *Tellus 23*, 328–336.
- Bengtsson, L. and Gustavsson, N., 1972: Assimilation of nonsynoptic observations. *Tellus 24*, 383–399.
- Charney, L., Halem, M. and Jastrow, R., 1969: Use of incomplete historical data to infer the present state of the atmosphere. *J. Atmos. Sci.* 26, 1160–1163.
- Czelnai R., Gandin, L. S. and Zachariw, W. I., 1976: *Statistische Struktur der meteorologischen Felder*. OMSZ Hiv. Kiadványai, XLI. kötet, Budapest.
- Döös, B. R., 1970: Numerical experimentation related to GARP. *GARP Publication Series No. 6*.
- Eliassen, A., 1954: *Provisional report on calculation of spatial covariance and autocorrelation of the pressure field*. Report nr. 5, Videnkaps-Akademiets Institutt for Vaer-Og Klimaforskning, Oslo, Norway.
- Gandin, L. S., 1960: Ob optimalnoj interpolacii i ekstrapoljacii meteorologiceszkih polej *Trudy GGO 114*, 75–89.
- Gandin, L. S. and Kagan, R. L., 1974: O posztrojenii szisztemy objektivnogo analiza raznorodnyh dannyh na oszrove metoda optimalnoj interpolacii i optimalnogo szoglaszovaniya. *Met. i Gid.* 5, 3–10.
- Gandin, L. S., Kagan, R. L. and Polisuk, A. I., 1972: Ob ocenke informacionnoj znacsimoszti szisztem meteorologiceszkih nabljudenij. *Trudy GGO 286*, 120–140.
- Götz, G., 1978: Az első globális GARP-kísérlet összetett megfigyelő rendszere. *Időjárás 82*, 276–298.
- Halem, M., Kalnay, E., Baker, W. E. and Atlas, R., 1982: An assesment of the FGGE Satellite Observing System during SOP-1. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 63, 407–426.
- Kluge, U. and Petzold, M., 1978a: Zur statistisch optimalen Kombination von aerologischen und SIRS-Daten bei der numerischen Geopotentialanalyse. *Z. Meteor.* 28, 15–25.
- Kluge, L. and Petzold, M., 1978b: Nachträgliche Korrektur numerischen Analysen durch SIRS-Daten und einige Ergebnisse zur Abschätzung von deren Informationswert. *Z. Meteor.* 28, 145–151.
- Kluge, J., Stahnke-Jungheim, K. H. and Vollbrecht, Ch., 1980: Numerische Geopotentialanalyse unter Verwendung von TEMP-, SATEM- und PROGNOSE-Daten sowie anderen informationsarten. *Z. Meteor.* 30, 232–244.
- Lyne, W. H., Swinbank, R. and Birch, N. T., 1982: A data assimilation experiment and the global circulation during the FGGE special observing periods. *Quart. J. R. Met. Soc.* 108, 575–594.
- Miyakoda, K. and Talagrand, O., 1971: The assimilation of past data in dynamical analysis. I. *Tellus 23*, 310–317.

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata. 88. évf. 2. szám, 1984. március – április
Journal of the Hungarian Meteorological Service, Vol. 88. No. 2. March – Apr. 1984. Budapest

Meteorológiai megfigyeléssorozatok szélső értékeinek statisztikája

BALOG MIHÁLY, GULYÁS OTTÓ és SZENTIMREY TAMÁS
Központi Meteorológiai Intézet, H-1525 Budapest, Pf. 38.

Statistics of extrem values of meteorological data-series. In the paper the minimum and maximum values of the meteorological elements modeled by series of independent random variables are investigated. Beside the exact distribution the parameters of asymptotic (*Gumbel*) distribution, furthermore the mean values, the variances and the quantiles in the function of the former parameters have been determined. As illustration the monthly averages of temperature and monthly precipitation-amounts are presented for Budapest and Bakonybél.

✱

Meteorológiai megfigyeléssorozatok szélsőértékeinek statisztikája. Dolgozatunkban független valószínűségi változók sorozataival modellezett légköri elemek minimumait és maximumait vizsgáljuk. A pontos eloszláson kívül meghatároztuk az aszimptotikus (*Gumbel*) eloszlás megfelelő paramétereit és ezek függvényében a várható értékeket, a szórást és a kvantiliseket. Illusztrációként az egyes hónapok hőmérsékleti átlagai, illetve havi csapadékösszegek szerepelnek Budapest és Bakonybél állomásokon.

✱

Bevezetés. A meteorológia iránt gyakran támasztott követelmény, hogy törvényszerűségeket állapítson meg valamely légköri elem szélsőségeinek előfordulásával kapcsolatban. Statisztikus szemléletmóddal az időjárási elemek időbeli alakulása sztochasztikus folyamatként fogható fel, a megfigyelési sorozatok pedig ezek véges hosszúságú realizációinak tekinthetők. Vizsgálatainkban ilyenek az egyes hónapok hőmérsékleti átlagai illetve havi csapadékösszegei egy-egy állomáson.

A továbbiakban olyan légköri elemek sorozatait vizsgáljuk, amelyek a

$$(\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n) \quad (1)$$

modell megfelelőinek tekinthetők, ahol a komponensek azonos eloszlású független valószínűségi változók, $F(x) = P(\xi_1 < x)$ közös eloszlással. Ez egyben azt jelenti, hogy feltételezzük az éghajlat változatlanlanságát.

Legyen a megfigyeléssorozat legkisebb ill. legnagyobb eleme ξ_1^* és ξ_n^* , azaz

$$\xi_1^* = \min_{1 \leq i \leq n} (\xi_i), \quad \xi_n^* = \max_{1 \leq i \leq n} (\xi_i). \quad (2)$$

Vizsgálatunk tárgya az adott megfigyeléssorozat ξ_1^* és ξ_n^* szélső értékeinek statisztikai vizsgálata, és az eredmények meteorológiai értékelése.

A matematikai alapok áttekintése

Jelölje a minta maximumának az eloszlásfüggvényét

$$H_n(x) = P(\xi_n^* < x).$$

A már ismertetett feltételek mellett ez az eloszlásfüggvény kifejezhető a következő egyszerű alakban:

$$H_n(x) = [F(x)]^n.$$

Az általunk vizsgált esetekben olyan eloszlásokkal van dolgunk, melyek akárhányszor differenciálhatók, és analitikusan jól kezelhetők. Ebben az esetben a minta maximumának az eloszlásfüggvénye folytonos, és a sűrűségfüggvénye:

$$h_n(x) = n \cdot [F(x)]^{n-1} \cdot f(x),$$

ahol $f(x)$ a minta elemeinek a sűrűségfüggvénye. A fenti kifejezések a maximum pontos eloszlását illetve sűrűségfüggvényét adják. Az ilyen típusú eloszlások szélsőértékeire jól kezelhető aszimptotikus eloszlások írhatók fel, amelyek két paramétertől függenek.

Az egyik ilyen nevezetes paraméter a $H_n(x)$ eloszlás módusza x_n , azaz

$$h_n(x_n) \geq h_n(x) \quad -\infty < x < \infty.$$

Bebizonyítható, hogy a módusz értéke éppen az $(1 - 1/n)$ kvantilis, azaz éppen az az x_n érték, amelyre:

$$F(x_n) = 1 - 1/n. \quad (3)$$

A másik ilyen nevezetes paraméter az $f(x)$ sűrűségfüggvény x_n -beli értékének n -szerese α_n , azaz

$$\alpha_n = n \cdot f(x_n). \quad (4)$$

Tételezzük fel, hogy az x_n és α_n paraméterek értékét ismerjük. (Az eloszlás és a paraméterek meghatározására a konkrét meteorológiai alkalmazásoknál visszatérünk.) *Gumbel* (1958) bebizonyította, hogy a fenti típusú sorozatok maximumának az eloszlása jól közelíthető a következő kifejezéssel:

$$\widehat{H}_n(x) = \exp(-e^{-\alpha_n(x-x_n)}) \quad (5)$$

vagy a $B_n = e^{\alpha_n x_n}$ jelölés bevezetése után:

$$\widehat{H}_n(x) = \exp(-B_n \cdot e^{-\alpha_n x}) \quad (6)$$

Ennek alapján a ξ_n^* maximum sűrűségfüggvénye:

$$\widehat{h}_n(x) = \frac{d\widehat{H}_n(x)}{dx} = \alpha_n B_n e^{-\alpha_n x} \exp(-B_n e^{-\alpha_n x}) \quad (7)$$

Az aszimptotikus kifejezések ismeretében kiszámítottuk, hogy a két paraméter (x_n , α_n) felhasználásával:

$$a) \text{ a maximum várható értéke: } \widehat{M}(\xi^*) = x_n + \frac{C}{\alpha_n}, \quad (8)$$

ahol $C = 0.577216$ az Euler–Mascheroni féle állandó,

$$b) \text{ a maximum szórása: } \widehat{D}(\xi_n^*) = \frac{\pi}{\sqrt{6} \cdot \alpha_n}, \quad (9)$$

$$c) \text{ az eloszlás } p\text{-kvantilis, } 0 < p < 1: \widehat{Q}_{pn} = x_n - \frac{\ln(-\ln p)}{\alpha_n} \quad (10)$$

A fentiekhez hasonlóan a ξ_1^* minimum pontos eloszlása:

$$G_n(x) = P(\xi_1^* < x) = 1 - [1 - F(x)]^n, \quad (11)$$

$$g_n(x) = n[1 - F(x)]^{n-1} \cdot f(x). \quad (12)$$

Az aszimptotikus eloszlás két paraméter függvényeként is levezethető: y_n az eloszlás módusza

$$F(y_n) = 1/n, \quad (13)$$

és

$$\beta_n = nf(y_n). \quad (14)$$

Ennek alapján

$$\widehat{G}_n(x) = 1 - \exp(-e^{+\beta_n(x-y_n)}) \quad (15)$$

$$\widehat{g}_n(x) = \beta_n A_n e^{+\beta_n x} \exp(-A_n e^{-\beta_n x}) \quad (16)$$

a ho $A_n = e^{-n y_n}$ és rendre a várható érték, a szórás és a p -kvantilis

$$\widehat{M}(\xi_1^*) = y_n - \frac{C}{\beta_n}, \quad (17)$$

$$\widehat{D}(\xi_1^*) = \frac{\pi}{\sqrt{6} \beta_n}, \quad (18)$$

$$\widehat{Q}_{p,1} = y_n + \frac{\ln(-\ln(1-p))}{\beta_n} \quad (19)$$

Példa meteorológiai alkalmazásokra

A fentiekből látható, hogy a szélsőértékek fontosabb statisztikai karakterisztikái (az eloszlás, a sűrűségfüggvény, a várható érték, a szórás és a p -kvantilis) aszimptotikus közelítő formulái két paraméter segítségével kifejezhetők (a maximumoknál x_n , α_n , a minimumoknál y_n , β_n .) Ez a két paraméter csak a vizsgált elem eloszlásától (az $f(x)$ sűrűségfüggvénytől) és attól függenek, hogy milyen hosszúságú intervallumra kívánjuk a szélsőérték statisztikai jellemzőit meghatározni. Ezért az éghajlati szélsőértékek rendszerezése, feldolgozása céljából ezeket a paramétereket kell, illetve célszerű kiszámítani a különböző időjárási elemekre, több éghajlati-földrajzi helyen és a szükséges n -ekre.

Ennek során minden esetben a következő lépéseket kell végrehajtani:

1. A megfigyelési sorozat összeállítása;
2. A sorozat függetlenségének és azonos eloszlású voltának ellenőrzése; az eloszlás meghatározása;
3. Az aszimptotikus jellemzők (x_n , α_n , y_n , β_n) meghatározása a szükséges n -ekre;
4. Az aszimptotikus eloszlás, a p -kvantilis, a várható érték és a szórás kiszámítása;
5. Az eredmények meteorológiai értékelése, verifikációja.

A számításokat a KSH IBM 370/155 számítógépén hajtottuk végre, az erre a célra készített FORTRAN programokkal.

Az alábbiakban két fontos meteorológiai adatsoron – havi hőmérsékleti átlagértékek és havi csapadékösszegek különböző sorain – , mutatunk be példákat gyakorlati alkalmazásra. A ténylegesen elvégzett számítások eredményei roppant nagy mennyiségűek, azok részletes ismertetése e dolgozat kereteit messze meghaladná.

a) *A havi középhőmérséklet sorai.* Vizsgálatunk tárgyául Budapest és Szeged havi középhőmérsékleteinek sorait választottuk. Az eloszlás azonossága és a függetlenség *Kendall–Stuart* (1960) próbákkal igazolódott, az eloszlás típusa a vártnak megfelelően Gauss-i (normális) volt, amit khi-négyszet próbával ellenőriztünk. Az eloszlás m és σ paramétereit a 100 éves sorból számított empirikus értékekkel vettük azonosnak. Segítségükkel a szélsőérték eloszlás x_n és α_n paramétereit az alábbi kifejezések alapján határozhatók meg:

$$\frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma} \int_{-\infty}^{x_n} e^{-(t-m)^2/2\sigma^2} dt = 1 - 1/n,$$

$$\alpha_n = n \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma} e^{-(x_n - m)^2/2\sigma^2}$$

I. TÁBLÁZAT

A havi középhőmérséklet maximumainak és minimumainak statisztikai jellemzőszámai (°C), száz és ötven év időtartamra Budapesten,
a = tényleges maximum, x_n = legvalószínűbb érték, M = várható érték,
D = szórás, Q_{25} = alsó, Q_{75} = felső kvantilis

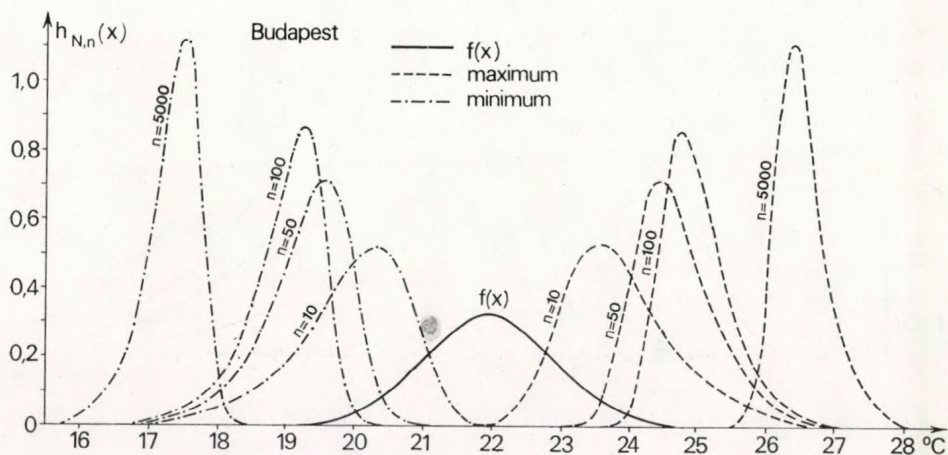
Hónap	100 év időtartamra Budapest 1861—1960						50 év időtartamra Budapest 1911—1960					
	a	x_n	M	D	Q_{25}	Q_{75}	a	x_n	M	D	Q_{25}	Q_{75}
	Maximum						Maximum					
Jan.	4,6	5,7	6,3	1,3	5,4	7,0	4,6	5,0	5,6	1,5	4,6	6,4
Febr.	9,3	7,9	8,5	1,3	7,5	9,2	9,3	7,1	7,8	1,5	6,8	8,6
Márc.	10,4	11,2	11,7	1,0	10,0	12,3	9,7	10,7	11,2	1,1	10,4	11,8
Ápr.	15,1	16,1	16,5	0,9	15,9	17,0	14,6	15,6	16,0	1,0	15,3	16,6
Máj.	20,6	21,5	22,0	1,0	21,2	22,5	20,6	21,0	21,4	1,2	20,6	22,0
Jún.	23,7	22,8	23,1	0,6	22,7	23,4	22,2	22,5	22,8	0,7	22,3	23,1
Júl.	24,9	24,7	25,0	0,6	24,6	25,3	24,7	24,4	24,7	0,7	24,2	25,0
Aug.	24,1	24,4	24,7	0,6	24,2	25,0	24,1	24,0	24,3	0,7	23,8	24,7
Szept.	21,0	21,4	21,8	0,8	21,2	22,2	21,0	20,9	21,4	0,9	20,7	21,8
Okt.	15,6	15,4	15,8	0,8	15,5	16,2	13,9	15,0	15,4	0,9	14,8	15,8
Nov.	10,4	10,2	10,6	0,9	10,0	11,1	10,4	9,7	10,2	1,0	9,5	10,7
Dec.	5,1	6,3	6,7	1,0	6,0	7,3	5,1	5,7	6,2	1,1	5,4	6,8
	Minimum						Minimum					
Jan.	-9,0	-7,0	-7,6	1,3	-8,3	-6,7	-8,3	-6,3	-6,9	1,5	-7,7	-5,9
Febr.	-7,6	-5,1	-5,7	1,3	-6,4	-4,8	-7,6	-4,4	-5,0	1,5	-5,7	-4,0
Márc.	0,3	1,2	0,8	1,0	0,2	1,5	1,8	1,8	1,3	1,1	0,7	2,1
Ápr.	7,7	7,0	6,6	0,9	6,1	7,3	7,7	7,6	7,1	1,0	6,6	7,8
Máj.	12,3	11,4	10,9	1,0	10,4	11,7	12,3	12,0	11,5	1,2	10,9	12,3
Jún.	16,9	16,8	16,5	0,6	16,2	17,0	16,9	17,2	16,8	0,7	16,5	17,3
Júl.	18,4	19,0	18,8	0,6	18,4	19,2	18,4	19,4	19,1	0,7	18,7	19,5
Aug.	18,1	18,2	18,0	0,6	17,6	18,4	18,1	18,6	18,3	0,7	17,9	18,8
Szept.	11,6	13,3	13,0	0,8	12,5	13,6	11,6	13,8	13,4	0,9	12,9	14,0
Okt.	6,8	7,9	7,5	0,8	7,1	7,8	7,9	8,3	7,9	0,9	7,5	8,5
Nov.	0,5	1,1	0,7	0,9	0,2	1,3	0,5	1,6	1,2	1,0	0,6	1,8
Dec.	-10,0	-3,4	-3,9	1,0	-4,4	-3,2	-4,1	-2,8	-3,3	1,1	-3,9	-2,6

A fenti egyenletek meghatározására a valószínűségszámítási könyvekben található standard ($m=0$, $\sigma=1$) normális eloszlás táblázat szolgált. Ugyanis, ha a standard normális eloszlásra a paraméter x_n^{st} , α_n^{st} ill. y_n^{st} , β_n^{st} akkor a keresett eloszlásra

$$\begin{aligned} x_n &= \sigma \cdot x_n^{st} + m, & y_n &= \sigma \cdot y_n^{st} + m \\ \alpha_n &= \frac{1}{\sigma} \cdot \alpha_n^{st}, & \beta_n &= \frac{1}{\sigma} \beta_n^{st}. \end{aligned} \quad (20)$$

Számításunk eredményeit az I. táblázatban mutatjuk be.

A 100 év időtartamra számított legmagasabb havi középhőmérséklet várható értéke az év csaknem valamennyi hónapjában magasabb, mint a mintául választott (1861–1960) száz esztendő alatt ténylegesen bekövetkezett érték



I. ábra: A júliusi középhőmérséklet sűrűségfüggvénye $f(x)$, valamint maximumának és minimumának becsült sűrűségfüggvényei különböző időtartamokra.

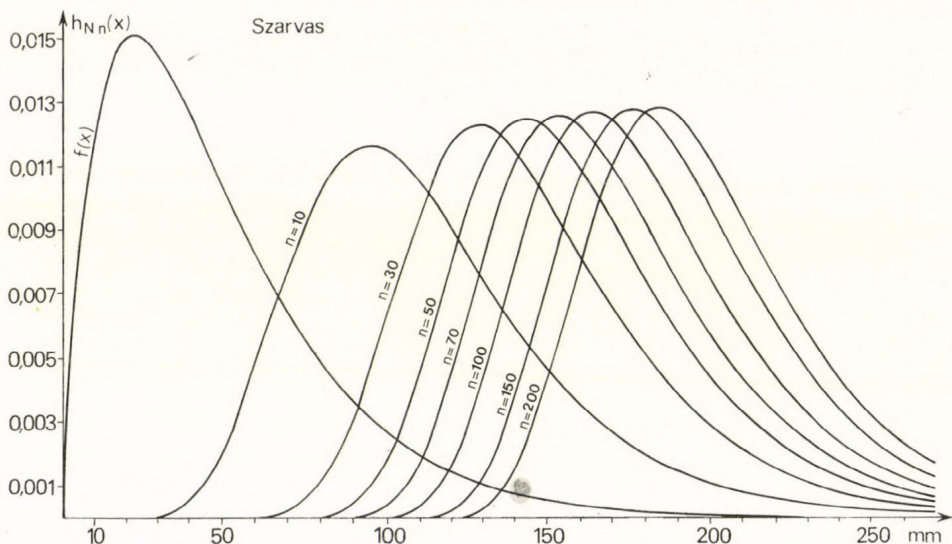
(I. táblázat). Eltérésük azonban csekély, alig haladja meg a standard deviáció értékét. A ténylegesen észlelt maximális havi középhőmérsékletek 92%-a a számított felső kvartilis értéknél alacsonyabb volt.

A 100 év időtartamra számított legalacsonyabb havi középhőmérsékletek várható értéke az őszi-téli hónapokban valamivel a tényleges érték fölött maradt, különbségük általában nem haladja meg lényegesen a standard deviáció értékét. Kivétel a decemberi legalacsonyabb havi középhőmérséklet -10° -os (1879-ben észlelt) értéke, amely hazánk éghajlatában rendkívüli szélsőségek számít. E száz év folyamán előfordult második leghidegebb decemberi havi középhőmérséklet $-6,2^\circ$ volt Budapesten, ami a számított várható értéktől az előzőnél lényegesen kevésbé tér el. További megállapításunk az, hogy a minimális havi középhőmérsékletek tényleges értékei – csakúgy, mint a pozitív szélsőértékekénél – csupán elvétve haladják meg a felső kvartilis értékét.

A számított értékek megbízhatósága mindig függvénye az alapul vett sor hosszúságának. Nézzük, hogyan alakulnak a havi középhőmérséklet 50 év időtartamra számított szélsőértékei. A két szélsőségre vonatkozó várható értékek egész esztendőben szűkebb értéktartományt fognak közre mint a 100 évre vonatkozó megfelelő értékek. Az 50 év maximális középhőmérsékletének

standard deviációja valamivel magasabb a 100 évre számított megfelelő érték-nél, azonban egyetlen hónapban sem halad meg $1,5^\circ$ -ot. A várható és tényleges érték különbsége sehol sem haladja meg a standard deviáció értékét.

Ha azonban a várható és tényleges értékeket egy másik 50 évi (1861 – 1910) minta észlelt értékeivel vetjük össze, egyes hónapokban módosul a különbségük. 100 év során észlelt maximális középhőmérséklet 6 hónapban az egyik, 6 hónapban a másik 50 évben fordult elő.



2. ábra: A novemberi csapadékösszeg sűrűségfüggvénye $f(x)$ és maximumának becsült sűrűségfüggvényei különböző időtartamokra.

A legalacsonyabb havi középhőmérsékletek 50 évre számított várható és tényleges értékei ugyancsak nem mutatnak számottevő eltérést. Ám itt is azt tapasztalhatjuk, hogy a másik 50 évi időszakot véve összehasonlításként, a számított és észlelt értékek különbsége egyes hónapokban módosul. Mindamellett a tényleges érték az esetek 75%-ában mindenkor a felső kvartilis értéke alatt marad. A leghidegebb hónapokban – december, január, február – teljesül legkevésbé a normalitás, ezért az ezekre a hónapokra vonatkozó következtetések óvatosságra intenek.

Az 1. ábra a budapesti júliusi középhőmérsékletek szélsőértékeinek sűrűségfüggvényeit mutatja különböző n -ekre. Az n időtartam növekedésével a megbízhatóság foka is növekszik, a havi középhőmérsékletek minimuma az alacsonyabb, maximuma a magasabb értékek felé tolódik. Az értékek eltolódásának azonban az adott helyen ható éghajlati tényezők természetes határt szabnak, amit jól szemléltet az 5000 évre ($n=5000$) számított szélsőértékek eloszlásának egy példája. Ez természetesen elvi határ, ami a jelenlegihez hasonló éghajlati rendszert tételez föl, évezredekken át lényeges klímaváltozások nélkül.

b) *A havi csapadékösszegek sorai.* Vizsgálatunk alapjául Bakonybél és Szarvas havi csapadékmennyiségének 80 évi (1896 – 1975) adatai szolgáltak. Hazai hosszú csapadéksorok statisztikai elemzésének eredményeit Szigyártó (1972) munkájából és Adámyné Koflanovits E. „A havi csapadékmennyiségek

eloszlásának becslése (1981, kézirat) c. tanulmányából ismerjük. Mindketten igazolták, hogy az idősor eloszlása jó közelítéssel gamma eloszlásnak tekinthető, azaz a sűrűségfüggvénye

$$f(x) = \frac{\lambda^p}{\Gamma(p)} x^{p-1} e^{-\lambda x}, \quad x \geq 0, \quad (21)$$

alakban írható fel. Az egyes hónapokra és földrajzi helyekre vonatkozóan a

II. TÁBLÁZAT

A havi csapadékmennyiség maximumainak statisztikai jellemzőszámai (mm) ötven (1901–1950) és nyolcvan (1901–1980) év időtartamra Szarvason és Bakonybélben

Hónap	Időtartam év	Szarvas						Bakonybél					
		a	x_n	M	D	Q_{25}	Q_{75}	a	x_n	M	D	Q_{25}	Q_{75}
Jan.	50	89	93	103	22,0	87	114	116	117	129	25,7	111	142
	80	89	101	111	21,5	95	122	116	127	138	25,1	120	151
Márc.	50	102	108	121	29,8	100	137	120	157	174	38,6	147	194
	80	102	119	132	29,4	111	147	181	171	188	38,0	161	208
Máj.	50	147	159	175	35,6	149	193	214	228	247	42,5	217	269
	80	147	171	187	34,9	163	205	214	248	267	41,8	237	288
Júl.	50	161	142	158	33,9	134	175	301	270	301	71,7	251	339
	80	161	155	170	33,3	146	187	301	295	327	70,9	277	364
Szept.	50	107	127	142	34,5	118	160	243	226	253	61,4	210	285
	80	133	139	154	34,1	130	172	243	248	276	60,8	233	307
Nov.	50	122	144	161	37,8	135	181	168	196	219	49,7	184	245
	80	176	158	175	37,4	149	194	231	215	237	49,1	202	262

λ és p paramétereket Adámyné dolgozatából vettük, ahol is a paramétereknek maximum likelihood becslése szerepel.

A csapadékösszeg nem negatív – az eloszlás alulról korlátos – és gyakorlatilag az $n \geq 1$ értékekre a minimum általában már zérus, így módszerünket csupán a maximum eloszlásának vizsgálatára korlátoztuk. Az x_n paraméter kifejezésére az ismert sort használtuk [lásd például *Gradstein – Ryzik* (1963)] amely szerint:

$$\frac{\lambda^p}{\Gamma(p)} \int_0^x t^{p-1} e^{-\lambda t} dt = \sum_{k=0}^{\infty} (-1)^k \frac{(\lambda x)^{p+k}}{k! (p+k)} = 1 - \frac{1}{n}. \quad (22)$$

Ez a sor jól kezelhető, ugyanis – rögzített x esetén – adott tagtól kezdve Leibnitz típusú, így tetszőleges előírt pontossággal csonkítható, valamint a (21) sűrűségfüggvény konvex illetve konkáv attól függően, hogy x kisebb vagy nagyobb mint $(p-1)/\lambda$. Tehát a (22) egyenlet megoldása Newton módszerrel tetszőleges pontossággal kiszámítható.

A maximális havi csapadékmennyiség különböző időtartamra számított sűrűségfüggvényét a 2. ábrán mutatjuk be. A sűrűségfüggvények az időtartam (n) növekedésével előbb erőteljesen majd egyre kisebb lépésben tolnak és „karcúsodnak”. Kérdés, mely időtartamra számíthatunk a ténylegesen észlelt értékeket jól közelítő statisztikai jellemzőszámokat.

A II. táblázatban feltüntettük Szarvas és Bakonybél 50 ill. 80 évi csapadéksorából számított statisztikai jellemzőszámaikat az év hat hónapjára. Szarvason

a ténylegesen észlelt csapadékmennyiségnek az M várható értéktől, vagy akár a móduszától való eltérése meglehetősen szeszélyes, de sem 50 év, sem 80 év során nem haladta meg a szórás (D) értékét, sőt az észlelt havi csapadék maximum egyik hónapban sem haladta meg a számított felső kvartilis értékét.

A csapadék területileg is meglehetősen változékony a domborzati tényezőkre érzékeny éghajlati elem. Nézük tehát mennyire eredményesek számításaink egy középhegységi állomás, Bakonybél szélsőséges csapadékmennyiségére.

III. TÁBLÁZAT

A novemberi csapadékösszeg maximumainak statisztikai jellemzőszámai különböző időtartamokra Szarvason
Az a tényleges maximum 1901–1920, 1901–1930, ... 1901–1980 időszakokra vonatkozik

Időtartam év	a	x_n	M	D	Q_{25}	Q_{75}
10	95	95,4	113,6	40,5	85,1	134,7
20	99	116,9	134,5	39,1	106,9	154,9
30	100	129,0	136,4	38,4	119,3	166,4
40	100	137,7	154,9	38,1	128,0	147,7
50	122	144,3	161,3	37,8	134,7	181,0
60	176	149,7	166,6	37,6	140,1	186,2
70	176	154,2	171,1	37,6	144,6	190,7
80	176	158,0	174,9	37,4	148,6	194,4
100	—	164,6	181,4	37,3	155,1	200,8
120	—	169,8	186,5	37,1	160,4	205,8
150	—	176,3	192,9	37,0	166,9	212,2
200	—	184,5	201,0	36,6	175,2	220,1

A ténylegesen észlelt és a számított értékek különbsége itt valamivel szeszélyesebben alakul, mint Szarvason, az alföldi állomáson, de általában a standard deviáció értéke alatt marad. A 80 évi májusi sorban észlelt legnagyobb eltérés is kisebb mint $1,5 D$. A ténylegesen észlelt maximális csapadékmennyiség Bakonybélen sem haladja meg egyetlen évszakban sem a felső kvartilis számított értékét. A *III. táblázat* a novemberi csapadék összeg maximumainak jellemzőszámaikat mutatja Szarvason.

Összefoglalva: a bemutatott számítási eljárás lehetőséget ad arra, hogy megfelelő hosszú észlelési sor birtokában az éghajlati elemek várható szélsőértékeire kellő biztonságu statisztikai jellemzőszámokat, s ezzel a távlati tervezésekhez — a matematikai statisztika eszközeivel — egzakt éghajlati hátteret adjunk.

IRODALOM

- Gradstejn, I. Sz. — Rizsik, I. M.*, 1963: Tablicü integrálov, szumm, rjádov i. proizvegyennyij. Goszudarsztvennoje izdatyelsztvo fiziko-matematicheskij literaturü, Moszkva.
- Gumbel, E. J.*, 1958: Statistics of extremes. Columbia University Press. New York.
- Gulyás, O.*, 1978: Valószínűségszámítás és matematikai statisztika. Egyetemi jegyzet, Tankönyvkiadó, Budapest.
- Kendall, M. G. — Stuart, A.*, 1960: The advanced theory of statistics. Charles Griffin and Company Ltd. London.
- Szigyártó, Z.*, 1972: Az egyhónapos, vagy annál hosszabb időtartam alatt lehulló csapadékmennyiségek változékonyságának térképes ábrázolása. VITUKI Tanulmányok és kutatási eredmények.

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata. 88. évf. 2. szám. 1984. március – április
Journal of the Hungarian Meteorological Service, Vol. 88. No 2. March – Apr. 1984. Budapest

A konvektív cellák mozgásának statisztikai elemzése

GYÖRE SIMON—SÖVÉR FERENC, Országos Meteorológiai Szolgálat,
Alkalmazott Felhőfizikai Központ, H-7601 Pécs, Pf. 353

A statistical analysis of cell motion. The quantitative investigation of the motion of cells formed in convective clouds in hail suppression *a)* supports climatic results, *b)* it makes possible to determine the effective protected area for an existing set of launching stations, and to plan the proper set of such stations to an area to be protected. Some empirical and theoretical distributions and numbers of velocity were determined for "hail" and "no-hail" events for a six-year observational material. The results of a simple statistical investigation are some conclusions useful in the practice of hail suppression. By defining the so called "convective periods" it becomes possible to obtain some climatic characteristics for the motion of cells.

✱

Konvektív cellák mozgásának statisztikai elemzése. A konvektív felhőkben kialakuló cellák mozgásának kvantitatív vizsgálata a jégesőelhárításban *a)* éghajlati jellemzőket szolgálhat, *b)* lehetővé teszi, hogy egy letelepített kilövőhálózatban meghatározzuk a ténylegesen védett területet, illetve, hogy adott védekezési területhez megtervezzék a megfelelő kilövőhálózatot. Hatéves megfigyelési anyag celláit „jéges” és „nem jéges” kategóriákba sorolva, vizsgáltuk a vonulási sebesség különböző eloszlásait. Az egyszerű statisztikai elemzés eredménye néhány, a védekezési munka számára hasznos következtetés. A „koovekciós időszak” definiálásával a cellák mozgásának egyszerű éghajlati jellemzőit is előállítottuk.

✱

Bevezetés. Baranya megye déli részén 1976 óta működik jégesőelhárító szolgálat. A kilövőhálózat tervezése, a védekezési munka indítása előzetes rádiólokációs mérések nélkül zajlott le. A kezdés óta összegyűlt megfigyelési anyag lehetővé tette, hogy utólag elvégezzünk néhány vizsgálatot. Így került sor a konvektív felhőkben kialakuló *cellák* mozgásának statisztikai elemzésére.

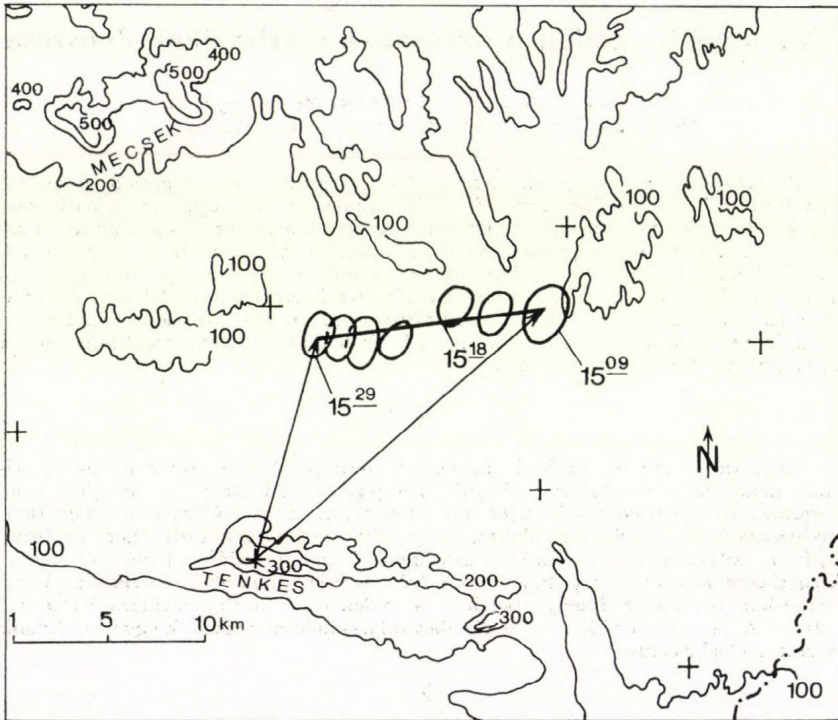
Legyen η_{\max} a felhő rádiólokációs visszaverőképességének lokális maximuma. (Abshaev et al., 1980) Ekkor egy *cella* η_{\max} helyének az a környezete, amelyben a visszaverőképességre $\eta \geq \eta_{\max}/16$. (A definíció szerint tehát egy konvektív felhőben több cellát is megfigyelhetünk.) A mérések során a cellának a -5 és a -10 °C-os izoterma szintek közé eső kvázihorizontális – egészen pontosan az antenna optikai tengelye által leírt kúppalásttal való – metszetét kapjuk. Ennek vízszintes vetülete a cella helye, és a cella mozgását az időben egymás utáni vetületekből határozzuk meg.

Tanulmányunkban a cellák mozgásának statisztikai vizsgálatát végezzük el, a cellák összességére és különböző feltételek esetére. Feldolgozásunkhoz az 1977–1982 között végzett rádiólokációs megfigyelések munkatérképen rögzített adatokat valamint az Állami Biztosító (ÁB), a jégesőindikátor és a jég-

esőmegfigyelő hálózat által szolgáltatott jégeső- és jégkár-információkat használtuk fel.

Az adatelőkészítés során a következőket tartottuk szem előtt:

- Csak azokat a cellákat vettük figyelembe, amelyek 1) az első és utolsó méréskor a Tenkesen levő radartól $5 \text{ km} \leq R \leq 50 \text{ km}$ távolságra voltak, és 2) pozíciójukat legalább négyszer mértük.
- A cellák pályáját manuálisan egyetlen szakasszal (vagy törtvonallal) közelítettük, az I. ábrán látható módon.



I. ábra: A cella elmozdulásának közelítése — Fig. 1: Approaching the moving of the cell

- A 20° -nál nagyobb irányváltoztatásokat törésponttal vettük figyelembe. (Itt is legalább négy mérésnek kellett történnie az egyes töréspontok között.)
- Figyelman kívül hagytuk a beavatkozás esetleges módosító hatását.
- Az elemi eseményeket három csoportra osztottuk az alábbi definíció szerint: a) *jéges*: indikátort károsított, vagy: az ÁB által elfogadott jégkárt okozott, vagy: egyéb jégjelentés rendelhető hozzá; b) *nem jéges*: nem károsított indikátort, nem okozott az ÁB által elfogadott növénykárt, és olyan jelentés érkezett hozzá, hogy nem volt jég; c) *bizonytalan*: egyéb esetben.

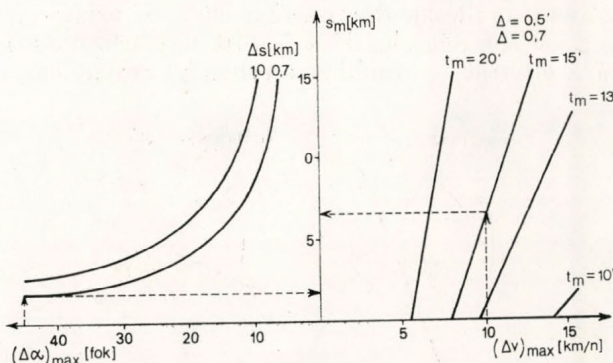
Vizsgálatunkban *elemi esemény* a cella elmozdulását közelítő törtvonal s hosszúságú irányított szakaszának és a hozzá rendelhető t időtartamnak s/t hányadosa, vektorként értelmezve. A továbbiakban v -vel jelöljük az elemi esemény nagyságát, α -val pedig annak a meteorológiában szokásos módon vett irányát.

Az elemi eseményeknek természetsszerűleg van mérési hibája, ami a mérési időpont, ill. a hely meghatározásának pontatlanságából ered. Előbbire $\Delta t = 0,5$ percet, utóbbira pedig $\Delta s = 0,7$ km-t fogadtunk el.

A statisztikai vizsgálatok csak úgy adhatnak megbízható eredményt, ha az adatok pontossága megfelelő. Ezért az iránytól független sebességeloszlás vizsgálata során csak azokat az elemi eseményeket vettük figyelembe, amelyekre $(\Delta v)_{\max} \leq 10$ km/h; a sebességtől független irány szerinti eloszlásnál a $(\Delta \alpha)_{\max} \leq 45^\circ$ -os feltételnek eleget tevőket; az irány és sebesség szerinti

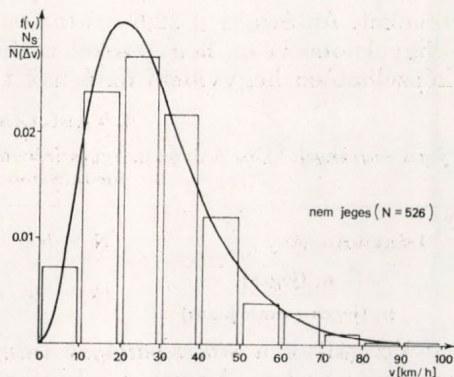
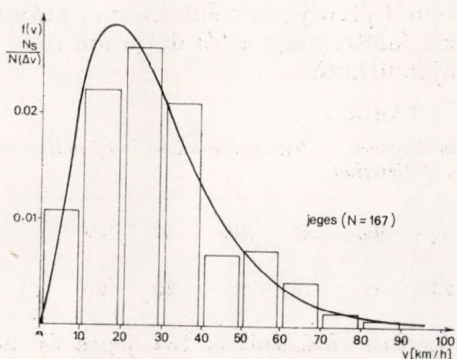
2. ábra: Grafikonok az irány- és sebességhibák korlátozására. A bal oldali grafikonról a minimális, a jobb oldaliról pedig a maximális elfogadható s_m értéket olvashatjuk le. Legyen $(\Delta \alpha)_{\max} = 45^\circ$ és $(\Delta v)_{\max} = 10$ km/h. Ekkor $t_m = 15$ percre $1,6$ km $\leq s_m \leq 6,6$ km adódik.

Fig. 2: Graphes limiting the error of velocity and direction. From the left side one can get the minimum value of acceptable s_m , from the right the maximum value. Let $(\Delta \alpha)_{\max} = 45^\circ$ and $(\Delta v)_{\max} = 10$ km/h. In this case for $t_m = 15$ minutes it gives: $1,6$ km $\leq s_m \leq 6,6$ km



együttes eloszlásnál pedig azokat, amelyek mindkét feltételt teljesítik. A $(\Delta v)_{\max}$ és $(\Delta \alpha)_{\max}$ szimbólumok a lehetséges legnagyobb hibákat jelölik. Ekkor ahhoz, hogy a sebesség bizonytalansága $(\Delta v)_{\max}$ -nál, a szögbizonytalanság pedig $(\Delta \alpha)_{\max}$ -nál ne legyen nagyobb, az s_m , t_m , Δs , Δt , $(\Delta v)_{\max}$ és $(\Delta \alpha)_{\max}$ mennyiségekre teljesülnie kell a következő feltételnek:

$$\frac{2 \Delta s}{\sin(\Delta \alpha)_{\max}} + 2 \Delta s \leq s_m \leq \frac{(t_m - 2\Delta t)(t_m - 4\Delta t)}{2 \Delta t} (\Delta v)_{\max} - t_m \frac{\Delta s}{\Delta t} - 4\Delta s \quad (1)$$



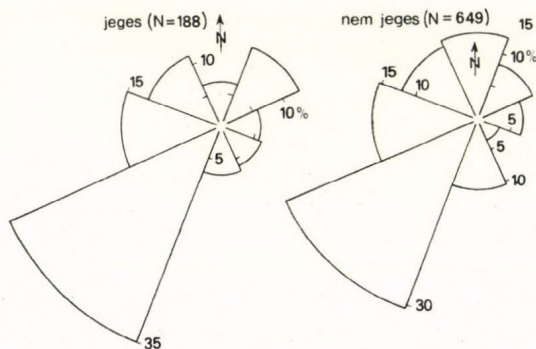
3. ábra: A sebesség iránytól független eloszlása a jeges és nem jeges elemi eseményekre. (Vas-tag vonallal a közelítő Γ -eloszlás sűrűségfüggvényét jelöltük.)

Fig. 3: Distribution of velocity for hail and no hail elementary events – independently of direction. (Heavy solid line is the Γ -distribution approximating the empirical one.)

Az (1) feltétel meghatározását a Függelékben ismertetjük. A 2. ábrán mutatjuk be ezeknek a képleteknek a használatát.

Statistikai vizsgálatok

A továbbiakban megvizsgáltunk néhány, az elemi eseményekre jellemző eloszlást. Az *iránytól független sebességeloszlás* hisztogramját láthatjuk a 3. ábrán a 167 jeges és az 526 nem jeges elemi eseményre. Az adatokhoz Γ -eloszlást illesztettünk a $\bar{v} = p/L$, $\sigma_v = \sqrt{p}/L$ összefüggések alapján kapott p, L paraméterrel (Vincze, 1975). (A \bar{v} , ill. σ_v a mérési adatokból kapott becült átlag, ill. szórás.) Az illesztésvizsgálat 99%-os szinten nem vezetett ellentmondásra, és a két sokaság eloszlása között ugyanezen a szinten nem találtunk szignifikáns eltérést – mindkét esetben χ^2 próbát használva.



4. ábra: Sebességtől független irány szerinti eloszlás a jeges és nem jeges elemi eseményekre

Fig. 4: Distribution of direction for hail and no-hail events – independently of direction

A *sebességtől független irányeloszlást* a 4. ábra tartalmazza, a meteorológiában szokásos ábrázolással, külön a 188 jeges és a 649 nem jeges elemi eseményre. Az I. táblázat-ban a 8 iránytartomány mindegyikére megadtuk az

$$\frac{n_i \text{ (jeges)}}{n_i \text{ (jeges + nem jeges)}} \cdot 100\% \quad (i = 1, \dots, 8) \quad (2)$$

értékeket. Az északi $\pm 22,5^\circ$ -os tartományból jövő jeges célok kicsiny aránya – figyelembe véve, hogy ezeket a Mecsek fölött, vagy attól délre mértük – elképzelhetően hegyvidéki hatásnak tulajdonítható.

I. TÁBLÁZAT – TABLE I

A jeges események %-os aránya az egyes iránytartományokra – The percental ratio of hail events for each domain of direction

Iránytartomány	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
$\frac{n_i \text{ (jeges)}}{n_i \text{ (jeges + nem jeges)}}$	13	36	23	38	16	26	22	26

Vizsgáltuk a *sebességátlagok irány szerinti eloszlását* is 154 jeges és 493 nem jeges esetre. Az egyes iránytartományokra meghatároztuk az átlagot, valamint ennek becült szórását, aminek segítségével konfidencia-intervallumot adhatunk az átlagra (II. táblázat). Látható, hogy mind a jeges, mind a nem jeges eseményekre a $180-270^\circ$ -os iránytartományba esnek a szignifikánsan legnagyobb értékek.

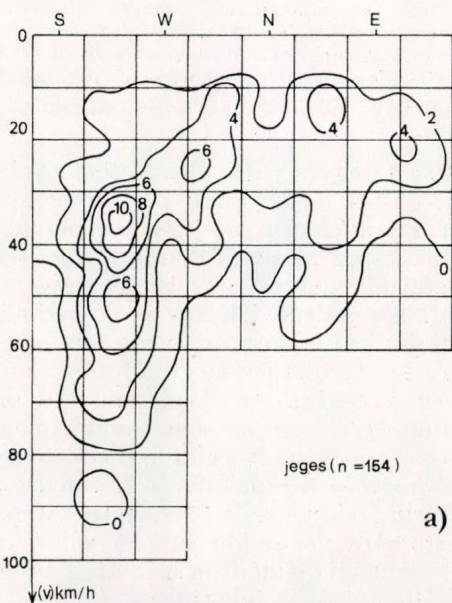
A sebesség és irány szerinti együttes eloszlást 154 jeges és 493 nem jeges adat alapján becsülték (5/a, b ábra). Módszerünk a következő volt: valamely α irányhoz és v sebességhez az $n_{\alpha v}/n$ hányadost rendeltük hozzá, ahol $n_{\alpha v}$ az $\alpha \pm 22,5^\circ$ -os irányok és a $v \pm 5$ km/h-s sebességek által meghatározott tartományba eső elemi események, n pedig az összes elemi esemény száma. Számításaink során az $n_{\alpha v}/n$ hányadost az

$$\begin{aligned} \alpha &= k \cdot 22,5^\circ & (k = 1, 2, \dots, 16) \\ v &= m \cdot 5 \text{ km/h} & (m = 1, 2, \dots, 22) \end{aligned} \quad (3)$$

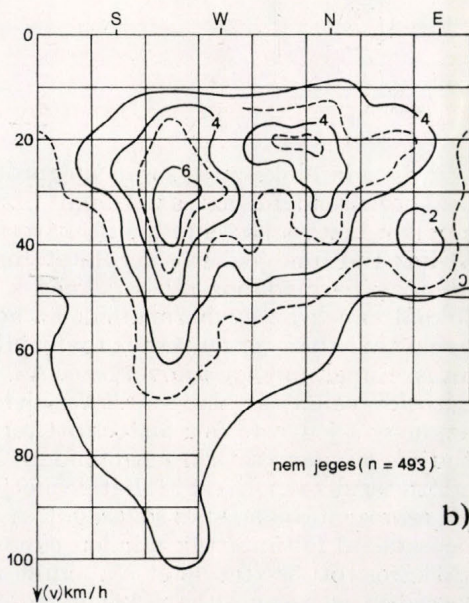
II. TÁBLÁZAT – TABLE II

Az átlagsebességek, becsült szórásuk és az elemszámok az $n \ 45^\circ \pm 22,5^\circ$ ($n = 0, \dots, 7$) iránytartományokban. A sebesség- és szórásértékek km/h-ban adottak. – The average velocity, its estimated dispersion and the number of events for domains of direction $n \ 45^\circ \pm 22,5^\circ$ ($n = 0, \dots, 7$). (The values of velocity and dispersion are in km/h).

Irány	Átlag-sebesség	Becsült szórás	Eset-szám	Irány	Átlag-sebesség	Becsült szórás	Eset-szám
Jeges (154)				Nem jeges (493)			
0°	25,4	2,6	11	0°	26,9	1,2	76
	23,1	2,7	21		23,1	1,6	38
90°	18,5	2,7	10	90°	26,0	1,9	34
	19,3	2,4	10		21,2	3,4	15
180°	23,3	3,7	10	180°	28,8	2,3	51
	43,0	2,5	49		35,2	1,4	141
270°	23,8	2,5	21	270°	30,2	1,6	74
	21,4	2,2	22		26,6	1,5	64



a)



b)

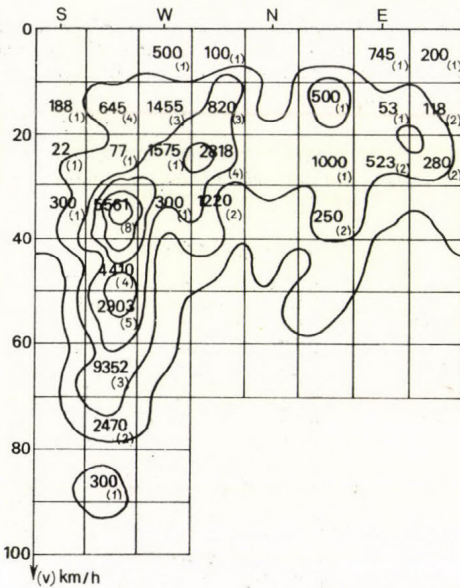
5. ábra: A jeges (a) és nem jeges (b) elemi események irány-sebesség szerinti együttes eloszlása.

(A 0, 2, ..., 10-zel jelzett görbék a relatív gyakoriság izovonalai – százalékban)

Fig. 5: Two-dimensional (direction-velocity) distribution of hail (a) and non-hail (b) events. (The curves with numbers 0, 2, ..., 10 are the isolines of relative frequency – in percents.)

értékekre határoztuk meg. Ezt kiegészítettük azzal, hogy a függvény maximuma közelében, valamint ott, ahol az esetszám lehetővé tette, $\alpha = k.11,25^\circ$ -ra és $v = m.2,5$ km/h-ra is kiszámítottuk az $n_{\alpha v}/n$ -t.

A 154 jeges esemény eloszlása (5/a ábra) teljesen megegyezik azzal, amit a szubjektív tapasztalataink is mutattak. Egyértelműen kitűnik a $200 - 250^\circ$ -ról $30 - 60$ km/h sebességgel mozgó cellák nagy relatív gyakorisága, és a 230° , 50 km/h-hoz tartozó maximum, amely – valószínűleg – alapvetően frontális tevékenységhez köthető.



6. ábra: A 61, jégkáros területtel összekapcsolható jeges elemi esemény eloszlása. Az egyes tartományokra megadtuk az ide tartozó események által károsított összterületet, valamint – zárójelben – a kárt okozó események számát. (Az ábrán feltüntettük a jeges elemi események irány-sebesség szerinti együttes eloszlását is.)

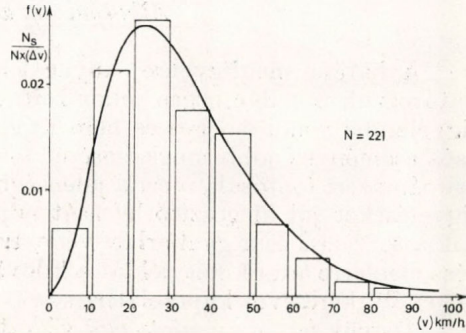
Fig. 6: The distribution of 61 cases connectable with hail damages. For each domain here the summarized damages caused by events belonging to it, and – in paranthesis – the number of such events are given. (The two-dimensional distribution of hail events is on the figure, too.)

Az adatelőkészítés során megpróbáltuk az egyes jeges elemi eseményekhez hozzárendelni azt az Állami Biztosító által jégkárosnak ítélt területet, amelyet biztosan az adott cella károsított. Ily módon a 154 jeges eseményből 61-hez tudtunk jégkáros területet rendelni, és az összes jégkáros területnek mintegy harmadához találtuk meg a megfelelő cellát. A következő vizsgálatoknál ennek az egyharmadnak az adatait használtuk fel, a kapott eredményeket azonban érvényesnek tekintjük a teljes károsodott területre vonatkozóan is. Ennek indoka a következő. Az, hogy egy területhez megtaláljuk-e az öt károsító cellát, általában véletlen jelenségnek tekinthető. (Véletlenszerű pl. az, hogy a jégverte és a biztosított terület egybeesik-e vagy sem, továbbá nem tudjuk minden esetben megmondani azt sem, hogy hány cella károsított egy adott területet.) Ezért föltételezhetjük, hogy ez a szóbanforgó harmadrész jól reprezentálja a teljes sokaságot. A 6. ábrán 10 km/h-s és 45° -os intervallum beosztással feltüntettük minden egyes tartományhoz az ide tartozó cellák által károsított összterületet, valamint az ilyen elemi események számát. A védekezésben is hasznosítható következő megállapításokat tehetjük:

- A $200 - 250^\circ$ -os iránytartományból mozgó cellák károsítják az összterület $65 - 75\%$ -át, és itt még a nagy – $70 - 80$ km/h – sebességgel haladó cellák is számottevő kárt okozhatnak.

- A 270–360–180°-os tartományból érkező cellák rovására írható az említett területnek mintegy 25%-a.
- Nagy valószínűséggel a Mecsek hatásának is tulajdonítható az, hogy az északi 45°-os tartományba kicsi jégkáros terület esik (0,2%).

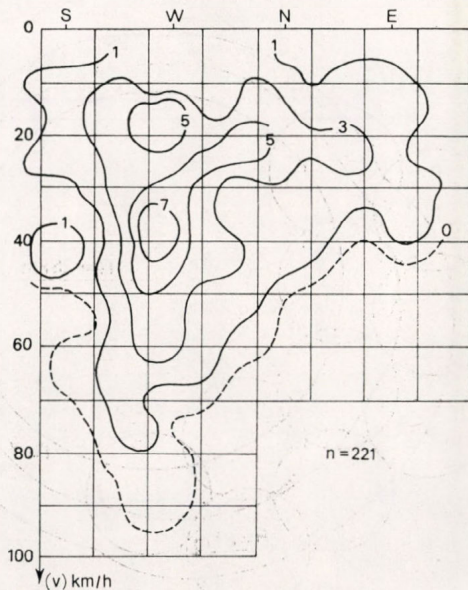
Adatsorunk a klimatológiában szokásos feldolgozásra kevésbé alkalmazható, hiszen esetenként változik az, hogy azonos időtartam alatt hány cellát figyeltünk meg, illetve hány elemi eseményhez jutottunk. A megfigyelési időszakok különböző adatsűrűségét azzal próbáltuk meg kiküszöbölni, hogy be-



7. ábra: A konvekciós időszakokban észlelt elemi események átlagsebességének iránytól független eloszlása. (A vastag vonal a közelítő Γ -eloszlás.)

Fig. 7: The distribution of mean velocity of cells—in convective periods—independently of direction. (Heavy solid line is the Γ -distribution approximating the empirical one.)

vezettük a *konvekciós időszak* fogalmát. Ezen azt az időszakot értjük, amelyen belül az egymást követő elemi események vége és kezdete közti idő különbség nem nagyobb egy meghatározott időtartamnál: ezt 3, ill. 4 órának választottuk. Az utóbbinál csak néhányal kevesebb időszakot kaptunk, emiatt a 3 órás értékkel dolgoztunk. A továbbiakban mellőztük azokat a feltételeket, amelyeket a mérési pontatlanság korlátozására adtunk, és átlagoltuk az egy időszakba eső elemi eseményeket. Az átlagokra megadtuk az



8. ábra: A konvekciós időszakok átlagsebességének nagyság-irány szerinti eloszlása. (A 0,1, ... görbék a relatív gyakoriság izovonalai – százalékban.)

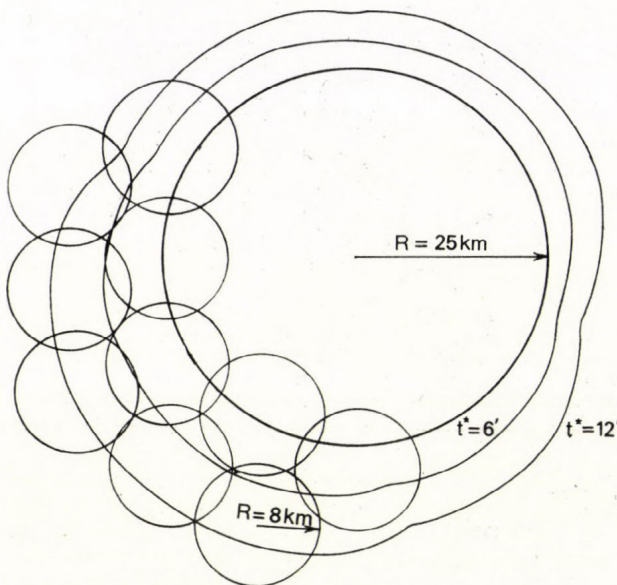
Fig. 8: The direction-velocity distribution of the mean of elementary events in convective periods. (The curves, 0,1, ... are the isolines of relative frequency — in percents.)

iránytól független sebességeloszlás (7. ábra), valamint a sebesség-irány szerinti eloszlás (8. ábra) hisztogramját. (Előbbinél feltüntettük a közelítő Γ -eloszlás sűrűségfüggvényét is.) A kicsiny esetszám most nem tette lehetővé, hogy szétválasszuk a jeges és nem jeges konvekciós időszakokat. Ezzel együtt is látható, hogy mindkét eloszlás hasonló az elemi eseményekéhez. Az együttes eloszlásnál egyértelműen kimutatható a 225° , 35–45 km/h-hoz tartozó maximális relatív gyakoriság.

Alkalmazás, következtetések

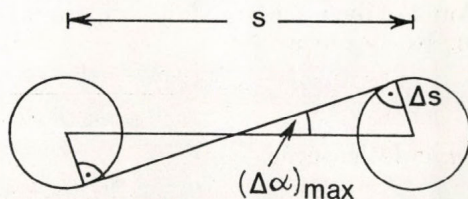
A hatévi megfigyelési anyag lehetővé tette, hogy viszonylag jól meghatározzuk a cellamozgás jellemzőit. A legtöbb esetben sikerült külön-külön figyelembe venni a jeges és nem jeges eseteket, ami a számunkra fontos jég-esős események jobb megismerését tette lehetővé. A kapott eredmények nem csupán azért fontosak, mert a jelenségnek számszerű, az eddigi szubjektív megfigyeléseket jól kiegészítő leírását adják, hanem azért is, mert felhasználhatók a tervezési és a gyakorlati védekezési munka során is. A dolgozat befejező részében erre adunk két példát a kilövőhálózat tervezésével, ill. a beavatkozási engedély kérésével kapcsolatban.

Tegyük fel, hogy adott egy védett terület (VT). A kérdés az: hogyan telepítsük a kilövőhálózatot, ha azt kívánjuk elérni, hogy a VT felé haladó jég-esős, vagy jégveszélyes cellákon legkésőbb a VT határánál a talajon is észlelhető legyen a beavatkozás hatása. Tétélezzünk fel kör alakú VT-t, $R = 25$ km-es sugárral (9. ábra). Tekintsünk el a jég-esős folyamat irány szerinti változékonyságától, és legyen t^* a magvasítás és a talajon észlelhető hatása közötti idő. [Ez utóbbi tapasztalataink és irodalmi adatok alapján 6–12 percre vehető (Federer et al., 1982).] Ha egy jeges, vagy jégveszélyes cella v sebességgel mozog a VT felé, akkor ezt legkésőbb a VT-től vt^* távolságra kell módosítanunk ahhoz, hogy a kitűzött célt biztosan elérjük. Mivel a legrosszabb



9. ábra: A módosítás területének meghatározása adott VT-hez 6 és 12 perces „hatékonysági idő” esetén
 Fig. 9: Determination of the area of seeding for a given area to be protected — with “efficiency-time” of 6 and 12 minutes

esetre kell felkészülnünk, emiatt minden iránytartományhoz meghatározzuk azt a maximális sebességet, amelynek esetében még előfordulnak veszélyes helyzetek. Az ábrán $t^* = 6$ és 12 perc értékekre adtuk meg a módosítás tartományát, és hozzá néhány kilövőállomást. Az ábrából kitűnik, mennyire fontos a t^* meghatározása, mivel pl. 8 km hatósugarú rakétákat használva $4-5$ kilövőállomással több szükséges, ha 6 helyett 12 perccel számolunk.



10. ábra: A mérés maximális szögbizonytalanságának meghatározása

Fig. 10: The maximum error of direction

A következő észrevétel a beavatkozási engedély kérésével kapcsolatos. A kérés és az engedély megadása közötti időtartamra 30 perc a megengedett legnagyobb érték. Ez egyrészt azt jelenti, hogy a VT felé mozgó cél esetén a beavatkozási területtől legkésőbb $0,5v$ km távolságban el kell döntenünk: szükség lesz-e beavatkozásra, vagy nem. Másrészt: ha egy cella ezen a távolságon belül keletkezik, vagy egyéb ok miatt itt fedezik fel először, akkor az rossz esetben akár $10-20$ km-t is megtehet a VT fölött, jégesős stádiumban, módosítás nélkül. Így – véleményünk szerint – az engedélyezett 30 perc veszélyesen hosszú.

Függelék

A mért s_m, t_m értékekre:

$$\begin{aligned} s - 2\Delta s &\leq s_m \leq s + 2\Delta s \\ t - 2\Delta t &\leq t_m \leq t + 2\Delta t \end{aligned} \quad (4)$$

Az irány szerinti bizonytalanságra

$$\sin(\Delta\alpha) \leq 2\Delta s/s \quad (5)$$

(10. ábra). Így $\Delta\alpha \leq \Delta\alpha_{\max}$, ill. az ilyen szögeknél ezzel ekvivalens $\sin(\Delta\alpha) \leq \sin(\Delta\alpha)_{\max}$ fennáll, ha $2\Delta s/s \leq \sin(\Delta\alpha)_{\max}$. Átrendezve:

$$[2\Delta s/\sin(\Delta\alpha)_{\max}] \leq s \quad (6)$$

Ez utóbbi pedig (4) alapján biztosan teljesül, ha

$$\frac{2\Delta s}{\sin(\Delta\alpha)_{\max}} + 2\Delta s \leq s_m \quad (7)$$

A sebesség szerinti bizonytalanságot úgy korlátozhatjuk, hogy az s_m -re felső határt adunk Legyen $v = s/t$ a valódi sebesség. Ekkor a mért $v_m = s_m/t_m$ -re:

$$\frac{s - 2\Delta s}{t + 2\Delta t} \leq v_m \leq \frac{s + 2\Delta s}{t - 2\Delta t} \quad (8)$$

Így $\max \left\{ \frac{s}{t} - \frac{s - 2\Delta s}{t + 2\Delta t}, \frac{s + 2\Delta s}{t - 2\Delta t} - \frac{s}{t} \right\}$ a $|v_m - v|$ -nek felső korlátja. Rövid

számolással meggyőződhetünk arról, hogy a második kifejezés a nagyobb, így ezt használjuk a $2 \frac{t \Delta s + s \Delta t}{t(t-2 \Delta t)}$ átalakított formában. A (4) egyenlőtlenségek alapján

$$2 \frac{t \Delta s + s \Delta t}{t(t-2 \Delta t)} \leq 2 \frac{(t_m + 2 \Delta t) \Delta s + (s_m + 2 \Delta s) \Delta t}{(t_m - 2 \Delta t)(t_m - 4 \Delta t)}. \quad (9)$$

Amennyiben a jobboldal $(\Delta v)_{\max}$ -nál kisebb, akkor fennáll a $|v_m - v| \leq (\Delta v)_{\max}$ is. Rendezve a

$$2 \frac{(t_m + 2 \Delta t) \Delta s + (s_m + 2 \Delta s) \Delta t}{(t_m - 2 \Delta t)(t_m - 4 \Delta t)} \leq (\Delta v)_{\max} \quad (10)$$

egyenlőtlenséget, s_m -re

$$s_m \leq \frac{(t_m - 2 \Delta t)(t_m - 4 \Delta t)}{2 \Delta t} (\Delta v)_{\max} - t_m \frac{\Delta s}{\Delta t} - 4 \Delta s \quad (11)$$

adódik.

IRODALOM

- Abshaev, M. T., Burtsev, I. I., Vaksenburg, Sz. I. i Shevela, G. F., 1980: *Rukovodstvo po primeneniu radiolokatorov MRL-4, MRL-5 i MRL-6 v sisteme gradozasity*. Hidrometeoizdat, Leningrad.
- Federer, B., Waldvogel, A., Schmid, W., Hampel, F., Schweingruber, M., Stahel, W., Mezeix, J. -F., Doras, N. and Vento, D.: First results of Grossversuch IV. *Conference-Workshop on Hailstorms and Hail Prevention*. Sofia, Bulgaria.
- Vincze I., 1975: *Matematikai statisztika ipari alkalmazásokkal*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest.

KONDRATYEV, K. Y. and UNT, G. E.: *Weather and climate on planets (A bolygók időjárása és éghajlata)*. Pergamon Press, Oxford, New York, Toronto, Sydney, Paris and Frankfurt 1982. 755+XIII old., 4 fejezet.

BARBATO, J. P. and AYER, E. A.: *Atmospheres. A view of the gaseous envelopes surrounding members of our Solar System (Légkörök. A Naprendszer tagjait övező gázburkok áttekintése.)* Pergamon Press 1981. 266+XIX old., 8 fejezet.

Talán első pillanatra szokatlan, hogy egy ismertetés két könyvvel foglalkozik. Tekintve azonban a két kötet témájának hasonlóságát, célszerűnek tűnt együttes ismertetésük. Ugyanakkor a két munka érdekes különbsége, hogy az első szakemberek, míg a második szélesebb olvasóközönség számára készült. A másik különbség abból adódik, hogy míg Kondratyev és Hunt csak a Vénusz, a Mars és a Jupiter légkörét tárgyalja, Barbato és Ayer az egész Naprendszerrel foglalkozik, a Földet is beleértve.

A köteteket forgatva az olvasóban elsősorban az a benyomás erősödik, hogy mennyire kibővült az utolsó évtizedekben a meteorológia tárgyköre. Ma már nem csak a földi légkör vizsgálata tartozik ebbe a tudományágba, hanem a bolygók és holdjaik gázburkának kutatása is. Így nyugodtan mondhatjuk többesszámban, hogy a meteorológia a *légkörök* tudományává vált. Sőt túlzás nélkül beszélhetünk a meteorológia egy új ágáról, az összehasonlító meteorológjáról is, amelynek feladata a különböző égitestek légkörének összehasonlítása.

Tekintve, hogy a Földön élünk, elsősorban az a kérdés érdekel bennünket, hogy mennyiben egyezik, illetve különbözik bolygónk gázburka a Naprendszer többi légkörétől. Ez ugyanis nem csak a Föld légkörének múltja és jelene (pl. jelenlegi összetétel, sugárzási mérleg, cirkuláció), hanem jövője (pl. antropogén hatások) szempontjából is alapvető. A két könyv alapján jelenlegi ismereteink a következőképpen foglalhatók össze.

A *Merkur* igen kis nyomású hidrogén légkör övezi, amelynek szabályozásában a napszél fontos szerepet játszik.

A *Vénusz* légköre elsősorban (95%) szén-dioxidból áll. A felszínen a nyomás (90 bar) és a hőmérséklet (760 °K) magas. A felhőtakaró kénsav cseppecskékből áll. Ennek megfelelően a felhőkből valóban „savas” csapadék hullik. A bolygó igen lassan forog, így az eltérítő erő gyenge. Légköre kiválóan alkalmas a lényegében Coriolis erő nélküli cirkuláció tanulmányozására. A Földdel összehasonlítva a Vénusz lényeges tulajdonsága a jelentős üvegházhatás. Ennek további vizsgálata a levegő CO₂ szintjének növekedésével kapcsolatos kérdések megválaszolásához adhat támpontokat.

A *Marsot* szintén CO₂ légkör övezi. A felszíni légnyomás azonban csak 7–8 mb. A felszínnek átlagosan csupán 5%-át borítja felhőtakaró. Igen gyakoriak a porviharok. A cirkuláció a földi szélrendszerhez hasonló. További érdekesség, hogy a bolygón évszakos változások figyelhetők meg. Ennek egyik jele a szilárd szén-dioxidból álló poláris sapka megjelenése, illetve eltűnése. Hosszú vita tárgya, hogy lehetséges-e a Marson primitív élet. Ez a kérdés további vizsgálatokat igényel. Az mindenesetre biztos, hogy a légkör oxigénszintje igen alacsony és a víz gőz vagy szilárd formában fordul elő. Nem kizárt azonban felszín alatti víz jelenléte sem.

Az utóbbi évek űrkutatásának legnagyobb eseménye a „Pioneer” és a „Voyager” űrszondák útra bocsátása volt. A velük végzett megfigyelések alapvetően hozzájárultak a Jupiterről és Szaturnuszról, illetve holdjaikról alkotott jelen elképzeléseink kialakulásához.

A *Jupiter* 20 bar-os referencia szintjén (a „felszín” definiálhatatlan) a hőmérséklet 400 °K. A bolygó hatalmas gáztömegét 99%-ban hidrogén és hélium építi fel. A bolygó energiamérlege meglehetősen különös. Közel kétszer annyi energiát sugároz ki, mint amennyit a napsugárzásból elnyel. A trópusi és szubtrópusi szélességeken a zónális áramlás igen erős (ez a felhőzet jellemből állapítható meg), míg a magasabb szélességeken turbulens örvények figyelhetők meg. A cirkuláció a földi óceán cirkulációjához hasonlítható. Annak ellenére, hogy az összetétel közel áll a Napéhoz, a Jupiter légkörében szerves vegyületek is kimutathatók. Számos kutató véleménye szerint a feltételek az élet kialakulása szempontjából hasonlóak a néhány milliárd évvel ezelőtti földi feltételekhez. A légkörben a konvekció és az elektromos tevékenység igen erős. A Jupiter *Io* nevű holdján számos vulkán működik. A ritka légkör (0,1 mb) érdekes módon

kén-dioxidból áll. Nagyon valószínű, hogy a hold felszínére időnként szilárd SO_2 rakódik le. A Jupiter legnagyobb holdja a *Ganimédész*, amelyet kis nyomású metán és ammónia légkör övez. A felszíni hőmérséklet kb. 130°K -nek egyenlő.

A *Szaturusz* gázburkának összetétele a Jupiter légkörének összetételéhez hasonló. Az 1 mb-os referencia szinten a hőmérséklet 140°K körül ingadozik. A tropopauza magasságában (100 mg) a hőmérséklet már csak 85°K . A bolygót magnetoszféra veszi körül. Ebben helyezkedik el a gyűrű-rendszer is. A megfigyelések szerint a Szaturusz holdjai közül egyedül a legnagyobb, a *Titán* rendelkezik légkörrrel. A földi légkörhöz hasonlóan a Titán gázburka is elsősorban nitrogénből áll. Ezen a Merkurohoz hasonló nagyságú égitesten a légnyomás megegyezik a Földön megszokott 100 mb-os értékkel. A 80°K -es hőmérséklet azonban jóval alacsonyabb, mint a Föld esetében. A felhőtakaró jellege is meglehetősen különbözik. A holdon a felhőket nitrogén, metán és kisebb mértékben hidrogén és ammónia építi fel. Igen érdekes annak felvetése, hogy ezen a hideg, de sok tekintetben az „ösi” Földhöz hasonló égitesten létezhet-e az élet valamilyen kezdetleges formája. A probléma elsősorban az, hogy mindezt eddig nem sikerült rajta a víz jelenlétét kimutatni. Ennek ellenére ez a kérdés a jövő-kutatások egyik izgalmas témája lehet.

Talán ebből a rövid összefoglalásból is kitűnik, hogy a két kötet milyen érdekes kérdésekkel foglalkozik. Másrészt talán azt is sikerült érzékelteni, hogy tudományterületünk a szó szoros értelmében milyen nagy mértékben kibővült. Ezért igen hasznosak azok a könyvek, amelyek az érdeklődő szakemberek számára összefoglalják az elért eredményeket. Különösen akkor, ha jól is vannak megírva, mint ez a két munka. *Kondratyev* és *Hunt* könyvét azoknak ajánljuk, akik a Vénusz, a Mars és a Jupiter légkörével kapcsolatos kutatások részletei iránt is érdeklődnek. A fejezeteket követő bő irodalom további elmélyülést is lehetővé tesz. *Barbato* és *Ayer* leíró formában megírt munkájából viszont gyorsan és lényegre törően ismerkedhetünk meg a probléma-kör jelenlegi állásáról. Ez utóbbi kötet egyetemi oktatás céljaira is nagyon alkalmasnak látszik.

Mészáros Ernő

KONDRATYEV, K. Ja. – MOSZKALENKO, N. I. – POZDNJAKOV, D. V.: *Atmoszferynyj aerosol (Légköri aeroszol)*. Gidrometeoizdat, Leningrád, 1983. 224 old., 54 ábra, 57 tábl., 306 rod. hivatk.

A légköri aeroszol részecskék számos légköri folyamat szabályozásában fontos szerepet játszanak. Ennek megfelelően egy, a „Légköri aeroszol” címet viselő kézikönyvet is különböző szempontok szerint lehet megírni. Jelen kötet a kérdéskört a részecskék sugárzásátvitelre gyakorolt hatása szemszögéből tárgyalja a következő öt fejezetben: 1. A légköri aeroszol térbeli szerkezete, kémiai összetétele és keletkezése. 2. A légköri aeroszol optikai tulajdonságai és ezek változása a mikrostruktúra, a kémiai összetétel és a részecskék halmazállapota függvényében. 3. A több komponensből álló légköri aeroszol optikai tulajdonságainak modellezése. 4. Légköri aeroszol-modellek. 5. A rövid- és hosszú hullámú sugárzási mező spektrális és térbeli struktúrája homályos légkör esetén.

Az első fejezetben a szerzők röviden áttekintik a légköri aeroszol fizikai és kémiai természetére, valamint keletkezésére vonatkozó korszerű ismereteinket. A második fejezet célja a különböző típusú (talajeredetű, tengeri eredetű, gázreakciókkal keletkezett) részecskék optikai tulajdonságainak bemutatása, míg a harmadik az optikai tulajdonságok matematikai modellezésének lehetőségeit foglalja össze. A negyedik fejezetben *Kondratyev* és munkatársai azokat a modelleket tárgyalják, amelyekkel a légköri aeroszol részecskék tulajdonságai szimulálhatók a magasság és egyéb tényezők (pl. kontinentális, óceáni, trópusi levegő) függvényében. Végül az utolsó fejezetből a sugárzási mező és az aeroszolt tartalmazó levegő kölcsönhatásaival ismerkedhet meg az olvasó.

Az ismertetett kötet legalább két szempontból figyelemre méltó. Az egyik az, hogy a szerzők a téma aktív kutatói és a bemutatott eredmények sok esetben saját kutatásaikon alapulnak. Másrészről igen ritkán találunk olyan kézikönyveket, amelyekben mind az aeroszol tulajdonságairól, mind a részecskék sugárzásátvitelre gyakorolt hatásairól olvashatunk. A jól megírt, rövid, de tartalmas munka komoly hozzájárulást jelent az aeroszol részecskék és az éghajlat kapcsolatának megismeréséhez. Így a meteorológusok széles körének érdeklődésére tarthat számot.

Mészáros Ernő

SZERZŐINK FIGYELMÉBE

NOTES TO THE AUTHORS

Az IDŐJÁRÁS célja az elméleti és alkalmazott meteorológia tárgykörébe tartozó tanulmányok publikálása. A tanulmányok új kutatási eredményeket tartalmazó beszámolók, illetve adott szakterület időszerű kérdéseit összefoglaló kritikai szemleicikkek lehetnek. A közlés nyelve: magyar vagy angol. A kettes sortávolsággal gépelt kéziratok két példányban küldendők be a következő címre: **Időjárás Szerkesztősége 1525 Budapest, Pf. 38.**

A kéziratokat a szerkesztőbizottság lektoráltatja. A lektor nevét a szerzővel nem közöljük. A kéziratnak a következő formai igényeket kell kielégítenie:

Címreisz: Tartalmazza a tanulmány címét, a szerző(k) nevét, munkahelyét és ez utóbbi pontos címét.

Összefoglalás: Külön oldalakon, magyar és angol nyelven, tartalmazza a kutatás célját, módszerét és a kapott eredményeket.

Szövegrész: Alcímekkel értelem szerűen fejezetekre tagolandó.

Irodalmi hivatkozások: Szövegben a hivatkozás tartalmazza a szerző(k) nevét aláhúzva és a publikálás évét. Pl. egyetlen szerző esetén: *Róna* (1909), vagy ha a szerző neve a szövegbe nem illeszthető be: (*Róna*, 1909); két szerző esetén: *Gamow és Cleveland* (1973); szerző esetén: *Bacsó et al.*, (1953). Ha adott szerzők ugyanazon évben publikált több cikkére hivatkozunk, akkor az évszámhoz *a, b* stb. betűket frunk. Az irodalom felsorolása a cikk végén a szerző(k) neve szerinti betűrendben történik. Folyóirat esetén: szerző(k) neve, évszám, a cikk címe, a folyóirat neve, kötettség, kezdő és befejező oldalszám. Pl.: *Dési, F.*, 1955: A meteorológiai kutatás időszerű kérdései. *Időjárás* 57, 65–70. Könyv esetén: Szerző(k) neve, évszám, könyvcím, kiadó, megjelenés helye. Pl. *Junge, C. E.*, 1963: *Air chemistry and radioactivity*. Academic Press, New York and London.

Ábrák: A kézirat első példányához az ábrákat pausz- vagy mm-papíron, a másodikhoz az eredeti ábrák másolatát kell csatolni. Az ábrák aláírásait külön lapon kell mellékelni. Fényképek fekete-fehér színben, fényes, kontrasztos minőségben nyújthatók be.

Táblázatok: A táblázatokat római számozással, szövegükkel együtt, külön lapon kell mellékelni.

Matematikai formulák és jelölések: A nem latin betűket és kézzel frott jeleket a margón ceruzával írt magyarázattal kell ellátni.

A szerzők megjelent tanulmányukért tiszteletdíjat és térítésmentesen 30 db különnyomatot kapnak. Több különnyomat a szerző költségére a kézirat elküldésével egyidejűleg rendelhető.

The purpose of IDŐJÁRÁS is to publish papers in the field of theoretical and applied meteorology. These may be reports on new results of scientific investigations or critical review articles summarizing current problems in certain subject. Authors may be of any nationality but papers are published only in Hungarian or English. Two copies of the manuscripts, typed with double space, should be sent to the Editorial Office of *Időjárás*. Address: Budapest, P. O. B. 38, H-1525, Hungary.

Papers will be subjected to constructive criticism by unidentified literary advisers.

The manuscript should meet the following formal requirements:

Title: Should contain the title of the paper, the name(s) of the author(s) with indication of the name and address of employment.

Abstract: Should contain the aim, method and conclusions of the scientific investigation on a separate page.

References: The text citation should contain the name(s) of the author(s) underlined and the year of publication. In case of one author: *Róna* (1909), or of the name of the author cannot be fitted into the text: (*Róna*, 1909); in case of two authors: *Gamow and Cleveland* (1973); there are more than two authors: *Bacsó; et al.* (1953). When referring to several papers published in the same year by the same author, the year of publication should be followed by letters, *a, b* etc. At the end of the paper the list of references should be arranged alphabetically. For an article: the name(s) of author(s), year, title of article, name of journal, volume number, pages. E. g. *Dési, F.* 1955: Current problems of meteorological research. *Időjárás* 57, 65–70. For a book: the name(s) of author(s), year, title of book, publisher, place of publication. E. g. *Junge, C. E.*, 1963: *Air chemistry and radioactivity*. Academic Press, New York and London.

Figures: Should be prepared entirely in black India ink upon transparent paper and be attached to the first copy of the manuscript; a copy of the original figures should be attached to the second manuscript copy. The legends of figures should be given on a separate sheet. Photographs of good quality may be provided in black and white.

Tables: Should be marked by Roman numbers and provided on separate sheets together with relevant captions.

Mathematical formulas and symbols: Non-Latin letters and hand-written marks should be explained by making marginal notes in pencil.

Authors are receiving 30 reprints free of charge. Additional reprints may be ordered at the authors expense when submitting the manuscript.

AZ ORSZÁGOS METEOROLÓGIAI SZOLGÁLAT FOLYÓIRATA

A szerkesztésért felel: dr. Szepesiné Lőrincz Anna

Szerkesztőség: 1024 Budapest, Kitaibel Pál utca 1.

Levélcím: 1525 Budapest, Pf. 38. Tel.: 353-500

Kiadja a Lapkiadó Vállalat, Budapest VII., Lenin körút 9—11. Telefon: 221-285. Levélcím: 1906 Budapest, Pf. 223.

Felelős kiadó: Siklósi Norbert igazgató



**83. 2209 Athenaeum Nyomda, Budapest — Íves magasnyomás
Felelős vezető: Szlávik András vezérigazgató**

INDEX: 26 361

HU ISSN 0324—6329